



tmmob
makina mühendisleri odası



26-27-28
EYLÜL 2019
DENİZLİ / TÜRKİYE

26-27-28
SEPTEMBER 2019
DENİZLİ / TURKEY

IX. ULUSLARARASI BAKIM TEKNOLOJİLERİ

KONGRESİ VE SERGİSİ

*IXth INTERNATIONAL MAINTENANCE TECHNOLOGIES
CONGRESS AND EXHIBITION*

BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS



PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ PROF. DR. HÜSEYİN YILMAZ KONGRE VE
KÜLTÜR MERKEZİ | DENİZLİ / TÜRKİYE
PAMUKKALE UNIVERSITY PROF.DR. HUSEYİN YILMAZ CONGRESS AND
CULTURAL CENTER | DENİZLİ / TURKEY

YAYIN NO: E/MMO/704



**IX. ULUSLARARASI
BAKIM TEKNOLOJİLERİ
KONGRESİ VE SERGİSİ**

*IXTH INTERNATIONAL MAINTENANCE
TECHNOLOGIES CONGRESS AND
EXHIBITION*

BİLDİRİLER KİTABI
PROCEEDINGS

26-27-28 EYLÜL 2019 DENİZLİ / TÜRKİYE

26-27-28 SEPTEMBER 2019 DENİZLİ / TURKEY



TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI
UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS

MEŞRUTİYET CADDESİ NO:19 KAT:6-7-8 KIZILAY - ANKARA

Telefon (*Phone*) : +90 850 495 0 666

Faks (*Fax*): +90 312 4178621

E-Posta (*E-mail*): mmo@mmo.org.tr

YAYIN NO: E/MMO/704

ISBN NO: 978-605-01-1288-7

EDİTÖRLER / EDITORS

Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Prof.Dr. Cemal MERAN

Prof.Dr. Aşkıner GÜNGÖR

Doç.Dr. Olcay POLAT

Dr.Öğr.Üyesi Sidem KANER

Bu yapıtın yayın hakkı Makina Mühendisleri Odası'na aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nun izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak gösterilmek kaydıyla alıntı yapılabilir.

The copyright of this work belongs to the Chamber of Mechanical Engineers. No part of the book can be modified. Without the permission of MMO, no part of the book may contain electronic, mechanical, etc and cannot be copied. Citation can be made provided that the source is indicated.

Eylül 2019 / DENİZLİ / TÜRKİYE
September 2019 / DENIZLI / TURKEY

İstenen ve beklenen özelliklerde bir sistemi tasarlamak ve kurmak, bir mühendislik çalışması gerektirir. Kurulumu yapılan bir sistemin çıktılarının sürekliliğinin sağlanması, ekonomik ve güvenli olarak üretime devam etmesi için o sisteme bakım yapılmalıdır. Bakım, ciddi bir mühendislik çalışmasıdır.

Makina Mühendisleri Odası, Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi (BTKS)'nin dokuzuncusunu Denizli'de 26, 27, 28 Eylül 2019 tarihlerinde düzenleyerek, bakım mühendisliği ile ilgili tarafları bir araya getirmeyi ve bakım mühendisliğinin gelişimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Öncesinde sağlanan birikimle, IX. BTKS daha da kapsamlı bir şekilde uluslararası olarak düzenlenecektir.

Makina Mühendisleri Odası tarafından bundan önce düzenlenen 8 kongrede, bakım ve bakımın önemi tartışılmış, bakım konusunda geline nokta ve yenilikler ele alınmış ve bakım mühendisliği alanında çok önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu bakımdan, Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi bütün dünyada bu alanda çalışan herkesin bulunduğu ve bakım alanında geline yeniliklerin tartışıldığı bir kongre olarak devam edecektir. Bakım mühendisliği, sanayi devrimleri ile sürekli bir gelişme içindedir. Buhar ile çalışan makineler, elektrik motorları, mikroişlemciler ve internet altyapısı ile sürekli bilgi akışı içinde çalışan insansız fabrikalar; bakım mühendisliğini neredeyse tüm mühendislik dallarının ortak alanı haline getirmiştir. Bu nedenle Uluslararası BTKS, tüm sektörlerle, tüm ürünler ve hizmetlere açık bir platformdur.

IX. Uluslararası BTKS, dördüncü sanayi devriminde bakım mühendisliği şartlarının, Teknolojik Dönüşüm ve Bakım Mühendisliği çerçevesinde aşağıdaki ana başlıklarda tanımlanacağı bir etkinlik olacaktır. Bununla birlikte, bakım mühendislerinin eğitilmesinde ana referans olacak Bakım Mühendisliği Kılavuzu'nun içeriği de bu etkinlikte tartışılacaktır. Ziyaretçi ve katılımcı olarak IX. Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'ne katılımınız bizi onurlandıracak ve güçlendirecektir.

Kongre dili iki dilde (İngilizce - Türkçe) olacaktır. Kongreye gönderilen tam metin bildirimler çift körlene yöntemi ile hakem değerlendirilmesinden geçecektir. Kabul edilen bildirimler Kongre programında yer alacaktır. Kongrede sunulan tam metin bildirimler, tekrar hakem değerlendirilmesinden geçirilecek; "Mühendis ve Makina" ve "Endüstri Mühendisliği" dergilerinde yayımlanacaktır.

IX. BTKS Yürütme Kurulu

Designing and installing a system with the desired and expected features requires engineering work. In order to ensure the continuity of the outputs of an installed system and to continue production economically and safely, the system must be maintained. Maintenance is a serious engineering work.

The Chamber of Mechanical Engineers aims to bring together the parties concerned in maintenance engineering and contribute to the development of maintenance engineering by organizing the IXth of International Maintenance Technologies Congress and Exhibition (BTKS) on 26, 27, 28 September 2019 in Denizli, Turkey. With the previous experiences, IXth The BTKS will be organized more extensively and internationally.

In the 8 congresses organized by the Chamber of Mechanical Engineers, maintenance and the importance of maintenance was discussed, the points and innovations in maintenance were discussed and very important results were obtained in the field of maintenance engineering. In this respect, the International Maintenance Technologies Congress and Exhibition will continue as a congress where everyone working in this field to meet and to discuss the innovations in the field of maintenance. Maintenance engineering is in continuous development with industrial revolutions. Unmanned factories operating in a continuous flow of information with steam-powered machines, electric motors, microprocessors and internet infrastructure; maintenance engineering has become a common area of almost all engineering branches. Therefore, International BTKS is a platform open to all sectors, all products and services.

IXth International BTKS was an event in which the requirements of maintenance engineering in the fourth industrial revolution was defined under the following headings within the framework of Technological Transformation and Maintenance Engineering. However, the content of the Maintenance Engineering Manual, which will be the main reference in the training of maintenance engineers, is discussed in this event. Participation to the IXth International Maintenance Technologies Congress and Exhibition was an honor for The Chamber of Mechanical Engineers. The language of the congress were bilingual (English - Turkish). Full-text papers submitted to the congress were evaluated by double-blind method. Accepted papers were included in the Congress program. Full text papers presented at the congress will be re-evaluated; It will be published in "Engineer and Machine" and "Industrial Engineering" journals.

IX. BTKS Organizing Committee

- Güvenilirlik Mühendisliği
 - Sanayi Devrimlerinde Bakımın Gelişimi
 - Bakımcı, Bakım Mühendisi Yetkinliği ve Bakım Teknikleri
 - Toplam Üretken Bakım(TPM)
 - Dördüncü Sanayi Devriminde Bakım
 - Türkiye’de Bakım Mühendisliği
 - Bakım Mühendislerinin Türkiye ve Dünyada Çalışma Şartları
-
- Reliability Engineering
 - Development of Maintenance in Industrial Revolutions
 - Maintainer, Maintenance Engineer Competence and Maintenance Techniques
 - Total Productive Maintenance (TPM)
 - Maintenance in the Fourth Industrial Revolution
 - Maintenance Engineering in the World
 - Working Conditions of Maintenance Engineers in the World

KONGRE PROGRAMI CONGRESS PROGRAMME



9. Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi - Pamukkale Üniversitesi - Denizli - TÜRKİYE (IXth International Maintenance Technologies Congress and Exhibition - Pamukkale University - Denizli - TURKEY)

Program 26,27,28 Eylül 2019
(Program 26,27,28 September 2019)

Gün (Day)	Oturum (Session)	Saat (Time)	SALON 1 (1. KAT) (HALL 1 First Floor)	SALON 2 (1.KAT) (HALL 2 First Floor)	SALON 3 (ZEMİN KAT) (HALL 3 Ground Floor)	SALON 4 (ZEMİN KAT) (HALL 4 Ground Floor)	
26 Eylül 2019 / Perşembe (26 September 2019 / Thursday)	1. Oturum (Session 1)	09:00-09:30	HOŞGELDİNİZ / KAYIT (REGISTRATION)				
		09:30-09:40	AÇILIŞ GÖSTERİSİ (OPENING SHOW)				
		09:40-10:10	AÇILIŞ KONUŞMALARINI (OPENING SPEECHES)				
		10:10-11:00	OTURUM BAŞKANI: Harun Kemal ÖZTÜRK KONGRE YÜRÜTME KURULU BAŞKANI				
		11:00-11:50	ROLE OF MATERIALS DESIGN IN MAINTENANCE ENGINEERING IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 IDEA Leszek A. DOBRZAŃSKI POLONYA (DAVETLİ KONUŞMACI)				
			11:50-12:30	SERGİ AÇILIŞI (EXHIBITION OPENING)			
			12:30-13:30	ÖĞLE YEMEĞİ - ANA YEMEKHANE (LUNCH - MAIN DINING HALL)			
	2. Oturum (Session 2)	13:30- 14:20		OTURUM BAŞKANI: Ahmet ÖRÜK KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ			
				AUTOMATICALLY INSPECTION OF WIRE ROPES Ulrich BRIEM OTH REGENSBURG - ALMANYA (DAVETLİ KONUŞMACI)			
		14:20-15:10	INDUSTRIAL APPLICATION OF LASER SURFACE ENGINEERING Miroslaw BONEK SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - POLONYA (DAVETLİ KONUŞMACI)				
			15:10-15:30	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)			
	3. Oturum (Session 3)	15:30-15:50		OTURUM BAŞKANI: Baki TEKİN KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ		Buhar Sisteminde; Tasarım, Enerji Verimliliği ve Bakım Venkava-TLV	KOMPRESÖRLERDE UZAKTAN KONTROL VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER Sarmak Kompresör
				ENDÜSTRİ 4.0 VE BAKIM ÜZERİNE ETKİLERİ Bülent ÇELEBİ ETİ GIDA A.Ş.			
		15:50-16:10	YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZİ Emrah ERDOĞAN ETİ GIDA A.Ş.				
		16:10-16:30	RİSK TABANLI BAKIM: GÜVENİRLİK TESİSLER İÇİN RİSKE DAYALI BAKIM YAKLAŞIMI O. Arda KARADAĞ ADA KALİTE DANIŞMANLIK, MÜHENDİSLİK, EĞİTİM, GÖZETİM VE DENETİM				
		16:30-16:50	ETKİN VARLIK YÖNETİM STRATEJİSİ İLE KARLILIĞIN ARTTIRILMASI Ozan ÇAKITLI PRÜFTECHNIK TÜRKİYE				
		16:50-17:10	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)				
4. Oturum (Session 4)	17:10-17:30		OTURUM BAŞKANI: Haydar ŞAHİN KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ	OTURUM BAŞKANI: Tefik DEMİRÇALI KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ	Buhar Sisteminde; Tasarım, Enerji Verimliliği ve Bakım Venkava-TLV	BOSCH ELEKTRİK EL ALETLERİ GÜVENLİ KULLANIMI VE YENİ ÜRÜN TEKNOLOJİLERİ Mehmet DEMİR Bosch Elektrikli El Aletleri	
			AĞIR İŞ MAKİNALARINDAKİ GÜVENİRLİK MÜHENDİSLİĞİ Halil ASLAN, Halil TAYAN, Ridvan VEZİROĞLU TUFRAG	BİR TEKSTİL İŞLETMESİ BOYAHANE BÖLÜMÜNDE KRİTİK MAKİNELERİN ANALİZİ VE BAKIM PLANI ÖNERİSİ Sıla TEMEL, Didem TÜRKMEN, Onur KUNDAKÇI, Aşkın GÜNGÖR OZANTEKS TEKSTİL SAN. VE TİC. A.Ş., PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ			
	17:30-17:50	AĞIR İŞ MAKİNALARINDAKİ GÜVENİRLİK MÜHENDİSİNİN AŞINTI VE KAYNAK İŞLERİNDEKİ ÖNEMİ Halil ASLAN, Halil TAYAN, Ridvan VEZİROĞLU TUFRAG	BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KRİTİK DOKUMA MAKİNESİNİN GÜVENİRLİK TAYİNİ Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU, Onur Emre KUNDAKÇI, Halil AKKAYA, Emel ERCAN, Aslı ÖZMEN SELÇUK, Aşkın GÜNGÖR OZANTEKS TEKSTİL SAN. VE TİC. A.Ş., PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ				
	17:50-18:10	RULMAN ÖMÜRLERİNDE GÜVENİRLİK VE BAKIM İLİŞKİSİ Tezcan ŞEKERÇİOĞLU PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	ETKİN BİR BAKIM YÖNETİM SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI İÇİN KRİTİK NOKTALAR Ali PALA DENİZ TEKSTİL A.Ş.				
		18:10-18:30	CIVATA BAĞLANTILARININ BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDEKİ YERİ VE ÖNEMİ Fatih GÜVEN AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ	ELECTRODEIONİZASYON YÖNTEMİ İLE SAF SU ÜRETİM TEKNOLOJİSİ Erdal ERTÜRK ETİ GIDA A.Ş.			
		18:35	KONGRE AÇILIŞ KOKTEYLİ (1.KAT SERGİ SALONU) (CONGRESS OPENING COCKTAIL - FIRST FLOOR SHOWROOM)				

Gün (Day)	Oturum (Session)	Saat (Time)	SALON 1 (1. KAT) (HALL 1 First Floor)	SALON 2 (1.KAT) (HALL 2 First Floor)	SALON 3 (ZEMİN KAT) (HALL 3 Ground Floor)	SALON 4 (ZEMİN KAT) (HALL 4 Ground Floor)
27 Eylül 2019 / Cuma (27 September 2019 / Friday)	5. Oturum (Session 5)	09:30-10:20	OTURUM BAŞKANI: Cemal MİRAN KONGRE YÜRÜTME KURULU ÜYESİ Maintenance 4.0: FROM DATA ACQUISITION TO DECISION- MAKING Luca FUMAGALLI POLITECNICO DI MILANO - ITALYA (DAVETLİ KONUŞMACI)		PLAKALI EŞANJÖRLERDE BAKIM Değişim Ltd. Şti. Alfa laval	
		10:20-11:10	THE IMPORTANCE OF MAINTENANCE OF STAINLESS STEEL CONSTRUCTIONS Zbigniew BRYTAN SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - POLONYA (DAVETLİ KONUŞMACI)			
		11:10-11:30	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)			
	6. Oturum (Session 6)	11:30-11:50	OTURUM BAŞKANI: Melih Cemal KUŞHAN ULUSLARARASI AKADEMİK BİLİM KURULU DEFINITION OF A FRAMEWORK FOR CBM IMPLEMENTATION: FROM DATA ACQUISITION TO DECISION-MAKING, Laura CATTANEO, Luca FUMAGALLI, Marco MACCHI POLITECNICO DI MILANO - ITALYA (DAVETLİ KONUŞMACI)	OTURUM BAŞKANI: M. Serdar ULU KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ FOTOVOLTAK SİSTEMLERİN KURULUM, BAKIM VE ONARIM, RISK ETMENLERİ Atilla KARADAVUT, Harun Kemal ÖZTÜRK PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	MEKANİK SALMASTRALAR Yavuz Ticaret Rota Seal	MAGNET: Kaynak Uygulamalarında Endüstri 4.0 Nazife KASAP Magmaweld
			11:50-12:10	İŞ MODELLEME VE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ İLE BAKIM YONETİM SİSTEM TASARIMI Layla Özgür POLAT, Aşkın GÜNGÖR PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ		
		12:10-12:30	COMPARISON OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN ESTIMATION OF REMAINING USEFUL LIFE Erikan Çanır ÖZKAT UNIVERSITY OF WARWICK İNGİLTERE	ARAZİYE KURULAN GES TESİSİNDE UYGULANAN ETKİN BAKIM YONTEMLERİ Ali PALA DENİZ TEKSTİL A.Ş.		
		12:30-13:30	ÖĞLE YEMEĞİ - ANA YEMEKHANE (LUNCH - MAIN DINING HALL)			
	7. Oturum (Session 7)	13:30-13:50	OTURUM BAŞKANI: Fatih TEMİZSOY KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ IMPORTANCE OF FEEDBACKS ON THE RELIABILITY OF MILITARY AIRCRAFT SYSTEMS' AIRWORTHINESS Akif TAŞKIN, Tolga TAŞKIRAN MINISTRY OF NATIONAL DEFENSE/2ND AIR MAINTENANCE FACTORY DIRECTORATE	OTURUM BAŞKANI: İlkin BOZ KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ FOTOVOLTAK SANTRALLERDE FOTOVOLTAK MODÜL BAKIM PROSEDÜRLERİ Engin ÇETİN PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	DÖNER BAŞLIKLAR Yavuz Ticaret Rota Seal	BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE ENERJİ TASARRUFU VE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN PRATİK ÖNERİLER Ümit AKSU Dalgaçiran Kompresör
			13:50-14:10	DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE SİVİL HAVACILIK BAKIM ONARIM VE YENİLEME (BOY) FAALİYETLERİ Selim GÜRGEN, Mehmet Alper SOFUOĞLU, Fatih Hayatı ÇAKIR, Melih Cemal KUŞHAN ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ		
		14:10-14:30	SICAK HAVA BALONLARINDA BAKIM PROSEDÜRLERİ Haşim KAFALI, Göksel KESKİN MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ, ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	FOTOVOLTAK SANTRALLERDE İZOLASYON HATASININ TESPİTİNE YONELİK MERKEZİ İZLEME VE KONTROL ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ Engin ÇETİN PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ		
14:30-14:50		HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KURALCI BAKIM YAKLAŞIMI Necmi KARA TUSAŞ-TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİ A.Ş.	MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASINDA BAKIM MÜHENDİSLİĞİ YETKİLENDİRME PROGRAMI Ünal ÖZMURAL MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI	ONLINE MAKİNA SAĞLIĞI DURUMU İZLEME SİSTEMLERİ Maray Makina Mühendislik		
14:50-15:10		KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)				
8. Oturum (Session 8)	15:10-17:10	OTURUM BAŞKANI: Ünal ÖZMURAL KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ PANEL: VARLIK YÖNETİMİ (SOCAR PETKİM'in katkılarıyla) KATILIMCILAR: Roland DOLS, Onno JANSEN, Ali BAHÇIVAN, Başak BALTA, Özgür KALKANLI, Mevlüt Burak EROL, Ozan ÇAKITLI, Ersin DOĞAN		RULMAN BAKIMI - DEĞİŞİMİ Otorul Rulman ORS Orta Doğu Rulman Sanayi	POMPALARDA TAD (TEST, AYAR, DENGEME) Cüneyt Deniz KÜHEYLAN Grundfos Türkiye	
		KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)				
9. Oturum (Session 9)	17:30-17:50	OTURUM BAŞKANI: Münami ÖZYURT KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ ERKEN EKİPMAN ÇALIŞMALARININ BAKIM MALİYETLERİNE ETKİSİ Yusuf Sirm ERKUŞ, Cemal ÖZER, Kerim AKÖREN, Eyüp AYVA, Halil ÖZÇELİK ETİ GIDA A.Ş.	OTURUM BAŞKANI: Metin BIÇAKÇI KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ MERDANELİ BRİKETLEME PRES TASARIMININ İNCELENMESİ Mehmet Alper DEMİRAL, İsmet ÇELİK KÜTAHYA ÇEVRE ŞEHİRCİLİK İL MÜDÜRLÜĞÜ, DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ	MEKANİK SALMASTRALAR Otorul Rulman Demirkol	POMPALARDA OPTİMUM BAKIM VE KONTROLLER Onur ERONAT - Coşkun SEYHAN Grundfos Türkiye	
		17:50-18:10	MTTR ANALİZİ VE ONARIM SÜRESİ AZALTMA Yener Can ÇANARSLAN ETİ GIDA A.Ş.			AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE YAG ANALİZİ İLE ARIZA TESPİTİNİN BAKIM PLANLAMASI ÜZERİNE ETKİSİ Halil ASLAN, Halil TAYAN, Rıdvan VEZİROĞLU TUPRAG
	18:10-18:30	BAKIM UYGULAMALARINDA ROBOTLARIN YARDIMCI EKİPMAN OLARAK KULLANILMASI Sezcan YILMAZ ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	KİRLİLİK KONTROLÜNÜN TOPLAM ÜRETKEN BAKIMA ETKİSİ Halil ASLAN, Halil TAYAN, Rıdvan VEZİROĞLU TUPRAG			
		20:00	KONGRE GALA YEMEĞİ - DEDEMAN PARK OTEL (CONGRESS GALA DINNER)			

KONGRE PROGRAMI CONGRESS PROGRAMME

Gün (Day)	Oturum (Session)	Saat (Time)	SALON 1 (1. KAT) (HALL 1 First Floor)	SALON 2 (1.KAT) (HALL 2 First Floor)	SALON 3 (ZEMİN KAT) (HALL 3 Ground Floor)	SALON 4 (ZEMİN KAT) (HALL 4 Ground Floor)	
28 Eylül 2019 / Cumartesi (28 September 2019 / Saturday)	10. Oturum (Session 10)	09:30-09:50	OTURUM BAŞKANI: Hikmet RENDE ULUSLARARASI AKADEMİK BİLİM KURULU	OTURUM BAŞKANI: Seyfettin AVCI KONGRE ORGANİZASYON KURULU ÜYESİ			
		09:50-10:10	MANİSA FRANKE ÜRETİM TESİSİNDE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (TEE) SİSTEMİNİN MAKİNE DURUŞLARININ İYİLEŞTİRİLMESİNE ETKİSİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ Onur ÖZGEN MANİSA FRANKE	HİDROELEKTRİK SANTRALLARDA GENERATÖR HAVA ARALIĞI İZLEME SİSTEMLERİ B. Emre ORHON PRO-PLAN LTD. ŞTİ.			
		10:10-10:30	BİLGISAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİNİN KURULUŞLARIN PERFORMANSINA ETKİLERİ Emrullah ÇAYIR ÇAYIR MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK	KESTİRİMCİ YAZILIM BAKIMI Cengiz YARDAR ETİ GIDA A.Ş.			
		10:30-10:50	OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MODEL BAZLI ARIZA ANALİZ SİSTEMİNİN KULLANILMASI VE KAZANIMLARI Cumali ÖZEL, Cüneyt UÇAK, Ömer EKER, Ahmet DUYAR ARTESİS TEKNOLOJİ SİSTEMLERİ A.Ş., OYAK RENAULT OTOMOBİL FABRİKALARI A.Ş.	SANTRİFÜJ POMPADA DÜŞÜK HERTZİN ETKİSİ VE ÖLÇÜMÜ Selçuk KARABAY STARWOOD ORMAN ÜRÜNLERİ A.Ş.			
	10:50-11:10	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)					
	11. Oturum (Session 11)	11:10-11:30	OTURUM BAŞKANI: Ağkırer GÜNGÖR ULUSLARARASI AKADEMİK BİLİM KURULU	OTURUM BAŞKANI: İskender ERBİL KONGRE YÜRÜTME KURULU ÜYESİ			
		11:30-11:50	KARMAŞIK SİSTEMLERİN BAKIM KARARLARINDA OLASILIKLI GRAFİKSEL MODELLERİN KULLANIMI Demet ÖZGÜR ÜNLÜAKIN, Busenur TÜRKALİ IŞIK ÜNİVERSİTESİ	GIDA ENDÜSTRİSİNDE GÜVENİLİRLİK BAZLI BAKIM UYGULAMALARI Oğuzhan YAVUZ, Ersin DOĞAN ETİ GIDA A.Ş.			
		11:50-12:10	ÇOK KADEMELİ BİR DİŞLİ KUTUSUNDA KIRIK DİŞ ARIZASININ TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ VE ARIZA GİDERİMİ Özgin YAKAR, Yusuf İHTİYAROĞLU, Onur YÜREK, Zafer Ömer GÜNİNDİ PRÜFTECHNIK PROAKTİF BAKIM TEKNOLOJİLERİ, ETİ SODA	ULAŞIM SEKTÖRÜNDE YATIRIM VE BAKIM GİDERLERİNİN İNCELENMESİ Harun Kemal ÖZTÜRK, Ağkırer GÜNGÖR PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ			
		12:10-12:30	DIKEY FRANCIS HES TAŞIYICI YATAK GEVŞEKLİĞİNİN TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ VE ARIZA GİDERİMİ Özgin YAKAR, Yusuf İHTİYAROĞLU, Onur YÜREK, Changir GÖKÇE PRÜFTECHNIK PROAKTİF BAKIM TEKNOLOJİLERİ, ENTEK ELEKTRİK ÜRETİMİ A.Ş.	KONAKLAMA İŞLETMELERİNDE BAKIM VE BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ Hande MUTLU ÖZTÜRK, Harun Kemal ÖZTÜRK PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	MEKANİK TESİSİSİNDE DİJİTALLEŞME, IOT Zerrin YÜCESAN		
	12:30-13:30	ÖĞLE YEMEĞİ (LUNCH)					
	12. Oturum (Session 12)	13:30-13:50	OTURUM BAŞKANI: Abdullah PARLAR KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ	OTURUM BAŞKANI: Faruk ALYAZ KONGRE SANAYİ DANIŞMANLAR KURULU ÜYESİ			
		13:50-14:10	BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDE KADIN PERVİN KANNAŞ KOÇAMAN ETİ GIDA A.Ş.	PLASTİK ENJEKSİYON KALİPLERİNDE BAKIM TAKİP SİSTEMİ Onur Ziya TAŞDEMİR VESTEL ELEKTRONİK SAN. VE TİC. A.Ş.	JENERATÖR SEÇİMİ VE BAKIMI		
		14:10-14:30	30 YILDA TÜRKİYE'DE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASININ GELDİĞİ KONUM, DURUM NASIL DAHA DA GELİŞTİRİLEBİLİR? R. Kublay KOŞE TOPAZ MAK.MÜH.MÜŞ.MÜM.VE TİC.LTD.ŞTİ	PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE YENİ NESİL BAKIM SİSTEMLERİ Onur BEĞEN VESTEL ELEKTRONİK SAN. VE TİC. A.Ş.	Yavuz İhsan ERMİŞ Aksa Jeneratör		
		14:30-14:50	KARLILIĞI ARTTIRMAK İÇİN GÜVENİLİRLİK ODAKLI BAKIM YÖNETİMİ Özan ÇAKITLI PRÜFTECHNIK TÜRKİYE	METAL PRES ÜRETİMDE AKILLI BAKIM UYGULAMALARI Onur Can OLGAÇ VESTEL ELEKTRONİK SAN. VE TİC. A.Ş.			
14:50-15:10	RİSK VE VARLIK YÖNETİMİ Ö. Ardağ KARAKADAĞ ADA KALİTE DANIŞMANLIK, MÜHENDİSLİK, EĞİTİM, GÖZETİM VE DENETİM	DOĞAL SOĞUTUCU OLARAK KARBONDİOKSİTİ KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE BAKIM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ Özge ALTUN, Kıvınc ASLANTAŞ EŞKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ, DANFOSS TÜRKİYE					
13. Oturum (Session 13)	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)						
	15:10-15:30	OTURUM BAŞKANI: Erkin PALAMUTÇU KONGRE-YÜRÜTME KURULU ÜYESİ	OTURUM BAŞKANI: Behiç AKKAN KONGRE YÜRÜTME KURULU ÜYESİ				
	15:30-15:50	CNC SİSTEMLERİNDE HASSASİYET, TEKRARLANILABİLİRLİK VE DOĞRULANMASI Yasemin ARİKAN, Şaban YURT TEJ TUSAŞ MOTOR SANAYİ	UÇAK BAKIMDAKİ PROBLEMLERİN TRIZ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ Olcay BAĞŞI, Nasir ÇORUH, Faruk ARAS, Nezih KAYA THY TEKNİK A.Ş., KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ				
	15:50-16:10	YEŞİL BİNALARDA MEKANİK SİSTEMLERİN COMMISSIONING SÜRECİNDE SİSTEM KULLANIM KILAVUZLARI Ahmet Berk KURTULUŞ, Ufuk YENİ, Murat ÖZCAN, Ümit YILDIRIM, Ertiğ DUBAN INCOMA MÜHENDİSLİK DANIŞMANLIK TİC. LTD. ŞTİ.	KULLANIMDAKİ YAĞIN ANALİZİ İLE MAKİNELERDEKİ ARIZALARIN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİ Cemal MERAN, Güngör AYDIN, Mert YIKICI, Gülşah YARIMCA, Cemal Gamze AYDIN, İsmail HIZ PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ - DENİZLİ ÇİMENTO				
16:10-16:30	DİJİTALLEŞEN DÜNYADA BAKIM TEKNOLOJİLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI Şahin KOBAN, Tolga SARAÇ AKKİM KİMYA SAN. VE TİC. A.Ş.	FANLARDA BALANSİZLİĞİN TİTREŞİM GENELİĞİNE VE ENERJİ SARFIYATINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ Cemal MERAN, Güngör AYDIN, Hasan BATAK, Ali Rıza YILMAZ, Ali AKPINAR, Ramazan DÜDÜKÇÜ PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ - DENİZLİ ÇİMENTO					
16:30-16:50	BİR PAKETLEME MAKİNESİNDE KULLANILAN AMBALAJ KEŞİCİ MEKANİZMANIN BAKIM SÜRESİNE ETKİSİ Yığırcan BALIKÇIOĞLU, Binur GÖREN KIRAL DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARINDA TAHRİBATISIZ MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ Sidem KÜÇÜKODACI KANER PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ					
16:50-18:00	KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ (COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)						
14. Oturum (Session 14)	SALON 1 KAPANIŞ OTURUMU						
ÜCRETLİ EĞİTİMLER							
	EĞİTİM ADI	EĞİTİMİ VEREN	EĞİTİM SÜRESİ	EĞİTİM ÜCRETİ			
1.	TEMEL HİDROLİK-PNOMATİK EĞİTİMİ	Çağla KILIÇASLAN Akışkan Gücü Derneği AKDER	3 GÜN (09:30-17:00)	300€+KDV			
2.	GENEL METROLOJİ VE KALİBRASYON EĞİTİMİ	Alper TORTOÇ MMO Kaimem Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezi	1 GÜN 27 EYLÜL 2019 (09:30-18:30)	200€+KDV			
3.	PERİYODİK KONTROL MUAYENE PERSONELİ TEMEL EĞİTİMİ	Özcan GÜLSÜM Makina Mühendisleri Odası	2 GÜN 27-28 EYLÜL 2019 (09:30-16:20)	410€+KDV			

ORGANİZASYON KURULU / ORGANIZING COMMITTEE

HAYDAR ŞAHİN	MERKEZ
BEDRİ TEKİN	MERKEZ
ÜMİT GALİP UNCU	ADANA ŞUBE
M. SERDAR ULU	ANKARA ŞUBE
İBRAHİM ATMACA	ANTALYA ŞUBE
UMUT KAHRAMAN	BURSA ŞUBE
İSMAİL ECE	DENİZLİ ŞUBE
RAMAZAN İNAN	DENİZLİ ŞUBE
UMUT CÜNEYT İYİOL	DENİZLİ ŞUBE
ÖZAY KARAGÖZ	DENİZLİ ŞUBE
PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK	DENİZLİ ŞUBE
MÜNNA Mİ ÖZYURT	DENİZLİ ŞUBE
OSMAN SARIHAN	DENİZLİ ŞUBE
MUSTAFA TUNÇ	DENİZLİ ŞUBE
SEMAYİ YAMAN	DENİZLİ ŞUBE
SAİT BAHÇE	DİYARBAKIR ŞUBE
FATİH ÇİMEN	EDİRNE ŞUBE
NEZİH TOK	ESKİŞEHİR ŞUBE
SEYFETTİN AVCI	İSTANBUL ŞUBE
İLKİN BOZ	İZMİR ŞUBE
ZİYA MURAT ÖZTÜRK	KAYSERİ ŞUBE
SERKAN DEMİR	KOCAELİ ŞUBE
ALİ AYDEMİR	KONYA ŞUBE
AKIN KILINÇ	MERSİN ŞUBE
UMUT GÖKMEN AKKUŞ	SAMSUN ŞUBE
METİN BIÇAKÇI	TRABZON ŞUBE
MELİH BAŞÖREN	ZONGULDAK ŞUBE

**YÜRÜTME KURULU
EXECUTIVE COMMITTEE**

BEHİÇ AKKAN
İLKER BİTİŞYILMAZ
BEHİCE ÇETİNKAYA DİLBAZ
CİHAN DELİGÖZ
ALİ EKİCİ
İSKENDER ERBİL
PROF.DR. AŞKİNER GÜNGÖR
DR. ÖĞR. ÜYESİ SİDEM KANER
OĞUZHAN KUTUCUOĞLU
ARTUNÇ LEBEOĞLU
PROF.DR. CEMAL MERAN
PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK
ALİ PALA
ERKİN PALAMUTÇU
DOÇ.DR. OLCAY POLAT
MEHMET SARICA
MEHMET AKIF TULUKÇU
FATİH YAŞA

**DÜZENLEME KURULU
STEERING COMMITTEE**

PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK
PROF.DR. CEMAL MERAN
PROF.DR. AŞKİNER GÜNGÖR
DOÇ.DR. OLCAY POLAT
DR. ÖĞR. ÜYESİ SİDEM KANER

**KONGRE SEKRETERİ
CONGRESS SECRETARY**

ZEKAI GÖKSEL PARLAR

ULUSLARARASI AKADEMİK BİLİM KURULU / INTERNATIONAL ACADEMIC SCIENTIFIC COMMITTEE

PROF. DR. AYŞEGÜL AKDOĞAN EKER
PROF. DR. MIROSLAW BONEK
PROF. DR. ULRICH BRIEM
PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT
DR. KAMİL DELİKANLI
PROF. LESZEK A. DOBRZANSKI
DR. FATİH DÖKME
PROF. DR. ERTUĞRUL DURAK
PROF. DR. INGO EHRlich
PROF. DR. BÜLENT EKER
PROF. DR. ALPER GÜLŞÖZ
PROF. DR. AŞKİNER GÜNGÖR
DR. FATİH GÜVEN
PROF. SERGEJ HLOCH
PROF. DR. JOACHIM HAMMER
PROF. DR. RASİM KARABACAK
PROF. DR. TAHİR HİKMET KARAKOÇ
DOÇ. DR. MELİH CEMAL KUŞHAN
PROF. DR. CEMAL MERAN
DR. ÜMİT ÖNEN N.
PROF. DR. HİKMET RENDE
PROF. DR. BOZO SMOLJAN
PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU
PROF. DR. WOLFRAM WÖRNER
PROF. DR. KENAN YAKUT

Yıldız Teknik Üniversitesi, TR
Silesian University of Technology, PL
Ostbayerische Technische Hochschule, D
Pamukkale Üniversitesi, TR
Süleyman Demirel Üniversitesi, TR
Medical and Dental Engineering Centre for Research, Design and Production, ASKLEPIOS, PL
Soda Sanayi A.Ş., TR
Süleyman Demirel Üniversitesi, TR
Ostbayerische Technische Hochschule, D
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, TR
Pamukkale Üniversitesi, TR
Pamukkale Üniversitesi, TR
Akdeniz Üniversitesi, TR
Technical University Of Koşice, SK
Ostbayerische Technische Hochschule, D
Pamukkale Üniversitesi, TR
Eskişehir Teknik Üniversitesi, TR
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, TR
Pamukkale Üniversitesi, TR
Erbakan Üniversitesi, TR
Akdeniz Üniversitesi, TR
Politehnika Pula, HR
Pamukkale Üniversitesi, TR
Ostbayerische Technische Hochschule, D
Atatürk Üniversitesi, TR

SANAYİ DANIŞMA KURULU / INDUSTRIAL ADVISORY COMMITTEE

FARUK ALYAZ
HASAN HÜSEYİN CİHAN
İBRAHİM HAMDİ ÇAĞLAYAN
AHMET MURAT ÇAMKORU
FİKRET ÇARAL
EMRULLAH ÇAYIR
NECMETTİN ÇETİNKÖPRÜLÜ
HASAN ÇİZMECİ
AHMET DEMİR
TEFİK DEMİRÇALI
BÜLENT DEVECİ
HİLMİ DEVELİ
GÖKTAN DURAL
İSMAİL HAKKI GERELİOĞLU
TUNCAY GÜÇLÜ ELSAN
HÜSEYİN HADIMLI
ŞEREF HAZER
FARUK İNCEOĞLU
NAMİK İSTER
ADNAN KAÇAR
MÜJDAT KEÇECİ
BORA KİRAZLILAR
BAHATTİN KOCAALAN
HİLMİ KONYALIOĞLU
RIDVAN KUBİLAY KÖSE
SÜLEYMAN ONARAN
AHMET ORUÇ
EMRE ORHON
ÜNAL ÖZMURAL
ABDULLAH PARLAR
ÖNDER SARAÇOĞLU
AHMET ÜMİT SERÇE
AHMET TAŞ
FATİH TEMİZSOY
CAFER ÜNLÜ
SİNAN VASFİ
HASAN VENEDİKOĞLU
NUSRET YAĞCIOĞLU
SAFFET YAYLAMIŞ

Şahlan Hidrolik Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Ormancılar İş Makinaları Ltd. Şti.
Vibratek Mühendislik Ve Mümessillik Ltd Sti
Eti Gıda A.Ş.

Erdoğan Metal A.Ş.

Grundfos Pompa San. ve Tic. Ltd. Şti.
Demateknik İnşaat Müh. Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.
Ege Endüstri ve Ticaret A.Ş.
Türkiye Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler, Serbest Meslek Mensupları ve Yöneticiler Vakfı

Germak Mühendislik Endüstriyel Malzeme Sanayi Ve Ticaret A.Ş.
Hammadde Sanayii A.Ş.
RTİ Mühendislik İnş. Tes. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Entaş Endüstri Tesisleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
Denizli Bagalit Kalıp San. ve Tic. A.Ş.
Renault - Mais Motorlu Araçlar İmal ve Satış A.Ş.
Hidrobarsan Mermer Makinaları San ve Tic. Ltd. Şti.
Denizli Sanayi Odası
Rcm Bakım Danışmanlık Hizmetleri

Konmak Konyalılar Makina İmalatı San. ve Tic. A.Ş.
Topaz Makina Müh. Müş. Müm. Tic. Ltd. Şti.
Cey Analiz Enerji Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti.
Assan Panel Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Pro-Plan Proje Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti.
Türk Pirelli Lastikleri A.Ş.
Akışkan Gücü Derneği
Lider Plastik San. ve Tic. A.Ş.
Türk Tuborg Bira ve Malt Sanayi A.Ş.
Denizli Organize Sanayi Bölgesi
Pınar Süt Mamülleri San. A.Ş.
Maxval Buhar Teknolojileri Ve Vana San. Tic. A.Ş.
Biolab Lab. Cihaz. San. Tic. Ltd. Şti.

Tse Denizli Bölge Müdürlüğü
Fulyağ Petrol A.Ş.



DESTEK VEREN KURULUŞLAR SUPPORTING ORGANIZATIONS



Merkezefendi Belediyesi
Merkezefendi Municipality



Pamukkale Belediyesi
Pamukkale Municipality



Denizli Sanayi Odası
Denizli Chamber of Industry



Denizli Ticaret Odası
Denizli Chamber of Commerce



Denizli İhracatçılar Birliği
Denizli Exporters Union



Denizli Organize Sanayi Bölgesi
Denizli Organized Industrial Zone



Pamukkale Üniversitesi
Pamukkale University



Dokuz Eylül Üniversitesi
Dokuz Eylül University



Gazi Üniversitesi
Gazi University



Maltepe Üniversitesi
Maltepe University



19 Mayıs Üniversitesi
19 Mayıs University



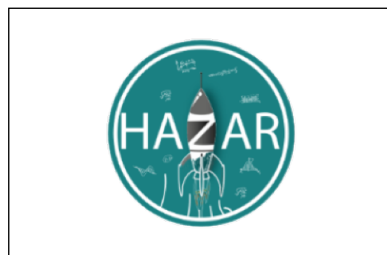
AKDER

Akışkan Gücü Derneği
Fluid Power Association



Ardahan Üniversitesi
Ardahan University

SERĞİYE KATILAN FİRMALAR EXHIBITION COMPANIES





SERĞİYE KATILAN FİRMALAR EXHIBITION COMPANIES

HİDRO EGE
HİDROLİK & PNÖMATİK

hidropar
İZMİR

HT
HİDROTEKNİK

İNÇİ ENERJİ

magmaweld™



MMO KALMEM

Kalibrasyon Laboratuvarı ve
Metroloji Eğitim Merkezi

**MARAY
MAKİNA**
MÜHENDİSLİK

MEGA RULMAN
Rulman ve Endüstri Ürünleri

OTORUL

DP
PRO-PLAN

db PRÜFTECHNIK

SARMAK
KOMPRESÖR + MÜHENDİSLİK

SOCAR | **Petkim**

venKAVA®
TLV® Türkiye Genel
Distribütörü
Buhar Sistem Teknolojileri

YAVUZ TİGARET
Endüstriyel Ürünler Limited Şirketi

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / PAPER TITLES**SAYFA / PAGE**

30 YILDA TÜRKİYE'DE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASININ GELDİĞİ KONUM DURUM NASIL DAHA DA GELİŞTİRİLEBİLİR?, R.Kubilay Köse, TR	19
AĞIR İŞ MAKİNALARINDAKİ GÜVENİRLİK MÜHENDİSİNİN AŞINTI VE KAYNAK İŞLERİNDEKİ ÖNEMİ, Halil Aslan, Halil Tayan, Rıdvan Veziroğlu, TR	33
AĞIR İŞ MAKİNALARINDAKİ GÜVENİRLİK MÜHENDİSLİĞİ, Halil Aslan, Halil Tayan, Rıdvan Veziroğlu, TR	43
AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE YAĞ ANALİZİ İLE ARIZA TESPİTİNİN BAKIM PLANLAMASI ÜZERİNE ETKİSİ, Halil Aslan, Halil Tayan, Rıdvan Veziroğlu, TR	51
ARAZİYE KURULAN GES TESİSİNDE UYGULANAN ETKİN BAKIM YÖNTEMLERİ, Ali Pala, TR	59
AUTOMATICALLY INSPECTION OF WIRE ROPES, Ulrich Briem, D	65
BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDE KADIN, Pervin Kaynaş Kocaman, TR	77
BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARINDA TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ, Sidem Kaner, TR	81
BAKIM UYGULAMALARINDA ROBOTLARIN YARDIMCI EKİPMAN OLARAK KULLANILMASI, Sezcan Yılmaz, TR	93
BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİNİN KURULUŞLARIN PERFORMANSINA ETKİLERİ, Emrullah Çayır, TR	101
BİR PAKETLEME MAKİNESİNDE KULLANILAN AMBALAJ KESİCİ MEKANİZMANIN İYİLEŞTİRİLMESİ, Yiğitcan Balıkcıoğlu, Prof. Dr. Binnur Gören Kırıl, TR	111
BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KRİTİK DOKUMA MAKİNESİNİN GÜVENİLİRLİK TAYİNİ, Mustafa Çörekcioglu, Onur Emre Kundakçı, Halil Akkaya, Emel Ercan, Aslı Özmen Selçuk, Prof. Dr. Aşkın Güngör, TR	119
BİR TEKSTİL İŞLETMESİ BOYAHANE BÖLÜMÜNDE KRİTİK MAKİNELERİN ANALİZİ VE BAKIM PLANI ÖNERİSİ, Sıla Temel, Didem Türkmen, Onur Emre Kundakçı, Aşkın Güngör, TR	127
CIVATA BAĞLANTILARININ BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDEKİ YERİ VE ÖNEMİ, Dr. Fatih Güven	139
CNC SİSTEMLERİNDE HASSASİYET, TEKRARLANILABİLİRLİK VE DOĞRULANMASI, Yasemin Arıkan, Şaban Yurt, TR	145
ÇOK KADEMELİ BİR DİŞLİ KUTUSUNDA KIRIK DİŞ ARIZASININ TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ, Özgün Yakar, Yusuf İhtiyaroğlu, Onur Yürek, Barış Efendi, Zafer Ömer Günindi, TR	153
DİJİTALLEŞEN DÜNYADA BAKIM TEKNOLOJİLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI, Şahin Koban, Tolga Saraç, TR	161
DİKEY FRANCİS HES TAŞIYICI YATAK GEVŞEKLİĞİNİN TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ VE ARIZA GİDERİMİ, Özgün Yakar, Yusuf İhtiyaroğlu, Onur Yürek, Barış Efendi, Cihangir Gökçe, TR	167

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / PAPER TITLES	SAYFA / PAGE
DOĞAL SOĞUTUCU OLARAK KARBONDİOKSİT KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE BAKIM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ, Özge Altun, Kıvanç Aslantaş, TR	177
DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE SİVİL HAVACILIK BAKIM ONARIM VE YENİLEME (BOY) FAALİYETLERİ, Selim Gürgeç, Mehmet Alper Sofuoğlu, Fatih Hayati Çakır, Melih Cemal Kuşhan, TR	185
ELECTRODEİYONİZASYON YÖNTEMİ İLE SAF SU ÜRETİM TEKNOLOJİSİ, Erdal Ertürk, TR	193
ENDÜSTRİ 4.0 VE BAKIM ÜZERİNE ETKİLERİ, Bülent Çelebi, TR	199
ERKEN EKİPMAN ÇALIŞMALARININ BAKIM MALİYETLERİNE ETKİSİ, Yusuf Sırrı Erkuş, TR	209
ETKİN BİR BAKIM YÖNETİM SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI İÇİN KRİTİK NOKTALAR, Ali Pala, TR	217
ETKİN VARLIK YÖNETİM STRATEJİSİ İLE KARLILIĞIN ARTTIRILMASI, Ozan Çakıtlı, TR	221
EVALUATION OF ALTERNATIVE MAINTENANCE STRATEGIES OF WIND FARMS USING A HYBRID MULTI-CRITERIA DECISION MAKING (MCDM) FRAMEWORK: A CASE STUDY Res. Asst. Ozan Capraz, Prof. Dr. Aşkın Güngör, Assoc. Prof. Dr. Olcay Polat, Prof. Dr. Harun Kemal Öztürk, TR	229
FANDA MEYDANA GELEN DOĞAL FREKANSIN TESPİTİ VE DOĞAL FREKANS BÖLGESİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ, Özgün Yakar, Yusuf İhtiyaroglu, Onur Yürek, Barış Efendi, Hakan Türkmen, TR	237
FANLARDA BALANSSIZLIĞIN TİTREŞİM GENLİĞİNE VE ENERJİ SARFIYATINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ, Cemal Meran, Güngör Aydın, Hasan Batar, Ali Rıza Yılmaz, Ali Akpınar, Ramazan Dündükçü, TR	247
FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE FOTOVOLTAİK MODÜL BAKIM PROSEDÜRLERİ, Engin Çetin, TR	255
FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE İZOLASYON HATASININ TESPİTİNE YÖNELİK MERKEZİ İZLEME VE KONTROL ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ, Engin Çetin, TR	263
FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE TOPRAKLAMA VE YILDIRIMA KARŞI KORUMA SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROLÜ, Engin Çetin, TR	269
GIDA ENDÜSTRİSİNDE GÜVENİLİRLİK BAZLI BAKIM UYGULAMALARI, Oğuzhan Yavuz, Ersin Doğan, TR	301
HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KURALCI BAKIM YAKLAŞIMI, Necmi Kara, TR	311
HAZIRDA BULUNURLUK HEDEFİNE GÖRE BİR ASKERİ ARACIN ALT SİSTEMLERİ İÇİN ORTALAMA ONARIM SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ, Bayram Kalender, TR	317
HİDROELEKTRİK SANTRALLARDA GENERATÖR HAVA ARALIĞI İZLEME SİSTEMLERİ, B. Emre Orhon, TR	323
IMPORTANCE OF FEEDBACKS ON THE RELIABILITY OF MILITARY AIRCRAFT SYSTEMS' AIRWORTHINESS, Akif Taşkın, Tolga Taşkıran, TR	333

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / PAPER TITLES	SAYFA / PAGE
INDUSTRIAL APPLICATION OF LASER SURFACE ENGINEERING, Bonek Mirosław, PL	341
İŞ MODELLEME VE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ İLE BAKIM YÖNETİM SİSTEM TASARIMI Leyla Özgür Polat, Aşkın Güngör, TR	351
KARLILIĞI ARTTIRMAK İÇİN GÜVENİLİRLİK ODAKLI BAKIM YÖNETİMİ, Ozan Çakıtlı, TR	357
KARMAŞIK SİSTEMLERİN BAKIM KARARLARINDA OLASILIKLI GRAFİKSEL MODELLERİN KULLANIMI, Demet Özgür Ünlüakın, Busenur Türkali, TR	371
KESTİRİMCİ YAZILIM BAKIMI, Cengiz Vardar, TR	383
KİRLİLİK KONTROLÜNÜN TOPLAM ÜRETKEN BAKIMA ETKİSİ, Halil Tayan, Halil Aslan, Rıdvan Veziroğlu, TR	393
KONAKLAMA İŞLETMELERİNDE BAKIM VE BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ Hande Mutlu Öztürk, Harun Kemal Öztürk, TR	401
KULLANIMDAKİ YAĞIN ANALİZİ İLE MAKİNELERDEKİ ARIZALARIN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİ Cemal Meran, Güngör Aydın, Mert Yıkıcı, Gülşah Yarımca, Cennet Gamze Aydın, İsmail Hız, TR	411
MAINTENANCE 4.0 FROM DATA AQUISITION TO DECISION-MAKING Prof. Dr. Luca Fumagalli, I	421
MAINTENANCE 4.0 TO FULFIL THE DEMANDS OF INDUSTRY 4.0 AND FACTORY OF THE FUTURE, Basim Al-Najjar, Hatem Algabroun, Mikael Jonsson, S	451
MANİSA FRANKE ÜRETİM TESİSİNDE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (TEE) SİSTEMİNİN MAKİNE, Onur Özgen, Göksel Kumral, Rıdvan Köksal, TR	465
MERDANELİ BRİKETLEME PRES TASARIMININ İNCELENMESİ, Yük. Mak. Müh. Mehmet Alper Demiral, Prof. Dr. İsmet Çelik, TR	471
MTTR ANALİZİ VE ONARIM SÜRESİ AZALTMA, Yener Can Canarslan, TR	479
ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİM JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNE YÖNELİK BAKIM SÜREÇLERİ, Mahmut Hekim, Engin Çetin, Hasan Özden, TR	489
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MODEL BAZLI ARIZA ANALİZ SİSTEMİNİN KULLANILMASI VE KAZANIMLARI, Cüneyt Uçak, Cumali Özel, Dr. Ömer Eker, Prof. Dr. Ahmet Duyar, TR	503
PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BAKIM TAKİP SİSTEMİ, Onur Ziya Taşdemir, TR	515
PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNALARINDA YENİ NESİL BAKIM SİSTEMLERİ, Onur Beğen, TR	519
RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY, ECONOMY AND MAINTENANCE, Leart Sahatqija, Ediz Muhamedi, Harun Kemal Öztürk, RKS	523
RİSK TABANLI BAKIM: GÜVENİLİR TESİSLER İÇİN RİSKE DAYALI BAKIM YAKLAŞIMI, O. Andaç Kara, TR	531
RİSK VE VARLIK YÖNETİMİ, O. Andaç Kara, TR	551

ROLE OF MATERIALS DESIGN IN MAINTENANCE ENGINEERING IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 IDEA, Prof. Leszek A. Dobrzański, PL	559
RULMAN ÖMÜRLERİNDE GÜVENİLİRLİK VE BAKIM İLİŞKİSİ, Prof. Dr. Tezcan Şekercioğlu, TR	569
RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE İŞLETME VE BAKIM, Harun Kemal Öztürk, TR	575
SANTRİFUJ POMPADA DÜŞÜK HERTZ'İN ETKİSİ VE ÇÖZÜMÜ, Selçuk Karabay, TR	587
SEÇİLMİŞ ÜLKELERİN ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEKİ BAKIM VE YATIRIM GİDERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI, Harun Kemal Öztürk, Aşkiner Güngör, TR	597
SICAK HAVA BALONLARINDA BAKIM PROSEDÜRLERİ, Haşim Kafalı, Göksel Keskin, TR	605
THE COMPARISON OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN ESTIMATION OF REMAINING USEFUL LIFE, Erkan Caner Ozkat, ENG	613
UÇAK BAKIMDAKİ PROBLEMLERİN TRIZ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ, Olçay Bakşi, Nasır Çoruh, Faruk Aras, Nezh Kaya, TR	621
YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZİ, Emrah Erdoğan, TR	629
YEŞİL BİNALARDA MEKANİK SİSTEMLERİN COMMISSIONING SÜRECİNDE SİSTEM KULLANIM KILAVUZLARI, Berk Kurtuluş, Ufuk Yeni, Murat Özcan, Ümit Yıldırım, Erdinç Duran, TR	637

Bakım konusu insanlık tarihi kadar eskilere dayanmaktadır. İnsanlık tarihinin bütün aşamalarında bakım önemli olmuştur. Çok çeşitli cihaz, makina, teçhizat, alet ve ekipmanın her an kullanımına hazır, arızasız durumda bulunması ancak bakım ile mümkün olabilmektedir.

Makina Mühendisleri Odasının başlattığı bakım konusundaki bilinçlenme çabaları 2003-2009 yılları arasında Denizli, 2011 yılında Kocaeli, 2013 yılında Sakarya ve son olarak da 2015 yılında Eskişehir`de düzenlenmiş olduğu Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergi faaliyetleriyle ivme kazanmıştır. Bakım kongresi 2017 yılında yeniden ulusal kongre ve sergi olarak Denizli`de gerçekleştirilmiştir. 2019 yılında ise Bakım Kongresi ve Sergisi Makina Mühendisleri Odası Denizli Şubesi tarafından ilk kez uluslararası olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, bakım gereksinimlerinin karşılanması için gelişmekte olan ülkeler; Gayri Safi Yurtiçi Hasıllarının yüzde 1,5 ile yüzde 3,3'ü arasında bir harcama yapmaktadırlar. Ancak gelişmiş ülkelerde bu oran %1'ler veya altına kadar düşmektedir.

Bakım daha tasarım aşamasından başlayarak ele alınması gereken bir konudur. Bu nedenle tasarım aşamasından başlayarak imalat ve işletme süreçlerinde de bakım konusunun bir mühendislik problemi olarak ele alınması gerektiği düşüncesi ile IX. Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisinin ana temasını "Teknolojik Dönüşüm ve Bakım Mühendisliği" olarak belirlemiştir.

Kongre, çağdaş bilgi ve teknolojinin etkin şekilde tartışıldığı bir platform olma niteliğinin yanı sıra Bakım Mühendisliği Meslek Disiplininin gelişmesi ve kurumsallaşması yönündeki çalışmalara da ivme kazandırma potansiyeline sahiptir. Kongrede yeni teknolojiler ve uygulamalar konusundaki çalışmalar sunulmuş, teknolojik yeniliklerin ve çağdaş uygulamaların ülkemize kazandırılması konusunda çok önemli bir aşama kat edilmiştir.

3 gün süren kongre 70 adet bildiri sunulmuş ve tartışılmış, konularında uzman kişiler tarafından 17 adet seminer, 3 adet kurs ve 1 adet panel gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 32 adet firmaya ait ürün, hizmet ve faaliyetler de, sergi salonunda sergilenmiştir.

Kongrenin gerçekleştirilmesinde birçok kurum ve kuruluş destek olmuştur. Pamukkale Belediyesi, Merkezefendi Belediyesi, Denizli Sanayi Odası, Denizli Ticaret Odası, Denizli İhracatçılar Birliği, Denizli Organize Sanayi Bölgesinin yanı sıra, Pamukkale üniversitesi Dokuz Eylül Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, 19 Mayıs Üniversitesi, Ardahan Üniversitesi ve Maltepe Üniversitesi de destekleyen kuruluşlar arasında yer almıştır. Ayrıca birçok firma kongreye destek olmuş ve sergi açmıştır

Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisinin, dördüncü sanayi devriminde bakım mühendisliği şartlarının, Teknolojik Dönüşüm ve Bakım Mühendisliği çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu kongrenin en önemli çıktısı bakım konusunda eğitimin çok önemi olduğu konusundaki büyük ölçüde görüş birliğine varılmış olmasıdır. Bu, Makina Mühendisleri Odası'na bakım alanında eğitimler düzenlenmesi ve Bakım Mühendisliği alanında yetkilendirme yapılması Kongrenin çıktıları arasında yer almaktadır.

TMMOB
Makina Mühendisleri Odası
Denizli Şubesi Yönetim Kurulu

The subject of maintenance is as old as human history. Maintenance has been important in all stages of human history. It is only possible to keep a wide range of devices, machines, equipment, tools and equipment in a ready-to-use condition at any time with maintenance.

The maintenance efforts initiated by the Chamber of Mechanical Engineers have gained momentum with the Maintenance Technologies Congress and Exhibition activities organized in Denizli between 2003-2009, Kocaeli in 2011, Sakarya in 2013 and finally in Eskişehir in 2015. Maintenance Congress was held in Denizli again as a national congress and exhibition in 2017. In 2019, the Maintenance Congress and Exhibition was held internationally for the first time by the Denizli Branch of the Chamber of Mechanical Engineers.

Studies have shown that developing countries spend between 1.5% and 3.3% of their Gross Domestic Product to meet the needs of maintenance. However, in developed countries, this rate decreases to 1% or below.

Maintenance is an issue that needs to be addressed starting from the design stage. For this reason, starting from the design stage, manufacturing and operation processes should be dealt with as an engineering problem. The main theme of the International Maintenance Technologies Congress and Exhibition is “Technological Transformation and Maintenance Engineering”.

In addition to being a platform where modern knowledge and technology is discussed effectively, the Congress has the potential to accelerate the studies on the development and institutionalization of Maintenance Engineering Professional Discipline. In the congress, studies on new technologies and applications were presented and a very important step has been taken in bringing technological innovations and modern applications to Turkey.

The congress lasted 3 days; 70 papers were presented and discussed, 17 seminars were given by experts, 3 courses and 1 panel were held. In addition, products, services and activities of 32 companies were exhibited in the exhibition hall.

Many institutions and organizations supported the realization of the congress. Pamukkale Municipality, Merkezefendi Municipality, Denizli Chamber of Industry, Denizli Chamber of Commerce, Denizli Exporters Union, Denizli Organized Industrial Zone, Pamukkale University Dokuz Eylül University, Gazi University, 19 Mayıs University, Ardahan University and Maltepe University were among the supporting organizations.

In addition, many companies supported the congress and opened an exhibition International Maintenance Technologies Congress and Exhibition, the fourth industrial revolution in the conditions of maintenance engineering, Technological Transformation and Maintenance Engineering was held within the framework.

Uctea
Chamber Of Mechanical Engineers
Denizli Branch Executive Board

30 YILDA TÜRKİYE’DE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASININ GELDİĞİ KONUM. DURUM NASIL DAHA DA GELİŞTİRİLEBİLİR?

¹R.Kubilay Köse

¹Makina Müh. B.Sc.ODTÜ 1985
TOPAZ Mak.Müh.Müş.Müm.ve Tic.Ltd.Şti Şirket Müdürü
450 cad.87/1 Soysal Apt. Birlik Mah. Kırkkonaklar, Çankaya – ANKARA
kubilay@topazmakina.com.tr

Özet

21-23 1988 tarihlerinde ODTÜ’de düzenlenen 3.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresinde sunduğum “Bilgisayar Destekli KESTİRİMCİ BAKIM Planlaması” başlıklı bildirden bugüne 30 yıl geçmiştir. İnternet ve cep telefonu daha yokken yapılamaya çalışılan işler, geçen süreçte dijital teknoloji ile evrimleşmiştir.

Bu Bildirinin amacı, geçen 30 yılı değerlendirip gelecekte neler yapılabilir, durum nasıl daha geliştirilebilir konusunda gözlemler aktarmak olacaktır.

Günümüzde Endüstri-4 ile IIoT Bulut üzerinden endüstriyel nesnelerin internet kullanarak kablosuz veri transferi, Mobil Teknolojilerin gelişmesi, 3 boyutlu artırılmış sanal gerçeklik gözlükleri, uç noktadaki eleman eğitimi ihtiyacını azaltmakta, doğru aktivitenin doğru zamanda yapılmasına imkan vermektedir. Kestirimci Bakım içinde kullanılan ve eğitilmiş elemana ihtiyaç duyan analizler için gerekli bilgi açığı Dijital Dönüşüm ile kapanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, Bakım Onarım 4.0, Güvenilirlik Mühendisi, Bakım Mühendisi

Giriş

Dünyada yapılan son araştırmalar, “En İyiiler – Top Quartile” İşletmeler arasında yapılan kıyaslamalarda, iş neticelerinde çok önemli iyileştirme fırsatları olduğunu göstermektedir. Rekabet ortamında Endüstri 4 kapsamında Dijital Dönüşüme uyum sağlayacak firmalar ayakta kalabilecektir. Çalışanlar işletmesinin bu uyumu sağlaması yönünde girişimlerde bulunmalıdır.

Dünyada düşük işletme performansı nedeni ile, her yıl şirketlerin bir Trilyon Dolar civarında kaybı olduğu düşünülmektedir. Ülkemize düşen payının da oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



- İş Emniyetinde 3 kez daha iş kazası
- İşletim maliyetlerinde %20 düşüş, Üretkenlikte %10 artış
- Emre Amadelikte %4 artış, Bakım Maliyetlerinde yarı yarıya azalma
- Emisyonlarda %30 azalma, %30 daha az enerji tüketimi

Bu konuda Dijital Transformasyon Sistemleri üreten Global Firmaların sunduğu hedeflerdir. [4]

1. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance) Nedir?

Kestirimci Bakım, Makinalar üzerinden, periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makina sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir.

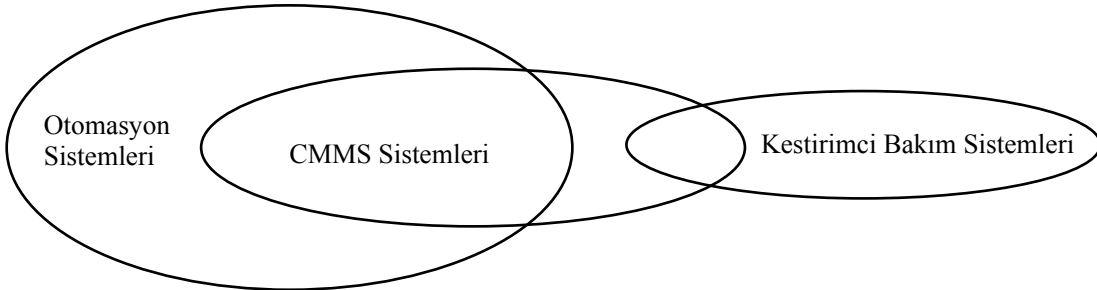
Sistem, istatistiksel yöntemlerin bakım amacı ile kullanımı düşüncesiyle geliştirilmiştir. Mühendisliğin en önemli özelliği araştırmacılığdır. Bu disiplinle, farklı branşların ürettiği kuramları uygulamaya sokar ve onu günlük yaşamın bir parçası yapar. İşletmede, bakım faaliyetleriyle sorumlu mühendis, karşılaştığı sorunların istatistiksel karşılığının arayışı içinde değilse, sürekli aynı sorunlarla karşılaşma durumunda kalacaktır.

Kestirimci Bakım yaklaşımının temeli; makinaları durdurmadan, tahribatsız, üretim koşullarında, sağlıkları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimini izlemektir. Makina sağlığı hakkındaki en kapsamlı veriye titreşim analizi ile ulaşılır. Dönen makinalar, arıza moduna girdiğinde titrer. Bu nedenle Titreşim verilerinin izlenmesi, grafiklerinin analizi Kestirimci Bakım'ın ana teması olmuştur. [1-2-3]

2. Kestirimci Bakım Kadrosunun İşletmedeki Konumu Ve Yaşanan Sorunlar

1980'lerde kullanılmaya başlanan "Kestirimci Bakım – Predictive Maintenance" yaklaşımı uzun yıllar Bakım Onarım grupları içinde dar kadro ile uygulama alanı buldu. Bu amaçla kullanılan Ölçü Analiz Cihazlarına, Otomasyon ve IT Bilgi İşlem grupları uzun yıllar yakınlık göstermediler. Bu gruplar tarafından ilgi duyulan SAP gibi CMMS Bilgisayar destekli yönetim sistemlerine Milyonlar harcanırken, bakım onarım gruplarının makina sağlığını belirlemek ihtiyaç duyduğu analiz sistemleri temininde, genelde yetersiz ve ucuz olanı tercihine gidildiğini gözlemliyoruz. İhtiyaç duyulan bütçe çok az işletme tarafından ayrılabilir. Buradaki temel engelin, Kestirimci Bakım için kullanılan Analiz Cihazlarının Portatif olması, verilerin değerlendirilmesi için konuda uzman analizci ihtiyacı ve eğitim eksikliği olduğunu görüyoruz.

Otomasyon grubu tarafından izlenen sıcaklık, basınç, seviye, akış gibi parametreler DCS-Scada Otomasyon sistemlerinde 4-20 mA sensörler kullanılarak ölçülebilirken, aynı düşüncede kullanılan Makine Sağlığı işareti veren Vibrasyon Sensörlerinin ürettiği rakamsal veriler sistemi durdurmadan/ trip ettirmekten öteye gidemedi. Neden trip edildi? Neden okunan vibrasyon değerleri yükseldi? Hangi Arıza yükselişin kaynağı? Balanssızlık mı / Eksen Kaçıklığı mı / Gevşeklik mi / Rulman mı / Dişli mi / Elektriksel Kaynaklı mı / Rezonans mı / Kritik Devir mi / Kavitasyon mu / Yağsızlık mı / Protection-Koruma sistemi olmaktan öteye gidemeyen mevcut sistemlerden öğrenilemedi.



Şekil 1 : Endüstri-4 öncesi İşletme içinde Kestirimci Bakım Sistemlerinin Konumu

Kestirimci Bakım mantığında, makine arızaları hakkında veri üretecek teknolojiler ölçüm analiz teknolojileri gelişirken, Bakım Onarım Müdürlükleri içinde ayrı ayrı gruplar oluşmuş, kimi ekip vibrasyon ölçü analizi yaparken diğer bir ekip yağ analizi ile uğraşmış, bir diğeri termografi ve ultrasonik teknolojilerini kullanmıştır. Bu gruplar arasında koordinasyon bozuklukları ortaya çıkmış, tıpkı bir yol asfalt yapıldıktan sonra kanalizasyon için tekrar kazılması benzeri durumlar oluşmuştur. Durum dünya genelinde benzer sorunlar üretmiştir.

Ayrıca, makine sağlığına yönelik teknolojileri, işletme içinde hangi birime bağlı elemanların kullanacağını belirlemesi sorun olmuştur. Kimi işletmelerde kadro Bakım Onarım Müdürlüğüne bağlı çalıştırılmaktadır. Bu tercihte belirlenen bazı veriler göz ardı edilerek dikkate alınmamakta ve önceden analizler ile belirlenmiş olmasına rağmen bu bilgi ört bas edilerek sanki karşılaşılan arıza birden bire ortaya çıktı gibi işletme içinde yansımalar gerçekleşmektedir. Bu nedenle Makina Sağlığı verileri ile çalışan Kestirimci Bakım kadrosunun direkt Teknik Müdüre bağlanması önerilmektedir. Bu yaklaşım, ülkelerdeki istihbarat teşkilatlarının çalışma prensibi ile özdeşlik taşır. Periyodik izlenen verilerin analiz sonucu açılacak iş taleplerinin, Teknik Müdür kanalı ile ilgili birime eriştirilmesi ve yapılan iş sonucunun değerlendirilmesi, işletme performansında artış sağlamaktadır.

Bu durumu çözmek için, bazı işletmelerde Bakım Onarım Müdürlüğü dışında Planlı Bakım Müdürlükleri oluşturulmuştur. Makine sağlığına yönelik ölçüm analiz yapan kadro bu gruba dahil edilmiştir. Bu müdürlük altında SAP – MAXIMO gibi CMMS Bakım Yönetim sistemlerine büyük yatırımlar yapılmış olması nedenleri ile alınan ölçüm verileri çoğunlukla arka planda kalmış Acil İş Emri formasyonunda sisteme girişler gerçekleşmiştir. Ekip tarafından belirlenen kritik devir gibi sonuçlar, frekans çeviricilerin kullanıldığı işletmelerde çoğunlukla dikkate alınmamaktadır.

[Bu konunun teknik detayına 8.Bakım Kongresinde sunduğum “Vibrasyon Analiz Teknolojisi “PeakVue Dairesel Dalgaformu” Grafiği ile Asenkron Motor Arızalarının Kaplin Ayırmadan Çalışma Şartlarında belirlenmesi” başlıklı bildirimden edinebilirsiniz.]

3. El İle Tutulan Veri Kaydından, Bilgisayar Ortamına Dijital Dönüşüm

1985-1990 yılları masa üstü bilgisayarların kullanıma girdiği dönemdir. Bu araç ile işletmelerde kartoteks üzerinden uygulanmaya çalışılan, inspektör tarafından makinalar başına giderek toplanan, makine sağlığı ile ilgili verilerin çizilen eğilim/trend grafikleri ile takibi, bilgisayarlar kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde halen aynı çalışmayı manuel girişlerle oluşturulan Excel tabloları ile yapmaya çalışan işletmeler görüyoruz. Bu uygulama boş yere harcanan zaman ve işçilik kaybına neden olmaktadır. Artık Veri Toplama Cihazları bilgisayarlara bağlanarak verilerden grafik üretimi otomatik yapılabilir.



Şekil 2: Makinalardan veri toplayan inspektör, bu verileri kartoteks düzeni ile kayıt altına alır.



Analog Ölçü Analiz cihazlarından Dijital Ölçü Analiz Cihazlarına geçiş, verilerin cihaz hafızasında tutularak kurulan bağlantı ile bilgisayarlara aktarımı Bakım Onarım Mühendislerinin büyük ilgisini çekmiştir. Analog cihazlar ile günler süren analizler ve verilerin kayıt altına alınması, bilgisayarlar aracılığı ile çok daha kısa sürede ve hatasız yapılabilir olmuştur. Makina arızalarının periyodik alınan ölçümlerin takibi ile uygulanan Kestirimci Bakım bu alt yapı üzerinde hızla gelişmiştir.



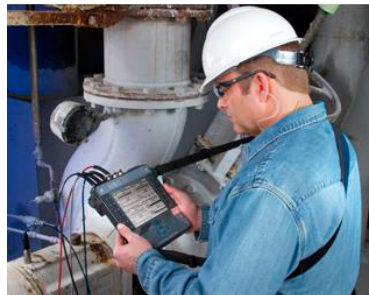
Şekil:3 1980'lerde kullanılan Analog Vibrasyon Ölçüm ve Analiz Cihaz Örnekleri



Şekil 4: 1984'lerde kullanılmaya başlanan İlk Masa Üstü Kişisel Bilgisayarlardan IBM XT



Şekil 5: 1990'lar ile hızlı gelişim gösteren Dijital Vibrasyon Ölçü Analiz Cihazları



Şekil 6: Günümüzde cihazların geldiği seviye, Otonom Analiz teknikleri ile işlemleri kolaylaştırmıştır.



Şekil 7: Günümüzde Bilgisayarlar detaylı çapraz karşılaştırmalı grafik analizlerine imkan vermektedir.



Şekil 8: Endüstri 4 ile erişilen dijital dönüşüm, verileri avuç içine taşımıştır.

Not: Şekil 8’de yer alan uygulamadaki aplikasyonun demosunu Google Play Store’dan, “Plantweb Optics” başlığı altından yükleyebilirsiniz. “Demo View” ile uygulamayı görebilirsiniz (39 MB)

4. Bakım Onarım İçin Zaman Baskısı

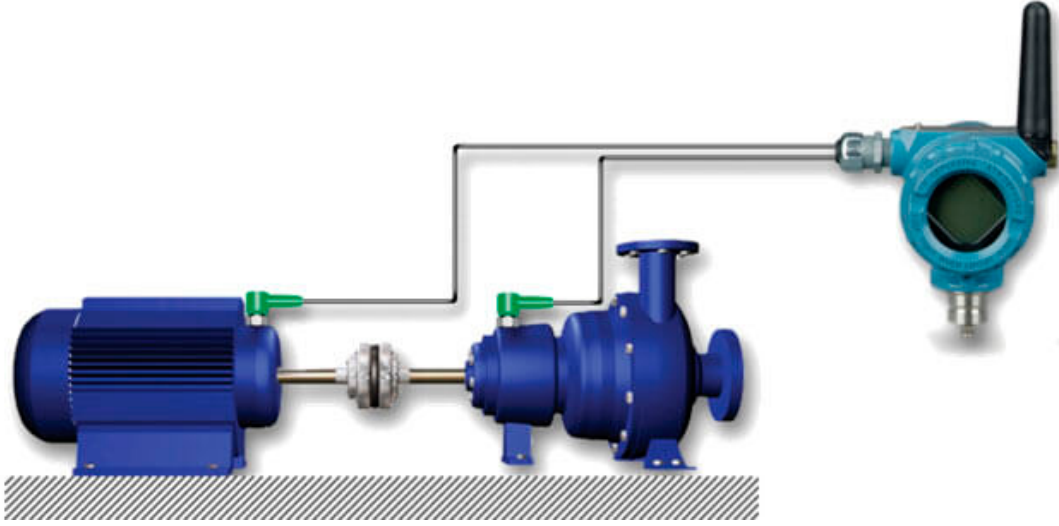
30 yıl öncesinde, fabrikalarda yaz aylarında yaklaşık bir ay duruş planlanır, işletme personeli tatile çıkardı. Duruş süresinin bir kısmında bakım onarım personeli arıza olasılığı olan yerleri onarır ve parça değişimi yapardı. Büyük çoğunlukla ne olur ne olmaz arıza çıkmasın diye, neredeyse tüm rulmanlar değiştirilirdi. Bu mantıkla maalesef ülkemizin sınırlı sermayesi heba oldu.

Bugün, artık eskiden olduğu gibi bir ay dur tatil yap, o süreçte bakımcılar bakım onarım yapsın metodu uygulanmıyor. Üretim yapılmadan geçen her bir dakika işletmeye zarar olarak yazılıyor. Rahat rahat geniş vakitte bakım onarım yapma süresi ve de kadrosu artık yok. Bakım Onarım kadroları daraldı. 100 kişinin görev yaptığı yerleri artık 10 kişi doldurmakta ve bu çalışanlara büyük bir baskı getirmektedir.

Bu baskının azaltılması için, işletmelerde neden Kestirimci Bakım Uygulanmalıdır? sorusunun cevabı; arıza gelişimlerinin önceden belirlenmesi, arıza büyümeden daha küçük bir kadro ile, gerekli parça ve elemanla çözülmesi olacaktır.

Gereksiz parça değişim harcaması ve duruş süresine tahammül olmadığı için artık yılda bir planlı rulman yenilenmesine gidilmemektedir. Kestirimci Bakım Sistemi uygulayan işletmelerde Rulmanlar cihazlar ile ölçülmekte, sağlığı bozulmakta olanlar belirlenmekte ve o bölgede uygun iş planı yapılarak kısa sürede duruş ile diğer bütün gerekli onarımlar gerçekleştirilmektedir. Yapılacak işin bilinmesi kadroların daha verimli yönetilmesini sağlayacaktır.

Gelişen teknoloji, kolay kurulabilen kablosuz sensörler ile hızlı sonuç alınmasına olanak vermektedir.



Şekil 9: Kablosuz veri aktaran Vibrasyon Analiz Sensörleri

5. Kestirimci Bakım Uygulamasına Mühendis İlgisinin Zamanla Azalması

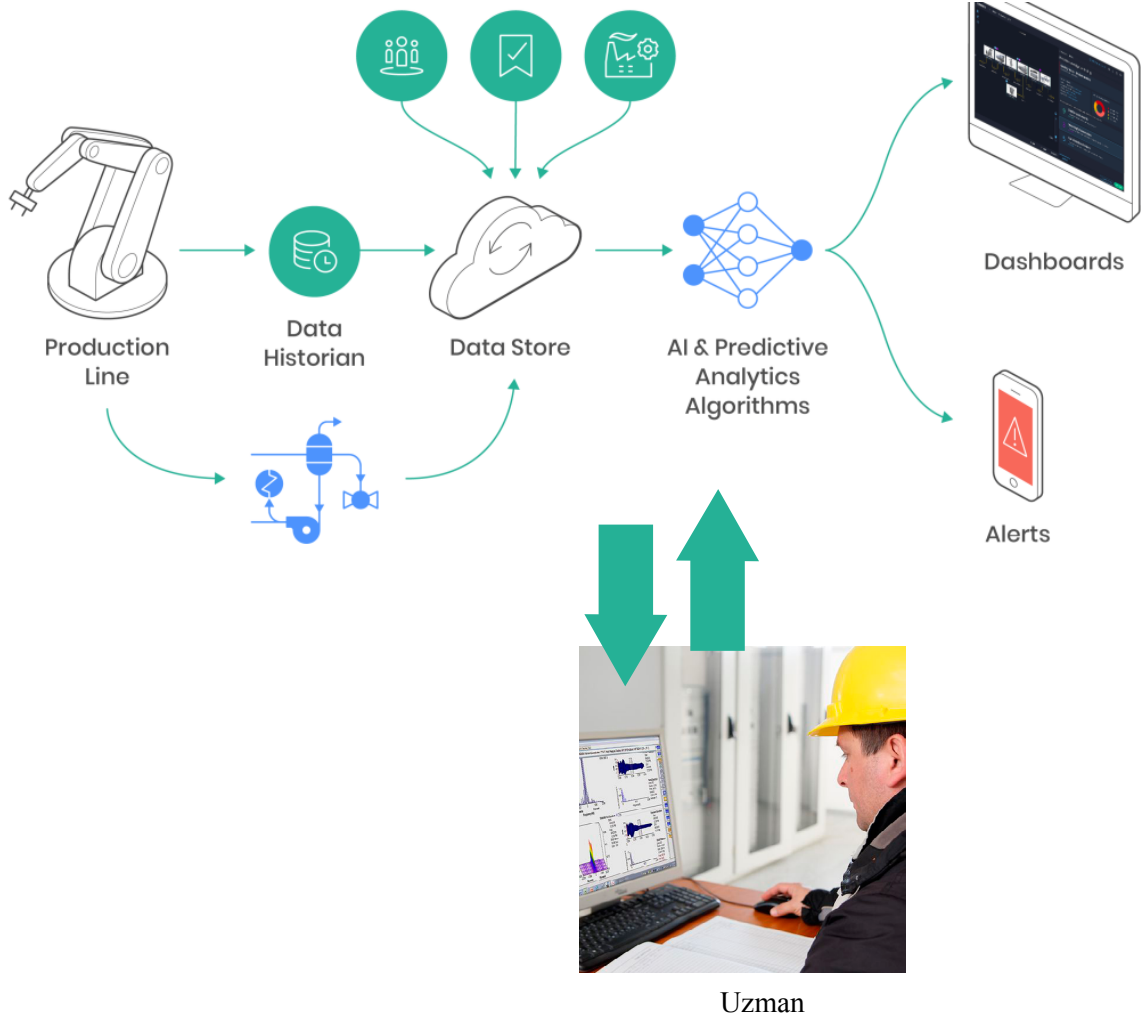
Kapsamlı analizlerin zamanla gelişen teknoloji ile kolaylaştırılarak daha kısa sürede sonuçlanması, günümüz mühendisleri tarafından, sonuca ulaşmada yapılacak analizlere olan ilginin azalmasına neden olmuştur. ABD’de de aynı yorumların yapıldığını görüyoruz. 30 yıl önce mühendisler konunun içinde iken ve merakla verileri analiz ederken, bugün işlem, yazılımların sunduğu otonom sonuçları kullanan Kestirimci Bakım teknisyenlerinin yerine getirdiği rutin bir uygulama şeklini almıştır.

30 yıl önce sistemi kurmaya başladığımız işletmelerin büyük çoğunluğunda, mühendisler üst kademelere çıkmadan önceki 10-15 yıllarını bu işe vermekteydiler. Ölçümleri yapan vizitör ve teknisyenler nerdeyse 30 yıl aynı işi yapmışlardır. Bugün o kadrolar emekli olmakta ve yerleri doldurulmadığı için sistem sürekliliğinde kesilmeler gerçekleşmektedir. Bazı işletmelerde, Kestirimci Bakım konusunda deneyim kazanan personelin bir iş yapmadığı düşüncesi ile işten uzaklaştırılması veya başka pozisyonlara kaydırılması sonucu, yerlerine aynı işleri kolayca yapacağı varsayılan deneyimsiz elemanların konulması ile sistem sürdürülebilirliği aksamıştır ve kimi yerlerde sonlanmıştır. Kestirimci Bakım uygulaması vazgeçilebilecek bir yöntem olamaz ve olmamalıdır. 4-5 yıl süre ile kısa süreli uygulamalar ile sonlandırılmamalıdır. Teknolojiye ayak uydurularak sürekli geliştirilmeli ve bu konuda çalışan elemanlar eğitimlerle desteklenmelidir.

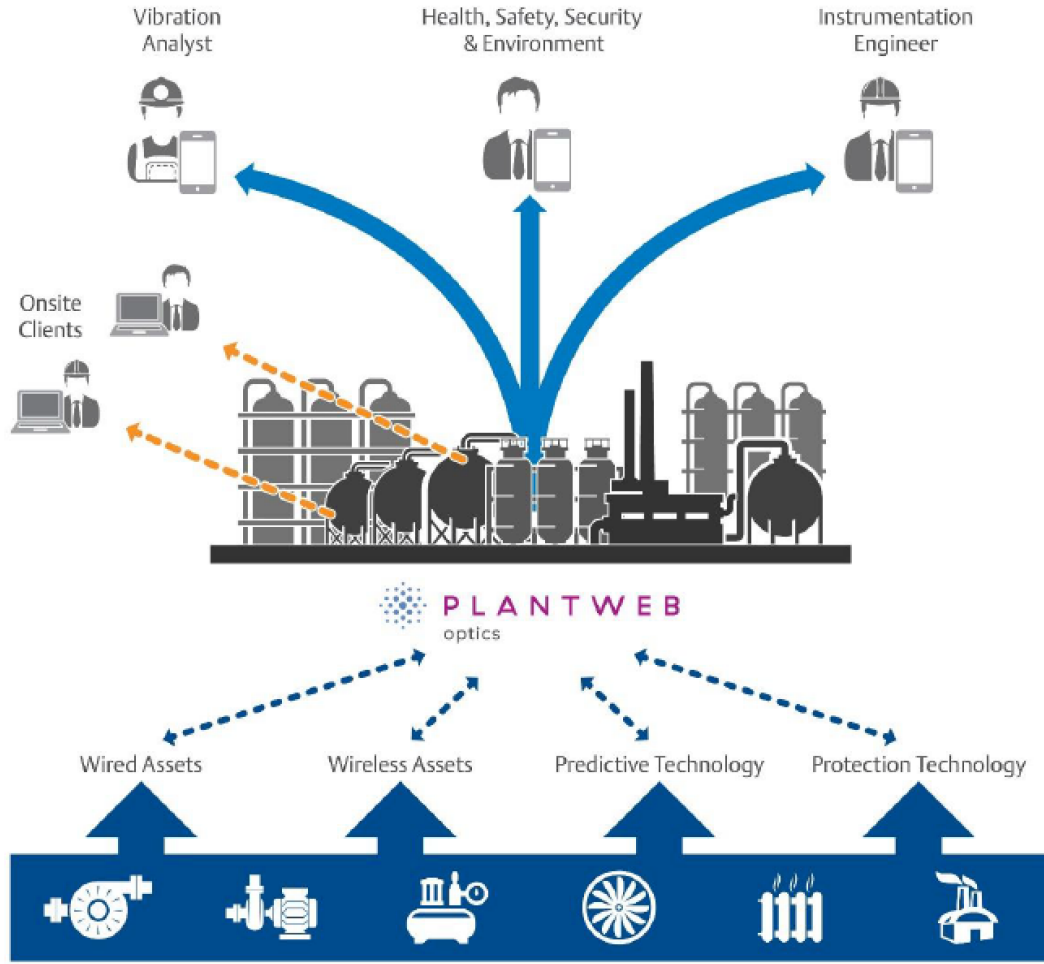
Çözüm; Kestirimci Bakım konusunda çalışacak uzman elemanlar işletme şartlarında ikame edilmesi sağlanamayacak ise, Endüstri-4 kapsamında bulut üzerinden çalışan, analizlerin işletme dışındaki merkezler tarafından yapıldığı online yada kablosuz sistemler olabilir mi? [6]

6. Kestirimci Bakım Halkasındaki Uzmanın Önemi

Bilinmesi gereken, KESTİRİMCİ BAKIM işinde uygulanan analizlerin deneyime ve alınan eğitime çok bağlı olduğudur. Programlar ne kadar gelişse de, Algoritmalar ile otonom analiz sonuçları üretilse de, bir uzmanın gelen sonucu onaylamasından geçerek bakım onarım işlemleri yapılmalıdır. Power User olarak tanımlanan UZMAN filtresinden geçmeyen teşhislerin, CMMS Bakım Yönetim sistemleri ile otomatik onarım iş taleplerine dönüştürülmesi hüsrana ile sonuçlanacak, anlamsız ve gereksiz duruş ile üretim kaybı, parça kaybı ve işçilik kaybına neden olacaktır. Kâr amaçlanırken gereksiz ve büyük maliyetlerle karşılaşılacaktır. Belirtilen nedenlerden dolayı bu iş için görevlendirilecek personel, işletmelerde uzun yıllar çalışacak deneyimli elemanlar olmalıdır. [4]



Şekil 10: Endüstri-4 ile çözülmeye başlanan Kestirimci Bakım Sistemi Mimarisindeki eksik halka Bakım Onarım ve Analiz Konusunda Deneyimli UZMAN'dır [8]



Şekil 11: Sonucun verimli olması, Analiz aşamasında çok kaynaktan gelen veriyi analiz edecek bir uzmanın ekipte yer alması ile mümkün olacaktır. [4]

Günümüzde teknoloji oldukça fazla ölçüm analiz araçları sunmaktadır.

Artık makinalar birer ASSET=VARLIK olarak kabul edilmekte, sürekli üretim için tüm performansları ile çalışır konumda olmaları istenmektedir. Aksi takdirde işletme rakiplerine göre geride kalacak ve gelir elde edemeyecektir. Sonuç olarak kapanacaktır.

7. Bakım Mühendisliği Yetkilendirme Programının Önemi

Ölçüm Analiz teknolojilerinin gelişmesi, daha eğitilmiş teknik kadrolara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Ancak Bakım Onarım Grubunda çalışan kadrolar, değerleri yeterince anlayamadığı için maaş yönünden zayıf kalmışlar, işletmenin hep en kötü adamları pozisyonundan çıkamamışlardır. Birçok mühendis kendisini Çavuş konumunda görmektedir. Çıkan arızalar bir bilinmezlik yumağı içinde önlerine çıkmakta, Üniversitede ve Teknik Okulda Eğitimi görmedikleri konuları kendi becerileri ya da yalan yanlış deneyim bilgisi olarak çözülmeye çalışılmaktadır.

Makina Mühendisleri Odasının BAKIM MÜHENDİSLİĞİ YETKİLENDİRME PROGRAMI BAŞLATTIĞINI duymaktan büyük mutluluk duyduk. Geç de olsa atılmış büyük bir adım olarak görüyoruz.

30 yıl önce işe başlayan Teknik Elemanlar büyük çoğunlukla emekli olana kadar aynı işletmede çalışmaya devam ettiler. Bu şekilde işletme okul görevi yaptı, bir deneyim oluştu ve sorunlar bu deneyimlere bağlı olarak çözüldü. Eğitim eksikliği deneme yanılma ile giderildi.

20 yıl önce 2000’li yıllar ile işe başlayan kadrolarda aynı işletmede çalışma süresinin 10 yıla indiğini gözlemledik. Daha sonraki dönemlerde bu süre gittikçe kısaldı. Günümüzde ortalama 2 yıl gibi bir süreye indiğini görüyoruz. Önceden Bakım Onarım konusunda eğitim almamış personel, içine girdiği ortamda daha deneme yanılma ile birikim sağlayamadan başka bir göreve geçebilmektedir. Ve sonuç olarak sınırlı işletme sermayeleri deneyimsizlik sonucu gereksiz parça değişimi, işçilik, enerji harcaması ve duruş süresindeki üretim kaybı ile eriyip gitmektedir. Özellikle Bakım Onarım gruplarında çalışanlar, başka bölümlerde kadrolar açıldığında hemen o bölümlere geçmektedirler, ya da başka bir işletmede başka konularda çalışmaya devam etmektedirler. Yabancı dil bilgisi, özellikle araştırma yapmak için İngilizce biliyor olmak gerekirken, dil bilen elemanlar kısa sürede başka bölümlere transfer olmaktadır.

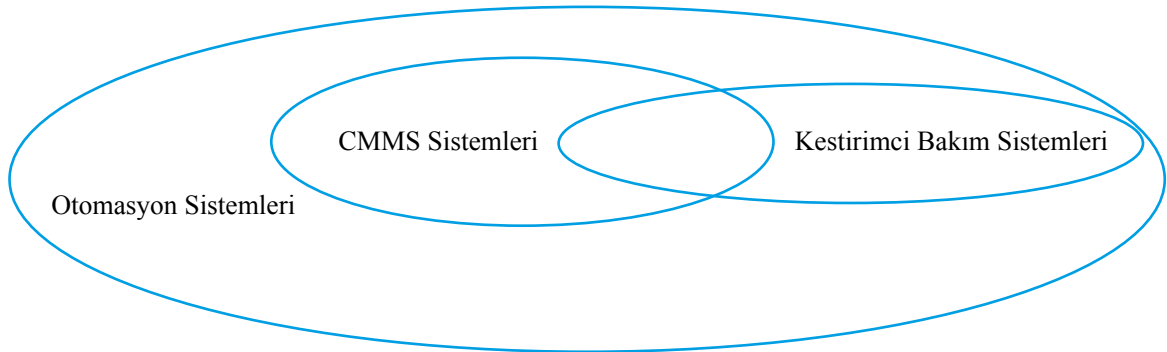
Maalesef, Makine Arızlarını Belirleme – Makine Sağlığını tanımlama gruplarında bu süre yetersizdir. Vibrasyon Analizi en az aynı işletmede 2-4 yıl çalışarak öğrenilebilecek bir teknolojidir. Okulda alınan dersler ya da 3-5 günlük kurslar ile öğrenilemez. Bu işe giren ömür boyu öğrenme modunda olmalıdır. Konuda biraz kendisini geliştiren hemen iş değiştirmekte, kendisini geliştirmesi için işletmesinin gönderdiği kurslardan aldığı sertifikalar yardımı ile maaşı daha iyi daha üst kadrolara ya da başka iş ortamlarına geçmektedirler.

Makine Sağlığı Analiz Teknolojilerinden verim alınması isteniyor ise, o teknik elemanlar sürekli sahada olmalıdır. Konuda gelişimi kurslara katılım ile artırılan elemanlardan, o işletmede en az 5 yıl çalışacağı taahhüdü alınmalıdır. ABD’deki uygulamalarda, her yıl ekipten bir kişinin tekrar eğitimi alması önerilmektedir. Bir kerelik alınacak eğitim yeterli olmayacaktır. Tekrar eğitimler sistemden verim alınmasının olmazsa olmazıdır.

Makine Sağlığı Analiz Teknolojilerine yatırım yapan işletmeler, Reliability – Güvenilirlik birimleri oluşturmalıdır. Örnek olarak İngiltere’de İşletme, Otomasyon, Bakım Onarım, Bilgi İşlem birimleri yanında Reliability - Güvenilirlik Müdürlükleri bulunmaktadır. Neredeyse Reliability - Güvenilirlik Mühendisi olmayan işletme kalmamıştır. Bu durum işe girişte rekabet yaratmaktadır. Gelişmiş Ülkelerde İşletmeler Reliability konusunda eğitim görmüş sertifikası olan elemanları tercih etmektedir. İşe girdikten sonra deneme yanılma ile öğretmenin yerini işe konuyu bileni almak moduna geçmiştir.

8. Uygulama Daha Nasıl Geliştirilebilir.

“En İyiler-Top Quartile” işletmeler arasına girmek için Otomasyona büyük yatırımlar yapıldı ve o düşüncede sona gelindi. Daha ne yapılabilir araştırmaları, önceden dışarda tutulan Reliability-Güvenilirlik ve Kestirimci Bakım Sistemlerinin Otomasyon Ağının içine alınması gerektiğini gösterdi.



Şekil 12: Endüstri-4 sonrası İşletme İçinde Kestirimci Bakım Sistemlerinin Konumu



Teknoloji “BIG DATA” denilen sorunu üretmiştir. Evet Veri gelmesi iyidir, ancak çok veri işi içinden çıkılmaz koma taşımıştır. Gelen verinin analizinde yavaş kalınması, hızlı tepki verilememesi gelişmekte olan arızanın önüne geçilememesi, amaçlanan hedefe ulaşımı engelleyecektir. [7]

[Örnek; Rulman dağıldıktan sonra rulman arızasının belirlenmiş olması fayda vermez. Hasar büyümüş olacaktır. Rulman arıza işaretlerinin ilk çıktığı aşamada belirlenmesi, arızanın büyümeden önüne geçilmesini sağlayacaktır.] Mevcut donanımlarla yapılan uygulamalar sonucu belirlenen sorunları çözmek için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Teknolojiyi geliştiren, o teknolojiyi kullanacakların elde edecekleri kazançta göre yeni sistemin bedelini belirlemektedir. Geliştirilen yeni teknoloji kullanacak işletme, bu teknoloji ile yılda milyon dolarlar kazanacak ise, sistemin fiyatı da bu derece yüksek olmaktadır. Sorunlarının çözümü için araya giren işletmelerin en ucuz sistem temin ile amaca ulaşamamalarının temel nedeni budur. Diğer bir husus, bu teknolojiye yatırım yapacak işletme eğer konu teknolojiyi kullanacak yetişmiş elemana sahip değilse yine amaçlanan hedefe ulaşamayacaktır.

Endüstri 4.0 öncesi makine sağlığı ile ilgili sürekli (online) yada basit ölçüm alma cihazları ile periyodik (offline) alınan veri, makinanın iyi yada kötü konumda çalıştığı yönünde fiziksel durum bilgisi verirken, Bugün Endüstri 4.0 olarak tanımlanan Kestirimci Bakım sistemleriyle, o makinanın görevini tam yapıp yapmadığı, makina sağlığı ile ilgili bir sorun olup olmadığı, varsa ne tip bir sorunun ilerlemekte olduğunu belirlemek amaçlanmaktadır.

9. Endüstri 4.0 İle Gelen Çok Verinin Altında Ezilmemek İçin Ne Yapılabilir?

Dünyanın geldiği aşama, yoğun olarak bireysel kullanımda yer alan CEP TELEFONLARI ile MOBİL ÇÖZÜM üretmektir. Kağıt üzerinde üretilen iş emirlerinin yerini Cep Telefonuna gelen mesajlar almıştır. IIoT Industrial Internet of Things/Endüstriyel Nesnelerin İnterneti, kısaca Endüstri 4 çağında olduğumuz unutulmamalıdır. [5]

Endüstri 4 ile Veriler, Bulut üzerinden Knowledge Based – Bilgi Tabanlı Algoritmalar süzgecinden geçerek ön ayıklamalar yapıp ilgililere ulaştırılmaktadır. Deneyimsiz onarımlar engellenerek Bakım Onarım Kalitesi yükseltilmektedir. Proses bilgileri ile Makine Sağlığı bilgileri birlikte harmanlanmakta ve arıza kökü çok daha net biçimde analiz edilmektedir. Dönen ekipmanlarda arıza kökü belirlenmesinde artık Vibrasyon Ölçüm Analizi tek başına yeterli kalmamaktadır. Üretimde kullanılan proses cihazlarından gelecek bilgiyle bir bütün oluşturulmalıdır. *[Örnek: Pompada vibrasyon analizi ile rulman arızası teşhisinde bulunulurken, vibrasyon verisi, dikkate alınmamış pompa giriş çıkış basınç değerleri birlikte değerlendirildiğinde, arıza kökünün kavitasyon olabileceği sonucunu verebilir.]*

10. Yeni Gelişmeler;

“Dijital İkiz” teknolojisi:

Bilgisayarda Sanal ortamda fabrika 3 boyutlu hazırlanmakta, 3D VR Sanal Gerçeklik Gözlükleri ile içerde dolaşabilmektedir. Bu bir uçak simülatörü gibi olacaktır. Proseste Vana ne kadar açılırsa ne olur, Fan devri artılırsa ne olur gibi simülasyonlar sanal ortamda denenebilir. Son bilgilere göre, Rusya’da Dijital İkiz’i oluşturulmayan yeni fabrikalara artık izin verilmemektedir. Bu ülkemizde de uygulanabilir. [4]

“Uzaktan Danışman/Uzman”

Bakım Onarım konusunda bilgi ve deneyim artışı yılların geçmesi ile oluşmaktadır. Bu süreçte deneyim kazanan teknik kadro üst kademelere yükselmekte ve sahaya inemediği için bu biriken deneyimini gösterememektedir. Bu açık, teknoloji kullanılarak işletme içinde ya da dışarıdan alınacak hizmet ile kapatılabilir. Bakım Onarım Danışman Hizmeti, işletme içinde kurulabilecek bir merkezden verilebileceği gibi bulut üzerinden 7/24 hizmet sunulabilecek merkezlerden de alınabilir. [5]



Şekil 13: Bulut üzerinden Karar Destek merkez örneği [4]

İşletmede Uzman sayısı sınırlıdır. Sahada arıza çıkan noktaları sıra ile kendisinin gezmesi oldukça fazla zaman alacaktır. Günümüz teknolojisiyle; arızalı makine başına giden onarım personelinin kaskında takılı göz kamerası ve sesli iletişim, dünyanın herhangi bir yerinde Uzmanın, bulunduğu merkezdeki ekrandan sorunlu bölgeleri görmesini sağlayacaktır. Bir makine onarımında, makine başına gitmesi yerine, onarımı yapacak elemanın kask kamerası aracılığıyla uzmanın önündeki ekrana görüntü ulaşır ve uzmanın yönlendirmesi ile onarım gerçekleştirilir. Aynı merkeze ulaşmış Makina Sağlığı Analiz Verileri, görüntü ile birlikte değerlendirilerek kısa sürede durum incelenir ya da konu hakkında özel bilgiye sahip kişilere Bulut üzerinden ulaşılarak alınacak destekle, yapılacak onarım kısa sürede belirlenebilir. Ve uzaktan, o elemanın yapması gereken talimatlar kameradan izlenerek kulağına aktarılır. [Örnek; önce şu vidaları sök, sonra şu kolu kaldır.... gibi.] Yine bu merkez, bulut üzerinden o makine ile ilgili diğer bilgilere ulaşarak onarım için gerekli parçaların neler olacağını belirler, ambardan bu parçaların onarım noktasına hızlı şekilde ulaştırılmasını sağlar, parça yok ise hızlı şekilde temini için girişimde bulunur. [4]



Şekil 14 : WiFi ATEX Kaska Takılabilir Endüstriyel Kamera ve haberleşme düzeneği [4]



Makina bilgileri, makina üzerinde takılı RFID’de saklanır. Bu donanımla, bulut üzerinden parça seri numarasından çizimlerine, en son o makinada ne yapıldı bilgilerine cep telefonu aracılığı ile ulaşılır. [4]

[RFID: Radyo Frekansı ile Tanımlama teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemidir. RFID, temel olarak bir etiket ve okuyucudan meydana gelir. RFID etiketleri Elektronik Ürün Kodu gibi nesne bilgilerini almak, saklamak ve göndermek için programlanabilirler]



Şekil 15: RFID takılı Vana ve RFID okuyucu örneği [4]

Barkod, Karekod çözümleri denenmiş, işletme şartları nedeni ile zamanla bu etiketlerin kirlenerek amaca hizmet etmediği görülmüştür. Bu nedenle Radyo Frekanslı etiketlere geçilmiştir. Bu etiketlere USB bellek gibi verilerin yüklenebiliyor olması hareket hızını artırmaktadır.

Yapılan onarım sonrası, sistemin devreye girmesi, Uzman tarafından bulut üzerinden bağlanacağı Proses Ekranından izlenir ve sorunun çözülüp çözülmediği belirlenir.

11. Geç Kalmadan İşletmeler Ne Yapabilir ?

Kesinlikle vakit kaybetmeden hemen işletmede Reliability-Güvenilirlik Bölümü kurulmalıdır.

Devlet, Reliability görevinde bulunacak teknik kadrolara AR-GE görevlerine sağladığı imkanları sunmalıdır. İlk yapılabilecek; Reliability bölümünde çalışanların maaşlarından kesilen vergi sıfırlanmalı, mümkün olmuyor ise azaltılmalıdır. Bu şekilde işletmeye ek yük getirmeden görev cazip hale gelebilir.

Makina Mühendisleri Odası, Üniversitelerde Reliability-Güvenilirlik Bölümlerinin Açılması yönünde çalışma yapmalıdır. Üniversitelerde verilecek ders içerikleri için “Reliability & Maintainability Center – The University of Tennessee Knoxville – USA” <https://rnc.utk.edu/> ile irtibata geçilmelidir. Master – Doktora yapacak mühendislere burs kaynakları oluşturulmalıdır. Bu programa katılacak akademik personel Türkiye’ye dönerek konu ile ilgili dersler vereceklerini taahhüt etmelidir. Tennessee Üniversitesi, dünyada ilgili konunun başlangıcını yapan ve geliştiren ilk ve en kapsamlı kaynaklardan biri olarak bilinmektedir.

Bu bölümlerde çalışacak teknik kadro kesinlikle, Makina Mühendisleri Odasının tarafından organize edilecek YETKİLENDİRME PROGRAMINA katılmalı ve Geçer Not olarak sertifikalandırılmalıdır. Sadece programa katılım yeterli görülmemelidir. Belirli periyotlarda bilgi yenileme eğitimlerine katılım gerçekleştirilmelidir. Alınan sertifikalar süreli olmalıdır.

Makina Mühendisleri Odası, KPI Anahtar Performans İndikatörleri belirleyerek her yıl bu programa dahil olan işletmelerdeki durumu takip etmeli ve uygulama neticesine göre işletmelere performans yıldızları vermelidir. En iyi uygulamalar ödüllendirilebilir. (Örnek; ilgili personelin Tennessee Üniversitesinde bir programa katılması gibi.)

Sonuç:

İşletmeler, Reliability-Güvenilirlik Konusunda görevlendirdiği personeli her yıl konu ile ilgili en az bir eğitime katılmasını sağlamalıdır.

Bu iş ile görevlendirilecek personel İngilizce bilmeli, konu ile ilgili web sayfalarını periyodik olarak takip etmeli, ve yeni gelişmeler hakkında işletmesini haberdar etmelidir. Konu dünyada sürekli gelişim göstermektedir. Takipte gecikmeler olduğunda verimlilik yarışında gerilere düşülmesi söz konusu olacaktır.

Kısa sürede Dijital Dönüşüme ayak uyduramayan işletmeler maalesef ayakta kalamayacaktır.

Dijital Dönüşüm [4]

- Otomatik İş Akışının sağlanması – Otomasyon / Otonomi
- Real Time Decision Support – Hızlı Karar Desteği, Bulut teknolojilerinden faydalanma
- İşgücü bilgi seviyesinin yükseltilmesi - Eğitim
- Mobility – Hareket halinde veri erişimi ve sonuçlandırılması
- Yönetim yaklaşımının değişimi

İşletmelerde Kestirimci Bakım Sistemi uygulamasına bir an önce geçilmeli, işletmeye uygun donanım ve kadrolar kurulmalı ve sürekli geliştirilmelidir. Kadronun uzun süre sistem içinde kalmasına gayret gösterilmeli ve eğitimlerine önem verilmelidir.

Kestirimci Bakım Sistemi uzun soluklu olur ise fayda sağlar. Kişiye bağlı olmamalıdır ve işletme içinde kurumlaşmalıdır. Kurulacak sistem, o mühendis görev değiştirdiğinde orada sonlanmamalıdır. Uzman desteği dikkate alınmalı, işletme içinde kadrosu olmalı ya da bulut üzerinden Uzman Hizmeti alınmalıdır.

Kaynaklar:

- 1 Köse,R.Kubilay, Bilgisayar Destekli Bakım Planlaması, 3.Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı, 243-252, ODTÜ 1988
- 2 Köse,R.Kubilay, Endüstriyel Tesislerin Bakım Planlamasında Yeni Bir Yöntem, Kestirimci Bakım Planlaması, Mühendis ve Makina Dergisi, 24-30 Mart 1989, Sayı 350
- 3 Köse R.Kubilay TOPAZ Ltd.Şti. Kestirimci Bakım Nedir ? <http://www.topazmakina.com.tr>
- 4 EMERSON Innovation Days – Dijital Dönüşüm Yolculuğunun Neresindesiniz 02/07/2019 Pendik ve 05/07/2019 Aliağa Toplantıları
- 5 “Rotating machines is getting wise to 4.0 Maintenance.” Process Engineering Jul 10, 2019 <http://processengineering.co.uk/article/2029827/rotating-machinery-is-getting-wise-to-4-0-maintenance>
- 6 “Should assets be monitored in-house or in the cloud?” Control Engineering April 26, 2019, <https://www.controleng.com/articles/should-assets-be-monitored-in-house-or-in-the-cloud/>
- 7 “Dijital Technologies improve Maintenance efficiency and asset performance” Maintworld 2/2019 <https://www.maintworld.com/Asset-Management/Digital-technologies-improve-maintenance-efficiency-and-asset-performance>
- 8 “Industry 4.0 Predictive Maintenance” <https://www.seebo.com/predictive-maintenance/>
- 9 “Diğer şekiller EMERSON Automation Solutions, TOPAZ Ltd, ve Google Görsellerinden

Özgeçmiş:

R.Kubilay KÖSE, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Oda Sicil No : 26359

1960 Ankara doğumludur. 1985 ODTÜ Makina Mühendisliği bölümünden mezundur. 1988 yılında ODTÜ’de düzenlenen 3.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresinde sunduğu bildiri ile , “Predictive Maintenance” karşılığı “KESTİRİMCİ BAKIM” tanımını Türkçeye kazandırmıştır. 1988 yılından günümüze Kestirimci Bakım Sistemleri temini, desteği, eğitimi konusunda TOPAZ Mak.Müh.Müş.Müm. ve Tic.Ltd.Şti Genel Müdürü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. Bilgi paylaşıldıkça bilgidir felsefesinde, 1nci Bakım Kongresinden itibaren önceki Bakım Onarım Kongrelerinde onlarca bildiri sunmuştur.



AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSİNİN AŞINTI VE KAYNAK İŞLERİNDEKİ ÖNEMİ

¹Halil Aslan, ²Halil Tayan, ³Rıdvan Veziroğlu

¹ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı Bakım ve Kaynak Süpervizörü halila@kisladag.com

² TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı Güvenilirlik Mühendisi halilt@kisladag.com

³ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departman Müdürü ridvanv@kisladag.com

Özet

Güvenilirlik gerek insanlar, gerekse iş alanında olumlu çalışma şartlarının sağlanabilmesi için en önemli parametrelere aittir. Madencilik gibi ağır şartlar içeren işletmelerde üretimi sağlayan iş makinelerinin faal tutulabilmeleri çok önemlidir. Bunun içindir ki, bakım departmanlarının yürüttüğü periyodik ve önleyici bakım ile arıza tespitleri sayesinde yapılan yerinde müdahaleler üretim kalitesini ve işletme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Makine sağlığını etkileyen önemli faktörlerden biride kaynak ve tahribatsız muayenelerdir. Dolayısıyla iş makinelerinin yapısal elemanlarında ortaya çıkabilecek kaynaklı tamir işlemleri için tedbir alınmadığı takdirde, tamirat işlemlerinin çok ciddi zaman kayıplarına sebep olduğu deneyimlenmiştir. Bu çalışmada güvenilirlik mühendisinin madende çalışan mobil ekipmanların, şase ve yardımcı elemanlarının kaynak ve plaka yüzeylerini nasıl kontrol ve analiz ettiği, oluşan çatlak ve hatalara nasıl müdahale ettiği, aşınıları nasıl takip ettiği ve değerlendirdiği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler; Güvenilirlik mühendisliği, Önleyici Bakım, Tahribatsız muayene, Tamir kaynakları

Abstract

Reliability is one of the most important parameters for achieving positive working conditions in both people and business field. It is very important to keep the production machines operating in heavy conditions like mining. For this reason, periodic and preventive maintenance carried out by maintenance departments and on-the-spot interventions through fault detection directly affect production quality and operating costs. One of the important factors affecting machine health is welding and NON-NDT examinations. Therefore, it is experienced that welding repair operations that may occur on the structural elements of construction machines cause very serious time losses unless precautions are taken. In this study, the reliability engineer's control of mobile equipment, chassis and auxiliary elements working at the mine, how it control and analyzes weld and plate surfaces, how it tracks abrasions and examined.

Keywords; Reliability engineering, Preventive Maintenance, Nondestructive testing, Repair sources



1. Giriş

Güvenilirlik, ilk olarak soyut ve somut varlıkların görev ve fonksiyonlarını sorunsuz olarak yerine geldiği durumlar olarak ifade edilir. Bunun için en önemli parametre insanların yaşadığı tüm ortamlarda ve iş alanlarında olumlu çalışma şartlarının sağlanabilmesi gerekmektedir. Madencilik gibi ağır şartlarla iş yapan işletmelerde üretimde kullanılan iş makinelerinin kullanılabilirlikleri yani faal olarak çalışır halde tutulabilmeleri çok önemlidir. Bu görevi Bakım/Onarım departmanları yerine getirmektedir. Bakım departmanlarının yürüttüğü periyodik ve önleyici bakım prosedürleri ile arıza öncesi yapmış oldukları tespitlere yapılan yerinde müdahaleler firmanın üretim kalitesini ve işletme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple çoğu işletmenin halen uygulamış olduğu geleneksel standart bakım sisteminin dışına çıkılması başka bir ifadeyle Bakım onarım departmanlarının kabuklarından sıyrılarak kendileri sürekli geliştirmeleri ve gelişen teknolojiye adapte olmaları gerekmektedir. Çoğu firmanın yönetimlerinin dikkatlerinden kaçırıldıkları ya da gereken önemi vermedikleri ve bunlara bağlı olarak makine kullanılabilirliklerini doğrudan etkileyen, önlem alınmadığı veya planlı bir çalışma yapılmadığı takdirde ciddi maliyetlere sebep olan diğer bir bakım kolu ise kaynaklı işler dediğimiz kaynak/malzeme kontrol ve analizlerini, kaynaklı işlerin profesyonel yapılmasını ve makine aşınma plakası takiplerini içine alan bilinenin aksine geniş kapsamlı bir bölümdür. Dolayısıyla geleneksel bakım/cılığa bağlı kalarak yapılan bakım onarımların neticesinde, iş makinelerinin yapısal elemanlarında ortaya çıkabilecek kaynaklı tamir gerektiren işler ve aşınma takipleri için planlama yapılmadığı ve önlem alınmadığı takdirde işletme açısından çok ciddi zaman kayıplarına, ciddi makine ve hatta üretim duruşlarına neden olduğu deneyimlenmiştir. Örneğin; Geleneksel bakım onarım yaklaşımında çatlak oluştuğundan sonra direk müdahale edilerek ön tavlama yapılmadan ya da yüzeysel yapılmasından, malzemede çatlak yapı kalmayınca kadar tamir edilecek bölge açılmadan, tamir için uygun tel veya elektrot seçimine önem verilmeksizin eldeki imkanlar ile müdahaleler yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak, makine bir süre çalıştıktan sonra aynı bölge tekrar çatlamakta hatta malzeme kırılmaktadır. Bu durum işletmeler için istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkar.

Geleneksel bakım/onarımdan kaynaklı tüm bu olumsuzluklar proaktif bakım onarım yaklaşımıyla çalışılması ile giderilebilir. Bu sistemde kaynak güvenilirlik mühendisinin yönettiği eğitimli ekip ile günlük saha ve bakım periyotlarındaki kontroller VT, PT, MT ve UT gibi tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemlerin tanımlayacak olursak;

VT(görsel kontrol) muayene yöntemiyle iş makineleri türüne göre makinelerin şaseleri, taşıyıcı sistemleri, kovaları, damperleri ve bıçakları kontrol edilmektedir. VT kontrolleri esnasında, herhangi bir uygunsuzluk tespit edilmişse kontrol edilecek yüzeydeki uygunsuzlukları tespit edilmesini sağlayan PT, MT ve UT yöntemleri kullanılır. Bunların uygulanış yöntemini açıklayacak olursak;

- PT(penetrant muayene) yöntemiyle malzeme veya kaynak yüzeyinde kimyasal(yağ/boya çözücülerle) ve mekanik(zımpara, tel veya taşlama ile) temizlik yapılarak penetrant boyasının yüzeye sıkılması ve minimum 15 dk. kadar beklendikten sonra yüzeyin tekrar temizlik yapılarak geliştirici sprey 'in sıkılması ile yapılan muayene yöntemi olup çok zaman gerektirdiğinden dolayı zorunlu kalmadıktan sonra tercih edilmez,
- MT(manyetik muayene) yöntemiyle malzeme veya kaynak yüzeyinde kimyasal(yağ/boya çözücülerle) ve mekanik(zımpara, tel veya taşlama ile) temizlik yapılarak fon boyasını yüzeye en az 15 cm kadar uzaktan sıkılmasından sonra manyetik yöke kullanılarak manyetik alan oluşturulması esnasında siyah demir tozu yüzeye sıkılarak yapılan ve hızlı sonuç alınan ve hatta yüzeyin 1-3 mm altındaki uygunsuzluklarında tespit edilebileceği muayene yöntemi
- UT(Ultrasonik muayene) yöntemiyle, yüzeye bir iletken sıvı uygulanarak ultrasonik muayene cihazı ve malzeme ve kontrol çeşidine uygun prob yardımıyla malzemenin içine ses dalgası gönderilmesiyle ve cihaz ekranındaki piklerin yorumlanmasıyla yapılan muayene yöntemi

Proaktif bakım anlayışında Kaynak güvenilirlik mühendisi ve ekibince yaptıkları kontrollerde ve tamir işlemlerinde tüm bu muayene yöntemleri uygulanarak söz konusu uygunsuzluk veya çatlak hakkında detaylı bir analiz yapılmaktadır. Eğer bir makinenin herhangi bir komponentinde çatlak oluşmuş ise, kaynak ve malzeme yüzeylerinde ve iç yapılarında detaylı bir inceleme yapılır. Öncelikle yüzey tamamen yağ kir ve boyadan arındırılır. MT yöntemiyle çatlağın olduğu yüzey veya kaynağın civarında başka belirgin veya kılcal çatlak oluşumu var mı diye bölgenin detay kontrolü yapılır. Akabinde UT yöntemi ile çatlağın bulunduğu malzeme veya kaynağın içinin detay kontrolü yapılarak çatlağın ne kadar derinde, yönü ve ne kadar uzunlukta olduğu detaylı olarak incelenir. Müdahale işle-

minden evvel, üretici firmaya kaynakla ilgili mail yolu ile bilgi verilerek daha önce böyle bir çatlakla karşılaşıp karşılaşılmadığı, bununla ilgili bülten olup olmadığı, malzemenin türünün ne olduğu ve çatlağın tamiratı için bir prosedür olup olmadığı sorulur. Eğer üretici firmadan herhangi bir dönüş gelmiyorsa, ilgili çatlağın olduğu bölgeden numune alınarak ilgili akredite kuruluşuna bu numune gönderilerek malzeme bilgileri ve cinsi hakkında bilgi alınmaktadır. Eğer tüm bu muayene yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda çatlak tamirlerinden sonra da çatlaklarda tekrarlama oluyorsa, Malzeme yüzeyine yapısının incelenmesi amacıyla REPLICA testi uygulanmaktadır. Çatlak tamir işlemi için en uygun tel veya elektrod seçilerek uygun kaynak prosedürü hazırlanarak çatlağın tamir işlemleri yapılmaktadır.

Bu çalışmada güvenilirlik mühendisinin madende çalışan mobil ekipmanların, şase ve yardımcı elemanlarının kaynak ve plaka yüzeylerini nasıl kontrol ve analiz ettiği, oluşan çatlak ve hatalara nasıl müdahale ettiği, aşınıları nasıl takip ettiği ve değerlendirdiği incelenmiştir.

2. Güvenilirlik Mühendisliği

Bir ürünün performansının iyi olabilmesi ürünün kaliteli olması ile doğru orantılıdır. Peki kaliteyi nedir ve nasıl anlayacağız? Ürünün kalitesini belirleyebilmek için çeşitli ölçümler yapabiliyor olmamız gerekir. Bunun için her ürün için değişik testler ve analizleri yapabilmemiz ve bu testlerin sonuçlarını irdeleyerek verimliliğini hesaplamamız ve ürünün gerçekten kaliteli olup olmadığını doğru bir şekilde analiz edebiliyor olmamız ön plana çıkacaktır. Bu noktada, arızasızlık performansı başka bir deyişle “Güvenilirlik” belirleyici en önemli etkidir. [2].

Güvenilirlik mühendisliği bu bağlamda **güvenilirlik** öğrenimi, gelişimi ve Ömür Devri Yönetimi ile ilgilenen bir mühendislik dalıdır. **Güvenilirlik**, bir sistem veya parçanın, belirlenen süre ve şartlar altında, istenen fonksiyonları gerçekleştirebilme yeteneği olarak tanımlanır [3]. Makinenin performansı veya verimliliği güvenilirlik mühendisinin direk olarak sisteme katkısını gösteren en önemli parametrelerdendir. Güvenilirlik mühendisinin görevi ise sistem yada unsurların arızasız bir şekilde çalıştırılabilirliğinin sağlanması, sürekli test ve kontroller yaparak daha arıza küçükken müdahalelerin planlanması ve uygulanmasını, test ve iş analizi sonuçlarına göre arızaların tekrar geri dönmemesinin sağlanmasını ve özetlersek bir sistem ve makinenin en verimli bir şekilde çalıştırılmasının sağlanmasıdır.

Kaynaklı işler genellikle imalat yapan firmaların dışında çoğu firmalar tarafından halen önemsizmiş gibi görünmesine rağmen üretimi direk olarak etkileyen ve ciddi maliyetlere sebep olabilen bir iş koludur. Bu sebeple firmaların karlılıkları göz önüne alındığında kaynak işlerindeki güvenilirlik mühendisinin olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Güvenilirlik mühendisliğine kaynaklı işler yada imalatlar açısından baktığımızda üretimin kaliteli olması, makinelerin verimli olarak çalışması ve kalite açısından önem arz etmektedirler. Bu sebeple bu mühendislerin kaynak mühendisliği veya inpektörlüğü ve alanı için gerekli olan tahribatsız muayene eğitimlerini almış personelardan seçilmesi gerekmektedir. Çünkü kaynak güvenilirlik mühendislerinden beklenen kaynak, malzeme ve plaka yüzeylerini iyi analiz edebiliyor olması, kaynaklı işlerin kontrolünde kullanılan metodlara hakim olabilmesi, üretim ve tamirat işlemleri için iyi bir WPS “**Kaynak Yöntem Şartnamesi**” ya da daha basit anlamıyla “kaynak talimatı” nı yazabiliyor olması ve bunu bünyelerinde çalıştırdıkları kaynakçılara hangi kaynak detayını ne şekilde ve hangi parametreler ile kaynatacağını açıklayabiliyor olması ve kaynak sonrasında kalite kontrolünü yapabiliyor olması işin kalitesi açısından önemlidir. Ayrıca bu personeller proaktif düşünebilmeli, üretici firmaların yayınladıkları alanı ile ilgili olan bültenleri yakından takip edebiliyor olmalı, arızaları önceden tespit edebilmeli, iş planından dolayı hemen müdahale edilemeyecekse hasarı optimum düzeyde tutabilecek yöntemleri biliyor olmalıdır. Tüm bu işler deneyimle doğru orantılıdır. Bu sebeple kurumsal firmaların veya diğerlerinin kaynak işlerinde istihdam edecekleri kaynak güvenilirlik mühendislerini iyi seçmeleri, kadroları yoksa oluşturmaları kendi menfaatleri açısından baktığımızda bir gerekliliktir.

3. Metod ve Yöntem

Bu çalışmada, bir maden şirketinin Mobil Ekipman Bakım Onarım bölümünde çalışan güvenilirlik mühendisinin kaynaklı işlerin daha kaliteli yapılabilmesi için ne gibi bir çalışma planı yaptığı, hangi method ve analizleri yaptığını incelenmiştir.

Kaynakta güvenilirlik önleyici ve proaktif bakımların düzenli yapılması, oluşabilecek arızaların önceden tespit edilerek arızalar büyümeden giderilmesi makine kullanılabilirliklerini için önemlidir. Bu bağlamda Kaynak işleri



ile ilgilenen güvenilirlik mühendisinin tam bir disiplinle, makine gövdelerinde oluşabilecek çatlakların, aşınma plakalarının değişimlerinin takip ve tespitlerini iyi yapabilmesi ve planlı bir şekilde arızaların giderilmesini sağlaması önemlidir.

Çatlaklar bir üretim makinesinde istenmeyen durum olup, malzemelerin mukavemetlerini ciddi oranda düşürmekte ve oluşan çatlak veya çatlaklar malzeme yüzeyine ilerleyerek örneğin bir şasenin kırılmasına sebep olabilmektedir. Bu durum makinelerin kullanılabilirliklerini düşürmekte ve üretim açısından olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu sebeple tüm bu olumsuzlukların giderilmesi, üretim kalitesinin artırılması, makinelerin şase, bom arm gibi ana taşıyıcı organlarında ani kırılmalar sonucu oluşabilecek can ve mal kayıplarının önüne geçmek için koruyucu ve önleyici bakım olarak makinelerin bakımlarının yapılması esnasında planlı olarak **tahribatsız muayene yöntemleri** kullanılmaktadır.

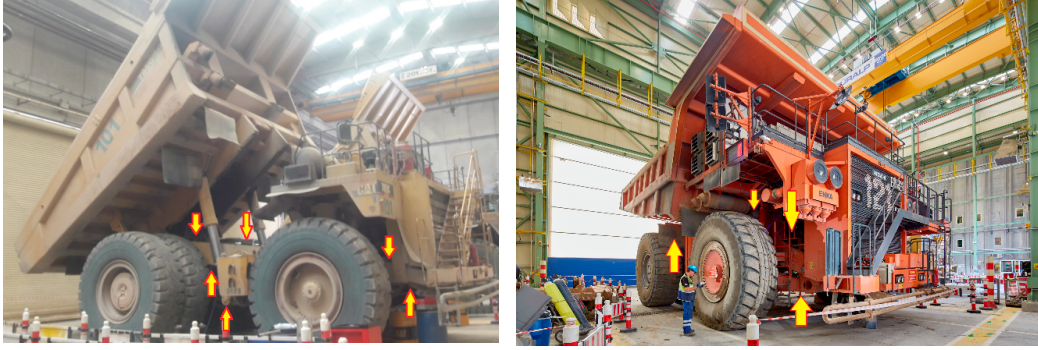
Proaktif yaklaşımla çalışan işletmelerin uyguladıkları sistemin çalışması 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar günlük ve bakım kontrolleri, çatlak tamir operasyonları ve aşınma kontrol ve takipleri olarak ayrılmaktadır. Tüm bu kontroller sonucunda elde edilen makinelere ait bilgileri Güvenilirlik mühendisinin kordinasyonunda olan tek bir merkezde toplanır ve bu bilgileri makine geçmişlerinin tutulduğu veri bankasından aldığı geri bildirimler ile karşılaştırmasını yaparak söz konusu arızanın(malzeme veya kaynaktaki çatlak, aşınma ölçümleri vs.) yeni bir arızamı yoksa tekrar eden arızamı olduğuna karar verir. Çünkü arıza tekrar eden bir arıza ise yapılmış olan tamir işleminin prosedürü arızanın tekrarlanmaması için tekrar gözden geçirilmelidir. Tüm bu kontrollerden sonra, arızanın riskine ve önemine göre gerekli değerlendirmeyi yaparak planlama birimine ve kaynak ekibine yapılması gereken işleri detayları ile beraber aktarmakta ve iş takibini yaparak arıza giderimine müteakip son kontrollerin yapılmasını sağlamalıdır.

3.1. Mobil Ekipmanların Şase ve Yardımcı Elemanlarının Kontrolleri

Günlük ve bakım zamanlarında üretim makinelerinin kontrol ekiplerimizce VT(Gözle Kontrol) kontrol yöntemi yardımıyla genel kontrollerini gerçekleştirilmekte olup, şüphelenilen bir belirti olduğunda belirtinin olduğu yüzey MT(Manyetik Kontrol) kontrol metodu ile tekrar kontrol edilmektedir. Kontrol neticesinde elde edilen veriler Kaynak güvenilirlik mühendisine iletilmektedir. Resim 1 ve 2 'de sahada çalışan yükleyici makinesi ile atelyede bakımının yapılması esnasında makinelerin gözle kontrol noktaları verilmiştir.



Resim 1. Sahada ve atölyede VT Kontrolü yapılan bir İş makineleri



Resim 2. Sahada ve atölyede VT Kontrolü yapılan bir İş makineleri

Resim 1 ve 2 'de görüldüğü gibi, iş makinesinin kova, arm , bom , şase 'lerinin gözle (VT) uygunsuzluk ve çatlak kontrolü yapılmaktadır. Gözle tespit edilen bir hata veya çatlak şüphesi olması durumunda Resim 3 ve 4 'te verilen örneklerde olduğu gibi' de MT kontrolü yapılarak çatlağın durumu araştırılır. MT kontrolünde malzeme veya kaynak yüzeyinde kimyasal(yağ/boya çözücülerle) ve mekanik(zımpara, tel veya taşlama ile) temizlik yapılarak fon boyasını yüzeye en az 15 cm kadar uzaktan sıkılır ve manyetik yöke kullanılarak manyetik alan oluşturulması esnasında siyah demir tozu yüzeye sıkılarak yüzey veya kaynak kontrolleri yapılır.



Resim 3. Sahada VT Kontrolü yapılan bir İş makinesinde çatlak şüphesiyle MT kontrolü yapılması sonucu ortaya çıkan çatlak ve çatlağın durumu.

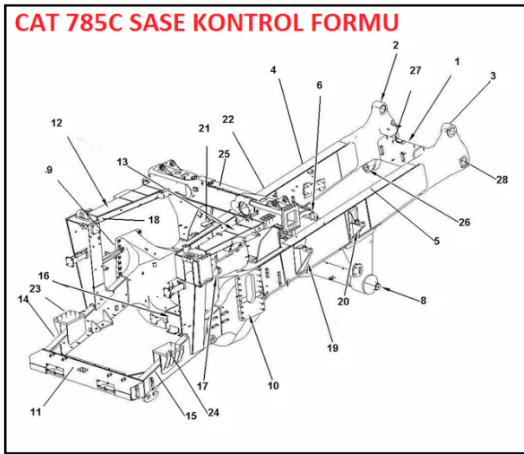


Resim 3. Bakıma gelen bir makinenin VT kontrolü sonucu çatlak şüphesiyle MT kontrolü yapılması sonucu ortaya çıkan çatlak ve çatlağın durumu.



Resim 4. Revizyona giren bir makinenin VT, MT ve UT kontrolünün yapılması

İş makinelerinin kontrollerini üretici firmaların prosedürleri göz önüne alınarak hazırlanmış olan yol gösterici formlar yardımıyla yapılmaktadır. Bunlardan bir örnek Resim 5’de gösterilmiştir. Bu çizelgeler yardımıyla makinede çatlak ve uygunsuzluk tespit edilen bölümleri işaretleyerek planlama bölümüne müdahalenin nasıl yapılacağını detaylarıyla birlikte verilerek uygunsuzluklar iş planına aldırılmaktadır.



CAT 785C SASE KONTROL FORMU

No	Sub Section	Comment		Note
		Good	Crack	
1	Rear Cross Tube			
2	Tail Casting - Right			
3	Tail Casting - Left			
4	Side Rail - Right			
5	Side Rail - Left			
6	Center Tube			
7	Hoist Support - Right			
8	Hoist Support - Left			
9	Front Strut Support - Right			
10	Front Strut Support - Left			
11	Bumper			
12	Upper Superstructure - Right			
13	Upper Superstructure - Right			
14	Front Side Rails - Right			
15	Front Side Rails - Left			
16	Support Steering			
17	Support Fore - Left			
18	Support Fore - Right			
19	Front Mounting Hydraulic Tank			
20	Rear Mounting Hydraulic Tank			
21	Front Mounting Fuel Tank			
22	Rear Mounting Fuel Tank			
23	Radiator Mounting - Left			
24	Radiator Mounting - Right			
25	Beam			
26	Pin Bore for Control Rod			
27	Rear Suspension - Left			
28	Rear Suspension - Right			

Resim 5. Cat 785C Kaya Kamyonuna ait Şase ve Taşıyıcı kontrol Formu

3.2. Çatlaklara Müdahale Yöntemi

Geleneksel bakım onarım anlayışı ile çalışan firmalar oluşan çatlakları genellikle büyüdükten yada iyice belirgin olduktan sonra görmekte ve malzeme ve tel yada elektrod cinsine dikkat etmeksizin eldeki imkanlarla müdahale etmektedirler. Bu durum tamir edilen çatlakların tekrar oluşmasına ve heman yakınlarından malzemelerin tekrar çatlamasına dolayısıyla malzeme kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bunun yansıması olarak işletmeye masraflara, makineden işten alıkonulmasına ve çalışma verimlerinde düşüslere neden olmaktadır. Kaynaklı tamir operasyonuna başlamadan evvel yapılacak olan tamir işleminden maksimum verim alınabilmesi için tespit, müdahale ve kontrol işleminin yapılması önemli olup bulunan bir çatlakın doğru analiz edilmesi ve uygun kaynak yöntemi ile müdahale edilmesi çok önemlidir. Proaktif bakım onarım yaklaşımında ise Çatlaklar daha oluşmadan veya oluşma aşamasında tespit edilerek uygun yöntemle müdahale edilmesini kapsar. Bu yaklaşım sayesinde tamirlerden kaynaklanan işletme masraflarının düşmesine, makinelerin kullanılabilirlik sürelerinin fazla etkilenmemesine dolayısı ile verimliliğin artmasına neden olur. Bu işlemler proaktif çalışan şirketlerde; uygun tahribatsız kaynak yöntemiyle Resim 6’da gösterildiği gibi çatlakın yüzeydeki durumu, etrafında başka kılcal çatlakların olup olmadığı ve derinliği tespit edilmektedir. Resim 7’de gösterildiği gibi üretici firmadan müdahale edilecek komponentin malzeme bilgileri temin edilerek tamir işlemi için uygun tel veya elektrod seçilir ve uygun kaynak tamiri prosedürü

oluşturulmaktadır. Resim 8 ve 9 da gösterildiği şekilde oluşturulmuş olan Kaynak Prosedürüne(WPS) göre kaynak personellerince müdahale yapılmaktadır. Burada önemli olan çatlığa müdahale edilmeden evvel ön tavlamanın yapılması, uygun açma yöntemi ile çatlığın kontrollü bir şekilde açılması, açılma işleminden sonra taşlama ve MT kontrol yöntemi ile çatlığın tamamen kaybolduğundan emin olunması, tekrar ön tavlama yapılarak kaynağa başlanması, kaynak işemi süresince paso geçiş sıcaklıklarına uyulması, curüf bırakılmaması ve Son olarak müdahale sonrası MT ve UT kontrol yapılarak sorun yoksa işe verilmesidir.



Resim 6.Orta üst göbük plakasında çatlak şüphesi olan bir yükleyicinin kontrol

Excalibur® 8018-C3 MR
AWS ER818-C3 H4R + Low Alloy, Low Hydrogen

Technical Specifications:

- Disputing: Working steel
- Shielding gas: Shielding pipe repair
- Designed to produce a 1% nickel deposit
- Prevents arc porosity
- Square coating both off
- Easy strike and re-ignite
- Extends life of electrode

Key Features:

- Designed to produce a 1% nickel deposit
- Prevents arc porosity
- Square coating both off
- Easy strike and re-ignite
- Extends life of electrode

MECHANICAL PROPERTIES:

Temp. (°C)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
100	140	210	20
150	130	200	20
200	120	190	20
250	110	180	20
300	100	170	20
350	90	160	20
400	80	150	20
450	70	140	20
500	60	130	20

WPS

Field Welding Procedure

This document conforms to AWS D1.1 Structural Welding Code and Australian Standards AS 1554.4

Procedure: PWD111

Revision: 1

Author: Joe Armstrong

Date: 10/12/10

Welding Process: FCAW / SMAW

Shield: E818-C3 H4R

Joint Detail:

Base Metals:

Specification	ASTM A367 Grade 10 Modified (4300)	ASTM A367 Grade 10 Modified (4300)
Thickness	1.13 to 1.17" Flat Attachment	1.13 to 1.17" Flat Attachment
Radius	1.13 to 1.17" Flat Attachment	1.13 to 1.17" Flat Attachment
Groove Angle	10-12° Per Attachment	Radius N/A
BACK GROUTING	Yes, if repaired	Method: ARC-LAR
Other		

Filler Metals:

AWI Specification	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R	AK 6
Shielding	0.044" / 0.024" / 1/16"	0.044" / 0.024" / 1/16"	1/8" / 5/32" / 1/16"

Positions Qualified: Flat, Horizontal, Vertical groove, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, 7G, 8G, 9G, 10G, 11G, 12G, 13G, 14G, 15G, 16G, 17G, 18G, 19G, 20G, 21G, 22G, 23G, 24G, 25G, 26G, 27G, 28G, 29G, 30G, 31G, 32G, 33G, 34G, 35G, 36G, 37G, 38G, 39G, 40G, 41G, 42G, 43G, 44G, 45G, 46G, 47G, 48G, 49G, 50G, 51G, 52G, 53G, 54G, 55G, 56G, 57G, 58G, 59G, 60G, 61G, 62G, 63G, 64G, 65G, 66G, 67G, 68G, 69G, 70G, 71G, 72G, 73G, 74G, 75G, 76G, 77G, 78G, 79G, 80G, 81G, 82G, 83G, 84G, 85G, 86G, 87G, 88G, 89G, 90G, 91G, 92G, 93G, 94G, 95G, 96G, 97G, 98G, 99G, 100G, 101G, 102G, 103G, 104G, 105G, 106G, 107G, 108G, 109G, 110G, 111G, 112G, 113G, 114G, 115G, 116G, 117G, 118G, 119G, 120G, 121G, 122G, 123G, 124G, 125G, 126G, 127G, 128G, 129G, 130G, 131G, 132G, 133G, 134G, 135G, 136G, 137G, 138G, 139G, 140G, 141G, 142G, 143G, 144G, 145G, 146G, 147G, 148G, 149G, 150G, 151G, 152G, 153G, 154G, 155G, 156G, 157G, 158G, 159G, 160G, 161G, 162G, 163G, 164G, 165G, 166G, 167G, 168G, 169G, 170G, 171G, 172G, 173G, 174G, 175G, 176G, 177G, 178G, 179G, 180G, 181G, 182G, 183G, 184G, 185G, 186G, 187G, 188G, 189G, 190G, 191G, 192G, 193G, 194G, 195G, 196G, 197G, 198G, 199G, 200G, 201G, 202G, 203G, 204G, 205G, 206G, 207G, 208G, 209G, 210G, 211G, 212G, 213G, 214G, 215G, 216G, 217G, 218G, 219G, 220G, 221G, 222G, 223G, 224G, 225G, 226G, 227G, 228G, 229G, 230G, 231G, 232G, 233G, 234G, 235G, 236G, 237G, 238G, 239G, 240G, 241G, 242G, 243G, 244G, 245G, 246G, 247G, 248G, 249G, 250G, 251G, 252G, 253G, 254G, 255G, 256G, 257G, 258G, 259G, 260G, 261G, 262G, 263G, 264G, 265G, 266G, 267G, 268G, 269G, 270G, 271G, 272G, 273G, 274G, 275G, 276G, 277G, 278G, 279G, 280G, 281G, 282G, 283G, 284G, 285G, 286G, 287G, 288G, 289G, 290G, 291G, 292G, 293G, 294G, 295G, 296G, 297G, 298G, 299G, 300G, 301G, 302G, 303G, 304G, 305G, 306G, 307G, 308G, 309G, 310G, 311G, 312G, 313G, 314G, 315G, 316G, 317G, 318G, 319G, 320G, 321G, 322G, 323G, 324G, 325G, 326G, 327G, 328G, 329G, 330G, 331G, 332G, 333G, 334G, 335G, 336G, 337G, 338G, 339G, 340G, 341G, 342G, 343G, 344G, 345G, 346G, 347G, 348G, 349G, 350G, 351G, 352G, 353G, 354G, 355G, 356G, 357G, 358G, 359G, 360G, 361G, 362G, 363G, 364G, 365G, 366G, 367G, 368G, 369G, 370G, 371G, 372G, 373G, 374G, 375G, 376G, 377G, 378G, 379G, 380G, 381G, 382G, 383G, 384G, 385G, 386G, 387G, 388G, 389G, 390G, 391G, 392G, 393G, 394G, 395G, 396G, 397G, 398G, 399G, 400G, 401G, 402G, 403G, 404G, 405G, 406G, 407G, 408G, 409G, 410G, 411G, 412G, 413G, 414G, 415G, 416G, 417G, 418G, 419G, 420G, 421G, 422G, 423G, 424G, 425G, 426G, 427G, 428G, 429G, 430G, 431G, 432G, 433G, 434G, 435G, 436G, 437G, 438G, 439G, 440G, 441G, 442G, 443G, 444G, 445G, 446G, 447G, 448G, 449G, 450G, 451G, 452G, 453G, 454G, 455G, 456G, 457G, 458G, 459G, 460G, 461G, 462G, 463G, 464G, 465G, 466G, 467G, 468G, 469G, 470G, 471G, 472G, 473G, 474G, 475G, 476G, 477G, 478G, 479G, 480G, 481G, 482G, 483G, 484G, 485G, 486G, 487G, 488G, 489G, 490G, 491G, 492G, 493G, 494G, 495G, 496G, 497G, 498G, 499G, 500G, 501G, 502G, 503G, 504G, 505G, 506G, 507G, 508G, 509G, 510G, 511G, 512G, 513G, 514G, 515G, 516G, 517G, 518G, 519G, 520G, 521G, 522G, 523G, 524G, 525G, 526G, 527G, 528G, 529G, 530G, 531G, 532G, 533G, 534G, 535G, 536G, 537G, 538G, 539G, 540G, 541G, 542G, 543G, 544G, 545G, 546G, 547G, 548G, 549G, 550G, 551G, 552G, 553G, 554G, 555G, 556G, 557G, 558G, 559G, 560G, 561G, 562G, 563G, 564G, 565G, 566G, 567G, 568G, 569G, 570G, 571G, 572G, 573G, 574G, 575G, 576G, 577G, 578G, 579G, 580G, 581G, 582G, 583G, 584G, 585G, 586G, 587G, 588G, 589G, 590G, 591G, 592G, 593G, 594G, 595G, 596G, 597G, 598G, 599G, 600G, 601G, 602G, 603G, 604G, 605G, 606G, 607G, 608G, 609G, 610G, 611G, 612G, 613G, 614G, 615G, 616G, 617G, 618G, 619G, 620G, 621G, 622G, 623G, 624G, 625G, 626G, 627G, 628G, 629G, 630G, 631G, 632G, 633G, 634G, 635G, 636G, 637G, 638G, 639G, 640G, 641G, 642G, 643G, 644G, 645G, 646G, 647G, 648G, 649G, 650G, 651G, 652G, 653G, 654G, 655G, 656G, 657G, 658G, 659G, 660G, 661G, 662G, 663G, 664G, 665G, 666G, 667G, 668G, 669G, 670G, 671G, 672G, 673G, 674G, 675G, 676G, 677G, 678G, 679G, 680G, 681G, 682G, 683G, 684G, 685G, 686G, 687G, 688G, 689G, 690G, 691G, 692G, 693G, 694G, 695G, 696G, 697G, 698G, 699G, 700G, 701G, 702G, 703G, 704G, 705G, 706G, 707G, 708G, 709G, 710G, 711G, 712G, 713G, 714G, 715G, 716G, 717G, 718G, 719G, 720G, 721G, 722G, 723G, 724G, 725G, 726G, 727G, 728G, 729G, 730G, 731G, 732G, 733G, 734G, 735G, 736G, 737G, 738G, 739G, 740G, 741G, 742G, 743G, 744G, 745G, 746G, 747G, 748G, 749G, 750G, 751G, 752G, 753G, 754G, 755G, 756G, 757G, 758G, 759G, 760G, 761G, 762G, 763G, 764G, 765G, 766G, 767G, 768G, 769G, 770G, 771G, 772G, 773G, 774G, 775G, 776G, 777G, 778G, 779G, 780G, 781G, 782G, 783G, 784G, 785G, 786G, 787G, 788G, 789G, 790G, 791G, 792G, 793G, 794G, 795G, 796G, 797G, 798G, 799G, 800G, 801G, 802G, 803G, 804G, 805G, 806G, 807G, 808G, 809G, 810G, 811G, 812G, 813G, 814G, 815G, 816G, 817G, 818G, 819G, 820G, 821G, 822G, 823G, 824G, 825G, 826G, 827G, 828G, 829G, 830G, 831G, 832G, 833G, 834G, 835G, 836G, 837G, 838G, 839G, 840G, 841G, 842G, 843G, 844G, 845G, 846G, 847G, 848G, 849G, 850G, 851G, 852G, 853G, 854G, 855G, 856G, 857G, 858G, 859G, 860G, 861G, 862G, 863G, 864G, 865G, 866G, 867G, 868G, 869G, 870G, 871G, 872G, 873G, 874G, 875G, 876G, 877G, 878G, 879G, 880G, 881G, 882G, 883G, 884G, 885G, 886G, 887G, 888G, 889G, 890G, 891G, 892G, 893G, 894G, 895G, 896G, 897G, 898G, 899G, 900G, 901G, 902G, 903G, 904G, 905G, 906G, 907G, 908G, 909G, 910G, 911G, 912G, 913G, 914G, 915G, 916G, 917G, 918G, 919G, 920G, 921G, 922G, 923G, 924G, 925G, 926G, 927G, 928G, 929G, 930G, 931G, 932G, 933G, 934G, 935G, 936G, 937G, 938G, 939G, 940G, 941G, 942G, 943G, 944G, 945G, 946G, 947G, 948G, 949G, 950G, 951G, 952G, 953G, 954G, 955G, 956G, 957G, 958G, 959G, 960G, 961G, 962G, 963G, 964G, 965G, 966G, 967G, 968G, 969G, 970G, 971G, 972G, 973G, 974G, 975G, 976G, 977G, 978G, 979G, 980G, 981G, 982G, 983G, 984G, 985G, 986G, 987G, 988G, 989G, 990G, 991G, 992G, 993G, 994G, 995G, 996G, 997G, 998G, 999G, 1000G.

WELDING PARAMETERS

(The FCAW welding parameters were obtained from the qualification of the LINCOLN Ultracore 712488 used during LTT fabrication on LeFormax Technologies welding equipment. These numbers will likely vary depending on the specific welding equipment and settings used for repairs.)

Weld Pass	Process	Filler Metal	Filler Diameter	Current Type	Amps	Volts	Travel Speed (in/min)	Welding Position
AI	FCAW	E818-C3 H4R	1/16"	DCEN	250-340	22-26	6-12	Flat & Horizontal
AI	FCAW	E818-C3 H4R	1/8"	DCEN	250-310	22-26	6-12	Flat & Horizontal
AI	FCAW	E818-C3 H4R	3/16"	DCEN	240-260	22-26	6-12	Flat & Horizontal
AI	FCAW	E818-C3 H4R	1/2"	DCEN	180-200	21-24	7-10	Vertical
AI	FCAW	E818-C3 H4R	5/16"	DCEN	150-170	21-24	7-10	Vertical
AI	FCAW	E818-C3 H4R	3/8"	DCEN	140-160	21-24	7-10	Vertical
AI	SMAW	E818-C3 H4R	1/8"	DCEN	130-150	11-14	N/A	All
AI	SMAW	E818-C3 H4R	3/16"	DCEN	80-100	11-14	N/A	All
AI	SMAW	E818-C3 H4R	1/4"	DCEN	130-150	11-14	N/A	All
AI	SMAW	E818-C3 H4R	5/16"	DCEN	90-110	11-14	N/A	All
Open Root	SMAW	E818-C3 H4R	3/32"	DCEN or ACEN	50-70	N/A	N/A	Flat & Horizontal
Open Root	SMAW	E818-C3 H4R	1/16"	DCEN or ACEN	50-70	N/A	N/A	Vertical

SUGGESTED AIR ARC PARAMETERS

Electrode Diameter	Minimum Amps	Maximum Amps
1/8"	60	90
5/32"	90	120
3/16"	120	150
1/4"	150	200
5/16"	200	250
3/8"	250	300
1/2"	300	400
5/8"	400	500
3/4"	500	600
7/8"	600	700
1"	700	800
1 1/8"	800	900
1 1/4"	900	1000
1 3/8"	1000	1100
1 1/2"	1100	1200
1 5/8"	1200	1300
1 3/4"	1300	1400
1 7/8"	1400	1500
2"	1500	1600

PROPER ELECTRODE SELECTION FOR FIELD WELDING

Material (Joint Type)	Rod Consumable	Wire Consumable
Steel to Steel	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R
Steel to Cast Iron	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R
Cast Iron to Cast Iron	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R
Cast Iron to Steel	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R
Wear Resistant Production on bucket	E818-C3 H4R	E818-C3 H4R

BEAD TEMPERING FINISH PASSES

The last layer of weld passes must be completed starting from the base material toward the middle of the weld.

BUTTER WELDS

On groove or fillet welds 2" (51 mm) deep or larger - butter weld the sides of the groove prior to welding the groove joint. Put a single layer or buttering layer of weld metal on each side of the weld joint.

Resim 7. Tamir işlemi için hazırlanmış olan bir WPS prosedürü örneği



Resim 8. Bir tamir işleminde, ön tavlama, karbon ark ile çatlığın açılması ve ısı kontrolü örneği



Resim 9. Bir tamir işleminde, oluşan çatlakın tamamen yok oluncaya kadar kaynak ağzı açılması ve MT kontrol ile doğrulanması örneği



Resim 10. Bir tamir işleminde, oluşan çatlakın tamirasyonu ve tamirat sonrası kontrolü örneği

3.3. Yükleyici ve Taşıyıcı Is Makinelerinin Aşınıt Plakalarının Takibi ve Ömürlerinin Artırılması

Bir maden üretim prosesinde makine kullanılabilirlikleri açısından aşınıt plakalarının doğru seçilmesi önemlidir. Uzun ömürlü ve kaliteli olarak seçilmiş olan aşınıt plakalarının değişim periyod aralıkları azayacaktır. Bu durumda, makineler için planlanmış olan çalışma ömürleri boyunca değişimi yapılacak olan aşınıt plaka adetlerinde ve buna bağlı olarak hem aşınıt plaka maliyetleri hem de değişimleri için gerekli olan sürelerde azalma olacaktır. Bu durum firmanın dönemsel karında bir artış sağlayacaktır.

Proaktif bakım anlayışı ile çalışan maden firmaların Mobil ekipman bakım departmanı kaynak güvenilirlik mühendisleri üretim kalitesi ve verimliliğini sağlamak için, optimum sertlikte ve dayanımdaki aşınıt plakalarını seçmek ve örnek uygulamada da verildiği gibi sürekli bünyelerinde AR-GE yaparak plaka ömürlerinin artırılmasına katkı sağlamak zorundadırlar. Bununla beraber bölgesel olarak aşınıt kontrollerini yapmaktadırlar. Bu analizlerin neticelerinde değişim zamanı gelmiş olan aşınıt plakalarının değişimlerini sağlayarak bu plakaların tesislerin duruş yapmasına neden olabilecek kırıcı gibi önemli ünitelerine bu plakaların düşmesinin önüne geçmiş olmaktadır.

4. Örnek Uygulama

Bu çalışmada, kaya kamyonu damperinde aşınıtları önlemek amacıyla kullanılan aşınıt plakalarının düz tip ve girintili tip olması durumunda aşınıt zaman aralığına etkisi araştırılmıştır. İlk başta Resim 11'de 3. Sırada görüldüğü gibi, düz tip aşınıt plakası tüm damperde kullanılmaktaydı. Biz yapmış olduğumuz çalışmalarda 1. Ve 2. Sıraları girintili tip aşınıt plakalarına çevirdik. Bu değişim ile girintilere toprak dolmasından dolayı aşınıt plakaları üzerindeki sürtünmeler azaltılmış ve aşınıt plakası ömürlerinde %60 oranında artış sağlanmıştır. Söz konusu artış oranları tablo 1 de verilmiştir.



Resim 10. Cat 785C Kaya kamyonu Modifikasyonlu Damper Aşını plakaları dizilimi

Kaya kamyonlarında başarı sağlayan girintili aşını plakası sistemi shovel ve loader 'lerde uygulanarak aşını plakalarının ömürlerinde artış sağlanmıştır.

Ekipman	Türü	Modifikasyon Uygulanan Yer	Eski Çalışma Saati	Yeni Çalışma Saati	Kazanç / Fayda
Cat 785C	Kaya Kamyonu	Kamyon Kasası	5000	8000	3000
Hitachi EX 3600	Shovel	Kova	2000	4000	2000
Letourneau L1350	Loader	Kova	2000	4000	2000

5. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bir firmanın üretiminin verimli olması karlılığı ile doğru orantılı olmaktadır. Üretimde verimlilik ise elde olan ekipmanların en iyi şekilde kullanılması ve çalışabilirliğinin en üst düzeyde tutulabilmesi ile olmaktadır. Bu noktada firma bünyesinde bulunan ekipmanların bakımlarının tam zamanında ve eksiksiz olarak yapılması ile oluşabilecek olası arızaların önceden tespit edilerek daha büyümeden planlarak müdahalelerin yapılması ve duruş sürelerinin azaltılması önemli olup güvenilirlik ve güvenirlilik mühendisliğinin katkıları önem kazanmaktadır.

Maden sektöründe üretimin sektöre uğramaması için tüm birimlerin diğer firmalarda da olduğu gibi uyum içinde çalışması gerekmektedir. Bu sebeple, üretimin ilk aşaması olan açıkocakta çalışan mobil ve sabit ekipmanların faal tutulması üretimin kalitesi ve verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bundan dolayı Mobil Ekipman Bakım Departmanının makinelerin kullanılabilirliklerini yüksek tutma zorunluluğu vardır.



Halen günümüzde çoğu firmanın uygulamakta olduğu geleneksel yani standart bakım yöntemleri uygulanmaktadır. Bu durum ne yazık ki uygulayan firmalara ekstra maliyet ve zaman açısından külfetler getirmektedir. Fakat Bu bakım tarzından kaynaklı olan aksaklıkları tespit edip zamanla bu bakım tarzını devre dışı bırakarak yeni nesil proaktif bakımcılığı ön plana çıkarmak işletmeler açısından gerekliliktir. Proaktif bakım yaklaşımını bakım kültürü haline getirebilmek için, alanlarınız için gerekli olan eğitimlerin yanı sıra kişisel olarak da personellerinizin gelişimlerini ön planda tutulmalıdır. Proaktif bakım anlayışının bir firmada oturması elbette ilk başlarda ekstra bir külfet getirecek ve zaman alacaktır. Ama firma karlılıkları açısından bakıldığında firma yönetimlerinin yapacakları maliyet analizlerinde bunun gerçekte önemsiz bir yekün tuttuğunu göreceklere. Bunu sağlamak sabır gerektiren bir iş olup önce ilgili kadro ihtiyaçlarınızı oluşturmanız ve mevcut personellerinize gereken eğitimleri aldırmanız ve birimler arası iletişimi ön plana çıkarmanız, bireysellikten sıyrılarak biz yani takım ruhunu personellerinize ve aşılayabilmemiz ve tüm bu işleri bir ahenk içinde ve iş güvenliğine önem vererek yapmanız gerekecektir.

Kaynaklar

- Askaynak Kaynak el kitabı
- Üçüncü K. (2018), “Güvenilirlik Mühendisliği” <https://www.onlemdergisi.com.tr/guvenilirlik-muhendisligi/>
- https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCvenilirlik_m%C3%BChendisli%C4%9Fi
- <https://www.muhandisbeyinler.net/tahribatsiz-muayene-yontemleri/>
- Uzun A., Özdoğan A. (2011), “GÜVENİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI ÖNLEYİCİ BAKIM PLANLANMASI”, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 20, Sayı 1, 2011, Sayfa 303-320 303
- Emir T., Marangoz M.C., Işık M.Z., (2012), “Endüstriyel işletmelerde bakım kültürünün değişimi”, Batman University International participated Science and Culture Symposium, 18-20 April 2012 Batman, TURKEY
- Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- Knezevic, J. (1993) Reliability, Maintainability and Supportability Engineering A Probabilistic Approach, McGraw-Hill, london 292 pp. Plus sorftware PROBCHAR

AĞIR İŞ MAKİNELERİNDEKİ GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ

¹Halil Aslan, ²Halil Tayan, ³Rıdvan Veziroğlu

¹ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı Güvenilirlik Mühendisi halilt@kisladag.com

² TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı Bakım ve Kaynak Süpervizörü halila@kisladag.com

³ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı Müdürü ridvanv@kisladag.com

Özet

Güvenilirlik insanlar arasında olduğu kadar, bir ürünün ortaya çıkması için değişim ve gelişim geçirdiği her alanda çok önemli bir yere sahiptir. Bir işletmede makinelerin önleyici bakımın ve arıza tespitlerinin yapılabilmesi, projelerdeki işlemin iş güvenliğine uygun yürütülmesi, işin en az maliyet ve ekipman duruşuyla gerçekleştirilmesi üretim kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, güvenilirlik mühendisinin madende çalışan mobil ekipmanları nasıl test ve kalibre ettiği, ekipman datalarını nasıl tuttuğu, yağ analiz sonuçlarını hangi metodla değerlendirdiği, hangi aksiyonları nasıl aldığı incelenecektir. Ayrıca bu bilgiler ışığında ağır iş makineleri için; sağlıklı çalışma koşullarının nasıl oluşturulduğu, çevresel kazaların önüne nasıl geçildiği, çalışılan alanlarda personel ve ekipman güvenliğinin nasıl sağlandığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler; Güvenilirlik mühendisliği, Önleyici Bakım, Arıza tespiti

Abstract

Reliability is as important to people as it is to every product in which it undergoes change and development. Preventive maintenance and fault detection of machines in an enterprise, the operation of the projects in accordance with the work safety, the work done with the lowest cost and equipment downtime directly affects the quality of production. In this study, how the reliability engineer tests and calibrates the mobile equipment working in the mine, how it holds the equipment data, how it evaluates the results of the oil analysis, and what actions it takes will be examined. In addition, in the light of this information for heavy machinery; how healthy working conditions are created, how to prevent environmental accidents, how to ensure the safety of personnel and equipment in the work areas are examined.

Keywords; Reliability engineering, Preventive Maintenance, Fault detection



1. Giriş

Güvenilirlik insanlar arasında olduğu kadar, bir ürünün ortaya çıkması için değişim ve gelişim geçirdiği her alanda çok önemli bir yere sahiptir. Bir işletmede makinelerin önleyici bakımın ve arıza tespitlerinin yapılabilmesi, projelerdeki işleyişin iş güvenliğine uygun yürütülmesi, işin en az maliyet ve ekipman duruşuyla gerçekleştirilmesi üretim kalitesini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel bakım yapan firmaların bu hususlara gerekli önemi vermemesi nedeniyle bu firmalarda hem iş kazaları oranları hemde ekipman bakım onarım maliyet oranları profesyonel firmalarla karşılaştırıldığında daha fazla çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak; gerek iş kazalarından kaynaklı tazminatlar gerekse makinelerin gayri faal durumda kalmasından kaynaklı masraflardan dolayı bu şirketlerin üretim maliyetlerini artırmaktadırlar. Tüm sektörlerde çalışan firmalarda makinelerin kullanılabilirlik sürelerinin maksimum düzeyde tutulması üretim verimi ve kalitesi açısından önemlidir. Bu sebeple firmalar bünyelerinde çalışan iş makinelerini faal tutabilmek ve iş kazalarının önüne geçebilmeleri için sürekli kendilerini geliştirmek ve yenilemek zorundadırlar. Bundan dolayı Firmaların bakım onarım departmanlarının yanı sıra iş güvenliği ve çevre departmanlarının da önemi ön plana çıkmaktadır. Bakım onarım departmanları geleneksel bakımdan uzaklaşarak kendilerini sürekli olarak geliştirmeli, personellerini eğiterek bir güvenli bakım onarım kültürü oluşturabilmelidirler. Ağır iş makineleriyle çalışan bir madende oluşabilecek olan bir kazanın ölüm ve ciddi yaralanma ile sonuçlanma ihtimallerinin ve ayrıca, iş makinelerinin kontrollerinin düzensiz yapılması ve zamanında müdahale edilmemesinden dolayı oluşabilecek döküntülerden kaynaklı çevresel kazalardan kaynaklı oluşabilecek bertaraf giderleri önüne geçmek için, bu makinelere ait arıza tespit operasyonlarına başlamadan önce öncelikli olarak kişisel güvenliğin, ekipman ve çevre güvenliğinin sağlanması, yapılan iş ile ilgili risk analizi ve iş güvenlik analizinin yapılmış ve anlaşılmalı olması ile birlikte yapılacak olan kontrol için bir prosedür oluşturulması önemlidir. Diğer yandan iş amkinelerinde oluşabilecek arıza/arızaların önüne geçilebilmesi ve oluşturabileceği hasar/hasarların minimumda tutulabilmesi için kontrol işlemleri sonucu elde edilen verilerin, test sonuçları ve alınan yağ numunelerinin analizlerinin sonuçlarının doğru ve profesyonel bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Tüm bunları gerçekleştirebilmek proaktif ve sürdürülebilir bir çalışma yapılabilmesi için saha kontrol ekibi, güvenilirlik mühendisi, planlama bölümü ve bakım onarım ekiplerini içine alan bir organizasyonun oluşturulması gereklidir. Bu organizasyonun 1. Aşamasında, ekipte görev alan personelin yapacakları işlemler için öncelikle iş güvenliği ve çevre analizleri yapıldıktan sonra, saha ve bakım öncesi kontrollerinde üretici firmanın vermiş olduğu test ve kontrolleri yapması, iş makinelerinin ilgili komponentlarının yağlarından numune alması, laboratuvarında analizlerinin yapılması ve elde edilen tüm dataların güvenilirlik mühendisinde toplanması, 2. aşamasında tüm bu verilerin değerlendirilerek gerekli aksiyonlara karar verilmesi ve aksiyonları planlama ekibine bildirmesi, 3 aşamasında aksiyonun uygulanması ve sonuçlarının gözlenmesi gerekmektedir. Tüm aşamalarda, iş sağlığı ve çevre güvenliğine dikkat edilmelidir. Bu çalışmada, güvenilirlik mühendisinin madende çalışan mobil ekipmanların takibini nasıl yaptığı, arıza oluşmadan hangi metodları ve analiz yöntemlerini kullandığını ve sonuçları nasıl değerlendirdiğini, hangi aksiyonları nasıl aldığı incelenecektir. Ayrıca bu bilgiler ışığında ağır iş makineleri için; sağlıklı çalışma koşullarının nasıl oluşturulduğu, çevresel kazaların önüne nasıl geçildiği, çalışılan alanlarda personel ve ekipman güvenliğinin nasıl sağlandığı incelenmiştir.

2. Metot ve Yöntem

Bu çalışmada bir altın madeni bünyesinde faaliyet gösteren bakım onarım departmanının güvenilirlik mühendisinin madende çalışan iş makinelerinin takibini nasıl yaptığı, arıza oluşmadan hangi metodları ve analiz yöntemlerini kullandığını ve sonuçları nasıl değerlendirdiğini, hangi aksiyonları nasıl aldığı ve tüm bunları yaparken, sağlıklı çalışma koşullarının nasıl oluşturulduğu, çevresel kazaların önüne nasıl geçildiği, çalışılan alanlarda personel ve ekipman güvenliğinin nasıl sağlandığı incelenecektir. Bu işlemler 4 aşamanın;

1. aşamasında, Güvenli çalışma ortamının sağlanması için alınan tedbirler ve prosedürler belirlenir,

2. aşamasında, iş makinelerinin test ve kontrolleri yapması, iş makinelerinin ilgili komponentlarının yağlarından numune alması, laboratuvarında analizlerinin yapılması ve elde edilen tüm dataların güvenilirlik mühendisinde toplanması,

3. aşamasında tüm bu verilerin değerlendirilerek gerekli aksiyonlara karar verilmesi ve aksiyonları planlama ekibine bildirmesi,

4. aşamasında aksiyonun uygulanması ve sonuçlarının gözlenmesi gerekmektedir. Tüm aşamalarda, iş sağlığı ve çevre güvenliğine dikkat edilmelidir basamaklarını kapsamaktadır.

3. Güvenli Çalışma

Gerek sahada gerekse atelyede yapılan tüm çalışmalarda İş sağlığı ve güvenliği(İSG) ve Çevre Güvenliği(ÇG) ile ilgili tüm tedbirleri yapmak ve risk analizlerinin yapılması, çalışacak olan personelin güvenli bir çalışma ortamında çalışması ve çevreye herangibir zarar verilmemesi açısından çok önemlidir. İşin her aşamasında yapacakları iş/işlere uygun KKD(kişisel koruyucu donanım) 'lerini (Baret, Gözlük, Eldiven, İş güvenlik boru, Reflektörlü İş elbisesi ve/veya yelek vs.) kullanmak zorundadırlar. Bu sebeple, personellerimiz amirleri ile yapacakları çalışma için öncelikle İş güvenlik analizini(JSA) hazırlamakta ve gerekli ise ilave koruyucu donanımlarını(Paraşüt tipi emniyet kemeri, lanyard, çizme gibi) tedrik ederek işlem yapacakları alana hareket ederler. Resim 1 'de hazırlanmış olan bir JSA gösterilmiştir.

Resim 1. Örnek bir JSA

Bu esnada, eğer atelye dışında(açık ocak, pasa döküm kırıcı vs.) bir çalışma yapılacak ise maden içinde tanımlanmış olan sürüş güvenliği kurallarına, alanlara özel kurallara uymaktadırlar. Kontrol veya bakım/onarım yapacakları makineye kontrollü bir şekilde operatör ile iletişime geçerek yanaşmakta ve makineyi gayri faal duruma düşürerek çalışma esnasında oluşabilecek bir kazanın önüne geçmek için "Kilitleme ve İşaretleme" yapmaktadırlar. Burada esas olan çalışan herbir personel kendi kilitlemesini yapmasıdır. İş makinesinin etrafını makine etki alanı gözetilerek etrafını şerit/dubalar yardımı ile çevirerek kendilerine, çevrede başka çalışan makine ve personellere karşı güvenli alan oluşturmaktadırlar. Resim 2 'de kilitleme ve işaretleme ve şeritleme uygulaması gösterilmiştir.



Resim 2. Kilitleme ve İşaretleme ve Şeritleme uygulaması

Makinede çalışacak olan personel/personeller denetim ve kontrollerini prosedürlere uygun olarak gerçekleştirdikten sonra şeritlemeyi ve kilitleme için kullandıkları kilitlerini alarak kontrollü bir şekilde alanı terk etmektedirler.

4. Günlük ve Bakım Öncesi Kontrollerin Yapılması

4.1 Yağ Analizlerinin Alınması:

Makinelerin yağ analizleri genellikle makine bakım için alınmadan 50 saat önce ve bakım esnasında olmak üzere 2 sefer alınarak değerlendirilmektedir. 50 saat önce alınan numunelerden amaç, kompanenette bir sorun var ise bunu bakımdan önce tespit edilmesi ve bakıma kadar alınacak aksiyonların önceden planılarak parça tedarikinin yapılması ile duruş süresinin kısaltılmasıdır. Periyodik olarak alınan yağ numuneleri ve bunların analiz sonuçları bir data bankta saklanmaktadır. Bundan amaç proaktif bakım biriminin arızalara yaklaşımı ve tecrübeleri artırmak olup, komponentlerin durumları daha iyi analiz edilmesi ve komponentlere ait analiz trendlerinin oluşturulmasıdır. Kompanent yağ analiz trendleri ekipmanların kompenantların malzemelerinin alaşım türleri farklı olduğundan dolayı her kompanent ve hatta iş makinesi için farklılık göstermektedir. Bu trendlerin bu bakış açısı ile değerlendirilmesi muhtemel hatalı kararların önüne geçilmiş olacaktır.

Örnek yağ numunelerinin alınması işlemleri Resim 4. 'de verilmiştir.



Resim 4. Yağ numunesinin alınması

4.2 Yağ Numunelerinin Yağ Analiz Laboratuvarında Analiz Edilmesi:

Temel olarak yağ analizleri bize makinenin durumu ve yağın durumu hakkında bilgi verir. Burada makine durumu ile ilgili olarak komponentten alınan yağdaki çöküntüler görüntülenerek, yağlar ile aşınan yüzeyden uzaklaştırılan çok az miktardaki aşınma parçacıkları ölçülmektedir. Yağlama yağının, fiziksel ve kimyasal testlere göre hizmete devam edip etmemesi tespit edilmektedir.

Numunesi alınmış olan komponentlere ait yağlar bu yağ analiz laboratuvarında Viskozite, Parçacık sayımı, su tayini elementer ve moleküler yapı analizleri yapılmaktadır. Bu analizler ile yağ içerisindeki su, alaşım elementlerinin, kirlilikleri ve bozulmaların tayinlerinin yapılması ve buna bağlı olarak ilgili kompanentin durumu hakkında bilgi

sahibi olunmaktadır. Tüm bu datalar değerlendirilerek aşağıdaki sıkıntılar tespit edilebilmektedir.

Yağdaki Su artışı ile, conta veya gövde hasarlarının tespiti,

Elemanter analiz ile, yağdaki alaşım elementlerine ve miktarlarına bağlı olarak komponentlere ait Segman, Yatak, Aktarım aksamları, Rulman, Rulman yatakları, vb. akşamların durumları,

Moleküler yapı analizi ile, yağın yapısında çalışmasından ve ortamdaki kaynaklardan dolayı oluşmuş kirlilikleri ve bozulmaları ve buna neden olan arıza veya muhtemel arızaların tespit edilmesinde,

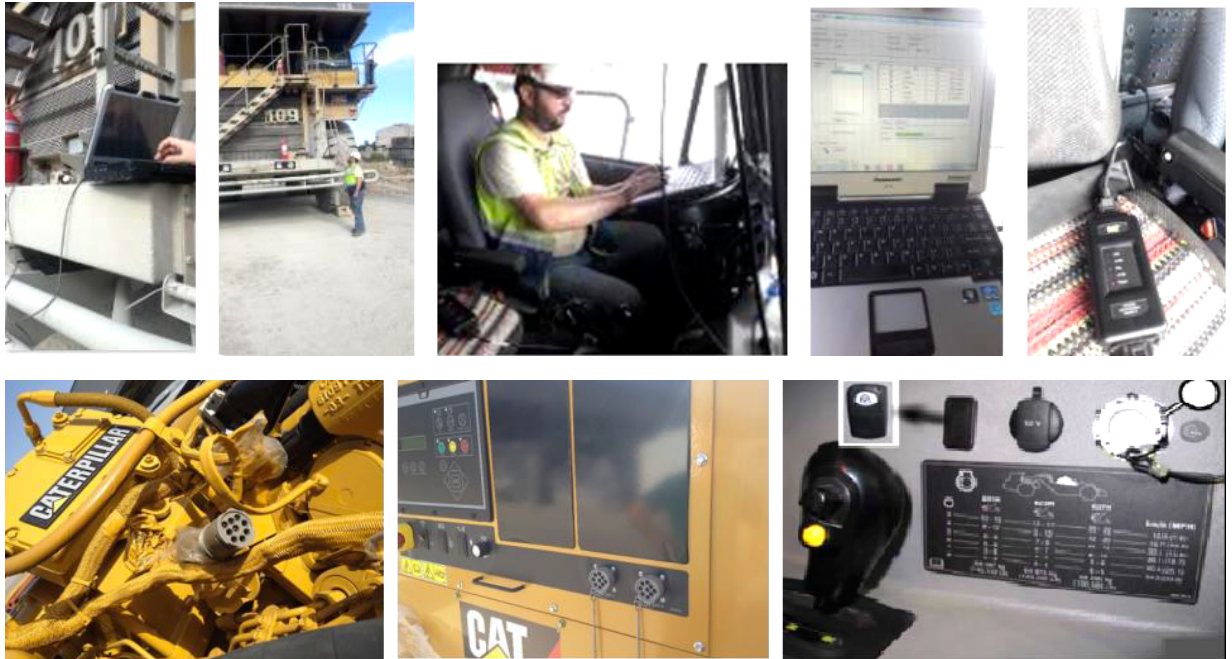
Viskozite testinin yapılması ile, yağın özelliğini yitirip yitirmediği hakkında,

Parçacık sayımı ile, komponentin içyapısındaki aşınma hakkında bilgi sahibi olmuş oluruz.

Yağ analizlerini yaptıktan sonra uzman ekibimizle yağ analiz sonuçlarındaki veriler ve komponent yapı, elemanları ve özellikleri dikkate alınarak yorumlamalar yapılır. Yorumlama sonucunda acil alınması gereken bir aksiyon var ise planlama bölümü ile iletişime geçilerek yapılacak olan aksiyon iş planına alınarak takibi sağlanır. Müdahale/müdahaleler sonrası makinenin 50 saatlik çalışma sonrasında söz konusu komponentten tekrar yağ numunesi alınarak tekrar analiz edilir. Bir önceki raporla kıyaslanarak analiz sonuçlarında iyileşmenin olup olmadığı ve müdahalenin yeterli olup olmadığına karar verilir.

4.3 Test Ve Kalibrasyon İşlemlerinin Yapılması İle Ekipman Datalarının Alınarak Değerlendirilmesi:

Makinelerin bakımlarının öncesinde üretici tarafından belirtilen prosedürlerine göre kontrolü yapılacak olan komponentlerinin testleri Resim 5 'deki gibi makinede bulunan ilgili portlarına bilgisayarların yada basınç saatlerinin bağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle iş makinelerinin yürüyüş, dönüş, damper, bom, arm, kova gibi komponentlerindeki basınçları test edilmiş olur. Test neticelerinde kalibrasyonları/ayarları yapılarak varsa aksaklıkları giderilmektedir. Kalibrasyon yapılmasına rağmen çalışma değerlerine ulaşamayan komponentlerin detaylı incelemeleri yapılmaktadır. Bunun için, test değerleri, trend bilgileri, devre şemaları ve yağ analizleri incelenmekte olup yapılan analizler neticesinde arızalı olan parça/parçalar tespit edilerek değişimi yada onarımı yapılmaktadır.



Resim 5. Ekipman datalarının alınması

Bu testler ile hem komponentlerin uygun çalışma değerlerinde/şartlarında çalışmalarını sağlayarak gereksiz yere aşırı çalışmalarının ve aşınmalarının önüne geçilmiş olmaktadır.



4.4 Kaynaklı Tamir Ve Aşını Takip İşlemlerinin Yapılması

Makinelerin günlük olarak özellikle üretim makinelerinin aşını plakalarının ve şase ve bom arm gibi diğer organlarının kontrollerinin yapılarak olası aşını plakası kopmaları, şase veya diğer ekipmanların çatlayarak kırılmalarının önüne geçilmektedir. Periyodik bakımlarda yine aşını plakalarının kalınlık ölçümlerinin yapılması ile ömür takipleri, Şase ve diğer organların çatlak kontrollerinin yapılarak söz konusu uygunsuzluklar daha büyük boyutlara ulaşmadan gerekli önlemler alınmakta veya müdahale edilerek uygunsuzluklar bakım onarım aşamasında ekstra bir makine duruşuna sebebiyet vermeden giderilmektedir. Bu durum üretim kayıplarının, gereksiz işçilik ve zaman kayıplarının önüne geçilmesini sağlamaktadır.

5. Sonuç

Güvenilirlik mühendisinin yönetiminde ağır işi makinelerinde proaktif bakım anlayışı ile çalışmanın neticesinde su faydalar sağlanmaktadır.

- Bakım ve onarım maliyetlerinin azaltılması,
- Olası arızaların başlangıç aşamasında ortaya çıkartılması sonucunda komponentlerde ve bağlantılı veya yardımcı ekipmanlarında oluşabilecek ciddi arızaların önüne geçilmesi sonucu onarım maliyetlerinde ciddi oranda azalmalar
- Komponentlerin aşırı zorlanmalarının önüne geçilmesi,
- Komponent ve diğer sistemlerde ileri düzeydeki arıza oluşumunu azaltması ve tüm sistemin devre dışı kalmasını engellemesi,
- Ön görülemeyen Zaman ve İş Kayıplarını Engellemesi,
- Makine çalışma güvenliğini artırması
- Yağ değişim aralıklarını artırarak yağ tüketimini azaltması ve dolayısı ile bakım maliyetlerinin düşürülmesini ve komponentin yararlı ömrünü artırması olarak sıralanabilir.

6. Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bize olan katkılarından dolayı Tüprağ Kışladağ Altın Madeni Mobil Ekipman Departmanı müdürümüz Sayın Rıdvan VEZİROĞLU 'na ve Mobil Ekipman çatısı altında çalışan tüm çalışma arkadaşlarımıza yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

7. Kaynakça

- Esin A.. (2011). “Bakımın gelişen boyutu- sürdürülebilirlik” Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 45, sayı 536, 16-20.
- Esin , A. (2003), Bakım Yönetiminde Yeni Anlayış ve Kavramlar, MMO Denizli Bakım Teknolojileri Kongresi
- Knezevic, J. (1993) Reliability, Maintainability and Supportability Engineering A Probabilistic Approach, McGraw-Hill, london 292 pp. Plus sorftware PROBCHAR
- Anderson, R.T. and Neri, L. (1990) Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods, Elsevier Science Publisher, London
- DoD Handbook (1997) Designing and Developing Maintainable Products and Systems.
- Uzun, Y , Özdoğan, D . (2011). Güvenirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (1), 303-320. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/cusosbil/issue/4386/60264>
- Görener A. , Yenen V.Z., (2007), “ İŞLETMELERDE TOPLAM VERİMLİ BAKIM ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA YAPILAN FAALİYETLER VE VERİMLİLİĞE KATKILARI”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 6 Sayı:11 Bahar 2007/1 s. 47-63
- <https://aktif.net/tr/Aktif-Blog/Teknik-Makaleler/Isletmelerde-Planli-Bakim-ve-Onarimin-Onemi>
- Tazegün A. (2009). “TOPLAM VERİMLİ BAKIM VE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE UYGULAMALARI”, Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Makine mühendisliği anabilim dalı
- Topaz, K. ve Sümen, H., (2003), “Kestirimci Bakım Yöntemini Uygulamak”, MakinaTek Dergisi, Sayı:63, Bileşim Yayınevi.
- Uzun A., Özdoğan A. (2011), “GÜVENİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI ÖNLEYİCİ BAKIM PLANLANMASI”, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 20, Sayı 1, 2011, Sayfa 303-320 303
- Emir T., Marangoz M.C., Işık M.Z., (2012), “Endüstriyel işletmelerde bakım kültürünün değişimi”, Batman University International participated Science and Culture Symposium, 18-20 April 2012 Batman, TURKEY
- Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- Mobley, R.K., “An introduction to predictive maintenance”, Van Nostrand Reinhold, New York, Page 1–16., (1990)



AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE YAĞ ANALİZİ İLE ARIZA TESPİTİNİN BAKIM PLANLAMASI ÜZERİNDE ETKİSİ

¹Halil Aslan, ²Halil Tayan, ³Rıdvan Veziroğlu

¹ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK Mobil Ekipman Bakım Departmanı
Bakım ve Kaynak Süpervizörü | halila@kisladag.com

² TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK
Mobil Ekipman Bakım Departmanı Güvenilirlik Mühendisi | halilt@kisladag.com

³ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/UŞAK
Mobil Ekipman Bakım Müdürü | ridvanv@kisladag.com

Özet

Ağır iş makineleri; genellikle yol dışı çalışan(off-road)ve yüksek güç ihtiyacını hidrolik sistemlerden sağlayan makinelerdir.Ağır iş makinelerininarıza kaynaklı duruş süreleri, altın madenciliği gibi değerli metal üretimi yapan tesislerdeki üretim maliyetlerini doğrudan artırmaktadır. Hareketli parçalar ve hidrolik sistemler için en büyük tehditler kirlilik, yağlama veaşınma problemleridir.Bu tehditleri kontrol altında tutabilmek için belirli periyotlarda çalışan ekipmanlardan yağ numuneleri alınarak analiz edilmesi gerekir. Bu çalışmada, Ağır iş makinasının çalışan ekipmanlarından yağ numunelerialınarak, bunların labaratuvar ortamında nasıl analiz edildiği ve yağ analiz sonuçlarına göre ekipmanların ciddi oranda hasarlanmadan gerekli planlama aksiyonlarının nasıl alındığı incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: İş makinesi, yağ analizi, hidrolik sistem, aşınma, kirlilik

Abstract

Heavy duty machinery; They are generally off-road machines that provide high power requirements from hydraulic systems. Downtime caused by heavy duty machines increases the production costs directly in the production of precious metals such as gold mining. The major threats to moving parts and hydraulic systems are pollution, lubrication and wear problems. In order to keep these threats under control, oil samples must be taken from the equipment that works at certain periods and analyzed. In this study, oil samples were taken from heavy equipment and analyzed in laboratory environment and according to the results of oil analysis, the necessary planning actions were taken without serious damage to the equipment.

Keywords; Reliability engineering, Preventive Maintenance, Nondestructive testing, Repair sources



1. Giriş

Ağır iş makineleri; genellikle yol dışı çalışan(off-road) ve yüksek güç ihtiyacını hidrolik sistemlerden sağlayan makinelerdir. Ağır iş makinelerinin arıza kaynaklı duruş süreleri, altın madenciliği gibi değerli metal üretimi yapan tesislerdeki üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple bu makinelerin çalışan sistemlerinin bakım ve onarımlarının düzenli bir şekilde yapılması gerekmektedir.Çünkü, hareketli parçalar ve hidrolik sistemler için en büyük tehditler kirlilik, yağlama ve aşınma problemleridir. Makinelerin verimliliği kullanılabilirlik süreleriyle doğru orantılıdır ve çalışma süresi boyunca makinelerde oluşabilecek beklenmeyen arıza ve buna bağlı maliyet artışlarının önüne geçilebilmesi için çeşitli kontrollerin yapılması ve elde edilen verilerin incelenerek gerekli tedbir ve önlemlerin alınması maliyet ve verimlilik açısından önem arz etmektedir. Bu tehditleri kontrol altında tutabilmek için belirli periyotlarda çalışan ekipmanlardan yağ numuneleri alınarak yağların analiz edilmesi,bu analiz sonuçlarının raporları incelenerek yorumlanması ve yorumlamanın neticesinde alınması gereken bir aksiyon var ise bakım planlama bölümü ile görüşülerek aksiyon planlaması yapılır.Geleneksel bakım yapan firmaların bu hususlara gerekli önemi vermemesi nedeniyle oluşabilecek arızaları daha önceden tespit edememekte olup, makinelerin tamir bakım işlemleri için ciddi maliyet unsurları ile karşılaşmaktadırlar. Bunun sonucu olarak; makineleri gayrifaal durumda kalmakta ve şirket maliyetlerini artırmaktadırlar.Madencilik sektöründe diğer sektörlerde olduğu gibi makinelerin kullanılabilirlik süreleri üretimin verim ve kalitesi açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple firmalar bünyelerinde çalışan iş makinelerini faal tutabilmek için sürekli kendilerini geliştirmek ve yenilemek zorundadır. Bu sebeple, Firmaların bakım onarım departmanlarının fonksiyonu ön plana çıkmaktadır. Bakım onarım departmanları geleneksel bakımdan sıyrılarak sürekli gelişim ve değişim halinde olmalı, teknolojik anlamda kendilerini geliştirebilmeli ve nimetlerinden yararlanabilmelidirler. Artık günümüzde bakım onarım departmanının görevi arızaları onarmaktan çok oluşmasının önüne geçmek olmalıdır. Çünkü arıza eşittir para ve zaman kaybıdır. Bu açıdan baktığımızda proaktif yani kestirimci bakımın önemi daha iyi anlaşılabilir olup bakım onarım sisteminde zamanla oluşan bir kültürdür. Geleneksel bakımdaki karşılaşılan problemlerin tespiti, bu problemlerin çözümü için gerçekleştirilen bakım onarım proseslerinin iyileştirilmesi ve verimliliklerinin artırılması üzerine ilgili çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak arıza oluşumların önüne geçebilmek amacıyla; saha kontrollerinin sayısının artırılması, üretici firmanın vermiş olduğu ve tavsiyesi olan performans testlerinin yapılması, bakımlarda ve öncesinde SOS yağ numunelerinin alınarak analizlerinin yaptırılması ve sonuçlarının yorumlanması işlemlerinin proaktif bakım bölümünün kapsamına dahil edilmesi gerekmektedir. Tüm bunları yapabilmek için gerekli olan tüm teçhizatların alınması ve personeller için makine bakım onarım ve arıza bulma eğitimlerinin alınmasını önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Ağır iş makinasının çalışan ekipmanlarından yağ numuneleri alınarak, bunların laboratuvar ortamında nasıl analiz edildiği ve yağ analiz sonuçlarına göre ekipmanların ciddi oranda hasarlanmadan gerekli planlama aksiyonlarının nasıl alındığı incelenmiştir.

2. Kestirimci Bakım ve Kestirimci Bakım Yöntemleri

Bakım Yaklaşımları Her bir işletmede uygulanan, işletmelerin şartlarına göre farklılık gösteren, ancak 4 ana başlık altında toplanmış bakım yaklaşımları mevcuttur.

- Arıza Çıktıkça Bakım
- Periyodik-Koruyucu Bakım
- Kestirimci Bakım
- Pro-Aktif Bakım

Bu bakım yaklaşımlarının makine ve işletme verimliliği üzerine yapılmış olan araştırmalarda, bakım onarım masraflarının %30'unun gereksiz olarak yapılmış parça değişimleri ve bakımlar ya da zamanında yapılmamış bakımlar sonucunda israf edildiğini göstermiştir[1].

2.1 Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı

Geleneksel bakımın içine giren bu yaklaşım, makinelerde arıza meydana gelene kadar herhangi bir müdahale yapmadan çalışması, makine arızalandığı zaman müdahale edilmesi ve makinenin tamirinin yapılması prensibine dayanır. Fakat bu durum makinedeki mevcut arızadan başka diğer komponentlerine de hasar vermesine neden olmaktadır. Bu bakım yaklaşımı tüm bakım yaklaşımları içerisinde en verimsiz yaklaşımdır.

2.2 Periyodik-Koruyucu Bakım Yaklaşımı

Geleneksel bakımdan farklı olarak ve kestirimci bakım seviyesinde bakım proseslerini uygulayamayan firmaların uyguladığı bu yaklaşımda Periyodik-koruyucu bakım yapılması suretiyle makineler arızalanana kadar değil, üretici firma tavsiyesine göre belirli aralıklarla bakım ve periyodik kontrollerinin yapılması ve arızaya sebep olması muhtemel parçalarının değiştirilmesi esasına dayanır.

2.3 Kestirimci Bakım Yaklaşımı

Günümüz bakım anlayışının bir parçası olan ve profesyonel firmaların uyguladığı bu bakım yaklaşımından amaç makinelerin çalışma süreleri boyunca mevcut durumlarının izlenmesi, çeşitli test ve dataların makinelerden çekilerek yorumlanması yoluyla oluşabilecek muhtemel arızaları, tahmin etmek suretiyle makine için uygun bakım zamanını ve iş gücünü planlayarak, değişecek parçaların tedariklerini bu zamana kadar temin ederek, arızaya müdahale etmeyi amaçlamıştır.

Arızanın kaynağına inilerek arızayı oluşmadan önlemek için kullanılır. Sürekli tekrarlayan bir problemi, yakalayıp sürekli müdahale etmek yerine arızayı oluşturabilecek sebepleri; örneğin gerilme, dengesizlik, aksenal kaçıklık vb.; problemleri uygun ekipmanlar kullanarak azaltıp ortadan kaldırarak veya etkisini azaltarak arıza oluşmasını engelleyerek ekipmanın kullanılabilirlik süresini uzatır. kestirimci bakıma örnek olarak lazerli kaplin ayarı ve balans alma işlemi verilebilir.

2.4 Pro-Aktif Bakım Yaklaşımı

Proaktif bakım henüz arıza meydana gelmeden yapılacak bir dizi kontrol ve test yöntemlerinin sonucunda oluşabilecek bir arızanın önüne geçmek olarak tanımlanabilir. Bu bakım yaklaşımındaki amaç, arızaları oluşturabilecek olan sebeplerin kaynağına inerek, oluşabilecek olan arızalar meydana gelmeden ve meydana gelmesi durumunda ise oluşturacağı etkiyi azaltarak makinelere yerinde müdahaleyi sağlamak olup, şirketin bu yönde yapacağı masrafları düşürmektir. Başka bir ifadeyle firmaya değer katmaktır da denilebilir. Bakım onarım departmanları geleneksel bakımdan sıyrılarak sürekli gelişim ve değişim halinde olmalı, teknolojik anlamda kendilerini geliştirebilmeli ve nimetlerinden yararlanabilmelidirler. Artık günümüzde bakım onarım departmanının görevi arızaları onarmaktan çok oluşmasının önüne geçmek olmalıdır. Çünkü arıza eşittir para ve zaman kaybıdır. Bu açıdan baktığımızda proaktif yani kestirimci bakımın önemi daha iyi anlaşılabilir olup bakım onarım sisteminde zamanla oluşan bir kültürdür.

3. Metot ve Yöntem

Bu çalışmada bir altın madeni bünyesinde faaliyet gösteren bakım onarım departmanının iş makinelerinin proaktif bakımının yağ analizlerine göre nasıl yapıldığına değinilmiştir. Bu işlemler 3 aşamada; yağ numunelerinin alınması, numunelerin analizlerinin yapılması ve yorumlanması, numune sonuçlarına göre eylem planlarının oluşturulması başmaklarını kapsamaktadır.

3.1 Yağ Analizlerinin Alınması:

Makinelerin yağ analizleri genellikle makine bakım için alındığında daha henüz sistemlerinde bulunan yağlar alınmadan evvel alınmaktadır. Yalnız bu proaktif bakım anlayışından farklı olarak firmamızda yağ numunelerini makine bakım saatinden 50 saat önce ve bakım saatinde olmak üzere iki sefer makinelerin komponentlerinden yağ numuneleri almaktayız. Bunun sebebi ise makine bakım için alınmadan 50 saat önceki alınan yağ numunelerinin analizlerinin sonuçlarını inceleyerek makine komponentlerin genel durumları ve olası arıza ihtimalleri hakkında bilgi sahibi olmak ve makine bakıma alınmadan 50 saat önce gerekli yedek parçaların tespit ve alınımının sağlanması, gerekli aksiyon prosedürlerinin oluşturulması ve bu prosedürler hakkında bu işte görevlendirilmiş olan personeller neler yapacakları veya nasıl müdahale edecekleri hakkında detaylı bilgilerin verilmesinin sağlanmasıdır.

Tüm bu işlemlerin amacı makinelerin olası arızaları önceden tespitinin yapılması ve daha oluşmadan önce önüne geçilmesi için yapılmaktadır. Tüm bu anlatılanlara ek olarak bakım saatinde alınan yağ numune sonuçları ile ba-



kımdan saat öncesinde almış olduğumuz yağ analiz sonuçlarının kıyaslanmasının sağlanması ve alınan aksiyon/aksiyonların doğruluk analizinin yapılması açısından önemlidir.

Böylece proaktif bakım biriminin arızalara yaklaşımı hususundaki tecrübeleri artıracak, komponentlerin durumları daha iyi analiz edilecek ve komponentlere ait analiz trendleri oluşturulacaktır. Karar alınırken trendler baz alınacağı için yanlış verilmesi muhtemel kararların önüne geçilmiş olacaktır. Bu trend geçmişleri her komponent için farklı seyredebilir. Çünkü her komponentte bulunan ekipman ve malzemelerin alarım türleri farklılık gösterebilir. Bakıma gelen bir makine iş güvenliği prosedürlerine göre yanıştırıldıktan sonra operatörün aşağı inmesi beklenir. Akabinde kilitleme ve işaretleme yapılarak makine güvenliğe alınır. Etrafı çevrilerek bakım için hazır hale getirilir. **Resim 1.** de bakıma gelen bir makine gösterilmiştir.



Resim 1. Bakıma gelmiş bir iş makinesi.

Tüm bu işlemlerden sonra makinenin komponentlerinden yağ numunesi alım işlemi başlar. Yağ numunelerinin alınması işlemleri Resim 2. ve Resim 3. de verilmiştir.



Resim 2. Yağ numunesinin alınması



Resim 3. Yağ numunesinin alınması

3.2 Yağ Numunelerinin Yağ analiz Laboratuvarında Analiz Edilmesi:

Temel olarak yağ analizleri bize makinenin durumu ve yağın durumu hakkında bilgi verir. Burada makine durumu ile ilgili olarak komponentten alınan yağdaki çöküntüler görüntülenerek, yağlar ile aşınan yüzeyden uzaklaştırılan çok az miktardaki aşınma parçacıkları ölçülmektedir. Yağlama yağının, fiziksel ve kimyasal testlere göre hizmete devam edip etmemesi tespit edilmektedir.

Yağ analizlerinin yapılmasının bize sayısız faydası bulunmaktadır. Bunlar; bakım maliyetlerinin azaltılması, arızaların önüne geçilmesi, komponentlerin ve yağın ömrünün azaltılması olarak sıralanabilir.

Yağ analizleri profesyonel olarak bakım yapan bir bakım departmanı için en önemli yol gösterici parametrelerdendir. Bu sebeple olayın önemine binaen atölyemize bir yağ analiz laboratuvarı kurarak akredite olmasını sağladık. Numunesini almış olduğumuz komponentlere ait yağlar bu yağ analiz laboratuvarında Viskozite, Parçacık sayımı, su tayini elementer ve moleküler yapı analizleri yapılmaktadır.

Su analizi testi numunesi alınmış olan akışkanın içindeki su miktarı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan testtir. Resim 4. te numunesi alınan yağların içindeki suyun tespiti işlemi verilmektedir.



Resim 4. Yağ numunesi alınan yağların içindeki suyun tespitinin yapılması

Elementer analiz iş makinelerini oluşturan komponentlerin durumları, aşınma durumları hakkında bilgilerin elde edilmesi için kullanılan bir test yöntemidir. Burada makine aksamaları ve buna bağlı parçaların malzeme özelliklerinin farklılıklarına bağlı olarak farklı alaşımlardan oluştuğundan dolayı(Fe, Al, Cr, Cu, Si, Pb, ... ve diğerleri) yağa karışan aşınmış metallerin kaynağını belirlemede kullanılır. Bu test ile komponentlere ait Segman, Yatak, Aktarım aksamaları, Rulman, Rulman yatakları, vb. aksamaların durumları hakkında bilgi edinmiş oluruz. Resim 5. te numunesi alınan yağların elementer analiz işlemi verilmektedir. Resim 5. te komponentten alınan yağ numunesi elementer analizinin yapılması gösterilmiştir.



Resim 5. Yağ numunesi alınan yağların elementer analizinin yapılması

Moleküler yapı analizi ile yağın yapısında çalışmasından ve ortamdaki kaynaklardan dolayı oluşmuş kirlilikleri ve bozulmaları ve buna neden olan arıza veya muhtemel arızaların tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Böylece Yakıt seyrelmesi, Sulfasyon, Su ve antifriz karışımı, Nitrasyon, Kurum miktarı yükselmesi, Oksidasyon, Katkı maddelerinin azalması, TAN / TBN değerleri ölçülmektedir. Resim 6. da numunesi alınan yağların moleküler yapı analizi işlemi verilmektedir. Resim 6. da komponentten alınan yağ numunesi moleküler yapısının analizinin yapılması gösterilmiştir.



Resim 6. Yağ numunesi alınan yağların moleküler analizinin yapılması

Viskozite bir akışkanın akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanır. Viskozite testinin yapılması ile bir bağlamda yağın akıcılığı test edilmiş olup yağın özelliğini yitirip yitirmediği hakkında bilgi sahibi olmuş oluruz. Resim 7. de numunesi alınan yağların viskozite testinin yapılması işlemi verilmektedir.



Resim 7. Yağ numunesi alınan yağların viskozite testinin yapılması

Parçacık sayımı yağ numunesi alınmış olan komponentin içyapısındaki aşınma hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Resim 8. de numunesi alınan yağların parçacık sayımının yapılması işlemi verilmektedir.



Resim 8. Yağ numunesi alınan yağların parçacık sayımının yapılması

Laboratuvarımızda yağ analizlerini yaptıktan sonra uzman ekibimizle yağ analiz sonuçlarındaki veriler ve komponent yapı, elemanları ve özellikleri dikkate alınarak yorumlamalar yapılır. Yorumlama sonucunda acil alınması gereken bir aksiyon var ise planlama bölümü ile iletişime geçilerek yapılacak olan aksiyon iş planına alınarak takibi sağlanır. Müdahale/müdahaleler sonrası makinenin 50 saatlik çalışma sonrasında söz konusu komponentten tekrar yağ numunesi alınarak tekrar analiz edilir. Bir önceki raporla kıyaslanarak analiz sonuçlarında iyileşmenin olup olmadığı ve müdahalenin yeterli olup olmadığına karar verilir.



4. Sonuç

Yağ analizi yöntemiyle proaktif bakım anlayışı ile çalışmanın neticesinde su faydalar sağlanmaktadır.

- Bakım maliyetlerinin azaltılması,
- Olası arızaların başlangıç aşamasında ortaya çıkartılması sonucunda komponentlerde ve bağlantılı veya yardımcı ekipmanlarında oluşabilecek ciddi arızaların önüne geçilmesi sonucu onarım maliyetlerinde ciddi oranda azalmalar
- Komponent ve diğer sistemlerde ileri düzeydeki arıza oluşumunu azaltması ve tüm sistemin devre dışı kalmasını engellemesi,
- Ön görülemeyen Zaman ve İş Kayıplarını Engellemesi,
- Makine çalışma güvenliğini artırması
- Yağ değişim aralıklarını artırarak yağ tüketimini azaltması ve dolayısı ile bakım maliyetlerinin düşürülmesini ve komponentin yararlı ömrünü artırması olarak sıralanabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bize olan katkılarından dolayı Tüprag Kışladağ Altın Madeni Mobil Ekipman Departmanı müdürümüz Sayın Rıdvan VEZİROĞLU 'na ve Mobil Ekipman çatısı altında çalışan tüm çalışma arkadaşlarımıza yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

6. Kaynakça

- [Yaman G., Karadayı H.M. (2014), “Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tesbiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 140
- Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- Mobley, R.K., “An introduction to predictive maintenance”, Van Nostrand Reinhold, New York, Page 1–16., (1990)
- Görener A., Yenen V.Z.
- Uzun, Y , Özdoğan, D . (2011). Güvenirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (1), 303-320. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/cusosbil/issue/4386/60264>
- <https://aktif.net/tr/Aktif-Blog/Teknik-Makaleler/Isletmelerde-Planli-Bakim-ve-Onarimin-Onemi>
- Tazegün A. (2009). “**TOPLAM VERİMLİ BAKIM VE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE UYGULAMALARI**”, Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Makine mühendisliği anabilim dalı
- <http://www.maintenancenews.org/kestirimci-bakim-nedir>
- Uzun A., Özdoğan A. (2011), “GÜVENİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI ÖNLEYİCİ BAKIM PLANLANMASI”, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 20, Sayı 1, 2011, Sayfa 303-320 303
- Topaz, K. ve Sümen, H., (2003), “Kestirimci Bakım Yöntemini Uygulamak”, MakinaTek Dergisi, Sayı:63, Bileşim Yayınevi.

ARAZİYE KURULAN GES TESİSİNDE UYGULANAN ETKİN BAKIM YÖNTEMLERİ

¹Ali Pala

¹Yüksek Makine Mühendisi, Deniz Tekstil A.Ş. Boyahane Makine-Enerji Sorumlusu,
OSB 2. Kısım İbrahim Çallı Cad. No:9 Honaz/Denizli, mke@deniztekstil.com.tr

Özet

Araziye kurulan fotovoltaik paneller gözden uzak yapılanmış çalışmalar olduğundan yapılacak bakım faaliyetleri oldukça önem kazanmaktadır. Sistem arızalarının erken tespiti ve yangın gibi acil durumlarla karşılaşılması için etkin bir bakım sisteminin oluşturulması ve yürütülmesi gerekmektedir. Bu bildiride, söz konusu sistem arızalarının erken tespiti ve acil durumlarla karşılaşılması için yapılan bakım faaliyetlerinden, uzaktan izleme sisteminin faydalarından ve termal kamera ölçümleri ile tüm sistem bağlantılarının kontrolünün tesis güvenliği açısından etkilerinden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkin bakım, fotovoltaik panel, güneş enerjisi santrali, PV, termal kamera.

Abstract

Since the photovoltaic panels installed in the field are structured out of sight, the maintenance activities to be performed become very important. It is necessary to establish and maintain an effective maintenance system in order to detect early system failures and avoid emergencies such as fire. In this paper, it has been mentioned of determining the failures of the system in question and performing the necessary maintenance activities in order to avoid emergencies, the benefits of the possibility of remote monitoring and the control of all system connections with thermal camera measurements.

Keywords: Effective maintenance, photovoltaic panel, PV, solar power plant, thermal camera



1. Giriş

02/10/2013 tarihli ve 28783 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Yönetmelik ile tarıma elverişsiz arazilerde GES kurulumu hız kazanmıştır. Kurulan santraller insan müdahalesine ihtiyaç duymadığından gözden uzak noktalarda konuşlandırılmıştır. Dolayısıyla gerçekleşecek bir problemin erken tespiti, kritik üretim kayıplarının önlenmesi ve yangın durumuna kadar varacak acil durumların önlenmesi için oluşturulacak bakım faaliyetleri büyük öneme sahip olmuştur.

2. Verim Kaybının Önlenmesi İçin Uygulanacak Etkin Bakımlar

2.1. Tozlanma Kontrolü

Dünyadaki toz durumuna bakılırsa Afrika 4. derece tozlu ise Türkiye 3. derece toza sahip ülke konumundadır. Yani 2. yoğun tozlu sınıfta yer almaktadır. [1]

Yapılan çalışmalarda araziye kurulan GES santrallerinde tozlanma kaynaklı üretim kayıplarının %20’lere kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bu tespit için, sürekli temizlik ve bakımı yapılan referans modülde gerçekleştirdikleri ölçüm ile sahadaki modüllerin ölçüm değerlerini karşılaştırarak yapmışlardır. Bu durum santrallere koyulan güneş radyasyonu ölçüm cihazı ile online izleme şeklinde gerçekleştirilebilmektedir. [1]

Kurulan izleme sistemi ile tespit edilen üretim kayıpları %10’u geçtiğinde temizlik (panellerin yıkanması) faaliyeti yapılmalıdır. Bu faaliyet için panellerin üzerine kurulacak otomatik yıkama sistemi ile yıkama yapılabileceği gibi, bir personelin fırça ile yıkaması şeklinde de gerçekleştirilebilir. Genelde otomatik yıkama sistemleri ilk kurulum maliyetleri ve geri ödeme süreleri bakımından yüksek kaldığından personelin fırça ile yıkaması şeklinde temizlik yapılmaktadır. Yapılan panel temizlik faaliyeti ortalama 3-4 ayda bir gerçekleştirilmekte ve önlenen verim kaybı nedeniyle faaliyetin geri ödeme süresi 2-2.5 ay civarında gerçekleşmektedir. Panellerin bulunduğu ortama göre bu süreler artıp azalmaktadır.



Şekil 1. Tozlanmış pane

2.2. Kalan Panellerin Kontrolü

Sistemde üretim kaybı yaratan diğer bir durum da, oluşan bir problem nedeniyle sistemin kendini korumaya alması kaynaklı gerçekleşmektedir. Sistem kurulumunda kullanılan invertörlerin tedarik edildiği firmanın veri toplama yazılımı ile uzaktan invertör üretimlerinin takibi ile söz konusu oluşacak üretim kayıplarının invertör bazında en kısa sürede tespit edilebilmesi sağlanmaktadır.

50 kW kurulu güç üzerindeki santrallerde Elektrik Dağıtım Şirketi'nin zorunlu kıldığı scada izleme sistemi haricinde panele kadar izlemenin yapılabileceği scada sisteminin kurulması en uç nokta olan panel bazında sorunun hızlı tespiti açısından önemli bir faaliyettir.

Kurulan scada sistemi ile anlık olarak sistem izlenebilir hale gelmektedir. Buradaki üretim/hata durumları ile sorun tespiti yapıp kısa zamanda müdahale gerçekleştirilerek kayıplar minimuma indirilmektedir.

Kendisine bağlı panel sayıları eşit olan invertörlerin (dizilerin) üretim karşılaştırmaları da kayıplar hakkında bilgi vermektedir. Kritik nokta bu durumun hızlı tespiti edilmesidir.

3. Periyodik Bakımlar

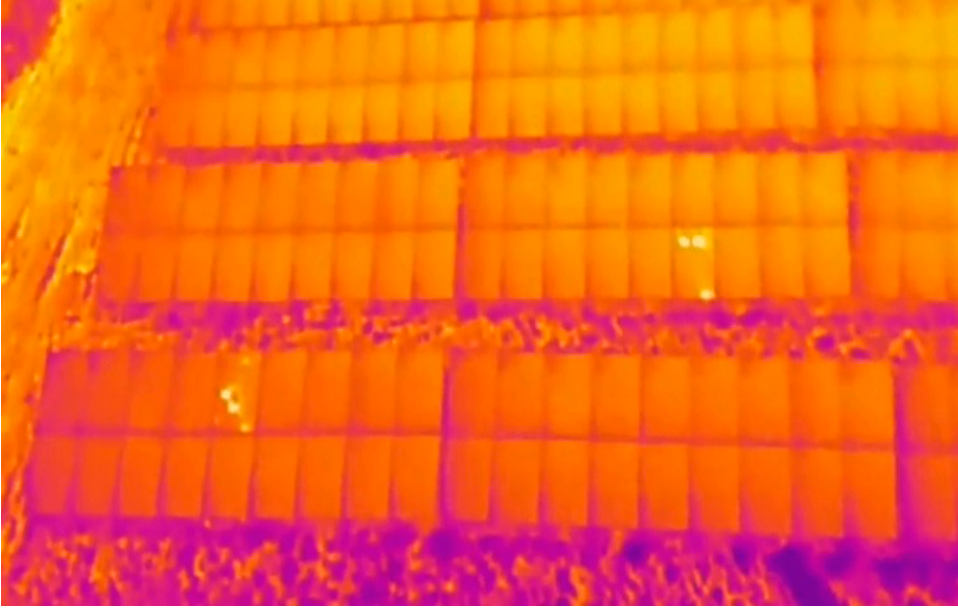
Verimsiz arazilere kurulan GES'lerde önemli bir diğer bakım da periyodik bakımlardır. Mevsim geçişlerinde (yazdan kışa / kıştan yaza) ya da maksimum mevsim koşullarında (yaz ortasında / kış ortasında) panelden hücreye kadar tüm bağlantıların ve ekipmanların kontrolü ile sistemdeki sorunların tespiti yine üretim kaybını önlemek ve oluşabilecek daha büyük problemlerin erken tespiti açısından önem arz etmektedir.

Eş özellikteki dizilerin AC-DC gerilim kontrolleri ile de sahanın kontrolü yapılmaktadır.

Yangına sebep olan mikro çatlakların ve hatalı konnektör bağlantılarının tespiti için de termal kamera ölçümlerinin yaptırılması bu riskin ortadan kaldırılması için önemli bir periyodik kontrol faaliyetidir. Termal kamera kontrol faaliyeti panellerin kontrolü, invertörlerin kontrolü, panoların kontrolü ile tüm bağlantıların kontrolü yapılabilmektedir. Elektrik Yüksek Gerilim Tesisleri İşletme Sorumluluğu Yönetmeliği'ne göre tesisin sorumlu Elektrik Müh. tarafından Elektrik Dağıtım Şirketi'nin belirlediği periyotta kontrolleri gerçekleştirilir. Bu kontrol ile de trafo hücresi ve bağlantıların genel kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 2. Termal kamera ile kontrol faaliyeti



Şekil 3. GES sisteminin termal kamera görüntüsü

4. Genel Kontrol ve Analiz

GES sisteminde paneller ile ilgili test ve kontroller üretici firma tarafından yapılmaktadır. Söz konusu panellerin transferi ya da montajı esnasında meydana gelen olaylar kaynaklı deformasyonlar/sorunlar meydana gelebilir. Söz konusu sorunların tespiti için her bir panelin kontrolü ve genel olarak sistemin rüzgar yükü dayanımı, kar yükü dayanımı gibi kontroller, scada izleme sistemi ya da periyodik kontroller sonucu tespit edilen uygunsuzluklara göre TSE Fotovoltaik Test Laboratuvarı'na yaptırılabilir. Laboratuvardan alınacak rapora göre aksiyon kararlaştırıp yine hızlı şekilde sorunun ortadan kaldırılması sağlanır.

5. Sonuç

Tarıma elverişsiz arazilere kurulan güneş enerjisi santrallerinde kontrol ve izleme için tedarikçi firmanın yazılımının ya da daha profesyonel bir yazılımın kullanılması, üretim kayıpları, panel arızaları, invertör arızaları, bağlantı problemleri, panellerin tozlanması gibi birçok sorunun erken tespiti için önemlidir. Mevsim geçişlerinde ya da mevsim koşullarının pik yaşandığı dönemde yapılacak termal kamera kontrolleri ve akım/gerilim kontrolleri panellerdeki sorunların tespiti için önemli periyodik faaliyetlerdir. Gözden uzak arazilerde kurulu bu tesisler için gerçekleştirilen etkin bakım faaliyetleri ile oluşacak üretim kayıplarının en kısa sürede önlenmesi sağlandığı gibi meydana gelebilecek yangın gibi acil durumların oluşmadan önce tespiti ve müdahalesi gerçekleştirilmiş olur.

6. Teşekkür

Deniz Tekstil San. Tic. A.Ş. Genel Müdür Yrd. Sn. Murat İlhan'a ve Boyahane İşletme Müdürü Sn. İlker Aksu'ya bilgi paylaşımı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

7. Kaynaklar

[1] Çubukçu, M., Akanalçı, A. (2017). Türkiye'de Fotovoltaik Güç Santrallerinde Toz Etkisinin İncelenmesi, 7. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ISBN 978-605-01-1053, 12-26.

- [2] <https://www.solarabcs.org/O&M/>, Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2019.
[3] <https://www.solarian.com.tr/>, Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2019.
[4] <https://www.flir.com/suas/>, Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2019.
[5] <https://www.linkedin.com/in/solar-tse-26155a140/>, Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2019.

8. Özgeçmiş

1985 Denizli doğumludur. İlk ve Orta öğrenimini Denizli’de tamamlamıştır. 2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. 2018 yılında Pamukkale Üniversitesi Enerji Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans’ını tamamlamıştır.

2007-2008 yılında askerlik görevini Asteğmen olarak tamamlamıştır. 2008-2011 yılları arasında Isıger Müh. Ltd. Şti.’de Proje Yöneticisi olarak çalışmış, 2011 yılından buyana Deniz Tekstil A.Ş. Boyahane İşletmesi’nde Makine Enerji Sorumlusu – Enerji Yöneticisi pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir.

A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı ve Enerji Yönetim Sistemi Uzmanı’dır.

MMO Denizli Şube 71097 sicil numaralı üyesidir. Evli, 1 kız çocuğu babasıdır.



AUTOMATICALLY INSPECTION OF WIRE ROPES

¹Ulrich Briem,
¹OTH Regensburg

Running ropes in rope drives are stressed by load cycles, wear, and in some cases by corrosion. So naturally, their working life is limited. Therefore running wire ropes can only be used safely, if they are inspected in regular intervals and their discard state, i.e. the state of the ropes which requires them to be to be discarded, is recognized in time and without doubt so that dangerous conditions do not occur. More and more rope inspection will be done automatically by help of computerized measuring systems. This paper gives an overview about actual techniques of automatically inspection and monitoring of deterioration state of wire ropes.

1. Introduction

The service life of running ropes is not endless. Whether a rope must be discarded or not is indicated by so called discard criteria. These discard criteria can be divided up into two groups. On one hand severe rope damages such as deformations, strand breaks etc. and on the other hand continuous increasing damages caused by more and more broken wires, reduction of rope diameter, change in lay length and reduced cross section due to wear and corrosion.

Severe damages will occur in exceptional circumstances only. It can easily be recognized and in each case the system must be stopped and the ropes must be replaced. Usually however, the ropes are discarded because continuously growing damages have met one of the discard criteria [1].

The ropes are visually inspected and, if necessary, probed. In cases where the ropes are very long, technical measuring and automatically methods are applied in addition to visual inspection to ascertain the condition of the rope. In order to automate the rope inspection measurement devices are available in three fields of rope inspection, magnetic rope inspection to cover the number of broken wires, continuous rope diameter measurement and automatically supported visual rope inspection. Details are explained in chapters 3 to 5. The author [2] already described a method to improve the recognition of the discard state of running ropes by combining various discard criteria.

The discard criterion which mostly occurs is the number of broken wires. The behavior of the total number of broken wires in a rope and the maximum number on a certain rope length as well as the relationship between these two numbers are explained in chapter 2.

2. Number Of Broken Wires

The most important discard criterion for running wire ropes is the number of broken wires referring to a pre-defined length, the so called rope reference length. The maximum number of broken wires B_{max} on a long rope length which is stressed by the same number of bending cycles N can be described by a half logarithmic function

$$B_{max} = a_0 + a_1 \cdot \lg N. \quad (1)$$

The discard state will be determined by the maximum number of broken wires $B_{L,max}$ on the reference length L . These maximum number of broken wires $B_{L,max}$ in dependence of the number of bending cycles N can be described by a double logarithmic function

$$\lg B_{L,max} = b_0 + b_1 \cdot \lg N. \quad (2)$$

Figure 1 shows the maximum number of broken wires B_{max} of an areal ropeway rope and the maximum number of broken wires $B_{L,max}$ of a rope in a bending machine on reference lengths of 360 respective 22.5 times rope diameter d .

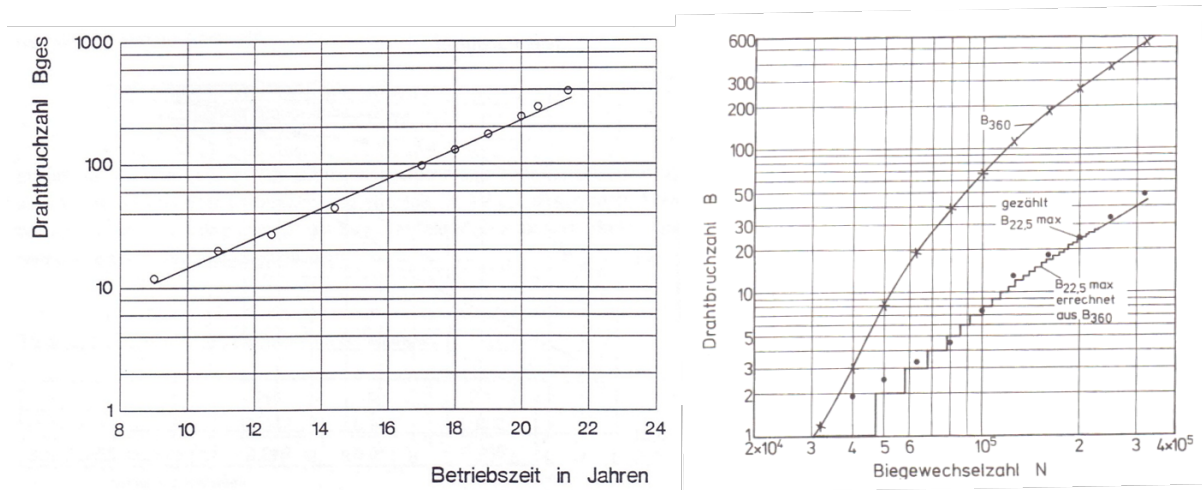


Figure 1: Maximum number of broken wires B_{max} of an areal ropeway rope and the maximum number of broken wires $B_{L,max}$ of a rope in a bending machine on reference lengths of 360 respective 22.5 times rope diameter d .

The maximum number of broken wires $B_{L,max}$ can be calculated out of the maximum number of broken wires B_{max} by help of the Poisson distribution.

$$z \cdot \left(1 - \sum_{B_L=0}^{B_{L,max}-1} \frac{\bar{B}_L^{B_L}}{B_L!} \cdot e^{-\bar{B}_L} \right) \geq 1 \geq \left(1 - \sum_{B_L=0}^{B_{L,max}} \frac{\bar{B}_L^{B_L}}{B_L!} \cdot e^{-\bar{B}_L} \right)$$

$$z \cdot \left(1 - \sum_{B_L=0}^{B_{L,max}-1} \frac{\bar{B}_L^{B_L}}{B_L!} \cdot e^{-\bar{B}_L} \right) \geq 1 \geq \left(1 - \sum_{B_L=0}^{B_{L,max}} \frac{\bar{B}_L^{B_L}}{B_L!} \cdot e^{-\bar{B}_L} \right) \quad (3)$$

with the mean number of broken wires \bar{B}_L on the reference Length L and the number z of reference lengths L along the regarded rope length.

3. Magnetic Rope Inspection

With magnetic methods it is possible to inspect wire ropes. A good overview of all magnetic test methods and test machines is given by Rieger [3] and Beck [4]. The test machines differ mainly in the way of magnetization. Test machines with DC coils as well as strong permanent magnets are available. In all test methods the rope will be magnetized up to limit of saturation. Various elements are able to measure the magnetic stray field to detect broken wires or the magnetic flux density to detect the loss of metallic cross section in the rope.

The history of magnetic rope inspection starts with Mc Cann and Colson 1906 in South Africa [5]. They worked with axial coils and measured the change of magnetic flux density and so the loss of metallic cross section. A significant improvement was the invention and the patent of separable radial coils by Woernle and Müller [6]. The axes of the coils are vertical to the rope axis. With that coils they measured the change of radial stray field which is mainly caused by broken wires. The principles of such radial coils as well as the test device is shown in Figure 2. The principle of the whole test arrangement is shown in Figure 3.

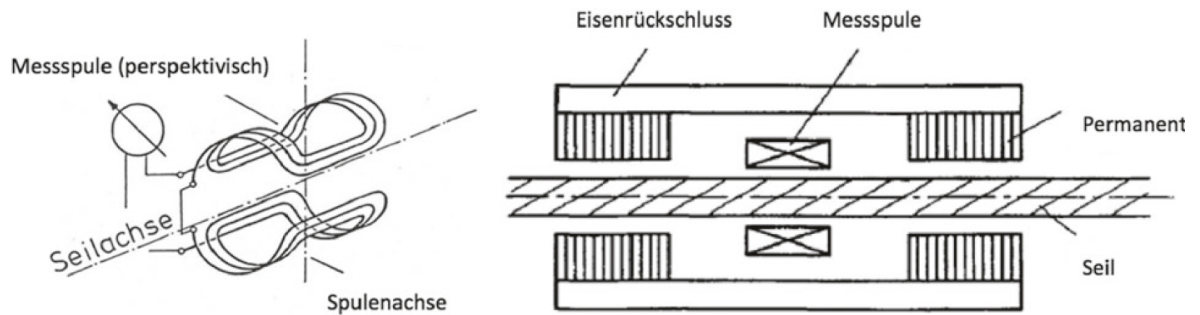


Figure 2: Separable measuring coil and test machine with permanent magnet [4]

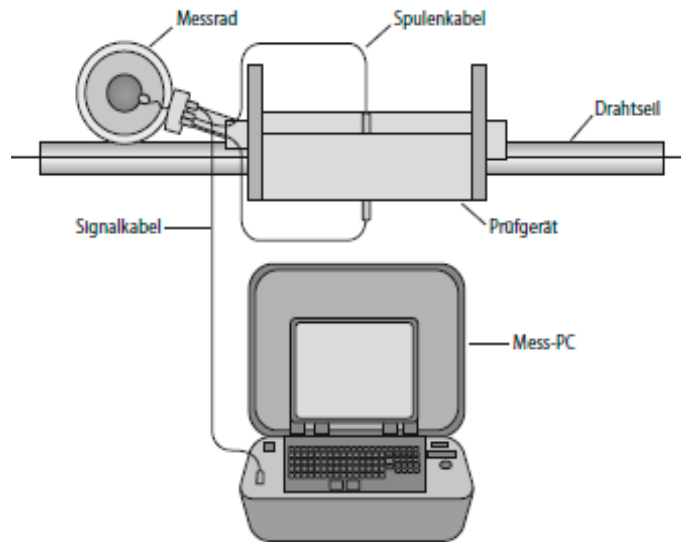


Figure 3: Principle of the whole test arrangement with test device, measuring wheel and measuring PC with necessary electrical cables [7]

Figure 4 shows a typical measuring signal of a broken wire created by the individual signals V_1 and V_2 of the both wire ends. A typical trace of a new rope as well as the trace of the same rope section after some time in operation are shown in Figure 5.

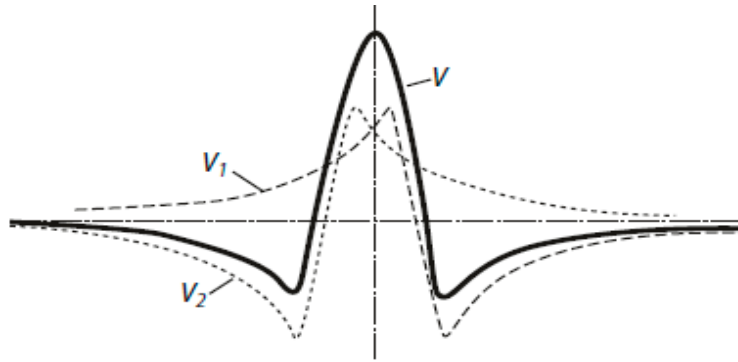


Figure 4: Broken wire signal V as the sum of the signals V_1 and V_2 of the both wire ends [4]

The amplitude of a broken wire signal depends on the gap of broken wire as well as on the depth in the rope. Also two broken wires in the same cross section or very close together cannot be detected separately on the trace. Nowadays signals can be stored and evaluated half automatically. In the trace signal sequences with typical W-shape like in Figure 4 are searched. If the respected signal sequences are deformed the operator can decide, whether it is a broken wire or two or more broken wires close together.

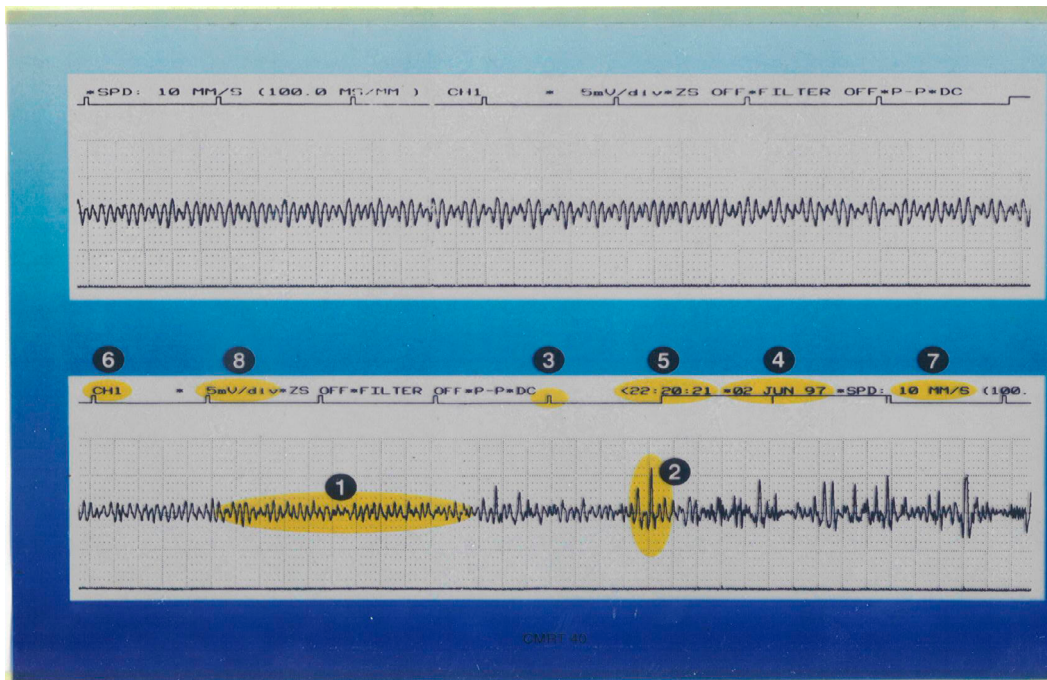


Figure 5: Typical trace of a new rope and the same rope section after some time in operation (1 basic noise level, 2 broken wire signals, 3 length marks in meters, 4 calendar date of measurement, 5 clock time of measurement, 6 measuring channel, 7 speed of trace, 8 amplitude scale of voltage) [8]

To overcome the disadvantages of broken wire detection Haller [9] and Nussbaum [10] develop a high resolution magnetic test method. The magnetic field is registered by a number of Hall-sensors which encircle to rope. With the help of two different rows of 30 sensors round the rope, both the axial and radial components of the magnetic field are registered. Figure 6 shows the arrangement of the magnetic field sensors.

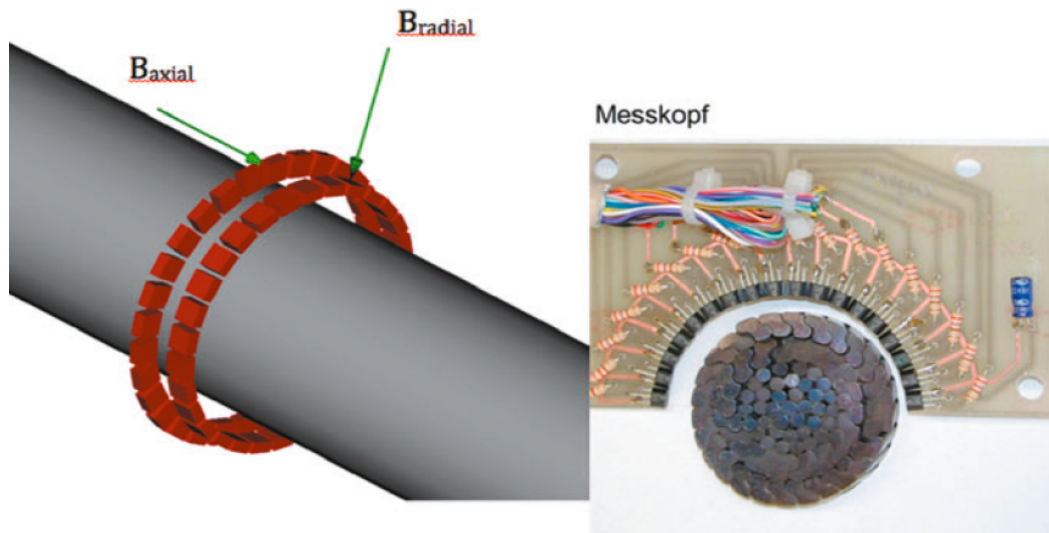


Figure 6: Arrangement of magnetic field sensors around a rope [11]

The signals can be visualized by enrolling the surface of the rope in a certain coordinate system. The both plane axes are the axial and the tangential direction of rope surface. The function axis is the axial component of the magnetic flux density. Nussbaum [10] also has calculated the axial component of the magnetic flux density. Figure 7 shows the measured as well as the calculated signal of the same single broken wire.

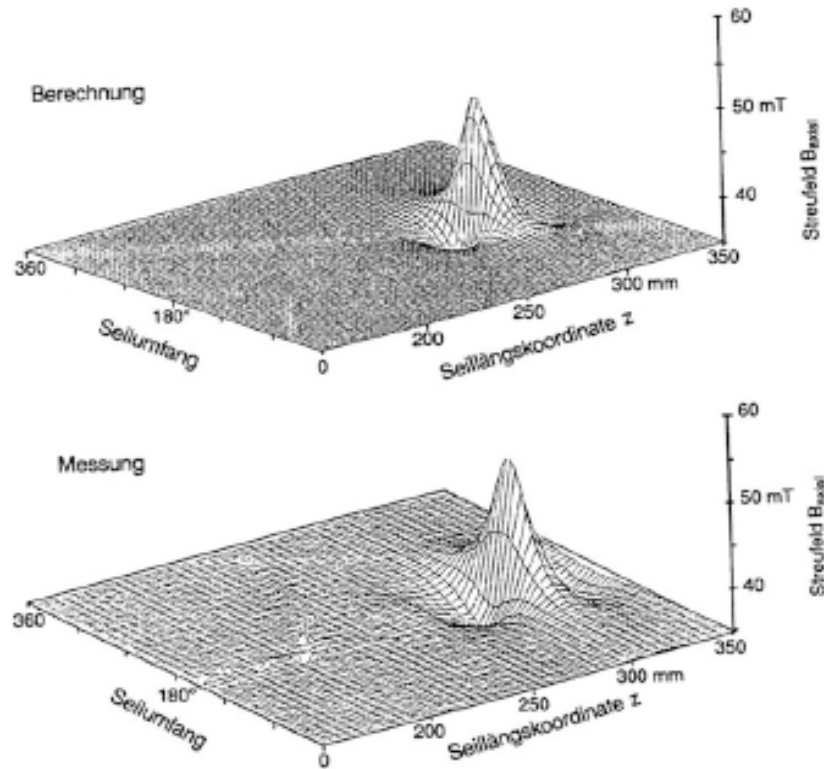


Figure 7: Calculated and measured signal of a single broken wire.

With the method of Nussbaum [10] it is possible to detect broken wires which are in the same cross section or very close together, Figure 8.

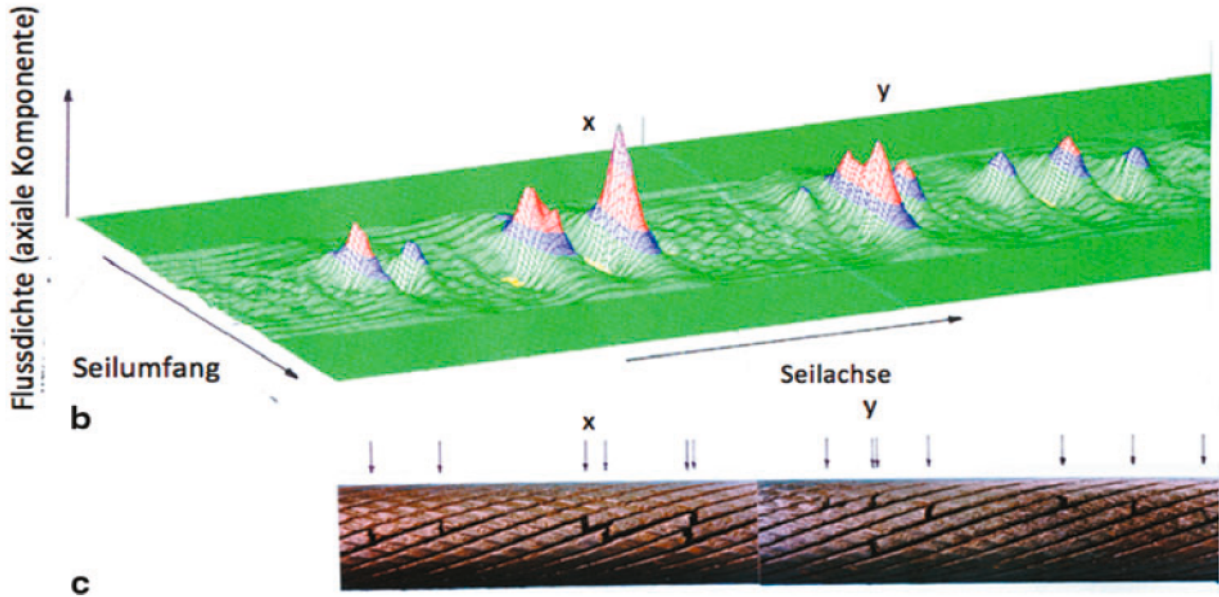


Figure 8: Example of optimized detection of broken wires by method of Nussbaum [10]

The high resolution method leads to a significant improvement of recognition of broken wires. In an investigation with a discarded rope which was opened afterwards 59% of a broken wires were found conventionally and 83% with high resolution method [12]. In another investigation a discarded rope of a roller coaster installation 51% of broken wires were found conventionally and 87% with high resolution method [13].

The newest development of broken wire detection is reported by Pernot [14]. The time response of conventional magnetic rope investigation will be transferred into its Fourier spectrum. The time frequency in s^{-1} will be changed into length frequency in m^{-1} . The signal sequences are called wirelets. With help of this method it is possible to dive deeper into magnetic rope signals to seek for valuable knowledge about rope condition like hidden broken wires, nicking of wire, occurrence of fretting corrosion and even incipient wire failures. In [15] he expands the method towards automatic evaluation of rope condition with wirelets.

4. Continuous Rope Diameter Measurement

The diameter of running ropes decreases continuously due to wear and corrosion. When it reaches a certain limit the rope have to be discarded. When measuring the rope diameter, for instance with a caliper gauche, it is necessary to measure the generating profile of the rope which is according to all national and international standards regarded as the rope diameter. Usually the rope diameter is measured at exposed positions in the reeving system. With help of measuring devices it is possible to measure the diameter of ropes while they are running. For these measurements laser measuring instruments [16] or devices with photodiode cameras [17] have been employed. These instruments acquire the generating profile and the shadow of the rope which is cast by a parallel beam of light. For measuring the diameter according to standards the instruments are provided with two measuring axes lying in the same plane and at right angles to each other.

The instrument which measure the rope diameter of running ropes acquire the generating profile or the shadow of the rope which is cast by parallel light. In even-stranded ropes strand summits and strand valleys of the upper and lower side of the rope are found in the same rope plane. The measured diameter is called actual diameter and shows the qualitative variation illustrated in Figure 9. The maxima indicate the real rope diameter, Figure 10. The distance between the maxima in the measuring signal sequence correspond with the distance of outer strands.

With uneven-stranded ropes the strand summits and valleys at the upper and lower side of the rope are shifted by

half the distance between two strand summits, Figure 9. Within one strand summit distance two maxima with a smaller amplitude than for even-stranded ropes occur in the measuring signal sequence, Figure 10. In this case the diameter measuring instrument never indicates the real rope diameter d_H . Therefore a fictitious diameter d_f can be defined as the mean value of all actual measured diameters of a reference section [18]. The ratio between actual and fictitious rope diameter can be determined for each rope construction at the beginning of the service life by comparison of conventional measured and detected fictitious rope diameter.

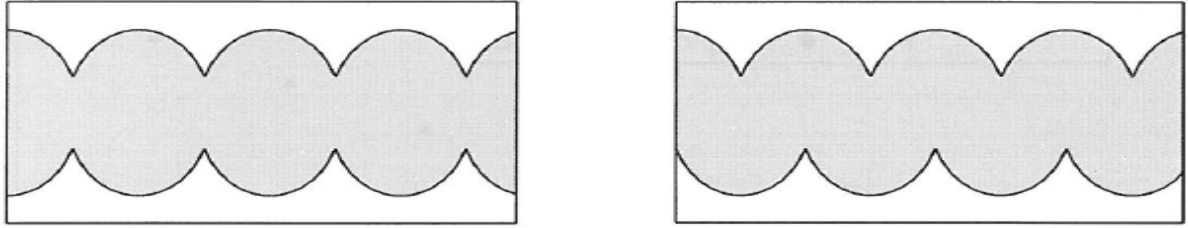


Figure 9: Generating profile of ropes a) with even number of strands as well as b) with uneven number of strands

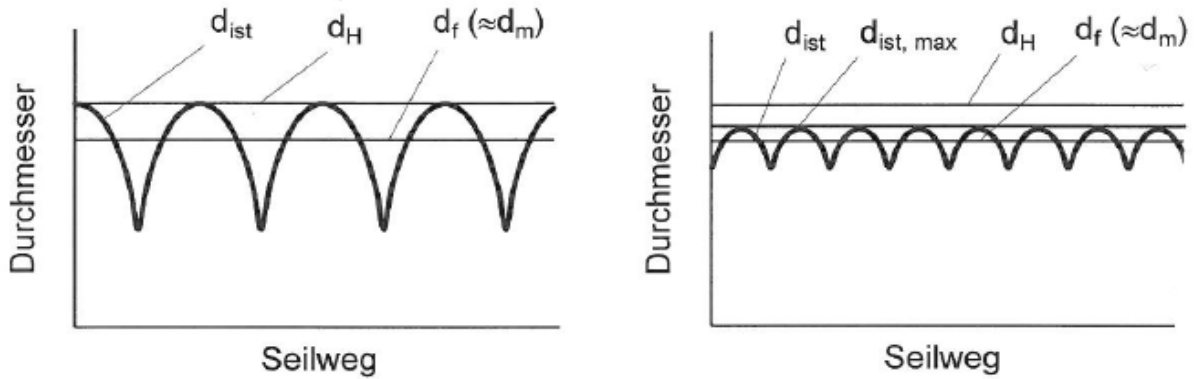


Figure 10: Detected widths of generated profiles or shadows of ropes a) with even number of strands as well as b) with uneven number of strands and their actual diameter d_H [19]

The maximum deviation of the fictitious diameter from the mean diameter decreases with an increasing number of strand summits along the reference section. A reference section of very few strands suffices to keep the deviation small. The reference section required to keep the maximum possible deviation below a certain limit is much smaller with uneven-stranded ropes than with even-stranded ropes. Additionally the length of reference section decreases with an increasing number of outer strands and with a decreasing difference between strand summit and strand valley diameters.

The most interested value of the rope is the loss of rope diameter d/d_0 . These value can be determined as the ratio between the manually measured rope diameter d_{SN} of the bent rope zone (stressed by a certain number of bending cycles) and the rope diameter d_S of the unbent rope zone. These value also can be determined by the ratio of the automatically calculated fictitious rope diameter d_{fN} of the bent rope zone and the fictitious rope diameter d_f of the unbent rope zone.

$$\frac{d}{d_0} = \frac{d_{SN}}{d_S} = \frac{d_{fN}}{d_f} \quad (4)$$

With the mentioned method it is possible to detect the actual rope diameter automatically and independent of number of outer strands. Figure 11 shows an example of such a measurement. The rope was stressed by 246,600 bending

cycles. The left side of the trace shows the unbent rope zone and the changeover to the bent rope zone. The fictitious diameter was calculated as mean value of measured data within a rope length of 0.44 times lay length.

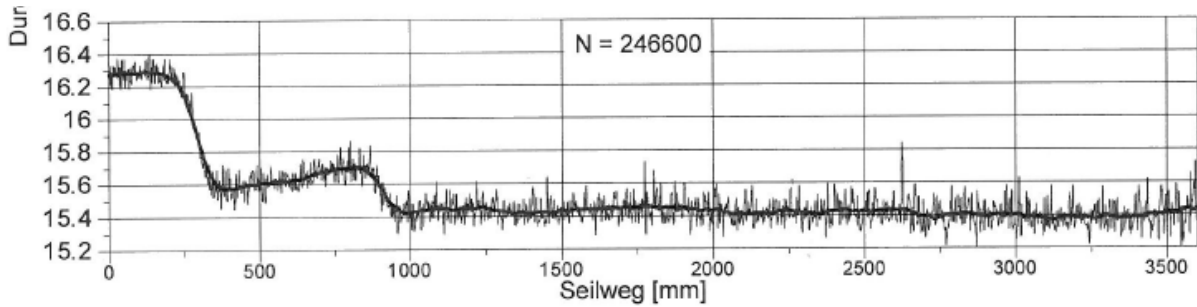


Figure 11: Automatically measured width of rope and the calculated fictitious rope diameter [19]

5. Automatically Visual Rope Inspection

In all systems with very long running ropes like in ropeway and shaft mining installations it is necessary to check the ropes visually in regular time intervals to detect external rope defects. These visual inspections are generally done at slow speed in order to give the rope inspector an opportunity to detect possible rope defects. This is a time-consuming and a cost-intensive work to meet regulatory requirements. Therefore there is a highly interest to do this work automatically.

A first prototype system was presented by Young and Delaney [20]. The system consists a camera and two mirrors. As a result of the research, it was clearly determined that the system with one camera and two mirrors was not a useful configuration. The camera could easily capture all the rope images, but the two images in the mirrors were farther away from the camera than that the central rope image. This caused distortion and other imaging problems. They changed into a second prototype system with three cameras. The system works sufficiently. The same authors report about applying these technology under real operational conditions with up to eight parallel ropes and rope speeds up to 20 m/s [21]. The system is able to operate continuously and in real time.

In 2006 Verreet [22] presents a method to evaluate measured data of a three camera system automatically. 1000 photographs of a brand new and undamaged rope taken at distances of exactly one rope lay length should therefore look identical. The strands will be in the same positions in every photograph but the position of the wires within the strands might have shifted. If e.g. the lay length of the rope increases, the rope in the movie will stand still but become longer over time. Similarly, if the rope reduces in diameter over a certain length, the rope will again stand still but become thinner over time. This changes could be measured continuously and plotted as a function of the rope length.

Beginning in 2002 the Institute of Materials Handling at the University Stuttgart (IFT) starts a feasibility study to support the visual rope inspection [23]. A prototype with four CCD line cameras was built. Successful tests with this system in ropeway applications were reported in [24, 25, 26].

The pioneering work of Young and Walton [20, 21], Verreet [22] and the research work of IFT [24, 25, 26] lead to the development of the device “Winspect” [27] and an application for an European patent together with the company Automation W+R GmbH.

Due to the worldwide demand of Winspect®-Systems for ropes company Winspect GmbH was founded. It enhanced the systems and look for international commercialization. Two systems Winspect (for ropeways) and Minespect (for mining shafts) are available. The devices use four cameras to monitor the surface of the rope [28].

The images are stored in a PC and evaluated by software algorithms [29]. These algorithms detect automatically and highlights deviations of

- Rope diameter,
- Lay length,

- Defects like outer wire breaks
- Rope damages etc.

Figure 12 shows the device “Winspect” and the schematic arrangement of cameras and Figure 13 a screen shot of a rope section with the four pictures of the four cameras.

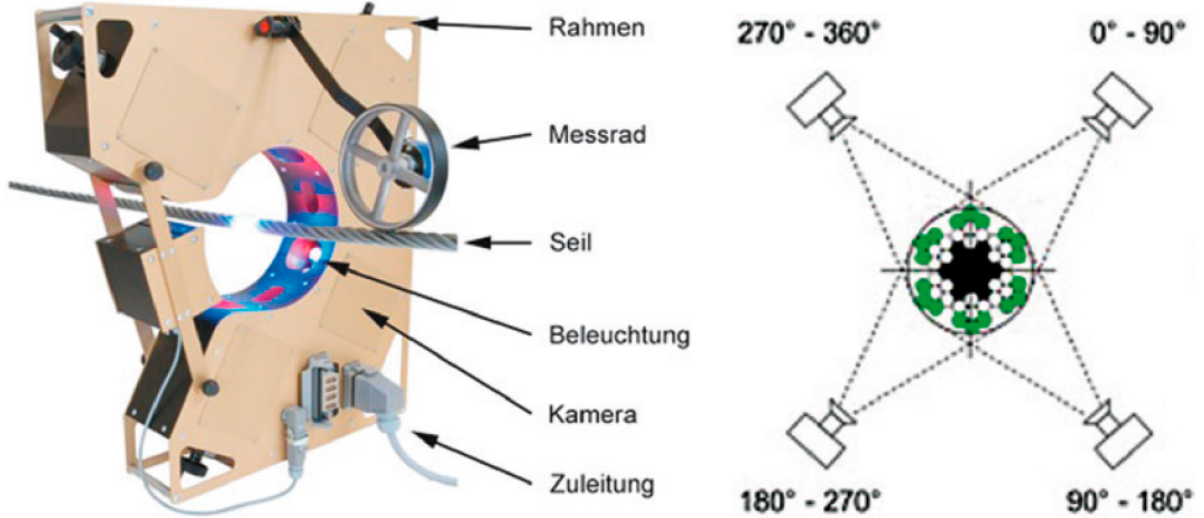


Figure 12: Device “Winspect” [25] and shematic arrangement of cameras [28]

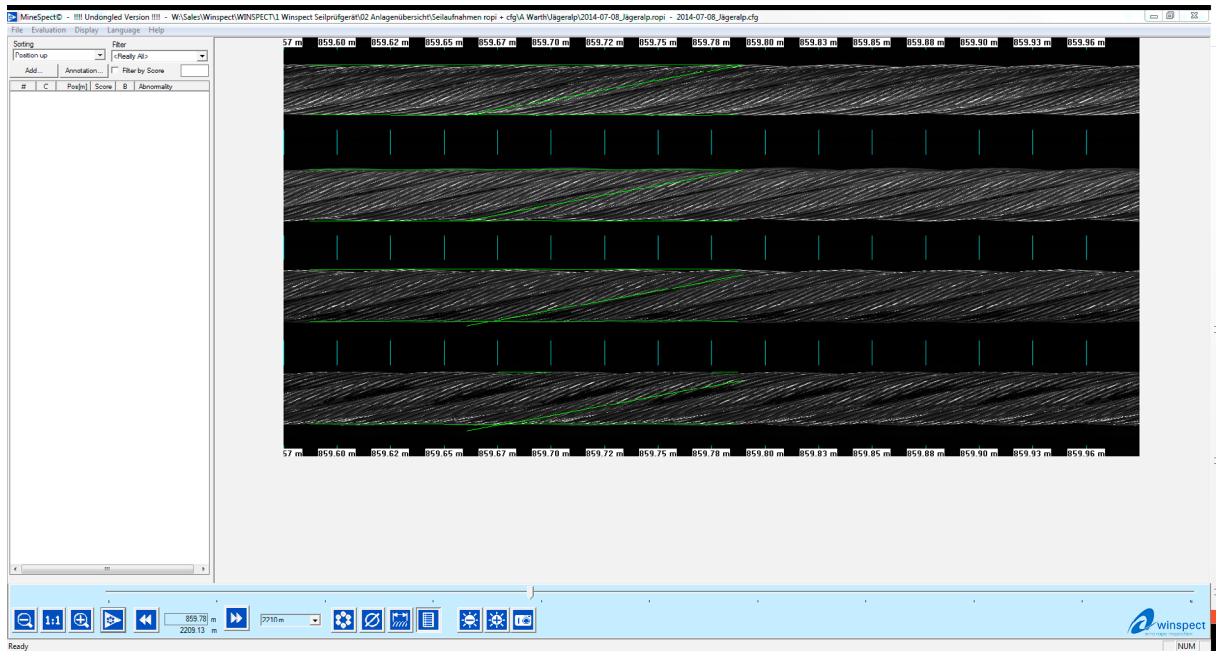


Figure 13: Screen shot of a rope section with four pictures of the four cameras [29]

The software tools of Winspect improves dramatically the documentation and monitoring of the wire rope by having comprehensive and reproducible inspection results. The inspection report generated by the software helps monitoring the rope during its service life. The report together with the rope recording make it possible to review the inspection at any time [29].



Bonetti, Martyna and Martyna [30] presented a device with which they combine magnetic rope testing (stray field to detect broken wires as well as flux density to detect loss of metallic area), 3D measurement (diameter, roundness, lay length, lay angle, waviness, axis alignment and elongation) and vision system (lubricant distribution, corrosion, abrasions, holes due to broken wires of broken strands and damages due to electric arcing).

6. Conclusion

Running wire ropes can only be used safely, if they are inspected in regular intervals and their discard state, i.e. the state of the ropes which requires them to be discarded, is recognized in time and without doubt so that dangerous conditions do not occur. In order to automate the rope inspection several methods were developed.

Magnetic rope inspection allows to detect broken wires in the rope as well as the loss of metallic area. Nowadays signals can be stored and evaluated half automatically. To overcome inaccuracies of broken wire detection high resolution magnetic test method were developed. With the help of two different rows of 30 sensors round the rope, both the axial and radial components of the magnetic field are registered. In the enrolled surface of the rope broken wires in one cross section can be detected separately.

Also continuous rope diameter measurement is possible with instruments which measure the rope diameter of running ropes acquire the generating profile or the shadow of the rope which is cast by parallel light.

In all systems with very long running ropes like in ropeway and shaft mining installations it is necessary to check the ropes visually in regular time intervals to detect external rope defects. These time-consuming and a cost-intensive work can be done automatically by help of special devices. All these half and full automatically inspection tools are possible by the capability of modern computers. They give a support to the safe and reliable use of running ropes.

7. References

- [1] Feyrer, K.: Wire Ropes. Tension, Endurance, Reliability. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2007, ISBN 3-540-33821-7
- [2] Briem, U.: Verbesserung der Ablegereifeerkennung laufender Drahtseile durch Kombination von Ablegekriterien. Diss. Universität Stuttgart 1996
- [3] Rieger, W.: Ein Beitrag zur magnetinduktiven Querschnittsmessung von Drahtseilen. Diss. Universität Stuttgart 1983
- [4] Beck, W.: Die magnetische Seilprüfung, in Laufende Drahtseile. Ehingen: Expert Verlag 1989, ISBN 3-8169-0492-0
- [5] Mc Cann, C.E.S.; Colsen, R.: Vorrichtung zum Prüfen der Schwächung des Querschnitts von Drahtseilen und dgl.; DRP 172595 Kl. 42b Gr. 10(1906)
- [6] Woernle, R.; Müller, H.: Zweiteilige Messspule für mit Gleichstrom Vorrichtung zur magnetischen Prüfung (Feststellung von mechanischen Zerstörungen) von Stahldrahtseilen. DRP 758730 Kl. 42k Gr. 4603 (1953)
- [7] FIFL GmbH: Magnetinduktive Seilprüfung MIDAN, Universität Stuttgart, 03/2006
- [8] CASAR GmbH: Magnetinduktive Seilprüfung mit CMRT, Firmenschrift, 2001
- [9] Haller, A.: Bildgebendes Verfahren zur Drahtseilprüfung. Internationale Seilbahnrundschau, Wien (1995) 5, S. 4-10
- [10] Nussbaum, J.-M: Zur Erkennbarkeit von Drahtbrüchen in Drahtseilen durch Analyse des magnetischen Störstellenfeldes. Diss. Universität Stuttgart 1999
- [11] Wehking, K.-H.: AWRP meeting, Bellevue, WA, USA 2010
- [12] Nussbaum, J.-M: Detection of broken wires using a high solution magnetic test method. OIPEEC Technical Meeting Kraków 1999, Proceedings pp. 129-141

- [13] Winter, S.; Briem, U.; Nussbaum, J.-M.: High resolution magnetic wire rope test – case study. OIPEEC Technical Meeting Kraków 1999, Proceedings pp. 143-151
- [14] Pernot, S.: Wirelets for assessing the condition of ropes: a dive into magnetic signals. OIPEEC Conference La Rochelle 2017, Proceedings, pp. 155-166
- [15] Pernot, S.: Towards automatic evaluation of rope condition with wirelets. OIPEEC Conference The Hague 2019, Proceedings, pp. 147-165
- [16] Fuchs, D.: Andere zerstörungsfreie Seilprüfungen. In: Laufende Drahtseile, Ehingen Expert Verlag, ISBN 3-8169-0492-0
- [17] Erbendruth, E.: Durchmesserkontrolle bei Drähten und Kabel. Drahtwelt 74 (1988), S. 16-18
- [18] Briem, U.; Vogel, W.: Measuring the diameter of running ropes. OIPEEC Round Table 1997, Proceedings pp. 67-75
- [19] Jochem, M.: Laseroptische Durchmessermessung an laufenden Drahtseilen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Stuttgart 1997
- [20] Young, A.; Delaney, B.: Automating hoist rope inspection process. International Conference on Hoist and Haul Perth 2005, Proceedings, pp. 391-400
- [21] Young, A.; Delaney, B.: Recent advances in automated visual rope inspection. OIPEEC Conference Johannesburg 2007, Proceedings, pp. 127-136
- [22] Verreet, R.: A new method for detecting rope defects. OIPEEC Conference Athens 2006, Proceedings pp. 55-61
- [23] Moll, D.: Visuelle Seilkontrolle. 1. Internationaler Stuttgarter Seiltag 2002
- [24] Moll, D.: Visuelle und magnetinduktive Seilprüfung bei Bergbahn- und Brückenseilen. 2. Internationaler Stuttgarter Seiltag 2005
- [25] Winter, S.; Moll, D.; Wehking, K.-H.: Innovative visual rope inspection method for maintenance. OIPEEC Conference Johannesburg 2007, Proceedings, pp. 137-143
- [26] Kühner, K.; Winter, S.; Moll, D.: Visuelle Seilkontrolle. 4. Internat. Seiltage 2012
- [27] Europäische Patentanmeldung Nr. 10004488.2. System und Verfahren zur Prüfung von Seilen, 2010
- [28] Söhnchen, R.: Securing safety of ropes with a visual rope inspection system. OIPEEC Conference Stuttgart 2015, Proceedings pp. 199-208
- [29] Söhnchen, R.; Harrach, A.; Strauch, W.: Semi-automatic visual rope inspection in mines with Minepect. OIPEEC Conference The Hague 2019 Proceedings pp. 297-313
- [30] Bonetti, C.; Martyna, R.; Martyna, M.: The new frontier of NDE using a combination of MRT, 3D measurement and Vision System. OIPEEC Conference la Rochelle 2017, Proceedings pp. 135-153



BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDE KADIN WOMEN IN INDUSTRIAL MAINTENANCE

¹Pervin Kaynaş Kocaman

¹Eti Gıda San. Ve Tic. A.Ş.
pkaynas@etigida.com.tr

Özet

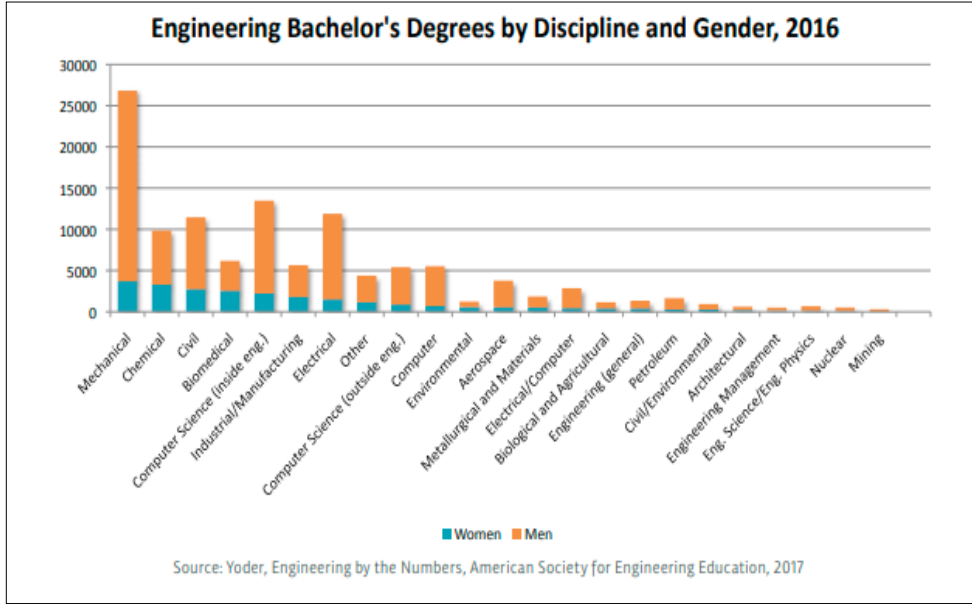
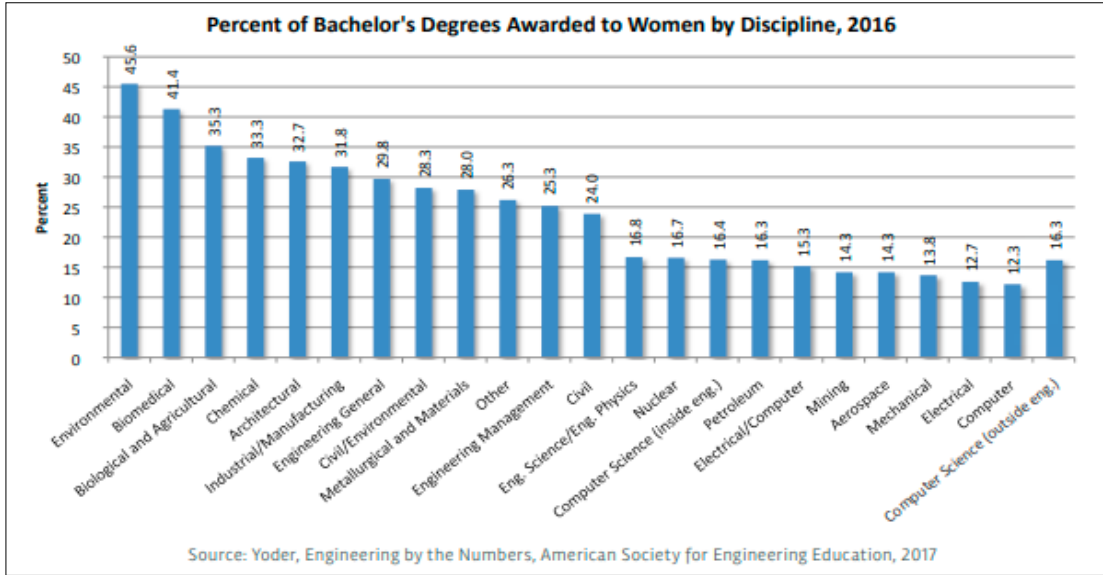
Son 50 yıla kadar, tüm dünya kültürlerinde kadınlar için keskin bir şekilde, domestik roller kabul görmüştür. Günümüzde cinsiyet rolleri keskinliğini yitirmekte ve kadınlar toplumda birçok alanda kendilerine yer bulmaktadır. Sanayide ise kadın istihdamı son 20 yılda hızla artmıştır. Özellikle gıda, kimya, endüstri gibi mühendislik alanlarında kadın mühendis sayısı yüksektir. Ancak inşaat, elektrik, makine gibi bölümlerde hala kadın mühendis sayısı erkek mühendisler oranla azdır. Özellikle bakım mühendisliği gibi, bu mühendislik bölümlerinin özel uzmanlık alanlarında bu sayı bir hayli düşüktür. Bu bölümlerin toplumda daha maskülen işler olarak kabul görmesi, kadınların bu alanlarda kendilerine yer bulmakta zorlanmasını açıklamaktadır. Sosyolojik nedenlerin yanında, mühendisliğe bakış açısı, çalışma şartları ve çalışma ortamı kadınların katılım oranını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de bakım mühendisi olarak çalışan kadınların çalışma şartları ve karşılaştıkları durumlar aktarılacaktır. Cinsiyet farklılığının mühendislikte bir engel olmaktan öte, kadın bakış açısının katacağı pozitif etkilerden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kadın, Bakım Mühendisi, Mühendislik, Değişim

1. Giriş

Mühendislik sektöründe yaygın bir yanlış, erkeklerin mesleğe hakim olmalarıdır. İstatistiksel olarak, kadınlar sektörde azınlıktır. Özellikle makine elektrik-elektronik gibi bölümler erkekler tarafından daha çok tercih edilmektedir. Ülkemizde mühendislik ve cinsiyet dağılımı konusunda istatistiksel veriler tutulmamaktadır. Ancak sadece Türkiye için değil tüm dünya ülkelerinde benzer dağılım görülmektedir. Bunun nedeni sosyolojik ve kültürel nedenlerin dışında toplumsal psikoloji de etkili olmuştur.

Grafik 1.1. Disiplinler ve cinsiyet bazında mühendislik eğitim dağılımı

Grafik 1.2. Kadınların mühendislik eğitim dallarındaki dağılımı


Doğru eğitim okulda başlar. Meslek dalları ile ilgili genel algılar eğitim sırasında edinilir. Gençler alanın sadece kirliliği ve baretleri olduğunu düşünebilirler ve bu nedenle mühendislik kariyerine ilgi duymadıklarını düşünebilirler. Gençlere mühendisliğin gerçekte neyi gerektirdiğini öğretmek, mühendisliği ilginç bir kariyer yolu olarak göstermek çok önemlidir.

Pek çok sektör çeşitli rollerde çalışabilecekleri teknik becerilere sahip mühendislere ihtiyaç duyar. Mühendislerden proje yöneticilerine, mühendislik rolleri, ileri hesaplamalar ve problem çözme gibi teknik beceriler gerektirir. Bu beceriler cinsiyet ile ilişkilendirilemez. Ancak doğru eğitim ve teşvikle herkes mühendis olarak başarılı olabilir. Mühendislik mesleğinin doğru ve yeterli bir şekilde anlatılmamasının dışında kadınların mühendislik sektörüne girmesini engelleyen çok sayıda engel vardır ve kaçınılmaz olarak, cinsiyet klişeleri büyük bir etken olmaya devam etmektedir.

Kadınlar ayrıca, azınlık olarak mühendis olarak başarılı olmanın zor olacağına inanabilirler. Bununla birlikte, son on yılda kadınlar sektörde daha belirgin hale gelmiştir.

2. Cinsiyet Farklılığının Etkileri

2.1. Ekibe Dahil Olma ve İletişim

Neredeyse tamamı ile erkek bir ortam olan bakım departmanlarında entegrasyonun çok zor olması beklenebilir, ama durum tam tersidir. Kadınların büyük bir çoğunluğu, meslektaşlarının kendilerine davranış biçimlerinde herhangi bir fark görmemektedir ve gerçekten de ekibin bir parçası olmaktadır. Kadın ya da erkek fark etmeksizin kişinin iletişim becerileri ile doğru orantılı olarak takım olabilme becerisi değişmektedir. Ancak kadınlara karşı oluşan daha dikkatli ve nazik olma tutumu ile düzgün bir iletişim kurulmaktadır. Kadınların birleştirici özelliği, ekipleri olumlu yönde etkilemektedir. Bu örnekler cinsiyet farklılıklarının bir engel olmadığını kanıtlamaktadır.

2.2. Bakış Açısı Farklılıkları



Endüstriyel çalışma ekiplerinde kadın iş arkadaşlarına sahip olmanın birçok avantajı vardır. Kadınlar ile erkekler arasındaki fikir alışverişi daha kolaydır. Bu iletişimde genel yaklaşım, stres seviyesinin kontrol altında tutulmasına eğilimlidir. Doğal olarak gelişen düşünme ve iş yapış şeklindeki farklar bakım gibi alanlarda problem çözme olumlu yönde etkilemektedir. Problemlere yaklaşımın çeşitlendirildiği her ortamda yenilikçi bir tutum daha kolay gelişmektedir. Üretim hızının giderek önem kazandığı sektörlerde oluşan arızalar kriz durumlarını yaratmaktadır. Bu noktada bakım ekiplerinin hızlı karar alması ve alternatif yöntemler bulması kritik önem taşımaktadır. Kadınlar toplumda yüklendiği roller nedeni ile stres yönetimi ve komplike düşünme konusunda edindikleri becerileri kullanabilirler.

2.3. Çalışma Şartları

Özellikle bakım departmanlarında, çalışma saatlerinin olumsuz yönde esneyebilmesi hem kadın hem erkek mühendisler için zorlayıcı bir çalışma ortamı yaratmaktadır. Üretimin sürekli devam etmesi nedeni ile arıza bakım için rassal bir zamanlama ortaya çıkmaktadır. Bu da mühendislerin sosyal hayatını ve planlı yaşamını olumsuz etkilemektedir.

Kadınların toplum tarafından yüklenen ev ve aile hayatı ile ilgili sorumlulukları düşünüldüğünde esnek çalışma ortamında başarılı olamayacakları önyargısı oluşmaktadır. Ancak gelişmişlik düzeyinin artması ve partnereler arasında ki dengeli sorumluluk paylaşımı ile hem kadın hem de erkek için, iş hayatlarını özel hayatları ile dengelemek mümkündür. Ülkemiz şartlarında günün %40'ı iş ortamında geçirilmektedir. Böyle büyük bir sürenin iş tatmini ve mutlu bir çalışma ortamı ile geçirilmesi önemlidir. Bu zaman diliminin özel hayata da etkisi olmaktadır. Şüphesiz ki tüm çalışanlar için çalışma saat düzenlemesi gereklidir.

Ayrıca çocuk sahibi olma durumunda kadınların iş hayatından uzak kalması işverenler açısından olumsuz karşılanmaktadır. Sadece mühendislik alanlarında değil tüm sektörlerde bu süreç kadınları zorlamaktadır.

4. Sonuç

Çok az sayıda kadının karar alma pozisyonlarına girebildiği ve çok spesifik sanayi sektörlerinin hala neredeyse sadece eril olduğu doğrudur. Son yıllarda, mühendislik endüstrisinde çalışan az sayıda kadını cesaretlendirmek ve övmek için bir medya yayıncılığı ve farkındalık kampanyası konusunda birçok şey yapılmıştır. Sonuç olarak, kadın mühendisler nihayet saygın bir şekilde tutulmaya başlanmıştır. Daha fazla kadına mühendislik alanında bir kariyer



seçmek için nasıl ilham verileceği sorusu dünya çapında sorulmaktadır. Cevap basit değil ve sorumluluk şirketlerden okullara kadar birçok kişiye düşmektedir.

Kadınlar, kendi sektörlerinde birçoğunun arasında, cinsiyetlerinden bağımsız olarak, aynı derecede parlak bir şey üretebilecek yeni nesil mühendislere ilham vermeliyizdir.

Tüm mühendislik alanlarında ve bakım mühendisliğinde, kadın mühendislerin katılımını arttırmak için;

- * Liderler eğitilmeli ve değişim için onlara sorumluluk verilmelidir.
- * Önyargı ve cinsiyetçilik içeren zihin setleri değiştirilmelidir.
- * İş tasarımı yaratıcı olmalıdır.
- * Esnek çalışma herkes için gerçeğe dönüştürmelidir.
- * İlerleme için fırsatların şeffaflığını artırılmalıdır.
- * Yetenekli kadınlara, erkeklerle aynı iş pozisyonu verilmeli ve kariyerlerini geliştirmelerine destek olunmalıdır.
- * Davranış tarzında eşitlikçi yaklaşım sergilenmelidir.
- * Sektör ortakları ile öğrenme ve iyi uygulamalar paylaşılmalıdır.

5. Kaynakça

1- <https://www.engineerlive.com/>

2- AdamutiTrache, M., & Andres, L. (2008). Embarking on and Persisting in Scientific Fields of Study: Cultural capital, gender, and curriculum along the science pipeline. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1557-1584. doi: 10.1080/0950069070132420

3- Gupta, N. (2012). Women Undergraduates in Engineering Education in India: A Study of Growing Participation. *Gender, Technology and Development*, 16(2), 153-176. doi: 10.1177/097185241201600202

4- National Science Foundation. (2012). Women, Minorities and Persons with Disabilities in Science and Engineering. Retrieved from <http://www.nsf.gov/statistics/wmpd/tables.cfm>

5- Veenstra, C. (2012). Best Practices for Attracting Girls to Science and Engineering Careers. *ASQ Higher Education Brief*, 5(3). <http://rube.asq.org/edu/2012/06/bestpractices/best-practices-for-attracting-girls-to-science-and-engineering-careers.pdf>

6-Yoder, Engineering by the Numbers, American Society for Engineering Education, 2017

6. Özgeçmiş

“11.11.1989 yılında Eskişehir’ de doğdu. 2009-2013 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi’ nde Endüstri Mühendisliği ve çift ana dal olarak Makine Mühendisliği eğitimimi tamamladı. Üniversite sonrasında OD-TÜ-GSI SLV.TR bünyesinde hazırlanan Kaynak Mühendisliği sertifika eğitimine katıldı. 2013-2015 yılları arasında Emek Özel Cıvata Mak. San. Tic. A.Ş.’ de Kaynaklı İmalat Mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılı itibari ile Eti Gıda San. Tic. A.Ş.’ de Bakım Mühendisi olarak çalışmaktadır. Kestirimci bakım, planlı bakım, devreye alma ve pişirme proses çalışmaları, TPM uygulamaları ile iyileştirme ve maliyet azaltma konularında çalışmaya devam etmektedir.”

BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARINDA TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ

¹Sidem Kaner

¹Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Denizli, TÜRKİYE; skaner@pau.edu.tr

Özet

Günümüzde sanayi farklı çalışma alanının bir araya getirdiği bir sistemi oluşturmaktadır. Sistemin çalışması ve üretmesi kadar doğru işleyişin sürekliliğini sağlamak da oldukça önemli bir kavramdır. Sanayi alanlarına bakıldığında özellikle ağır sanayi alanları farklı ve karışık yapıları makine ve teçhizatın yoğun kullanım alanı bulduğu sektörlerdir. Makinaların üretimi gerçekleştirme kapasitelerinin sürekliliğini sağlamak ve sistemin hatasız, kaliteli ürün vermesini sağlamak için makinanın kullanımı kadar bakım ve onarım aşamaları da ciddi önem arz eder. Bir makine imalatı sırasında birçok çalışma yapılır. Öncelikle tasarım aşaması ve malzeme seçimi en önemli başlangıç noktasıdır. Sonrasında ise üretim sisteminin doğru oluşturulması, malzemenin doğru işlenmesi gerekir. Hem mekanik hem elektronik sistemlerin yerleştirilmesi, otomasyonun uygun şekilde geliştirilmesi ve kullanılması da önemlidir. Bu çalışmaların takibinin yapılabilmesi ve mevcut sisteme herhangi bir etki yapmadan kontrollerin gerçekleştirilmesi için tahribatsız malzeme muayene yöntemleri kullanılmaktadır. Hem imalat sırasında hem de imalat sonrası kullanım aşamasında, özellikle de bakım ve onarım süreçlerinde bu yöntemler sistem üzerinde herhangi bir hasar oluşturmadan malzemenin iç ve dış yapısındaki hataların tespitini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında bakım ve onarım alanında kullanılan tahribatsız malzeme muayene yöntemleri ve kullanım şekilleri açıklanmıştır. Ayrıca yapılan tahribatsız malzeme muayene örnekleri ile sistem kontrolleri irdelenmiştir.

Abstract

Nowadays, industry is a system that brings together different fields of work. Ensuring the continuity of the operation as well as the operation and production of the system is a very important concept. When looking at the industrial areas, especially heavy industry areas are different and mixed structures of machinery and equipment are found to be used extensively. In order to ensure the continuity of the production capacity of the machines and to ensure that the system provides error-free, quality products, maintenance and repair stages are as important as the use of the machine. Many works are done during the manufacture of a machine. First of all, design stage and material selection is the most important starting point. Then, the production system should be created correctly and the material must be processed correctly. It is also important to install both mechanical and electronic systems, and to develop and use automation as appropriate. Non-destructive material inspection methods are used in order to follow up these studies and to carry out the controls without any effect on the existing system. During both manufacturing and post-production use, especially during maintenance and repair processes, these methods ensure that defects in the internal and external structure of the material are determined without causing any damage to the system. In this study, non-destructive material inspection methods and usage methods used in maintenance and repair are explained. In addition, non-destructive material inspection samples and system controls were examined.



1. Giriş

İmalatın her aşamasında sistemin kontrolü, kaliteli imalatın önemli basamaklarından biridir. Bir sonraki aşamaya geçilmeden önce imalatı yapılan parça ve ekipmanda ki boyut, ölçü ve kalitenin doğru şekilde kontrol edilmesi gerekir. Tabi ki sadece yüzeysel kalite değil, aynı zamanda imalatın oluşturabileceği herhangi bir mekanik hata da üretim aşaması ilerlemeden tespit edilmelidir. Üretim aşamasında oluşan sıcak veya soğuk şekillendirmenin meydana getirebileceği bir hata yüzeysel veya iç hata olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda malzemedeki hatanın tespiti için kullanılan bazı yöntemler vardır. Temelde bu yöntemler tahribatlı ve tahribatsız malzeme muayene yöntemleri olarak bilinir. Tahribatlı malzeme muayene yöntemleri isminden de anlaşılacağı gibi malzeme veya parça üzerinde bir deformasyona neden olarak o parçanın mekanik dayanımı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Burada malzeme ile ilgili, çekme, basma, eğme dayanımları, çentik etkisi, darbe dayanımı vb. gibi temel mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. Fakat tahribatlı malzeme muayene yöntemini uygulayacağımız malzeme herhangi bir sistemin tamamlayıcı parçasını oluşturamaz. Yani üretimi bitmiş nihai bir ürün üzerinde tahribatlı malzeme muayenesi uygulamak ürünü hasara uğratar. Bu durumda kullanılması gereken yöntem tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden seçilmelidir.

2. Malzemelerde Hata Oluşum Aşamaları

Kullanılan malzemenin hangi yöntemle üretildiği bilinmelidir. Üretim yöntemi hata cinsinin belirlenmesi için önemlidir. Döküm, kaynaklı imalat, soğuk şekillendirme gibi aşamalar malzemelerde farklı hata oluşumlarına sebep olabilir. Bu aşamada hatanın sınıflandırılması yapılmalıdır. Özellikle hatanın boyutu tespitinin yapılabilmesi için seçilecek yöntemin önemini daha etkin kılar.

Malzeme için ilk ayrıştırma malzemeyi oluşturan alaşım elementlerinin ürünün bitmiş şekli ile kullanılacağı yerde uyum sağlayabilmesi için belirlenmelidir. Alaşım elementlerinin uygun sıcaklık ve imalat koşullarında, doğru oranlarda birleştirilmesi ile istenilen nihai sonuca ulaşılabilir. Alaşım elementlerinin seçimi, kalitesi yapılan ilk testler ile tespit edildikten sonra üretim aşamasında başlar. Bu alanda özellikle döküm ile elde edilen malzemelerde doğru analiz için spektrometrik ölçüm yapılması gerekir. Döküm sonrası da kontrol edilen numuneler ile malzemenin alaşım elementi oranları açısından istenilen sonuca uygunluğu kontrol edilir. Döküm sonrasında bir malzemeye uygulanan soğuk şekillendirme, ısıtma işlemi vb. imalat yöntemleri de alaşım elementlerine ve uygulanan işlemlere bağlı bir süreksizlik oluşmasına sebep olabilir. Hata tespit yöntemleri bu aşamada önem kazanmaktadır. Hatayı boyutlarına göre sınıflandırdığımızda makro ve mikro yapı hataları oluşur. Makro hata gözenek, çatlak, boşluk, cüruf kalıntıları, oksitler, yüzey pürüzlülüğü vb. gibi boyutsal olarak büyük olurken mikro hatalar iç gerilmeler, hidrojen gevrekliği, azot yaşlanması, malzeme uyumsuzlukları, dislokasyonlar vb. gibi görülmesi mümkün olmayan hataları oluşturur. Hatanın boyutu malzemenin hangi yöntemle üretildiğine de bağlıdır. Özellikle iç yapıda görülemeyen ve yüzeysel olmayan hatalar döküm esnasında malzemenin uygun sıcaklıkta üretilmemiş olmasından veya

3. Malzemelerde Hata Tespit Yöntemleri

Malzemede hata tespiti iki temel yöntemler yapılmaktadır. Tahribatlı malzeme muayene yöntemleri ve tahribatsız malzeme muayene yöntemleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri malzemeye veya parçaya herhangi bir fiziksel hasar vermeden yani parça bütünlüğünü bozmadan uygulanan yöntemlerdir. Bu yöntem ile imalat esnasında veya bir süre kullanıldıktan sonra meydana gelen korozyon, oksitlenme gibi nedenlerden dolayı oluşan iç çatlak, boşluk ve boyutsal inceltme gibi hatalar tespit edilmektedir. (1 Malzeme K.).

Tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinin geçerliliği çoğunlukla önceden yapılmış olan tahribatlı muayene yöntemlerinin sonuçlarına dayandırılmaktadır. Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri yüzeye yakın veya yüzeyde bulunan hataların tespiti açısından malzemede fiziksel bir hata oluşturmadan çözüm oluşturabilmektedir. Tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinde amaç parçanın fiziksel bütünlüğünü ve kullanımını bozmadan onun kalitesini ve süreklilik halini belirlemektir. Tahribatsız test yöntemiyle gerçekleştirilen işlemlerde, test edilen materyal deformasyona uğramamaktadır. (2) Kullanılan yöntem malzemede oluşan hata veya kusurların malzeme üzerindeki belli bir bölgede tespiti ile gerçekleştirilebilir. Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Gözle muayene yöntemi
- Penetrant sıvısı ile muayene

- Ultrasonik muayene
- Manyetik pariküler yöntemi ile muayene
- Girdap akımları ile muayene
- Radyografik (X-Ray) muayene
- Infrared termografi
- Sızdırmazlık muayenesi
- Vurma, ses ve akustik emisyon ile muayene

Yöntemlere bakıldığında malzemenin cinsi, kullanım yeri, malzemeye ait kullanım şartları kullanılan yöntemin etkisi dikkate alınarak bir yöntem seçimine gidilmektedir. Malzemedeki hasarın makro veya mikro boyutta olması, malzemenin ferro-manyetiklik özelliği, malzemenin cinsi (metal, plastik, kompozit vb.) de uygulanacak tahribatsız malzeme muayene yönteminin seçimi için önemlidir. Muayene yöntemlerinin sınıflandırılması ayrıca hatanın bulunduğu bölgenin durumuna göre de 3 temel sınıfa ayrılmaktadır;

- Yüzeysel yöntemler
- Hacimsel yöntemler
- Bileşik yöntemler

Yüzeysel yöntemler malzeme yüzeyinde seçilecek yöntem ile tespit edilmeye uygun özellikte olan hatalar için kullanılmaktadır. Gzöle muayene,ü sıvı penetrant ile muayene, magnetik partiküler ve girdap akımları ile muayene yöntemleri bahsi geçen yüzeysel hata tespitleri için kullanılabilir. Hacimsel yöntemler malzemenin test bölgesinin tamamına nüfuz ederek hataların tespiti için kullanılmaktadır. Bu grupta radyografik muayene, ultrasonik muayene ve termografik muayene yöntemleri vardır. Bileşik yöntemlerde ise parçanın tamamı aynı anda test edilebilir. Bu grupta sızdırmazlık testi ve akustik emisyon testi mevcuttur.(3)

Tahribatlı malzeme muayene yöntemleri ise ürün üzerinde hasar oluşturacak şekilde uygulanan ve yapılan test ile mekanik ve fiziksel olarak dayanımlar hakkında bilgi edinilmesi mümkün olan yöntemler karşımıza çıkmaktadır. Tahribatlı yöntem olarak da aşağıdaki gibi sıralama yapılabilir;

- Çekme ve Basma Deneyi
- Eğme Deneyi
- Sertlik Deneyi
- Burulma Deneyi
- Sürünme Deneyi
- Darbe Deneyi
- Metalografik Muayene
- Mekanik Aşınma Deneyi
- Korozyon Aşınması Deneyi
- Yoğunluk Ölçümü
- Yorulma Deneyi

Bütün bu uygulamalarda malzeme üzerinde fiziksel bir etki oluşacağı için bitmiş nihai bir parçada bu deneylerin uygulanması sonrasında numune kullanılamaz hale gelmektedir. Tabiki tasarım aşamasında malzeme üzerine gelecek yüklemelerin tespiti ve doğru malzeme seçiminin gerçekleştirilebilmesi için bu deneylerin de yapılması önemli bir husustur.

4. Tahribatsız Malzeme Muayene Yöntemleri ve Uygulama Örnekleri

Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri uygulama aşamaları incelendiğinde bir çok farklı alanda kullanılan makine parça ve ekipmanı üzerinde çalışılmakta olduğu biliniyor. Özellikle üretim sonrası elde edilen parça üzerinde yapılan plastik şekillendirmeler, parçanın darbeli ve uzun süreli kullanıma maruz kalması, çok sıcak veya soğuk atmosferik koşullarda kullanım, malzemenin alaşım elemanları malzemenin aşınma ve hasara uğrama süreçlerini etkilemektedir. Dolayısıyla parçayı kullanıma başlamadan yapılan kontrollerin yanında kullanım süresi boyunca yapılacak bakım ve onarım çalışmalarında parçaların dikkatli kontrolleri de önem kazanmaktadır. Tahribatsız Muayene yöntemlerinin en çok kullanım alanı bulunduğu süreç şüphesiz ki bakım ve onarım aşamasıdır. Hem ürün

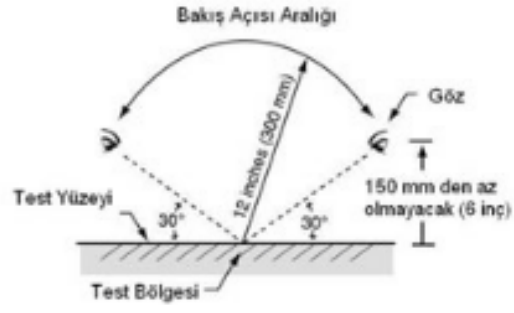
üzerinde gözle görülemeyen bir hatanın tespiti amaçlanır hem de ürünün ekonomik ömrünü tamamlamaya ne kadar zamanı olduğu belirlenebilir. Bu şekilde planlı bakımın da yapılma sürecinde tahribatsız muayene yöntemleri geniş bir kullanım alanı bulur.

4.1. Gözle Muayene Yöntemi

Herhangi bir iş parçasının yüzeyinde meydana gelen hatanın optik cihazlar ve yardımcıları kullanılarak veya kullanılmadan göz ile yapılan muayene yöntemidir. Basit bir yöntem gibi görünse de uygulama aşamasında titiz davranılması gerekmektedir. Gözle muayene uygulama alanlarında yöntem tek başına kullanılabileceği gibi başka bir yöntemin öncesinde veya sonrasında kontrol amaçlı da kullanıma uygundur. Gözle muayene yöntemi EN 13018 standardına uygun ve gerektiğinde kullanılan ekipmanlar açısından EN ISO 3058 ve EN 13927 standartlarında belirtilen yardımcı ekipmanlar ile yapılmaktadır. (4) Uygulamayı yapacak kişinin yeterli teknik bilgiye sahip olması ve temel malzeme bilgisinin de yeterli olması doğru sonuç alınabilmesi için önem arz eder. Yöntem hem metal hem de metal dışı malzemelere uygulanabilir. Yöntemin uygulandığı alanın yapılacak çalışmanın hassasiyetine uygun aydınlatmaya sahip olması ve ihtiyacı karşılayacak yardımcı cihazların kullanılması doğru sonuca ulaşılması için önemlidir. Günümüzde baroskop, endoskop, yüzey komperatörleri ve geliştirilen yeni teknolojik video kayıt sistemleri ile gözle muayene uygulaması yapılabilmektedir. Gözle muayenin uygulama aşamasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Muayenin nasıl gerçekleştiği, yüzey temizleme şartları ve kriterleri, temizleme işleminin nasıl yapıldığına dair prosedürler, direk ve indirek gözle muayene yöntemlerinden hangisinin tercih edileceği, kullanılan yardımcı ekipmanlar, inceleme gerçekleştirilen alan yapılan çalışmanın başarısı açısından önemli kriterlerdir.(5)



(a)



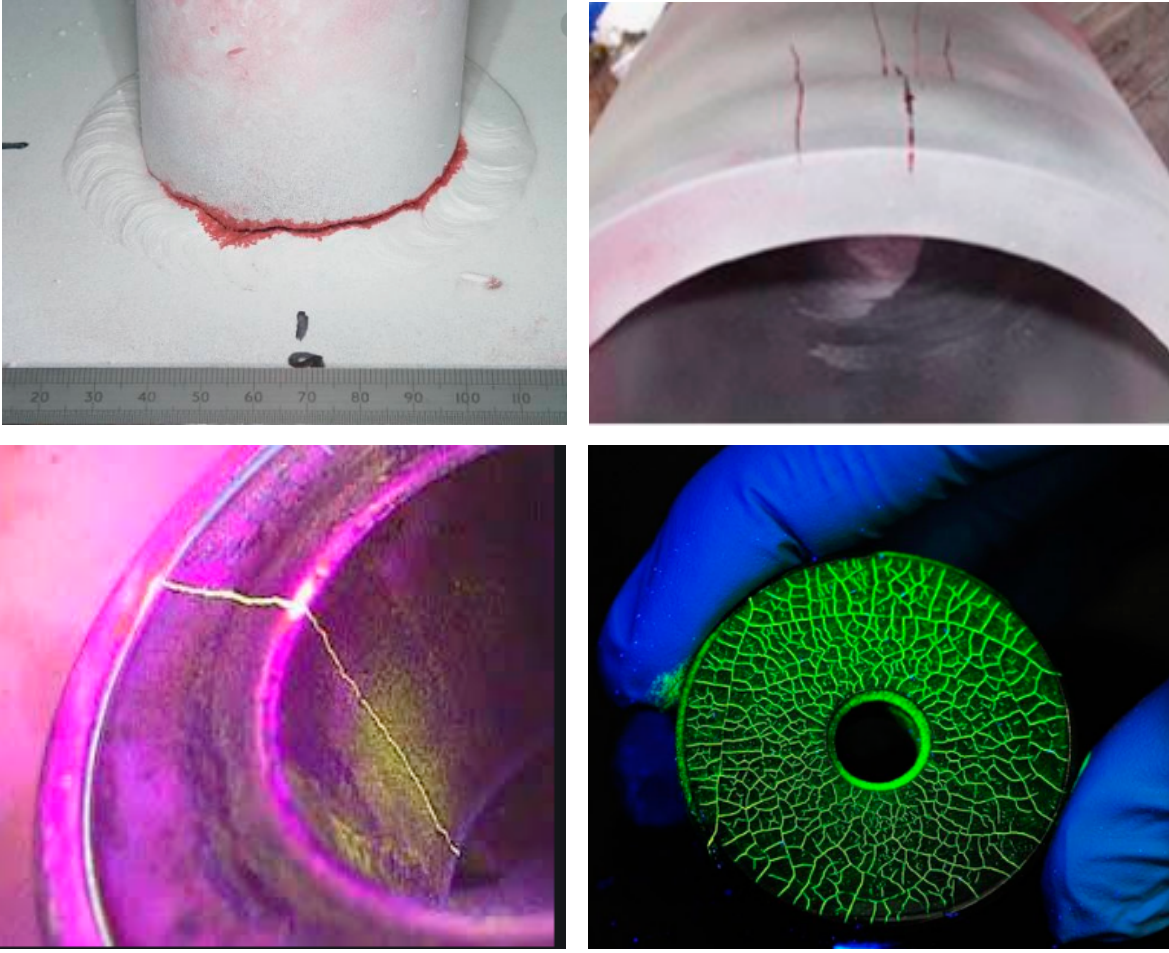
(b)

Şekil 1.a. Baroskop, 1.b. Gözle muayene bakış açısı gösterimi

Günümüzde imalat sonrası kaynak dikişlerinin kontrolünde, döküm sonrası yüzeysel hataların kontrolünde, akarsu, baraj vb alanların taban ve ayak konstrüksiyon kontrollerinde, farklı yapıdaki malzemelerin (metal, plastik, kompozit vb.) yüzey kontrollerinde gözle muayene yöntemi kullanılmaktadır. Gözle muayene yönteminin uygulanmasından sonra öngörülen duruma göre farklı bir tahribatsız yöntem ile tespiti muhtemel bir hatanın detaylı taraması yapılabilir. Bu aşamada ultrasonik yöntem veya manyetik partikül testi tercih edilebilir.

4.2. Sıvı Penetrasyon Yöntemi

Penetrasyon yöntemi yüzeyde meydana gelmiş kılcal çatlakların, boşluk ve hataların tespiti için tercih edilen bir yöntemdir. Yöntemin uygulanması esnasında yüzey enerjisine bağlı olarak oluşan adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin etkisinden söz etmek mümkündür. Kullanılan penetrant sıvısı akışkanlığı oldukça fazla, düşük vizkoziteli bir sıvıdır. Dolayısıyla yüzeye sıkıldığında ıslanabilirliği yani yüzey enerjisi yüksek olan malzemeler için hatanın tespiti aşamasında oldukça başarılı sonuçlar verebilen bir yöntemdir. Bu yöntem temelde 6 aşamadan meydana gelir.



Şekil 3. Penetrant Yöntemi Uygulanan Örnekler

4.3. Ultrasonik Test Yöntemi

Ultrasonik test yönteminde malzeme içerisine gönderilen ses dalgasının yankılanarak geri dönüş frekansına bağlı olarak hata tespiti yapılır. Metalik veya metalik olmayan malzemelerde beklenen hacimsel hatalar ile çatlak türü yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir. Süreksizlikler ultrasonik demete dik doğrultuda olduklarından en iyi şekilde algılanırlar, kaba taneli yapılar özellikle ostenitik malzemeler için ultrasonik yöntem uygulanması zordur. Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları ses yolu üzerinde bir engele çarpması durumunda yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal alıcı proba gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı proba ulaşan yansıyan sinyal ultrasonik muayene cihazının ekranında bir yankı belirtisi oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında fikir verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak yansıtıcının türü hakkında da bir yorum yapmak mümkün olabilir. Yöntemde uygulama esnasında piezo elektrik kristaline bir elektrik şarjı ile titreşim oluşturmak ve kristalin kalınlığına göre frekansın titreşim süresine bakılarak bir yorum yapmak mümkündür. Şöyle ki malzeme içerisinde titreşimle oluşan frekansın dağılıma süreci malzemenin kalınlığına ve cinsine bağlı olarak değişir. Örneğin çeliklerde dalga 5900m/s hız ile yayılırken suda 1400m/s hız ile yayılır. Ultrasonik enerji bir katı içerisinde ilerlerken bir hata ile karşılaşması durumunda boşluğu geçmez ya da kısmen geçer. Hava içerisinde bozulan frekansın ekran üzerinden alınan izlenimi hatanın yeri ve boyutu hakkında bilgi almamızı sağlar. Frekans gönderdiğimiz probu malzeme üzerinde arada akımı geçirmeyi sağlayacak bir jel kullanarak uygularız. Jel probun hava ile temasını da kestiği için ses dalgasının direk katı malzeme içerisinde hareket etmesini sağlar.(7)



Şekil 4. Ultrasonik Test Cihazı

Ultrasonik test yöntemi montajı bitmiş ve bakım sırasında demontajı kısmen mümkün olan veya olmayan sistemlerin testi için kullanılabilir. Tren rayları, vagon tekerleri, hadde merdaneleri, silindirik mil ve borular gibi büyük ölçekli sistemlerin kontrolleri için uygun bir yöntemdir. Bu sistemlerin kullanımı sırasında yorulmaya ve darbeye maruz kalması, malzemenin iç alanında meydana gelmiş olması muhtemelen hataların tespiti, malzemelerde meydana gelen cidar kalınlığı değişimlerinin tespiti için yine en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntemin kullanımı özel bir eğitim gereksinimini de beraberinde getirir. Farklı ekipmanlar ve açılarda ölçüm yapılabilmesi için sisteme özel farklı prob ve mastarlar ile çalışılması gerekir.



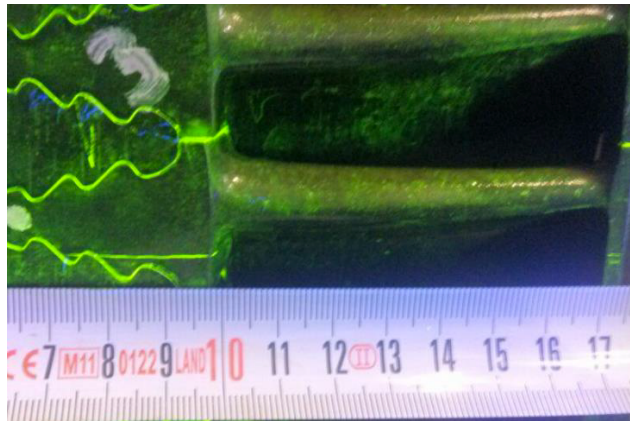
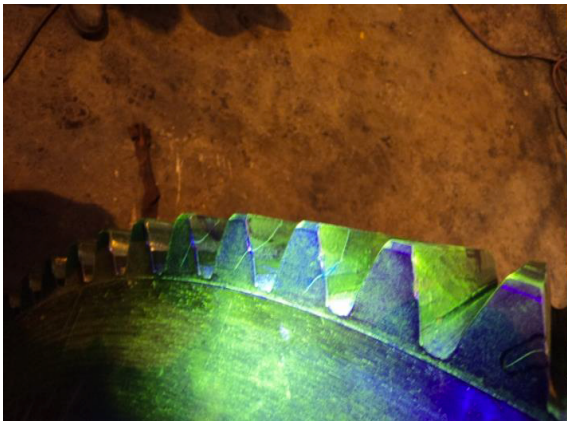
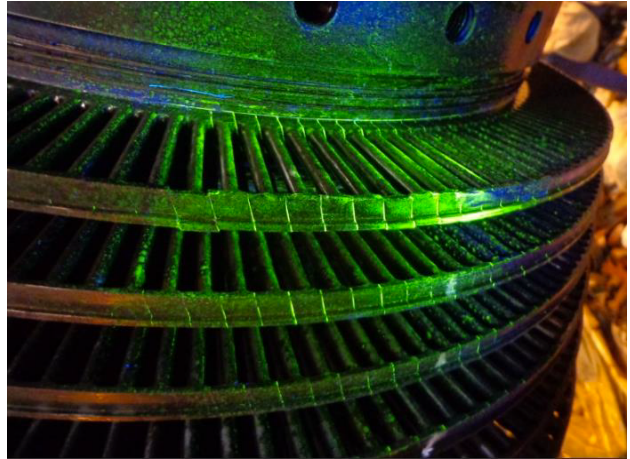
Şekil 5. Ultrasonik Test Yöntemi Uygulama Örnekleri

4.4. Magnetik Partiküler Test Yöntemi

Magnetik partiküler testi uygulama aşamasında önemli yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkar. Yüzeyle ve yüze yakın alanlarda meydana gelmiş hata, boşluk ve çatlakların tespiti için kullanabileceğimiz bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanılabilmesi sistem üzerinde oluşan dalgalardan meydana getirilebilecek bir mıknatıslama ile meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu yöntemin uygulanabilmesi için malzemenin ferromagnetik özelliğine sahip olması gerekmektedir. Ferromagnetik demir esaslı malzemelerde özellikle de karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde kendisini gösteren atoma ait bir özelliktir. Elektronların atomların çekirdekleri ve kendi eksenleri etraflarında dönerek oluşturdukları magnetik akım ve alan malzemeye ferromagnetik özellik katmaktadır.

Magnetik partiküler testi uygulaması malzemenin üretim şekline göre belirli standartlar ile belirlenmiştir. Döküm malzemeler EN 1369 standartına göre, çelik dövme malzeme EN 10228-1 ve çelik borular EN 10246-12 standartlarına göre bu teste tabi tutulmaktadır. Magnetik partiküler testinin uygulanma şekli tozun kuru veya ıslak olarak kullanılmasına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Kuru yöntem malzeme üzerine magnetik tozun püskürtülerek gönderilmesi ve bulut şeklinde bir yapı oluşması ile mümkün olur. 316 °C sıcaklığa kadar uygulanabilir. Yüzeydeki magnetik toz dağılımının homojenliğine göre bir değerlendirme yapılır.

Islak yöntem de ise magnetik parçacıklar sıvı çoğunlukla su içerisine eklenerek malzeme üzerine bırakılır. Özellikle yüzeydeki çok ince kılcal çatlakların ve derinliği 0,02mm ye kadar olan hataların tespiti için iyi bir yöntemdir. 57 °C sıcaklığa kadar olan yüzeylerde çalışmaya uygundur. Daha fazla sıcaklıkta buharlaşma meydana geleceğinden taşıyıcı sıvı kaybolacak ve testin geçerliliği olmayacaktır. (8)

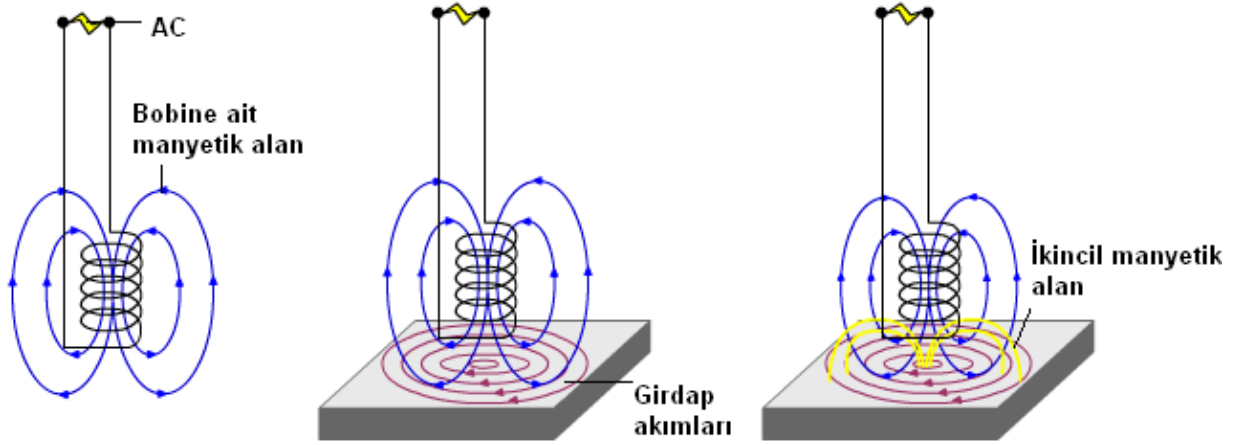


Şekil 6. Magnetik Partiküler Test Yöntemi Uygulama Örnekleri

4.5. Girdap Akımı Yöntemi

Girdap akımı yönteminde elektromagnetik induksiyon prosesi çerçevesinde malzemeden geçirilerek oluşturulan akım ile bir çalışma yapılmaktadır. Elektromagnetiklik özelliğinden faydalanılarak uygulanan yöntem geniş kapsamlı kontrollerin yapılmasını da sağlamaktadır. Bu yöntem çatlak tespiti, kalınlık ölçümü, kaplama kalınlığı ölçümü, iletkenlik belirleme, malzeme belirleme gibi geniş kapsamlı bir çalışma avantajı sunmaktadır. Metal malzemelerde yöntem seçimi yapılırken malzemenin içeriği ve hangi plastik şekil değişimine uğradığı önemlidir. Yapılan çalışmalar çerçevesinde malzemeye bağlı olarak tercih edilen malzeme muayene yöntemlerin Tablo 1.de görmekteyiz.

Alternatif akımın üzerinden geçtiği bir iletken bobin, bir malzemeye yaklaştırılırsa bu malzeme içinde girdap akımları oluşur. Oluşan ilave manyetik alanın, uyarıcı bobin, ya da ayrı bir bobin tarafından ölçülmesi bu yöntemin temel prensibi olarak düşünülebilir. Malzeme içindeki var olan kusurlar, geometrik ve metalurjik değişimler elektriksel iletkenlik ve geçirgenlikte, dolayısıyla endüklenen girdap akımlarında yerel değişimlere neden olur. Girdap akımlarındaki bu değişimler detektör yardımıyla uygun bir okuma cihazına gönderilir. Böylece malzemenin elektriksel, manyetik ve geometrik süreksizlikleri indirekt olarak ölçülmüş olmaktadır. Aşağıdaki şekilde eddy akımı – girdap akımlarının nasıl oluştuğu gösterilmektedir.

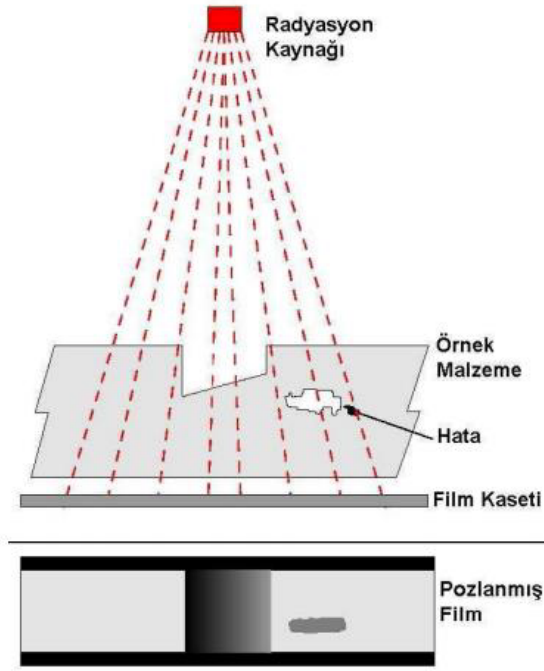


Şekil 7. Girdap Akımı Yöntemi

Girdap akımı yöntemi metal malzemelerde üzerinde birçok sistemde kullanım alanı bulmaktadır. Dairesel, düz, levha şeklindeki ürünlerin hata tespiti, kalınlık ve kaplama kalınlığı ölçümü için kullanılmaktadır.

4.6. Radyografi (X-Ray) Yöntemi

Yöntem eski ve oldukça kullanılan yöntemlerden biridir. Sanayide yaygın kullanımı olan bir yöntemdir. X ray ışınlarının bir kaynaktan çıkarak malzeme üzerinden geçirilip görüntünün bir film tabaka üzerine aktarılması sureti ile gerçekleştirilen bir muayene yöntemidir. Kaynaktan çıkan X ışını demeti malzeme üzerine gönderilir ve malzeme tarafından içine alınır. Malzeme içerisinde görülemeyen boşluk ve hatalar gelen radyasyon dalgasını zayıflatır. Süreksizliğin olduğu bölgeler daha koyu renkli olarak film üzerinde görünür. Bu şekilde film üzerindeki renklemeye ve boyuta bağlı olarak hata hakkında bilgi edinilebilir.



Radyografi yöntemi, döküm hatalarının, kaynak hatalarının, malzeme süreksizliklerin belirlenmesi için endüstride oldukça yoğun kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca malzeme kalınlığı ölçümü için de kullanılabilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri her geçen gün kendisini geliştiren bir teknoloji ile endüstriyel alanda yoğun kullanım bulmaktadır. Özellikle imalat sonrası kullanım sırasında oluşan malzeme hatalarının tespiti açısından bakım sektöründe önemli bir test grubunu oluşturmaktadır. Malzemelerin cinsine ve oluşan hatanın çeşitliliğine göre uygulanabilen test metodları Tablo 1'de görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi çatlakların yüzeyde veya yüzey altında olması, iç çatlakların derin alanlarda oluşması veya fiziksel ve kimyasal boyutta malzemelerin bağ kurmasını sağlayan kaynak vb işlemler için de işleme bağlı oluşan hataların değerlendirilmesi ayrı sütunlar üzerinde incelenmektedir. Özellikle magnetik partiküler testinin ve ultrasonik test yöntemlerinin yüzeyde veya yüzeye yakın çatlakların oluştuğu malzemelerde daha sık tercih edildiği görülmektedir. Burada malzemenin ferromanyetiklik özelliği manyetik partiküler testinin kullanımını ön plana çıkarırken, bu özelliği taşımayan metal dışı malzemelerde çoğunlukla ultrasonik test yönteminin tercih edildiği görülmektedir. Yöntemlere bakıldığında radyografi yöntemi eski ve bilinen bir yöntem olmasına rağmen sahip olduğu yatırım maliyetlerinden dolayı diğer yöntemler kadar tercih edilememektedir. Bütün yöntemler içerisinde değerlendirme yaptığımızda bakım sektörü için tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinin hem planlı hem de kestirimci bakım açısından büyük önem taşıdığı bilinmekte ve bu teknolojinin kullanım alanı her geçen gün artmaktadır.

Tablo 1. Malzeme Türü ve Hata Tipine Bağlı olarak Malzeme Muayene Yöntem Seçimi (9)

Malzeme	Yüzey Çatlak ve Hataları	Yüzey Altı Çatlak ve Hataları	İç Çatlaklar ve Süreksizlikler	Bağ ve Kaynaşım Eksikliği
Ferromagnetik Dövme	MT	MT UT	RT UT	
Ferromagnetik Hammadde ve Haddelenmiş Ürünler	MT	MT UT	UT	
Ferromagnetik Borular	MT ET	MT UT	UT	UT
Ferromagnetik Kaynaklar	MT UT	UT	RT UT	RT UT
Dökme Çelikler	MT	MT UT	RT UT	
Dökme Demirler	MT	UT ET	UT	
Ferromagnetik Olmayan Malzemeler	PT ET		RT UT	UT
İşlenmiş Ferromagnetik Malzemeler	MT	UT ET	RT UT	UT
İşlenmiş Ferromagnetik Olmayan Malzemeler	PT ET	UT ET	RT UT	
Uçakların Ferromagnetik Malzemeleri	RT UT MT	MT UT	RT UT	UT
Uçakların Ferromagnetik Olmayan Malzemeleri	RT PT ET	RT UT	RT UT	UT

*MT; Magnetik Partiküler Testi, UT; Ultrasonik Test, RT; Radyografik Test, PT; Penetrant Sıvı Testi, ET; Gözle Muayene Yöntemi



6. Kaynaklar

1. Mehmet Yüksel, Cemal Meran. "Malzeme Bilgisi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 2018
2. Okan, K. A. R. A., Hasan ERDAL, and Hasan Hüseyin ÇELİK. "Tahribatsız Test Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Derleme Çalışması." *Marmara Fen Bilimleri Dergisi* 29.3 (2017): 82-93.
3. Süleyman Karadeniz, Özlem Karadeniz. "Tahribatsız Malzeme Muayenesi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 2018, MMO/685-1, cilt 1. s .2-10.
4. YAĞCI, TUĞÇE, Aytaç Çidem, and Hülya Durmuş. "GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TAHRİBATSIZ MUA-YENE YÖNTEMLERİ." *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi* 3.27 (2018): 49-61.
5. Süleyman Karadeniz, Özlem Karadeniz. "Tahribatsız Malzeme Muayenesi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 2018, MMO/685-1, cilt 1. s .50-54.
6. Gedik Eğitim Vakfı, Sıvı Penetrasyon Yöntemi, I & II Eğitim Notları, Gesbey, Bandırma 2012.
7. YETİŞTİREN, Hülya, Adalet ZEREN, and Erol FEYZULLAHOĞLU. "Taşıma Tekniği Ekipmanlarının Bakımında Kullanılan Tahribatsız Muayene Yöntemleri." *Mühendis ve Makina* 48.571 (2007): 17-24.
8. Süleyman Karadeniz, Özlem Karadeniz. "Tahribatsız Malzeme Muayenesi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 2018, MMO/685-1, cilt 1. s .112-115.
9. <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=87>

BAKIM UYGULAMALARINDA ROBOTLARIN YARDIMCI EKİPMAN OLARAK KULLANILMASI

¹Sezcan Yılmaz

¹Doktor Öğretim Üyesi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye
sezcan@gmail.com

Özet

Periyodik bakım veya arıza sonrası hasar tespiti genellikle bakım personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. Arızanın tespiti için bazen sadece gözlem yeterli olmakta iken birçok durumda ölçü aletlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan arızanın giderilmesi içinde genellikle yine bakım personelinin doğrudan müdahale etmesi gerekmektedir. Teknolojideki gelişmelerle birlikte uzaktan erişimli robot kullanımı öncelikle tehlikeli (nükleer, asidik veya mayınlı alanlar gibi) sahalarda, ardından uzay çalışmaları, askeri ve sağlık gibi alanlarda giderek yaygınlaşmıştır. Ancak robotların üretim maliyetlerindeki yükseklik nedeni ile saha uygulamalarında yaygınlaşma hızlı gerçekleşmemiştir. Günümüzde maliyetlerdeki düşüş ile birlikte birçok alanda olduğu gibi bakım alanında da robot kullanımı giderek artış göstermektedir. Bir robotla bakım personelinin gerçekleştirdiği faaliyetlerin hepsini icra etmek günümüz teknolojisinde henüz mümkün değildir. Bu nedenle günümüzde bakım, arıza tespiti ve onarımda kullanılan robotlar daha çok bakım personellerine yardımcı ekipmanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakım çok geniş bir uygulama alanını kapsadığından dolayı bu iş için kullanılan tek tip bir robottan bahsetmek oldukça güçtür. Bu durum, bakımda kullanılacak robotların görev bazlı olarak tasarlanması ve üretilmesini zorunlu kılar. Bu nedenle farklı bakım uygulamaları için çok çeşitli tip (mobil, kol ve kablo sürücülü) ve boyutlarda robotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Hangi tipte robotun kullanılacağı görevin özelliğine göre tayin edilmektedir. Bu çalışmada bakım alanında gerçekleştirilen robotik uygulamalar ve sağladığı avantajlar irdelenecektir.

1.Giriş

Üretimde robot kullanımı sıklıkla karşılan bir durumken bakım faaliyetlerinde robot kullanımı oldukça kısıtlıdır. Bu durumu sadece maliyetle açıklamak mümkün değildir. Arıza tespiti ve onarımı uygulamaları aynı cihaz için bile bulunduğu ortama göre farklı iş akışları gerektirebilir. Üretim faaliyetlerinde iş akışı önceden bilindiğinden robot kullanımı ile işin otom hale getirilmesi mümkündür. Robot kullanımı üretim hızının artmasına ve hataların azalmasına yardımcı olmaktadır. Ancak arıza tespiti ve onarım süreci için üretimdeki kadar açık ve önceden bilinen bir iş akışı hazırlamak oldukça güçtür. Bu nedenle bakım faaliyetlerinde kullanılan robotlar genellikle bakım personelinin boyutları, bulunduğu yer veya güvenlik gerekçesiyle ulaşmasının zor olduğu veya mümkün olmadığı ortamlarda gerçekleştirilecek olan görsel muayene ve onarımlarda karşımıza çıkmaktadır.



Günümüzde bakım alanında kullanılan robotların büyük bölümü arıza tespitinde kullanılmaktadır. Arızanın tespitinden sonra tamir işlemi mümkünse robotla değilse doğrudan bakım personeli tarafından gerçekleştirilir. Arızalı bölgenin bakım personelinin doğrudan ulaşamayacağı bir bölgede olması durumunda, arızalı bölgeye ulaşmak için birçok ekipmanın sökülmesini ve tamirat sonrasında yeniden montajlanması gerekir. Bu gibi durumlarda arızanın robotik ekipmanlar vasıtasıyla dışarıdan giderilebilmesi işlem zamanından büyük bir kazanım sağlayacaktır.

Bakım uygulamalarında çok çeşitli tip (mobil, kol tipi ve kablo sürücülü) ve boyutlarda robotlar kullanılmaktadır. Ancak bakım uygulamalarında kullanılan robotları gruplamak oldukça zordur. Görev esaslı olarak yapılandırılan bakım robotları üzerinde kol bulunan bir mobil platform [1] olabileceği gibi ucuna yılan benzeri bir mekanizma takılarak gereğinden çok serbestlik dereceli bir yapı haline getirilmiş olan bir robotik kol [2] şeklinde de olabilir. Buradan da anlaşılacağı üzere bakım robotları ihtiyaçlara cevap verecek şekilde çok farklı konfigürasyonlarda oluşturulabilmektedir.

Robot tiplerinden hangisinin üzerinde hangi ekipmanla kullanılması gerektiği gerçekleştirilecek bakım faaliyetine bağlıdır. Bu nedenle öncelikle bakım faaliyetinin gereksinimleri tam olarak belirlenmeli ve bu gereksinimler doğrultusunda bir robot tipi seçilmelidir. Örneğin çok dar bir kapalı alanda hava robotunun kullanılması uygun değilken bir uçağın üst gövdesinin uçuş sonrası muayenesinde de kara robotu yerine hava robotu kullanmak çok daha etkin bir çözüm olacaktır. Bu çalışmada robotların bakım alanında yardımcı ekipman olarak kullanılması halinde getirebileceği faydalar sunulurken aynı zamanda da bu ekipmanların kullanılabilirliklerinin şartları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Robotik ekipmanlar mobil robotlar ve robotik kollar şeklinde iki ana başlık altında incelenmiştir.

2. Mobil Robotlar

Mobil robotların bakım faaliyetlerinde kullanım amaçları, üzerlerinde bulundukları ekipmana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üzerlerinde robotik kol bulundurmayan sadece ölçüm ya da görüntüleme ekipmanı bulunduran mobil platformlar onarımdan ziyade araştırılan bölgede bir aksaklığın olup olmadığını tespiti için kullanılmaktadırlar. Mobil robotların onarım faaliyetinde kullanılabilir olması için üzerlerinde robotik kol bulunduruyor olmaları önemlidir.

Mobil robotlar kara, hava ve/veya suda gidebilecek şekilde üretilmektedir. Bakım onarım faaliyetinin gerçekleştirileceği ortama ve göreve göre hangi mobil platformun kullanılacağına karar verilir. Kara ortamında büyük bir alanın kısa sürede incelenmesi gerekiyorsa ve ortamda buna müsaitse kara robotları yerine çok rotorlu insansız hava araçları (İHA) daha uygun bir çözüm olacaktır. Ancak çok rotorlu İHA'ların tek şarjla gerçekleştirebilecekleri görevin süresi oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle uzun süreli ayrıntılı inceleme gerektiren uygulamalarda bu durum dikkate alınmalıdır. Görev süresi uzadıkça sürekli batarya değişimi gerekliliği ortaya çıkacağından en uygun çözüm olma durumu değişebilir.

Günümüzde robotların bakım faaliyetlerinde yardımcı ekipman olarak en çok kullanıldıkları yerlerden birisi havacılık sektörüdür. Havacılık alanında faaliyet gösteren bakım şirketleri muayene ve onarım faaliyetlerini hızlandırmak için robotik çözümlerden yararlanmaktadır [3]. Örneğin büyük gövdeli yolcu veya kargo uçaklarının görev dönüşü dış gövdelerinde ezik, yırtık veya yanık [4] gibi herhangi bir hasar olup olmadığını görsel olarak incelenmesi gerekir. Alt gövdenin görsel incelemesi genellikle kolaylıkla yapılabilir ancak üst gövdenin gözle incelenmesi için geleneksel yöntemde sepetli vinçe içerisindeki bakım personeline ihtiyaç duyulmaktadır ve hiçte pratik değildir. Örneğin kış koşullarında personelin 12 metrelik bir platformda güvende tutmak oldukça zordur. Hatta sepetli vinçin kendisinin dahi ek bir hasar oluşturma potansiyeli vardır [4]. Ancak günümüzde üst gövdenin görsel muayenesinde Şekil 1'de görüldüğü üzere üzerinde yüksek çözünürlüklü kameralar bulunan döner kanatlı insansız hava araçları (İHA) kullanılabilir. Bu sayede muayene faaliyeti herhangi bir yerde herhangi bir zamanda kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde önceden bir prosedür tanımlanmalıdır. Bu araçların yakıt deposu kapaklarına ve uçağın hava alıklarına belirli bir mesafeden fazla yaklaşmaması güvenlik açısından önemlidir. Ayrıca görsel muayenenin gerçek zamanlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kablosuz olarak yüksek veri aktarım hızına ihtiyaç duyulmaktadır. İHA'nın konumlandırılmasında en az 10-15 cm hassasiyete ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Bu hassas konumlandırma içinde özel yazılım ve ekipmanlar kullanılmalıdır.

Bu yöntem sadece uçaklarda değil insan sağlığı açısından sakıncalı olan radyoaktif, kimyasal veya biyolojik olarak kirlenmiş ortamlarda gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinde de kullanılabilir. Bu sayede riskli bölgenin görsel muayenesi için operatör göndermek gibi ilave risklerde alınmamış olur. Döner kanatlı İHA'ların en büyük kısıtları ise taşıma kapasitelerinin çok kısıtlı olmasının yanında üzerlerine ilave edilen her ekipmanla birlikte artan ağırlıkları dolayısıyla tam dolu batarya ile gerçekleştirecekleri toplam uçuş sürelerinin çarpıcı bir şekilde düşmesidir. Bir diğer sakıncası ise dar alanlarda kullanımlarının oldukça zor olmasıdır.



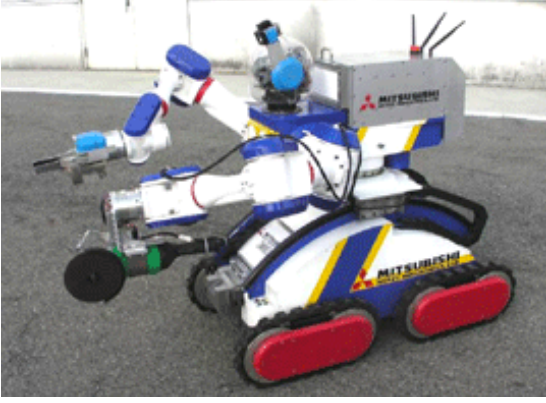
Şekil 1. Modifiye edilmiş bir DJI Matrice İHA ile easyJet Airbus A319 incelenirken [4].

Su altı robotlarının kullanım alanları ise gemi tabanlarından su altı yapılarının görsel muayene ve basit onarımlarına kadar farklı alanları kapsamaktadır. İHA'larından farklı olarak ekstra ekipman taşıma kabiliyetleri oldukça yüksektir ve üzerlerinde robotik kollar barındırabilirler.

Bu sayede hem muayene hem de onarım işlemlerinde kullanılabilirler. Özellikle derin sularda kullanılacak olan robotların ve üzerlerinde bulunduracakları ekipmanların yüksek basınç dayanımlarının iyi olması gereklidir. Sığ sularda sadece görsel muayene için kullanılan robotlar çok küçük boyutlu iken derin sularda kullanılan hem görsel muayene hem de onarım ekipmanları barındıran robotlar ise oldukça büyük boyutludur. Yine İHA'lardan farklı olarak batarya ile kullanılmaları gibi bir zorunlulukları olmayıp enerjilerini elektrik iletim hatları ile dış bir kaynaktan alabildiklerinden kesintisiz olarak oldukça uzun süreler kullanılabilirler.

Kara robotlarını tekerlekli, paletli, ayaklı ve sürünerek ilerleyenler şeklinde gruplamak mümkündür. Tekerlekli ve paletli robotların aynı boyutlu ayaklı ya da sürünerek ilerleyen robotlara nazaran yük taşıma kabiliyetleri yüksekken güç tüketimleri ise oldukça düşüktür. Kara robotları batarya ile veya dış enerji kaynakları ile kullanılabilirler. Enerji kaynağı tercihi kullanılacakları ortama göre belirlenmektedir. Boyutlarına göre üzerlerinde taşıyabilecekleri ekipman miktarı oldukça değişiklik göstermektedir.

Şekil 2'de mobil robot platformlarından iki görülmektedir. Şekil 2(a)'da görülmekte olan Mitsubishi MEISTeR (Maintenance Equipment Integrated System of Telecontrol Robot) nükleer sahalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş ve özellikle Fukushima Daiichi Nükleer Güç Santrallerinde çalışabilecek şekilde üretilmiştir [5]. MEISTeR mobil platformunun kol gibi de hareket edebilen paletleri bulunmaktadır. Bu sayede engebeli sahalarda da hareket edebilmektedir. Şekil 2(b)'de görülmekte olan KUKA KMR QUANTEC mecanum tekerlekli bir platform olup düz zeminlerde oldukça hassas ve sınırsız bir manevra kabiliyetine sahiptir [6].



(a) Mitsubishi MEISTeR [5]



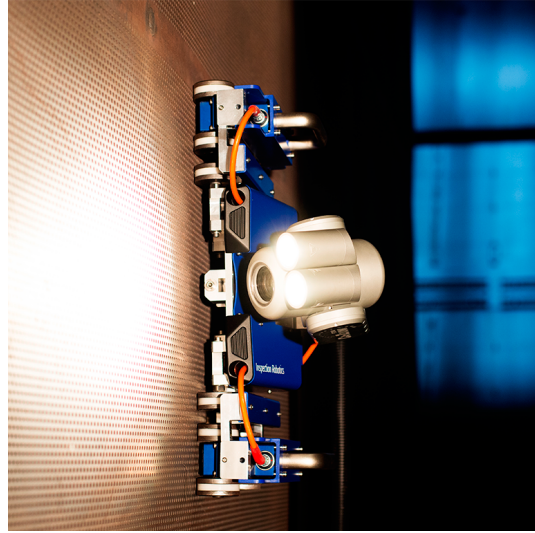
(b) KUKA KMR QUANTEC [6]

Şekil 2. Karada gidebilen mobil robot platformları.

Robotların bakım faaliyetlerinde kullanıldığı diğer bir sektör ise boru hatları ve sıvı depolama sistemleridir. Bazı robotlar manyetik tekerlekleri sayesinde uygun yüzeylerde düşey yönde dahi hareket edebilmektedir. Şekil 3'te GE Inspection Robotics firmasının BIKE Platform [7] ve FAST RVI [8] modelleri görülmektedir. Bu robotlar boru hatları ve depolama tanklarının görsel muayenesi için özel olarak üretilmiş olup sıklıkla kullanılmaktadır.



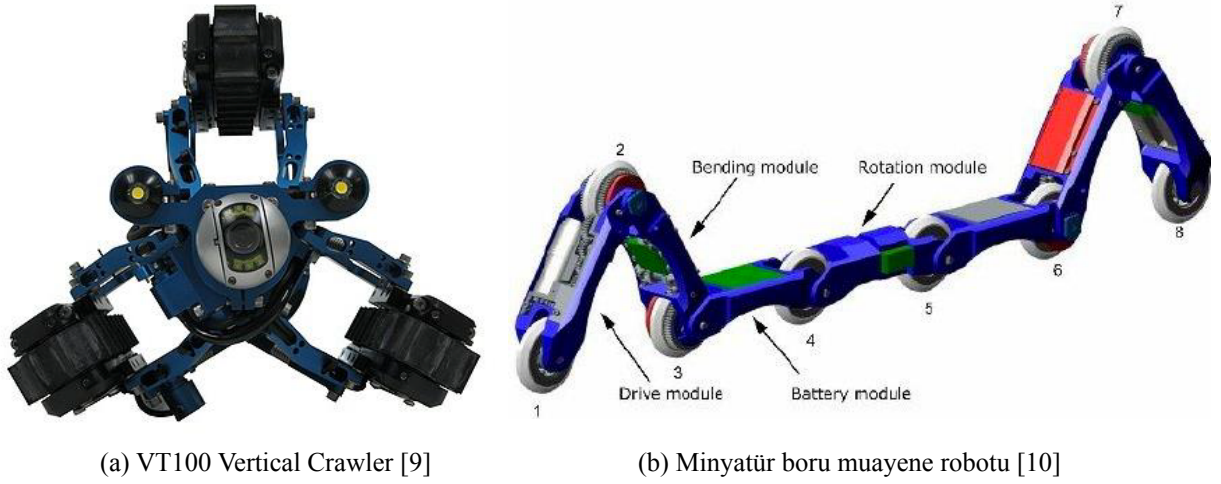
(a) GE Inspection Robotics BIKE Platform [7]



(b) GE Inspection Robotics FAST RVI [8]

Şekil 3. Metal cidarlı boru hatları ve sıvı depolama sistemlerinde kullanılan mobil robotlar.

Sadece boru hatlarında kullanılabilen çok farklı tip ve boyutta kara robotları vardır. Bunlardan bazıları Şekil 4(a)'da görülmekte olan Inuktun Services Ltd.'nin VT100 Vertical Crawler™ robotunda olduğu gibi farklı çapladaki borulara göre boyutu ayarlanabilecek ve tek boyutlu harekete uygun olacak şekilde tasarlanmışlardır [9]. Diğer bazıları ise Şekil 4(b)'de görüldüğü gibi gaz dağıtım hatları gibi kollara ayrılabilen boru hatlarında bir koldan istenilen bir diğerine geçebilecek şekilde çok boyutlu harekete uygun olarak tasarlanmışlardır [10].



Şekil 4. Silindirik boru hatları için özel olarak geliştirilmiş mobil robotlar.

Günümüzde tekerlekli ve paletli robotların kullanımları daha yaygın olmasına karşın bu robotların hareket etmesinin mümkün olmadığı ortamlarda yılanlardan ilham alınarak geliştirilmiş olan sürünerek ilerleyen robotların kullanımını düşünülebilir. Ancak sürünebilen robotlar yapıları gereği kısıtlı boyut ve miktarda ilave ekipman taşıyabilirler.

Sonuç olarak mobil robotlar bakım faaliyetlerinde onarımdan ziyade gözlem, ölçüm ve onarım ekipmanlarının ilgili yere iletilmesi için kullanılmaktadırlar. Onarımın gerçekleştirilmesi için yardımcı ekipman olarak genellikle robotik kollara ihtiyaç duyulmaktadır.

3. Robotik Kollar

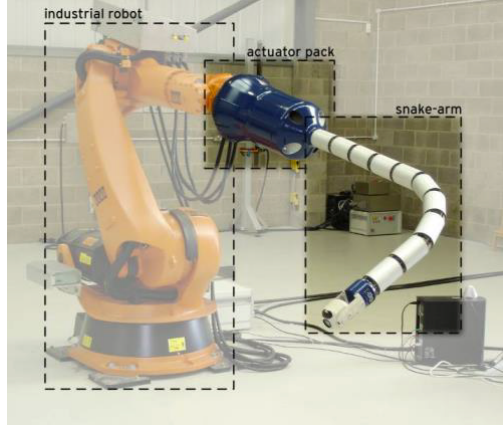
Robotik kollar montajdan paketlemeye kadar üretimin tüm aşamalarında sıklıkla kullanılan yapılardır. Seri, paralel veya hibrit kinematik yapılara sahip olabilirler. Bakım faaliyetlerinde kullanılmakta olan robotik kollarla sistemin serbestlik derecesi büyük bir önem arz etmektedir. Altı serbestlik dereceli bir robotik kolun son eyleyicisi ile teorik olarak çalışma uzayı içerisinde yer alan herhangi bir noktaya istenilen yönelimle ulaşılabilir. Ancak pratik uygulamalarda çalışma uzayı içerisinde herhangi bir engel yer alması halinde robot uzuvlarının kinematik kısıtları dolayısıyla çalışma uzayının ulaşılabilir büyüklüğü engelin hacminden çok daha fazla kısıtlanacaktır. Bu gibi durumlarda çalışma uzayının ulaşılabilir büyüklüğünün olabildiğince artırılabilmesi için robotik kol ilave serbestlik derecesine ihtiyaç duyar. Kinematik olarak uygun şekilde ilave edilen her serbestlik derecesi ile birlikte çalışma uzayının ulaşılabilir büyüklüğü de artacaktır. Çalışma uzayında bulunan engellerden kaynaklı kısıtların aşılması için serbestlik ilave edilen robotik kollara gereğinden fazla serbestlik dereceli yapılar ismi verilmektedir.

ö

Bakım faaliyetlerinde kullanılan robotik kollar sabit kaideli, taşınabilen kaideli ve mobil robot platformları üzerine konuşlandırılmış olarak kullanılabilir. Sabit kaideli robot kollar daha çok bakım yapılacak üzere sökülen makine parçalarının atölye şartlarında onarımları için kullanılmaktadır. Bakım faaliyetlerinde sabit kaideli olarak kullanılan robotik kollar genellikle altı ve daha altı serbestlik derecesine sahiptir. Taşınabilen kaideli robot kollar ise bakım yapılacak bölgeye götürülerek muayene, revize veya onarım yapılacak makine parçaları yerinden sökülmeden işlem gerçekleştirilir. Taşınabilen kaideli robotik kolların bazıları hareketli sehpalara montajlı olarak kullanılmaktadır. Diğer bazıları ise Şekil 5(a)'da görülmekte olan Lufthansa Technik (LHT) tarafından geliştirilen CAIRE (Composite Adaptable Inspection and Repair) sisteminde olduğu gibi doğrudan bakımı gerçekleştirilecek sistemin gövdesine sabitlenerek kullanılmaktadır [3]. Robotik kolların mobil robotların üzerine konuşlandırılmalarının en önemli sebeplerinden birisi operatörlerin bakım faaliyetinin gerçekleştirileceği bölgeye güvenlik ve/veya fiziki sebeplerden dolayı ulaşamamalarıdır.

Endüstriyel faaliyetlerde oldukça yaygın olarak kullanılmakta olan seri kinematik yapı robotik kollarla aktüatörler genellikle eklemlerde konumlandırılmaktadır. Aktüatörlerin eklemlerde yer alması fiziki boyutları ve muka-

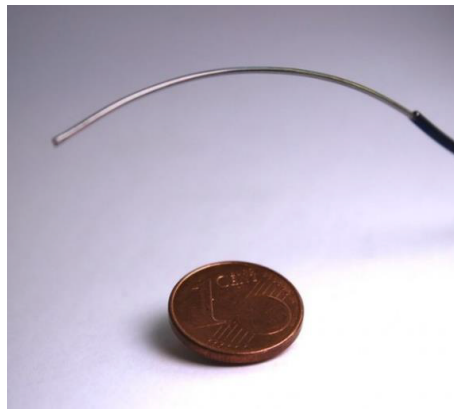
ve met kısıtlarından dolayı robotik kolu kesit/uzunluk oranı büyük olan bir fiziki yapıya zorlamaktadır. Engellerin çok olduğu kısıtlı bölgelerde gerçekleştirilmekte olan bakım faaliyetlerinde böyle bir robotla işlem gerçekleştirmek oldukça güçtür. Bu problemin üstesinden gelmekte kablo sürücülü mekanizmalar oldukça uygun çözümler üretmektedir. Doğrudan sürülen mekanizmalara nazaran tek eklemde elde edilebilecek hareket aralığı oldukça kısıtlı ve hassasiyetleri düşüktür. Buna rağmen aktüatörlerinin kolun üzerinde yer almıyor olması sayesinde, bu yöntemle gereğinden fazla serbestlik dereceli bir yapıyı oldukça küçük bir kesit/boy oranıyla elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu yapılar aynı zamanda yılan benzeri robotik kol şeklinde de isimlendirilmektedir. Yılan benzeri robotik kollar kendi başlarına kullanılacakları gibi bir endüstriyel robotun son eyleyicisine [2] veya bir mobil robot platformuna [12] montajlanarak ta kullanılabilirler. Şekil 5(b)'de OC Robotics ve Airbus tarafından geliştirilmiş olan yılan benzeri bir robotik kolun KUKA endüstriyel robotunun son eyleyicisine monte edilmiş hali görülmektedir[2].



(a) Taşınabilen robotik kol [3], (b) Son eyleyicisine yılan benzeri kol ilave edilmiş endüstriyel robot [2]

Şekil 5. Robotik kollar.

Pratik kullanıma dönük olarak geliştirilmekte olan birçok yılan benzeri robotik kol bulunmaktadır. Aynı zamanda bu yapıların hareket kabiliyetlerinin geliştirilmesi, katılık değerlerinin yükseltilmesi ve hassasiyetlerinin iyileştirilmesi önemli araştırma alanları arasındadır. Yılan benzeri robotik kollar küresel mafsallı ve esnek uzuvlu olarak üretilebilmektedir [13]. Mafsal yerine esnek uzuv kullanılması mekanizmaya teorik olarak sonsuz sayıda mafsala sahipmiş gibi çok daha esnek bir şekilde hareket edebilme kabiliyetinin yanında boyutlarının da çok daha küçülmesine imkan tanımaktadır [13,14]. Şekil 6'dan gösterilen yılan benzeri mekanizmanın çapı 0.8 ile 2.5 mm arasında bir değere getirilmiştir [14]. Bu sayede çok daha dar alanlara ulaşılarak muayene gerçekleştirmek mümkün olmaktadır.



Şekil 6. 0.8 ile 2.5 arasında çapa sürekli robot [14]

4. Sonuçlar

Bu çalışmada bakım esnasında muayene ve onarım işlemlerinde yardımcı ekipman olarak kullanılmakta olan robotik yapılar incelenmiştir. Robotik yapıların kullanılmaları ile ilgili örnek uygulamalara değinilerek üstün ve eksik yönleri vurgulanmıştır. Bu çalışmada robotik yapılar mobil robotlar ve robotik kollar şeklinde iki bölüme ayrılarak incelenmesine rağmen verilen örneklerden de görüleceği üzere pratikte bu robotik yapılar çoğunlukla bir arada kullanılmaktadır. Mobil robotlar kendi başlarına genellikle sadece muayene işlemde kullanılabilir. Eğer bakım faaliyeti bir onarım işlemi de kapsıyorsa robotik kol gereksinimi neredeyse kaçınılmazdır.

Bakım faaliyetinde nasıl bir robotun kullanılması gerektiğine karar vermek için ortamın fiziki durumu oldukça önem arz etmektedir. Özellikle ortamın boyutları ve içeride bulunan engeller önemlidir. Ortam ne kadar daralır ise işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek robot alternatifleri de o oranda azalmaktadır.

Endüstriyel robotlar bakım faaliyetlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu robotlar kendi başlarına kullanıldıklarında yapı içerisindeki engellerden kaynaklı olarak çalışma uzayları içerisindeki her noktaya ulaşamazlar ve hareketleri büyük ölçüde kısıtlanır. Bu durumun bertaraf edilebilmesi için gereğinden fazla serbestlik dereceli robotik kollar ya da yılan benzeri robotik kollar kullanılmalıdır.

Bu çalışmada görüldüğü üzere birçok bakım uygulamasına yönelik robotik yapı mevcuttur. Genellikle göreve özel tasarlanan bu robotlar bazı konularda çok mahirdirler. Her geçen gün yeni gelişmeler yaşanmasına rağmen robotlar halen birçok alanda bakım personeli kadar esnek olmadıkları gibi birçok uygulamada otonom kontrol yerine operatör kontrolüne ihtiyaç duymaktadırlar. Bakımda kullanılan robotların otonom olarak gerçekleştirebildikleri işlemlerin artırılması, çalışması gereken araştırma alanlarındadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma için bana fikir veren 1'inci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığım'dan değerli dostum Makine Yüksek Mühendisi Cihan ALTUN'a teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

- [1] Sharma, S., Kraetzschmar, G.K., Scheurer, C., Bischoff, R., 2012. "Unified closed form inverse kinematics for the KUKA youBot. In ROBOTIK 2012," 7th German Conference on Robotics (pp. 1-6). VDE.
- [2] Buckingham, R., Chitrakaran, V., Conkie, R., Ferguson, G., Graham, A., Lazell, A., Lichon, M., Parry, N., Pollard, F., Kayani, A., Redman, M., 2007. "Snake-arm robots: a new approach to aircraft assembly (No. 2007-01-3870)," SAE Technical Paper.
- [3] Read, B., 2019. "Flying, clinging and crawling – using robots in MRO," <https://www.aerosociety.com/news/flying-clinging-and-crawling-using-robots-in-mro/> , 19.07.2019.
- [4] Evans, R., 2018. "Inspector Gadget," <https://www.aerosociety.com/news/inspector-gadget/> , 19.07.2019.
- [5] Mitsubishi Heavy Industries Ltd. (MHI), 2012. "MHI Develops "MEISter" Disaster Recovery Support Robot With 2 Arms Enabling Light-duty Work Tasks," <https://www.mhi.com/news/story/12121603.html> , 24.07.2019.
- [6] KUKA Aktiengesellschaft. "KMR QUANTEC," <https://www.kuka.com/tr-tr/%C3%BCr%C3%BCnler-hizmetler/mobilite/mobil-robotlar/kmr-quantec> , 24.07.2019.
- [7] GE Inspection Robotics. "BIKE Platform," <https://inspection-robotics.com/bike-platform/> , 24.07.2019.
- [8] GE Inspection Robotics. "FAST RVI," <https://inspection-robotics.com/fast-rvi/> , 24.07.2019.
- [9] Inuktun Services Ltd. "VT100 Vertical Crawler™," <http://inuktun.com/en/wp-content/uploads/2017/04/VT100-Vertical-Crawler-Spec-Sheet.pdf> , 24.07.2019.



- [10] Dertien, E., Stramigioli, S., 2011. “Basic maneuvers for an inspection robot for small diameter gas distribution mains,” In 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 3447-3448). IEEE.
- [11] Sieger, M., 2017. “A Snake On A Plane: This Long-Arm Robot Will Help Fix Aircraft Engines,” <https://www.ge.com/reports/snake-plane-longed-arm-robot-will-help-fix-aircraft-engines/> , 23.07.2019.
- [12] Fildes, J., 2006. “Snake-arm robots slither forward,” <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/5324708.stm> , 23.07.2019.
- [13] Dong, X., Raffles, M., Guzman, S.C., Axinte, D., Kell, J., 2014. “Design and analysis of a family of snake arm robots connected by compliant joints,” *Mechanism and Machine Theory*, 77, pp.73-91.
- [14] Hansen, S., 2017, “Continuum robot offers brand new possibilities,” <https://aeroreport.de/en/innovation/continuum-robot-offers-brand-new-possibilities> , 23.07.2019.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİNİN KURULUŞLARIN PERFORMANSINA ETKİLERİ

¹Emrullah Çayır

¹Çayır Mühendislik, KARADENİZ EREĞLİ, TÜRKİYE
Tel: 532 303 38 63 emrullah.cayir@gmail.com

Özet

Üretimde kullanılan her ekipman çalışma koşullarının ve zamanın yıpratıcı etkisinden dolayı eskimekte, zaman geçtikçe üretim performansında ve üretim kalitesinde azalma meydana gelmektedir. Bakım; ekipmanların ömrünü artırmak ve fonksiyonlarını verimli bir şekilde ve minimum maliyetle sağlamak amacıyla yapılan teknik ve yönetsel faaliyetlerinin birleşimidir. İyi tasarlanmış ve pratiğe uygun olan bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi bakımın etkin yönetilmesinin en önemli araçlarından birisidir. Yapılan araştırmalar, bakım faaliyetlerini bilgisayar destekli olarak yapan kuruluşlarda, bakım kayıplarında, bakım maliyetlerinde ve duruş sürelerinde ciddi azalma ve verimlilikte artış sağlandığını ortaya koymaktadır. Bakım maliyetlerinin optimize edilmesi ve verimliliğin artırılması için son yıllarda Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemi Yazılımlarının kullanımları önemli bir yer tutmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemi, Bakım Performansı, Bakım Parametreleri, Ölçüm sistematigi.

Abstract

All equipment used in the production are worn out due to the effects of working conditions by the time. This causes production performance and production quality decrease. Maintenance is the combination of technical and managerial activities in order to increase the life of the equipment and provide its functions efficiently and with minimum cost. A well-designed and practical computerize maintenance management system is one of the most important tools for effective management of maintenance. The researches show that there is a significant decrease in maintenance losses, maintenance costs and downtimes and an increase in productivity in computer-aided organizations. In order to optimize maintenance costs and increase productivity, the use of Computer Aided Maintenance Management System Software has been important in recent years.

Keywords : Computerized maintenance management system, maintenance performance, maintenance parameter, measurement systematic.



1. Giriş

Bakım kavramı: Makinelerin veya tesislerin kullanım ömürlerini uzatabilmek veya üretimin devamlılığını sağlamak için, arızalandıkları zaman tekrar çalışmaları için yapılan müdahalelere veya belirli periyotlarla yapılan kontrol ve onarım işlerine genel olarak bakım çalışmaları adı verilir [3]. Bakım; işçilik, malzeme, enerji, ürün kalitesi ve giderler üzerinde önemli görevler üstlenmektedir. Bakım işlemlerinin niteliği, şekli ve kapsamı, sanayide işletmelerin üretim çeşitliliğine göre büyük farklılıklar göstermektedir. İşletmelerin amaçları ve uyguladıkları politikalar da yine bakım işlemlerinin sınırlarını büyük ölçüde belirlemektedir.

Bakımın temel amacı, Üretim hattını aktif olarak tutmak, hatta arızaları ortaya çıkmadan önlemektir. Bir üretim sisteminde genellikle en büyük maliyet, üretim tesisi veya tezgahın arızalı olarak çalışmadan bekleme zamanıdır. Meydana gelen arıza üretimi durdurarak makineleri boş bırakabilir. Bu durumda iş gücü maliyetleri devam etmekte ve üretim sistemine verdiği zararlardan dolayı da maliyetler artmaktadır [4,5].

İşletmelerin temel amacı, en düşük maliyetle en yüksek üretimi gerçekleştirmek olduğundan üretimin sürekliliği esastır. Arızaların neden olduğu, üretim yapılamadan geçen zamanlar, büyük üretim kayıplarını ve maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle oluşacak her bir arızanın acilen giderilmesi gerekmektedir.

Üretimde kullanılan her ekipman çalışma koşullarının ve zamanın yıpratıcı etkisinden dolayı eskimekte, zaman geçtikçe üretim performansında ve üretim kalitesinde azalma meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukları tümüyle ortadan kaldırmak mümkün olmasa dahi planlı bir bakım ile en aza indirmek olasıdır. Bakım; ekipmanların ömrünü artırmak ve fonksiyonlarını verimli şekilde ve minimum maliyetle sağlamak amacıyla yapılan teknik ve yönetsel faaliyetlerinin birleşimidir. İyi tasarlanmış ve pratiğe uygun olan bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi bakımın etkin yönetilmesinin en önemli araçlarından birisidir [1]. Yapılan araştırmalar, bakım faaliyetlerini bilgisayar destekli olarak yapan kuruluşlarda, bakım kayıplarında ve duruş sürelerinde ciddi azalma ve verimlilikte artış sağlandığını ortaya koymaktadır.

Bakım kayıpları genel olarak;

- Bakım duruş kayıpları: Genelde en büyük kayıplar arıza veya plansız bakım kaynaklı duruşlar ve bakım planlamasının etkin olarak yapılmamasından kaynaklı duruş kayıplarıdır. Duruş nedeniyle üretim yapılamadığından dolayı, ciddi üretim kayıpları meydana gelmekte ve bu durum kişi başına üretim maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. O nedenle planlı ve plansız bakım duruşlarının toplam süresini minimuma çekmek çok önemlidir.
- Bakım kaynaklı ürün kalite kayıpları: Bakım eksikliğinden veya yetersizliğinden dolayı, yapılan üretimlerin 1. kaliteden sapsasdır.
- Bakım kaynaklı düşük hız üretim kayıpları: Bakım yetersizliğinden kaynaklı düşük üretim hızları, üretim miktarında ve verimliliğinde kayba sebep olmaktadır.
- Yedek parça veya stok maliyetleri,
- İşgücü maliyetlerinden oluşmaktadır.

2. Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemi

Çağımız bilgi çağı olarak da adlandırılmaktadır. Bilgisayarın tüm faaliyetlerde olduğu gibi, bakım faaliyetlerinde de etkin olarak kullanılması gerekir. Yapılan araştırmalar, bakım faaliyetlerini bilgisayar destekli olarak yapan kuruluşlarda, bakım maliyetlerinde ve duruş sürelerinde ciddi azalma ve verimlilikte artış sağlandığını ortaya koymaktadır.

Bakım yönetim sistemi yazılımının amacı, bakım faaliyetlerinin bilgisayar destekli olarak yapılabilmesini sağlayarak işletmenin bakım performansını ölçülebilir hale getirmek, arıza bakımının kaldırılarak, tamamen planlı bakıma geçmeyi, duruşları ve bakım maliyetlerini azaltmayı, verimlilikte artışı hedeflemektedir.

Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi yazılımları kullanarak yapılan bakımların etkinliği ve bakım kaynaklı kayıplar sayısal olarak ölçülür hale gelmektedir. Verilerin kullanılması ve bakım faaliyetlerinin daha iyi koordine edilmesiyle bakım kayıplarının kontrol altına alınarak düşürülmesi mümkündür. Bilgisayar destekli bakım yönetim

sistemlerinin işletmelerde kullanımı sonucunda sağladığı faydalar aşağıda özetlenmiştir;

- Duruş sürelerinde azalma,
- Bakım maliyetlerinde azalma,
- Bakım ve işletme verimliliğinde yükselme,
- Arıza sayılarında azalma,
- Stok maliyetlerinde düşme,
- Bakım performansını sayısal ölçme ve etkinliğini analiz etme,
- İş emir ve talimatlarına kolay erişimi

Mal veya hizmet üreten kuruluşlar, rekabetçi bir yapıya kavuşmak için verimliliklerini sürekli geliştirmek ve faaliyetlerini etkin olarak yönetmek zorundadırlar. Her bir kuruluş çok sayıda aktif olarak çalışan tesis, ekipman, cihaz veya makinaya sahiptirler. Verimlilik artışının sağlanması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi için bu makine veya cihazların bakımlarının doğru zamanda, doğru bir yöntemle ve en kısa sürede yapılması gerekmektedir. Çoğu kez yeni bir cihaz veya makine almak yerine, mevcut cihaz veya makinelerin bakımlarının etkin yapılması, üretim artışı sağlayabilir.

3. Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sisteminin

Ana Fonksiyonları Ve Hedefleri

Bilgisayar destekli bakım yönetim sisteminin ana fonksiyonları ve hedefleri şunlardır:

- Bakım ve teçhizat ile ilgili her türlü bilgiye çok kolay ve kısa sürede ulaşmak,
- Bakım faaliyetlerinin etkin, verimli bir şekilde planlanmasına ve gerçekleştirilmesine yardımcı olmak,
- Koruyucu ve kestirimci bakım felsefesinin oluşumunu geliştirmek,
- Kullanılan takım / teçhizatların yıpranmasını en aza indirmek,
- Bakım maliyetlerinin analizini, tespitini yaparak bakım ve stok maliyetlerini düşürmek,
- Kullanılan talimatlarda, teçhizatlar da, tüketilen malzemelerde standartlaştırmayı gerçekleştirmek,
- Ölçüm yapılacak yerleri yer koduna veya iş tanımına göre sıralayarak liste hazırlamak, ölçüm sonuçlarının analizini yapmak,
- İş bildirimleri oluşturularak, bildirim öneme ve durumuna göre iş emri açmak,
- Planlı ve arıza duruşlara göre duruş içerisindeki gerçek bakım süresini ve maliyetini göstermek,
- İş planları yaparak, plan dâhilinde gerçekleşecek iş emirlerini oluşturmak.
- İş gücü analizleri yapmak,
- Yapılan işin performansını ölçülebilir hale getirmek,
- İş talimatlarını kalite yönetim sistemine uygun şekilde düzenlemek ve personelinin hangi talimatlara göre çalışacağını belirtmek,
- Yapılacak işlerin öncelik sırasını belirlemek ve personel ile paylaşmak,
- Kuruluşta yer alan makine ve teçhizatların faydalı ömrünü uzatmak,
- Sürekli iyileştirmeyi teşvik etmek ve kurum kültürü haline getirilmesine yardımcı olmak,
- Yedek parça ve malzeme kullanımını takip ve analiz etmek,
- Ekipmanların kalibrasyonlarını takip etmek,
- Kuruluş seviyesinden makine seviyesine kadar tüm alt kollarında iş emri, duruş, maliyet ve iş gücü parametrelerini analiz etmektir.

4. Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sisteminin Ana Modülleri

Bakım yönetim sisteminin etkin olarak ünitelerde kullanılması için bakım yönetim sistemi program yazılımında tasarlanması gereken asgari ana modüller şunlardır [2]:

4.1 Yer Bilgileri

Bakım yapılacak ünite, sistem, tesis ve ekipmanlar burada tanımlanır. Yer bilgileri ünite, tesis, saha ve ekipman hiyerarşisi şeklinde oluşturulur. İş emirleri yer bilgilerine entegre edilir. Bu şekilde hangi yerde iş yoğunluğunun olduğu belirlenir.



4.2 İş Emirleri

Yapılan veya yapılacak bakımın tanımlanması, ilgili birim, bakımın türü, bakımın tipi, tarihi, önceliği, işin süresi, harcanan iş gücü, maliyeti, görevli personeller, duruş gerektirip-gerektirmediği, harcanan malzemeler ve işin detay açıklaması iş emirlerinde belirtilir. Bakımın performansı, iş emirlerinde oluşan bilgileri analiz edip, değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Planlı ve arıza bakımlar analiz edilir. Periyodik bakımların periyodu geldiğinde, sistem tarafından otomatik olarak yeni iş emirleri üretilmektedir Böylece periyodik bakımların zamanında yapılması sağlanmaktadır.

4.3 İş Bildirimleri

İş bildirimini bir işin yapılmasına yönelik gelen ilk ihbar bilgi olarak kabul edilir. İnceleme sonucunda şayet iş bildiriminde belirtilen işin yapılması gerekiyorsa, iş emri açılır.

4.4 İş Talimatları

İş talimatları menüsü, işlerin standartlaştırılması, kolaylaştırılması ve yapılacak spesifik işler hakkında personele bilgi aktarılması amacı ile oluşturulmuştur. Kalite Yönetim Sistemi iş talimatları bu menü altında oluşturulabilmektedir.

4.5 İş Planları

İş planları birden fazla işin yapıldığı durumlar için oluşturulur. İş planları gelecekte planlanan büyük bakımlar için oluşturulur. İş planının amacı, yapılması gereken işlerin unutulmadan ve aksatılmadan yapılmasını sağlamaktır

4.6 Vardiya Defteri

Vardiya defteri günlük olarak yapılan işlerin takip edildiği modüldür. İş emirleri, iş bildirimleri, duruşlar ve vardiya bilgileri vardiya defteri ekranından görülmektedir.

4.7 Tur Listeleri

Tur listeleri periyodik olarak yapılacak birden fazla kontrol ve ölçüm faaliyetleri için kullanılır. Tur listelerinin oluşturulması, kestirimci bakım açısından son derece önemlidir. Aynı tur listesinde çok sayıda ölçüm ve kontrol yapılabilir.

4.8 Duruş Bilgileri

Duruş bilgileri, tesis duruşlarının kaydedilmesi ve duruşların analiz edilmesi açısından önem arz etmektedir. Toplam duruş süreleri, duruşun nedenleri ve alt nedenleri belirlenebilmektedir. Böylece, duruşa sebep olan nedenler büyükten küçüğe doğru sıralanarak (Pareto analizi), duruşların giderilmesine yönelik önceliklerin belirlenmesi amaçlanır. Duruş bilgileri ile bakımın performansı ölçülebilir hale getirilir.

4.9 İyileştirme

Sistemde oluşturulan her bir iyileştirme çalışması için iyileştirmeye açık alan, iyileştirmenin hedefi, iyileştirme projesi için başlangıç tarihi, bitiş tarihi, iyileştirmenin kategorisi, iyileştirmenin tetiklendiği kaynak, iyileştirmenin kazancı, iyileştirme için öngörülen harcama miktarı, takımlarda görevli personel listesi ve personel bilgileri vs. yer almaktadır. İyileştirme çalışmalarının tüm aşamaları, sistemin gözden geçirme bölümünde tarih bazlı ve metin olarak kaydedilebilmektedir.

4.10 Personel Bilgileri

Personel bilgileri menüsünde yardımı ile belirtilen personeller, iş emirlerinde görevli personel bilgileri seçim ekranına otomatik olarak gelir.

4.11 Raporlama

Bakım birimlerinin performansını ve yapılan bakımların etkinliğini ölçmek için bakım yönetim sisteminden alınacak raporlar aşağıda sıralanmıştır:

- **Arıza ve planlı bakım raporları:** Bu raporlar ile dönemsel olarak tüm bakım birimlerinin arıza ve planlı bakımlarının karşılaştırılması yapılır, istenilen döneme ait ne kadar planlı ve arıza bakımı yapıldığı tespit edilerek harcanılan bakım süreleri ve iş gücü hesaplanır. Yapılan bakımlarda iş gücü analizleri yapılabilir.
- **Duruş raporları:** Bu raporlar ile iç kaynaklı ve dış kaynaklı duruşları ve bu duruşların planlı ya da arıza duruşlarına göre gruplanıp duruş maliyetleri saptanır.
- **Periyodik bakım/kontrol tur listesi raporları:** Bu raporlar ile ölçüm yapılan yerlerin sonuçları değerlendirilir. Gerekli yerler için emri açılarak, uygunsuzluğun giderilmesi sağlanır.
- **Maliyet raporları:** Bu raporlar ile arıza ve planlı bakımlarda kullanılan malzeme sarfları ve bunların maliyetleri saptanır.
- **İş Emri Raporları;** İşin bitiminden sonra yapılan çalışmalar iş emri kapatılmadan sisteme girilmekte ve fiili sonuçlar bu raporda gözükmemektedir.
- **İş Bildirim Raporları:** Bakım için gelen talepler ve ihbarlar iş bildirimini yardımıyla izlenmekte ve raporlanmaktadır.
- **İş Talimat Raporları:** ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 Yönetim sistemleri kapsamında iş talimatları ve prosedürler sisteme entegre edilmektedir.
- **Malzeme ve Stok Raporları:** Malzeme ve stok miktarları ve stok harcama miktarları sistemden takip edilmekte ve raporu alınmaktadır.
- **İyileştirme Raporları:** Yapılan iyileştirmelere ait faaliyetler, iyileştirmelerin detayı ve yapılan çalışmalar ve iyileştirme istatistikleri raporlanmaktadır.

5. Bakım Performans Parametreleri

Bakım performans ölçümü için çok çeşitli parametreler ölçülmekte veya hesap edilmektedir. Bakım performans ölçüm göstergeleri şu şekilde sıralanabilir:

- Arıza (plansız duruş) oranı
 - Mekanik arıza oranı
 - Elektrik arıza oranı
 - Otomasyon arıza oranı
- İki arıza arasında geçen ortalama süre (Mean time between failures - MTBF)
- Ortalama bakım onarım süresi (Mean time to repair -MTTR)
- Bakım öncesi bekleme kaynaklı ortalama duruş süresi (Mean wait time-MWT).
- Ortalama toplam duruş süresi (Mean down time- MDT)
MDT=MWT+MTTR
- Net Çalışma Oranı (Availability)
- Planlı bakım /Toplam bakım oranı (Planned maintenance ratio)
- Toplam ekipman etkinliği veya İşletme Etkinliği (Overall equipment effectiveness - OEE)
- Bakım maliyet oranları
 - Bakım maliyetinin toplam maliyete oranı
 - Bakım işgücü maliyet oranı
 - Bakım yedekleri maliyet oranı
- Bakım işgücü verimliliği

6. Bakım Yönetim Sistemi Kullanımı İle Ölçülen Performans Parametreleri

Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi yardımıyla aşağıda belirtilen parametreler ekipman, makine veya nokta bazında kolaylıkla ölçülebilmektedir.

- İyileştirme bakım için harcanan iş emri sayısı ve toplam süresi
- Arıza gidermeye yönelik harcanan iş emri sayısı ve toplam süre

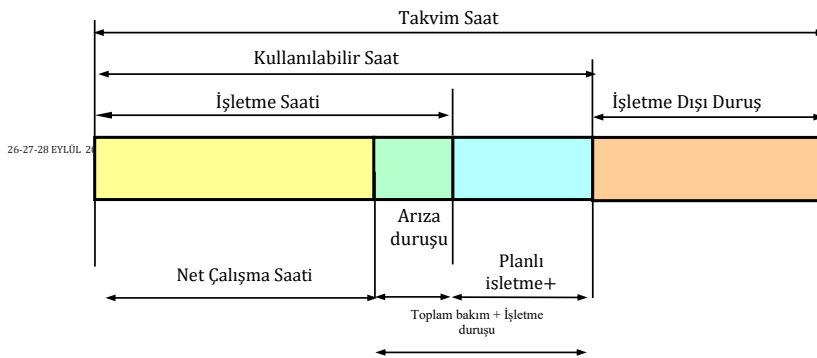


- Bakım prosedürlerini iyileştirmeye ve geliştirmeye yönelik harcanan iş emri sayısı ve toplam süre
- Personelin yetkinliğini geliştirmek ve bilgisini artırmak üzere harcanan süre
- İşletme problemlerini azaltmak için harcanan bakım süresi
- Bakım işgücü maliyetleri
- Bakım maliyet detayları
- Bakım personelinin boшта geçen sürelerinin tespiti
- Bakım yedek parçalarının ortalama değişim süreleri ve maliyetleri
- Bakım iş sağlığı ve güvenliğine yönelik harcanan süre
- Bakım çevrenin korunmasına yönelik harcanan süre
- Bakımın tipi (planlı bakım, arıza bakım vs.)
- Arıza tiplerini veya arızaların en çok meydana geldiği makine veya ekipmanların Pareto analizi
- İyileştirme bakım sonuçları
- İyileştirme bakım proje sayısı
- Personel eğitim süresi
- Arızanın veya duruşun kaynaklı olduğu mekanik bakım, elektrik bakım veya otomasyon bakım gibi bakım tipi

7. Bakım Duruşu Zaman Analizi

Net çalışma oranı, tesis ve ekipmanların bakımlılık seviyesini, iş organizasyonundaki yetkinliği ve üretim için planlanan zamanın ne kadarının üretim için kullanıldığını gösterir. Net çalışma oranının artması özellikle programsız duruşların (arızaların) azaltılması ile mümkün olmaktadır. Bunun yanında, planlı bakım ve işletme dışı gecikme sürelerinin kısaltılması ile işletme saati artırılabilir. Programlı bakım duruş sürelerinin kısaltılarak işletme saatinin artırılması ile programsız duruş sürelerinin aynı kalması halinde, net çalışma oranı dolaylı olarak artırılabilir.

Modern bakım tekniklerinin kullanılması ile sıfır arıza duruşu ve dolayısı ile net çalışma oranının %100 olması hedeflenmektedir. Bu nedenle kestirimci bakım ve proaktif bakım yöntemlerini etkin bir şekilde kullanarak, arıza duruşlarının minimize edilmesi ve net çalışma oranının artırılması amaçlanır. Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi, yapılan bakımın analizini ve etkinliğinin artırılmasını sağlayarak, net çalışma oranının artırılmasına yardımcı olabilecek önemli bir araçtır. Net çalışma oranı, literatürde kullanılabilirlik olarak ta ifade edilmektedir. Net çalışma süresinin analizinde zaman dilimlerini gösterir resim Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Net çalışma oranının hesabında ve analizinde kullanılan zaman dilimleri

Tesislerin zaman analizlerinde kullanılan önemli göstergeler ve tarifleri şu şekilde belirtilebilir. Net çalışma oranı; üretim için kullanılan net zamanın, işletme saatine oranıyla hesaplanmaktadır:

- Net Çalışma Oranı = Net Çalışma Saati/İşletme Saati (5)
 İşletme Saati= Takvim Saati–(İşletme Dışı Duruş Saati + Programlı Bakım Saati) (6)
 Net Çalışma Saati = İşletme Saati – (Toplam Programsız Duruş Saati) (7)
 Genel çalışma Oranı = Net Çalışma Saati / Takvim Saat (8)
 Arızalar arası ortalama duruş saati (MTBF) = İşletme saati / Arıza sayısı (9)
 Ortalama arıza onarım süresi (MTTR) = Arıza sürelerinin toplamı / Arıza sayısı (10)

Demir çelik sektöründeki üretim tesislerinin zaman analizlerinde kullanılan detaylı tanımlar ve bu tanımların formleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Tesislerin Zamana Göre Kullanım Analizi, Terimler ve Formüller.

Parametreler	Kod	AÇIKLAMALAR
Takvim Saati (saat)	A	Hesap yapılan takvim zaman dilimidir.
Şirket Dışı Gecikme Saati (saat)	B1	Doğal afet, Dışarıdan alınan elektrik/ doğal gaz kesilmesi v.S.
İnsansız Zaman (saat)	B2	Bayram tatili, Yemek paydosu, Hafta tatili vb.
Sipariş/Tedarik Gecikmesi (saat)	B3	Sipariş alınmadığı veya malzemenin tedarik gecikmesi nedeniyle üretim tesisinin durmasıdır.
Önceki Hattı Bekleme (saat)	B4	Önceki tesisten malzeme gelmediği için oluşan duruşlardır.
Sonraki Hattı Bekleme (saat)	B5	Sonraki tesisi zorunlu beklerken oluşan duruşlardır.
İşletme Dışı Duruş Saati (saat)	B=ΣB	Tesisi işleten ünitenin yönetiminde olmayan duruşlardır.
Kullanılabilir saat (saat)	D=A-B	Tesisi işleten ünitenin yönetiminde olan maksimum süredir.
Programlı Bakım (saat)	E	Tesisin bakımı nedeniyle yapılan planlı duruşlardır.(Günlük Bakım, Haftalık Bakım, Aylık Bakım, Yıllık Bakım gibi.)
İşletme Saati (saat)	F=D-E	Tesisi işleten ünitenin üretim için planladığı zamandır.
Mekanik Arıza Duruşu (saat)	I1	Mekanik arızalardan dolayı meydana gelen duruşlardır.
Elektrik Arıza Duruşu (saat)	I2	Elektriksel arızalardan kaynaklanan duruşlardır.
Elektronik Arıza Duruşu (saat)	I3	Elektronik arızalardan kaynaklanan duruşlardır.
Operasyonel Duruş (saat)	I4	Hatalı operasyonel işlem sonucu meydana gelen duruşlardır.
Vinç Arızası Duruşu (saat)	I5	Vinç arızalarından kaynaklanan duruşlardır.
Malzeme Bekleme (saat)	I6	Taşıma probleminden kaynaklı malzeme bekleme duruşlarıdır.
Malzeme Kusuru (saat)	I7	Malzemelerdeki kusurlardan kaynaklanan gecikmelerdir.
Stok Sahaları (saat)	I8	Stok sahaları kaynaklı oluşan duruşlardır.
Yardımcı İşletmeler (saat)	I9	Yardımcı işletme (elektrik,su,doğal gaz vb.) kaynaklı duruşlardır.
Diğer (saat)	I10	Yüzey kontrolü, Rum truck/forklift kaynaklı duruşlardır.
Toplam Programsız (Arıza) Duruşu (saat)	L=ΣI	Tesisin üretimde kullanılmadığı programsız duruşların toplamıdır.
Net Çalışma Saati (saat)	M=F-L	Tesisin üretimde fiili çalıştığı net süredir.
Toplam Arıza Duruş Adedi	AA	Toplam arıza (programsız duruşların) adedidir.
Genel Çalışma Oranı (%)	N=M/A*100	N=Net Çalışma Saati/Takvim Saati*100
Brüt İşletme Oranı (%)	P=F/A*100	P=İşletme Saati/Takvim Saati*100
Net Çalışma Oranı (%)	R=M/F*100	R=Net Çalışma Saati/İşletme Saat
Programsız duruş oranı (%)	S=L/F*100	S=Toplam Programsız Duruş/İşletme Saati
Dış Gecikme Oranı (%)	Z=B/A*100	Z=İşletme Dışı Duruş Saati /Takvim Saati*100
Mekanik Arıza Oranı (%)	MAO=I1/F	MAO= Mekanik Arıza Saati/ İşletme Saati
Arızalar arası ortalama süre (saat)	MTBF=F/AA	MTBF= İşletme Saati / Toplam Arıza Adedi
Ortalama Arıza onarım süresi (saat)	MTTR=L/AA	MTTR= Toplam arıza süresi (saat) / Toplam arıza adedi



8. Sonuçlar

Bilgisayar destekli bakım yönetim sisteminin bakımın performansının artmasına katkı sağlamaktadır. Ölçmeden etkin yönetilemez ilkesi doğrultusunda; bakım yönetim sistemi ile bakım performansı ve duruşlar dinamik olarak günlük bazda ölçülmekte ve iyileştirmeye açık alanların tespitini ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Bakım yönetim sistemi ile geçmiş dönemlere ait bakım kayıtlarına kolaylıkla erişilebilmekte ve benzer bakım faaliyetlerinin daha kısa sürede yapılması sağlanmaktadır. Kişiye bağımlı yaklaşımdan, kuruluşun tamamını kapsayan sistematik bir yaklaşım tarzı meydana gelmektedir.

Modern bakım yönetim sistemlerinde stok yönetim sistemi, insan kaynakları yönetim sistemi, üretim kontrol sistemi gibi sistemlerle sağlanan entegrasyon neticesinde, bakım yönetim sisteminde verilerin gerçekçi ve kolay bir şekilde kayıt edilmesi ve analiz edilmesi sağlanmaktadır.

Özellikle kuruluş içerisinde üretim hattını önemli ölçüde etkileyebilecek makinalardan sensörler yardımıyla alınan titreşim, sıcaklık, akım gibi parametrelerin on-line olarak bakım yönetim sistemine entegre edilmektedir. Bu şekilde arıza oluşmadan uyarı sinyali alınmakta ve kestirimci bakım anlayışı ile uygun zamanlarda bakımın yapılması sağlanmaktadır.

Bilişim çağında yaşanan gelişmeler ışığında özellikle kritik makinalardan elde edilen verilerin mobil telefonlar yardımı ile dinamik bir şekilde izlenmesi sağlanmaktadır.

İyi tasarlanmış ve amaca uygun bakım yönetim sistemi paket programlarının kullanılmasıyla gerek verimlilik artışı ve gerekse maliyet düşüşü sağlamaktadır.

Bakım yönetim sistemini kullanan işletmelerin sağladığı avantajlar aralık olarak şu şekildedir:

- Bakım maliyetlerinde azalma (%5-%20)
- Yedek parça stok maliyetlerinde azalma (%5-%20)
- İşgücü verimliliğinde artış (%10-%25)
- Üretim verimliliğinde artış (%5-%15)
- Net çalışma oranında artış (%5-%20)
- Planlı bakım / Toplam bakım oranında artış (%20-%80)
- Arıza duruş süresinde azalma (%10-%25)
- Arıza duruş sayısında azalma (%10-%40)
- Arızalar arası ortalama duruş saatinde (MTBF) artış (%5-%10)
- Bakım iyileştirme projelerinde artış oranı (%20-%50)
- Bakım kayıtlarına kolay ulaşma süresi (%70-95)
- İyileştirme önceliği olan, makine ve ekipmanların belirlenmesi.

Ölçmeden etkin yönetilemez ilkesine uygun olarak, bakım yönetim sisteminin kullanılmasıyla bakımın performansı ve bakım maliyetleri ayrıntılı bir şekilde ölçülebilmektedir. Yukarıda belirtilen verimlilik artışı ve maliyet düşüşü, bakım yönetim sistemin kullanılarak verilerin analiz edilmesi, bakım kayıtlarına kolay ulaşılması, iyileştirmeye açık alanların ve önceliklerin belirlenmesi ve gerekli bakım, kontrol ve önlemlerin alınması ve iyileştirmelerin yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

9. Referanslar

- [1] Mike Sondalni, Useful Key Performance Indicators for Maintenance. Lifetime Reliability Solutions. www.lifetime-reliability.com.
- [2] S. Doğan, H.Gökkaya, E.Çayır “Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sisteminin Kardemir Ray Profil Haddehanesinde Uygulanabilirliği”. TMMOB Makina Mühendisleri Odası VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.08-09-10 Ekim 2015 / ESKİŞEHİR
- [3] S. Doğan, E.Çayır, H.Gökkaya “Kardemir A.Ş. Ray Profil Haddehanesinde Kullanılan Web Tabanlı Mobays Bakım Yönetim Sisteminin Kullanımı Üzerine Anket Çalışması”. TMMOB Makina Mühendisleri Odası VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.08-09-10 Ekim 2015 / ESKİŞEHİR
- [4] E. Çayır, E., “Modern bakım yönetim sistemi”, IV. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, Kocaeli 2013.
- [5]MPM, “Bakım ve Tamir Sorunları Sempozyumu Tebliğ ve Raporları”, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, MPM Yayın No:112, (1972).
- [6]Baz, B., “Bakım planlaması problemlerinin çözümünde bir uzman sistem yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1995).
- [7]Alişar, M., “Koruyucu bakım planlaması ve bir sanayii işletmesinde uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana (1992).
- [8]Öztürk, N., “Toplam verimli bakımın üretim yönetimine etkileri ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul (1999).
- [9] E.Çayır, “Bakım Yönetiminde Sürekli İyileştirme ve Takım Çalışmaları” V.Bakım Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ekim 2011, Sakarya.
- [10]E. Çayır E, Ö. Doğan, Y.Önal, S.Keski, K. Aydın, B.Erdal, B.Eruz, “Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS)”, I.Bakım Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Yayın No:E2003/334, Sayfa no:119-126, Ekim 2003, Denizli.
- [11] BOYS Web Kurumsal Varlık Yönetim Sistemi, web adresi: <http://www.gazibilisim.com.tr/BOYSWEB.html>

10. Özgeçmiş

Dr. Emrullah ÇAYIR

Makina Mühendisliği alanında Hacettepe Üniversitesi’nden Lisans, Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nden Yüksek Lisans ve İstanbul Teknik Üniversitesi’nden doktora dereceleri aldı. Hacettepe Üniversitesi ve ODTÜ’de araştırma görevlisi olarak çalıştı. Erdemir ve Kardemir’de mühendis ve yönetici olarak çalıştı. Çayır Mühendislik olarak çeşitli kuruluşlara etüt-proje, verimlilik, bakım ve maliyet konularında mühendislik ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Başta Verimlilik, enerji, bakım ve tasarım konularında ulusal ve uluslararası yayınları bulunmaktadır. TMMOB Makina Mühendisleri Odasınının 27516 No’lu üyesidir.



BİR PAKETLEME MAKİNESİNDE KULLANILAN AMBALAJ KESİCİ MEKANİZMANIN BAKIM SÜRESİNE ETKİSİ

¹Yiğitcan Balıkçioğlu, ²Prof. Dr. Binnur Gören Kırıl

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca, İzmir İlgili Yazar: Yiğitcan Balıkçioğlu,
yigitcanbalikcioglu@gmail.com

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir
binnur.goren@deu.edu.tr

Özet

Paketleme makinelerinde kullanılan birçok istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonların en önemlilerinden biri döner tablaya ambalajı besleyen ekipmanların bulunduğu poşet verici istasyondur. Paketleme esnasında plastik ambalaj ürün paketi boyutlarına uygun olarak kesilmelidir. Bu kesme işleminde en kritik elemanlar bıçaklardır. İşlevi paketi kesmek olan bıçakların, bunu yapabilmek için keskin kenarlı ve aşınmaya karşı dayanıklı olmaları gereklidir.

Bu çalışmada, gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmada bulunan bir paketleme makinesine ait poşet verici sistemin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Sistemde yer alan bıçaklardan kaynaklanan arızaları en aza indirmek için deneysel ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bıçaklar için en uygun çelik malzeme alaşımları ile sertleştirme metodlarının araştırması yapılmıştır. Bu amaçla, farklı alaşımlar kullanılarak imal edilen numuneler işletme şartlarında denenmiştir. Ayrıca konstrüktif bir değişiklik yapılarak iki adet bıçak tek gövdeye bağlanmış olup montaj hatası ortadan kaldırılmış ve sürtme ile aşındırma etkisi minimuma indirilmiştir. Bu durum ayrıca montaj ve duruş sürelerini de azaltmıştır.

Sonuç olarak, mekanik anlamda bıçaklar kaynaklı arızalar ve maliyetler önemli derecede azaltılmıştır. Maliyet analizi ve arıza süreleri hesaplamalar ve grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bıçak, çelik, ambalaj, maliyet analizi

Abstract

There are many stations used in packaging machines. One of the most important of these stations is the pouch feeder station, which contains the equipment that feeds packaging to the turntable. During the packaging, plastic package should be cut according to the dimensions of the product package. The most critical parts in this cutting process are the knives. Function of the knives is to cut the package and in order to do so, the knives must be sharp-edged and wear-resistant.

In this study, it is aimed to improve the pouch feeder part of a packaging machine in a food company. Experimental and numerical analyzes were carried out in order to minimize the failures caused by knives in the system. Research and investigation of suitable steel material alloys and hardening methods for knives were performed. It is aimed to select the appropriate material by examining effects of all elements on the physical properties of the steel alloy. Also by making a constrictive change, two knives mounted to one body and the failure of assembly was removed.

In conclusion, breakdown time and the cost of the knives were importantly reduced for the plant and process. Cost reduction and breakdown time values were presented with graphs.

Keywords: Knife, steel, packaging, cost reduction

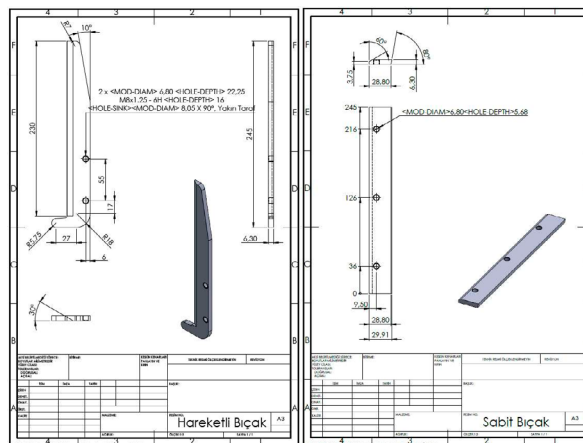
1. Giriş

Farklı birçok sektörde yoğun bir şekilde kullanılan paketleme makinalarında çeşitli istasyon ve bu istasyonlarda ihtiyaca uygun olarak kullanılan ekipmanlar bulunmaktadır. Bu istasyonların en önemlilerinden biri bobini, yani poşeti paketlemek üzere doluma veren istasyondur. Poşet verici istasyonlardaki kesici bıçak ve yaylar bu istasyonların en önemli iki elemanıdır.

Bu istasyonlarda biri hareketli, diğeri sabit olan iki adet bıçak bir takımı oluşturmaktadır. Burada bıçakların görevi bobinden çözülerek gelen ambalajın ürüne göre istenen ölçüde iken kesilmesini sağlamaktır. Hızlı tüketim malları üreten makinaların yüksek devirli çalışmalarında karşılıklı çalışan bıçaklar aşınmaya ve kırılmaya çok müsaittir. Bu işletme şartları göz önünde bulundurularak bıçakların mekanik tasarımını ve malzeme seçimini optimal düzeyde belirleyebilmek gerekir. Bıçakların dayanımı konusunda daha önce çalışma yapılmamış bir fabrikada durumun irdelenerek, testler ve analizler yapılarak iyileştirmelerle beraber yeni ve uzun ömürlü bir sisteme geçilmesi hedeflenmiştir.

1.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

Mevcut durumda paketleme makinasındaki sabit ve hareketli iki bıçaktan oluşan bıçak takımının teknik çizimleri Şekil 1.1'deki gibidir.



Şekil 1.1 Hareketli ve sabit bıçakların teknik çizimleri

1.2. Mevcut Durum Malzeme Özellikleri

Bu paketleme makinasında kullanılan bıçak AISI D3 (X210Cr12, 1.2080) malzemedir. Malzeme özellikleri ise Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 Mevcut durum bıçak malzemesi

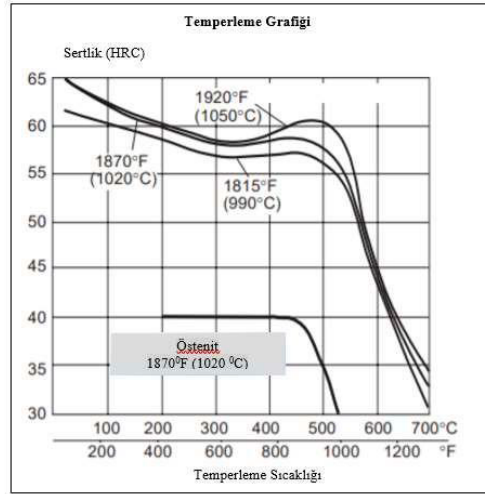
Standart Gösterim

Malzeme No	DIN	EN	AISI/SAE
1.2080	X155CrVMo12-1	X155CrVMo12	D2

Kimyasal Bileşim

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
2,05	0,25	0,3	11,5	-	-	-

Tablo 1.1’de kimyasal bileşenleri, Şekil 1.2’de temperleme grafiği görülen 2080 çeliği aşınma dayanımı ve kesme direnci açısından zayıf bir malzemedir. İşletme şartlarına uygun sertliği sağlayamayan ve aşınmaya sebebiyet veren bir malzemedir. Bu sebeple bıçağın aşınması istenenden kısa sürede gerçekleşmektedir.



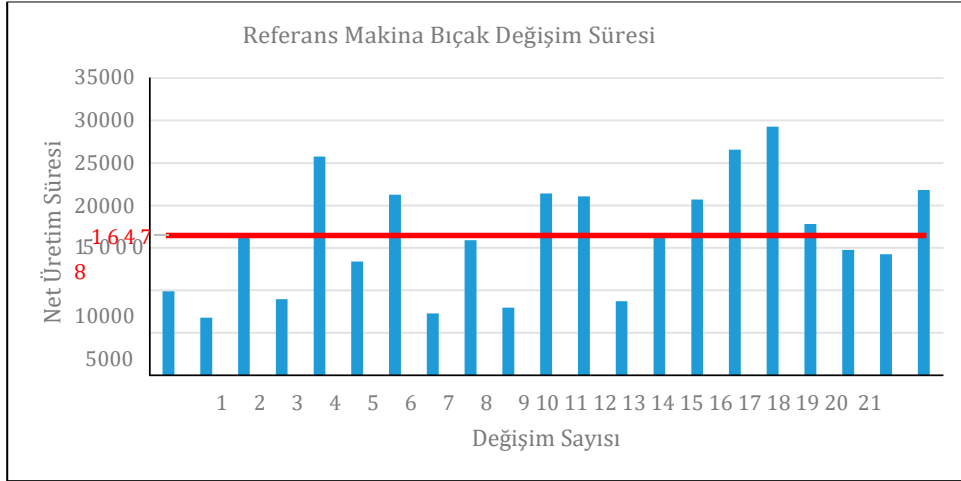
Şekil 1.2 2080 çeliğinin ısı işleme – sertlik özellikleri [2]

1.3 Mevcut Durumun Deneysel Verilerle Doğrulması

2080 çeliğinin ısı işleme grafiği incelendiğinde 100 °C sıcaklıkta temperlenmesi durumunda 64 HRC sertliği yakalayacağı laboratuvar şartlarında belirlenmiştir. Ancak Türkiye piyasası koşullarında bu malzemenin 100 °C’de temperlenmesi ne yazık ki mümkün olamamaktadır.

Numune üzerinde yapılan analizler sonucu bıçağın malzemesinin 2080 çeliği olduğu doğrulanmış, fakat sertliği 59 HRC olarak tespit edilmiştir. Aşınma ve ısı işleme özellikleri aşınma dayanımına uygun olmayan 2080 çeliğinin bu süreçte kullanılması uygun görülmemektedir iyileştirme çalışmalarına gidilmiştir.

Şekil 1.3’teki grafikte bıçakların değişim sayıları ve bu değişim tarihleri arasında net olarak kaç dakika aktif olarak çalıştıkları görülmektedir. Grafikte görülen her değer 2080 çeliğine aittir.



Şekil 1.3 Bıçak net çalışma süreleri (dk)

2. İyileştirme Çalışmaları

Bıçakların ömrünün uzun olmasını sağlamak için malzeme seçimi doğru yapılmalı, alaşım elementleri özelliklerine göre ayarlanmalıdır. Malzemenin kesme direnci ve aşınmaya karşı dayanımı yüksek olması için sertliği belirli elementlerle yükseltilmelidir.

2.1. Aşınma Dayanımı Yüksek Malzeme Araştırması

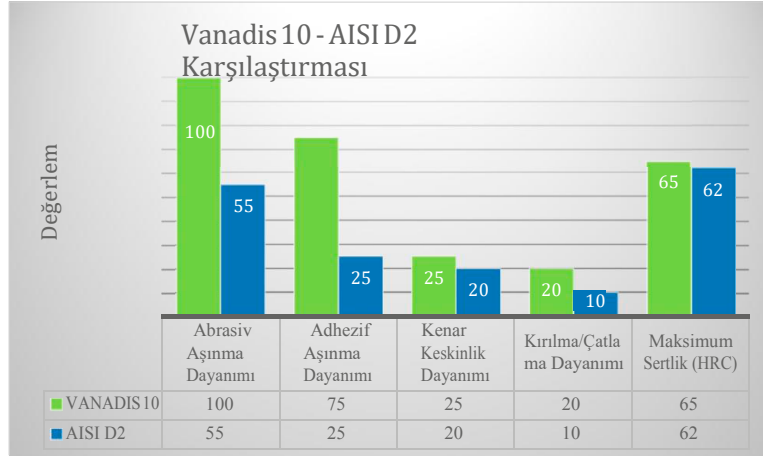
Kesmeye çalışan çelik elemanlarda deneysel olarak belirlenecek şekilde belli oranlarda Vanadyum, Wolfram ve Molibden elementleri bulunmalıdır. Aşınma mukavemetinin yüksek olması için malzemenin sertliğinin, akma noktasının, darbe direncinin yüksek olması gerekmektedir.

Bu özelliklere göre imal edilmesi her ne kadar zor olsa dahi yüksek aşınma, piyasada bulunabilirlik ve krom oranının yüksekliğiyle gıdaya uygunluğundan dolayı CPM 10V çeliğinin muadili Vanadis 10 uygun görülmüştür. Vanadis 10 çeliğinin element alaşımı Tablo 2.1’de verilmektedir [3].

Tablo 2.1 Vanadis 10 çeliği alaşımı

Vanadis 10 çelik alaşımı					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
2,9	0,5	0,5	8,0	1,5	9,8

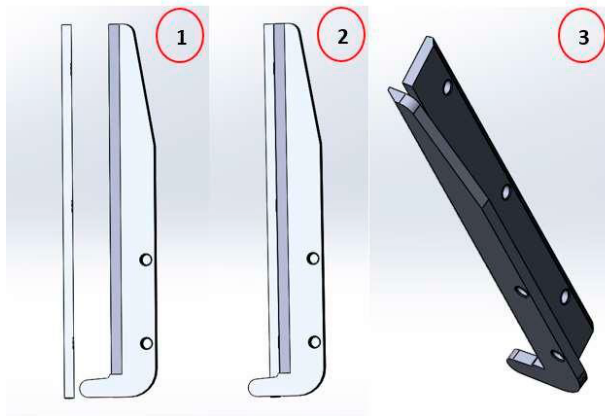
Şekil 2.1’de Vanadis 10 ve 2080 çeliklerinin karşılaştırılması yer almaktadır.



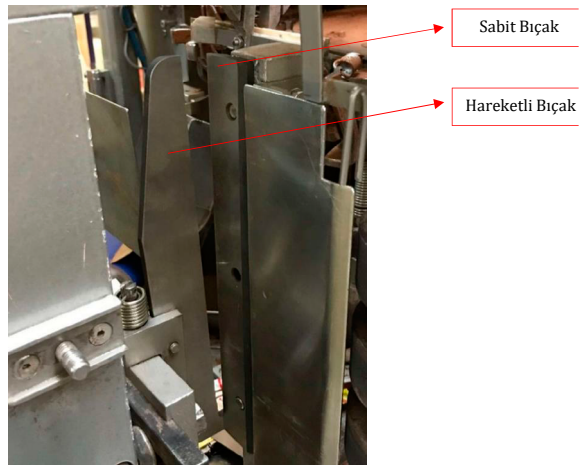
Şekil 2.1 Vanadis 10 – 2080 çelikleri karşılaştırması

2.2. Konstrüksiyon İyileştirme Çalışması

Kullanılacak çeliğin tespiti konusunda sonuca varıldıktan sonra mekanik tasarım anlamında bir gelişmeye odaklanılmış ve 2 adet bıçağın tasarımları, birbirlerine montajı, makina üzerine montajı vb. parametreler için iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır.

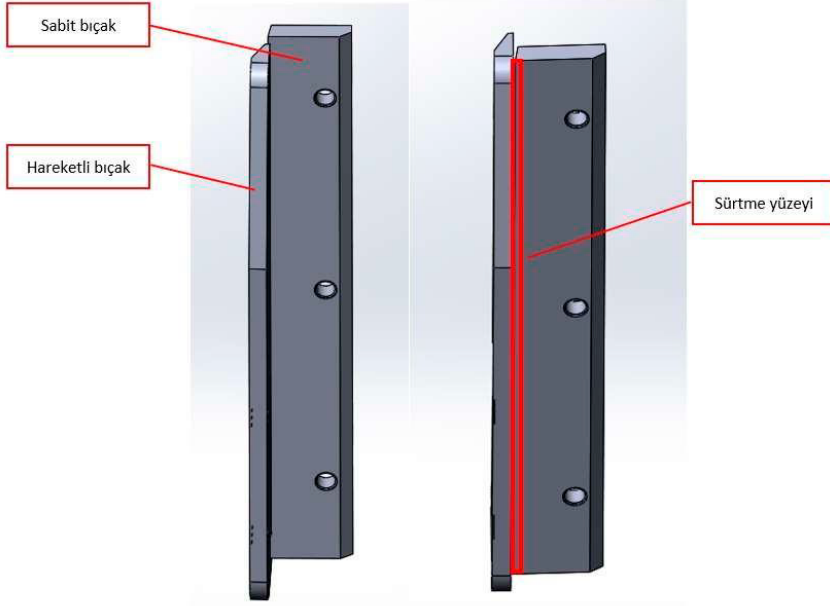


Şekil 2.2 Eski sistem bıçaklar 3B modeli



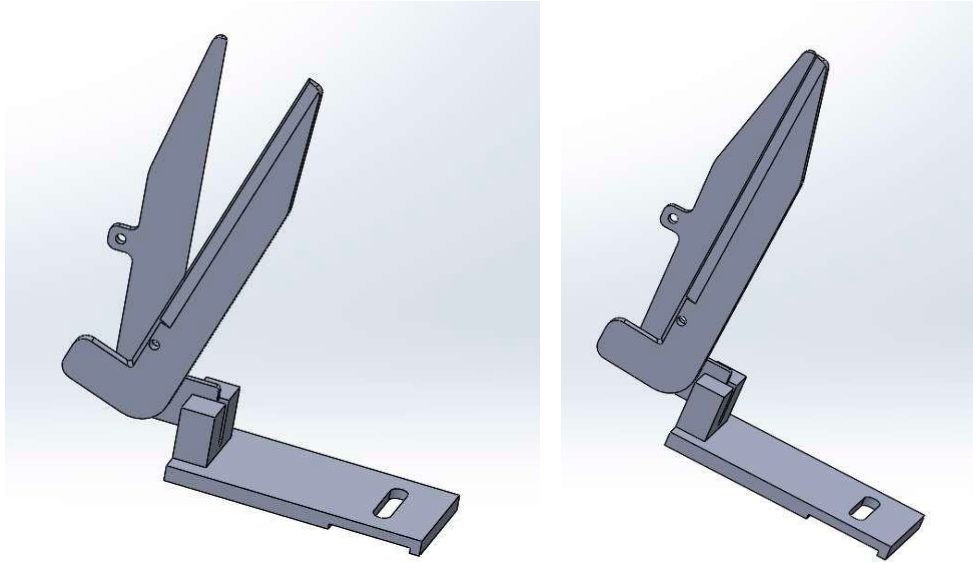
Şekil 2.3. Eski sistem bıçaklar makine üzerinde monte edilmiş hali

Şekil 2.2’de eski sistem bıçakların çalışma mekanizması sırasıyla gösterilmektedir. Hareketli bıçak makinenin altındaki kamdan aldığı tahrikle sabit bıçağa doğru ilerler ve arada bulunan ambalajı keser. Burada dikkat edilmesi gereken durum, bıçaklar arasında açının olmamasıdır. 1 ve 2 numaralı görsellerde görüleceği gibi hareketli bıçak tamamen lineer bir şekilde hareket eder.



Şekil 2.4. Eski sistem bıçakların birbirleri arasında çalışma prensibi

Bir hareketli ve bir sabit bıçak çalışma şekli Şekil 2.4’te görüldüğü gibidir. Hareketli bıçak ekseninde lineer hareketini yaparken iki bıçağın arasından geçen ambalajı sabit bıçağa sürterek kesmektedir. Bıçağın körelmesine, yani aşınmaya bu durum neden olmaktadır. Bu hareketin iyileştirilmesi için makas tipi bir bıçak sistemi düşünülerek Şekil 2.5’te görülen tasarım geliştirilmiştir.



Şekil 2.5 Yeni konstrüksiyon bıçakların 3B modeli (kişisel arşiv)

Bu tasarımda bıçağın kendisi ve kaidesi montaj/demontaj işlemleri için daha optimaldir. Mekanik aksamlardaki benzer tasarımsal iyileştirmeler bakım ekiplerinin faaliyetlerine büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Karmaşık bir mekanik ekipmanın montajı hem uzun zaman alarak iş gücünden kayıplara hem de hata payının artmasına sebep olmaktadır.

Önceki sistemdeki iki adet bıçak yerine, Şekil 2.5'teki gibi kaideye sabitlenmiş bir bıçak ve ona sabitlenmiş başka bir bıçak kullanılmıştır. Bu sayede makina üzerindeki montaj tek seferde bitecek şekilde ayarlanmıştır.

Ayrıca makas tipi bıçak takımının bir diğer avantajı ise önceki sistemde gözlenen sürtünmenin olmamasıdır. Yeni sistemde iki bıçak arasında mikron seviyesinde boşluk bulunmakta ve bıçaklar birbirine vuruş yapacak şekilde değmemektedir.

Şekil 2.4'te görülen aksine makas tipi bıçak sisteminde açılı bir kesme işlemi vardır. Bu da bıçağın hem aşınmaya karşı direncini güçlendirir, hem de kesme işleminin daha rahat ve kaliteli yapılmasını sağlamaktadır

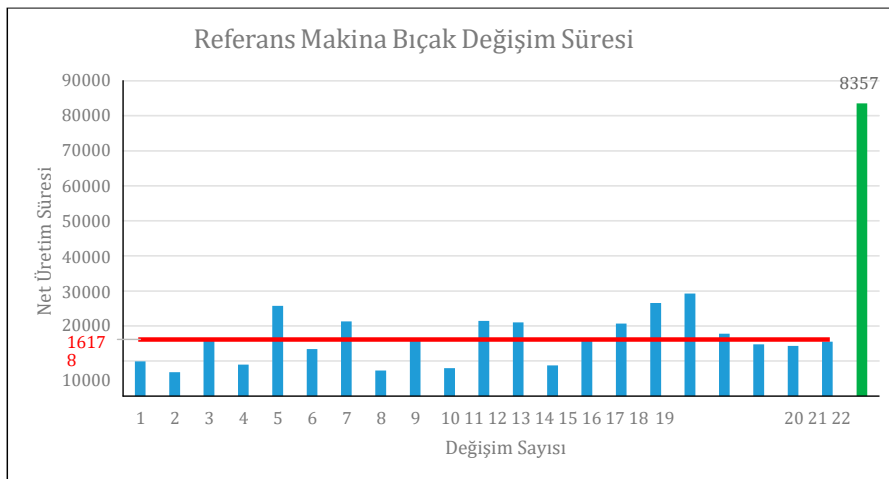
2.3. Maliyet Analizi

Sistemde yapılan iyileştirmelerle birlikte Tablo 2.2'de görüldüğü gibi yılda 76.775 TL maddi kazanç ve iş gücü kazancı sağlanarak bir bıçağın duruş yaratmaksızın net çalışma süresi verimliliği Şekil 2.6'da görüleceği gibi artış göstermiştir.

Tablo 2.2 Eski – Yeni sistem bıçaklar arasında maliyet analizi

	Sıfır bıçak imalat adedi	Sıfır bıçak imalat fiyatı (TL)	Bileme adedi	Bileme fiyatı (TL)	Duruş sayısı	Duruş süresi (dk)	Duruş maliyeti (TL)	Toplam Maliyet (TL/yıl)
AISI D2 (1.2080)	2	1.000	10	15	12	27	6.615	81.530
Vanadis 10	1	1.500	1	70	1	13	3.185	4.755
Fark								76.775

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir takım bıçağın ortalama çalışma süresi 16.178 dakikadan 83.579 dakikaya çıkarılarak %416,62 iyileştirme sağlanmıştır.



Şekil 2.6. Eski – Yeni sistem ortalama bıçak ömrü grafiği (kişisel arşiv)



3. Değerlendirme Ve Sonuç

Paketleme makinelerinde kullanılan bıçaklarla ilgili bu çalışma ile yapılan incelemeler sonucunda sunulan değişiklikler işletmeye birçok konuda fayda sağlamıştır. Bunların başında maliyet iyileştirmesi gelmektedir. Maliyet iyileştirmesi yapılması için DS Solidworks modelleme programı kullanılarak üç boyutlu modellemeler yapılmıştır. Bıçakların aşınma, kırılma ve körelme gibi arızalara sebebiyet verme süreleri uzamış ve bu yedek parçaların getirdiği maliyet konusunda yaklaşık 76.775 TL/YIL iyileştirme yapılmıştır.

Bir diğer etken olarak, bir fabrikanın her dakikasının önemli olduğu düşünülürse bıçaklardan kaynaklı üretim duruş sürelerinden ve harcanacak iş gücünden kâr edilmiştir. Bir takım bıçağın çalışma ömründe %416,62 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

4. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmadaki desteklerinden ötürü Dr. Oetker Gıda San. ve Tic. A.Ş Genel Müdürü Sn. Muhsin Çömden'e ve Üretim Müdürü Sn. Burak Gürhan'a teşekkür ederler.

5. Kaynaklar

- Ulaş, H. B. 2018. "AISI D2 ve AISI D3 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi". Politeknik Dergisi, 21(1):251- 256.
- Aslan, E. 2005. "Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC)". Matls Design 26: 21-27.
- Boy, M., Demir, H., Korkut, İ. 2009. "Vanadis 10 Soğuk İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi". Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KRİTİK DOKUMA MAKİNESİNİN GÜVENİLİRLİK TAYİNİ

¹Mustafa Çörekcioglu, ¹Onur Emre Kundakci, ¹Halil Akkaya, ¹Emel Ercan,
¹Ash Özmen Selçuk, ²Prof. Dr. Aşkiner Güngör

¹Ozanteks Tekstil San. Ve Tic A.Ş. Ar-Ge Merkezi Bozburun Mah. 7042 Sok. No:6 Denizli
mcorekcioglu@ozanteks.com.tr
onur.kundakci@ozanteks.com.tr
halil@ozanteks.com.tr
emel@ozanteks.com.tr
aslnozmen@ozanteks.com.tr

²Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi A Blok, 4. Kat, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Kınıklı Kampüsü, 20160, Pamukkale/Denizli
askiner@pau.edu.tr

Özet

Üretim sistemleri kendilerinden istenen fonksiyonları yerine getirirken ortaya çıkan duruşlar kalitesizlik maliyetini artırabilmekte, teslim zamanlarının gecikmesine ve en nihayetinde imaj kaybına neden olabilmektedir. Günümüzde küçük ve orta ölçekli işletmelerin büyük bölümü, duruş ve bakım verilerini ve bu verilerin yönetilmemesinden kaynaklanan maliyetlerin, süreçlere ve dolayısıyla nihai ürüne olan etkilerini genellikle ihmal etmektedir. Oysaki işletmeler açısından sistemde yer alan makineleri duruş yapmadan çalıştırabilmek için duruş ve bakım verileri ile gerçekleştirilen güvenilirlik analizleri; söz konusu ekstra maliyetlerin oluşmasını önlerken süreç ve ürüne olan etkilerin de ortadan kalkmasında önemli bir role sahiptir.

Bu çalışmada bir tekstil işletmesinde kritik dokuma makinesi belirlenerek güvenilirlik analizi yapılmıştır. Kritik dokuma makinesinin duruş ve bakım verileri incelenerek duruş türleri belirlenmiş ve tanımlayıcı istatistikleri elde edilmiştir. Bu istatistikler incelendiğinde duruş yoğunluğunun sabit olmadığı ve makinenin yaşıyla birlikte değiştiği için durağan olmayan bir model olan Homojen Olmayan Poisson Süreci(HOPS) ile güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda kritik dokuma makinesinin beklenen duruş adedi ve farklı zaman periyodları için güvenilirlik değerleri hesaplanmıştır. Kritik makinenin güvenilirlik ve kullanılabilirliğinin artması için çözüm önerileri sunulmuştur. Tecrübe paylaşımı niteliğindeki bu çalışmayla, dokuma süreci bulunan diğer firmalara güvenilirlik analizi ile üretim planlama ve bakım faaliyetlerinin karar desteğinin sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, Homojen olmayan poisson süreci, Tekstilde iyileştirici bakım



1. Giriş

Bir üretim sisteminin yararlılığı performansına bağlıdır ve performansın yaygın ölçüsü ise güvenilirliktir. Güvenilirlik ise belirlenmiş süre zarfında sistemin kendisinden beklenen fonksiyonları duruş yapmaksızın çalışma olasılığı olarak tanımlanmaktadır [1].

Üretim sistemlerinde kullanılan makinelerdeki duraksamalar sistemin performansını doğrudan etkilemekte bunun sonucunda da maddi kayba ve zaman kaybına neden olabilmektedir. Oluşabilecek duruşlarının önceden tespit edilmesi ve buna bağlı bakım ve onarım planları oluşturulması, üretim verimliliğini yükseltilmesi açısından önemlidir. Bu bakımdan, güvenilirlik analizleri, pek çok sektörde faydalanılmakta, bir sistemin geçmişe dönük verileriyle geleceğe yönelik tahminler yapmayı sağlamaktadır.

Güvenilirlik literatüründe sistemler genellikle tamir edilebilir ve tamir edilemez sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Tamir edilemez sistemlerin bozulduktan sonra geri dönüşümleri yoktur. Bu yüzden sadece bir kez bozulurlar ve böyle sistemlerin bozulma zamanlarının dağılımı örneğin Weibull gibi bir yaşam modeli ile modellenebilir. Diğer taraftan tamir edilebilir sistemler, bozulmadan sonra herhangi bir işlem veya müdahale ile tekrar geri kazanılan sistemlerdir. Bu sistemler bozulma zamanlarının modellenmesi ile ele alınırlar. Yaygın olarak tamir edilebilir sistemlerin bozulma süreçleri için kullanılan modeller, Yenilenme Süreci ve Homojen Olmayan Poisson Sürecidir (HOPS). Yenilenme süreci duruş yoğunluğunun sabit olduğu durumlarda kullanılırken Homojen Olmayan Poisson Sürecinde ise bozulmaların meydana gelme oranı yani yoğunluk önemlidir [2].

Konfeksiyon sanayisinin en önemli hammaddelerinden olan dokuma kumaşların üretildiği dokuma tezgâhları tekstil işletmelerinin verimliliğinde kritik öneme sahiptir. Bu tezgâhları verimlilik açısından diğer makinelerden ayrıran nokta ise duruş yapmadan da duruş gerçekleştirebilme durumlarıdır. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede dokuma tezgâhlarında havlı ürünlerinin (havlu, bornoz) dokuması gerçekleştirilmektedir ve Havlular; hav çözgüsü, zemin çözgüsü ve atkı (bordür ve/veya havlı bölge için) olmak üzere üç iplik sistemiyle üretilmektedir. Bu sistemlerde meydana gelen iplik kopuşları ve mekanik ya da elektrik kaynaklı olmayan duruşlar dokuma tezgâhlarında duruşa sebep olmakta ve bu tip duruşlar operatörler tarafından kısa sürede çözülerek makine çalışır hale getirilmektedir. Bu yüzden dokuma tezgâhlarının çalışma sürelerinde gerçekleşen bu aksamalar duruş değil duruş olarak adlandırılmıştır. Geçmiş veriler incelendiğinde dokuma tezgâhlarındaki duruş yoğunluklarının sabit olmadığı ve bu yüzden güvenilirlik analizi için HOPS'ye uygun olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın temel amacı havlı ürünleri üreten bir tekstil işletmesindeki kritik dokuma tezgâhının güvenilirlik analizinde Homojen Olmayan Poisson Süreci kullanılarak tezgâhın belli zaman aralığındaki çalışıyor olma olasılığı belirlenerek üretim planı ve bakım etkinliğinin artırılmasına yönelik öneriler getirmektir. Bu amaçla kritik dokuma tezgâhının güvenilirlik analizi 973 adet duruş verisi kullanılarak yapılmıştır.

2. Metod

Sistemlerin güvenilirliği, belirlenen koşullar altında ve belirli bir zaman aralığında duruş olmaksızın çalışma olasılığıdır [3]. Güvenilirlik analizinde veri seti yeterli büyüklüğe sahip olduğunda ayrıca duruşlar arası süreler birbirinden bağımsız ve benzer dağılımlı olduğunda durağan olasılık modelleri (Üstel, Weibull vb.) aracılığı ile veriler modellenebilir. Eğer veriler zamana bağlı ise, yani eğilim içeriyorsa, güvenilirlik analizi verilerdeki eğilim dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu tip sistemler, duruşlar arası sürelerin (DAS) zamanın bir fonksiyonu olarak değiştiğini varsayan HOPS kullanılarak analiz edilebilir [4].

Duruş sonlu durum ve zaman sonlu durum tamir edilebilir sistemlerden veri elde etmek için kullanılan iki farklı örnekleme durumlarıdır. Test edilen sistem belirlenen bir duruş sayısından (n) sonra duruyorsa, bu durum verilerin duruş sonlu olduğunu gösterir. Bir tamir edilebilir sistem n tane duruş ortaya çıkıncaya kadar gözlemlendiğinde (n sabit), $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ olmak üzere sıralı duruş süreleri elde ediliyorsa bu durum duruşların sayısı sabitken sistemin durduğu süre değişkendir. Test edilen sistem belirlenen bir sürede (t) durursa, bu durumda verilerin zaman sonlu olduğu söylenir ve $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$ şeklinde ifade edilecek duruş süreleri elde edilir. Bu durumda sistemin durduğu süre sabit iken, duruşların sayısı n değişkendir [4].

HOPS'de olasılık yoğunluk fonksiyonu $\lambda > 0$, $\beta > 0$ ve $t \geq 0$ olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}$$

2.1.

λ ve β sırasıyla ölçek ve şekil parametrelerini ifade etmektedir. Bu olasılık yoğunluk fonksiyonu birikimli duruş süresi (t)'nin $(\beta-1)$. kuvvetiyle orantılıdır.

Kritik dokuma tezgâhının incelenen 973 adet duruş verisinde belirli bir sürede gerçekleşen duruş sayısı (n) değişken olduğu için Zaman Sonlu durum formülleri kullanılacaktır. Bu formüller aşağıdaki şekildedir.

$$\beta = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t}{t_i}\right)}$$

2.2

$$\lambda = \frac{n}{t^\beta}$$

2.3.

Burada

n : duruş sayısını,

t_i : i . duruşta ($i=1,2,\dots,n$) ortaya çıkan toplam süreyi,

t_n : toplam aralıksız süreyi,

t : önceden belirlenen süreyi ifade etmektedir.

3. Uygulama

Bu çalışmada bir tekstil işletmesindeki kritik dokuma makinesi için güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede, üç vardiyada toplam 24 saat olmak üzere altı gün çalışılmaktadır. İşletmede dokuma makineleri hiç durdurulmakta ve operatörler mola ve öğlen yemeğine dönüşümlü gitmektedir. Dokuma operatörleri aynı anda dört makinenin kontrolünü yapmaktadır ve bu sayı öğle yemeğinde sekiz makineye çıkmaktadır. Duruşların inceleneceği kritik dokuma makinesi, bölümdeki uzman ekibin de içerisinde bulunduğu odak grup toplantısında beyin fırtınası tekniği ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, seçilen kritik makinenin Mayıs 2019 dönemine ait Tablo 1’de verilen üç vardiya için toplam 973 adet duruş verisi incelenmiştir. Çalışmada incelenen duruşlar arası süre (DAS), bir makinenin çalışmaya başladığı andan itibaren herhangi bir duruştan dolayı durduğu zaman arasındaki süre olarak ifade edilmektedir. DAS verileri dokuma otomasyon sisteminden elde edilerek, analizlerde dakika cinsinden hesaplama yapılmıştır. İlgili analizler Minitab 17 İstatistiksel paket programı ve Excell kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1: Analizde kullanılan duruş verileri

1. vardiya			2. vardiya			3. vardiya		
BDS	DAS	BDAS	BDS	DAS	BDAS	BDS	DAS	BDAS
1	41,1	41,1	1	68,9	68,9	1	24,6	24,6
2	37,9	79,0	2	67,3	136,1	2	23,9	48,4
3	32,9	111,9	3	69,4	205,5	3	29,1	77,6
4	37,3	149,3	4	64,4	269,9	4	22,3	99,9
5	35,3	184,6	5	65,5	335,4	5	30,4	130,3
6	39,6	224,1	6	71,4	406,8	6	30,7	161,0
7	35,6	259,7	7	71,8	478,6	7	31,6	192,6
8	36,8	296,5	8	27,9	506,5	8	26,4	219,0
9	37,1	333,6	9	30,2	536,7	9	29,0	247,9
10	34,7	368,3	10	28,4	565,1	10	30,0	278,0
11	34,1	402,3	11	29,4	594,5	11	25,2	303,1
12	37,3	439,7	12	30,6	625,0	12	22,7	325,8
13	38,0	477,7	13	26,2	651,2	13	24,5	350,4
14	39,4	517,1	14	31,3	682,5	14	25,6	376,0
15	35,1	552,2	15	33,5	716,0	15	22,9	398,8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
318	39,4	9.168,6	276	9,0	7.401,7	337	3,5	8.767,7
319	38,1	9.206,8	277	3,7	7.405,4	338	27,5	8.795,1
320	31,9	9.238,7	278	4,5	7.409,9	339	7,3	8.802,5
321	36,4	9.275,1	279	35,6	7.445,5	340	16,8	8.819,2
322	10,9	9.286,0	280	36,7	7.482,2	341	38,3	8.857,5
323	2,9	9.288,9	281	8,5	7.490,7	342	27,2	8.884,7
324	20,5	9.309,4	282	15,9	7.506,7	343	17,5	8.902,2
325	44,7	9.354,2	283	33,2	7.539,9	344	14,7	8.916,9
326	27,3	9.381,4	284	10,3	7.550,2	345	27,3	8.944,2
327	29,0	9.410,5	285	19,9	7.570,1	346	30,3	8.974,5
328	40,6	9.451,1	286	33,6	7.603,7	347	19,7	8.994,3
329	30,6	9.481,7	287	32,2	7.635,9	348	37,2	9.031,5
330	39,9	9.521,6	288	29,2	7.665,1	349	8,9	9.040,4
331	16,7	9.538,4	289	46,1	7.711,2	350	16,7	9.057,0
332	29,8	9.568,2	290	37,5	7.748,7	351	31,7	9.088,7

BDS: Birikimli Duruş Sayısı **DAS:** Duruşlar Arası Süre (dakika) **BDAS:** Birikimli Duruşlar Arası Süre (dakika)

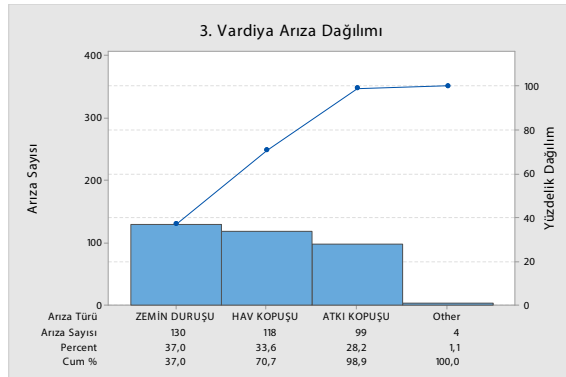
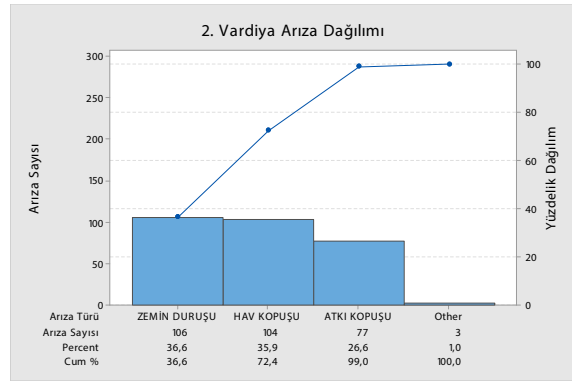
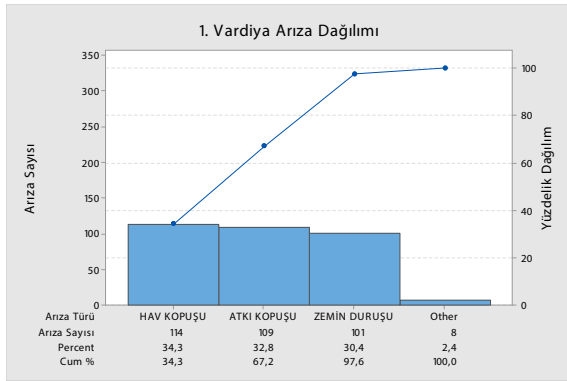


Kritik dokuma makinesindeki duruş sayıları vardiya bazlı incelendiğinde bu duruşların sıklığı Tablo 2'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 2. Vardiya bazlı duruş sayıları

1. Vardiya		2. Vardiya		3. Vardiya	
Duruş türü	Duruş Sayısı	Duruş türü	Duruş Sayısı	Duruş türü	Duruş Sayısı
HAV KOPUŞU	114	ZEMİN DURUŞU	106	ZEMİN DURUŞU	130
ATKI KOPUŞU	109	HAV KOPUŞU	104	HAV KOPUŞU	118
ZEMİN DURUŞU	101	ATKI KOPUŞU	77	ATKI KOPUŞU	99
MANUEL DURUŞ	4	KENAR ÖRME	1	KENAR ÖRME	1
JAKAR PLATİN	2	MANUEL DURUŞ	1	MANUEL DURUŞ	1
DİĞER	1	ELEKTRİK DURUŞ	1	DİĞER	1
ÇEKTİRME	1			DİZİM İPİ KOPUĞU	1
Toplam	332	Toplam	290	Toplam	351

Tablo2' deki verilere göre 1. vardiyada en fazla hav kopuşundan, 2. ve 3. vardiyada ise zemin duruşundan kaynaklı duruştan kaynaklanmaktadır. Vardiya bazlı duruşların Şekil 1'deki pareto grafiklerine göre her üç vardiyada da en çok atki kopuşu, hav kopuşu ve zemin duruşu kaynaklı duruşlar yaşanmaktadır.



Şekil 1. 1., 2. ve 3. vardiyadaki duruş verilerinin pareto grafikleri

3.1. Trend Analizi

Vardiya bazında güvenilirlik analizi için ilk olarak DAS verilerine uygun olasılık dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adım en önemli aşama olup DAS verilerinin trend yani doğrusallık içerip içermediğinin kontrol

edilmesi gerekmektedir. Trend testi ile duruş verilerinin zamana bağlı olarak anlamlı biçimde değişip değişmediğine karar verilmeye çalışılmaktadır [5]. DAS verilerinin zamana bağlı değişip değişmemesine göre de yenilenme süreci, homojen poisson veya homojen olmayan poisson süreçlerinden (HOPS) biri ile olasılıksal modelleme yapılmaktadır. DAS verilerinde trend olup olmadığını belirleyebilmek için birikimli duruş sayısına karşı birikimli DAS verilerinin grafiğinin oluşturulması yeterlidir.[6]

Bu doğrultuda oluşturulan Şekil 2’deki grafikler incelendiğinde her bir vardiyadaki duruş oluşumlarının doğrusallık içermediği ve zamana bağlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle uygun model olarak HOPS’un özel bir durumu olan kuvvet yasası seçilmiştir ve ilgili tahminler bu modele bağlı gerçekleştirilmiştir

3.2. Güvenilirlik Hesaplamaları

Yapılan trend analizi sonucunda kritik dokuma makinesindeki duruş verilerinin modellenmesinde HOPS’un özel bir durumu olan kuvvet yasasının uygun olduğu görülmüştür. Kuvvet yasası modeline uygun güvenilirlik analizlerinin gerçekleştirilmesi için öncelikle 2.2 ve 2.3’deki eşitlikler kullanılarak λ ve β değerleri vardiya bazında Tablo 3’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3: Vardiya bazlı λ ve β değerleri

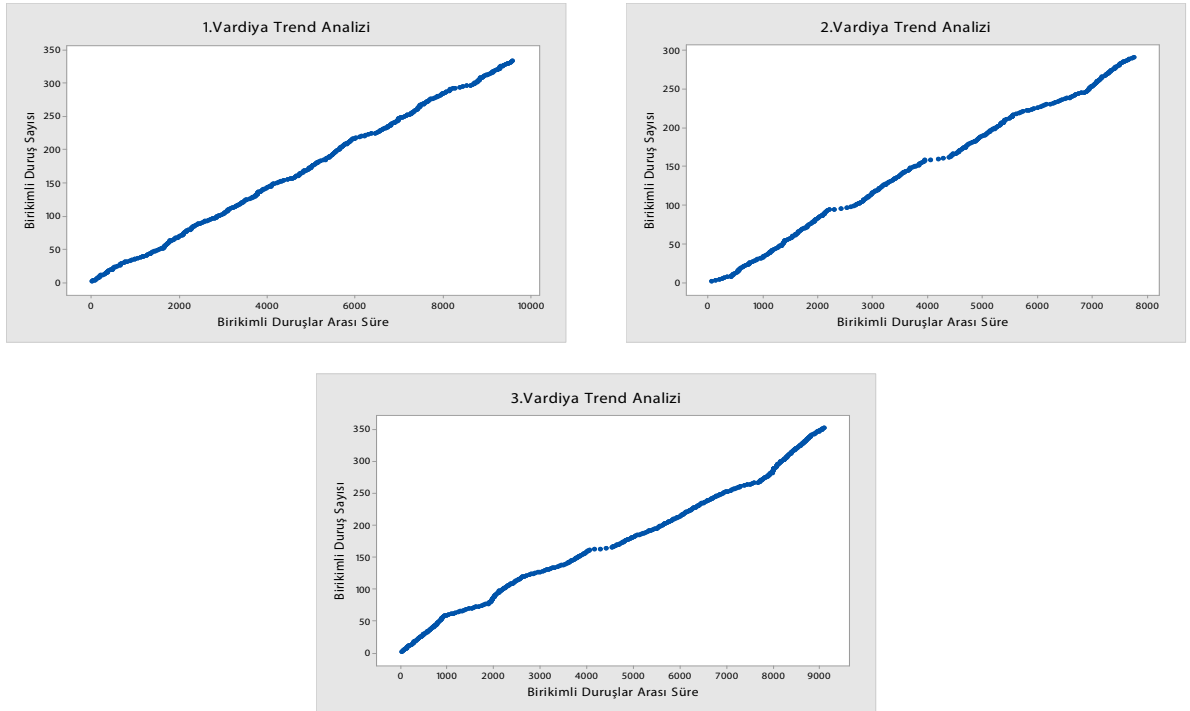
1. Vardiya	2.Vardiya	3. Vardiya
$\lambda_1 = 0,01969$	$\lambda_2 = 0,01725$	$\lambda_3 = 0,04337$
$\beta_1 = 1,04596$	$\beta_2 = 1,04621$	$\beta_3 = 0,96770$

Belirli bir aralıkta beklenen duruş sayısı, aşağıdaki eşitliğin uygulanması ile elde edilmektedir.

$$B[N(t)] = m(t) = \int_0^t \rho(t) dt = \int_0^t \lambda \beta t^{\beta-1} dt = \lambda t^{\beta}$$

$$m(t) = \lambda t^{\beta}$$

3.1



Şekil 2. 1., 2. ve 3. vardiyadaki trend grafikleri

Eşitlik 3.1’e göre bir vardiyanın çalışma süresi olan 480 dk içerisindeki belirli zaman aralıkları için beklenen duruş sayıları vardiya bazlı Tablo 4’deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.** Belirli zaman aralıkları için beklenen duruş sayıları

Süre (Dk)	Beklenen Duruş Sayısı (adet)		
	1. Vardiya	2. Vardiya	3. Vardiya
15	0,3	0,3	0,6
30	0,7	0,6	1,2
60	1,4	1,3	2,3
120	2,9	2,6	4,5
180	4,5	3,9	6,6
240	6,1	5,3	8,7
300	7,7	6,7	10,8
360	9,3	8,2	12,9
420	10,9	9,6	15,0
480	12,6	11,0	17,1

Belirli bir zaman diliminde ve verilen koşullar altında bir sistemin ya da ekipmanın duruş olmaksızın çalışma olasılığı güvenilirlik olarak ifade edilmekte ve $R(t)$ ile gösterilmektedir. HOPS modelinde DAS'ler zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlandığı için güvenilirlik düzeyi ele alınan zaman dilimine göre değişmektedir. Yani DAS verilerine göre oluşturulan trendin azalması veya artması, güvenilirlik düzeylerinin de aynı şekilde değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. HOPS herhangi bir (t_1, t_2) zaman aralığındaki güvenilirliği şu şekilde tanımlamaktadır [4]:

$$R(t_1, t_2) = e^{-[m(t_2) - m(t_1)]} = e^{-[(\lambda t_2^\beta) - (\lambda t_1^\beta)]} \quad 3.2$$

Tablo 5'te eşitlik 3.2 kullanılarak vardiya bazlı güvenilirlik analizleri, bir vardiyanın çalışma süresi olan 480 dakadaki belirli zaman aralıkları için oluşturulmuştur. Güvenirlik düzeyleri zaman aralıklarına göre değişiklik göstermekle birlikte vardiyanın sonuna doğru oldukça azalmaktadır. Bu durum da kritik dokuma makinesinin vardiya sonuna doğru duruş yaşanmadan çalışma olasılığının azaldığını göstermektedir.

Tablo 5. Bir vardiyadaki çalışma süresinin zaman aralıkları için duruşuz çalışma olasılığı

Zaman Aralığı (dk)	1. Vardiya	2. Vardiya	3. Vardiya
0-15	71,6%	74,6%	55,1%
15-30	70,0%	73,2%	56,6%
30-60	47,9%	52,5%	32,8%
60-120	21,9%	26,4%	11,3%
120-180	21,1%	25,5%	11,7%
180-240	20,6%	25,0%	12,0%
240-300	20,2%	24,6%	12,2%
300-360	19,9%	24,3%	12,4%
360-420	19,7%	24,0%	12,5%
420-480	19,5%	23,8%	12,7%

Kritik makinede duruş yaşanmadan çalışma olasılıklarının her vardiya sonunda düşmesi makinenin otonom bakım ihtiyacının vardiya sonuna yaklaştıkça arttığını göstermektedir. Güvenirlik analizi ile bu farkındalık artarken otonom bakım aralıkları kısaltılarak bakım kaynaklı duruşların azalması hedeflenmektedir.

Uygulamada kumaş konstrüksiyonun benzer olduğu tipler için dokuma tezgâhı ayarları birbirine yakın olarak ayar-

lanmaktadır. Dokuma verimliliği konusunda yapılan araştırmalarda dokuma tezgâhının ayarlarının belirlenmesinde iplik kalitesinin de dikkate alınması gerektiğinden, özellikle kalitesi düşük ipliklerle gerçekleştirilecek olan dokumalar için tezgâh ayarlarının oldukça hassas seçilmesi gerekliliğinden sıkça söz edilmemektedir [7]. Buna göre kritik dokuma tezgâhının vardiya sonlarında güvenilirliğinin yükselebilmesi için ayarlarının değiştirilmemesi için üretim planında mümkün olan değişikliklerin yapılabilmesi ayrıca güvenilirliğin düştüğü vardiya sonlarında düşük kaliteli ipliklerle üretim yapmak yerine kalitesi daha yüksek ipliklerin üretim planına dahil edilmesi planlanmaktadır. Üretim planında değişiklik yapılamadığı durumlarda ise iplik kalitesi dikkate alınarak ayarların hassaslaştırılması güvenilirliğin artmasında rol oynayacaktır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

İşletmelerdeki makine ve ekipman kullanımından sağlanacak faydanın artması ile işletme işlerliğinin devamlılığı sağlanabilmektedir. Bu doğrultuda makine ve ekipmanlar için yapılan güvenilirlik analizleri ile bakım faaliyetlerine yön verilerek fayda artışı sağlanabilmesi mümkündür.

Bu çalışma kapsamında bir tekstil işletmesindeki kritik dokuma makinesinin duruşsuz çalışabilme olasılıklarının belirlenebilmesi için vardiya bazında güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak dokuma makinesindeki otomasyon sisteminden DAS'ler elde edilmiş ve bu verilere göre trend analizi oluşturulmuştur. DAS verilerinin belirli bir trende sahip olması sebebiyle, HOPS'un özel bir durumu olan kuvvet yasasına modeline göre veriler analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda her bir vardiyada kritik dokuma makinesinin güvenilirliğinin yani duruşsuz çalışma ihtimalinin zamanla azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca vardiyalar arasında güvenilirlik değerlerinin de farklı olduğu görülmüştür. Dokuma makinesindeki duruş nedenlerinin otomasyon sistemiyle izlenebilmesi sayesinde dokuma operatörleri duruş nedenini belirlemek için zaman kaybetmemektedir. Ayrıca makine üzerinde yapılan uyarıcı görsel uygulamalar ile duruşlara müdahale süresi daha da kısaltılabilmektedir. Dokuma makinesindeki duruş yaşanma olasılığının bilinmesi bakım faaliyetlerinin daha etkin yönetilmesine girdi oluşturmaktadır. Ayrıca yaşanan duruş olasılığı makinenin kullanım ömrünün belirlenmesine ve yatırım kararının en doğru zamanda alınabilmesine fikir oluşturmaktadır. Bir vardiyadaki çalışma süresinin, farklı zaman dilimlerindeki duruş sayıları ve farklı zaman aralıklarındaki duruşsuz çalışma güvenilirliğindeki değer tahminlerine dayalı olarak önleyici bakım periyotlarının ayarlanması ile dokuma makinesindeki güvenilirlik düzeyinde artış sağlanacağı düşünülmektedir.



5. Kaynaklar

[1] TS IEC 60300-3-1

[2] Buğatekin, A. T., 2017. “Homojen Olmayan Poisson Süreci ile Bir Makinenin Güvenilirliğinin Test Edilmesi,” Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, cilt 29, sayı 1, s. 207-211.

[3] Vagenas, N., Runciman, N. and Clement, S.R., 1997. “A Methodology for Maintenance Analysis of Mining Equipment”, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, cilt.11, s. 33-40.

[4] Uzgören, N., Elevli, S., 2010. “Homojen Olmayan Poisson Süreci: Bir Maden Makinesinin Güvenilirlik Analizi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., cilt 25, sayı 4, s. 827-837.

[5] Wang P., Coit D. W., 2005. “Repairable Systems Reliability Trend Tests and Evaluation”, Annual Reliability and Maintainability Symposium, s.416-421.

[6] Louit D.M., Pascual R., Jardine A.K.S., 2009. “A Practical Procedure for The Selection of Time-To-Failure Models Based on The Assessment of Trends in Maintenance Data”, Reliability Engineering & System Safety, cilt. 94, sayı 10, s. 1618-1628.

[7] Kısaoğlu, Ö. D., 2010. “Orta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: I. Kumaş Hatalarının Kontrolü”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 16, sayı 3, s. 291-301.

BİR TEKSTİL İŞLETMESİNİN BOYAHANE BÖLÜMÜNDEKİ KRİTİK MAKİNELERİN ANALİZİ VE BAKIM PLANI ÖNERİSİ

¹Sıla Temel, ²Didem Türkmen, ³Onur Emre Kundakçı, ⁴Aşkın Güngör

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, sila.temel1251@gmail.com

² Endüstri Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, didemturkmen7@gmail.com

³ Ozanteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş., onur.kundakci@ozanteks.com.tr

⁴ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, askiner@pau.edu.tr

Özet

Bakım yönetim sisteminin temel hedefi; işletme bünyesinde yer alan kaynakların (insan, makine, tesis, donanım, malzeme, para) en etkin ve verimli şekilde kullanılmasını sağlamak, bakım personelinin çalışma verimini arttırmak, beklenen ve beklenmeyen arızaları sıfıra yaklaştırmaktır. Bu çalışmanın amacı, bir tekstil işletmesinin boyahane birimindeki kritik makineleri analiz etmek ve bu makineler için bir bakım planı oluşturmaktır. Kritik makinelerin tespit edilmesinde FMEA analizi ve Toplam Ekipman Etkinliğinden yararlanılmıştır. Belirlenen kritik makineler için bakım planlarının oluşturulması amacıyla, geçmiş verilerden yararlanılarak, makine duruşlarına neden olan arızaların dağılımları incelenmiştir. Elde edilen dağılımların periyodik bakım uygulamalarına uygun olduğu gözlemlenmiştir. Makine duruşlarına neden olmayan, fakat ilerleyen zamanlarda ortaya çıkabilecek küçük arızaların engellenmesine yönelik önleyici bakımlar da planlara dâhil edilmiştir. Çalışma, sektörel bir örnek sunarak uygulama alanının gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil, Boyahane, Periyodik Bakım, FMEA Analizi, Toplam Ekipman Etkinliği

1. Giriş

Bakım, varlıkların iyi durumlarının korunması ve devamının sağlanmasına yönelik çalışmaların tamamını kapsar. Sadece arızaya anında müdahale gibi “reaktif” değil, rutin muayene, periyodik bakım, koruyucu bakım, yenileme ve kondisyon izleme gibi “proaktif” görevler de bakım fonksiyonu içindedir [1]. Bakım fonksiyonu, üretim faaliyetlerine paralel olarak yürütülür ve çeşitleri şu şekilde tanımlanabilir:

Muayene: Makinenin çalışması durumunun kontrol edilmesidir.

Tamir Bakım (Acil Bakım – Onarım) (TB): Arıza oluşumu sonrası ilgili ekipmanı yeniden aktif hale getirmek için uygulanan bakım (tamir) çalışmalarıdır.

Periyodik Bakım: Klasik düzene oturtulmuş günlük, haftalık, aylık veya yıllık uygulanan bakım fonksiyonudur.

Koruyucu Bakım (KB): Muayene sonuçlarına ve istatistiki verilere dayanan bakım çalışmalarıdır.



Kestirimci Bakım (KESB): Ekipman çalışırken dönen parçalar üzerinde alınan termal, titreşim ölçüm değerleri, istatistiksel yöntemler ve eğilim çözümleme teknikleri kullanılarak makinede arıza oluşmadan tespit edilen ve gerekli bakım çalışmalarına yönlendiren yaklaşımdır [1].

Bakım fonksiyonlarını içeren bakım – onarım sistemleri; üretimin veya hizmetin gerçekleştirildiği tesis, hat, makine, teçhizat etkinliği ve verimliliğinin, belirlenmiş yönetim politikalarıyla teknik spesifikasyonlara uygun bir şekilde, yeterli düzeyde olmasını sağlamak üzere kurulur. Makine ve ekipmanın imalat veya hizmet sektöründe arızaya uğraması ya da durması; üretim kapasitesi, üretim maliyetleri, ürün ve hizmet kalitesi, iş gören ve müşteri güvenliği, müşteri tatmini gibi hususlarda üretim akışı, verimlilik ve maliyetler üzerinde doğrudan etkili olur [1].

Bu çalışmanın amacı, bir tekstil işletmesinin boyahane birimindeki kritik makinelerin belirlenmesi ve ilgili makineler için bakım planlarının geliştirilmesidir. Ayrıca, arızaların makinalarda ne gibi kayıplara yol açtığı tespit edilip, bakım çalışmalarının yönetiminin etkinliğinin artırılması da amaçlanmaktadır. Bakım prosedürleri doğrultusunda oluşturulan bakım planlarının plansız makina duruşlarının yarattığı üretim kayıplarının azaltılmasına katkı sağlanması beklenmektedir.

2. Metot

Uygulama, Denizli’de bir tekstil işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ilk adımı kritik makinelerin belirlenmesidir. Kritik makineler belirlenirken, boyahane birimi kendi içerisinde ürün gruplarına göre alt birimlere ayrılmıştır. Öncelikli olarak kritik arızalar, daha sonra kritik arızaların gerçekleştiği kritik birimler belirlenip o birimlerdeki hangi makinelerin kritik olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen makinelerin şu anda ne durumda olduğu göstermek adına her biri için Toplam Ekipman Etkinliği değeri hesaplanmıştır. Ayrıca hangi ürünlerinin hangi makinalardan geçtiğini, dar boğazı oluşturan makinelerin hangileri olduğunun tespiti için ise 1-0 matrisi oluşturulmuştur. Bu analizler sonucunda bakım çalışmalarının öncelikli hangi makinalara yöneltilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Geçmiş verilerden yararlanılarak, makinelerin durmalarına sebep olabilecek arızaların dağılımları incelenmiştir. Yapılan incelemeler ile birlikte ortaya çıkan dağılımların hangi bakım politikasına uygun olduğuna karar verilmiş bir yıllık bakım planları oluşturulmuştur. Makinaların durmasına sebep olmayan, fakat ilerleyen zamanlarda ortaya çıkabilecek ufak çaplı arızaların bakımları da bu plana dahil edilmiştir.

Çalışmada öncelikli kullanılan metot hata türü ve etkileri analizi (FMEA) yöntemi; sistem ve ürün tasarımı, üretim süreci ve bakım faaliyetleri tasarımında kullanılacak en etkileyici yöntem olup doğru uygulanması halinde firmalara oldukça fazla yarar getirecek bir kalite tekniği olarak ön plana çıkmaktadır. Yöntemin uygulaması sırasındaki temel hedef, olası hatanın sebebinin dolayısı ile hatanın etkisinin minimuma indirilmesidir [2].

FMEA; tasarım, proses, sistem ve hizmet konularına odaklanarak olası hataları, yanlışları ve problemleri tüketiciye ulaşmadan önce tespit edip, tanımlayıp yok etmeyi amaçlayan bir mühendislik tekniğidir. FMEA tehlikelerin tanımlanması ve risklerin değerlendirilmesinde kullanılan pratik yöntemlerden birisi olup ekip çalışmasını gerekli kılmaktadır [3].

Standart FMEA sürecinde hata türlerinin oluşum, şiddet ve tespit edilebilme değerlendirmeleri şu şekilde gösterilebilir:

Şiddet (A) Değerini Belirleme: Şiddet, olası hatanın müşteriye etkileyen sonuçlarının analizidir [4]. Hatanın şiddeti etkiye karşı gelen değerdir ve aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Şiddet değerleri, hatanın müşteri üzerindeki etkisinin büyüklüğüne göre değerlendirilir. FMEA ekibi RÖS hesaplamalarında uygulamak üzere belirlediği hata çeşidine istinaden 1-10 arasında bir değer seçerek RÖS değerini oluşturan şiddet faktörünü belirler.

Oluşum (O) Değerini Belirleme: FMEA çalışmalarında hatanın meydana gelme olasılığının değeri için çeşitli olasılık aralıklarının olduğu bir tabloda yararlanılır [4]. Oluşum değeri, hatanın oluşma sıklığına göre değerlendirilir. Bu anlayışa paralel olarak, oluşturulan FMEA ekibi RÖS hesaplamalarında kullanmak üzere belirlediği hata türüne istinaden, 1-10 arası bir değer seçerek risk öncelik katsayısını oluşturan olasılık faktörünü belirler.

Tespit (S) Değerini Belirlenmesi: Tespit edilebilirlik, mevcut kontroller sonucunda hatanın belirlenerek müşteriye ulaşmasını engelleme derecesidir başka bir deyişle işletmenin hatayı tespit edebilme yeteneğidir [4]. Tespit edilebilirlik, hatanın saptanabilme derecesine göre değerlendirilir. Oluşturulan FMEA ekibi RÖS hesaplamalarında kullanmak üzere belirlediği hata türüne istinaden 1-10 arası bir değer seçerek RÖS'ü oluşturan tespit edilebilirlik faktörünü belirler.

Risk Öncelik Puanı (RÖS) Hesaplanması: Kritiklik derecesini belirleyen değer, RÖS değeridir. Risk Öncelik Sayısı, hatanın belirlenen olası oluşum değeri (O), hatanın ağırlık, ya da şiddet değeri (A) ve hatanın tespit edilebilirlik (S) değerleri kullanılarak elde edilir. RÖS değeri formülü şu şekildedir:

$$RÖS = O \times A \times S \quad 2.1.$$

Literatürde, FMEA uygulamalarında RÖS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları şu ölçütlere göre yapılmaktadır:

- RÖS < 40 ise önlem almaya gerek yoktur.
- $40 \leq RÖS \leq 100$ önlem alınmasında fayda vardır.
- RÖS > 100 ise mutlaka önlem alınması gerekir.

FMEA yönteminden sonra belirlenen kritik makinelerin performans değerlerini incelemek üzere toplam ekipman etkinliği (TEE) yöntemi kullanılmıştır. Toplam ekipman etkinliği (TEE) yöntemi; işletmede kullanılan ekipmanların verimliliğini tespit etmek için kullanılan bir ölçüt olarak ifade edilmektedir. Toplam ekipman etkinliği, makine ve tesislerin hangi etkinlikte kullanıldığını ölçen, yalın üretim ve toplam verimli bakım uygulamalarının başarısında anahtar rol oynayan önemli bir parametredir [5]. Toplam ekipman etkinliği kavramı; üretilen kaliteli ürün oranı, makinelerin uygunluğu ve performans etkinliği kavramlarıyla ilişkilidir [6]. Bu kapsamda hesaplanması gereken değerler ve bunlarla ilişkili formüller şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \text{Üretim Zamanı} &= \text{İşleme süresi} - \text{Planlı duruş süresi} & 2.2. \\ \text{Net Üretim Zamanı} &= \text{İşleme süresi} - \text{Planlı duruş süresi} - \text{Plansız duruş süresi} & 2.3. \\ \text{Ekipman Kullanım Değeri} &= [\text{Üretim zamanı} / \text{Net üretim zamanı}] \times 100 & 2.4. \\ \text{Performans Etkinliği} &= [(\text{Teorik çevrim zamanı} \times \text{Üretilen hatasız ürün sayısı} \times \text{Üretim zamanı}) \times 100] & 2.5. \\ \text{Kaliteli Ürün Oranı} &= [(\text{Üretilen ürün miktarı} - \text{Üretilen hatalı ürün miktarı} - \text{Yeniden işlenen ürün miktarı}) / \text{Üretilen ürün miktarı}] \times 100 & 2.6. \\ \text{Toplam Ekipman Etkinliği} &= \text{Ekipman Kullanım Değeri} \times \text{Performans Etkinliği} \times \text{Kaliteli Ürün Oranı} & 2.7. \end{aligned}$$

Belirlenen makineler için bir bakım planının oluşturulması amacıyla her makinenin kendi kritik arızaları kullanılarak **arızalar arası geçen süreleri** (AAOS) hesaplanmıştır. AAOS, bir sistemde 2 arıza arasında geçen ortalama süredir. Arızalar arası geçen süre değerlerinin, Arena simülasyon yazılımının Input Analyzer modülü yardımı ile dağılımları belirlenmiştir. Belirlenen bu dağılımlardan koruyucu bakım planlamasına uygun olan arızalar için arızaların oluştuğu makinelere periyodik bakım planları öngörülmüştür.

3. Uygulama

Bu uygulamada ilk aşama olan kritik makinelerin belirlenmesi için boyahane bölümünün 4 ana birimi incelenmiştir. Her bir birim için FMEA Analizi gerçekleştirilmiştir. Son 3 yılda oluşan 11.446 arızadan 382 arıza grubu belirlenmiş daha sonra kritik arızalar belirlenip, o arızaların hangi makinelerde gözlemlendiği tespit edilmiştir. Potansiyel hata türleri belirlenirken fabrikanın son 3 yıllık arıza verilerinden yararlanılmıştır. Son 3 yılda birimlerde hangi arızaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Oluşan arızaların nedenleri ve etkileri, birim sorumluları yardımıyla belirlenmiştir. Arızaların şiddet, oluşum ve tespit derecelendirilmesi ile birlikte risk öncelik sayılarının değerlendirilmiş, RÖS değeri 100'den büyük olan arızalar kritik olarak belirlenmiştir. Arızalar RÖS değerlerine göre sıralandığında kritik arızaların kumaş boyama biriminden HT, Santrifüj ve Kurutma alt birimlerinde gerçekleştiği görülmüştür. HT, santrifüj ve kurutma biriminde meydana gelen kritik arızaların hangi makinelerde gözlemlendiği grafik yardımıyla ortaya konmuştur. Grafikte çıkan sonuçlara göre HT alt biriminde PMM455, PMM303 ve PMM304 makinelerinin; santrifüj alt biriminde SANT1, kurutma alt biriminde ise RAMÖZ3 makinesinin kritik



makinelere olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 1’de uygulamanın küçük bir bölümü örneklenmiştir.

Tablo 1. Örnek FMEA Tablosu

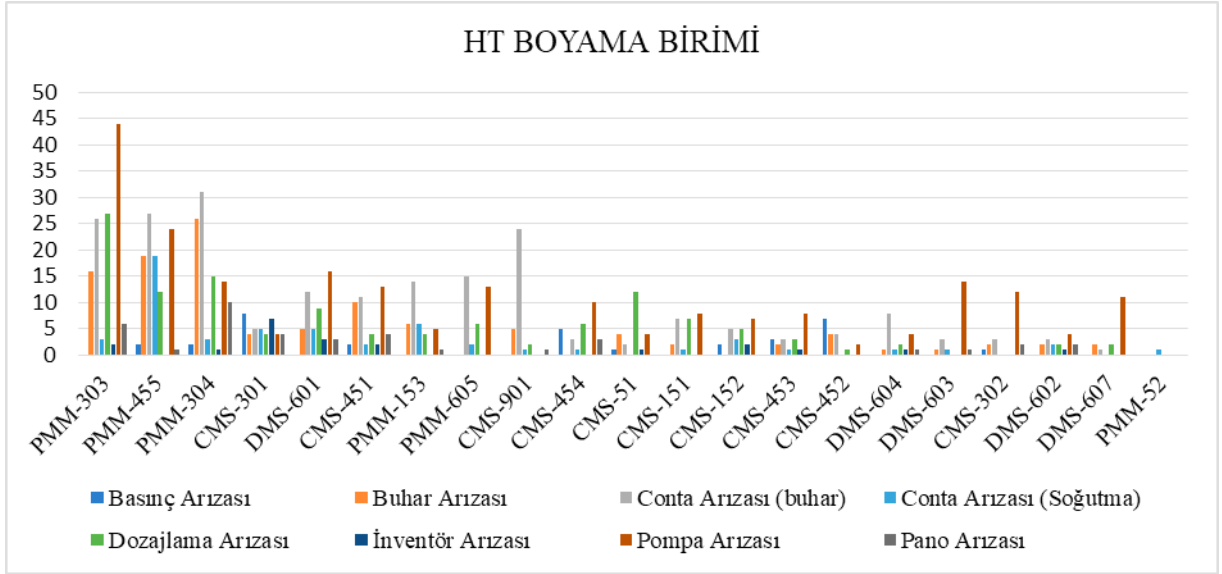
FMEA								
Birimler	Potansiyel Hata	Hata Modunun Potansiyel Etkileri	A	Hatanın Potansiyel Sebep Mekanizmaları	O	Hata Önleyici Prosesler	S	R.Ö.S.
HT	Basınç Arızası	Makinenin işlem görememesi	8	Emniyetin açmaması, buhar vanasının kaçırması	4	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	4	128
	Buhar Arızası	Makine için gereken ısısının sağlanamaması	8	Vananın keçe ve yayının zarar görmesi	5	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	3	120
	İnventör Arızası	Makinenin işlem görememesi	7	Elektriksel dalgalanmalar ve nemli ortam oluşması	4	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	4	112
	Dozajlama Arızası	Makinenin maddeyi almaması gereken zamanda alması	9	Pompanın çalışmaması veya vananın açmaması	7	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	4	252
Santrifüj	Santrifüj freni kopması, tutmaması	Makinenin durdurulmaması	7	Fren balatasının bağlandığı sacın kırılması	7	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	4	196
	Göbek kasnağının çıkması, düşmesi, kayışının kopması	Makinenin çalışmaması	9	Kasnağı tutan civatanın kırılması	5	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	3	135
Türban	İnventör Arızası	Makinenin çalışmaması	8	Elektriğin dengesiz gelmesi	6	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	4	192
	Fan Arızası	Malın dengesiz savrulması ya da hiç savrulmaması	8	Motorun bakımının yapılmaması	8	Hata önleyici proses bulunmamaktadır.	3	192

Örnek olarak HT alt biriminde oluşan kritik arızalar ve bu arızaların yoğun gerçekleştiği makineler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kritik Arızalar Tablosu

Kritik Arızalar	PMM-303	PMM-455	PMM-304
Basınç	0	2	2
Buhar	16	19	26
Conta (buhar vanası)	26	27	31
Conta (soğutma vanası)	3	19	3
Dozajlama	27	12	15
İnventör	2	0	1
Pompa	44	24	14
Pano	6	1	10
TOPLAM	124	104	102

HT alt biriminde oluşan kritik arızaların alt birimdeki tüm makinelere göre dağılımı Şekil 1’deki gibidir.



Şekil 1 HT Boyama Birimi Grafiği

Boyahane bölümünde gerçekleştirilen FMEA Analizi sonucunda kritik makineler, HT alt birimindeki PMM303, PMM304, PMM455 makineleri, santrifüj alt birimindeki SANTI, Kurutma alt birimindeki RAMÖZ3 ve birimler arası ortak kullanılan DIKISMAK makinesi olarak belirlenmiştir. Bu makinelerden yalnızca SANTI makinesine eldeki verilerin yetersizliği nedeniyle Toplam Ekipman Etkinliği uygulanamamıştır. TEE, 2017 yılının ilk 6 ayının verilerini içermektedir. İşletmede günde 3 vardiya ve haftanın 6 günü çalışılmaktadır. Her vardiya 8 saatten oluşmaktadır. Bu süre içerisinde fabrikada planlı duruş mevcut değildir.

PMM 455 Makinası İçin Toplam Ekipman Etkinliği:

2017 yılının ilk 6 ayı baz alınarak hesaplanan toplam çalışma süresi dakika bazında 224.640 dakikadır.

Kullanılabilirlik

Toplam Çalışma Süresi = 224.640 dakika

Toplam Plansız duraklamalar = 77.417,6 dakika

Net Üretim Zamanı: (224.640 - 77.417,6) = 147.222,4 dakika

Kullanılabilirlik: [(Net Üretim Zamanı/Üretim Zamanı)] *100 = 65,537

Performans Etkinliği

Üretim zamanı: 224.640 dakika

Teorik çevrim zamanı: 1,68 dk /birim

Üretilen hatasız ürün sayısı: 116.301 ton

Performans Etkinliği: [(Üretilen Miktar *Teorik Çevrim Zamanı* Üretim Zamanı)] *100 = 86,9771

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli ürün oranı: [(Üretilen miktar-Hatalı miktar – Yeniden işlenen miktar) / (Üretilen miktar)] *100 = 92,8418

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği= Kullanılabilirlik *Performans Etkinliği* Kalite Seviyesi

Toplam Ekipman Etkinliği= (0,65537*0,869771*0,928418) *100

Toplam Ekipman Etkinliği= %52,9219

PMM 303 Makinası İçin Toplam Ekipman Etkinliği:

Kullanılabilirlik

Toplam Çalışma Süresi = 224.640 dakika

Toplam Plansız duraklamalar = 51.347dakika



Net Üretim Zamanı: $(224.640 - 51.347) = 173.293$ dakika

Kullanılabilirlik: $[(\text{Net Üretim Zamanı} / \text{Üretim Zamanı}) * 100] = 77,1425$

Performans Etkinliği

Üretim zamanı: 224.640 dakika

Teorik çevrim zamanı: 1,68 dk /birim

Üretilen hatasız ürün sayısı: 113.795,8 ton

Performans Etkinliği: $[(\text{Üretilen Miktar} * \text{Teorik Çevrim Zamanı} * \text{Üretim Zamanı})] * 100 = 85,10372$

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli ürün oranı: $[(\text{Üretilen miktar} - \text{Hatalı miktar} - \text{Yeniden işlenen miktar}) / (\text{Üretilen miktar})] * 100 = 90,483$

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği= Kullanılabilirlik * Performans Etkinliği* Kalite Seviyesi

Toplam Ekipman Etkinliği= $(0,771425 * 0,8510372 * 0,90483) * 100$

Toplam Ekipman Etkinliği= %59,4031

PMM 304 Makinası İçin Toplam Ekipman Etkinliği:**Kullanılabilirlik**

Toplam Çalışma Süresi =224.640 dakika

Toplam Plansız duraklamalar = 70.010,5 dakika

Net Üretim Zamanı: $(224.640 - 70.010,5) = 154.629,5$ dakika

Kullanılabilirlik: $[(\text{Net Üretim Zamanı} / \text{Üretim Zamanı})] * 100 = 68,8344$

Performans Etkinliği

Üretim zamanı: 224.640 dakika

Teorik çevrim zamanı: 1,68 dk /birim

Üretilen hatasız ürün sayısı: 116.525,1 ton

Performans Etkinliği: $[(\text{Üretilen Miktar} * \text{Teorik Çevrim Zamanı} * \text{Üretim Zamanı})] * 100 = 87,1448695$

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli ürün oranı: $[(\text{Üretilen miktar} - \text{Hatalı miktar} - \text{Yeniden işlenen miktar}) / (\text{Üretilen miktar})] * 100 = 93,0481$

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği= Kullanılabilirlik * Performans Etkinliği* Kalite Seviyesi

Toplam Ekipman Etkinliği= $(0,688344 * 0,871448695 * 0,930481) * 100$

Toplam Ekipman Etkinliği= %55,8155

RAMÖZ3 Makinası İçin Toplam Ekipman Etkinliği:**Kullanılabilirlik**

Toplam Çalışma Süresi =224.640 dakika

Toplam Plansız duraklamalar = 59.735,4 dakika

Net Üretim Zamanı: $(224.640 - 59.735,4) = 164.904,6$ dakika

Kullanılabilirlik: $[(\text{Net Üretim Zamanı} / \text{Üretim Zamanı})] * 100 = 73,4084$

Performans Etkinliği

Üretim zamanı: 224.640 dakika

Teorik çevrim zamanı: 0,11 dk /birim

Üretilen hatasız ürün sayısı: 1.755.187,2ton

Performans Etkinliği: $[(\text{Üretilen Miktar} * \text{Teorik Çevrim Zamanı} * \text{Üretim Zamanı})] * 100 = 85,9467$

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli ürün oranı: $[(\text{Üretilen miktar} - \text{Hatalı miktar} - \text{Yeniden işlenen miktar}) / (\text{Üretilen miktar})] * 100 = 93,34470$

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği= Kullanılabilirlik * Performans Etkinliği* Kalite Seviyesi

Toplam Ekipman Etkinliği= $(0,734084 * 0,859467 * 0,9334470) * 100$

Toplam Ekipman Etkinliği= %58,8931

DİKİŞMAK Makinası İçin Toplam Ekipman Etkinliği:

Kullanılabilirlik

Toplam Çalışma Süresi = 224.640 dakika

Toplam Plansız duraklamalar = 68.580,1 dakika

Net Üretim Zamanı: (224.640 – 68.580,1) = 156.059,9 dakika

Kullanılabilirlik: [(Net Üretim Zamanı/Üretim Zamanı)] * 100 = 69,4711

Performans Etkinliği

Üretim zamanı: 224.640 dakika

Teorik çevrim zamanı: 0,22 dk /birim

Üretilen hatasız ürün sayısı: 846.458,56ton

Performans Etkinliği: [(Üretilen Miktar * Teorik Çevrim Zamanı * Üretim Zamanı)] * 100 = 82,8975

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli ürün oranı: [(Üretilen miktar-Hatalı miktar – Yeniden işlenen miktar) / (Üretilen miktar)] * 100 = 82,21436

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği= Kullanılabilirlik * Performans Etkinliği* Kalite Seviyesi

Toplam Ekipman Etkinliği= (0,694711*0,828975*0,8221436) * 100

Toplam Ekipman Etkinliği= %47,3471

Makinelerin performanslarının ne durumda olduğunu göstermek adına bu makinelere uygulanan Toplam Ekipman Etkinliği ve ideal değerlerin karşılaştırılması Tablo 3 ve Tablo 4 'deki gibidir.

Tablo 3. TEE kavramlarının uygulamada elde edilen değerleri ve standart değerleri

Makine	Makine Uygunluğu Mevcut Değeri	Makine Uygunluğu Standart Değeri	Performans Etkinliği Mevcut Değeri	Performans Etkinliği Standart Değeri	Kaliteli Ürün Oranı Mevcut Değeri	Kaliteli Ürün Oranı Standart Değeri
PMM455	65%	90% ve üzeri	86%	95% ve üzeri	92%	99% ve üzeri
PMM303	77%		85%		90%	
PMM304	68%		88%		93%	
RAMÖZ3	73%		85%		93%	
DİKİŞMAK	69%		82%		82%	

Tablo 4. Elde edilen TEE Değeri ve standart TEE değeri

Makine	TEE Değeri	Standart TEE Değeri
PMM455	52%	85% ve üzeri
PMM303	59%	
PMM304	55%	
RAMÖZ3	58%	
DİKİŞMAK	47%	

Uygulamanın ikinci aşamasında tespit edilen kritik makinelere öngörülen bakım planları belirlenmiştir. Her kritik makinenin kritik arızaları baz alınarak öncelikle arızalar arası ortalama geçen süreler hesaplanır ve bu veriler kullanılarak arıza dağılımları belirlenir. AAOS hesaplanırken, zaman çizgisinde başlangıç 01.01.2016 olarak alınmıştır. Sonrasındaki ilk ve ikinci arıza için ilk AAOS değeri oluşmuştur. Örneğin kurutma alt biriminde RAMÖZ3 makinesinde gerçekleşen invertör arızası için AAOS değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5. RAMÖZ3 invertör arızası için AAOS değerleri**

İnvertör Arızası			
Arıza (tarih)	Arıza (saat)	AAOS (Saat)	Saat bazında arıza oluşumu
1.01.2016	00:00:00		
25.01.2016	13:12:39		517,21
30.05.2016	14:03:34	2616,84	3134,05
2.08.2016	14:45:51	1344,70	4478,76
26.07.2017	10:15:25	7387,49	11866,25
7.08.2017	18:53:20	272,63	12138,88
6.09.2017	09:38:40	638,75	12777,64
20.10.2017	14:22:51	940,73	13718,38
28.10.2017	00:52:04	178,48	13896,86
27.11.2017	13:33:26	636,68	14533,55
8.01.2018	11:36:00	886,04	15419,6
19.01.2018	18:00:00	270,4	15690
22.01.2018	11:45:00	65,75	15755,75
5.03.2018	22:51:00	899,1	16654,85
2.04.2018	12:42:00	589,85	17244,7
1.06.2018	17:21:00	1276,65	18521,35
8.08.2018	20:15:11	1418,90	19940,25
8.08.2018	22:14:19	25,98	19966,23
27.08.2018	13:19:25	399,08	20365,32
7.09.2018	07:29:11	258,16	20623,48
10.09.2018	10:15:40	74,77	20698,26
18.10.2018	02:11:01	807,92	21506,18
10.11.2018	00:18:23	502,12	22008,30
4.12.2018	15:22:46	519,07	22527,37
18.12.2018	00:13:01	296,8375	22824,21
24.12.2018	17:03:11	160,83	22985,05

Tüm kritik makineler ve kritik arızalar için AAOS değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin dağılımları Input Analyzer yardımıyla belirlenmiştir. Bir makinedeki gerçekleşen bir arızanın dağılımı ile elde edilen ortalama, kritik makinenin arızaya geçecek ortalama zamanını göstermektedir. Tablo 6'de kritik makine ve arızalar için bulunan dağılımlar ve bakım periyodları verilmiştir.

Tablo 6. AAOS dağılımları ve bakım periyodları

Makineler	Arızalar	AAOS Dağılımları ve Parametreleri	Örnek Ortalama (saat)	Bakım Periyodları (gün)	Bakım Kodları
PMM303	Pompa	9 + WEIB(416, 0.747)	511	21	B1
PMM455	Pompa	24 + EXPO(914)	938	39	B1
PMM303 PMM304 PMM455	Buhar	6 + GAMM(573, 0.731)	425	17	B1
	Dozajlama	29 + WEIB(391, 0.743)	500	20	B2
SANT1	Fren	24 + WEIB(148, 0.588)	242	10	B1
	Kayış	42 + EXPO(843)	845	35	B2
RAMÖZ3	İnvertör	25 + WEIB(775, 0.776)	936	39	B1
	Kapak	25 + WEIB(617, 0.736)	778	32	B2
	Palet	24 + WEIB(367, 0.682)	486	20	B3
	Hava Hortumu	24 + EXPO(472)	496	20	B4
DİKİŞMAK	Dikiş	25 + LOGN(375, 1.53e+003)	252	10	B1
	İğne	3 + LOGN(162, 260)	157	6	B2
	Kablo	4 + EXPO(368)	372	15	B3
	Kayış	26 + LOGN(723, 3.93e+003)	359	14	B4

AAOS dağılımları weibull, üstel, gamma, normal ve lognormal dağılımlar ile modellenebilir. Bu dağılımlar, periyodik bakım planlaması için uygun dağılımlardır. Bu nedenle tesise önerilebilecek bakım politikası, periyodik bakım politikasıdır. Kritik makineler için öngörülen, belirlenen kritik arıza oluşmadan önce bakım çalışmalarının gerçekleşmesidir. Elde bulunan geçmişe dönük arıza verileri baz alınarak oluşturulan periyodlar ile iki bakım periyodu arasında oluşabilecek ani arızaların minimizasyonunun sağlanması amaçlanmıştır. Tüm kritik makinelerin kritik arızaları için bakım periyodlarına bağlı olarak bakım çizelgeleri oluşturulmuştur. Örnek olarak bakım periyodları belirlenen RAMÖZ3 makinesinin palet arızası için oluşturulan bakım çizelgesinin bir bölümü Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. RAMÖZ3 Palet arızası bakım çizelgesi

Makine	Arıza Türü	Bakım Tarihleri	Bakım Kodu	Bakım Türü	Bakım Talimatları
RAMÖZ3	Palet Problemi	15.01.2020	B3	Paletlerin Yıkınması	<ul style="list-style-type: none"> •Bütün paletler sökülür ve uygun bir kaba yerleştirilir. •Palet yıkama kimyasalı 1-20 oranında sulandırılır. •Kabin buhar ile ısıtılması sağlanır ve 30 dakika kaynatılır. •Kaynama işlemi bittikten sonra üzerinde hiçbir kimyasal kalmayacak şekilde durulanır.
RAMÖZ3	Palet Problemi	4.02.2020	B3	Paletlerin Yıkınması	<ul style="list-style-type: none"> •Bütün paletler sökülür ve uygun bir kaba yerleştirilir. •Palet yıkama kimyasalı 1-20 oranında sulandırılır. •Kabin buhar ile ısıtılması sağlanır ve 30 dakika kaynatılır. •Kaynama işlemi bittikten sonra üzerinde hiçbir kimyasal kalmayacak şekilde durulanır.
RAMÖZ3	Palet Problemi	24.02.2020	B3	Paletlerin Yıkınması	<ul style="list-style-type: none"> •Bütün paletler sökülür ve uygun bir kaba yerleştirilir. •Palet yıkama kimyasalı 1-20 oranında sulandırılır. •Kabin buhar ile ısıtılması sağlanır ve 30 dakika kaynatılır. •Kaynama işlemi bittikten sonra üzerinde hiçbir kimyasal kalmayacak şekilde durulanır.

**Tablo 8.** Tüm kritik makineler için hazırlanan 1 aylık bakım planı

MAKİNE TARİH	PMM303	PMM455	ORTAK	SANTI	RAMÖZ3	DIKIŞMAK
1.01.2020						
2.01.2020						
3.01.2020						
4.01.2020						
5.01.2020						
6.01.2020						B2
7.01.2020						
8.01.2020						
9.01.2020						
10.01.2020				B1		B1
11.01.2020						
12.01.2020						
13.01.2020						
14.01.2020						
15.01.2020						B3
16.01.2020						B4
17.01.2020			B1			
18.01.2020						
19.01.2020						
20.01.2020			B2		B3/B4	
21.01.2020	B1					
22.01.2020						
23.01.2020						
24.01.2020						
25.01.2020						
26.01.2020						
27.01.2020						
28.01.2020						
29.01.2020						
30.01.2020						
31.01.2020						
1.02.2020					B2	

Tablo 6’da verilen arızalar ve arızalara uygulanacak bakım kodları, oluşturulan bakım planının 1 aylık periyodunda bakım yapılması gereken makineler ve bakım tarihlerine göre Tablo 8’de gösterilmiştir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada bir tekstil işletmesine ait boyahane bölümü içindeki potansiyel hatalar tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen FMEA analizi sonucunda RÖS değeri 100'den büyük olan hatalar kritik hata olarak belirlenmiştir. Bu hatalar HT birimi, Santrifüj birimi ve Kurutma biriminde gerçekleşmektedir. Kritik makinelerin hangileri olduğunu tespit etmek için kritik hataların hangi makinelerde gözlemlendiği grafik yardımıyla ortaya konulmuştur. Sonuç olarak HT birimindeki PMM455, PMM303, PMM304, DİKİŞMAK, Santrifüj birimindeki SANT1, Kurutma birimindeki RAMÖZ3'ün kritik arızaları gösteren kritik makineler olduğu sonucuna varılmıştır. Uygulamanın bakım planlaması aşamasında ise, öncelikle bütün makinelerin tüm arızaları için dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Fakat veri yetersizliğinden dolayı bazı çalışma prensipleri aynı olan makineler için ortak oluşan bazı arızaların geçmişe dönük verileri ortak bir zaman çizelgesinde alınmıştır. Makinelerin periyodik bakım politikasına uygun oldukları; oluşturdukları dağılımlar ile kanıtlanmıştır. Dağılımlar ile elde edilen ortalamalar, kritik makinelerin arıza yapmadan geçecek ortalama zamanlarını göstermektedir. Ayrıca bu işlemler, FMEA analizinde oluşma sıklıkları yüksek, şiddetleri daha düşük değerlendirilen arızalar için de tekrarlanmıştır. Burada amaç, küçük periyotlara bağlı arızaların bakım planlanmasının oluşturulmasıdır. Diğer değerlendirmeler ile birlikte sonuç olarak, tüm kritik makineler ve arızalar için periyodik bakım planları oluşturulmuştur. Çalışmanın tekstil sektöründe uygulama örneği sunarak literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir.

5. Kaynakça

- [1] Köksal, M. 2015. Bakım Planlaması.
- [2] Eryürek, Ö.F. ve Tanyaş, M. 2003. "Hata Türü ve Etkileri Analizinde Maliyet Odaklı Yeni Bir Karar Verme Yaklaşımı", İTÜ Dergisi
- [3] [Sharma, R.](#) , [Kumar, D.](#) ve [Kumar, P.](#) 2005. "Bulanık dilbilimsel modelleme kullanılarak sistematik arıza modu etki analizi (FMEA)", [Uluslararası Kalite ve Güvenilirlik Yönetimi Dergisi](#) , vol. 22, no. 9, p. 986-1004.
- [4] Ford Motor Company, 1988; Field ve Swift, 1996; Mil-Std, 1980.
- [5] Muchiri, P. ve Pintelon, L. 2008. "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE)"
- [6] Temiz, İ. , Atasoy, E. ve Sucu, A. 2010. "Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama", Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi" , cilt 12, sayı 4, s. 49-60.



CIVATA BAĞLANTILARININ BAKIM MÜHENDİSLİĞİNDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

¹Dr. Fatih Güven

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

fatihguven@akdeniz.edu.tr

Özet

Cıvata bağlantıları, çözülebilir bir bağlantı şekli olmasından dolayı makinelerin bakım gerektiren parçalarının montajında sıklıkta kullanılmaktadır. Makine parçalarının bakımı için söküm takım işlemlerinde cıvataların tipi, uzunluğu, çapı ve sayısı önemli bir rol oynamaktadır. Planlanan bakım süresinin azaltılması için henüz tasarım aşamasında cıvata bağlantısının erişilebilirliği, kullanılacak cıvata sayısının azaltılması, takım bulunabilirliği açısından seçilen cıvatanın tipi, bağlantının uzunluğunun enerji sarfiyatına etkisi dikkate alınarak cıvata bağlantısına karar verilmiştir. Makinenin çalışma koşullarına göre seçilen çözülme emniyeti sistemi de bakım süreci üzerinde hem çalışan sağlığı hem de enerji açısından dikkate alınması gereken bir diğer önemli konudur. Bu çalışma kapsamında cıvata bağlantılarının bakım sürecine ve bakım personeline olan etkileri incelenerek sık karşılaşılan sorunlar için çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Tasarım aşamasında bakım planlamasının doğru bir şekilde yapılması ile bakım maliyetini önemli ölçüde düşürmek mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bakım yönetimi, Toplam üretken bakım, Optimizasyon

1. Giriş

Sistemin fonksiyonunu belirli bir düzeyde gerçekleştirmesi beklenir. Bunun için zaman zaman bakım yapılması gerekmektedir. Bakım işlemi genel olarak kontrol, temizlik, onarım ve yenileme faaliyetlerinden oluşur. Bakım işleminin, üretimin plansız durmasına ve verimlilik kaybına engel olacak şekilde uygulanması, sistem elemanlarının ömrünü uzatması ve üretilen ürünlerin kalitesini korumaya yardım olması beklenir. Bakım ve üretim maliyetini dengelemek için muhtemel arızalar oluşmadan önlemek veya arızayı geciktirmek mümkün olabilmektedir. Ancak bakım doğru şekilde uygulanmadığında maliyet artışına sebep olabilmektedir. Bilindiği gibi bakım arıza anında bakım ve önleyici bakım olarak ikiye ayrılmaktadır. Önleyici bakım için belirli zamanlarda temizleme, yağlama ve bazı parçaların değişimi ile periyodik olarak yapılabildiği gibi kestirimci bakım uygulamaları ile sadece arızası öngörülen parçayla ilgilenilerek gereksiz parça değişimi sayısı azaltılabilmektedir.

Bakım tekniğinde karşılan sorunların temel nedeni olarak makinenin tasarım aşamasında bakımının öngörülemediği olduğu söylenebilir. Bunun için uygulanan yaklaşımlardan biri de “Bakım için Tasarım”dır [1]. Sistemler genellikle sistemi oluşturan alt sistemlerin ayrı ayrı montajlanıp bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. Cıvata bağlantısı, mon-

taj atölyesinin imkânları ve konforu ile kolay bir şekilde yapılabilirken, servis yerinde bakım personelinin imkânları doğrultusunda zorlayıcı olabilmektedir. Bu durumda bakım personelinin güvenliği açısından olumsuz sonuçlara sebep olmakla birlikte bakım için harcanan sürenin artması riski de bulunmaktadır.

Cıvata bağlantıları, çözülebilir ve standartlaşmış bir bağlantı şekli olması sebebiyle sık bakım gerektiren makine parçalarının sökülüp takılabilmesi adına yaygın olarak tercih edilmektedir. Tasarımcı cıvata bağlantısının tasarımı için cıvatanın tipine, çapına, kalitesine, uzunluğuna ve kullanılacak cıvata sayısına karar verir. Cıvatanın özellikleri kadar cıvata yuvasının da şekillendirilmesi bakım açısından önemlidir. Bağlama elemanlarının seçimi için analitik ağ süreci [2] ve çözme gücü [3] gibi destekleyici yaklaşımlar da mevcuttur. Bu çalışmada cıvata bağlantıları için bakım açısından uygun olan tasarımlar sunulmuştur.

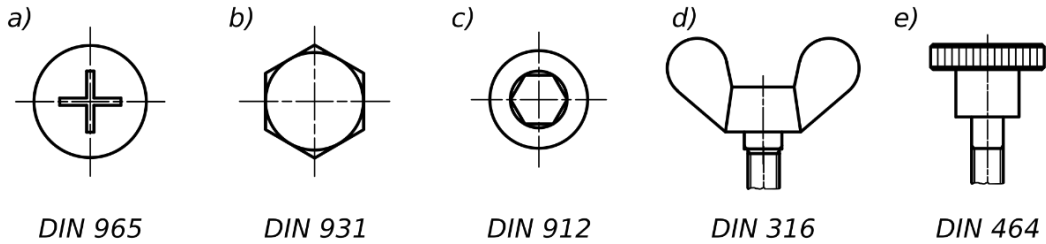
2. Bakım İçin Cıvata Bağlantısı Tasarımı

Cıvata bağlantısının şekillendirilmesi ve cıvata özelliklerinin belirlenmesi aşamasında aşağıda bahsi geçen hususlara dikkat edilmesi bakım yönetimi açısından önemli olup bakım için harcanan zamanı ve bakım maliyetini düşürmeye yardımcı olacaktır. Genel olarak bir cıvatanın montajı tutma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinden oluşmaktadır. Cıvata özellikleri bu eylemler sırasında oluşan zaman ve emek maliyetini etkilemektedir.

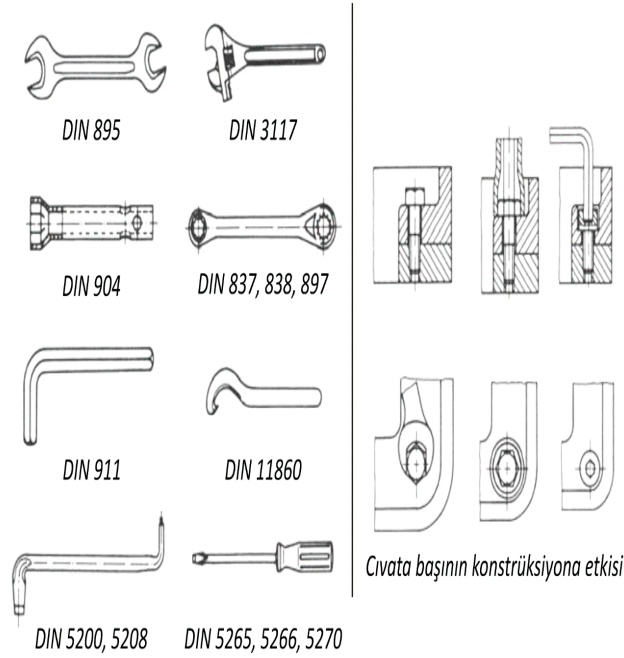
2.1 Cıvatanın tipi

Cıvatanın tipi, cıvata esnekliğini ve montaj için kullanılacak ekipmanı belirlemektedir. Cıvatanın fonksiyonun yerine getirmesi için gerekli öngerilme kuvveti ile sıkma torku arasında doğrusal bir ilişki vardır. Buna göre öngerilme verebilmek için gereken torkun sıkma yöntemi ile uyumlu olması gerekir. Şekil 1'de bazı cıvataların baş şekilleri ve Şekil 2'de yaygın olarak kullanan anahtar türleri görülmektedir. Cıvatanın konumu gereği özel ekipmanların ulaşamayacağı durumlarda bakım personel sökme takma işini anahtar kullanarak kol kuvveti ile yapmaya çalışacaktır. Dolayısıyla sıkma torkunun, kullanılan anahtar ve kol kuvveti ile verilebilir olması bakım esnasındaki süre kaybını ve yetersiz öngerilmeden kaynaklanan ve sistemin durmasına sebep olacak sorunları önleyecektir. Ayrıca yapılan çalışmalarda kullanılan cıvata tipinin söküm zamanı üzerinde etkisi olduğu görülmüştür [3]. Bazı durumlarda yetkisiz müdahaleyi engellemek için farklı tipte ve kolay sökülemeyecek cıvatalar tercih edilebilir.

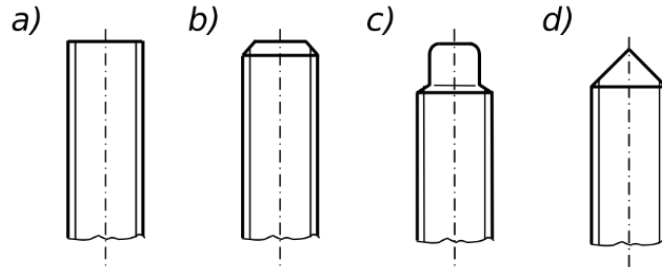
Öngerilmenin küçük ve önemsiz olduğu yerlerde alet kullanmadan sökme ve takmaya imkân veren kelebek ve tırtır başlı cıvatalar kullanarak zaman kazanılabilir (Şekil 1d-e). Cıvatanın uç şekli (Şekil 3) ise cıvatanın yerine oturtulması için harcanan zamanı etkilemektedir. Pilot uçlu veya konik uçlu cıvataları yerlerine oturtmak daha kolay iken standart veya küt uçlu cıvatalarda zaman kaybı oluşabilmektedir [4]. Özellikle görülemeyen cıvata yuvalarına pilot uçlu cıvata ile kolay yerleştirme yapılabilir.



Şekil 1. Cıvata baş şekilleri için bazı örnekler



Şekil 2. Cıvataların söküm takım işleminde kullanılan anahtarlar [5]



Şekil 3. Cıvataların bazı uç şekilleri; küt uç (a), standart uç (b), pilot uç (c), konik uç (d)

2.2. Cıvata çapı

Yerden kazanmak için mümkün olduğunca küçük cıvatalar kullanılması istenilmektedir [6]. Ancak cıvatanın çapının küçük olması tutmayı zorlaştıracağı [7] için bakım esnasında bakım personelinin elinden düşme, düştüğünde bulunamama gibi durumlardan dolayı zaman kaybına sebep olabilmektedir. Bakım işleminde cıvata ile yuvayı eşleştirme ve takım değiştirme zaman kaybına sebep olan unsurlardır. Bundan dolayı mümkün olduğunda eşdeğer cıvatalar kullanarak aynı takımla söküm takım işleminin tamamlanması sağlanabilir. Ancak farklı tork değerlerinde sıkılması gereken aynı çaptaki cıvatalar (kalite sayıları farklı) karıştırılmamalıdır. Bakım personeli kalite sayısına dikkat etmeden yerleştirme işlemini uygularsa cıvatanın hasar görmesi muhtemeldir. Bu durumlarla karşılaşmamak için cıvataların mümkün olduğunca aynı tork değerleri ile sıkılabilecek şekilde planlanması önemlidir. Farklı tork değeri gerekiyorsa fark bir cıvata kullanıp karışıklığın önünde geçilebilir.

2.3. Cıvata sayısı

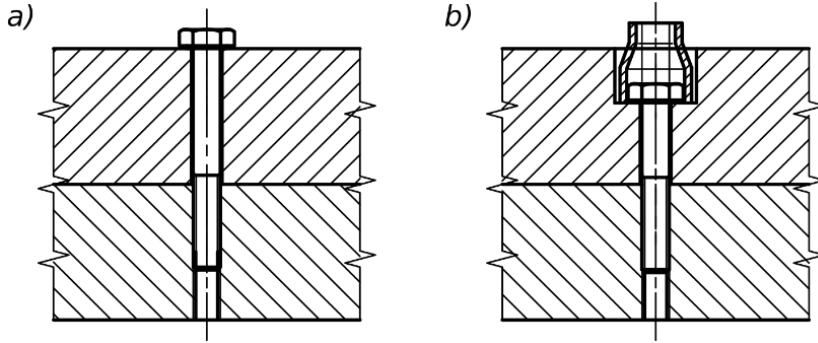
Mümkün olan en az sayıda cıvata kullanmak hem bakım açısından hem de ağırlığın azaltılması açısından önemlidir. Ancak sızdırmazlık sağlanması istenen durumlarda cıvata sayısını bir yerden sonra azaltmak mümkün olmamaktadır. Yine büyük kalite sayısındaki bir cıvata yüksek torkla sıkmanın mümkün olmayacağı durumlarda cıvata

sayısı artırılıp daha düşük torkla sıkılmak uygun olabilir. Tüm civataların ve sıkma torklarının eşdeğer olmasının avantajlı olduğu durumlarda da civata sayısı artabilir.

2.4. Civata yerinin özellikleri

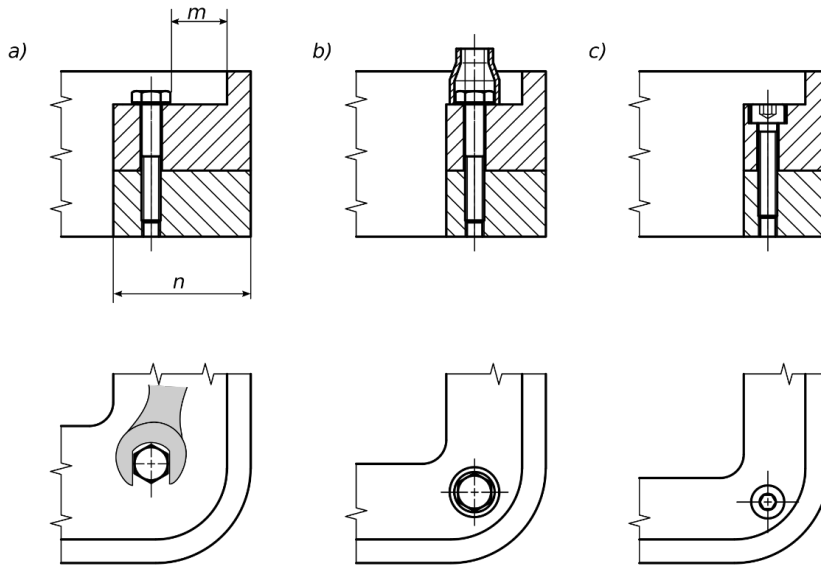
Civataların ulaşılabilirliği montajı kolaylaştıracaktır. Civata en kolay dişleri içerde başlayan bir deliğe yerleştirilebilmektedir (Diş açılmamış kısım civataya kılavuzluk etmektedir). Normal bir delikte ise 2,5 s zaman kaybına sebep olmaktadır [7].

Civata başının gömülü olması daha kısa civata kullanarak ağırlıktan kazanmaya yardımcı olmaktadır. Bakım açısından bakıldığında ise gömülü civataların söküm takım işlemlerinde ilave aparat gerektirdiği için zaman kaybı olabilmektedir (Şekil 4). Civatanın söküm sıklığına göre bu durum tasarım açısından değerlendirilmelidir.



Şekil 4. Civata bağlantılarında civatanın açıkta (a) gömülü (b) olarak kullanımı

Civata bağlantısı bir duvara yakın olması durumunda montaj için ilave 2 ila 3 s harcanmaktadır [7]. Civata yuvasının ön görülen sıkma yöntemine göre anahtar girebilecek şekilde olması ve söküm takım işleminin kısa sürede tamamlanabilmesi için belirli bir açıklıkta bulunması gerekmektedir (Şekil 4). Civata bağlantısı uygulanacak olan yerlerde civata tipine göre yer ihtiyacı değişmektedir. Altıgen başlı civata için alyan civatalara göre yer ihtiyacı fazladır [6]. Bu durum ise üretim maliyetini artırabileceği için tasarım aşamasında yer ihtiyacı, sıkma torkuna göre anahtar seçimi dikkate alınarak karar verilmesi önerilmektedir. Civata 10 tekrardan daha az bir hareketle sıkılabilir [8].



Şekil 4. Civata bağlantılarında civata tipinin bağlantı tasarımına etkisi [6]

2.5 Cıvatanın korunması

Cıvata bağlantısının servis süresi içinde en azından bir sonraki planlı bakıma kadar fonksiyonunu eksiksiz bir şekilde yerine getirmesi beklenir. Cıvata bağlantısı bakım süresini kısaltmak için korozyon, titreşim ve çözülmeye karşı korunması gerekir. Cıvataların emniyet yöntemi bakım süresi üzerinde etkilidir. Cıvataların emniyeti, şekilsel veya aracı bir madde yardımı ile sağlanabilmektedir. Cıvata dişlerinin, cıvata başı ve somunun korozyondan korunması bakımda zaman kaybını önlemeye yardımcı olacaktır. Aşınmış dişler veya cıvata başı sökülmeyle zorlaştırdığı gibi yeniden kullanılabilirliği olumsuz etkilemektedir. Bazı durumlarda yağ tabakası işe yarabilir. Açık hava ve kimyasallar gibi aşındırıcı ortamlarda plastik koruyucu kapaklar korozyon etkisini azaltmaktadır. Cıvatanın söküm takım işleminde oluşan toplam plastik değiştirmeden dolayı birkaç kullanımdan sonra kopması söz konusudur. Bundan dolayı cıvatanın bir veya ikinci tekrar kullanımından sonra değiştirilmesi önerilmektedir. Ancak kaplama yapılmış cıvataların tekrar kullanımı tavsiye edilmemektedir [4].

2.6. Cıvatanın öngerilme kontrolü

Cıvata bağlantılarına verilen öngerilme kuvveti (F_{on}) ile sıkma torku (T_A) arasındaki ilişki, dd cıvata çapı olmak üzere Denklem (1)'de verilmiştir. Standart metrik cıvatalarda kk katsayısı 0,2 değerini almaktadır [9]. Cıvata bağlantılarında yüksek kk değeri sürtünmeden dolayı kayıp olduğuna işaret etmektedir. Buna göre tork anahtarları ile verilmek istenen öngerilme verilememektedir. Cıvata dişlerinin yağlanması kk değerini düşürmektedir. Böyle yağlanmış cıvatalarda aynı tork ile daha fazla öngerilme elde edilmektedir [10].

$$T_A = F_{on} \cdot d \cdot k \quad (1)$$

Daha hassas gerginlik kontrolü için mikrometre ile uzama ölçülebilir. Ancak bu durumda cıvata her iki ucunun da açıkta olması gerekmektedir. Ultrasonik cıvata ölçüm yönteminde ise cıvata başının taşlanmış olması gerekir [11]. Gerginliğin sürekli kontrolünün gerektiği durumlarda ise cıvatalar için özel olarak üretilmiş gerinim pulu kullanılabilir. Tekrarlı yüklerin cıvatanın öngerilme kaybına sebep olduğu bilinmektedir. Bu durum cıvatanın gevşeme kontrolü sıklığını artırmaktadır. Kontrol sayısını azaltmak ve cıvatanın görevini emniyetle yerine getirmesini sağlamak için çözümlenme emniyeti yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Cıvatanın çözülmesi şekilsel olarak engellenebildiği gibi yapıştırma, yaylı rondela ve tırnaklı rondela gibi yöntemlerle cıvataya verilen öngerilmenin %80 nin altına düşmemesi sağlanabilmektedir [12].

3. Sonuç

Cıvata bağlantıları çözülebilir bir bağlantı şekli olarak sık bakım gerektiren parçalarda tercih edilmektedir. Cıvatanın tipi, çapı, uzunluğu ve malzemesi gibi özellikler bakım süresi üzerinde etkili olmaktadır. Tasarım aşamasında bakımın da planlanarak söküm-takım işlemi için harcanan süreden tasarruf edilebildiği gibi bakım personelinin de güvenliği temin edilmiş olur. Genel olarak cıvata bağlantısının tasarımında az sayıda cıvata kullanmak bakım izlemeyi hızlandıracaktır. Kullanılan cıvataların mümkün olduğunca aynı anahtar ve aynı tork değeri ile sıkılması takım değiştirme zamanından kazandırır. Cıvataların korozyondan korunması ile bakım yapılacağı zaman söküm işleminin kısa sürede tamamlanmasını engelleyebilecek önemli bir unsur ortadan kaldırılmış olur. Cıvata bulunduğu yerin açıkta ve erişilebilir olması zamandan tasarruf sağladığı gibi bakım personelinin yaralanma ihtimalini de düşürecektir.



4. Kaynaklar

- [1] Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., Mital, A., 2014. 8 - Designing for Maintenance. Oxford: Elsevier p. 203–268.
- [2] Güngör, A., 2006. Evaluation of connection types in design for disassembly (DFD) using analytic network process. *Computers and Industrial Engineering* 50(1–2): 35–54, Doi: 10.1016/j.cie.2005.12.002.
- [3] Sonnenberg, M., 2001. Force and effort analysis of unfastening actions in disassembly processes.
- [4] Kulak, G.L., Fisher, J.W., Struik, J.H.A., 2001. *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints* Second Edition.
- [5] Rende, H., 2017. *Makine Elemanları Hesap ve Konstrüksiyon Cilt 1*. 3rd ed., İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [6] Steinhilper, W., Sauer, B., 2005. *Konstruktionselemente des Maschinenbaus*. 5th ed., Berlin Heidelberg: Springer.
- [7] Boothroyd, G., Knight, W., Dewhurs, P., 2002. *Product Design for Manufacture and Assembly*. 3rd ed., New York: Marcel Dekker.
- [8] Bongarra Jr, J.P., VanCott, H.P., Pain, R.F., Peterson, L.R., Wallace, R.I., 1985. *Human factors design guidelines for maintainability of Department of Energy nuclear facilities*. BioTechnology, Inc., Falls Church, VA (USA).
- [9] Budynas, R.G., Nisbett, J.K., 2006. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 8th ed., New York: McGraw-Hill.
- [10] Vand, E.H., Oskouei, R.H., Chakherlou, T.N., 2008. An experimental method for measuring clamping force in bolted connections and effect of bolt threads lubrication on its value. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 22: 457–460.
- [11] Joshi, S.G., Pathare, R.G., 1984. Ultrasonic instrument for measuring bolt stress. *Ultrasonics* 22(6): 261–269.
- [12] Decker, K.H., Kabus, K., Rieg, F., Weidemann, F., Engelken, G., Hackenschmidt, R., 2011. *Maschinenelemente*. In: Kabus, K., Rieg, F., Weidemann, F., Engelken, G., Hackenschmidt, R., editors. *Decker Maschinenelemente*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

CNC SİSTEMLERDE HASSASİYET, TEKRARLANABİLİRLİK VE DOĞRULANMASI

¹Yasemin Arıkan, ²Şaban Yurt

¹Yasemin.Arıkan@tei.com.tr

0 535 5125833 – 0 222 2112266

²Saban_yurt@hotmail.com

0 535 5124044

Özet

CNC sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok sektörde kullanılan bu sistemlerde işlenen parçaların çok dar toleranslara sahip olması nedeniyle bu sistemlerin hassasiyeti önemli hale gelmiştir. Bu sistemlerde, aslında birbiri ile bağlantılı olan çözünürlük, hassasiyet ve tekrarlanabilirlik kavramları çoğunlukla birbiriyle karıştırılan kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu kavramlar, teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha da ön plana çıkmış, bunların toleranslar altında olması için cnc sistemlerde kullanılan parçaların yapısı, türü ve şekli de değişiklik göstermiştir. Bunun yanında cnc sistemlerin istenilen toleransları karşılaması için doğrulanması esnasında kullanılan ekipmanlar ve aletlerde teknolojinin gelişmesi ile çok farklılaşmıştır. Günümüzde en çok kullanılan ekipmanlardan birisi de Lazer interferometredir.

Anahtar Kelimeler: CNC sistemler, hassasiyet, tekrarlanabilirlik, tolerans, vidalı mil, interferometre

1. Giriş

Müşteriler, ISO9000, Toplam Kalite Yönetimi, kestirimci bakım gibi kalite gerekliliklerini yerine getirmek istediklerinden makine hassasiyetleri firmalar için daha önemli hale gelmiştir. Üretim topluluğu bilgisayarlı nümerik kontrollere geçerek ürün kalitesini sürekli olarak arttırmak isterler. Makine hassasiyetini arttırmak ve doğru işleme süreçlerini seçmek yüksek kaliteye ulaşmak için önemli anahtarlardır. Hassasiyet kontrolü birçok etmene bağlı olduğundan en zor problemlerden birisidir. Bu etmenler, makinenin mekaniği, servo geri beslemesi, eksenlerin ivmelenmesi, programların karmaşıklığı, takım ve benzerleridir.

Makina hassasiyeti makine takım sistematik geometrik ve makine üretim hatalarına bağlıdır. Bunlar; makinenin zamanla aşınması ve makine kızaklarının ağır yüklerle hareketi, makine montajındaki ayarsızlıklar, montaj hataları, zemin yerleşim hataları, yaşlanma ve yanlış kullanımdır. Vidalı mildeki adım hataları, kızaklardaki düzlemsellik

ayarları, makine eksenlerinin birbirine olan diklik problemleri sistematik geometrik hataları oluşturur. Makine takım hassasiyeti dikkatli ve uygun makine tasarımıyla birlikte hassas bileşenler, iyi bir sabit yapı ve düşük termal bozulma ile iyi bir seviyede sağlanabilir. Bunun yanında işletim yazılımına müdahale ile geometrik sistematik makine hatalarının kompanzasyonu ile de daha iyi bir hale getirilebilir.

Makine ilgili hataların kaynakları aşağıdaki gibi gruplanabilir;

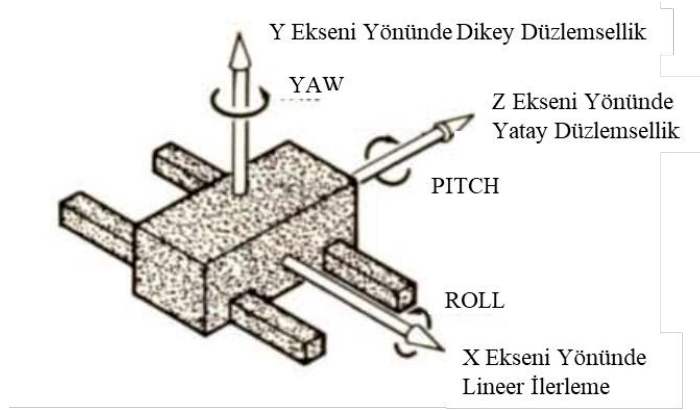
1. Tasarım ve makine bileşenlerinin hassasiyeti ile ilgili “geometrik hatalar”
2. Makine bileşenlerinin bağıl hatası ile ilgili “kinematik hatalar”
3. Makine bileşenlerinde sıcaklık değişimleri ve termal genişlemeye bağlı yapısal deformasyon ile ilgili “termal hatalar”
4. Makine bileşenlerinde mekanik veya ataletten kaynaklanan “dinamik hatalar”

Hassas bir makine 5 ana alt sistemden oluşur. Bunlar mekanik yapı, iş mili ve tahrik sistemi, takım ve fiyestür sistemi, kontrol ve sensör sistemi, ölçüm ve kontrol sistemidir ve bu sistemler makinenin performansına doğrudan katkıda bulunur.

2. Makine Alt Sistemleri

2.1. Vidalı Mil

Makinelerde iyi bir hassasiyet için vidalı mil önemli bir unsurdur. Vidalı mil, bilye yataklı bir somunun vida dişleri açılmış bir mil üzerindeki sistem sayesinde dönme hareketini doğrusal harekete çeviren makine elemanıdır. Bu hareket esnasında sürtünmenin azaltılabilmesi amacıyla somun ile mil arasında yer alan boşlukta yataklanan bilyeler mevcuttur. Vidalı mil seçerken bazı parametreleri gözden geçirmek gereklidir. İlk önce vidalı mil hassasiyetinin belirlenmesi gereklidir. İkinci parametre mil uzunluğunun ve çapının belirlenmesidir. Sonrasında vidalı milin bağlanma şeklini belirlememiz gereklidir. Buna karar verirken eksenel yük ve dönüş hızı gözönüne alınmalıdır. Uygun olan vida tipi ve bakım ömrünün de hesaplanması gereklidir. Bütün bunların sonunda pozisyonlama hassasiyeti ve dönme momentinin hesaplanması önemlidir.



Şekil 1. 6 Dereceli Hareket

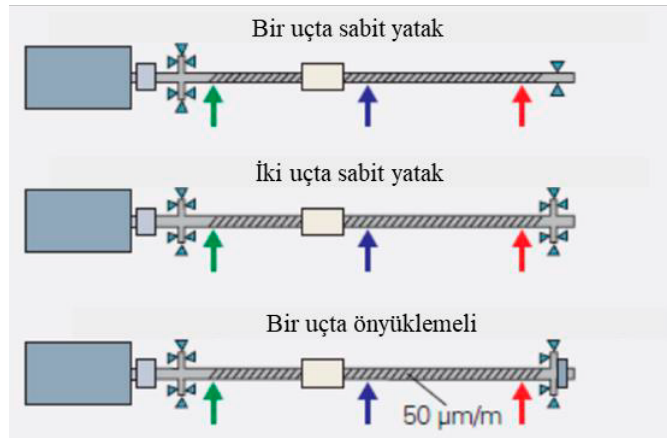
Eksen X yönünde hareket ederken yatağın son pozisyonunu etkileyecek 6 dereceli hareket vardır. (Şekil 1) Aslında lineer cetvelin hassasiyeti ile alakalı olan X eksen boyunca pozisyonlama hatası yanında yatağın (saddle) roll, yaw ve pitch olarak bilinen X, Y, Z eksenlerinin açısal dönüşümleri de vardır.

İş parçasının ulaşılabilir hassasiyeti üzerinde parça işleme sürecinin etkileri, makinenin geometrik hassasiyeti, statik ve dinamik değişmezlik, eksenlerin pozisyonlama tepkisi daha özel olarak analiz edilebilir. Makine hataları artık kullanıcılar için daha şeffaf hale gelmiştir. Enkoder ve vidalı mil ile pozisyon ölçümündeki hatanın analizi mekaniksel besleme-sürücü sistemlerinin gözönüne alınmasıyla başlar. Birçok durumda, servo motorun döner ha-

reketinin lineer kızak hareketine dönüştürülmesi için vidalı mil bir çözümdür. Genellikle servo motor ve vidalı mil birbirine doğrudan bağlanır. Kompakt tasarım ve daha iyi bir hızı sağlamak için dişli kayışlı sürücüler de kullanılmaktadır. Vidalı mil ve enkoder kullanarak pozisyon ölçümü ile alakalı olan kinematik hatalar adım hatası (pitch error) olarak adlandırılır. Adım hatası lineer ölçüm sonucunu etkiler. İlerleme transfer elemanlarındaki oynamalar boşluğa (backlash) neden olur. İki noktalı yüklemeli vidalı mil sürücüsünün pozisyonlama sırasında bilyaların kaymasından kaynaklanan adım hatası 1-10 mikron arasında geri-dönüş hatasına (reversal error) neden olur. Birçok kontrol sistemi adım hatasını ve geri-dönüş hatasını kompanze edebilir ve bu işlem interferometreler ile yapılabilir. Vidalı milin serbestçe genleşmesi/esnemesi ile farklı davranışlar beklenebilir.

Değişik vidalı mil yataklama tipleri vardır. (Şekil 2) Bir uçta sabit yatak; vidalı mil sıcaklık profiline göre sabit yataktan rahatça uzayabilir/esneyebilir. Vidalı mil somunu sabit yatak tarafında olduğunda termal kayma olamaz ama diğer bütün pozisyonlar vidalı milin termal genleşmesinden etkilenir. Bir uçta sabit yataklı eksenlere sahip makinalarda işlenen parçalar dar toleranslara sahipse makine sürekli kontrol edilmeli ve düzeltilmelidir. Böyle bir makine ancak termal dengeye ulaştıktan sonra parça işlemelidir. Parça programında ilerleme hızı değiştirildiğinde veya uzun süreli duruşlarda da yine termal dengenin sağlanması için en az 1 saat boşta çalıştırılmalıdır.

İki ucunda da sabit yataklama olduğunda bu durum biraz daha karmaşık hale gelir. Vidalı mil çalıştıkça sıcaklık artar ve bu da yataklarda deformasyona neden olur. Vidalı milin iki ucu orijinal pozisyonunda kalmaz. Vidalı milin iki ucu makinenin döküm gövdesine işlenmiş yuvalara yerleştirilmiştir. Makine çalıştıkça sıcaklıkla beraber oluşan kuvvet vidalı milin iki ucunda 20-30 mikron hareket etmesine neden olur. Termal sıfır noktası milin orta noktasıdır. Sabit/önyüklenmiş yataklarda, yüksek hızlarda geri dönüşler, yatakta oluşan yük makine yapısının deformasyonuna sebep olur ve milin çalışma ömrünü kısaltır. Bir kural olarak, hareketli yatağın olduğu taraf, sabit yatağın olduğu taraftan daha az esnektir. Bunun nedeni rulman tasarımıdır. Önyüklemeli rulman tarafı hareket etmeye başladığında diğer taraf hareket etmeye başlar ve sıcaklığında artmasıyla önyüklemeli rulman tarafı önyüklemeyi kaybetmeye ve sonuç olarak sabitliğini kaybeder. Sıcaklığın 1 derece değişmesi ile 1 metrelik bir vidalı milde 11 mikron uzama yaratır. Sıcaklığın etkisini yok etmek için su soğutmalı vidalı miller kullanılır. Hatta aynı soğutma sistemi ile spindile ve rulmanları da soğutulur.



Şekil 2. Vidalı mil yataklama tipleri

2.2. Kızaklar

CNC makinalarda, hassas pozisyonlama ve tekrarlanabilirlik için kızaklar ana fonksiyonel gerekliliklerden biridir. Sürtünmeli ve sürtünmesiz olarak iki tip kızak vardır.

CNC makinalarda kızakların komut sinyaline hızlı tepki vermesi ve kızak hareketinin sabit sürtünme direncine sahip olması istenen bir durumdur. V tipi, düz, kısağzı, silindirik kızaklar sürtünmeli kızaklara birer örnektir. Sürtünmeli kızakların avantajları;

- Düşük imalat maliyeti

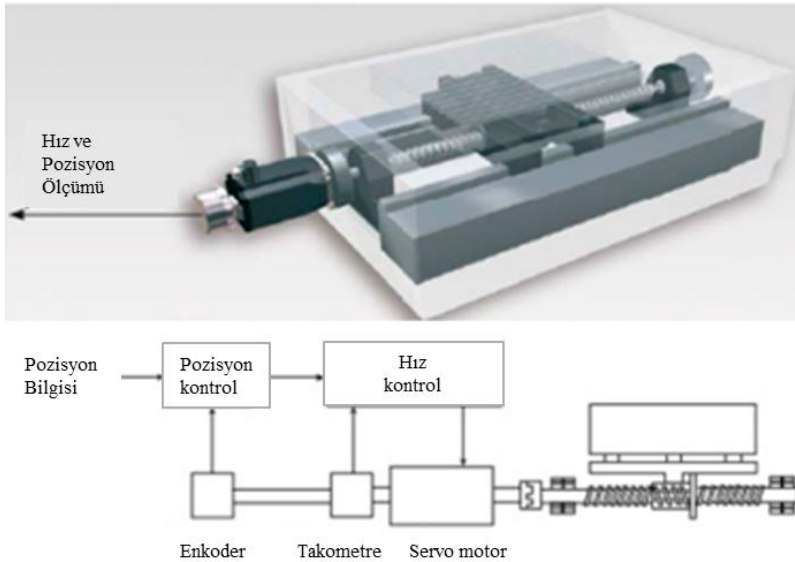
- İyi sönümlenme özellikleri
- Yapılamayan önyüklenme
- Kazıkların yapının ayrılmaz bir parçası olması ve değiştirilememesi
- Turcite/PTFE kaplama ile kaymayı azaltma

Metal metale çalışan yüksek sürtünme katsayısına sahip kızakların aşırı aşınma ve sıcaklığın azaltılarak düzgün bir hareketin sağlanması için sürtünmesiz lineer hareketli kızaklar CNC makinalarda kullanılır. Çapraz makaralı rulman, döner bilyalı burç, döner makaralı yatak, lineer hareketli kızaklar sürtünmesiz kızaklara birer örnektir. Sürtünmesiz kızakların avantajları;

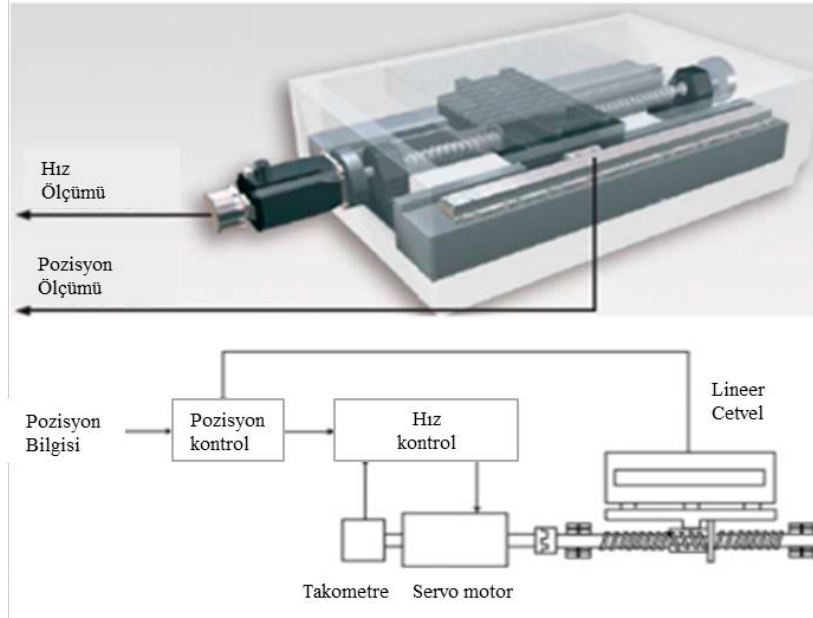
- Düşük sürtünme direnci
- Kaymasız hareket
- Montaj süresinin kısa olması
- Temin etmedeki kolaylık
- Yüksek yük taşıma kapasitesi
- Yüksek önyüklenme imkanı
- Yüksek hareket hızı

2.3. Enkoder

Lineer eksenlerin pozisyon ölçümü, vidalı mil kombinasyonu ile döner enkoder veya lineer enkoder ile yapılabilir. Eğer kızak hareketi vidalı milin adımı ve döner enkoder ile belirleniyorsa, hız ve pozisyon ölçümü döner enkoder ile yapılır ve buna yarı kapalı döngü sistemi denir. (Şekil 3) Mekanizmaların aşınması veya sıcaklık bu sistemlerde kompanze edilemez. Eğer kızak hareketinin ölçümü için lineer enkoder kullanılıyorsa pozisyon kontrol döngüsü tüm ilerleme mekanizmasını kapsar ve buna kapalı döngü sistemi denir. (Şekil 4) Bu sistemde lineer enkoder'ın hassasiyeti ve yeri de ölçüm doğruluğunun sağlanması için önemlidir.



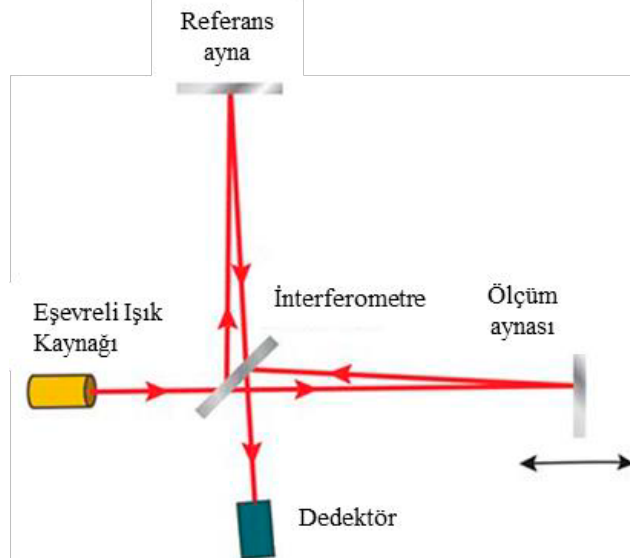
Şekil 3. Yarı kapalı döngü sistemi (İndirek ölçüm)



Şekil 4. Kapalı döngü sistemi (Direk ölçüm)

3. İnterferometre

İnterferometrideki en bilinen araç olan Michelson İnterferometresi, bilim dalında Nobel Ödülü kazanan ilk Amerikalı, Albert Abraham Michelson tarafından 1887 yılında icat edilmiştir. Michelson aynı kaynaktan gelen ayrıştırılmış ışık ışınlarını birleştirmek için aynalar ve yarı saydam aynalardan (ışın bölücüler) oluşan bir sistem bulmuştur. Lazer interferometre uzaklıkları olağanüstü bir hassasiyet ile ölçmek için iyi-yapılandırılmış bir yöntemdir. Genellikle tek bir gelen eşevrelili ışık kaynağı ışını Michelson interferometresi tarafından iki özdeş ışına bölünecektir. Bu ışınların her biri, yol olarak adlandırılan, farklı bir rotada hareket eder ve bir dedektöre varmadan önce yeniden birleşirler. Her bir ışının aldığı mesafe arasındaki fark, bu ışınlar arasında bir faz farkı oluşturur. Dedektörde en başta tanımlanan dalgalar arasındaki girişim desenini oluşturan bu faz farkıdır. Tek bir ışın iki yola (ölçüm ve referans) ayrılmış ise, o zaman faz farkı fazı bu yollar boyunca değiştiren şeylerin teşhisidir. Bu yol boyunca gerçekleşen bir fiziksel değişiklik veya ışının hareket ettiği kırılma indeksindeki bir değişiklik olabilir. (Şekil 5)

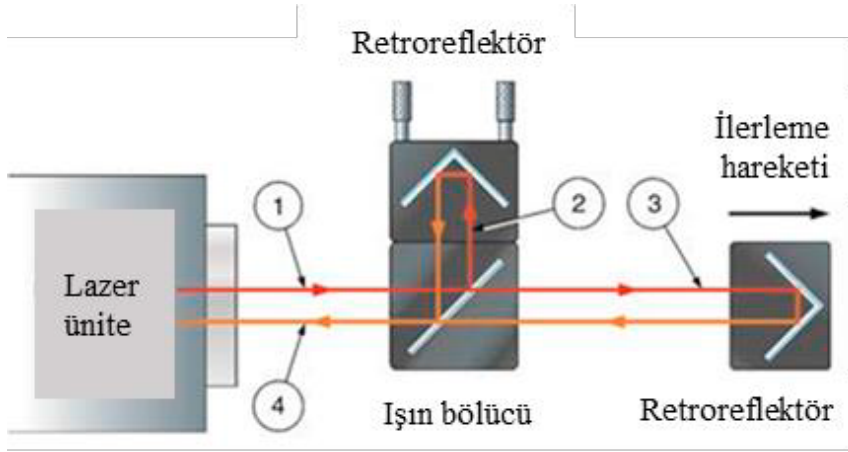


Şekil 5. İnterferometre

4. Pozisyon Ölçümü

Makinenin hassasiyet değerlendirmesi için lazer interferometreler kullanılır. Ölçüm metodu; doğrudan makine tablasına ve iş miline monte edilmiş ayrı interferometre ve reflektör optiği ile birlikte tripod üzerinde serbest duran bir lazer ünitedir. Bu sistemin faydası makine tablası ile iş mili arasındaki uygun interferometre optiği ile yapılan lineer ölçümdür.

Lazer interferometrelerde, lazer ışını, yarı yansıtıcı ayna vasıtasıyla referans ışını ve ölçüm ışını olarak iki ışına ayrılır. Referans ışını her zaman interferometre içindeki aynanın yolu takip ederken, ölçüm ışını ölçülecek nesne üzerindeki üçlü bir aynadan yansıtılır. İki ışın bir araya geldiğinde, interference oluşur. Işın dalgasının üst noktaları karşılaştığında ışık yükselir, dalganın üst noktası diğerinin alt noktası ile karşılaştığında ise dalga kaybolur. (Şekil 6) Makinenin tablası hareket ettiğinde interferometre ve üçlü ayna arasındaki mesafe değişir. Referans ve ölçüm ışını arasındaki faz kayar. (Şekil 7) Bu değişiklik, ölçüm değeri olarak yorumlanır. Herbir durumda ilk başlangıç noktasındaki değişime göre değişiklikleri toplar.



Şekil 6. Lazer interferometre



Şekil 7. Makine tablasına bağlanmış lazer interferometre

Bu sistemin dezavantajı optik bileşenler veya ışın frekansının, hava sıcaklığı, nem ve basınç gibi çevresel koşullardan oldukça etkilenmesidir. Çevresel koşulların toplanması ve ölçülen değerlerin bunlarla yeniden düzeltilmesi ile doğru sonuçlar elde edilebilir.

Makine doğrulamasındaki en önemli amaç, sistematik hataların belirlenmesi, böylece bunları kompanze edecek gerekli bilginin sağlanmasıdır.

Geometrik doğrulama testleri, yüksüz durumdaki makinenin ölçülmesi ve kalibre edilmesidir ve bu da eksenlerin önerilen toleranslarının belirlenen standartlarla hassasiyet ve tekrarlanabilirliğin ölçüldüğü birtakım basit pozisyonlama testleri ile sağlanır. Bu testlerle makinenin eksenlerinin düzlemselliğini, paralellliğini ve kareselliğini belirlenmesini sağlar.

Hassasiyet ve tekrarlanabilirlik için uluslararası bir standart olan ISO 230-2 kullanılabilir. Bu standart ölçülecek eksen hassasiyeti ve tekrarlanabilirliğini hesaplamak için kullanılacak test prosedürünü ve istatistiksel parametreleri belirler. Kullanılacak ölçüm ekipmanı, burada lazer interferometredir, makine testi sırasında meydana gelen tüm etkileyici faktörleri; ölçüm esnasında hava sıcaklığı, barometrik basınç ve bağıl nemi ölçer ve kaydeder.

5. Sonuç

Makineyi oluşturan vidalı mil, kızaklar, enkoder, kontrol sistemi gibi parçaların doğru bir şekilde seçilip tasarımının yapılması ile bu makinede işlenen parçaların istenilen hassasiyette üretilmesi mümkün olabilir. Makine doğruluğunu (hassasiyetini) ve tekrarlanabilirliğini lazer interferometre ile ölçmek oldukça kolay, hızlı bir yöntemdir ve sonuçlar uluslararası bir standart olan ISO 230-2 ile değerlendirilebilir. Lazer interferometre ile bu makalede lineer ölçümden bahsedilmiştir ama açılmalı ve düzlemsellik ölçümleri de yapılabilir. Lazer interferometre bir ölçüm, kalibrasyon ekipmanı olmakla beraber makinenin kinematikliğini ölçmek içinde birçok ekipman, firmalar tarafından geliştirilmiştir.

6. Referanslar

1. Calibration of a Machine Tool Laser Measurement System Application Note 156-4, Thomas M. Hoffer, s.2
2. <http://mytutorialworld.com/guideways>
3. “Evaluation of the Positional Deviation by Calibration of CNC Machines”, T. Peták, P. Benkó, E. Kureková, 2013
4. Nobuo,S.,2003,“The Science of Measurement” Metrology Handbook, Mitutoyo Institute of Metrology
5. Kopac, J., 2005, “Machine tools, tools and equipment: modular design of machine tools”, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana, Slovenia.
6. Huo, D., Cheng, K., Wardle, F., 2009, “Design of Precision Machines”, Springer London



7. Özgeçmişler

Yasemin ARIKAN

Yasemin.Arikan@tei.com.tr

0 535 5125833 – 0 222 2112266

1974 yılı Eskişehir doğumludur. 1985-1992 yılında Kayseri Anadolu Ticaret Lisesini bitirdi. 1996 yılında Anadolu Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğini bitirdi. 1996-1998 yıllarında Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde yüksek lisansını tamamladı. 1997-2000 yıllarında Dumlupınar Üniversitesi Yönetim ve Organizasyon yüksek lisansını tamamladı. 1999-2005 yıllarında Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimini bitirdi. 2004-2005 yıllarında Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Yönetimi yüksek lisansını tamamladı.

2006 yılından bu yana da Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde doktora devam ediyor. 1997 yılında Co-op öğrencisi olarak başladığı TEI Tusaş Motor Sanayinde 1998-2008 yılları arasında Bakım Mühendisliği görevini sürdürdü. 2008'den bu yana yine aynı firmada Ekipman Bakım Lideri olarak görev yapmaktadır.

Şaban YURT

Saban_yurt@hotmail.com

0 535 5124044

1956 Eskişehir doğumludur. 1972-1975 yılında Eskişehir Motor Meslek Lisesi Motor bölümünü bitirdi. 1976-1979 Eskişehir Anadolu Üniversitesi İngilizce Öğretmenliğini tamamladı. 1975-1982 yıllarında Eskişehir Arçelik'te Mekanik Bakım Teknisyeni olarak çalıştı. 1983-1986 yıllarında Eskişehir Anadolu Mobilya'da Mekanik Bakım ve Tesisler Şefi olarak görev yaptı. 1986-2018 yıllarında TEI Tusaş Motor Sanayinde Mekanik Bakım Uzmanı olarak görev yaparak emekli oldu.

ÇOK KADEMELİ BİR DİŞLİ KUTUSUNDA KIRIK DİŞ ARIZASININ TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ

¹Özgün Yakar¹, ¹Yusuf İhtiyaroğlu¹, ¹Onur Yürek¹,
¹Barış Efendi, ²Zafer Ömer Günindi ²

¹Prüftechink Proaktif Bakım Teknolojileri, İstanbul, Türkiye. turkiye@pruftechnik.com
²Eti Soda, Ankara, Türkiye. z.gunindi@etisoda.com

Özet

Dişli kutuları, ağır sanayi tesislerinin genelde en kritik ve en fazla yüke maruz kalan ekipmanlarıdır. Dolayısıyla dişli kutularında meydana gelen hasarların erken teşhisi durum izleme odaklı bakım programlarının en önemli görevlerinden bir tanesidir. Her döner ekipmanda olduğu gibi dişli kutularında da farklı birçok arıza meydana gelebilir. Kırık-çatlak diş arızası ise en sık karşılaşılan dişli kutusu hasarlarından. Ancak kırık-çatlak diş hasarlarının titreşim izleme yöntemleri ile tespiti oldukça zordur. Trend izleme veya alışılmış spektrum analizleri kırık-çatlak diş arızası karşısında beklenen cevabı vermemektedir. Kırık-çatlak diş arızasının titreşim analizi ile tespiti için mutlaka zaman dalga formu grafikleri incelenmeli ve analiz edilmelidir. Bu çalışmada bir maden tesisinde bulunan üç kademeli dişli kutusunda meydana gelmiş kırık diş arızasının zaman dalga formu analizi ile erken teşhisi ele alınmıştır. Kırık dişin hangi kademede ve hangi dişli üzerinde olduğunun belirlenmesi için gerçekleştirilen zaman sinyali analizi detayları ile açıklanmıştır.

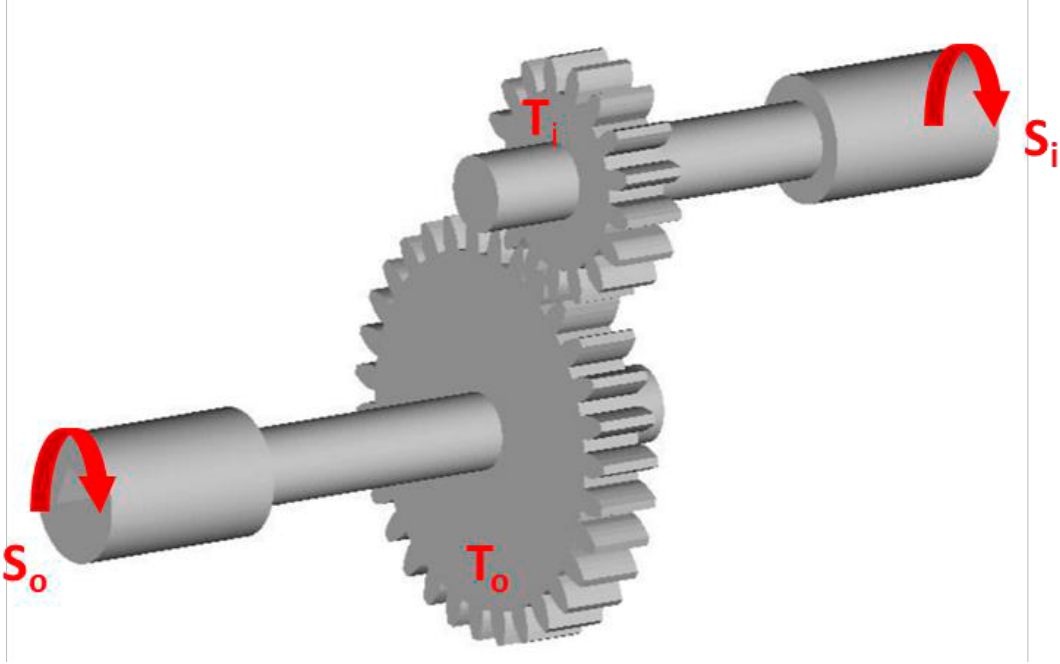
1. Giriş

Dişli kutuları endüstride genel olarak kullanılan hareket ve güç aktarmaya yarayan ekipmanlardır. Dişli kutularında beklenmeyen bir arızanın olması ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu nedenle dişlilerdeki arıza teşhisi yoğun araştırmalara konu olmakla beraber önem teşkil etmektedir. Dişli kutusunda oluşabilecek arızalar birden fazladır. Ve bu arızaların kendilerine ait titreşim karakteristikleri vardır. Dişli kutusundan alınan titreşim ölçümlerinde zaman dalga formunun analizi oldukça önemlidir [1]. Analiz esnasında dişli kademelerine ait frekansların yaratmış olduğu darbelerin zaman dalga formunda net bir şekilde görülmesi zaman dalga formunun ne kadar önemli olduğunu desteklemektedir. Ölçülen ekipman proses için birinci dereceden kritik bir ekipmandır. Prosesteki rolü gelen çözümlerdeki tuz oranını ayarlamaktır. Bu ekipmanda gerçekleşebilecek bir arıza, üretime giden çözümlü yoğunluğunun fazla olmasına ve üretimin kalite konusunda problemler yaşanmasına neden olmaktadır.

2. Arızanın Titreşim Analizi ile Tespit edilmesi

Dişli kutuları, hareket ve güç iletmek için kullanılan makine elemanlarıdır. Dişlilerin yapısı sayesinde bu iletimi hız ve torku değiştirerek yapabilirler.

Aşağıda tek kademeli bir dişli düzeneği görülmektedir. Burada T_i giriş dişlisinin diş sayısı (pinyon), T_o çıkış dişlisinin diş sayısıdır. S_i giriş milinin hızı ve S_o çıkış milinin hızıdır.



Şekil 2.1 Tek kademeli dişli düzeneğinde giriş ve çıkış dişlileri

Tek kademeli bir dişli için çıkış hızı aşağıdaki 1 numaralı formül ile hesaplanmaktadır.

$$S_o = S_i \left(\frac{T_i}{T_o} \right) \quad (1)$$

Dişli birleşme frekansı (GMF) ise shaft hızı ile diş sayısının çarpımıdır. Aşağıda 2 numaralı formül ile gösterilmiştir.

$$GMF = S_i \cdot T_i = S_o \cdot T_o \quad (2)$$

Beypazarı'nda bulunan ve titreşim analiz hizmetini üstlendiğimiz Eti Soda fabrikasının bir motor – redüktör – karıştırıcı makine dizisinin durumu Vibxpert II cihazı ile ölçülen titreşim verileri üzerinden periyodik olarak takip edilmektedir.

Ekipmanın redüktörü 3 kademeli bir dişli kutusudur. Diş sayıları tabloda gösterildiği şekildedir. Bu durumda üç farklı dişli birleşme frekansı (GMF) ve 4 farklı shaft hızı vardır. Bunlar da ilgili tabloda sunulduğu gibidir.



Şekil 2. 3 Dişlilerin Görünümü

Motor şaftı üzerinde bulunan ve yukarıdaki fotoğrafta görülmeyen 1 numaralı dişli, 2 numaralı dişli ile birleşmekte ve ardından dişli kutusu üzerindeki dişliler ile hız kademeli olarak azalmaktadır. Motor dönüş devri 1489 RPM'dir. Hesaba göre dişli kutusu çıkış devri ise 69 RPM'dir.

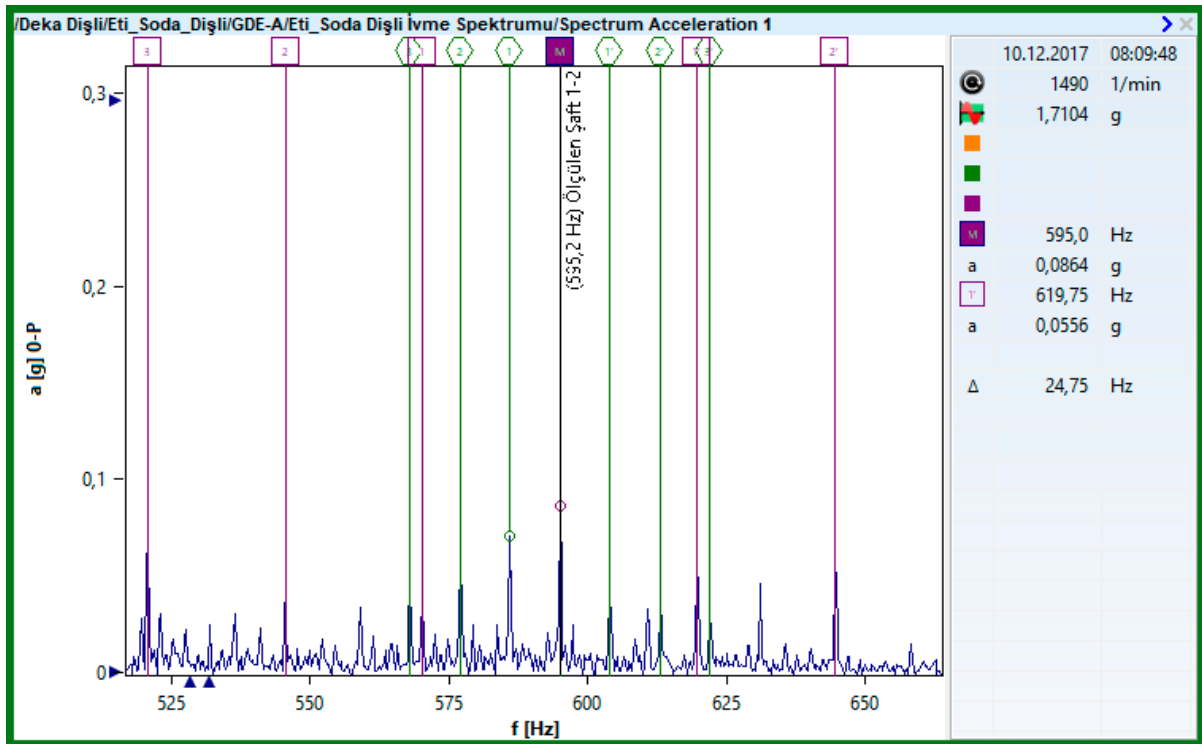
Tablo 2. 1 Dişli kutusundaki giriş ve çıkış dişlilerinin diş sayıları ve şaft dönüş hızları

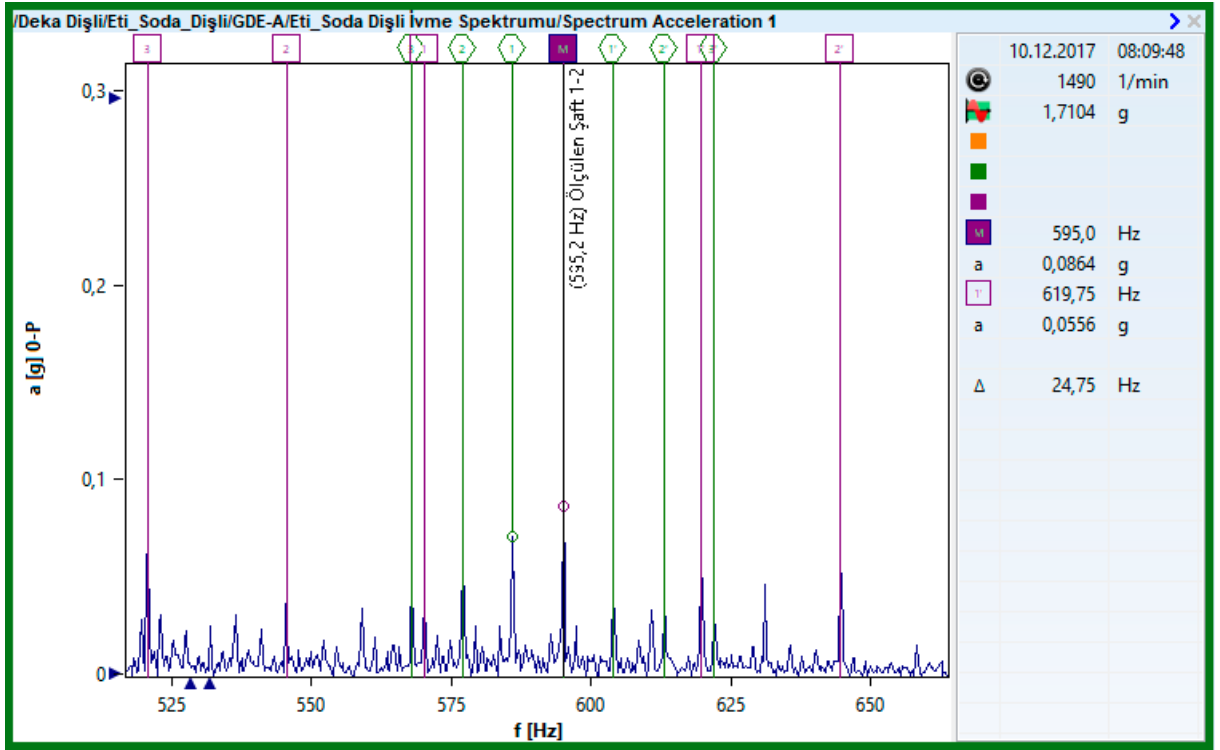
Şaft	Giren Diş	Çıkan Diş	Şaft Hızı (RPM)	Şaft Hızı (Hz)
1		24	1489	24,83
2	66	21	542	9,03
3	34	14	335	5,57
4	67		69	1,16

Tablo 2. 2 Dişli kutusundaki giriş ve çıkış dişlilerine ait diş birleşme frekansları

Dişli	Diş Sayısı	Dişli Birleşme Frekansı (Hz)
1	24	595,6 Hz
2	66	
3	21	189,5 Hz
4	34	
5	14	78 Hz
6	67	

Tüm bu bilgiler ışığında dişli kutusu yataklarından toplanan titreşim verileri incelendiğinde, yüksek genlikli darbelerin varlığı gözlemlenmiştir. Spektrumlar incelendiğinde dişli birleşme frekanslarında bir titreşim artışı görülmemesine rağmen, zaman dalga formu incelemelerinde periyodik ve yüksek genlikli darbeler görülmüştür. Bu durum dişli kutusunda kırık/çatlak diş arızasının olabileceğini göstermektedir. Kırık dişin dişli kutusunun hangi kademesinde ve hangi dişlisinde olduğunu bulmak için, periyodik darbelerin hangi periyotlar ile meydana geldiğinin incelenmesi gerekmektedir [2].

**Şekil 2.4** Dişli kutusu giriş eksenel yön ivme spektrumu



Şekil 2.5 Dişli kutusu giriş eksenel yön ivme zaman dalga formu

Tablo 2.3 Zaman dalga formundaki periyodik darbelerin oluşma frekansı

Adı	t [s]	a [g]	1/Δt [Hz]
M	0,19	10,6022	
1	0,111	5,0434	9,03
2	0,221	5,1852	4,52
3	0,332	12,7515	3,01
4	0,443	5,1309	2,26
5	0,554	3,9888	1,81
6	0,664	11,4085	1,51

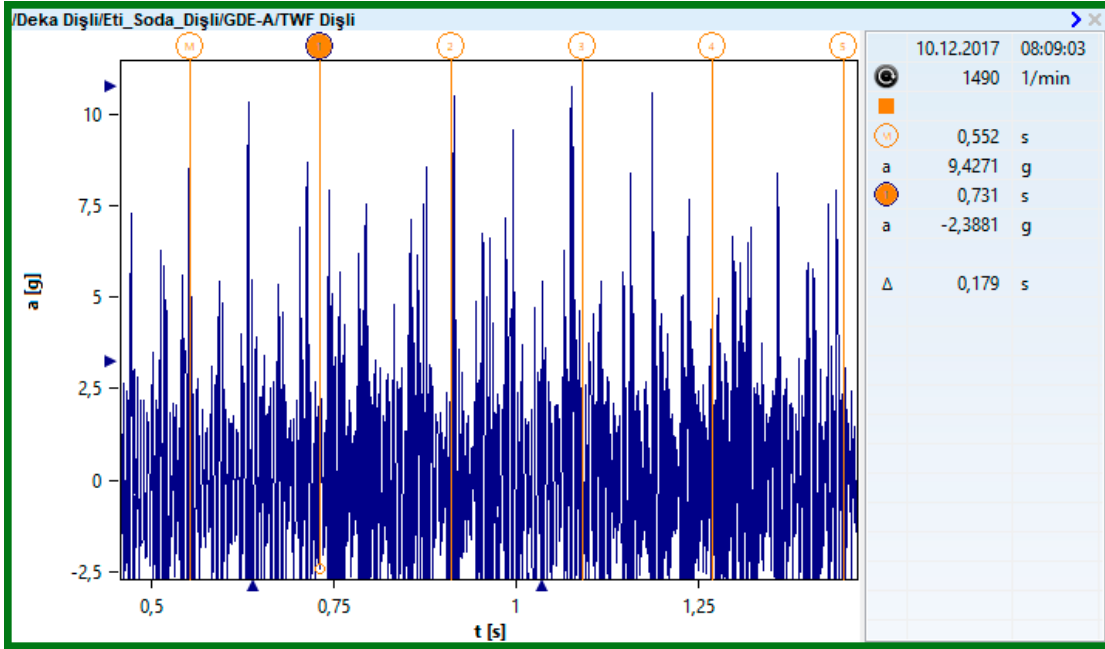
Dişli kutusu yatağından eksenel yönde alınan ivme spektrumu ölçümünde 1. dişli birleşme frekansında (595.6 Hz) titreşim görülmektedir. Ancak genlikler 0.3 g değerindedir ve bu büyüklükteki bir ekipman için çok yüksek bir değer değildir.

Ancak aynı yataktan alınan ivme zaman dalga formuna bakıldığında 11 g 0_pk değerine kadar yükselen periyodik darbeler görülmektedir. Yüksek genlikli bu darbelerin periyoduna bakıldığında ise, 0.111 saniyede bir kere tekrarlanan darbeler olduğu görülmektedir. 0.111 saniyelik periyodik bir olayın frekansı ise 9.03 Hz'dir. Tablo 1'de sunulan shaft hızları incelendiğinde, bu frekansın dişli kutusunun 2. shaftının hızı olduğu çok net bir şekilde görülmektedir.

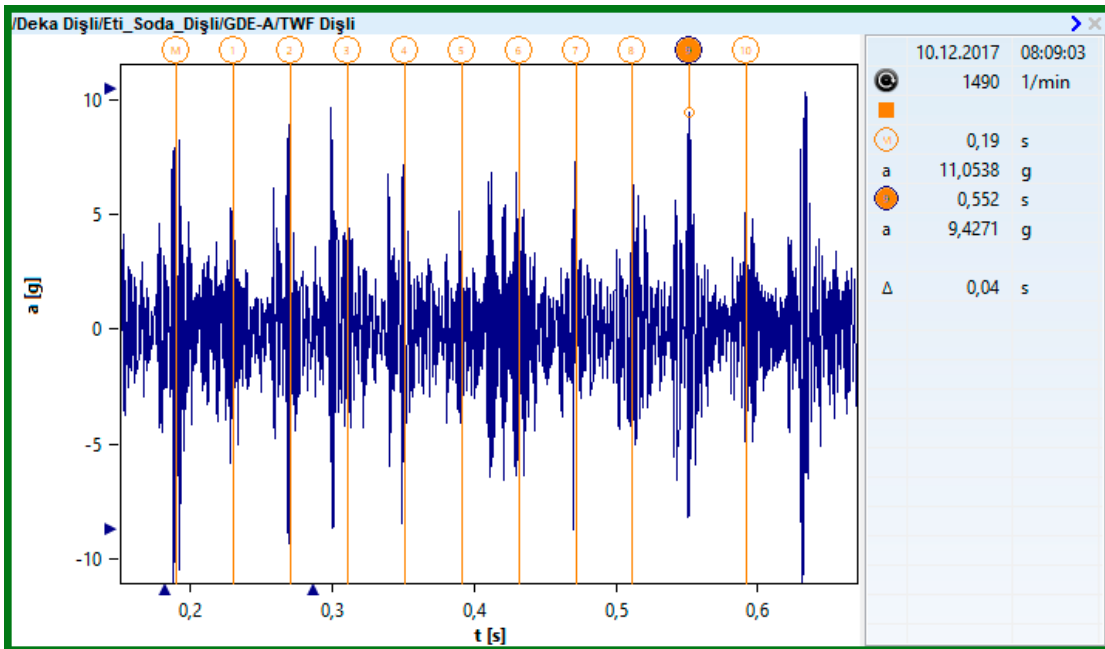
Ölçülen bu zaman dalga formunun bize ifade ettiği durum tam olarak; 0.111 saniyede bir defa dişli kutusu yataklarına büyük genlikli darbeler gelmektedir. 0.111 saniye, yani 9.03 Hz, ikinci shaftın dönüş hızı olduğuna göre, bu shaft tam bir tur attığında yataklarda yüksek genlikli bir darbe oluşmaktadır ve bu duruma yol açabilecek durum kırık dişli arızasıdır.

İkinci şaftın üzerinde iki adet dişli vardır. Giriş dişlisi 66 diş ve çıkış dişlisi 21 dişlidir. Kırk dişin bu iki dişli- den hangisinde olduğunu bulabilmek adına zaman dalga formu daha dikkatlice incelenmelidir.

Dişliler, farklı hızlarda dönen iki şaftın birleşimidir. Eğer kırk bir diş varsa ve arıza ilerlemiş ise zamanla diğer diş- liyi de aşındıracaktır. Aşınmanın ardından, bu iki şaftın dönüş hızında birer defa darbe görülmesi gerekmektedir [3]. İkinci şaftın hız aktarımı yaptığı ve birleştiği iki şaftın hızları sırasıyla, 24.83 Hz ve 5.57 Hz'dir. Zaman dalga formu incelendiğinde 5.57 Hz (1/0.179 saniye) periyodunda darbeler görülmezken, 24.83 Hz (1/0.04 saniye) periyotlu darbeler net bir şekilde görülmektedir. Bu durum, kırk dişin 66 dişliye sahip ikinci dişlide olduğu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.6 Dişli kutusu giriş eksenel yön ivme spektrumu



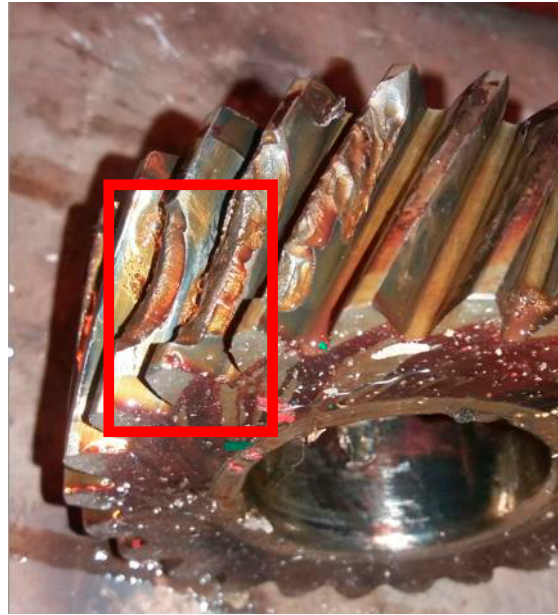
Şekil 2.7 Dili kutusu giriş eksenel yön ivme zaman dalga formu

Analizlerin ardından yapılan bakım çalışmasında, yapılan tespitlerin doğru olduğu ve kırık dişin ikinci dişlide olduğu görülmektedir.

1. dişlide ise meydana gelen aşınmalar fotoğraflarda gösterilmiştir.



Şekil 2.8 2. Dişlideki kırık durumunun görünümü



Şekil 2.9 1. Dişlideki aşınma durumunun görünümü

3. Sonuç

Sonuç olarak, gerçekleştirilen bu çalışmada dişli kutularında gerçekleştirilen titreşim ölçümlerinde zaman dalga formunun analizinin çok önemli olduğu ve gerçekleştirilen titreşim analizi ile arızaların teşhis edilebildiği vurgulanmıştır. Arızaların teşhis edilebilmesi, durum izleme odaklı bakım stratejilerinin daha güçlü hale gelmesine ve tesisin güvenilirlik oranının artmasına ciddi oranda katkıda bulunmaktadır.



4. Kaynaklar

[1] Eisenmann, R. C., Jr. Eisenmann, R. C. 1998. "Machinery Malfunction Diagnosis And Correction", ISBN: 978-1-941872-33-8, Reliabilityweb.com, USA.

[2] James I.Taylor, 2000."The gear analysis handbook a practical guide for solving vibration problems", ISBN:978-0964051713,VCI

[3] Earle Buckingham , 2011. "Analytical Mechanics of Gears ", ISBN-13:978-0486657127

DİJİTALLEŞEN DÜNYADA BAKIM TEKNOLOJİLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

¹Şahin Koban, ²Tolga Saraç

¹Akkim Kimya San. ve Tic. A.Ş. - Bakım Müdürü

sahin.koban@akkim.com.tr

²Akkim Kimya San. ve Tic. A.Ş. Elektrik/Enstrüman Bakım Yöneticisi

tolga.sarac@akkim.com.tr

Özet

Akkim Kimya Klor-alkali ve türevleri, metilaminler, persülfatlar, peroksitler, bisüfitler, tekstil yardımcı maddeleri, kağıt ve su arıtma kimyasalları ile çimento ve beton katkı maddelerini kapsayan geniş ürün yelpazesıyla 5 kıtada müşterilerine hizmet vermektedir. Ayrıca Yalova Tesisinde ultrafiltrasyon Membran modülü yatırımıyla ileri teknoloji arıtma sektöründe devreye aldığı modern fabrikasıyla bu üründe Türkiye’de ilk ve tek üretici konumundadır. Fabrikaların üretim hedeflerine ulaşabilmesi için arızaların ortaya çıkmadan tespit edilmesi önemlidir. Günümüzde bu kestirimci bakım ile sağlanmaktadır. Klasik periyodik bakım yapılarak arızaların önüne geçilebilmesi belli bir orana kadar mümkündür. Yeni bakım anlayışında ise kestirimci bakım sistemleri ve yapay zekâ birlikte kullanılarak arızalar çok daha önceden tespit edilmeye başlanmıştır. Akkim buradan yola çıkarak tüm verilerin tek bir çatı altında toplandığı ve analiz edilebildiği “Veri Toplama Sistemi’ni” geliştirip kullanmaya başlamıştır. Bu bildiriye kestirimci bakım anlamında kullanılan teknolojilerin anlatılması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bakım, Kestirimci Bakım, Yapay Zeka

1. Giriş

7/24 esasına göre çalışan kimya sektöründeki fabrikalarda çıkan arızalar uzun süreli ve büyük kayıplı duruşlara neden olabilmektedir. Bunun yanında kimya prosesinin tehlikelerinden kaynaklı endüstriyel kazaların da yaşanma olasılıkları da vardır. Bu sebeplerden dolayı üretim ve güvenlik anlamındaki kritik ekipmanların arızalanmadan bakımlarının gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu durum, klasik bakım anlayışının yetersiz kalmasına ve kestirimci bakımın daha da önem kazanmasına neden olmuştur. Ayrıca kritik ekipmanlarda belli zaman aralıklarında yapılan kontrollerin de arızaları tam olarak önleyememesi online sistemlere olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır.

Endüstri tesislerindeki bakım yöntemlerine kısaca bakacak olursak;

2. Periyodik Bakım:

Ekipmanların belirli bir plana göre durumu değerlendirilmeksizin yapılan sarf malzeme değişimi, yağlama, ayar vb. çalışmalardır. Önceden belirlenmiş sabit periyotlarla yapılır. Değişen parçaların durumlarına bakılmaksızın yapılan bir bakım çeşidi olduğundan maliyetli bir bakım türüdür.

3. Koruyucu Bakımlar:

3.1. Periyodik Kontroller:

Bakımcı personelin ekipman üzerinde yaptığı görsel ve işitsel kontrolleri içerir. Yağ kaçağı, sesli çalışma gibi belirtiler ve kirlilik gibi ikincil arıza nedenleri bu aksiyonda tespit edilir.

3.2. Periyodik Önleyici Bakım:

Periyodik kontroller sırasında tespit edilen uygunsuzlukların daha sonra planlanarak giderilmesini kapsamaktadır.

3.3. Kestirimci Bakım:

Bu bakım türünde proses ekipmanları ve sistemleri çeşitli ölçümler ve sensör dataları ile kontrol edilerek arızaların önceden tahmin edilmesi prensibine dayanır. Bu da bakım personelinin belirli aralıklarla yaptığı ölçümlerin analiz edilmesi ile yapılır. Ölçümler ekipmanların normal çalışma koşullarında yapılır. Vibrasyon ve termal kamera ölçümleri kestirimci bakıma örnek olarak verilebilir.

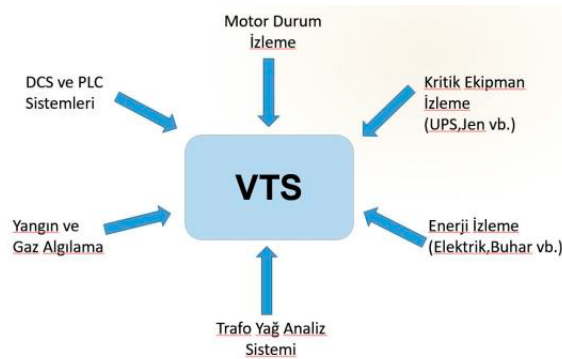
Son zamanlarda kestirimci bakımın sürekli yapılabilir olması için yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bant üretimi olmayan kimya üretim tesislerinde online izleme sistemlerinin uygulanabilirliği zor olmakla birlikte uygulanması halinde kısa sürede yapılan yatırımı karşılayacak şekilde olumlu sonuçlar vermektedir.

4. Üretim Tesislerinde Uygulanabilecek Online Kestirimci Bakım Yöntemleri:

4.1. Veri Toplama Sistemi:

Veri Toplama Sistemi (VTS) üretim kampüsündeki tüm fabrikalardaki uzak I/O bağlantıları ve diğer haberleşme teknolojileri üzerinden verilerin toplandığı (Şekil 1) ve bu verilerin analizler için kaydedildiği sistemdir. Temel de PLC, scada, sunucu donanım ve yazılımından oluşmaktadır.

VTS'ye proses otomasyon sistemleri olan DCS ve PLC'lerin yanı sıra diğer kestirimci bakım sistemleri olan motor durum izleme, trafo yağ analiz sistemi, vibrasyon izleme sistemi ve enerji izleme sistemlerinden de veri gelmektedir.



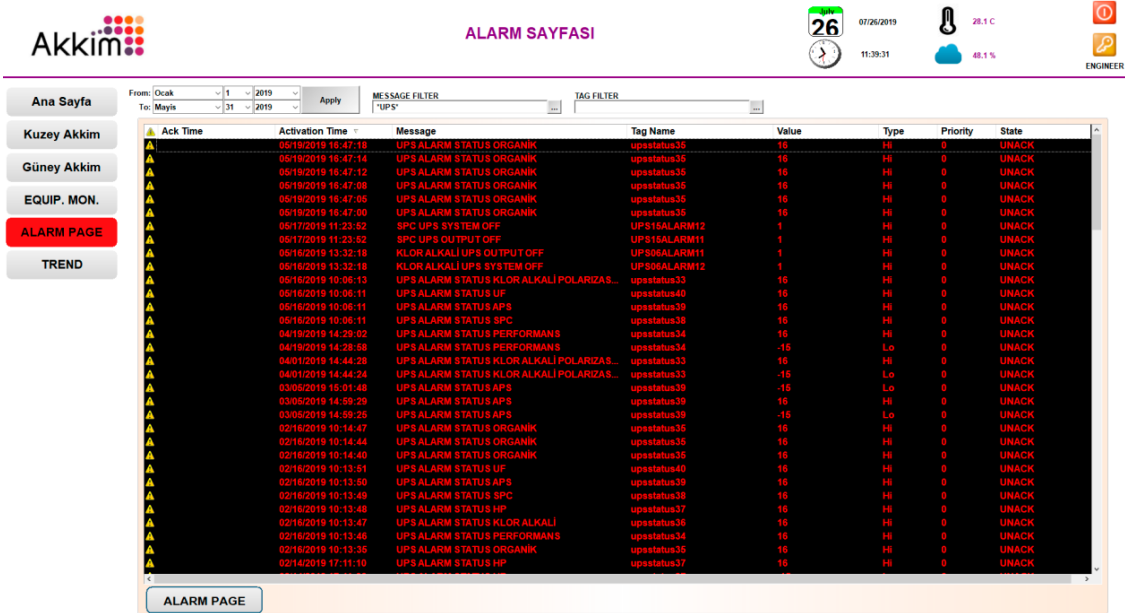
Şekil 1 – Veri Toplama Sistemi

Tüm sistemler tek bir yapı üzerinden takip edilebildiğinden farklı program ve yazılımların kullanılması ortadan kalkmaktadır. Şekil 2'de Veri Toplama Sisteminden örnek bir sayfa gösterilmiştir.



Şekil 2 – Veri Toplama Sistemi Ekipman İzleme Sayfası

Sistem ile tüm alarmlar tek bir alarm yönetim sayfasında toplanabilmekte ve böylece bakım personeli için alarmların takibi kolay hale gelmektedir.(Şekil 3)

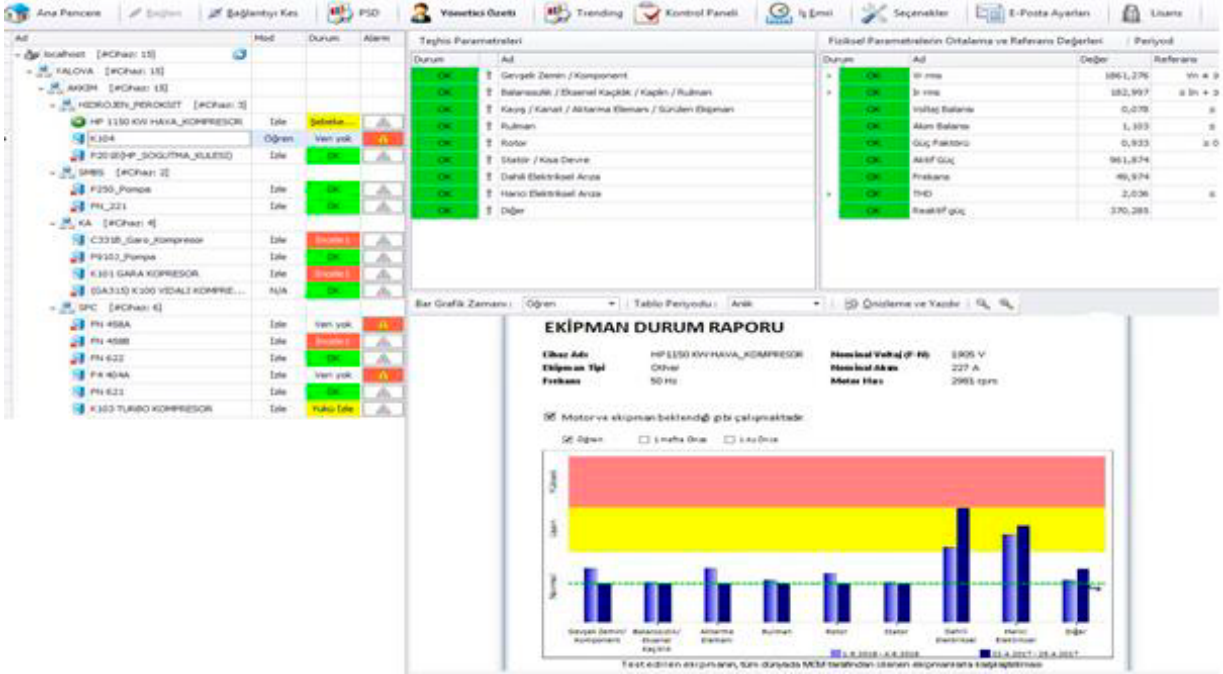


Şekil 3 – Alarm Sayfası

4.2. Motor Durum İzleme Sistemi:

Sistem, kendi analizörleri ile ilgili ekipmana elektriksel olarak bağlıdır. Gerilim ve akım genlikleri sürekli olarak kayıt edilir ve değişimleri izlenir. Şekil 4'te motor durum izleme sistemi yönetici özet sayfası gösterilmiştir. Sağlıklı durumdaki sinyallerden sapma varsa sistem teşhisi koyar ve arıza oluşmadan ilgililere e-mail ile bilgi verir (Şekil 5). Elektriksel olarak bağlı olmasına rağmen sadece elektrik arızalarını değil, mekanik arızaları da oluşmadan teşhis edebilir.

Yük ve kullanılan güçte bir dengesizlik varsa enerji tasarrufu için geri bildirim yapabilir.



Şekil 4 – Motor Durum İzleme Sistemi

EKİPMAN ÖZET RAPORU

Bu MCM arıza erken uyarı sistemi tarafından üretilmiş otomatik bir mesajdır.

Rapor Tarihi: 17 Mayıs 2017 Çarşamba Saat: 12:38:23

Motor: K103 TURBO KOMPRESOR

İşletme: YALOVA Saha: AKKİM Bölüm: SPC

- **Kayış / Kanat / Aktarma Elemanı / Sürülen Ekipman:** Aktarma elemanları;

Sürülen ekipman, kaplin, kayış, kasnak, dişli kutusu, fan ve pompalarda pervane vs. incelenmelidir.

Feragat: Bu raporda belirtilen, enerji tasarrufu önerileri, bakım planlama bilgileri ve zamanlamaları MCM arıza erken uyarı sisteminden elde edilen verilere dayanılarak verilmiştir. Dolayısıyla, yaklaşık değerler olup değişik tiplerdeki ekipmanların ortalama davranışlarını dikkate almaktadır. Her ekipman ve çalıştırıldığı ortamlar değişik olduğundan, gerçek arıza süreleri ve enerji tasarrufu miktarları değişik olabilir. Bu nedenle, raporda belirtilen enerji tasarrufu önerileri, bakım faaliyetleri ve zamanlaması sadece bir yönlendirici rehber olarak kullanılmalıdır.

Şekil 5 – Motor Durum İzleme Sistemi Bilgilendirme Mesajı

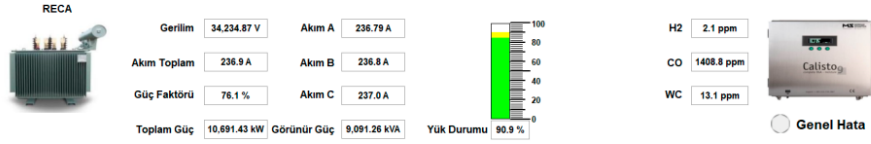
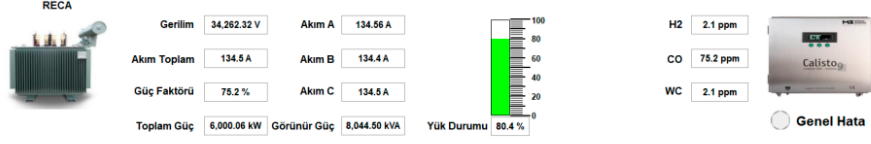
4.3. Transformatör Yağ Analiz Sistemi:

Geleneksel periyodik bakımda yılda 1 kere trafo yağ numunesi alınır ve laboratuvar ortamında testleri yapılır. Ancak yılda 1 kere yapılan bu analizden sonra arızanın oluşmayacağı garantisi yoktur. Şekil 6'da sistemin ana sayfası gösterilmiştir.

Trafo yağ analiz ekipmanları trafonun yağ tankında sirkülasyon yapacak şekilde montajlıdır ve sürekli analiz yapmaktadır. Trafo yağındaki çözülmüş gazlar (karbonmonoksit ve hidrojen) ve neme göre trafoda meydana gelebilecek arızaları önceden tespit eder. Çözülmüş gaz miktarı ve nemin artış hızına göre problemin kestirilmesi sağlanır.

- Ana Sayfa
- Kuzey Akkim
- Güney Akkim
- EQUIP. MON.
- ALARM PAGE**
- TREND

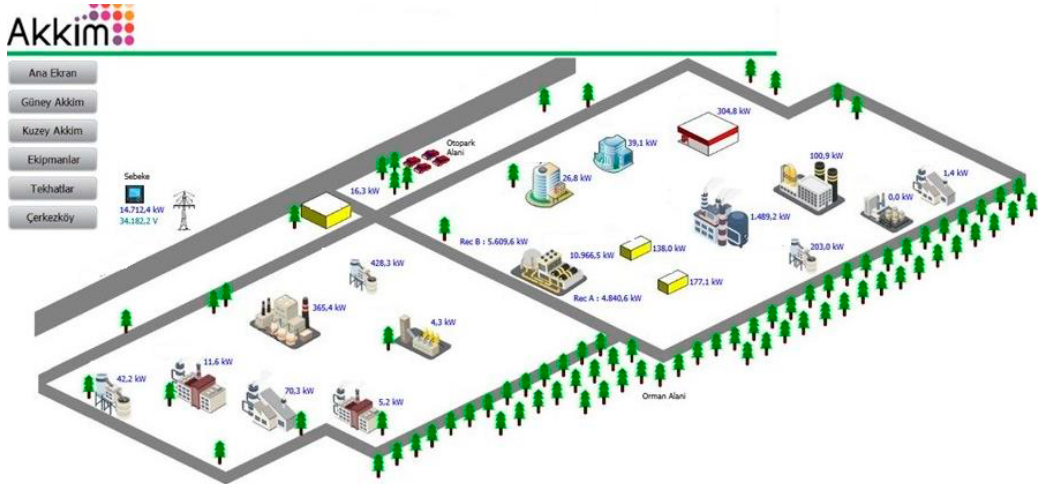
Geri



Şekil 6 – Transformator Yağ Analiz Sistemi

4.4. Enerji İzleme Sistemi:

Sistemde olan 150 adet enerji analizörü ve 3 adet enerji kalite analizörü ile tüm elektrik tüketimleri takip edilebilir, raporlanabilir, arızaya neden olabilecek elektriksel darbelerin analizleri yapılabilir. Kestirimci bakım anlamında ise diğer parametrelerin yanında elektriksel parametrelerinde analizi için veri sağlar.



Şekil 7 – Enerji İzleme Sistemi

5. Yapay Zeka Destekli Bakım Verilerinin Analizi:

Sağlıklı bir kestirimci bakım tahmini yapılabilmesi için verilerin doğru analiz edilip doğru tahmin edilmesi gereklidir. Önceleri analiz için veriyi toplayan ekipmanların az olması analizlerin takibinin basit bir tabloda yapılabilir olmasını mümkün kılmaktaydı. Ancak toplanan veri sayısının artmasıyla birlikte binlerce verinin analizinin yapılması ayrı bir zorluk olarak ortaya çıkmaya başladı. Bu nedenle işe yarar verinin elde edilmesi için otonom sistemlerden faydalanma ihtiyacı doğmuştur.



Bunun için kullanılan yazılımlar ilgili verilerin korelasyonlarını yaparak anomali tespiti yapmaya çalışırlar. Ekipman, ünite ya da sistem için tanımlanan veriler yazılım tarafından kaydedilerek takip edilmeye başlar. Sonrasında birbirleri ile ilişkili veriler önceki verilerle karşılaştırılırlar. Bu değişimler daha önce yaşanmış bir arızaya benzer belirtiler verirse sistem arıza oluşmadan uyarı verir.

6. Sonuç

Bu bildiri ile birlikte geleneksel kestirimci bakım tekniklerine ilave olarak verilerin online toplanıp arıza öncesi ilgili personeli uyarması (e-mail, sms gibi) ve dataların otonom bir yapıda işlenerek kestirimin daha doğru ve erken yapılmasının uygulamaları anlatılmıştır. Veri toplama yazılımlarının kullanımı önümüzdeki dönemde çok daha yaygınlaşacaktır. Bu da bakım yönetiminin daha etkin ve verimli olmasını sağlayacak arıza sayılarının azalmasına etki edecektir. Yukarıda anlatılan ve aktif olarak tesislerimizde çalışan bu sistemlerden gelen kestirimci bakım verilerine göre düzenlenen önleyici bakımlar neticesinde plansız duruşların azalmasına katkı sağlanmış ve verimlilik artışları sağlanmıştır.

DIKEY FRANCİS HES TAŞIYICI YATAK GEVŞEKLİĞİNİN TİTREŞİM ANALİZİ İLE TESPİTİ VE ARIZA GİDERİMİ

**¹Özgün Yakar, ¹Yusuf İhtiyaroğlu,
¹Onur Yürek, ¹Barış Efendi, ²Cihangir Gökçe**

¹Prüftechink Proaktif Bakım Teknolojileri, İstanbul, Türkiye.
turkiye@pruftechnik.com

²Entek Elektrik Üretimi A.Ş.-Damlapınar HES, Karaman, Türkiye.
cihangir.gokce@entekelektrik.com.tr

Özet

Hidroelektrik santraller temiz ve yenilenebilir enerji üretimi için ülkemizde ve tüm dünyada önem arz eden tesislerdir. Santrallerin emre amadeliğinin artması ise hem enerji verimliliğini hem de temiz enerji üretiminin sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Her geçen gün artan enerji gereksinimi, sürekli değişen ve gelişen rekabet şartları, işletmelerin önemli gider kalemlerinden birini oluşturan bakım ve onarım faaliyetlerini daha da önemli hale getirmektedir. Bu tesislerde meydana gelecek herhangi bir arıza, işletmeler için büyük üretim kayıplarına neden olmaktadır. Bu çalışmada dikey Francis hidroelektrik türbinin jeneratör taşıyıcı yatağında meydana gelen gevşekliğin kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim analiz yöntemi ile erken teşhisi ve zamanında yapılan önleyici bakım çalışması sonucunda gevşekliğin giderilmesinin ardından titreşim karakterindeki değişimler ele alınmıştır. Doğal frekans bölgelerinin zorlama frekansları ve harmonikleri ile çakışmasının titreşim spektrumlarına ve yapının durumuna etkisi gözlemlenmiştir.

1. Giriş

Durum izleme odaklı bakım stratejisi döner ekipmanların güvenilirliğini ve emre amadeliğini arttıran çalışmalardır. Yatırım maliyeti ve personel eğitimi gerektiren bir strateji olsa da özellikle kritik ekipmanlar için mutlaka uygulanması gerekir. Titreşim analizi ise döner ekipmanlar için uygulama alanı ve tespit edilebilen arızalar bakımından en yaygın yöntemdir. Titreşim analizi ile balanssızlık, shaft hizasızlığı, geometrik problemler, güç aktarım elemanları problemleri, yatak ve rulman problemleri gibi mekanik problemler tespit edilebilirken elektriksel ve akış problemleri hakkında da bilgi edinilebilir. [1]

Titreşim analizi için genellikle yüksek ölçüm hassasiyetli titreşim analizörü ve ivmeölçer kullanılır. Yatak tipine

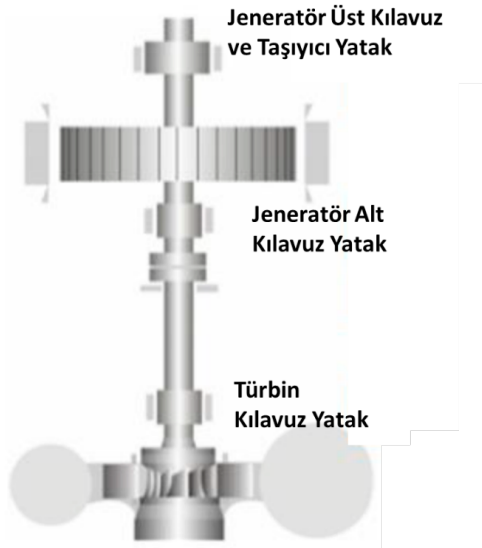
bağlı olarak deplasman sensörleri ile shaft salınımı ölçümleri de kullanılabilir. İvmeölçer ile yatak üzerinden doğrudan ölçülen titreşim mutlak titreşim olarak isimlendirilir. Kaymalı yataklı ekipmanların shaft salınımlarının temassız deplasman sensörleri ile ölçüldüğü yöntem ise relatif (izafi) titreşim olarak isimlendirilir. [1]

Hidroelektrik santral türbinleri ve jeneratörleri dikey veya yatay konfigürasyonlu olabilmekte beraber genellikle kaymalı yataklı yapılardır. Bu yüzden HES türbin ve jeneratörlerin titreşim ölçümleri mutlak titreşim ve relatif titreşim olarak ölçülür. Deplasman sensörleri ile toplanan yörünge analizleri de yapılan teşhisler için belirleyici olabilmektedir. ISO 10816-5 standardı mutlak yatak titreşimi[2], ISO 7919-5 standardı ise relatif yatak titreşimi[3] ölçüm ve sonuçlarını HES tiplerine göre standartlaştırmıştır. Bu iki standart 2018 yıllarının sonuna doğru birleştirilerek ISO 20816-5 standardı olarak güncellenmiştir[4]. Testler güncelleme tarihinden önce yapıldığı için bu çalışmada ISO 10816-5 ve 7919-5 standartları göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışma Entek Elektrik Üretimi A.Ş.'nin işlettiği Karaman ili Göksü nehri üzerine kurulu Damlapınar HES tesisi Ünite 1 taşıyıcı yatak gevşekliğinin titreşim analizi yöntemi ile tespiti, doğal frekans bölgelerinin bulunması, arızanın giderilmesi ve doğrulama ölçümlerini kapsamaktadır. Çalışmada incelenen Hidroelektrik Santral türbin, dikey tip Francis türbin olup kurulu gücü 8.20 MW'dır. Brüt düşüsü 80.00 metre, toplam debisi 24 m³/s'dir. Jeneratör üst braket taşıyıcı ve kılavuz yatak, jeneratör alt kılavuz ve türbin kılavuz yataktan oluşmaktadır. Yataklar kaymalı yataktır. Türbin devri 500 RPM ve türbin çarkı 13 kanatlıdır.

2. Arızanın Titreşim Analizi ile Tespiti

Türbin ve jeneratör yatakları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Her yataktan iki radyal yönden ve taşıyıcı yataktan aksenal yönden mutlak titreşim ölçümü, türbin kılavuz ve jeneratör alt kılavuz yataktan ise ayrıca relatif titreşimler ölçülmüştür. Tüm ölçümler jeneratör tam yükte iken toplanmıştır.



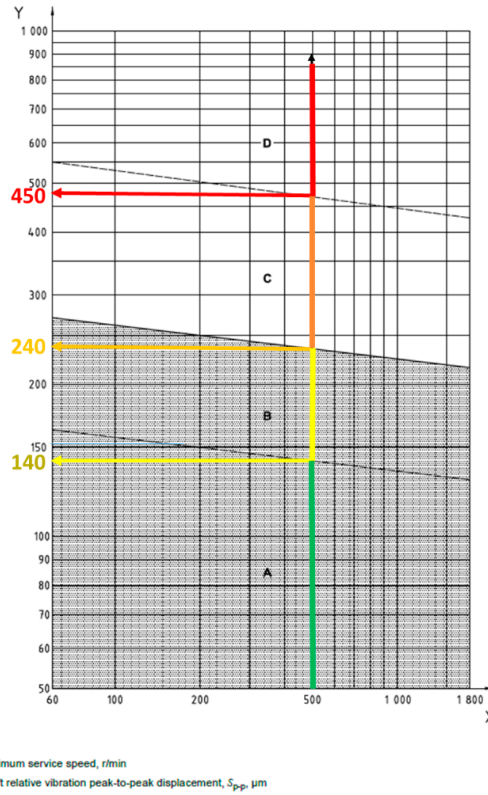
Şekil 2.1 Dikey Francis Türbin yatakları ve ölçüm noktaları

Tesisin durum ve üretim ekranı üzerinden titreşim değerlerinde artış görülmesi sebebiyle, detaylı titreşim analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan titreşim ölçümleri toplam değer sonuçları üzerinden ISO 10816-5 ve 7919-5 standartları ile karşılaştırılmıştır. ISO 10816-5 standardı mutlak yatak titreşim sonuçlarının belirlenmesi adına türbinleri 4 grup altında toplamaktadır. Dikey Francis türbin olan bu ekipman standarda göre 4. Grup'ta yer almaktadır. 4. Grup için titreşim limitleri Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1 ISO 10816-5 standardı Grup 4 için titreşim limitleri

Hız Toplam Değer (2-1000 Hz, mm/s RMS)		
	Üst Braket	Diğer Yataklar
A/B	2,5	1,6
B/C	4	2,5
C/D	6,4	4

ISO 7919-5 standardı ise relatif şaft titreşimleri için limitlerin belirlendiği standarttır. Ölçümler yer değiştirme sensörleri ile toplanmalı ve frekans aralığı “1/3*RPM – 3*BPF” aralığında olmalıdır. Bu ünite için 2-216 Hz olarak belirlenmiştir. Titreşim limitleri şaft hızına bağlı olarak sunulmuştur. Çalışmadaki ünite için limitler Şekil 2.2’de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 ISO 7919-5 relatif şaft titreşim limitleri

Ölçümler %0, %70 ve %100 yük olarak 3 farklı yük altında toplanmıştır. Toplam değer sonuçlarının karşılaştırmalı sonuçları Tablo 2.2 ve 2.3’de sunulmuştur.

Tablo 2.1 Bakım öncesi relatif şaft titreşimi sonuçları ve ISO 7919-5 standardı ile kıyaslaması

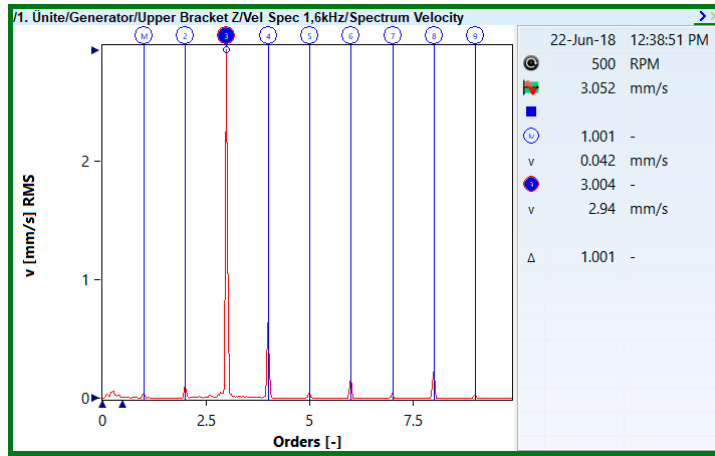
Ünite 1	Şaft Salınım Değerleri [μm pk-pk_2 Hz -216 Hz]	
	Yük %0	Yük %100(8,2 MW)
Jeneratör Alt Yatak X	174	232
Jeneratör Alt Yatak Y	284,5	216,75
Türbin Yatağı X	130,25	109,75
Türbin Yatağı Y	92,25	117,5

Tablo 2.2 Bakım öncesi mutlak yatak titreşim sonuçları ve ISO 10816-5 standardı ile kıyaslanması

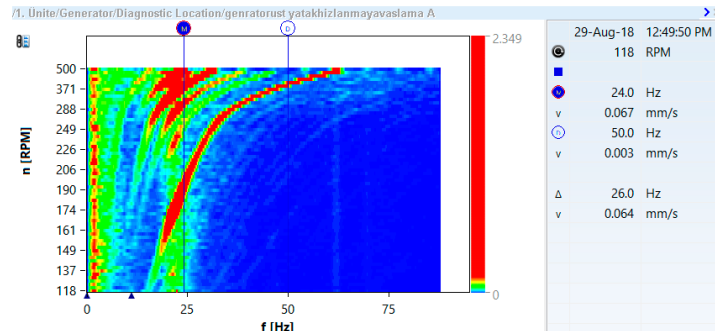
Ünite 1	Titreşim seviyesi [mm/s RMS_2-1000 Hz]		
	Yük %0(0MW)	Yük %70(5,9MW)	Yük%100(8,2 MW)
Generatör Üst Yatak X	0,58	0,6	0,605
Generatör Üst Yatak Y	0,614	2,464	2,414
Generatör Üst Yatak Z	2,517	3,819	3,095
Generatör alt yatak X	0,257	0,21	0,236
Generatör alt yatak Y	0,268	0,192	0,197
Türbin Yatağı X	0,525	0,196	0,244
Türbin Yatağı Y	0,945	0,05	0,726

Sonuçlar incelendiğinde hem mutlak hem relatif titreşim için jeneratör yataklarında titreşimin yüksek olduğu ve B/C bölgesinde olduğu görülmektedir. Özellikle jeneratör üst yataкта bulunan taşıyıcı yataktan şaft eksenı yönünde alınan ölçüm sonuçları, taşıyıcı yataкта bir problem ile karşılaşıldığının göstergesidir. İleri seviye titreşim analiz yöntemleri için toplanmış spektrumlar, zaman sinyalleri ve şaft yörünge grafikleri incelendiğinde, sorunun kaynağı çok daha net bir şekilde belirlenmiştir.

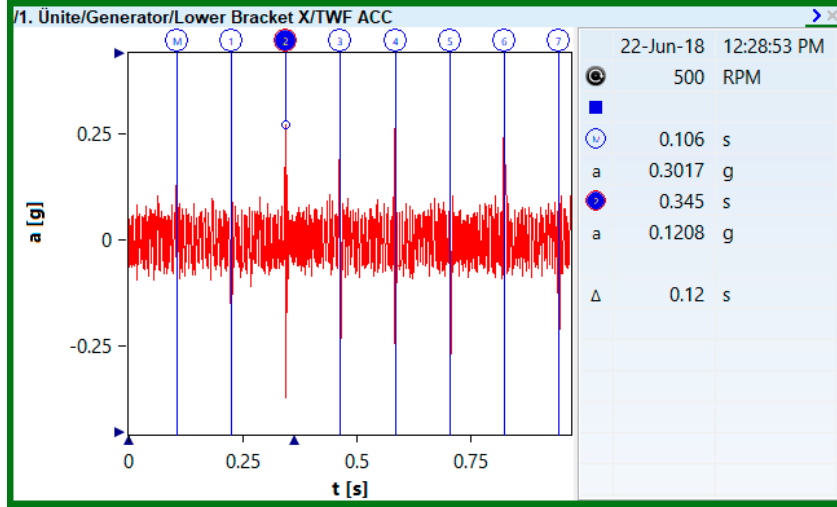
Jeneratör taşıyıcı yataktan toplanmış hız spektrumu incelendiğinde titreşim karakterinin şaft dönüş hızı (1X) ve harmoniklerinde meydana geldiği, özellikle 3X (25 Hz) titreşiminin çok yüksek olduğu görülmüştür. Jeneratör iç yapısı, yatak iç yapısı ve rotor üzerinde şaft dönüş hızının üç katında meydana gelebilecek bir olay olmaması, 25 Hz ve çevresinin doğal frekans bölgesi olması şüphesi oluşturmuştur.

**Şekil 2.3** Jeneratör taşıyıcı yatak aksel yön bakım öncesi hız spektrumu

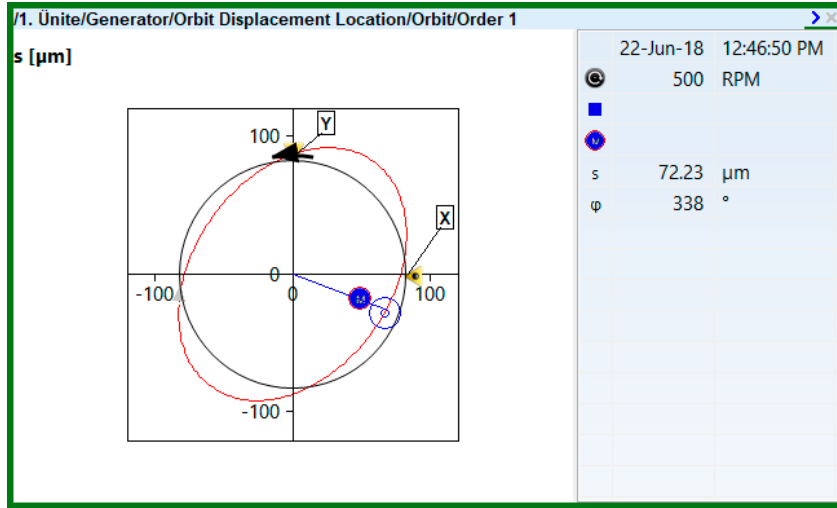
Doğal frekans bölgelerinin tespiti için hızlanma/yavaşlama testine başvurulmuştur. Türbin-jeneratör en yüksek devrine çıkartılıp hızı yavaşça kademeli bir şekilde düşürülmüştür. Devir sensörü ile hız değişimine bağlı olarak elde edilen titreşim sonuçları incelendiğinde 25 Hz bölgesinin doğal frekans bölgeleri olduğu ortaya çıkmıştır.

**Şekil 2.4** Jeneratör taşıyıcı yatak yavaşlama testi sonucu Bode Diyagramı

Jeneratör alt kılavuz yataktan alınmış zaman dalga formları incelendiğinde, shaft dönüş hızı periyotlarında darbelerin olduğu görülmektedir. Ayrıca yörünge analizlerinde görülen shaft hareketinin tersine eliptik sonuçlar, jeneratör yataklarında meydana gelmiş gevşeklik ve geometrik bozuklukların sonucu olarak yorumlanmıştır.



Şekil 2.5 Jeneratör alt kılavuz yatak bakım öncesi İvme Zaman Dalga Formu sonucu



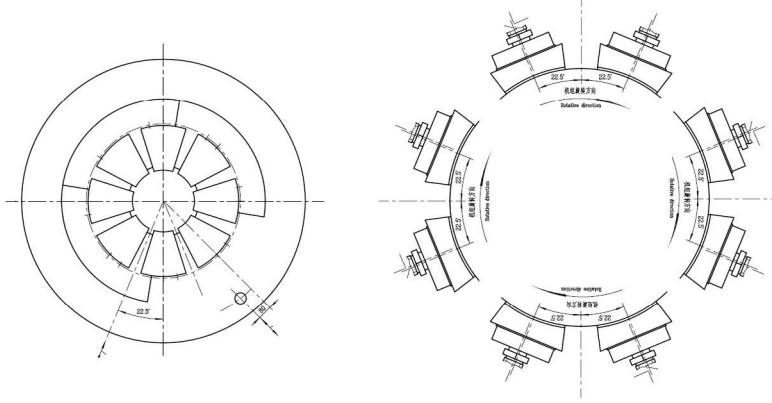
Şekil 2.6 Jeneratör alt kılavuz yatak bakım öncesi 1. Mertebe yörünge analizi

Yapılan analizler sonucunda, titreşimlerin kaynağının jeneratör alt kılavuz yatak ve taşıyıcı yatak olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşıyıcı yatakta 3X bölgesinin doğal frekans ile çakışması rezonans durumuna yol açmakta ve titreşim seviyelerini olması gereken değerlerin üzerine çıkarmaktadır. Bu durum başlangıç seviyesindeki arızaların dahi tehlikeli olabilmesine sebep olmaktadır. Yatakların incelenmesi ve sorunların giderilmesi yöntemleriyle birlikte bir sonraki konu başlığında detaylandırılmıştır.

3. Arızanın Giderilmesi

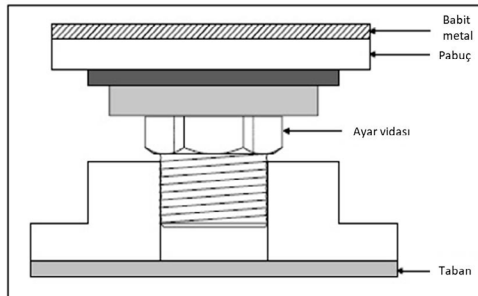
Dikey Francis tipli hidroelektrik türbin-jeneratör gurubunda, türbin kılavuz yatağı, jeneratör alt kılavuz yatağı, jeneratör üst kılavuz yatağı ve üniteyi taşıyan taşıyıcı yataklar bulunmaktadır. Tasarıma göre taşıyıcı yatak jeneratör üst kılavuz yatağın olduğu bölümde veya alt kılavuz yatağın olduğu bölümde yer alabilmektedir. Bu yataklar ünite ekseninin hizalanmasında ve dik eksende düzgün bir şekilde dönmesini sağlamaktadır. Ünitenin titreşim ve salınım altında çalışma koşullarına yatak pedlerinin ayarı doğrudan etki etmektedir. Ayrıca yatak sıcaklıklarının dengeli dağılımı açısından bu yatakların doğru ayarlanması son derece önemlidir [5].

Titreşim analizi ile tespit edilen arızaların giderilmesi için üretim ve bakım ekiplerinin ortak çalışması ile planlama yapılmıştır. Bakım çalışmasında jeneratör üst yatak demonte edilmiştir. Taşıyıcı yatak kontrolleri yapılmış, yapılan kontroller sırasında 8 adet taşıyıcı yatak bulunan ünitenin 2 nolu taşıyıcı yatağında gevşeklik olduğu tespit edilmiştir. Ünite durduğunda, ünitenin taşıyıcı başlığı, taşıyıcı yatak pedleri üzerine oturduğunda, ağırlığın tüm taşıyıcı yataklara dengeli olarak dağılması gerekmektedir. Fakat taşıyıcı başlık ile 2 numaralı taşıyıcı yatak pedi arasında boşluk olduğu ve 2 numaralı taşıyıcı yatak pedi üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmadığı görülmüştür. Bu nedenle diğer pedlere göre 2 numaralı taşıyıcı yatağın serbestçe hareket ettiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ünite çalışırken pedler arasında düzenli bir ağırlık dağılımı oluşumunun gerçekleşmediği anlaşılmıştır.



Şekil 3. 1 Jeneratör Taşıyıcı ve Üst Kılavuz Yatakları

Ünite taşıyıcı başlık üzerine ünite dengesini takip edebilmek için hassas terazi konulmuş ve kaldırma sistemi ile ünite kaldırılmıştır. Üniteyi kaldırmakta kullanılan 4 adet fren pistonunun her birine dengeli bir kaldırmanın olup olmadığını kontrol edebilmek amacıyla fren pistonlarının üzerine komparatörler yerleştirilmiştir. Basınçlı yağ ünitesi yardımıyla ünite taşıyıcı yatak pedlerinden 2 mm yukarıya kaldırılmıştır. Serbest kalan tüm taşıyıcı pedler ile taşıyıcı başlık arası sentil ile ölçülerek 2 mm değeri 2 numaralı ped dışındaki diğer pedlerde görülmüştür. Ancak 2 numaralı ped ile taşıyıcı başlık arasındaki mesafe 4 mm ölçülmüştür. 2 numaralı taşıyıcı ped ile taşıyıcı başlık arasındaki mesafeyi 2 mm indirebilmek amacıyla, yatak pedi altında bulunan vidalı ayarlama sistemi kullanılmış ve taşıyıcı yatak 2 mm yukarı kaldırılmıştır.



Şekil 3. 3 Taşıyıcı Yatak Ayar Mekanizması

Ayarlamalar sonrasında yapılan sentil çakısı ile boşluk ölçümlerinde tüm taşıyıcı yataklar ve taşıyıcı başlık arasındaki mesafenin 2 mm olduğu görülmüştür. Yapılan ayarlama sonrasında ünite fren pistonları indirilerek taşıyıcı başlığın taşıyıcı yatak pedleri üzerine oturması sağlanmıştır. Son kontroller yapılmış, yatak boşlukları kontrol edilmiş ve bakım çalışması tamamlanmıştır. Ardından titreşim ölçümleri tekrarlanarak bakım çalışmasının doğrulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Taşıyıcı yatak ölçümleri ve ayarı

4. Arızanın Giderilmesinin Ardından Yapılan Doğrulama Ölçümleri

Bakım sonrasında 29 Ağustos 2018 tarihinde tüm titreşim ölçümleri tekrarlanmış ve standartlar ile kıyaslanmıştır. Bakım sonrası toplam değer sonuçlarının ISO 10816-5 ve 7919-5 standartları ile kıyaslaması Tablo 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur. Sonuçlardan da görüldüğü üzere tüm titreşim limitlerinde düşüş olduğu görülmüş ve özellikle mutlak yatak titreşim sonuçlarının tümünün A/B bölgesi limitlerinin altına indiği görülmüştür.

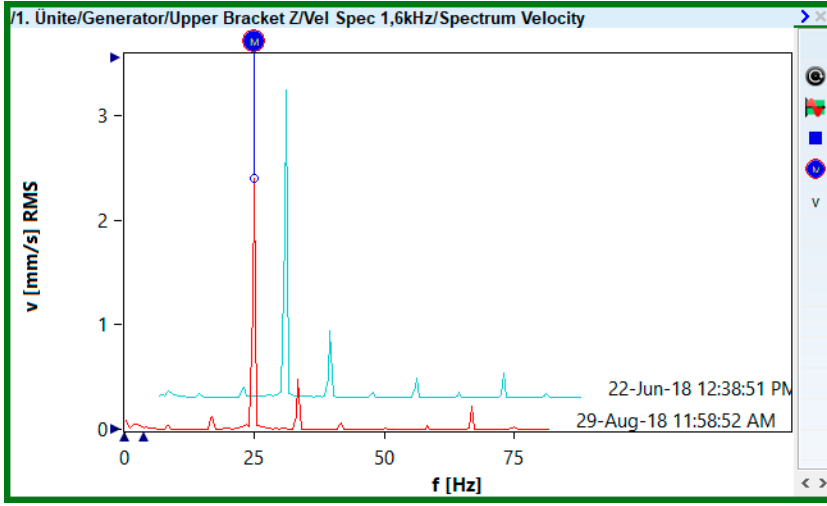
Tablo 4.1 Bakım sonrası relatif shaft titreşimi sonuçları ve ISO 7919-5 standardı ile kıyaslaması

Ünite 1	Şaft Salınım Değerleri [µm pk-pk 2 Hz -216 Hz]	
	Yük %0	Yük %100(8,2 MW)
Jeneratör Alt Yatak X	143,38	197,75
Jeneratör Alt Yatak Y	183	169,25
Türbin Yatağı X	121	100,5
Türbin Yatağı Y	106,75	135,12

Tablo 4.2 Bakım sonrası mutlak yatak titreşimi sonuçları ve ISO 10816-5 standardı ile kıyaslaması

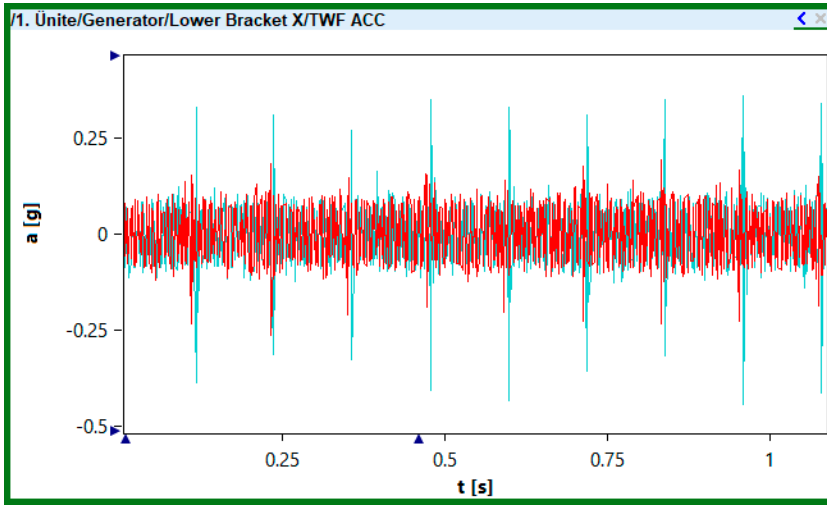
Ünite 1	Titreşim seviyesi [mm/s RMS_2-1000 Hz]		
	Yük %0(0MW)	Yük %70(5,9MW)	Yük%100(8,2 MW)
Jeneratör Üst Yatak X	0.444	0.433	0.478
Jeneratör Üst Yatak Y	0.359	0.451	0.477
Jeneratör Üst Yatak Z	1.647	2.405	2,45
Jeneratör alt yatak X	0.286	0.255	0.23
Jeneratör alt yatak Y	0.3	0.226	0.24
Türbin Yatağı X	0.744	0.324	0.392
Türbin Yatağı Y	0.436	0.184	0.237

Titreşim karakterlerinin değişimini ortaya koymak için spektrum, zaman sinyali ve yörünge analizleri incelenmiştir. Taşıyıcı yataкта özellikle 25 Hz (3X) titreşiminin düştüğü görülmektedir. Titreşiminin çok daha düşük seviyelere düşmemesinin sebebi, rezonans olayıdır.



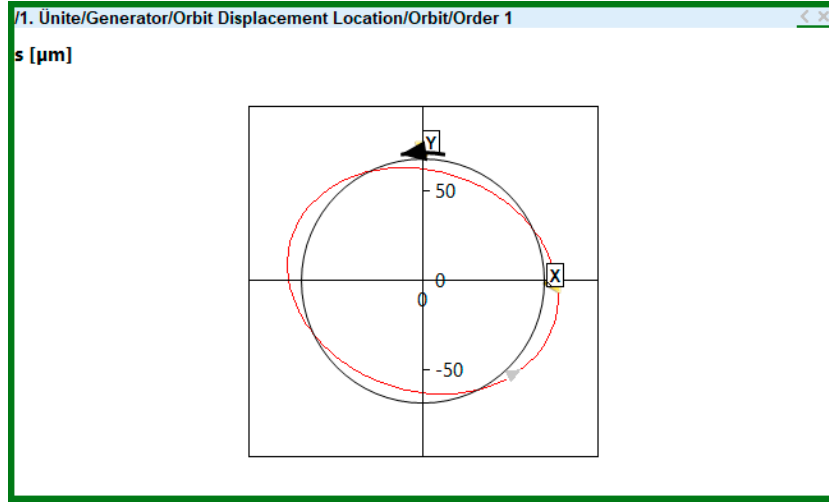
Şekil 4.1 Taşıyıcı yatak Hız Spektrumu (mavi eğri; bakım öncesi, kırmızı eğri; bakım sonrası)

Jeneratör alt kılavuz yataktan toplanmış İvme zaman dalga formları incelendiğinde, bakım öncesi şaft dönüş hızında meydana gelen darbelerin bakım sonrasındaki ölçümlerde ortadan kalktığı görülmüştür. Bu sonuç yatak gevşekliğinin giderildiğinin göstergesidir.



Şekil 4.2 Jeneratör Alt kılavuz yatak İvme Zaman Dalga Formu (mavi eğri; bakım öncesi, kırmızı eğri; bakım sonrası)

Jeneratör alt kılavuz yataktan alınan 1. mertebe yörünge grafiği, daha önce şaft dönüş yönünün tersine eliptik sonuçun, bakım sonrası genliğinin düştüğü, elipsin azaldığı ve şaft dönüş yönünde sonuç ortaya koyduğu görülmüştür. Bu sonuç şafta yansıyan kuvvetlerin azaldığının belirtisidir.



Şekil 4.3 Jeneratör Alt kılavuz yatak bakım sonrası 1. Mertebe yörünge grafiği

5. Sonuç

Bu çalışmada titreşim analizinin, fabrika, santral ve döner ekipmanlar ile çalışan tüm tesislerin güvenilirlik çalışmalarında anahtar rol oynadığı tekrar ortaya koyulmuştur. Titreşim analizi yöntemiyle bir hidroelektrik santralde meydana gelmiş arızanın tespiti, önerilere göre alınan aksiyonların ardından arızanın giderilmesi ve doğrulama ölçümleri sunulmuştur.

Kalifiye analistlerin, verilerin analizi ile yaptığı doğru yönlendirmeler ve kalifiye bakım çalışanlarının düzeltme çalışmalarının ortak paydada buluşması, ekipmanların güvenilirliğini artırırken bakım çalışmalarının süresini ve maliyetini azaltmaktadır. Bu çalışmada tespit edilen arıza öngörülmeseydi ikincil bir hasar ile birlikte büyük bir duruşa yol açabilirdi. Meydana gelecek olan bu hasarın bakım-onarım çalışmaları yaklaşık bir hafta sürecekti ve üretim kaybı oluşacaktı. Maliyet analizi yapıldığında bir haftalık üretim 1378 MWh'ın karşılığında yaklaşık 100.000 \$ üretim kaybı ve 550-600 bin TRY büyük bakım maliyeti ortaya çıkmaktadır.



6. Teşekkür

Çalışmanın ortak bir eser haline gelmesini destekleyen Entek Elektrik Üretim A.Ş. ve Prüftechnik Proaktif Bakım Teknolojileri şirketlerine ve yöneticilerine teşekkürlerimizle.

7. Kaynaklar

[1] Eisenmann, R. C., Jr. Eisenmann, R. C. 1998. "Machinery Malfunction Diagnosis And Correction", ISBN: 978-1-941872-33-8, Reliabilityweb.com, USA.

[2] ISO 10816-5:2000 - Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -- Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants

[3] ISO 7919-5:2005 - Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts -- Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants

[4] ISO 20816-5:2018 - Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of machine vibration -- Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants

[5] Cline R., 2000. Alignment of vertical shaft hydrounits. Facilities instructions, standards, and techniques Volume 2-1, Colorado-USA.

DOĞAL SOĞUTUCU OLARAK KARBONDİOKSİT KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE BAKIM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Özge Altun, ²Kıvanç Aslantaş

¹Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.Mim.Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, okutlu@ogu.edu.tr

²Cooling, Danfoss Türkiye, Epta İstanbul, kivanc.aslantas@danfoss.com

Özet

Soğutma teknolojileri gıda, imalat, otomotiv, havacılık, tıp gibi çeşitli endüstriyel ve sektörel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğutma sistemlerine yönelik bakım mühendisliği uygulamaları ile, gerek sistemden istenilen verimin ve performansın sağlanması, gerekse de ortaya çıkabilecek arızalar ve emniyetsiz durumlar karşısında, insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkilerin önlenmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada, soğutma sistemleri için yenilikçi soğutma sistemlerinden birisi olan karbondioksitli (CO₂) soğutma sistemlerindeki bakım uygulamaları hakkında bilgilendirme yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutma, CO₂, bakım , emniyet

1. Giriş

Soğutma teknolojileri endüstriyel, küçük ticari sistemler ve ev tipi sistemler olmak üzere farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Sistemden istenilen verimin elde edilmesi, yüksek performansta soğutma sağlanması, arızaların minimum seviyeye düşürülerek sistemin idame ettirilmesi açısından, bakım işlemleri önem arz etmektedir.

Soğutma teknolojilerinde kullanılan sistemler ve soğutucu akışkanlar; uygulanan sektör, sistemden istenilen soğutma kapasitesi, maliyet, iklim şartları gibi etkilere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Özellikle çevresel etkiler ve iklim değişikliği nedeniyle soğutucu akışkan seçimi ve kullanımı yasal düzenlemeler ve yönetmelikler ile kısıtlanmıştır. Günümüze kadar ve günümüzde Freon gazı içeren soğutucu akışkanlar kullanılmış ve kullanılmaktadır. Ancak 1980'li yıllarda ozon tabakasının tahribata uğraması nedeniyle, bu tahribata sebep olan maddelerin kullanımının ve üretiminin kontrol altına alınmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda, 1987 yılında Montreal Protokolü ile Kloroflorokarbon (CFC) gurubu soğutucu akışkanların kullanımını ve üretimini azaltıcı tedbirler alınmıştır [1]. 2004 yılında ise sera gazı etkisi yaratan gazların salınımının sınırlandırılması ve azaltılması amacıyla Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Kigali anlaşması ile hidroflorokarbon (HFC) gazının kul-

lanımının sınırlandırılması ve 2030 yılından sonra kullanımının tamamen kaldırılması planlanmaktadır [2]. HFC gazı soğutma/iklimlendirme sistemlerinde ve aerosol sprelerde kullanılan ve sera etkisi yüksek olan bir gazdır. Soğutucu akışkanlar sistemde bulunan çatlak veya birleşim yerlerinden sızıntı ve yanlış bertaraf ve toplama işlemi nedeniyle çevreye yayılırlar ve böylece küresel ısınmaya ve ozon tahribatına sebep olurlar [3]. Bu nedenle HFC kullanan soğutma sistemlerinde uygulanan bakım işlemleri açısından sistemin ve sistem elemanlarının iyi tanınması, olası arızalar ve önleyici tedbirler konusunda bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

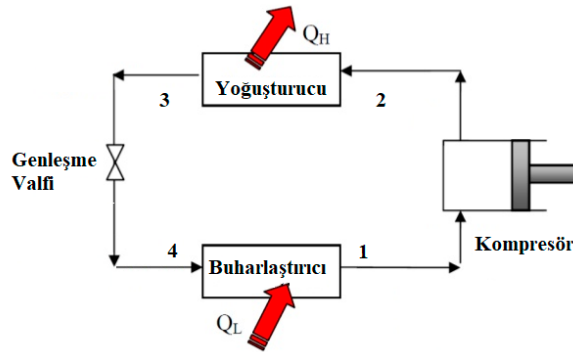
Tüm bu protokoller, anlaşmalar ve çevresel etkiler dikkate alındığında soğutma sistemlerinde HFC gazların yerini alacak alternatif ve doğal soğutucu akışkanların kullanımı ve bu soğutucu akışkanlara yönelik çalışmalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Özellikle alternatif ve doğal soğutucu akışkanların yaygınlaşmasıyla birlikte bu alanda eğitim almış kalifiye elemanlara, teknik yayın ve raporlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı doğal bir soğutucu akışkan olan CO₂'li soğutma sistemlerinin tanıtımı ve bu sistemlerin emniyetli ve verimli kullanımı için gerekli teknik bilgilerin paylaşılmasıdır.

2. Soğutma Çevrimi

Buhar sıkıştırımlı bir soğutma sistemi dört ana eleman (buharlaştırıcı, yoğusturucu, kompresör, genişleme valfi) ile yardımcı elemanlardan (termostatlar, basınç otomatikleri, emniyet valfleri, vb.) ve bu sistem içinde dolaşan bir soğutucu akışkandan oluşmaktadır.

Bu dört ana ve yardımcı eleman, içinden soğutucu akışkanın geçtiği borular ile birleştirilerek bir sistemi oluşturmaktadır (Şekil 1). Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sisteminde gaz halindeki soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılır ve kızgın buhar halde yoğusturucuya gönderilir. Yoğusturucuda çevreye ısı vererek sıvı faza geçen soğutucu akışkan genişleme valfinden basıncı düşürülerek ıslak buhar halinde buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcıda, ortam sıcaklığında düşük sıcaklığa sahip soğutucu akışkan ortamdaki ısı çekerek ortamı soğutur. Buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkan doymuş buhar halindedir.



Şekil 1. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi şematik gösterimi

Bu sistem bir uyum içinde çalışmalıdır. Çünkü soğutma sistemi bir döngü halinde çalışır ve sistemde yer alan elemandaki bir problem diğer sistem elemanlarında da problemlere sebep olacaktır [4].

3. Soğutucu Akışkanların Emniyet Sınıflandırılması ve Çevresel Etkileri

Soğutucu akışkanlar yanıcılık yönünden dört ana sınıfa, zehirlilik derecesine göre de iki sınıfa ayrılmaktadır (Tablo 1). Eğer soğutucu akışkan alevlenme testinde 21 °C'de ve 101 kPa basınçta yanmıyorsa yanıcı olmayan soğutucu akışkanları ifade etmektedir. 2L sınıfı soğutucu akışkanlar 21 °C'de ve 101 kPa basınçta yanma hızı 10 cm/s'ye eşit yada düşük olan ve yanıcılık özelliği gösteren akışkanlardır. Yanıcılık sınıfı 2 olan soğutucu akışkanlar ise 21 °C'de ve 101 kPa basınçta yanma hızı 10 cm/s'den büyüktür yanıcılık özelliği gösterirler. Yanıcılık sınıfı 3 olan soğutucu akışkanlar ise 21 °C'de ve 101 kPa basınçta yüksek yanıcılık özelliği göstermektedir [5].

Tablo 1. Soğutucu akışkanların sınıflandırılması [6]

Yanıcılık Sınıfı	Açıklama	Zehirlilik Sınıfı	Açıklama
1	Yanıcı değil	A	Düşük zehirlilik
2L	Düşük yanıcı	B	Yüksek zehirlilik
2	Yanıcı		
3	Yüksek Yanıcı		

Yaygın olarak kullanılmış ve kullanılan soğutucu akışkanların emniyet sınıflandırması Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Farklı soğutucu akışkanlara ait emniyet sınıflandırması [7,8]

Tip	Ürün R-Numarası	Emniyet
CFC	R11	A1
	R12	A1
HCFC	R22	A1
HFC	R32	
	R134a	A1
	R404a	A1
	R407a	A1
	R507	A1
HFO	R1234yf	A2L
	Hidroflorolefin R1234ze	A2I
HC	R290(Propan)	A3
	R600a (İzobütan)	A3
	R1270	A3
Alternatif	Amonyak	B2
	CO ₂	A1

Tablo 2 incelendiğinde alternatif (HFO, HC) ve doğal soğutucu (Amonyak, CO₂) akışkanların emniyet sınıflandırmalarının sentetik soğutucu akışkanlara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

4. Soğutucu Akışkan CO₂’nin Özellikleri

CO₂’nin soğutucu akışkan olarak kullanımı her ne kadar günümüzde ön plana çıkmış olsa da ilk kullanımı 1850’li yıllara dayanmaktadır. Freon gazlarının ön plana çıkması ile popülaritesini kaybeden CO₂, bu kimyasal gazların sera etkisi ve küresel ısınmaya katkıları nedeniyle 1993 yılında Gustav Lorentzen tarafında tekrar gündeme gelmiştir [9].

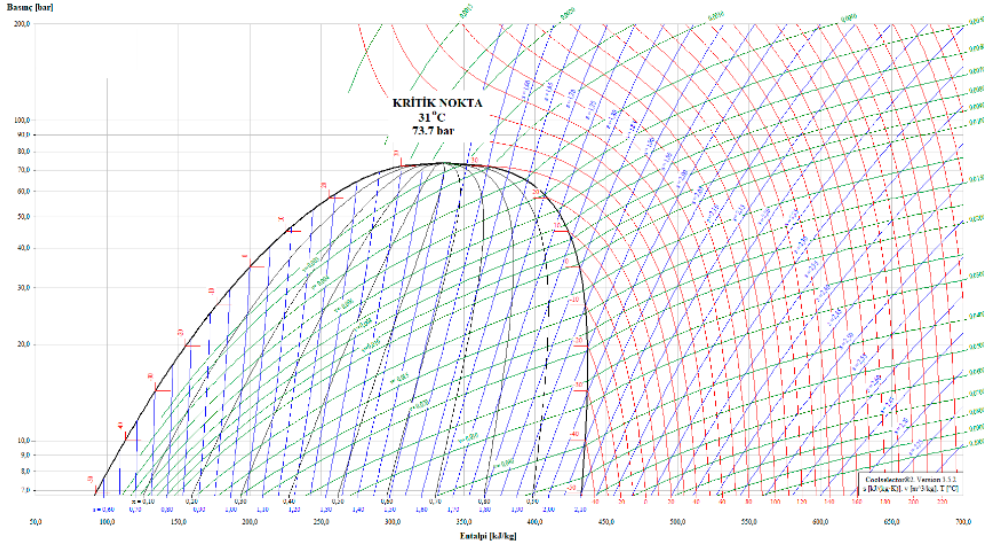
CO₂, amonyağın zehirli ve propanın patlayıcı olmasının aksine yanıcı ve zehirli değildir. Küresel ısınma yaratma potansiyeli (GWP) bir, ozon tüketme faktörü ise (ODP) sıfırdır. Temin edilmesi kolay ve ucuz bir soğutucu akışkandır. Soğutma kapasitesi yüksektir. Sistemde yer alan basma ve emme hatlarında boru çapları daha küçüktür ve daha küçük kompresör kullanılmaktadır. Ayrıca CO₂ atmosferde bulunmaktadır ve herhangi bir gaz kaçağı durumunda çevresel zararı söz konusu değildir.

Bununla birlikte CO₂’nin dezavantajları da söz konusudur. Özellikle kritik nokta basıncının diğer soğutucu akışkanlara göre çok yüksek, kritik nokta sıcaklığının düşük olmasıdır (Tablo 3, Şekil 2).

Tablo 3. Soğutucu akışkanlara ait Termofiziksel Özellikler [10]

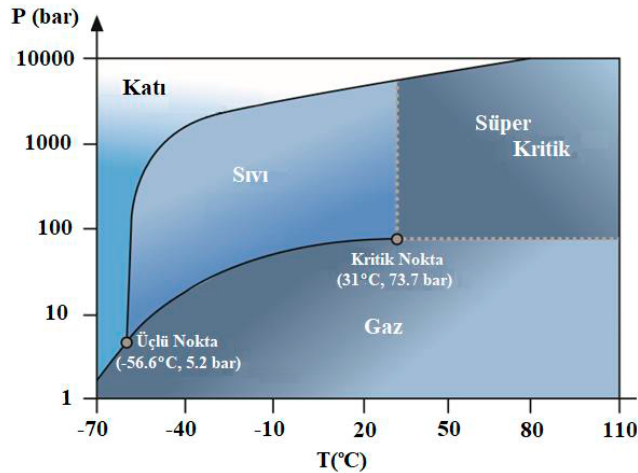
Soğutucu akışkan	T _{Kritik} (°C)	P _{Kritik} (bar)
CO ₂	31	73,7
NH ₃	132,3	113,3
R290	96,7	42,5
R404A	72,1	37,3
R410A	72,1	49,3
R134A	101,1	40,6

Kritik nokta basıncının yüksek olması sistemin yüksek basınç altında çalışmasını gerektirmektedir ve bu da yeni tasarım ve güvenlik sorunlarını beraberinde getirmektedir.



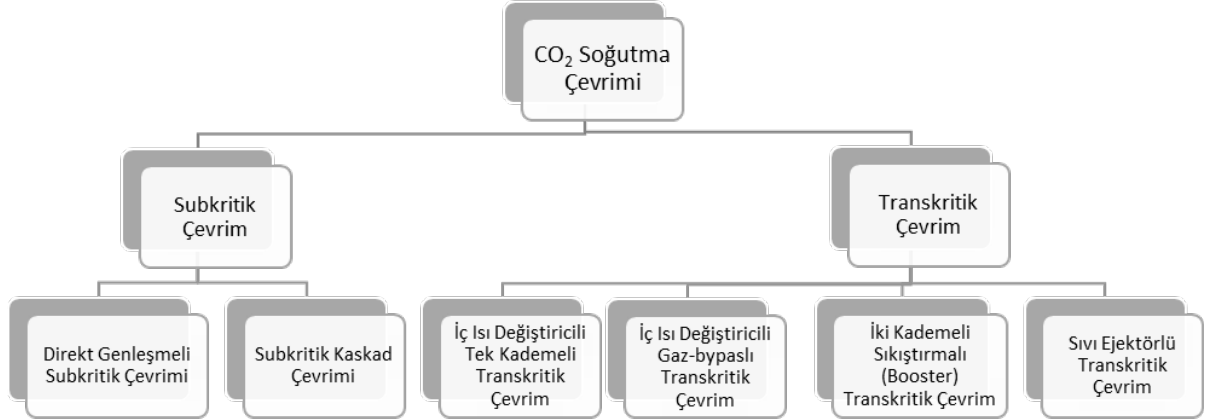
Şekil 2. CO₂ ln P-h diyagramı

CO₂'nin diğer soğutucu akışkanlardan farklı olan bir diğer özelliği ise yüksek üçlü noktasıdır (Şekil 3). CO₂ buhar basıncı üçlü noktanın (5.2 bar) altına düştüğünde kuru buz oluşur. İyi tasarlanmış bir sistemde gerçekleşmesi zordur. Ancak basınç emniyet valfi buhar fazında CO₂ tahliye ederse, parça değişimi ve servis esnasında CO₂ tahliye olursa ve 4.2 bar altında sisteme CO₂ şarj edilirken kuru buz oluşabilir.



Şekil 3. CO₂ faz diyagramı [11]

Soğutucu akışkan olarak CO₂ kullanılan soğutma sistemi, sistemin çalışma aralığına bağlı olarak subkritik ve transkritik olmak üzere iki sınıf ayrılır (Şekil 4). Sistem kritik nokta altında çalışıyorsa subkritik sistem olarak adlandırılmaktadır. Kritik nokta sıcaklığının düşük olması sıcak iklimde kritik nokta altında çalışmasını imkansız hale getirmektedir ve sistemin kritik nokta üstünde çalışması gerekmektedir. Sistemin kritik nokta üstünde çalışması nedeniyle CO₂ yoğunlaşmadan gaz fazında çevreye ısı atmaktadır. Bu nedenle transkritik CO₂ çevriminde yoğunlaştırıcı yerine gaz soğutucu kullanılmaktadır.



Şekil 4. Temel CO₂ Soğutma çevrimleri

5. Emniyet ve Bakım Uygulamaları

Kritik nokta basıncının diğer soğutucu akışkanlara göre çok daha yüksek olması güvenlik problemine sebep olmaktadır. Hem sistem hem de insan güvenliği açısından bu problemin ortadan kalkması için boru kalınlıkları artmıştır. Sıvı hattı için boru çapı 40 mm, emme hattı için ise 25-30 mm'dir. (R404A'da sıvı hattı 33 mm ve gaz hattı 100 mm CO₂ ile ters kontrol edilmeli.). Sıvı hattı flaş gaz oluşumu nedeniyle mutlaka yalıtılmalıdır.

CO₂ üçlü noktanın altında sıvı fazdan doğrudan katı faza geçmekte ve kuru buz oluşmaktadır. Bu durum sıvı CO₂'nin sistemden uzaklaştırılması esnasında emniyet valflerinin ve havalandırma hatlarının tıkanmasına sebep olacaktır.

Havada CO₂ konsantrasyonu 370 ppm'dir. CO₂'li soğutma sistemi yüksek basınçlarda çalıştığı için sızıntı durumunda havanın yerini daha hızlı almakta ve boğulma tehlikesi artmaktadır. Bu nedenle bir ön alarm sistemi bulunmalıdır ve bu 5000 ppm'e ayarlanmalıdır.

CO₂ havadan ağır olduğu için gaz dedektörleri hava akış yönünde ve yere yakın bir şekilde monte edilmelidir. Eğer bakım ve kontrol esnasında kişisel ekipmanda yer alan gaz dedektörü alarm veriyorsa ortama girilmemelidir.

CO₂ Tüpleri 50 °C derecenin altında taşınmalı ve saklanmalıdır.

Emniyet valfleri devreye girdikten sonra mutlaka değiştirilmelidir.

Soğutma sistemlerinin günlük, haftalık, aylık ve yıllık bakım işlemlerinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yıllık bakımda yağ testleri yapılmalı ve yağ filtreleri değiştirilmelidir. Emniyet valfleri görsel olarak kontrol edilmelidir ve her dört yılda bir değiştirilmelidir. Gaz dedektörleri kontrol edilmelidir. Acil durum durdurmaları ve kapatma alarmları gibi uyarı/alarm cihazları kontrol edilmelidir.

Her iki yılda bir filtre kurutucusu değiştirilmelidir. Eğer gösterge veya herhangi bir ana servis yeşil değilse filtre kurutucusu daima değiştirilmelidir.



Sistem boruları her sekiz yılda bir kontrol edilmelidir. Yüksek basınç altında çalışma söz konusu olduğu için malzeme yorgunluğu söz konusu olabilmektedir.

Tablo 4. CO₂’li sistem için bakım periyotları

	Yıllık	İki Yıllık	Dört Yıllık	Sekiz Yıllık
Yağ Testleri	✓	✓		
Yağ Filtreleri	✓			
Emniyet Valfleri	✓		✓	✓
Aletler ve göstergeler	✓			
Gaz dedektörleri	✓			
Acil durum durdurmaları	✓			
Uyarı/Alarm Cihazları	✓			
Filtre kurutucusu		✓	✓	✓
Basınçlı kaplar			✓	✓
Boru sistemleri				✓

Soğutma sistemlerinde en sık karşılaşılan sorunlardan biri de kompresör yağlama yağının soğutucu akışkan ile birlikte sistemde dolaşmasıdır. Bunun önlenmesi ve yağın tekrar kompresör karterine dönmesi sağlanmalıdır. Eğer sistemde dolaşan yağ kartere geri dönmezse sistemde birikir (yoğuşturucu üst kısmı, buharlaştırıcı alt kısmı, boru çeperi) ve hem ısı geçişinin hem de akışın olumsuz etkilenmesine sebep olur. Ayrıca yağlama yağının sistemde kalması nedeniyle kompresör yağsız kalmaktadır ve bu da mekanik arızalar sebep olmaktadır. Ancak CO₂’li soğutma sistemlerinde boru çapının küçük olması nedeniyle yağ kaçışı daha az olmaktadır ve buharlaştırıcı/yoğuşturucu tesisi seviyelerine uygun olarak boru bağlantıları düzenlenerek yağ geri dönüşü sağlanabilmektedir.

Soğutma sistemlerinde karşılaşılan bir diğer sorun ise sistemin içinde bulunan nem ve sudur. Sistemde yer alan su ve nem kılcal boruların tıkanmasına ve kısılma valflerinin tam çalışmamasına sebep olmaktadır. Doğal soğutucu akışkanlarda amonyaklı sistemlerde suyun amonyak içinde çözülmesi nedeniyle sistemde yer alan nem ve su sorun oluşturmazken suyun CO₂’de çözünmemesi nedeniyle korozyon problemi ortaya çıkmaktadır. Sistemde korozyonu önlemek için CO₂’li sistemlerde KP65 dikişsiz bakır boru kullanılmaktadır ve bağlantılar sert lehim ile yapılmaktadır.

Yüksek basınçta çalışılması nedeniyle sistemin tüm bileşenlerinin çalışma basıncına uygun ve dayanıklı olması gerekmektedir.

6. Sonuç

Bu çalışmada çevresel sorunlar ve yönetmelikler ile kullanımı kısıtlanan ve/veya kaldırılan soğutucu akışkanlar yerine kullanımı yaygınlaşan doğal soğutucu akışkan CO₂ kullanılan soğutma sistemleri ve bu sistemlerin emniyet ve bakımı hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Özellikle zehirsiz, yanıcı olmayan, ucuz ve doğal bir soğutucu akışkan olan CO₂ kullanan soğutma sistemlerine ait emniyet ve bakım işlemleri kısa anlatılmış ve özetlenmiştir.

Bir sistemin verimli bir güvenli bir şekilde çalışması için sistemin çalışma şartlarına uygun tasarlanması ve periyodik bakımlarının zamanında ve konusunda uzman kişiler tarafından yapılması önem arz etmektedir.

Her ne kadar CO₂ yanıcı, patlayıcı ve zehirsiz olmasına rağmen kapalı alanlarda boğulma tehlikesi sebebiyle bakım işlemleri esnasında gerekli koruyucu ekipmanların kullanımına dikkat edilmelidir.

Tüm bakım uygulamalarında olduğu gibi CO₂ soğutucu akışkanlı soğutma sistemlerini tanıyan ve gerektiğinde müdahale edebilecek kalifiye çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bakım ve idame personelinin ilgili standart ve teknik dökümanlara göre emniyetli bir şekilde sorumluluklarını yerine getirebilmesi için eğitim faaliyetlerine önem verilmelidir.

7. Kaynaklar

- [1] Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü, 1990, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/ed-tordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU\(2\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/ed-tordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU(2).pdf), 19.07.2019.
- [2] Isaksson, L. H., Purohit, P., Amann, M., Bertok, I., Rajaf, P., Schöpp, W., Kleefeld, J.B. 2017. “Cost Estimates of the Kigali Amendment to Phase-Down Hydrofluorocarbons,” *Environmental Science and Policy*, vol. 75, p. 138-147.
- [3] Fritschi, H., Tillenkamp, F., Löhre, R., Brügger, M. 2017. “Efficiency increase in carbon dioxide refrigeration technology with parallel compression”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, cilt 12, s.171-180.
- [4] Yamankaradeniz, R., Horoz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N. 2009. Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, ISBN:978-605-4118-14-4, Dora Yayıncılık, Bursa.
- [5] Türkan, B., Çağlayan, A., Onbaşıoğlu, H. 2017.”Karbondioksit Akışkanlı Kanatlı Borulu Buharlaştırıcılarda Boru Özelliklerinin Isıl Kapasiteye Etkisinin İncelenmesi,” 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan 2017, İzmir.
- [6] EN 378-1:2008 A2:2012, Refrigerating systems and heat pump – Safety and environmental requirements, Basic requirements, definitions, classification and selection criteria, practical limit and maximum charge sizes.
- [7] Arora, R.C. 2012. Refrigeration and Air Conditioning, ISBN: 978-8120339156 PHI Learning PVT.LTD. 2012.
- [8] El-sayed, A.R., El-Morsi, M., Mahmoud, A.A.2018, “A review of the Potential replacements of HCFC/HFCs using environment-friendly refrigerants”, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, cilt.26, sayı.3, s:1-24
- [9] Pearson, A. 2005. “Carbon Dioxide – New Uses for an Old Refrigerant,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, no. 8, p. 1140-1148.
- [10] Messineo, A., Panno D. 2012. “Performance Evaluation of Cascade Refrigeration Systems Using Different Refrigerants,” *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, vol. 20, no. 3, p.1-8.
- [11] Danfoss 2008. “Transcritical refrigeration systems with Carbon dioxide (CO2),” [http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Rapid/01/Article/TranscriticalArticle/PZ000F102_ARTICLE_Transcritical%20Refrigeration%20Systems%20with%20Carbon%20Dioxide%20\(CO2\).pdf](http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Rapid/01/Article/TranscriticalArticle/PZ000F102_ARTICLE_Transcritical%20Refrigeration%20Systems%20with%20Carbon%20Dioxide%20(CO2).pdf), 17.07.2019.



8. Özgeçmiş

Özge ALTUN

1977 yılı Eskişehir doğumludur. 1998 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversitede 2001 yılında Yüksek Lisans ve 2007 yılında Doktora eğitimini tamamlamıştır. 1998-2013 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2013-2018 yılları arasında Yrd. Doç Dr. olarak görev yapmıştır. Halen aynı üniversitede Makine Mühendisliği Bölümünü Enerji Anabilim Dalında Doçent Dr. olarak görev yapmaktadır. Soğutma, Termal Bariyer Kaplamalar, Gaz Türbinleri, Isı Transferi konularında ulusal ve uluslararası makale ve bildiri çalışmaları bulunmaktadır. Avrupa Birliği destekli Real Alternatives 4 Life projesi kapsamında “Yanıcı Gazlar ve CO2 içeren Soğutma Çevrimleri Eğitmeni” dir. Evli ve iki çocuk annesidir.

Kıvanç ASLANTAŞ

1976 yılı İzmir doğumludur. 1998 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversitede 2001 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimi süresince Eskişehir’de mekanik tesisat ve doğlagaz hattı Proje Mühendisliği yapmış ve askerlik görevinin 1010ncu Ordudonatım Ana Tamir ve Bakım Fabrikası’nda Proje Mühendisi olarak tamamlamıştır. 2002 yılı sonrasında İzmir ve İstanbul’da ulusal ve çok uluslu firmalarda Proje, Satış Sonrası Hizmetler ve Satış yöneticiliği yapmış olan Aslantaş, doğal soğutkanlar ve CO2’nin soğutmada kullanımı ve yaygınlaşması konularında 2005 yılından bu yana çalışmalarda bulunmaktadır. Avrupa Birliği veri sistemine kayıtlı “Yanıcı Gazlar ve CO2 içeren Soğutma Çevrimleri Eğitmen Eğitici” dir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE SİVİL HAVACILIK BAKIM ONARIM VE YENİLEME (BOY) FAALİYETLERİ

**¹Selim Gürgen, ²Mehmet Alper Sofuoğlu,
³Fatih Hayati Çakır, ⁴Melih Cemal Kuşan,**

¹ Dr.Öğr.Üyesi, ESOĞÜ MYO Mekatronik Programı, sgurgen@ogu.edu.tr

² Arş.Grv.Dr. , ESOĞÜ MMF Makine Mühendisliği Bölümü, asofuoglu@ogu.edu.tr

³ Öğr.Grv., ESOĞÜ MYO Makine Programı, fcakir@ogu.edu.tr

⁴ Doç.Dr., ESOĞÜ MMF Makine Mühendisliği Bölümü, mkushan@ogu.edu.tr

Özet

Sivil havacılıkta uçak/helikopter Bakım Onarım ve Yenileme (BOY) faaliyetleri, yolcuların ve yüklerin güvenli bir şekilde taşınması için uçağın önceden belirlenmiş uçuşa elverişlilik koşullarında olmasını sağlamak için temel bir gerekliliktir. Ticari uçak BOY pazarı ilgili ülkenin küresel filo büyüklüğü, geniş hava taşımacılığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Ülkemiz bulunan başta Türk Hava Yolları olmak üzere sivil havacılık firmalarının elinde bulunan uçak sayıları ve buna bağlı olarak geniş yolcu ve yük taşımacılığı, BOY faaliyetlerinin önemini global dünyaya göre çok arttırmıştır. Dünyada bulunan sertifikalı BOY şirketlerinin toplam sayısı 463 olup, Türk Hava Yolları Teknik A.Ş./Turkish Technic tüm Dünya BOY şirketleri arasında ilk 20 ye girmektedir. Bu durum ülkemiz sivil havacılığının dikkatleri üzerine çekmesine sebep olmuştur.

Bu bildiride Dünyada ve Ülkemizdeki BOY faaliyetleri ele alınmış, sektörün geleceği tartışılmıştır. Çünkü özellikle hava taşımacılığı güvenilirlik katsayısının en önemli olduğu sektör olup önemini hiçbir zaman kaybetmeyecektir.

1. Giriş

Diğer havacılık alt bölümleriyle karşılaştırıldığında, Bakım, Onarım ve Yenileme (BOY) tesislerinin teknoloji ve kolaylıklar açısından daha az yatırım gerektirdiği söylenebilir. Ancak, BOY finansal harcamalar açısından oldukça sermaye yoğun olan, uygun maliyetli modeller ve teslimatlar sağlayan ciddi bir ticari faaliyettir. BOY pazarında temel olarak üç tür hizmet sağlayıcı vardır. Bunlar Uçak Operatörleri, Orijinal Ekipman Üreticileri ve Bağımsız Servis Sağlayıcılarıdır. Küresel sivil havacılık BOY pazarının finansal kriz nedeniyle, 2007'den 2009'a kadar yaklaşık 2,5 milyar dolar düşmüştür. Kuzey Amerika taşıyıcıları 2008 yılında rekorda en büyük kapasite düşüşünü yaşamıştır. ABD taşıyıcıları kapasiteyi neredeyse 800 uçak düşürdüğü zaman havayolu filosu genişlemelerini durdurarak uçak bakımı dış kaynaklarının sabit kalması bekleniyor ve maliyetlerden tasarruf etmeyi amaçlıyordu, Ancak her şeye rağmen artan küresel hava trafiği, ticari havacılıktaki MRO pazarını büyümeye zorlamıştır ve 2019 yılına kadar pazarın toplam büyüklüğünün 60 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir [1]

2. Havacılık Bakım Onarım ve Yenileme (BOY)

Önümüzdeki 20 yıl içinde havayollarına yaklaşık 40.000 yeni uçak girecektir [2] veya yaklaşık 60 yıldır serviste olan F-4 Phantom uçağının [4] özellikle Türk ve Japon Hava Kuvveti başta olmak üzere dünya hava kuvvetlerinde 10 yıl daha kullanılacağı tahmin edilmektedir. Bu durumla başa çıkabilmek için daha etkili bir şekilde BOY sürecine gereksinim duyulmaktadır.

Bir bakım planı genellikle özel olarak kabul edilir çünkü onarım işlemleri, genellikle farklı arıza durumları nedeniyle benzersiz işlemlerdir. Örneğin, motor parçası üzerindeki bir çatlak, belirli bir derinliğe, uzunluğa ve şekle sahiptir. Küçük çatlaklar tamir edilebilse de, daha büyük olanlar stokta olan, sipariş edilmesi veya yeniden üretilmesi gereken yedek bir türbin kanadı ile değiştirilmesini gerektirir. Bu süreç, ölçüm teknolojileri, teşhis ve karar alma konularında çok sayıda teknik klavuz izlenmesini içerir. Karar vermeyi mümkün kılmak için ürünün durumunu dijital olarak yakalamak, yorumlamak ve açık bir şekilde tanımlamak için yeni denetim teknolojilerine ihtiyaç vardır [3].

2.1. Dünyada BOY Faaliyetleri

Havayollarına yapılan hava taşıtlarının teslimatı 2027 yılına kadar toplamda 20.000 olacak, bu nedenle eski teknolojinin emekli olan uçakları yaklaşık 10.000'e çıkacaktır. Hızlandırılmış yeni uçak teslimatları, dönem boyunca devasa bir teknoloji değişimi ile sonuçlanacaktır. 2027 yılına kadar dünya sivil havacılık filosunun % 58'i yeni nesil uçak olacaktır [5]. Bu duruma paralel olarak küresel havayolu endüstrisi son birkaç yılda köklü değişiklikler göstermiş ve güçlü finansal sonuçlar ortaya çıkmıştır. Başarı derecesi dünya bölgeleri arasında değişmekle birlikte, uygun yakıt fiyatları ve yolcu/yük kapasitesi, 2016 yılında küresel kârlılıkta (35.6 milyar \$) yüksek rekor bir değere ulaşmıştır.



Şekil 1. Dar gövdeli Çin yapımı C919 [6]

Yeni nesil uçaklar 2000'den sonra tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu uçaklar sektöre iyileştirilmiş işletme maliyetleri ve kayda değer yatırım gerektiren yeni teknolojiler getirmektedir. Teknoloji; yeni yapı malzemeleri (karbon fiber kompozitler, hibrit kompozitler ve özel kaplamalar), Endüstri 4.0 gibi ilerlemelere uygun tasarlanmış tasarlanmış yeni veri toplama ve ölçüm araçlarını içerir.

Bakım kuruluşlarının bir uçak parçasını arızalanmadan önce faal tutma kabiliyeti, güvenilirliği geliştirme ve maliyetleri düşürme vaadi vardır. Buradaki zorluk, proaktif karar verme için verileri kabul etmek ve analiz etmek için henüz kanıtlanmış sistemleri bulunmamasıdır.

Dünya ticari havayolu filosunun 2017 başında yaklaşık 25.000 uçaktan 2027 yılına kadar 35.000'in üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir (Tablo 1). Havayollarına yeni uçak teslimatı 20.000 civarında olacak ve bunların çoğu yeni nesil uçak olacaktır, böylece eski teknoloji emekli uçakların sayısı yaklaşık 10.000'e çıkacaktır. Hızlandırılmış yeni uçak teslimat oranı, dönem boyunca devasa bir teknoloji değişimi getirecektir çünkü 2027 yılına kadar filonun % 58'i yeni nesil uçak olacaktır. Dünya uçak filosu büyümesi bölgesel olarak farklılıklar gösterecektir ve bölgesel olarak büyüklük sıralamasında değişiklikler olacaktır. En büyük büyüme Asya bölgesi olup ülke bazlı olarak Çin ve Hindistan olacaktır. Bu iki ülkenin ticari uçak filosu yaklaşık iki katına çıkacaktır. Filodaki uçak sayısı artışı oranında Kuzey Amerika 3. Sırada olacaktır. Filoların uçak yapıları ölçüde değişecektir. Dar gövdeli uçak (Şekil 1) sayısı diğer uçak sınıflarına göre çok daha hızlı büyüyecektir. Bölgesel/iş jetleri (Şekil 2) ve turboprop filolarının payları azalacak, geniş gövdeli uçakları ise sabit kalacaktır. 2027 yılı itibarıyla, dar gövdeliler % 65, geniş gövdeliler % 21 ve diğer modellerin payı ise % 14 olacaktır.



Şekil 2. Honda İş Jeti [7]

Son 20 yılda şaşırtıcı bir şekilde özellikle iş jetleri ve dar gövdeli uçaklarda olmak üzere emeklilik yaşı çok düşmüştür. Ancak ticari filo uçak sayısındaki bu hızlı düşüş tekrar emeklilik yaşının artması ve uçak sayısının tekrar artması ile sonuçlanacaktır. Genç yaşta emekli uçak sayısındaki bu önemli artış, uçaklar içi ikinci el ekipman/malzeme pazarının önemini de arttırmaya başlamıştır. Bu pazarın artışı hava yollarının BOY lar için maliyeti düşürme potansiyeli olmuştur.

Bu dönemde, filo yapılanmasına bağlı olarak BOY sektörü zorluk ve karmaşıklık olarak hava yollarına geri dönmektedir. Ticari havayolları için BOY büyümesi, 10 yıllık süre boyunca % 3.8 ile 2027 yılına kadar 75.6 milyar dolar seviyesinden 109.2 milyar doların üzerine çıkmasına neden olacaktır.

Dünya ticari uçak sayısındaki bu artış en çok Asya'da görülecektir. Asya'daki bu yapılanma yeterli bir işgücünün yanında yeterli bir alt yapı oluşumunda gerektirecektir [5]. Örneğin Pekin havacılık danışmanlarına göre, Çin BOY sektöründeki en büyük zorluk trafik ve filolarda hızlı büyümedir. Çin BOY altyapısı yakın zamandaki büyümeyi karşılayamamıştır [8]. Aynı zamanda, Kuzey Amerika BOY endüstrisi, büyümeden pay almakla beraber durgunlaşacaktır.

Tablo 1. Dünya ticari uçak ve BOY pazarı [5]

BÖLGE	AFRİKA	ORTA DOĞU	ASYA PASİFİK	ÇİN	HİNDİSTAN	LATİN AMERİKA	KUZAY AMERİKA	DOĞU AVRUPA	BATI AVRUPA	DÜNYA
2017 Uçak Sayısı										
Dar Gövde	447	516	1,981	2,316	346	1,066	3,917	716	3,027	14,332
Geniş Gövde	167	709	1,304	328	52	157	1,188	117	978	5,000
Bölgesel Jet	143	74	213	111	5	292	1,855	180	492	3,365
Turboprop	294	23	648	0	46	263	714	131	552	2,671
Toplam	1,051	1,322	4,146	2,755	449	1,778	7,674	1,144	5,049	25,368
2027 Uçak Sayısı										
Dar Gövde	618	841	3,546	5,452	831	1,571	4,960	890	4,419	23,128
Geniş Gövde	277	1,325	1,772	705	102	343	1,434	121	1,342	7,421
Bölgesel Jet	45	28	237	315	60	200	1,444	74	364	2,767
Turboprop	164	69	730	23	73	182	457	47	447	2,192
Toplam	1,104	2,263	6,285	6,495	1,066	2,296	8,295	1,132	6,572	35,508
Uçak Sayısı Artış Oranı										
2017-2022	0.5%	6.6%	5.2%	10.6%	11.9%	2.8%	0.9%	-0.8%	3.2%	3.9%
2022-2027	0.5%	4.5%	3.4%	7.3%	6.2%	2.4%	0.7%	0.60%	2.2%	3.0%



2017-2027	0.5%	5.5%	4.2%	9.0%	9.0%	2.6%	0.8%	-0.1%	2.7%	3.4%
2017 BOY (milyar \$)										
Gövde	0.6	1.2	3.0	1.5	0.3	0.8	4.5	0.7	5.0	17.7
Motor	1.6	21.0	4.9	3.4	11.0	2.2	6.2	1.5	5.9	29.6
Aksesuar	0.5	1.1	2.9	1.2	0.3	0.8	4.7	0.7	3.3	15.5
Hat	0.3	0.9	2.2	1.3	0.2	0.7	3.2	0.6	3.3	12.8
Toplam	3.0	5.9	13.0	7.5	1.9	4.5	18.7	3.6	17.5	75.6
2027 BOY (milyar \$)										
Gövde	0.5	1.7	3.8	3.0	0.5	1.0	4.5	0.7	4.7	20.4
Motor	1.7	4.9	8.4	10.0	1.8	4.2	7.7	1.8	7.5	47.9
Aksesuar	0.6	2.3	4.7	3.6	0.7	1.2	4.9	0.8	4.2	22.9
Hat	0.4	1.4	3.2	3.1	0.5	1.0	3.6	0.6	4.1	18.1
Toplam	3.1	10.3	20.0	19.7	3.5	7.3	20.7	38.0	20.6	109.2
BOY Artış Oranı										
2017-2022	0.0%	6.4%	4.0%	9.0%	7.9%	3.4%	-0.7%	-2.7%	-0.3%	2.4%
2022-2027	1.2%	5.0%	4.7%	11.3%	5.4%	6.8%	2.8%	4.1%	3.6%	5.2%
2017/2027	0.6%	5.7%	4.4%	10.1%	6.7%	5.1%	1.0%	0.7%	1.6%	3.8%

Yeni nesil uçakların sayısının hızlı artışı sektörü birçok zorlukla karşı karşıya getirmiştir. Ayrıca, BOY alanında, orijinal ekipman üreticileri (OEM'ler), satış sonrası pazardaki paylarını daha da arttıracaklardır. Değişim, (Turkish Technic gibi) bağımsız BOY sektörünü, özellikle de küçük işletmeleri kesinlikle zorlayacaktır [5].

2.2. Türkiye’de BOY Faaliyetleri

Uçuş sertifikasına sahip tüm Türk ticari uçakları, personeli ve kuruluşları ile ilgili teknik faaliyetler büyük ölçüde; ABD, AB ve Türk makamları (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü/SHGM) tarafından düzenlenmektedir.

Bir uçakta bakımın amacı, işletme ömrü boyunca uçuşa elverişliliğini belgelemektir. Türkiye’deki tüm hava-yolları, SHGM nin havacılık güvenliği düzenlemelerine uygun olarak gerekli kontrolleri yapmaktan sorumludur. Ayrıca, uçağa ve operatörün ağ yapısına bağlı olarak tüm bakım faaliyetlerinin diğer ülkelerde olduğu gibi; Federal Havacılık İdaresi (FAA), Avrupa Havacılık Güvenliği İdaresi (EASA) ve / veya SHGM’nün havacılık güvenlik yönetmeliklerine uygun olarak yapılması gerekir.

Tablo 2. Türkiye’de A1 ve C kategorisinde yetkili BOY şirketleri* [9]

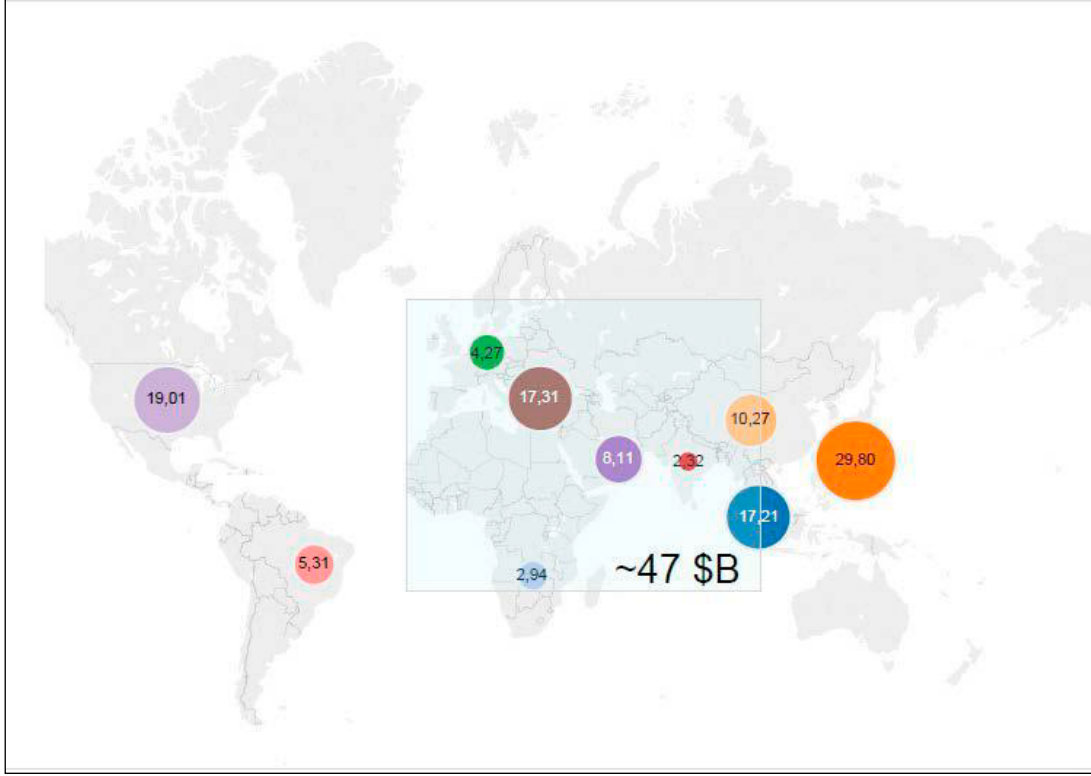
BOY Firması	Hat	Gövde	Parça.	Motor	Havaalanı	Şehir
Turkish Technic (TT)	X	X	X	X	IST SAW	Istanbul
My Technic	X	X	X	X	ESB	Ankara
Onur Air Technic	X	X	X		SAW	Istanbul
ATSTeam	X	X	X		IST	Istanbul
Asal Aviation	X	X	X		IST	Istanbul
MNG Jet Aviation	X	X			ISU	Isparta
Amac Aerospace	X	X			IST	Istanbul
AYJet	X		X		IST	Istanbul
Sunexpress Technic	X		X		AYT	Antalya
Pegasus Technic	X				SAW	Istanbul
MNG Technic	X				IST	Istanbul
Freebird Tecnic	X				AYT	Antalya
ULS Cargo Technic	X				IST	Istanbul
Corendon Technic	X				AYT	Antalya
Tailwind Technic	X				AYT	Antalya
MATS Technic	X				AYT	Antalya
Borajet Technic	X				IST	Istanbul
ACT Technic	X				SAW	Istanbul
Ak Aviation	X				IST	Istanbul
Korfez Aviation	X				IST	Istanbul
TDT Aviation	X				AYT	Antalya
Arkas Air	X				ADB	Izmir
Sportif Air	X				ESB	Ankara
MGA Aviation	X				AYT	Antalya
Nurol Aviation	X				ESB	Ankara
					IST	Istanbul
Prima Aviation			X			
					AYT	Antalya
Goodrich/TT			X		***	Kocaeli
Total Aviation			X		IST	Istanbul
Turkbine				X	IST	Istanbul
Pratt&Whitney/TT				X	SAW	Istanbul

*: Haziran 2015 yılı itibarıyla

Türkiye'deki SHGM tarafından A1 sınıfı (5700 Kg üzeri uçaklar) ve / veya Yolcu uçağı parçaları C1 den C20 sınıfına (parça onarımları için) yetkilendirilmiş onarım kuruluşlarının tümü Tablo 2'te listelenmiştir. Türkiye'de yalnızca tam uçak bakım hizmeti veren iki BOY firmasından Türk Hava Yolları'na bağlı bir kuruluş olan Turkish Technic kendi tesislerinde hem Türk uçaklarının bakımı hem de diğer ülke uçaklarının bakımı sunmaktadır. Diğer BOY firması ise Turkish Cargo Airlines ve Chinese HNA Group'un ortak girişimi olan My Technic tir. Hem Turkish Cargo'nun hem de diğer ülkelerin uçakları için BOY faaliyetini gerçekleştirmektedir. Onur Air Teknik ve ATS Ekibi, sırasıyla İstanbul'da bulunan Onur Air ve Atlasjet Hava Yolları için kendi uçaklarının bakımının yanı sıra motor revizyonu dışında gövde, hat ve ekipman bakımı da sağlamaktadır. Ayrıca, Isparta'da bağımsız bir BOY firması olan Asal Havacılık, müşteri havayollarının uçaklarına ait gövde boya servisi de dahil olmak üzere hat, gövde ve ekipman için BOY sağlamaktadır. MNG Jet Havacılık ve Amac Havacılık, bazı iş jetleri için İstanbul'daki tesislerinde hat bakımı ve taban kontrolleri yapmaktadır. İstanbul'da Ayjet ve Antalya'da Sun Express Teknik ise hat bakımı ile ekipman onarımı yapabilir. Turkish Technic ve Goodrich arasındaki ortak girişim Kocaeli ilinde bulunur ve nacelle ve hava franlerinin parça hizmetlerini, Prima Aviation, İstanbul ve Antalya'da bazı ekipman onarımlarını, Total Aviation, benzer hizmetleri İstanbul'da sunmaktadır. Türkiye'de sadece iki motor bakım sağlayıcısı vardır,



Turkish Engine Center (TEC) ve Türkbin. Turkish Technic ve Pratt & Whitney'in ortak girişimi olan TEC, CFM ve IAE motorlarının çeşitli alt tiplerinin bakımını sağlama kapasitesine sahiptir. Ayrıca, Turkish Technic ile Zorlu Grubu arasında ortak bir girişim olan Turkbine, GE CF6-80C2 tipi uçak motoru için hizmet vermektedir. Diğer kuruluşlar sadece kendi uçaklarının veya diğer firma/şahıs uçaklarının hat bakım hizmetini verebilirler, yani diğer BOY kabilyetlerine sahip değildirler.



Şekil 3. Türkiye BOY firmalarının 2024'te potansiyel pazar payı [9]

Çoğunlukla İstanbul'da bulunan Türk BOY' şirketleri avantaj sağlayan bir coğrafi konuma sahiptir. Şekil 3. Türkiye'deki BOY firmalarının potansiyel pazarını göstermektedir. Buna göre Türkiye'de hizmet veren BOY firmalarının gelirinin 2024'te 47 milyar \$ olacağı tahmin edilmektedir. Güney Asya'nın BOY pazarında gelirinin 2019'da 70 milyar \$'ın üzerine, 2024'te yaklaşık 90 milyar doların üzerine çıkacak tahmin edilmektedir. Türk BOY firmalarının geliri, 2024'teki toplam dünya BOY pazarında gelirinin yaklaşık yarısı olacaktır [9].

3. Sonuç

Artan hava trafiğiyle birlikte, mevcut uçak filolarındaki uçakların güvenilirliğini artırma eğiliminin önemi hızla artmaktadır. Çünkü yeni bir uçak satın almanın maliyeti, bakımın maliyetinden oldukça yüksektir. Farklı havaalanlarında, firmalarca verilen BOY süreçleri yeni nesil uçakların daha büyük veri gereksinimlerini hazırlanmak için yeni teknolojik sistemler kullanmaktadır ve bu durum yakın gelecekte pazarın büyümesine yol açacaktır.

Hükümetler ve Resmi havacılık otoriteleri, havaalanlarında BOY faaliyetlerini stratejik bir faaliyet olarak desteklemekte ve teşvik etmektedirler. BOY için ülke içindeki çeşitli havaalanlarında zorunlu olarak alanlar ve alt yapılar tahsis edilmektedir ve bu önümüzdeki yıllarda ticari uçak BOY faaliyetlerinde bir artışa yol açacaktır. Bu artıştan ülkemizin alacağı pay oldukça büyük olacaktır.

2024 yılı itibarı ile dünya BOY pazarı 109.2 Milyar Dolarlık bir Pazar olacak ve Türkiye bu pazarda büyük bir paya sahip olacak

4. Kaynaklar

- [1] Özkal, K., 2019, Global Commercial & Military Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Market, <https://www.defenceturkey.com>, Ağustos 2019
- [2] Kuşhan, M. C., 2019, Havacılıkta MRO ve Endüstri 4.0, Makina, 17-18, 153, 17 – 18
- [3] Tat, M. E., Kuşhan, M. C., 2017, Impact of Industry 4.0 to Aircraft Maintenance, Repair and Overhaul, VII International Symposium Engineering Management and Competitiveness 2017 (EMC 2017) 16-17th June 2017, Zrenjanin, Serbia
- [4] Gürgen, S., Saçkesen, İ., Kuşhan, M. C., 2019, Fatigue and Corrosion Behavior of In-Service AA7075 Aircraft Component After Thermo-Mechanical and Retrogression and Re-Aging Treatments, J Materials: Design and Applications, Vol. 233(9) 1764–1772
- [5] Cooper, T., 2019, 2017 – 2027 Fleet & MRO Forecast, Global Fleet & Mro Market Forecast Summary 2017-2027, Oliver Wyman
- [6] Gürgen, S., Sofuoğlu A., Çakir, F., H., Kuşhan, M. C., 2018, Composite Structures of C919, Elixir Mech. Engg. 122, 51767-51770
- [7] Aljibori, H., S., S., 2009, The Design of Light Jet Aircraft, WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, Issue 2, Volume 4, April 2009
- [8] Canaday, H., 2019, Chinese MRO Infrastructure Falling Behind Growth, MRO-Network.com, Ağustos 2019
- [9] Yumakoğulları, Ö., Aydemir, R., Güloğlu, B., 2015, The Development of Turkish Air Traffic, Fleet and MRO Market, KOSBED, 30: 31 - 50



ELEKTRODEİYONİZASYON YÖNTEMİ İLE SAF SU ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

¹Erdal Ertürk

¹Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
erdal.erturk@etigida.com.tr

Özet

Karanlık fabrikalar, nesnelerin interneti ve Endüstri 4,0 kavramlarının konuşulduğu günümüz sanayisinde “Karanlık yardımcı tesisler” için atılan her adım büyük önem taşımaktadır.

Enerji, kimya, ilaç ve elektronik başta olmak üzere bir birçok sanayi tesisinin ihtiyacı olan yüksek saflıktaki su, klasik “Miksbet reçine” sistemleri yerine artık Elektrodionizasyon (EDI) teknolojisi sayesinde asit ve kostik ile kimyasal rejenerasyona ihtiyaç duymadan tamamen elektrik enerjisi ile üretilebilmektedir.

Geleceğin endüstrisinde EDI sistemi, çevre dostu, maliyet avantajı sağlayan, yaygın bir “Karanlık yardımcı tesisler” ekipmanı olmaya adaydır. Bu bildiri ile ülkemiz sanayisinde bu teknolojinin bilinirliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrodionizasyon, karanlık yardımcı tesisler, endüstri 4,0, saf su üretimi, miksbet reçine

1. Giriş

Su iletkenlik değeri, birim su miktarının iyon taşıma kapasitesinin sayısal ifadesidir. Diğer bir deyişle suyun elektrik iletme yeteneğinin birimidir. Su, içerisinde pozitif ve negatif iyonlar içerir, bu iyonların sudan uzaklaştırılmasına “Deiyonizasyon” veya “Deminerlizasyon” denir.

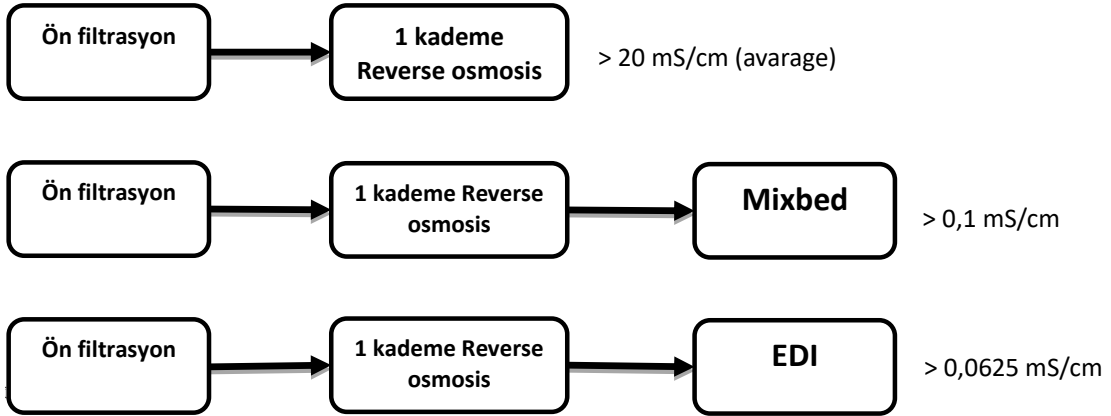
İletkenlik, suyun saflığını belirleyen bir özelliktir. Saf suda bulunan H⁺ ve OH⁻ iyonları çok düşük bir iletkenliğe karşılık gelmektedir. Bu miktar, iletkenlik ölçeğinin başlangıcı olarak kabul edilir. İletkenlik “1/direnç” denklemi ile ifade edilir. Ölçü birimi olarak “Siemens/cm” yaygın olarak kullanılır. Saf suyun iletkenliği 0.055 mS/cm (microsiemens/santimetre) dir.

Endüstride çeşitli seviyelerde saf su kullanılmaktadır. Örneğin ilaç endüstrisinde kullanılan saf su limitleri 0,6 – 4.7 mS/cm dir. [1] Elektrik santralleri için gereken su saflığı 0,2 mS/cm dir [2] Doğalgaz tesislerinden hidrojen üretiminde 0,1 mS/cm den daha az iletkenlikte saf suya ihtiyaç duyulur.

Şehir şebekelerinden servis edilen ham suyun iletkenlik seviyesi 700 – 4000 mS/cm arasında değişmektedir. Suda bulunan sadece 100 mg/l NaCl tuzu, suyun iletkenliğini 212 mS/cm [3] artırır.

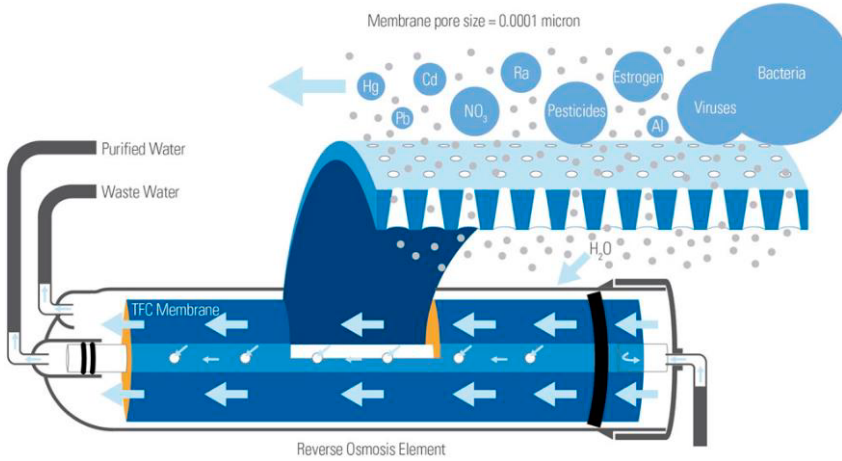
Yüksek iletkenlikte çalışan sistemlerde mevcuttur bunlara buhar kazanlarını ve su kulelerini örnek gösterebiliriz.

Yaygın kullanılan deiyonizasyon yöntemleri aşağıda belirtildiği şekilde kategorize edilebilir



1.1 Reverse Osmosis (R/O)

Ters ozmoz, iki farklı ortamın yarı geçirgen bir membran ile ayrılmasına ve maddeyi düşük yoğunluktan yüksek yoğun ortama basınç ile aktarılması yöntemine dayanır. Bu yöntem ile iyon taşıma kapasitesi sınırlıdır. Tek kademe bir Ters ozmoz sistemi ile minimum 20 mS/cm saflıkta su elde edilir, ayrıca zamanla membran üzerinde taş oluşumunu ve mineral birikimlerini görebiliriz. Bu nedenle R / O'da membran koruyucu antiskalant (taş oluşumu önleyici) kimyasallar kullanmamız gerekir. Yüksek saflıkta su eldesi için tek başına yeterli bir sistem değildir. Yaygın olarak içme suyu üretim tesisleri, Kazan besi suyu veya su kulesi besi suyu sistemlerinde kullanılır.



Şekil 1: Ters ozmoz şematik gösterimi [4]

1.2 Mixbed iyon değişimi

Endüstride kullanımı yaygın olan 0,1 mS/cm saflıkta su elde edilebilen klasik tip yöntemdir. Sudaki pozitif ve negatif iyonlar, mixbed iyon değişim sisteminde reçine vasıtası ile H⁺ ve OH⁻ iyonları ile değiştirilir. Doymuş reçine NaOH ve H₂SO₄ / HCl içeren çözeltiyle temas ettiğinde reçinenin içindeki negatif (Anyon) ve pozitif iyonlar (Katyon) H⁺ ve OH⁻ iyonları ile yer değiştirecektir. Bu şekilde, reçine temizlenecek ve tekrar saf su üretimi için hazır olacaktır. Bu temizlik işlemi için kostik (NaOH) ve Hidroklorik Asit (HCl) gereklidir. Aşağıda reçine ile sudan temizlenen Katyon ve Anyon iyonlar belirtilmiştir.

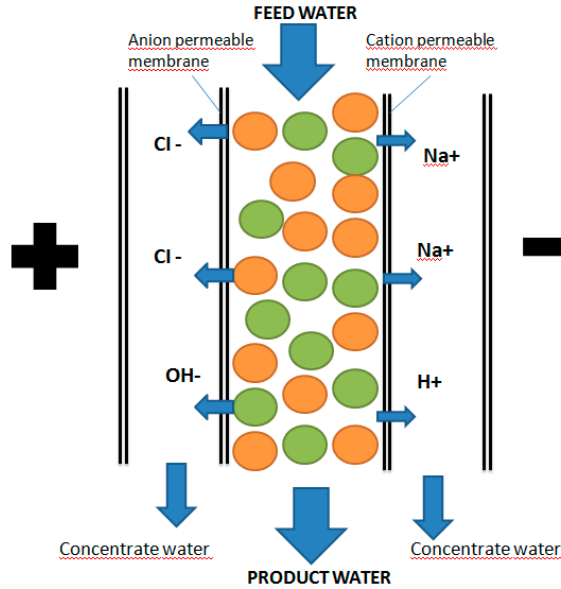
Kasyonlar	Anyonlar
Katyonik reçineler ile temizlenen iyonlar	Anyonik reçineler ile temizlenen iyonlar
Calcium	Chlorides
Magnesium	Sulfates
İron	Nitrates
Manganese	Carbonates
Sodium	Silica
Hydrogen	Hydroxyl

Şekil 2: Katyonlar ve Anyonlar

1.3 EDI (Electrodeionization)

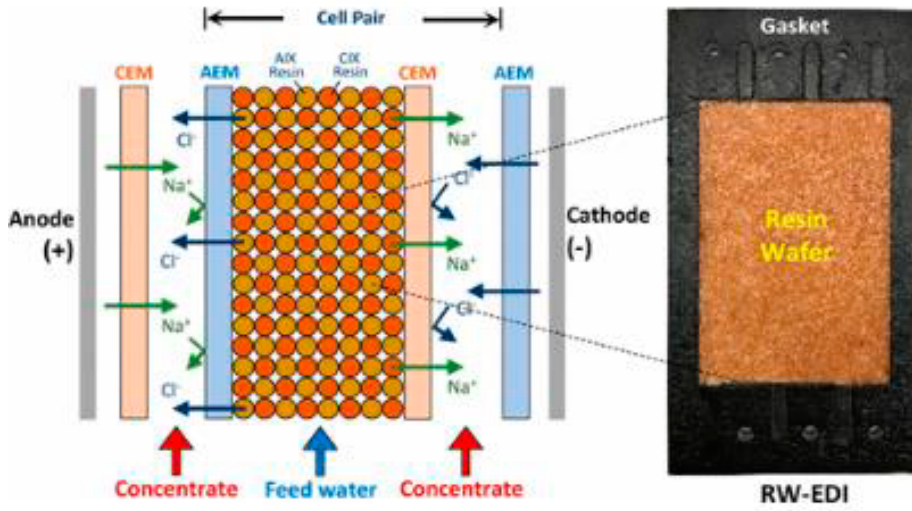
Elektrodeiyonizasyon yöntemi, “Elektrodializ” ve “iyon değişimi” yöntemlerini beraberinde içeren, fakat herhangi bir rejenerasyon kimyasalına ihtiyaç duymayan, tamamen elektrik enerjisi ile çalışan bir yöntemdir. Elektrodeiyonizasyon (EDI), elektrodializ (ED) ve iyon değişimi (IX) yöntemlerinden oluşan bir karma su saflaştırma işlemidir. Katyonik ve Anyonik reçineler, elektrotların arasına yerleştirilir. EDI (elektrodeiyonizasyon) modülü, yan yana sıralanmış ve aralarında membran elek ve reçine bulunan plakalardan oluşmaktadır. Bu plakalara + ve – elektrik yükü verilir.

Su içerisindeki + ve – yüklü iyonların büyük kısmı elektrik ile yüklenmiş plakalara doğru hareket ederler. Hareket güzergahında tek taraflı geçirgen + ve – yüklü membranlardan geçerek atık olarak gönderilecekleri bölmeye geçerler. Bu şekilde büyük miktarda iyon transfer edilmiş olur fakat yüksek saflık için bu yeterli değildir.



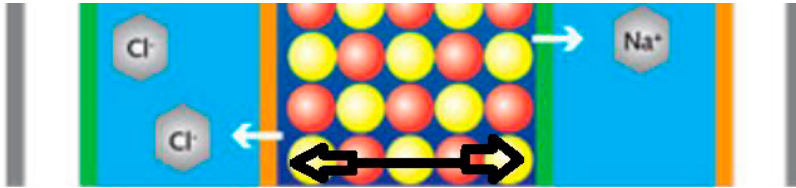
Şekil 3: EDI modülü çalışma prensibi

Yüksek saflık elde edebilmek için plakaların arasına iyon değiştirici reçineler doldurulur. Bu reçineler geri kalan iyonları tutarak bünyesine alır ve elektrotlar arasında köprü vazifesi görerek atık olarak transfer edilecekleri bölgeye iletir.



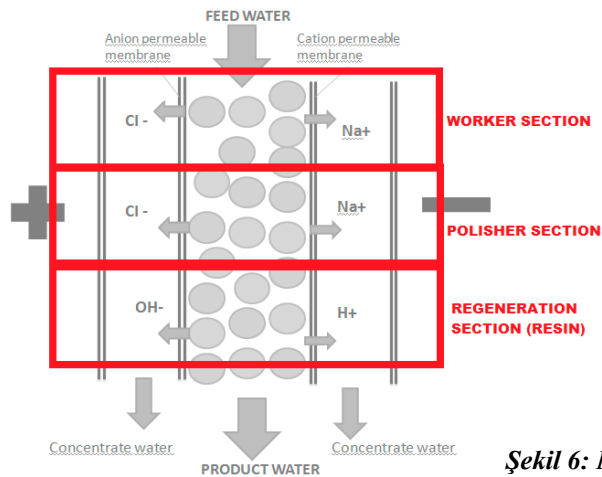
Şekil 4: EDI modülünde plakalar arası reçinenin konumlanması

Tüm bu işlemlerin sonunda reçinelerin içerisinde hala + ve - iyonlar kalmaktadır. Bunlarında reçine içerisinden bertarafı gerekmektedir. Burada EDI yönteminin bir özelliği olarak H₂O su molekülleri elektrik enerjisi ile doğal olarak bir miktar iyonize olmakta H⁺ ve OH⁻ iyonlarına ayrılmaktadır. Bu hidrojen ve hidroksit iyonları reçine içerisindeki istenmeyen + ve - iyonlar ile yer değiştirir ve atık bölgesine ilerlemelerini sağlayacak şekilde süpürür. Klasik mixbed reçine iyon değişimi yönteminde bu reçine temizleme işlemi (rejenerasyon işlemi) NaOH/ H₂SO₄/ HCl asit ve baz kimyasalları ile yapılırken, EDI yönteminde su elektroliz edilerek rejenerasyon sağlanmaktadır.



Şekil 5: EDI modülünde reçin oluşturduğu yarattığı süpürme köprüsü

EDI modülünde iyon transferi yük dağılımı şekil 6 da belirtildiği gibi sağlanmaktadır. Giriş kısmında yüksek miktarda iyon transferi, orta kısımlarda yüksek saflığın sağlanabilmesi için detaylı iyon transferi ve en alt kısımda ise rejenerasyon için ayrılan bölgedir. Burada farklı Firmaların farklı tasarımları söz konusudur.



Şekil 6: EDI modülünde yük dağılımı

EDI sistemine beslenecek su, aşağıda belirtilen teknik özelliklerde olmalıdır. Bunu için en uygunu “Ters ozmoz” çıkışı suyun kullanılmasıdır.

Feed Water parameters		Operating parameters	
Conductivity	< 43 mS/cm	Nominal recovery	90% to 95%
Silica (SiO ₂)	< 500ppb	DC power consumption (nom.)	0,05 to 0,4 kWh /m ³
TOC	< 0,5 ppm	Feed pressure	3,1 to 6,9 bar
Temperature range	4,4 to 38 'C	Pressure drop	1,4 to 34 bar
Hardness	< 0,5 ppm	Weight	95 kg
Product Water parameters			
Flow rate per stack	1,7 m ³ /h to 4,5 m ³ /h		
Resistivity	> 16 MOhm-cm		
Silica (SiO ₂)	< 5 ppb		
Sodium	< 2 ppb		
Boron	> 95%		

Şekil 7: EDI modülü besi suyu parametreleri

EDI sistemleri çoğu zaman modüler halde kullanılır. Kapasite artışına elverişlidir. Örneğin: 1 modül EDI sistemi, 0.1 mS/cm iletkenlikte, 3.4 m³/h saf suyu, 0,51 kw/h enerji ile elde edebilir.

Model	GEMK3-1 EU	GEMK3-3 EU	GEMK3-6 EU	GEMK3-9 EU	GEMK3-12 EU
General Information					
Number of Stacks	1	2 - 3	4 - 6	6 - 9	10 - 12
Type of stack	MK-3	MK-3	MK-3	MK-3	MK-3
Flow Rates					
Product Flow Nominal	3.4 m ³ /h	10.2 m ³ /h	20.4 m ³ /h	30.6 m ³ /h	40.8 m ³ /h
Product Flow Range	2.3-4.5 m ³ /h 10-20 gpm	6.8-13.6 m ³ /h 30-60 gpm	13.6-27.3 m ³ /h 60-120 gpm	20.4-40.9 m ³ /h 90-180 gpm	27.3-54.5 m ³ /h 120-240 gpm
Concentrate Outlet Flow (Depends on Recovery & Product Flow)	3.4-5.7 lpm 0.91-1.5 gpm	11.0-17.8 lpm 2.9-4.7 gpm	22.0-35.6 lpm 5.8-9.4 gpm	33.3-53.4 lpm 8.8-14.1 gpm	44.3-71.2 lpm 11.7-18.8 gpm
Electrode Outlet Flow	1.3 lpm 0.35 gpm	4.0 lpm 1.05 gpm	7.9 lpm 2.10 gpm	11.9 lpm 3.15 gpm	15.9 lpm 4.2 gpm
Dimensions					
Overall System Dimensions (Width x Length x Height)	0.9m x 1.4m x 1.8m 36" x 54" x 72"	1.2m x 2.2m x 2.1m 46" x 86" x 84"	1.2m x 2.7m x 2.1m 46" x 107" x 84"	1.2m x 3.4m x 2.1m 46" x 132" x 84"	1.2m x 3.7m x 2.1m 46" x 146" x 84"
Inlet Piping	DN25	DN50	DN80	DN100	DN100
Product Outlet Piping	DN25	DN50	DN80	DN100	DN100

Şekil 8: Örnek EDI modülü teknik özellikleri [5]



2. Sonuç

Elektrodeiyonizasyon sistemi ilk geliştirildiği 1987 yılından bu yana çok yol kat etmiş ve her anlamda yüksek saflıkta su üretimi için güvenilir ve ekonomik bir yatırım haline gelmiştir. Klasik miksbred reçine sistemlerine göre avantajları şu şekildedir.

- Kimyasal kullanımı bulunmamasına bağlı sistemin çevresel ve işçi sağlığı avantajı bulunmaktadır. Asit ve baz kimyasal transferleri büyük risk kaynağı oluşturmaktadır. EDI sistemi ile bu durum bertaraf edilir.
- Kontrol ve işletim işçiliği avantajı bulunmaktadır. Uzaktan takibe (Scada sistemlerine) uygundur. Sabit personelin vardiyalık veya saatlik kontrolüne ihtiyaç duymadan güvenilir şekilde çalışabilir.
- Stabil saflıkta su elde edilebilir. Klasik miksbred reçine yöntemindeki kolon değişimi veya reçinelerin farklı kirlilik seviyelerine bağlı değişken saflıkta su üretimi olumsuzlukları EDI sisteminde yaşanmaz. EDI modülünde devamlı suretle bir taraftan saf su üretilirken bir taraftan da rejenerasyon aynı modül içerisinde gerçekleşir.
- İşletim giderleri avantajı sayesinde yatırımın geri ödeme süresi kabul edilebilir seviyededir.
- EDI modülleri kapasite artırımına müsaittir. İlave modüller makul maliyetlere mevcut EDI sistemine adapte edilebilir.
- EDI sisteminin gerektirdiği kurulu alan, klasik miksbred sistemine göre daha az ve daha verimlidir.

3. Kaynaklar

- [1] David H.Paul (2002 July)” Electrodeionization in Pharmaceutical Water Treatment” Pharmaceutical Technology
- [2] Hach Lange " PH Calculated by Cationic Conductivity Measurement in Power Plants” Aplication report
- [3] BETZ Handbook of Industrial Water Conditioning, BETZ Lab. A.B.D.
- [4] <https://lifetech.com.tr/reverse-osmosis-ve-membran-filtre-nedir-nasil-calisir/>
- [5] GE water and process tchnology “E-Cell™ MK-2E Stack” Data sheet.

4. Özgeçmiş

Erdal Ertürk

1984 yılı Eskişehir doğumludur. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliğini bitirdi. 2008-2017 yılları arasında Şişecam sanayinin iştiraki olan Paşabahçe cam sanayinde “Genel makine bakım onarım mühendisi” görevini yürüttü. Bu görevi esnasında Şirketinin “Gelişim yıldızı” ve “Fark yaratan yıldız” ödüllerine layık görüldü. 2014-2015 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi & Festo Aş. ortaklığınca gerçekleştirilen “Mekatronik uzmanlık” sertifikasını aldı. 2017 yılında ETİ GIDA sanayinde “Kıdemli bakım mühendisi“ olarak göreve başladı. Halen ETİ GIDA sanayinde “Üretim Süreç Yöneticisi” olarak görevini sürdürmektedir. Evli ve 2 kız babasıdır.

ENDÜSTRİ 4.0 ve BAKIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ INDUSTRIAL 4.0 and EFFECTS ON MAINTENANCE

¹Bülent Çelebi

¹Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
bulent.celebi@etigida.com.tr

Özet

Sürekli gelişen ve değişen dünyada üretim yapan firmaların teknolojiye ayak uydurmaları son derece önem arz etmektedir. Şu ana kadar 3 büyük sanayi devrimi gerçekleşmiş olup, şuan endüstri 4.0 olarak adlandırılan dönem içerisinde bulunmaktayız. Bu gelişime ayak uyduran firmalar varlığını devam ettirmekte ve geliştirmekte, uymayan firmalar ise kısa bir süre içerisinde piyasadan silinmektedirler.

Bu değişimin verimli bir şekilde devam ettirilebilmesinin ve üretim kayıplarının yaşanmamasının en önemli kriterlerinden birisi de yapılacak olan bakım faaliyetlerinin kalitesidir. Gelişen teknoloji sayesinde öne çıkan kestirimci bakım faaliyetleri ile duruş kayıplarının minimuma indirilmesi ve maliyetlerin azaltılması hedeflenmektedir. Bu makale de endüstri 4.0 ve bakım üzerindeki ilişkileri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Bakım, Kestirimci Bakım

Abstract

Manufacturing companies keep pace with constantly evolving technology and changing world, it is extremely important that. Until today there have been three major industrial revolution and now we are in the industrial 4.0 . The companies that keep up with this development continue their existence and the companies that do not comply with them are deleted from the market in a short period of time.

One of the most important criteria for the continuation of this change efficiently and no loss of production is the quality of the maintenance activities. With the help of advanced technology, it is aimed to minimize downtime losses and to reduce costs with predictive maintenance activities. This article will examine the relationships between industry 4.0 and maintenance.

Key Words: Industrial 4.0, Maintenance, Predictive Maintenance



1. Endüstri 4.0 Nasıl Doğdu ve Gelişti?

Endüstri 4.0 terim olarak dördüncü sanayi devrimi anlamına geliyor. İlk sanayi devrimi su ve buhar gücü ile üretim mekanizmasının üzerine kuruluyken, onu ikinci sanayi devrimi olan elektrik enerjisi yardımı izledi. Daha sonrasında ise üçüncü sanayi devrimi olan dijital devrim gerçekleşerek elektronik kullanımı arttı.



Şekil 3: Endüstri Devrimleri

Endüstri 4.0 terimi ilk defa 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı'nda kullanıldı. Ekim 2012'de ise Bosch Grubu ve SAP'nin eski CEO'su Henning Kagermann bir çalışma grubu oluşturarak hazırladıkları Dördüncü Sanayi Devrimi öneri dosyasını, Alman Federal Hükümeti'ne sundu. 2013 yılında Alman Hükümeti kendi Endüstri 4.0 dönüşüm yol haritasını hazırlamaya başladı. Bosch da aynı yıl, kendi yol haritasını hazırlamak üzere çalışma başlattı. İlk etapta Bosch, Endüstri 4.0 çalışma grubunda yer aldı ve ona liderlik etmesiyle öncü bir rol üstlendi.

Her sektörde, her şirkette ve hatta her ülkede büyük değişimler yaratması beklenen Endüstri 4.0'ı anlayabilmek ve bağlantılı olduğu bazı kavramlara hakim olabilmek, yeni çağın getirdiklerini kavrayabilmemiz için oldukça önemlidir. Üç boyutlu yazıcılardan nesnelerin internetine, akıllı fabrikalardan artırılmış gerçekliğe, yapay zekadan büyük veriye, otonom robotlardan simülasyonlara kadar her bir kavram, Endüstri 4.0'ı kutsallaştıran ve aynı zamanda Endüstri 4.0 tarafından kutsallaştırılan kavramlardır. Şimdi gelin ve Endüstri 4.0'ın hayatımıza kazandıracığı bu kavramlara bir göz atalım:

1.1. 3 Boyutlu Yazıcılar

Bu teknoloji ilk olarak 1984 yılında uygulandı ancak 2006 yılında ortaya çıkan Reprap ile tekrar gündeme gelene kadar fazla ilgi duyulmadı. 3D yazıcılar, ham maddenin kesilip, biçilip daha sonra tekrar birleştirilmesinden farklı şekilde, ham maddeyi katmanlı olarak doğrudan üretime alır. Böylece geriye malzeme atığı kalmaz ve ürün tek seferde çok daha az maliyetle üretilir. 3 boyutlu yazıcıların bir diğer avantajı ise oldukça geniş bir alanda üretime imkan vermesidir. Bilişim teknolojilerinden genetiğe, tıptan gıdaya ve kuyumculuktan şehir planlamaya kadar her alanda üretimi mümkün kılan bu teknolojinin insanlık için yeni bir çağı başlatacağına inanılmaktadır.

Üretimde 3D yazıcıların bir başka avantajı da kitlesel üretimlerin yanında verilen siparişlere göre, minimum maliyette ve küçük gruplar halinde üretimi de mümkün kılmasıdır. Bu durum ise Endüstri 4.0 ile birlikte gelecek olan yeni sanayi devriminde üretim biçimlerini kökten değiştirebilecektir. Geleceğe dair bir başka beklenti ise 3D yazıcılar sayesinde günümüz tüketicilerinin mevcut ve ulaşılabilir teknolojiyi kullanarak kendi ürünlerini çok düşük maliyetlerle üretebilecekleri ve dolayısıyla tüketicilikten üreticiliğe geçebilecekleri beklentisidir. Bu durum, yalnızca ekonomik yaşantıyı değil; aynı zamanda sosyo-kültürel yapıyı da derinden etkileyecektir. Yani 3D teknolojisi üretim biçimlerimizi kökten değiştirebilecek.

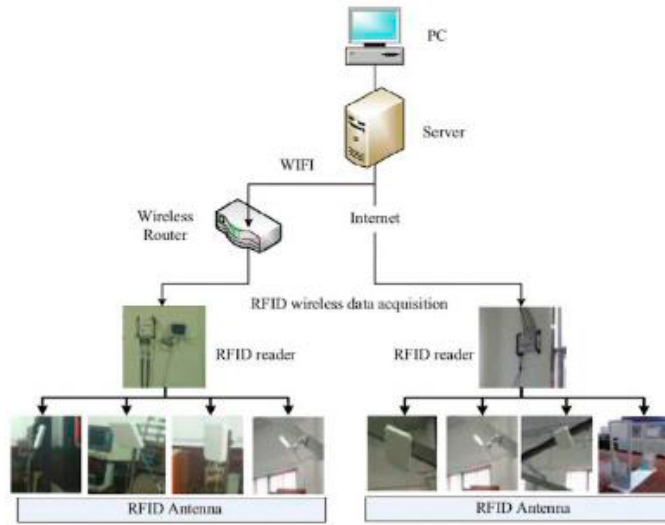
1.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin interneti, insan-insan ya da bilgisayar-insan etkileşimine gerek duyulmadan, veri aktarımı ile birbiri-

ne bağlı nesnelerin (makinaların) bağımsız ve organize hareket ettiği sistemin adıdır. Nesnelerin interneti, dikkat dağıtmadan ve hatta hiç fark edilmeden, insanlara günlük yaşantılarında yardımcı olabilecek yardımcıları olarak nitelendirilmektedir. Örneğin akıllı bir ev içerisinde birbirine bağlı cihazlar, siz eve gelmeden hemen önce evin ısısını ya da su sıcaklığını otomatik ayarlayabilir, size hızlıca yemek hazırlayabilir, evdeki ışıkları otomatik olarak yakabilir ve size televizyonunuzdan günün özetini aktarabilir. Kısacası size bir şey sormadan, neye ihtiyacınız varsa tümünü halledebilir.

1.3. Akıllı Fabrikalar

Nesnelerin interneti ve robot teknolojilerinin gelişimiyle kaçınılmaz olarak değişecek olan üretim sistemleri akıllı fabrikaların ortaya çıkaracak. Bu iki olgunun yanı sıra büyük verinin gelişimiyle de tüketicilerden sağlanan veriler, hayat tarzı ve beklentilerin değişimi gibi sebeplerle de kitlesel üretimden butik veya kişisel üretime geçilecek. Ayrıca RFID teknolojisinin ve otomasyon sistemlerinin gelişimi, aynı ürün bandında farklı ürünlerin imal edilmesini sağlayacaklar. Tüm bu teknolojik ilerlemenin çıktıları ise çok daha verimli, çok daha hatasız ve çok daha az maliyetli üretimi mümkün kılacak.



Şekil 2: RFID Data Akış Tablosu

2. Kestirimci Bakım Nedir ?

Burada kestirimci bakım nedir sorusuna cevap ararken, konuyu iki yönlü ele alacağız. Bunlar "Kestirimci Bakım Nedir?" ve "Kestirimci Bakımın Yararları" şeklindedir.

2.1. Kestirimci Bakım Nedir?

Makine ve teçhizatı gözle, sesleri dinleyerek ve elindeki ekipmanla sürekli kontrol eden gördüğü sorunları bildiren bölüm olarak tanımlanabilir. Burada önemli olan bu işi yapacak kişilerin araştırmacı ve kesin çözümler sunabilmesidir. Teknoloji her geçen gün ilerlemeye devam ettiğinden bu kişilerin de kendilerini sürekli yenilemelerine sebep olmaktadır. Kestirimci bakım sadece rulman arızalarını takip eden değil, aynı zamanda makine çalışma şartlarının uygunluğunu sağlamakla da görevlidir. Her türlü olumsuzlukları önce bakım ünitesi ile daha sonra işletmecilerle paylaşarak optimum verim sağlayacak çözümler sunulmalıdır.

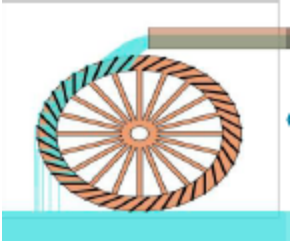
2.2. Kestirimci Bakımın Yararları

1. Arıza duruşlarını minimuma indirir veya tamamen ortadan kaldırır ve çalışma süresini artırır.
2. Bakım maliyetlerini düşürür.



3. Verimsiz çalışan makineler analizler ile tespit edilerek enerji tasarrufu yapılmasını sağlar.
4. Ürün kalitesinin sürekliliğini sağlar.
5. Gereksiz işçilik ve malzeme israfını azaltır.
6. Toplam Üretken Bakımın işletmede yaygınlaşmasında önemli rol oynar.

Aşağıda yıllar içerisinde teknolojinin gelişmesiyle bakım içinde yaşanan gelişmeleri görebilirsiniz.



Endüstri 1.0 (Reaktif Bakım)

Reaktif bakım çoğunlukla 1800'lü yılların başlarında ve 1900'lerin başlarında uygulandı. Bu strateji düşük maliyetli / düşük uzmanlık seviyesine sahiptir, ancak makine arıza sürelerinin uzamasına neden olur.

Endüstri 2.0 (Periyodik Bakım)

Periyodik bakım, ekipman içindeki bileşenlerin önemli bir arızaya sebep olmadan önce değiştirilmesini içerir. Zaman aralıkları üreticilerin önerileri veya ekipman geçmiş verilerinden toplanabilir.



Endüstri 3.0 (Kestirimci Bakım)

Kestirimci bakım çalışan ekipmanın performansını ölçmek için kullanılır. Bir bileşenin arızalanmasından önce kullanıcının arızayı bulmasını sağlamak için kullanılan bir yaklaşımdır. Yazılımla birlikte kullanıldığında, bir sistemdeki bileşenin arızasını saptayabilir.



Endüstri 4.0 (Siber Fiziksel Sistem Bakımı)

Endüstri 4.0 yapıları sayesinde ekipmanlar wireless, sensör vb. elektronik ekipmanlar sayesinde online olarak izlenebilmektedir. Büyük verilere artan bu erişim, merkezi hub yazılımı içindeki karmaşık algoritmaların, bileşen arızalarında her zamankinden daha fazla hassasiyetle öngörmesini sağlar.



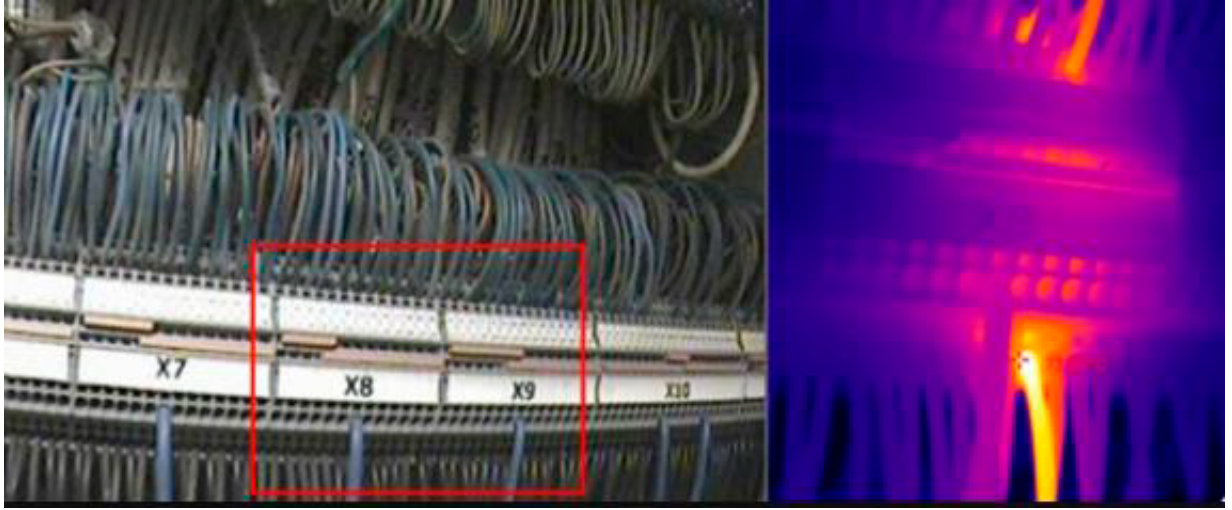
Şekil 3: Endüstri Devrimleri ve Bakım Teknolojilerinin Değişimi

3. Kestirimci Bakım Teknolojileri

Bu çalışmada endüstride en çok kullanılan farklı kestirimci bakım teknolojileri incelenmiştir.

3.1. Termal Kamera İle Isıl Görüntüleme Testi

Termal kamera ile ısıl görüntüleme işlemi kızılötesi ışıklardan yararlanılarak yapılmaktadır. Mutlak sıcaklık olan $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki tüm nesnelere termal enerji yayılımı yaparlar. İnsan gözünün görebildiği dalga boyu 400nm-700nm aralığındadır. Bu değerlerin altında kalan mor ötesi, x-ışınları ya da gama ışınları ve üzerinde kalan kızıl ötesi, mikrodalga ışınları, radyo-tv ışınları insan gözü ile görülemez. Termal kameralar, içerisindeki sensörleri sayesinde sıcak nesnenin yüzeyinden yayılan kızılötesi ışınlarını algılayarak onları bir yazılım yardımıyla değerlendirir ve sıcaklıklarını belirler.



Şekil 4: Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü

Peki nesnelere sıcaklığını ölçmenin kestirimci bakımda ne gibi faydası olabilir? Diğer kestirimci bakım teknolojileri gibi termal kamera ile ısıl ölçüm ekipmanlarının arızalarını bulmaya yardımcı olur. Örneğin gevşek elektrik bağlantılarının olduğu yerlerde artan direnç nedeniyle aşırı ısınmalar olabilir ya da elektrik motorları, verimsiz çalışmaları sonucunda olması gereken sıcaklığın üzerine çıkabilirler. Döner parçaların birbirlerine sürtünmesinden dolayı istenmeyen sıcaklıklar oluşabilir. Bu sıcaklık hem verim kaybını gösterir hem de müdahale edilmediği takdirde yangınla sonuçlanan facialara dönüşebilir. Termal kamera tüm bu sorunları direkt olarak ekranda gösterecektir.

Termal kamera yöntemiyle elektrik arızalarının tespit edilebileceği yerlere örnek olarak iletim hatlarını, dağıtım hatlarını, trafo odalarını, jeneratör tesislerini ve fabrika elektrik sistemlerini söyleyebiliriz.

3.2. Yağ ve Parçacık Testi

En eski kestirimci bakım yöntemlerinden olan yağ analizi günümüzde hala kullanılmaktadır. Yağ analizi makinenin yağı ya da yağlama sistemi ile ilgili üç temel durumu açığa çıkarmada kullanılır. Bunlardan ilki yağın durum analizinin yapılmasıdır. Diğer bir deyişle dizayn esnasında kullanılmasına karar verilen yağın şartlarının kontrolünü yapmaktır. Korozyon önleyici bazı katkı maddelerinin durumlarını belirlemek için yapılan kimyasal analizlerinin yanı sıra yağın viskozitesi (akmazlık), asidliği vs. ölçülür ve değerlendirilir. İkinci olarak makineden alınan yağ örneğinden yola çıkılarak kirleticilerin bulunmasıdır. Yağ içerisindeki kirleticilerin başında su gelmektedir, diğer yandan kum ve sistemin yapısına göre değişen bazı materyaller kirleticiler olarak kabul edilir. Üçüncüsü ise yağ içerisindeki parçacık testidir. Makine çalışırken oluşan aşınmanın bir sonucu olarak yağ içerisine bazı parçacıklar karışır. Alınan yağ örneği incelenerek makine hakkında bir takım yorumlar yapılabilir.



Şekil 5: Yağ Analizinin Yapılması

Yağ analizi bize, yağlama hatası, uygun yağın kullanılmaması sorunları gibi bir takım bulguların yanı sıra ekipmanın kullanımı ile ilgili bazı bilgiler sunar. Analiz sonucunda sadece yağ değişimi değil aynı zamanda ekipmanın da değişimi söz konusu olabilir.

Bazı büyük tesisler yağ analizini kendileri yaparlar. Bunun için fabrika içerisinde yağ analizini yapabilen uzman kestirimci bakım ekibi ve alınan yağ örneklerini incelemek için laboratuvarları vardır. Fakat yağ analizinin pahalı bir analiz olmaması küçük ya da orta ölçekli sanayi kuruluşlarının bu şekilde bir laboratuvar kurma gerekliliğini ortadan kaldırır. Dışarıdan hizmet alım yöntemiyle yağ analizi yaptırmak isteyen tesisler, örnek alındıktan sonra bir gün içerisinde sonuçları da alabilmektedir. Yağ analizi sonucunda optimum sonuçlar elde edilmek isteniyorsa yağ örneği alma hususunda bazı noktalara dikkat etmek gerekir. Yağ örnekleri; aktif olarak çalışan hattın, düşük basınç altında olan kısmından ve herhangi bir filtrasyona tabi tutulmayan noktadan alınmalıdır ki alınan örnek yağın tamamını en iyi şekilde yansıtsın. Doğru sonuçların alınabilmesi için yağ örneği her seferinde ilgili makinenin aynı noktasından alınmalıdır. Numuneler alınırken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise alınan numunelerin karıştırılmamasıdır. Aksi takdirde düzgün çalışan bir makine sorunlu, sorunlu makinenin de düzgün çalıştığı sonucuna ulaşılır ki müdahale için boşuna para harcanmış olunur.

İçerisinde yağ bulunan hemen her makine yağ analiz testine tabi tutulabilir. Bu bakım tipinin en yaygın olarak kullanıldığı ekipmanlara türbinler, dişi kutuları, servo valfler, hidrolik sistemler ve rulman yatakları örnek olarak gösterilebilir.

3.3. Ultrasonik Test

Diğer kestirimci bakım teknikleriyle karşılaştırıldığında ultrasonik test içlerinde uygulanması en kolay olanıdır. Çok fazla teknik bilgi ya da beceri istemez. Ultrasonik test cihazını kullanmayı bilmeyen bir teknik personelin eğitimi için özel eğitimlere ya da sertifikalara sahip olması gerekmez. Üretici firmanın teknik personelinin kısa bir tanıtımı ile fabrikanın teknik personeli uygulamayı yapabilir. İnsan kulağının duyabileceği seslerin frekansı 20 Hz ile 20 kHz aralığındadır. 20 kHz-100 kHz frekans aralığında bulunan seslere ultrasonik sesler denir.



Şekil 6: Ultrasonik Test

Kızılötesi yayımların aksine ultrasonik ses yayımları daha kısa mesafe yol alır. Ultrasonik ses dalgalarının kızılötesiyle ortak yanı ise düzgün şekilde yayılmaları ve katı maddelerin içerisinde geçememeleridir. Döner ekipmanlar ve akışkan taşıyan düzenekler ultrasonik ses dalgaları yayarlar. Bu ses dalgalarının normalden farklı miktarda yayılmaları burada bir takım arıza ve olumsuzlukların olduğunu gösterir. Ultrasonik dedektörler; bileşen aşınmaları, sıkıştırılmış gaz kaçaqları, vakum kaçaqları ve elektrik arkların tespiti gibi birçok alanda ölçüm yapılmasıyla sorunu ortaya çıkarır. Ultrasonik test yönteminin endüstride ve salt sahalarında birçok uygulaması vardır; kesiciler, anahtarlar, izalatörler, transformatörler, sigortalar, motorlar, mil yatakları, dişli kutuları ve fanlar bunlara örnek olarak verilebilir.

3.4. Vibrasyon Analizi

Vibrasyon, diğer adıyla titreşim, kelime anlamı olarak bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır. Yaygın kullanılan ekipmanlarla ilgili titreşim sorunu oluştuğunda bu problem tahmin edilebilir. Örneğin otomobilinde direksiyon simidinin titrediğini farkeden bir sürücü; bu durumun direksiyon bağlantısındaki gevşekliklerden ya da tekerleklerin balanssızlığından kaynaklandığını söyleyebilir. Ortada anormal bir titreşim hissedilmektedir ve bu titreşime neden olan bir sorun meydana gelmiştir.



Şekil 7: Vibrasyon Analizi

Endüstriyel tesislerdeki ekipmanlarda ise ekipmana dokunarak arızasını tahmin etmek imkânsızdır. Bunun yerine, ekipmandaki titreşim seviyesini ölçebilen cihaz ve sistemler kullanılır. Döner ekipmanlar kendilerine has titreşimlere sahiptir. Ekipman arızalı olmasa dahi belirli seviyede titreşim sergiler. Fakat döner ekipmanlar herhangi bir arızaya sahip oldukları zaman her zamanki titreşim seviyelerinin dışına çıkarlar ve bu da ekipmanların arızalarını anlamada teknik personele yardımcı olur.

En temel titreşim analizi uygulaması portatif bir vibrasyon ölçüm cihazıyla periyodik olarak daha önce belirlenen ekipmanlardan ölçüm alınması ve bunların ekipman arızasız çalışırken elde edilenlerle karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Bunun için önce izlenecek ekipmanlar kritiklik seviyesine göre sınıflandırılmalıdır. Ardından hangi sıklıkta ölçüm alınacağı belirlenmelidir. Kritik ekipmanlardan daha sık ölçüm alınması gerektiği aşikârdır. Genellikle 15 günlük frekanslarla başlayan ölçüm sıklığı yılda bir seviyesine kadar azaltılabilir.

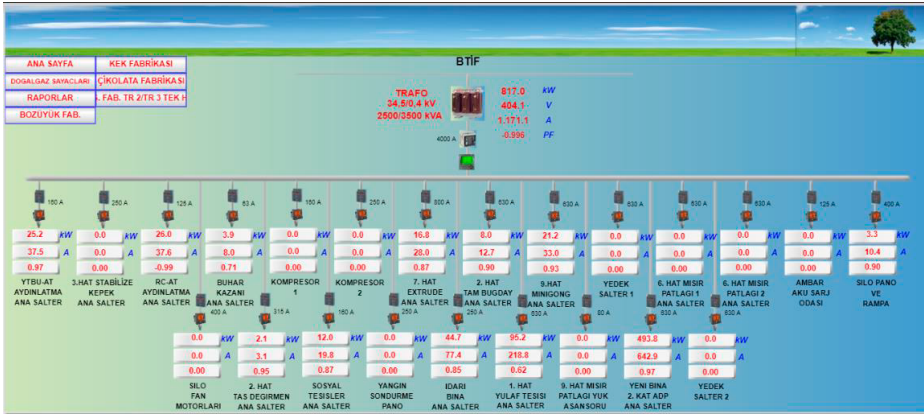
Bu noktada ölçüm alınacak ekipmanların dolaşımı için bir rota belirlenmelidir. Daha önceki değerlerle karşılaştırma yapıldığı için vibrasyon analizinde her defasında aynı şartlarda ve aynı noktadan ölçüm alınması çok önemlidir. Buradaki amaç ekipmanın en iyi durumdaki titreşim karakteristiğini elde etmektir. Bundan sonra alınacak ölçümler bu karakteristik ile karşılaştırılır. Endüstriyel tesislerde genellikle ölçüm alan ve verileri yorumlayan iki farklı ekip/personel bulunur. Ölçüm cihazları ve analiz yazılımlarının gelişmesi ve otomatik teşhis yeteneklerinin artmasıyla bu yöntemin kullanımı görece daha kolay bir hale gelmiştir. Genellikle alınan her ölçümün yorumlanması yerine önce genel titreşim seviyesine bakılır ve belirli bir seviyenin üzerine titreşime sahip ekipmanlarda detaylı analiz yapılır.

4. Endüstri 4.0 Çalışmalarına Örnekler

4.1. Uzaktan Enerji İzleme Sistemleri

Enerji yönetimi önem verilmesi gereken bir alandır. Uzaktan enerji izleme, şirketlere yapacakları çalışmalarda yön verme ve nasıl harekete geçecekleri, maliyet tasarrufu sağlayan fırsatları nasıl benimseyecekleri ve performanslarını sürekli olarak nasıl yükseltecekleri ile ilgili olarak yol gösterme konusunda büyük kolaylıklar sağlar. Şirketin enerji verilerini toplamak ve bunlarla ilgili raporlama yapmak için web tabanlı teknoloji kullanmak bu konuda bir çözümdür. Ölçemediğimiz bir veriyi yönetemeyeceğimiz için uzaktan enerji izleme, enerji kullanımını görünür kılmaya yardımcı olan ve böylece önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayan bir sistemdir.

Aşağıda fabrikalarımızda kullanmış olduğumuz enerji izleme sisteminden bir örnek bulabilirsiniz.



Şekil 8: Uzaktan Enerji İzleme Sistemi

4.2. QR Kod ile Ekipman Verisini İnceleme

Günümüzde oldukça yaygınlaşan akıllı telefonların kullanımı bakım teknolojilerinin de içine girmiştir. Geliştirilen çeşitli programlar sayesinde ekipmanın yanına giderek üzerinde bulunan QR kodun taratılması ile ekipmanın bakım talimatlarına, yedek parça listesine ve ekipman ile ilgili birçok bilgiye ulaşılabilmektedir. Bu sayede zamandan kazanç sağlanarak arızaların giderilmesi çok kısa sürelerle indirgenmiştir.



Şekil 9: QR Kod ile Ekipman İnceleme

4) SONUÇ

Endüstri 4.0 ve temsil ettiği yeni teknolojik dönüşüm süreci bugün dünyayı büyük meydan okumalarla karşı karşıya

bırakmaktadır. Artık üretimden ticarete, sağlıktan eğlenceye kadar günlük yaşamın her noktasına etki edecek yeni bir döneme girilmiştir. Giderek robotlaşan ve otonom kontrollü olmaya başlayan üretim hatlarında enerji verimliliği ve duruşların önlenmesi en önemli durumların başında gelmektedir. Hatlarda oluşabilecek arızaların önceden bilinmesi ve daha oluşmadan aksiyon alınması hem zaman hem de maliyet açısından bize fayda sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 teknolojisi her geçen gün daha çok gelişmekte ve bütün alanlarda olduğu gibi bakım alanında da bizlere yardımcı olacak birçok çözüm geliştirmektedir. Kullanmış olduğumuz bakım tekniklerini bilgisayar, ağ tabanlı kontrollü sistemler, çeşitli yazılımlar ve mobil cihazlar ile destekleyerek arıza müdahale ve çözümlerini geliştirmeliyiz. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar ile bakım performansını daha üst seviyelere taşımamız mümkündür. Burada bizlere düşen en önemli görev çağın gerekliliklerini en güzel şekilde takip ederek gelişmeleri izlemeli ve yapacağımız çalışmalarda bunları baz almalıyız.

5. Kaynakça

Ruben Ravnå Per Schjøberg , Industry 4.0 and Maintenance

Yasemin A. , Bakım teknolojileri Kongresi ve Sergisi, MMO Denizli Şubesi, s49-53

K. Wang, Y. Wang, J.O. Strandhagen, T. Yu Advanced Manufacturing and Automation V

http://www.emo.org.tr/ekler/6e680dd5976ff0d_ek.pdf

<https://www.mmo.org.tr/istanbul/haber/ayin-makalesi-endustri-40-ve-yeni-teknolojinin-kavramlari>

<http://www.maintenancenews.org/kestirimci-bakim-nedir>



ERKEN EKİPMAN ÇALIŞMALARININ BAKIM MALİYETLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF EARLY EQUIPMENT WORK ON MAINTENANCE COST

¹Yusuf Sırrı Erkuş

¹Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
serkus@etigida.com.tr

Özet

Bir üretim tesisinde kullanılan makinelerin, verimli ve güvenilir şekilde çalışması önemlidir. Yaşanabilecek arıza ve duruşların önüne geçebilmek için birçok farklı bakım metodu uygulanabilir. Bazı kronik ve büyük çaplı değişimleri yapmak her zaman mümkün olmayacağından sürecin en başında farklı yaklaşımlarla çalışmalar yapılmalıdır.

Erken ekipman çalışmaları operasyonel birçok konuda çözüm olacak cevaplar verebilmektedir. Bunların bir çoğu bakım faaliyetleri için de kullanılabilir. Hammadde, enerji ve iş gücü gibi kayıpların oluşmasını engellemek ve tesisin güvenilirlik seviyesini yükseltme de kullanılabilir araçların kullanımı, erken ekipman çalışmalarının kapsamı içindedir.

Makine ve ekipmanların tasarım aşamasından itibaren süreç ele alınır. Genel ve tesise özel bazı standartlar üzerinden kontrol yapılır. Geçmiş tecrübelerden faydalanılacak araçlar kullanılır ve sonunda ideal çözüme ulaşılır. Böylelikle belli bir amaca yönelik kullanılacak olan makine, bakım kolaylığı, standart malzeme seçimi, geçmiş kronik sorunlardan uzaklaşmış bir çalışma gibi konuları kapsayacak şekilde kullanıma sunulur.

Tasarım ve imalat sürecini uzatabilecek gibi görünen bu işlemler, aslında orta ve uzun vadede işletmede yaşanabilecek iş gücü ve maliyet kayıplarının oluşmadan engellenebileceği sağlıklı süreçleri oluşturacaktır.

Bu bildiride teknik ekibin izleyeceği yol haritası ve aşamalarından bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Erken Ekipman, Bakım maliyeti, operasyon maliyeti, yatırım, Tasarım Kriterleri



Abstract

It is important that the machines used in a production facility operate efficiently and reliably. Many different maintenance methods can be applied in order to avoid possible failures and downtimes. Since it is not always possible to make some chronic and large changes, studies should be carried out with different approaches at the beginning of the process.

Early equipment work can provide answers to many operational issues. Many of these can also be used for maintenance activities. The use of tools to prevent losses such as raw materials, energy and labor, and to increase the level of reliability of the facility is within the scope of early equipment work.

The process from the design stage of machinery and equipment is discussed. General and facility-specific standards are checked. The tools that will benefit from past experiences are used and the ideal solution is finally reached. Thus, the machine to be used for a specific purpose, ease of maintenance, standard material selection, past a chronic problem, such as a study that is included in the work is made available.

These processes, which seem to extend the design and manufacturing process, will in fact create healthy processes in the medium and long term that can be prevented from occurring in the workforce and cost losses.

In this paper, the road map and stages of the technical team will be discussed.

Key Words: Early Equipment, Maintenance cost, operation cost, investment, design criteria

1.Giriş

Bir işletmede ürün, hizmet ya da süreçlerde yenilik ve öncülük kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Erken Ekipman Yönetiminde amaç, bir işletmede mühendislik yaklaşımları ile ihtiyaçlara mümkün olan en kısa sürede ve en uygun maliyette çözümler üretilmesi ve bu çözümlerin sürecin en başından kontrollü ve sistematik ilerleyişinin sağlanmasıdır. Süreç içindeki aşamalarda hem tasarım hem de uygulama noktalarında çok çeşitli birimlerle ortak çalışmalar yapılmaktadır. Bu birimlerin belki de en önemlisi bakım ekibidir.

İşletme içindeki yeni projelerde, ilerleyişin sağlıklı olarak başlatılması ve güvenilir bir şekilde devamı için tüm paydaşlarla olduğu gibi bakım birimi ile de sürecin başından sonuna kadar eş çalışma yürütülmesi gerekmektedir.

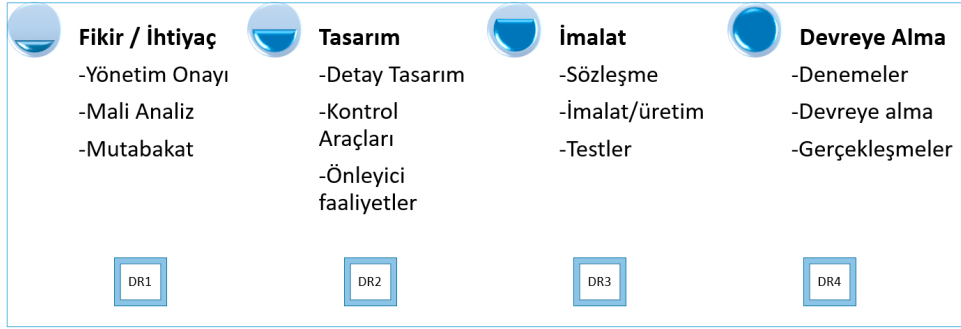
2. Erken Ekipman Yönetimi

Yeni ekipmanların tasarım, üretim, satın alma, kurulum, işletme, bakım, geliştirme süreçlerinin (erken/önceden) planlanması ve yönetilmesidir. Bu süreçlerin yönetilmesi kısaca, ekipmanları, minimum sürede, minimum kurulum maliyetleri ve maksimum OEE ile devreye alırken, güvenilirliklerinin maksimum, yaşam boyu maliyetlerinin minimum ve bakım ihtiyacının minimum olması anlamına gelmektedir.

Erken ürün yönetimi süreci; ürün tasarım sürecinin iyileştirilmesi ve daha hızlı daha kolay düşük maliyetli ürün geliştirebilmek için aslında ürünün yaşamı boyunca devam eden bir döngüdür. Pazar araştırmasından başlayıp, ürünün tasarımı, üretim süreçlerinin tasarımı, ürünün fiziksel olarak yapımı ve sonrasında müşteriye ulaşması ve geri bildirimlerin incelenmesine kadar sürer.

2.1 Erken Ekipman Süreçleri

Erken ekipman yönetimi 4 ana basamak üzerinden ilerlemektedir. Her aşamada tasarım gözden geçirme (DR-Design Review) yapılarak süreçler detaylı bir şekilde incelenir.



Erken ekipman yönetiminde öncelikle stratejik planlama yapılmaktadır. Fizibilite çalışmalarının ardından onayları alınan yatırımlar tasarlanarak uygulamaya alınır. Dizayn ve uygulama prosesinde tasarım gözden geçirme kontrol listeleri ile süreç yönetilir.

DR-1 Yatırım Onayı

Çeşitli gereksinimler sonucu ortaya problemlerin ele alındığı, çözüm yollarının araştırıldığı, alternatifli yaklaşımlar ile mali analizlerin yapıldığı süreçtir. Çalışma sonunda bir yatırım dosyası oluşturulup üst yönetime yada karar mercilerine sunulur.

Tüm süreci etkileyecek ilk adım olduğundan ötürü DR-1’de titiz bir ön hazırlık gereklidir. Doğru verilerin toplanarak karar vericilere iletmek kritiktir.



DR-2 Tasarım

Makine / ekipman detay tasarımlarının yapıldığı aşamadır. İhtiyaca göre kapsamın belirlenir. Teknik çözümler ile çözüm üretilir.

Teknik çözümün oluşması esnasında etkileşim halinde olunması gereken bir çok yan konu yada disiplinin tasarımcı tarafından atlanmadan üzerinden geçeceği bir sistematik olması gereklidir. Erken ekipman yönetiminde hem akış hem de yazılı bir düzen içinde tüm süreç ve paydaşların üzerinden geçilir.

Tasarımcı ve kullanıcı buluşması sağlanarak farklı bakış açıları ile projeye yaklaşılr. Üretim, Bakım, Kalite, İSG gibi birimlerin ileride yaşayabileceği olası sorunların önüne geçmek ve en doğru teknik çözüm ile ekonomik şartların ortaklaşa eridiği bir pota oluşturulur.



Detay Tasarım

Prototip çalışmaları

MP Analizleri

Tecrübeler

Teknik Standartlar

Yasal Prosedürler

Risk Analizleri

Kontrol Formları

a) MP / Maintenance Prevention

Tasarım sürecinin en önemli aşamalarındandır. Mevcut ekipmanın geliştirilmesi ya da yeni ekipmanın planlanması ile kurulumu sırasında eski kayıtlı tecrübelerin, yeni teknolojilerin kaizen/iyileştirmelerin ve bakım yapılabilirliğinin göz önünde tutulması amacıyla tüm bilgilerin kayıt altına alınmasıdır.

İhtiyaç halinde erişimi ve düzeni kolay ortamlarda tasarımcının faydalanabileceği bir yapıda oluşturulması ile hem projenin kendi planlamasının sağlıklı olarak ilerletilmesi, hem de kurulum sonrası oluşabilecek sorunların giderilmesi sağlanabilir.

MP çalışmaları ile aşağıdaki kalemlerde iyileşme şartlarının olduğu gözlenir;

- Yüksek güvenilirlik seviyesinde çalışma
- İşletimi kolay
- Bakımı kolay
- Otonom bakıma imkân tanıma

b) Kontrol Formları

İşletme içinde yürütülen faaliyetlerin toplandığı formlar ile tasarımcının tüm adımları görebileceği etkileşim sağlanır. Bakım, Kalite, İSG gibi konularda dikkat edilmesi gereken konuların üzerinden geçilerek geçmiş hataların önüne geçilir.

İşletmede standartlaşma ile zaman ve maliyetten tasarruf sağlanabilir. Kullanılan malzeme tipinden alt yapı ve çevre unsurlara kadar birçok alandaki faaliyet gözden geçirilmiş olur.

Aşağıdaki gibi sorulara verilecek yanıtlar sürecin sağlıklı olarak ilerlemesine ve gerekli önlemlerin alınmasına vesile olacaktır.

- Ekipman kapsamı karşılıyor mu?
- Kayıp noktaları (ıskarta çöp) belirli mi?
- Alt yapı ihtiyacı belirlendi mi?
- Kolay bakım yapılabilir mi?
- Planlı bakım metot ve süreleri belirlenmiş mi?
- Erişilemeyen bölgeler var mı?
- Hazır ekipmanlar tesis bünyesinde kullanılan markalardan mı?

c) Yaşam döngüsü analizleri (LCC)

Benzer amaca hizmet eden ekipmanların karşılaştırılarak ihtiyaca en uygun olanın seçilmesi için LCC analizleri

yapılmaktadır. Ekipmanın birçok özelliği ele alınıp kıyaslama yapılmaktadır. Bazıları aşağıdaki gibidir;

- Yatırım maliyeti
- İşletme maliyeti
- Bakım Maliyeti

DR-3 İmalat

Tüm şartlar belirlendikten sonra imalat ve tedarik süreci başlar. Sürecin sağlıklı ilerlemesi adına resmi sözleşmeler önemlidir. Tüm koşullar yazılı olarak sözleşme içinde yer almalı, olası olumsuzluklara karşı mali açıdan tedbir alınmalıdır.

Ekipmanın kurulum öncesi tedarikçide test edilmesi kritik bir konudur. Standart kontrol formları ile soğuk testlerin yapılması, performans verilerinin değerlendirilmesi ve önleyici tedbirlerin hızlı bir şekilde planlanması ancak yerinde yapılan kontrollerle (FAT) sağlanabilir.



DR-4 Devreye Alma

Ekipmanın sahada kurulumu, soğuk ve sıcak testlerin yapılması, önleyici ve düzeltici faaliyetlerin planlanması ile süreç devam eder. Hedef ve gerçekleşen verilere göre devreye alma süreci tamamlanır.



2.2 Erken Ekipman yönetiminde Bakım etkisi

Erken Ekipman Yönetiminin “Dizayn – Uygulama, İzleme” aşamasında özellikle DR 2 ve DR 3 tasarım gözden geçirmelerinde bakım departmanının çalışmalarına katkısı daha yükümlüdür. Bu çalışmalar destekleyici faaliyetler ile daha sistematik olarak yürütülebilmektedir.

Yeni yapılan yatırımların amaca en uygun şekilde hayata geçirilmesi ve yapılan fizibilite hesaplarını doğrulaması için Erken Ekipman Yönetimi'nin olası riskleri ortadan kaldıracak yönde olması gerekmektedir.

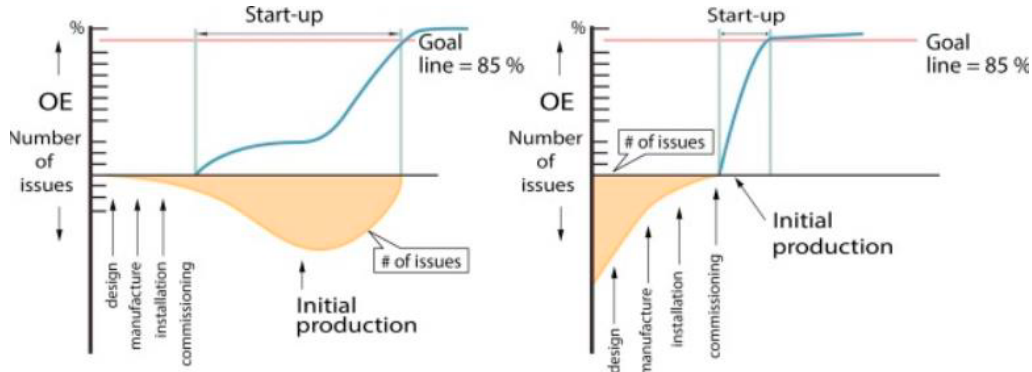
Henüz montaj yapılmamış olan ekipmanlara tasarım gözden geçirme çalışmalarında uygulanan kestirimci bakım teknikleri sayesinde tespit edilecek risk veya problemlerin çözümü ile performans ve test çalışmalarından önce gerekli önlemlerin alınması sağlanmaktadır. Aynı zamanda henüz sözleşme aşamasında da kestirimci bakım teknikleri ile yapılacak kontrollerden sonra montaj ve devreye alma çalışmaları başlatılabilir gibi madde de kontrata eklenebilir.

3. Dikey Başlangıç (Vertical Startup)

İşletme içinde yürütülen projeler hedeflenen kapsam, bütçe ve zaman özelinde değerlendirilmektedir. Projelerin zamanında devreye alınmamasındaki ana nedenlerden biri öncesinde yapılması gereken süreçlerin sağlıklı yürütülmeyip projenin son aşamalarına birçok riskli konunun yığılmasıdır.

Bu durum işletmeye hem maliyet hem de gecikme olarak yansır. Erken ekipman yönetiminde amaçlanan ana hedeflerden biri projenin zamanında bütçesinde ve kapsamında olarak devreye alınmasıdır. Tasarım aşamalarında yukarıda bahsettiğimiz birçok yöntem ile sorunların büyümeden önlenmesi sağlanır.

Ekipman montajından çok kısa süre sonra faal olarak üretimde kullanılmaya başlanmasına dikey başlangıç denmektedir. Sorunlar fazla maliyet oluşturmadan öncesinde çözülür. Böylelikle projenin son kısmında gecikme engellenmiş olur.



4. Erken Ekipman Yönetiminin Çıktıları

İşletme içindeki birçok birimin uzmanlıklarından faydalanarak belli bir sistematik içinde kurumsallaşmış bir yapıya bürünen bir yönetim anlayışının ana faydaları aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz;

- En uygun teknik çözüm ile maliyet arasında sağlıklı bir ilişki kurulması
- Geçmiş tecrübe ve birikimlerin kullanılması, böylelikle olası hataların engellenmesi
- Bakım maliyetlerinin işçilik ve maliyet özelinde azaltılması
- Üretim kayıplarının engellenmesi
- Ekipman devreye alma süresinin asgari tutulması
- Yaşam Döngüsü Analizi ile ideal seçime gidilmesi
- Risk analizleri ile kötü senaryoların görünür hale gelmesi
- Geliştirme ve inovasyon çalışmalarının sürekliliğinin devamı için uygun alt yapının oluşması
- Yenilikçi fikirlerin oluşmasından sonra, hayata geçme sürecinin sağlıklı ilerletilmesi

5. Erken Ekipman Yönetiminin Bakım süreçlerine ve Maliyetlerine Etkisi

Tesis bünyesinde faaliyet gösterilen bakım çalışmaları ekipmanın tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Erken ekipman süreçlerinde dahil olunan tasarım süreçleri ile ekipmanın kullanımı esnasında bir çok olası sorun ve maliyetten kaçınılmış olur.



DR-2 Tasarım aşamasında bakımıcının sürece dahil olması önemli ve kritiktir. Detay tasarımlar esnasında malzeme seçiminden, konstrüksiyon yapısına, alt yapı ihtiyacından geçmiş kronik arıza yapısına kadar birçok konuyu tasarımcı ile paylaşıp çeşitli teknik alternatifler yaratılmasına direk etkisi olacaktır.

Standardizasyon ile belli bir portföydeki malzeme seçimi yapılır. Böylelikle bakımıcının malzemeye olan yatkınlığı artar iken stok maliyeti düşer. Yedek parça tedarik süreleri kontrol edilebilir hale gelir.

Detay tasarıma müdahale ile, bakım kolaylığı sağlayacak tasarımın başlangıcı oluşturulur. Geçmiş tecrübeler ve MP arşivlerine göre tasarım şekillenir. Tasarımda oluşabilecek bazı belirsizlikleri prototip çalışmaları ile önüne geçilmiş olunur. Similasyon ve analizler ile sanal olarak çalışma canlandırılmış ve koşullar belirlenmiş olunur. Otonom bakım çalışmaları için kolay temizliği ve yağlaması yapılabilen tasarımlar yapılırken, arıza durumları için demontajı ve montajı kolay yapılır, bakım süresini kısaltacak çözümler oluşturulur.

Güvenilir çalışma için, setup kolaylığı ve setup süresi minimize etme çalışmaları yapılarak olası arıza ve kısa duruşların önüne geçilir. Yine tasarım aşamasında oluşturulan kullanım kılavuzları ve bakım talimatları ile bakımıcının makineye intibakı hızlanır. Böylelikle basit ve kullanım hatalarından kaçınılarak bakım maliyetlerinin artmasının önüne geçilir. Kritik yedek parçaları önceden belirlenerek gereksiz stoktan kaçınılıp ihtiyaca göre ve tam zamanında stok yönetimi yapılır.

İzlenebilirlik faaliyetleri ile hem ekipman hem proses kontrol altında tutulur. Olası arızalar önceden tespit edilip duruşa neden olmadan giderilir.

6. Sonuç

Erken Ekipman yönetimi ile bir işletmede gerçekleştirilen yatırımların belirlenen hedeflere kısa sürede ve verimli bir şekilde ulaşılabilecektir. Bununla birlikte önemli giderlerden biri olan bakım maliyetlerine de kesinlikle fayda sağlayacaktır.

Tasarım gözden geçirme uygulamalarının her adımında yapılan kontrollü çalışmalar ile yaşanan problemler azalmakla birlikte devreye alma sürecinin deneme üretimlerinde daha az problem ile karşılaşılmaktadır. Böylece deneme üretimlerinden planlı üretimlere geçiş daha kolay olmaktadır. Devam eden süreçte ise bakım maliyetleri de kontrol altında olacaktır.



7. Kaynaklar

JIPM Danışmanlık Notları, 2015 – 2018, Eti Şirketler Grubu

8. Özgeçmiş

Yusuf Sırrı ERKUŞ

1987 yılında Denizli’de doğdu. Lise öğrenimini Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Lisans eğitimi esnasında başladığı Arçelik Çamaşır Makinesi işletmesinde üretim mühendisi olarak 1,5 yıl çalıştıktan sonra Eti Makine AŞ montaj mühendisi olarak çalıştı. Eti bünyesinde Arge mühendisi, Proje mühendisi gibi görevlerde çalıştıktan sonra 2016 yılından beri Yatırım Projeleri Yöneticisi olarak Eti Gıda Kek fabrikasında görev almaktadır.

ETKİN BİR BAKIM YÖNETİM SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI İÇİN KRİTİK NOKTALAR

¹Ali Pala

¹Yüksek Makine Mühendisi, Deniz Tekstil A.Ş. Boyahane Makine-Enerji Sorumlusu,
OSB 2. Kısım İbrahim Çallı Cad. No:9 Honaz/Denizli, mke@deniztekstil.com.tr

Özet

Bir işletme için bakım-onarım faaliyetinin planlanmış ve kontrol edilebilir durumda olması çok önemlidir. Bakım-onarım faaliyetinin verimliliği işletmenin üretim verimliliğini direkt etki eden önemli noktalardan biridir. Bu nedenle, işletmede oluşabilecek arızaların öngörülerek gerekli planlamanın yapılması esastır. Günümüzde ISO yönetim sistemi standartlarında yapılan yeni revizyon ile getirilen risk temelli düşünme mantığı da konunun önemini göstermektedir. Bu nedenle oluşturulacak etkin bir bakım-onarım süreci/süreçleri ile sistemin efektif yürütülmesi gerekmektedir. Bu bildiride etkin bir bakım yönetim sisteminin uygulanması için önemli bazı kritik noktalardan bahsedilmiş ve yürütülmesi için profesyonel bir yazılımın kullanılması gerektiği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Arıza bakım, etkin bakım, kestirimci bakım, kritik stok, TPM, yazılım

Abstract

For an enterprise, it is very important that maintenance and repair activities are planned and controllable. The efficiency of maintenance and repair activities is one of the important points directly affecting the production efficiency of the enterprise. Therefore, it is essential to make the necessary planning by foreseeing the failures that may occur in the enterprise. Today, the risk-based thinking logic brought with the new revision of ISO management system standards shows the importance of the subject. For this reason, it is necessary to carry out the system effectively with an effective maintenance-repair process (s). In this paper, some critical points are mentioned for the implementation of an effective maintenance management system and it is foreseen that professional software should be used for its execution.

Keywords: Accidental care, critical stock, effective maintenance, predictive maintenance, software, TPM



1. Giriş

İşletmelerde hedef minimum duruşlarla kesintisiz üretimi sağlamak ve en kısa sürede, bir seferde, doğru şekilde üretimi gerçekleştirip müşteriye göndermek ister. Hatta bunun için kalite performans göstergelerinin içinde çevrim süresini içeren veriyi takip eder. Bu nedenle makine parkurunda bulunan üretim makinelerinin plansız duruşları büyük önem arz eder.

Plansız duruşlar üretim ve enerji gereksinimlerinin karşılanamamasının dışında makine arızaları kaynaklı oluşmaktadır. Bu nedenle işletmelerde bakım-onarım faaliyetlerinin planlanması ve yürütülmesi önemlidir. Bakım-onarım faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi için planlanan bakım faaliyetlerinin doğru ve verimli olması gerektiği gibi planlandığı tarihte gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun için her işletmenin kendi mekanik bakım ve elektrik bakım personeli tarafından en az 2 süreç ile yürütülmektedir. Bu süreler; Arızı Bakım ve Periyodik Bakım süreçleridir. Gün geçtikçe kendini geliştiren işletmeler Kestirimci Bakım ve Otonom Bakım faaliyetlerini de yürütmektedir.

2. Bakım Sistemi

2.1. Otonom Bakım

Makine operatörlerinin kendi kullandığı üretim makinesinde basit el aletleri kullanarak gerçekleştirdiği temizlik, yağlama, kontrol gibi rutin bakım faaliyetidir. Bu bakım ile makine operatörünün kendi makinesine daha büyük sahiplenme hissi vererek makinesini daha iyi tanmasını sağlar, kritik sorunlar oluşmadan önce erken tespit etmesini sağladığı gibi bakım personeli üzerindeki yoğunluğu da azaltmaktadır.

2.2. Periyodik Bakım

İşletmeler kendi makine parkurundaki makineler ile ilgili bakım programları oluştururlar. Bu programlar oluşturulurken makine katalogları, tedarikçi önerileri, ekipman ömürleri ve yaşanmış tecrübeler dikkate alınır. Makine parkurundaki her bir makine için oluşturulan bu periyodik bakım-zaman çizelgesi kullanıma alınır. Bu bakım ile birlikte makinelerin genel yağlamaları ile birlikte, rulman değişimleri, kayış-kasnak değişimleri, yağ değişimleri, filtre değişimleri gibi bakım faaliyeti yürütülür.

Hangi koşulda olursa olsun, makine periyodik bakımında kritik konu, kontrol periyodunun iyi belirlenerek gerçekleştirilecek bakımın zamanında gerçekleştirilmesidir. Bu sayede, plansız arızalı kalma süresi kısaltılmış, üretim kesintisi önlenmiş, üretim maliyetleri de azaltılmış olur.

2.3. Kestirimci Bakım

İşletmelerde yine periyodik olarak yürütülen termal kamera ölçümleri, hava kaçak tespit ölçümleri, kondensatör kaçak tespit ölçümleri, yağ analizleri, ultrasonik cihaz kontrolleri gibi yapılan kontrollerdir. Bu kontroller ile elektrik tesisatı ve panoların, trafoların, elektrik bağlantılarının, kayış-kasnak sistemlerinin, izolasyonlu tüm ekipmanların, rulman gibi döner aksamların, buhar kullanılan noktalardaki kondensatör kaçaklarının, redüktör gibi yağ içinde çalışan ekipmanların sağlıklı çalışmalarının kontrolü sağlanmaktadır. Yapılan kontrol faaliyeti sonucunda çalışan ekipmanların o anki durumları, sağlıklı çalışıp çalışmadıkları, kalan ömürleri, değişim zamanı gibi veriler elde edilmektedir. Bu veriler ile bakım planı yapılarak yine makinelerin arızı bakıma düşmeden kontrollü olarak bakımının gerçekleştirilmesi sağlanır. Zaman zaman yapılan bakım bedelleri ciddi rakamlar tutsa da bu ekipmanların önemine göre geri ödeme süresi birkaç ay gibi oldukça kısa sürelerde gerçekleşmektedir.

2.4. Arızı Bakım

İşletmeler her ne kadar periyodik bakım, kestirimci bakım, otonom bakım gibi bakım uygulamalarını yapsa da önlenemez durum olan arızalar gerçekleştiğinde arızı bakım faaliyeti yapılır. Yaşanılan bu arızalar ile işletmeler periyo-

dik bakım faaliyetlerini geliştirir. Amaç her zaman arıza olmadan, üretimde kesinti olmadan planlanan zamanlarda bakım faaliyetlerini yürütmek şeklindedir. Aksi halde gerçekleşen arızalar, yedeği olmayan makineler gibi işletmede kritik pozisyondaki makineler için oldukça önemlidir. Aynı bir kriz durumu yönetimi ile kontrollü yürütülür.

Bu bakımda kritik konu gerekli ürün stoğuna sahip olmaktır. Bu ürünler kritik stok konumundadır. Arıza durumunda en kısa sürede yedeği ile değişim gerçekleştirilip makinenin işletmeye verilmesi esastır. Aksi halde makinenin saatlerce/günlerce devre dışı kalması, hatta işletmenin üretim yapamaması durumu ile karşılaşmak içten bile değildir.

3. Bakım Sistemi Yönetimi

Bir bakım faaliyetinde kritik nokta bakım faaliyetinin takibi ve bir önceki bakım faaliyete ulaşılabilir olma durumudur. Bu nedenle makinelerde bakım kartları güncel çalışan konumda kullanılır. Halen arıza bildirimlerinin çoğunun ile yapıldığı işletmeler bulunmaktadır. Arıza geçmişinin takibi için ise koçanların soft ortama aktarılması yapılır. Bu da ayrı bir işçiliktir.

Günümüz teknolojisinde en sağlıklı çalışma, yapılan yazılımlar sayesinde sistemin yürütülmesidir. Yapılacak yazılım sisteminde veri tabanının oluşturulması ilk adımdır. İşletme parkurunda bulunan tüm makinelerin ekipmanları ile birlikte yazılıma eklenmesi, söz konusu makinadaki o ekipman ile ilgili yapılacak faaliyetin kaydı ve takibi açısından önemlidir. İlk alt yapı oluşturulduktan sonra sistemin güncelliği devreye alma/devreden çıkarma faaliyetleri ile sağlanabilir. Yeni bir makine/ekipman parkura girdiğinde yazılıma kaydı yapılarak sisteme dahil edilir, aynı şekilde parkurdan çıkan bir makine/ekipman ile ilgili kalemler yazılımdan çıkarılır. Bu sayede, makinenin/ekipmanın yapılan sözleşmeye göre girdi kontrolünün yapılması sağlandığı gibi, yazılım takip sistemine eklenip/çıkarıldığı, mekaniksel/elektriksel bağlantıların eksiksiz tamamlandığı, eksik noktalar için gerekli faaliyetlerin açıldığı, kalite-çevre-iş güvenliği-enerji gibi işletmenin kritik konularda kontrollerinin yapıldığı (kritik ürünlerin belirlenip satın alınması, oluşabilecek kaçaklar için gerekli tedbirlerin alınması, topraklama bağlantısının yapılması, gerekli enerji ölçüm ekipmanlarının montajlanması gibi) kontrollü ve takibi kolay bir sistem meydana gelmiş olur.

Kurulan işletme altyapısında sistem kontrolü artık yazılım üzerinden geliştirilebilir. Bakım faaliyetleri yazılım üzerinden yürütüldüğü gibi arıza-onarım faaliyetleri de yazılım üzerinden yürütülür. İşletmede çalışan personelden problem yada arıza bildirimini yazılım üzerinden sağlanır. Bildirilen problem üzerinde yapılan uygulama ve kullanılan ekipmanların kaydedilmesi ile makinenin bakım çalışması kaynaklı ne kadar süre üretim yapmadığı, yapılan bakım kaynaklı kullanılan malzemelerin girilmesi ile bakımın maliyeti ve stok takibi gibi işlemler kolayca yürütülebilir. Bu çalışma, alt yapının oluşturulmasında yada girdi kontrolü ile yazılıma girilen stoktaki ürünler ile yapılır hale gelir. Bakım personeli yazılım sayesinde herhangi bir makinedeki gerçekleşen bir arızanın geçmişine de rahatlıkla ulaşabilir hale gelmiş olur.

4. Bakım Sisteminin Geliştirilmesi

Söz konusu sistemde kritik noktalar bakım süresinin ve kullanılan malzemelerin doğru girilmesidir. Bakım süresinin doğru alınabilmesi için makine başı bilgisayarlarına yazılımın yapılması daha doğru olacaktır. Makine operatörü makine duruş yaptığında duruş sebebi seçerek makinenin bakıma başlama zamanını, bakım personelinin de bakım faaliyetinin bitiminde yazılımdan faaliyeti kapatması ile de bakımın bitiş zamanını almak mümkündür.

Kullanılan malzemelerin doğru girilmesi ve bununla birlikte stok takibinin yapılması için 5S sistemi ile barkodlu ürün girdi sisteminin oluşturulması gerekir. Bakım bölümünde oluşturulan 5S sistemi ile barkodlar ürünlerin kaplarına yapıştırılır. Ürünlerin işletmeye girişleri girdi kontrolünde barkod ile yapılır. Bakım faaliyetinde personel stoktaki ürünler listesinden ürün seçmek yerine kullandığı ürünün barkodunu okutarak yazılıma kolay ve hızlı şekilde kaydetmesini sağlar.

Yazılıma üretim ile ilgili verilerin de alınması makine başı bilgisayarlar ile sağlanır. Makinenin enerji tüketim noktalarına montajlanacak sayaçlar ile de makine üretim maliyetine direkt ulaşılır, bakım öncesi/sonrası durum karşılaştırması yapılır, verimli/verimsiz çalışma koşulları belirlenerek kayıplar önlenir.



5. Sonuç

Etkin bir bakım yönetim sistemi için bir yazılım programı kullanmak, hem makine ile ilgili arıza ve bakım geçmişi-ne hızlı ulaşmak, hem de hızlı bir şekilde program oluşturup programı uygulamak mümkün hale gelir. Android ve İOS gibi yazılımlarla mobil ortama yaygınlaştırmak, sahada en hızlı şekilde kayıt aramayı ve kayıt tutmayı sağlar. Kayıtlar ile ilgili çekilecek fotoğraflar ile görsel kayıtlar da eklemek mümkün olur. Bakım/arıza faaliyetinde kullanılan ürünlerin eklenmesi ile stok takibi ve bakım maliyeti verileri anlık oluşur, bakım/arıza kaynaklı üretim kayıpları net bir şekilde elde edilir. Bakım sonrası makineyi işletmeye vermeden önce makinedeki kritik set de-ğerleri/ayarları kontrol formu ile mobil üzerinden yürütülerek bakım/arıza sonrası oluşacak çeşitli problemleri de önleyecek, bakımın etkinliğini arttıracaktır.

Yapılan çalışmalar ile TPM'nin 8 maddesinden 4 ana maddesi gerçekleştirilmiş olur. Kurulan sistem üzerine TPM'nin destekleyici 4 maddesi de eklenerek (erken ekipman yönetimi, kaliteli bakım, eğitim, TPM yönetimi) işletmede TPM hayata geçirilmiş olur. Hızlı raporlama sayesinde hızlı reaksiyon alma, problemlerin erken çözümü , hızlı müdahale gibi faydalar sistem üzerinde analiz edilebilir hale gelir.

6. Teşekkür

Deniz Tekstil San. Tic. A.Ş. Genel Müdür Yrd. Sn. Murat İlhan'a ve Boyahane İşletme Müdürü Sn. İlker Aksu'ya bilgi paylaşımı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

7. Kaynaklar

Alparslan, D. (2005). Toplam Üretken Bakım Yönetimi ve ATİ Gıda Sanayi Ve Ticaret A.Ş.'deki Uygulama. Ana-dolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Fernandez, O., Labib, A., Walmsley, R. and Pretty, D. (2003). A Decision Support Maintenance Management Sys-tem, International Journal Of Quality & Reliability Management, 20 (8), 965-979.

Görener, A., Yenen, V.Z. (2007). İşletmelerde Toplam Verimli Bakım Çalışmaları Kapsamında Yapılan Faaliyetler ve Verimliliğe Katkıları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (11), 47-63

Lebib, A. (1998). World-Class Maintenance Using A Computerised Maintenance Management System, Journal Of Quality In Maintenance Engineering, 4 (1), 66-75.

Patra, K., Tripathy, J.K. ve Choudhary, Dr. B.K. (2005). Implementing The Office Total Productive Maintenance Program. Emerald Library Review, 54(7), 415-424.

Sun, H., Yam, R. and Wai-Keung, N. (2003). The Implementation And Evaluation Of Total Productive Maintenance (TPM) – An Action Case Study In A Hong Kong Manufacturing Company, International Journal Of Advance Ma-nufacturing Technology, 22, 224-228.

Tsang, A.H.C., Chan, P.K. (2000). TPM Implementation In China: A Case Study, International Journal Of Quality And Reliability Management, 17 (2), 144-157.

8. Özgeçmiş

1985 Denizli doğumludur. İlk ve Orta öğrenimini Denizli'de tamamlamıştır. 2007 yılında Pamukkale Üniversi-tesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2018 yılında Pamukkale Üniversitesi Enerji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans'ını tamamlamıştır.2007-2008 yılında askerlik görevini Asteğmen olarak tamamlamıştır. 2008-2011 yılları arasında Isıger Müh. Ltd. Şti.'de Proje Yöneticisi olarak çalışmış, 2011 yılından buyana Deniz Tekstil A.Ş. Boyahane İşletmesi'nde Makine Enerji Sorumlusu – Enerji Yöneticisi pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir. A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı ve Enerji Yönetim Sistemi Uzmanı'dır. MMO Denizli Şube 71097 sicil numaralı üyesidir. Evli, 1 kız çocuğu babasıdır.

ETKİN VARLIK YÖNETİM STRATEJİSİ İLE KARLILIĞIN ARTIRILMASI

¹Ozan Çakıtlı

¹Makine Mühendisi / Prüftechnik Türkiye Şirket Yöneticisi

0 216 250 22 44

0 530 176 80 73

Ozan.cakitli@pruftechnik.com

Geçmişten bugüne, yaşadığımız sanayi devrimlerinin etkisi ile üretim yapan şirketlerin öncelikleri de değişti. Tabii ki her üretim tesisi için ilk hedef, yatırımcısına kar sağlamaktır ancak karlılığı artıracak yöntemler son 100 yılda hızla değişmiştir. 100 yıl önce seri üretime geçmek karlılığı artırırken; küreselleşme sonrası, üretim tesislerini ucuz işçilikli bölgelere kaydırarak, karlılık artırılmaya çalışılmıştır. Şimdilerde ise robot teknolojisinin gelişmesi ve de ülkelerin kendi vatandaşlarına daha iyi imkanlar sağlamak istemesi nedeni ile şirketler üretimlerini, ülkelerine kaydırmaktalar. Bu durum, şirketleri karlılık hedefine ulaşmak için yeni yöntemler geliştirmelerine zorlamaktadır. Özellikle arzın, talepten yüksek olduğu durumlarda bazı şirketler, üretimlerini durdurmak zorunda kalacaktır. Bu gelişmeler, üretim tesislerinin varlıklarını çok daha iyi yönetmelerini zorunlu hale getirmiştir. Bu amaçla bir çok tesis, kendini geliştirmeye çalışırken 6 sigma, TPM ve RCM gibi stratejiler ortaya çıkmış ve endüstride karşılık bularak yaygınlaşmıştır. Bu bildiri sınıfında en başarılı üretim şirketlerinin diğer şirketlere kıyasla, karlılığının ne derece arttırdığını gösteren bir çalışmayı öne çıkarmaktadır. Bildiride, sınıfında en başarılı üretim şirketlerinin, hangi özelliklerinin kendilerini başarıya taşıdığı ve karlılıklarını yükseltebildikleri vurgulanmaktadır.

1.Giriş

Aberdeen grup tarafından 2006 ve 2009 yıllarında iki farklı çalışma yapılarak varlık yönetimi konusunda farklı stratejiler uygulayan üretim şirketlerinin performans değerlendirilmeleri yapılmıştır. Yine Aberdeen grup tarafından 2017 yılında benzer bir çalışma yapılarak bir rapor yayınlanmıştır. Her üç çalışmada da üretim şirketleri üç grupta toplanmış ve ölçülen performanslarına ve varlık stratejilerine göre alanında en iyi, endüstriyel normlarda ve geri kalmış olarak üç farklı grup oluşturulmuştur. Bu bildiride öncelikle 2006 ve 2009 yılında yapılan araştırmaya göre alanında en iyi olan grup ile diğer iki grup arasında anlayış farklılıklarının ve varlık stratejilerinde ne gibi farklılık olduğunun değerlendirilmesi yapılmıştır. Son bölümde özellikle ‘geri kalmış’ ve ‘endüstriyel normlarda’ çalışan üretim tesislerinin ‘alanında en iyi’ gruba ulaşması ve bu suretle küresel pazarda rekabetçi olabilmeleri için ne gibi çalışmalar yapabilecekleri konusunda öneriler sunulmuştur.



2. Aberdeen Grup hakkında;

Aberdeen 1988 yılından bugüne kadar küresel şirketlere, alanında en başarılı sınıfa ulaşabilmeleri amacı ile araştırmaya ve raporlamalar sunan bir araştırma şirkettir. Şimdiye kadar 650.000'in üzerinde şirketin performans değerlendirmelerini yapmış ve 40'in üzerinde ülkede toplamda 2,2 milyondan fazla okuyucuya ulaşmıştır.

3. Aberdeen araştırmalarının değerlendirilmesi

Bu bildirin hazırlanmasına konu olan ve Aberdeen tarafından 2009 yılında yapılan araştırmada 130'un üzerinde şirket ile anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ankete cevap verenlerin %26'sı üst düzey yönetici (CEO, COO, CFO, CTO vs), %26'sı Direktör, %22'si müdür ve %10'u diğer personel'dir. Araştırmanın yapıldığı sektörleri %21 Petrokimya, %11 Endüstriyel Ekipman üretimi, %11 Paketlenmiş tüketim malzemeleri üretimi, %8 Elektrik-Su-Gaz dağıtım, %7'si İnşaat-Mimarlık ve Mühendislik şirketleri, %5' Kimyasal madde üretimi, %4'ü Metal Sanayi, %4'ü Yüksek Teknoloji üretimi ve %2'si Otomotivdir. Araştırmaya katılan şirketlerin %55'i Kuzey Amerika, %17'si Asya-Pasifik, %17'si Avrupa ve %9'u Ortadoğu-Afrika bölgelerinde faaliyet göstermektedir. Araştırmaya katılan şirketlerin %33'ü 1 milyar USD üzerinde, %38'i 50 milyon USD – 1 milyar USD aralığında ve %30'u 50 milyon USD'nin altında yıllık ciroya sahip şirketlerdir. Araştırma raporu Mehul Shah ve Matthew Littlefield tarafından hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmanın neticesinde şirketler Toplam Ekipman Etkinliği (OEE), plansız duruş oranı ve varlık geri dönüş oranlarına göre üç farklı gruba ayrılmışlardır. Bu ayırmda en iyi performans gösterenler alanında en iyiler, ortalama seviyede olanlar 'endüstriyel ortalamalarda tesisler' ve performansı en düşük olanlar ise 'geri kalmış tesisler' olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre temel performanslar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Şirketlerin gruplarına göre Temel Performans göstergeleri

Şirketlerin buldukları gruplar	Temel Performans göstergeleri
Alanında en iyiler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık olarak %20'si)	<input type="checkbox"/> Toplam ekipman etkinliği (OEE) : %88 <input type="checkbox"/> Plansız duruşların oranı : %2 <input type="checkbox"/> Varlık geri dönüş oranı : %25
Endüstriyel Ortalamalarda tesisler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık %50'si)	<input type="checkbox"/> Toplam ekipman etkinliği (OEE) : %81 <input type="checkbox"/> Plansız duruşların oranı : %11 <input type="checkbox"/> Varlık geri dönüş oranı : %7
Geri kalmış tesisler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık olarak %30'u)	<input type="checkbox"/> Toplam ekipman etkinliği (OEE) : %75 <input type="checkbox"/> Plansız duruşların oranı : %18 <input type="checkbox"/> Varlık geri dönüş oranı : - %10

Yine 2006 yılında Aberdeen grubu tarafından 300 katılımcı ile yapılan başka bir anket benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Bu ankete katılanların %8i üst düzey yönetici, %60'ı orta düzey yönetici, %27'si diğer personel ve %5'i danışmandır. Bu çalışma 29 farklı sektör ile yapılmış olup %14'ü Elektrik-Su-Gaz dağıtım şirketleri, %9'u gıda ve meşrubat, %9'u metal sanayi, %9'u Kimyasal madde üretimi %7'si Madencilik, %6'sı Petrokimya, %6'sı Otomotiv ve %10'udüğer sektörlerden oluşturulmuştur. Katılımcıların %83'ü Kuzey Amerika'dan diğer %17'si ise ağırlıklı olarak Ortadoğu ve Kuzey Afrika ile Avrupa bölgelerinde faaliyet göstermektedir. Araştırma Raporu Mark W. Vigoro ile Mihael Israel tarafından kaleme alınmıştır. Hazırlanan raporda şirketler yine Temel Performans göstergelerine göre 'Alanında en iyiler', 'Endüstriyel Ortalamalarda tesisler' ve 'Geri kalmış tesisler' olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Bu araştırmada bulunan Temel performans göstergeleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Şirketlerin gruplarına göre Temel Performans göstergeleri

Şirketlerin buldukları gruplar	Temel Performans göstergeleri
Alanında en iyiler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık olarak %20'si)	<input type="checkbox"/> Emre Amadelik oranı : %88.8 <input type="checkbox"/> Varlık verimi : %84.2 <input type="checkbox"/> Bakım maliyetlerinin gelire oranı : %17.2
Endüstriyel Ortalamalarda tesisler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık %50'si)	<input type="checkbox"/> Emre Amadelik oranı : %87.2 <input type="checkbox"/> Varlık verimi : %81.9 <input type="checkbox"/> Bakım maliyetlerinin gelire oranı : %20.8
Geri kalmış tesisler (Katılımcı şirketlerin yaklaşık olarak %30'u)	<input type="checkbox"/> Emre Amadelik oranı : %81.8 <input type="checkbox"/> Varlık verimi : %70.2 <input type="checkbox"/> Bakım maliyetlerinin gelire oranı : %23.5

Yukarıdaki verilerden yola çıkarak örnekleme yaptığımızda %2-3 gibi farklı değerlerin karlılıkta ne kadar etkili olacağını daha iyi görülebilmektedir. Örnekleme olarak 1 milyar TRL cirosu olan bir tesis ele alınmıştır. Satılan malların maliyeti %60, genel giderleri %10 kabul edilmiştir. Emre amadelik ve varlık verimliliğinin artmasından dolayı sağlanan üretim artışı ile elde edilen ürünlerin tamamının satılabildiği değerlendirilmiştir. Bu kabullerle tablo 3'e ulaşılır.

Tablo3 : Tablo 2 'de ulaşılan verilerden yola çıkılarak tesislerin ciro ve gider hesapları

	Geri kalmış tesisler	Endüstriyel Ortalamalarda tesisler	Alanında En iyileri
Satış Ciro	TRL 1.000.000.000	TRL 1.102.356.079	TRL 1.154.108.320
Satılan Malların Maliyeti (%60)	TRL 600.000.000	TRL 661.413.647	TRL 692.464.992
Bakım Giderleri	TRL 235.000.000	TRL 229.290.064	TRL 198.506.631
Diğer Giderler	TRL 100.000.000	TRL 100.000.000	TRL 100.000.000
Toplam Giderler	TRL 935.000.000	TRL 990.703.712	TRL 990.971.623

Bu değerlerden yola çıkarak yapabilecek karlılık hesabı ile finansal değerler Tablo 4'deki gibi oluşur;

Tablo 4: Tablo 2 ve Tablo 3 verilerinden yola çıkılarak hesaplanan karlılık ve Pazar değeri

	Geri kalmış tesisler	Endüstriyel Ortalama- lar da tesisler	Alanında En iyileri
EBIT	TRL 65.000.000	TRL 111.652.367	TRL 163.136.697
Arızı bakıma kıyasla EBIT yüzde değişimi	%100	%172	%251
Vergi	TRL 13.000.000	TRL 22.330.473	TRL 32.627.339
Vergi Sonrası Kar	TRL 52.000.000	TRL 89.321.894	TRL 130.509.358
Net Varlıklar	TRL 600.000.000	TRL 600.000.000	TRL 600.000.000
Net Varlık karlılığı	8,67%	14,89%	21,75%
Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti %12	TRL 72.000.000	TRL 72.000.000	TRL 72.000.000
Ekonomik Katma Değer	TRL -20.000.000	TRL 17.321.894	TRL 58.509.358
Hisse adedi	25.000.000	25.000.000	25.000.000
F/K oranı (sabit 12 kabul edildi)	12	12	12
Hisse Değeri	TRL 21,84	TRL 37,51	TRL 54,81
Pazar Değeri	TRL 546.000.000	TRL 937.879.884	TRL 1.370.348.256



Tablolardan görüldüğü üzere Üretim tesislerinin en iyi yönetilenleri ile endüstriyel ortalamalarda çalışan tesisler arasında karlılık ve buna bağlı olarak şirket değeri açısından %50 fark oluşmaktadır. Geri kalmış tesisler ile kıyaslandığında ise fark %150'dir.

Aberdeen anketlerinde alanında en iyi olan tesislerin, neyi diğerlerinden farklı yaptıklarını ortaya çıkarmak için, katılımcılara farklı sorular yöneltilmiş ve bu sorulardan alınan cevaplar benzer tablo ve grafiklere dökülmüştür. Bir sonraki bölümde bu cevaplar değerlendirilecektir. Anket sonuçlarını daha iyi değerlendirmek amacı ile Aberdeen tarafından 4 seviyede ele alınan bakım stratejilerini açıklamak gerekir.

4. Alanında en iyiler hangi stratejileri kullanıyorlar?

Bu soruyu cevaplamadan önce ekipmanların sağlıklı çalışabilmeleri için kabul görmüş bazı bakım yöntemlerini kısaca açıklamak gerekir. Aberdeen grup araştırmalarında bakım yöntemlerini 4 seviyeye ayırmış ve anket çalışmalarını bu doğrultuda gerçekleştirmiştir. Seviyeler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

Seviye 1: Arızı Bakım

Herhangi bir kritikliği olmayan, basit, arıza gerçekleştiğinde üzerinde çalışılması gerekmeyen ekipmanları zinde tutmak için herhangi bir bakım planlaması yapılmaz ve arıza gerçekleştiğinde değiştirilir veya arıza giderilir.

Seviye 2 : Koruyucu Bakım

Biraz daha karmaşık olan, arızalanma olasılıklarını önceden fark edilip, zamanında bakıma alınması gereken, veya arızalanmasını önlemek için planlanmış yağlama, parça değişimi gibi bakım görevlerinin gerçekleştirildiği ekipmanlar için uygulanan bir yöntemdir.

Seviye 3: Kestirimci Bakım

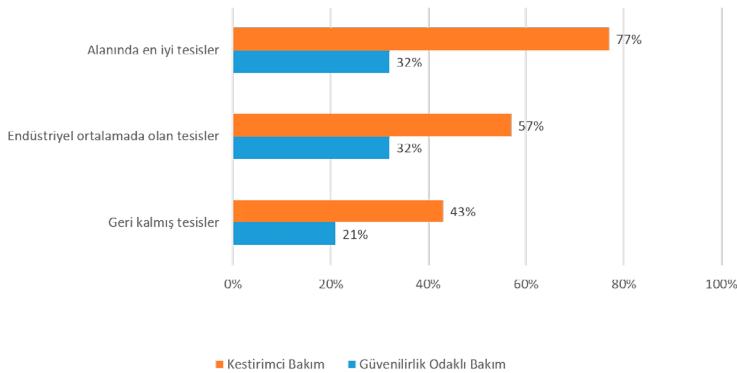
Daha kritik ve önemli ekipmanlarda olabilecek arızaları yeterince önceden belirleyip ani plansız duruşa sebebiyet vermeyecek şekilde bakım programına alınması amacı ile titreşim, sıcaklık, güç, ses, termografik görüntüleme, basınç ölçümü, kalite, aşınma, referans model karşılaştırması gibi yöntemlerin kullanıldığı bir bakım stratejisidir.

Seviye 4: Güvenilirlik Odaklı Bakım

Bu yöntem daha önceki 3 seviyeyi kapsayarak, sürekli iyileştirme çalışmaları, merkezi bir varlık yönetim süreçleri geliştirmeye yönelik bir stratejidir.

5. Araştırmaya konu olan anket çalışmalarının değerlendirmeleri

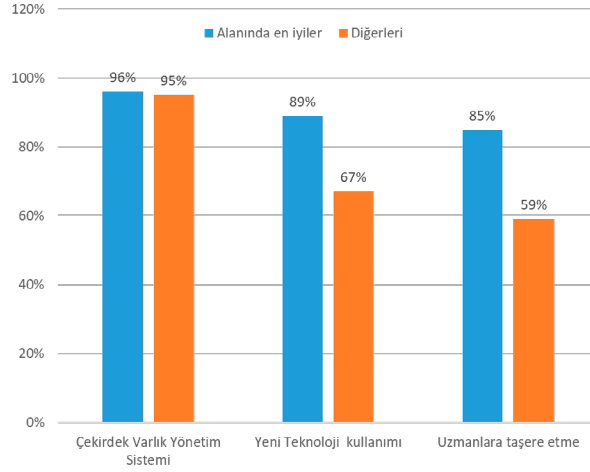
Yapılan anket Çalışmasında Ankete katılan şirketlere Seviye 3 (Kestirimci Bakım) ve Seviye 4 (Güvenilirlik Odaklı Bakım) stratejilerini kullanıp kullanmadıkları sorulmuş ve alınan cevaplarla Şekil 1'deki grafik oluşturulmuştur



Şekil 1: Alanında en iyiler tesisler Proaktif Bakım Stratejilerini diğer tesislere kıyasla daha yoğun kullanmaktadırlar.

Elde edilen grafiğe göre alanında en iyilerin özellikle Kestirimci Bakım stratejisinin kullanımında oldukça ileride olduğu görülmektedir.

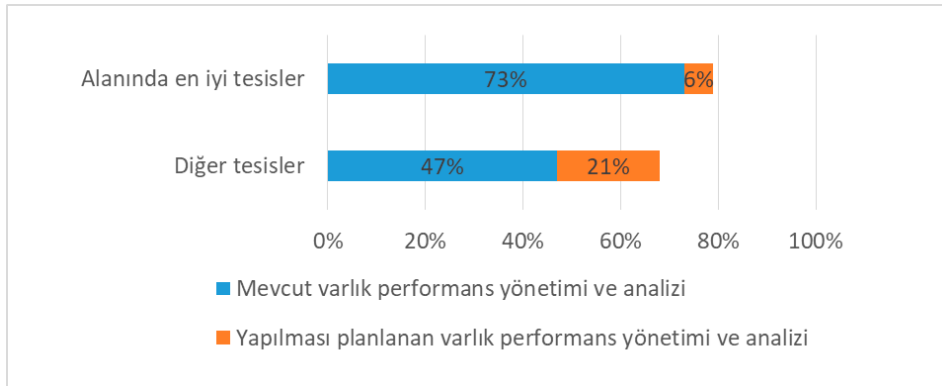
Yine benzer olarak bir başka anket sorusunda katılımcılara Çekirdek Varlık Yönetim sistemleri ve veri analiz yöntemi kullanıp kullanmadıkları, Yeni teknolojiler kullanıp kullanmadıkları ve üst düzey Teknik bilgi gerektiren servis işlerini uzmanlara taşere edip etmedikleri sorulmuş ve sonuçlar aşağıdaki Şekil 2’deki, grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2: Alanında en iyiler ile diğer tesislerin teknoloji ve servis taşeronu kullanım oranları

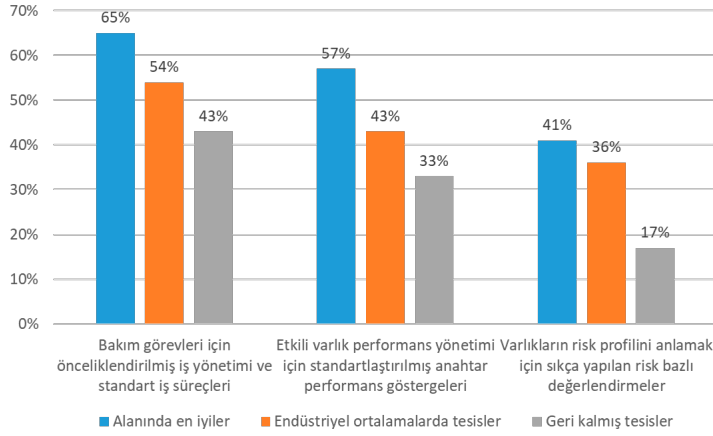
Grafikten de anlaşılacağı üzere Alanında en iyiler ile benzer şekilde Çekirdek Varlık Yönetim sistemleri ve veri analiz yöntemi kullanmalarına rağmen diğer iki grupta yer alan şirketlerin yeni teknolojileri kullanma ve özel servisleri uzman taşeronlara aktarma oranları oldukça düşüktür.

Etkin bir varlık yönetim programında varlıkların performansı hakkında bilgi edinmek, sonradan alınacak tedbirler için önem arz etmektedir. Bu nedenle katılımcılara Varlık Performans analizleri yapıp yapmadıkları veya bu analizleri yapmanın planlarında olup olmadıkları sorulmuş ve alınan cevaplardan Şekil 3’deki grafik elde edilmiştir.



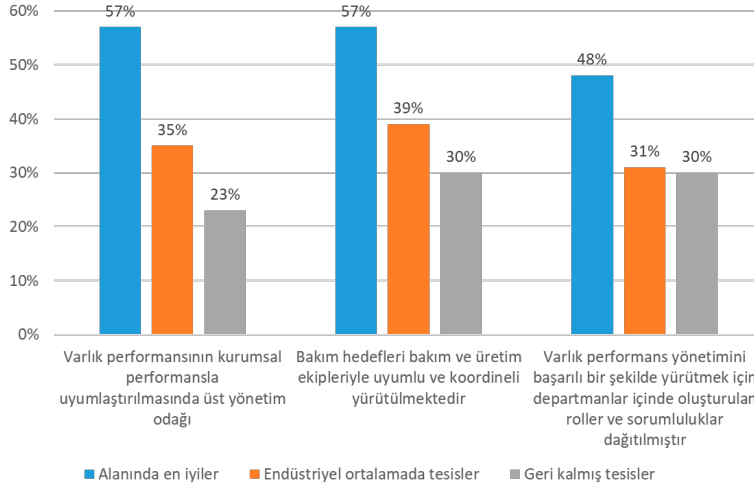
Şekil 3: Mevcut ve yapılması planlanan Varlık Performans Analizleri

Bu grafikte görüldüğü üzere alanında en iyiler Varlık performansı takibi ve analizi açısından oldukça etkili çalışmaktadır. Yine diğer grubun’da bu analizlere geçiş için oldukça yüksek bir oranda hedefi bulunmaktadır. Etkin bir Varlık Yönetimi için Risk Yönetimi oldukça önemlidir. Etkili bir risk yönetimi ile standart süreçler oluşturulabilir ve risk öncelikleri belirlenebilir. Bir sonraki aşama ise bu riskleri ortadan kaldırmaktır. Risk plansız duruşların yaratacağı maddi zarar, çevre zararı, iş güvenliği tehlikeleri gibi konuları da kapsayabilir. Risk yönetimi konusunda yapılan anket çalışmasında Şekil 4’teki grafiğe ulaşılmıştır. Grafiğe göre alanında en iyiler Risk Yönetimi alt başlıklarında da konusunda da diğer guruplardan ayrılmaktadır.



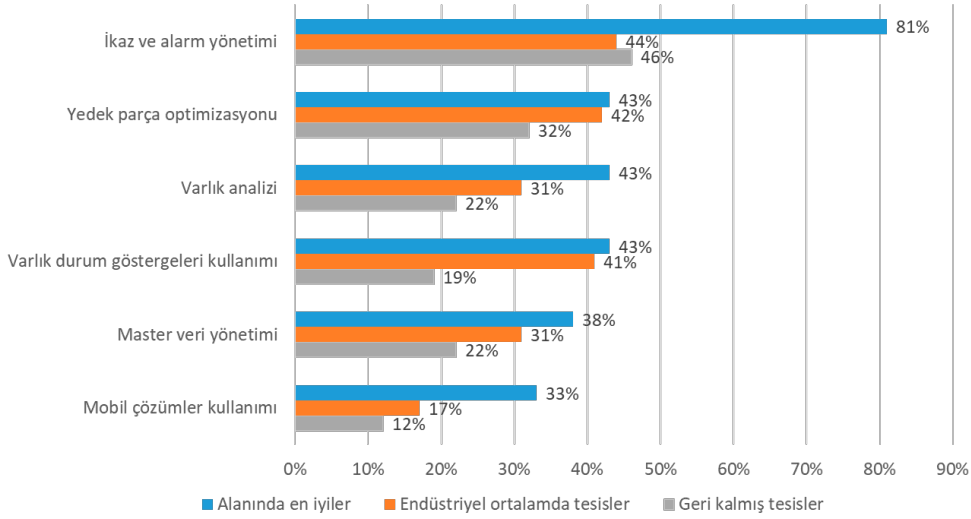
Şekil 4: Alanında en iyiler ile diğer tesislerin risk yönetim prensiplerine göre dağılımı

Etkili bir Varlık Yönetim Stratejisi oluşturmada ekip kültürü oldukça önemli bir etkidir. Çalışmanın etkili olması için özellikle üst yönetimin inancılığı, desteği ve katkısı önem arz etmektedir. Yapılan anket çalışmasında da benzer bulgular elde edilmiştir. Şekil 5 organizasyondaki işbirliğinin başarısındaki önemi göstermektedir.



Şekil 5: Organizasyondaki işbirliği

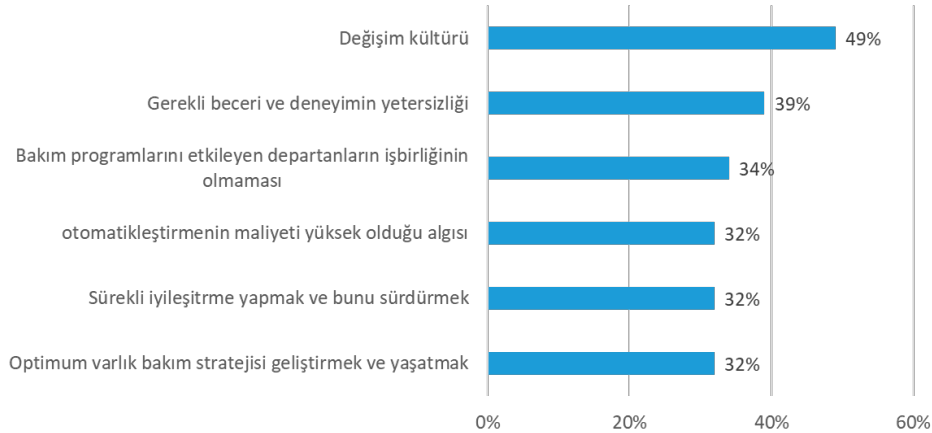
Teknolojik Fonksiyonellikler etkili bir varlık yönetim stratejisini diğer önemli unsurlardır. Verileri sürekli görülebilir kılmak, mobil ekipmanlarla her an bilgiye ulaşmak, varlık yönetim yazılımlarına gerekli verileri hızlıca aktarabilmek, gerektiğinde ikazlar alabilmek, hem yedek parça optimizasyonu sağlar hem de very akışının sağlıklı yürütmesine yardımcı olur. Bu konulardaki durum tespiti yapabilmek için, katılımcılara ilgili sorular sorulmuş ve alınan cevaplarla aşağıdaki Şekil 6'da gösterilen grafik oluşturulmuştur.



Şekil 6: Tesislerin teknolojik işlevsellik oranları

Grafikten de görüldüğü üzere özellikle İkaz ve ikaz yönetimi konusunda alanında en iyi şirketler diğerlerine kıyasla iki kat ilerideler. Yine veri analizi, Master veri yönetimi ve mobil uygulamaları etkin kullanımı konusunda da 'alanında en iyiler' açık ara öndeler.

Katılımcılara en iyiler sınıfına girebilmek için önlerinde olan engellerin neler olduğu sorulduğunda çok etkileyici cevaplar alınmıştır. Alınan cevaplara göre en zorlayıcı konular şirket kültürünün değişmesi, yeterli olmayan kaynaklar, beceriler, bakım programlarının birbirinden bağımsız yönetiliyor olmasıdır. Oysa ki sayılan tüm nedenler nerdeyse tamamen maddi yatırım gerektirmeyen ve sadece genel anlayışı değiştirerek bertaraf edilecek zorluklardır. Alınan cevaplarla oluşturulmuş grafik Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Etkili bir varlık yönetim sistemi oluşturmada zorluklar

2017 yılında Aberdeen tarafından hazırlanan bir başka raporda ise alanında en başarılı olan şirketlerin %70 oranda üst düzey yönetimden gerekli desteği aldıkları ve hatta bu %53'ünün sadece bu amaç ile Dijital dönüşüm lideri CDO (Chief Digital Officer) atadıkları görülmektedir. İlgili anket çalışmasının grafiğine Şekil 8'de yer verilmiştir.



5. Sonuç:

Yapılan tüm bu çalışmaların ışığında ‘alanında en iyiler’ sınıfına ulaşabilmek ve etkin varlık yönetimi ile karlılıklarını artırmak isteyen şirketlerin yapmaları gereken çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Departmanlar arası bariyerleri ortadan kaldırılmalıdır. Bütünsel bir varlık yönetim stratejisini hayata geçirmek için tüm bakım, malzeme, stok verileri ve kaynakları, kabiliyetleri tüm departmanların erişimine açılmalıdır.
- Kestirimci Bakım ve Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisine geçilmelidir.
- Varlık bazında standartlaştırılmış prosedürler ve kabul, kontrol standartları ile arıza kodları geliştirilmelidir.
- İş akışlarında otomasyon sağlayarak tekrarlanan işlerin önüne geçilmeli ve uygulamalar arası entegrasyon sağlanmalıdır
- Varlık yönetim yazılımları ile ERP ve muhasebe sistemlerin entegre edilmelidir.
- Karar vericilerin işlerini kolaylaştırmak ve doğru kararlar alabilmeleri için gerçek zamanlı veri akışı sağlanmalıdır. Kritik ekipmanların durumu hakkında otomatik ikaz sistemleri yaratılmalıdır. Uzaktan izleme ve analiz yöntemlerin kullanılmalı ve bu analizleri gerçekleştirecek personelin bilgi seviyesini yükseltilmeli ve sayısı artırılmalıdır. Sürekli iyileştirme projelerine önem verilemeli, küçük, kolay ve düşük maliyetli iyileştirme risk yönetim uygulamaları ve projelerini hayata geçirilmelidir.
- Yüksek uzmanlık gerektiren servis hizmetleri uzmanlara taşere edilmelidir.
- Varlık performans analizleri yaygınlaştırılmalıdır.
- Standart ve takip edilebilir Anahtar performans göstergeleri oluşturulmalıdır.
- Belirli periyotlarda risk analizleri güncellenmelidir.
- Yönetim hedefleri ile uyumlu varlık performans hedefleri, üretim ve bakım performans hedefleri oluşturulmalıdır.
- Görev ve yetkilerin yeni Varlık Yönetim Stratejisine uygun biçim oluşturulmalıdır.
- Veri toplama kalitesi artırılmalı, Analizler uzmanlar tarafından yapılmalı, mobil uygulamaların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

6. Kaynaklar:

J. Biddle, 2006, Asset Management Benchmark Report, Moving Toward Zero Downtime, Aberdeen Group

M. Shah, M. Littlefield 2009, Asset Performance Management, Aligning the Goals of CFO's an Maintenance Managers, Aberdeen Group

G. Cline, 2017, Asset Performance Management: Blazing a better path to operational excellence, Aberdeen group

EVALUATION OF ALTERNATIVE MAINTENANCE STRATEGIES OF WIND FARMS USING A HYBRID MULTI-CRITERIA DECISION MAKING (MCDM) FRAMEWORK: A CASE STUDY

¹Res. Asst. Ozan Capraz, ²Prof. Dr. Aşkiner Güngör,

³Assoc. Prof. Dr. Olcay Polat, ⁴Prof. Dr. Harun Kemal Öztürk

¹ Dept. of Industrial Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, ocapraz@nku.edu.tr

² Dept. of Industrial Engineering, Pamukkale University, askiner@pau.edu.tr

³ Dept. of Industrial Engineering, Pamukkale University, opolat@pau.edu.tr

⁴ Dept. of Mechanical Engineering, Pamukkale University, hkozturk@pau.edu.tr

Abstract

The evaluation of maintenance strategies for wind turbines (WTs) and the selection of the most appropriate strategy is a crucial issue in terms of reducing unplanned downtimes of WTs, maintaining the performance of WTs during their lifetime, long-term using of components of WTs, and accordingly, saving the costs and improving the reliability. In this study, a hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) framework is presented to systematically evaluate alternative maintenance strategies of WTs. Within the framework, alternative strategies used for the maintenance of WTs and the criteria used in the evaluation of these strategies are identified considering the literature and opinions of several experts working in both academia and industry. Furthermore, the MCDM framework combines two well-accepted methods in the literature: Analytic Hierarchy Process (AHP) method is initially used for weighting the aforementioned criteria and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method is then used for ranking the aforementioned alternatives. The framework is applied to a case study of a wind farm consisting of several WTs in Turkey. The necessary data (i.e. pairwise comparisons for AHP and decision matrix for TOPSIS) are obtained through the experts. The obtained results are presented and discussed along with the case study. As a result, this study helps to understand the maintenance strategy selection problem for WTs and shows how the framework can be used to evaluate the alternative maintenance strategies.

Keywords: *Wind turbine, Maintenance strategy selection, Multi-criteria decision-making*

1. Introduction

The maintenance strategy selection problem (MSSP) is one of the most important problems in today's competitive production environment. Determining a proper maintenance strategy for any production system can reduce



unplanned downtimes which cause operational problems, help efficiently long-term use of components, and thus can reduce operating costs (Bertolini and Bevilacqua, 2006). There are many types of the strategy used in the maintenance planning and each maintenance strategy has its advantages and disadvantages. For example, predictive maintenance has relatively higher investment cost as compared to other maintenance strategies while it provides relatively higher reliability (Hansford Sensors, 2019). Hence, MSSP is a multi-criteria decision-making (MCDM) problem that simultaneously considers several multiple and conflicting criteria (Animah and Shafiee, 2019).

In the literature, many criteria, alternatives and MCDM methods for identifying the proper maintenance strategy have been investigated so far (Bevilacqua and Braglia, 2000; Bertolini and Bevilacqua, 2006; Wang et al., 2007; Shyjith et al., 2008; Ilangkumaran and Kumanan, 2009; Kirubakaran and Ilangkumaran, 2016; Özcan et al., 2017; Borjalilu and Ghambari, 2018; Animah and Shafiee, 2019). Please refer to recent comprehensive review studies (de Almeida et al., 2015; Shafiee, 2015; Chong et al., 2019) for detailed information on this issue. MSSP has been investigated in many areas, but few studies have focused on MSSP using MCDM methods in the field of renewable energy. In this study, a hybrid MCDM framework that combines Analytic Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods is presented to evaluate alternative maintenance strategies for a wind farm consisting of several wind turbines (WTs) in Turkey. This study contributes to the literature by researching MSSP of a wind farm combining two MCDM methods. The finding of this study may provide important contributions to the literature and help the managers and engineers for understanding MSSP of WTs and thus making better decisions.

The rest of the study is organized as follows. In Section 2, AHP and TOPSIS methods are briefly explained. Section 3 introduces the proposed MCDM framework. Section 4 presents a case study. Finally, the conclusions are discussed in Section 5.

2. Mcdm Methods Used

2.1. AHP method

AHP is one of the frequently used MCDM methods in the literature and has been extensively studied in many areas because it is easy to understand and implement. Please refer to recent literature reviews (Ishizaka and Labib, 2011; Emrouznejad and Marra, 2017) for details of AHP and its applications in many sectors. AHP has been developed by Thomas L. Saaty during the 1970s for solving complex problems involving multiple and conflicting criteria. AHP analyzes the problems in a hierarchical structure which involves three elements: the objectives, (sub)criteria and alternatives.

The steps of AHP are summarized as follows (Saaty, 2012; Capraz et al., 2015):

- Step 1.* The problem is modeled in a hierarchical structure considering the goal, criteria, and alternatives.
- Step 2.* Pairwise comparisons including judgments at each level are generated based on the scale in Table 1.
- Step 3.* Weights of the criteria and alternatives at each level are determined.
- Step 4.* The consistency ratio (CR) of the pairwise comparisons is checked ($CR < 0.1$).
- Step 5.* A hierarchical analysis is performed.
- Step 6.* Final decisions are obtained.

Table 1. Saaty's 1-9 scale for pairwise comparisons (Saaty, 2012)

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance of one over another
5	Essential or strong importance
7	Very strong importance
9	Extreme importance
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments
Reciprocal	If activity i has one of the above numbers assigned to it when compared with activity j , then j has the reciprocal value when compared with i

2.2. TOPSIS method

TOPSIS method has been first introduced by Hwang and Yoon (1981) and is one of the well-known MCDM methods. Today, it has been successfully applied in several areas in the literature (Jayant and Sharma, 2018; Yadav et al., 2018). It is based on finding an alternative that has the shortest distance from the positive ideal solution (PIS) and the farthest distance from the negative ideal solution (NIS).

The steps of TOPSIS method are summarized as follows (Chen and Tzeng, 2004; Capraz et al., 2015):

- Step 1.* Evaluation criteria are identified.
- Step 2.* Each alternative concerning each criterion is evaluated.
- Step 3.* A decision matrix is created.
- Step 4.* The decision matrix is normalized.
- Step 5.* The weighted normalized decision matrix is computed.
- Step 6.* PIS and NIS are determined.
- Step 7.* Distance (S_i^* and S_i^-) of each alternative from PIS and NIS are computed.
- Step 8.* The closeness coefficient (CC_i) of each alternative is computed.
- Step 9.* Alternatives are ranked according to CC_i .

3. Proposed MCDM framework

In this section, the proposed MCDM framework consisting of three steps is briefly described. In the first phase, considering the criteria and alternatives collected from the literature, a hierarchical structure for the MSSP of WTs is created with the help of the experts who have diverse backgrounds. Also, the decision problem and AHP and TOPSIS methods are explained to the experts in this phase because they correctly fulfill the pairwise comparisons of AHP and the evaluation matrix of TOPSIS. Then, AHP and TOPSIS methods are applied in the second and third phases, respectively. For weighting the criteria and sub-criteria we use the AHP method and TOPSIS method are used for ranking the alternatives. Finally, the obtained results are presented and discussed.

4. The case study

The framework was applied to the MSSP of a wind farm consisting of several WTs in Turkey. A maintenance manager from an energy company in Turkey (expert 1) and an academician from an university in Turkey (expert 2) were considered as experts in this domain. With the literature review and the experts' opinion, the following criteria and sub-criteria were determined that affect the MSSP of WTs.

Goal. Maintenance strategy selection

Criteria 1. (C1) Economic

- Sub-criteria 1.1. (C1.1.)* Investment cost
- Sub-criteria 1.2. (C1.2.)* Personnel safety
- Sub-criteria 1.3. (C1.3.)* Training cost
- Sub-criteria 1.4. (C1.4.)* Spare part cost
- Sub-criteria 1.5. (C1.5.)* Production loss cost

Criteria 2. (C2) Technical

- Sub-criteria 2.1. (C2.1.)* Ease of implementation and flexibility
- Sub-criteria 2.2. (C2.2.)* Reliability
- Sub-criteria 2.3. (C2.3.)* Sustainability
- Sub-criteria 2.4. (C2.4.)* Compliance with existing maintenance strategies
- Sub-criteria 2.5. (C2.5.)* Ease of access to qualified personnel

Criteria 3. (C3) Administrative

- Sub-criteria 3.1. (C3.1.)* Acceptance level by top management
- Sub-criteria 3.2. (C3.2.)* Acceptance level by personnel

*Criteria 4. (C4) Safety**Sub-criteria 4.1. (C4.1.) Personnel safety**Sub-criteria 4.2. (C4.2.) Wind turbine safety*

It is noteworthy that economic and safety criteria and their sub-criteria are the minimization criteria. On the contrary, technical and administrative criteria and their sub-criteria are the maximization criteria. Also, corrective maintenance, predictive maintenance, and preventive maintenance were determined as the possible alternatives. Please see (Barberá et al., 2013; Merizalde et al., 2019) for the maintenance strategies applied to WTs.

Pairwise comparisons were generated between criteria and sub-criteria by both experts. Accordingly, the AHP method was individually applied using the Super Decisions Software for the expert 1 and 2. The weights and ranking of criteria and sub-criteria and the associated CR values were presented in Table 2 and 3 for the expert 1 and 2, respectively.

Table 2. The weights of criteria and sub-criteria and CR obtained from AHP calculations of expert 1

Criteria	Weights	Ranking	CR	Sub-criteria	Weights	Ranking	CR
C1	0.55364	1	0.06462	C1.1	0.14342	2	0.04473
				C1.2	0.03789	4	
				C1.3	0.02487	5	
				C1.4	0.11057	3	
				C1.5	0.23690	1	
C2	0.28895	2		C2.1	0.03483	3	0.13206
				C2.2	0.02996	4	
				C2.3	0.08590	2	
				C2.4	0.00930	6	
				C2.5	0.01550	5	
				C2.6	0.11346	1	
C3	0.05126	4		C3.1	0.03845	1	0.00000
				C3.2	0.01282	2	
C4	0.10615	3		C4.1	0.09553	1	0.00000
				C4.2	0.01061	2	

It should be noted that the CR of pairwise comparisons of the main criteria, and sub-criteria of the technical criteria for expert 1 were initially determined 0.11073 and 0.41443, respectively. Because these values are above 0.1, the corresponding pairwise comparisons were revised by the expert. As can be seen from Table 2, Although CR for the main criteria decreased below the acceptable limit (0.1), the CR for the sub-criteria of the technical criteria were found as 0.13206. According to the expert, these pairwise comparisons are his final decisions. The CR (0.13206) is slightly above the acceptable limit, and so the corresponding pairwise comparison was accepted as is. The CR for remaining pairwise comparisons were found below 0.1.

Table 3. The weights of criteria and sub-criteria and CR obtained from AHP calculations of expert 2

Criteria	Weights	Ranking	CR	Sub-criteria	Weights	Ranking	CR
<i>C1</i>	0.15920	3	0.03626	<i>C1.1</i>	0.02886	2	0.07883
				<i>C1.2</i>	0.01537	3	
				<i>C1.3</i>	0.00632	5	
				<i>C1.4</i>	0.00798	4	
				<i>C1.5</i>	0.10068	1	
<i>C2</i>	0.09762	4		<i>C2.1</i>	0.00721	5	0.06454
				<i>C2.2</i>	0.02818	1	
				<i>C2.3</i>	0.02531	2	
				<i>C2.4</i>	0.00437	6	
				<i>C2.5</i>	0.01138	4	
				<i>C2.6</i>	0.02117	3	
<i>C3</i>	0.30039	2		<i>C3.1</i>	0.24031	1	0.00000
				<i>C3.2</i>	0.06008	2	
<i>C4</i>	0.44279	1		<i>C4.1</i>	0.39851	1	0.00000
				<i>C4.2</i>	0.04428	2	

Experts may have very different views based on their backgrounds while comparing criteria and sub-criteria. In these cases, the AHP method may generate different results because they change according to experts' knowledge. The most important and least important criterion for the main criteria and sub-criteria are given in the following.

- For main criteria,

Economic criteria (*C1*) is the most important criteria and administrative criteria (*C3*) is the least important criteria based on expert 1's judgments.

Safety criteria (*C4*) is the most important criteria and technical criteria (*C2*) is the least important criteria based on expert 2's judgments.

- For economic criteria (*C1*),

Production loss cost (*C1.5*) is the most important criterion and training cost (*C1.3*) is the least important criterion based on both expert 1's and 2's judgments.

- For technical criteria (*C2*),

Ease of fault detection (*C2.6*) is the most important criterion and compliance with existing maintenance strategies (*C2.4*) is the least important criterion based on expert 1's judgments.

Reliability (*C2.2*) is the most important criterion and compliance with existing maintenance strategies (*C2.4*) is the least important criterion based on expert 2's judgments.

- For administrative criteria (*C3*),

Acceptance level by top management (*C3.1*) is the most important criterion and acceptance level by personnel (*C3.2*) is the least important criterion based on expert 1's and 2's judgments.

- For safety criteria (*C4*),

Personnel safety (*C4.1*) is the most important criterion and wind turbine safety (*C4.2*) is the least important criterion based on expert 1's and 2's judgments.

Next, both experts were individually asked to evaluate the alternative maintenance strategies concerning each criterion. These evaluations were generated based on a 1-100 scale in which 1 point stands for the worst performance while 100 point stands for the best performance. The criteria weights of expert 1 and 2 were used as input to the TOPSIS method as well as the evaluation scores of expert 1 and 2, respectively. TOPSIS calculations were made using MS Excel, and as a result of the TOPSIS method, S_i^* , S_i^- , CC_i , normalized CC_i of each alternative and their ranking were given in Table 4 for the expert 1 and Table 5 for the expert 2.

**Table 4.** The ranking of alternatives obtained from TOPSIS calculations of expert 1

Alternatives	S_i^*	S_i^-	CC_i	Normalized CC_i	Ranking
<i>A1</i>	0.01438	0.05106	0.78030	0.53310	1
<i>A2</i>	0.03834	0.02627	0.40658	0.27778	2
<i>A3</i>	0.05240	0.02006	0.27682	0.18912	3

Table 5. The ranking of alternatives obtained from TOPSIS calculations of expert 2

Alternatives	S_i^*	S_i^-	CC_i	Normalized CC_i	Ranking
<i>A1</i>	0.21365	0.01560	0.06803	0.04648	3
<i>A2</i>	0.11274	0.18816	0.62533	0.42722	2
<i>A3</i>	0.02719	0.20272	0.88175	0.60241	1

According to the normalized CC_i values given in Table 4 and 5,

- The best maintenance strategy was found to be corrective maintenance (*A1*) and predictive maintenance (*A2*) was determined as the second most suitable strategy when expert 1's evaluations were used.
- The best maintenance strategy was found to be preventive maintenance (*A3*) and predictive maintenance (*A2*) was determined as the second most suitable strategy when expert 2's evaluations were used.

The results show that criteria weights and alternatives' ranking of the expert 1 are different from those of expert 2. Hence, the results may change when the experts change. Expert selection in the application of the proposed framework is very important for yielding more realistic and foresighted decisions and increasing the reliability of the decisions. People, who have the necessary experience and the ability to understand the decision problem and methods, should be chosen as the expert(s).

5. Conclusions

The selection of a proper maintenance strategy among available alternatives for any production system is a critical issue. In this study, a hybrid MCDM framework was presented to evaluate alternative maintenance strategies, and thus it was aimed at coming up with better decisions. Two MCDM methods (i.e. AHP and TOPSIS) were combined in the proposed framework. The application of the framework was carried out for the MSSP problem of WTs. This study reveals the important criteria for the evaluation of maintenance strategies used in WTs and compares them. It should be pointed out that the findings are valid for the case handled in this study. This study will be further extended by considering the experience of more experts from various sectors.

6. Acknowledgments

We would like to thank the experts who contributed to this study.

7. References

- Animah, I., Shafiee, M. 2019. "Maintenance strategy selection for critical shipboard machinery systems using a hybrid AHP-PROMETHEE and cost benefit analysis: a case study", Journal of Marine Engineering & Technology, Article in press.
- Barberá, L., Guerrero, A., Crespo, A., González-Prida, V., Guillén, A., Gómez, J., Sola, A. 2013. "State of the Art of Maintenance Applied to Wind Turbines", Chemical Engineering Transactions, vol. 33, p. 931-936.
- Bertolini, M., Bevilacqua, M. 2006. "A combined goal programming-AHP approach to maintenance selection problem", Reliability Engineering and System Safety, vol. 91, p. 839-848.

- Bevilacqua, M., Braglia, M. 2000. “The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection”, *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 70, p 71-83.
- Borjalilu, N., Ghambari, M. 2018. “Optimal maintenance strategy selection based on a fuzzy analytical network process: A case study on a 5-MW powerhouse”, *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 10, p. 1-10.
- Capraz, O., Meran, C., Wörner, W., Gungor, A. 2015. “Using AHP and TOPSIS to evaluate welding processes for manufacturing plain carbon stainless steel storage tank”, *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 76, no. 2, p. 157-162.
- Chen, M.F., Tzeng, G.H. 2004. Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country, *Mathematical and Computer Modeling* vol. 40, p. 1473-1490.
- Chong, A. K. W., Mohammed, A. H., Abdullah M. N., Rahman, M. S. A. 2019. “Maintenance prioritization - a review on factors and methods”, *Journal of Facilities Management*, vol. 17, no. 1, p. 18-39.
- de Almeida, A. T., Ferreira, R. J. P., Cavalcante, C. A. V. 2015. “A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability”, *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 26, p. 249-271.
- Emrouznejad, A., Marra, M. 2017. “The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis”, *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 22, p. 1-23.
- Hansford Sensors. 2019. “The pros and cons of different maintenance strategies”, <https://www.hansfordsensors.com/the-pros-and-cons-of-different-maintenance-strategies/>, 15.07.2019.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey*, ISBN: 978-3540105589, Springer-Verlag, Berlin.
- Ilangkumaran, M., Kumanan, S. 2009. “Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 20, no. 7, p. 1009-1022.
- Ishizaka, A., Labib, A. 2011. “Review of the main developments in the analytic hierarchy process”, *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 11, p. 14336-14345.
- Jayant, A., Sharma, J. 2018. “Comprehensive literature review of MCDM techniques ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR and TOPSIS applications in business competitive environment”, *International Journal of Current Research*, vol. 10, no. 2, p. 65461-65477.
- Kirubakaran, B., Ilangkumaran, M. 2016. “Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA-TOPSIS”, *Annals of Operations Research*, vol. 245, no. 1-2, p. 285-313.
- Merizalde, Y., Hernández-Callejo, L., Duque-Perez, O., Alonso-Gómez, V. 2019. “Maintenance Models Applied to Wind Turbines. A Comprehensive Overview”, *Energies*, vol. 12, p. 225.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., Eren, T. 2017. “A combined goal programming - AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, p. 1410-1423.
- Saaty, T. L. 2012. *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*, ISBN: 978-0962031786, 3rd revised edition, RWS publications, USA.
- Shafiee, M. 2015. “Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 21, no. 4, p. 378-402.
- Shyjith, K., Ilangkumaran, M., Kumanan, S. 2008. “Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 14, no. 4, p. 375-386.
- Wang, L., Chu, J., Wu, J. 2007. “Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process”, *International Journal of Production Economics*, vol. 107, p. 151-163.
- Yadav, S. K., Joseph, D., Jigeesh, N. 2018. “A review on industrial applications of TOPSIS approach”, *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 30, no. 1, p. 23-28.



FANDA MEYDANA GELEN DOĞAL FREKANSIN TESPİTİ VE DOĞAL FREKANS BÖLGESİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ

¹Özgün Yakar, ¹Yusuf İhtiyaroğlu, ¹Onur Yürek, ¹Barış Efendi, ²Hakan Türkmen

¹Prüftechink Proaktif Bakım Teknolojileri, İstanbul, Türkiye. turkiye@pruftechnik.com

²Sapro Temizlik Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. hakan.turkmen@sapro.com.tr

Özet

Fanlar, havayı basınçlandırarak bir noktadan başka bir noktaya hareketlendirmek için kullanılan makinelerdir. Bu çalışmada motora akuple bir fanda meydana gelen rezonans durumunun teşhisi, yapısal değişikliklerin doğal frekans bölgelerine etkisi ve doğal frekans bölgelerinin değiştirilmesi için kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Motor yataklarından alınan ölçümlerde radyal ve eksenel yönlerde, shaft dönüş hızında yüksek titreşim seviyeleri görülmüştür. Doğal frekans bölgelerinin teşhisi amacıyla yapılan hızlanma yavaşlama testleri shaft dönüş hızı ile doğal frekansların çakıştığını ve fanın rezonans altında çalıştığını göstermiştir. Makinenin doğal frekans altındaki titreşim karakterini ve titreşim biçimlerini elde etmek amacıyla ODS çalışması yapılmıştır. ODS sonuçları ekipmanın hangi bölgelerine müdahale edilmesi gerektiğini de ortaya koymaktadır. Alınan sonuçlar ve görsel kontroller sonucunda, motorun sağ ve sol tarafına yere 45° olacak şekilde eksenel yönü güçlendirecek destekler ve yere 90° olacak şekilde dikey yönü güçlendirecek destekler eklenmiştir. Doğal frekans bölgesinin değişimi ve çalışma aralığından çıkmasıyla titreşim seviyelerinde dramatik düşüş görülmüştür.

1. Giriş

Fanlar, endüstride sıklıkla kullanılan makinelerdir, dolayısıyla piyasada endüstriyel titreşim ölçüm çalışmaları kapsamında çok sayıda fan ölçümü gerçekleştirilmektedir. Her makinede olduğu gibi, fanların da kendine has titreşim karakteristikleri bulunmaktadır. Fan motorunun ve fan yataklarının, bir şasi üzerine yerleştirilmesi nedeniyle, genel olarak fanlarda rezonans problemi ile karşılaşmaktadır. Özellikle düşük şasi direngenliği ve yüksek makine kütlesi nedeniyle rezonansa neden olan doğal frekans bölgeleri, düşük frekans bölgesinde oluşmakta ve makinenin oluşturduğu zorlanmış titreşimler ile çakışmaktadır [1]. Fan yapısında bu şekilde oluşan rezonans problemi, özellikle dönüş frekansının (1X) doğal frekans bölgesi ile çakışması sonucunda oldukça yüksek genlik seviyelerinin meydana gelmesine neden olmaktadır.

Endüstriyel titreşim ölçüm ve analiz servisi kapsamında, yerinde balans çalışması için gidilen bir fabrikada karşılaşılan durum da yukarıda belirtilen problemin belirtilerini göstermiş, problemin çözümü hakkında özel titreşim ölçüm metotları uygulanmış ve problemin çözümü amacıyla gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2. Problemin Tespiti

2.1 Teşhis Ölçümleri

Yüksek titreşim seviyeleri nedeniyle, müşteriden gelen talep üzerine sahada bir grup fanın teşhis ölçümleri alınmıştır. Teşhis ölçümleri kapsamında ayrıntılı hız, ivme ve zarf spektrumları, bunun yanında anlık oluşan darbelerin tespit edilebilmesi için de yüksek frekanslı ivme zaman dalga formu ölçümü toplanmaktadır. Ölçümlerin yapılması ile ilgili detaylı bilgi Tablo 2.1’de paylaşılmıştır.

Ölçümler Şekil 2.1’de görülen Laroche marka motor akuple proses fanlarından alınmıştır. Ölçüm noktaları, motor arka yataktan yatay ve dikey (1H & 1V) ve ön yataktan her üç yönde (2H, 2V, 2A) toplanmıştır (Şekil 2.2’de ölçüm noktaları net bir şekilde gösterilmiştir). Ölçümler esnasında özellikle bir adet fanda yüksek genlikli 1X titreşimi olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm sonrasında incelenen grafiklerde, 1X titreşiminin her üç yönde de baskın olduğu, 1X dışındaki titreşim genliklerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Ölçümlere ait hız spektrumu grafikleri Grafik 2.1’de paylaşılmıştır.

Tablo 2.1: Ölçüm konfigürasyonu

	Hız Spektrumu	İvme Spektrumu	Zarf Spektrumu
Fmax (Hz)	800	12800	800
LINE	6400	102400	6400
dF (Hz)	0.125	0.125	0.125
Süre (s)	8	8	8
HP Filtre (Hz)	X	X	500
LP Filtre (Hz)	X	X	20000

	İvme TWF
Fs (Hz)	131072
Ts (ms)	2500
Fmin (Hz)	1
Fmax (Hz)	40000

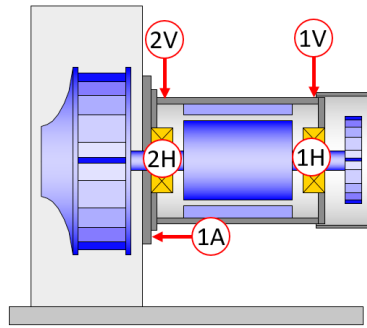
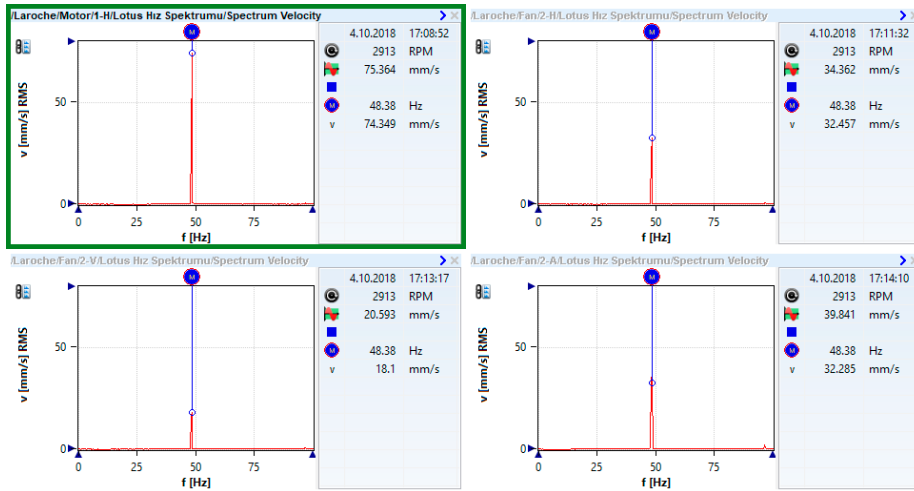


Şekil 2.1: Ölçümü yapılan fan

1X frekansındaki yüksek genlikli titreşim, literatürde balanssızlık (rotor dengesizliği) arızasının belirtisi olarak

geçmektedir. Fakat benzer belirtileri oluşturan diğer arıza tipleri nedeniyle (şaft hizasızlığı, çarpık takılmış rulman, eğik şaft, eksantriklik, eksenel kaçıklık, doğal frekans...) Prüfteknik teknik ekibi teşhis ölçümlerinde rutin olarak diğer analiz metotlarını da kullanmaktadır. Bu metotlar içinde doğal frekans bölgelerinin teşhisi amacıyla kullanılan hızlanma-yavaşlama testi, darbe testi, modal test, ODS ölçümleri yapılmaktadır. Bunun dışında geometrik problemlerin tespiti amacıyla komparatörler ile eksenel ve radyal kaçıklık ölçümleri, lazerli şaft hizalama cihazı ile hizasızlık ölçümleri uygulanmaktadır. Titreşim ölçümlerine destek olması açısından termal kamera (termografik ölçümler), ultrasonik muayene ölçümleri gibi diğer durum izleme teknolojileri de uygulanmaktadır. Bu problemin özelinde, 1X titreşiminin neden yüksek olduğunu daha iyi anlayabilmek için yatay-dikey ölçüm noktaları arasında faz ölçümü yapılmıştır. Faz ölçümü yardımıyla problemin balanssızlıktan mı yoksa başka bir problemenden mi kaynaklandığı anlaşılabilir. Yatay-dikey yönleri arasındaki faz farkı $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ bandında çıkarsa, problemin balanssızlıktan kaynaklandığı düşünülebilir. Alınan ölçümlerde faz açısının yaklaşık olarak 80 derece ölçülmüştür. Bu değer ekipmanda balanssızlık durumunun varlığını göstermektedir.

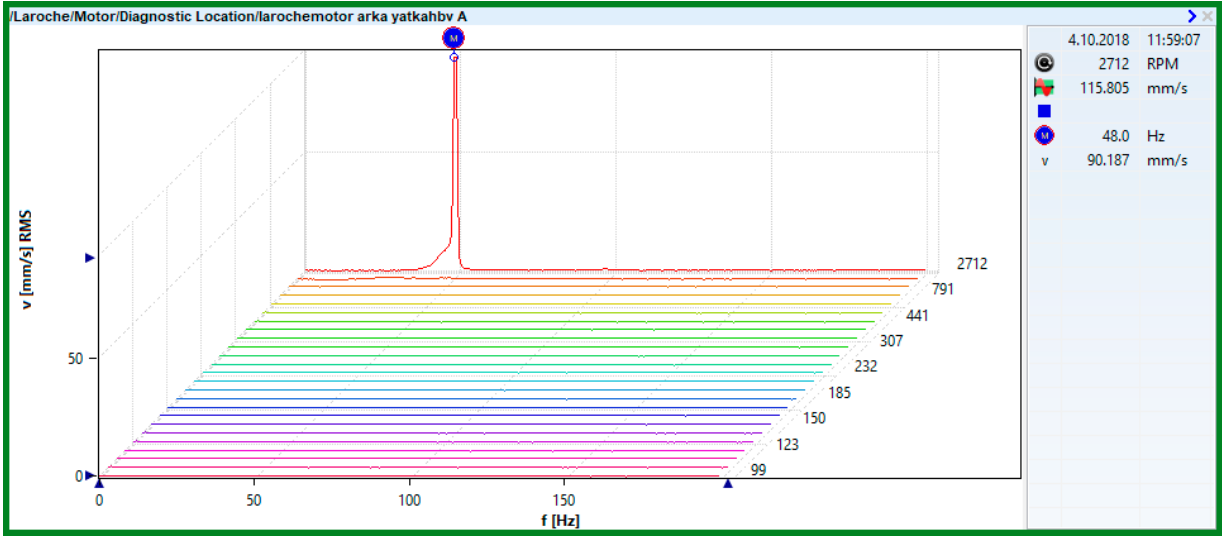
Grafik 2.1: Hız spektrumları



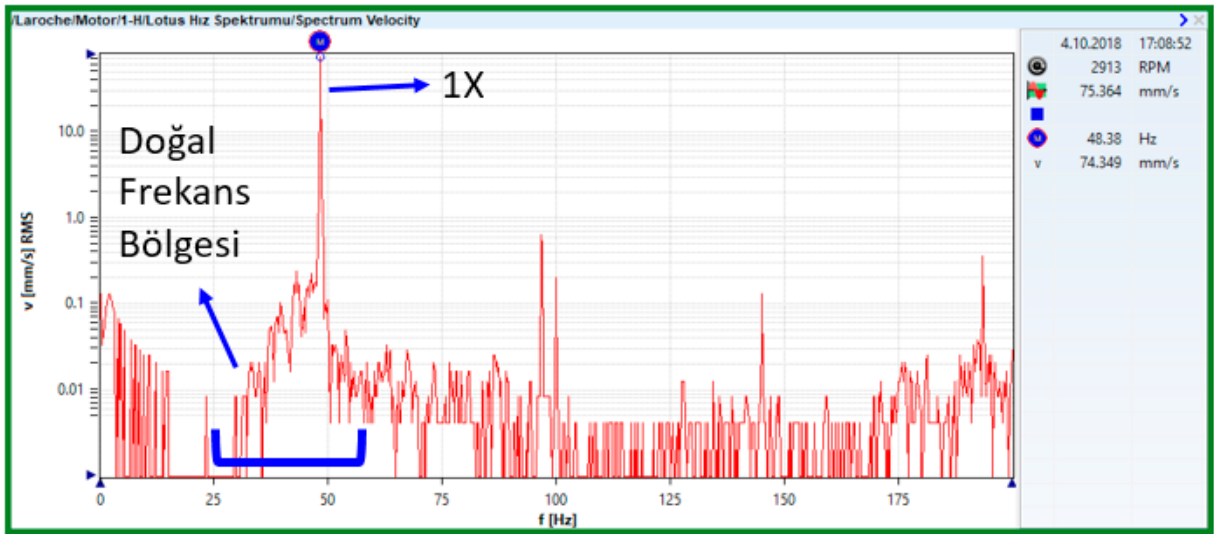
Şekil 2.2: Ölçüm noktaları

Yapılan teşhisten tam olarak emin olunabilmesi için, doğal frekans bölgelerinin tespiti amacıyla kullanılan hızlanma-yavaşlama testi gerçekleştirilmiştir. Bu testin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, ekipmanın yavaşlama ya da hızlanma hızının yavaş olması gerekmektedir. Ölçümü yapılan fanın devir ayar özelliği bulunmadığı ve aynı zamanda yavaşlama esnasında hava akışı nedeniyle çok hızlı bir şekilde durduğu için hızlanma-yavaşlama testi çok sağlıklı bir şekilde yapılamamıştır. Oluşturulan hızlanma-yavaşlama grafiği Grafik 2.2'de görüldüğü gibidir. Grafik incelendiğinde, 1X titreşim seviyesinin, fan tam devre gelmeden önce oldukça düşük olduğu, fan tam devre geldiğinde ise çok hızlı bir şekilde artış gösterip 90 mm/s RMS civarına yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu durum teşhis aşamasında şüpheye düşülmesine neden olmuş, alınan hız spektrumları daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıntılı inceleme aşamasında spektrum y-ekseni (genlik) dB ölçeğine getirildiğinde, makine dönüş frekansı etrafında etkili bir doğal frekans bölgesinin varlığı tespit edilmiştir. Doğal frekans bölgesinin net bir şekilde görüldüğü spektrum grafiği Grafik 2.3'te paylaşılmıştır.

Grafik 2.2: Hızlanma-yavaşlama waterfall grafiği



Grafik 2.3: dB ölçeğinde incelenen hız spektrumu



Fan yapısında olduğu düşünülen doğal frekans durumu ile birlikte, doğal frekansı tahrik edip fan gövdesinin rezonansa girmesine neden olan tahrik mekanizmasının da balanssızlık problemi olduğu düşünülmektedir. Balanssızlık problemini giderebilmek için iki yöntem bulunmaktadır; ilki fan rotorunun sökölüp, balans tezgahında balans çalışması yapılması, ikincisi de rotor kendi yatakları üzerindeyken (rotorun sökölmesine gerek yoktur) yerinde balans çalışmasının yapılmasıdır. İlk yöntem maliyetli ve zaman alıcı olduğu için tercih edilmemiştir. Fakat ikinci yöntem de rezonans problemi nedeniyle uygulanamamaktadır. Bu nedenle ilk önce rezonans probleminin giderilmesi, sonrasında da yerinde balans çalışması yapılmasına karar verilmiştir.

2.2 Doğal Frekans ve ODS testi

Rezonans olayı, sistemin mekanik doğal frekanslarıyla, yapıya uygulanan tahrik frekanslarının çakışması sonucu oluşur. Yani hali hazırda mekanik yapının direngenlik, kütle gibi özellikleri nedeniyle var olan doğal frekanslar, makinenin çalışması sonucunda oluşan periyodik kuvvetler nedeniyle tahrik edilir ve sonuç olarak istenmeyen yüksek titreşim seviyelerine ulaşılır. Rezonans kavramının net bir şekilde anlaşılabilmesi için ilk önce 'doğal frekans' kavramından bahsedilmelidir

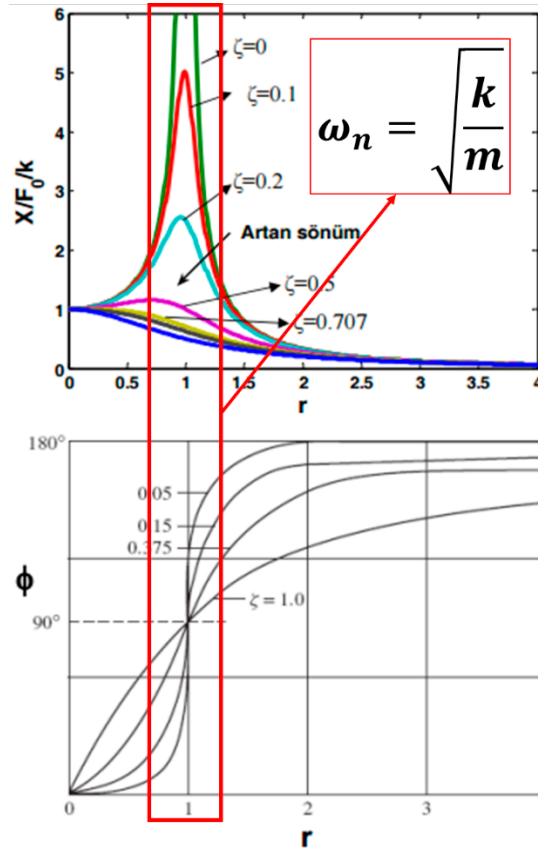
Yapıya bir impuls (darbe) etkisi olduğunda, yapı bu yapısal parametreler (kütle ve dirençlilik) tarafından belirlenen bir ‘doğal frekans’ta serbest titreşim yapar. Eğer yapının bu mekanik özelliklerine hakim olunursa, yapının titreşim karakteristiği kolayca değiştirilebilir.

Doğal frekans olayı, yukarıda da bahsedildiği gibi yapının mekanik özelliklerine bağlıdır. Daha açık bir şekilde söylemek gerekirse, yapının kütlelerine, dirençliliğine bağlıdır. Rezonans bölgesinde sistemin oluşturduğu titreşim genlikleri ise mekanik sistemin diğer bir özelliği olan sönümüne bağlıdır [2]. Rezonansın oluştuğu frekansın hesaplanması için temel analitik ifade (1) numaralı formül olarak aşağıda paylaşılmıştır. Zorlanmış titreşimin, doğal frekansa oranı olan “r” parametresinin değişimine bağlı olarak, sistemin oluşturduğu genlik seviyelerini gösteren grafik de Grafik 2.4’te görülmektedir.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

(1)

Grafik 2.4: Doğal frekans



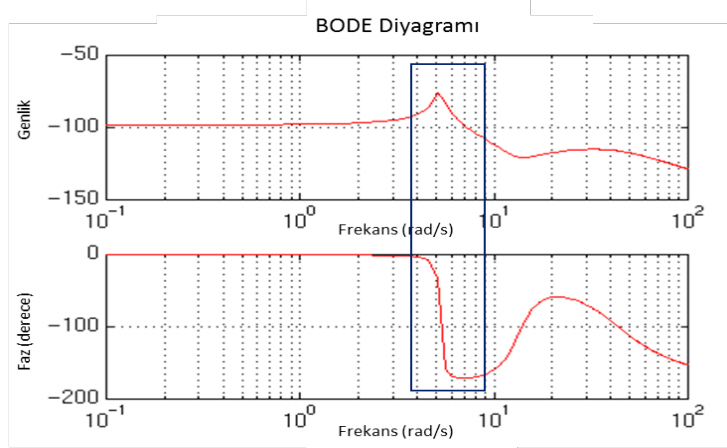
Doğal frekans bölgelerinin tespiti amacıyla kullanılan bazı ölçüm metotları bulunmaktadır. Bunlardan ilki hızlanma-yavaşlama testi, bu makaleye konu olan fanda da kullanılmıştır. Hızlanma / yavaşlama testi, endüstriyel uygulamalarda pek çok ekipmana uygulanabilir ve modal test yöntemine göre daha basittir. Yavaşlama testi ele alınacak olursa, ekipman çalıştığı en yüksek devirde çalıştırılır. Bir ivmeölçer ve bir takometre yardımıyla her RPM’e (frekansa) karşılık gelen titreşim genliği ve faz değeri ölçülür. Sonuçlar kullanılarak Grafik 2.5’te görüldüğü gibi Bode diyagramı elde edilir. Bode diyagramı bir sinyalin genlik ve fazının eşit ölçekli grafikler ile bir arada gösterimidir. Doğal frekans bölgesinin tayini için iki şart aranır. Titreşim genliklerinin tepe yaptığı noktada, faz yaklaşık 180° yön değiştirmelidir.

Doğal frekansın, çalışma bölgesine olan etkisini yok edebilmek için, makine yapısının mekanik özelliklerinde (kütle, direngenlik ve sönüm) değişiklik yapılması gerekmektedir [3]. Bir mekanik sistemin kütesinin azaltılması ve/veya direngenliğinin artırılması, (1) ifadesi uyarınca Şekil 2.3-a'da görüldüğü gibi doğal frekansın artmasına, kütesinin artırılması ve/veya direngenliğinin azaltılması ise Şekil 2.3-b'de görüldüğü gibi doğal frekansın azalmasına neden olmaktadır. İncelediğimiz fan örneği için, doğal frekans bölgesinin 1X bölgesinden çıkması, mümkünse bir miktar artırılması gerektiği açıktır. Bu durumda fan yapısının kütesinin azaltılması (dayanım kriterleri nedeniyle pratikte önerilmemektedir), veya direngenliğinin artırılması gerekmektedir. Direngenlik artırma çalışması, kütle azaltılmasına göre daha kolay olduğu için, yapının güçlendirilmesi yolunda ilerlenmiştir. Yapının hangi bölgelerden güçlendirileceği (destekleneceği) ise ODS testi sonucunda elde edilmiştir.

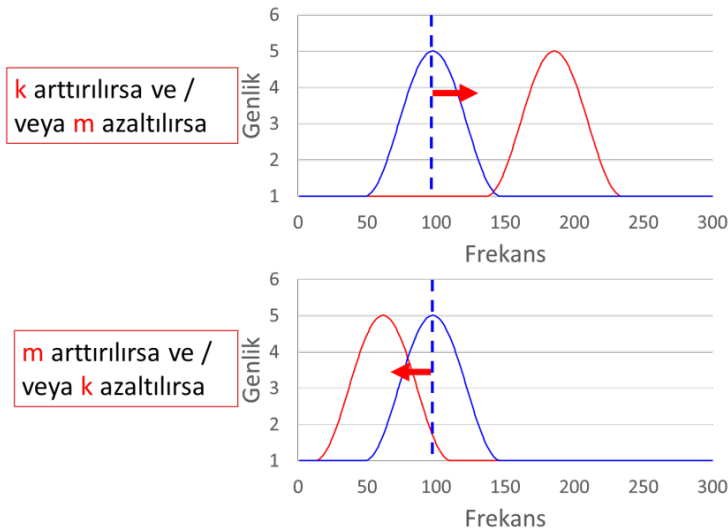
Bu ölçüm yöntemlerinin yanında, rezonans durumu nedeniyle titreşim genliklerinin artmış olduğundan emin olunan bir titreşim frekansında, yapının nasıl bir şekilde titreştiği görsel hale getirilebilir. Titreşim şeklini ortaya koyan yöntem ODS testi (Operational Deflection Shape) denilmektedir [4]. Bu yöntemde faz referansı olarak diğer yöntemlerin aksine tacho sensörü (devir sensörü) değil, bir başka ivmeölçer kullanılmaktadır. Metot uygulanırken referans ivmeölçer, titreşimin yüksek olarak olduğu bir bölgeye yerleştirilir. Ölçümü yapan ivmeölçer, yapının önceden belirlenmiş bölgelerine yerleştirilerek buradan titreşim ölçümü toplanması sağlanır. Referans ivmeölçerin görevi, ölçüm yapan diğer ivmeölçer ile arasındaki faz farkını tespit etmektir.

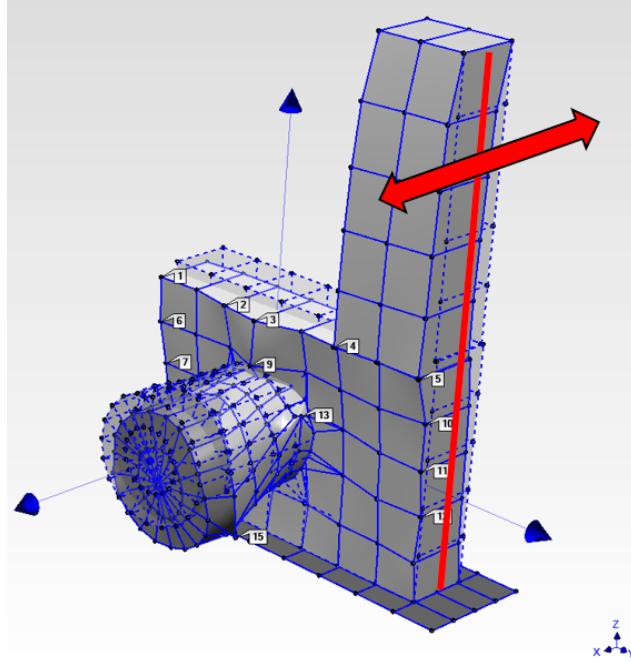
Makaleye konu olan fanda, hızlanma-yavaşlama testi ve alınan ölçümlerin ayrıntılı incelemesi yardımıyla doğal frekans olduğu tespit edilmiştir, bu doğal frekansın da titreşim şeklinin (mod şekli) Şekil 2.4'teki gibi olduğu tespit edilmiştir.

Grafik 2.5 Bode Diyagramı



Şekil 2.3: Kütle azaltılması ve/veya direngenliği artırılması ile doğal frekansın artması (a), Kütle artırılması ve/veya direngenliği azaltılması ile doğal frekansın azalması (b)



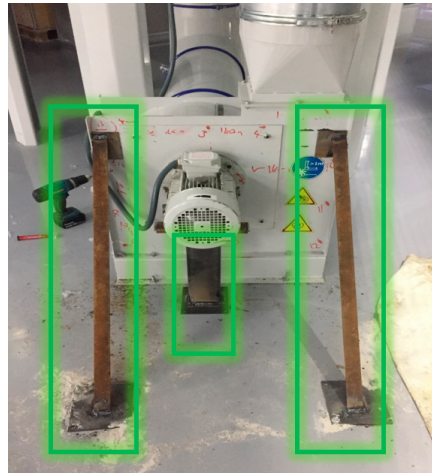


Şekil 2.4: ODS ile oluşturulan mod şekli

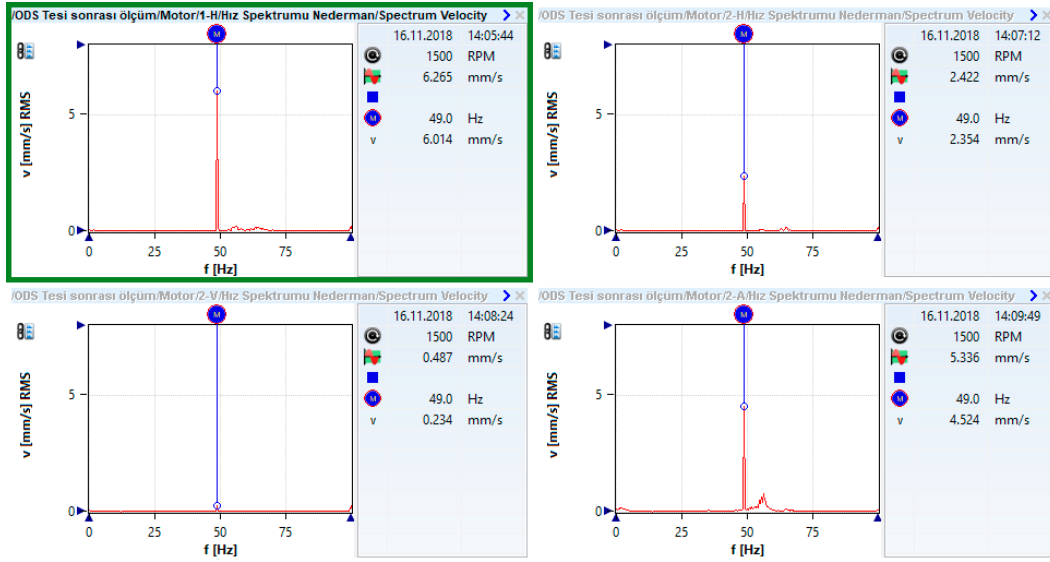
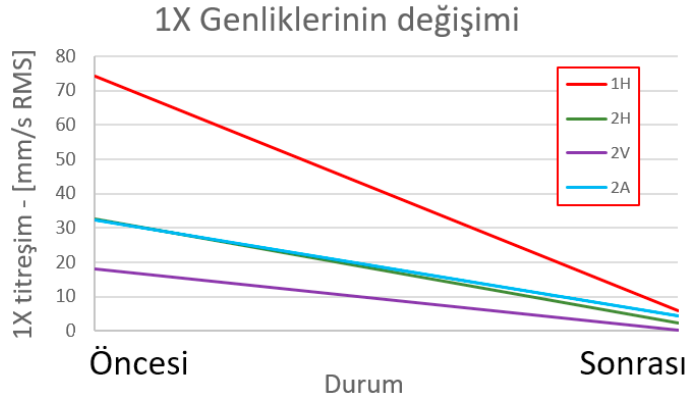
3. Problemin Giderilmesi

Bir önceki bölümde belirtilen rezonans probleminin giderilebilmesi için, 1X titreşiminin etkisini arttıran doğal frekansın giderilmesi gerektiğinden bahsedilmişti. Doğal frekansın mod şeklinin, ODS analizi yardımıyla tespiti ile fan yapısına Şekil 3.1’de görülen şasi ve motor destek elemanlarının atılmasına karar verilmiştir. Destek elemanlarının görevi, önceki bölümde de bahsedildiği gibi mekanik yapının direngenliğinin artırılması, dolayısıyla doğal frekans bölgesinin üst frekanslara kaydırılmasıdır.

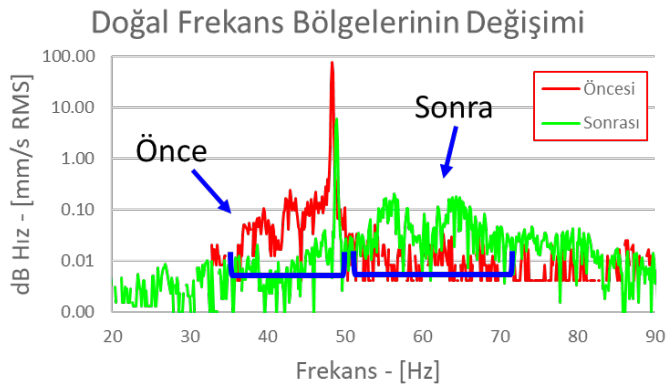
Destek elemanlarının atılmasından sonra elde edilen titreşim değerleri, Grafik 3.1’deki hız spektrumlarında görülmektedir. Desteklerin atılmasından sonra, makinedeki titreşim seviyelerinde dramatik bir düşüş gözlemlenmiştir. Titreşim seviyelerindeki düşüş, Grafik 3.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.1: X yönünü (motor eksenel) destekleyen 45°’lik profiller ve Z yönünü (motor dikey) destekleyen motor destek profili

Grafik 3.1: Düzeltme sonrası hız spektrumları

Grafik 3.2: Düzeltme sonrası 1X genliklerinin değişimi


Titreşim seviyelerinin değişimi, spektrumlar üzerinden incelenirken, doğal frekans bölgelerinin de nasıl değişim gösterdiği net bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Şekil 2.3'te görülen, direngenliğin artırılması ile doğal frekansın artış gösterme durumu, birebir olarak fan yapısı üzerinden alınan öncesi-sonrası spektrum ölçüm grafiklerinde Grafik 3.3'te paylaşıldığı gibi görülmektedir.

Grafik 3.3: Düzeltme öncesi ve sonrası durumda doğal frekans bölgelerinin değişimi


4. Sonuç

İlk ölçümler sonrasında titreşim verilerinin incelenmesi sonucunda, balanssızlık arızasının varlığı tespit edilmiştir. Fakat bu aşamada hızlı bir şekilde yerinde balans çalışmasına karar verilip, balans alma işlemine geçilseydi, balans çalışması çok uzun zaman alabilir ve hatta bu çalışma sonucunda rotorun balansı alınamayabilirdi. Doğru bir karar verilmiş ve teşhis ölçümlerine devam edilip, her alınan veri ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Sonrasında makinenin titreşim seviyesinin bu denli yüksek olmasının nedeninin hem balanssızlık hem de rezonans problemi olduğu anlaşılmıştır.

Rezonans durumu endüstride çoğu ekipmanda var olan, fakat balanssızlık ya da hizasızlık problemleri ile birlikte olduğu için, çoğu zaman anlaşılamayan bir problemdir. Bu örnekte olduğu gibi titreşim seviyeleri yüksek olan makinelerde, mekanik yapıda yapılan küçük değişiklikler, titreşim seviyelerinin büyük oranda azalmasına ve balanssızlık olmasına rağmen, bir süre daha yerinde balans çalışmasına gerek olmadan çalışmaya devam etmesine imkan verecektir.

5. Kaynaklar

- [1] Eisenmann, R. C., Jr. Eisenmann, R. C. 1998. “Machinery Malfunction Diagnosis And Correction”, ISBN: 978-1-941872-33-8, Reliabilityweb.com, USA.
- [2] Ewins, D. J. 2000. “Modal Testing – Theory, Practice and Application”, Wiley; 2 edition (July 20, 2009).
- [3] Avitabile, P. 2017. “Modal Testing: A Practitioner’s Guide”, Wiley; 1 edition (November 13, 2017).
- [4] “ISO 18486-2 CAT II & III coursebook”, Mobius Institute, 2015.



FANLARDA BALANSSIZLIĞIN TİTREŞİM GENLİĞİNE VE ENERJİ SARFIYATINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

¹Cemal Meran, ²Güngör Aydın, ¹Hasan Batar,
¹Ali Rıza Yılmaz, ¹Ali Akpınar, ²Ramazan Dündükçü

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

²Denizli Çimento, Bakım ve Mühendislik Müdürlüğü Bakım Planlama Şefliği

* İletişim yazarı; cmeran@pau.edu.tr

Özet

Bu çalışmada çimento fabrikasında ağır sanayi şartlarında çalışan bir fan üzerinde yapay balanssızlık oluşturularak titreşim analizi ile elde edilen spektrum grafikleri ve enerji analizörü verileri yardımı ile titreşimin makineler üzerinde etkisi gözlemlenmiştir. Böylece elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması endüstriyel tesislerde efektif bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: kestirimci bakım, balanssızlık, enerji sarfiyatı, bakım, titreşim, analiz, fan

1. Giriş

Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması, dönme hareketi ile iş yapan makinelerin endüstriyel tesislerde üretiminin aksamadan iş yapılabilmesi için kullanılan bir bakım yöntemidir. Bu bakım yönteminde belirli periyotlarda makinalardan titreşim ölçümleri alınır. Alınan ölçüm değerleri bize makinede arıza olup olmadığı hakkında bilgi verir. Eğer varsa hangi seviyede olduğu üreticinin verdiği değerler ile karşılaştırılarak tespit edilebilir. Makinenin, üreticisi tarafından veya uluslararası standartlarda verilen titreşim değerleri içinde çalışmasında sakınca yoktur. Fakat bu vibrasyon değerlerindeki çalışmalar esnasında, makineler normalden farklı davranışlar gösterebilir. Vibrasyon makinelerin toplam verimini ve kullanım ömrünü olumsuz etkiler. Vibrasyonu azaltmak hem makinelerde beklenmedik arızaların oluşmasını azaltacak hem de doğrudan enerji tasarrufu yapılmasını sağlayacaktır.

Her geçen gün daha da hızlı bir şekilde gelişen teknolojiyle beraber makinelerin geleneksel yöntemlerle bakımı ve onarımı hem üretim kaybına sebep olmakta hem de işletme maliyetlerini artırmaktadır. Kullanıcıların karşılaştığı beklenmedik arızaların onarımı uzun sürmekte, yedek parça bulmak ise her geçen gün zorlaşmaktadır. Bu da üretim kayıpları ve maliyette artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden özellikle seri üretim yapan ve üretim bandın-



daki küçük bir arızanın bile hattın tamamını durdurma riski bulunan tesislerde, arızaların oluşmasından önce çeşitli test ve analiz yöntemleri kullanarak tespitinin yapılabilirdiği kestirimci bakım metotlarına yönelmek zorunluluk hale gelmiştir.

2. Kestirimci Bakım ve Balanssızlık

Artan rekabet koşullarında firmalar kaliteden ödün vermeksizin üretim maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadır. Firmaların bir taraftan da makine ve tesisin aksamadan çalışmasına yönelik önlemleri almış olması ve beklenmedik arızaların önüne geçmesi gerekmektedir. Makinelerin belirli zamanlardaki bakımları ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızaların giderilmesi üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır. Firma üretim şekline, ürün özelliğine, makine özelliklerine, makine parkurunun büyüklüğüne, bakım ekibinin nitelik ve nicelik olarak yeterliliğine, stok durumuna, sipariş miktarına, temin vs. gibi çok sayıda faktörü düşünerek bakım politikaları geliştirmeli, firmasını güvenceye alacak önlemler almalıdır. Yüzlerce makinenin veya çalışanın olduğu bir işletme de üretim hattında bir makinenin arızalanması bile zincirleme etkilerle bütün sistemi çalışamaz hale getirebilmektedir. Örneğin bir çimento fabrikasında fırında meydana gelebilecek bir arıza tüm sistemin durmasına yol açabilir. Arıza giderildikten sonra normal üretim düzeyine çıkıncaya kadar da uzun bir süre geçer ki bunlar üretim maliyetini oldukça artırabilir. Demir-çelik, enerji, hastane, vb. üretimlerde de bu durum aynıdır. Otomatik makinelerin arızalarının giderilmesinde son derece iyi yetiştirilmiş, yetenekli bakım personeline ihtiyaç vardır. Özellikle karmaşık mekanizmaların ve elektriksel veya elektronik kontrol cihazlarının yer aldığı makinelerde kalifiye bakım ekiplerinin çalıştırılması zorunludur (Tazegün, 2009).

Yakın geçmişe kadar arıza olduğu zaman yapılan arıza bakım ve periyodik bakım yaygın olarak kullanılırken işletmenin özelliğine göre son zamanlarda toplam üretken bakım, güvenilirlik esaslı bakım veya kestirimci bakım gibi bakım yöntemleri her geçen gün endüstride daha çok yer bulur hale gelmiştir. Çimento fabrikalarında; sürekli malzeme akış prensibi, yüksek enerji ihtiyacı ve müşteri odaklı üretim planlanması ile beklenmedik arızaların büyük maddi kayıplara yol açacağından dolayı ileri düzey bakım teknikleri uygulanmaktadır. Modern bakım tekniklerinden biri olan kestirimci bakım; ekipmanların fiziksel parametrelerinin (titreşim, sıcaklık, amper, basınç vb.) trendlerinin ölçülmesi, belirlenen limitler ile karşılaştırılması, çıkan sonuçların yorumlanması sonucunda tespit edilen sorunların en az maliyet ve bir plan dâhilinde gerçekleştirilmesi şeklindeki çalışmaların tümüdür (Aydın ve Meran, 2018).

Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması, dönme hareketi ile iş yapan makinelerin sanayide üretimi aksatmadan görevlerini yapabilmesi ve oluşan enerji sarfiyatını mümkün olduğunca düşürebilmek için kullanılan bir bakım yöntemidir. Araştırmacılar bu sarfiyatların önüne geçebilmek için makinelerde balanssızlık arızasına yol açabilecek kusurları önceden tespit edip giderebilmeye yönelik farklı koşullar altında incelemelerine devam etmektedirler.

Dönen makinelerde eksen kaçıklığı, rulman arızaları, mekanik gevşeklik, yağ veya balanssızlık arızaya yol açan en başta gelen faktörlerdir. Dönen makine elemanlarında, dönme ekseninin geometrik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmadığı durumlarda ortaya çıkan soruna dengesizlik (balanssızlık) denir. Balanssızlık, dönen makinelerde karşılaşılan en büyük problemlerinden biridir. Balanssızlıklar genellikle; makine ve parçalarının üretimi, montajı, tamirati veya çalışması esnasındaki koşullardan dolayı çeşitli sebeplerle oluşabilmektedir. Balanssızlık makine ve elemanlarında çok ciddi hasarlara yol açabileceğinden belli sınırları aşmadan kontrol altına alınması makine ve çalışan sağlığı açısından çok önemlidir. Balanssızlık; statik balanssızlık, moment balanssızlığı ve dinamik balanssızlık olarak üç sınıfta ele alınabilir (Uysal, 2015). Statik balanssızlığa ağırlık merkezi ile çakışmayan dengelenmemiş bir kütle neden olur. Yalnızca bir nokta dengesiz olduğu için rotorun her dönüşünde yalnızca bir işaret oluşur. Statik balanssızlık radyal yatay ve düşey doğrultuda devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \times \text{RPM}$) baskın olan titreşim genliği oluşturur. Moment balanssızlığı özellikle uzun rotorlarda birbirine 180° açı yapacak şekilde shaftın çapraz noktalarında bulunan dengelenmemiş kütleler nedeniyle oluşur. Moment balanssızlığında, statik balans alınmaz. Dinamik balanssızlık, statik balanssızlık ve moment balanssızlığının birleşimi olarak tanımlanabilir. Pratikte dinamik balanssızlık en çok rastlanan balanssızlık çeşididir.

Dönme esnasında dinamik balanssızlık radyal doğrultuda devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \times \text{RPM}$) baskın olan titreşim genliği oluşturur. (Uysal, 2015). Makinedeki balanssızlık tespit edilebilirse giderme yö-

nünde çeşitli önlemler alınarak sorun ortadan kaldırılabilir. Makinelerde meydana gelen balanssızlıkları tespit etmekte son yıllarda titreşim ölçümü yönteminin kullanıldığı kestirimci bakım öncü rol almaktadır. Kestirimci bakım yaklaşımının temeli, makineleri durdurmadan tahribatsız çalışma koşullarındaki durumları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimlerini izlemektir. Balanssızlık makinelerde titreşime ve arızaya neden olan en önemli faktörlerden biridir. Teorik olarak, mükemmel dengelenmiş bir makinede hiç titreşim oluşmaz. Pratikte mükemmel olarak dengelenmiş makine yoktur. Tüm makineler az seviyede de olsa balanssızdır. Genel olarak balanssızlık nedenleri;

- Elemanlardaki malzemenin homojen olmaması.
- Parçanın geometrik olarak simetrik olmaması.
- Çalışma şartlarında meydana gelen ısı genleşme, korozyon, aşınma, madde birikimi, vs.
- Montajın balans şartlarına eş değer şartlarda yapılamaması.
- Kaymalı yatakların eksantrik monte edilmesi sonucunda, geometrik merkezin dışında bir merkez etrafında dönüş olarak sıralanabilir.

Makinelerde balanssızlık ve titreşim analizi ile tespiti üzerine literatürde çok sayıda yayın bulunmaktadır. Köse (2003) makinelerde balanssızlık, kaplin ayarsızlığı, mekanik çözülme, dişli, rulman, kaymalı yatak, kayış ve motor arızalarının FFT spektrum grafiklerini örnekler vererek açıklamıştır. Yapmış olduğu çalışmada titreşim verilerinin tek başına anlam ifade edemeyeceğini, verilerin birbiriyle etkileşimi ve neden sonuç ilişkisi ile analiz edilmesi gerektiğini belirtmiş, her arızanın fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstereceğini vurgulamıştır. Gahafari (2004) fanlarda karşılaşılabilecek balans, şaft problemleri, rulman hasarları ve rezonansı ele almış, bunlarla ilgili problemlerde nasıl bir FFT spektrum grafiği oluştuğunu örnekler vererek açıklamıştır. Mechevske (2005) makinelerde çıkabilecek balans, kaçıklık, mekanik gevşeklik, rezonans, yağlama yetersizliği, hidrolik, aerodinamik güç vb. gibi problemleri ve bunların spektrum grafiklerini incelemiştir. Orhan (2003) dönen makinalarda oluşan dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik ve rulman arızalarının genel özelliklerini ve bu arızaların sebep oldukları titreşimleri ele almıştır. Hamzaoui (1988) çalışmasını dönen makinalarda dengesizlik ve eksen kaçıklığının belirlenmesine yönelik yapmıştır. Köse (2004) diğer bir çalışmada işletmeler için son derece önemli, durması kesinlikle istenmeyen makinaların sürekli titreşim izleme sistemleri ile takip edildiğinde üretim kayıplarının önüne geçileceğini böylece işletmenin maliyetlerinin azalarak üretim miktarının artacağını vurgulamıştır.


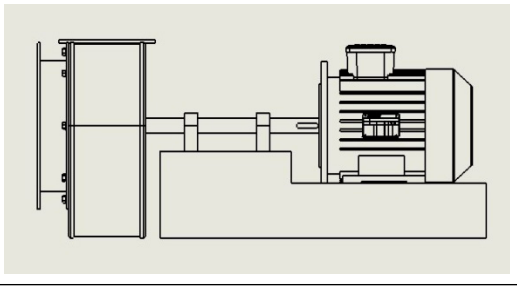
Çağlayan ve Yılmaz (2002) motorlarda titreşim analizi ile eksenel ayarsızlıkların, rulman ve yataklama problemlerinin, balanssızlık gibi mekanik kökenli sorunlar ile sargı ve hava boşluğundaki problemleri içeren bazı elektriksel arızaların tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Karahan (2005) demir-çelik endüstrisinde kullanılan makinelerde titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulamasını gerçekleştirmiştir. Belek (1988) endüstriyel tesislerin bakımında modern yaklaşım olarak titreşim ölçüm aletleri ile titreşim sinyallerinden yararlanarak erken uyarıcı dinamik bakım yöntemlerini ele almıştır. Arslan (2010) çalışmada sistemde çalışmakta olan bir fanın yedeği ile test standı oluşturulmuştur. Muhtemel arızalar, kasıtlı olarak yapılmış, titreşim ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde her arızanın belirli frekanslarda titreşim ürettiği görülmüş ve FFT analizi ile makinedeki arıza çeşitleri ve boyutları hakkında bilgi sahibi olunabileceği tespit edilmiştir. Baykara (2009) titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım konusunu ele almıştır. Ebersbach ve Peng (2008) titreşim analizi ile makine durumlarının gözlenmesi konusunu ele almıştır. Denli (2007) makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak yaptığı ölçüm ve gözlemler neticesinde makinelerin durumlarını incelemiştir. Önceki durumlarıyla karşılaştırıp alınması gereken önlem ve planlarla ilgili çalışmalar yaparak, kestirimci bakım uygulamalarının iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır.

Çimento üretim fabrikalarında beklenmedik arızalar çok büyük maddi kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeple özellikle fırın ve değirmenler başta olmak üzere kritik elemanlara kestirimci bakım uygulanmaktadır. Kestirimci bakım yöntemlerinden vibrasyon, ultrasonik, termal, yağ analizlerinden bir veya birkaçı ekipmanın özelliğine göre kullanılabilir. Son zamanlarda elektrik motoru akım verilerinin de kestirimci bakımda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Günümüzde modern bir çimento fabrikasında; düşük/yüksek kapasiteli radyal fanlar, düşük-orta-yüksek gerilim ile çalışan elektrik motorları, çok kademeli redüktörler, basınçlı hava kompresörleri, blower kompresörler, pompalar, malzeme transport ekipmanları, öğütme ve pişirme devrelerinde bulunan özel makineler bulunmakta ve bu ekipmanlar yüksek kurulum ve işletme maliyetlerinden dolayı faydalı ömürlerinin sonuna kadar kullanılma zorunluluğu olmaktadır.

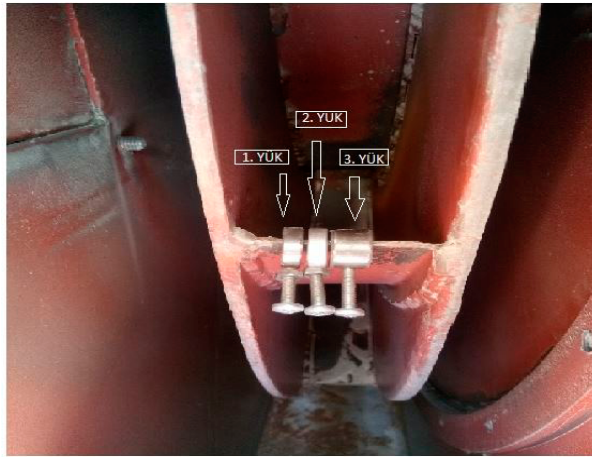
3. Malzeme ve Yöntem

Deneyler 15 °C ortam sıcaklığında, 580 metre rakımda bulunan Denizli Çimento fabrikasında 55 kW motor gücündeki radyal fan üzerinde yapılmıştır, **Çizelge 1.**

Çizelge 1: Balanssızlık çalışmalarında kullanılan radyal fan ve özellikleri

Marka	ED-VAN	
Tip	HD90K – SG360KD	
Motor gücü	75 hp	
Debi	5260 m ³ /h	
Devir	2965 min ⁻¹	
Voltaj	400 V	
Rulmanlar	1313KT (Ön yatak) H31S (Arka yatak)	

Balanssızlık deneylerinde enerji sarfiyatına olan etkisi Fluke 435 Serisi II Güç Kalitesi ve Enerji Analizörü ile ölçülmüştür. Balanssızlığın titreşim genliğine olan etkisi TRIO CX-8 titreşim spektrum analizörü ile ölçülmüştür. Ölçümler alınırken ön ve arka yataklardan, yatay ve dikey yönlerinde titreşim ölçümleri ve faz açıları alınarak kaydedilmiştir. Deney düzeneği üzerinde dengesizlik oluşturmak için fanın kanatlarına sırasıyla; en düşük yük olarak 5,9034 g, orta yük olarak 17,6685 g tek başlarına, son olarak ise ölçülen bu iki yükün yanına 10,433 g yük eklenerek üçü beraber olacak şekilde 34 g yük altında ölçümler yapılmıştır. Yapay olarak balanssızlık oluşturmak üzere yüklerin fan kanadına nasıl monte edildikleri Şekil 1’de verilmiştir. Deneyler öncesinde hiç yük asılmamış durumdaki balanssızlık durumuna ait titreşim değerleri alınarak diğer yüklerdeki sonuçlar için referans değeri olarak alınmıştır.



Şekil 1: Yüklerin fan kanadına montajı

4. Titreşim ve Enerji Sarfiyatı Ölçüm Sonuçları

Biri yüksüz ve diğeri 3 farklı yükte oluşturulan yapay balanssızlık deneyleri yapılmış, yatay ve düşeyde ortaya çıkan titreşim genlikleri ile elektrik motorundan çekilen güçler kaydedilmiştir, Çizelge 2.

Çizelge 2: Farklı yüklerde ortaya çıkan balanssızlık durumları için titreşim genlikleri ve enerji sarfiyatı

Ağırlık (g)	Yatay Titreşim Genliği (mm/s)	Düşey Titreşim Genliği (mm/s)	Çekilen Güç (kW)	Yıllık Maliyet Artışı *(TL)
Yüksüz	-	-	29,58	-
5,9034	2,4	3,2	29,88	1012
17,66	4,1	3,5	30,54	3240
34	6,8	8,2	31,14	5265

*) Yıllık Maliyet = Enerji Sarfiyatı x Çalışma Saati x Birim kW fiyatı, Birim kW fiyatı 0,45 TL/kWh, yıllık 7500 h çalışıldığı ve Yüksüz haldeki kullanılan güç = $P_{referans} = 29,58$ kW alınmıştır.

Birim enerji bedeli her geçen gün artmak ile birlikte test yapılan zaman aralığı için ortalama 0,45TL/kWh alınması uygun olacaktır. Yıllık çalışma saati ise 7500 saat olarak ortalama alınmaktadır. Diğer zamanlar revizyon bakım ve üretim duruşlarından dolayı sistemlerin çalışmadığı varsayılmaktadır. Birinci deneyde fana herhangi bir yük eklenmeden sabit 2400 min-1 (40 Hz) çalıştırılarak diğer deneyler için referans kabul edilmiştir. Titreşim ölçümleri incelendiğinde fanın kendinden kaynaklı küçük bir miktar balanssızlığı mevcut olmasına rağmen baskın bir titreşim genliği gözlenmemiştir, Şekil 2a.

Çizelge 3: ISO 10816-1 standardına öre makinelerde titreşim değerlendirme tablosu

TİTREŞİM ŞİDDETİ DEĞERLENDİRME TABLOSU ISO 10816					
Makina	Sınıf I Küçük Makinalar		Sınıf II Orta Makinalar	Sınıf III Büyük Makinalar	Sınıf IV Büyük Makinalar
	In/s	mm/s			
Titreşim Hızı V_{rms}	0.01	0.28	ÇOK İYİ		
	0.02	0.45			
	0.03	0.71			
	0.04	1.12			
	0.07	1.80	İYİ		
	0.11	2.80			
	0.18	4.50	DİKKAT		
	0.28	7.10			
	0.44	11.2			
	0.70	18.0	KABUL EDİLEMEZ		
0.71	28.0				
1.10	45.0				

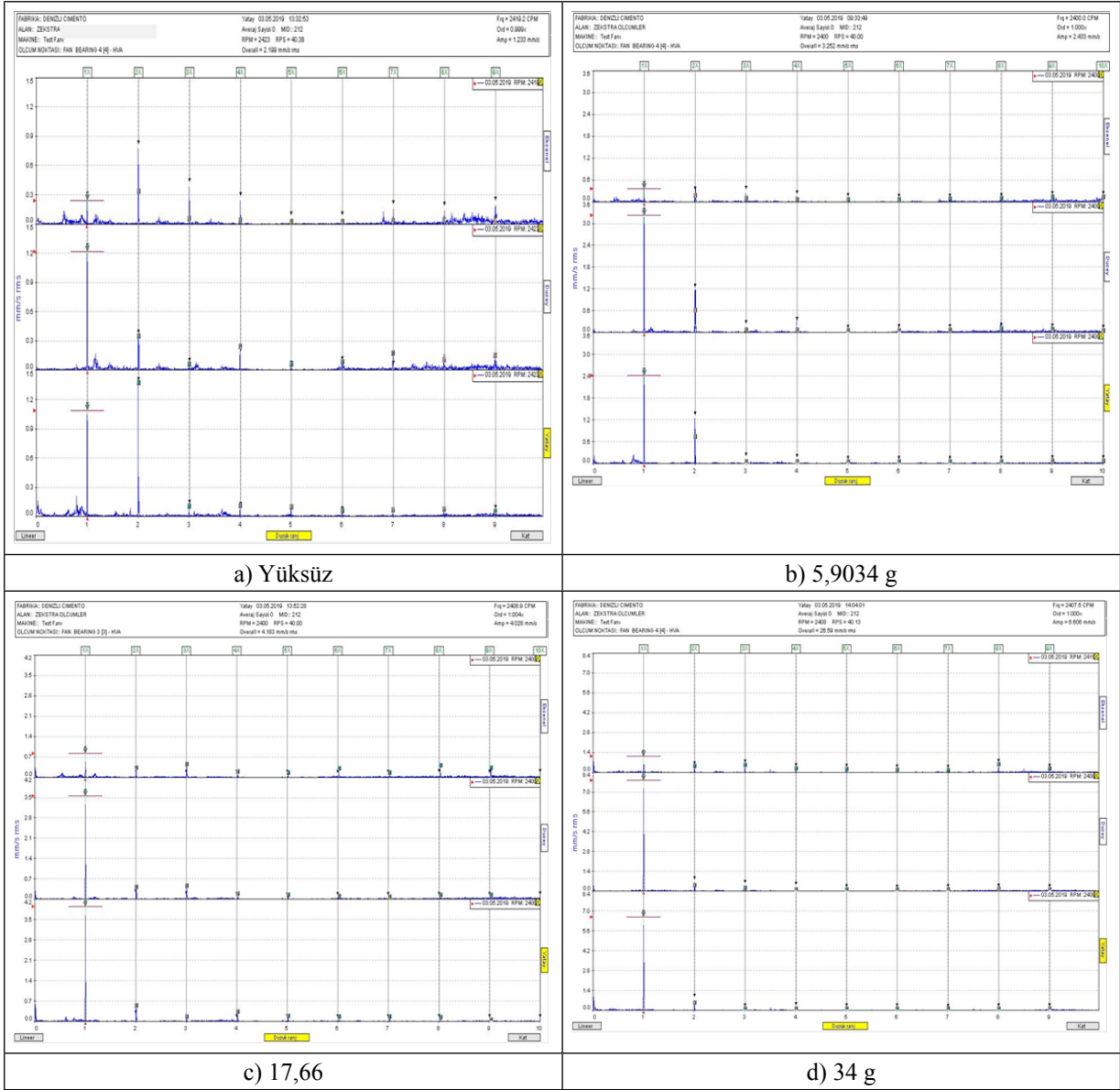
Sınıf I: 15 kW'a (20 HP) kadar olan küçük ölçekli bireysel makine ve parçaları.

Sınıf II: 15 kW'tan 75 kW'a (20 HP-100 HP) kadar olan orta ölçekli makineler ile elektrik motorları, 300 kW'a (400 HP) kadar rijit olarak monte edilmiş motorlar, özel yatak-plakalı makineler.

Sınıf III: Ağır tahrik motorları ve rijid ve temel üzerinde ağır döner kütleli makineler.

Sınıf IV: Çok büyük turbo tahrik motorları ve rijid ve ağır temel üzerinde döner kütleli diğer makinelerle ilişkili olarak civarda da titreşimlere sebep olan 10 MW'dan daha büyük olan turbo jeneratör blokları ve gaz türbinleri.

5,9034 g yük için yapılan ikinci deneyin spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 2,4 mm/s, düşeyde 3,2 mm/s titreşim genliği görülmüştür, Şekil 2b. Elde edilen bu veriler ISO 10861 Titreşim şiddet standardına Çizelge 3 göre kabul edilebilir bölgede olduğu için makine sağlığında bir problem yoktur. 17,6685 g yük için yapılan üçüncü deneyin spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 4,1 mm/s, düşeyde 3,5 mm/s titreşim genliği görülmüştür, Şekil 2c.



Şekil 2: Farklı yapay yüklerde ortaya çıkan spektrum formları

Elde edilen bu veriler ISO 10861 titreşim şiddet standardına göre erken uyarı limiti aşıldığı için kontrollerin sıklaştırılması gerekir. 34 g yük için yapılan dördüncü spektrum grafiğinde devir sayısının (1xRPM) eş değeri olan frekansta (40 Hz) yatayda 6,8 mm/s, düşeyde 8,2 mm/s değerinde titreşim genliği görülmüştür, Şekil 2d. Elde edilen değerler ISO 10861 titreşim şiddet standardında belirlenen limit aşıldığı için makine durdurulmalı ve gerekli tamirat işlemi yapılmalıdır.

5. Genel Değerlendirmeler

Çalışmada, titreşim analizörü ve enerji analizör cihazı ile saniyede dört defa alınan veriler ışığında ortalama değerler alınarak farklı yüklerde ortaya çıkan balanssızlık durumları için titreşim genlikleri ve enerji sarfiyatı belirlenmiştir. Balanssızlığa yol açan deney ağırlıkları arttıkça sistemde harcanan enerjinin arttığı ve titreşim genliği artması ile sistemin olağandışı davrandığı gözlemlenmiştir.

Titreşim analizi sonuçlarına göre; sabit devirde (2400 rpm) yapılan teste 1X harmoniğindeki titreşim sinyali gen-

liğinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinde yapay olarak oluşturulan balanstan dolayı, titreşim genliği değerlerinde sapmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. RMS değerleri; düşey yönde daha kararlı olmak üzere hasar şiddetinin arttığını göstermiştir.

Sonuç olarak bir makinedeki dengesizlik arızası ve enerji sarfiyatı incelenmiş olup titreşim analizi yapılarak ve enerji analizöründen alınan veriler ile makine üzerinde etkisi sunulmuştur. Makinelerdeki dengesizlik arızasını çözmek için bu teşhise göre makineye balans alma işlemi uygulanmalıdır.

6. Kaynaklar

- Arslan S. (2010), “Titreşim Analizi ile Fanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Aydın G., Meran C. (2018), “Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi Ve Önlenmesi, Mühendis Ve Makine, Cilt 59, Sayı 692, s.48.
- Baykara V.İ. (2009), Titreşim Analizi ile Şanzımanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Belek T. (1988), “Endüstriyel Tesislerin Bakımında Modern Yaklaşım: Dinamik Erken Uyarıcı Bakım Yöntemleri”, Mühendis ve Makina, 29, 29-36.
- Çağlayan H. İ. (2002), “Elektrik Motorlarında Arıza Tespit Yöntemleri 2. Bölüm», Otomasyon, 119: 122-127.
- Ebersbach S. And Peng Z. (2008), Eckert System Development for Vibration Analysis In Machine Condition Monitoring, <http://www.sciencedirect.com> (01.01.2006).
- Gahafari S.H. (2004), Condition Monitoring Of Industrial Fans, 22. Seminar on Machinery Vibration, October 27-29, Ottawa, USA.
- Hamzaoui N., Bisson C. And Lesver C. (1998), “Vibro-Acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part 1: The oretical Model”, JSV, 216(4): 553-570.
- Hamzaoui N., Bisson C. And Lesver C. (1998), “Vibro-Acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part 2: Experrimental Study”, JSV, 216(4): 571-583.
- Karahan M.F. (2005), “ Titreşim Analiziyle Makinalarda Arıza Teşhisi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Köse R.K. (2004), “Makine Titreşimleri Sürekli İzleme Sistemleri (Monitörü)”, Makine Tek, 76: 70-76.
- Mechefske C.K. (2005), Machine Condition Monitoring and Fehlt Diagnostic, Quens’s University.
- Orhan S. (2003), “Dönen Makinelerde Oluşan Arızalar ve Titreşim İlişkisi”, Teknoloji, 6, Sayı 3-4, 41-48.
- Tazegün A. (2009), “Toplam Verimli Bakım ve Çimento Sektöründeki Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, 36-37.
- Uysal V., Morgül Ö.K. (2015), “Dönen Makinelerdeki Dengesizlik (Balanssızlık) Arızasının Titreşim Analizi ve Faz Açısı Yardımıyla Teşhisi”, SAÜ Fen Bil Der 19. Cilt, 3. Sayı, s. 245-256.



FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE FOTOVOLTAİK MODÜL BAKIM PROSEDÜRLERİ

¹Engin Çetin

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kınıklı Kampüsü, Pamukkale / Denizli
engincetin@pau.edu.tr

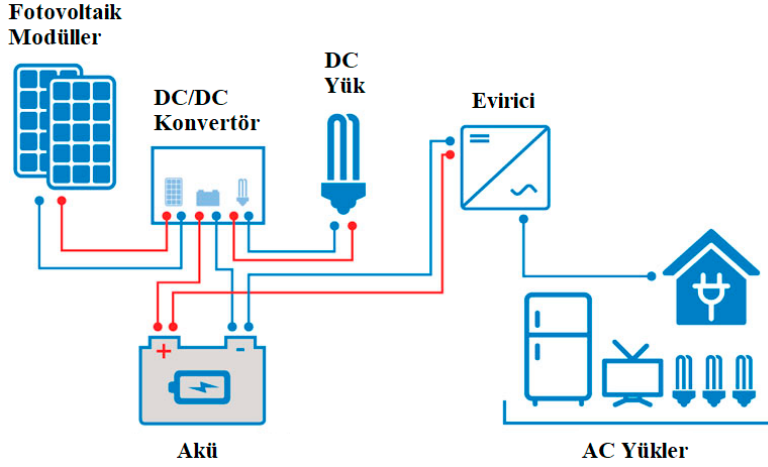
Özet

Fotovoltaik santraller, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de, temiz enerji kaynaklarına dair ivmelenen popülarite ile birlikte, gelişmekte olan enerji üretim sistemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız, birkaç kilowattan megawattlar mertebesine kadar çeşitli ölçeklerde santraller kurulmuş ve de kurulmaya devam etmektedir. Fotovoltaik santrallerin tamamı, temelde; fotovoltaik modül, evirici ve şalt ekipmanından oluşur. Bir fotovoltaik santralin en önemli bileşeni, güneş enerjisini doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik modül ünitesidir. Fotovoltaik modüllerin seçiminin ve işletme altındayken yapılacak bakımlarının uygunluğu, fotovoltaik santralin verimini ve genel sistem güvenliğini olumlu anlamda doğrudan etkiler. Yapılan bu çalışmada; fotovoltaik modüllerin, gerek santral devreye alınmadan önce gerekse santral devredeyken tabi tutulmaları gereken bakım prosedürlerinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda; fotovoltaik modül seçim kriterlerinden başlanarak, fotovoltaik modüller sahaya getirilmeden önce yapılması gereken kontrol işlemlerine, sahada devreye alma prosedürlerine ve işletme altında yapılması gereken bakım prosedürlerine dair tüm aşamalar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik modül, seçim kriterleri, bakım prosedürü.

1. Giriş

Fotovoltaik sistemler, elektronik dönüşüm prosesleri ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi yapabilen yapılarıdır. Bu tür sistemler, güneşten elde edilen enerjiyi doğru akıma (DC) dönüştüren fotovoltaik modüllerden, DC elektrik enerjisini istenilen seviyede (12 V, 24 V veya 48 V DC) yine DC enerjiye dönüştüren DC/DC konvertörlerden, enerjiyi depo eden akülerden, DC enerjiyi 230 V veya 400 V alternatif akıma (AC) dönüştüren evirici ünitelerinden, kablolardan ve şalt ekipmanından (sigorta, devre kesici v.b.) oluşur. Şekil 1’de, temel bir fotovoltaik sistem prensip şeması verilmiştir.



Şekil 1. Temel bir fotovoltajik sistem yapısı [1]

Bir fotovoltajik sistemde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bölüm, fotovoltajik modüllerin oluşturduğu bölümdür. Fotovoltajik modüllerce üretilen enerji, DC/DC konvertörler ve eviriciler tarafından elektrik enerjisinin değişik formlarına dönüştürülür (DC ya da AC). Tüm bu ekipmana bakıldığında, fotovoltajik modüllerin, enerji üretim noktası olmaları itibariyle, sistemin en önemli parçası olduğu kolaylıkla anlaşılabilir.

Enerji üretimin yapıldığı bu derece önem arz eden fotovoltajik modüller, üretim prosesleri sonrası, üretim işlem ve koşulları kaynaklı olarak çeşitli kusurlar (hücre içi kusurlar, hücreler arası bağlantı sorunları, hücre yanıkları v.b.) ihtiva edebilmektedir. Bu tür kusurlu fotovoltajik modüller, saha kurulumu sonrası üretim faaliyetine başlamaları ile birlikte, santral üretiminin istenilen seviyeye ulaşamamasına neden olurlar. Kurulumu yapılan fotovoltajik modüller kusur içermeseler bile, montaj esnasında oluşan işçilik-montaj hataları neticesinde izolasyon sorunu yaşayabilirler. Bu da santralin ani duruş yapmasına neden olabilir. Zamanla fotovoltajik modüller üzerinde biriken kir tabakası, ciddi anlamda santral verimini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu ve benzeri durumlarla karşılaşmamak için, gerek kurulum öncesi, gerekse kurulum sonrası ve işletme koşulları altında fotovoltajik modüllere uygulanabilecek bazı bakım prosedürleri ile, fotovoltajik santralin verimli bir şekilde çalışması sağlanabilir. Takip eden bölümlerde; fotovoltajik santral verimini arttırmaya yönelik olarak fotovoltajik modüller için uygulanan bakım prosedürlerine değinilmiştir.

2. İmalat Sonrası Fotovoltajik Modül Kontrolü

Fotovoltajik modüllerin üretim bandından çıkıp montaj sahasına intikali öncesi, bir takım kontrol süreçlerinden geçmesi gerekir. Bunlardan ilki, *Flash Test* diye tabir edilen ve de hücresel defekte sahip fotovoltajik modüllerin tespit edildiği testtir. *Flash Test*, fotovoltajik modülün test ekipmanı kullanılarak *I-V* eğrisinin elde edilmesi prensibine dayanır. Bu testte, Şekil 2'dekine benzer test üniteleri kullanılır. Tipik bir test ünitesinde; yapay ışık kaynağı, sıcaklık kontrol ünitesi, görüntüleme ünitesi ve veri toplama sistemi yer alır [2]. Test ünitesine yerleştirilen fotovoltajik modül üzerine yapay ışık kaynağınca güneş ışınımını simüle edecek şekilde anlık ışık uygulanır ve fotovoltajik modül çıkışındaki elektronik yük vasıtasıyla fotovoltajik modülün *I-V* eğrisi elde edilir. *I-V* eğrisi, fotovoltajik modülün; kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç gerilimi ve maksimum güç akımına dair bilgiler verir [2]. Elde edilen değerler, set değeri ile uyuşmadığı takdirde, fotovoltajik modül standart dışı kabul edilir. Çünkü solar hücrede bir kusur söz konusu ise, kusurlu hücreyi bünyesinde barındıran fotovoltajik modülün elektriksel verimi de bu durumdan olumsuz etkilenir.



Şekil 2. Fotovoltaik modüller için güneş simülatorü [3]

Fotovoltaik modüllerin imalat sonrası tabi tutulduğu testlerden bir diğeri, yaşlandırma testidir. Bu testler dahilinde; korozyon, rüzgar, kum fırtınası, nem, deniz tuzu v.b. yıpratıcı etkilere karşı fotovoltaik modülün gösterdiği dayanım incelenir. Bu testler, fotovoltaik modülün, saha performansını ve işletme ömrünü doğrudan etkileyen çevresel bozucu unsurlara karşı direncini de ortaya koyar. Testlerde, Şekil 3'te örneği verilen *Climatic Test Chamber* benzeri üniteler kullanılır.



Şekil 3. Fotovoltaik modül test odası [4]

İmalat bandından çıkan fotovoltaik modüllerin, yukarıda bahsi geçen testlere tabi tutulmaları sonrası, sevk öncesinde de, üzerlerinde herhangi bir kusur bulunup bulunmadığı görsel olarak kontrol edilmeli (şişme, EVA ve back sheet yapısında sıyrılmama, cam kırılması v.b.) ve kusurlu fotovoltaik modüller, sahaya sevk edilmemelidir.

3. Kurulum Sonrası Devreye Alma Prosedürleri

Fotovoltaik santrallerin saha kurulumuna müteakip yapılacak devreye alma işleminden önce, santral sahasında fotovoltaik modüllere yönelik bazı elektriksel testlerin yapılması gerekir. Bunun için, özel test-ölçü aletlerinden faydalanılır. Bunlardan biri, Seaward Solar Tesisat Test Cihazı, Şekil 4'te verilmiştir.



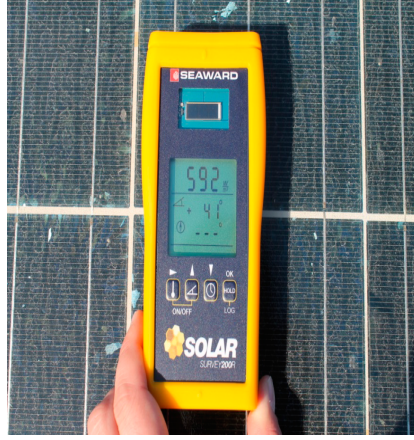
Şekil 4. Seaward solar test cihazı [5]

Solar tesisat test cihazları, fotovoltaik modüllerin solar hücre bölümü ile modülün alüminyum çerçevesi arasındaki izolasyon direncinin ölçümünde, fotovoltaik modül toprak geçiş direncinin ölçümünde, modül ya da dizi gerilim ve akım değerlerinin (dizi akımı ve kısa devre akımı) ölçümünde kullanılır. Fotovoltaik modüller devreye alınmadan önce bu ölçümler, Şekil 5'te görüldüğü şekilde mutlaka yapılmalıdır. Ölçümler sonucunda elde edilen; fotovoltaik modül toprak geçiş direnci değeri (R_{PE} , Ω), fotovoltaik modül izolasyon direnci değeri (R_{ISO} , Ω), fotovoltaik modül/dizi gerilimi (U , V) ve fotovoltaik modül/dizi kısa devre akımı (I_{SC} , A) değerlerinin standart değerler içerisinde olup olmadığı, test cihazı üzerinden izlenir. Fotovoltaik modül gerilimi ve kısa devre akımı, modül etiket değerleri ile karşılaştırılarak, ölçüm sonuçlarının uygunluğu teyid edilmelidir.



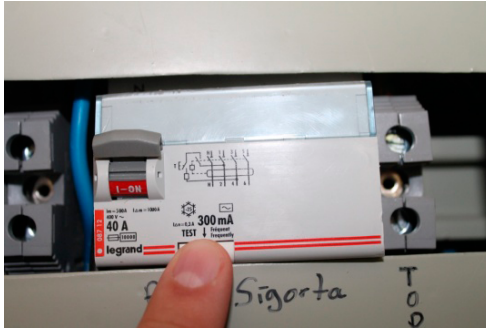
Şekil 5. Seaward solar test cihazı ölçüm işlemi için prob bağlantılarının yapılması [5]

Solar tesisat test cihazı kullanılarak, fotovoltaik modül üzerine düşen güneş ışınımının değeri (W/m^2) ve fotovoltaik modülün yer düzlemi ile yaptığı açı da (montaj açısı) belirlenebilir (Şekil 6). Elde edilen bu değerlerden güneş ışınımının anlık değeri, ölçüm sonucu elde edilen modül gerilimi ve kısa devre akımlarının uygunluğunu, montaj açısı ise, montajın yapıldığı bölge için uygun montaj açısı değerine göre montaj yapılıp yapılmadığını kontrol etmek için kullanılır.



Şekil 6. Seaward solar test cihazı ile güneş ışınımı ve montaj açısı ölçümü [5]

Yukarıda belirtilen test ve ölçümlerin yanı sıra, fotovoltaik modüllerde izolasyon hatası neticesinde (koruma iletkeni ile temas) oluşabilecek hata durumlarında, sistem beslemesini kesecek kaçak akım rölelerinin de testi önemlidir. Kaçak akım röleleri, Şekil 7’de görüldüğü gibi, ayda bir mekaniksel (test butonuna basılarak) ve altı ayda bir elektriksel olarak test edilmeli, rölelerin uygun açma akımı ve açma süresine sahip olma durumları analiz edilmelidir. Elektriksel test için, Elektriksel Tesiat Test cihazları kullanılır. Gerek izolasyon testleri, gerek kaçak akım rölesi testleri periyodik olarak yapılmadıkları takdirde, yangına kadar varabilen istenilmeyen durumlar oluşabilir (Şekil 8).



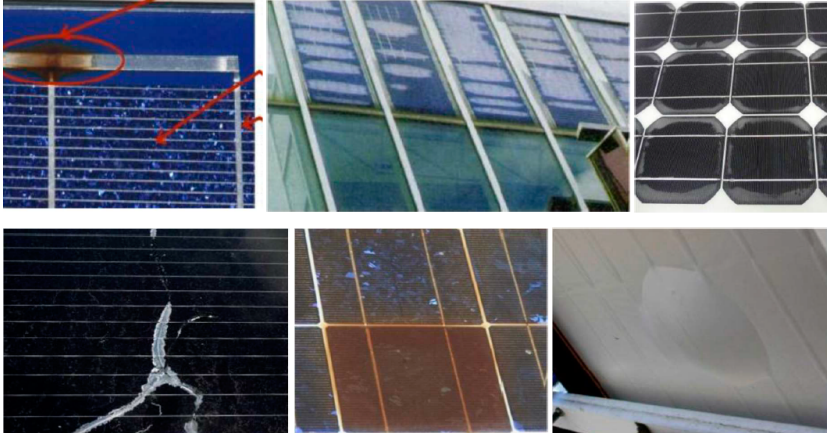
Şekil 7. Kaçak akım rölesi mekaniksel (solda) ve elektriksel (sağda) testleri [5]



Şekil 8. Fotovoltaik santrallerde izolasyon hatası sonucu yangın oluşumu [6]

4. İşletme Altındaki Test ve Ölçümler

Fotovoltaik modüller üzerinde, IEC61215 ve IEC61646 standartlarına göre, görsel inceleme de (*Visual Inspection*) yapılması yerinde olur. Görsel incelemede; Şekil 9'da verilen durumlara benzer oluşumlar araştırılır. Bu oluşumlar; fotovoltaik modülün üzerindeki temperli camda oluşabilecek kırıklar, fotovoltaik modül yüzeyinde şişme, hücreler arası metalik bağlantılarda bozulmalar, laminasyon hasarları, elektrokimyasal korozyon, oksitlenme sonucu kahverengileşmiş hücreler, hot spot etkisiyle bozulmuş hücreler, back sheet ve EVA yapılarında bozulmalar v.b. şeklindedir [2]. Bu gibi durumların tespiti halinde kusurlu fotovoltaik modül, sistemde enerji kesilmesine müteakip uygun bir modülle değiştirilir.



Şekil 9. Sahada yapılan görsel incelemede karşılaşılabilecek anomaliler [2]

Termal kamera testleri, el tipi veya drone destekli kameralarla, fotovoltaik modüllerin işletme altındayken yapılması gereken hayati işlemlerden birisidir (Şekil 10). Bu test ile; önceden tespit edilemeyen veya fotovoltaik modüller işletme altındayken ortaya çıkan hücre anomalileri tespit edilebilir. Fotovoltaik modülün belirli bir bölgesindeki hücre anomalisi, kendisini, o bölgede ısınma şeklinde gösterir. Bu durum, termal kamera ekranında kolaylıkla tespit edilebilir. Tespit yapılır yapılmaz santral devre dışı bırakılmalı ve problemlü fotovoltaik modül, yenisi ile değiştirilmelidir. Aksi halde, problemlü fotovoltaik modül zamanla erimeye başlar ve neticede yangına varan büyük problemler ortaya çıkabilir.



Şekil 10. Termal kamera testleri [7]

Fotovoltaik modüller işletme altındayken, Bölüm 3’te bahsi geçen tüm elektriksel testler periyodik olarak yapılmalı, modüllerin sağlıklı bir şekilde çalıştığı kayda geçirilmelidir. Bu testlerin altı ayda bir yapılması tavsiye edilir. Böylelikle, santral işletme altındayken ortaya çıkabilecek olası problemler başlangıç safhasında tespit edilip, santralde oluşabilecek yıkıcı problemlerin de önüne geçilmiş olunur.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; fotovoltaik santrallerin en önemli ekipmanı olan, güneşten elektrik enerjisi üreten fotovoltaik modüllerin bakım prosedürleri incelenmiştir. Gerek santralin tasarım ömrü boyunca verimli ve de sağlıklı bir şekilde çalışması, gerekse hem santralin hem de santral çalışanlarının güvenliğinin sağlanması, yukarıda bahsi geçen test ve ölçüm prosedürlerinin yerine getirilmesi ile mümkün olmaktadır. Santral kurulmadan önce ve işletme altındayken periyodik olarak yapılması gereken bu test ve ölçümlerin, özellikle ülkemizde kurulu tüm fotovoltaik santrallerde uygulanması gerekmektedir. Ancak, değişik zamanlarda yapılan saha ziyaretleri ve gözlemlerde, yukarıda bahsi geçen prosedürlere kısmen uyulduğu, özellikle periyodik testlerin yeterince yapılmadığı kanaati edinilmiştir. Bu bağlamda, bahsi geçen test ve ölçümlerin yasal zorunluluk haline getirilmesinin, enerji politikalarını geleceğin teknolojileriyle yönlendirmek isteyen Ülkemiz için, hayati nitelikte olduğunu söylemek yerinde olacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] VPSOLAR, 2019. <https://www.vpsolar.com/en/off-grid-photovoltaic-systems/>
- [2] PVPS, 2013. “Review on Failures of Photovoltaic Modules”, IEA International energy Agency, Report IEA-PVPS T13-01:2013.
- [3] <https://www.wcet.washington.edu/about/instrumentation/>
- [4] [http://www.acstestchambers.com/Product/Prodotta?id_fam=18&id_prod=0#!prettyPhoto\[prodotta\]/0/](http://www.acstestchambers.com/Product/Prodotta?id_fam=18&id_prod=0#!prettyPhoto[prodotta]/0/)
- [5] Çetin E., 2015. “AG Elektrik Tesisat Test ve Ölçümleri”, EMO Yayın No: GY/2015/617, ISBN 978-605-01-0802-6.
- [6] PVTRIN, 2011. Training of Photovoltaic Installers, pdf document, Issued by EPIA, June 11, Revised Sep 11.
- [7] <https://www.indiamart.com/proddetail/ir-thermography-using-drone-infrared-thermal-camera-12468069991.html>



FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE İZOLASYON HATASININ TESPİTİNE YÖNELİK MERKEZİ İZLEME VE KONTROL ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ

¹Engin Çetin

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kınıklı Kampüsü, Pamukkale / Denizli
engincetin@pau.edu.tr

Özet

Fotovoltaik santraller, güneşten gelen ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Watt seviyesinden MegaWatt'lar mertebesine kadar kurulumu yapılabilen bu santraller, son yıllarda özellikle fosil yakıt kaynaklı santrallerle rekabet edebilir hale gelmişlerdir. Bu tip santrallerde; güneşten gelen ışık enerjisi, fotovoltaik modüllerin üzerine düşmekte, fotovoltaik modüller bu ışık enerjisini doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştürmekte, sonrasında ise eviriciler vasıtasıyla bu DC elektrik enerjisi, günümüzde elektriğin yaygın olarak kullanılan formu olan alternatif akıma (AC) dönüştürülmektedir. Bu tür sistemlerde yaşanan en önemli problemlerden birisi, fotovoltaik modüllerden oluşan dizilerin (string) bağlantı kablolarının veya konektörlerinin toprak ile teması neticesinde oluşan izolasyon hatasıdır. Santralin normal işletme şartlarında oluşmaması gereken bu problem, işçilik-montaj hatası ya da hasarlı kablo veya konektörün sistemde mevcudiyeti halinde gözlemlenir. Periyodik bakım faaliyetlerinde genellikle tespit edilmesi zor olan bu problem, yağışlı havalarda santralin belirli bölgelerine dolan yağmur suyu ile birlikte kendini gösterebilmekte ve beraberinde sistem arızalarına neden olabilmektedir. Yapılan bu çalışmada; fotovoltaik santrallerde ortaya çıkabilecek izolasyon hatalarını anlık olarak tespit edip hatalı fotovoltaik diziyi eviriciden otomatik olarak ayırarak santralin çalışmasına devam etmesini sağlayan ve bu durumu uzak terminaldeki operatöre bildirerek santral bakım ve işletme prosedürlerini kolaylaştırıp hızlandıran mikroişlemci tabanlı "Fotovoltaik İzolasyon Takip Modülü'nden (FITm)" bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik santral, izolasyon hatası, mikroişlemci, uzak terminal erişimi.

1. Giriş

Enerji üretim sistemlerindeki kurulum talebi, son yıllarda fosil kaynaklara dayalı artan hammadde fiyatları, kaynak rezervlerinin hızla azalması ve bölgesel-politik gelişmelerin getirdiği yönlendirmelerle birlikte, yeni ve yenilenebilir enerji sistemlerine doğru yönelmeye başlamıştır. Ülkemizde de, özellikle iki binli yılların ortasından itibaren, yeni ve yenilenebilir enerji sistemleri bağlamında, fotovoltaik enerji üretim sistemleri, önemli bir ilgi odağı olmuş-

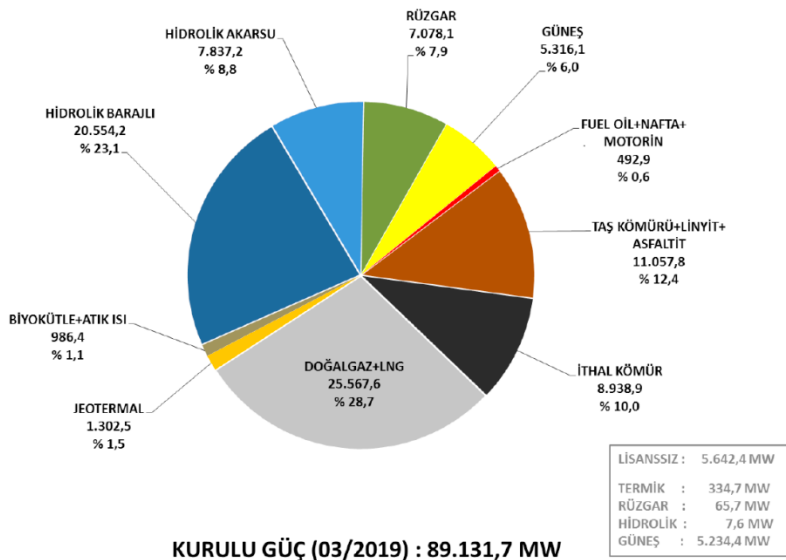


tur. Gerek yasal mevzuat gerekse ekipman temini ve üretimi (özellikle fotovoltaik modül ve evirici) noktasındaki hızlı gelişmeler, Ülkemizdeki fotovoltaik santral yatırımlarını da ivmelenmiştir. Son verilere göre, Türkiye’deki fotovoltaik santral kurulu gücü 5.316,10 MW’a, bu santrallerin toplam santral kurulu gücü içerisindeki payı ise %6’ya yükselmiştir. Bu veri, lisanslı ve lisanssız toplam fotovoltaik santral kurulu gücüdür. Bu değer içerisinde, 5.234,40 MW gibi oldukça büyük bir payı, lisanssız fotovoltaik santraller tek başına karşılamaktadır. Ülkemizdeki enerji santrallerine ait toplam kurulu güç değerleri, Şekil 1’de sunulmuştur [1].

Fotovoltaik santrallerin yaygınlaşması ile birlikte, bu türden santrallerin kurulumunda uzmanlaşmış kalifiye personel ihtiyacı da doğmuştur. Zira kalifiye personel, hem fotovoltaik santral için gerekli fotovoltaik modül, evirici, şalt ekipmanı v.b. ekipman seçimi ve temininde, hem de bu ekipmanın sağlıklı bir şekilde kurulumu ve devreye alınması anlamında son derece önemlidir. Hatalı/arızalı ekipman temini veya temin edilen ekipmanın kurulumunda yapılacak montaj hataları, santralin tamamında yangına varabilen ciddi tahribatlara sebep olabilir.

İzolasyon hataları, fotovoltaik sistemdeki solar kablolar ve kablolar ile fotovoltaik modüller ve eviriciler arasında bağlantıyı sağlayan konektörlerin montajı esnasında, ekipman izolasyonunun sıyrılması veya montaj için kabloların kılıflarının gereğinden fazla sıyrılması ile kablonun iletken bölümün açığa çıkması şeklinde kendisini gösterir. İzolasyon hatalarının önemli bir bölümü, genellikle gözle muayenede görülemeyen problemlerdir. Bu problemler ya çok küçük yapıdadırlar ya da fotovoltaik sistemdeki solar kablo ve konektörler, özellikle çatı montajlı fotovoltaik modüllerde çatı ile fotovoltaik modül arasında kaldığından gözle görülemezler. Ancak yağmur yağdığı zaman yağmur suyunun kablo ve konektörlerin üzerini kaplamasıyla arıza durumu oluşur. Arızaya müdahale esnasında yağmur kesilir ve yağmur suyu dolduğu bölümden tahliye olursa arıza ortadan kalkar ve problemin bulunması güçleşir. Ayrıca problemlili bölüm gözle muayenede görülebilir durumda ise, bu sefer de çatı montajlı fotovoltaik sistemlerde tüm çatıda monteli fotovoltaik modüllerin sökülmesi gerekir. Tüm bu hadiseler, oldukça zaman alan işlemlerdir. Arızalı santralde, arızanın tesir ettiği evirici ünitesinde üretim durur. Bu noktada, yani enerji üretiminin durması noktasında, ilave bir ekonomik kayıp oluşur. Yapılan bu çalışmada; fotovoltaik santrallerde oluşan izolasyon hatalarını tespit edip arızanın vuku bulduğu fotovoltaik diziyi eviriciden otomatik olarak ayıran ve yine arızanın olduğu noktayı uzak terminaldeki operatöre bildiren 2017/16112 patent başvuru numaralı “Fotovoltaik İzolasyon Takip Modülü”nden (FITm)” bahsedilmiştir.

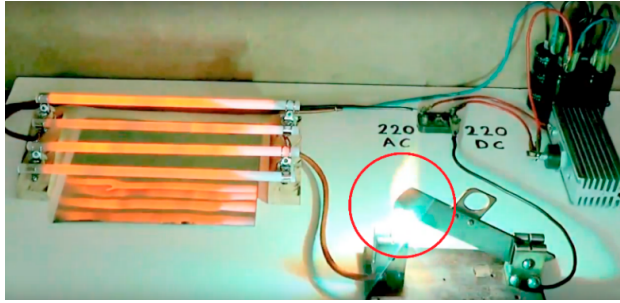
TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU GÜCÜ (31 MART 2019)



Şekil 1. Türkiye'nin elektrik santrali kurulu gücü [1]

2. Fotovoltaik Santrallerde İzolasyon Hatası

Fotovoltaik santrallerin fotovoltaik modüllerle eviriciler arasındaki kabloları, doğru akım (DC) formunda enerji taşır. Bu gerilim, şebeke bağlantılı santrallerde 600 V DC civarındadır. Herhangi bir sebeple, örneğin montaj esnasında solar kablo kılıfının yanlışlıkla sıyırılması, solar kablo kılıfının montaj için haddinden fazla sıyırılması, solar konektörlerdeki çatlak ya da kırılma neticesinde kablo ve konektör iletken kısımlarının açığa çıkması söz konusu olursa, açığındaki enerji taşıyan iletkenlerle, çevredeki normalde enerji altında olmayan iletkenler arasında, ya doğrudan temasla ya da herhangi bir iletken unsur vasıtasıyla (iletken parçanın izolasyon hatası olan bölgeye düşerek köprü vaziyeti görmesi, yağmur suyunun izolasyon hatasının olduğu bölgeye dolması v.b.) elektrik akımı akmaya başlar. Temasın doğrudan olmaması halinde, elektrik akımı, Şekil 2’de görüldüğü üzere hava yolu ile akar ki bu durum, *DC Elektrik Arkı*’nı doğurur.



Şekil 2. DC beslemeli sistemde ark oluşumu [2]

Şekil 2’de kurulan düzenekte yer alan çalışır vaziyetteki DC beslemeli sistemde, metal anahtar yavaş yavaş açıldığında, anahtar kutupları arasında elektrik akışı, ark oluşumuyla birlikte devam eder. Ark, alevli bir şekilde vuku bulduğundan, beraberinde yangın tehlikesini de getirir. Şekil 3’te, izolasyon hatası neticesinde oluşan arkın fotovoltaik santrallerde yarattığı yangın sonrası hasar gören ekipman görülmektedir. DC elektrik arkı, oluştuğu ekipman bölgesinde ciddi manada korozyon yapar, o bölgenin elektriksel direnci artırır, ısınmaya ve sonucunda yangın çıkmasına neden olur.

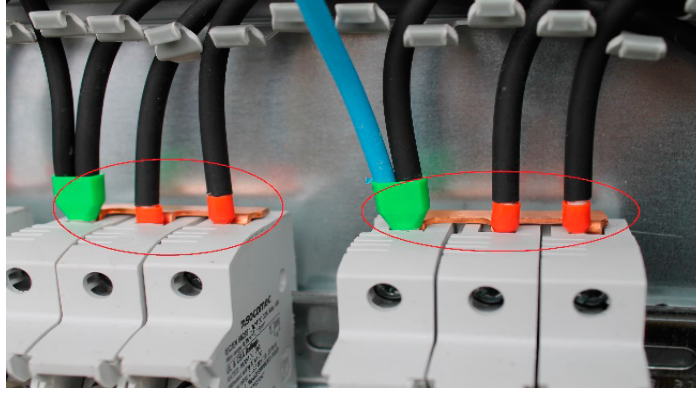


Şekil 3. DC arkın oluşturduğu yangın ve ekipman hasarı [3]

Fotovoltaik santrallerde izolasyon hatasının oluşumunu önlemek için; montaj ekibi eğitilmeli, kablo kılıfları uygun ölçüde soyulmalı, kablo ve konektör bağlantılarında açıkta elektrik akımı taşıyan iletken bir bölüm bırakılmamalı, darbe almış kablo ve konektörler mutlaka sağlam ekipman ile değiştirilmelidir.

3. İzolasyon Hatasının Tespiti

İzolasyon hatası, yapılan periyodik kontrollerde, gözle muayene sonucu tespit edilebilir. Şekil 4'te, sigorta kartuşlarının girişlerini köprülemek için kullanılan, açıkta bırakılmış baralar görülmektedir. Bu tür kusurlar görüldüğü an sistem enerjisiz bırakılmalı ve gerekli onarım işlemi derhal uygulanmalıdır.

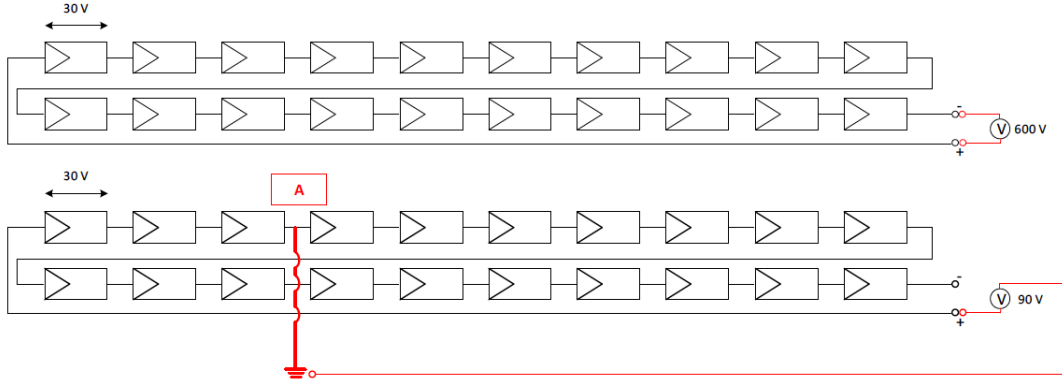


Şekil 4. Açıkta bırakılmış iletkenler

Gözle muayene ile tespiti mümkün olmayan izolasyon hataları (mesela; fotovoltaik modül ile çatı arasında kalan kablo izolasyon kusurları), fotovoltaik sistemlerde bulunan ve DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştüren eviriciler tarafından tespit edilir. Bir eviriciye birden fazla fotovoltaik dizi irtibatlanır. Örneğin altı adet fotovoltaik dizinin irtibatlandığı evirici, dizilerden herhangi birinde izolasyon hatası olması halinde hatanın hangi dizide olduğunu tespit edemez. Bu durumda enerji üretimini durdurarak tamamen devreden çıkar.

Böyle bir durumda istenilen, hatalı dizinin tespit edilerek devreden çıkarılması, böylelikle eviricinin kalan dizilerle enerji üretimine devam etmesidir. Burada prensip, hatanın noktasal olarak tespitidir. Herhangi bir izolasyon hatası durumunda, evirici giriş ve çıkış bağlantılarını açar ve enerji üretimini keser. Enerji üretiminin durmasına müteakip, aşağıdaki hususlar oluşur [4];

- Fotovoltaik sistemde izolasyon hatası oluşması halinde, eviriciye bağlı tüm diziler sistemden ayrılır. Arıza öncesi örneğin dizide seri bağlı yirmi adet fotovoltaik modül varsa, her birinin çalışma gerilimi de 30 V ise, dizi voltajı 600 V demektir (Şekil 5).
- Sistemde izolasyon hatası oluştuğunda, voltmetre ile dizi voltajı ölçülür. Bu durumda artık dizi voltajı 600 V olarak ölçülemez. Çünkü sistemde bir noktada toprak teması vardır.
- Hata durumunda, örneğin Şekil 5'te görüldüğü üzere, A noktasından toprağa bir temas var ise, ölçülen dizi voltajı 90 V olur.
- Dizi voltajının 90 V ölçülmesi, her bir fotovoltaik modül 30 V gerilim ürettiğine göre, 3. fotovoltaik modül ile 4. fotovoltaik modül arasında bir noktada toprak ile temas oluşmuş anlamına gelir (Şekil 5).
- Böylelikle hatanın yeri tespit edilmiş olur.
- Bu ölçüm, her bir dizi için ayrı ayrı yapılarak hatalı dizi ve hatanın lokasyonu (hangi fotovoltaik modüller arasında oluştuğu) belirlenir.

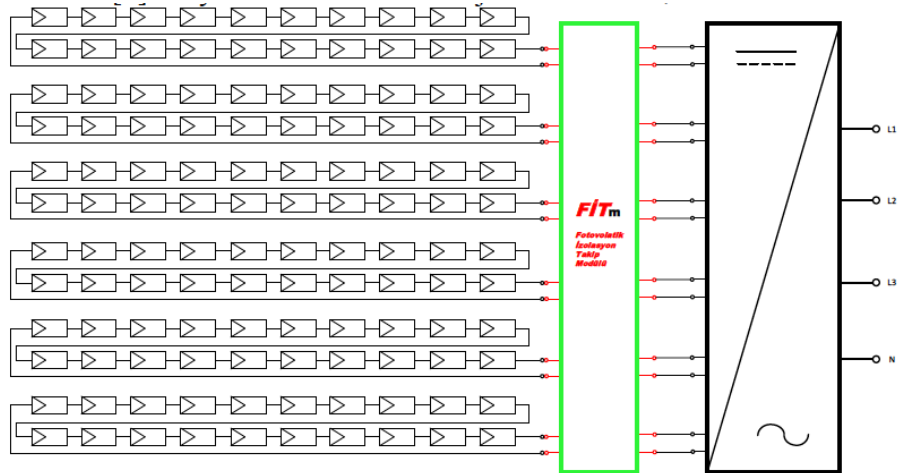


Şekil 5. Fotovoltaik dizilerde; hatasız çalışma durumunda (üstte) ve izolasyon hatası durumunda (altta) voltaj ölçümü [4]

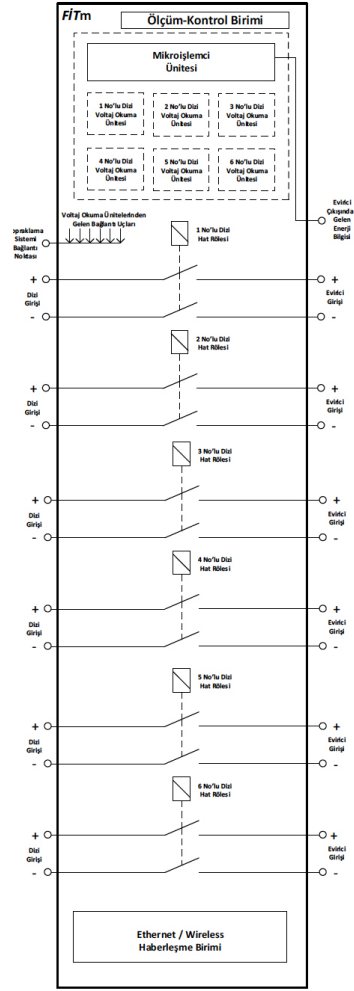
4. İzolasyon Hatası Tespit Cihazı

Yukarıda bahsi geçen prosedürü manuel olarak yapmak, her zaman kolay olmayabilir. Şöyle ki; hatanın ortaya çıkmasına sebep olan, örneğin yağmur suyu gibi unsurlar, operatörün ölçüm için intikaline kadar geçen sürede buharlaşabilir. Bu durumda, izolasyon hatasının tespit edilmesi zorlaşır. Ayrıca, izolasyon hatasının olduğu diziye sahip evirici, tamamen devre dışı kaldığından, üretim de düşer. Bu tür durumlara karşı, bu çalışmada önerilen *FİTm* Fotovoltaik İzolasyon Takip Modülü kullanılabilir. Cihaz, Şekil 6'da verilen prensip kurulum şemasına sahiptir.

Şekil 6'da; solda fotovoltaik modül dizileri, ortada *FİTm*, sağda ise evirici görülmektedir. Tasarlanan sistemde, fotovoltaik diziler önce *FİTm*'e irtibatlanmakta, sonrasında *FİTm* çıkışı üzerinden her bir fotovoltaik dizi eviriciye bağlanmaktadır. Şekil 7'de ise, *FİTm* iç yapısı verilmiştir. *FİTm*, bağlı olduğu eviriciye tesis edilen her bir dizinin ürettiği gerilimi, bünyesindeki voltaj sensörleri ve mikroişlemci ünitesi ile kontrol ederek, herhangi bir diziye tesis edilmiş fotovoltaik modüllerin kabloları veya konektörleri ile koruma iletkenleri arasında bir temas olması halinde, hatalı diziyi eviriciden ayırır ve böylelikle eviricinin enerji üretmesine devam etmesini sağlar. Ayrıca *FİTm*, yine bünyesindeki Ethernet/Wireless Haberleşme Birimi üzerinden, arızalı diziyi ve arızanın oluşum noktasını, uzak terminaldeki operatöre bildirir [4]. Böylelikle eviricinin enerji üretim süreci, azalmakla birlikte devam eder.



Şekil 6. *FİTm* kurulum prensip şeması [4]



Şekil 7. FITm iç yapısı [4]

5. Sonuç ve Öneriler

İzolasyon hatası, tüm elektrik sistemlerinde sonuçları itibariyle önemli sorunlara yol açabilen bir durumdur. Fotovoltaik sistemlerde, özellikle kablo kılıfının sıyrılması veya bağlantı konektörlerinin çatlaması-kırılması neticesinde, sistemde izolasyon hataları ortaya çıkabilir. Yapılan bu çalışmada, gözle muayenede tespiti zaman zaman zor olabilen, ayrıca hemen müdahale edilmediği takdirde tespiti zorlaşan ve santralin enerji üretiminde önemli ölçüde düşüşe neden olabilen izolasyon hatalarının, otomatik olarak tespiti ve uzak terminal operatörüne bildirmesi amacıyla tasarlanan FITm Fotovoltaik İzolasyon Takip Modülü'nden bahsedilmiştir. Fotovoltaik santrallerde son derece önem arz eden izolasyon hatasının otomatik olarak tespiti ve santralin önemli oranda enerji üretim düşüşüne uğraması için, patentleşme aşamasında olan modülün, ilerleyen süreçte prototip olarak hayata geçirilmesi, sonrasında gerekli düzeltme ve modifikasyon işlemleri sonrası ticari ürün haline getirilmesi hedeflenmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] http://direnc.blog/wp-content/uploads/2019/04/20190409_Elektrik-%C4%B0statistikleri.pdf (Erişim tarihi: 01.08.2019)
- [2] https://www.youtube.com/watch?v=8ssYU3z1_3k (Erişim tarihi: 01.08.2019)
- [3] <http://www.acsolarwarehouse.com/news/solar-fires-dc-arc-faults-on-solar-systems/> (Erişim tarihi: 01.08.2019)
- [4] Çetin E., 2017. "Fotovoltaik Santrallere Yönelik Dizi İzolasyon Hatası Tespit Cihazı", Buluş Bildirim Raporu, Türk Patent ve Marka Kurumu, Başvuru No: 2017/16112.

FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE TOPRAKLAMA VE YILDIRIMA KARŞI KORUMA SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROLÜ

¹Engin Çetin

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü,
Pamukkale / Denizli
engincetin@pau.edu.tr

Özet

Elektrik tesislerinde topraklama; Türkiye gibi alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi TT sistem prensibine dayanan, yani faz iletkeni ile koruma iletkeninin teması halinde minyatür devre kesici, güç şalteri, kaçak akım rölesi gibi koruma ekipmanının tetiklenmesi, ancak topraklama tesisatı üzerinden akacak hata akımına bağlı olan sistemler için son derece önemlidir. Yıldırıma karşı koruma sistemleri ise, bir elektrik tesisinin yıldırım deşarjına maruz kalmamasını sağlayan ve de topraklama sistemi ile entegre olması nedeniyle önem arz eden unsurlardır. Bu çalışmada, fotovoltaik santrallerin topraklama ve yıldırıma karşı koruma sistemlerinin bakım ve test-ölçüm prosedürlerinden bahsedilmiştir. Özellikle ilgili yapıların periyodik kontrolleri, toprak geçiş direnci ölçümleri ve bu muayene, test ve ölçümlerin mevcut fotovoltaik santral uygulamaları üzerinden değerlendirilmesi hususları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik santral, topraklama, yıldırıma karşı koruma, periyodik kontrol.

1. Giriş

Fotovoltaik sistemler, enerji ihtiyacının tüm Dünya’da artması ile birlikte, temiz, yenilenebilir ve de modüler olmaları itibarıyla, enerji üretim sistemleri arasında önemli bir konuma ulaşmıştır. Bu tür sistemleri kullanarak, istenilen güçte ve de istenilen konumda (karasal ya da deniz-göl kurulumları) santral kurulumu yapmak mümkündür. Sanılanın aksine, enerji üretimi için, fotovoltaik santrallerin doğrudan güneş ışınımına ihtiyacı da yoktur. Verimleri düşmekle birlikte, aydınlık bir ortamda da fotovoltaik santraller üretim yapabilir. Çevreye etkilerine dair hususlar göz önüne alındığında ise; fotovoltaik santrallerin herhangi bir atık içermemeleri, görüntü ve gürültü kirliliği yaratmamaları, diğer enerji üretim kaynaklarıyla kıyaslandığında, önemli birer avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kurulum maliyetleri watt başına yaklaşık 1.2 USD olan (iletim hattı hariç) fotovoltaik santrallerin, açık alanda çalışmaları itibarıyla; yağmur, dolu, rüzgar, yıldırım gibi bir çok doğa olayına da maruz kaldıkları bilinmektedir. Kurulum maliyetleri görece yüksek olan fotovoltaik santrallerin, bahsi geçen doğa olayları arasında, yıkıcı etkileri

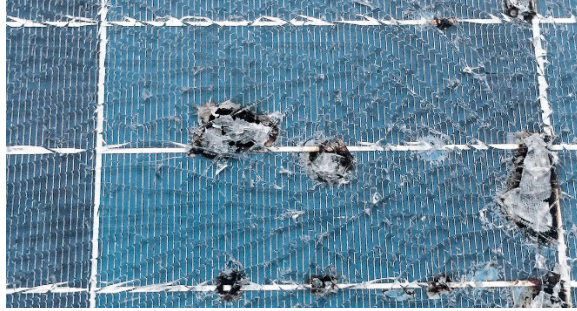


oldukça yüksek olan yıldırım deşarjına karşı korunmaları son derece önemlidir. Koruma uygun koşullarda yapılmadığı takdirde, hem santralin kendisi, hem de santralin monte edildiği yapı bloğu (konut, fabrika v.b.) ciddi oranda zarar görebilir. Şekil 1’de, yıldırım deşarjına maruz kalmış bir fotovoltaik santral (çatı uygulaması) görülmektedir.



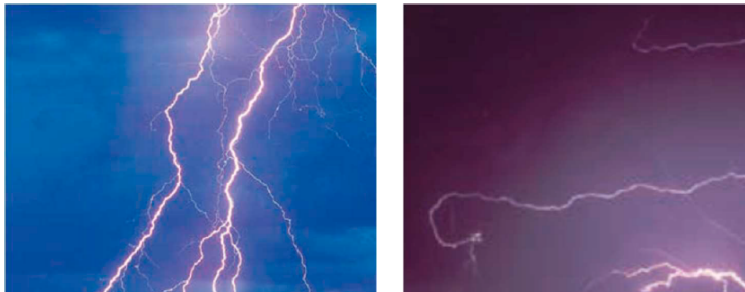
Şekil 1. Yıldırım deşarjına maruz kalmış bir fotovoltaik santral [1]

Yıldırım deşarjına maruz kalan 30 kWp’lik bir fotovoltaik santralin fotovoltaik modüllerinin (Şekil 2) çıkış gücündeki %5’lik yıllık kayıp, beraberinde santralin üreteceği enerjide de yine yıllık 1.500 kWh’lik bir azalmayı getirebilir [2]. Santralin kilowatt-saat başına 13.3 USD/cent’lik bir kazancı olduğu (vergiler hariç) düşünüldüğünde, yıllık kayıp 200 USD civarında olacaktır. Çıkış gücündeki kayıp oranı arttıkça, santral karlılık oranının düşeceği de ortadadır. Bu duruma, hasarlı ekipman değişim bedeli de ilave edilmelidir.



Şekil 2. Yıldırım deşarjı sonrası hasar gören bir fotovoltaik modül [2]

Yıldırım deşarjı bulutlardan yerküreye doğru olabileceği gibi, yerküreden bulutlara doğru da olabilir (Şekil 3). En sık karşılaşılan durum, bulutlardan yerküreye doğru yıldırımın deşarj olması ise de, fotovoltaik santraller gibi elektromanyetik alanın yoğunlaştığı endüstriyel tesisler, GSM istasyonları, radyo link istasyonu gibi lokasyonlarda, yıldırım deşarjı tesisten bulutlara doğru da olabilir (3). Yıldırım deşarjları içerisinde en yıkıcı etkiyi, yerküreden (tesisten) bulutlara doğru oluşan deşarjlar yapar. Böyle bir durumda, deşarjın kaynağı niteliğindeki tesis, çok büyük hasar görebilir.

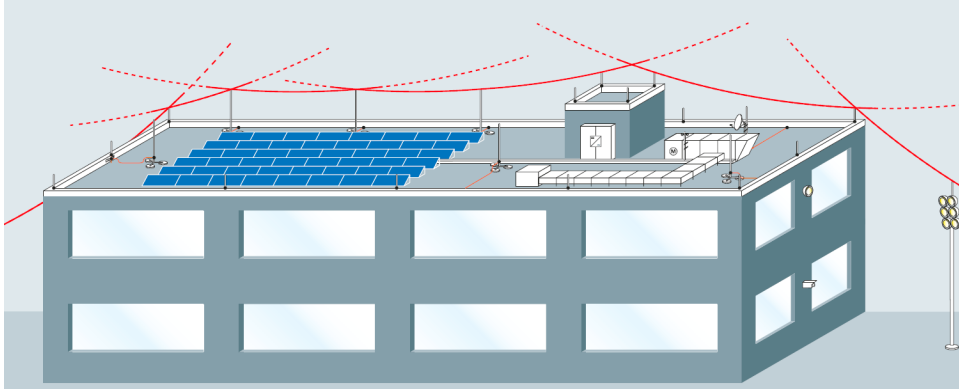


Şekil 3. Bulutlardan yerküreye (solda) ve yerküreden bulutlara doğru (sağda) oluşan yıldırım deşarjları [3]

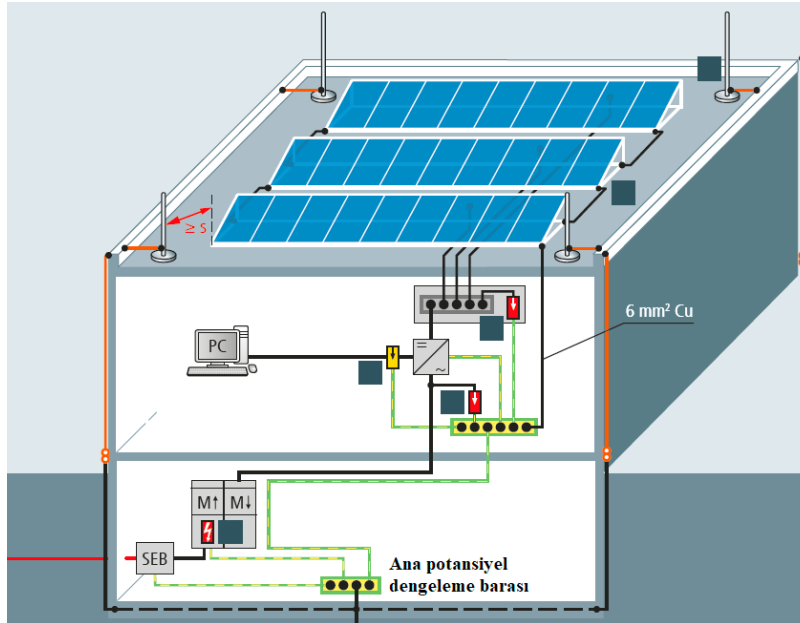
Yıkıcı etkileri büyük olan yıldırım olayından fotovoltaik santrallerin etkilenmemesi için, öncelikle standartlara uygun bir topraklama sistemi kurulması, bu sisteme de tesis tipine göre parafudr ve yakalama ucu tesis edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yıldırıma karşı koruma sisteminin kurulumu ve devreye alınması sonrası yapılacak ölçümler de büyük önem taşır. Sistem bileşenlerinin periyodik olarak gözle muayenelerinin yapılması, ayrıca tesisat test cihazı ve meger ile ölçümlendirilmesi şarttır. İlerleyen bölümlerde, konu ile ilgili detaylı bilgilendirme yapılmıştır.

2. Fotovoltaik Santrallerde Topraklama ve Yıldırıma Karşı Koruma

Fotovoltaik santrallerin topraklama sistemleri, kuruldukları lokasyonun özelliklerine göre değişir. Santral eğer Şekil 4'te görüldüğü gibi, mevcut bir yapı bloğunun çatısına (konut, fabrika v.b.) tesis edildiyse, fotovoltaik modüllerin alüminyum çerçeveleri, fotovoltaik modüllerin yerleştirildiği konstrüksiyon ve sistemdeki tüm koruma iletkenleri, tesisin ana potansiyel dengeleme barasında, Şekil 5'te görüldüğü üzere birleştirilmelidir. Ana potansiyel dengeleme barası, 30 mm x 3.5 mm galvanizli çelik şerit veya ϕ 10 mm iletken ile (Şekil 6), tesisin temel topraklama sistemine irtibatlanır. Temel topraklama ihtiva etmeyen tesislerde, yine aynı tip iletkenler, halka topraklama sistemine entegre edilir.



Şekil 4. Çatı montajlı bir fotovoltaik santral [3]



Şekil 5. Santral koruma iletkenlerinin ana potansiyel dengeleme barasında birleştirilmesi [3]



Şekil 6. ϕ 10 mm iletken kullanılarak ana potansiyel dengeleme barası ve halka topraklama sisteminin irtibatlanması [4]

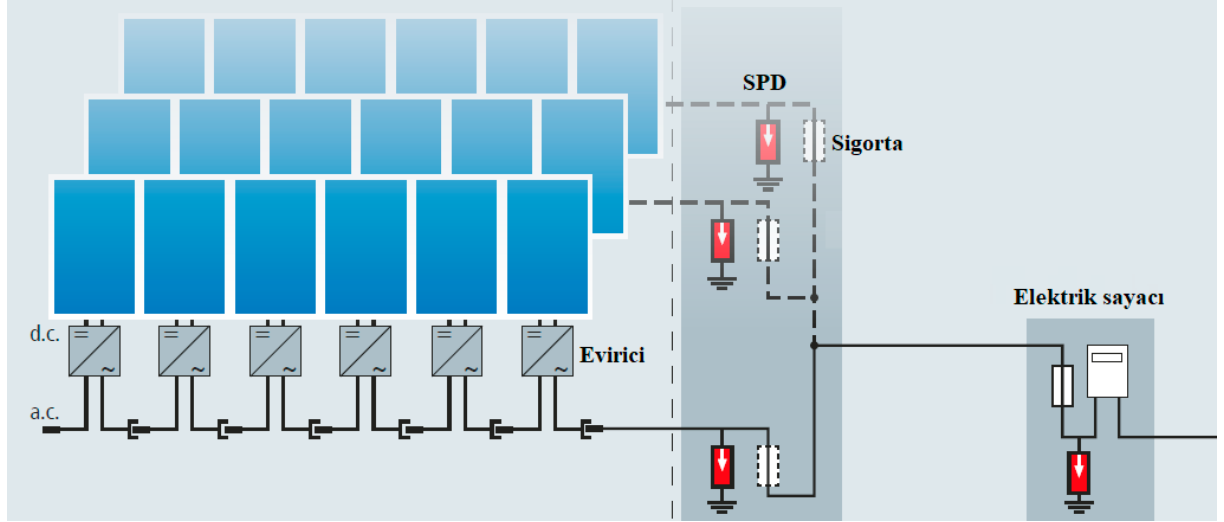
Saha montajlı fotovoltaik santrallerde ise; yüzeyden 50 cm derinlikte 20 m x 20 m veya 40 m x 40 m boyutlu gözler (mesh) oluşacak şekilde kanallar açılarak, bu kanallara 30 mm x 3.5 mm galvanizli çelik şerit veya ϕ 10 mm iletken tesis edilir (Şekil 7). Bu şekilde yapılan topraklama ağına, yukarıda bahsedildiği üzere, ana potansiyel dengeleme barası üzerinden tesisteki tüm metal aksam irtibatlandırılır. Şekil 4, 5 ve 7’de görüldüğü üzere, kurulan topraklama sistemi, santral sahasını koruyacak şekilde yerleştirilen yakalama uçları ile de irtibatlı olmalıdır.



Şekil 7. Saha montajlı fotovoltaik santrallerde topraklama ve yıldırıma karşı koruma sistemi [3]

Topraklama sistemi ve yakalama uçlarının yanı sıra, tesisteki şalt ekipmanının, elektronik sistemlerin ve insan hayatının korunması için, alçak gerilim parafudrları (SPD: Surge Protection Device) kullanılmalıdır. Uygun deşarj akımı değerlerinde seçilen SPD’ler, herhangi bir yıldırım deşarjı halinde kısa devre olup, santral ekipmanını ve operatörleri, yıldırım deşarjının etkilerine karşı korur. Fotovoltaik modül çıkışlarında DC tip SPD kullanılırken, DC gerilimi AC gerilime dönüştüren evirici çıkışlarında ise AC tip SPD üniteleri tesis edilir. Fotovoltaik santralde transformatör ünitesi varsa, yani santral yüksek gerilim seviyesinden Ulusal Enterkonnekte Şebeke’ye irtibatlanıyorsa, step-up transformatör primer terminalleri, hem yıldırım deşarjına hem de şebekeden gelebilecek

darbelere karşı koruma yapan Tip-1 SPD, santral panoları ise, şebekeden gelebilecek darbelere karşı koruma yapan Tip-2 SPD ile tesis edilir. SPD tesis edilmemesi halinde, özellikle yeryüzüne deşarj olan yıldırım darbelerine karşı santralin korunabilmesi mümkün değildir.



Şekil 8. Fotovoltaik santrallerde SPD tesisi [3]

3. Sistemin Gözle Muayenesi

Santral sahası meteorolojik her türlü olaya (yağmur, kar, dolu, rüzgar v.b.) açık yapıda olduğundan, santral metalik bileşenlerinde zamanla korozyon oluşabilir. Her ne kadar, metal ekipman korozyona karşı dirençli galvanizli ekipmandan imal edilmeli ise de, özellikle standart dışı ekipman kullanımı halinde, zamanla bu ekipman üzerinde korozyon söz konusu olabilmektedir (Şekil 9). Bu nedenle, sistem bir bütün olarak aylık bazda gözle muayene edilmeli ve varsa korozyona uğramış parçalar, yenileri ile değiştirilmelidir. Böylelikle, topraklama ve yıldırıma karşı koruma sisteminin iletkenliği, tam manasıyla sağlanmış olur. Aksi takdirde, yıldırım deşarjının korozyon sonrası direnç artışı olan bir iletken üzerinden yol bulmaya çalışması, tesisi özellikle mekanik ve termal anlamda ciddi boyutlarda zorlayacaktır.



Şekil 9. Korozyona maruz kalmış bir iniş iletkeni [5]

Tesiste konuşlu SPD üniteleri de, yine aylık rutin kontrollere dahil edilmelidir. Bu üniteler, yıldırım deşarjı sırasında görevini yaparak sistemi korur. Ancak bazen, koruma sonrası dahili kartuşlar arızalanabilir. Bu durum, SPD üzerindeki sinyal klemensinden alınan alarm çıkışı ile operatöre bildirilir. Bu bildirim yapılamayacağı ciddi bir sistem hasarı varsa veya tesiste elektronik uyarı sistemi yoksa, arızalı SPD kartuşu kontrol penceresindeki



renğin sarı-yeşil'den kırmızıya dönmesi ile birlikte, operatörün gözle muayenesi esnasında fark edilebilir (Şekil 10). Bu durumda yine arızalı kartuşun yenisi ile değişimi yoluna gidilir.



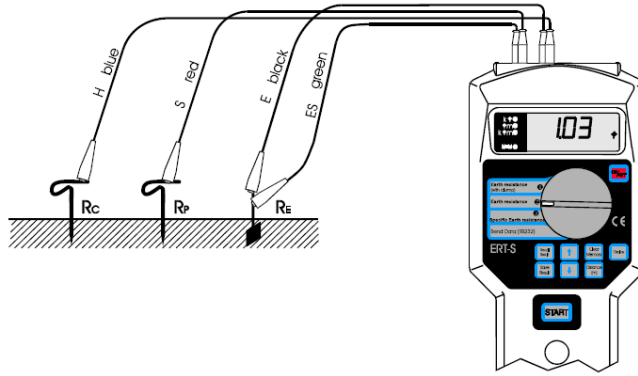
Şekil 10. SPD ve kontrol penceresi [3]

4. Toprak Geçiş Direnci Ölçümleri

Fotovoltaik santrallerde yer alan topraklama ve yıldırıma karşı koruma sistemlerinin elektriksel yönden muayenesinin de yapılması gerekir. Bu noktada, sistemin toprak geçiş direncinin ölçülmesi yoluna gidilir. Yapılacak ölçümler; yakalama ucu iniş iletkenleri ile potansiyel dengeleme baraları üzerinde gerçekleştirilir. Ölçümler, Şekil 11'de verilen toprak megeri ile yapılır. Toprak megeri yerine, aynı işlevi gören elektriksel tesisat test cihazı da kullanılabilir. Toprak megerinin, Şekil 12'de görüldüğü üzere, iki probu ölçüm yapılacak noktaya, diğer iki probu ise ayrı ayrı toprağa yerleştirilmiş elektrodlarla irtibatlanır. Ölçüm yapılır ve elde edilen sonuçlar kaydedilir. Ölçüm sonucunda elde edilen toprak geçiş direnci değeri 1Ω 'u geçmemelidir. Gerek potansiyel dengeleme barasından yapılan ölçümlerde, gerekse yakalama ucuna ait iniş iletkeninden yapılan ölçümlerde, ölçümün sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için, her iki iletkene bağlı tüm metal aksam devreden çıkarılmalıdır. Yıldırım iniş iletkeninde bu durum, test klemensinden sistemin ayrılması şeklinde yapılır (Şekil 13).



Şekil 11. Toprak megeri, kabloları ve elektrodları [6]



Şekil 12. Toprak megeri ölçüm bağlantısı [7]



Şekil 13. Test klemensi ve iniş iletkeni [4]

5. Sonuç ve Öneriler

Fotovoltaik santraller, açık sahada bulunmaları ve yıldırım deşarjına maruz kalma risklerinin bulunması nedeniyle, hem topraklama hem de yıldırıma karşı koruma sistemleri anlamında uygun yapılarla donatılması zorunlu sistemlerdir. Tesis edilen koruma sistemleri de, altı aylık periyotlar halinde elektriksel olarak (toprak megeri ya da elektriksel tesisat test cihazı ile), aylık periyotlarda da gözle muayene edilmeli ve elde edilen sonuçlar raporlanmalıdır. 1 Megawatt yaklaşık 1.2 milyon USD civarında olan, yatırım maliyeti yüksek bu türden sistemlerin hem maliyetler anlamında hem de insan hayatının güvenliği için, bu tür test ve muayenelere tabi tutulması gerekir. Ülkemizde bu türden kontrollerin yapıldığı bilinmektedir. Ancak, bu kontrollerin yukarıda bahsi geçen koşullar dahilinde yapılmasının gerekliliği de ortadadır.

Bütün bunların dışında, santral yıldırıma karşı koruma sistemlerinde çoğunlukla sadece birkaç aktif paratoner ile koruma yapıldığı görülmektedir. Bu durum, santral sahasına deşarj olacak yıldırım sayısının minimuma çekilebilmesi için, “Rolling Sphere” metoduna ve tesis koruma sınıfına göre belirlenecek sayıda yakalama ucu ile yerine getirilmelidir. Aksi takdirde, santral sahasına yıldırım isabet riski artmış olacaktır.



6. Kaynaklar

- [1] <https://www.waaree.com/lightening-arrestor-or-surge-protection>
- [2] <https://www.raising-power.de/real-cases/?lang=en>
- [3] DEHN, 2014. “Lightning Protection Guide”, 3rd Updated edition, Publication No. DS702/E/2014, ISBN 978-3-9813770-1-9, 489 p.
- [4] Öztürk H. K., 2009. Yenilenebilir Enerji Tesisleri İçin Örnek Bir Yıldırımdan Korunma Sisteminin Tasarlanması ve Uygulanması, Tübitak Proje Raporu, Proje No: 108E158, 56 s.
- [5] Ghavamian A., Maghami M. R., Dehghan S. And Gomes C., 2015. “Concerns of corrosive effects with respect to lightning protection systems”, Engineering Failure Analysis, 57 (2015) 434–443.
- [6] Çetin E., 2015. “AG Elektrik Tesisat Test ve Ölçümleri”, EMO Yayın No: GY/2015/617, ISBN 978-605-01-0802-6.
- [7] ERT-S, 2002. “User Manuel Earth Resistance Tester”, Nieaf Smitt bv, Utrecht, ©1997-2002, p.39

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KURULUM, BAKIM VE ONARIM, RİSK ETMENLERİ

¹Harun Kemal Öztürk, ²Atilla Karadavut

¹Harun Kemal ÖZTÜRK, Pamukkale University, Faculty of Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey,
hkozturk@pau.edu.tr

²Atilla KARADAVUT, Pamukkale University, Faculty of Engineering,
Department of Chemical Engineering, Denizli,, Turkey,

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en büyük potansiyele sahip enerji kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma dünyada yaygınlaşmaya başlayan ve temiz enerji üretme hususunda önemli bir yere sahip olacağı düşünülen fotovoltaik sistemler ve bakımı ele alınmıştır. Gelişen teknoloji ile toplumların enerji ihtiyaçları en uygun biçimde fosil yakıtlar başta olmak üzere, güneş enerjili sistemlerle de sağlanmaya çalışılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin, dünyanın birçok yerinde uygulanabilir olması da avantajları arasında sayılmaktadır. Fotovoltaik sistemler, sessiz ve temiz enerji kaynaklarıdır. Enerjinin devamlılığının sağlanabilmesi için de belirli prosedürlerle birlikte bu sistemlerin bakımı çok önemlidir. Hangi tür bakımın yapılacağı çevresel faktörler göz önüne alınarak belirlenir. Fotovoltaik sistemlerin bulunduğu ekosistem bu aşamada önemli bir kriterdir. Böylelikle sistem parçalarının her birinin bakımı, alınan önlemlerle, bakım hususlarıyla ve uygun maliyetlerle başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi; Fotovoltaik Sistemler, Bakım; İşletme ve Bakım;

1. Giriş

Fotovoltaik sistemlerde kurulum yapacak birime, güvenilir bir hizmet sunmayı sağlamaya yardımcı olacak doğru malzemeleri, ekipmanları ve kurulum yöntemlerini seçmesi için öneriler listesi oluşturmak, sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Bu öneriler, önceden tasarlanmış sistem tasarımlarını değerlendirmek için kullanılabilir. Bir tedarikçiden diğerine sistem özellikleri karşılaştırılmalıdır (Davis, 2001).

Operasyon ve Bakım (O&B), sistem maliyetini düşürmek ve fotovoltaik sistemlerin (PV) etkinliğini artırmak amacıyla dikkate alınmaktadır. Rapor edilen O&B maliyetleri çok değişkendir ve O&B planlaması ve sunumu için daha standart bir yaklaşım maliyetleri öngörülebilir hale getirilebilir. O&B tekliflerinin daha verimli bir şekilde planlanması ve sunulması, maliyeti 0-40 \$/ kW/ yıl arasında değişen bir miktarda performansını artırmaktadır. Kapsamlı O&B'nin, sistemin ortalama performans oranını %88'den %94'e yükseltebileceğini göstermektedir. PV O&B'yi geliştirmeye yönelik aşamalar arasında şunlar yer almaktadır:



- Verimlilik ve enerji dağıtımını artırmak (kWh/kW),
- Arıza süresini azaltmak (saat/yıl),
- Sistem ömrünü uzatmak (25 ila 40 yıl arası),
- O&B maliyetini azaltmak (\$/ kW/ yıl),
- Güvenliği sağlamak ve riski azaltmak (NREL, 2016).

PV Bakımı, dört bakım prosedürünü içermektedir:

1.1 Bakım İdaresi (Yönetimi)

Bu, “Operasyon İdaresi” ile örtüşür, bakım hizmetlerinin ve sonuçlarının etkin bir şekilde uygulanmasını, kontrolünü ve belgelenmesini sağlamaktadır. Bütçe oluşturmak ve önleyici bakım için fon sağlamak, düzeltici bakım için rezervler, müşterilere yazışma, servis tedarikçileri ve ekipman üreticileri ile seçme ve sözleşme yapma, kayıt tutma, garantilerin uygulanması, yeni sistem tasarımlarına geri bildirimde bulunmak ve sistem performansı ve O&B programının etkinliği hakkında raporlama bakım yönetimi içerisinde yer alır(NREL, 2016).

1.2 Önleyici Bakım

Önleyici bakımın zamanlaması ve sıklığı, işlemler fonksiyonu tarafından belirlenmektedir. Ekipman tipi, garanti şartları, sahadaki çevresel koşullar (örneğin, deniz, kar, polen, nem, toz, yaban hayatı) gibi bir dizi faktörden etkilenmektedir. Düzenli bakım genellikle, üreticinin ekipman garantilerinin gerektirdiği şekilde uyması için aralıklarla yapılmaktadır.

1.3 Düzeltici Bakım

Hasarları onarmak veya arızalı bileşenleri değiştirmek için gereklidir. İnvörtör veya iletişim hattı resetlenmesi gibi bazı düzeltici bakımları uzaktan yapmak mümkündür.

1.4 Koşul Temelli Bakım

Koşul temelli bakım, temizlik gibi önleyici önlemler planlamak veya arızaları önceden tahmin etmek veya erken yakalamak suretiyle düzeltici bakım sorunlarını gidermek için veri kaydedicilerden gerçek zamanlı bilgileri kullanma uygulamasıdır. Koşulla tetiklenen önlemler önleyici ve düzeltici önlemlerle aynı olduğundan, ayrı olarak listelenmezler. Aksine, koşul temelli bakım, bu önlemlerin gerçekleştiği zaman, önleyici tedbirlerin sıklığının azaltılmasına ve düzeltici önlemlerin etki ve maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlar (NREL, 2016).

1.5 Fotovoltaik Modüller ve Güneş Enerjisi Santrallerinde Standartlar

Fotovoltaik sistemler, imalat sürecinden başlayarak birçok süreçten geçmektedir. Şekil 1.1’de bu süreçler şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.1 Fotovoltaik Modül Akış Şeması (TSE, 2017)

1.6 Fotovoltaik (FV) Modüller Standartları ve Deneyleri

Fotovoltaik panellerin tasarım, işletme için gerekli kriterleri içeren standartlardır

■ **TS EN 61215** “ Kristalin Silikon Karasal Fotovoltaik (PV) Modüller-Tasarım Değerlendirmesi ve Tip Kabulü”

■ **TS EN 61646** “ İnce filmlili düz alanlı fotovoltaik modüller-tasarım nitelikleri ve tip onayı”

Güvenlik Standartları: Fotovoltaik modüllere ilişkin temel güvenlik kriterlerini içeren standartlardır.

■ **TS EN 61730-1** “Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği- Bölüm 1- Yapım özellikleri”

■ **TS EN 61730-2** “Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği- Bölüm 2- Deney özellikleri”

■ **TS EN 61345** “Fotovoltaik (PV) Ünitelerin Uv Deneyi”

■ **TS EN 62716** “Fotovoltaik (PV) Modüllerin Amonyak Paslanma Deneyi”

■ **TS EN 61701** “Fotovoltaik (PV) Modüllerin Tuzlu Su Korozyon Deneyi”

■ **IEC 62782** “Fotovoltaik Modüllerin Mekanik Yük Testi” (TSE, 2017).

1.7 Standard Kapsamındaki Fotovoltaik Modül Deneyleri

■ Göz Muayenesi (Visual inspection)

■ En Yüksek Güç Tayini (Maximum power determination)

■ Yalıtım Deneyi (Insulation test)

■ Sıcaklık Katsayılarının Ölçülmesi (Measurement of temperature coefficients)

■ Normal İşlem Hücre Sıcaklığının Ölçülmesi (Measurement of nominal operating cell temperature NOCT)

■ Standard Deney Şartları ve Normal İşlem Hücre Sıcaklığında Performans (Performance at STC and NOCT)

■ Sıcak Leke Dayanımı Deneyi (Hot-spot endurance test)

■ Ultraviyole Şartlandırma Deneyi (UV preconditioning test)

■ Isıl Çevrim Deneyi (Thermal cycling test)

■ Nemlenme - Donma Deneyi (Humidity-freeze test)

■ Bağlantı Uçları Sağlamlık Deneyi (Robustness of terminations test)

■ Mekanik Yük Deneyi (Mechanical load test)

■ Dolu Deneyi (Hail test)

■ Köprüleme Diyodu Isıl Deneyi (Bypass diode thermal test) (Haney, 2013)

1.8 Malzeme Kalitesi (Önerileri)

■ Dış mekanda kullanılan malzemeler güneş ışığına/ UV ışınlarına dayanıklı olmalıdır.

■ Çatıdaki tüm delikler için üretan sızdırmazlık malzemeleri kullanılmalıdır.

■ Malzemeler maruz kaldıkları sıcaklıklara dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.

■ Deniz ortamların da ve yüksek kaliteli bağlantı elemanlarında paslanmaz çelik kullanılmalıdır. Birbirine benzemeyen metaller (çelik ve alüminyum gibi) iletken olmayan pullar veya diğer yöntemler kullanılarak birbirlerinden izole edilmelidir.

■ Korozyona dayanıklı alüminyum, (6061 veya 6063)

■ ASTM A 123 uyarınca sıcak daldırma galvanizli çelik

1.9 Ekipman Önerileri ve Kurulum Yöntemleri

■ Tüm elektrikli ekipmanlar, uygulama için gerekli voltaj ve akım değerleri için listelenmelidir.

■ PV modülleri listelenmeli ve en az 20-25 yıl garantili olmalıdır.

■ İnverterler listelenmeli ve en az 5 yıl garantili olmalıdır.

■ Tüm açık kablolar veya borular güneş ışığına dayanıklı olmalıdır.

■ Gerekli tüm aşırı akım koruma, sisteme dahil edilmeli ve bakım için erişilebilir olmalıdır.

■ Entegre çatı ürünleri uygun şekilde derecelendirilmelidir (örneğin, A sınıfı çatı kaplama malzemeleri)

■ Tüm kablolar, borular, açık iletkenler ve elektrik kutuları kod gereksinimlerine göre güvence altına alınmalı ve desteklenmelidir.

■ PV Dizisi saat 09:00 ve 04:00 arasında gölgesiz olmalıdır. Az miktarda gölgenin sistem performansı üzerinde orantısız derecede yüksek bir etkisi olmaktadır (Davis,2001; Gazioğlu, 2019).

1.10 Merkezi Dizi, DC Optimize Edilmiş veya Mikro İnverter Yapılandırması

Bir güneş enerjisi tesisatının ana elektrik bileşenlerinden biri olan inverter, güneş panelleri tarafından üretilen



elektriği DC'den AC'ye değiştirmektedir. Şu anda kullanılacak 2 inverter şeması vardır. İlki, tek bir merkezi inverterdir. Diğeri, tek bir dizide 2 veya daha fazla inverter kullanılan sistemdir. Mikro inverterde her bir dizinin ayrı bir inverteri vardır. Merkezi inverterin ömrü 3 yıl olmasına karşın standart sapması ile 10 yıldır. Bu merkezi inverter kullanım için, ömrü çok büyük bir sorun teşkil etmektedir (Shapiro, 2017).

Sistemi çalıştırma ve bakım, inverter sisteminin bağlantısına bağlıdır. Bir mikro inverter için kapasite Watt başına maliyet, merkezi invertere göre daha yüksektir. Farklı inverter tipleri farklı arıza ve değiştirme profillerine ve üretim üzerinde farklı etkilere sahiptir (NREL, 2016).

Tablo 1.1: İnverter Çeşitleri ve Maliyetleri

İnverter Çeşitleri	20 Yılda Değiştirme Maliyeti(\$/W)
Dizi İnverter	0.30
DC Optimizer	0.02-0.06
Merkezi İnverter	0.19
Micro İnverter	0.51

Sağlam bir O&B planı, inverter arızasını hesaba katmalıdır. Çünkü PV sistem performans kaybının en sık nedenlerinden birisi inverter arızalarıdır (EPRI 2010). İnverterler için en iyi önleyici bakım, üreticinin gerekli bakımını yapmasıdır. Akım taşıyan iletken bağlantı elemanları (terminal blokları üzerindeki vida uçları) yeniden torqlama yapılarak temizlenmeli, hava filtrelerinin termal görüntülerine bakılmalıdır. Ancak inverter bakımı bunlarla sınırlı olmamaktadır. İnverter hava filtreleri, çim biçme, yüksek rüzgarlar veya tozlu koşullar sırasında çim ve tozu alacağından dolayı çim biçme yapılırken O&B planı için bir zaman dilimi oluşturmalı ve bu tozlu koşullara uyması için önleyici filtrelerin değişmesini / temizlenmesi planlanmalıdır. (NREL, 2016)

1.11 İnverterin Kapasite Testi

İnverterin (kW) verdiği güç, aşağıdaki denklemle çevresel koşulların bir fonksiyonu olarak hesaplanan PV sisteminin gücüyle karşılaştırılmaktadır;

$$P_{solar} = P_{STC} \left\{ \left(\frac{\eta_{BOS} \cdot degr}{\left(\frac{1000W}{m^2} \right)} I_c \right) \left(1 - \delta \left(\left(T_{ambient} + \frac{(NOCT-20C)}{\left(\frac{800W}{m^2} \right)} I_c \right) - 25C \right) \right) \right\} \quad (1.1)$$

burada:

Psolar = güneş enerjisi sisteminin kW cinsinden tahmini ortalama güç çıkışı, test süresi boyunca ortalama

PSTC = kW cinsinden boyut, etiket kapasitesi; STC Standart Test Koşullarını ifade etmektedir.

η_{BOS} = Sistem dengesi verimliliği; tipik olarak = 0.77 - 0.84 (NREL, 2011), ancak yayınlanmış inverter verimi ve diğer sistem detaylarına göre belirlenmektedir.

degr = Başlangıçta 1.0 olan, ancak yılda% 0.5 oranında bozulan bir yaş bozulma faktörü

Ic = Test süresi boyunca ortalama olarak, dizi düzleminde ölçülen güneş enerjisi izolasyonu (W / m2)

δ = Silikon PV modülleri için genellikle 0.004 1 / ° C düzeyinde olan ve diğer teknolojiler için daha düşük olabilen güç sıcaklık katsayısı (1 / ° C)

Tambient = ortam sıcaklığı (° C), test süresince ortalama

NOCT = üreticinin literatüründe bulunan ve genellikle 47 ° C civarında nominal işletim hücresi (NREL, 2016).

1.12 Pv Sistemine İlişkin Çatı Bakımı

Çatı sistemlerinde ilgili O&B önlemleri arasında, çatı bakımı, raf bağlantılarıyla ilgili bataryaların bakımı veya balastın çatıdaki etkileri bulunmaktadır. O&B ile ilgili hususlar çatıya önleyici bakım sağlamaktadır ve PV sistemi aktifken bu çatı sistemi bileşenlerinden herhangi birine zarar gelmesini önlemektedir. Çatı sisteminin onarımı / değişimi için PV sisteminin kaldırılması gerekebilir. Bu da PV sisteminin beklentilerini olumsuz yönde etkiler. Çatı sistemleri için kapsam ve bakım maliyeti, aşağıda tartışılan çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. [2]

Eğim : Daha fazla güvenlik ekipmanı ve eğitim gerektirmektedir. Dik bir çatı üzerinde onarım yapılması düşük

eğimli bir çatıya göre daha pahalıdır. 34:12 eğimden daha büyük eğimler için daha iyi bir standart gerekmektedir. Düşük eğimli çatılar ve dik çatılar için OSHA 1926.501 (OSHA, 2014) standartlarına bakılması gerekmektedir. Balastlanmış bir sistem düz ve alçak eğimli çatılarda kullanılabilir, ancak eğimli çatılarda kullanılamamaktadır. (NREL, 2016)

Çatı Tipi: Farklı çatı tipleri için m²'ye düşen maliyetler, ticari ölçekli çatı PV'sinde kullanılan sf tamir/değişim uygulamasına dayanmaktadır. Zemin düz çatı uygulamalarında tamamen yapıştırılmış termoplastik poliolefin (TPO), etilen propilen dien monomer (EPDM) veya polivinil klorürü (PVC) içermektedir.

Üreticiye özgü malzemelerin kullanımı, PVC, TPO ve diğer zemin tipi çatıların saç örtüleri için gerekmektedir. Saç örtü, zemine bağlanmalıdır. Tüm malzemeler ve yapıştırıcılar uyumlu olmalıdır. Bitümlü ve modifiye edilmiş bitümlü çatılarda koni biçimli metal flaşlar kullanılmalıdır. [2]

Tablo 1.2: Çatı Tipi Malzemeleri ve Onarım Maliyeti

Çatı Tipi	Tamir Malzemeleri (\$ / m ²)	Onarım İşçiliği (\$/ m ²)
Termoplastik Polyolefin (TPO)	20.00	1.0
Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM)	20.00	1.0
Polivinil Klorür (PVC)	20.00	1.0
Birleşik, Bitümlü (Zift)	15.00	1.5
Stiren-Butadien-Stiren (SBS)	20.00	1.0
Bitümlü Çatı Kaplama	15.00	1.0
Kompozit Çatı kaplama	25.00	1.0
Tahta Çatı kaplama	40.00	2.0
Arduvaz (taş) levha	50.00	1.0
Metal Çatı	50.00	0.5

Balastlı raf PV sistemleri için bu balastlı raf sisteminin ayakları altında minimum kalınlıkta bir katman içermektedir. (Şekil.1.2) En iyi uygulama, çatı zemini ile doğrudan teması önlemek için kaygan levhalı raf sistemi oluşturmaktır. (NREL, 2016)



Şekil 1.2. Rafin Doğrudan Çatı Yüzeyine Temasının Kesilmesi (NREL, 2016)

2. Fotovoltaik Modüllerde Bakım

2.1. Bakım ve İşletme Aşaması

- Günün serin saatlerinde, gözle görülür bir kirlenme birikmesi olduğunda PV dizisi temizlenmelidir.
- Her yılın 21 Mart ve 21 Eylül tarihlerinde öğlen saatlerinin yakınında güneşli bir günde, sistemin performansının önceki yılın değerlerine yakın olup olmadığını görmek için sistemin çıktısı gözden geçirilmelidir. Bu değerlerin bir kaydı tutulmalı, böylece sistemin performansında problemi kolaylıkla tespit edebiliriz (Davis,2001).
- Yer seçimi sırasında, büyüyen bitki örtüsünü de dikkate almak önemlidir. Ağaçların 20 yılda ne kadar uzun olacağını ve bunun sistemin gölgelenmesine neden olacağı hesaplanmalıdır (NREL, 2016).

2.2. Panel Temizliği

Panel temizliği, en iyi enerji çıkışını alabilmemiz için, dizinin kullanım ömrü boyunca önemlidir. Çiğlenmenin gerçekleştiği zamanda temizlik yapmak, panelleri temizlemek için en uygun zamandır. Günümüzde yüksek basınçlı püskürtme stratejisinde en iyi teknik, ticari anyonik deterjanlara sahip temizleme ekipmanlarıdır. Etkili temizleme solüsyonları, yüzey gerilimini azaltan, maliyeti düşüren, otomatik ekipmanla taşınabilen, karıştırılabilen ve toksik olmayan, güvenli ve biyolojik olarak parçalanabilen kimyasallardır. Yüksek basınçlı temizleme ekipmanlarının, büyük ölçekli dizileri temizlemek için çok etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Shapiro, 2017).

Kirlenme, PV dizisinin enerji çıkışını azaltır ve kirlenme dengesizse lokalize sıcak nokta arızalarına yol açabilir. Örneğin kuş dışkılarından kaynaklanan eşit olmayan kirlenmeyi azaltmak için çaba gösterilmelidir. Panellerin altındaki alanları, dizinin etrafındaki tavana kadar tamamen kapatmak için kuş ağıları kullanılmalıdır. Kuşların yuva yapmasını önlemek için dizinin üst kenarı boyunca kuş çivileri yerleştirilmelidir. Kuşları korkutmak için döner başlı plastik baykuş veya şahin kullanılmalıdır. Kuşların yuvalama mevsimi zamanlamasına göre plan yapılmalıdır (NREL, 2016).



(a)



(b)

Şekil 2.1. Modüllerde Kuş Hasarı (a), Kuş ağı (b) (NREL, 2016; ENERGY, 2015)

Bileşenlerin zarar görmemesi için dizi temizliğine özen gösterilmelidir.[2] Rutin kirlenme durumunda, dizinin temizliğini belirlemek için bölgeye özgü analizi yapılmalıdır. Belirlenen toz veya kir, yerel yağış ve toz özelliklerine bağlı olarak mevsimsel olabilir.

Yıllık kirlilik kayıpları % 4,3 ila % 7,5 arasında bildirilmektedir. Birçok alanda % 6 civarında kayıpları doğrulamaktadır. Çalışmalar, kirlilik nedeniyle günlük verimde % 0,05 azalma olduğu bildirilmektedir. Ağır tarımsal aktiviteye sahip bir alanda, % 0.36 / gün rapor edilmektedir. Büyük kuş popülasyonları, % 0.5 / gün gibi yüksek bir oranda kayıplara neden olmaktadır.[2] [8] Kirlenme ve bunun sonucunda ortaya çıkan temizlik rejimi, yerel kir kaynaklarına bağlıdır. Bazı kirlenme kaynakları, kaynağından (kuşlar, fabrikalar, şantiyeler) ortadan kaldırılabilir veya azaltılabilir (NREL, 2016).

2.3. Endüstriyel Kirlilik Kaynağı

Modül kirlenmesi, şantiye tozu gibi yaklaşık % 5'lik bir kayıpla sonuçlanan sorunlar oluşturabilir. Yemek pişirme veya üretim gibi işlemler dizi kirlenme kaynakları olabilir. Bu kir örnekleri test edilerek tespit edilebilir. Örnek

olarak, bir fritöze eklenen bir filtre, mutfaktaki egzoz havasındaki yağı azaltabilir. (NREL, 2016)

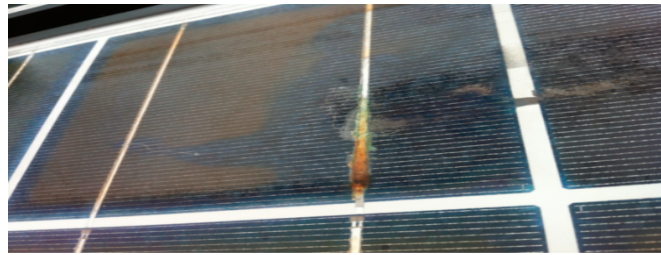


Şekil 2.2. Modül Kirlenmesi (NREL, 2016)

2.4. Kar ve Buz Temizleme

Yıllık verim kayıplarının ortalamasının % 3 civarı panellerin üzerindeki kar birikintisinden olmaktadır. Hava sıcaklığının, karın erimeye başlayacağı sıcaklık derecesinde olduğunda, dizile temas eden karın alt kısmı önce erimektedir. Ardından, panel kurulum açısına bağlı olarak kar, su haline dönüştüğünden bütün kar bloğunun diziden kaymasına neden olur. Fakat güneş battığında veya hava çok soğuk olduğunda kar kütlesi paneller üzerinde donabilir. Buz kütlesini su ile çıkartma yöntemini uyguladığımızda bir miktar buz kütlesi çıksa da panel üzerinde bulunan su yeniden buz haline dönüşüp panellere ciddi zararlar verebilir (Shapiro, 2017).

Kar, PV sistemlerinden nadiren temizlenir. Çünkü PV modüllerinde ve kablolarda hasar meydana gelebilir. Kar, 30°'den daha fazla eğimli dizilerden kayabilir, ancak eriyene kadar düşük eğimde kalmaktadır. Bununla birlikte, bazen tavan yükü sınırlarını önlemek için karı temizlemek gerekmektedir. Hafif kar yağışı için bir turbofan veya fırçalar, silecekler, kürek ve tırmıktan daha az zarar verebilir. Balastlı sistemlerde kar yükleri önemli bir yük faktörüdür. Çok ağır kar yükleri, düşük eğimli balastlı raf donanımı için (genellikle 240 kg / m² veya 50 lbs / ft²) dereceyi aşabilir. Rafa ve modüllere zarar verebilir. (NREL, 2016)



Şekil 2.3. Arka Tabakanın Çatlama veya Soyulması, Su Sızmasına ve Şerit Aşınmasına Neden Olması (NREL, 2016)

2.5. Yığıntı Atıkların Temizlenmesi

Çatı sistemlerinde, yapraklar gibi toplanan döküntüler, suyun drenajını sağlamak ve bitki örtüsü büyümesi ve çatıda iç içe geçmesini engellemek için çıkarılmalıdır. Kalıntıların giderilmesi için maliyet, genellikle tahmini temizlik maliyetine dahil edilmektedir. (NREL, 2016)

2.6. Rüzgar Hasarı

Kirlenmeye benzer şekilde rüzgar bölgesel bir konudur. Düzenlemeler nedeniyle, tüm güneş panelleri belirli rüzgar yüklerine dayanacak şekilde test edilmelidir. Genellikle rüzgar yükleri önemlidir (~ 50 + mil / saat). Alanda, rüzgar kuvveti doğrusal değildir ve güneş panellerine zarar verebilir. Panellerin tam olarak kırılması ve yerinden çıkması, rüzgarın büyük bir titreşim frekansına ulaşıldığında meydana gelmektedir. Rüzgar şekli daireseldir ve güneş panelleri altında yükselmeye neden olmaktadır. Bir dizinin en savunmasız kısmı köşeleridir. Panellerin konumuna bağlı olarak, dizinin 20-25 yıl boyunca rüzgarda zarar görmeyeceği araştırılığ hesaplanması gerekmektedir. Panellerin yeterince sağlam olup olmadığını görmek için doğru akışkan dinamiği simülasyonları gerekmektedir (Shapiro, 2017). Balastlı raflarda, ASCE-07'nin genel şartlarının üstünde, ileri rüzgar yükleme değerlendirmeleri yapılmalı-



dır. Rüzgar yüklemesi, genellikle, balastlı bir sistemin uygulanabilir olup olmadığının belirleyici bir değerlendirmesidir. (NREL, 2016)

2.7. Toprak Örtüsü

Her bir bölgenin iklim ve toprak koşullarına göre düzenlenmiş toprak örtüsü çözümleri geliştirmek ve ilk ya da ikinci işlem sırasında bu tür çözümler kurmak için yapılan yatırımlar daha uzun vadeli uygulanabilirlik sağlayabilir. Bu çözümler sayesinde gölgeleme, erozyon, aşırı ot ve bitki örtüsü azaltma maliyetlerini azaltabilir. Çakıllar (agrega) zemin örtüsü olarak kullanıldığında, düzensiz çalışma yüzeyleri oluşturmaktadır (NREL, 2016).

2.8. Vejetasyon Yönetimi

Hayvanların doğal yaşamında onları rahatsız edecek bir düzenleme yapmak iyi bir seçenek değildir. Diziye zarar veren büyük güçlü hayvanlar doğada mevcut durumda olduğundan dizilere çok büyük zarar verebilirler. Hayvanların otlatılmasında dikkat edilmesi gereken noktaların en önemlisi dizi kablolarını ve modülleri korumak olacaktır.



Şekil 2.4. Koyun, Keçi (Sığırlar Hariç), Bitki Örtüsü Kontrolü İçin Kullanılması (NREL, 2016)

2.9. İzleme Sistemi

İzleme sistemlerinin karmaşıklığı, sadece dizinin taşıyıcı parçaları üzerinde değil, aynı zamanda aktüatörler ve kontroller, ilgili sistem için daha fazla bakım gerektirir. İzleme sistemleri için ek hususlar şunlardır:

2.9.1. Çevre Koşulları

Pek çok çevre koşulu O&B'yi etkileyebilir ve birçoğu insan kontrolü dışındadır. Kirlenme, panel dizileri açısından en büyük problemler arasında yer almaktadır. Diğer bir deyişle, kirlenme sorunu olmayan alan seçilmelidir. Diğer çevresel koşullar O&B'yi etkileyebilir. Ancak insan kontrolü dışındadır. Örnekler şunları içermektedir: (NREL, 2016)

1. Nem	2. Sıcak iklim	3. Yüksek rüzgar	4. Dolu	5. Tuzlu hava
--------	----------------	------------------	---------	---------------

2.10. O&B Sağlayıcısı Yeterlilikleri Ve Sorumlulukları

2.10.1. Sağlık ve Güvenlik

ABD'de, İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA), işyeri güvenliği ile ilgili düzenlemeleri yayınlamaktadır. Sağlık ve güvenlik konuları arasında inşaat veya elektrik bakım işleri, bitki örtüsü kontrolü ve bazı PV sistemleriyle alakalı iş güvenliği yer almaktadır. Düşme koruması ve ark-parlama koruması, PV sistemlerinin bakımını yapan işçiler için özel bir öneme sahiptir. Tüm çalışanlar en azından güvenlik konusunda temel bir eğitime ve en azından her bir sisteme özgü tehlikelere karşı bir yonteme sahip olmalıdır.

Genel olarak eğitim, teftiş ve denetim fonksiyonları aşağıdakileri içerebilir:

- Kişisel koruyucu ekipmanın periyodik muayenesi
- Elektrik panolarındaki korumaların yerinde olmasından, önlemlerin alındığından emin olmak için saha incelemeleri.

Birçok O&B çalışması işlerini geceleri yapmakta ve sadece enerjisiz sistemler üzerinde çalışmaktadır. Tehlikelere bağlı olarak tüm işler için kişisel koruyucu donanım gereklidir. Ekipman kullanıcısı eğitilmelidir. PV sistemi bakımında sıklıkla kullanılan KKD, aşağıdakileri içerir:

Genel: Çoğu sahada her zaman kask, güvenlik gözlüğü, güvenlik yeleği ve iş ayakkabısı (çelik burunlu) gerekmektedir.

Düşme koruması: Yüksek yerlerde çalışmak kişisel düşme önleyici sistemleri ve çatı açıklıkları ve kenarları etrafındaki korkulukları içerebilir.

Ark-flaş koruması: Üzerinde çalışılan devrenin detaylarına göre hesaplanan ark-flaş enerjisi miktarına uygun yüz maskesi, kask, eldiven ve önlük (NREL, 2016).

2.11. Pv Dizi- Genel (kask, eldiven ve göz koruması önerilir)

- Gerilim azaltıcıların / kablo kelepçelerini doğrulamak için kabloları çekerek tüm kabloları düzgün şekilde takıldığından emin olunmalıdır.
- Dizi çatlak modüller için görsel olarak incelenmelidir.
- Modüllerin uygulama sınıfı IEC 61730'a uygun olarak: A'dır.
- Işık yoğunluğu düşük olduğunda bile, modüllerin voltajı iyi hesaplanmalıdır.
- Solar modüller, yanıcı-yakıcı gaz gibi kolay alev alabilecek maddelerin yakınına kurulmamalıdır.
- Solar modüle cam maddesi gibi davranılmalıdır, bu yüzden de taşıyıcı kap olarak kullanılmamalı ya da üzerinde yürünmemeli, üzerine herhangi bir şey konulmamalıdır. Çünkü bu görünebilir ya da görünmez hasara yol açabilir. (örneğin; hücrelerdeki küçük çatlamlar ve bununla birlikte verimde küçük aksama).
- Modül çerçeveler delinmemeli, çivilenmemeli ya da başka bir yüzeye kaynak yaparak birleştirilmemelidir. (Davis, 2001; Gazioğlu, 2019)

3. Fotovoltaik Modüllerde Arıza

3.1. DC Dizi Denetimi

Tek başına veri izlemenin doğal yanlışlıkları nedeniyle, periyodik inceleme ve testler yoluyla dizi ve modül seviyesindeki arızaları tespit etmek için DC dizisinin ikincil bir kontrolünün yapılması yaygındır. Bu denetimler için kullanılan yöntemlerden biri manuel elektriksel test yöntemidir.

3.2. Manuel Elektriksel Test

Açık devre gerilimi, çalışma akımı veya alan I-V eğrisi izleme gibi manuel elektriksel testler, DC sistemindeki izleme sisteminin tespit edemediği hataları tespit etmek için bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Test ekipmanının doğruluğu, ışınım, sıcaklık ve elektrik sensörlerinin birleşik doğruluğu ile sınırlıdır. Bu test, yalnızca önemli modül arızasına neden olan arızaları ortaya koymaktadır. (NREL, 2016)

3.3. PV Modül Bozunma Hızı

Ölçülen performansı öngörülen performansla karşılaştırırken, PV modül çıktısındaki beklenen bozulmayı tahmin sırasında zaman içinde dikkate almak önemlidir. 2000 yılından önce, bozulma oranları oldukça değişkenlik göstermesine rağmen, günümüzde bu oranlar üreticiler arasında yaklaşık aynı oranlara sahiptir.

PV modülü arızaları, kaynağa bağlı olarak % 0.025/yıl ila % 0.1/yıl bildirilen bir arıza oranıyla söylenebilir. Ölçülen ve öngörülen performans, üretici tarafından verilen bir modül bozunma değeri kullanılarak karşılaştırılabilir. Herhangi bir değer bulunmuyorsa, yeni kristal silikon ürünler için yılda varsayılan %0,5'lik bir değer varsayılabilir. Bozunma, değerlendirme sırasındaki sistemin yaşına göre hesaplanmaktadır. Ancak, yaşam döngüsü maliyet analizi için, %0.94'lük bir bozulma faktörü 25 yıllık bir ömür boyunca bozulmanın bir tahminini olarak kabul edilmektedir. (NREL, 2016)

Tablo 3.1. PV Modülü Bozulma Oranları (Fotovoltaik Bozunma Hızları – Analitik İnceleme) (NREL, 2016)

PV Modülü Tipi	Yıllık Bozunma Hızı (%/yıl)
Amorf Silisyum (a-Si)	0.87
Monokristal Silisyum (sc-Si)	0,36
Çok Kristalli Silikon (mc-Si)	0.64
Kadmiyum Tellür (CdTe)	0.40
Bakır İndiyum Galyum diselenid (CIGS)	0.96

3.4. Gözle Muayene (Visual Inspection)

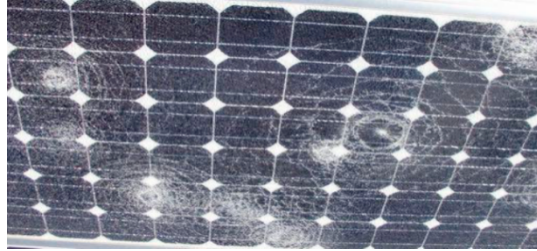
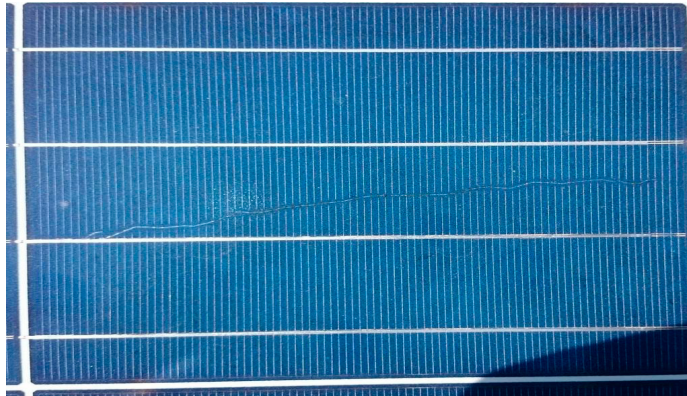
Her modül 1000 lüksten az olmayan bir aydınlanma da aşağıdaki koşullar için dikkatlice muayene edilir.

- Kırık , çatlak, eğik, yanlış hizalanmış ya da yıpranmış dış yüzeyler
- Hatalı bağlantı noktaları veya birleşmeler,
- Birbirine veya çerçeveye temas eden hücreler,
- Yapıştırıcı (flux pen) bağların bozukluğu,
- Bir hücre ve modül kenarında açıklık oluşması,
- Akım geçen elektrikli parçalara maruz kalan hatalı sonlandırmalar,
- Performansı etkileyebilecek diğer tüm koşullar (TSE, 2017).

3.5. Model Hataları

Ölçülen performans, yalnızca beklenen performans modeliyle karşılaştırıldığında anlaşılmaktadır. Modelin doğruluğu aşağıdakilerden etkilenmektedir; (NREL, 2016)

- Birleştirici ile ölçüm ekipmanları arasındaki kayıpları etkileyen kablo uzunluğu
- Modüllerin gerçek güç derecesi
- Gerçek modül uyumsuzluğu
- Gölgeleme
- Kirlenme ve panelin bozulması

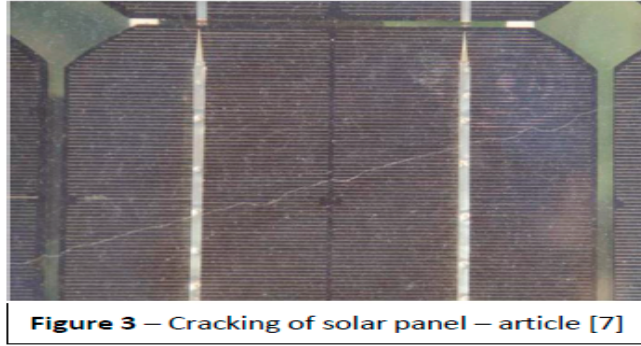
**(a)****(b)****Şekil 3.1.** Modülün Kapsüllemesinde Malzeme Ve İşçilik Hataları (a), Dizide Kırık Modüller (b) (GSES, 2016)**Şekil 3.2.** Salyangoz İzleri (TSE, 2017)

Kapsülleyici içindeki salyangoz izleri, panelin fabrika çıkışı deformasyonundan, nakliyesinden veya kurulumundan kaynaklanan problemler, hücrelerde çatlaklara neden olabilir. Panelde nem, arka tabakadan girebilir ve hücre yüzeyine yayılabilir. Burada ızgara parmaklarından gelen gümüş (Ag) eriyebilir ve EVA ile temasa girebilir. EVA kapsüllemesinin bozunmasından kaynaklanan asitler, karbon dioksit (CO₂) ve asetik asit (CH₃COOH) reaksiyonundan, gümüş karbonat (Ag₂CO₃) ile sentezlenen gümüş asetat (AgC₂H₃O₂) oluşumu nedeniyle hücrede renk bozulmasının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu salyangoz izleri hücreden geçen ışınımı azaltabileceği için panelin performansında bir düşüş sağladığı görülmektedir. (NREL, 2016; Ganesh 2018)

3.6. PV Bileşen Arızası

3.6.1. Panel Çatlaması

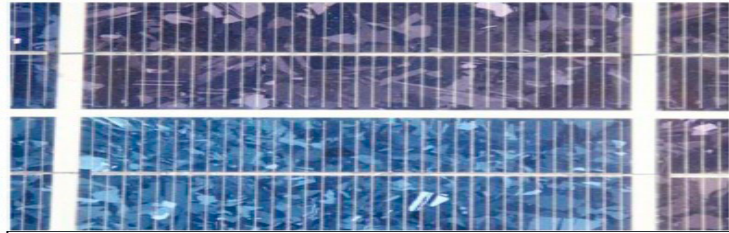
Panel çatlaması çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Fiziksel etkiler, rüzgârdan salınım ya da üretim sorunları çatlamaya neden olabilir. Paneller satın alınırken denetlenmelidir, çünkü imalat veya nakliye işlemi sırasında ortaya çıkan mikro çatlaklar zamanla daha büyük çatlaklara dönüşmektedir. Çatlaklar, modül enerji çıkışını ve verimliliğini azaltacaktır. Bunun nedeni, çatlamasının panelin optik özelliklerini değiştirmesi ve ışığın panel yüzeyine farklı şekilde nüfuz etmesine neden olmasıdır. Çatlaklardan dolayı maksimum ışık miktarı panele girmemektedir. Genellikle bir sistem satın alındığında ekstra paneller sipariş edilir ve bu durumda paneller değiştirilir (GSES, 2016).



Şekil 3.3. Güneş Panelinin Çatlaması (Shapiro, 2017)

3.6.2. Panel Renk Değişikliği

Görsel renk değişikliği, bir güneş hücresine giren güneş ışığı miktarını azaltan yaygın bir kusurdur. Verimlilik kaybına neden olma nedeni, farklı renk panellerinin emilebilecek ışığın dalga boyunu değiştirmesidir. Örneğin, şekil 3.4'teki gibi mor renk değişimi, mor ışığın panel tarafından absorbe edilmediği anlamına gelmektedir. Bu, verim kaybına neden olur çünkü ışığın her dalga boyu emilmez. Farklı yarı iletken malzeme türleri, farklı dalga boylarını emmektedir. Renk bozulmasına neden olan bazı örnekler: düşük kapsülleme kalitesi, yüksek sıcaklıklar, nem ve PV sistemi bir okyanusun yakınındaysa: okyanus tuzu gibi örnekler gösterilebilir. Yüksek kaliteli paneller daha uzun sürede renk değiştirir (Shapiro, 2017).

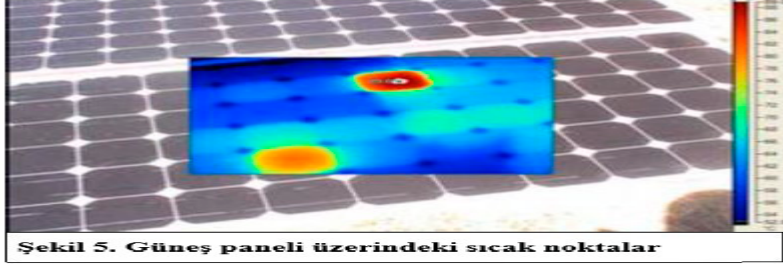


Şekil 3.4. Mor Renk Değişimi ve Güneş Hücresi (Shapiro, 2017)

3.6.3. Sıcak Noktalar

Güneş panellerinin en yüksek sıcaklıklarda en verimli olduğu, genelde yanlış bilinen bir bilgidir. Güneş hücreleri sıcaklığa bağlı olarak verimlilik kazanmaz. Yüksek sıcaklıklar güneş panellerine zarar verebilir ve sıcak noktalara

neden olabilir. Sıcak noktalar güç çıkışını azaltır ve güneş hücreleri dizelere bağlı olduğu için, sadece bir sıcak nokta, çalışan tüm hücreleri etkileyebilir. Bu sorunu çözmek için tüm gölgelendirme işlemi göz ardı edilmeli ve elektrik bağlantıları optimize edilmelidir. Bir IR ile, sıcak noktalar kolayca görülebilir (Shapiro, 2017).



Şekil 3.5. Güneş paneli üzerindeki sıcak noktalar (Shapiro, 2017)

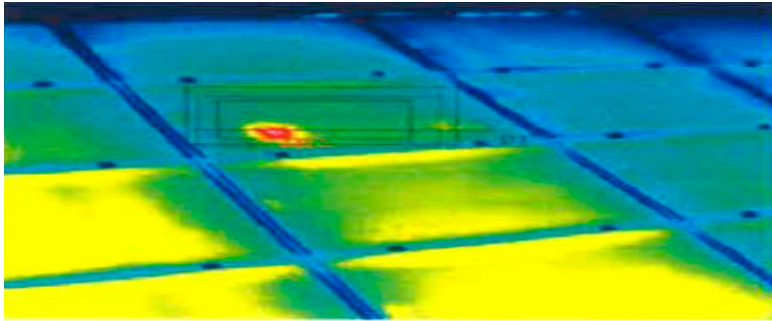
3.7. Genel İzolasyon Prosedürleri

3.7.1 Termal Test Kullanımı

- Risklerin azaltılması
- Projelerde maksimum enerji üretimi
- Hatanın yeri ve sebebi hakkında bilgi vermesi
- Ekipmanların kullanım sürelerinin sağlıklı yönetimi

Ölçüm Şartları:

- Çalışan paneller test edilir
- Termal dengenin sağlanmış olması gerekir
- Solar radyasyon değeri $> 500\text{W/m}^2$
- Serin ve az bulutlu hava
- Doğru açı ($5^\circ - 60^\circ$) (TSE, 2017)

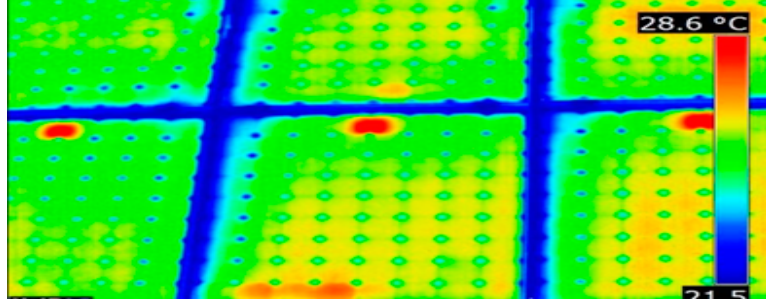


Şekil 3.6. Termal Test (TSE, 2017)

3.7.2 Bypass Diyodu Isıl Deneyi

Modülün sıcak nokta hassasiyetinin zararlı etkilerini sınırlamak için kullanılan bypass diyotların, ısıl tasarımlarının yeterliliğini ve bağlı uzun dönem güvenilirliğini sağlamalıdır. Modül $75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. Modülün $\pm 2\%$ 'lik STC'de ölçüldüğü gibi kısa devre akımına eşit olan bir akım modüle uygulanır. 1 saat sonra her bir bypass diyotun sıcaklığı ölçülür.

Uygulanan akım, modül sıcaklığı $75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edilirken, STC'de ölçüldüğü gibi modülün kısa devre akımının 1,25 katına artırılır. Akım akışı 1 saat süreyle sürdürülür. Diyotun hala çalışır durumda olduğu doğrulanır (TSE, 2017).



Şekil 3.7. Bypass Diyot Isıl Deneyi (TSE, 2017)

3.8. Bakım ve Onarım İçin Önerilen Malzemeler ve Sarf Malzemeleri Listesi

- | | |
|---|---|
| 1-) Arıtılmış su | 6-) Reçine Özü ile elektrik lehim |
| 2-) Kablo Klemensi | 7-) Boru bağlantıları |
| 3-) Kıvrım bağlantıları | 8-) Kablo bağları |
| 4-) Halka, kürek ve pabuç terminaleri | 9-) Gerektiği gibi, kablo, tel ve / veya kablo kanalı |
| 5-) Yük, inverter ve şarj kontrolör sigortaları | 10-) Silikon Dolgu Macunu (GSES, 2016) |

3.9. Güvenlik Gereksinimleri

3.9.1. Genel Saha İçin Yıllık Denetim

Yılda en az bir kez, O&B personeli PV kurulum sahasını genel olarak denetlemelidir. Bu inceleme sırasında teknisyenler şunları yapmalıdır;

- Eğer varsa çatı girişlerinin su geçirmez olduğundan emin olunmalıdır;
- Çatı drenajının yeterli olduğundan emin olunmalı, çatı drenajlarının tıkalı olmadığı ve dizinin çevresinde su birikintisi ve su izi olmadığı doğrulanmalıdır;
- Montaj sisteminin altındaki zeminin ayakları yakınında erozyon olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Uygun sistem işaretlerinin yerinde olduğu kontrol edilmelidir.
- Elektrik panolarının sadece yetkili personel tarafından erişilebilir olduğu, asma kilitlerle veya şifreli kilitlerle sabitlendiği ve erişim işaretlerinin sahada bulunduğu onaylanmalıdır.
- Panoların dış kısmında ve raf sisteminde aşınma kontrolü yapılmalıdır.
- Şantiye boyunca temizlik kontrol edilmelidir. İnverter alanında ya da başka yerlerde hiçbir kir olmamalıdır.
- Dizideki gevşek asılı kablolar kontrol edilmelidir.
- Dizi altındaki hayvan istilası belirtileri kontrol edilmelidir. (Haney, 2013)



Şekil 3.8. Dizi Montaj Donanımı Sıklığının Kontrol Edilmesi (GSES, 2016)

3.10. İnverterlerin Muayenesi Ve Bakımı

- Saha incelemesi sırasında sürücülerin çalışması kontrol edilmektedir.
- Sürücünün mevcut çekişini hem rölantide hem de çalışma durumunda ölçülüp ve kaydedilmelidir.
- Tüm inverter kabloları gevşek, kırılmış, paslanmış veya yanmış bağlantılar veya teller açısından kontrol edilmelidir. Olası kısa devre veya topraklama hatası olup olmadığına bakılmalıdır (GSES, 2016).

3.11. Solar Sistemlerde Sorun Giderme ve Onarım

Aşağıdaki genel kurallar, solar sistemlerin arıza tespiti için sunulmaktadır. Sistem tasarımcısı ve bileşen üreti-



cilerinden gelen bilgileri içeren belirli bir sistem için daha ayrıntılı ve projeye özgü kılavuzlar oluşturulmalıdır. Belirtileri, muhtemel nedeni, sonuçları ve düzeltici eylemleri anlamak için aşağıda verilen sorun giderme tabloları kullanılmalıdır (NREL, 2016).

Tablo 3.2. Kablolama, Anahtarlar Ve Sigortalar (GSES, 2016)

Belirti	SebeP	Sonuç	Faaliyet
Yük Hiç Çalışmıyor	Sistemdeki Anahtarlar Kapalı Veya Yanlış Konumda	Daha kısa pil ömrü, yüklerde olası hasar	Tüm Anahtarları Doğru Konuma Getirin
Yük Zayıf Çalışıyor Veya Hiç Çalışmıyor	Sistem Devre Kesicileri Veya Sigortalar Atmış		Sigortaların Veya Devre Kesicilerin Neden Yandığını Veya Açıldığını Belirleyin. Devre Kesiciyi Sıfırlayın Veya Sigortayı Değiştirin
	Sistemde Yüksek Voltaj Düşümü Var		Yükü onarın veya değiştirin Yük bilgisini servis bilgisi için kontrol edin
	Büyük Bir Topraklama Hatası Veya Hatalı Diyot Yükleri		Kablo boyutunu artırın, yük boyutunu azaltın, toprak arızalarını bulun ve düzeltin
	Kablo Bağlantıları Veya Bağlantıları Gevşek, Kopmuş Yanmış Veya Paslanmış	Aküleri Şarj Etmek Veya Yükleri Çalıştırmak İçin Yetersiz Voltaj	Hasar Görmüş Kabloları Veya Bağlantıları Onarın Veya Değiştirin.
	Kablo Veya Bağlantılar Kısa Devre Yapmış Veya Topraklama Hatası Var		Kısa Devreleri Veya Toprak Arızalarını Onarın

Tablo 3.3. Yükler (GSES, 2016)

Belirti	SebeP	Sonuç	Faaliyet
Yük Hiç Çalışmıyor	Yük sistem için çok Yüksek veya Yetersiz güneş	Daha kısa akü ömrü, yüklerde olası hasar	Yük boyutunu azaltın, dizi veya akü boyutunu artırın
Yük Zayıf Çalışıyor Veya Hiç Çalışmıyor	Yük kapatıldı, Yanlışlıkla kesildi	Yük çalışmıyor	Yükü onarın veya değiştirin, Anahtarları sıfırlayın
	Yük zayıf durumda. Yükteki kısa devreleri, kopuk yükleri veya yükte açık devreleri kontrol edin	Daha kısa akü ömrü, yüklere daha fazla hasar verilmesi olasılığı	Yükü onarın veya değiştirin, Yük bilgisini servis bilgisi için kontrol edin
Yük zayıf çalışıyor veya hiç çalışmıyor	Yükte yetersiz voltaj var.		Kablo boyutunu artırın, yük boyutunu azaltın, toprak arızalarını bulun ve düzeltin
	Kablo bağlantıları veya bağlantıları gevşek, kopmuş yanmış veya paslanmış	Aküleri şarj etmek veya yükleri çalıştırmak için yetersiz voltaj	Hasar görmüş kabloları onarın veya değiştirin
	Küçük "hayalet" yük, aküyü boşaltan sürücüyü rölantide tutmakta		Hasar görmüş kabloları onarın veya değiştirin
	Kablo Polaritesinin Ters Dönmesi	Yükler Ters Yönlü ya da hiç çalışmıyor	Doğru kablolama polaritesi

Tablo 3.4. Güneş Dizileri (GSES, 2016)

Belirti	Sebeup	Sonuç	Faaliyet
Dizide Akım Yok	Anahtarlar, sigortalar veya devre kesici açık, kabloları kırılmış veya paslanmış	Diziden hiçbir akım geçmez	Anahtarları kapatın, sigortaları değiştirin, devre kesicileri sıfırlayın, hasarlı kabloları onarın veya değiştirin
Dizi voltajı düşük	Bazı modüller gölgeli	Çıkış akımında düşüş	Gölgelendirme onarımı
	Bazı dizi ara bağlantıları kırık veya paslanmış	Çıkış akımında düşüş	Bağlantıları Onarma
	Arızalı bypass veya blok diyot	Çıkış akımında düşüş	Arızalı diyotları onarma
	Bazı modüllerde hasar veya arızalı	Çıkış akımında düşüş	Hasarlı Modüllerin Yenilenmesi
Dizi voltajı yok	Tam güneş görmüyor	Çıkış akımında düşüş	Güneşli havalarda Kontrol
	Modüller kirli	Çıkış akımında düşüş	Modüllerin Temizlenmesi
	Dizi yönü yanlış	Çıkış akımında düşüş	Modülleri doğru yöne yönlendirme
Dizi voltajı düşük	Anahtarlar, sigortalar veya devre kesici açık, kabloları kırılmış veya paslanmış	Diziden güç gelmiyor	Sigortaları değiştirin, devre kesicileri sıfırlayın, hasarlı kabloları onarın veya değiştirin
	Bazı modüllerin seri bağlantısı kesilmiş veya bypass diyotu arızalı	Diziden güç gelmiyor	Modülleri, bağlantıları veya diyotları onarın, değiştirin
	Dizi sistemi çalışması için kablolama çok cılız veya çok uzun	Diziden güç gelmiyor	Kablolar Kontrol Edilmeli

3.12. Detaylı Görsel Muayene

PV sisteminin fiziksel bütünlüğünü veya performansını etkileyen konular için kurulum düzenli olarak kontrol edilmelidir. Görsel bir denetim aşağıdaki eylemleri içermelidir;

- Kabloların aşırı çatlama veya aşınma belirtisi göstermediğinden emin olmak için inverter ve elektrik pimlerinin incelenmesi gerekmektedir.
- PV modüllerinde yanık izleri, renk solması, kırık cam şeklinde görülebilen kusurları incelenmelidir.
- Raf sistemini pas, korozyon, sarkma, eksik veya kırılmış klips-cıvatalar gibi kusurları kontrol edilmelidir.
- Kutuların içindeki kalıntıları veya su girişi nedeniyle zarar verildiğine dair kusurlar kontrol edilmelidir. Terminalerde, panolarda ve sigorta kutularında renk değişikliği, korozyon ve hasar belirtileri aranmalıdır (Haney, 2013).

Tablo 3.5. Pv Sistem Bileşenleri İçin Standartlar (GSES, 2016)

BIS Öge/Bileşen	Uygulanabilir IEC / Eşdeğer BIS Standartları	
	Standart Açıklama	Standart numara
İnverter	Verimli Ölçüm Çevre Testi	IEC 61683 IEC 60068-2
Şarj Kontrol Cihazı	Tasarım Nitelikleri Çevre Testi	IEC 62093 IEC 60068
Akü Depolama	Tubular Test'te Kurşun Asidinin Genel Gereksinimleri Ve Yöntemleri	IEC 61427 IS 1651/IS 13369



Kablolar	Genel Test Ve Ölçüm Yöntemleri 1100 V'a Kadar Olan ve Çalışma Gerilimleri İçin PVC İzoleli Kablolar	IEC 60189 IS 694/IS 1554 IS/IEC 69947
Anahtarlar / Devre Kesiciler / Konnektörler	Genel Gereksinimler Konnektör Güvenliği	IS/IEC 60947 EN 50521
Bağlantı Kutuları / Muhafazaları	Genel Gereksinimler	IP 65 (Dış Mekan) IP 21 (İç Mekan)
PV Sistem Tasarımı	PV Sistem Tasarım Doğrulama	IEC 62124
Kurulum Uygulamaları	PV Güç Kaynağı Sistemi, Bina İhtiyacı Elektrik Tesisatı	IEC 60364-7-712

3.13. Ges Projelerinde Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri

Tablo 3.6. 2015-2017 Yılları Arasında GES'lerde Sorunlar ve Gözlenme Yüzdesi

Karşılaşılan Sorunlar	Gözlenme Oranı	Sorunun Kaynağı/ Gözlenen Etki	Çözüm Önerisi
Panel Üretim Kusurları	35%	<ul style="list-style-type: none"> EVA sararması Salyangoz izi (snail trace), Sıcak benek (hot spot) Kırık ve çatlaklar By-pass diyot hataları 	<ul style="list-style-type: none"> Belirlenmiş standartları sağlayan, testleri başarı ile geçmiş yeni üretilmiş paneller seçilmeli. Ürün ve performans garanti şartları iyi incelenmeli
Panel Montaj Hataları	30%	<ul style="list-style-type: none"> Panellerin yerleşiminde; Topraklama hatası, Termal etkinin önlenmesi için üreticinin önerdiği boşlukların bırakılmaması 	<ul style="list-style-type: none"> Yerleşim sırasında standartlar/üretici tarafından belirlenmiş yeterli boşluklar bırakılmalı ve kullanım kılavuzları iyi okunmalı
Evirici Montaj Hataları	15%	<ul style="list-style-type: none"> Eviricilerin yerleşiminde topraklama yapılmaması, Eviricilerin yağmur, güneş gibi dış etmenlerden korunmaması 	<ul style="list-style-type: none"> Yerleşim sırasında topraklamaya özen gösterilmeli,
Topraklama Sorunları	20%	<ul style="list-style-type: none"> Bakır kablo ve galvanizin yan yana kullanılması, Paslanmaz çelik yerine galvaniz somun kullanılması 	<ul style="list-style-type: none"> İlgili mevzuata uygun malzeme seçilmesi ve topraklama hesabı yapılması
Taşıyıcı Sistem Sorunları	20%	<ul style="list-style-type: none"> Sistemi taşıyan mekanizmada çökme, Aynı sahada farklı eğimde taşıyıcı sistem kullanma 	<ul style="list-style-type: none"> Tesisin kurulacağı alanın Hava Koşulları, Kar yükü, Rüzgar ve Deprem gibi parametrelerin dikkate alınarak bölgeye özgü tasarım yapılmalı GES sahası için zemin etüt raporu temin edilmişse de sahada <i>ramming</i> testi yapılmalı çekme basma ve eğme kuvvetlerine karşı toprak direnci mutlaka ölçülmelidir

Tablo da 2015-2017 yılları arasında toplam 70 MW'lık GES'lerde yapılan incelemelerdeki gözlem ve deneyimlere dayalı olarak sorunlar ve gözlenme yüzdesi verilmiştir (FMO, 2017).

4. Pv Sistemlerinin Yıldırımdan Korunması

Türkiye'nin Yıldırım Atlası sonuçlarına göre 252kA-300kA gücü olan ve 28000 °C olan yıldırımın yaklaşık 155000 adedi Temmuz-Ağustos aylarında düşmektedir (MGM, 2019). Yıldırım darbeleri;

- Pv sahasının uzağına bir yere düşmekte,
- Düştüğü alandaki topraktan sisteme gelmekte,
- Direk sahanın üzerine düşmekte,
- Trafo üzerine düşmektedir. Bunun sonucunda sahada inverter arızaları meydana gelmektedir

Yıldırımın en önemli etkisi, sisteme ani pikler göndermesidir. Dolayısıyla inverter ve paneller yanmaktadır. En çok inverter kartları yanmakta ve üretim durmaktadır. Bu kartları korumak için ethernet parafudru ve haberleşme hattı parafudru kullanılabilir.



Şekil 4.1 İnverter Kart Yanması

Her GES projesinde yapılan yanlışların başında gelen, paratonerin 200 m koruması yazmasıdır. Güneş santralleri gibi kritik bir tesis, eş potansiyele dikkat etmeden 200 m koruma özelliği olan paratonerlerle korunması eksik ve yanlış bir bilgidir (Yilkomer, 2019)

4.1. Yıldırımdan Korunma Standardı (TS EN 62305)

4.1.1. İç Yıldırımlık Sistemi (Ac-Dc ve Data Hat Koruması)

- İnvörtör satın alımı yapıldığında genellikle yıldırımdan korunmalı şeklinde olmaktadır. Fakat parafudru tip-1, tip-2 veya tip 1-2 şeklinde olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Tip-2 Şebeke darbelerine karşı koruma sağlayabilme özelliğine sahiptir. Yıldırımdan koruma işlemi göstermektedir.
- Tip (1-2) hem yıldırım hem şebeke darbesine karşı koruma sağlar.
- Yıldırım darbesi 2 km öteden gelip haberleşme hattından sızarak invertör kartlarını yakması sorunu günümüzde sık sık yaşanmaktadır.

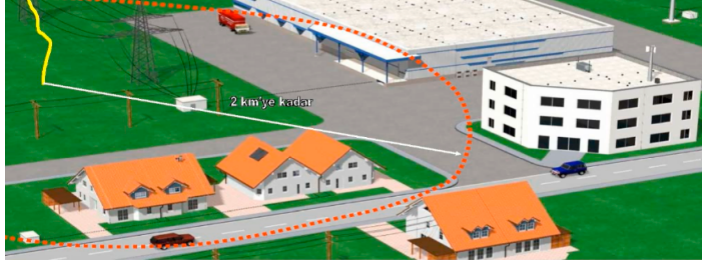
4.1.2. Dış Yıldırımlık Sistemi

- Yuvarlanan Küre Metodu
- Koruma Açısı Oluşturma Yöntemi
- Gergi Teli Metodu
- Mesh Metodu (TSE, 2012)

Dış yıldırımlık sistemi darbeyi panellerin üstünden alıp toprağa aktarım yapan sistem olarak tanımlanabilir. Darbeyi panellerin üzerinden bertaraf eden sistemdir. Bu sistem darbeyi alıp parçalara böler. Dış yıldırım sistemine sahip sistemlerde parafudrun üzerine düşen yük daha da azalmaktadır. Dış yıldırım sistemi, fiziksel hasardan koruma görevine sahiptir. Avrupa'da kullanılan güneş sistemleri için kullanılan dış yıldırımlık sisteminde, yuvarlanan küre metodu yaygın olarak kullanılır.

- Sahada aktif paratoner (İçerisinde iyon jeneratörü olduğu için iyonlaşma yapıp (+ -) olarak yıldırımı çekmesi) kullanılması doğru değildir. Çünkü sahada bulunmayan yıldırımı sahaya çekme görevini üstlenebilir. Sahadaki diğer ekipmanların korunması yoksa bu yöntem doğru değildir. Otopark projeleri için bu paratoner kullanılabilir.

- Bunun yerine pasif yakalama uçlarıyla koruma alanını sağlamak, yıldırımın düşmesi esnasında darbeyi yakalamak, toprağa aktarmak, haberleşme hattında doğru parafudrları kullanmak gerekmektedir.
- Sahada kurulan dış yıldırım sistemi eş potansiyel(direnç) de olması gerekmektedir. Çünkü yıldırım düştüğü yerden 2 km yarıçapta öteye etki etmektedir. (TSE, 2012; Yilkomer, 2019)



Şekil 4.2. Yıldırımın Etki Alanı (Yilkomer, 2019)

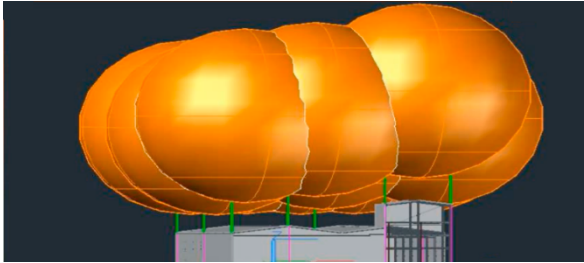
4.2. Topraklama Sistemi

- Temel Topraklaması (Mesh şeklinde)
- Koruma Ve İşletme Topraklaması
- Fonksiyon Topraklaması

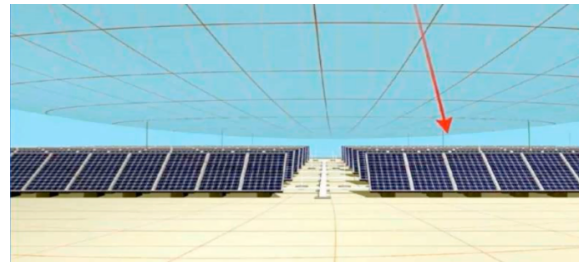
Bir sahada bulunan sistemin hepsi eş potansiyel olmak zorundadır. Tesiste bir köşeden bir köşeye ölçüm yaptığımızda farklılık (max 0,2 Ω) olması gerekmektedir. Yine bu değer değişiklik gösterebilir. Fakat bir köşeden bir köşeye ölçümlerde birbirinden farklı değerlerin olmaması gerekmektedir. Çünkü direnç farklılığı, oluşan hatalı akıma sebep olur. Dolayısıyla yıldırımın direnci düşük olan yöne doğru ns (nanosaniye) mertebesinde gitmesini sağlar (TSE, 2012; Yilkomer, 2019).

4.3. Yıldırımdan Korunma Yöntemleri

- Yatırımın karşılığını alabilmesi için GES santrali 20 yıl içerisinde maliyetlerini çıkarması gerekmektedir.
- Bir günlük enerji üretme maliyeti, tüm yıldırımdan korunma sisteminin maliyetinin çok üzerindedir. Dolayısıyla yıldırım sonucu santralde oluşan çoğu hasar bir günde telafi edilememekte ve zarar çok daha fazla olmaktadır.
- Yıldırım ve ani aşırı gerilim dalgalanmalarının elektriksel etkisi sonucu tüm sistemlerin zarar görme istatistiği çok fazladır. Günlük hayatta bir endüstriyel tesis için olası darbe riski açık arazide ya da çatıda bulunan bir santral için bir yıl için bu risk %70'den daha fazladır.
- Ülkemizde güneş santrallerinin yoğun olarak kurulduğu lokasyonlarda yıldırımlı gün sayısı doğru orantılı olarak artış göstermektedir.(Türkiye'ye son 1 yıl içerisinde 1 milyon adet yıldırım düşmüş bulunmaktadır. Türkiye de güneş paneli sahalarında ilginç bir orantı ile çok fazla yıldırım düşmektedir. Türkiye'nin güneş sahalarının en çok olduğu yerler; Antalya, Burdur, Adana, Mersin, Muğla, Kütahya, Eskişehir illeridir.)
- Yatırım yapılan sahaya kesinlikle TS EN 62305-2 Risk Etmeni standardı uygulanması gerekmektedir. Türkiye'nin en büyük problem risk etmeni faktörünü tam anlamıyla uygulayamamasıdır. Yazılan GES projelerinde risk faktörünün iller arasında benzerlik göstermesi, PV kurumu yapılan sahalarda sorunlar teşkil etmektedir. Ör: Muğla ilinde yapılan risk faktörüyle Konya Ovasındaki risk faktörü birbirine yakın yapılmaktadır.
- Ülkemizde her yıl 2 milyon adet yıldırım deşarjı oluşur. Bu yıldırımların %25'i 100 kA'ı aşmaktadır.



(a)

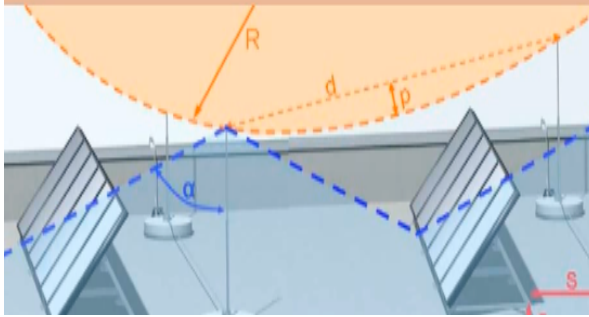


(b)

Şekil 4.3. Yuvarlanan Küre Metodu (a), Mesh Ağı (b) (Yilkomer, 2019)

Yuvarlanan küre metodu uygulanırken amaç yıldırımın mesh ağından geçmemesi olacaktır. Eğer bina kaplaması iletken bir kaplama ile kaplı ise yıldırım düşmesi esnasında, yıldırımın gücü paralel hatlardan direk sisteme indüklenmesi olacaktır. Darbe daha toprağa gitmeden tüm sistemi yakacaktır.

Paratonerler “s” koruma mesafeleri yöntemi ile panel arkasından toprağa izoleli kablolar ile aktarım hattı oluşturulması gerekmektedir. Yakalanan yıldırım darbeleri, tesisin zıt yönünde kazayağı (3 yollu) şekilde kazılmış toprak hattı açılarak bertaraf edilmesi gerekir (TSE, 2012; Yilkomer, 2019).



(a)



(b)

Şekil 4.4. “S” Koruma Açısı Oluşturma Yöntemi (a), Kazayağı (3 yollu) (b) (Yilkomer, 2019)

5. Fotovoltaik Sistemlerin Güvenli Çalışma ve Bakım Değerlendirmesi (Risk Etmeni)

Fotovoltaik sistemlerin risk etmeni, özellikle Avrupa politikasına bağlı olarak tesislerin sayısı dikkate alındığında çok önemlidir. Fotovoltaik işlem/bakım projeleri için bir güvenlik protokolü yol haritası oluşturmak zordur. Bunun yapılabilmesi için operasyonel bir risk yönetimi metodolojisinin benimsenmesi önerilmektedir. Risk faktörünün kapsamı;

1. Normal işletim / bakım sırasında fotovoltaik sistemlerde güvenliğin önemini açıklığa kavuşturmak;
2. Kurulu fotovoltaik çalışma ortamı için temel bir bütünsel risk değerlendirmesi oluşturmak;
3. PV sistemlerinin işletimi / bakımı ile ilgili olası tehlikeleri tespit etmek;
4. İlgili tehlikeleri hesaplamak.
- 5.

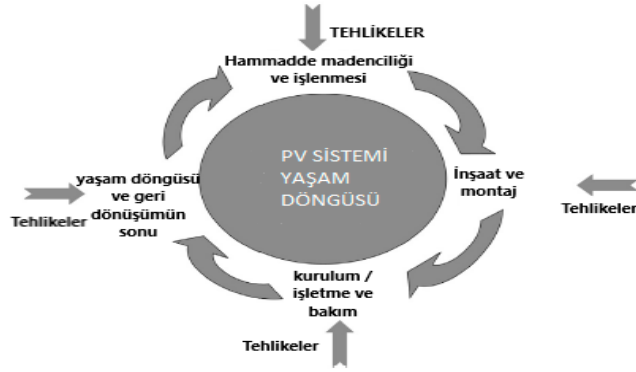
Bilindiği üzere, fotovoltaiklerin, geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla çok sınırlı çevresel etkileri vardır. Fakat bununla birlikte, bir fotovoltaik sisteminin kurulması, işletilmesi ve bakımı bazı tehlikeli ve riskli unsurlara sahip olsa da, güvenli prosedürlerle ilgili araştırma yapılması gerekir. Bir PV sistemin, aktif döngüsü aşağıdaki aşamaları içermektedir;

- a) Hammaddenin çıkarılması ve işlenmesi;
- b) İnşaa ve montaj;
- c) Kurulum, İşletim ve Bakım
- d) Kullanım ömrünün bitmesi ve geri dönüşümü

Bezdek, santrallerin üretiminde güneş enerjisinin çevresel, sağlık ve güvenlik etkilerini ortaya koyarak farklı enerji kaynaklarının göreceli risklerini karşılaştırmıştır. (nükleer, doğal gaz, hidroelektrik, rüzgar, metanol, güneş enerjisi ile ısıtma(solar space heating), güneş enerjisi, elektrik enerjisi, fotovoltaik sistemler ve okyanus termal enerji dönüşümleri).

Ramanathan, veri analizi kullanarak sekiz farklı teknolojinin (solar fotovoltaik, biyokütle, yel değirmenleri, hidroelektrik, petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer) farklı özelliklerini incelemiştir. Belirlenen amaca ulaşmak için tüm alternatiflerin fayda-maliyet-risk tahminlerinin yaşam beklentisi, arazi kullanımı ve CO₂ emisyonlarının kaybı veya kazanımı gibi ölçme araçları kullanarak Karşılaştırmalı Risk Değerlendirme kullanmıştır.[6]

Johansson, yenilenebilir enerji sistemlerinin (fotovoltaik sistemleri dahil) enerji güvenliği hususlarını ve yenilenebilir enerji sistemleriyle ilişkili olarak kabul edilen üç tür risk faktörünü analiz etmiştir. Bunlar: ekonomik&politik, teknolojik ve çevresel risk faktörleri.



Şekil 5.1 PV Sisteminin Yaşam Döngüsü (Kamenopoulos, 2015)

Burada:

- Normal işletim / bakım sırasında fotovoltaik sistemlerinde güvenliğin önemi açıklığa kavuşturmak;
- Kurulu fotovoltaik çalışma ortamı için temel bir bütünsel risk değerlendirmesi oluşturmak;
- Fotovoltaik sistemlerinin işletimi / bakımı ile ilgili olası tehlikeleri tanımlamak ve değerlendirmek gerekmektedir.

5.1 Risk Yöntemi

5.1.1 Ory (Operasyonel Risk Yönetimi)

Operasyonel Risk Yönetimi, fotovoltaik risk yönetimi için aşağıdaki nedenlerden dolayı seçilmektedir;

- 1) Fotovoltaik sistemleri güneş ışığına paralel olarak sürekli (yani elektrik üretimi) çalışması,
- 2) Fotovoltaik operasyonel hatayla ilgili küresel istatistiksel veri eksikliği, Operasyonel Risk Yönetimi aracı, ilgili tehlikelerin niteliksel bir temel değerlendirmesini oluşturmak için gerekli bir araç olarak kabul edilmesi.

Operasyonel Risk Yönetimi'nin 5 aşaması aşağıdaki gibidir (Şekil 5.2);

- 1) Tehlike veya tehlikelerin kaynaklarını tanımlamak
- 2) Tehlikeleri hesaplamak
- 3) Risk kararları vermek
- 4) Kontrolleri uygulamak
- 5) Denetlemek ve değişimi gözlemlemek

Risk, bir faaliyetin beklenen düzenli ilerlemesiyle kesintiye veya müdahaleye neden olabilecek herhangi bir tehlikeli durum olarak tanımlanmaktadır. Tehlike kaynağı, hasara neden olabilecek bir bileşenin veya becerinin (örneğin iş malzemeleri, ekipman, iş yöntemleri ve uygulamaları) kendine özgü özelliği olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 5.2. Operasyonel Risk Yönetiminin 5 Aşaması (Kamenopoulos, 2015)

Tehlikelerin tespiti, olası bir talihsizlik ile sonuçlanabilecek koşulları, elektrik veya kimyasallar gibi enerji kaynaklarının varlığını aynen sunmasıyla bilinmektedir. Ayrıca, talihsizlikle sonuçlanan riskleri tanımlamak için sorunlu istatistiklerin gözden geçirilmesi önerilmektedir. Risk değerlendirmesi bir şeylerin yolunda gitmediğini ve olabilecek en kötü şeyi ihtimaller ve olayın ciddiyeti açısından tanımlayan bir süreçtir.

Karar verme aşaması yönetilebilir riski hedeflemektedir. Bu aşamada, risk seviyesinin kabul edilebilir olup olmadığı belirlenmektedir. Karar verici, riskin bir değerlendirmesini yapmakta ve hangi görevlerin risk seviyesini azaltabileceğine karar verme yetkisine sahiptir.

Tüm risklerin yönetilebilir olmadığını ve bazen en iyi kararın bir görevi yerine getirmeyeceğini bilmek çok önemlidir. Riski azaltmak, teknik ve / veya idari kontroller uygulayarak ortadan kaldırmak gibi kontrol önlemlerinin uygulanmasını içeren yeni bir yöntemi de uygulamak, sistemde bulunan risk etmenleri için önemli bir konudur. Teknik veya idari kontroller uygulanabilir olmadığında tehlikeleri azaltmak için KKD (Kişisel Koruyucu Ekipman) kullanılacaktır.

RDC (Risk Değerlendirme Kodları) aşağıdaki gibidir;

- a) Göz ardı edilebilir
- b) İkinci derece
- c) Orta
- d) Önemli
- e) Kritik
- f)

Tehlikenin ciddiyetini değerlendirmek için dört aşama kullanılmaktadır;

- 1) Yıkıcı: Ölüme ya da PV tesisinin kaybına neden olabilir.
- 2) Kritik: Ciddi yaralanmalara, meslek hastalığına veya PV hasarına neden olabilir.
- 3) Marjinal: Küçük yaralanmalara, meslek hastalığına veya PV hasarına neden olabilir.
- 4) Göz Ardı Edilebilir (Kabul Edilebilir): Muhtemelen kişisel güvenliği veya sağlığı etkilemeyecektir, ancak güvenlik standardının ihlalidir.

Tablo 5.1 Risk Değerlendirme Kodları (Kamenopoulos, 2015)

Şiddet	Olasılık			
	A	B	C	D
I	5	5	4	3
II	5	4	3	2
III	4	3	2	1
IV	3	2	1	1

5.2. Yangın Söndürme Operasyonları

Bir sonraki en kritik senaryo yangın söndürme operasyonları ile ilgilidir. Genel olarak KKD, kaynaktaki tehlikeyi ortadan kaldırmak için bir araç olarak düşünülmemelidir. KKD kullanımı kanun hükmünde zorunludur. KKD'ler, çalışanların nasıl kullanacakları konusunda eğitilmelidir.

En düşük risk, uçuş güvenliği ile ilgili tehlikelerde gözlemlenmiştir. Uçağın iniş / kalkış sırasındaki iletişim sistemleri paraziti nedeniyle bir uçuş aksaklığı olasılığı, PV uzmanları tarafından çok düşük seviyede olduğu düşünülmektedir. PV sistemi bir haberleşme sisteminin vericisi ile alıcısı arasına yerleştirilmişse (hava alanı veya uçak) parazite neden olabilir. Radar sinyallerini engelleyebilecek, yansıtabilecek veya bozabilecek alanlarda, PV sisteminin bir ön konumlandırma çalışması yapılmalıdır.

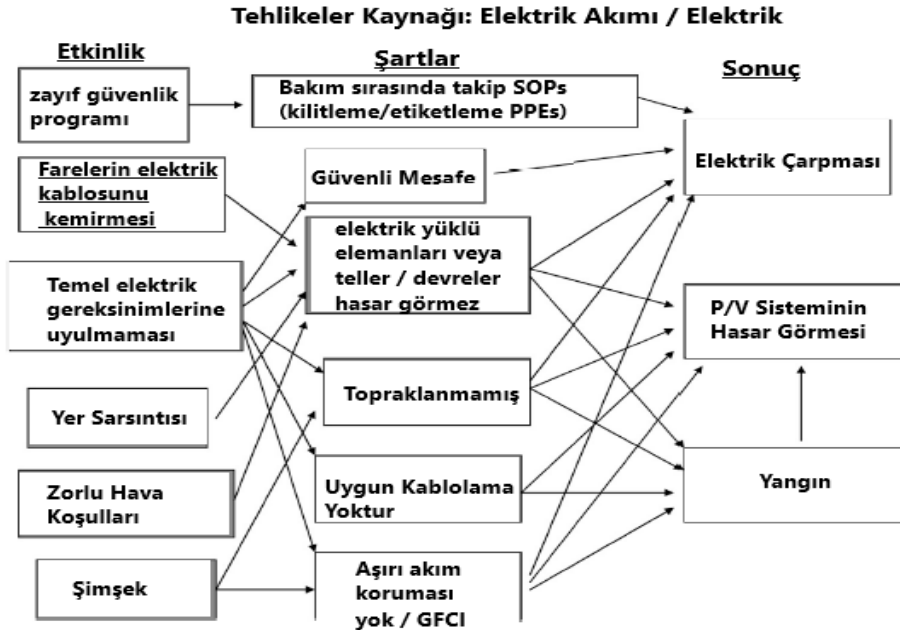


Şekil 5.3 PV Tehlike Kategorileri (Kamenopoulos, 2015)

5.3. Teknolojik Tehlikeler

Tablo 5.2. PV Teknolojik Tehlikeleri (Kamenopoulos, 2015)

Tehlikenin Kaynağı	Tehlike	Etkilediği
Elektri akımı/Elektrik	Elektrik çarpmasına bağlı ölüm, Kısa devre	P/V Sistemi, Çalışanlar
Yangın	P/V sistem hasarı, Aksilikler, Yanmalar	P/V Sistemi, Çalışanlar, Acil müdahale Ekibi
Keskin yüzeylerle çalışmak	Ufak kazalar	Çalışanlar
Sıcak yüzeylerle çalışmak	Yanıklar	Çalışanlar
Yüksekten düşmek	Yaranlanmalar, Ölüm	Çalışanlar
Piller, Oksitler	Yanmalar, Solunum problemleri, Çevresel zararlar	Çalışanlar, Çevre
İyonize olmamış Radyasyon	Sağlık tehdidi	Çalışanlar
PV Sistemi	İletişim Sistemleri Paraziti	Uçuş
Paneller	Yansıma, kamaşma	Uçuş
PV Sistemi	Hava sahası İhlali	Uçuş
PV Sistem	Uçağın tahliye edilme zorlukları	Yolcular, Acil müdahale ekibi
PV Sistem	Uçağı kurtarma problemi	Yolcular, Acil müdahale ekibi



Şekil 5.4. Tehlike Kaynağı İçin “Olay, Durum, Sonuç Tablosu”: Elektrik Akımı / Elektrik (Kamenopoulos, 2015)

Tablo 5.3. “Olay, Olasılık Matrisi” Örneği (Kamenopoulos, 2015)

Olay [1]	Koşul [2]	Sonuç [3]	Olasılık [4] A, B, C, D	Önem [5] I, II, III, IV
Yetersiz güvenlik programı	Bakım esnasında Standart Çalışma Prosedürlerine uyulmaması (Kişisel Koruma Ekipmanlarının çıkarılmış olması)	Elektrik çarpması/ Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		
Elektrik kablolarının fareler tarafından kemirilmesi	Aktif unsurların yada kablo/devrelerin korunmaması/hasar görmesi	PV sistemi hasarı, yangın		
Temel elektriksel gereklilikleri yerine getirilmemesi	Aktif unsurların yada kablo/devrelerin korunmaması/hasar görmesi	Elektrik çarpması/ Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		
Temel elektriksel gereklilikleri yerine getirilmemesi	Topraklamanın olmaması	Elektrik çarpması/ Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		
Temel elektriksel gereklilikleri yerine getirilmemesi	Düzenli kablolanmanın olmaması	PV sistemi hasarı, yangın, Elektrik çarpması/Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		
Temel elektriksel gereklilikleri yerine getirilmemesi	Yüksek akım koruma rölesinin olmaması /GFCI	PV sistemi hasarı, yangın, Elektrik çarpması/Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		
Yetersiz güvenlik programı	Bakım esnasında Standart Çalışma Prosedürlerine uyulmaması (Kişisel Koruma Ekipmanlarının çıkarılmış olması)	Elektrik çarpması/ Elektrik çarpmasına bağlı ölüm		

6. Sonuç

Bir solar PV sistemini, birçok farklı sorunun etkileyebileceği görülmektedir. Maliyetleri azaltmak için mümkün olduğunca birçok konuyu dikkate almak çok önemlidir. Özellikle, panel temizliği, inverter stratejileri maliyetleri düşürmek ve için oldukça önemlidir. Bu problemler herhangi bir PV sisteminin ömrü boyunca ortaya çıkma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, solar PV’den enerjiye dönüşüm konusuna gerekli özen gösterilmesi şarttır. Kurulum firmasının inverterleri doğru yöne yönlendirdiğinden ve tüm garantiler hakkında detaylı bilgi almak büyük öneme sahiptir. Genel olarak, bu konular hakkında bilgi sahibi olmak, güneş PV sistemini etkili bir şekilde çalıştırmaya yardımcı olacaktır (Shapiro, 2017).

Güvenlikle ilgili hususlar, nitelikli personelin uygun şekilde derecelendirilmiş ekipman kullanmasını ve daha yüksek voltajlı sistemlere servis vermek için eğitilmesini gerektirir. Kalifiye personel, sistemdeki ekipmanlarla çalışırken daima iki kişilik ekipler halinde çalışmalıdır.

Sistemin çalışma süresi ve kullanılabilirliği, O&B’nin ana hedefidir. Çevrimdışı olan inverterler, bir PV sisteminin yatırımında, olumsuz etkiye sahip olabilir. İnverter arıza oranları yatırım karlılığı için önemlidir. Ancak inverterin ne sıklıkta çevrimdışı kaldığından daha da önemli olan, ne kadar hızlı bir şekilde tekrar devreye alınabileceğidir. Düşük güç üretimi de yatırım getirisini etkiler ve O&B personeli sorunları hızlı bir şekilde belirlemek ve düzeltmek için etkili stratejilere ihtiyaç duyar. Uzun tedarik süreleri olan kritik parçaları stoklamak, PV sistemi yatırımı için oldukça önemlidir (Haney, 2013).



7. Kaynaklar

Davis, G., “A Guide To Photovoltaic (Pv) System Design And Installation”, *California Energy Commission*, 500-01-020, (2001).

NREL, “Best Practices in Photovoltaic System Operations and Maintenance 2nd Edition”, *NREL is a National Laboratory of the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy Operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC, DE-AC36-08GO28308*, (2016)

GSES, “Installation, Operation & Maintenance of Solar PV Microgrid Systems A Handbook for Trainers”, *Clean Energy Access Network (CLEAN)*, ISBN: 978-81-931-931645-2-5, (2016)

Shapiro, D., Robbins, C. “Solar PV Operation & Maintenance Issues [online]”, https://www.dri.edu/images/stories/editors/receditor/Solar_PV_Article.pdf, (2017)

NREL, “New Best-Practices Guide for Photovoltaic System Operations and Maintenance”, *National Renewable Energy Lab.*, (2017)

Kamenopoulos, S. N., Tsoutsos, T., “Assessment of the Safe Operation and Maintenance of Photovoltaic Systems”, *Energy*, 1633-1638, (2015)

Haney, J., Burstein, A., “PV System Operations and Maintenance Fundamentals”, *Solar America Board for Codes and Standards*, (2013)

Ganesh H., “Snail Trails – aesthetic issue or performance limiter? [online]”, *Avi Solar Energy Pvt Ltd*, (2018), <https://www.avisolar.com/post/snail-trails-on-solar-panels-an-aesthetic-issue-or-a-performance-limiter>, (2019)

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Fotovoltaik Modüller Ve Güneş Enerjisi Santrallerinde Standartlar”, *Hacettepe Üniversitesi*, (2017)

Gazioğlu, “Gazioğlu Solar Enerji Kullanım Kılavuzu [online]”, (01 Ağustos 2019) <http://www.gazioglusolar.com.tr/kullanim-manuel.pdf>, (2019)

TMMOB Fizik Mühendisleri Odası (FMO), TSE, HÜ Yeni ve Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, (eds: Zararsız, A., Eray A., Özen, H., Öz, S., Gören, C.) “*FOTOVOLTAİK ÇALIŞTAYI III: Güneş Enerjisi Santrallerinde Kalite ve Performans Etkinliği Değerlendirilmesi ve Sonuç Bildirgesi-Ankara*”, (2017)

U.S Department of ENERGY Office of Indian Energy, “The Five-Step Development Process Step 5: Project Operations and Maintenance [online]”, (2015), <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/7a%20-Step5-Operations-Maintenance.pdf>, (2019)

T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), “Yıldırım Takip [online]”, (2019), <https://www.mgm.gov.tr/sondurum/yildirim-takip.aspx>, (2019)

Yilkomer, “Fotovoltaik Sahaların Yıldırımdan Korunması [online]”, (2019), <https://www.yilkomer.com/yildirimdankorunma-standardi/>, (2019)

TSE, “Yıldırımdan Korunma Standardı (1-2-3-4)”, (2012), <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073084085052084086102099110070055050>, (2019)

Electric Power Research Institute (EPRI) (2010), “Addressing Solar Photovoltaic Operations and Maintenance Challenges –A Survey of Current Knowledge and Practices”, (2014), <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=00000000001021496&Mode=download>, (2019)

United States Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA), “Safety and Health Regulations for Construction”, (2014), <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926.500>, (2019)

GIDA ENDÜSTRİSİNDE GÜVENİLİRLİK BAZLI BAKIM UYGULAMALARI

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PRACTICES IN FOOD INDUSTRY

¹Oğuzhan Yavuz, ¹Ersin Doğan

¹Eti Gıda San. Ve Tic. A.Ş.

oguzhan.yavuz@etigida.com.tr, edogan@etigida.com.tr

Özet

İşletmelerde bakım disiplini diğer yönetim disiplinlerine göre daha fazla değişim göstermiştir. Bu değişim, sayısı ve çeşitliliği artan fiziksel varlıkların korunması, teknolojinin gelişmesi, yeni bakım tekniklerinin ortaya çıkması ve bakıma olan bakış açısının değişimi nedeniyle olmaktadır. Gelenekselleşmiş bakım yönetim sistemlerinde fiziksel varlıkların sürdürülebilirliğini sağlamak için belirli periyotlarla zaman bazlı bakım yapılmaktadır. Günümüz artan üretim kapasitelerinde sadece bakım yapmak yeterli olmamaktadır. Ekipman ve prosesin birlikte değerlendirilerek güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin sağlanması için daha farklı bir yöntem ihtiyacı vardır. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) ekipmanın prosesdeki görevini tam olarak yerine getirebilmesi için yapılması gerekenleri belirleyen bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada, RCM yaklaşımı paketleme makinelerinde uygulanarak ürün, proses ve ekipman birlikte değerlendirilmiştir. Ekipmanın prosesdeki fonksiyonunu yerine getirebilmesi için hata modları çıkarılmış ve bu hata modlarının oluşmaması için doğru bakım periyotları, ekipman kullanım talimatları ve doğru kullanıcı uygulamalarının nasıl oluşturulduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: güvenilirlik, sürdürülebilirlik, güvenilirlik bazlı bakım, ekipman fonksiyonu, proses

Abstract

The discipline of maintenance in industries has changed more than other management disciplines. This change is due to the increase in the number and variety of physical assets, the development of technology, the emergence of new maintenance techniques, and the change in the perspective of maintenance.



Time-based maintenance is carried out periodically to ensure the sustainability of physical assets in conventional maintenance management systems. In today's increasing production capacity, only maintenance is not enough. A different method is needed to ensure reliability and sustainability by evaluating the equipment and process together. Reliability centered maintenance is an approach that determines what the equipment is able to fully perform its tasks in the present process.

In this study, reliability centered maintenance approach was applied on packaging machines and product, process and equipment evaluated together. Fault modes are set so that equipment can perform its function in the process and correct maintenance periods, equipment user instructions and how to create correct user applications are created in order to avoid these error modes.

Key Words: reliability, sustainability, reliability centered maintenance, equipment function, process

1. Giriş

Günümüz hızla büyüyen üretim tesislerinde üretimin programlara uygun biçimde sürdürülebilmesi, ekipman ve tesislerin aksamadan çalışmasına bağlıdır. Bu ekipman ve tesislerinin faal durumda bulunarak çalışmasını sağlamak için bakım faaliyetleri uygulanmaktadır. Bu faaliyetler sadece arızaya anında müdahale gibi reaktif değildir. Rutin muayene, periyodik bakım, koruyucu bakım, yenileme ve durum izleme gibi proaktif olarak da gerçekleştirilmektedir[1].

Bakım fonksiyonu işletmelerde üretim fonksiyonuna paralel yürütülmesi gereken bir faaliyettir. Bakım uygulamasında ekipman ve üretilen ürün ilişkisi göz ardı edilmemelidir. Aksi takdirde uygulanan bakım faaliyeti toplam ekipman verimliliğine beklenen katkıyı sağlamaz, ayrıca bakım maliyetlerini de arttıran etkisi gözlenir. Toplam ekipman verimliliğini olumsuz etkileyen faktörler duruşlar, hız düşüşleri ve üretilen ürünlerdeki kalite kayıplarıdır. Bakım faaliyetleri, ekipmanın belirli bir süre ve belirli limitler içerisinde beklenen fonksiyonu yerine getirerek istenen hız ve kalitede ürünü üretmesini sağlayacak şekilde uygulanmalıdır. RCM, ekipmanla ürün ilişkisini kurarak üretimin ekipmandan istemiş olduğu fonksiyonu belirlenmiş zaman aralığında yerine getirmesi için yapılması gereken iş adımlarını ortaya koyan bir yaklaşımdır.

Bu yaklaşımda ekipmanı işleten üretim ekibi ürettiği ürün için ekipmanı nasıl kullanması gerektiğini bilerek kontrol noktalarındaki görevlerini zamanında yerine getirecektir. Aynı zamanda üretim ekibinin ekipman fonksiyonu hakkında bilgisinin artması ile bakım ekiplerine doğru verilerin iletilmesi sağlanacaktır. Bakım ekibi ise ekipmanın fonksiyonun sürdürülebilirliği için yapması gereken müdahaleleri zamanında yerine getirecektir. Bu sayede ekipmanı kullanan ve işletilmesini sağlayan ekiplerin zamanında ve doğru yapılan müdahaleleri ile toplam ekipman verimliliği artacak ve güvenilir ekipmanlar ile üretim programı yürütülecektir. Bu şekilde yürütülen bakım faaliyetleri sonucunda TPM'in de felsefesi olan otonom bakım yönetimi anlayışına erişilmesi hedeflenmektedir.

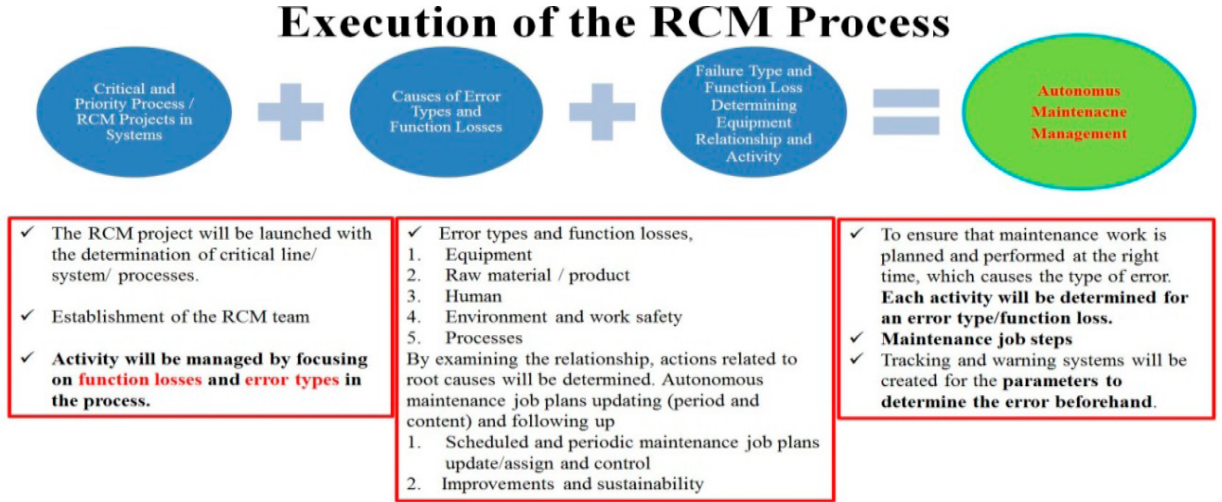
2. Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance)

RCM, kullanıcının belirlediği zamanda üretmek istediği ürün için ekipmandan beklediği fonksiyonları yerine getirmesi için yapılması gereken bakım iş adımlarını belirleyen bir prosesdir[2]. Ekipmanın üretim sürecindeki fonksiyonun devamlılığı ve ekipmandan beklenen performans için standartlar oluşturur. Bu süreçte fonksiyon kayıpları, hata modları, hata modu sıklıklarının ve bu hata modlarının etkilerini inceler. Bu kayıp ve hata modlarının meydana gelmemesi için iş planları oluşturur, sorumlu ekipleri belirler. RCM 'de karar verme süreci ekipman bakımında yapılacak iş adımlarının tanımlanması, periyotlarının ve kullanılacak yedek parçaların belirlenmesi ile bakım yönetim sistemini geliştirir. Bununla birlikte ekipmanın prosese uygun olup olmadığının karar verilmesini sağlar, yeni yatırım ihtiyacını ve proses uygunluğu için ekipmandaki tasarım değişikliklerini belirler. Tüm bu standartları geliştirirken çevreye olan etkileri ve iş güvenliğini ön planda tutar.

3. Güvenilirlik Merkezli Bakımın Paketleme Makinesi Uygulaması

RCM prosesini uygulamaya başlamadan önce fiziksel varlıkların işletme sisteminde kayıtlarının olması ve üretim proseslerinde aktif olarak kullanılan ekipmanlar olmaları gerekmektedir[2]. Bu gereklilikten yola çıkarak işletme-

mizde kullanılan ekipmanlar incelenmiş ve kritiklik analizi yapılmıştır. Kritiklik analiz sonrasında RCM çalışması yapılacak ekipmanlar belirlenmiştir. Çalışmamızda tablet çikolata paketlemesini gerçekleştiren paketleme makinelerine RCM prosesi uygulaması açıklanacaktır.



Şekil 1 RCM Uygulama Süreci

3.1. Kritik Ekipmanların Belirlenmesi

İşletmemizde aktif olarak kullanılan paketleme makinesinin geçmiş yıllara ait key performance indicator(KPI) verileri incelenmiştir. KPI verileri içerisinde arıza duruş oranı, MTBF, MTTR, kullanılabilirlik, performans, kaliteli ürün, ekipmanın toplam verimliliği(OEE) ve uygulanan planlı bakım işçilikleri ve arıza işçilikleri verileri incelenmiştir. Paketleme makinesine periyodik olarak planlı bakım uygulanmış ancak bazı kayıp yaşatan hata modlarının önüne geçilemediği görülmüştür.

3.2. RCM Ekibinin Kurulması

RCM takım çalışması içerisinde uygulanması gereken bir yaklaşımdır. Bu sebeple kritik ekipmanı belirlenen hattın süreç sahibi, bu ekipmanı kullanan operatörler, kalite ekipleri, ekipmana arıza bakım uygulayan ekipler ve planlı bakım ekiplerinden oluşan RCM ekibi kurulmuştur. Ürünle ekipmanın ilişkilenilmesi aşamasında çalışmaya ürün geliştirme ekipleri de dahil edilmiştir.

3.3. Paketleme Makinesinin Mevcut Durum Analizi

RCM ekibiyle birlikte ekipmanda yaşanan arızalar, kalite ve performans problemleri değerlendirilerek ekipmanın mevcut durumu üretim sırasında gözlemlenmiş, ekipmanın prosetteki fonksiyonu ve ürün ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda ekipmanın prosetteki fonksiyonu ve ürünle olan ilişkisi anlaşılmış olup bakım iş adımlarını oluşturmak için ilk adım atılmıştır. Yapılacak bakım ve iyileştirme faaliyetleri belirlenmiştir.

3.4. Durum Bazlı Bakım ve Takibi

RCM iş adımları aşamasından önce paketleme makinesini ilk günkü çalışma performansına getirebilmek için gerekli durum bazlı bakımları yapılmıştır. Belirlenen fonksiyon kayıplarını gidermek için ürün özelliklerine göre iyileştirme yapılarak katlama sistemlerinde parça tasarımı ve malzeme özellikleri değiştirilmiştir. Bakım iş adımları oluşturma aşamasına geçilmiştir.



3.5. Bakım İş Adımlarının Oluşturulması

3.5.1. Ekipman Fonksiyonun Tanımlanması ve RCM Bilgi Formu

Bir ekipman ya da ekipmanın alt grubundan istediğimiz görevi belirlenen standartlarda ve zamanda yerine getirmesini fonksiyon olarak tanımlayabiliriz. Bu çalışmayı gerçekleştirdiğimiz makinenin ana fonksiyonunu düşünecek olursak istenilen kapasitede paketleme işlemini belirlenen kalite standartlarına uygun olarak gerçekleştirmek şeklinde ifade edebiliriz. Fakat kompleks sistemlerde bu fonksiyon tanımlamasını ekipmanı alt gruplara bölerek yapmak daha doğru olmaktadır. Paketleme makinelerinde alt grup olarak bahsedilen grupları bir hat üzerinde bulunan ürünün farklı istasyonlara uğrayarak çeşitli işlemlerden geçmesi şeklinde düşünebiliriz. Bu sayede oluşacak fonksiyon kayıpları ve hata modlarını daha ayrıntı olarak inceleyebiliriz.

Ekipmandan ya da ekipmanın alt grubundan beklenen fonksiyonu yerine getirememesi fonksiyon kaybı olarak tanımlanır. Fonksiyon kaybının nedeni bir hata modu ile belirlenir. Hata modundan yola çıkarak hangi fonksiyonun neden yerine getirilmediği bulunur. Hata modunun ekipman üzerinde olan etkisini ise hata etkisi olarak tanımlarız.

Ekipman üreticisinin vermiş olduğu bilgiler ve ekipmanı kullanan operatörün, bakımını gerçekleştiren bakım teknisyeni ve bakım mühendisinin tecrübeleriyle ekipmanın prosetteki fonksiyonunu ortaya koyarak fonksiyon kayıplarının, hata modlarının ve hata etkilerinin listesi oluşturulur. Bu listeye bilgi formu adı verilir[2]. Bu formu ekipmanı kullanan ve ekipmanın işletiminden sorumlu olan ekipler için bir hata bulma haritası şeklinde düşünebiliriz. Bu form sayesinde ekipmanın prosetteki fonksiyonu tanımlanır ve ekipmanda fonksiyon kayıplarının oluşmaması için neler yapılması gerektiği ile ilgili karar aşamasına geçilir. RCM çalışmasını uyguladığımız paketleme makinesi için Şekil 2’de belirtilen bilgi formu hazırlanmıştır.

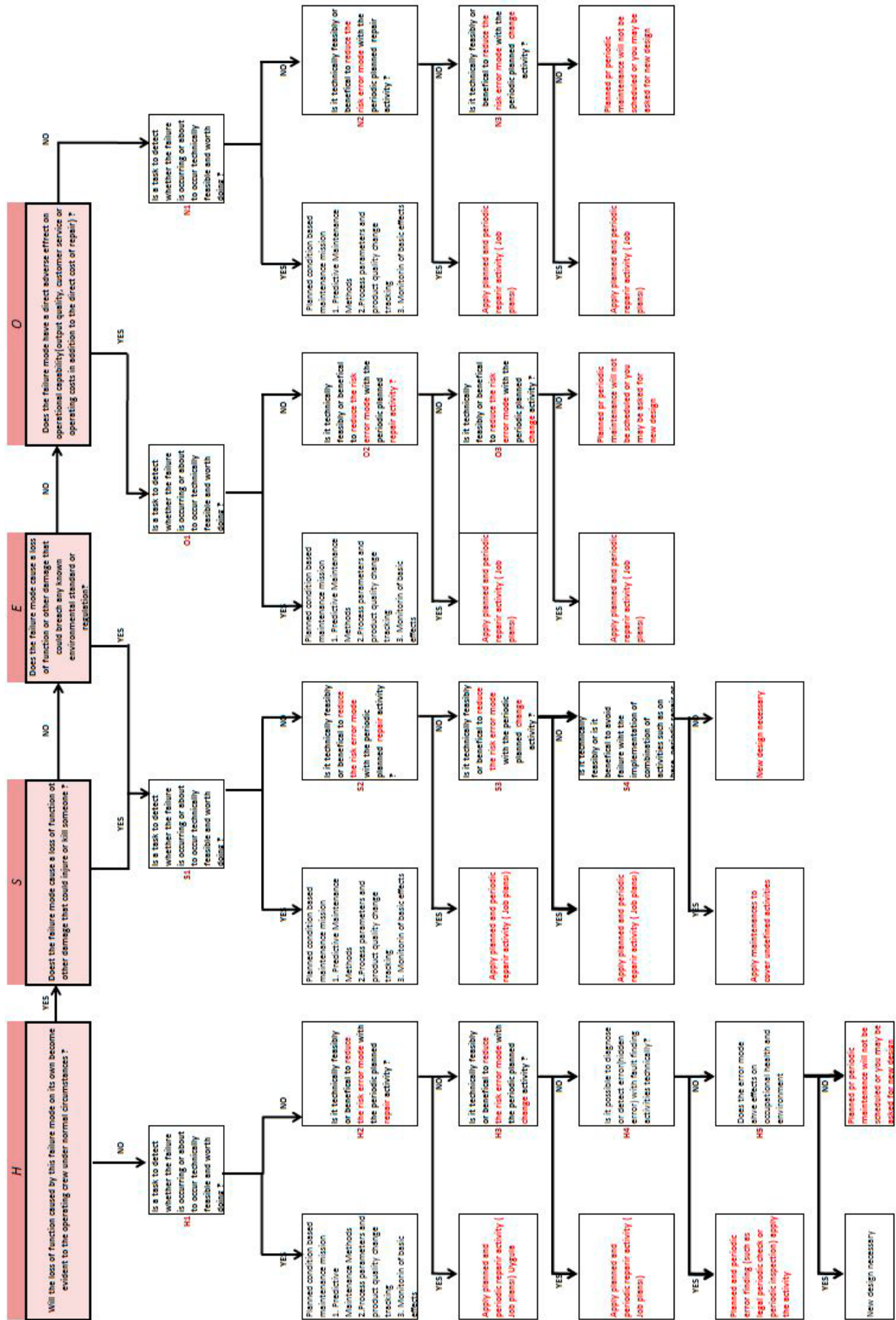
RCM INFORMATION FORM	LINE		TABLET LINE	LINE ID NUMBER	XXX	RESPONSIBLE	A	DATE	PAGE NUMBER	4
	EQUIPMENT		TABLET PACKAGING MACHINE	EQUIPMENT ID	YYY	CONTROLLER	B	DATE	TOTAL PAGE	6
	SUB GROUP		FOIL FOLDING GROUP							
FUNCTION	FUNCTION FAILURE (LOSS OF FUNCTION)		FAILURE/ERROR MODE (CAUSE OF FAILURE)		FAILURE/ERROR EFFECT (WHAT HAPPENS WHEN IT FAILS)					
1	A	Longitudinal bonding	1	Heater malfunction	Open packing					
			2	Sealing temperature fault	Open packing					
			3	Insufficient heater pressure	Open packing					
	B	Longitudinal folding	1	Main drive fault	The equipment won't work					
			2	Elevator group malfunction	Packaging is not possible					
			3	Incorret positioning of the 90° folding support plate	Open package due to improper folding					
			4	180° folding plate is not working	Open package due to improper folding					
			5	Locking fork malfunction	Scrap problem					
			6	Wrong brush pressure	Open packaging and scrap problem					
	C	Transverse folding	1	Locking fork malfunction	Open packaging and scrap problem					
			2	Deformation of longitudinal plate	Foil tearing					
			3	Wrong assembly of transverse plate	Improper folding					

Şekil 2 RCM Bilgi Formu

Bilgi formu hazırlandıktan sonra karar verme diyagramı kullanılarak karar formu doldurma aşamasına geçilir.

3.5.2. Karar Verme Diyagramı ve Karar Formu

Karar verme aşamasında fonksiyon kaybına neden olan hata modlarının önlenmesi için ön görülen faaliyetler belirlenir. Ön görülen faaliyetleri belirlerken karar verme diyagramı kullanılarak çeşitli aşamalarda çevreye olan etkiler, iş sağlığı ve güvenliği, fizibilite, tasarım değişikliği, planlı bakım faaliyetleri, arıza bakım faaliyetleri, kestirimci bakım faaliyetleri ve yeni ekipman yatırımları değerlendirilir. Bu diyagram bilgi formunda belirlenen fonksiyon kayıpları ile ilgili yöntem belirleyici sorular sorarak doğru iş adımı belirlemeyi sağlar[2]. RCM karar diyagramı Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3 RCM Karar Verme Diyagramı



Bu aşamadan sonra karar formu doldurma adımına geçilir. Yapılması gereken iş adımı ön görülen faaliyet altında belirtilir ve bu işi yapması gereken ekipler sorumlu kısmına atanır. Tüm bu veriler karar formu üzerinde doldurularak ekipmanın prostedeki fonksiyonunu sürdürülebilmesi için gerekli iş adımları ve iş adımı periyotları belirlenir[2].

RCM çalışmasını gerçekleştirdiğimiz paketleme makinesi farklı ölçü ve özelliklerde ürün paketlemektedir. Bu sebeple paketleme makinesi üzerinde belirlemiş olduğumuz fonksiyon kayıplarını farklı özelliklerdeki ürünler için değerlendirilerek belirledik. Bundan sonraki aşamada bu fonksiyon kayıplarının oluşmaması için yapılması gereken iş adımlarını belirlerken karar diyagramını kullandık. Karar diyagramındaki değerlendirme sonucunda bu fonksiyon kayıplarının oluşmaması için yapılması gerekenleri ön görülen faaliyet kısmında belirttik. Bu faaliyetleri yerine getirecek ekipleri belirledik. Sonuç olarak paketleme makinesinin, paketlenen ürün özelliklerine göre prostedeki fonksiyon kayıplarını engelleyen iş adımlarını oluşturduk. Hazırlanan karar formu örneği Şekil 4’de görülmektedir.

RCM DECISION FORM		LINE	TABLET LINE	LINE ID NUMBER	XXX	RESPONSIBLE	A	DATE	PAGE NUMBER	4				
		EQUIPMENT	TABLET PACKAGING MACHINE	EQUIPMENT ID	YYY	CONTROLLER	B	DATE	TOTAL PAGE	6				
		SUBGROUP	FOIL FOLDING GROUP											
RCM Information Form			RCM Decision Form				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Action		Proposed Task	Initial Interval	Can be done by
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4			
1	A	1	E	H	H	E		O3				Replace the heater	Run to failure	Maintenance Team
		2	E	H	H	E	O1					Temperature parameter control to be used by product	Shift start	Operator
		3	E	H	H	E	O1					Check of the temperature control device	6 months	Maintenance Team
		3	E	H	H	E	O1					Surface check of the longitudinal bonding jaws	1 months	Operator
		1	E	H	H	E	O1					Check the cam settings and surface pressure of the longitudinal jaws using instructions	Shift start / Set-up	Operator
		1	E	H	H	E	O1					Surface check of the teflon pressure part	1 months	Operator
		1	E	H	H	E	O1					Temperature monitoring with thermal label	Shift start	Operator
		2	E	H	H	E		O2				Change bushings	1 year	Maintenance Team
		2	E	H	H	E		O2				Change rod ends	1 year	Maintenance Team
		2	E	H	H	E		O2				Change lift pulling nails	3 years	Maintenance Team
		2	E	H	H	E		O2				Cam abrasion check	3 months	Maintenance Team
		3	E	H	H	E	O1					Surface check of the 90 degree folding part	1 month	Operator
		3	E	H	H	E	O1					Cam abrasion check	3 months	Maintenance Team
		3	E	H	H	E	O1					Motion control of the 90 degree folding part	Shift start	Operator
		4	E	H	H	E	O1					Surface check of the 180 degree folding part	1 month	Operator
		4	E	H	H	E	O1					Cam abrasion check	3 months	Maintenance Team
		4	E	H	H	E	O1					Motion control of the 180 degree folding part	Shift start	Operator
		5	E	H	H	E	O1					Distance control of the locking forks using instructions	Shift start	Operator
		5	E	H	H	E	O1					Surface check of the locking forks	1 month	Operator
		5	E	H	H	E	O1					Cam abrasion check	3 months	Maintenance Team
		6	E	H	H	E	O1					Distance control of the brush pressure to the product using instructions	Shift start	Operator
		1	E	H	H	E	O1					Distance control of the locking forks using instructions	Shift start	Operator
		1	E	H	H	E	O1					Surface check of the locking forks	1 month	Maintenance Team
		1	E	H	H	E	O1					Cam abrasion check	3 months	Maintenance Team
		2	E	H	H	E		O3				Change the transverse folding part	1 year	Maintenance Team
		3	E	H	H	E	O1					Distance control of the transverse folding part to the product using instructions	Shift start	Operator

Şekil 4 RCM Karar Formu

Karar formu tamamlandıktan sonra uygulanacak olan iş adımları için parametre ayarları ve bunların nasıl yapılacağını açıklayan talimatlar oluşturulmuştur.

3.5.3. Ürüne Göre Parametre Ayarları ve Talimatlar

Paketleme makinesi için iş adımları tamamlandıktan sonra bu iş adımlarını uygulayacak olan ekiplerin ürüne göre yapacakları ayar ve bunları nasıl yapacaklarını anlatan methodları öğrenmeleri gerekmektedir. Aksi takdirde yanlış yöntemle uygulanacak olan bir iş adımı başka hatalara sebep olabilir.

RCM çalışmasını gerçekleştirmiş olduğumuz bu paketleme makinesinde mekanik kam mekanizmaları kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar tek bir mil üzerine bağlı olup her istasyonda farklı bir görevi icra etmektedirler. Tek bir motor ile tahrik edilen bir mil üzerinde bulunan kam mekanizmalarının doğru ayarlanması, ekipmanda bulunan farklı istasyonların birbirleriyle senkron olarak çalışabilmesi için zorunludur. Paketleme makinesini kullanan operatör paketlediği ürünün ölçüleri ve özelliklerine göre makinenin mekanik parametrelerini bilmeli ve bu parametre ayarlarını değiştirirken doğru yöntemleri uygulamalıdır. Yine aynı şekilde ekipmanın işletiminin devamlılığını sağ-

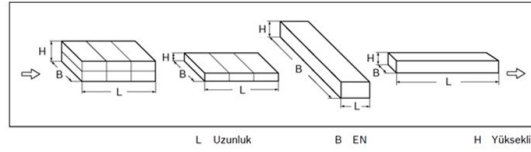
layan bakım ekipleri için de bakım müdahalelerinde yapılacak işlemlerin doğru uygulanması önemlidir. Hazırlanan bu parametre ayarları ve talimatlar sayesinde iş adımlarının doğru yöntemle ve zamanında nasıl uygulanacağı belirlenmiştir. Bu talimatlar ekipmanı kullanan kişiler için bir kullanım kılavuzu olmuştur. Örnek parametre ayar değerleri tablosu Şekil 5’de verilmiştir.

PACKAGING MACHINE PARAMETER SETTINGS			
CAM SETTINGS		CAM SET VALUES	
CAM NUMBER	SUBGROUP OF THE MACHINE	A PRODUCT	B PRODUCT
FOIL PULLING SYSTEM		A PRODUCT	B PRODUCT
118	Foil holder bottom tabs(Aluminum fixing)	30	60
100	Stroke of the feeding belt	113	48
21	Stroke of the product pusher	26	28
23	Trigger-top holder table fixing motion position	10	6
22	Foil support side tables	30	8
24	Feed line distance	12	13
25	Distance between product holder and carrier for transport	7	14
101	Edge folding servant	40	10
102	Pliers pull adjustment	6	2
103	Backstage for upper tab	117,5	50
104	Folding pusher	95	23
105	Downstage for upper tab	25	20
106	Handle the stacking hook	70	-
107	Backstage for lower tab	32	11

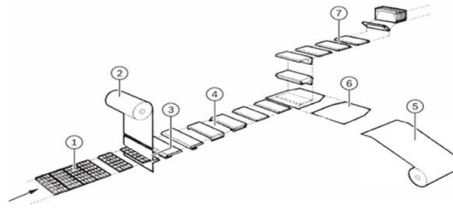
Şekil 5 Mekanik Kam Parametreleri Tablosu

Şekil 5’de verilen parametre değerlerinin nasıl ayarlanacağı Şekil 6 ve Şekil 7’de belirtilen talimatlar kısmında verilmiştir.

2- Ürün boyutları tanımları aşağıda belirtilmiştir.



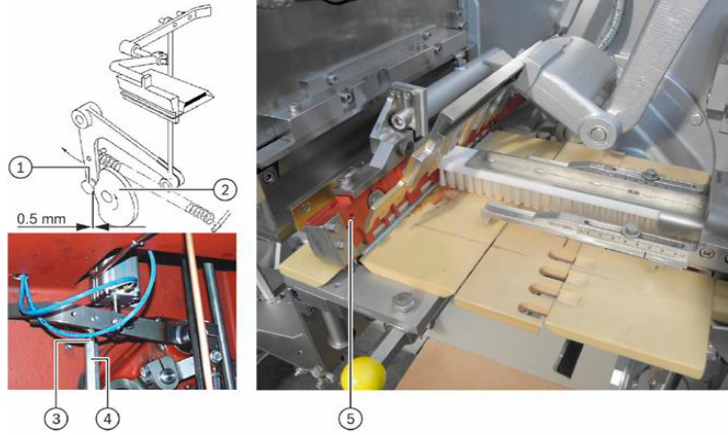
3- Makinenin çalışma prensibi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6 Ürün Özellikleri ve Çalışma Prensibi



7. LONGITUDINAL SEALING HEATER JAW CAM AND PRESSURE ADJUSTMENT INSTRUCTIONS

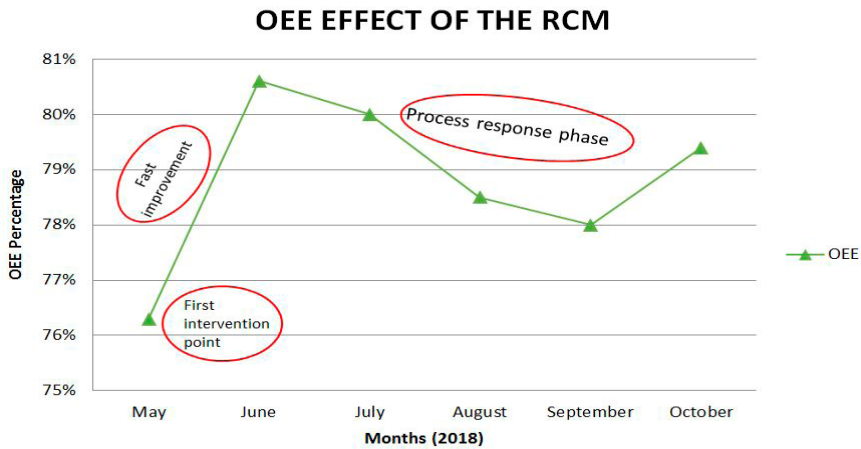


Set the longitudinal sealing heater jaw **5** to correct pressure. The correct setting occurs when the jaw with a full closed position is 0.5 mm in front of the cam plate **No.1** of the curved spool **No.2**.

Şekil 7 Ayar Talimatları

4. OEE Etkisi

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda belirlenen yöntemlerle zamanında yapılan müdahaleler sayesinde toplam ekipman verimliliğinde hızlı bir artış görülmüştür. Bu pilot çalışmanın OEE verileri ilk müdahale tarihinden itibaren 6 ay içerisinde değerlendirilmiştir. OEE verileri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8 OEE Verileri

5. Sonuç

Paketleme makinesinde uygulanan RCM çalışması ile ekipmanın prosesteki gerçek fonksiyonun ve ürün ile olan ilişkisinin ekipmanı kullanan ve ekipmanın sürdürülebilirliğini sağlayan ekipler için anlaşılması sağlanmıştır. Yaşanan fonksiyon kayıplarının ekip çalışması ile giderilmesiyle ekipman ve hat OEE'sinde olumlu yönde artış görülmüştür. Plansız duruşların önüne geçilmiş ve ürün kalitesi nedeni ile yaşanan hatalar engellenmiştir. TPM'in de hedeflerinden bir tanesi olan kendi kendine yeten otonom bakım yönetim sisteminin gelişimine katkıda bulunulmuştur. Tüm ekiplerin katılımı ile gerçekleşen bu çalışma, ekipmanı kullanan ve ekipmanın işletiminden sorumlu ekiplerin bir arada fikir yürüterek sorunların üstesinden gelmesini sağlamıştır.

6. Kaynakça

[1] Prof .Dr. Mustafa Köksal (2015) “Bakım Planlaması” Seçkin Yayınları 2.Baskı s.15.

[2] J. Moubay (1997) ”Reliability-centered Maintenance” Published by Elsevier Ltd. Second Edition Commun: 5-233 .

7. Özgeçmiş

Oğuzhan YAVUZ

“1992 yılında Eskişehir’de doğdu. 2015 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetinden sonra ilk olarak MC Sistem Elektronik Elektrik İnşaat Taahhüt Sanayi Ticaret A.Ş. de Otomasyon Mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılı Aralık ayından itibaren Eti Gıda Sanayi Ve Ticaret A.Ş. de Bakım Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Yeni teknolojilerin uygulanabilirliği, devreye alma çalışmaları, TPM uygulamaları ile iyileştirme ve maliyet azaltma, bakımda Endüstri 4.0 konularında çalışmaya devam etmektedir.”



HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KURALCI BAKIM YAKLAŞIMI

¹Necmi Kara

¹TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
Fethiye Mahallesi, Havacılık Bulvarı No:17
06980 Kazan-ANKARA / TÜRKİYE
Tel: 312 811 18 00 E-Posta: nkara@tai.com.tr

Özet

Bu bildiri bakım tekniklerinin gelişimi ele alınmış, bunların tanımı yapılmış ve kestirimci bakım ile geleceğin bakım yöntemi olarak işaret edilen kuralcı (prescriptive, reçeteli) bakım konsepti arasındaki fark vurgulanmıştır. Büyük veri, makina öğrenimi, nesnelerin interneti gibi endüstri 4.0 teknolojilerine dayanan kuralcı bakımın tavsiyelerde bulunma dışında aksiyon alınmasını gerekli kıldığı ve basit bakım sistemlerinden stratejik bakım sistemlerine geçişin yolunu açtığı belirtilmiştir. Kuralcı bakımın altyapısını oluşturan büyük veri ve analitik gibi tekniklerin havacılıkta kullanımının yeni olmadığı; bununla birlikte, kestirimci bakım ve kuralcı bakımın bu teknikleri kullanmasıyla verimlilik ve emniyetin artacağına değinilmiştir. Kuralcı bakımın uçaklardaki kullanım şekli söz edilmiş ve kullanımı ile ilgili bir örnek verilmiştir. Kuralcı bakımın uçak bakımındaki kullanımının geleceği değerlendirilmiş, bazı zorluklar olduğundan bahsedilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Algılayıcı, Büyük Veri, Analiz, Kestirimci Bakım, Kuralcı Bakım, Filo,

Abstract

In this paper, evolution of maintenance technics are evaluated, these technics are described, differences between predictive and prescriptive maintenance, which is shown as the future of the aircraft maintenance, are emphasized. It is pointed out that prescriptive maintenance, which is based on the industry 4.0 components like big data, machine learning, internet of things requires taking actions other than giving advices and it opens the road to the transition from simple maintenance to strategic maintenance. It is mentioned that use of technics like big data and analytics in aviation is not recent, but together with predictive and prescriptive maintenance, they improve efficiency and safety of aircraft maintenance. The way prescriptive maintenance is used in maintenance of aircraft is explained with an example. Future of the prescriptive maintenance in aircraft maintenance is evaluated and some obstacles for applications are notified.

Key words: Sensor, Big Data, Analytics, Predictive Maintenance, Prescriptive Maintenance, Fleet

1. Giriş

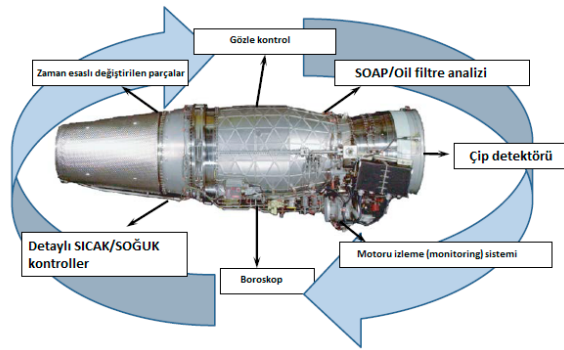
Bugünlerde bakım teknolojileri bir dönüm noktasına gelmiştir[1] Gittikçe karmaşıklaşan uçaklar, havayolu filolarının bakım yapış şekillerini esaslı biçimde geliştirerek önceleri plansız olan bakımları takvimlendirme, gecikme ve iptalleri azaltma imkanı sağlayacak kadar veri üretmektedir. Kestirimci modeller ve algoritmalar bunu mümkün kılacak seviyededir. Uçaktaki algılayıcılar tarafından kaydedilen yüklü miktardaki gerçek zamanlı bilgi, operasyonel ve geçmişe dönük bakım durumu ile birlikte kullanılabilir[2]. İzlenen ekipmanlardan veri alınarak, arıza gerçekleşmeden bakımın doğru ve yeterli bir biçimde yapılmasını sağlamak anlamına gelen kestirimci bakım, uçak bakımında önemli bir etki yaratmaya başlamıştır. Öte yandan, preskriptif analiz prensiplerinden türetilmiş olan kuralcı bakım konsepti ise kestirimci bakımın bir adım ötesini işaret etmekte olup, belirli bir durumdaki muhtemel çıktılarını sağlamanın dışında bu çıktıları analiz ederek izlenmesi gereken en iyi yolu gösterir. Henüz standart bakım ve tamir uygulaması olmamakla birlikte, havacılıkta şimdiden kullanılmaya başlamıştır. Bu strateji temel olarak MRO'ların tahmin yapma işini ortadan kaldırmak ve verimliliği optimize etmek için sıkı zaman sınırları olan bir sektörde 'hesaplayan modellere' imkan sağlayacaktır.

2. Bakım Konseptinin Gelişimi

Birçok şirket yıllardır bakım işlemini değiştirmeden imalatçıların tavsiyelerine bağlı olarak aynı tarzda yürütmüştür[1]. Görevde aksama yaşanmaması için işletmelerdeki ekipmanlara belirli periyotlarda veya ekipman durumuna göre planlı duruş alınarak ekipmanlara bakım uygulanır. Uygulanan bakım ile ekipmanların güvenilirlik seviyeleri yukarı çekilir. Bu uygulamaya planlı bakım denir. Planlı bakım; zaman bazlı ve durum bazlı olmak üzere iki tür bakım metodundan oluşmaktadır [3].

Zaman bazlı (Time Based) bakımda ekipmanın çalışma durumundan bağımsız olarak belirli zaman aralıklarında bakım faaliyetleri gerçekleştirilmektedir (periyodik yağ değişimleri, planlı duruşlarda gerçekleştirilen kompresör ve türbin genel bakımları, elektriksel testler vb.) [4].

En geniş kapsamlı olarak uygulanan mevcut bakım sistemi durum esaslı bakımdır. Bunun sebebi, değerli ekipmanlardaki gömülü algılayıcılar gibi küçük ölçekli hesaplama teknolojisi sayesinde firmaların artık bu tür bakıma kolayca geçebilmesidir. Bu tip bakımda önceden belirlenmiş bir takvime bağlı olarak bakım yapmak yerine, bir ürünün gerçek durumuna bakılarak bakım ihtiyacı belirlenmektedir(Şekil 1).



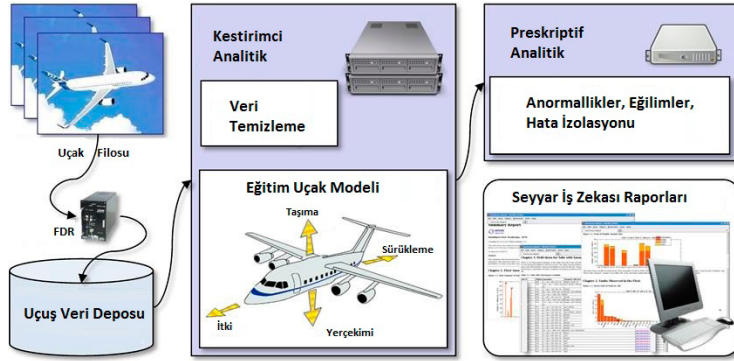
Şekil 1: Honeywell F124 motorunda durum esaslı (on-condition) bakım [5]

Durum esaslı bakımın gelişmiş bir yöntemi ve büyük verinin oluşturduğu en belirgin fırsatlardan birisi olan kestirimci bakımda ise, ekipmandan gerçek zamanlı veya gerçek zamanlıya yakın veri geldiğinde gelişmiş analitikler kullanılarak operasyonları etkileyebilecek güvenilirlik riskleri belirlenmektedir. Makina öğrenimi ve analitik operasyonel veriye uygulanarak ürünün performansı daha iyi değerlendirilmektedir.

3. Geleceğin Bakımı

Geleceğin bakımı gibi görünen ve yerleşik zekaya sahip önleyici bakım olarak da tanımlanabilecek kuralcı bakım

yaklaşımında da bakım konusunda kestirimlerde bulunmak için gelişmiş analitikleri kullanır. Farklı olarak ise, sadece tavsiyelerde bulunulmaz, bu tavsiyelere uygun olarak aksiyon da alınır(Şekil 2).



Şekil 2: Veri akışının kestirimci ve kuralcı analitikle işlenmesi[6]

Kuralcı bakım terimi preskriptif analitik prensiplerinden türetilmiş olup, bu konsept varlık yönetimi ile bakım sistemlerinin çok iyi entegre olmasını gerektirir. Örneğin kestirimci bakım çözümü titreşim ve sıcaklık değerlerine dayanarak bir ekipmanın ana bakımının yapılmasını tavsiye edebilirken, kuralcı bir sistem bu bilgiye dayanarak alandaki teknisyenlere iş emri yayımlayabilir ve bakımın tüm iş akışını izleyip, denetleyebilir. Bu sistemler kognitif olup, düşünme kabiliyetine sahiptir. Bu teknoloji büyük veri, analitik, makina öğrenimi ve yapay zekanın keşişim noktasıdır. IBM gibi şirketler Watson gibi kognitif sistemlerle ve Maximo gibi kapsamlı varlık yönetim sistemleri ile bu alanda öncülük etmektedir. Zaman bazlı bakımdan durum bazlı bakıma, bundan kestirimci bakıma ve bundan da kuralcı bakıma geçen şirketler bu yolla aynı zamanda basit ve verimli bakım sistemlerinden, gerçek anlamda stratejik bakım sistemlerine evrilmektedirler. Bakımın ötesinde bilişsel sistemler bakım ve operasyon verisini kalite, garanti ve mühendislik verisi gibi diğer veri kaynakları ile entegre ederek şirketlerin operasyonları için kritik olabilirler.

Kuralcı bakım, analizle başlar[7]. Analiz yöntemleri de tanımlayıcı (descriptive), tanısal (diagnostic), kestirimci (predictive) ve kuralcı (prescriptive) analiz olarak sınıflandırılmaktadır. Tanımlayıcı (descriptive) ve tanısal (diagnostic) analizler basit analiz yöntemleri olup, bilgi yığınına küçük, faydalı bilgiye dönüştürürler (Şekil 3).



Şekil 3: Verinin analiz yöntemlerine göre değerlendirilmesi ve işlem görmesi [8]

Preskriptif analiz bir problem oluşabileceği bilgisini verirken, bu problemin çözümü için seçebilecek çok sayıda cevap ve aksiyon vermektedir.

Aslında havacılıkta büyük veri ve analitik on yıllardır kullanılmaktadır. Uçaklar ve motorlar zaten veri üretiyorlardı, ancak Boeing 787, 737Max ve Airbus A350 gibi yeni tip uçaklar veri devrimini hızlandırmıştır. Uçak üzerinde bulunan çok sayıda ekipman ortalama bir uçuşta 500 ile 1000 gigabit veri üretebilir ki, bu da büyük veridir. Örneğin 787 uçağının algılayıcıları 45 000 hata tesbit edebilmektedir ki, bu rakam 1980'lerin uçağı Boeing 767'ninkinden 5 kat daha fazladır. Bir 737 uçağı her bir uçuşta yaklaşık olarak 28 MB veri üretmektedir. GE Havacılık firmasının



turbofanları 1000 parametreyi monitör edebilmekte ve her uçuşta 50 MB ile 200 MB arasında veri üretmektedir. P&W firmasının yeni geared turbofan (GTF) motorları, International Aero Engines firmasının ilk jenerasyon V2500 turbofanlarına göre %40 daha fazla algılayıcıya sahiptir [9]. Bu teknolojilerin uçak bakımında kestirimci ve kuralcı bakım konseptiyle birlikte kullanımının, uçuş emniyetini artırmanın yanında %10 verimlilik ile yeni jenerasyon bir uçağa eşdeğer iyileştirme sağlayacağı tahmin edilmektedir [10].

Kuralcı bakıma bir örnek olarak Boeing AnalytX ekibi 787 uçağında analiz edilecek 200 milyardan fazla veri noktası sağlayan tüm uçuş algılayıcı verisi ve bakım kayıtlarını kullanarak hidrolik spoiler güç kontrol ünitesindeki uçağın yerde kalmasına sebep olabilecek (AOG- aircraft on ground) korozyonu tespit etmiştir.

Algoritma, ekstra(redundant) iki bakır telden birisinin açık devre arızasına sebep olacak kadar korozyona uğradığını tespit etti. Bu, kendi içinde önemli bir adımdır; çünkü her iki tel görev yapamaz duruma gelmeden uçak tarafından bir hata (fault) mesajı üretilmez. Bu da modern uçakların yüksek güvenilirliği sayesinde çok nadir olarak meydana gelebilecek bir olaydır. Olay yaygın olmamakla ve uçuş emniyeti ile ilgili bir problem oluşturmamakla birlikte, yine de operatörler için direct olarak durdurucudur; çünkü hata mesajına kadar gözle görülür herhangi bir erken göstergesi yoktur.

Mühendislik ve veri bilimi ekibi spoiler güç kontrol ünitesindeki aşınmanın kritik seviyeye gelmeden kontrol edilmesi gereken optimum zamanı belirleyebilmek için ünitenin ne zaman bozulabileceğini inceledi. Hangi kuyruk ve spoiler pozisyonunun aşındırıcı olduğunu kesin biçimde öngörme kabiliyeti olmadan operatör tekrarlayan periyotlarla hepsini kontrol etmek zorunda kalırdı ki bu da oldukça masraflı bir işti. Makina öğrenimi ve derin öğrenme metotları kullanarak anlamlı kestirimci imzalar bulmak için bir kaç hafta sistematik olarak binlerce matematik deneyleri koşturmak suretiyle çıplak gözle görülemeyen paternler tanımlanmış oldu.

Boeing'in veri bilimcileri ile tasarım ve sistem mühendisleri arasında yan yana onaylama ve sık iterasyon yoluyla yapılan ve Boeing'in global filo bilgisi tarafından desteklenen çalışma sayesinde spesifik kuyruk ve spoiler pozisyonunu kontrol etmeyi %95 doğrulukla öngören bir veri imzası mümkün olmuştur.

Bu algoritma eyleyici (actuator) hata vermeden haftalar önce uyarı vererek operatörün yaklaşan hedeflenmiş kontrolleri planlı bakım aralıklarına verimli biçimde dahil etmesini mümkün kıldı. Boeing AnalytX'in bu şekildeki kullanımını operatöre, bakım aksiyonunu planlayıp kesintiden kaçınacak kadar yeterli bir zaman sağlayarak tepkisel bakımdan kestirimci bakıma geçme imkanı verdi. Kesintiden kaçınmanın yanında operatör için tüm filoda spoiler kontrolüne göre %68 maliyet düşüşünü temsil etmektedir.

Bu örnek, mühendis ve bakımçılar için kestirimci ve kuralcı bakım bağlamında geleceğin çok farklı olacağını göstermektedir. Kuralcı bakım bir uçağın tasarım fazı gibi erken bir evresinde denklemin bir parçası olup, imalat ve test sürecinde de devam etmek suretiyle hızla evrilmiştir. Havacılık alanında büyük veri ve analitiğin gücü adapte edilip geliştirilmeye devam ettikçe uçaklar eskisinden çok daha yüksek bir güvenilirlik ve hazır bulunabilirlik seviyesi ile hizmete gireceklerdir. Kuralcı bakımın gücü sayesinde havayolları kararlarını desteklemek ve yönlendirmek için durum anlayıp harekete geçme gücünü kazanmaktadırlar. Uçakların operasyonel zamanında bilgi akışı daha da önemli olmaktadır.

Ancak bütün sektörlerde zor olan büyük değişiklikler havacılıkta daha da zor olmaktadır . Bu zorlukların başında yazılım geliştirme, bu karmaşık sistemlere hakim personel idame etme ve bunları eğitime gibi yüksek maliyetler gelmektedir. Havacılık regülasyonlarına uyum, yerleşik bakım sistemindeki alışkanlıklardan kurtulmak gibi zorlukların da aşılması gerekecektir[11].

4. Sonuç

Henüz yeterince yaygınlaşmamış olan kestirimci bakım kabiliyetlerinin artmasıyla birlikte uçuş verisi; mürettebat planı, uçak tahsisi ve uçuş tarifesi gibi bir havayolu operasyonunun diğer yönleri ile iç içe geçerek tam kestirimci bir işleme ortaya çıkacaktır. Müşteriler, motor ve diğer komponentlerin durumunu daha iyi görebilecekler ve performans verisi, havayolu operasyonlarını gittikçe daha çok yönlendirecektir. Bu da, daha hızlı bakıma, daha hızlı motor sökümüne ve operatörlere özgü 'motorun kanatta kalma süresine' (time-on-the-wing) imkan sağlayacaktır.

Bunun anlamı, daha planlı bir ortama evrilmektir.

Bakımın olgunluk eğrisini anlayarak mevcut operasyonlarının ne durumda olduğunu, nerede olmak istediklerini (teknoloji ve proseslere yaptıkları yatırımların karşılığını en iyi nerede alabilecekleri) ve bakım programlarını nasıl geliştireceklerine karar vermeleri havacılık sektöründeki uçak imalatçıları, bakım/onarım firmaları (MRO'lar) ve havayolları için kritiktir. Ancak şirketler ne karar verirse versin, kestirimci bakımın bir üst evresi olan ve büyük veri, nesnelerin interneti, makina öğrenimi gibi Endüstri 4.0 teknolojilerine dayanan kuralcı bakımın kullanımı, uçaklarının durumunu şeffaf biçimde ortaya koyacak ve şirketlerin bakım yapma tarzını değiştirip, geliştirecektir[12].

5. Kaynaklar

- [1] <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/maintenance-evolution-prescriptive/>, 16/6/2019 tarihinde girildi
- [2] Khattak, E.T., Buhler, P., (2016), Big Data Fundamentals, ISBN-13: 978-0-13-429107-9, Prentice Hall, Indiana
- [3] R.Keith MOobley, Copyright # 2004, Maintenance Fundamentals, Elsevier Inc., Page 10.
- [4] Güvenirlik Merkezli Bakım (GMB) Reliability Centered Maintenance (RCM) Aykut Avcı
- [5] Wyk, J., Walt, I., Going Full Circle, eResearch Africa Conference, 2014, Cape Town, South Africa
- [6] <https://www.wearefinn.com/topics/posts/prescriptive-maintenance-the-path-to-zero-surprises-in-aviation-maintenance/>, 18/6/2019 tarihinde girildi
- [7] <https://opsveda.com/enabling-decision-automation-with-prescriptive-analytics-2/>, 20/6/2019 tarihinde girildi.
- [8] Flight International, 18-24 April 2017, p. 24 – 27
- [9] Flight International, 2-8 January 2018, p. 15
- [10] <https://www.proponent.com/prescriptive-maintenance-next-generation-mro-efficiency/>
- [11] Aerospace Manufacturing and Design, Features-data Analytics, March 6, 2017,
- [12] Hoyland, T., Spaford, C., Medland, A., Aviation, Aerospace & Defense, MRO Survey, 2016

6. Özgeçmiş

Necmi Kara

1965 yılında Gümüşhane'de doğdu. İlkokulu burada, ortaokul ve liseyi Ankara'da bitirdikten sonra 1982 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Mühendisliği bölümünü 1986 yılında bitirdi ve I.HİBM'de atölye mühendisi olarak çalışmaya başladı. Yedek subaylığını da burada tamamladıktan sonra 1989 yılında Kırklareli Cam Sanayi'nde bakım mühendisi olarak çalışmaya başladı. Bahçeşehir Üniversitesinde işletme yüksek lisansı yaptı. 1991 yılında çalışmaya başladığı TUSAŞ'ta halen Montaj İmalat Mühendisliği Şefi olarak görev yapmaktadır. Bu süre içerisinde 1 yıl Boeing'de eğitim aldı. İngilizce ve Almanca bilmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.



HAZIRDA BULUNURLUK HEDEFİNE GÖRE BİR ASKERİ ARACIN ALT SİSTEMLERİ İÇİN ORTALAMA ONARIM SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

¹Bayram Kalender

¹Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü Ankara Türkiye,
bkalender@live.com, Makine Mühendisi

1. Giriş

Kontrat aşamasındaki askeri taşıtların, ordunun ihtiyacına yönelik belirlenmiş hazırda bulunurluk oranının, proje başlangıç aşamasında maliyet etkin bir şekilde sağlanabilmesi için yöntem geliştirilmesi ihtiyacının giderilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, kontrat aşaması tamamlanmış bir askeri kara aracı kullanılmıştır. Böylece, askeri şartlarda kullanılan aracın, gerçek arızalar arası ortalama süresi (MTBF) çalışma kapsamında kullanılmıştır. Bununla birlikte, askeri ve ticari gizliliğin korunabilmesi amacıyla, aracın adı, kullanıldığı yer, sistemlerin adları ve çalışma sonucu elde edilen sayısal veriler bu bildiri kapsamına alınmamıştır.

Üretilmiş ve kullanımda olan bir aracın ortalama onarım süresi (MTTR), tasarımı tamamlandığı için, teorik yöntemlerle rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Hatta üretilmiş bir araç olduğu için, deneysel çalışmalarla bu veri kesin bir şekilde elde edilebilmektedir.

Kullanıcıdan temin edilen bilgiler yardımıyla aracın MTBF değeri tespit edilmiştir. Kontrat aşamasında belirlenen hazırda bulunurluk hedefi (A_1) ve elde edilen MTBF değeri yardımıyla aracın hedef MTTR değeri bulunmuştur. Bulunan MTTR değeri, ana sistemlere, birim zamandaki arıza sayıları oranında dağıtılmıştır. Bulunan değerler gerçek MTTR değerleri ile karşılaştırılarak, geliştirilen yöntemin doğruluk oranı tespit edilmiştir.

Geliştirilen yöntem, insan faktörünün de etkisiyle, kabul edilebilir bir hata payıyla hedeflenen sonuca ulaşılmasını sağlamıştır.



2. Yapılan Çalışmalar

Yapılan çalışmaların etkin bir şekilde aktarılabilmesi için, çalışmanın temelini oluşturan kavramlar başlıklar halinde işlenmiştir.

2.1. Entegre lojistik destek kavramı

Entegre Lojistik Destek (ELD), askeri sistemler için lojistik destek gereksinimlerinin tanımlanması ve geliştirilmesi ile ilgili birçok teknik disiplinin faaliyetlerinin planlayan ve yönlendiren bir yönetim organizasyonudur [1].

“Entegre Lojistik Destek (ELD), bir sistemin, önceden belirlenmiş standartlar ve hedeflere ulaşabilmesi için, daha ihtiyacın oluşması veya tasarımının yapılmaya başlanmasından itibaren, elden çıkarma aşaması da dahil olmak üzere tüm ömür devri boyunca, ihtiyaç sahibi ile, üreticiyi ve destekleyiciyi bir araya getiren, tarafların ortak dili konuşmalarını ve mümkün olduğunca birbirlerine yakınlaşmalarını sağlayan ve bu sayede optimal şekilde performans, maliyet vb. hedeflere ulaşmayı mümkün kılan tümleşik ve sürekli kendini güncelleyen ve denetleyen bir lojistik yaklaşımdır” [2].

2.2. Entegre lojistik destek elemanları

ELD’ nin temel elemanları; sistem tasarımı / destek arayüzünü, güvenilirlik ve idame edilebilirliği, bakım planlamayı, destek ve test ekipmanlarını, tedarik desteğini, nakliye ve paketlemeyi, teknik datayı, tesisleri, personel ve eğitimi, lojistik destek kaynak fonlarını, lojistik destek yönetimi bilgisini ve anlaşmalı taraf destek servislerini içermektedir [3].

2.3. İdame edilebilirlik

“Bakım, bir sistemin belirlenen seviyede çalışmasını devam ettirmek veya sistemi tekrar bu seviyeye geri getirmek için gerekli her türlü işlemi kapsayan lojistik bir faaliyettir” [4].

2.4. Hazırda bulunurluk

Bir ekipmanın, hedeflenen yıllık kullanım süresinin, ne kadar süre kullanıma uygun vaziyette bulunabildiğini belirten yüzde bazlı orana hazırda bulunurluk denir. Örneğin bir ekipmanın hedeflenen yıllık kullanım süresi 100 saat ise ve arızalar ve bakımlar nedeniyle yıllık 10 saat harcanyorsa, bu ekipmanın hazırda bulunurluk oranı %90 dır.

Hazırda bulunurluk oranının 3 farklı versiyonu vardır. Bunlar; temel hazırda bulunurluk (A_i), gerçekleştirilen hazırda bulunurluk (A_A) ve operasyonel hazırda bulunurluk (A_O) olarak sınıflandırılmaktadır.

2.5. Temel hazırda bulunurluk

Ön tasarım aşamasında bulunan bir sistemin hazırda bulunurluk oranı bu yöntemle bulunabilmektedir. Temel hazırda bulunurluk;

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir.

Bu tahminin amacı, bir sistemin, kullanım amacı için teorik olarak hazırda bulunduğu zamanın net yüzdesini belirlemektir. Bu tahminin altınad yatan varsayım, bir arıza meydana geldiğinde, sistemi işler duruma döndürmek için gereken bakım gereçlerinin mevcut bulunacağıdır. Örneğin; yedek parça, destek ve test ekipmanı, personel vb.

Temel hazırda bulunurluk oranı hesaplaması, bakım konseptinin ve sistem temel güvenilirliğinin yeterliliğini belirlemek için, yeni sistem tasarımının, mevcut sistemlerle karşılaştırılması için bir başlangıç noktası sağlar.

2.6. Gerçekleştirilen hazırda bulunurluk

Gerçekleştirilen hazırda bulunurluk hesaplaması, bu tahminin MTTR yerine MTBM içermesi sebebiyle, temel hazırda bulunurluk hesaplamasının bir adım ötesine gitmektedir.

Gerçekleştirilen hazırda bulunurluk;

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M_{CMT} + M_{PMT}} \quad (2)$$

A_A (Achieved availability) = Gerçekleştirilen hazırda bulunurluk
 $MTBM$ (Mean time between maintenance) = Bakımlar arası ortalama süre
 M_{CMT} (Mean corrective maintenance time) = Ortalama düzeltici bakım süresi
 M_{PMT} (Mean preventative maintenance time) = Ortalama önleyici bakım süresi

formülü ile hesaplanabilmektedir.

2.7. Operasyonel hazırda bulunurluk

Bir sistemin hazırda bulunurluğunun gerçek göstergesi, gerçek çalışma koşullarında görevini yerine getirme zamanının, hedeflenen kullanım zamanının yüzde kaçını oluşturduğu. Operasyonel hazırda bulunurluk;

$$A_O = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3)$$

A_O (Operational availability) = Operasyonel hazırda bulunurluk
 $MTBM$ (Mean time between maintenance) = Bakımlar arası ortalama süre
 MDT (Maintenance delay time) = Bakım geçikme süresi

formülü ile hesaplanabilmektedir.

Yapılan çalışmada, ön tasarım aşamasındaki aracın ortalama bakım süresinin ana sistemlere dağıtılması hedeflendiği için temel hazırda bulunurluk kavramı kullanılmıştır.

2.8 Taşıtlı MTTR değerinin hesaplanması

Taşıtlı MTTR değeri, (1) formülünden türetilen;

$$MTTR = \frac{MTBF}{A_i} - MTBF \quad (4)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Burada aracın MTBF değeri elde edilirken; sahada kullanılmakta olan tüm araçların, ömürleri boyunca karşılaştıkları tüm arızalar, görev kritik olmasalar bile, dahil edilmiştir. Böylece çok daha hassas bir hesaplama yapılması hedeflenmiştir. MTBF değerinin hesaplanması güvenilirlik konusu olmakla birlikte bildiride kısaca açıklanacaktır.

2.8.1. Araç MTBF değerinin hesaplanması

Toplamda sahada 100 adet aracın bulunduğu, bir aracın ortalama 250 saat kullanıldığı, toplam ekipman kullanım süresinin 25000 saat olduğu, ortalama kullanım sürecinde bir aracın çalışmasını etkileyen 5 arıza kaydı bulunduğu, toplam 500 arıza kaydı bulunduğu kabul edilmiştir. Böylece;

$$MTBF_{Araç} = \frac{25000[saat]}{500[arıza]} = 50[saat/arıza] \quad (5)$$

değeri bulunmuştur. Yani arızalar arası geçen süre 50 saattir.

2.8.2. Araç temel hazırda bulunurluk oranı

Aracın temel hazırda bulunurluk oranının %80 olması hedeflenmektedir.

Bu veriler ışığında aracın ortalama onarım süresi;

$$MTTR_{Araç} = \frac{50}{0.80} - 50 = 12,5[saat] \quad (6)$$

olarak bulunmuştur. Bu değer, araçların ortalama kullanım süresi içerisinde karşılaşılan toplam 500 arızanın gide-

rilmesi için harcanabilecek toplam süreyi göstermektedir. Araçların kullanımı süresince kaydedilen 500 arıza 14 alt sistemde oluşmuştur. Arıza adetlerinin dağılımı Tablo-1’ de gösterilmiştir.

Tablo-1 Araç Alt Sistemlerinin Arıza Adetleri

Sistem Adı	Arıza Adedi
Alt Sistem 1	125
Alt Sistem 2	100
Alt Sistem 3	75
Alt Sistem 4	50
Alt Sistem 5	25
Alt Sistem 6	25
Alt Sistem 7	20
Alt Sistem 8	20
Alt Sistem 9	20
Alt Sistem 10	10
Alt Sistem 11	10
Alt Sistem 12	10
Alt Sistem 13	5
Alt Sistem 14	5

Ortalama tamir süresinin alt sistemlere dağıtılması amacıyla, 1 adet arızanın giderilmesi için harcanabilecek süre formül (7) ile hesaplanmıştır.

$$MTTR_{Arıza} = \frac{12.5[saat]}{500[adet]} = 0.025[saat / adet] \quad (7)$$

Birim ortalama tamir süresi 0.025 saat bulunmuştur. Bu değere göre alt sistemlerin ortalama tamir süreleri Tablo-2 de gösterilmiştir.

Tablo-2 Araç Alt Sistemlerin Hedeflenen Ortalama Tamir Süreleri

Sistem Adı	MTTR [saat]
Alt Sistem 1	3,125
Alt Sistem 2	2,500
Alt Sistem 3	1,875
Alt Sistem 4	1,250
Alt Sistem 5	0,625
Alt Sistem 6	0,625
Alt Sistem 7	0,500
Alt Sistem 8	0,500
Alt Sistem 9	0,500
Alt Sistem 10	0,250
Alt Sistem 11	0,250
Alt Sistem 12	0,250
Alt Sistem 13	0,125
Alt Sistem 14	0,125
TOPLAM	12,5

Karşılaştırma yapılabilmesi için araç alt sistemlerinin deneysel olarak hesaplanmış MTTR verileri Tablo-3 de gösterilmiştir.

Tablo-3 Araç Alt Sistemlerinin Deneysel Ortalama Tamir Süreleri

Sistem Adı	MTTR [saat]
Alt Sistem 1	3,000
Alt Sistem 2	2,500
Alt Sistem 3	1,750
Alt Sistem 4	1,250
Alt Sistem 5	0,750
Alt Sistem 6	0,750
Alt Sistem 7	0,600
Alt Sistem 8	0,400
Alt Sistem 9	0,500
Alt Sistem 10	0,200
Alt Sistem 11	0,225
Alt Sistem 12	0,225
Alt Sistem 13	0,150
Alt Sistem 14	0,100
TOPLAM	12,400

Geliştirilen yöntem sonucu yapılan hesaplamalarla, gerçek değerler arasındaki hata oranı formül (8) de hesaplanmıştır.

$$e = \frac{12,500 - 12,400}{12,500} = 0,008 = \%0,8 \quad (8)$$

3. Sonuç

Askeri bir ekipmanın, ön tasarım aşamasında, alt sistemlerinin hazırda bulunurluk hedefine uygun olarak seçilmesi, projenin ilerleyen aşamalarında, bu hedefin tutturulamaması sonucu tasarımın ilerleyen aşamalarında değişiklik yapılması sonucu ortaya çıkan yüksek maliyetin azaltılmasını sağlayacaktır. Bu ihtiyacın giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda bu bildiride çalışılan yöntem geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada çıkan hata oranı % 3.7 çıkmıştır. Bu oranın çıkmasındaki en büyük etken, MTTR değerlerinin belirlenmesi için yapılan pratik uygulamalardaki insan faktörüdür. Gelecekte, bu yöntem kullanılarak farklı araçlar için de hesaplamalar yapılacak olup, ortalama bir hata çarpanı bulunarak, geliştirilen yöntemin daha düşük hata oranıyla sonuçlar vermesini sağlamak hedeflenmektedir.

4. Semboller

- A_A : Gerçekleştirilen Hazırda Bulunurluk Oranı
- A_i : Temel Hazırda Bulunurluk Oranı
- A_o : Operasyonel Hazırda Bulunurluk Oranı
- e: Hata Oranı
- ELD: Entegre Lojistik Destek
- M_{CMT} : Ortalama Düzeltici Bakım Süresi
- M_{PMT} : Ortalama Önleyici Bakım Süresi
- MDT: Bakım Gecikme Süresi
- MTBF: Ortalama Arızalar Arası Süre
- $MTBF_{Araç}$: Askeri Aracın Ortalama Arızalar Arası Süresi
- MTBM: Ortalama Bakımlar Arası Süre
- MTTR: Ortalama Tamir Süresi
- $MTTR_{Araç}$: Askeri Aracın Ortalama Tamir Süresi
- $MTTR_{Arıza}$: Arıza Başına Ortalama Tamir Süresi



5. Kaynaklar

[1]: Jones, J. V. (1987). Integrated Logistics Support Handbook (Second Edition).

New York: McGraw-Hill, Inc. 1.4.

[2]: Güneş, M. (2016). Entegre Lojistik Destek Sürecinde Lojistik Destek Analizi İçin

Model Önerisi Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1.

[3]: Blanchard, B. S. (2014). Logistics Engineering and Management (Sixth edition). Edinburgh: Pearson, 7.

[4]: Demir, H. (2012). Entegre Lojistik Destek, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir

Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, İstanbul, 14.

HİDROELEKTRİK SANTRALLARDA GENERATÖR HAVA ARALIĞI İZLEME SİSTEMLERİ

¹B. Emre Orhon

¹Makina Y. Mühendisi, Pro-Plan Ltd. Şti., emre@proplan.com.tr

Özet

Generatörlerde, rotor dış çapı ile generatör iç çapı arasındaki mesafe “hava aralığı” olarak adlandırılır. Büyük hidroelektrik makinalarda stator ve rotor, çalışma koşullarındaki merkezkaç kuvvetleri, ısı ve manyetik kuvvetler nedeniyle şekil değişimine yatkındır. Bu nedenle hava aralığının izlenmesi, erken arıza teşhisi açısından önem arz etmektedir. Stator ve rotorda oluşabilecek dış merkezlilik (eksantrisite), çembersellikten sapma gibi sorunlar üretim verimini düşüreceği gibi, manyetik kökenli ısınmaların yol açtığı arızalara neden olabilmekte ve rotor kutuplarının stator duvarına çarpması gibi büyük hasarlara sebebiyet verebilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Hava aralığı, stator iç duvarına bir veya birden fazla düzleme yerleştirilen çeşitli sayıda kapasitif sensörlerle ölçülmektedir. Her bir rotor kutbu ile sensör arası mesafe devir tetiklemeli ölçümler vasıtası ile takip edilebilmektedir. Bu sayede minimum hava aralığı değerinin yanısıra rotor şekli grafiği çıkarılabilmektedir. Çoklu hava aralığı sensörlerinden alınan veriler doğrultusunda stator şekli grafiği de elde edilebilmektedir. Hava aralığının sürekli olarak izlenerek farklı çalışma koşullarında hava aralığının ne şekilde değiştiğinin gözlenmesi, büyük hasarların önüne geçebilmek için makinaryı servis harici etmek üzere makina operatörlerine gerekli bilgiyi sağlamakta ve hava aralığındaki anormalliklerin önceden belirlenebilmesi sayesinde durum bazlı erken uyarıcı bakıma imkan tanımaktadır. Bu çalışma kapsamında, hava aralığı ölçüm sistemleri ve dünyadaki uygulamaları tanıtılacak, Türkiye’deki bir hidroelektrik santralde yer alan 180 MW gücündeki bir üniteadaki uygulamaya ait bilgiler paylaşılacaktır.

Anahtar kelimeler: Hava aralığı, hidroelektrik, generatör, durum izleme sistemleri

1. Giriş

Durum izleme sistemleri, enerji santrallerinde üretim sürekliliğinin artırılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesinde kritik öneme sahiptir. Hava aralığı izleme, hidroelektrik makinalarda kullanılmakta olan durum izleme yöntemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır ve makina hakkında diğer metodlarla elde edilemeyecek özgün bilgiler sağlar. Generatörde üretilen elektrik, rotor ve stator arasındaki hava aralığı üzerinden aktarılmaktadır. Makinanın sağlıklı davranışının sürdürülebilmesi, güvenilirliğinin, verimliliğinin ve üretilen elektriğin kalitesindeki sürekliliğinin sağlanması için hava aralığının izlenerek kontrol altında tutulması özellikle büyük çaplı rotolara sahip hidroelektrik ünitelerde önem arz etmektedir. Rotor ve stator çemberselliği tesbiti amaçlı olarak komparatör kullanımı gibi geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümler ünitenin duruşunu gerektirmekte, tamamlanmaları günler almakta ve ciddi emek gerektirmektedirler. Bu nedenle generatör hava aralığı ölçümünün otomatizasyonu büyük yararlar sağlamıştır

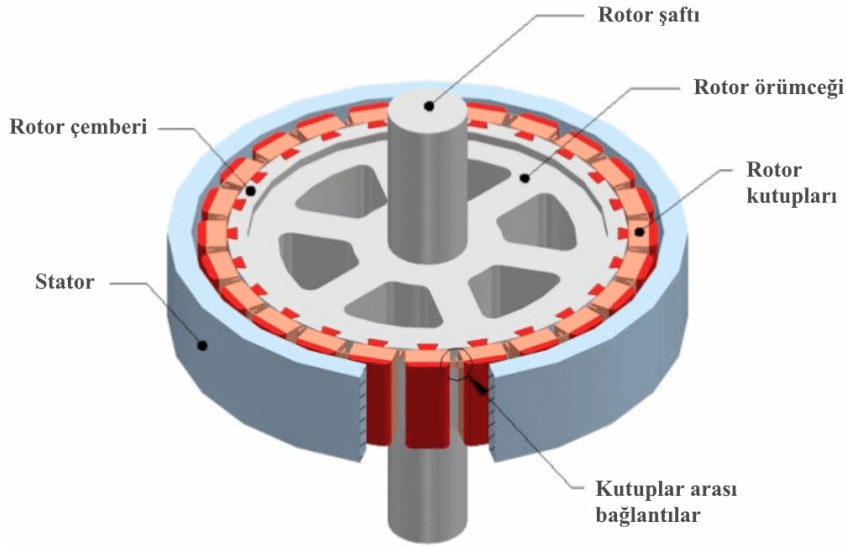
.Genellikle hidroelektrik ünitelerin rotor dönüş devirleri, buhar ve gaz türbinlerine nazaran çok daha düşük mertededir (genellikle 100 – 300 dev/dak aralığında). Generatör rotorunun türbin çarkına kaplin vasıtasıyla doğrudan bağlı olmasından ve arada dişli kutusu bulunmamasından ötürü, düşük devirli bir rotordan şebeke frekansında elektrik üretilebilmesi için rotorun çok sayıda kutba sahip olması gerekmektedir. Gerekli olan kutup sayısı, şebeke frekansının iki katının devir hızına bölünmesi ile bulunur. Örneğin şebeke frekansının 50 Hz olması halinde, $166,66 \text{ dev/dak}$ ile dönen bir rotorun kutup sayısı; $(50 \times 2) / (166,66 / 60) = 36$ adet olmalıdır. Bu gibi bir ünite rotor çapı 6 metre ve fazlası olabilmekte, hava aralığı ise 30 - 40 mm civarında olmaktadır. Büyük rotor çapları ile birlikte dar ve hassas hava aralıklarına sahip olmaları, hava aralığı ölçümünün özellikle hidroelektrik ünitelerdeki öneminin nedenini ortaya koymaktadır.

Otuz-kırk yıl gibi uzun bir süre boyunca faaliyette olan bir hidroelektrik ünite stator deformasyonları kritik seviyelere ulaşmış olabilir ve bu durum ünitenin plansız bir duruş sonucunda bakıma alınması ile birlikte uzun süreli üretim kayıpları ve büyük tamirat masrafları ile sonuçlanabilir. Hava aralığının sürekli olarak izlenmesi, yıllar boyunca gerçekleşen bu deformasyonları anlık olarak gözlemlemeyi sağladığı için zamanında uyarı vererek plansız duruşları önlemeye yardımcı olur.

Hava aralığı sensörlerinden elde edilen çıktılar vibrasyon izleme sisteminin çıktıları ile birlikte yorumlandığında makinanın dinamik davranışı hakkında bütünsel bir kavrayış elde edilebilir.

2. Hava Aralığı Ölçümü İle Teşhis Edilebilen Arızalar

Hidroelektrik üniteye ait generatör **Şekil 1**'de görülen bileşenlere sahiptir. Rotor kutupları, şafta rotor örümceği vasıtasıyla bağlı olan rotor çemberine monte edilmiş halde dönmektedirler. Sargıların bulunduğu stator duvarı ile kutuplar arasında çevresel olarak üniform olan bir "hava aralığı" mevcuttur.



Şekil 1. Hidroelektrik generatör bileşenleri [1].

Rotor ve stator arasındaki izafi konumun herhangi bir şekilde değişimi hava aralığının değişmesine neden olacaktır ve bu değişim generatörün mekanik, elektrik ve ısı dengelerini etkileyecektir [2]. Ünitenin tasarımında belirlenmiş olan nominal hava aralığının değişimine sebebiyet verebilecek birçok arıza tipi mevcuttur. Tüm bu arızaların genellikle yavaş gelişen nitelikte olduğu akılda tutulmalıdır. Arızalar rotor ve stator problemleri olarak ikiye ayrılabilir:

Rotor problemleri:

- Kutupların konumlarında değişim
- Rotor çemberinde gevşeklik
- Rotor çemberindeki deformasyon
- Rotor dönme merkezinde kaçıklık

Stator problemleri:

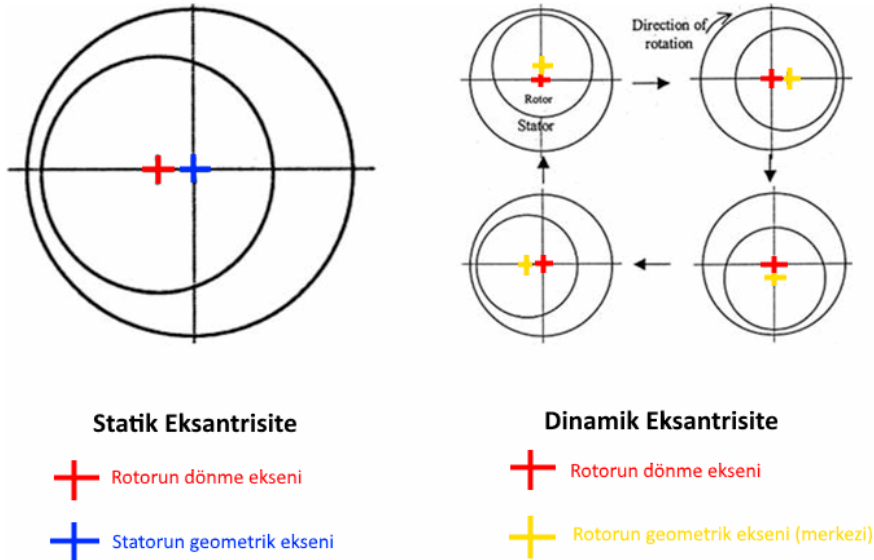
- Betonda genleşmeler (Alkali agrega reaksiyonu)
- Stator ankraj civatalarının ısıl genişlemeye izin vermemesi
- Stator çekirdeği ve çerçevesinin ayrışması

3. Dış Merkezlilik (Eksantrisite) Durumu ve Hava Aralığına Etkisi

Rotor ve statordeki problemler “statik” ve “dinamik” eksantrisite olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar.

Statik eksantrisite, rotorun dönme eksenini ile statorun merkezini çakışmaması şeklinde tanımlanmaktadır. Rotorun statorun bir tarafına daha yakın olması durumudur. Bu durumda rotor dönerken hava aralığı dinamik olarak değişmektedir, sabit bir eksantrisite olmaktadır. Bu sebeple buna “statik eksantrisite” denmektedir.

Diğer bir durum ise “dinamik eksantrisite” olarak adlandırılır ve rotorun dönme eksenini ile yine rotorun kendi geometrik eksenini çakışmaması durumudur. Rotor dönerken eksantrik dönmektedir ve stator duvarının iç kısmındaki tek bir noktadan bakıldığı zaman her turda bir rotorun stator duvarına yaklaşıp uzaklaşması gözlenmektedir. Bu yaklaşıp uzaklaşmanın yer değişimi genlik-zaman grafiği sinüsoidal niteliktedir. Yataklarda yapılan titreşim ölçümünde tıpkı balanssızlıktaki gibi devir hızındaki frekans bileşeninde baskın titreşimler görülecektir.



Şekil 2. Generatörlerde statik ve dinamik eksantrisite.

Şekil 2’de statik ve dinamik eksantrisite arasındaki fark görünmektedir. Soldaki büyük grafik statik eksantrisiteyi göstermektedir; rotorun dönme merkezi stator merkezine göre kaçık durumdadır. Tek bir hava aralığı sensöründen bakıldığında hava aralığı tek tur boyunca sabit kalmaktadır. Her bir sensörün okuduğu değer farklıdır, ancak tur boyunca değişmemektedir. Sağdaki dört grafik ise dinamik eksantrisite durumunda bir turda rotorun ne şekilde davrandığını göstermektedir. Tek bir hava aralığı sensöründen bakıldığında bir tur boyunca hava aralığı azalır artmaktadır, yani dinamik bir değişim söz konusudur.

Hidroelektrik generatörlerin ilk montajında veya yıllar sonra yapılan büyük revizyonlarda “statik eksantrisite” durumu iki ana pratik sebepten ötürü oluşabilir:

- 1 – Generatör kılavuz yatakları montaj sırasında bir tarafa doğru kayık monte edilmiştir ve bundan ötürü rotorun dönme merkezi statorun geometrik merkezinden uzaklaşmış ve eksantrisite oluşmuştur.
- 2 – Stator revizyonunda sargı paketlerinin değişimleri yapılırken, stator çemberinin merkezi ile rotor çemberinin merkezini çakışması sağlanamamıştır. Yani rotor ile stator arası dış merkezlilik (eksantrisite) oluşmuştur.



Santral yaşlandıkça ünitenin bağlı bulunduğu betonda oluşabilecek alkali agrega reaksiyonu gibi nedenlere bağlı genleşme ve çatlamlar da statorun şeklini etkileyeceği için statik eksantrisiteye sebebiyet verecektir. Statik eksantrisiteden ötürü generatörde oluşan manyetik dengesizlik, ikazlama geriliminin artışı ile birlikte şaftın manyetik kuvvetlerce hava aralığının düşük olduğu tarafa doğru çekilmesine sebebiyet vermektedir [2]. Bu nedenle yataklara aşırı yük binebilmekte, ikaz kısmında eksantrisite nedeniyle sürtmeler yaşanabilmektedir. Şaftın bir yöne kayması nedeniyle generatör yataklarında bulunan izafi şaft titreşimi sensörleri de şaftta sürterek hasar görebilmektedirler.

Dinamik eksantrisite ise; rotor kutuplarının yerel ısıl genleşmeler veya mekanik gevşeklik/kırılmalar nedeniyle yerlerinden oynaması, rotor çerçevesinin gevşekliği veya deformasyonu, şaft ile rotorun eş merkezli olmamasından ötürü oluşabilir. Her iki durum da üniteye enerji üretim veriminin düşmesine neden olmaktadır.

4. Hava Aralığı İzleme Standartları

Önerilen hava aralığı tolerans değerlerini içeren bir kılavuz, Hydro-Québec elektrik şirketi ve Kanada Elektrik Derneği (The Canadian Electrical Association) tarafından hazırlanmıştır [3] (Tablo 1).

Tablo 1. Hydro-Québec elektrik şirketi ve The Canadian Electrical Association tarafından hazırlanan hava aralığı tolerans değerleri kılavuzu

Parametre	Kurulum toleransı	Kabul edilebilir seviye	Kritik seviye
Hava Aralığı Değişimleri	%13	%20	%30
Stator Çemberselliği	%7	%12	%20
Stator Eş Merkezliliği	%5	%7.5	%10
Rotor Çemberselliği	%6	%8	%10
Rotor Eş Merkezliliği	%1.2	%2.5	%4

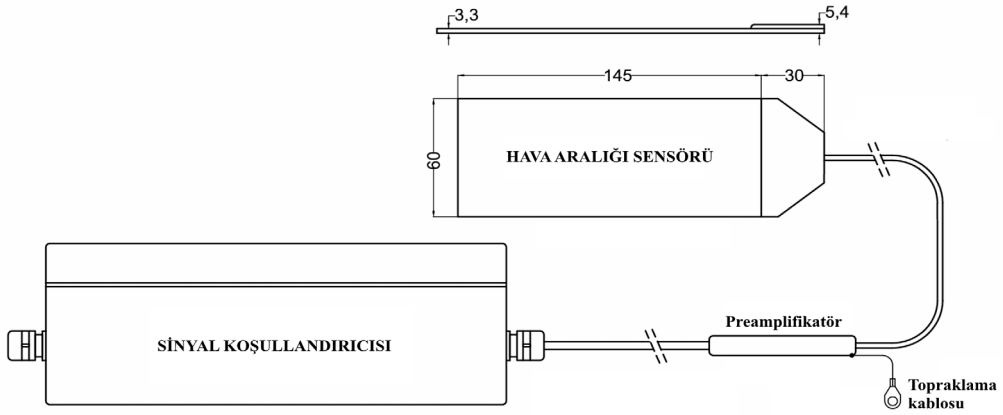
Tablodan görüldüğü üzere, büyük hasarlarla sonuçlanabilecek dinamik hava aralığı değişimlerine neden olması nedeniyle rotorla ilgili toleranslar daha düşük tutulmuştur.

5. Dinamik Hava Aralığı İzleme Yöntemleri

Makina çalışır haldeyken hava aralığını izlemek “dinamik hava aralığı izleme” olarak adlandırılmaktadır. Rotorun bir turu boyunca ölçülen minimum hava aralığı değeri, ölçüm yapan sensörün bulunduğu noktada oluşan en düşük hava aralığına işaret etmektedir. Minimum hava aralığının sürekli olarak izlenmesi, rotorun statora çarpması gibi büyük hasarlarla neticelenebilecek durumların önüne geçmeyi sağlar. Ayrıca rotor ve stator şeklinin hava aralığı sensörlerinden elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak belirlenmesi sayesinde generatördeki statik ve dinamik sorunlar ortaya çıkarılabilir. Hava aralığı geleneksel yöntemlerle (master, sentil kullanımı gibi) ölçülebilmektedir. Rotor ve stator şeklini de lazerli yöntemlerle belirlemek mümkündür. Ancak bu ölçümler makina durağan haldeyken yapılabildiği için sadece statik sorunların belirlenebilmesine yardımcı olabilirler. Makina çalışırken oluşabilecek dinamik durumlar ile elektromanyetik kuvvetler ve ısıl genleşmeler kaynaklı deformasyonlar makina servis dışıyken yapılan ölçümlerle belirlenemeyecektir. Dinamik hava aralığı ölçümünde kullanılan modern izleme sistemlerinden makinanın duruşunu gerektirmeksizin zahmetsizce sonuç alınabilmekte ve makinanın durumu üretim sırasında her daim kontrol altında tutulduğu için olası arızaların gelişimleri anlık olarak takip edilebilmektedir.

6. Hava Aralığı Sensörleri

Hava aralığı ölçümü için genellikle kapasitif prensiple çalışan temassız tip sensörler kullanılmaktadır. Ölçüm sisteminin üç ana bileşeni mevcuttur: Sensör, preamplifikatör ve sinyal koşullandırıcı (Şekil 3). Sensör, hava aralığında yer kaplamaması için mümkün mertebe ince (uygulamaya göre en kalın bölgesi 2-5 mm) olmaktadır.



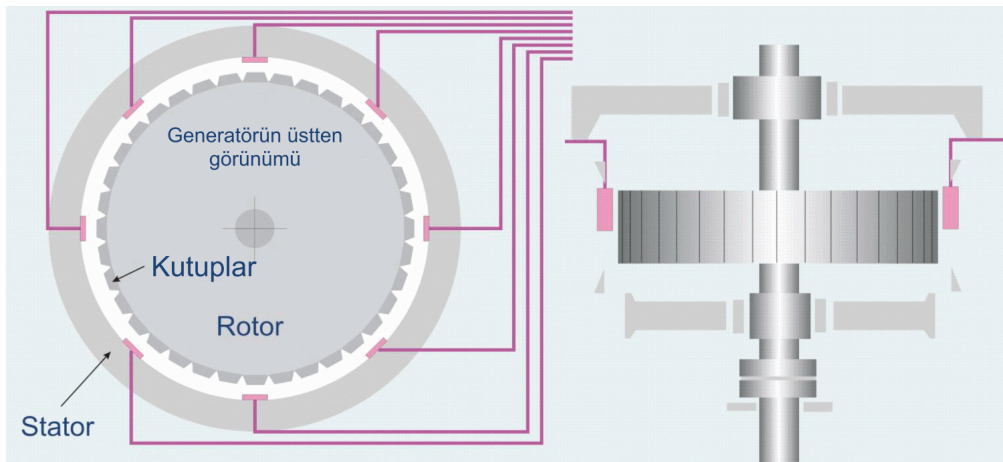
Şekil 3. 10-50 mm ölçüm aralığına sahip bir hava aralığı sensörü ölçüm zinciri [4].

Sensörlerin generatörde oluşabilecek yüksek sıcaklıklara (125°C civarı) dayanacak nitelikte olmaları gereklidir. Preamplifikatör ve sinyal koşullandırıcı ise elektronik bileşenler içerdikleri için 80°C civarı sıcaklıklara dayanabilmektedirler ve bu nedenle stator dışında yüksek ısıdan uzak bölgelere yerleştirilmelidirler. Preamplifikatöre yakın bulunan topraklama kablosu stator üzerinde uygun bir noktaya bağlanmalıdır. Sensörün uygun şekilde topraklanması, ölçümün sağlıklı gerçekleşebilmesi için gereklidir.

Sensör ve koşullandırıcısı genellikle birlikte kalibre edildikleri için sensör değişimi durumlarında kalibrasyon işlemi sahada tekrar yapılmalıdır. Bunun için aralarındaki mesafe hassas olarak ayarlanabilen iki metal plaka kullanılabilir.

7. Hava Aralığı Ölçümünde Sensör Yerleşimi

Hava aralığı sensörleri generatör iç duvarına monte edilirler ve önlerinden geçen her bir kutup ile stator duvarı arasındaki mesafeyi ölçerler (Şekil 4). Hava aralığı ölçümü için sensörler “rotora monteli” ve “statora monteli” olacak şekilde iki farklı ölçüm metodolojisi mevcuttur. Pratik sebeplerden ötürü bunlardan “statora monteli” olan yöntem genellikle tercih edilmektedir.



Şekil 4. Hava aralığı sensörlerinin yerleşimi.

Sensörler generatörün üst seviyesine ve alt seviyesine yerleştirilebilmektedir. Sensör konfigürasyonu 1 veya 4 adet ile sınırlı ise sadece üst seviye düzlemi seçilmektedir. Üst seviye hava aralığı sensörünün, stator duvarının üst sınırı

rından itibaren 2 numaralı havalandırma deliğinin hemen altından başlayacak şekilde monte edilmesi önerilmektedir. Bu sayede sensör rotor kutbunun düzgün olan yüzeyini algılamaya yetecek derinlikte olacaktır.

7.1. Tek Sensörle Hava Aralığı İzleme

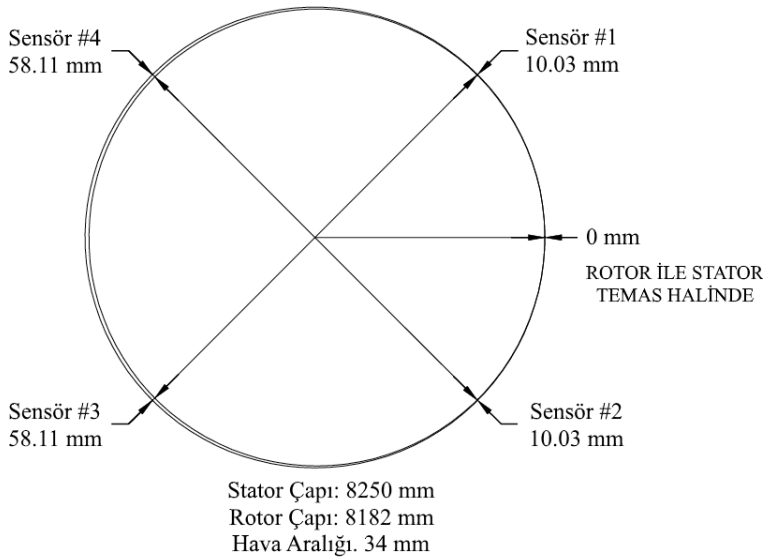
Generatör başına bir adet sensör kullanılarak hava aralığı izlendiğinde, rotor şeklinin zamana göre nasıl değiştiği hassas bir şekilde ölçülebilir. Eğer sensör bir devir tetiklemesi ile ilişkilendirilecek olursa hangi kutbun daha ileride, hangisinin daha geride olduğu belirlenebilir. Ancak tek sensörle izleme, statorun deformasyonu (çembersellikten sapması) veya dış merkezlilik (eş merkezlilikten sapma, eksantrisite) kaynaklı hava aralığı değişimleri hakkında bilgi vermeyecektir. Ayrıca statorun tek bir noktasında ölçülen minimum hava aralığı değeri, çevresel olarak tüm noktalarda oluşabilecek minimum değeri temsil etmeyecektir. Bu sebeple tek sensör uygulaması sadece rotor şekil değişimini algılamak için kullanılabilir.

7.2. Dört Veya Daha Fazla Sensörle Hava Aralığı İzleme

Ölçüm sisteminin, rotorun statora sensör bulunmayan bir noktadan çarpmasını algılayabilmesi ve stator kaynaklı hava aralığı değişikliklerinin belirlenebilmesi için çevresel olarak yerleştirilmiş belli adet sensöre ihtiyaç duyulmaktadır. Stator iç çapı ve yüksekliği göz önüne alındığında, önerilen hava aralığı sensör konfigürasyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:

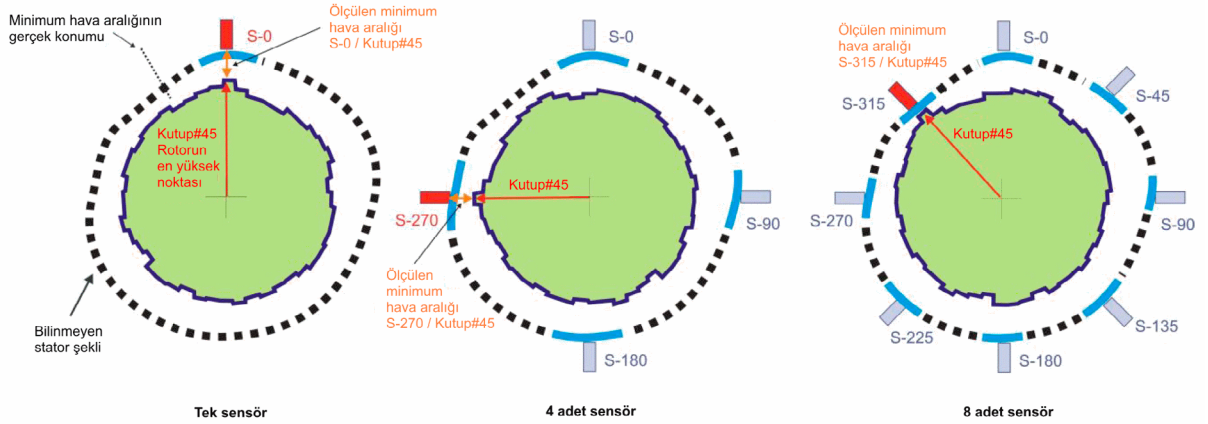
- Stator üst seviye hava aralığı: 8 metre çapa kadar 4 adet; 8 metre üzeri her 2 metre için +2 adet.
- Stator alt seviye hava aralığı: Rotor yüksekliği 1,5 metreden az ise: 0 veya 1 adet; 2,5 metreden az ise: 2 veya 4 adet; 2,5 metreden fazla ise: üst seviye ile aynı.

Seçilecek sensör adedini ve tipini belirlerken **Şekil 5**'teki örnekte görülen grafik hesaplama yöntemi kullanılabilir. Bu örnekte yer alan 4 sensörlü senaryoda rotor 1 ve 2 no'lu sensörlerin orta noktasından statora temas ettirilmiştir ve sensörlerin yer aldığı noktadaki hava aralıkları hesaplanmıştır. Sensör sayısı 6 ve 8 olacak şekilde senaryolar da denenebilir. Böylece optimum sensör adedi belirlenebilir ve gerekli ölçüm aralığına göre katalogdan sensör tipi seçilebilir.



Şekil 5. Hava aralığı sensör adedini ve tipini belirlerken başvurulabilecek grafik hesaplama.

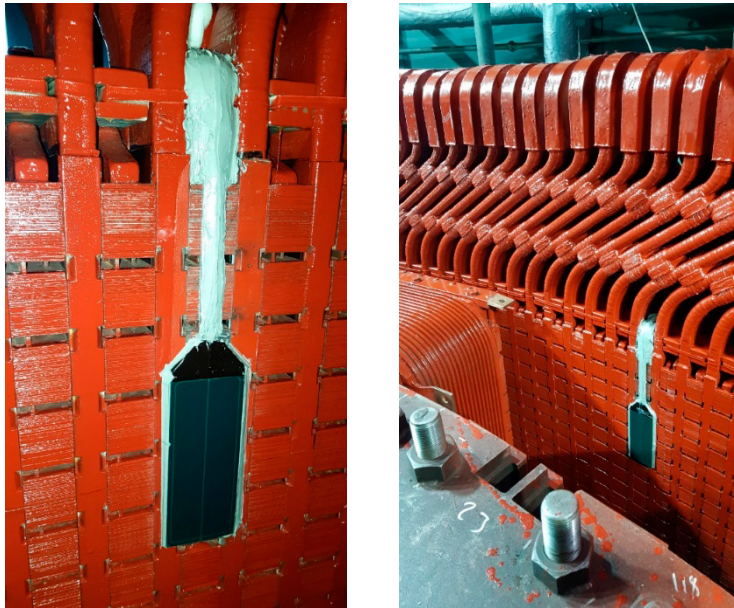
Çoklu sensörlü uygulamada her bir sensörden aynı rotor şekli (profili) eğrisi elde edilecektir. Buna ilave olarak stator için “dış merkezlilik” ve “çembersellikten sapma” değerleri yazılım tarafından yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Stator deformasyonu veya dış merkezlilik sorunu olduğu hallerde, sistemde kullanılan sensör sayısı arttıkça, ölçülen minimum hava aralığı değeri gerçek değere yaklaşacaktır (**Şekil 6**).



Şekil 6. Tekli ve çoklu sensör uygulamalarında ölçülen minimum hava aralığı [5].

8. Hava Aralığı Sensörü Montajı

Hava aralığı sensörleri stator duvarına yapıştırılarak monte edilirler. Kabloları soğutma kanalları veya sargı uçlarından dışarı doğru çekilir. Sensörlerin yerleşimi için en uygun durum, en az bir kutbun demonte olmasıdır. Sensörün stator iç duvarına montajı özel yapıştırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Yüksek ısı ve mekanik dayanıma sahip olan ve aynı zamanda statordaki ısınmalar nedeniyle oluşabilecek küçük genleşmelerde esnek davranabilecek silikon bazlı yapıştırıcılar tercih edilmektedir. Sensör yapıştırıldıktan sonra kablosunun geçiş güzergahı da silikon ile kapatılır (Şekil 7).



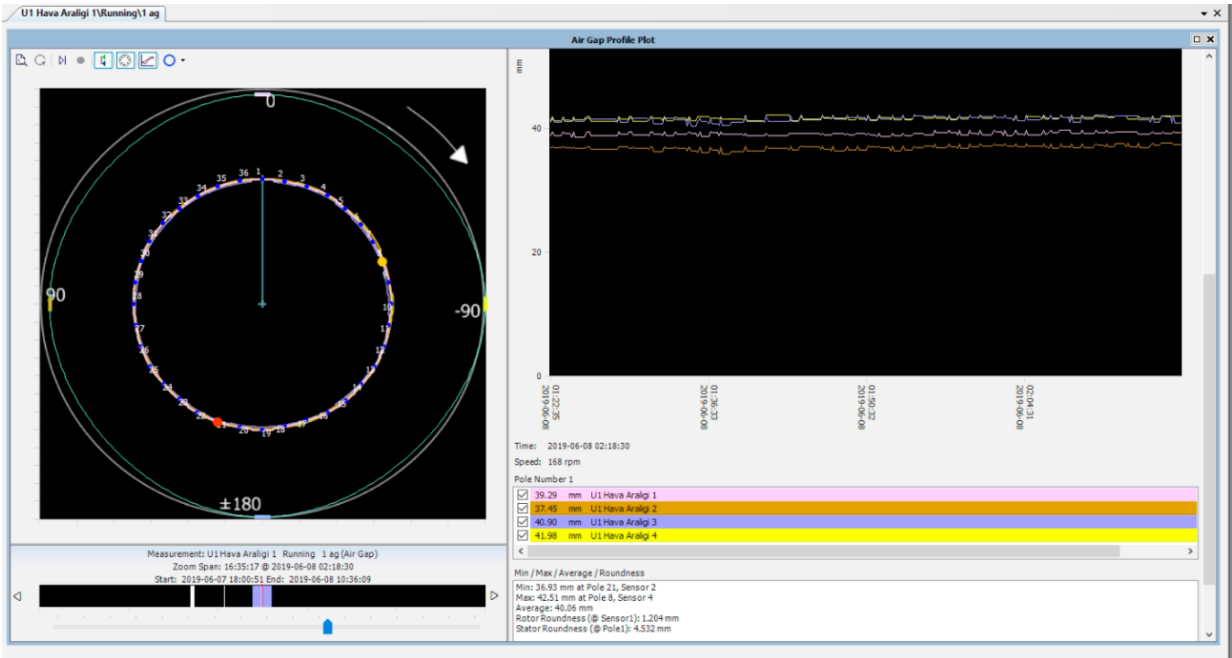
Şekil 7. İç çapı yaklaşık 8 metre olan bir statorda hava aralığı sensörü montajı.
Hava Aralığı İzleme Sistemi Donanımı ve Yazılımı

Minimum hava aralığı parametresinin ölçümü basit bir elektroniğe sahip bir izleme sistemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Aşağıda belirtilen arıza teşhisine yönelik diğer parametrelerin ölçümü ise titreşim izleme sistemleri gibi yüksek örnekleme hızlarına sahip veri toplama cihazları ve devir tetiklemeli ölçümler gerektirmektedir.

Dinamik hava aralığı izleme sisteminde ölçülebilen parametreler:

- Anlık hava aralığı: Her bir kutup her bir sensör önünden geçerken ölçülen hava aralığı değeri.
- Minimum hava aralığı: Bir tur boyunca ölçülen en düşük hava aralığı değeri.
- Maksimum hava aralığı: Bir tur boyunca ölçülen en yüksek hava aralığı değeri.
- Ortalama hava aralığı: Bir tur boyunca her bir kutbun hava aralığı ölçüm değerlerinin ortalaması.
- Minimum hava aralığı kutup numarası: Minimum hava aralığı değerinin tetkik edildiği kutup numarası.
- Maksimum hava aralığı kutup numarası: Maksimum hava aralığı değerinin tetkik edildiği kutup numarası.
- Rotor çemberselliği: Rotorun mükemmel çemberden sapma miktarı.
- Stator çemberselliği: Statorun mükemmel çemberden sapma miktarı (yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir).
- Rotor eş merkezlikten sapması
- Stator eş merkezlikten sapması

Genellikle sensörün ön yüzeyi ölçümün başlangıç noktası (0 mm) olarak kabul edilmektedir ve sensör koşullandırıcısının voltaj çıkışları buna göre olmaktadır. Sensörün kendi kalınlığının yanısıra, sensör stator duvarına yapıştırılırken arkasında belli bir silikon tabakası kalınlığı oluşmaktadır. Gerçek hava aralığının (true air gap) bulunabilmesi için bu kalınlıkların sensörün ölçeceği hava aralığı değerine eklenmesi gereklidir. Bu tip ayarlar sistem yazılımında yapılabilmektedir.



Şekil 8. 36 kutuplu bir ünitede hava aralığı profili grafiği (solda) ve 1 no 'lu kutba ait trend grafiği (sağda).

Türkiye'de yer alan 36 kutuplu, 8 metre çapa sahip 180 MW gücünde bir generatörde 4 adet hava aralığı sensörü ile yapılan sürekli izleme esnasında elde edilen hava aralığı profili grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Soldaki polar grafikte her bir kutbun pozisyonu merkezden uzaklık şeklinde çizdirilmiş olup rotorun şekli görülmekte, grafikteki kırmızı renkli nokta hava aralığının minimum olduğu noktayı, sarı renkli nokta ise maksimum olduğu noktayı işaret etmektedir. En dış beyaz çember statorun sahip olması gereken mükemmel çember formunu, etrafındaki yeşil eğri ise hesaplanan stator şeklini göstermektedir. Sağ üstteki grafikte, seçilen kutba ait her bir sensörden alınan ölçüm değerlerinin zamana bağlı değişimi (trend) görülmektedir. Altında her bir hava aralığı sensörünün ölçüm değerleri yer almaktadır. Sağ kısımda en altta ise minimum ve maksimum değerlerin hangi sensörler tarafından hangi kutuplar geçerken ölçüldüğü, ortalama hava aralığı, hesaplanan rotor ve stator çembersellikten sapma değerleri bulunmaktadır.

9. Sonuç

Hava aralığı izleme sistemleri, generatör durumu ile ilgili olarak başka ölçüm yöntemleri ile elde edilemeyecek özgün bilgiler sunmaktadırlar. Hidroelektrik santrallerdeki büyük çaplı generatörler için bu bilgiler makina sağlığı ve üretim sürekliliği açısından hayati nitelikte olabilmektedir. Hava aralığı izleme sisteminin izafi şaft titreşimleri izleme sistemi ile entegre halde bulunması birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Her iki ölçüm metodu ile elde edilen dinamik ve statik veriler aynı yazılımda eş zamanlı olarak değerlendirilebilir ve bunun yanısıra güç, ikazlama gerilimi gibi makinanın diğer parametreleri ile ilişkilendirilerek kullanıcının elinde erken arıza teşhisi amaçlı kullanılacak daha fazla gereç olması sağlanır. Böylece makina durumu hakkında bütünsel bir kavrayışa varılabilmesi kolaylaşır.

10. Kaynaklar

- [1] Moore, B. 2012. “The Effects of Cycling on Generator Rotors”, Proc. ASME. 44977; Volume 3: Thermal-Hydraulics; Turbines, Generators, and Auxiliaries, pp. 857-862.
- [2] Bissonnette, M.R., Stevenson, A., Wallman, R. 2006. “Case studies of problems diagnosed using on-line machine monitoring on hydro-generating machines”, HydroVision 2006
- [3] Canadian Electrical Association (CEA). 1989 (rev. 1998). “Hydroelectric Turbine Generator Units - Guide for Erection Tolerances and Shaft System Alignment, Part V”
- [4] Mikrotrend Ltd. 2018. “Air Gap Sensor AGS Installation and user manual”, <http://www.mikrotrend.com/ags-air-gap-sensor.htm>, 19.08.2019
- [5] Brüel & Kjær Vibro GmbH. “Air gap and magnetic flux monitoring with Compass”



IMPORTANCE OF FEEDBACKS ON THE RELIABILITY OF MILITARY AIRCRAFT SYSTEMS' AIRWORTHINESS

¹Akif Taşkın*, ²Tolga Taşkiran

¹Ministry of National Defense/2'nd Air Maintenance Factory Directorate/
Aircraft Support Systems Division/Kayseri/Turkey
Aircraft Support Systems Maintenance Engineer
e-mail: akif.taskin@msb.gov.tr

²Ministry of National Defense/2'nd Air Maintenance Factory Directorate/
Aircraft Support Systems Division/Kayseri/Turkey
Aircraft Support Systems Maintenance Engineer
e-mail: tolga.taskiran@msb.gov.tr

*Corresponding Author

Abstract

Military aircraft maintenance is defined as a process to ensure every components of the aircraft to be ready for air missions. Depot level maintenance, repair and overhaul are principal matters of defense industry and play a vital role for combat aircrafts, airlifters, helicopters and unmanned aerial vehicles etc. Aircraft maintenance program is created by suppliers considering not only design parameters but also maintenance feedbacks from the customers. Time dependent behaviors of aircraft systems and sub-subsystems are major sources of feedbacks and these feedback data are crucial for maintainability and accordingly for airworthiness. Feedbacks should be analyzed to qualify the characteristics of the aircraft, overall system performance and assurance of reliable design parameters. In this study, significance of the feedbacks in military aircraft maintenance industry is investigated. Results show that empirical data based on the feedbacks provide and support the improvement and standardization of aircraft complex design and maintenance parameters.

Keywords: Aircraft, Airworthiness, Maintenance, Reliability, Scheduled Inspection.



1. Introduction

Aviation is one of the most significant and developing industry of countries for the military actions, passenger and cargo transportation, logistics and sub-industries about these issues. Aviation connects the global economy and provides job opportunities. Civil aviation, particularly air transport, is principal part of the nations to bridge over between the countries. In 2018, 120,000 flights performed, 12 million passengers are transported and nearly 19 billion dollars goods are transported by cargo aircrafts, per day [1]. Besides the social economic benefits, aviation provides security of countries as stated in the military doctrines. Aircrafts are vital part of a military power since World War I and national security of countries is significantly provided by air forces. Therefore, military aircraft's operational readiness must be provided by maintenance plans to perform their missions. Aircraft maintenance must be considered by authorities in their entire life cycle. Maintenance process plans are scheduled to minimize the downtime of the aircraft to provide mission readiness [2]. Air authorities and manufacturers are concentrated on air safety by analyzing the feedback reports.

Feedbacks are crucial for airworthiness throughout the life cycle of military aircraft systems. Maintenance and inspection periods of military aircrafts are specified in maintenance manuals, technical orders (TOs) and checklists etc. In this study, programmed depot level maintenance (PDM) in 12, 24, 36, 48, 54 and 60 months and aircraft manufacturer maintenance as A, B, C and D check inspections for military aircrafts are considered. Two different scenarios are created to perform the effects of feedbacks and reliability analysis of military aircrafts on the airworthiness.

2. Civil and Military Aviation

Civil aviation involves all flying actions except military aviation. Total transported passengers between the years of 1991 and 2017 are given in the Figure 1 [3]. Figure shows the number of transported passengers has substantially increased since 2009 and reached approximately 4 billion in 2017. Figure 2 gives the information about the transported freight in million-km by civil aviation between the years of 1990 and 2017.

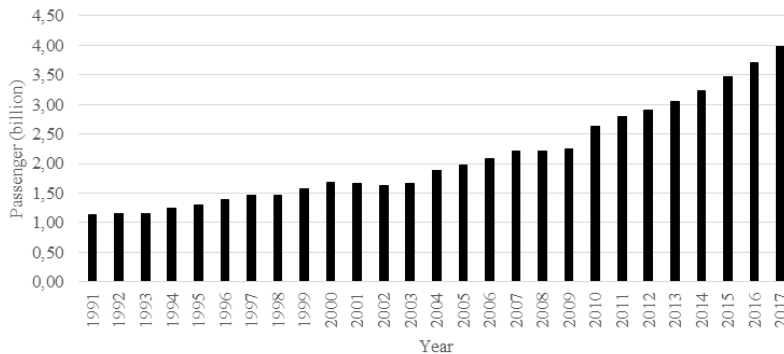


Figure 1. Transported passengers by civil aviation between 1991 and 2017

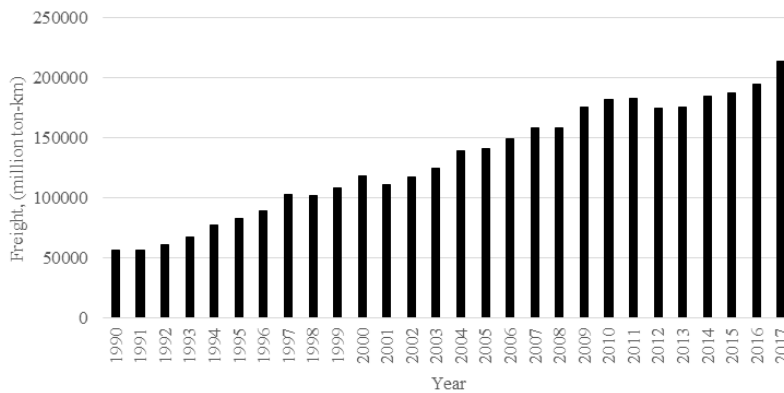


Figure 2. Transported freight by civil aviation between 1990 and 2017

Total, passenger and cargo revenue of civil aviation are shown in the Figure 3 [4]. Figure 3 represents that revenue values are commonly in increasing trend and the economic size of the civil aviation is in significant values. It is important that out of service of any aircraft lead to loss in the revenues and order of flights are affected adversely.

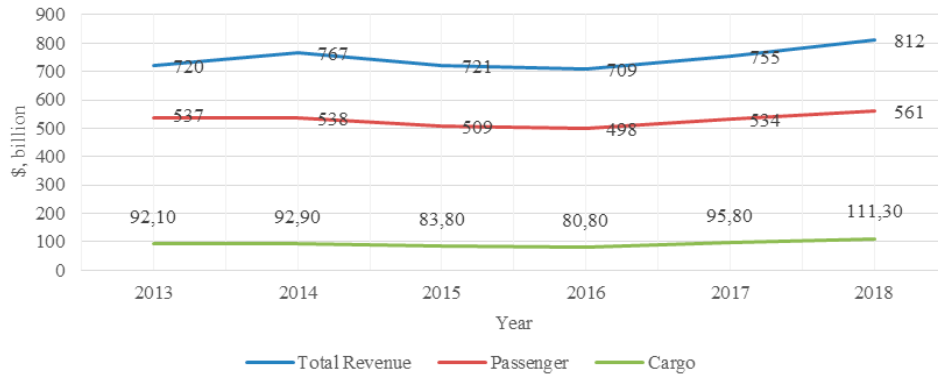


Figure 3. Total, passenger and cargo aviation revenue of civil aviation

Figure 4 shows the number of aircraft accidents civil aviation between the years of 1990 and 2018 [5]. According to the figure accident rate of civil aviation is in decreasing trend because of the development in the design of aircrafts, training of flight personnel, enhanced maintenance and feedbacks and strong regulations and restrictions. These regulations and directives are set up by such authorities as European Aviation Safety Agency (EASA), Federal Aviation Administration (FAA), Civil Aviation Safety Authority (CASA) and UK Civil Aviation Authority (UK CAA) [6].

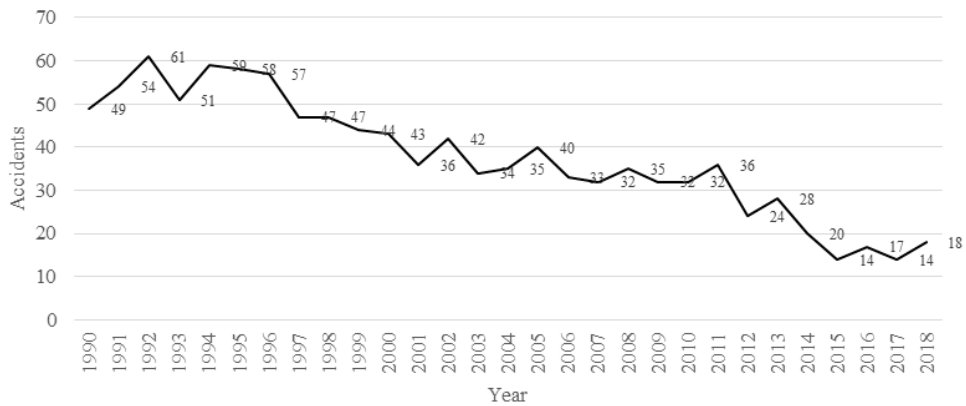


Figure 4. Accidents in civil aviation between 1990 and 2018

Military air force states the main deterrent force of a country. Therefore, military air force systems must be ready for operational conditions to provide the strength defense power. Unmanned air vehicles, cargo aircrafts, fighters, bombers and helicopters are major military air force units. Air forces supports other military troops and protects the country thoroughly strikes from the enemy. Thus, military air forces must be in service and ready for operational conditions. Readiness of the air forces is provided by maintenance facilities and military aviation authorities. Military air force aviation safety and regulations are set by military aviation authorities such as;

- Turkish Air Forces 2nd Air Maintenance Factory Directorate (2nd AMFD) is responsible from Military Transport Aircrafts, Unmanned Air Vehicles, Air-to-Air Refueling Aircrafts and Military Training Aircrafts,
- NATO Airworthiness Advisory Group,
- European Defense Agency (EDA) Military Airworthiness Authorities (MAWA) Forum,
- Air and Space Interoperability Council (ASIC)
- German Military Aviation Authority,



- The Military Aviation Authority - the Netherlands (MAA-NLD),
- Swiss Military Aviation Authority (MAA)

3. Airworthiness

Airworthiness is defined as “the property of an air system configuration to safely attain, sustain, and complete flight in accordance with approved usage limits” in US Department of Defense Directive number 5030.61[7]. Military aircraft must match to its design parameters and must provide operational safety status [8]. Airworthiness is divided into sub-groups such as operational, technical, logistics and support and aviation safety airworthiness. Operational airworthiness is related to the aircraft personnel and use of aircraft, technical airworthiness is associated with design, manufacturing and maintenance of aircraft, logistics and support is related to the proper item usage in maintenance and manufacturing phases and aviation safety airworthiness is about the personal issue in the safety system. Assurance of airworthiness and flight safety is provided by combination of complete of these sub-systems [9,10]. European Military Airworthiness Requirements (EMARs) are set up by authorities to regulate the military airworthiness system.

4. Maintenance Feedbacks and Reliability in Military Aviation

Airworthiness, reliability and flight safety are provided by aircraft maintenance. Military aircraft maintenance indicates that the holistic processes to keep the aircrafts service and operation ready and decreasing lifetime cost of these systems. Aircraft maintenance must be carried out by skilled technicians, required tools and equipped facility. The maintenance regulations are set up by Parts 42, 66, 145 and 147 directives. Part 42 covers the airworthiness concerns, Part 66 is related to aircraft maintenance engineer licenses, Part 145 regulates the maintenance facility, organization, personnel and certification requirements and Part 147 is related to maintenance training organizations [11]. Maintenance of aircraft and aircraft components are stated in EMAR 145. This requirement gives the conditions and continuity for maintenance of aircraft and aircraft components and directives for organizational operations [12]. Risks must be defined and accepted at the desired level for military operations and programmed maintenance is performed before the due date or scheduled date.

The availability and airworthiness of a military air force are provided by holistic maintenance concept. Reliability is related to stability of the aircraft and aircraft components and compliance with design parameters. Reliability provides the flight safety by decreasing maintenance-relevant troubles [13]. Aircraft maintenance time and concept, aircraft design and manufacturing parameters and flight safety can be regulated by reliability analysis depending on assessing statistical analysis of feedbacks. In this study, two different scenarios are created to clearly define the effects of feedbacks on the reliability of an aircraft. Military aircraft maintenance is performed by using technical manuals that are published by manufacturers and given in the Table 1. It is not acceptable to set up technical manuals not only design parameters of aircrafts that consist of complex systems such as communications, engine turbine, wings and flight controls. Time-dependent behaviors of these systems and sub-systems of these complex structures are crucial for flight safety. Moreover, unintentional design originated troubles can occur during the flight service, thus these fault and troubles result in loss of life and property. It is possible to have knowledge about the extending to years characteristics of aircraft and performance of components are attainable by feedbacks during the maintenance process. Feedback mechanism must be set up between the manufacturer, authority and users.

Table 1. Technical manuals

AMM	Aircraft Maintenance Manual
AMP	Aircraft Maintenance Plan
MRB	Maintenance Review Board
TCTO(USAF)	Time Compliance Technical Order
SB(Euro)	Service Bulletin
AD(EASA)	Airworthiness Directive
IPC	Illustrated Parts Catalogue

In military and civil aviation such forms as AFTO-Form-22 (Air Force Technical Order Form) and ISER-Form (Inservice Event Report Form) are used to report the uncalculated problems during the maintenance process that are unstated in the technical orders or manuals between the manufacturer and users. These reports are analyzed by authorities and results send to end users to avoid the defects of aircrafts in service [14]. Two scenarios are created to analyze the feedback mechanism on the reliability and airworthiness of military aircraft systems as given follow.

4.1. Scenario 1

It is assumed that T model 351 military aircrafts are manufactured by manufacturer of Q firm. These T model aircrafts have four different versions to be manufactured with their engines in the years of 1962-69,1970-76,1978-1987 and 1990-99 as a part of military-cooperation. A, B, C and D countries have 185, 82, 41, 22 and 19 aircrafts, respectively. The other two aircrafts are assumed to be out of service due to the aircraft incidents.

Emergency landing is carried by pilot of country of A due to the engine failure during the training flight. Flight records are analyzed, and results show that all the maintenance processes performed and none of external factors are existed, but a significant defect is released in the combustion chamber.

Firstly, this critical incident is reported to the manufacturer by setting the AFTO Form-22. So, all aircrafts are grounded for check and control by manufacturer temporally due to the critical part failure. Manufacturer send a service bulletin to the users to control the engines of the aircraft. Thus, cracks are detected on the 78% of the engines which were manufactured between the years of 1970 and 1976.

Manufacturer decided to change the engines, and engine manufacturer studied the reasons of cracks and designed and developed the engine according to the feedbacks. Maintenance procedures are updated by manufacturers, so the flight safety is provided.

4.2. Scenario 2

This scenario is related to decreasing the maintenance time, labor and cost by developing the maintenance activity based on the empirical data. A, B, C, D and E countries are assumed to be purchased Military Cargo Aircraft from the firm of R. Aircraft's cost is 60 million Euro and procurement plan is given in the Table 2. Maintenance period, time, costs and performed tasks are given in the Table 3.

2- and 4-years maintenance plans are carried to the technical manuals and 89 tasks are performed and It is not found any fault or problem in 47 tasks for 2 years maintenance plan. Moreover, 144 tasks are applied and it is not found any fault or problem in 86 tasks for 4 years maintenance plan. Performed and remained task hand back reports are sent to the manufacturer by setting up ISER and/or AFTO-FORM-22.

Table 2. Procurement plan of military cargo aircraft

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
A	14	6	8	2	1	-	-	-	-
B	16	4	2	9	-	-	-	-	-
C	12	2	10	8	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	5	7	12	-	-
E	-	-	-	-	3	13	3	3	3

**Table 3.** Maintenance plan of military cargo aircraft

Maintenance Interval	Maintenance Time	Maintenance Cost	Tasks
2 years	32 days	850,000 €	89
4 years	48 days	1,300,000 €	144

These task reports are analyzed by manufacturer to develop the maintenance plans of the aircrafts. Performing periods of 22 tasks are expanded to 4 years for 2 years maintenance. 38 task's periods are expanded to 6 years for 4 years maintenance plan. So, cost of maintenance and labor and maintenance time are decreased by means of feedbacks and reliability analysis. Developed maintenance plan of military aircraft is given in the Table 4. Developed plan represent that maintenance and out of service costs of 2- and 4-year periods are decreased to 700,000 € and 970,000 €, respectively. Consequently, 574,000 € saving is provided, and airworthiness of the military aircraft is maintained by performing feedback and reliability analysis

Table 4. Developed maintenance plan of military cargo aircraft

Maintenance Interval	Maintenance Time	Maintenance Cost	Tasks
2 years	20 days	700,000 €	67
4 years	32 days	970,000 €	106

5. Results and Discussions

Over the past century there have been significant increase in aviation safety and airworthiness approaches. Aviation safety is assured by directives prepared by authorities. Military aircraft maintenance is provided as a part of by scheduled or unavaoided maintenance plans. Analyzing the feedback reports is and increasingly important area in the maintenance concept of military aircraft systems. Analyzing the empirical data based on the feedback reports enables the reliability, thus;

- Airworthiness is improved,
- Maintenance plans are developed and updated, so these plans turn into the living organisms,
- Operational disruptions are reduced,
- Military aircraft's reliability is improved,
- Maintenance labor hours are reduced,
- Parts replacement rates are reduced,
- Life and property losses are reduced,
- National safety is provided.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the 2nd Air Maintenance Factory Directorate Administration for their support, valuable advice and guidance for carrying out this research.

6. References

- [1] Air Transport Action Group, 2018. “Aviation Benefits Beyond Borders”, https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18_full-report_web.pdf, Date accessed: 28 July 2019.
- [2] M, Verhoeff., W.J.C, Verhagen., R, Curran., 2015. “Maximizing Operational Readiness in Military Aviation by Optimizing Flight and Maintenance Planning”, *Transportation Research Procedia*, vol. 10. P. 941-950.
- [3] The World Bank, 2019. “Civil Aviation Statistics of the World”, <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR?end=2017&start=1970&view=chart>, Date accessed: 19 July 2019.
- [4] The International Air Transport Association (IATA), 2019. “Industry Statistics Facts Sheet”, <https://www.iata.org/publications/economics/Reports/Industry-Econ-Performance/Airline-industry-economic-performance-Jun19-data-tables.pdf>, Date accessed: 19 July 2019.
- [5] Aviation Safety Network, 2019. “2018 airliner accident statistics”, <https://news.aviation-safety.net/2019/01/01/aviation-safety-network-releases-2018-airliner-accident-statistics/>, Date accessed: 28 July 2019.
- [6] Australian Government Civil Aviation Safety Authority, 2019. “Airworthiness Bulletin”, <https://www.casa.gov.au/aircraft/airworthiness/continuing-airworthiness/airworthiness-bulletins>, Date accessed: 28 July 2019.
- [7] Department of Defense Directive, Number 5030.61. 2013. “Airworthiness Policy”, https://fas.org/irp/doddir/dod/d5030_61.pdf, Date accessed: 15 July 2019.
- [8] Department of Defense Handbook, 2014. “Airworthiness Certification Criteria, MIL-HDBK-516C”, http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0500-0599/MIL-HDBK-516C_52120/, Date accessed: 15 July 2019.
- [9] Purton, L., Kourousis, K. 2014. “Military Airworthiness Management Frameworks: A Critical Review”, *Procedia Engineering*, vol. 80, p. 545-564.
- [10] Jilian, G., Kangming, B., Lintong, J. 2011. “Research on Airworthiness Management System about Military Aircraft Development”. *Procedia Engineering*, vol. 17, p. 375–381.
- [11] Australian Government Civil Aviation Safety Authority, 2019. “Maintenance Regulations”, <https://www.casa.gov.au/aircraft/airworthiness/maintenance-regulations>
- [12] Janković, M., Ilić, Z., Dronjak, M., Parezanović, V., Jovičić, S. “Military Airworthiness”, 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies, 2014, Belgrade.
- [13] Marušić, Ž., Alfirević, I., Pita, O. 2009. “Maintenance Reliability Program as Essential Prerequisite of Flight Safety”. *Promet-Traffic & Transportation*, vol. 21, p. 269-277.
- [14] U.S. Secretary of the Airforce, 2018. “Aerospace Equipment Maintenance Inspection, Documentation, Policies, and Procedures”, <https://www.tinker.af.mil/Portals/106/Documents/Technical%20Orders/AFD-180615-00-20-1.pdf>, Date accessed: 28 July 2019.



INDUSTRIAL APPLICATION OF LASER SURFACE ENGINEERING

¹Bonek Mirosław

¹Institute of Engineering Materials and Biomaterials,
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

Introduction

Laser technology has been used for many years with much success in industries such as power generation, hydraulics, hand tools, and machine tools. Showing great promise for the gear industry, laser heat treating is an emerging trend, especially for manufacturer who needs short runs, specials, or limited treatment requirements. Benefits include lower tooling costs, low heat input, the ability to treat special features or hard to reach areas, and less tuning and set-up time required. Laser heat treating is the most common process in the group of surface modification techniques that include alloying, glazing and cladding. “Heat treating” could imply a number of processes common to metallurgical practice. We will focus on the transformation hardening process using lasers to produce changes in surface properties. Since the 1960s, when ruby lasers were used to drill diamonds for wire draw dies, the development of new powerful radiation has initiated a rapid increase of technologically and economically feasible laser processing techniques. Thus, a world market for industrial lasers was born which has since grown steadily but for temporary setbacks, showing double figure percentage growth rates up to the beginning of this century. After initially having to prove their value in the industrial context, laser beam sources, due to their power and economical advantages, are now an integral part of technology in many manufacturing companies.

Due to the world-wide weakness in the semiconductor and electronics industry and further reinforced by world-wide political and economic uncertainties, the laser market showed a slight decline in 2001 and now has consolidated at this level. For the future, however, market specialists once more expect double figure growth rates

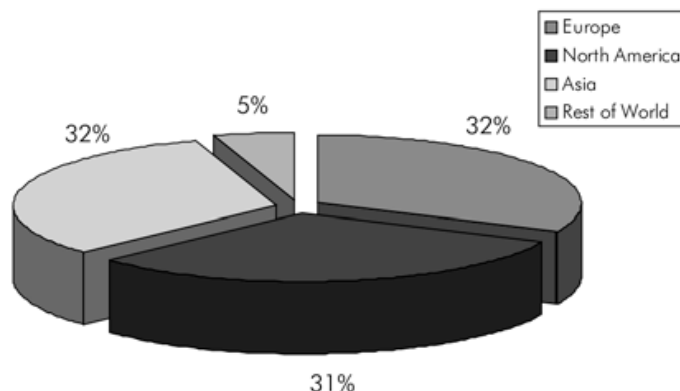


Fig. 2. World market for industrial laser systems^[1]

Geographically speaking, the main markets for industrial lasers are found in Europe, North America, Asia and “Rest of World”. The sales revenue distribution is almost equally split between the three regions. However, this does not necessarily mean that all three main markets also realize the same sales volumes for beam sources. This effect is due to the differences in laser sales for individual sectors of industry which are to be described more detailed in the next section.^[1]

1. Market Shares Of Laser Types

Industrial materials processing today relies primarily on CO₂ lasers, Nd:YAG lasers, and excimer lasers. To an increasing extent, however, diode lasers are also gaining access to this market segment, either as pump sources for solid-state lasers (SSL), or used directly for a variety of different areas of application.

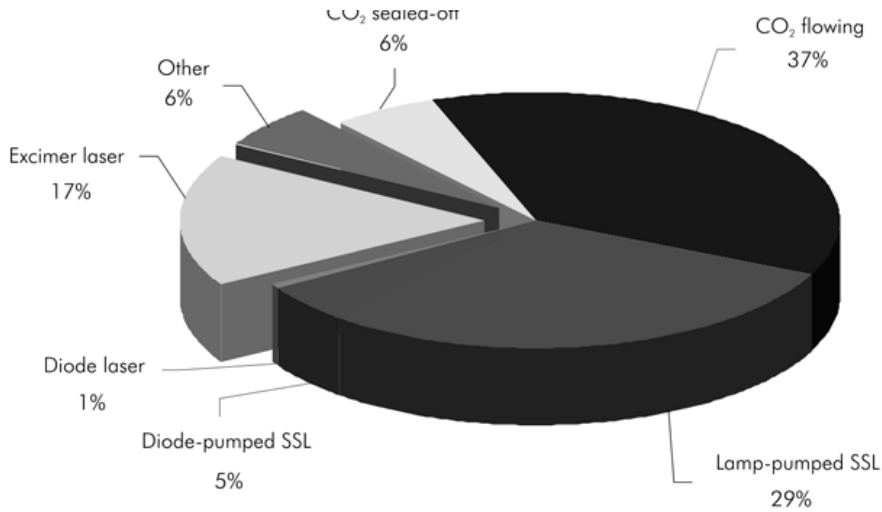


Fig. 3. World market laser beam sources for industrial materials processing^[1]

The CO₂ lasers were launched in the industrial market more than two decades ago and are now available in a wide range of different design types, with a beam power of up to 20 kW and more. Nd:YAG lasers, which are also available in the multi-kW power range, have also conquered a considerable market share. Nd:YAG lasers have a wavelength that allows a more flexible beam guiding system by optical fibers as well as superior focusing ability compared to CO₂ lasers. Another advantage is their higher absorption in conjunction with metals. Due to these benefits, Nd:YAG laser shave opened up new manufacturing areas that used to be outside the scope of lasers. Excimer lasers, too, have become indispensable for a number of industrial applications, and research institutions are now working on the basic concepts for additional industrial applications. Today, these gas lasers are used industrially, especially for microlithographic applications throughout the semiconductor industry, for the processing of thin-film transistor flat screens (“TFT”), and to drill superfine holes for ink cartridges.^[1]

2. Early Development And Industrial Uses

In United States, researchers at US Steel used a ruby laser to harden steel. They were the first US group to use laser heating in a controlled manner for metallurgical research, to use non-reflective coatings and to analyze heat flow characteristics. Other descriptions of laser heat treatment appeared a few years later in the Russian scientific literature. However, the development of laser heat treatment in manufacturing practice started at the General Motors Coporation, began to use a laser at the Manufacturing Development Staff of the General Motor Technical Center. This work led to the first manufacturing laser heat treatment process in the Saginaw Steering Gear Division as well

as the formation of an industrial laser group at the GM Technical Center to develop laser heat treatment. This work grew rapidly and within five years had spread to other major corporations and laser manufacturers. Many corporations had already begun to pursue the industrial use of lasers, but for applications other than laser heat treatment. The work at the Ford Motor Company with a United Technology Research Laboratories multikilowatt laser to weld automotive body components is an example. With high power lasers at hand, the development of laser heat treatment moved quickly. The cooperation between major industrial corporations and laser companies helped promote development and caused a wider dissemination of process as well as an active cross-fertilization of ideas and techniques.

A rather extensive list of potential applications has been reported for CO₂ laser. This list will not be repeated in this review, but can be found in the literature marked by in the list of references. Ruby, Nd:YAG and Nd:glass laser have also been used for heat treating metals. At first, the goal of heat treatment was only selective surface hardening for wear reduction. We now find that laser hardening is also used to change metallurgical and mechanical properties. The practical uses of laser heat treatment include: hardness increase; strength increase; facilitate lubrication; wear reduction; reharden martensitic stainless steel; temper metals; increase fatigue life; surface Carbide creation; and creation of unique geometrical wear patterns.

From the above list of potential industrial applications, it can be seen that the number of parts being laser hardened on a daily basis under full manufacturing controls is growing.^[2]

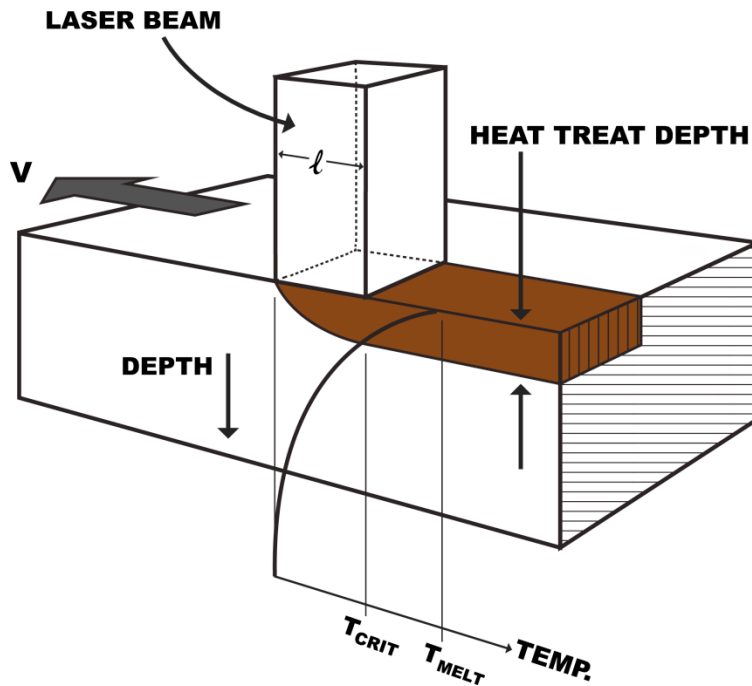


Fig. 4. The concept of transformation hardening of ferrous materials by laser beam. V is relative part velocity. L is beam width or diameter, T_{crit} is the minimum transformation temperature, T_{melt} is the melt temperature of the ferrous material.^[2]

Light produced by a laser is an industrial tool. Light is directed to the workpiece using optics, which cause materials to heat, melt, or vaporize. Laser transformation hardening is performed using low average power densities that heat a specific area without melting the surface. Because lasers are readily integrated into CNC machinery, the amount and placement of laser energy can be very accurately controlled.

Laser heat-treating utilizes High Power Direct Diode Lasers (HPDL), Carbon Dioxide (CO₂) lasers, and Contin-

uous Wave Neodinium:Yttrium-Aluminum-Garnet (CW Nd:YAG) lasers to provide energy to heat the surface of metallic materials. Lasers differ in their physical construction, beam delivery technology, and in the wavelength of the light (beam) produced. Direct Diode and Nd:YAG lasers are better absorbed by irons and steels than are CO₂ lasers. When light impinges on a clean metal surface, energy is both absorbed and reflected. Laser shave relatively low absorption efficiencies, but today it is a common practice to improve absorption of the incident light to 80 percent or better by applying coatings, compared to 35 to 40percent absorption without coatings.^[9]

Laser heat treatment is primarily used on steels and cast irons with sufficient carbon content to allow hardening. The metal surface is first prepared with an absorbing coating. After the coating is applied, the laser beam is directed to the surface. Fig. 5 illustrates the effects of the incident laser beam. As the beam moves over an area of the metal surface, the temperatures starts to rise and thermal energy is conducted into the metal part. Temperatures must rise to values that are more than the critical transformation temperature but less than the melt temperatures. After the beam passes over the area, cooling occurs by mass quenching.

The laser beam is defocused or oscillated to cover an area such that the average power density has a value of 10^5 to 10^6 W / cm². A defocused laser beam can easily be visualized but the energy distribution of the oscillated beam may not be. Fig. 5 shows this energy distribution. At times segmented mirrors are used to redistribute or integrate the laser beam energy. The energy distribution of the integrating optics is also illustrated in fig. 5.^[3]

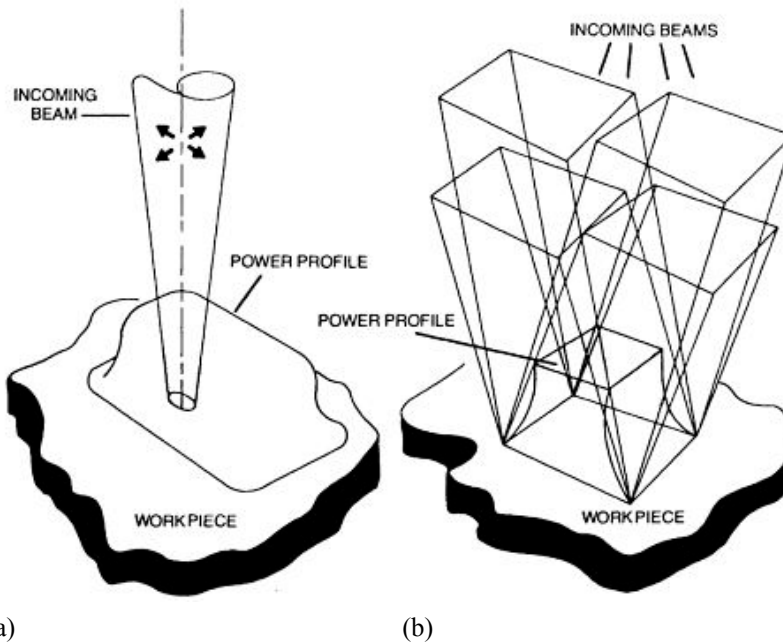


Fig. 5. Representation of laser power distributions that result from (a) oscillator optics and (b) integrating optics. ^[3]

3. Coatings

Typical coatings include paint or inks containing carbon black or graphite, oxyacetylene soot, oxides, and phosphates. Coating thickness is carefully balanced because thick coatings may produce inconsistent depth, and coatings that are too thin do not adequately enhance absorption. Phosphate and carbon coatings tend to provide the most consistent result.

Phosphate coatings are result of a chemical conversion process in which the steel or cast iron surface is replaced by a metal phosphate. This metal can be zinc, iron, lead, or manganese. All phosphate coatings work, but manganese phosphor hate is used predominantly. It is a very efficient and very reproducible coating in the sense that the same power, speed, and spot size will always create the same depth of hardening. The important variables in laser heat treatment are power, spot size, speed, and coating thickness. If the coating is too thin, it will be destroyed quickly in the laser processing and the metal will reflect power. If the coating is too thick, excessive power is required to burn through the coating and the resulting “plume or plasma” will absorb too much power. Coating thicknesses between 0.065 mm and 0.10 mm seem to be in the optimum range based o experience.

Paints are often used for coatings because of the ease with which they can be applied. However, coating thickness must be monitored constantly to ensure uniform depths of hardening. The best paints for laser heat treatment can be found by comparing labels which list contents. Paints which have high pigment and low organics are superior. The pigments and fillers should be titanium oxide, silicon dioxide, and carbon black which are all good absorbers of the carbon dioxide laser wave length. The organic will only burn away, thus creating a plasma which must be controlled and removed.

Most other coatings prove less satisfactory than paints and chemical conversion coatings. However, it should be mentioned that few systematic studies can be found comparing coatings. Spray graphite coatings or molybdenum disulfide coatings used in die lubrication or as a parting compound have worked but result have been inconsistent. Metal oxide coating variations are the cause or if these coatings are less efficient than others. Chemical etching has proved promising but again systematic studies are not available. Coating thickness is an important parameter if any control or correlation of heat treated depths is to occur. Instruments to measure coating thickness can be found in the coating or paint departments or most large corporations. In order to choose from among the many coatings which have been tested it is instructive to review the coating chosen by the manufacturing groups which are using lasers in production laser heat treatment. Three are using the maganese phosphate conversion coating, three are using special paints and one is using a black oxide coating.^[5]

4. Metal Heating

The process of metal heating is a balance between the absorbed laser energy and thermal energy conduction into neighboring regions. Absorption of laser energy is a very localized surface phenomenon. Suitable coatings have been used to maximize absorption ($A=1$) and so we find that the first few micrometers of the metal surface is the region where laser photon energy is converted into thermal energy. Thus, temperatures in this region are the result of an energy balance between the amount of incoming laser energy and the amount of thermal energy being conducted away from the metal surface. If the rate of incoming laser energy is high relative to the rate at which thermal energy is conducted away then temperatures are high and concentrated near the surface. If the rate of incoming energy is nearly equal to the rate at which thermal energy is conducted away, the temperatures are lower, but a much deeper zone is heated than in the first example.

Temperatures distributions within metals can be calculated by conventional formulations of the thermal reponse of metarials. Elaborate computer code formulations also exist, but these can be time consuming and costly if three-dimensional modeling is attempted.

5. Metal Cooling

As soon as the beam moves to another area of the metal surface, cooling occurs by thermal heat conduction into the surrounding metallic region. The equations which describe this process are discussed in the following sections. For factories using lasers, this mass quenching by thermal heat conduction occurs within a few seconds after heat up. No water or oil is used on the surface to aid the cooling process.



In the laboratory, there are successful result of laser heat treatment which require a water quench. Generally, these are small parts which do not have enough metal to permit mass quenching to occur. Parts such as knife edges, saw blade teeth, or thin metal cross sections are examples which usually require a water quench. The choice of steel alloy, of course, determines the need to use a water quench. The pure iron-carbon alloys have only a few tenths of a second quench time while the alloyed steels can be cooled at a slower rate and still create the maximum hardness allowed by the carbon content of the steel.^[12]

6. Post Processing

After heat treatment, manufacturing operations may still be required, but these are at the discretion of the manufacturer. About one-half of the laser heat treaters will use the part as it is after laser hardening. The laser hardening is the final operation in the part's manufacture. Generally, these groups use phosphate as the initial coating because it has additional advantages besides being a good absorber of laser power. The remaining factories will either perform a final hone or a paint removal operation to generate the required metal finish before the part is packaged or assembled.^[13]

7. Heat Treating With High Power Diode Lasers

Carbon dioxide (CO₂) lasers have been used in heat treating for over 30 years, as replacements for induction or other traditional heat treating techniques. However, limitations in CO₂ laser reliability and cost of ownership have made their use as a heat treating source less than ideal. Over the past few years, a new approach for heat treating based on the high power, direct diode laser has emerged. Direct diode lasers utilize a very different technology than CO₂ lasers to produce light, and in this way overcome the most significant disadvantages of CO₂ lasers. While diode lasers are by no means a panacea for all applications, they offer some compelling advantages in certain, distinct applications. This article reviews the basics of laser heat treating and its optimum uses, and compares CO₂ with diode laser technology.^[6]

8. Benefits Of Laser Hardening

In laser heat treating, or case hardening, a spatially well-defined beam of intense laser light is used to illuminate a work piece. This light is absorbed near the surface, and causes rapid heating that is highly localized to the illuminated area and which does not penetrate very deep into the bulk material. Depending upon the particulars of the part size, shape and material, the bulk heat capacity of the material typically acts as a heat sink for the extraction of heat from the surface, therefore enabling self-quenching.

The ability to precisely control the physical extent of the illuminated region together with the short timescale of energy transfer into the material give rise to the main benefits of laser surface modification over other techniques. These benefits are rapid processing, precise control over case depth and minimal part distortion. In particular, part distortion is typically low enough so that subsequent processing to restore dimensional accuracy, such as grinding or machining, is not necessary. Furthermore, in some cases, the laser induced surface transformation creates a smaller grain structure due to the rapid quench, resulting in superior wear resistance. In addition, laser heating can yield increased fatigue strength due to the compressive stresses induced on the surface of the component.

The effectiveness of case hardening depends on the hardness of the transformed surface layers, as well as its depth. Maximum case depths and hardness that can be achieved using the latest diode laser system are listed for a variety of metals in the table.

These characteristics of laser hardening contrast significantly and favorably with flame hardening and induction hardening techniques. For example, flame hardening is limited by poor reproducibility, poor quench characteristics and environmental issues. Induction hardening typically produces deeper thermal penetration thus requiring an active quench, both of which lead to undesirable and uncontrollable distortion. The laser heat treating process is also much simpler to design and maintain than induction hardening due to the ability to easily limit heating to the irradiated area. This avoids the need for special coils, flux concentrators, shields or subsectors.

In some cases, laser processing is more easily integrated into manufacturing flow than traditional hardening technologies. In industries that have moved heavily towards Lean manufacturing, this has sometimes forced traditional heat treating to be an outsourced process, since the majority of these methods are batch in nature. In contrast, laser processing is inherently a one piece flow, making it well suited for the Lean manufacturing environment.^[7]

Laser heat treating is by no means the optimum approach for all applications. In general, laser heat treating has an advantage over other processes if the part has a specific, limited surface area that needs to be case hardened, or if the part is so large that it is cost prohibitive to heat treat with conventional means. Clearly, the laser is at a disadvantage for bulk heat treating of thick parts, or for applications that require large batch processing. The photograph shows a saw tooth tip selectively hardened by a diode laser, and represents an ideal use of laser hardening.

In addition, obtaining optimum results and maximizing the cost savings from laser heat treating may require changes to the part design and process. For example, when compared to vacuum carbonizing and gas nitriding, the laser process typically requires a change in work piece material to a heat treatable, high carbon content material. In these instances, the advantage of reduced distortion and elimination of post-machining have to be compared to the cost associated with changing material.

Process specifics also have to be carefully considered in order to reap the maximum benefit from laser processing. For example, back tempering can occur when the scanning laser beam overlaps an area previously processed, causing it to again reach the tempering temperature range. The result is that the overlapped area can have lower hardness than the rest of the hardened zone. The solution is to either design the laser scan pattern so as to minimize the extent or degree of back tempering to an acceptable range, or to make sure that back tempering only occurs on non-critical part surfaces. For example, on a gear, the overlap would be designed to occur at the top of the tooth, rather than at the root.^[6]

9. High Power Diode Lasers

The inherent characteristics of CO₂ lasers have limited their ability to fulfill the true potential of laser hardening. In response to the need for a more optimal source for this application, Coherent has developed the HighLight™ series of products, based on high power diode laser technology.

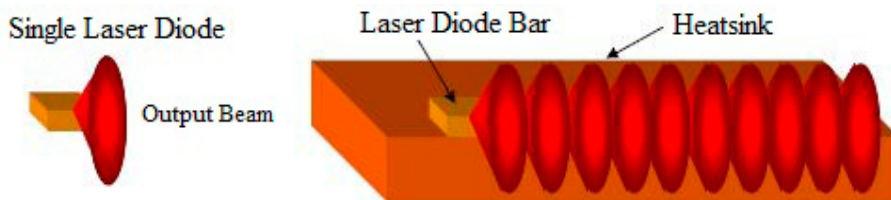


Fig. 7. Diode laser bars consist of multiple individual emitters on a single, monolithic substrate, each producing a divergent cone of light.^[10]

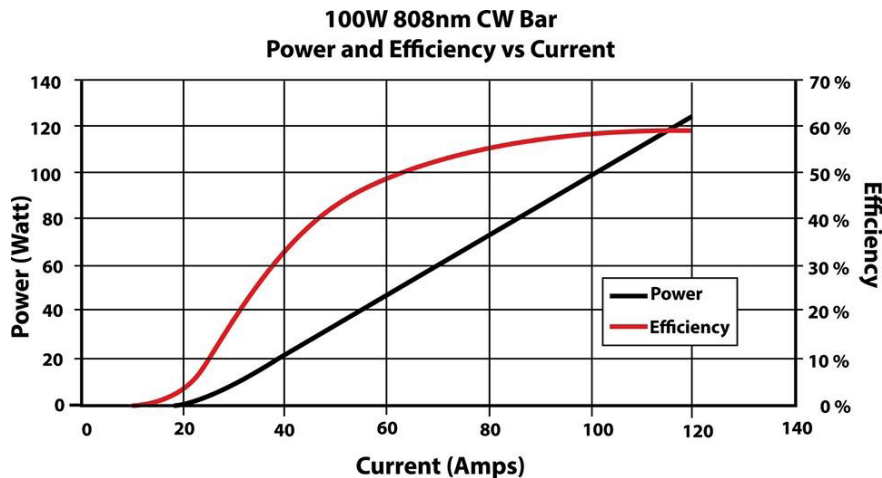


Fig. 8. This graph of conversion efficiency and power vs. input electrical current shows that diode laser bars are far more efficient than any other laser type^[10]

The diode laser is a semiconductor device that directly converts electrical energy into laser light. Typically, higher power diode lasers output in the near infrared, most commonly at either 808 nm or 980 nm. A typical, individual diode laser emitter might produce at most a few Watts of output power. However, numerous emitters can be fabricated on a single, monolithic semiconductor substrate or bar with a total output as high as 100 W. These linear bars can, in turn, be combined in horizontal and vertical stacks to produce high power direct diode laser systems with total output power in the multikilowatt range.

As shown in the graph, the maximum conversion efficiency of transforming input electrical energy into light in diode laser bars is about 59%, which is many times higher than for any other laser type, and about three to four times higher than that of the CO₂ laser in particular. The primary benefit of this high efficiency is that it lowers the operating cost of the system, since less electricity is required to produce a given amount of output power. Of course, this reduced power consumption also decreases the carbon footprint of the laser's operation.

The small size of diode lasers makes them easier to integrate into workstations. It also means that they produce their waste heat in a relatively small physical area. As a result, they can be effectively cooled with a small volume of circulating water and a chiller.

10. Diode Laser Advantages

The Coherent High Light diode laser system addresses all the previously mentioned disadvantages of CO₂ lasers for heat treating. Specifically, the shorter output wavelength of the diode laser is very well absorbed by metals, as shown in the following graph. This eliminates the need for surface preparation, as well as the environmental compliance costs associated with emissions, clean up and disposal of the chemicals utilized in the painting process. It also makes the diode laser a substantially more efficient source for heat-treating, thus lowering electrical power consumption.

The shape of the output beam from a High Light laser is also well matched to the needs of many heat treating tasks. Specifically, the High Light laser incorporates rugged optics that integrate all the individual laser beamlets into a single beam with a nominal cross-section of 1 mm x 12 mm beam. And this extended beam shape has a relatively uniform intensity over most of its area. This is much more useful than the small, non-uniform output beam from a CO₂ laser. Furthermore, other output dimensions are also currently available (6 mm x 12 mm, 8 mm x 12 mm, and 12 mm x 12 mm).

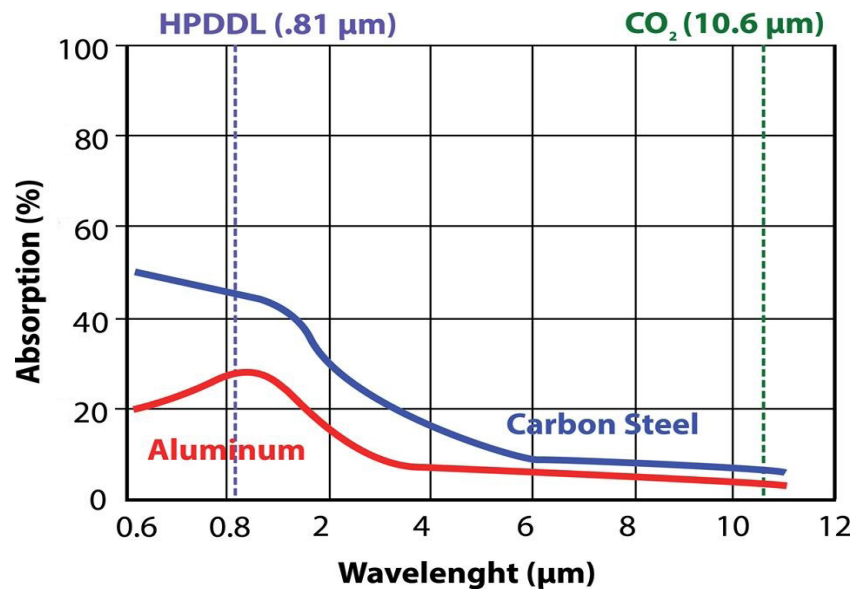


Fig. 10. Absorption as a function of wavelength for carbon steel and aluminum^[9]

Most importantly, High Light lasers offer a substantial cost advantage over CO₂ lasers. One reason for this is that their electrical efficiency (conversion of input electrical energy to useful light output) is about three to four times higher than that of the CO₂ laser. This translates directly into lower operating cost. Additionally, the High Light has instant “on” capability so there is no standby power consumption. And even larger savings results from reduced maintenance costs, which are orders of magnitude smaller for the High Light as compared to CO₂ lasers. Maintenance downtime is also minimized because the physically compact High Light laser can be more rapidly replaced than bulkier CO₂ lasers, and replacements can even be shipped via overnight courier services. The table 2 details the total cost of owning and operating the two laser types, and shows that the High Light costs about half as much over a five year period. The High Light also offers simplified integration over CO₂ lasers. Its electrical efficiency and small size enables multiple lasers to be powered from the same power supply, which allow simultaneous, multi-beam heat treating. The small size and the ability to illuminate the surface at a distance facilitates the integration of the laser into CNC machining equipment so that the heat treat step can be performed immediately after machining.^[9]

11. Conclusion

A variety of industrially available laser technologies and systems approaches offer a laser solution for a large number of industrial manufacturing tasks. It is just this complexity that makes it possible to creatively design an appropriate laser system configuration, considering all of the benefits and drawbacks of all possible solutions. The initial long list should contain laser systems selected according to technological aspects, especially in view of the required manufacturing quality and productivity. Among technically feasible systems, a short list may then be drawn up and a final selection made on the basis of economic analyses providing very clear assessments and ultimately yielding an optimum laser system.^[11]

The technical process of matching the thermal response of the metal to the rate of delivered laser beam energy requires the use of absorptive coatings and defocused beams. Metal temperatures must exceed the critical transformation values but remain less than the melt temperatures. The use of absorbing coatings is important because these coatings start the absorption and transfer of energy into the metal under conditions which would normally reflect most of the energy.

A simple thermal model of one-dimensional heating and cooling can be used to calculate the transient temperatures



at the surfaces and at distances below the metal surface. The model can be extended by using a simple model of diffusion which adds details of the metallurgical response. More detailed three-dimensional thermal models can be used as well as more detailed models of diffusion.^[2]

The Coherent High Light laser is a unique source for heat treating that delivers a number of advantages over traditional technology, as well as other laser sources. In particular, the High Light laser offers attractive cost of ownership characteristics, and its small size and output characteristics make it easy to integrate directly with existing production equipment.^[6]

12. References

1. P. Wirth: Introduction to Industrial Laser Materials Processing, 2004, pp. 7-11.
2. F.F.Y. Wang: Laser Materials Processing, North Holland Publishing Company, 1983, pp. 203-230.
3. L. Banello, M.A.H. Howes: How cost, technical factors affect laser heat treatment, Heat treating, 1980, p. 32.
4. L.W. Carley: Laser heat treating, Heat treating, 1977, p. 16.
5. H.S. Carslaw J.C. Jaeger: Conduction of Heat in Solids, 2nd Ed. 1959 (Oxford University Press, London).
6. <https://www.coherent.com/downloads/HPDDLHeatTreatingWhitepaperREV10.10.pdf>.
7. <http://lasers.coherent.com/lasers/laser%20heat%20treating>.
8. O. Sandven: Laser Surface Transformation Hardening, Metals Handbook, ASM, 9 Ed., Vol. 4, pp. 507-517.
9. M. Kikuchi, et al., The Influence of Laser Heat Treatment Technique on Mechanical Properties, Proceedings of the Laser Materials Processing Conference-ICALEO'81, Laser Institute of America, 1981.
10. S. Fly, et al., Low Power Laser Heat Treatment to Improve Fatigue Life of Low Carbon Steel, Proceedings of the Laser Materials Processing Conference-ICALEO'95, Laser Institute of America, Vol. 80, 1995.
11. G.H. Harth, W.C. Leslie, V.G. Gregson, B.A. Sanders: Laser heat treating of steels, Journal Metals 28, 1976, pp. 278-299
12. J.H.P.C. Megaw: Laser surface treatment, Surfacing Journal 11, No. 1, 1980, pp. 789-799

İŞ MODELLEME VE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ İLE BAKIM YÖNETİM SİSTEM TASARIMI

¹Leyla Özgür Polat, ²Aşkıner Güngör

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,

lozgur@pau.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,

askiner@pau.edu.tr

Özet

İşletmelerin sipariş alabilmek ve siparişlerini sürekli bir halde tutabilmek için uygun fiyat verme, teslimatı istenen zamanda yapma, kalite konusunda güvenilir olma gibi konularda güvence sağlanması bir zorunluluktur. Bakım faaliyetleri, üretim ve hizmet sektöründeki faaliyetlerin devamlılığının sağlanması, maliyetlerin indirgenmesi ve müşteri potansiyelinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle bakım faaliyetlerine gereken önemin gösterilerek yönetim, planlama ve izleme aşamalarının bilişim teknolojileriyle desteklenmesi ile süreçlerin etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında kurumsal kaynak planlama sistemlerine entegre çalışacak bakım modüllerine yönelik tasarım gereksinimleri ortaya konulmuştur. Bakım faaliyetlerinin verimliliğini arttırmak ve izlemeyi kolaylaştırmak amacıyla, iş modellemesi IBM Business Modeler programı ve kurumsal süreç yönetimi simgeleri kullanılarak, sistem performans göstergelerini de dikkate alan bir bakım yönetim sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bakım Planlaması, Kurumsal Süreç Yönetimi (BPM), İş Süreç Analizi, Kurumsal Süreç Yönetimi Simgeleri (BPMN).

1. Giriş

Bakım faaliyetleri makine ve teçhizatın beklenen fonksiyonlarını en iyi şekilde ve düzeyde gerçekleştirebilmeleri için yapılan tamir, onarım, yağlama vb. faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir. Genel olarak bakım faaliyetleri plansız/arız ve planlı bakım olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Planlı bakım faaliyetleri de kendi arasında üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar periyodik/koruyucu, önleyici ve kestirimci bakımdır (Köksal, 2015).



Plansız bakım, arızalanması sonucu yapılan bakım tekniğidir. Arıza meydana gelmeden önce müdahalede bulunulmaz ve arıza meydana gelene kadar makine veya teçhizat çalıştırılmaya devam edilir. Bu yöntem; çok sayıda yedekleri bulunan ve fazla pahalı olmayan makinelerle üretim yapan tesislerde ve atölyelerde uygulanmalıdır (Köksal, 2015).

Planlı bakım, ölçüm tekniklerinden, istatistiki bilgilerden ve deneyimden faydalanılarak belirlenmiş planlar dahilinde yapılan bakım onarım işlemidir. Planlı bakımın amacı, makine duruşlarını azaltarak verimliliği arttırmak, makinelerin ekonomik ömürlerini uzatmak, hazırlanan planlara uyulmasını sağlamak ve bakım masraflarını azaltmaktır (Köksal, 2015).

Periyodik/koruyucu bakım, belirlenmiş periyotlar dahilinde yapılan bir bakım çeşididir. Periyotlar, ya satıcı firmanın ya da firmanın bizzat kendi belirlediği zaman aralıklarıyla belirlenir (Köksal, 2015).

Önleyici bakım, ekipmanların ömrünü arttırarak optimum kullanımlarını sağlamak amacıyla test, ölçme, ayarlama, parça değiştirme gibi faaliyetlerle gerçekleştirilen planlı bir bakımdır (Uzun ve Özdoğan, 2011).

Kestirimci bakım, üretim sırasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansını izleyerek ne zaman bakıma gerek olacağına karar verip daha önceden belirlenen arızayı onarmak için yapılan planlı bir bakım yöntemidir (Er, 2004). Bakım türü seçimi, firma yapısı, üretim planları ve maliyet unsurlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Günümüzde firmaların genellikle karma bakım faaliyetlerini uyguladıkları görülmektedir. Bakım faaliyetlerinin yönetiminde bakım yönetim sistemleri oluşturularak süreç yönetilebilmektedir. Bu nedenle süreci daha etkin takip edebilmek adına farklı özelliklerdeki kurumsal kaynak planlama (ERP: Enterprise Resource Planning) yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımlar ile bakım faaliyetleri izlenerek planlamalar yapılabilen ve maliyet kalemleri kontrol altında tutulabilmektedir.

Bakım planlaması faaliyetlerine ilişkin ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların genellikle operasyonel seviyedeki problemlerle ilgilendiği görülmektedir. Örneğin Gürbüz ve Cömert (2012) çalışmalarında uçakların fabrika seviyesindeki bakım planlaması için tam sayılı doğrusal programlama kullanarak bir bakım planlama modeli oluşturmuştur. Karaoğlan vd. (2007) tam zamanında üretim sistemi uygulamalarında bakım politikalarının önemini incelemiştir. Görener (2013), bulanık ortam koşullarında bakım stratejisi seçimi için çok kriterli seçim yöntemlerinden faydalanmıştır. Uzun ve Özdoğan (2011) ekipmanların optimum bakım zamanlarının belirlenmesi ve bakım maliyetlerine dayanarak bakım modelinin seçimi için güvenilirlik analizine önleyici bakım planlama çalışması gerçekleştirmiştir. Anagün ve Soy (1999) ve Baraçlı vd. (2001) çalışmalarında Toplam Verimli Bakım (TVB) geçiş sürecinde başarılı olmayı hedefleyen firmalar için yol haritaları belirlemişlerdir. Bakım yönetimi konusunda gerçekleştirilen detaylı literatür taramaları Sherwin (2000), Garg ve Deshmukh (2006) ve Parida vd. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Şahin (2003) bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerinin tasarlanmasına yönelik olarak çalışmalar gerçekleştirmiş ve havacılık sektöründe uygulama gerçekleştirmiştir. Er (2004) bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerini ve bu sistemlerin Türkiye'deki uygulama düzeyini incelemiştir. Türkan ve Esnaf (2008) bilgisayar destekli bakım yönetim çatısının oluşturulmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirmiştir. Akasah vd. (2010) çalışmalarında IDEF0 diyagramlarını kullanarak okullar için bakım yönetim sistemi modeli tasarımı gerçekleştirmiştir. Qing (2012), trenlere bakım hizmeti veren bir firma için bakım yönetim bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Bilgisayar destekli bakım yönetimi sistemlerine yönelik detaylı literatür taraması Kans (2007) tarafından yapılan çalışmada yer almaktadır. Literatürde sadece Pai ve Rane (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ERP yazılımına entegre bakım modülü tasarımı nükleer santral özelinde gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada, bakıma gereken önemin verilmesi ve bakım faaliyetleri sonuçlarının izlenebilmesini sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek adına bir ERP sistemi içerisinde bakım yönetim sistemi tasarlanarak iş modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bakım yönetimi programında yer alacak modüller ve iş modellemeleri ayrıntılı olarak gösterilmiş ve ardından kullanıcıya yardımcı olmak ve kullanıcının gerekli bilgileri elde etmesi için raporlama modülünün iş modellemesi ile sistem tarafından hesaplanacak performans göstergeleri açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, bakım planlama modülüne ilişkin kullanıcı ve yazılımcı tarafından yapılması gereken işlem ve süreçlerin iş modeli ve performans kriterleri tanımlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuç ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. Bakım Yönetimi Programının Modellenmesi

Kurumsal Süreç Yönetimi (BPM: Business Process Management), kurum içinde yapılan işleri bütünsel bir yaklaşımla ele alıp modelleyen bir yöntemdir. BPM, kurum süreçlerinin ortaya çıkarılması, belgelendirilmesi ve iyileştirmelerin otomatik yapılmasını hedefler. Finansal konularla da ilişkili olan BPM performans kriterlerinin ortaya çıkarılmasıyla süreçlerin maliyet ve performans takip işlemlerinin yapılabilmesini sağlamakta ve hızlı, esnek, uygun fiyatlı ve işletme dostu süreçlerin modellenmesini hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında bakım yönetimi programı tasarımı, bir yazılım firması ile birlikte çalışılarak bakım yönetim modülü içeren ERP programlarının incelenmesi ile gerçekleştirildikten sonra IBM Business Process Manager programı kullanılarak Kurumsal Süreç Yönetimi Simgeleri (BPMN: Business Process Management Notation) mantığıyla modellenmiştir. Buna göre bakım yönetimi programında olması gereken modüller; Bakım Bilgileri Tanımlama, Bakım Detayı Tanımlama, Bakım Makine İlişkilendirme, Bakım İş Emri Tanımlama, Bakım İş Emri Kapama ve Raporlama olarak tanımlanmıştır. Ancak burada uygun veri giriş ve kontroller oluşturularak sadece bakım ile ilgili alanların iş modellemesi gerçekleştirilmiştir.

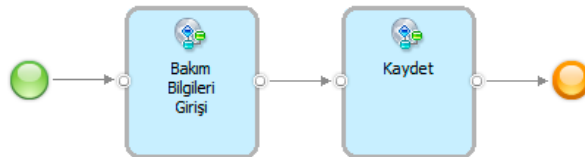
Çalışma kapsamında kullanılan iş süreci modelleme simgelerinin bazıları kısaca Şekil 1’de gösterilmiştir.

Sistem işlemi		Başlangıç		Dahil çoktan seçmeli karar	
Kullanıcı işlemi		Bitiş		Birleştir	
Alt süreç		Basit karar		Ayrış (paralel)	
Veritabanı		Çoktan seçmeli karar		Dahil olma	

Şekil 1: İş Süreci Modelleme Simgeleri

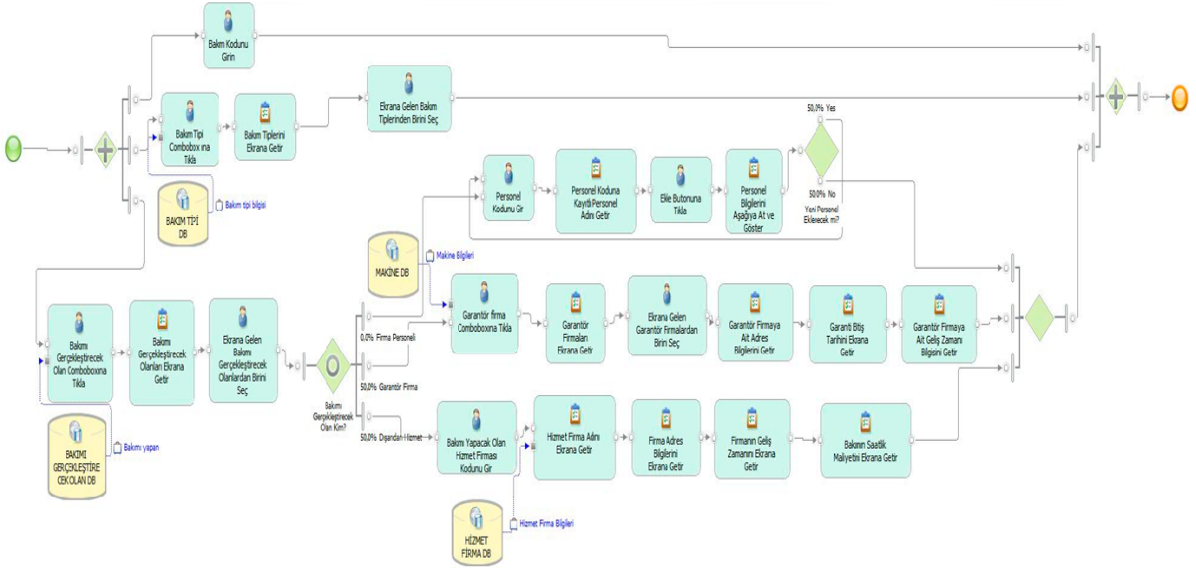
2.1 Bakım Bilgileri Giriş Ekranı

Bakım Bilgileri Giriş Ekranı, Şekil 2’de gösterildiği gibi Bakım Bilgileri Girişi ve Kayıt işlemlerini içermektedir.



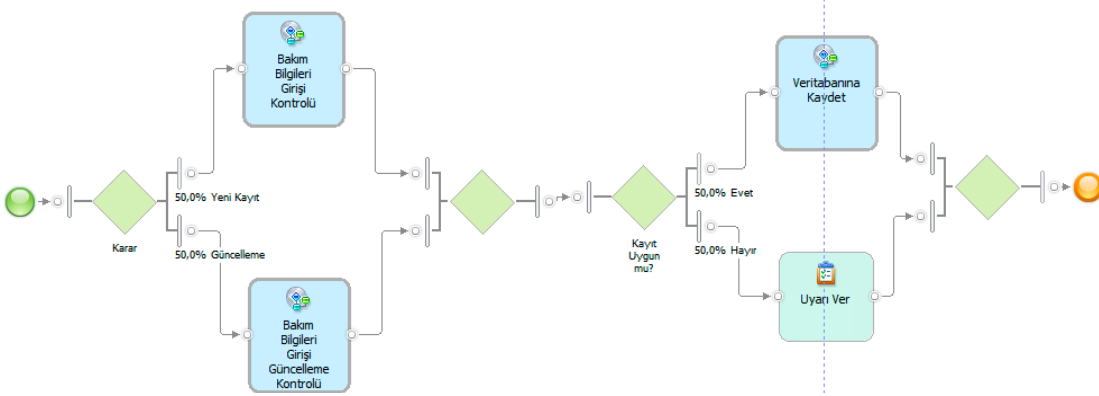
Şekil 2: Bakım Bilgileri Giriş Genel Gösterimi

Bakım Bilgileri Giriş iş modelinde veri girişlerinin yer aldığı model Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 3: Bakım Bilgileri Girişi İş Modeli

Şekil 4’de Bakım Bilgileri Girişi Kontrolü ve Bakım Bilgileri Girişi Güncelleme Kontrolü sonrası, kaydın uygunluğu çerçevesinde veri tabanına kayıt işlemi ya da hatalı girişlere yönelik uyarı verme durumları gerçekleşecektir. Kaydet sürecinin genel gösterimi diğer modüllerdeki giriş ve güncelleme işlemlerinde de benzerdir.



Şekil 4: Kaydet Sürecinin Bileşenleri

Gerekli kontrollerin ardından veriler istenen şekilde girilmediyse ya da veri girişleri eksikse sistem tarafından kullanıcıya gerekli uyarılar yapılmaktadır. Bakım Bilgileri Girişi Güncelleme Kontrolünde kodun güncellenmesine izin verilmediğinden kod dışındaki Bakım Bilgileri Giriş Kontrolünde yer alan diğer kontroller gerçekleştirilir.

2.2 Bakım Detayı Giriş Ekranı

Bakım Detayı Giriş Ekranı, bakım kodunun seçimi sonrası sistem tarafından bakım tipi bilgisinin getirildiği, ardından da bakımın içeriğinin açıklandığı yedek parça değişiminin yapılıp yapılmadığı ve bakım tipine uygun gerekli verilerin girildiği ekrandır.



arızalar arası ortalama süre, yedek parça planlama başarısı, planlanan işlerin gerçekleşme başarı oranı, arıza önleme çalışmalarının etkinliği ile ilgili performans gösterge sonuçlarını da üretmektedir. Raporlama Ekranı; Raporlama Giriş ve Raporlama Sonuç Karar alt süreçlerini içermektedir.

3. Sonuç

Üretimi aksatmadan maliyetlerin düşürülmesi, bir işletme için kaçırılmayacak bir fırsat olmaktadır. Bakım Yönetimi Programı da, bu kaçırılmayacak fırsatın etkin olarak değerlendirilmesinde bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma ile bakım faaliyetlerinin firma itibarı ve satışların devamlılığı açısından önemi üzerinde durularak farkındalığın oluşturulması ve gerek yazılım dünyası gerekse kullanıcı bakış açısı ile bakım faaliyetlerini istenen düzeyde ve performansta gerçekleştirebilmek için kurumsal süreç yönetimi sisteminden yararlanılarak yol gösterici olmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında bakım yönetim programının etkin bir şekilde yürütülmesinde kullanılacak ara yüzlerde olması gereken bilgilerin ve hangi amaçla bulunmaları gerektiği hakkında kullanıcı ve yazılımcının yapması gereken işlemler BPMN mantığıyla sistemin ana modelinden alt modellerin oluşturulmasıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışma, bakım faaliyetleri için genel yapıya uygun şekilde tasarlandığından farklı ERP sistemlerine adapte edilebilir ya da genel bir modül olarak kodlanabilir niteliktedir. Gelecek çalışmalarda sadece bakım modülü olarak değil üretimdeki tüm süreçler ayrıntılı olarak incelenerek sistem gereksinimleri, etkileşimleri ve etkileri ile birlikte iş modellenmesi ve raporlanması gerçekleştirilebilir.

4. Kaynaklar

- Akasah, Z. A., Amirudin, R., ve Alias, M. (2010). "Maintenance Management Process Model for School Buildings: An Application of IDEF0 modelling methodology," *Australian Journal of Civil Engineering*, 8(1), 1-12.
- Anagün, A.S., Soy, E., (1999). "Toplam Verimli Bakıma Geçişte İlişki Diyagramının Kullanımı," IV. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 435-447.
- Baraçlı, H., Coşkun, S. ve Eser, A. (2001). "Toplam Kalite Programlarının Başarılı Olarak Uygulanabilmesinde Toplam Üretken Bakım Tekniği," 1. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 331-341.
- Er, E. (2004). "Bakım Yönetimi ve Bakım Yönetim Sistemlerinin Türkiye'de Uygulanma Düzeyi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Garg, A., ve Deshmukh, S. G. (2006). "Maintenance Management: Literature Review and Directions," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205-238.
- Görener, A. (2013). "Maintenance Strategy Selection by Using WSA and TOPSIS Methods Under Fuzzy Decision Environment," *Sigma*, 31, 159-177.
- Gürbüz, H., ve Cömert, E. (2012). "Bakım Planlama Faaliyetlerinde Tamsayı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama," *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(7), 101-122.
- Kans, M. (2007). "A Literature Review of Computerised Maintenance Management Support. Modelling in Industrial Maintenance And Reliability," 6th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability, Salford University, 96-101.
- Karaoğlan, İ., Altıparmak, F., ve Dengiz, B. (2007). "Tam Zamanında Üretim Sisteminde Bakım Politikalarının Etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 181-189.
- Köksal, M. (2015). "Bakım Planlaması: Koruyucu Bakım – Kestirimci Bakım – Güvenilirlik," Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, İstanbul
- Pai, A., ve Rane, S. (2014). "Development and Implementation of Maintenance Management Module of Enterprise Resource Planning in Maintenance of Power Plant," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 5(4), 534-543.
- Parida, A., Kumar, U., Galar, D., ve Stenström, C. (2015). "Performance Measurement and Management for Maintenance: A Literature Review," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(1), 2-33.
- Qing, B. A. I. (2012). "Design and Implementation of Locomotive Maintenance Process Management Information System," *Computer Knowledge and Technology*, 23, 5508-5510.
- Sherwin, D. (2000). "A Review of Overall Models for Maintenance Management," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6(3), 138-164.
- Şahin, B. (2003). "Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemleri ve Thy Bakım Yönetim Sistemi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Türkan, Y. S. ve Esnaf, Ş. (2008). "Bakım Yönetim Çatısının Oluşturulmasına Yönelik Bir Uygulama," VIII. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 613-624.
- Uzun, A., ve Özdoğan, A. (2011). "Güvenirlilik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması," *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 303-320.

KARLILIĞI ARTIRMAK İÇİN GÜVENİLİRLİK ODAKLI BAKIM YÖNETİMİ

¹Ozan Çakıtlı

¹Makine Mühendisi / Pruftechnik Türkiye Şirket Yöneticisi

0 216 250 22 44

0 530 176 80 73

Ozan.cakitli@pruftechnik.com

Özet

Güvenilirlik odaklı bakım 1970'lerden beri araştırılan ve üzerinde sayısız kitap yazılan bir konu olsa da, uluslararası rekabetin iyice artması neticesinde son 10 yılda çok daha önemsenen ve yaygınlaşan bir konu haline gelmiştir. Uluslararası büyük şirketlerin birçoğu, bu bakım stratejisini benimsemeye başlamışken, ülkemizde bir kaç şirket dışında, bu strateji ilgili farkındalık bulunmamaktadır. Güvenilirlik odaklı bakım, etkin kullanıldığında üretim tesisinde ani duruşları, iş kazaları riskini ve olası çevre zararı risklerini azaltacak; ekipmanların emre amadeliliğini, toplam üretim etkinliğini ve güvenilirliğini arttıracaktır. Böylece yeni yatırım gerektirmeden kapasite artışı, buna bağlı olarak üretim artışı sağlanırken bakım ve operasyon giderleri azalacaktır. Bu etkileri ile üretim tesislerini karlılığını artıran, güvenilirlik odaklı bakım stratejisi, ülkemizin uluslararası alanda rekabet gücünü artırarak, kalkınmada etkin rol oynayacaktır. Bu bildiri ile güvenilirlik odaklı bakım stratejisinde ne gibi yöntemlerin kullanıldığı özetlenecek, stratejiyi uygulamaya geçirmek isteyen bir üretim tesisinin yol haritasını, nasıl oluşturabileceği anlatılmıştır.

1. Giriş

Güvenilirlik Odaklı Bakım kavramını anlamlandırmak önce Güvenilir bir Tesis dendiğinde tam olarak neyin kastedildiğinin anlaşılması gereklidir. Güvenilir bir tesis, yüksek maliyete sebebiyet vermeden, aşırı duruş yaşamadan, sık ekipman değişimi gerekmeden, gereğinden fazla iş gücü ve danışmanlık hizmeti faturası yaratmadan, ekipmanlarından istenen seviyede performans ve kalite alınabilen tesistir. Güvenilir tesisler temiz, güvenli, düzgün organize edilmiş, verimli, güvenilebilir, kararlı ve rekabetçidir. Güvenilir bir tesiste ekipmanlar beklenmedik şekilde arıza yapmazlar ve tasarlanan ömrünü tamamlarlar. Bakım görevlerinin büyük bölümü ekipmanın durumu izlenerek önceden planlanır. Taşeronlar dahil tüm çalışanlar uzmanlığı ile ilgili yeterince eğitim almışlardır ve ekipmanlar standartlaştırılmış çalışma koşullarında çalıştırılmaktadır. Çalışma bölgeleri temiz ve düzenlidir. Depolama alanları tertipli, dokümantasyon düzgündür. Ekipmanlar düzgün yağlanmış, hassas hizalanmış, balansı alınmış ve hassas monte edilmiştir. İşler güvenli bir şekilde ve yazılı süreçlere uygun olarak yapılmaktadır. Projeler tasarım aşamasından başlayarak toplam sahip olma maliyeti, bakım yapılabilirlik, ve enerji verimliliği yüksek olacak şekilde uy-



gulanır. Yedek parça ve ekipman satın alımları toplam sahip olma maliyeti göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Güvenilir bir tesiste çalışanlar işlerini gurur duyarak yapar, hedefler tutturulur, çalışma güvenliği en üst düzeydedir ve çevreye verilen zarar en alt seviyededir. Güvenilir tesislerde sürekli iyileştirmeye önemlidir. Çalışanların fikirlerine önem ve çalışanlara projelerin sahipliği verilir.

2. Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisi

Bir tesisi Güvenilir kılmak için tesiste bulunan tüm varlıkları bütünsel olarak ele alan bir bakım stratejisidir. Bu bakım stratejisinin uygulanabilmesi için yönetim desteği ve çalışanların stratejiye inanmışlığı çok önemlidir.

3. Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisinin hayata geçirilmesi için atılacak adımlar

– Hazırlık süreci –

3.1 Hedefler ve mevcut durum tespiti

İlk olarak Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisini neden uygulamaya başlanacağına karar verilmesi gereklidir. Güvenilirliği artırma amacını kapasiteyi artırmak, emre amadelik süresini artırmak, kaliteyi artırmak, üretimi artırmak, giderleri azaltmak, güvenilebilirliği artırmak, iş güvenliğini artırmak, çevreye olan zararı azaltmak, tesisin ömrünü uzatmak gibi farklı konular olabilir. Burada öncelikli olanın belirlenmesi önemlidir. Öncelikleri belirleyen şey ise yatırımcılardır. Şirketin yatırımcıları maliyetleri azaltmak veya üretimi artırmak istiyor olabilirler. Bazen de mevzuatlara uygunluk amacıyla güvenilirlik stratejileri uygulanabilir. Yatırımcıların amaçlarına uymayan hedefler tespit edilmesi yatırımcılardan ve üst yönetimden destek almayacaktır. Güvenilirliği neden artırmak gerektiği açık şekilde ifade edebildikten sonra mevcut durumun tespiti gerekir. Böylece yapılan uygulamalar sonrasında ilerleme kaydedip kaydedilmediği takip edilebilir.

3.2 Çalışan ve yönetici desteğinin sağlanması

Değişim her zaman zordur. Bir tesiste Güvenilirlik Odaklı Bakım stratejisine geçiş değişim yapmak demektir. Çalışanların büyük bölümü süregelen alışkanlıklarını değiştirmek istemeyecektir. Güvenilirlik Odaklı Bakım'a geçiş ile bir kültür değişimi yaşanacaktır. Çalışanlar yaptıkları işleri eskiden yaptıkları gibi yapmayacaklardır. Bu değişime ayak uydurabilecekler olabileceği gibi direnenler de olacaktır. Bu aşamada direnç gösterenleri dikkate almayıp değişimi arzu edenler ile yola çıkılmalı ve küçük başarıları gözlemleyen kararsızlar da zaman içinde ekibe katılmalıdır. Çalışanların yanısıra yönetici desteği oldukça önemlidir. Yatırımlara karar verecek kişiler genellikle finans ve işletme kökenlidir. Bu yöneticilerin kullandığı yönetsel ve finansla terimler öğrenilmelidir. Yatırım geri dönüşü, Geri ödeme süresi, İndirgenmiş nakit akımı ve Net bugünkü değer gibi kavramların bilinmesi Güvenilirlik Projelerini üst yönetime kabul ettirebilmek için bilinmesi gereken önemli terim ve hesaplamalardır.

3.3 Plan hazırlığı ve ekip oluşturma

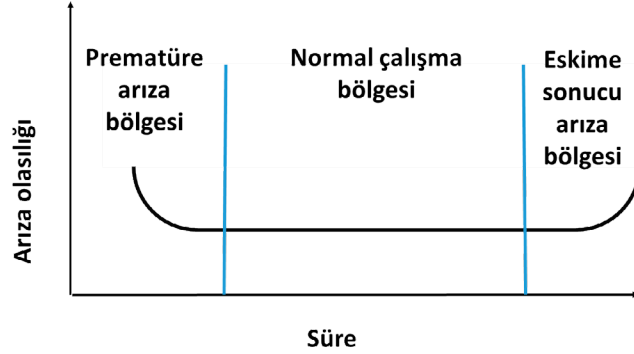
Alınacak en büyük değeri, en zayıf noktaları, organizasyon için önemli olan konular baz alınarak bir plan oluşturulmalıdır. Bu plan aynı zamanda diğer çalışanlar için kabul edilebilir olmalıdır. İlerleme izlenmeli, kilometre taşları belirlenmelidir. Çevredekilerle sürekli iletişimde olunmalı ve plan sürekli izlenmeli ve iyileştirebilmelidir. Bu uzun soluklu bir süreçtir ve yönetim desteğini kaybetmek oldukça kolaydır. Bu nedenle desteğe ihtiyaç olacaktır. Destek oluşturulacak ekipten gelmelidir. Operasyon, Üretim, Bakım, Mühendislik, İş ve Çevre güvenliği ekiplerinden istekli bir takım oluşturulmalıdır. Bu takım, tüm süreçleri denetleyebilmeli, hedefleri koyabilmeli, vizyon ve misyon hazırlamalıdır. Yönetim ile Proje liderleri arasında bağı oluşturmalı ve şirketin kültür değişimini sağlayabilmelidir. Takımın içinde bir lider çıkmalı ve bu lider programın sorumlusu olmalıdır. Bu süreçte insan kaynakları departmanı ile işbirliği yapılarak görev tanımları ve ünvanlar yeniden oluşturulmalıdır. Örneğin Makine teknikeri yerine 'Makine Güvenilirlik Teknikeri', Durum izleme analistleri 'Güvenilirlik Analistleri' gibi ünvanlar almalı ve görev tanımları buna uygun değiştirilmelidir.

4. Arıza eliminasyonu

4.1 Arıza olasılığı

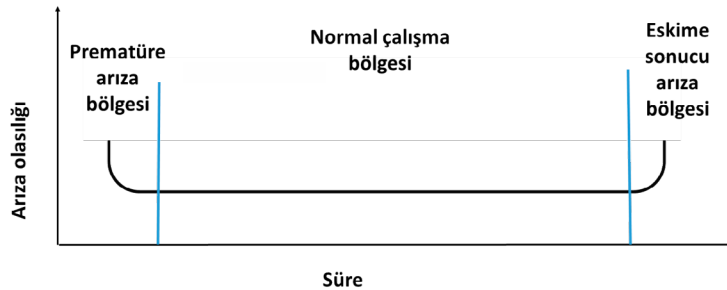
Güvenilirlik, ekipman arızası ile çok yakından ilgilidir. Ekipmanın beklenmedik bir şekilde arıza yapma ihtimali ne kadar fazla ise güvenilirliği o kadar azdır.

Bir arızanın gerçekleşme ihtimali nedir sorusunu cevaplamak çok kolay değildir. Arıza ihtimali ekipman çalıştıkça artar mı? Artıyorsa aniden mi artar yoksa çalışma süresi ile doğru orantılı olarak mı artar? Çalışma süresinden bağımsız mıdır? Bu konuda Nolan ve Heap'in çalışmaları bizlere ışık tutmaktadır. Bu çalışmada Havayolları şirketleri ve Amerikan Hava kuvvetlerinde yapılan gözlemler ortaya koymuştur ki ekipmanlar henüz yeni iken arızalanma olasılıkları en yüksektir. Ekipmanlar rodaj dönemini atlattıktan sonra arızalanma olasılıkları değişken olmayıp risk sabittir. Ekipmanın eskimesine ve aşınmalara bağlı olarak ömrünü tamamlamaya yaklaştıkça arızalanma ihtimali tekrar yükselmektedir. Şekil 1'de bu durumu anlatan küvet eğrisi görülebilir.



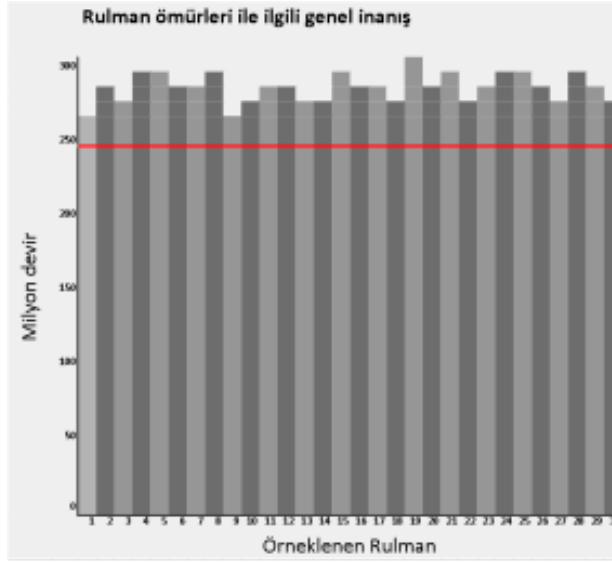
Şekil 1: Küvet Eğrisi

Küvet eğrisinin en solunda bulunan bölge prematüre arıza bölgesidir. Ekipmanın parçaları henüz birbiri ile çalışmaya alışmamış olduğundan darbelere karşı en hassas olduğu evrededir. Bu nedenle de yeni bir ekipmanın, üretim kalitesi hataları, hassas yapılmayan montaj, doğru yapılmamış kabul testleri, malzeme kalite problemleri ve benzeri problemlerden dolayı bu evrede arıza yapma olasılığı en yüksektir. Bu evre geçildikten sonra eskiyip tasarlanan yaşam ömrünü tamamlayana kadar arıza olasılığı düşük ve genelde sabittir. Ancak bu süreçte ekipman bakıma alınır, parça değişimi yapılırsa tekrar premature arıza bölgesine geçer. Bu nedenle her türlü tamirat ve bakım çok büyük bir hassasiyetle gerçekleştirilmelidir. Ekipman kullanım ömrünün sonuna geldiğinde ise arıza olasılığı geometrik biçimde artmaktadır. Bu evreye ulaşılmadan önce gerekli önlemler alınıp ekipman değiştirilmelidir. Küvet eğrisinde gösterilen normal çalışma süresi hassas montaj, doğru yapılmış kabul testleri, durum izleme teknolojileri kullanılarak yerinde ve zamanında müdahalelerle uzatılabilir. Ömrü uzatılmış bir ekipman için oluşan yeni küvet eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



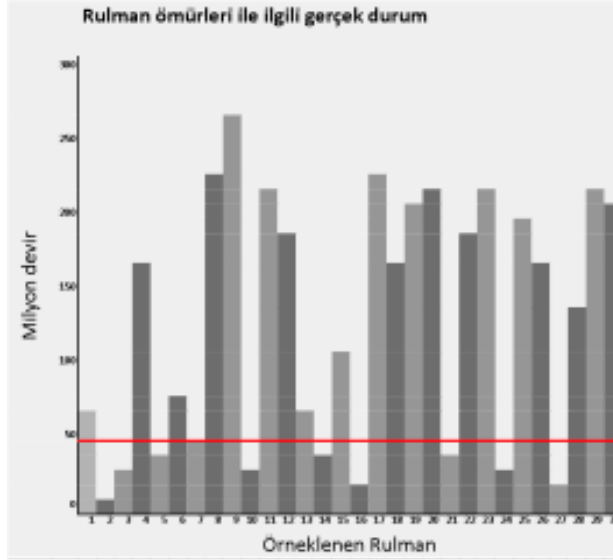
Şekil 2: Prematüre arıza bölgesi kısaltılmış ve ömrü uzatılmış ekipman için Küvet Eğrisi

Döner ekipmanların en kritik parçası olan rulmanların ömürleri ile ilgili bazı bilgilere değinmekte fayda bulunmaktadır. Rulman ömürleri ile ilgili grafiğin Şekil 3'deki gibi olduğu varsayılarak kırmızı ile çizilen çalışma süresine gelindiğinde rulmanı değiştirmenin arızayı önleyeceğini düşünebilir.



Şekil 3: Rulman ömrü ile ilgili genel inanış

Ancak bu düşünce çok doğru değildir. Çünkü rulman ömrünün hesaplanması farklıdır. Üretici rulman ömrü belirlerken uyguladığı testlerde örnek uzayda bulunan rulmanların %10'unun bozulduğu süreyi kalan rulmanlar için ömür olarak belirlemektedir. Yani bu teste göre Şekil 4'doğrudur



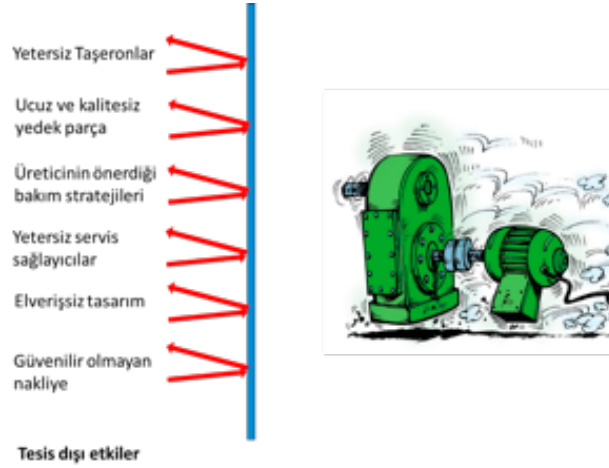
Şekil 4: Rulman ömrü ile ilgili olması gereken grafik

Bu yeni grafiğe göre üretici tarafından verilen rulman ömrüne göre değişim yapıldığında bir çok rulman henüz ömrünü tamamlamadan değiştirilmekte ve şirketler zarara uğramaktadır. Bu nedenle rulman değişimlerinin rulman durumuna bakarak yapılması çok önemli bir tasarruf kaynağı olmakla birlikte güvenilirliği artırmaya yönelik önemli bir etkisi vardır.

4.2 Arıza eliminasyonu

Başarılı bir Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisine geçiş için hızlı sonuçlar almak oldukça önemlidir. Arıza elimi-

nasyon metodu ilk etapta çok büyük değişimler yapmadan etkili sonuçlar alınmasını sağlar. Bu nedenle projenin başlangıcında küçük çaplı arıza eliminasyon projeleri gerçekleştirmek önemlidir. Böylece hem çalışanlar arasında projeye karşı sempati ve motivasyon sağlanır, hem de yönetim desteği sağlanmıştır. Arızayı oluşturan nedenler iki kategoride ele alınabilir. Bunlardan ilki dışarıdan gelen etkilere, aşağıda bulunan görsel bu dış etkileri göstermektedir. Satın alınan herhangi bir ekipman üreticinin tasarım hatası, üreticinin önerdiği bakım yöntemleri, yetersiz olan taşeronlar, ucuz yedek parça, güvenilir olmayan nakliye nedenleri ile beklenenden önce arıza yapabilir. Olası bu problemler giderilerek arıza eliminasyonu yapılabilir. Bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Tesis dışı etkileri gidererek arıza eliminasyonu

İkinci neden ise fabrikanın kendi bünyesinde yaptığı hatalardan kaynaklıdır. Bu hatalar genellikle kötü gerçekleştirilen montajlar, operator hataları, arızalı yedek parça kullanımı, gereksiz planlı bakımlar, kontamine olmuş yağ kullanımı ve gereksiz müdahalelerdir. Tesis içi etkiler giderilerek arıza eliminasyonu yapılabilir. Bu durum Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Tesis dışı + Tesis içi etkileri gidererek arıza eliminasyonu

Arıza eliminasyon yönetiminde hızlı yol kat etmek için ;

- Güvenilirlik için ürün tasarımı yapmak
 - Doğru Satın alma yapmak
 - Doğru taşeron ve tedarikçilerle çalışmak
 - Güvenilirlik odaklı nakliye odaklanmak
 - Doğru Kabul testleri uygulamak
 - Ekipmanları doğru biçimde işletmek
 - Operatöre güvenilirlik odaklı işletme bilinci vermek
- dikkat edilmesi gereken en önemli konulardır.



5. Varlık Stratejisi

Arıza eliminasyonu kısa sürede başarı getirecektir ancak projenin bütünü açısından daha kapsamlı çalışmalar yapmak gerekir. Bunların başında ise varlık stratejisi oluşturmak gelir.

Varlık stratejisi oluşturma, güvenilirlik odaklı bakım stratejisinin en kapsamlı alt başlığıdır. Ne zaman, hangi ekipmana, hangi bakım görevlerinin uygulanacağı, hangi durum izleme tekniklerinin hangi ekipmana uygulanacağını belirlemek, proaktif bir şekilde arıza eliminasyonu sağlamak, arıza durumlarını tespit etmek, kök neden analizlerini yapmak, Weibull, pareto ve kritiklik analizi yapmak varlık stratejisinin önemli konularıdır. Arızaların kaliteye etkisini, israf noktalarını tespit etmek varlık stratejisini oluştururken dikkat edilmesi gereken diğer önemli unsurlardır. Varlık stratejisi oluşturulurken hangi ekipmanların arıza yapana kadar çalışacağı belirlenmelidir. Bunun dışında mevcutta planlı yapılan bakımların tamamı analiz edilmeli ve gerekliliklerine karar verilmelidir. Mümkün olan ekipmanlar için durum izleme teknikleri kullanılmalıdır. Yapılacak durum izleme tekniklerinin sıklığı, planlı bakım, yağlama, parça değişimlerinin periyotları belirlenmelidir. Gizli arızaların önceden tespiti için bir çalışma yapıp gizli arızanın aniden ortaya çıkması engellenmelidir. Bazen planlı bakım yapmak veya durum izleme teknolojisi kullanmak yerine tasarımı değiştirmek daha etkili olabilir. Örneğin kaplin tipini değiştirmek, farklı bir şalter kullanmak, şalterin yerini değiştirmek, değişken devirli ekipman kullanmak, makaralı rulman yerine bilyalı rulman kullanmak bazı durumlarda arıza olasılığını ortadan kaldıracaktır.

Varlık stratejisini oluşturacak ekip çok önemlidir. Bu ekip Güvenilirlik takımının dışında tüm departmanların desteğine ihtiyaç duyar. Ekipmanları en iyi tanıyan sahada çalışan personeldir. Yazılı arşiv dışında ekipmanla ilgili her türlü detayı operator ve yıllardır onlara bakım yapan saha personeli bilir. Onlara soru sormaktan ve önerilerini almaktan kaçınılmamalıdır.

Ekip çalışması ile Ana Varlık Listesi çıkarılmalıdır. Genelde çok zor olmakla birlikte varsa alt ekipman listeleri ile veri bankasına işlenmelidir. Bu aşamadan sonra her ekipmanda gerçekleştirilen çalışmalar ve bakımlar veri bankasına işlenmelidir. Güvenilir veriler incelenmeli ve analiz edilmelidir. Bu iki şekilde yapılabilir. Eğer tecrübeye bağlı olarak geçmiş veriler ve ortak problemler var ise bu bilgiler mutlaka kullanılmalıdır. Eğer daha önceden kaydedilmiş güvenli veri var ise bu veriler kullanılarak en güvenilir ekipmanlar ve onların arıza belirtileri belirlenmelidir. Pareto Analizi ile en büyük sorunu ve kaybı yaratan az sayıda ekipman belirlenmeli ve bunların üzerinde yoğunlaşılmalıdır. Ayrıca yapılabiliyor ise Weibull analizi ile hangi ekipmanın pramatüre arıza yaşadığı tespit edilmeli bu ekipmanlarla ilgili bakım uygulamaları gözden geçirilmelidir. Normal çalışma dönemi arızaları için durum izleme yöntemleri geliştirilmelidir. Geniş kapsamlı bir katılım ile Kritiklik Analizi yapılmalıdır ve en kritik ekipmanlar belirlenmelidir. Kritiklik analizi hangi ekipmana durum izleme yapılacağı, iş emirlerinin önceliklendirilmesi, risk hesapları, arıza durumları etki analizi ve yedek parça yönetimi için önemlidir.

Planlı yapılan bakımlar mutlaka optimize edilmelidir. Gereksiz planlı bakımlar ekipmanı tekrar pramatüre arıza bölgesine taşır. Aynı zamanda planlı yapılan bakımların zaman aralığı kısa olabilir ve gereksiz planlı bakım yapıyor olabilir. Bunların mutlaka önüne geçilmelidir. Yapılan bu planlı bakımlara kimin karar verdiği kontrol edilmelidir. Üretici garanti süresi boyunca ekipmanı güvenceye almak amacı ile gereksiz bakım görevleri atamış olabilir. Geçmişte yaşanan rasgele bir arızadan ötürü planlı bakım yapıyor olabilir. Bu gibi planlı bakım görevlerinden gerekiyorsa vazgeçilmelidir.

Önemli arızalar için mutlaka kök neden analizi uygulanmalı, balık kılıcı diyagramı oluşturulmalı veya 5 neden sorusu sorularak arızanın tekrarlanmasını önlemeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

6. İş Yönetimi

Uygun hazırlanmış iş süreçleri ile tüm bakım görevleri giderleri ve israfı azaltacak, aynı zamanda işin en verimli şekilde yapılmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Doğru iş yönetimi Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisinin olmazsa olmazıdır. İş yönetim süreçlerinin iyileştirmesi tesisleri reaktif bakımdan kurtarır, güvenilirliği artırır, israfı, giderleri ve riskleri azaltır.

İşin yapılması için gerekli meziyetlere sahip doğru kişileri, işin yapılması için planlanan zamanda, gerekli aletlerle donatılmış vaziyette, doğru yedek parçalarla ve güvenli çalışabilecek şekilde hazır etmek önemlidir. İş verimli ve istenen hassasiyetlerle ve yazılmış prosedürlere uygun olarak ekipmandan istenen performansı sağlayabilecek şekilde tamamlanmalıdır. İşin yapımı esnasında karşılaşılan en küçük bir pürüz raporlanmalı ve benzer bir işin tekrar yapımı için pürüz ortadan kaldırılmalıdır.

İş yönetiminin önemli bir alt başlığı iş önceliklendirme sistemidir. İş önceliklendirme yapılmadan verilen görevler bakımıcının kendi içinde bir öncelik sırası belirlenmesine neden olur. Bunun kesinlikle önüne geçilmelidir. İş planlamaları için, mutlaka görevlendirilmiş ayrı bir personel olmalıdır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki planlı yapılan işlerin sayısı %40 artırıldığında gerekli iş gücü %20 ile %40 arasında azalmaktadır. Bu da 40 kişilik bir bakım ekibi için en az 8 kişinin boşa çıkması ve daha farklı görevlerde etkin kullanılması için fırsat oluşturmaktadır.

İş planlama aşağıdaki görevleri içerir;

- Bakım için gerekli yedek parçaları ve diğer malzemelerin belirlenmesi
- Bakım görevinin yapılması için gerekli adımları gösteren dokümanların hazır edilmesi
- Bakım için gerekli aletlerin listesinin hazırlanması
- Tekniker ve çalışanların sahip olması gereken kabiliyetlerin belirlenmesi
- Bakım için gerekli olan teknikerlerin sayısının belirlenmesi
- Bakım görevi için tüm izin, güvenlik prosedürleri ve gerekliliklerin belirlenmesi
- Son olarak tüm gerekli parça, alet ve dokümanlarla bir iş kiti oluşturması.

İş zamanlama, iş zamanlayıcı tarafından yapılır. Bu kişi, bakım yöneticisi ile birlikte işin hangi personel tarafından yapılacağına karar verir. Bu kararlar genelde işin yapılacağı günden en az bir hafta önce alınmalıdır. Ancak bazı olağandışı durumlarda bir gün öncesi planlama yapabilmek bile başarı sayılabilir. İş zamanlayıcı, işin yapılması için kaç adam saat gerektiği, henüz bitmeyen tüm işlerin kapsamını, mevcut adam saat boşluğu değerlendirerek bu boşluğun %80'ini dolduracak şekilde planlamayı yapar. İşlerin erken bitmesi ihtimaline ya da tam zamanında yapılması durumunda kalan %20'lik yedek zaman için yedek görevlendirmeleri hazır tutar. Hazırlanan haftalık program önce bakım yöneticisinin onayına sonra da Operasyon/Üretim departmanının bilgisine sunulur ve onaylandıktan sonra iş yapımına hazır hale getirilir. İş tek seferde ve doğru şekilde yapılmalıdır.

Bakım görevi gerçekleştirildikten sonra ekipman kabul testi, performans ve fonksiyonellik testleri yapılmalı ve tasarım değerleri ile uygunluğu kontrol edildikten sonra devreye alınmalıdır. Bakım görevi tamamlandığında ekipmanla ilgili yorumlar veri bankasına işlenmeli, ekipman bakımı ile ilgili talimatnamede değişikliğe karar verildi ise yapılmalı, ekipman durum ve yapılan ölçüm değerleri kaydedilmeli, durum izleme sıklığında değişiklik olacaksa belirtilmeli, harcanan süre ve kullanılan parçalar bakım maliyeti hesabı için kaydedilmelidir.

7. Yedek Parça Yönetimi

Yedek Parça Yönetimi işi planlayıcı ve zamanlayıcının iş yükünü büyük oranda azaltır, ekipman güvenilirliğini artırır, bakım giderlerini düşürür ve stokta tutulan ekipmanı azaltarak stok maliyetlerini aşağı çeker. Böylece bakım görevleri de daha etkili bir biçimde yönetilmiş olur. Doğru bir stok yönetimi bakım giderlerini %40 oranında, stok maliyetini ise %30 oranında düşürmeye etki eder. Doğru stok yönetimi ile stokta olmayan ama olduğu sanılan parçalar ile stokta olan ama olmadığı sanılan ekipmanlar nedeni ile karşılaşılan kayıplar ortadan kalkar. Yine yanlış kullanıma ihtimali olan yedek parça ile stokta hasar almış, çalışma koşullarına uygunluğunu yitmiş parçaların kullanılmasından kaynaklı ekipman güvenilirliği düşüşü ortadan kaldırılmış olur. Yedek parça yönetiminin düzgün yapılmadığı tesislerde teknikerlerin bekleme süresi, yedek parça aranması, teknikerin yedek parça almak için hareket halinde olması, personelin kendi şahsında yedek parça tutması, yanlış boşluklu rulman kullanılması, kullanılmış yedek parçanın tekrar kullanılması gibi problemler yaşanabilir.

Yedek parçalarla ilgili doğru veri bankası oluşturmak önemlidir. Yedek parçalar uygun lokasyonlarda erişim kolaylığı sağlayacak, ancak herkesin erişiminin de mümkün olmadığı şekilde güvenli bir ortamda tutulmalıdır.

Kritik ekipmanların yedek parçaları çok önemlidir. Genelde bu ekipmanların yedek parçaları tedarik süresi açısından uzun ve pahalı parçalardır. Bu ekipmanların durum izleme periyotlarının mutlaka yedek parça temin süresi ile orantılı şekilde yürütülmesi gerekir.

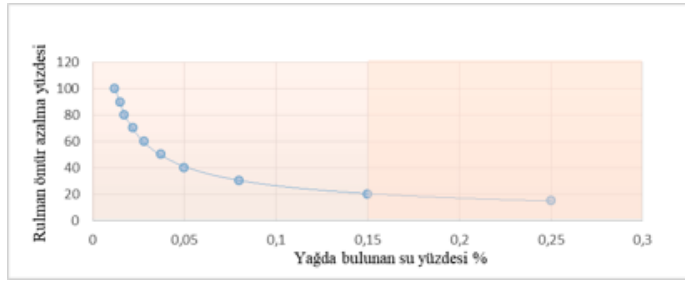
Yedek parçalarını kondisyonunun takibi oldukça önemlidir. Örneğin rulmanlar depolama alanında oluşan titreşimlerden etkilenerek hasar alabilirler. Bu gibi durumlarda yeni olmasına rağmen değiştirilen rulman hızlıca hasar alıp ekipmanı arızaya götürebilir. Depoda bulunan döner ekipmanların her 3 ayda bir döndürülmesi gerekir. Bataryalı sistemlerde bataryaların belirli periyotlarda şarj edilmesi gerekir. Yağların sağlıklı depolama koşullarında muhafaza edilmesi gerekir.

8. Hassas ve Proaktif Çalışma

Arızaların oluşmasının kök nedenlerini önlemek ve işi ilk seferde ve doğru yapmak önemlidir. Hassas ve Proaktif çalışma arızaların azalmasında oldukça etkilidir.

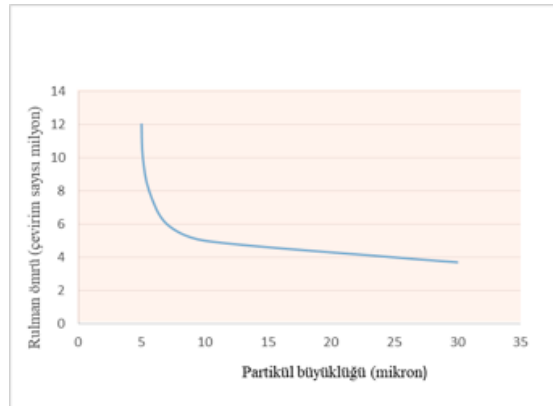
8.1 Yağlama

Eksik yağlama, fazla yağlama veya yağda kontaminasyon bulunması ekipman ömrünü çok önemli düzeyde etkiler. Yağda %0.1 oranda su olması gözle ayırt edilemeyecekken rulman ömrünü %75 oranında azaltır. Bu nedenle yağda kontaminasyon olmamasına dikkat edilmelidir. Şekil 7 yağda bulunan suyun rulman ömrüne etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 7: Yağda bulunan su miktarının rulman ömrüne etkisi

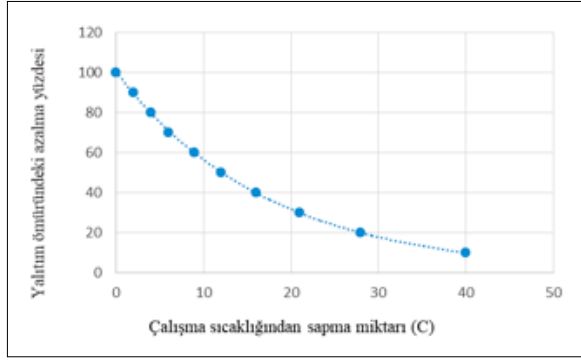
Yine doğru kullanılmayan yağ filtresi yağ içindeki partikülleri geçirecek ve özellikle dişli kutularında ömürleri dramatik şekilde düşürecektir. Partikül büyüklüğünün dişli kutusu ömrüne etkisi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Yağda bulunan partiküllerin büyüklüğünün rulman ömrüne etkisi

8.2 Temiz Ve Düşük Sıcaklıkta Çalışma

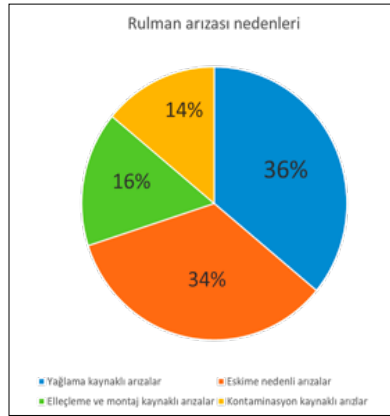
Özellikle elektrik motorların ömürleri sıcaklıktan çok etkilenir. Temiz koşullarda çalışmayan ekipmanlar daha yüksek sıcaklıkta çalışır ve bu da ömürlerini etkiler. Sıcaklığın Motor izolasyon ömrüne etkisi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Elektrik motorlarında çalışma sıcaklığının yalıtım ömrüne etkisi

8.3 Hassas Montaj

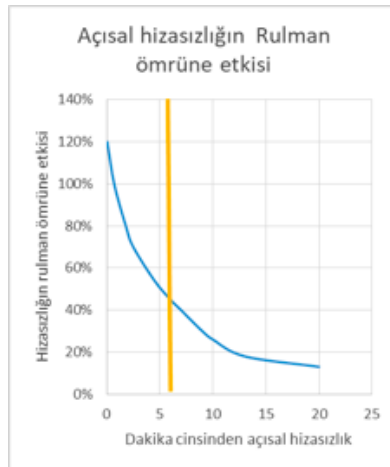
Rulman arızalarının %14'ü hatalı montaj kaynaklıdır. Rulman montajında hassasiyet bu nedenle çok önemlidir. Şekil 10 en çok karşılaşılan rulman hasarlarının kök sebeplerinin yüzdesel dağılımını göstermektedir.



Şekil 10: Rulman Arızası nedenleri

8.4 Hassas Hizalama

Döner ekipmanların hizalanmasında hassasiyet çok önemlidir. 5 derecelik açısal hizasızlık rulman ömrünü yarıya düşürür. Bu nedenle ekipmanlar çok hassas bir şekilde hizalanmalıdır. Hassas hizalama aynı zamanda ekipmanın harcadığı enerjiyi de düşüren bir etkiye sahiptir. Şekil 11'de Açısal hizasızlığın rulman ömrüne etkisi gösterilmiştir. Sarı çizgi, 6 dakikalık bir açısal hizasızlığın rulman ömrünü yaklaşık yarı yarıya düşürdüğünü göstermektedir.



Şekil 11: Açısal hizasızlığın rulman ömrüne etkisi

8.5 Hassas balans

Hassas yapılan balansın güvenilirliğe etkisi büyüktür. ISO 1940 standartlarında döner ekipman çeşitlerine ve görevlerine göre seçilmesi gereken balans kaliteleri (G) tablolaştırılmıştır. Bir volan için 6.3 önerilirken taşlama tezgahı için G 1.0 önerilir. göre Rotorlara gelen yüklerin en az olacağı G seviyeleri belirlenmiştir. Bu değerlere uygun çalışan ekipmanlar daha uzun ömürlü olurlar.

Tüm alt başlıkların dışında, civataların doğru torklarla sıkılması, rezonans kontrolü, tesiste 5S uygulamaları ekipman güvenilirliğini artırıcı etkilere sahiptir ve mutlaka uygulanması gerekir.

9. Durum İzleme Teknolojilerinin Yaygınlaştırılması

Daha önceki bölümlerde durum izleme teknolojileri ile ekipmanın durumunun izlenmesi ve elde edilen belirtilere göre bakımın planlanması gerektiğinden bahsedilmişti. Ekipmanların durumlarını takip edilebileceği değişik teknolojiler bulunmaktadır.

9.1 Titreşim Analizi

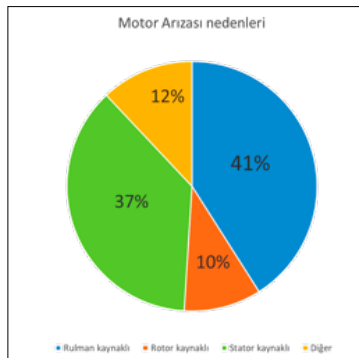
Bu yöntem ile ekipmanlarda olan balanssızlık, hizasızlık, gevşeklik, rulman arızası, yağsızlık, kayış kasnak bozuklukları, dişli arızası, türbülans, kavitasyon, rezonans ve elektriksel arızalar bulunabilir. Yaygın bir kullanıma sahip durum izleme teknolojisidir.

9.2 Ultrasonik Yönetimler

Ultrasonik ses seviyesini ölçen aletlerle yapılan ölçümlerde buhar kapalı hasarları, rulman arızaları, elektriksel arızalar ve hava kaçakları kolaylıkla tespit edilebilir ve zamanında önlem alınabilir. Başlangıç seviyesinde yüksek yatırım maliyeti olmayan bu yöntem titreşim analizi ve termografi ile birlikte kullanıldığında oldukça etkilidir. Hem mekanik, hem elektriksel hem de proses problemlerini algılaması yönünden çok yönlü bir durum izleme yöntemidir.

9.3 Elektrik Motorlarında Durum İzleme

Amerikan Elektrikli Ekipmanlar Araştırma Enstitüsü verilerine göre elektrik motorlarında oluşan arızaların %41'i rulman kaynaklı arızalarken %47'si rotor ve stator kaynaklı arızalardır. Bu arızaları elektriksel durum izleme yöntemleri ile önceden fark etmek ve önlem almak mümkündür. motor akım sinyal analizi, elektrik sinyal analizi, motor devre analizi gibi analiz yöntemleri kullanılarak motorun durumu hakkında bilgi edinilebilir. Rotor, stator, bağlantılar, izolasyon hakkında fikir verebilen, on-line veya off-line gerçekleştirilebilen ve bazı durumlarda motorun uzaktan test edilebildiği yöntemler kullanılabilir. Şekil 12'de Motor arızalarının nedenlerinin karşılaştırma oranına bağlı olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 12: Karşılaştırma oranına bağlı olarak motor arızalarının nedenleri

9.4 Yağ Analizi

Rulmanların tasarlanan ömürleri süresince çalışması aşağıdaki maddeler gerçekleşmeden mümkün değildir;

- Doğru viskozitede yağ kullanımı
- Doğru katkı maddesi kullanımı

-Kontaminasyon olmayan temiz yağ kullanılması

Yağ analizi yapılarak makinelerin durumu hakkında detaylı bilgi elde edilebilir. Yağın kimyasal durumu test edilerek görevini yerine getirip getiremeyeceği, içerisinde yabancı madde olup olmadığı kontrol edilerek makineye zarar verip vermediği veya aşınma parçaları kontrol edilerek ekipman parçalarında aşınma olup olmadığı kontrol edilebilir. Yapılacak periyodik yağ analizleri ile yağ durumu sürekli gözlem altında tutulur ve rulmanların yağ kaynaklı arıza yaşaması veya ömrünün kısalması önlenir.

9.5 Kızılötesi Termografi

Termal görüntüleme makinelerin uygun koşullar altında çalışıp çalışmadığını anlamada yardımcı olur. Termal görüntüleme ile ölçüm periyotları arasında gözlemlenen farklılıklardan yola çıkılarak ekipmanda bir problem olduğu tespit edilebileceği gibi eş koşullarda çalışan ekipmanlar birbirleri ile kıyaslanarak da yorum yapılabilir. Buhar kapanı gibi bazı ekipmanlarda ise periyotlar arası ölçüm veya kıyaslama dışında da tek ölçümle ekipmanda problem olduğu gözlemlenebilir. Termografi yöntemi ile gözlemlenen problem genelde son aşamaya gelmiştir dolayısı ile geç bir teşhis yöntemidir. Ekipman ücretlerinin uygunluğu nedeni ile Titreşim ve Ultrasonik teknolojiler ile birlikte kullanıldığında daha etkindir.

9.6 Duyusal Durum İzleme

Duyu organları ile aşınma, sızıntı, hasar, renk değişimi, kirlilik, hissedilebilir ve bu durum raporlanabilir. Sıcaklık artışı güvenli bir şekilde hissedilebilir veya herhangi bir yanığın kokusu algılanabilirse olası arızaların önüne geçilebilir. Bu gibi kontroller planlı bakımın bir parçası olarak yapılmalıdır. Kontrollerde tarif edilen görevlerin açık ve net olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin sadece 'sıcaklığı kontrol et' yerine 'sıcaklığın 25 derece ile 30 derece arasında olduğunu kontrol et' şeklinde net ifadeler kullanılmalıdır.

9.7 Performans İzleme

Herhangi bir ekipmanın anlık performansı ekipmanda herhangi bir sorun olup olmadığına işaret edebilir. Ekipmanlarda bir hasar var ise tasarlanan performansını sergileyemeyecektir. Bu durum ekipmana şüphe ile yaklaşılması gerektiğini anlatır ve diğer durum izleme yöntemleri kullanılarak performans düşüklüğünün kök nedeni aranır.

9.8 Tahribatsız Muayene

Tahribatsız muayene kontrol edilen parça üzerinde herhangi bir etki yaratmayan ve parçanın sağlığını anlamayı sağlayan kanıtatif bir ölçüm metodudur. Endüstriyel bakım sektöründe kullanılan test yöntemleri aşağıdaki gibidir;

- Manyetik Partükül Testi
- Likit penetrant testi
- Radyografik Test
- Ultrasonik Test
- Elektromanyetik Test
- Lazerli Test METotları
- Sızıntı testi

Özellikle statik ekipmanlarda olabilecek hasarlar çok tehlikeli iş kazaların sebebiyet verebilir. Bu nedenle belirli periyotlarda tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak olası beklenmedik duruşlar ve iş güvenliği riskleri ortadan kaldırılabılır.

Her durum izleme yönteminin artı ve eksi yönleri vardır. Önemli olan her yöntemin nerde kullanılacağını bilmektir. Diğer taraftan bu izleme yöntemlerini hangi aralıklarda kullanılacağı da diğer önemli bir konudur. Durum izleme yöntemi ve izleme sıklığı her bir ekipman için farklılık gösterir.

10. Projenin Başarıya Ulaşması İçin Önemli 5 Adım

Buraya kadar olan bölümde Güvenilirlik Odaklı Bakım'a nasıl geçileceği ile ilgili bir yol haritası verildi. Ancak bu süreç zor ve kapsamlıdır. Genelde bu programa başlayan tesislerin %15'i başarıya ulaşabilmektedir. Bu kadar kapsamlı bir projenin ilerlemesi için tüm tesiste bir kültür değişimi şarttır. Kültür değişimi sağlamak, projeye destek almak, projeyi başarıya taşımak için önemlidir. Bu nedenle aşağıda sayılan 5 adım, projenin başarıyla ilerlemesi için oldukça önemlidir.



10.1 Kültür Değişimi

Tesiste güvenilirliğin artmasının çalışanların çalışma şartlarına olumlu katkılar sağlayacağı anlatılmalıdır. Çalışanlar güvenilirliği nasıl artıracığını kavramalıdır ve süreçlere dahil olmalıdır. Bunların yapılabilmesi için yönetimin desteği gereklidir. Hem yönetim desteği almak hem çalışan desteği almak için küçük ve gözle görülebilir projelerde başarı yakalanmalıdır.

10.2 İş Yönetimi

Doğru iş yönetim süreçleri yatırım yapmadan çalışan verimliliğini artıran bir yöntemdir ve çalışanlar işlerin daha verimli bir şekilde ilerlediğini hemen fark ederler. İş süreçlerindeki iyileşme aynı zamanda iş güvenliği zaafiyetlerini de giderir. Fazla mesailer ve stres yaratan acil işler azalır. Bu durum çalışanların projeye daha pozitif yaklaşmasını sağlar.

10.3 Güçlü İletişim

Planlanan işlerin gerçekleşmesi oldukça önemlidir. Değer yaratan işler önemlidir. Ancak departmanlar arası odaklar birbirinden farklıdır. Örneğin operatörlerin, yani üretim departmanının odağı ile makine bakımının odağı farklıdır. Üretim departmanının hedefe ulaşması için ekipmanının çalışması gerekirken, bakım departmanı için ileride yaşanacak ani duruşun önlenmesi için ekipmanın durması önemlidir. Bu gibi durumlarda yaşanacak anlaşmazlıkların çözümü ancak doğru iletişim ve farkındalık ile aşılabılır. Süreci problemsiz şekilde yönetmek için ekiplerin bir arada sabah toplantıları yapmaları, bakım planı yapılırken departmanlar arası iş birliği, yapılan planların doğruluğu konusunda geribildirimler ve standart işletim süreçleri oluşturulması önemlidir.

10.4 Kök Nedenlerin Yok Edilmesi

Tesiste yaşanan bir çok arızanın kök nedeni işlerin hassas yapılmaması, depolama hataları, standart iş süreçlerinin olmaması ve gereksiz planlı bakımdan kaynaklanır. En başarılı personeller bu işlerin daha düzgün yapılması için yönlendirilmelidir. Hassas hizalama, hassas balans, hassas yağlama arıza önlemede çok etkin yöntemlerdir. Yine bu ve benzeri görevlerin her zaman aynı şekilde ve aynı standartta yapılması ekipmanın güvenilirliğini artırır. Süreçlerin mutlaka hızla güvenilirliği yükseltecek şekilde düzenlenmesi gerekir. Stok güvenilirliği arızaları önlemede çok önemlidir. Yanlış kullanılan veya kondisyonu iyi olmayan her yedek parça arızaya davetiye çıkarmaktadır.

10.5 Durum İzleme Teknolojilerinin Kullanımı

Makinelerin durumu hakkında fikir sahibi olunursa yeterince önceden bakım planlaması yapılabilir. Böylece ani ve çalışanların motivasyonunu bozucu duruşların önüne geçilmesi sağlanır. Eğer bu teknolojiler yaygın kullanmaz ve deneyimli ekip yoksa mutlaka basitten başlanmalıdır. Başlangıç aşamalarında gerekirse bu görevleri taşere edilmelidir. Ekibe gerekli eğitimleri aldirarak bu konuda uzmanlaşmalarını sağlamak önemlidir. Eğitim alınmadan ve sahada pratik uygulama yapmadan durum izleme teknolojilerinin kullanımı ile arızaların azaltılması mümkün olmayacaktır. Bu nedenle ekipman yatırımı yapılırken mutlaka eğitim planlaması da yapılmalıdır.

11. Anahtar Performans göstergeleri

Etkili bir Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisinin olmazsa olmazı sürekli iyileştirme yapılmasıdır. Sürekli iyileştirme yapabilmek için mevcut durumda nerede olduğunuz ve iyileştirme yapmaya imkan olup olmadığının tespiti gereklidir. Bunun için anahtar performans göstergeleri geliştirilmelidir.

Temelde iş güvenliği ve bakım konusunda anahtar performans göstergeleri dikkate alınmalıdır. Bunlar öncelikli olarak aşağıda sıralanmıştır;

- İş güvenliği açısından
- Kaydedilebilir toplam İş kazası oranı
- Toplam İş kazası oranı
- Makine Bakım açısından
- Emre amadelik, toplam ekipman etkinliği
- Planlı bakımlarda takvime uyma oranı
- Plansız bakım, Duruma bağlı bakım ve Planlı bakım oranları
- Duruma bağlı bakımların takvim uyma oranı

- Arızalar arası süre, Arıza giderme süreleri, Makine başında tamirde harcanan süre
- Ortalama titreşim seviyesi, yağ temizlik seviyesi

Projenin ilerleyen aşamalarında daha kapsamlı ve önem arz eden anahtar performans göstergeleri yaratılmadır. Başarılı bir Güvenilirlik Odaklı Program Stratejisi için yıllık periyodik incelemeler önemlidir ve Anahtar Performans göstergeleri bu incelemeleri yaparken kullanılırlar. Bu göstergeler değerlendirilirken eş zamanlı olarak ekipman kritiklik listesinin gözden geçirilmesi, varlık stratejisinin gözden geçirilmesi, iş süreçler ve yedek parça yönetim süreçleri, hedefler ve anahtar performans göstergeleri ve güvenilirlik kültüründe hangi aşamada bulunduğu mutlaka gözden geçirilmelidir.

12. Sonuç

Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisinin uygulanması tesislerin verimliliği ve karlılığı için yüksek önem arz etmektedir. Bu bakım stratejisine geçiş ise zor ve tüm çalışanların katılımı ile sağlanabilir. Tesislerde genelde yerleşmiş bir çalışma kültürü vardır ve Güvenilirlik Odaklı Bakım Stratejisine geçişte bu kültür değişmek durumunda kalır. Kültürün değişimini sağlamak için projeye inanmış lider ekip ve bu ekibe destek veren bir yönetim çok önemlidir. Proje bu çalışmada sayılan adımlarla ilerlerken mutlaka başlangıç aşamalarında arıza eliminasyon yöntemi ile örnek başarı hikayeleri yaratılmadır. Bu başarı hikayeleri hem proje sorumlularının motivasyonu artırır, hem henüz projeye inanmamış olan çalışanların projeye katkı vermeye başlamalarını sağlar, hem de yönetimin desteğini kuvvetlendirmesi için dayanak oluşturur. Projenin diğer kapsamlı adımları atılırken anahtar performans göstergeleri ile periyodik değerlendirme yapmak ve gerekli görülen yerlerde iyileştirmeye gitmek projenin ilerleyişi açısından çok önemlidir. Yol haritasını eksiksiz ve doğru uygulayabilen tesisler kuşkusuz başarılı olacak ve küresel pazarda rekabetçi olmaya devam edeceklerdir.

13. Kaynakça:

- G. P. Sullivan, R. Pugh, A.P. Melendez, W.D. Hunt 2010. Operations&Maintenance Best Practices, A Guide to Achieving Operational Efficiency, Prepared by Pacific Northwest National Laboratory for Federal Energy Management Program US Department OF Energy
- F. S. Nowlan, H. F. Heap 1979 Reliability Centered Maintenance, Dolby Access Press
- T. Wiremann, 2010 Maintenance Work Process Management, Reliabilityweb.com
- T. Wiremann, 2004, Total Productive Maintenance , Industrial Press
- J.R. P. Lanthier, 2014 Effective Organizational Engineering for Reliable Operations, Reliabilityweb.com
- J.Trantor 2018, ARP Course Books



KARMAŞIK SİSTEMLERİN BAKIM KARARLARINDA OLASILIKLI GRAFİKSEL MODELLERİN KULLANIMI

¹Demet Özgür Ünlüakın, ²Busenur Türkali

¹ Öğr. Üyesi Dr., Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34980 Şile / İstanbul,
demet.unluakin@isikun.edu.tr

² Ar. Gör., Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
34980 Şile / İstanbul, busenur.turkali@isik.edu.tr

Özet

Günümüzde kalite maliyetlerinin kontrolü işletmeler için gittikçe daha da önemli bir noktaya gelmiştir. Kalite maliyetlerinin önemli bir unsuru da bakım faaliyetlerinin etkin bir şekilde yapılmamasından ötürü gerçekleşen kayıp maliyetleridir. Planlanmış bir üretim programına beklenmeyen bir arıza sebebiyle ara verilmesi sadece ürünlerin müşteriye teslimatını geciktirmekle kalmaz, aradaki anlaşmalar gereği ceza maliyeti veya daha uzun vadede güven-sizlik kaynaklı müşteri kaybına da sebep olabilmektedir. Bu kapsamda bakım faaliyetlerinin etkin planlanması ve yönetilmesi kalite maliyetlerinin düşürülmesinde çok önemlidir.

Endüstri 4.0 ile birlikte gelişen teknolojiye paralel olarak işletmelerde kullanılan sistemlerin karmaşıklığı da artmıştır. Üretim sistemleri artık daha çok bileşenden oluşmaktadır ve dolayısıyla bileşenler arasındaki bağımlılıklar da artmıştır. Sistemde zaman içinde herhangi bir bileşenin yıpranması veya bozulması diğer bir bileşenin de yıpranması ve hatta bozulmasını etkileyebilmektedir. Dolayısıyla bakım kararları alınırken bileşenler arasındaki bu tarz bağımlılıkları göz ardı etmek etkin bakım aktivitelerinin belirlenmesini engellemektedir. Bu çalışmada olasılıklı grafiksel modellerden Bayesçi ağların kısmen gözlemlenebilir bir sistemin çalışmasında karşılaşılabilecek hata durumlarının modellenmesinde ve zaman içinde etkin bakım kararlarının alınmasında nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır.

1. Giriş

20. yüzyılın başlarından itibaren hızla gelişmeye başlayan teknolojiyle birlikte endüstride kullanılan sistemlerin yapısında da değişiklikler ortaya çıkmıştır. Eskiden genellikle tek veya birkaç bileşenden oluşan basit endüstriyel mekanizmaların yerini, daha fazla bileşenden oluşan ve bununla birlikte yapısal olarak da daha karmaşık olan sistemler almaya başlamıştır. Bu gelişmeler çoğu açıdan firmalara yarar getirirse de sistemi anlamak ve buna uygun planlamalar yapmak konusunda da zorluklara yol açmıştır. Özellikle sistem güvenilirliğinin ön planda tutulması gereken risk yönetimi ve bakım planlaması konularında bileşenler arasındaki bağımlılıkların iyi anlaşılması önem



arz etmektedir. Herhangi bir yanlış anlaşılmanın ve hesaplamının hem mali hem de manevi boyutta şirketlere ciddi zararlar verebileceği unutulmamalıdır.

Bakım çalışmaları, makinelerin hayatımıza girdiği ve seri üretime başlandığı ilk sanayi devriminden bu yana her zaman önemli bir rol oynamıştır. İlk başlarda, bir sistemin veya makinenin bozulduğu ancak çalışmadığı zaman fark edilmekte ve sistemin çalışmamasına neden olan bileşen gözlem yoluyla belirlenip, o bileşene sadece düzeltici bakım yapılmaktaydı. Ancak, sistemlerin karmaşıklığının artmasıyla birlikte hangi bileşenin sistemi bozduğunun gözlemlenerek anlaşılması daha zor hale geldiğinden, yeni ve akıllı bakım yöntemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Özellikle endüstri 4.0'la birlikte, sistemin ve bileşenlerinin ne durumda olduğu ve bozulma olasılığı sensörler yardımıyla anlaşılabilmeye başlandığından, bakım maliyetlerini azaltan proaktif bakım yöntemlerinin uygulanması yaygınlaşmıştır.

Karmaşık sistemler, birbirleriyle bağımlı veya bağımsız birçok bileşenden oluşan sistemlerdir. Bir sistem birden çok türde bağımlı olan bileşenleri aynı anda içerebilir. Bakım çalışmalarında yapısal, rassal ve ekonomik olmak üzere üç tip bileşenler arası bağımlılıktan söz edilebilir [1]. Eğer iki bileşen arasında yapısal bir bağımlılık varsa, bu iki bileşen birbirlerinden bağımsız olarak değiştirilemez veya bu iki bileşene ayrı ayrı bakım yapılamaz. Böyle bir durumda bu bileşenlerden sadece biri bozulmuş, diğeri çalışıyor durumda olsa bile, çalışan bileşenin de sökülmesi gerekmektedir. Bu da yapısal bağımlılığın bir bozulma bağımlılığı değil, onarım bağımlılığı olduğunu göstermektedir [2]. Rassal bağımlılıkta ise, bir bileşenin bozulmasının diğer bileşenler üzerindeki etkisi söz konusudur. Bu tür bir bağımlılıkta, bir bileşen bozulduğunda ona bağlı olan diğer bileşenlerin arıza olasılık dağılımı da bu bozulmadan etkilenmektedir [3]. Ekonomik bağımlılık ise, bileşenlerin birlikte onarılmasının maliyet tasarrufuna veya daha fazla maliyete yol açmasıdır [4]. Buna en iyi örnek bileşenlerin gruplar halinde bakıma alınmasıdır. Böylece çalışmama süresinden kaynaklanan kar kaybından tasarruf edilebilir ya da gruptaki parçaların gereksiz onarımdan dolayı daha fazla maliyete de yol açılmış olabilir.

Bileşenler arasındaki bağımlılıkları tanımlamak için literatürde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan en bilinenleri hata ağacı analizi (fault tree analysis) [5], olay ağacı analizi (event tree analysis) [6], papyon bağı analizi (bow-tie analysis) [7] yöntemleridir. Hata ağacı analizi istenmeyen bir olay meydana geldiğinde buna neden olabilecek bütün olay zincirlerinin kombinasyonlarını ortaya çıkarmayı amaçlayan bir tekniktir [8]. Bileşenler arasındaki bağımlılıklar tanımlanırken bu yöntem kullanıldığında ana sistemin bozulmasına hangi bileşen veya bileşenlerin bozulmasının neden olabileceği ortaya çıkarılmaya çalışılır. Olay ağacı yönteminde ise gerçekleşen bir olayın sonuçları ve bu sonuçların olasılıkları incelenir. Bu iki yöntemde de olaylar arasındaki bağlantılar tanımlanırken sadece iki durumlu karar mekanizması kullanılabilir. Yani olaylar birbirlerine “VE-VEYA (AND - OR)” kapıları ile bağlanır. Papyon bağı analizi ise olay ağacı ve hata ağacı analizlerinin bir arada kullanılmasıyla ortaya çıkan bir analiz yöntemidir [9]. Bu açıdan bakıldığında bu yöntemler bir bakım problemi kapsamında ele alınacak değişkenler arasındaki bağımlılıkları tanımlamakta kısıtlıdır. Öte yandan bileşenler arası bağımlılığı tanımlamak için Bayesçi ağlar (Bayesian networks) son zamanlarda oldukça sık kullanılmaya başlayan diğer bir yöntemdir. Bunun nedeni Bayesçi ağların, değişkenlerin arıza olasılık tahminlerini belirli kanıtlar altında güncel bir şekilde yapmaktaki başarısıdır. Ayrıca Bayesçi ağlar, modelleme kapasitesi açısından da diğer yaklaşımlara göre daha zengindir. Bunun dışında hata ağacı, olay ağacı ve papyon bağı gibi yaklaşımlar bileşenlerin yalnızca durağan yapısına dayanmaktadır ve olasılıkların güncellenmesi zordur. Bayesçi ağlar ise bileşenler arasındaki koşullu bağımlılıkları göstermekte başarılıdır [10].

Bayesçi ağlar güvenilirlik ve bakım konularında oldukça etkili ve sıkça kullanılan bir yöntemdir. [11]'de büyük bir sistemin güvenilirliğini tahmin etmek için Bayesçi ağlar dal ve sınır yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bu metod kombinasyonunun diğer geleneksel yöntemlerden daha iyi olduğu ve bileşenlerin kendi aralarındaki bilgi aktarımının yanı sıra, sistemle bileşen arasındaki bağı da daha iyi ortaya çıkardığı anlaşılmıştır. [12]'de Bayesçi ağlarla dinamik sistemlerde güvenilirlik analizi için genel bir metod oluşturulmaya çalışılmıştır. Yazarlar bu çalışmada Bayesçi ağların bağımlılıkları ve bileşenlerin dinamik davranışlarını tanımlamakta başarılı olmalarının yanı sıra, hali hazırda kullanılan diğer yöntemlere göre kullanıcıyla daha dost bir metod olduğunu vurgulamışlardır. [13], bir denetim aralığı bulmak için daha önceden ele alınan bir çalışmanın [14] Bayesçi ağlar kullanılarak nasıl geliştirilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada amaç Bayesçi ağlarla hata oranını (failure rate) daha iyi tahminleyerek, en düşük bakım ve denetim maliyetini elde etmektir. Bayesçi ağlar ayrıca hataların öngörülmesi (prognosis) ve hata sebebini bulma (diagnosis) söz konusu olduğunda da kendilerine sıkça yer bulmaktadırlar

[15,16,17].

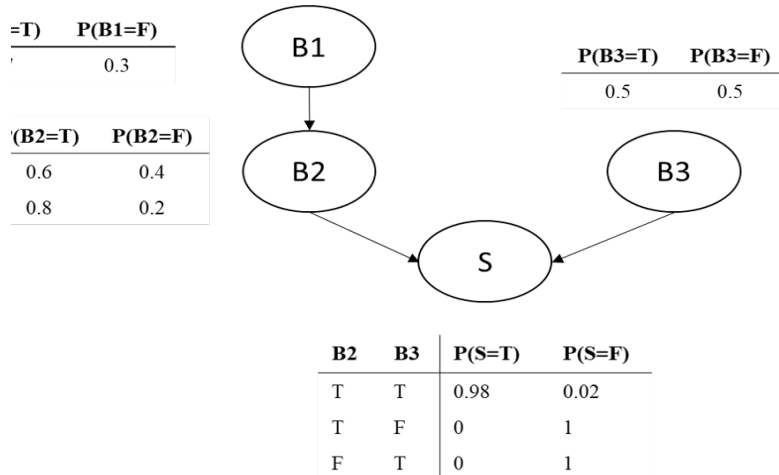
Bu çalışmada Bayesçi ağlar kullanılarak çok bileşenli kısmi gözlemlenebilir bir sistem için bakım kararları alınırken arıza teşhis ve tahmininin nasıl modellenebileceği ve bu modelleme sonucunda sistemin durumuyla ilgili ne tür çıkarımlar yapılabileceği gerçek bir motor sistemi baz alınarak anlatılmıştır. Bölüm 2’de, genel olarak olasılıklı grafiksel modeller ile Bayesçi ağlardan bahsedilmiştir. Bölüm 3’de ise Bayesçi ağ modelinin gerçek bir motor sistemine nasıl uygulanabileceği ve bu modelden ne sonuçlar elde edilebileceği tartışılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi Bölüm 4’de verilmiştir.

2. Olasılıklı Grafiksel Modeller ve Bayesçi Ağlar

Olasılıklı grafiksel modeller (probabilistic graphical models - PGMs), karmaşık yapılarıdaki ortak olasılık dağılımlarını anlamaya ve tanımlamaya olanak sağlayan modelleme yöntemleridir. Grafiksel modeller grafik teorisi ve olasılık teorisini bir araya getirerek birbirleriyle karmaşık ilişkileri ve bağımlılıkları olan çok sayıda rassal değişkenlerin güçlü bir biçimde modellenmesini sağlarlar. Bu modelleme yöntemi kullanılırken, rassal değişkenler arasındaki koşullu bağımsızlıklardan yararlanır. Koşullu bağımsızlık varsayımı, modelin öğrenilmesi ve çıkarım hesaplamalarındaki işi kolaylaştırır. Böylece mühendislik alanında her zaman bir sorun teşkil eden belirsizlik ve karmaşıklık problemlerinin ele alınıp modellenmesine yardımcı olur [18].

Olasılıklı grafiksel modellerden en çok bilinenleri Markov ağları (Markov Networks-MNs), Bayesçi ağlar (Bayesian networks – BNs) ve faktör grafikleridir (factor graphs – FGs). Bu çalışmada Bayesçi ağlar üzerinde çalışılacaktır.

Bayesçi ağlar, grafik teorisine dayanan, bir modelde belirsizlik söz konusu olduğunda kullanılacak en etkin olasılık ağlarıdır. Bayesçi ağlarla geliştirilen modellemede düğümler ve oklar kullanılır. Şekil 1, üç bileşenli basit bir sistemin Bayesçi ağ yapısını göstermektedir.



Şekil 1: Basit bir sistemin Bayesçi ağ modeli

Modelde düğümler rassal değişkenleri, düğümler arasındaki oklar ise o değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini göstermektedir. Bayesçi ağların yapısında, olay ağacı ve hata ağacı analizlerinin aksine, düğümler sebepten sonuca doğru sıralanır. Yani okun ucundaki taraf etkilenen değişkeni, diğeri ise onu etkileyen değişkeni göstermektedir. Şekil 1’de verilen modelde B1, B2 ve B3 sistemin çalışmasını etkileyen bileşenleri, S ise sistemi temsil etmektedir.

Literatürde de belirtildiği gibi modellerde genellikle üç tip bağımlılık ele alınmaktadır. Bunlardan en sık kullanılan ekonomik bağımlılıktır. Gerçek hayatta bileşenler arasında sıkça bulunan rassal bağımlılık, karmaşıklığı sebebiyle literatürde çok fazla incelenmemiştir. Rassal bağımlılığa örnek olarak bu modelde B2 bileşeni B1 bileşenine; sistem



ise doğrudan B2 ve B3 bileşenine, dolaylı olarak da B1 bileşenine bağlıdır.

Herhangi bir Bayesçi ağ modelinde, değişkenleri ve hangi değişkenlerin bağımlı olduğunu belirlemek haricinde bu bağımlılıkların parametreleri de belirlenmelidir. Bunun için her bir düğümün koşullu olasılıklarını gösteren bir tablo (conditional probability table – CPT) hazırlanır. Şekil 1’de görüldüğü gibi bu tablolar, değişkenlerin durumlarının olasılıklarını, ebeveyn düğümlerinin (parent nodes) durumlarının kombinasyonlarına göre listelerler. Şekilde verilen tablolarda da görüldüğü gibi bir değişkenin bir kombinasyona göre durumlarının olasılıklarının toplamı 1 olmak zorundadır.

Bayesçi ağlar yardımıyla modeldeki değişkenlerin birleşik olasılıkları (joint probability) (1)’e göre hesaplanır. Formülde, N sistemdeki değişken sayısını, X_i i . değişkeni, $Pa(X_i)$ ise X_i değişkeninin tüm ebeveynlerini temsil etmektedir.

$$\prod_{i=1}^N P(X_i | Pa(X_i)) \quad (1)$$

Buna göre şekildeki model için değişkenlerin birleşik olasılıkları (2)’de verildiği gibi bağımsız koşullu olasılıklarının çarpımıdır.

$$P(S, B3, B2, B1) = P(S|B3, B2) \times P(B2|B1) \times P(B1) \times P(B3) \quad (2)$$

3. Bayesçi Ağların Gerçek Hayat Sistemlerinde Modellenmesi Ve Kullanımı

Gerçek hayat sistemlerinde çıkan bir sorunun çözümünde sorunun kaynağının keşfedilmesi önemli bir rol oynar. Sorunun kaynağının gerçek sistemlerde gözlem yoluyla keşfedilmesi günümüzdeki karmaşıklık göz önünde bulundurulunca hayli zordur. Ancak sistem önceden modellenmişse, simülasyon yoluyla sorunun kaynağı kolaylıkla anlaşılabilir. Sistem modellenmesinde bir diğer amaç da hangi bileşenin bozulmasının sisteme daha fazla zarar verebileceğini önceden tahmin ederek, ona göre önlem almaktır.

Bayesçi ağlar sistemdeki bağımlılıkların kolayca modellenebilmesi ve olasılıkların güncellenebilmesi bakımından çoğu modelleme yönteminin önüne geçmiştir. Bayesçi ağlarla modelleme, bunlar için özel olarak geliştirilen Genie [19] ve Netica [20] gibi yazılım programları ile yapılabilir. Bu gibi programlar kullanıcıların modeli hem görsel hem de kavramsal bakımdan daha iyi anlamasına yardımcı olurlar. Bu çalışmada, tipik bir motor sisteminin bakım problemi Netica yazılımı kullanılarak Bayesçi ağ ile modellenmiştir.

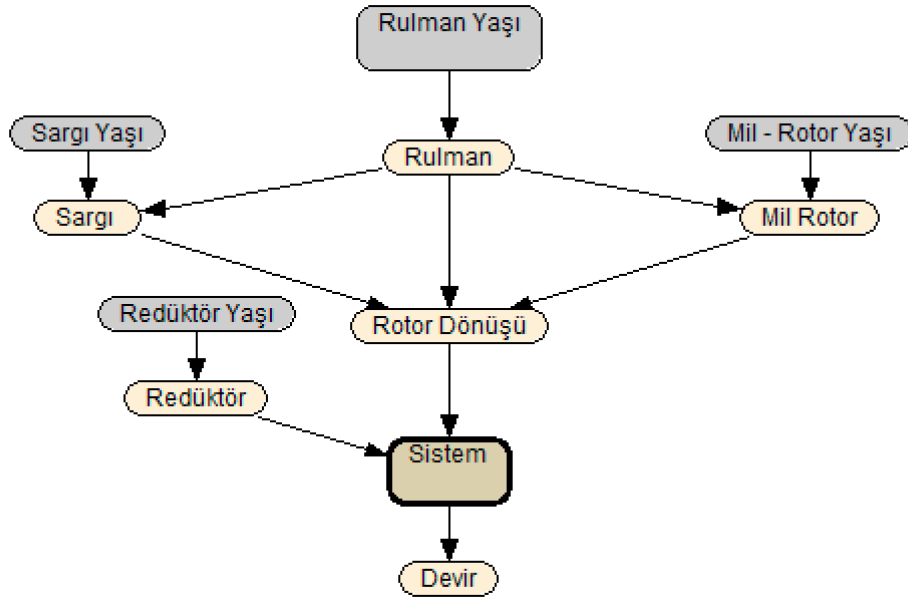
3.1. Motor Sisteminin Bayes Ağı Modeli

Şekil 2’de bir motor sisteminin Bayesçi ağlar ile modellenmesi gösterilmiştir. Tipik bir motor sisteminde bulunan bileşenler rulman, sargı, mil-rotor ve aktarma organı olan redüktördür. Rulmanda meydana gelen kilitlenmeler, aşırı akım sebebiyle motor sargılarının yanmasına neden olabilir. Mil-rotor, motorda dönmeyi sağlayan bileşendir. Rulmanda yataklama problemi olursa, bu mil-rotorun ekseninin kaymasına yol açabilir. Redüktör, farklı devirlerde dönme hareketi elde edebilmek için kullanılan bir aktarma organı çeşididir. Redüktör arızası durumunda sistem dönmez ve motor çalışmaz. Bu tip ve benzeri motor sistemleri genellikle hava fanlarında ve hava ısıtıcılarında kullanılır [21].

Şekil 2’de her bir kutucuk Bayes ağlarındaki bir düğüme karşılık gelip, bir değişkeni (bileşen, süreç, yaş ve gözlem) temsil etmektedir. Bu çalışmada, motor sisteminin bileşenleri olarak sargı, rulman, mil-rotor ve redüktör ele alınmıştır. Bileşenlerin o anda ne kadar süredir kullanımda olduklarını modele yansıtılabilmek için her birine yaş

düğümü eklenmiştir. Rotor dönüşü, redüktör dönüşü ve sistem süreç düğümleri; devir ise gözlem düğümü olarak modellenmiştir. Sistem nihai süreç düğümü olup, motorun bağlı olduğu yapının dönüşünü ifade etmektedir.

Düğümler arasındaki oklar değişkenler arasındaki ilişkileri göstermektedir. Sargı ve mil-rotorun durumu rulmanın durumuna, rotor dönüşü ise bu üçünün durumuna bağlıdır. Aynı şekilde sistemin çalışıp çalışmaması da rotor dönüşüne ve redüktörün durumuna bağlıdır. Gözlem düğümü olan devir ise motor sistemin dönüp dönmediğini dışarıdan anlamamızı sağlamaktadır.



Şekil 2: Motor sisteminin Bayesçi ağ modeli

Tablo 1’de motor sisteminin Bayesçi ağ modelindeki değişkenlerinin çeşitleri ve durum uzayları verilmiştir. Durum uzayı, değişkenlerin alabilecekleri bütün durumları kapsamaktadır. Bileşenlerin yaş aralığı belirlenirken uzman görüşü alınmış olup, ortalama bozulma zamanlarından (Mean Time to Failure - MTTF) yararlanılmış ve ortalama bozulma zamanlarından sonrası çok yaşlı olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1: Motor sistemindeki değişkenlerin çeşitleri ve durum uzayları

Düğüm	Düğüm Çeşidi	Durum Uzayı
Rulman	Bileşen	Normal, İyi yataklama yapmıyor, Kilitlenmiş
Sargı	Bileşen	Normal, Yanmış
Mil-Rotor	Bileşen	Normal, Ekseni kayık
Redüktör	Bileşen	Normal, Arızalı
Rotor Dönüşü	Süreç	Dönüyor, Dönmüyor
Sistem	Süreç	Dönüyor, Dönmüyor
Devir	Gözlem	Normal, Yetersiz
Rulman Yaşı	Yaş	Yeni (0-1 yıl), Yaşlı (1-4 yıl), Çok Yaşlı (4 yıldan fazla)
Sargı Yaşı	Yaş	Yeni (0-2 yıl), Yaşlı (2-5 yıl), Çok Yaşlı (5 yıldan fazla)
Mil-Rotor Yaşı	Yaş	Yeni (0-5 yıl), Yaşlı (5-15 yıl), Çok Yaşlı (15 yıldan fazla)
Redüktör Yaşı	Yaş	Yeni (0-1 yıl), Yaşlı (1-3 yıl), Çok Yaşlı (3 yıldan fazla)



Koşullu olasılık tablolarına örnek olması için temsili bazı düğümlerin olasılıkları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2.a sargı yaşının başlangıç olasılıklarını ve 2.b, 2.c, 2.d sırasıyla sargı, devir ve sistemin koşullu olasılıklarını göstermektedir. Bütün yaş düğümlerinin başlangıç olasılıklarının aynı olduğu varsayılmış, sargı yaşının olasılıkları diğer yaş düğümlerini de temsilen konulmuştur. Bu olasılıkların belirlenmesinde bileşenlerin bir yaş aralığında ortalama kaç sene durduğu dikkate alınmıştır. Bileşenin “yaşlı” durumundaki yaş aralıkları, “yeni” durumundaki yaş aralıklarından fazladır. Ayrıca, bileşenlerin hiçbir bakım görmeyip yenilenmeden, “çok yaşlı” durumuna geçme olasılıkları düşük olduğundan bileşenlerin yaşının “yeni” durumda olma olasılığı 0,3, “yaşlı” durumda olma olasılığı 0,6 ve “Çok yaşlı” olma olasılığı 0,1 olarak modellenmiştir.

Diğer olasılık tablolarına bakıldığında, örneğin, sargı yaşı yeniyse ve rulman normal durumdaysa, sargının “normal” durumda olma olasılığı 0,99 ve “Yanmış” olma olasılığı 0,01’dir. Sistemin dönebilmesi için onu etkileyen iki bileşenin de iyi durumda (Normal, Dönüyor) olması gerekmektedir. Sistem dönüyorsa devirin “Normal” durumda olma olasılığı 0,99985, dönmüyor ise “Normal” durumda olma olasılığı 0,00004’tür. Devirin olasılıklarının sistemin dönme olasılığından farklı olmasının nedeni, gözlem araçlarında az da olsa hata payı olmasıdır.

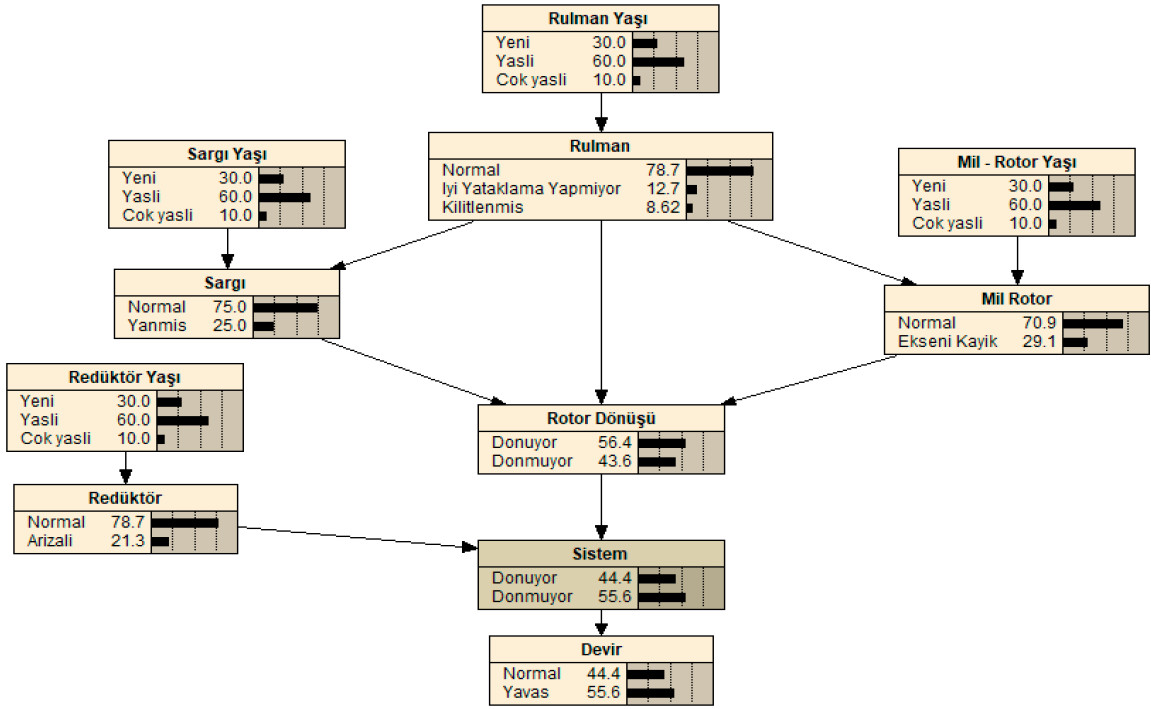
Tablo 2: Bazı düğümlerin koşullu olasılık tabloları (CPT)

Tablo 2.a Sargı yaşının başlangıç olasılıkları			Tablo 2.b Sargının koşullu olasılıkları			
Sargı Yaşı			Sargı Yaşı	Rulman	Sargı	
Yeni	Yaşlı	Çok Yaşlı			Normal	Yanmış
0,3	0,6	0,1	Yeni	Normal	0,99	0,01
			Yeni	İyi yataklama yapmıyor	0,95	0,05
			Yeni	Kilitlenmiş	0,2	0,8
			Yaşlı	Normal	0,8	0,2
			Yaşlı	İyi yataklama yapmıyor	0,75	0,25
			Yaşlı	Kilitlenmiş	0,1	0,9
			Çok Yaşlı	Normal	0,4	0,6
			Çok Yaşlı	İyi yataklama yapmıyor	0,3	0,7
			Çok Yaşlı	Kilitlenmiş	0,02	0,98

Tablo 2.c Devirin koşullu olasılıkları			Tablo 2.d Sistemin koşullu olasılıkları			
Sistem	Devir		Redüktör	Rotor Dönüşü	Sistem	
	Normal	Yetersiz			Dönüyor	Dönmüyor
Dönüyor	0,99985	0,00015	Normal	Dönüyor	1	0
Dönmüyor	0,00004	0,99996	Normal	Dönmüyor	0	1
			Arızalı	Dönüyor	0	1
			Arızalı	Dönmüyor	0	1

Şekil 3’de sistemin o andaki durumu ve bileşenlerin kesin yaşı bilinmediğinde bileşen yaşlarının başlangıç olasılıklarının etkisiyle çıkarım yapıldığında değişkenlerin durum olasılıkları gösterilmektedir. Görüldüğü gibi bileşenlerin çok yaşlı olma olasılıkları her ne kadar çok düşük verilse de devirin yavaş olma yani sistemin dönmüyor (çalışmıyor) olma olasılığı %55,6 ile devirin normal yani sistemin dönüyor olma olasılığından yüksektir. Bu çok belirsiz bir durumu ifade etmektedir. Bileşenlerin ne kadar sıklıkla değiştirildiğinin düzenli olarak takip edilip, sistem hakkında daha net yorum yapabilmek ve ona göre önlem almak önemlidir.

Şekilde devir ve sistem çıkarım sonucunda aynı sonsal olasılıklara sahipmiş gibi görülse de bu durum Netica’da ondalık sayılarda noktadan sonra sadece ilk basamağın kullanılmasından kaynaklıdır. Zira, sistem ve devir olasılıkları gözlem araçlarındaki hata payından kaynaklı çok küçük de olsa fark göstermektedir.



Şekil 3: Motor sistemindeki değişkenlerin çıkarımları.

3.2. Duyarlılık Analizi

Bayesçi ağlarda, bir bileşenin diğer bileşenlerin durumundan etkilenip etkilenmediğini, hangi oranda etkilendiğini belirlemek için duyarlılık analizi yöntemi kullanılır. Duyarlılık analizinde amaç belirlenen değişkenin, bu genellikle gözlem düğümü veya sistemin kendisi olmaktadır, hangi değişkenlerden daha çok etkilendiğini belirleyip, buna göre önlem alabilmektir. Şekil 4’de sistemin çalışıp çalışmadığını gösteren gözlem düğümü olan devirin Netica yazılımından alınan duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir.

Sensitivity of 'Devir' to a finding at another node:

Node	Mutual Info	Percent	Variance of Beliefs
Devir	0.99094	100	0.2468676
Sistem	0.98964	99.9	0.2467788
Rotor_Donusu	0.56894	57.4	0.1522265
Sargi	0.25857	26.1	0.0655354
Reduktor	0.21319	21.5	0.0533525
Rulman	0.16667	16.8	0.0447306
Mil Rotor	0.13188	13.3	0.0408306
Reduktor_yasi	0.02714	2.74	0.0089629
Sargi_yasi	0.02420	2.44	0.0078883
Rulman_Yasi	0.02257	2.28	0.0074955
Mil_Rotor_Yasi	0.00984	0.993	0.0032981

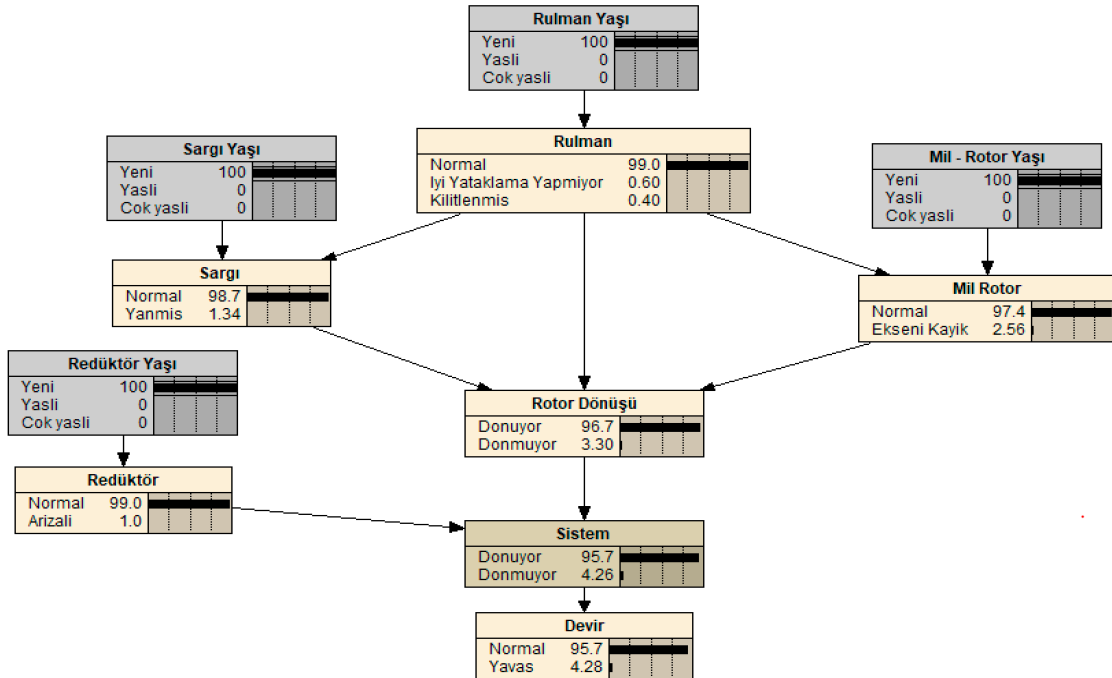
Şekil 4: Devir düğümü için duyarlılık analizi sonuçları

Duyarlılık analizinde en üstte amaç düğümü gösterilir. Daha sonraki düğümler amaç düğümü ile en çok etkileşime girenden en az etkileşime girene göre sıralanır. Karşılıklı bilgi (mutual information), iki düğümün dolaylı ve doğrudan birbirlerinden ne kadar etkilendiğini gösterir. Yüzde (Percent) ise yüzdesel olarak ne kadar etkileşim olduğunu göstermektedir. Şekil 4’de tahmin edildiği gibi sistemin 0,98964 karşılıklı bilgi oranıyla en çok rotor dönüşünden etkilendiği görülmektedir. Fakat buradaki amaç hangi bileşenlerle arasındaki ilişkinin daha önemli olduğunu bulup, o bileşenleri daha iyi takip etmek olduğundan, bu düğümlere bakmak daha mantıklıdır. Bileşen düğümlerinde etki sıralaması ise sargı, redüktör, rulman ve mil-rotor olarak gitmektedir. Bu sistemin dönüşünün en çok sargı tarafından etkilendiğini, motor sisteminde bir arıza meydana geldiğinde hiçbir bileşenin durumu bilinmiyorsa ve bütün bileşenlere tek tek bakılması gerekiyorsa önceliğin sargıya verilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.3. Kanıtlar Altında Sistemin Analizi

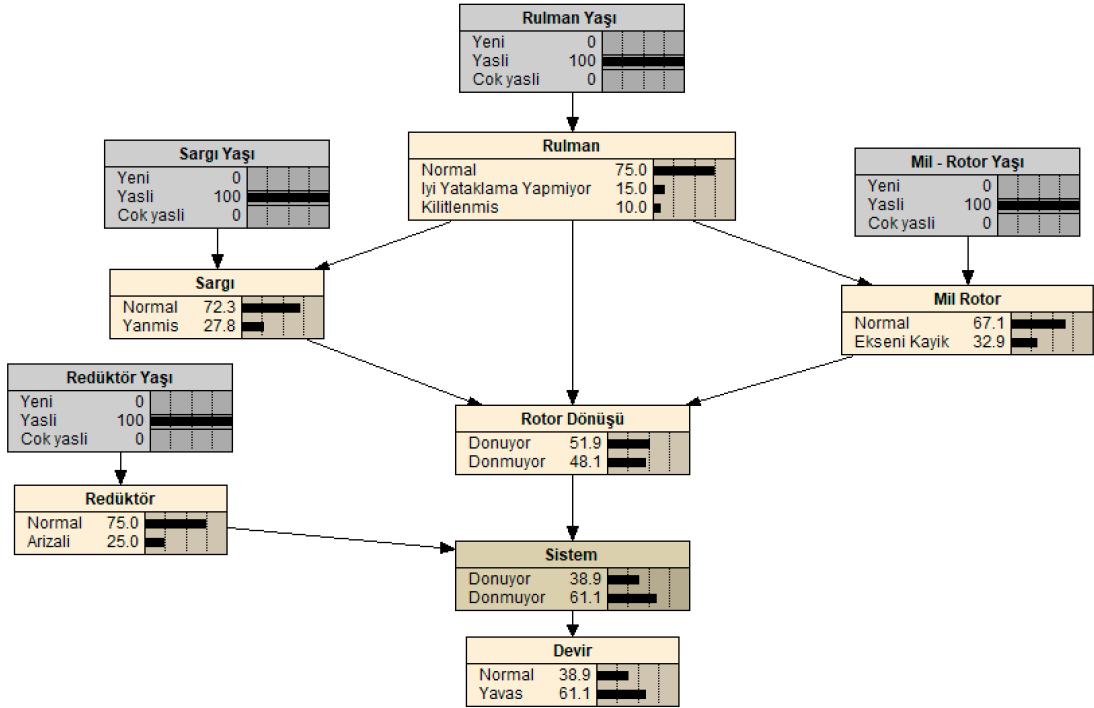
Bir Bayesçi ağ modelinde değişkenlerden bazılarının durumlarının bilinmesi halinde bu değişkenlere kanıt (evidence) girilebilmekte ve bu kanıtlar altında diğer değişkenlerin durumlarının değişen sonsal olasılıkları izlenebilmektedir. Bu sistem hakkında daha kesin çıkarımlar yapmaya olanak vermektedir. Motor sisteminde bileşenlerin yaşları bilinmesi durumunda sistemin ve devirin bundan nasıl etkilendiğini analiz etmek bakım kararlarının alınmasında önemli rol oynamaktadır.

Şekil 5’de bütün bileşenlerin yeni olduğu varsayıldığında, sistemin ne durumda olduğu gösterilmektedir. Devirin normal durumda olma olasılığı, hiçbir şey bilinmediği varsayımındaki normal olma olasılığına göre epey yükselmiştir ve sistemin çalışmama olasılığı böyle bir durumda çok düşüktür.

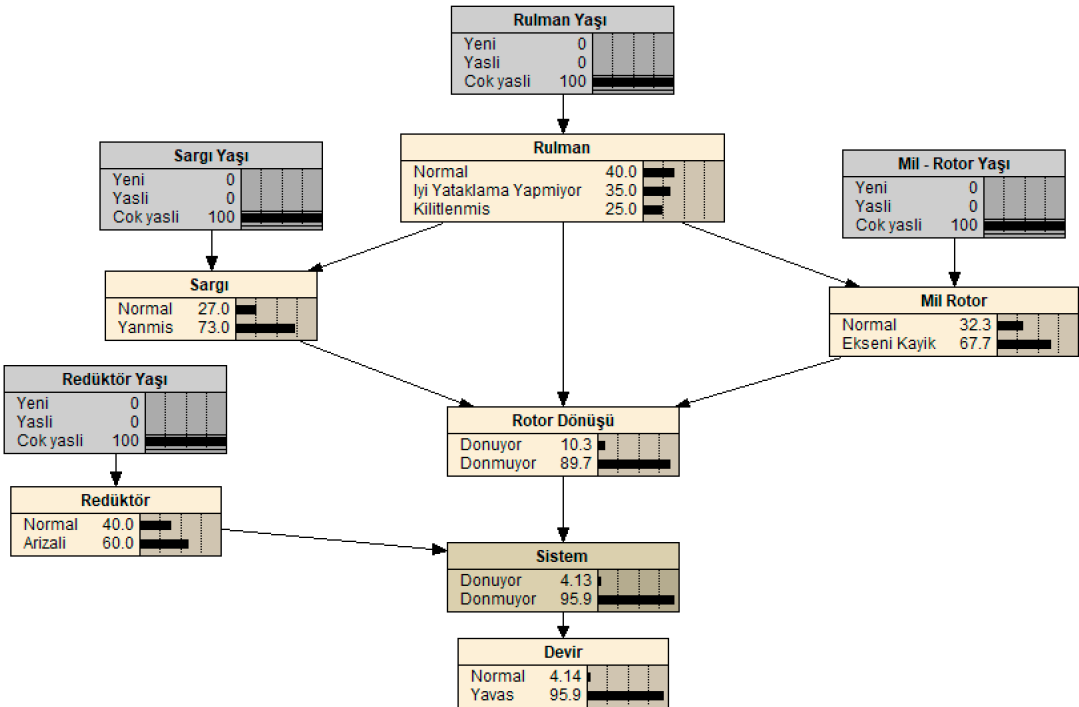


Şekil 5: Bütün bileşenler “yeni” iken sistemin durumu

Şekil 6 ve 7 sırasıyla bileşenlerin yaşlarının yaşlı ve çok yaşlı olduğundaki durumları göstermektedir. Bileşenler yaşlandığında sistemin normal bir devirde seyretme olasılığının ne kadar çok azaldığı görülmektedir. Bileşenler yaşlıken devirin normal olma olasılığı %38,9 iken, çok yaşlı olduklarında normal olma olasılığı %4,14 ile neredeyse sistem çalışmaz denebilecek kadar düşüktür. Bu oranlar, yüksek derecede bağımlılığı olan yapılarda bakımın ne kadar önemli olduğuna dikkat çekmektedir.



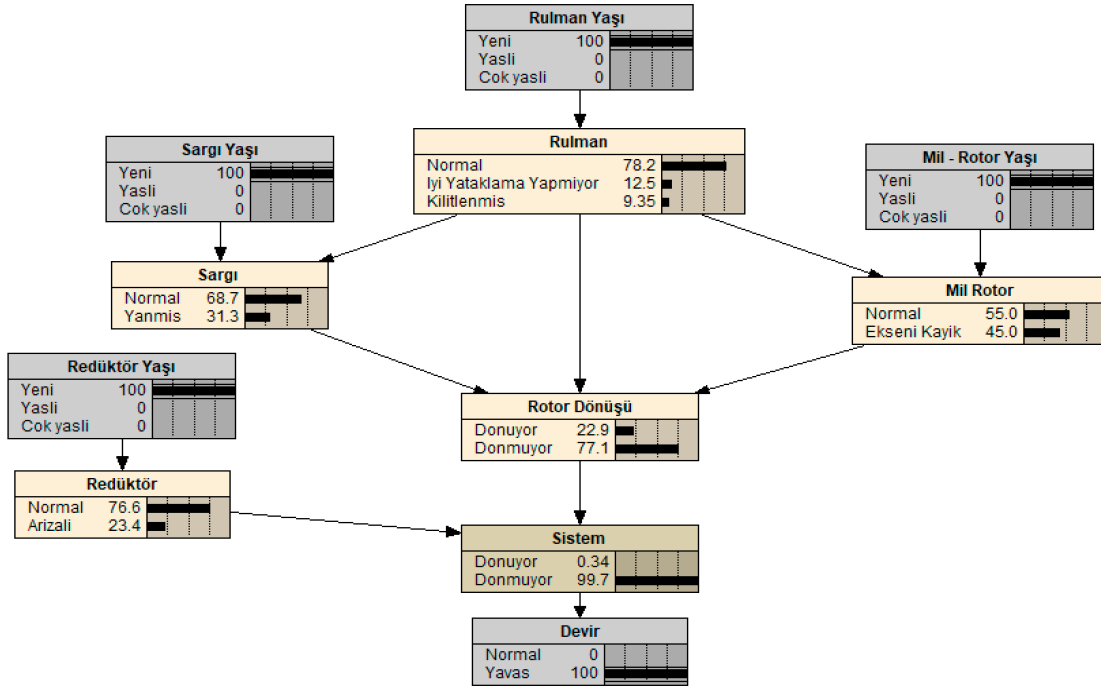
Şekil 6: Bütün bileşenler "yaşlı" iken sistemin durumu



Şekil 7: Bütün bileşenler "çok yaşlı" iken sistemin durumu

Şimdiye kadar yapılan çalışmalar hep bileşenlerin yaşları bilindiğinde sistemin durumunu tahmin etmeye yönelik çalışmalar idi. Fakat Bayesçi ağlarla bunun tam tersi de mümkün olabilmektedir. Yani sistem bozulduğunda teşhis

yöntemiyle bu durumun hangi bileşenden kaynaklı olabileceğini de böyle bir model ile anlayabiliriz. Şekil 8, bütün bileşenler yeni olsalar bile devirin “Yavaş” olarak gözlemlenmesi durumunda hangi bileşenin bozulmuş olabileceğini göstermektedir. Burada en yüksek bozulma yüzdesine sahip bileşenler %45 “Eksenli Kayık” durumda olma ihtimali ile mil-rotor ve %31,3 “Yanmış” olma ihtimali ile sargıdır. Öncelikle bu bileşenlerin durumunun incelenmesinin tercih edilmesi uygundur.

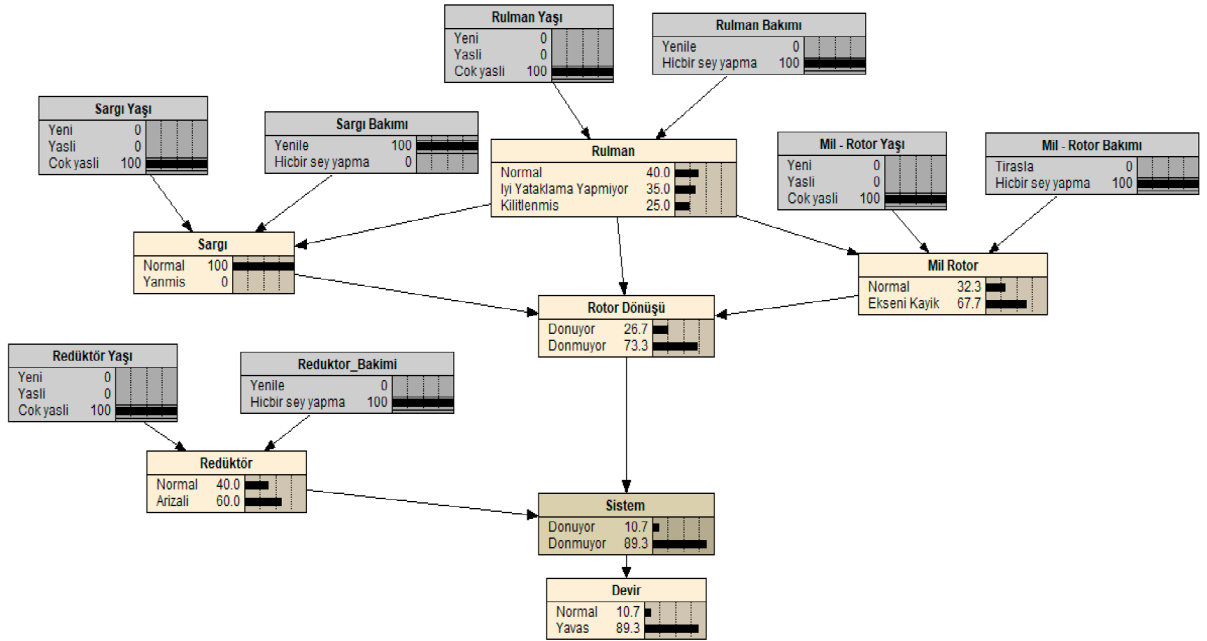


Şekil 8: Devirin yavaş olması durumundaki sonsal (posterior) olasılıklar

3.4. Bakım Eylemlerinin Modellenmesi

Sistem bozulduğunda ya da kötüleştiğinde iyileştirebilmek için bileşenlere bakım yapılması gerekmektedir. Bayesçi ağlarda bunu modellemek için özel bir yöntem yoktur fakat modele bakım eylemlerinin etkisini ifade edebilecek düğümler eklenerek bu gerçekleştirilebilir. Şekil 9, modelin eylem düğümleri eklenmiş halini göstermektedir. Bileşenlere uygulanacak bakım faaliyeti her bir bileşen için aynı olmayabilir. Sargı, rulman ve redüktöre yenileme ile bakım yapılırken, mil-rotorun bakımı tıraşlama yöntemi ile yapılmaktadır. “Hiçbir şey yapma” durumu bileşenin olduğu gibi bırakılması anlamına gelmektedir.

Şekil 9’da bütün bileşenler “Çok yaşlı” durumundayken sadece sargıya bakım yapılması durumu üzerinde çalışılmıştır. Şekil 7’de bileşenler çok yaşlıyken hiçbir bileşene bakım yapılmadığında devirin normal durumda olma olasılığı %4,14 ile oldukça azdı. Sadece sargıya bakım yapıldığında bile bu olasılığın %10,7’ye çıktığı görülmektedir. Bütün bileşenlerin her bir yaş durumu için, tek tek bakım yapıldığı zaman devirin normal olma olasılıkları da incelenmiş, sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.



Şekil 9: Motor modelinin eylem düğümleri eklendikten sonraki hali

Tablo 3: Bileşenler tek tek değiştirildiğinde devirin normal durumda olma olasılıkları

Bakım Yapılan Bileşen	Bileşen Yaşları		
	Yeni	Yaşlı	Çok Yaşlı
Hiçbir	%95,7	%38,9	%4,14
Rulman	%96,6	%50,8	%9,28
Sargı	%96,7	%48,8	%10,7
Mil-Rotor	%97,3	%49,2	%8,5
Redüktör	%96,7	%51,9	%10,3

Sonuçlara göre değişik bileşen yaşlarında devirin normal durumda olmasına daha çok katkı sağlayan bakım faaliyeti (bileşen bakımı) değişmektedir, fakat oranlar arasında çok fazla bir fark yoktur. Özellikle bütün bileşenler “yeni” durumundayken, bileşenlere bakım yapılmasının devirin sonsal olasılığı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bu durumda bakım yapılırken deviri en iyi duruma getirecek bileşenler %97,3 ile mil-rotor, %96,7 ile sargı ve redüktördür fakat hemen peşi sırada %96,6 ile de rulman geldiğinden bileşenlerin etkisi arasında fark hemen hemen görülmemektedir. Bileşenlerin “yaşlı” olma durumunda bileşen bakımlarının devirin sonsal olasılıkları üzerindeki etkisine bakıldığında en çok katkı sağlayan bileşenlerin başka hiçbir bileşenden etkilenmeyen rulman ve redüktör olduğu görülmektedir. “Çok yaşlı” durumunda ise yine redüktör ikinci sırada gelmektedir, ancak sargının etkisi daha fazladır. Bu sonuçlar Şekil 4’de verilen duyarlılık analizi sonuçlarıyla bağdaşmakta olup, sargı ve redüktörün sistem üzerindeki etkisini kanıtlamaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışma bileşenleri gizli ve bağımlılığı olan çok bileşenli sistemlerde bakım kararları alınırken olasılıklı grafiksel modellerin sunduğu imkanları göstermektedir. Burada, örnek olması amacıyla tipik bir motor sisteminin Bayesçi ağlar ile arıza ve bakım modeli oluşturulmuştur. Belirlenen durumlar ve koşullu olasılıklar altında değişen bileşen yaşlarına ve bakım aktivitelerine göre duyarlılık analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, bu tip sistemlerde olasılıklı grafiksel modellerin sistemin güvenilirliğini tahmin etmede ve bileşenlerin hata durumlarını teşhis etmede etkin bir



yöntem olduğunu göstermektedir. Bileşen durumlarının sayısının artırılması, çeşitlendirilmesi ve alternatif bakım eylemlerinin modele dahil edilmesi ile olasılık tahminlerinin daha kesin bir şekilde yapılabileceği, böylece modelin başarısının daha da artacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 117M587 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

6. Kaynakça

- [1] Nicolai, R. P., Dekker, R. 2008. "Optimal maintenance of multi-component systems: a review", Complex system maintenance handbook, p. 263-286, Springer, London.
- [2] [Dao, C. D., Zuo, M. J. 2017. "Selective maintenance of multi-state systems with structural dependence", Reliability engineering & system safety, vol. 159, p. 184-195.
- [3] Shi, H., Zeng, J. 2016. "Real-time prediction of remaining useful life and preventive opportunistic maintenance strategy for multi-component systems considering stochastic dependence", Computers & Industrial Engineering, vol. 93, p. 192-204.
- [4] Shafiee, M., Finkelstein, M. 2015. "An optimal age-based group maintenance policy for multi-unit degrading systems", Reliability Engineering & System Safety, vol. 134, p. 230-238.
- [5] Ünver, B., Gürgen, S., Sahin, B., Altın, İ. 2019. "Crankcase explosion for two-stroke marine diesel engine by using fault tree analysis method in fuzzy environment", Engineering Failure Analysis, vol. 97, p. 288-299.
- [6] Alileche, N., Olivier, D., Estel, L., Cozzani, V. 2017. "Analysis of domino effect in the process industry using the event tree method", Safety science, vol. 97, p. 10-19.
- [7] Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P. 2012. "Dynamic risk analysis using bow-tie approach", Reliability Engineering & System Safety, vol. 104, p. 36-44.
- [8] Xing L., Amari S.V. 2008 "Fault Tree Analysis", Misra K.B. (eds) Handbook of Performability Engineering, Springer, London.
- [9] de Ruijter, A., Guldenmund, F. 2016. "The bowtie method: A review", Safety science, vol. 88, p. 211-218.
- [10] Khakzad N, Khan F, Amyotte P. 2013. "Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network", Process Safety and Environmental Protection, vol 91(1-2), p. 46-53.
- [11] Mahadevan, S., Zhang, R., Smith, N. 2001. "Bayesian networks for system reliability reassessment", Structural Safety, vol. 23(3), p. 231-251.
- [12] Boudali, H., & Dugan, J. B. 2005. "A discrete-time Bayesian network reliability modeling and analysis framework", Reliability Engineering & System Safety, vol. 87(3), p. 337-349.
- [13] Jones, B., Jenkinson, I., Yang, Z., Wang, J. 2010. "The use of Bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry", Reliability Engineering & System Safety, vol. 95(3), p. 267-277.
- [14] Jones, B., Jenkinson, I., Wang, J. 2009. "Methodology of using delay-time analysis for a manufacturing industry", Reliability Engineering & System Safety, vol. 94(1), p. 111-124.
- [15] Hu, J., Zhang, L., Tian, W., Zhou, S. 2017. "DBN based failure prognosis method considering the response of protective layers for the complex industrial systems", Engineering Failure Analysis, vol. 79, p p. 504-519.
- [16] Muller, A., Suhner, M. C., Iung, B. 2008. "Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system", Reliability Engineering & System Safety, vol. 93(2), p. 234-253.
- [17] Wu, S., Zhang, L., Zheng, W., Liu, Y., Lundteigen, M. A. 2016. "A DBN-based risk assessment model for prediction and diagnosis of offshore drilling incidents", Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 34, p. 139-158.
- [18] Jordan, M. I. (Ed.). 1998. "Learning in graphical models", vol. 89, Springer Science & Business Media.
- [19] "GeNIe Modeler. (n.d.)", <https://www.bayesfusion.com/genie/>, 16.07.2019
- [20] "Netica Application. (n.d.)", <https://www.norsys.com/netica.html>, 16.07.2019
- [21] Özgür-Ünlüakın, D., Türkali, B., Karacaörenli, A., Aksezer, S. Ç. 2019. "A DBN based reactive maintenance model for a complex system in thermal power plants", Reliability Engineering & System Safety, vol.190, 106505.

KESTİRİMCİ YAZILIM BAKIMI PREDICTIVE SOFTWARE MAINTENANCE

¹Cengiz Vardar

¹Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
cvardar@etigida.com.tr

Özet

Bir üretim tesisinde yazılım kullanılması kaçınılmazdır. Gerek ofisteki bilgisayarlarımız gerekse üretim sahalarında bulunan kontrol bilgisayarları ve/veya endüstriyel PC'ler tesisin güvenilirliği açısından tartışılmaz derecede büyük bir öneme sahiptir.

Türkiye özelinde, özellikle 90'lı yılların ortalarında gerek sivil yaşantımıza gerekse iş yaşantımıza hızlı şekilde giriş yapan bir takım karmaşık donanımlar, bazı yazılımların desteği ile yaşantımızı kolaylaştırmaya başlamıştır. 2000-2010 yılları arasında ise hemen hemen tüm endüstriyel ekipmanlar, yazılım desteği ile çalışmaya başlamış ve bu da yeni bir bakım türü olan YAZILIM BAKIMI'ni doğurmuştur.

Endüstri 4.0'ın hızla yaygınlaşmaya başladığı günümüzde ise, yazılımların ya da yazılım destekli çalışan donanımların arızı durumlarında ihtiyaç duyulan bazı farklı tipteki yazılım yedekleri bu bakım türünün, üretim sürekliliği açısından önemini gözler önüne sermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yazılım bakımı, endüstriyel PC, endüstri 4.0

Abstract

In a production plant it is a must to use software. They have exactly critical importance for the reliability of the production lines in a plant either our office computers or site control computers and/or industrial PCs. For Türkiye, especially in middle of 90s' some complex hardware which use software came into our both private and business lifes to make them easier and comfortable.

Between years of 2000-2010 almost all industrial equipments started to work with support of software and that situation generated the new type of maintenance; SOFTWARE MAINTENANCE.

Nowadays, where Industry 4.0 is rapidly spreading it is clarifying the importance of this type of maintenance for the continuous production, the break downs which appears in software or hardware which supported by software.

Key Words: Software Maintenance, industrial PC, industry 4.0



1. Giriş

Teknolojinin gelişimiyle tüm endüstriyel makineler, üzerlerinde kendi kontrolöleriyle üretilmeye ve devreye alınmaya başlandılar. Bu durum, elektronik anlamda uzun süren bir problem yaşanmaması adına yeni tanımlar doğurmaya başladı. Yazılım Kestirimci Bakımı (yedekleme) da bunlar arasında önemini kazanmış bir tanımdır. Ne şekilde müdahale edilmeli? Nelerden faydalanılmalı? Yanlış bilinenler ve yapılmaması gerekenler neler? Üretimde daha az kayba ya da kayıpsız bir arıza sürecine nasıl ulaşılır? Hazırlamış olduğumuz yazımızda tüm bu soruların cevapları mevcuttur.

2. Hazırlık Evresi

Beklenmeyen arıza durumları endüstriyel işletmelerin kaçınılmaz problemleridir. Meydana gelen arızalar bazen dakikalar bazen ise haftalar sürebilir. Arızanın meydana geldiği ekipman elektronik bir bileşen ise bu süre, genellikle birkaç saati bulmakta, yedek parça eksikliği varsa da günlere ya da haftalara uzayabilmektedir. Yedek parça ile ilgili şirket politikaları görüşe bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bizim ele alacağımız yazılım kestirimci bakımı, yedek parça mevcudiyetinde yapılması gerekenlerle ilgilidir. Çoğu elektronik ekipman arızası önceden kestirilememekte, bu da hazırlıksız olarak bu arızalara yakalanmaya neden olmaktadır. Bu nedenle arızanın her an meydana gelebileceği düşünülerek hazırlıkların, makine sağlıklı durumda çalışırken yapılması gerekmektedir. Yazılım kestirimci bakımı, yani yedekleme işlemine, program içeren tüm ekipmanların marka ve model listelerinin çıkarılması ile başlanabilir. PLC grupları için, Siemens, Allen Bradley, Omron gibi markalar ülkemizde ve dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. HMI' lar yani "insan-makine arayüzleri" de benzer şekilde farklı marka ve modellerde gruplandırılırlar. Ayrıca sahada PLC' ler ve HMI' lar dışında önemli görevler üstlenen diğer yardımcı elektronik ekipmanlar da bulunmalıdır ki bunlar da endüstriyel tesislerin olmazsa olmazlarıdır. Programlanabilir sıcaklık kontrol cihazları, asenkron motor sürücüler ve servo motor kontrolörleri bunlardan en yaygın olarak kullanılanlarıdır ve yine marka model yapısı diğer ana ekipmanlarla benzerlik göstermektedir.



LOGO Bağlantı Kb. Seri Bağlantı Kb. Ethernet Bağlantı Kb. 4 Pinli Bağlantı Kb. Paralel Bağlantı Kb. Son olarak ve belki de en önemlisi olarak mutlaka elimizin altında olması gereken programlama yazılımlarıdır. Arızalı donanımın yenisinin elimizde bulunması ve bağlantı aparatının da mevcudiyeti, yazılım olmadığı takdirde hiçbir işe yaramayacaktır. Yine üretici firmaların politikalarına göre bazı yazılımlar ücretliyken bazıları ise ücretsiz şekilde internetten indirmeye uygun hale getirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Örneğin Siemens ekipmanlara ait programlama yazılımlarının neredeyse tamamı ücrete tabidir. Ancak Beckhoff ve Sick gibi firmalar ise son kullanıcıya programlama yazılımlarını ücretsiz olarak sunmaktadır. Yine bu konuda dikkat edilmesi gereken ve genelde atlanan bir noktada yazılım versiyonlarıdır. Bazı PLC grupları kendisine bağlı farklı türdeki ekipmanlar için farklı ek yazılım paketlerine ihtiyaç duyabilmektedir. Bu nedenle de saha incelemesi önemlidir. Tedarikçi firmaya tüm saha ekipmanlarının bir listesi de verilerek en uygun yazılımın, firma uzmanları tarafından tavsiye edilmesini sağlamak en doğru yöntemdir.

3. Tanımlamalar, Seçim Kriterleri, Örnekler

3.1 PLC

PLC' ler ilk olarak 1968 yılında, Edward R. Clark isminde bir mühendisin, elektriksel kontak ekipmanları ve kablolama ağlarından kurtulmak istemesiyle icat edilmiştir. Bedford Associates firmasında görev yapan Dick Morley 84. proje denemesinde, bu talebe karşılık vermiştir ve bu nedenle PLC, 084 ismiyle anılmıştır. Bu başarılı girişimi sonrası Dick Morley, PLC' nin babası unvanını almıştır. Bu PLC, Modicon (modular digital controller) adı altında üretimini devam ettirmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

PLC'ler, daha kolay anlaşılabilmesi için insan vücudundan örnek verilmesi gerekirse, beyine benzetilebilirler. Eller, kollar, bacaklar PLC çıkışları; gözler, kulaklar, burun ve diğer duyu organları ise sahadaki sensörlerle yani, PLC girişleri ile aşırı benzerlik göstermektedir. Tüm saha verilerini alarak değerlendiren ve doğru zamanda doğru çıktılar veren PLC donanımları makinelerin işletme fonksiyonları için oldukça faydalıdır. Endüstriyel alanda kullanıma uygun yapıları ile sıcaklık nem ve toz gibi zorlu şartlar altında dahi çalışan modelleri mevcuttur. PLC marka ve model seçimleri; endüstri sektörü, çalışma hızları, saha koşulları, risk sınıfları gibi özelliklerin tamamı bir arada değerlendirilerek seçilmelidirler. Örneğin fırın, kazan ve benzeri doğalgaz istasyonu içeren ve patlama riski bulunduran ekipmanların PLC ile kontrolü sağlanacak ise, "Safety" (güvenli) tipte PLC'ler seçilmelidir. Bu PLC'ler diğerlerinden farklı olarak çok daha hızlı tepkime sürelerine ve "watchdog" (bekçi köpeği) tipi kontrol özelliklerine sahiptirler. Başka bir örnek vermek gerekirse, üretim gereksinimi doğrultusunda 3 eksenli bir servo motor grubunun A noktasından B noktasına interpol hareketle gitmesi isteniyorsa bu özelliği taşıyan bir PLC seçilmesi gerekmektedir.

Bazı durumlarda tüm gereksinimleri tek bir PLC karşılayamayabilir. Bu gibi durumlarda da PLC yardımcı ekipmanları ile PLC'lerde bulunmayan özellikleri tamamlama yöntemi seçilebilir.

3.2. HMI

HMI'lar, endüstriyel tesislerdeki makinelerin, operatörler tarafından çok daha kolay şekilde kontrol edilmesini sağlayan arayüzlerdir (Human Machine Interface). İlk HMI'lar, IBM firması tarafından üretilen ilk bilgisayarlar olarak kabul edilmektedir. Gündelik hayatımızda da hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadırlar. ATM'ler, tramvay bilet turnikeleri, AVM bilgilendirme ekranları bunlardan en sık kullanılanlarıdır.

Endüstri 4.0'ın yaygınlaştırılması ile HMI'lar bazı durumlarda en az PLC'ler kadar önemli hale gelmektedir. PLC (insan beyni) olmadan makinenin fonksiyonel hale gelmesi tabii ki mümkün değildir ancak HMI (göz ve kulak) desteği olmadan da makinenin olması gerektiği koşulda çalışıp çalışmadığını anlamak, uzaktan müdahale edebilmek ve benzeri parametreleri izlemek mümkün olmamaktadır. İşte bu nedenle HMI'lar, PLC'lerle bütünleşmiş arayüzlerdir ve bir makine için olmazsa olmaz unsurlar arasında sayılabilmektedirler.

HMI'lar da tıpkı PLC'ler gibi ihtiyaca göre seçilmelidir. HMI seçimlerinde; haberleşme tipi, ekran büyüklüğü ve çözünürlüğü, dokunmatik ya da tuşlu tip olup olmadığı gibi bilgiler gerekmektedir. Örneğin yalnızca bir havalandırma sisteminden gelecek üç adet analog bilgi ve bir açma kapama fonksiyonu kontrolü için yüksek çözünürlüklü ve 21 inç dokunmatik bir panele ihtiyaç duyulmayabilir. Ancak, bir gıda üretim hattında proses aşamalarının farklı bölgelerinde sürekli olarak gözlemlenmesi gereken kritik noktalar varsa işte o zaman bu ihtiyaçların küçük, düşük çözünürlüklü ve tuşlu bir panelle yapılması operatör için zorlayıcı olabilir.

HMI'ların asli görevi operatörlerin işini kolaylaştırmak olduğundan bu amaca hizmet ettiğinden emin olunmalıdır. Aksi takdirde hem kullanıcı hem de makine açısından sıkıntılı durumlar meydana gelebilir. Panel seçimlerinden daha önemli olan, üzerlerindeki yazılımların (görselleştirmenin) kullanıcı dostu olmasıdır. Örneğin, bir fan uygulamasının, panelde, pervane yerine motor sembolü kullanılarak canlandırılması, kullanıcının, bunun bir bant motoru olabileceğini düşünmesine sebebiyet verecektir. Bunun sonucunda bant motorunu çalıştırmak isteyen operatör, yanlışlıkla fanı çalıştırmış olacak ve istenmeyen durumlara sebebiyet vermiş olacaktır. Benzer şekilde renklendirme yapılırken de dikkat edilmelidir. Kırmızı arıza rengi, yeşil sorunsuz operasyon rengi, sarı ya da gri renk ise hazırda bekleme rengi olarak seçilmelidir. Renklendirmede yapılan hatalar, insan hayatına dahi mal olabilecek sonuçlar doğurabilmektedir.

3.3. Yardımcı Ekipmanlar

Yardımcı ekipman tanımı, PLC ve HMI'lar dışında kalan diğer elektronik kontrol donanımlarını içermektedir. Bunları en sık kullanılan; asenkron motor sürücüler, sıcaklık kontrol üniteleri ve servo kontrol sistemleri olarak değerlendirebiliriz. PLC'lerin özellikle güç kontrolü gereken durumlarda destek aldıkları bu ekipmanlar da arızalı duruma geçtiklerinde sahada uzun süreli üretim kayıplarına neden olabilmektedirler.

Kendi üzerlerindeki işlemciler yardımıyla PLC'lerin yükünü hafifletmeye çalışan bu ekipmanlar da kendi yazı-



lımlarını içermektedirler. İşte bu nedenle seçilirken PLC marka ve modeliyle uyumlu olması, gerek makine ömrü gerekse programcı ve/veya bakımcı açısından önem taşımaktadır. Üretici firmalar, kendi üretimi olan yardımcı ekipmanlar için daha fazla yazılım ve haberleşme desteği vermektedir. Tabii ki farklı marka ve modeller de cennetlenlik anlaşmaları gereği desteklenmektedir ancak tüm fonksiyonların kullanımı genelde söz konusu değildir. Asenkron motor sürücü seçimlerinde HMI panellerle ortak olarak haberleşme tipi önemlidir. Bunun haricinde motorun gücü, üretim için gerekli olan motor hız kontrol aralıkları, PLC için gerekli olan sinyal giriş çıkışları gibi özellikler bir asenkron motor sürücü seçimi için yeterli olacaktır.

Sıcaklık kontrol cihazlarında önemli olan parametreler sıcaklık sensör tipi ve çıkış tipidir. Bu kontrol cihazları da tıpkı bağımsız bir PLC gibi davranarak sıcaklık sensöründen gelen veriyi PID kontrol hesaplamalarına maruz bırakarak istenen sıcaklığı yakalamak için gereken çıkışı sağlarlar. Birçoğu üzerindeki dijital giriş ve çıkışlarla farklı saha verilerini de işleyerek PLC ile dijital bir haberleşme sağlar.

4. Kestirimci Yazılım Bakımı Koşulları

Kestirimci yazılım bakımının en iyi şekilde yapılabilmesi için izlenmesi gereken çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler; kopyalama, yazılım yardımı ile yedekleme, imaj alma ve tümünün sonunda da yedekleme başlıkları altında toplanabilir.

Daha önce bahsedilen programlama yazılımlarının; kurulumlarının eksiksiz ve çalışır durumda olduğundan daima emin olunmalıdır. Zaman içinde yayınlanan ve bazen istemsizce bilgisayarlarımıza yüklenen işletim sistemi güncellemeleri ve/veya farklı program kurulumları (antivirüs programı v.b.) daha önce çalışan bazı programlama yazılımlarının hatalar vermesine ve verimli şekilde çalışmamasına neden olabilir. Böyle durumlarla karşılaşmamak adına acil ihtiyaç anından önce periyodik olarak yazılımların çalışıp çalışmadığı kontrol edilmeli ve çalışmayan programlar tekrar çalışır hale getirilmelidir.

Bazı yazılımlar birbirlerinin kurulu olduğu durumlarda çalışmaz hale gelebilirler. Benzer şekilde, yalnızca farklı işletim sistemlerinde çalışabilen (örn: Windows XP ve Windows 10) farklı programlama yazılımları mevcuttur. Her ne kadar Windows 10 bu konuda büyük bir atılım göstermiş olsa da hala yalnızca Windows XP işletim sisteminde çalışabilen programlar mevcuttur. Bu gibi durumlarda bakımı ön planda tutmak isteyen şirketler, gerekli kaynağı ayırarak farklı işletim sistemi kurulu birden fazla bilgisayarla bu problemleri aşabilmektedir. Ancak, yeterli kaynağı olmayan şirketlerde ya da bilgisayar kurulum kargaşası yaşamak istenmeyen durumlarda sanal PC kullanımı son derece etkilidir. Sanal PC programları deneme sürümleri ücretsiz programlardır. Deneme sürümlerinde, tüm deneme sürümlerinde olduğu gibi, bazı kısıtları vardır ancak tam sürümleri, bir bilgisayar içinde neredeyse fiziksel olarak dahi birbirinden ayrı, birden fazla bilgisayar oluşturma imkanı tanır. Oracle Virtualbox, VMware ve Parallels Desktop yazılımları bu konuda kendini kanıtlamış ve tercih edilen yazılımlardır. Bu programların yardımıyla bir bilgisayar üzerinde, birbirini etkilemeyen PC ler oluşturularak tüm yazılımları aynı bilgisayar üzerinde kullanmak mümkün hale gelir. Sanal PC'lerin avantajları bununla da sınırlı değildir. Bir sanal PC, mevcut bilgisayar üzerinde, ilgili klasörde bir belge gibi saklanır, bu sanal PC üzerinde yapılan tüm değişiklikler de (yeni kurulumlar, kopyalamalar, eksiltmeler v.b.) aynı şekilde bu dosyaların değişimiyle saklanmış olur. Zaman zaman bu dosyanın farklı bir medya üzerinde yedeklenmesiyle de olası bir fiziksel bilgisayar hasarı minimum zaman kaybı ile atlatılmış olur. Farklı bir bilgisayara daha önceki bilgisayarda kurulu olan sanal PC yazılımı kurulup, yedeği alınmış olan dosya kopyalandıktan sonra sadece "dosya" sekmesindeki "aç" seçeneği ile seçilmesi eski sanal PC'nin o bilgisayara kurulu olarak gelmesi için yeterli olacaktır. Anlatılan tüm sanal PC yardımcı yazılımları ve kullanma metotları, aslında, "programlar yardımı ile yazılım kestirimci bakım"a en sağlıklı şekilde ulaşabilmek için anlatılmıştır.

Bazı PLC'ler kendi içlerinde işletim sistemi barındırır. Bu işletim sistemleri genelde, işlemcileri meşgul eden bazı sistem dosyalarından arındırılmış, küçük boyutlu ve hızlı, ancak daha az yetenekli, gömülü (embedded) işletim sistemleridir. Yardımcı PLC programları bu işletim sisteminin içinde çalışmak suretiyle, giriş-çıkış işlemlerini gerçekleştirerek bir PLC görevi üstlenmektedir. Bu küçük PC'ler ki büyük PC'lerle hemen hemen aynı özellikleri taşırlar, yazılım kestirimci bakım metotlarından, "imaj alma" yöntemi uygulanarak yedeklenmelidir. Bu yöntem, uygun bir yardımcı bootable (başlangıçta başlatılabilir) program ile kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Burada mantık, tıpkı sanal PC'lerde kopyalama metoduyla alınabilen yedek gibi, küçük PC'lerin de tam bir kopyasını çıkarmaktır. Acronis ve Clonezilla gibi programlar bu işlem için tercih edilebilir.

4.1. PLC'ler İçin Gerekenler

Endüstri alanları, makine üreticisi firmaların da etkisiyle, farklı PLC grupları kullanmaktadır. Örneğin gıda sektöründe hız gerektiren PLC'ler seçilirken daha ağır sanayilerde, çalışma koşullarına daha dayanıklı ve güvenliği ön planda olan PLC'ler tercih edilmektedir. PLC'ler marka ve modellerine göre farklı özellikler taşımaktadır. Bu özellikler, hız, haberleşme tipi, maksimum I/O modül desteği, işlem türü ve kapasitesi, dahili hafıza tipi ve boyutu, ek hafıza kartı desteği, on-board (dahili) LCD ekran ve işletim sistemi gibi özelliklerdir. İkinci bölümde bahsedilmiş olan yazılım kestirimci bakımına hazırlık evresinde tüm bu özelliklerin belirlenmiş olması ve buna istinaden tüm bağlantı ekipmanlarının ve programlama yazılımlarının da hazır edilmiş olması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, markalar arası farklılık gösteren dahili veya harici hafıza alanlarının belirlenmesi de gerekmektedir. Yazının devamında marka bazlı örneklerle anlatım yapmak daha açıklayıcı olacaktır.

Siemens firması endüstriyel anlamda dünyaya mal olmuş bir konumdadır. PLC sistemleri denince de ilk akla gelen ve hemen hemen tüm endüstri alanlarına uygun çözümler üretebilen firmalar arasındadır. Siemens yazılım anlamında da geçtiğimiz son on yılda büyük atılımlar gerçekleştirmiş ve TIA Portal adı altında, tüm endüstriyel kontrol ekipmanlarının tek bir yazılımla programlanabileceği bir platform oluşturmuştur. Yazılıma verdiği önem yazılım kestirimci bakım metodunu da belirlemiştir. Bu PLC'ler, yazılım yardımıyla yedeklenmelidir. Alınan yedeklerin PLC üzerine tekrar yüklenebilmesi için de yine aynı yazılımın kullanılması gereklidir. Siemens birçok PLC'si üzerinde hafıza kartları kullanmaktadır. S7 hafıza kartı (Siemens'e özel) ve SD kart (Siemens formatında) bu kartlar arasında gelir. Dahili hafıza bu marka özelinde önemlidir. Kendi dahili hafızası değişkendir ve modeller arası farklılık gösterir. Yazılan programın, seçilmiş olan PLC'nin dahili hafızasına sığmayacak kadar büyük olması halinde, harici kart istek uyarısı belirir ve kart takılı olduğu takdirde programın bir kısmı kartta bir kısmı da dahili hafızada kalacak şekilde bir yükleme gerçekleşir. Program yardımıyla yapılan yazılım kestirimci bakım sırasında, yedekleme işlemi, hem kart üzerindeki verinin hem de dahili hafıza üzerindeki verinin tamamının alınmasıyla sonuçlanır. Bir diğer kendini kanıtlamış PLC firması da Amerikan menşeli Allen Bradley'dir. Allen Bradley, yazılım alanında büyük değişikliklerden kaçınmayı tercih etmiştir. Bunun yerine yeni çıkan ürünleri destekler nitelikte yazılım eklentileri yayımlayarak arayüzün değişimine engel olmakta ve tecrübeye bağlı kullanıma daha fazla olanak vermektedir. Allen Bradley de tıpkı Siemens PLC'lerde olduğu gibi yazılım kestirimci bakım tarafında programla yedekleme metodunu kullanmaktadır. Ücretli lisans ile aktif hale gelen yazılım bu PLC'lerin dahili hafızasında bulunan tüm mantık yazılımının yedeklenmesine olanak sağlamaktadır.

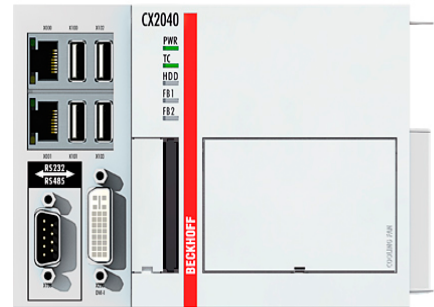
Omron firması da Japon teknolojisinin adeta kanıtı niteliğinde güvenilir PLC'ler ve yardımcı ekipmanlar üreten bir firmadır. Tıpkı Siemens'de olduğu gibi eski ve yeni nesil PLC'leri için iki farklı yazılım geliştirmiştir. Bu yazılımlar sayesinde de kestirimci olarak gerekli yedeklemeler yapılabilmektedir.

Beckhoff PLC'ler şu ana kadar bahsi geçen tüm PLC gruplarından daha farklıdır. Eski nesil Beckhoff marka PLC'lerde CF hafıza kartları kullanılırken, yeni nesil Beckhoff PLC'lerde; okuma ve yazma kapasitesi çok daha yüksek, maliyeti de bir o kadar yüksek, CFAST hafıza kartları üzerinden işlem yapılmaktadır. İşlemcinin ve işletim sisteminin gücünün artışıyla dar boğaz olarak engel teşkil eden CF kartlar yerlerini CFAST kartlara bırakarak PLC'nin maksimum kapasite ile çalışır hale gelmesini sağlamışlardır. Aşağıda resimleri bulunan iki farklı kartın maalesef okuyucuları üzerine takılı haldeyken görünen kısımları birebir aynıdır. Bu nedenle ön hazırlıklar yapılırken sadece görsellik üzerinden yorum yapılmamalı, PLC'nin teknik dokümanı incelenmeli gerekirse teknik destek alınarak bu konu netliğe kavuşturulmalıdır.



CF Kart

CFast Kart



Dışardan Görünüş



Tahmin edilebileceği gibi bu iki kartın okuyucuları da birbirinden farklıdır ve zamanında tedariki sağlanmazsa acil ihtiyaç anında yine bir sipariş sürecine girilmesi işten bile değildir. Bu kartlar üzerlerinde tüm işletim sistemi ve PLC yazılım bilgisini saklamaktadır. Dolayısıyla yalnızca işleminin değil CF ya da CFAST kartın zarar görmesi durumunda da kontrolör devre dışı kalacaktır. İşletim sistemi içermesi sebebiyle bu sistemlerin yazılım kestirimci bakımlarının, imaj alma yöntemi ile yapılması gerekmektedir. İki yöntemle bu işlem hatasız şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki, işlemci üzerinde mevcut olan DVI ya da HDMI ya da VGA çıkışına bir monitör bağlayarak, içinde bootable imaj programı yüklü bir USB yardımıyla küçük PC'yi başlatmak ve yeterli alan varsa kendi üzerindeki başka bir disk bölümüne imaj dosyasını kaydetmektir. Diğer ve tercih edilmesi gereken yöntem ise bu hafıza kartının harici bir okuyucu cihaz yardımıyla bilgisayara bağlanması ve yine bir imaj programı aracılığıyla yedeğinin (imajının) bilgisayar üzerine kaydedilmesidir. Bu yöntemin diğerine tercih edilme sebebi, yazının devamı olan dördüncü bölümde açıklanmıştır.

4.2. HMI ve SCADA Sistemleri İçin Gerekenler

HMI'lar ve SCADA sistemleri de tıpkı PLC grupları gibi farklı çalışma prensiplerine ve özelliklere sahiptir. HMI sistemler daha önce de bahsedildiği gibi anlık operatör kontrolleri ve makine fonksiyon değişiklikleri gibi amaçlara hizmet ederken SCADA sistemleri bunlara ek olarak uzun süreli bilgi kaydı da sağlamaktadır.

HMI'lar, yani başka bir deyişle operatör paneller de tıpkı PLC'ler gibi marka ve modellerine göre farklı yazılım kestirimci bakım metodlarını kullanmamıza olanak tanır. Ancak kullanım alanına göre seçimler yapılırken aynı markaya ait farklı modeller, farklı şekillerde yedekleme yapmamızı gerektirebilir. Tıpkı Beckhoff, CF kart - CFAST kart örneğinde olduğu gibi, operatör panellerinde de dış görünüşleri aynı ya da çok benzer olsa da farklı çalışma prensibiyle, farklı yedekleme metodu kullanmayı gerektirenleri vardır.

Örnek vermek gerekirse, Beijer markası için yazılım kestirimci bakımı; eski nesil bir panel için ayrı bir programlama yazılımı, yeni nesil panelleri için ayrı bir programlama yazılımı ve Windows işletim sistemi için imaj alma yöntemlerinin kullanımını gerektirmektedir.

Siemens, Allen Bradley ve Omron operatör panelleri ise PLC'lerinde olduğu gibi yazılım yardımı ile dahili hafızasındaki görsel programların yedeklenmesine imkan sağlamaktadır. Yalnız Siemens'in bazı HMI panellerinde işletim sistemi mevcuttur. Genelde üçüncü parti makine üreticilerinin kendi yazılımlarını kullanmak amacıyla özel olarak tasarlatıldığı bu modellerde imaj alma yöntemi kullanılmalıdır.

Beckhoff paneller ise PC-Panel ve Panel olarak iki farklı şekilde kullanılmakta. Bu ikisi arasındaki fark PC-Panelin bir küçük PC, yani Beckhoff PLC gibi davranmasıdır. Diğer panel ise bir PLC olmadan herhangi bir işleve sahip değildir. PC-Paneller üzerlerindeki CF ya da CFAST kartların imajlarının almasıyla yazılım kestirimci bakımına dahil edilebilirler ancak monitör paneller, yalnızca Beckhoff PLC'ye bağlanmış birer ekran olduğundan bu cihazlar için herhangi bir yedekleme işlemi yapılamaz. Arızaları durumunda, yenisinin yalnızca bağlantısının yapılması ile tüm fonksiyonları otomatik olarak aktif hale gelecektir.

SCADA sistemleri ise markadan bağımsız olarak bir PC üzerinde çalışan ve hem sahaya müdahaleyi, hem anlık veri izlemeyi hem de geçmişe yönelik uzun süreli kayıtlar tutmayı sağlayan sistemlerdir. SCADA sistemlerinin yazılım kestirimci bakımları iki farklı yöntemle yapılmalıdır. Bunlardan ilki, imaj alma yöntemidir. Bilgisayar üzerindeki farklı bir sabit disk alanına ya da başka bir medya üzerine sistemin üzerinde çalıştığı (genelde C: sürücüsü tercih edilir) disk bölümünün imajını almak, çalışmakta olan SCADA sisteminin zarar görmesi halinde geri dönüşü kolaylaştıracak kestirimci bakım adıdır. Bir diğer adım ise, verilerin depolandığı database yapısında meydana gelecek bir hata sonucu sistemdeki verilerin kaybolmaması adına, imaj alma yöntemine göre daha sık yapılması gereken database yedekleme işlemidir. Yedekleme sadece ilgili klasörün kopyalanması ve yine farklı bir alanda saklanması ile tamamlanmış olur. Bu işlem gerçekleştirilirken tek gereken database'in o an için kayıt yapmasını durdurulmasıdır. Aksi takdirde zaten kopyalama ve yapılandırma işlemi sistem tarafından durdurulacaktır.

4.3. Yardımcı Ekipmanlar İçin Gerekenler

Motor sürücüler, emniyet kontrol ekipmanları ve sıcaklık kontrol cihazları gibi yardımcı ekipmanlar da çoğunlukla aynı yedekleme işlemlerine dahil edilmelidir. Bu tarz ekipmanlarda, genelde endüstriyel sektörün gelişmiş olduğu

ülkeler, marka seçimi konusunda belirleyicidir. Örneğin, tekstil sektörü İtalya’da geliştiği için genellikle İtalyan motor sürücüler bu makinelerle birlikte ithal edilmektedir. Bunun yanında daha önce de belirtildiği gibi ana kontrol cihazı ile birlikte maksimum verimde çalışabilmesi için aynı markada cihaz seçimleri de yapılmaktadır.

Bilinen ve en yaygın olarak kullanılan yardımcı ekipmanlar motor sürücülerdir. Asenkron, DC ve servo tipte motorları sürmek için kullanılan binlerce marka ve model sürücü mevcuttur. Sürücülerin neredeyse tamamı içindeki programın, yazılım kestirimci bakımının, yazılım yardımı ile yedeklenmesi şeklinde yapılmasına uygun olarak tasarlanmıştır.

Bazı servo motor sürücüler, üzerlerinde SD ve benzeri hafıza kartları da barındırmaktadır. Bu kartlarda da servo motora ait parametreler saklanır. Bu tarz kartlarda ise imaj alma yöntemi kullanmak doğrudur. Sürücü hatası/arızası durumunda bu kartın çıkartılarak yeni sürüciye takılması parametrelerin taşınmasını sağlar ancak bu kartın zarar görmesi halinde önceden imaj alma yöntemi ile yedeklenmiş olan karta ihtiyaç duyulacağı da unutulmamalıdır.

Asenkron motor sürücülerde ise parametre ayarları, üzerlerinde bulunan dahili paneller yardımıyla ya da haricen takılan display modülleri kullanılarak yapılmaktadır. Parametrelerin birbirinden bağımsız olarak ayarlanması ve kopyalama, saklama gibi işlemler bazı markalarda bu paneller yardımı ile yapılabilmektedir. Ancak, panel üzerinde saklanan verilerin yedeklenmesi neredeyse mümkün değildir. İşte bu sebeple de programlama yazılımları yardımıyla kopyalama, yani yazılım kestirimci bakım işlemi yapılmalıdır. Bazı durumlarda arızalı ekipmandan emin olmak için kullanılan yer değiştirme metodu, bu panellerin parametre kopyalama ve yapıştırma özelliği ile oldukça kolay şekilde yapılabilmektedir. Arızalı olduğundan şüphelenilen ancak tam olarak fonksiyon kaybına uğramamış bir sürücü üzerinden parametreler bu paneller yardımıyla kopyalanıp, yeni takılan sürücü üzerine aktarılır ve bu şekilde makine davranışı gözlenerek boşa çıkarılan sürücünün arızalı olup olmadığı anlaşılabilir.

Emniyet röleleri ya da emniyet PLC’leri de bir diğer kullanımı yaygın yardımcı ekipman sınıfını oluşturur. Bu ekipmanlar IEC-61508, IEC-61511 ve IEC-62061 ya da kabul görmüş denk standartlara uygun nitelikte cihazlar olmalıdır. Tepkime süreleri, sinyal kontrol metodları ve güvenilirlikleri; proses kontrol PLC’lerine göre olumlu yönde daha farklı, ancak işlem kapasiteleri ve çeşitleri PLC kadar iyi olmayan bu ekipmanlar, makinelerin imalat onaylarının alınabilmesi için İSİG adına mutlak olarak kullanılması gereken ekipmanlardır. Basit işlemler için dijital sinyaller kullanılan röle modelleri için herhangi bir yazılım kestirimci bakım yapılamaz. Nedeni bu cihazların “plug and play” yani tak ve çalıştır şeklinde çalışmasıdır. Ancak programlanabilir ve tüm prosesdeki emniyet ekipmanlarını kontrol eden; bazı verileri PLC’lere ve HMI sistemlerine aktaran kompleks yapıdaki modeller, programlama yazılımları kullanılarak yedeklenmelidir.

Sick ve Pilz firmaları, bu alanda oldukça iyi sonuç veren ekipmanlar üretmektedirler. Her iki firma da programlama yazılımları ile emniyet PLC gruplarının, basit arayüzlerle kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Farklı modellerinde; hafıza kartları, dahili hafızalar ve EPROM’lu soketler gibi depolama alanlarına sahiptirler. Bunlardan en sıra dışı uygulama soket üzerinde entegre olarak üretilmiş olan modeldir. Besleme soketi görünümüne sahip ekipman, PLC’nin arızalanmasını takiben değiştirilmeye gerek görülmez ise eski program ile çalışmaya devam edecektir. Ancak bu kısımda meydana gelen bir arıza, PLC CPU’sunun değişimi ile giderilemeyecektir. Görseli aşağıda verilen ekipman ayrıca yedeklenmesi gereken ve aslında SD karttan farksız olarak görev yapan bir ekipmandır.



Üzerinde Depolama Yapılan Soket



Soketin PLC Üzerinde Görünüşü



5. Yanlış Yapılan İşlemler

İşletmelerde, yukarıdaki başlıklar altında detayları verilmiş olan gereksinimlerin yanlış karşılandığı durumlarla sıkça karşılaşılır. Örneğin PLC, Operatör panel ya da diğer yardımcı ekipmanlardan, harici depolama birimi kullananların, programlarının ne şekilde yedeklenmesi gerektiği çok iyi şekilde belirlenmelidir. Bazı işletmelerde kopyalama ve yapıdırma yönteminin yedek alma işlemi için yeterli olduğu düşünülür. Kontroller sırasında da sürekli yedeği alınmış olarak belirtildiği için tekrar yedeğinin alınmasına ihtiyaç duyulmaz. Ancak acil bir durumda anlaşılır ki kopyalama yöntemi ile alınmış yedek çalışır durumda değildir. Kopyalama ile yedek alma yöntemi yalnızca bazı SCADA, database uygulamalarında ve bazı donanım konfigürasyon klasörlerinde kullanışlıdır. Çoğunlukla, imaj alma yöntemi harici depolama aygıtları için daha sağlıklıdır.

Yapılan diğer bir yanlış ise doğru şekilde tamamlanan yazılım kestirimci bakımın, depolandığı yerin yanlış seçilmesidir. Aynı fiziksel disk üzerinde imaj alınmaktan kaçınılmalıdır. C: sürücüsü üzerinde çalışan bir sistemin imaj dosyalarının, aynı HDD ya da SSD üzerinde bulunan farklı bir kısım olan D: sürücüsü üzerine kaydedilmesi, olası bir fiziksel hasar durumunda kullanım dışı kalmasına neden olacaktır. İmaj dosyaları mümkün olduğunca harici depolama aygıtlarında ya da farklı bilgisayarlarda saklanmalıdır.

Daha önceden alınmış olan imajların geri yüklemesi yapılırken donanım özelliklerine dikkat edilmelidir. Bir hat üzerinde birbirine çok benzer yapılar da bulunan bazı ekipmanların yazılım yedeklerinin imaj yoluyla ayrı ayrı alınması gerekmektedir. Bir cihazın imajını başka bir cihazda kullanma olasılığı çok düşüktür çünkü donanımları arasındaki en ufak farklılık, sürücü bilgileri ve yazılım-donanım uyumsuzlukları nedeniyle farklı problemler yaratacaktır. Bu konuda harddisk seçimi de çok önemlidir. Örnek vermek gerekirse 512 GB harddiski olan bir SCADA PC'nin imajı alındığında içindeki depolanan verinin büyüklüğü 25 GB, imaj dosyası da 20 GB olabilir. Ancak yalnızca 25 GB'ın kullanılması, bizim arızalanan 512 GB'lık HDD yerine 125 GB'lık bir HDD takabileceğimiz anlamına gelmez. İmaj dosyaları oluşturulurken donanım bilgisi ve HDD sektörlerindeki veri bilgileriyle birlikte oluşturulur ve 512 GB'lık bir HDD olmadan bu imajın geri yüklemesine program tarafından izin verilmez. Daha küçük bir HDD'ye izin vermeyen yazılım, daha büyük, örneğin 1 TB'lık bir HDD takılması durumunda problem yaratmaz.

Hard disk formatları da dikkat edilmesi gereken ve genelde dikkatlerden kaçan bir parametredir. Formatlama (biçimlendirme) işlemi yer durumda aynı şekilde yapılmamalıdır. Fat32 ve NTFS format tipleri her ne kadar birçok ihtiyacı karşılasa da, bazı özel durumlarda farklı format tipleri kullanılmalıdır. Örneğin, Siemens marka SD kartlar, Siemens'e özel bir formatta çalışmaktadır. Herhangi bir PC'ye bir kart okuyucu yardımı ile takılıp Windows ya da DOS ortamında formatlandıkları takdirde depolama kapasiteleri KB'lar mertebesinden GB'lar mertebesine gelir ancak formatlanan bu kartlar Siemens tarafından da kullanılmaz hale gelirler.

6. Yazılım Kestirimci Bakım Uygulanamaması Halinde Yapılacaklar

Verilen tüm bilgilerin doğru ve aktif şekilde kullanılmasına rağmen bazı zamanlarda, elde olmayan nedenlerden dolayı, gereken yazılım kestirimci bakımın uygulanmadığı durumlar oluşabilir. Bazı makine üreticisi firmalar, PLC ya da benzer ekipmanların parametrelerinin yedeklenmemesi ve/veya kopyalanmaması için şifreleme yöntemi kullanırlar. İşte bu ve benzeri durumlarda ise makine davranışlarına hâkimiyet, programlama becerisi ve kullanıcı tarafından iyi yönlendirme gibi yardımcı öğelere ihtiyaç duyulur. Bakımla ilgilenen kişiler; serbest zamanlarda, ani müdahaleleri daha kolay ve hızlı hale getirmek için yazılım eğitimleri almalı, saha denemeleri ile bu eğitimleri pekiştirmeli ve sürekli araştırma yaparak yeni teknolojiler hakkında bilgi edinmelidir. Makine üreticisi firmaların iletişimlerinin hazırda tutulması da teknik destek almak adına çok önemlidir. PLC gruplarının ve/veya HMI orijinal yazılımlarının, bakım departmanı arşivinde bulunması, bunun için de makine teslimi sırasında üretici firmadan talep edilmiş olması gerekmektedir. Asenkron motor sürücü parametrelerinin yedekleme eksikliklerinin fark edilmesi halinde, kontrol panosu elektrik projelerine göz gezdirmek faydalıdır. Makine üreticisi firmalar genelde asenkron motor sürücülerin, fabrika ayarlarından farklı olarak kullanılan parametrelerini, bu projeler üzerine notlar halinde işlemektedirler.

İşletme bünyesinde; gerek yatırım, gerek insan gücü, gerekse eğitim/bilgi yetersizliği sebepleriyle yazılım kestirimci bakımının mümkün olmadığı durumlar da meydana gelebilir. Bu gibi durumlarda, makine imalatçısı olan

firmaların da yetkinliklerine bağlı olarak, “uzaktan yazılım kestirimci bakım” metoduna başvurulabilir. Uzaktan yedekleme işlemi, makine imalatçısı ve son kullanıcı arasında yapılacak olan karşılıklı sözleşmeye ve yetkilendirmeye bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. Bu yöntem ile sürekli internet bağlantısı olan kontrol cihazının yazılımları, seçime bağlı olarak, tamamen ya da kısmen makine imalatçısı firma tarafından belirlenen periyotlarla yedeklenir. Bu yöntemin avantajı; otomatik hale getirilmiş yedekleme ile insan hatalarının sifıra indirgenmesi ve farklı bir lokasyonda yedekleme yapılmasıyken; dezavantajı ise bazı şirket bilgilerinin üçüncü parti firmalar tarafından da bilinmesine sebep olmasıdır.

7. Sonuç

Günümüz teknolojiyle, henüz engelleyemediğimiz istenmeyen durumlardan en az hasarla çıkabilmek için bazı bilgiler paylaşıldı. Endüstri 4.0 ile birlikte ilerleyen teknoloji, hayatımıza daha da fazla elektronik sistem ve ekipman ilave edecek. Bu nedenle yazıda bahsedilen yöntemlerin uygulanması kaçınılmaz hale gelecektir.

8. Kaynakça

[1] “The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC”. Manufacturing Automation. 12 September 2008.



KİRLİLİK KONTROLÜNÜN TOPLAM ÜRETKEN BAKIMA ETKİSİ

¹Halil Tayan, ²Halil Aslan, ³Rıdvan Veziroğlu

¹ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/ÜŞAK

Mobil Ekipman Bakım Departmanı Güvenilirlik Mühendisi halilt@kisladag.com

² TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/ÜŞAK

Mobil Ekipman Bakım Departmanı Bakım ve Kaynak Süpervizörü halila@kisladag.com

³ TÜPRAG Metal Madencilik Kışladağ Altın Madeni/ÜŞAK

Mobil Ekipman Bakım Departmanı Müdürü ridvanv@kisladag.com

Özet

Günümüzde bir çok makine hidrolik ve pnömatik sistemler yardımı ile işlevselliğini yerine getirmektedir. Bunun yanı sıra makinelerde yağlama, soğutma ve aktarma sistemlerinde akışkanlar kullanılmaktadır. Bu sistemlere ulaşabilecek kirlilik, makinelerde ciddi arızalara, dolayısıyla duruş sürelerinin artmasına neden olmaktadır. Kirlilik kontrolünü benimseyen bakım ekipleri ekipman ve bileşen ömürlerinin artırılmasında büyük pay sahibidir. Kirlilik kontrolü, bakımıcının kullandığı takımlardan, makine, yedek parça ve çevreye olan etkisine kadar geniş bir alanı kapsayıp sürekli geliştirme ve iyileştirme ile desteklenmelidir. Bu çalışmada, bir bakım departmanında ekipmanların bakım, onarım ve revizyon işleri esnasında kirlilik kontrolünün nasıl yapıldığı ve kirlilik kontrol kültürünün bakım personeline nasıl kazandırıldığı incelenerek, iş prosedürleri gerekli iyileştirmeleri sağlayacak şekilde yeni prosesler eklenerek geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler; Bakımcı, Toplam üretken bakım, Kirlilik kontrolü, Proses geliştirme.

1. Giriş

Günümüzde yüksek güç ve hareket ihtiyacı duyan makinaların bu gereksinimleri, akışkanlar mekaniğinin Bernoulli ve Pascal prensiplerini uygulayan hidrolik ve pnömatik sistemler yardımı ile karşılanmaktadır. Bahsedilen akışkanlar makinaya gerekli hareketi ve/veya gücü sağlamasının yanı sıra makinada bulunan soğutmaya, yağlamaya ve aktarmaya ihtiyaç duyan bileşenlerinde gereksinimlerini karşılamaktadır. Bulunduğu makinaların hayat damarları olan bu sistemlerin arızaya sebebiyet vermeden işlevini yerine getirebilmesi için temiz tutulması ve kirlenmemesi önem kazanmaktadır. Kirlilik akışkan içerisinde akışkana ait olmayan herşey olarak açıklanabilir. Bu sistemlerin çoğunlukla kullanıldığı iş makinalarının çalışma koşulları yüksek kirlilik ihtiva eden ortamlardır. Ağır iş makinalarının arıza ve planlı bakımları sırasında bakımcı teknisyenlerin uygun koşullardaki müdahaleleri makinanın sis-



temlerine kirlilik bulaştırmasını engelleyecek ve kirlilik sebebi ile arıza oluşmasının önüne geçecektir. Karşılaşılan arızaların sayısındaki azalma ve duruş sürelerinin kısalması daha düşük bakım maliyetleri ile daha fazla üretimin yapılmasını olumlu yönde etkileyecektir. Üretime dayalı işletmelerde ekipman verimliliği ve duruş süreleri ciddiye alınarak takip edilen bir durumdur. Toplam üretken bakımın kendini gösterdiği en önemli nedenler arasında da bu duruşlar ve verimlilik vardır. Makinaların arızasız çalışması veya arıza giderilme sürelerinin kısaltılması tüm bakım yöntemlerinin temel hedefidir. Zor koşullarda çalışmak durumunda bulunan ağır iş makinalarının arıza yapmaları; buldukları işletmelerde üretim verimliliğini doğrudan etkilemekte olup, onarım süreçlerini saha koşulları nedeniyle zorlaştırmaktadır. Bu tür makinaların planlı bakım sistemi dahilinde uygun koşullarda arıza onarımı, revizyon ve periyodik bakım işlemlerinin yapılması ekipman verimliliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada ağır iş makinalarının bakım ve onarım süreçleri içerisinde geleneksel uygulanan bakım çalışmaları dışında toplam üretken bakım ile içiçe bulunan kirlilik kontrolünü sağlayarak uygulanan bakım çalışmaları anlatılmıştır. Bu durumun ekipman ve komponent verimliliğine olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmaya ek olarak bir bakım atölyesinin toplam üretken bakım ve kirlilik kontrolünü kültür haline getirme çalışmaları hakkında gerekli konulara değinilmiştir.

2. Kirlilik Kontrolü ve Toplam Üretken Bakım

Kirlilik yani kontaminasyon, bir akışkan yardımıyla iş ve hareket üreten sistemlerde akışkanın kendi bünyesinde barındırdığı bileşenler dışındaki bütün yabancı unsurlar olarak tanımlanabilir. Sistem dahilinde bulunmayan örnek; parçacık, kir, metal parçacıkları, kimyasal unsurlar, su ve havanın sistemin içeriğine karışması durumunda ilgili komponentlerde ciddi hasarlara neden olmaktadır. Akışkan sistemlere sızan kirlilik; sistemde tıkanmalara, sistem parçalarının aşınmasına, akışkan viskozitesinin değişimine buna bağlı olarak komponentlerin ve makinanın çalışma verimine doğrudan etki etmektedir. Ağır iş makinelerinde, yüksek güç ve hareket kabiliyetine ihtiyaç duyan ekipmanlarda hidrolik sistemlerin aktif olarak rol oynadığı görülmektedir. Hidrolik sistemlerin temel bileşenleri olan valfler hassas tasarımlara sahip olacak şekilde üretilmektedir. Hassas tasarlanan valfler akışkan içerisinde bulunan yabancı maddeler yani kirlilik nedeniyle tıkanmalara, sıkışmalara uğramakta ve sonuç olarak işlevini yerine getirememektedir. Başka bir sistem bileşeni olan hidrolik pompaların özellikle hareketli ve basınca maruz kalan yüzeylerinde akışkanın ihtiva ettiği yabancı maddeler, metal yüzeylerde erozif aşınmalar sonucunda hasara neden olabilmektedir. Bu sistemlerin sağlıklı ve verimli çalışabilmesi için kirliliğin kontrol altına alınması bahsi geçen nedenlerden dolayı önemlidir. Kirlilik kontrolü makinanın sahada giderilen arızasından atölyeye bakıma alınmasına kadar her aşamada dikkat ve özen göstermek ile başlamaktadır. Bakım personelinin bilinçlendirilmesiyle başlayan kirliliğin kontrol altında tutulması bir takım olarak hareket etmeyi ve makineleri sahiplenme yaklaşımı içermektedir.

TÜB, 1971 yılında JIPE tarafından şöyle tanımlanmıştır: ‘TÜB, ekipmanın veya komponentin ömrü boyunca, geniş bir bakım sistemi geliştirerek, ekipmanla ilişkili bütün alanları kapsayarak, ekipman etkililiğini ve verimini arttırmak. Tüm çalışanlar ile birlikte motivasyon yönetimi aktiviteleri vasıtasıyla üretim bakımını geliştirmek için tasarlanmıştır. (CİHAN, 2005:45)

Toplam üretken bakım makineyi kullanan operatörden başlayarak bakımıcısıyla, ilgili her çalışana ile bütün olarak oluşan farkındalık sayesinde ekipman verimliliğini etkin kılmayı amaçlamaktadır. Başlı başına toplam üretken bakım tarafından kapsanan kirlilik kontrolünü toplam üretken bakım hedeflerine ulaşmak için önemli yöntemler arasında kendine yer edinmiştir. Genel bakış açılarından özele indirgediğimizde ağır iş makinelerinin üretim verimliliğini arttırabilmek için kirlilik kontrolünün etkin kılınması, toplam üretken bakım amaçlarına ulaşılmasını mümkün kılacaktır.

3. Bakım Atölyesinde Kirliliği Kontrole Alma Çalışmaları

Mobil ekipman bakım atölyesi olarak kirlilik kontrolü uygulanmadan önce geleneksel bakım anlayışı uygulanmaktaydı. Bakım anlayışı olarak makine ve komponentlere kirlilik bulaşmamasına dikkat ve özen gösterilmeden makinelere geleneksel koşullarda müdahale ediliyordu. Makinelerin ve komponentlerin yıkanmasına, hortumların boruların ve deliklerin tapalar ile kapatılmamasına, komponentlerin streçlenmeden bekletilmesine ve takımların temizliğine dikkat edilmeden bakım işlemleri gerçekleştiriliyordu. Atölye olarak partner firmamız olan Caterpillar’ın kirlilik kontrol yöntemlerini benimseme çalışmaları başlatılarak düzeltilmesi gereken noktalar belirlenerek gerekli çalışmalar yapıldı. Kirlilik kontrol kültürü oluşturabilmek için her işletmede olduğu gibi teknik personel yetkin-

liği oldukça önemlidir. İşletmede köklü bir değişiklik ve yeni bir sistem uygulanmak isteniyorsa öncelikli olarak personel eğitimleri ve bilinçlendirilmesi yapılmalıdır. Personelin kafasındaki tüm sorular giderilmeli ve yapılacak olan değişikliklerin sebeplerini kavramaları sağlanmıştır. Buradan yola çıkarak öncelikli amaç verimli bir kirlilik kontrolü için bilinçli ve bu konularda gerekli eğitimleri almış olan personeldir. Bakım atölyemizde kirlilik kontrolünün sağlanabilmesi için öncelikle çalışan personelimize gerekli eğitimlere vererek farkındalık oluşturduk. Personel eğitimi sonrası kirlilik kontrolünü sağlamak için yaptığımız çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Yıkama;

Atölyeye bakıma alınacak makinaların detaylı yıkama işlemi ve temizliği yapıldıktan sonra atölyeye girmekle olup, bu sayede atölyenin temiz kalması ve bakım onarım işlemlerinin temiz bir biçimde yapılmasına olanak sağlanmıştır. Resim 1’de yapılan uygulamayı görebilirsiniz. Yıkamada kullanılan su atık su havuzunda toplanarak arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Arıtma işlemi ile su kaynaklarının tasarrufu ve kirlilik bulaşmış suyun temizlenmesini sağlayarak çevresel açıdan kirlilik bulaştırmaktan kaçınıldı. Resim 2’de görüldüğü üzere atık yıkama suları arıtma havuzunda toplanmaktadır.



Resim 1. Kaya Kamyonu Yıkama İşlemi



Resim 2. Yıkama Atık Su Toplama Havuzu

Atölyenin temiz ve düzenli tutulması;

Öncelikli olarak atölyenin dış ortamdan ayrılmasını sağladık. Çalışan sağlığı ve yapılan işin temizliğinin korunması açısından çevresel faktörlerden etkilenmemesi için atölye kapıları kapalı tutulması önemi personele anlatıldı. Atölye zemini geçirimsizliği için gerekli zemin çalışmaları yapıldı. Böylelikle kimyasal maddelerin çevreye zarar vermesinin önüne geçilmiş olup, oluşabilecek döküntülerin bertarafı kolaylaştı. Çalışanların yürüyeceği güzergahlar belirlenerek yürüyüş yolları oluşturuldu. Bu yolların belirlenmesi atölye düzenine katkı sağlayarak iş kazalarının ve ramak kalaların önüne geçilmesinin yanı sıra düzenli bir çalışma ortamına katkı sundu. Resim 3 ve Resim 4’te atölye düzeni ve temizliğinin nasıl sağlandığı gösterilmiştir.



Resim 3.1 Numaralı Atölye



Resim 4.2 Numaralı Atölye



İş tezgahlarının üzerinin temiz tutulması ve sonucu olarak üzerinde çalışılan makina parçalarında temiz kalması kolaylaştırıldı. Hava hatları şartlandırıcıları ve filtreleri eksiksiz bir şekilde olduğu kontrol edildi böylelikle sağlanan havanın kalitesi arttırıldı. Ana yağ deposu dışındaki yağ varillerinde filtre ve nefeslik takılması üretici firmalar tarafından önerilen şekilde yapıldı. Bu sayede yağların özelliklerinin kaybetmeden kalitesini koruyarak beklemesi sağlandı.

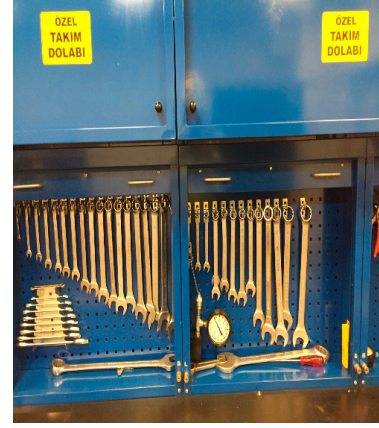
Düzenli bir takımhane oluşturularak el aletleri ve yardımcı takımların temiz ve düzenli bir şekilde ihtiyaç duyulması halinde ise plastik ambalajlar ile kaplanarak muhafazası sağlandı. Bununla birlikte kullanılan el aletleri ve yardımcı ekipmanlar nedeniyle kirlilik bulaşmasının önüne geçildi. Resim 5, Resim 6 ve Resim 7’de takımların ve yardımcı ekipmanların nasıl muhafaza edildiği gösterilmiştir.



Resim 5. Ölçüm Cihazları



Resim 6. Lokma Takımlarının Rafları



Resim 7. Anahtar Dolapları

Hidrolik yağ ve akışkanlar için kullanılan hortum ve boruların bakım onarım esnasında tapalanması sisteme kirlilik bulaşmasını önleyeceğinden tapa standları ile her çapta hortum, boru ve delik tapalar bulundurulması gerektiği anda bu bölgelerin tapalanması bilinci personel oluşturuldu. Bu tapalar ile sisteme kirlilik bulaşması engellendi. Kullanılacak olan tapaların ambalajlarda saklı olması ve kirliliğinden emin olarak kullanıma uygunluğunun kontrol edilmeside bizim için önemli bir husus oldu. Resim 8’ de plastik tapaların ölçülerinin bulunduğu pano gösterilmiştir.



Resim 8. Plastik Tapa Ölçü Tablosu

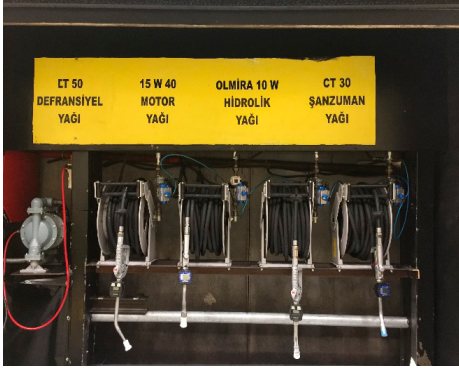


Resim 9. Parça Bekleme Rafları

Makina üzerinden sökülen komponent ve parçalar temizlenip streçlenmeden bekletilmesinin önüne geçildi. Resim 9’ da sökülen parçaların montaj işlemi için nasıl bekletildiği örneklenmiştir.

Atık yağlar için toplayıcı üniteler kullanılması ve yağın çevreye temas etmeden atık tankına aktarılması iş prosedürü haline getirildi. Temiz yağ ve gres için istasyonlar oluşturularak ihtiyaç anında makina ve komponentlere bu

istasyonlar sayesinde hava ile temas etmeden yağ ve gres dolumu temiz ve özenli bir biçimde gerçekleştirilmeye başlandı. Resim 10'da temiz yağ istasyonu ve Resim 11'de atık yağ toplayıcı üniteler gösterilmiştir.



Resim 10. Temiz Yağ Dolum İstasyonu



Resim 11. Atık Yağ Toplama Üniteleri

En çok ihtiyaç duyulan yedek parçalar arasında bulunan hidrolik hortumlar için hortum istasyonu oluşturularak ihtiyaç anında teknik özelliklere göre ve temizlik koşulları sağlanarak hortum imalatına geçildi. İmal işlemi tamamlanan basınca dayanıklı hortumlar içerisinde basınçlı hava yardımıyla temiz sünger geçirilerek imalat esnasında oluşan kirlilikten kurtarılıp kullanıma uygun olup olmadığı kontrol edilerek teslim edilmesi iş prosedürü oluşturuldu. Resim 12'de dijital olarak anlık ölçü kontrollü hortum presi gösterilmiştir. Resim 13'de imal edilen hortum için temizleme ekipmanları gösterilmiştir.



Resim 12. Hortum Basma Presi



Resim 13. Hortum Temizleme Tabancası

Atölyede çeşitli bölgelerde yağ emici pedler koyularak döküntü anında ulaşılabilirliği geliştirildi. Atık kutuları arasında geri dönüşüm kutuları haricinde kontamine olmuş atık kutusu koyularak yağlı, mazotlu veya herhangi bir şekilde kimyasal madde teması bulunan atıkların bu kutuda toplanması bilinci oluşturuldu. Atık sistemi içerisinde atık filtre ve hidrolik hortumlar toplama alanları oluşturuldu. Aşağıda Resim 14'te atık kutuları, Resim 15'te döküntü malzemeleri için atık kutusu, Resim 16'da tehlikeli atık alanı gösterilmiştir.



Resim 14. Atık Kutuları



Resim 15. Döküntü Temizleme Atık Kutusu



Resim 16. Tehlikeli Atık Alanı



Atölyede kullanılan tüm takım çantaları ve takım bulunan dolapların temizliği işi bittiğinde kirlenen takımların tekrar yerine koyulmadan temizlenmesi gerektiği farkındalığı sağlandı. Makina üzerinden sökülen komponentlerin yıkama ünitelerinde temizlendikten sonra demontaj işlemine geçilmesi özenli bir şekilde iş yapılabilmesine olanak verdi. Bakım onarım esnasında kullanılan yedek parçalar orjinal paketleri zarar görmeden parça için belirtilen depolama koşullarına uyularak depolanması sağlandı. Özellikle yedek parçalar olarak kullanılan filtre ambalajları kullanım anına kadar açılmamasına özen gösterildi. Sızdırmazlık elemanları o-ringler ve keçelerinde kullanım anına kadar ambalajlarında bulunmasına dikkat edildi. Resim 17’de komponent yıkama ünitesi gösterilmiştir. Resim 18’de yıkama ünitesinden çıkan komponent ve parçaların işlem sırası beklediği raflar gösterilmiştir.



Resim 17. Komponent Yıkama Ünitesi



Resim 18. Revizyonu Yapılacak Parça Rafları

Laboratuvar;

Atölyede tüm bu yapılan çalışmaların yanı sıra geliştirilen ve akredite edilen yağ analiz laboratuvarı ile metal aşınmaları, toz girişi, yağdaki katkı maddeler, yağa yakıt karışması, viskozite değeri, kurum miktarı, kirlilik oranı ve yağ su karışması gibi birçok testin gerçekleştirilmesiyle daha güvenilir aksiyonlar alınarak başarılı çalışma sonuçları ortaya konuldu. Makinalara verilecek olan yakıtın laboratuvar analizi ile yakıt kalitesinin makina kondisyonunu etkilemesinin önüne geçildi. Makinaların ve komponentlerin önceden belirlenmiş periyotlarda yağ numuneleri alınarak analize tabi tutulması makinaların sağlığını yakından takip etmemize olanak sağlayarak kirliliği kontrol etmemize yolumuzu aydınlatmıştır. Resim 19’ akredite olan analiz laboratuvarı gösterilmiştir.



Resim 19. Akredite Analiz Laboratuvarı

4. Bulgular

Kirlilik kontrolünün bakım atölyesi tarafından sağlanmasının ardından, makine ve komponentlerin takibi yağ analizi ile mümkün olmuş ve sonuçlara olumlu yansıdığı görülmüştür. Kirlilik kontrolü kültürü olmadan geleneksel bakım yöntemleri bulunan atölyede 2015 yılında çalışma saati 10.000 olan CAT 785C kaya kamyonu arka cer komponentinin yağ numunesinin kirlilik sonuçları ile aynı makine 2018 yılında çalışma saati 10.000 olan aynı komponent kirlilik kontrolü benimsendikten sonra alınan yağ numunesindeki kirlilik sonuçları ISO standartlarına göre Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Ekipman Kodu	Komponent	Yıl	
		2015	2018
47-103	Sağ Arka Cer	ISO 4406 : 23/24/19	ISO 4406 : 21/16/12

ISO 4406 Standardına göre; ilk basamak; 4 mikrondan büyük olan parçacık sayısı yada sıvının mililitre başına büyüklük temsil eder. İkinci basamakta 6 mikrondan büyük olan parçacık sayısı yada sıvının mililitre başına büyüklüğünü ifade eder. Üçüncü basamak ise 14 mikrondan büyük olan parçacıkları veya sıvının mililitre başına büyüklüğünü temsil eder. (ISO 11500) 2018 ve 2015 yılındaki değerleri karşılaştırdığımızda kirlilik seviyelerinin azaldığı görülmektedir. Makine ve komponentlerde her 250 saatte alınan yağ numuneleri ile takip edilerek güvenilirlik mühendisliğinin desteği ve kirlilik kontrolü sayesinde analiz sonuçlarında geleneksel bakım yöntemine göre olumlu veriler elde edilmiştir.

5. Sonuçlar Ve Değerlendirme

Yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda makine ve komponentlerde ömür artışı gözlemlenmiştir. Üretici firma Caterpillar'ın vermiş olduğu komponent çalışma ömrü bulgular başlığı altında incelenen komponent olan 785 C kaya kamyonu arka cer için 20.000 saatlik bir çalışma öngörüyordu ve kirlilik kontrolü benimsenmeden önce bu saatte komponent değişimi yapılıyordu. Kirlilik kontrolünün atölye tarafından uygulanmasının ardından güvenilirlik mühendisliği yardımı ile gerekli tedbirlerle birlikte 33.000 saate kadar komponent ömrünün uzadığı tespit edilmiştir. Böylelikle kirlilik kontrolü ile toplam üretken bakımın hedeflerinden olan ekipman ve komponent verimliliğinin artırılması başarılmıştır. Toplam üretken bakımda, üretken bir bakım ortaya koymak amacıyla gerçekleştirme yolunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Kirlilik kontrolünün toplam üretken bakıma etkisi ile birlikte komponent ömürleri ve makine verimliliğinin artması sağlanmıştır.

6. Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bize olan katkılarından dolayı Tüprağ Kışladağ Altın Madeni Mobil Ekipman Departmanı müdürümüz Sayın Rıdvan VEZİROĞLU 'na ve Mobil Ekipman çatısı altında çalışan tüm çalışma arkadaşlarımıza yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

7. Kaynakça

'Caterpillar our expertise your advantage' Caterpillar firmasının sunum dökümanları
Yüksek Lisans Tezi Cihan, 2005:45

DoD Handbook (1997) Designing and Developing Maintainable Products and Systems.

Uzun, Y , Özdoğan, D . (2011). Güvenirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (1), 303-320. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/cusosbil/issue/4386/60264>

Görener A. , Yenen V.Z., (2007), " İŞLETMELERDE TOPLAM VERİMLİ BAKIM ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA YAPILAN FAALİYETLER VE VERİMLİLİĞE KATKILARI", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 6 Sayı:11 Bahar 2007/1 s. 47-63



KONAKLAMA İŞLETMELERİNDE BAKIM VE BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ

¹Hande Mutlu Öztürk, ²Harun Kemal Öztürk,

¹Hande MUTLU ÖZTÜRK, Pamukkale University, Tourism Faculty,
Department of Gastronomy and Corunry art, Denizli, Turkey,
hmozturk@pau.edu.tr

²Harun Kemal ÖZTÜRK, Pamukkale University, Faculty of Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey,
hkozturk@pau.edu.tr

Özet

Ulaşım araçlarının gelişmesi, gelir seviyesinin artması ve konfor seviyesindeki artışa bağlı olarak insanlar daha fazla seyahat etmektedirler. Farklı kentlere yapılan seyahatlerde, otel, tatil köyü, apart vb. konaklama tesislerinden yararlanılmaktadır. Konakla tesisleri için müşteri memnuniyeti oldukça önemlidir. Müşteri memnuniyetinin sağlanması için, sunulan hizmetlerin kesintiye uğramaması ve bütün makine ve ekipmanın çalışır durumda olmasının sağlanması gerekmektedir. Bunun temini için tesislerde ve cihazlarda bakım çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bu nedenle konaklama tesislerinde, bakım yönetim sisteminin kurulması ve bakım çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, konaklama tesislerinde uygulanan farklı bakım yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada konaklama tesislerinde bakım konusu ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konaklama; Bakım; Bakım Yönetimi, Bakım Ekibi

1. Giriş

Hem özel hem de kamu sektöründe geçmişte ve bugünkü uygulamalarda, bakım, bir makine veya cihazın bozulduktan sonra onarımı ile ilgili yapılan eylemler olarak tanımlanmaktadır (Ghazi, 2016). Sözlük anlamı olarak, bakım “bir şeyin iyi gelişmesi, iyi bir durumda kalması için verilen emek” olarak tanımlanmaktadır. Bakım, bir cihazın, bir ekipmanın veya bileşenin düzgün çalışmasını sağlamak ya da bileşenlerinin arızalanmasını önlemek için alınması gereken önlemler veya bozulması durumunda onarılması için gerekli çalışmalar olarak da tanımlanabilir. Son on yılda yapılan pek çok çalışmada elde edilen veriler, çoğu özel ve kamu kuruluşlarının tesislerini veya ekipmanlarını uygun çalışma düzeninde tutmak için gerekli kaynakların ayırmadığını göstermektedir. Genel olarak ekipman arızasının olması beklenir ve ardından ekipmanı onarmak ya da değiştirmek için gerekli işlemler yapılır.

Bakım uygulamaları ile ilgili olarak sadece makine veya ekipmanlarda değil, tesislerde veya otellerde de benzer yaklaşımlar uygulanmaktadır. Son zamanlarda, sosyal medyanın da etkisiyle toplumlarda farklı yer ve kültürleri



görmek ve tanımak amaçlı ziyaretler artmıştır. Bu durum da konaklama sektörünün büyümesini hızlandırmıştır. Ancak, konaklama sektöründe, otel, tatil köyü gibi kurumlarda müşteri memnuniyetinin sağlanması amacı ile bütün altyapı tesislerinin, oteldeki makine ve cihazların sürekli çalışır durumda olmasını sağlamak önem kazanmıştır. Bunu sağlamak ve sürdürülebilir kılmak için konaklama sektöründe de bakım ve bakım yönetimi gibi kavramlar ön plana çıkmıştır.

Bakım, müşterileri ve kullanıcıların güvenlik ve memnuniyetini sağlamak için daha iyi bir ortam yaratmanın anahtarıdır. Konaklama tesislerinin bakımı, müşterilerin istek ve beklentilerini karşılamada doğrudan ve önemli bir etkiye sahip olması ve hizmet kalitesini etkilediği için önemlidir. Doğru bakım yönetimi için otel işletmelerinde bu doğrultuda gerçekleştirilen operasyonel işlemler aşağıdakiler dahil birçok nedenden dolayı gereklidir (Chan ve diğ., 2001; Chan ve diğ., 2003; Hassanien ve Losekoot, 2002; Hassanien ve Baum, 2002; Mattila ve O'Neill, 2003).

- a) Bina, hizmet ve tesislerin güvenli ve kullanıma uygun olmasını sağlayarak otel misafirlerinin ve çalışanlarının emniyetini ve güvenliğini sağlamak;
- b) Müşterilerin talep ettiği tüm varlık ve hizmetlerin kullanılabilirliğini/güvenilirliğini sağlamak;
- c) Mevcut veya yaklaşan konukları tatmin ederek pazar payını korumak veya artırmak;
- d) Piyasadaki yeni trendlere ve teknolojiye uymak (örneğin yeşil hareket);
- e) Kurumsal imajı, görünümü, tarihi ve mimari değerleri korumak;
- f) Tesis ve sistemlerin operasyonel istikrarını ve verimliliğini artırmak;
- g) Enerji temininde sürekliliği sağlamak ve enerji verimliliğini artırmak;
- h) Kasırgalar ve depremler gibi doğal afetlerin sonuçlarını hafifletmek;
- i) Engellilik yasası, sağlık ve güvenlik düzenlemeleri gibi resmi hükümleri yerine getirmek;
- j) Acil durumda kullanım için gereken tüm ekipmanların her zaman çalışmaya hazır olmasını sağlamak;
- k) Mülkiyetin ömrünü artırmak ve arızaları azaltmak.

Ne yazık ki, diğer yandan, çoğu kuruluşta bakımın önemsenmediği ve çok düşük öncelik verildiğini ortaya koymaktadır. Bakımın yetersiz olması, binaların verimli kullanılmasını ve müşteri memnuniyetinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır.

Francis ve diğ. (2001) bina bakım yönetimini “Binaların kullanımını yöneten ve düzenleyen teknik, sosyal, yasal ve mali belirleyicilerin etkileşimi veya kombinasyonunu içeren bir işlem” olarak tanımlamıştır. Lee ve Scott’a (2009a ve 2009b) göre ise bakım, bakım sorumluluklarını tanımlayan ve bakım gereksinimlerini belirleyen geniş bir terimdir. Burada temel amaç, bina varlıklarının uygun bir şekilde korunmasını, etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Borsenik ve Stutts (1997), konaklama binaları için bakım ve mühendislik sistemlerinin yönetimini şu şekilde tanımlamıştır: ‘tasarım, inşaat, kullanım, tamir, yenileme ve elden çıkarma’. Konaklama ve bakım mühendisliği ve bakım sistemleri şunları içerir: can güvenliği, ısıtma, havalandırma, soğutma, elektrik, su, ulaştırma, dış çevre, ve özel ekipmanlar. Bu tanıma göre, bölümün temel amacı şu şekilde ifade edilebilir: yapıyı, makinelerini, sistemlerini ve ürünlerini mevcut veya belirlenmiş bir hazır olma durumunda tutmak. Bu tanım, her şeyin tamirde tutulduğunu ve yüksek verimlilik seviyesinde çalıştığını (düşük enerji tüketimi) ve minimum bozulma olduğunu varsaymaktadır (Borsenik ve Stutts, 1997). Bazı konaklama işletmelerinde bu terim, tesis yönetimi veya tesis mühendisliği başlığı altında birleştirilmiştir (Chanter ve Swallow, 2007; Zawawi ve diğ., 2010).

Son yıllarda otellerin bakım performansını ve enerji ile ilişkisini inceleyen çalışmalar ortaya çıkmaya başlamıştır (Lai, 2014). Lai ve Yik (2012a) tarafından yapılan bir çalışmada 618 odalı bir otelin bilgisayarlı bakım yönetimi verilerine dayanarak inceleme yapılmış, ekipmanın çalışma dışı kalma süresi ve bakım iş emri miktarı arasında anlamlı bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş ve tesisin bakım performansını değerlendirmesi yapılmıştır. Diğer bir çalışmada ise, otelin bakım servisindeki iş gücü verimliliğinin, çalışanların çalışma süresinin ve yoğunluğunun artması ile azaldığı tespit edilmiştir (Lai ve Yik, 2012b). Ayrıca, Lai (2013) bakım verilerinin bakım işlemlerinin periyoduna, yerine ve fiziksel kurulumuna göre analizini sağlayan bir model ortaya koymuştur. Bu çalışmada yapılan analizler, oteldeki bakım çalışmalarının talepleri ile oldukça ilişkili olduğunu fakat girdi insan gücü ile çok az korelasyonu olduğunu göstermiştir.

Otel bakımı, konaklama endüstrisinde kullanılan çeşitli sistem ve bileşenlerin bakımınıdır. Bu sistemler (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC), elektrik ve sıhhi tesisat gibi genel inşaat işlemlerini ve aynı zamanda

otellere ve müşterilerine özel birçok ihtiyacı da içermektedir. Bu özel ihtiyaçlar çok çeşitlidir ve kapsamı otelin büyüklüğüne ve sundukları hizmetlere bağlıdır.

Otel bakımı, soğutma bakımı, asansörler, kablolu TV, telefon hatları, kişisel bilgisayarlar, oda mobilyaları ve aydınlatma armatürlerini içerebilir. Bu geniş bakım ihtiyacı kapsamı, otel bakım ekiplerinden geniş bir uzmanlık alanı gerektirmektedir. Ayrıca, bakım planlamasının otel bakım başarısı için çok önemli olduğu anlamına gelir.

2. Konaklama Endüstrisinin Yapısı ve Bakım

Konaklama endüstrisi farklılıklar içerebilir ve bu konaklama alanlarının tümü kendi bakım gereksinimine sahip olabilir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

Oteller: Ortalama bir otel, ısıtma, soğutma, sıhhi tesisat, aydınlatma, toprak bakımı, elektronik aletler ve sayısız diğerleri gibi çok çeşitli bakım çalışmalarına ihtiyaç duyar.

Servis verilen daireler: Konut otelleri daha uzun kalma süreleri sunar ve bakım ihtiyaçları otel yerine apartmanlarına benzer. Buna rağmen bakım ihtiyaçları hala oldukça çeşitlidir.

Tatil Köyleri: Uzak yerlerde bulunan tatil köylerinin kendine özgü bakım ihtiyaçları vardır. Genellikle sundukları ek özellikleri korurken, kendi elektrik, su ve atık bertarafını da sağlamaları gerekir. Ekstra özellik örnekleri arasında golf sahaları, kayak ve yüzme yer almaktadır.

Devre Mülk Kiralama: Kiracılar her yıl belirli bir süre için konaklama satın alırlar ve mülkün bakımının bir kısmını finanse etmekten genellikle kendileri sorumludurlar.

Kumarhane otelleri: Kumarhaneler, birincil işletme konusu dışında ikincil bir işlev olarak konaklama imkânı sunmaktadırlar. Bu pansiyonlar, diğer oteller kadar bakım gerektirmektedir. Ek olarak, mülk üzerindeki makineler ve yiyecek servisi alanları da tutarlı bakım çalışmaları gerektirmektedir.

3. Konaklama Tesislerinde Bakım Elemanları

Konaklama tesislerinde bakım, bakım servisinde görev alan teknik ve yönetici personel tarafından yürütülür. Konaklama tesislerinde görev alan personel ve görevleri kısaca aşağıda verildiği gibidir (HM, 2019).

Bakım teknisyenleri: Çok çeşitli sorumluluklar üstlenirler. Görevleri arasında düzenli zamanlanmış bakımın yanı sıra bir otelin sayısız sisteminde yapılan düzeltici bakım da bulunmaktadır. Bakım işçileri ayrıca binaların zemin ve dış alanlarının korunmasında da rol alabilirler.

Bakım süpervizörleri: Bakım teknisyenlerinin eylemlerini denetler ve ayrıca düzenli bakım görevlerinde de yardımcı olabilirler. Ek olarak, planlama, yönetmeliklere uyumluluk ve güvenlik gibi çeşitli ölçümler hakkında bakım yöneticilerine rapor verirler.

Bakım yöneticileri: Süpervizörlerle çalışmak, otel yöneticisine rapor vermek ve çalışanlarının izleyebileceği politikalar oluşturmak dahil, üst düzey planlama ve otel bakım görevlerini üstlenirler.

Bakım işçilerine ek olarak, temizlik ve temizlik personeli de sorunların tespit edilmesinde kilit rol oynamaktadır. Bakım ve temizlik arasındaki iletişimi sağlarlar. Ayrıca, gördükleri küçük sorunların çözülmesine katkı sağlayabilirler. Bu iletişim genellikle otelin bakım departmanına gönderilen iş emirleriyle gerçekleştirilir.

4. Konaklama Tesislerinde Bakım ve Önemi

Konaklama tesisleri, servis üreten sektörler arasında yer almaktadır ve müşteri sirkülasyonu yükündür. Konaklama tesisleri veya otellerde odalarının kullanılmaması durumunda gelir kaybına uğranılmaktadır. Ortalama olarak, bir otel gecelik 750 ₺/oda ücret alındığını düşünelim. Kiralanacak olan odalardan herhangi birinde önemli bir sorun



varsa, odanın tamirâtı yapılması gereken her gece için 750 ₺ bir kayıp anlamına gelecektir. Onarım çalışmaları bir sezonda birkaç gün sürer ve birden fazla odanın kapatılmasını gerekirse, bu miktar da artar. Örneğin, binanın bir katındaki su basıncının düşer ve onarım için geçen süre uzarsa kayıplar artabilir. Eğer bir katta yirmi oda varsa, bu her gece için 15.000 ₺ gelir kaybı demektir.

Diğer yandan, genellikle bu tür problemler önlenebilir niteliktedir, yani önleyici bakım ve küçük bir yatırım ile bu tamamen ortadan kaldırılabılır. Otel endüstrisinde önleyici bakım yapılması, tüm ekipman ve tesisler hakkında kapsamlı bir bilgi birikimi müdahalenin kilit noktasıdır. Konukların alışkanlıklarının bilinmesi de bakım ekibinin işini kolaylaştıran bir unsurdur.

Diğer bakım türlerinin yanı sıra, koruyucu bakım kesinlikle yönetici için çok önemli bir araçtır. Önleyici bakım, arızaların oluşmasını öngörmeyi amaçlar. Konaklama sektöründe, otellerin önleyici bakım faaliyetleri ile olabilecek hatalar azaltılması ve düzeltilmesini hedefleyen temel bir ilke vardır; bunun için planlanan işler için % 80 ve plan dışı işler için sadece % 20 zaman ayrılması öngörülür. Bu şekilde sadece misafirlerin kalış kalitesi artırılmış olmaz aynı zamanda plansız müdahaleler yapılmasının maliyeti daha yüksektir ve önleyici bakım ile daha fazla tasarruf sağlanabilir.

5. Konaklama Tesislerinde Kullanılan Bakım Yöntemleri

Çoğu ekipmanın tasarım ömrü, ancak bakım yaparak sağlanabilir. Ekipmanın tasarım ömrünü uzatmak için bakım yapılması ve bakımın da nasıl yapılacağını bilinmesi gerekir. Bir ekipman parçasının arızalanması sonrasında yapılan bakıma reaktif bakım adı verilir. Bunun dışında, önleyici bakım, öngörücü bakım veya güvenilirlik merkezli bakım gibi bakım türleri de geliştirilmiştir (Kumar ve Suresh, 2008).

Geleneksel olarak, içerdikleri görevlerin niteliği ile farklılaştırılmış 5 bakım türü vardır. Bu bakım türleri şunlardır;

1. Arıza (Reaktif) Bakım: Temel olarak “bozuluncaya kadar çalıştır” bakım modudur. Ekipman çalıştığı sürece korumaya yönelik hiçbir eylemde bulunulmamaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar göstermektedir ki, bu hala baskın olan bakım tarzıdır. Reaktif bakımda bakım hizmetleri için insan gücü harcanmaz veya bir şey oluncaya kadar herhangi bir harcama yapılmasına gerek yoktur. Herhangi bir bakım maliyeti olmadığından, bu sürede para tasarrufu yapılmış gibi düşünülebilir. Gerçekte, bakım ve sermaye maliyetinden tasarruf edildiğine inanılmakla birlikte arızalanmalar ortaya çıktığında daha büyük maliyetlere katlanılmak zorunda kalınır. Ekipmanların ömrü kısalmır ve daha sık parça değiştirmek zorunda kalınabilir. Arıza ortaya çıktığında, işçilik ve parça maliyetleri normalden daha yüksek olacaktır (Kumar ve Suresh, 2008).

2. Düzeltici Bakım: Bir makinenin, sistemin veya aygıtın, arızasının belirlenmesinin ardından hedeflenen işi yerine getirmesini sağlayabilmek için yapılan onarım ve bakımdır. Makine veya ekipmanın kullanıcıları tarafından bakım departmanına iletilen hataları düzeltmek için yapılır.

3. Önleyici Bakım: En uygun zamanda, meydana gelebilecek arızaların önceden programlanarak ve müdahale edilerek ekipmanın arıza yapmadan çalışmasına sağlamak için yapılan bakımdır. Herhangi bir sorun ortaya çıkmadan makine ve ekipmanın denetlenmesidir.

Önleyici bakım “Bozulmayı kontrol ederek yararlı ömrünü korumak veya uzatmak amacıyla bir bileşenin veya sistemin bozulmasını algılayan, engelleyen veya azaltan ve bir program çerçevesinde gerçekleştirilen eylemler olarak tanımlanabilir. Kabul edilebilir bir seviyeye kadar.” önleyici bakım, ekipmanların güvenilirliğini artırmanın bir yoludur. Ekipman tasarımcısının belirttiği bakım faaliyetleri yürütüldüğünde, ekipman ömrü uzatır ve güvenilirliği artırır. Güvenilirliğin artmasının yanında mali açıdan tasarruf da sağlanır. Çalışmalar, bu tasarrufların ortalama olarak % 12 ila % 18 kadar olabileceğini göstermektedir (Kumar ve Suresh, 2008).

4. Tahmini Bakım: Arıza olasılığını azaltmak için normal çalışma sırasında ekipmanın performansını ve durumunu izleyen bakımdır. Duruma dayalı bakım olarak da bilinmekle birlikte, 1990’lı yıllardan beri endüstride öngörücü bakım olarak kullanılmaktadır.

Tahmini bakımın amacı, önce ekipman arızasının ne zaman ortaya çıkabileceğini (belirli faktörlere dayanarak) tahmin etmeyi ve ardından düzenli olarak planlanmış ve düzeltici bakım yoluyla arızayı önlemektir. Tahmini bakım, cihaz arızasının ne zaman gerçekleşeceğini öngörmeye ve bakımın izlenmesi ile bakımın planlanmasını sağlayarak arızanın ortaya çıkmasını önlemeye odaklanır, böylece bir sorun ortaya çıkmadan önce bakım planlanabilir. Tahmini bakımın belirgin özelliklerinden biri, bakım sıklığının asgari düzeyde olması ve planlanmamış reaktif bakımın ve koruyucu bakım ile ilgili masrafların önlenmesine yardımcı olmasıdır. Tahmini bakım durumlarında başarısızlık tahmini, birçok teknikten birinin yardımı ile yapılabilir. Uzman görüşüne ve kullanılan cihaza göre uygun teknik seçilir. Tahmini bakım, güvenilirlik veya kalite ile ilgili sorunları en aza indirebilir. Pahalı arızaların meydana gelmesini önlemede yardımcı olabilir. Tahmini bakım sayesinde stok da azaltılabilir (Techopedia, 2019).

Bununla birlikte, tahmini bakımla ilgili dezavantajlar da vardır. Tahmini bakımda veri analizi için gerekli olan uzmanlık ve beceri seviyesinin oldukça uzmanlaşmış olması gerekir. Kullanılan izleme teknikleri de oldukça pahalıdır (Kumar ve Suresh, 2008).

5. Kestirimci Bakım: Tesislerin durumunun ve operasyonel kapasitesinin sürekli olarak belirlenmesi ve raporlanması esasına dayanır. Bu kapsamda operasyonel yeteneği temsil eden belirli değişkenlerin değerleri izlenir. Bu bakımı uygulamak için fiziksel değişkenlerin (sıcaklık, titreşim, güç tüketimi vb.) tanımlanması gerekir. Cihazda ortaya çıkabilecek problemlerin göstergesinin hangi varyasyon veya varyasyonlardan kaynaklandığı belirlenir. Bu bakım en teknik olanıdır, çünkü ileri teknik kaynaklar gerektirir ve zaman zaman güçlü matematiksel, fiziksel ve/veya teknik bilgi gerektirir.

6. Periyodik Bakım (Zamana Dayalı Bakım): Kullanıcılar tarafından yapılan ekipmanın temel bakımınıdır. Belli zaman periyotları içinde yapılan bakımlardır. Kapsamlı bir eğitim gerektirmeyen bir dizi temel görevden (veri toplama, görsel incelemeler, temizlik, yağlama, vidaları sıkma, vb.) oluşur, ancak bunlar sadece kısa bir eğitimidir.

Oteller müşteri memnuniyetinin sağlanması gereken önemli alanlardan birisidir. Müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için otellerde bakım son derece önemli konulardan arasında yer alır. Arızaların olmadan önlenmesi, bu nedenle oldukça önemlidir. Önleyici bakım bu nedenle otellerde ön plana çıkmaktadır.

Önleyici bakım, hangi bakımın ne zaman yapılması gerektiğini en iyi şekilde tahmin etmek için ekipmanın ve bileşenlerinin ilgili üretici ömürleri boyunca durumunun belirlenmesine dayanan bir bakım yöntemidir. Bu yöntem oldukça verimlidir, çünkü bakım işlemleri istenildiğinde gerçekleştirilir, zaman ve para tasarrufu sağlar. Otel ekipmanlarının kullanım ömrünü tahmin ederek, arıza oluşmadan önce parçaları verimli bir şekilde değiştirmek ve olası bir kesinti olmadan çalışma süresini uzatmak mümkündür. Uzun vadede, bu yöntem verimliliği artırır, ekipmanın yüksek maliyetlerle çalıştırılmasını önler ve nerede ve ne zaman gerekliyse orada ve o zaman insan kaynaklarının uygun bir şekilde kullanılmasına izin verir.

Bir oteldeki her düzeltici bakım müdahalesi, verilen herhangi bir hatanın kaynağını tespit etmek için kaydedilmiştir. Bu müdahalelerin kaydedilmesi otellerin operasyonel prosedürleri düzeltmelerine, ekipmanın uygunsuz veya aşırı kullanılmasının yanı sıra tekrarlayan diğer arıza nedenlerini tespit etmelerine izin verir.

İyi organize edilmiş bir düzeltici bakım stratejisi sağlamak, süreçleri hızlandırmaya ve misafirlere sağlanan deneyimi iyileştirmeye yardımcı olur.

6. Konaklama Tesislerinde Bakım Alanları

Bakım yöneticisi, bakım ekibini, önleyici bakım çalışmalarını yapmaları için otelin en çok gereksinim duyulan alanlarına yönlendirmelidir. Bu alanlar hem konukların yoğun olduğu, hem de müşteri memnuniyet düzeyini en çok etkileyen alanlar olmalıdır. Konaklama tesislerinde en sık karşılaşılan problem alanları ve bakım gerektiren ekipmanlar şunlardır (Machado, 2019);

Klima - Bu en sık karşılaşılan konuk şikayetlerinden birisidir. Sıcaklığın istenen seviyeye ulaşmıyor olması ya da klimalardan kötü koku yayılması en fazla şikayetin olduğu konulardır. ;



Aydınlatma - Oteller, kaliteli aydınlatmaya ihtiyaç duyar ve misafirlere sorun yaratmamak için durumlarının sık sık kontrol edilmesi ve çalışıyor olmaları gerekir.

Isıtma sistemleri - Bunlar konuk konforunu en fazla etkileyen konular içerisinde yer alır. Olası su sızıntılarını her zaman kontrol etmek ve bakterilerin neden olduğu hastalıklardan kaçınmak için düzenli olarak temizlenmesi önemlidir;

Su temin sistemi - Sızıntılar, küçük düzeyde bile olsa, altyapıyı ve ayrıca konuk deneyimini büyük ölçüde olumsuz etkileyebilir. Özellikle kanalizasyon sistemindeki arızalardan kaynaklanan kötü kokular müşteriler üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

Mutfaklar - Mutfakta kullanılan tüm ekipmanların bakımına özel dikkat gösterilmelidir. Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Nokta (HACCP) yapılmalı ve mutfaklarda standart yüksek tutulmalıdır.

Her altyapı elemanı farklıdır ve farklı gereksinimlere sahip olabilir. Bu alanlar müşteriler tarafından da kullanılan alanlardır. Ancak eğer bir bakım müdürü kendi alt yapısını iyi biliyorsa, otelin önleyici bakımı için kilit alanların tanımlanmasını ve bu alanların nasıl korunacağını da planlayabilir.

Yazılım sektöründeki gelişmeler, konaklama sektörünü de etkilemeye başlamıştır. Otellerde de bakım yazılımları kullanılmaya başlanmıştır. Bakım yazılımının temel hedeflerinden biri, yöneticilerin ekipman üzerindeki kontrol derecelerini geliştirmelerine yardımcı olmaktır. Bu, tüm ekipmanlarını iyi durumda tutmalarına ve sürekli olarak tamir etmelerine, gereksiz maliyetleri azaltmalarına ve yapılması gereken yorucu idari iş miktarını azaltmaya yardımcı olur.

7. Konaklama İşletmelerinde Bakım Ekibi ve Bakım Yönetim Sistemi

Konuk ağırlama endüstrisinde misafir memnuniyeti önceliklidir. Konaklama alanları günümüzde sosyal medyanın da yaygın kullanımı ile birlikte, binlerce potansiyel müşterinin görebileceği ve incelemeler yapabileceği alanlar olmuştur.

Bir otelin bakım bölümünün rolü, tüm tesis ve ekipmanların iyi durumda tutulmasını ve işlemlerin sorunsuz bir şekilde yürütülmesini sağlamaktır. Bir otelde bakım stratejik bir yatırım olarak görülmelidir. Bakıma yapılan sürekli yatırım, otel ekipmanı ve tesisleri ile konukların deneyimleri üzerinde de doğrudan olumlu bir etki yaratır.

Mevcut odalardaki artış, daha fazla gelir sağlayacak ve memnun misafir sayısını artıracaktır. Ekipman arızalarının operasyonlar üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve müşteri sadakatini ve memnuniyetini tehlikeye atabilir. Bu sorunların ortaya çıkma riskini en aza indirmek için, bakım hem orta hem de uzun vadede maliyetleri azaltacağından masraf olarak değil, bir yatırım olarak düşünülmelidir (Machado, 2019).

Bakım ekibi, konaklama sektöründe, konukların çoğu zaman doğrudan görmediği ve perde arkasında çalışan bir ekiptir. Bakım Müdürlüğü, konaklama alanlarının başarılı bir şekilde işletilmesi için hayati öneme sahip bir konumdadır. Bakım ekibi, aydınlatmanın sürekliliğini sağlamak gibi binadaki tüm hizmetlerin sunulabilmesi ve konukları rahat ve mutlu tutmak için birçok işlevden sorumludur.

Bakım departmanı, 24 saat görev yapar ve konaklama tesislerinin hayati öneme sahip bir bölümüdür. Teknik bilgi birikimine sahip doğru insanlara sahip olması, bakımı ekibini konaklama işletmesinde önemli bir konuma getirir. Bakım ekibi kuruluş sınırları içindeki tüm personel ve misafirlerin güvenliğini sağlarlar ve ayrıca enerji verimliliğini arttırmaktan ve işletme maliyetlerini düşürmekten sorumludurlar. Bina içindeki birçok sistem konusunda bakım yönetimi çalışma yürütmekle yükümlüdür: Bina yapıları (duvarlar, tavanlar ve zeminler dahil); air-condition (klima ve iklimlendirme), ısıtma ve soğutma tesisleri; su ve kanalizasyon tesisleri; mobilya, demirbaş ve teçhizat; elektrik; alarmlar; alan yönetimi; tedarik ve çok daha fazlası. Bu nedenle bakım yönetimi bir otel için büyük bir sorumluluktur ve doğru bir bakım takımına sahip olmak işlerin sorunsuz yürütülmesine büyük katkılar sunar. Bazı durumlarda, bakım departmanları belirli işlevleri üçüncü taraf uzmanlardan veya uzmanlarına dış kaynak sağlayarak çözebilir, ancak üçüncü taraf tedarikçilerinin operasyonlarını denetlemek hala Bakım Yöneticisinin görevleri

arasındadır (Feuilherade, 2016).

Bakım yönetim sistemi, bakımın izlenmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve müşteriye daha üst düzeyde bir hizmet verilmesi için oldukça önemlidir (Richard ve diğ., 2000; Jones ve Zemke, 2010)

Aşağıda, bir otelde bakım yapılması gereken bölümler liste halinde sunulmuştur (Potter, 2015; EM, 2019)

- Yakıt hatlarının, valflerin, pompaların, sayaçların muayenesi ve bakımı,
- Korozyon hasarları için yakıt depolama tanklarının muayenesi ve bakımı
- Şömine, ısıtıcı, HVAC, ısı pompaları ve iklimlendirme kontrolü sağlayan cihazların kontrol ve bakımı
- Sıcak su, soğuk su ve pis su tesisatlarının kontrolü ve bakımı
- Açılmadan önce havuz ve spa sistemlerinin kontrolü ve bakımı. Kapanırken havuzların uygun şekilde boşaltılması ve korunması
- Yangın söndürücüler, alarm sistemleri ve güvenlik sistemleri gibi tüm acil durum ve güvenlik ekipmanlarının kontrolü, test edilmesi ve bakımı
- Tüm aydınlatma ve elektrik devrelerinin, yedekleme sistemlerinin (Dizel Jeneratör (DG) Setleri ve UPS Yedekleme) kontrolü ve bakımı
- Ortak kullanım alanları, spor alanları, plaj ekipmanları ve parkurlar gibi mevsimsel kullanılan bölümlerin ve bunlarla ilişkili tesislerin veya varlıkların denetimi ve bakımı
- Tüm asansörler ve yürüyen merdivenlerin kontrolü ve bakımı
- Sezon içi ve sezon dışı denetimler ve koruyucu haşere kontrolü
- Tüm ölü bitkilerin, tesislerinin etrafındaki ağaçların ve çalılıkların kesimi ve bakımı
- Tüm kazanlar, soğutucular, ısı pompaları, atık, imha ve geri dönüşüm sistemi, çamaşır makineleri, perdah makineleri vb. kontrolü ve bakımı
- Güneş enerjisi sistemleri, çatı, pencere, parmaklıklar, güverte, aydınlatılmış park alanları gibi bölümlerin kontrolü ve bakımı
- Doğru ve verimli çalışma için tüm ekipman tiplerinin düzenli olarak kontrol ve bakımı

Bakım sektörü ve yazılım sektöründeki gelişmeler, konaklama endüstrisinde de uygulama alanı bulmuş ve bakım yazılım sistemleri geliştirilerek konaklama sektöründe uygulanmaya başlanmıştır. Oteller için Bilgisayarlı Bakım Yönetim Yazılımının (BBYY) uygulanması, otel ve tatil köylerinin bakım işlemlerini düzene sokmanın etkili bir yolu olmaya başlamıştır. BBYY sistemi uygulanarak otellerde bakım yönetim sistemi daha etkin kullanılmaya başlanmıştır.

BBYY sisteminin uygulanması tesisler için birçok avantaj sunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Tesisin büyüklüğüne bağlı olarak, çok sayıda bakım talebi gelebilir. Uygun kayıtlar olmadan bakım birimindeki taleplerinin izlenmesi zorlaşacaktır. Bilgisayarlı bir bakım yönetim sistemi isteğin kaydedilmesini, doğru kişilere bildirilmesini ve isteğin durumunun kolayca kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır.
2. Mekanik, elektriksel veya sıhhi tesisat arızası, bir otel bakım yöneticisinin sıkça karşılaştığı ve çözmesi gereken konular arasında yer almaktadır. Bu gibi zamanlarda, hızlı tepki süresi çok önemlidir. BBYY sistemi, bu gibi durumlar meydana geldiğinde doğru kişilere bildirilecek şekilde yapılandırılabilir. Bildirimler e-posta, akıllı telefonlar veya tabletler gibi mobil cihazlar ile de bakım elemanına gönderilebilir. Müşteriye de süreç ve sonuç hakkında bilgi verilerek müşteri memnuniyeti sağlanabilir.
3. Bilgisayarlı bir bakım yönetim sistemine sahip olmanın en büyük yararlarından biri, gerekli önleyici bakımların kontrol edilmesine katkı sağlamasıdır. Havuzun kapalı veya asansörün hizmet dışı olması müşterilerde memnuniyetsizlik yaratabilir. Önleyici bakım programı uygulandığında, bu gibi durumların olma olasılığı azalır. Planlı bir bakım programının amacı, kritik ekipmandaki arızaları ve acil durum onarımlarını azaltmaktır. Araştırmalar, BBYY gibi bir bakım yazılımına sahip olmanın varlıkların ömrünün % 20 uzatabileceğini göstermektedir. Zamanlanmış bakımın yapılmasının reaktif onarımlardan çok daha az maliyetli olduğu da bilinmektedir. Planlı koruyucu bakım olmadan reaktif onarımlar ve maliyetler artar. Konukların memnuniyeti, tesisler beklendiği gibi korunmadığında ve kullanılmadığında olumsuz etkilenebilir.



4. Bir BBYY yazılımını kullanmak, bakım yöneticilerinin standartlaştırılmış bir önleyici bakım planına sahip olmasını ve işlerin üreticinin önerisine ve endüstri standartlarına göre yapılmasını sağlar. Arızalar gerçekleştiğinde ve onarım gerektiğinde, BBYY bakım teknisyenlerine ve yüklenicilere anında bildirim yapabilir. Sorunlar daha hızlı çözülebilir.

5. Bakım yazılımı uygulamaları, yöneticilerin servis isteklerini, önleyici bakımı sistemlerindeki kontrol ve onarımları kolayca planlamasını sağlayacak bir takvim modülüne veya gösterge panosu sahip olmalıdır. Farklı alanlarda servis hizmetleri sunan birden fazla kullanıcı varsa, takvim panoları gün, hafta veya ay şeklinde planlanabilir. Birden fazla teknisyen ve uygulayıcı içeren daha büyük operasyonlar için, zamanlama modülüne sahip olmanın önemi artar. Tesis ve bakım yöneticileri, programların gerçek zamanlı görüntülenmesini ve hangi kaynakların mevcut olduğuna bağlı olarak görevleri güncelleme, zamanlama ve atama yeteneklerine ihtiyaç duyarlar. Dahası, bir BBYY yazılımı, yüklenicileri ve teknisyenleri gerçek zamanlı olarak bilgilendirecek ve güncelleyecek şekilde yapılandırılabilir.

6. BBYY yazılımları verimliliği artırırken ve maliyetlerin düşmesine yardımcı olur. Buna ek olarak, bakım yazılımları yöneticilerin otel bakım işlemini sağlıklı bir şekilde yürüterek daha iyi kararlar vermelerini sağlar. Bu durumun büyük bir maliyet tasarrufu sağladığı uygulamalarla görülmüştür. Yöneticiler, Anahtar Performans Göstergeleri (APG) belirleyebilir ve bu ölçümleri kolay okunan gösterge panolarında veya grafiksel raporlama araçları aracılığıyla görüntüleyebilirler. Bunlardan bazıları; gecikmiş ve kritik iş emirlerinin sayısı, çalışanların kullanım oranları ve performansı, zaman içindeki bakım maliyetleri, onarım tarihçesi ve ekipman üzerindeki maliyetler, varlık amortismanı, stok seviyeleri ve yüklenicinin yanıt süresi ve masrafları hakkında bilgiler de sunabilir.

BBYY sistemleri 100 veya daha fazla üniteye sahip bir otel veya tatil köyün veya birden fazla konaklama sistem için uygun yazılımlardır. Etkili bir bakım programının anahtarı, manuel işlemleri otomatikleştirme, iş emirlerini planlama ve düzenli olarak planlanmış önleyici bakım gerçekleştirilmesidir. Bir BBYY yazılımı sayesinde otel ve tesis yöneticileri bakım taleplerini yönetebilir ve daha hızlı yanıt verebilir, ekipman ve tesislerin çalışmama süresini kısaltabilir, personel ve müteahhitleri daha iyi kullanabilir, maliyetleri azaltabilir ve nihayetinde müşterilerin beklentilerini karşılayabilir.

Otel işletmesinde bakım departmanında çalışabilmek için sahip olunması gereken nitelikler ve beceriler:

Çırankan, bakım yöneticisine kadar bakım ekibi üyesi herkesin olaylara mühendislik bakış açısı ile yaklaşması sağlanmalıdır. Bakım ekibinde bulunan herkesin, ayrıca, otel işletmecisini, tesis içindeki misafir ve personelin ihtiyaçlarını anlaması ve bilmesi konusunda eğitim alması gerekebilir.

Başarılı bakım personelinin aşağıdaki becerilere sahip olması beklenir:

- Proje yönetimi becerileri
- Araştırma becerileri
- Satın alma ve pazarlık becerileri
- Zaman yönetimi ve çoklu görev becerileri
- İşe esnek ve yenilikçi bir yaklaşım
- Problem çözme yetenekleri

8. Konaklama Tesislerinde Bakım ve Enerji Tasarrufu İlişkisi

Çevre bilincinin artmasına bağlı olarak, oteller de daha çevre dostu hale gelmeye başlamıştır ve bunun sağlanabilmesi için ise daha fazla enerji verimliliği sağlayan prosedürlerin uygulanması ve ekipmanların yanı sıra en iyi uygulamaların kullanıldığı bakım departmanlarına büyük rol düşmektedir. Enerji tasarrufu sağlayan kaynakların birçoğunun bakım ekipleri tarafından değiştirilmesi veya kurulması gerektiğinden, her yıl maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak için yeni ve yenilikçi yollar konusunda bakım ekibinin bilgilendirilmesi yararlı olacaktır.

Otellerde enerji verimliliğinin sağlanması için birçok çalışma yapılabilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

Kat Hizmetleri Bölümünde

- Odalar temizlenirken veya kullanılmıyorken ışıkları, klimaları veya ısıtıcıları kapatmak.
- Nevresim ve havluları daha düşük sıcaklıkta yıkamak
- Su sızıntılarının tespit edildikleri anda rapor edilmesi. (tuvaletler veya musluklar)

Odalarda

- Düşük akışlı duş başlıkları ve havalandırıcıların banyolara takılması.
- Düşük debili veya çift sifonlu tuvaletlere geçiş ve tuvalet kapakçıklarının sızdırmadığından emin olunması
- LED aydınlatmayı kullanma

Genel bina ve genel alanlarda:

- HVAC sistemleri ısıtma ve soğutmanın yanı sıra filtrasyon, temiz hava ve nem kontrolü de sağlar. Gerektiğinde şartlanma alanını önlemek için bir enerji yönetim sistemi (EYS) kullanmak önemlidir.
- HVAC ısıtma ve iklimlendirme ünitelerinin, ısı pompaları gibi daha yüksek enerji verimli teknolojiler içerecek şekilde değiştirilmesi.
- Sıcak su havuzları için güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kullanılması.
- Aydınlatma için günışığı sensörlerini kullanarak, yalnızca karanlık olduğunda aydınlatma sisteminin yanmasının sağlanması
- Standart ampullerin, standart ampullere göre daha uzun ömürlü ve yaklaşık% 75 daha az enerji tüketen kompakt flüoresan ampullerle değiştirilmesi.
- Isıtma ve soğutma ekipmanlarına düzenli olarak bakımlarının yapılması.

9. Sonuç

Konaklama tesislerinde en önemli konulardan birisi şüphesiz müşteri memnuniyetinin sağlanmasıdır. Bunun için tesisin kendisinin ve tesisteki bütün makine, ekipman ve cihazların sorunsuz çalışır olmasının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla konaklama tesislerinde bakım ekiplerinin kurulması ve çalıştırılması gerekmektedir. Uygulanacak bakım yöntemi işletmenin kapasitesine göre değişim göstermektedir. Son yıllarda özellikle büyük tesisler için geliştirilen bakım yönetim yazılımları da hizmete sunulmuştur. Bakım konusu bir yönetim sistemi olarak gelişmeye başlamıştır.

Tesislerde bakım yönetim sisteminin kurulması ve işletilmesi hem arızaların önüne geçmekte hem de cihazların kullanım süresini artırmaktadır. Bakım yapılması ve bakım yönetim sisteminin uygulanmasının, maliyetleri azalttığı da yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur.

10. Kaynaklar

1. Borsenik F, Stutts A (1997) The management of maintenance and engineering systems in the hospitality industry (4thedn). USA.
2. Chan KT, Lee RHK, Burnett J (2001) Maintenance performance: a case study of hospitality engineering systems. 19: 494-504.
3. Chan KT, Lee RHK, Burnett J (2003) Maintenance Practices and Energy Performance of Hotel Buildings. Strategic Planning for Energy and the Environment. 23: 6-28.
4. Chanter B, Swallow P (2007) Building Maintenance Management. Blackwell Publishing. UK.
5. EM, 2019, Engineering Maintainece, Main Duties and Tasks of Engineering and Maintenance Department, <https://setupmyhotel.com/job-description-for-hotels/bo-n-others/553-engineering-dept-duties.html>
6. Feuillherade, N., 2016. The role of the Maintenance Department in Hotels, <https://www.hotelschool.co.za/role-maintenance-department-hotels/>



7. Francis WH, Yik WL, Lee, Ng CK (2001) Building Energy Efficiency and the Remuneration of Operation and Maintenance Personnel. 20: 406-413.
8. Ghazi KM (2016) Hotel Maintenance Management Practices. J Hotel Bus Manage 5: 136. doi:10.4172/2169-0286.1000136
9. Golub, D. 2015. Improve Hotel Maintenance Management using a CMMS, <https://www.hippocmms.com/blog/hotel-maintenance-management-with-cmms>
10. Hassanien A, Baum T (2002) Hotel repositioning through property renovation. Tourism and Hospitality Research. 4: 144-157.
11. Hassanien A, Losekoot E (2002) The application of facilities management expertise to the hotel renovation process. 20: 230-238.
12. HM, 2019, Hotel Maintenance, <https://www.onupkeep.com/learning/maintenance-applications/hotel-maintenance>
13. Jones, T. J., ve Zemke, D. M. V. (2010). Managing the built environment in hospitality facilities. Prentice Hall.
14. Kumar, S. A., ve Suresh, N. (2008). Production and Operation Management. 2nd Edition., New Age International.
15. Kumar, S. A., ve Suresh, N. (2008). PRODUCTION AND OPERATION MANAGEMENT. 2nd Edition., New Age International.
16. Lai, J. H. (2014). Investigating the energy performance and maintenance resources of quality hotels in Hong Kong. In Proceedings of CIB Facilities Management Conference (pp. 205-216).
17. Lai, J.H.K. (2013), "An analysis of the maintenance demand, manpower and performance of hotel engineering facilities", Journal of Hospitality & Tourism Research, Vol. 37, No. 3, pp. 426-444.
18. Lai, J.H.K. and Yik, F.W.H. (2012a), "Hotel Engineering Facilities: A Case Study of Maintenance Performance", International Journal of Hospitality Management, Vol. 31, No. 1, pp. 229-235.
19. Lai, J.H.K. and Yik, F.W.H. (2012b), "A Probe into the Facilities Maintenance Data of a Hotel", Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 33 No. 2, pp. 141-157.
20. Lee H, Scott D (2009a) Strategic and operational factors' influence on the management of building maintenance operation processes in sports and leisure facilities. Journal of Retail & Leisure Property. 8: 25-37.
21. Lee H, Scott D (2009b) Overview of maintenance strategy, acceptable maintenance standard and resources from a building maintenance operation perspective. Journal of building appraisal. 4: 269-278.
22. Machado, P., 2019, How to Utilise Preventive Maintenance in Hotels, <http://blog.infraspeak.com/preventive-maintenance-hotels/>
23. Machado, P., 2019. Understanding Hotel Maintenance Management, <http://blog.infraspeak.com/hotel-maintenance-management/>
24. Mattila AS, O'Neill JW (2003) Relationships between hotel room pricing, occupancy and guest satisfaction: A longitudinal case of a midscale hotel in the United States. Journal of Hospitality & Tourism Research 27: 328-341.
25. Potter, K., 2015. 12 Seasonal Maintenance Inspections for Hotels, <https://transcendent.ai/blog/asset-management/12-seasonal-maintenance-inspections-for-hotels/>
26. Richard C, Peter TP, Ling L, Fung F (2000) Enhancement of maintenance management through benchmarking. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 6: 224-240.
27. Techopedia, (2019). Predictive Maintenance, <https://www.techopedia.com/definition/32027/predictive-maintenance>
28. Zawawi EM, Kamaruzzaman S, Ali A, Sulaiman R (2010) Assessment of building maintenance management in Malaysia: Resolving using a solution diagram. Journal of Retail & Leisure Property. 9: 349-356.

KULLANIMDAKİ YAĞIN ANALİZİ İLE MAKİNELERDEKİ ARIZALARIN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİ

¹Cemal Meran*, ²Güngör Aydın, ¹Mert Yıkıcı, ¹Gülşah Yarımca
¹Cennet Gamze Aydın, ²İsmail Hız

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli
²Denizli Çimento, Bakım ve Mühendislik Müdürlüğü Bakım Planlama Şefliği
* İletişim yazarı; cmeran@pau.edu.tr

Özet

Makinelere yağ; soğutma, yük iletimi, temizleme, sürtünmeyi azaltma vs. gibi birçok amaç için kullanılabilir. Makine elemanlarının herhangi birinde meydana gelen aşınma sebepli malzeme kayıpları yağla beraber makine içinde yol almakta ve yağ haznesi girişindeki filtrelerce tutulmaktadır. Kullanımdaki yağın içine aşınma veya başka sebepli karışan elementlerin gerek kimyasal gerekse görüntüsel analizi ekipmanlarda oluşan aşınma ve kirlilik durumunu ortaya koyabilmektedir. Hatta analize göre bu aşınmanın hangi makine elemanında olduğunu bile kestirmek mümkündür. Bu çalışmada uygulamadan örnekler vererek kullanımdaki yağın analizinden makinelerdeki arızaların tespitinin nasıl yapılabildiği açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kestirimci bakım, yağ analizi, yağ, bakım, analiz

1. Giriş

Yağ analizleri, makinelerinin ömrünü ve verimliliğini arttırmak, bakım masrafları ve zaman kaybını önlemek için kullanılan bir koruyucu bakım yöntemidir. Yağ analizleri ile tüm kullanılmış yağlar; motor, şanzıman, diferansiyel, hidrolik sistem, redüktör ve açık sistem vb. yağları analiz edilebilmektedir. Bu analizler, sadece yağın durumunu değil, makine ve makine parçalarının durumunu da değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. Kestirimci bir bakım programının başarısı, işletmeye getirdiği maddi kazançla ölçülebilir. Yağ analizlerinin uygulaması ucuz, çabuk ve kolay olduğu gibi, aynı zamanda çok önemli tasarruflar sağlayabilmektedir. Yağ analizi, kullanılan orijinal yağ ve filtrelerinin yüksek performans özellikleri ile birleştiğinde makineler için mümkün olabilecek en iyi bakım programının temellerini oluşturur. Yağ analizi, tıpkı bir kan tahlili gibi, makine ve motorların içinde neler olduğunu görmenin en hızlı, en kesin ve en güvenilir yoludur. Böylece büyük arızalar oluşmadan erken uyarı yapılabilmektedir (Url 1).

Modern bakım yönetiminin temel uygulamalarından biri olan yağ analizi: tüm işletmeler tarafından dikkat edilmesi ve ciddiyetle uygulanması gerekli olan bir kestirimci bakım yöntemidir. Son yıllarda klasik bakım tekniklerinin yetersiz ve yüksek maliyetli olmasından dolayı kestirimci bakım uygulaması işletmeler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. .



Bu çalışmada çoğunlukla bir çimento firmasından olmak üzere farklı sektörlerdeki uygulamalardan örnek alınarak kullanımdaki yağın analizinden yola çıkılarak makinelerdeki arızaların tespitinin nasıl yapıldığının açıklanmasına çalışılmıştır.

2. Kestirimci Bakım ve Yağ Analizi

Yağ makinelerde verimli çalışmayı sağlar. Mekanik parçalarda sürtünmeyi en aza indirger. Yağ ile çalışan birçok sistemde normal şartlar altında aşınma elementleri meydana gelir. Bu aşınma elementleri yağ analizinde de 10 mikron büyüklüğündeki parçacıklar şeklinde tespit edilir. Yağ analizinde genellikle sekiz element değerlendirilir. Bunlar: Cu, Fe, Cr, Pb, Al, Mo, Si, Na'dır. Silisyum (toz girişi) ve sodyum (su girişi) dışındaki tüm elementler makinelerin yapısında bulunmaktadır. Alınan numunelerdeki bazı elementler yağın içerisindeki katkı maddelerinden kaynaklanabilir (Acar, 2014)

Yağ analizi; yağdaki bozulmayı izleyerek, parçalarda oluşabilecek hasarın önüne geçilmesini sağlar. Yeni motor yağına geçildiğinde, temiz bir yağ numunesi yani referans yağ gerekmektedir. Yeni temiz yağ, infrared ışını kullanılan özel bir cihazla incelenip, temiz yağ bilgileri cihazın hafızasında saklanır. Cihaz matematiksel formüller kullanarak, kullanılmış yağ ile temiz yağ arasındaki farklılık miktarını karşılaştırır. Bu karşılaştırma sonucunda yağın durumunu belirler (Ateş, 2010).

Yağ analizi ile kurum, oksidasyon, nitrasyon ürünleri ve sülfür ürünleri (asitler) tespit edilir. Bununla beraber yakıt, su ve antifriz karışması da belirlenebilmektedir. Yağ analizi sonuçlarına bakılarak; kullanılan yağın ne kadar bozulduğu, kullanım şartlarına uygunluğu belirlenebilir. Bu sayede büyük boyutlardaki arızalar erken teşhis edilip, büyük arızalar haline dönüşmeden onarılabilir, para ve zaman tasarrufu sağlanır (Acar, 2014).

Yağ analizi iş yüküne uygun şekilde bakım programının yapılmasına yardımcı olur. Gereksiz periyodik bakımları ortadan kaldırır. Onarımlar, arıza süresi ve makine ömrünü tahmin ederek bütçenin daha iyi düzenlenmesini sağlar ve her bir makine için eksiksiz bir servis geçmişi kaydını belgeler. Yağ analizinde parçaların durumu gözlemlenmesi için düzenli zaman aralıklarında yağ numunesi almak gerekir. Bütün test sonuçları, yağın kaç saat kullanıldığı göz önüne alınarak değerlendirilir (Ateş, 2010).

Makinelerde kullanılan yağ insan vücudundaki kana benzetilmek istenir ise kesinlikle hata yapılmamış olur. İnsan vücudundaki kan değerleri sağlığımız hakkında bilgi verdiği gibi sistemde kullanılan yağlardan alınan örneklerde alınıp test edildiğinde makinelerin ya da makine parçalarının durumu hakkında bilgi verir. Sistemde bir yağlayıcı yoksa sistem çalışmaz; vücutta kan bulunmaz ise yaşamdan söz edilemez. Çünkü eğer sistemde bir yağlayıcı bulunmaz ya da yağlayıcı görevini yerine getiremez durumda ise sistem parçalarında kısa bir süre sonra genellikle adhezif aşınma sonucu kaynaklaşma meydana gelecek, sistem kitlenecek ve bir süre sonra duracaktır.

Genel olarak yağlama yağı, iki katı cisim arasında sürtünmeyi en aza indirerek kolay hareket sağlamak için kullanılan maddedir. Yağlayıcılar bu işi yüzeylere yapışarak, yüzeyleri kayganlaştırarak ve sürtünen yüzeyler arasında saç telinden daha ince bir film tabakası oluşturarak yaparlar. Bu film tabakası mekanik parçalarda genellikle 10 mikronluk bir düzeyde seyrederek ki bu büyüklük insan vücudunda bulunan bir kan hücresinin boyutuna eşittir. Bu yağ filminin temiz ve sağlıklı şekilde görevini yerine getirmesi son derece önemlidir. Yağın görevini yerine getirip getirmediğini anlamının birçok yolu vardır. Bu metotlardan bazıları spektrometrik analiz, ferrografik yöntem, renkoku analizi, viskozite analizi vb'dir.

Yağ analizi sadece kullanımda olan yağa uygulanmamalıdır. Genellikle işletmeye yeni giren yağların zaten temiz, standartlara uygun olduğu düşünülür. Ancak bu düşünce yanlış, sonuçları pahalıya patlatabilir. Tesise yeni gelen yağın uygun özelliklerde ve temiz olduğunu anlamak için parçacık analizi yapılmalı yağ katkı maddelerinin oranları, yağın nemi ve viskozitesi belirlenmelidir. Yine stokta bekleyen yağlar düzenli olarak kontrol edilmeli, dik konumda bulunan yağlar düzenli periyotlar ile yatay konuma çevrilip eksenine etrafında döndürülmeli, katkı maddelerinin çökelti oluşturması ve heterojen bir karışıma neden olması engellenmelidir. Yine yapılan yanlışlarda çok büyük yere sahip olan olgu ise kullanımda olan yağı sistemden tamamen uzaklaştırmadan yeni yağı sistem üzerine eklemektir. Ve bu yanlış genellikle daha önce sisteme farklı tür özellikteki yağları eklemek için kullanılan yağdanlıklarda ya da yağ eklemek için gerekli olan malzemelerin temizlenmeden kullanılması ile baş gösterir.

Yağ analizi ile makinelerin kestirimci bakımı üzerine literatürde az sayıda olsa da çalışmalara rastlamak mümkündür. Dalkılıç ve Tanatmış (2003) yaptığı çalışmada pistonlu uçak motorlarında kullanılan yağların özellikleri ve yağ sistemleri incelenmiştir. Yaklaşık 25 saatlik çalışma süresi sonunda emme sisteminin kirliliği veya diğer nedenler yüzünden normalin üzerinde aşınma oluşmadıkça metal içeriği hızla sabit olan bir değere düştüğünü gözlemlemiştirlerdir. 900 saatte 10 ppm'den 500 ppm'e çıkan bakır içeriği aşınma oranı ellerindeki motorda ciddi yatak aşınması olduğunu gözlemlemiştirlerdir. Bir sonraki kontrol bu olayın varlığını kanıtlamış ve önemli bir aksaklık önlemiştirlerdir. Uras (2003) tarafından yapılan bir çal çimento değirmenin redüktör ve boyun yataklarına mineral yağlar yerine sentetik yağlayıcılar koymuşlardır. Sıcaklıkların 4 °C ile 5 °C arasında düşmesi sürtünmelerin dolayısı ile aşınmaların, beraberinde azaldığını göstermişlerdir. Enerji tasarrufunun oranı yaklaşık yüzde üç olarak tahmin etmişlerdir. Gökalp (2007) yaptığı çalışmada, motor aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelemiştirlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar, motor yağlarının kullanıldığı sistemlerde motor bünyesinde oluşabilecek aşınmaya bağlı hasarların yapılacak düzenli yağ analizleri ile daha önceden tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Yağın metal seviyesinde anormal bir artış gözlemlendiğinde, oluşan partiküllerin kimyasal yapısı problemin hangi kısım olduğunu göstermişlerdir. Bazı metalik elementlerin varlığı olması muhtemel arızanın habercisi olduğunu açıklamışlardır. Bazı metal elementlerin varlığında oluşabilecek hasarların önceden belirleyicisi olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında, deneylerde bahse konu yağın metal değerlerinde anormal bir artış gözlenmemiş ancak, performans değerlerinde anormal bir durum var ise, yağın değiştirilmesi gerektiğini açıklamışlardır. Durak (2005) yaptığı deneysel çalışmada, kullanılmış motor yağlarının sürtünme katsayıları yönünden fazla bir kayıpları olmadığı, kullanılmış yağların içerisinde kirlilik oluşturan maddelerin uzaklaştırılıp, ilave katkı maddesi ve işlemlerle yeniden kullanılabilirliği belirtilmiştir. Erol (2015) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, arıza başlangıcı ana sebeplerine etki eden faktörler incelemiş ve durum izleme teknikleri üzerinde durmuşlardır. Titreşim analizi sonuçlarına göre; yağsızlık kusurunun oluşması neticesinde titreşim genliklerinde ve RMS değerlerinde artış tespit etmişlerdir. Yağsızlık kuru altında hem rulman kaynaklı sinyallerin baskınlığında hem de titreşim genlikleri ve RMS değerlerinde artış meydana geldiğini görmüşlerdir. Özellikle rezonans durumunun meydana gelmesinde yağsızlık durumunun etkili olduğu düşünülmüştür. Elektrik tüketim analizi sonuçlarına göre; yağsızlık testleri esnasında kusur tespiti trend analiziyle yakalanamamıştır. Elektriksel PSD analizi ile kusur başlangıçları tespit edebilmişlerdir. Köksal (2012) yapmış olduğu tezinde, madencilikte kullanılan iş makinelerinin hidrolik sistem ve diferansiyellerindeki yağları belirli periyotlarla incelenerek, yağların ve makine parçalarının performansı belirlemiştirlerdir. Buna göre, malzeme ve işgücü kaybını azaltarak hidrolik sistem ve yükleyici diferansiyellerinin çalışma süresi ve işletme veriminde artış elde etmişler. Bu ortamlardaki yağın temiz ve uzun süreli kullanımını sağlamışlardır. Yağ analiz sistemi yardımıyla hidrolik sistemlerde iki diferansiyellerde ise beş kat daha uzun süreli yağ tüketimi elde edilerek temiz bir çevre için önemli oranlarda katkı sağlamıştır. Yağ analiz yöntemi uygulanarak sistemde kullanılan hidrolik ve diferansiyel yağlarının kullanım sürelerinde artış elde etmişlerdir. Aydın (2018) yaptıkları çalışmalarında; çimento fabrikalarında uygulanan kestirimci bakım yöntemleri, kullanılan cihazlar ve saha uygulama örneklerini sunmuşlardır. Çimento değirmeni ünitesindeki bulunan separatör redüktöründen alınan düzenli yağ numunelerinin analiz grafikleri ve sonuçları bulunmuştur. Yağ analizleri sonucuna göre silisyum, demir ve kalsiyum değerlerinde ciddi derecede artış, viskozite değerlerinde düşüş olduğu için son analiz sonucuna göre yağ değişimi kararı almışlardır. Yağın içerisindeki silisyum, demir ve kalsiyum elementlerinin kaynağı araştırıldığında çimento katkı maddelerinden kaynaklandığı ve redüktörün sızdırmazlık elemanlarındaki aşınma neticesinde yağa karıştığı, bu kirlenme sonucunda rulmanlarda aşınmaya sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kapsamda redüktör bakıma almış ve sızdırmazlık elemanlarının ve rulmanların gerekli bakımlarını yapmışlardır. Yıldırım (2006) yaptığı çalışmada, TCG Turgutreis Fırkateyni'ne ait ana makinelerin (MTU 20V 1163 TB 93) yağ değişim periyodunu belirlemiştir. Makinelerde 390 çalışma saati boyunca standart yağ analiz metotları ile incelemeler yapılmıştır. Testlerde SAE 30 yağı kullanmıştır. Yağdan alınan numunelere uygulanan testler ve maliyet analizi sonucunda yağdaki demir aşınma elementi konsantrasyonuna göre yağ değişim aralığı 500 ile 1150 saatleri arasında, optimum yağ değişim periyodu ise 775 saat olarak tespit etmiştir. Orhan (2009) çalışmasında, yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakımda motor arızalarının tespitini incelemiştir. Çalışmasında iş makinelerine ait altı adet motor, bir adet şanzıman, üç adet hidrolik sistem ve üç adet diferansiyel incelemiştir. Belirtilen ünitelerden standartlara uygun olarak alınan yağ numuneleri yağ analiz laboratuvarlarında incelemiştir. Yağın kirlilik derecesi ve yağın kirlenmesine neden olan (su, mazot, toz girişi, kurum, aşınmış parçacıklar vb.) sebepler araştırılmıştır. Bakım yönteminin uygulanmasıyla iş makinelerinin tamir bakım masraflarında önemli miktarda azalma, çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır. Sonuçta makinelerdeki arızalar önceden tespit edilerek, gerekli önlemlerin alınması ile makinelerin arıza yapmadan verimli çalışması sağlamıştır.

Yağ analizinde yapılan parçacık testi sonuçlarına bakarak aşınma, sürtünme ve filtre arızaları gibi problemler tespit edilebilir. Eğer metal parçacık tayini yapılırsa, tespit edilen parçacıkların aşınma sonucu oluşan parçacıklar mı, kir mi ya da keçe parçacıkları mı oldukları belirlenebilir. Bu çalışmada Denizli Çimento fabrikasında farklı makineler-



de uygulanan yağ analizi sonuçları ve bu analiz sonuçlarından ne gibi çıkarımlarda bulunulduğu verilmiştir.

3. Kestirimci Bakımda Yağ Analizi Uygulamaları

3.1. Symetro Redüktör Dişlisi Yağ Analizi

Denizli Çimento fabrikasında bulunan bir symetro redüktör dişlisi üzerinde pitting aşınmaları gözlemlenmiştir. Sorunu tespit etmek üzere redüktörde halen kullanılmakta olan yağdan bir miktar alınarak analizi yaptırılmıştır. Yağ analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde Çizelge 2’deki sınır değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 1: Symetro redüktör dişlisi yağ analizi sonuçları

SONUÇLAR			
Numune Numarası	359160958	278549	290399
Numune Durumu	Normal	Normal	Aksiyon
Numune Tarihi	29/09/2017	03/09/2018	20/12/2018
Ekipman Ömrü	-	-	-
Yağlayıcı Ömrü	-	-	-
Tamamlama Hacmi	-	-	-
Yağ Boşaltma	Hayır	Hayır	Hayır
Görünüm (Özel)			
Görünüm	Berrak	Berrak	Puslu
Viskozite 40°			
Visk 40°C cSt	340.2	343.9	-
TAN (D 664)			
TAN (D 664) mg KOH/g	1.27	1.21	0.84
Su İçeriği (Aquatest)			
Su Miktarı (Aquatest) %	0.00	0.00	10.00
Metaller/İCP (Yağ)			
Demir (Fe) ppm	5	41	122
Krom (Cr) ppm	0	0	2
Nikel (Ni) ppm	0	0	0
Alüminyum (Al) ppm	0	3	3
Bakır (Cu) ppm	6	5	5
Kurşun (Pb) ppm	2	6	7
Kalay (Sn) ppm	16	2	9
Gümüş (Ag) ppm	-	-	-
Titanyum (Ti) ppm	-	-	-
Vanadyum (V) ppm	-	-	-
Silisyum (Si) ppm	3	22	17
Sodyum (Na) ppm	0	2	1
Potasyum (K) ppm	-	-	-
Molibden (Mo) ppm	-	-	-
Mangan (Mn) ppm	-	-	-
Lityum (Li) ppm	-	-	-
Boron (B) ppm	-	-	-
Magnezyum (Mg) ppm	-	-	-
Kalsiyum (Ca) ppm	-	-	-
Baryum (Ba) ppm	-	-	-
Fosfor (P) ppm	-	-	-
Çinko (Zn) ppm	-	-	-

Yağ Özellikleri

Visk 40°C cSt (Yellow line) and TAN (D 664) mg KOH/g (Green line) over time.

Aşınma

Alüminyum (Al) ppm (Red), Bakır (Cu) ppm (Blue), Kurşun (Pb) ppm (Black), Krom (Cr) ppm (Cyan), Demir (Fe) ppm (Purple) over time.

Bulaşanlar

Silisyum (Si) ppm (Red), Su Miktarı (Aquatest) % (Blue), Sodyum (Na) ppm (Cyan) over time.

Redüktör içerisinde ISO VG 320 standardında olan endüstriyel bir yağ kullanılmıştır. Yağ görünümü su fazlalığından dolayı puslu bulunmuştur. Yağ içerisinde bulunan su dışındaki diğer tüm elementler Çizelge 2’de verilen sınırlar içindedir.

Çizelge 2: Yağ analizinde kullanılan aşınma limitleri/sınır değerler

YAĞ ADI	Viskosite 40 Alt Alarm	Viskosite 40 Alt Uyan	Viskosite 40 Ust Uyan	Viskosite 40 Ust Alarm	Su Ust Alarm	TAN Ust Uyan	TAN Ust Alarm
Shell Tellus 32	27,20	28,80	32,00	35,20	0,05	1,00	1,50
Shell Tellus 37	31,45	33,30	37,00	40,70	0,05	1,00	1,50
Shell Tellus 46	39,10	41,40	46,00	50,60	0,05	1,00	1,50
Shell Tellus 68	57,80	61,20	68,00	74,80	0,05	1,00	1,50
Shell Tellus 100	85,00	90,00	100,00	110,00	0,05	1,00	1,50
Shell Omala 220	176,00	198,00	220,00	242,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala 320	256,00	288,00	320,00	352,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala 460	368,00	414,00	460,00	506,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala 680	544,00	612,00	680,00	748,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala HD 220	176,00	198,00	220,00	242,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala HD 320	256,00	288,00	320,00	352,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala HD 460	368,00	414,00	460,00	506,00	0,20	1,40	2,20
Shell Omala HD 680	544,00	612,00	680,00	748,00	0,20	1,40	2,20
Shell Tivela S 150	120,00	135,00	150,00	165,00	0,20	2,00	3,00
Shell Corena S 68	54,40	61,20	68,00	81,60	0,05	1,00	1,50

Na Ust Uyan	Na Ust Alarm	Cr Ust Uyan	Cr Ust Alarm	Pb Ust Uyan	Pb Ust Alarm	Ni Ust Uyan	Ni Ust Alarm	Sn Ust Uyan	Sn Ust Alarm	Fe Ust Uyan	Fe Ust Alarm	Si Ust Uyan	Si Ust Alarm	Al Ust Uyan	Al Ust Alarm	Cu Ust Uyan	Cu Ust Alarm
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
500,00	1000,00	20,00	40,00	100,00	200,00	10,00	20,00	30,00	60,00	500,00	1000,00	30,00	60,00	50,00	100,00	100,00	200,00
20,00	40,00	5,00	10,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00	15,00	30,00



Denizli Çimento fabrikasında incelenen, 1. çimento değirmeninde redüktör içerisinde yer alan dişlilerde, kapalı sistem içerisine keçelerden ya da sızdırmazlık elemanlarının görevini yerine getirememesi nedeni ile aşırı miktarda su sızmış ve geri dönülemez bir hasar meydana gelmiştir. Yağ içerisine su karışması ciddi pitting aşınmasına neden olmuştur. Bu sonuç redüktör içindeki tüm dişlilerin değişmesine sebep olmuştur.

3.2. Gale Yatağı Yağ Analizi

Döner fırının problemsiz bir şekilde çalışabilmesinin ön koşulu; yükün ringler aracılığı ile galelere düzgün bir şekilde dağıtılabilesidir. Bunun doğru bir bölünme ile gerçekleşebilmesi ise ring gale temasının tam olmasına ve fırın manto salımının olabilecek en az düzeyde kalmasına bağlıdır (Url 2). Yaklaşık 64 m uzunluğundaki bir çimento fırınının çalışmasında gale adı verilen destek elemanları çok önemli yer tutulmaktadır. Galelerde bir kırılma meydana gelirse çimento fırını çalışmaz hale gelmekte ve ciddi üretim kayıplarına sebep olabilmektedir. Galeyi oluşturan role ve milleri yüksek alaşımli çelik malzemeden döküm veya dövme yöntemi ile imal edilmektedir (Url 3).

Çizelge 3: Çimento fırını gale yatağı yağ analizi sonuçları

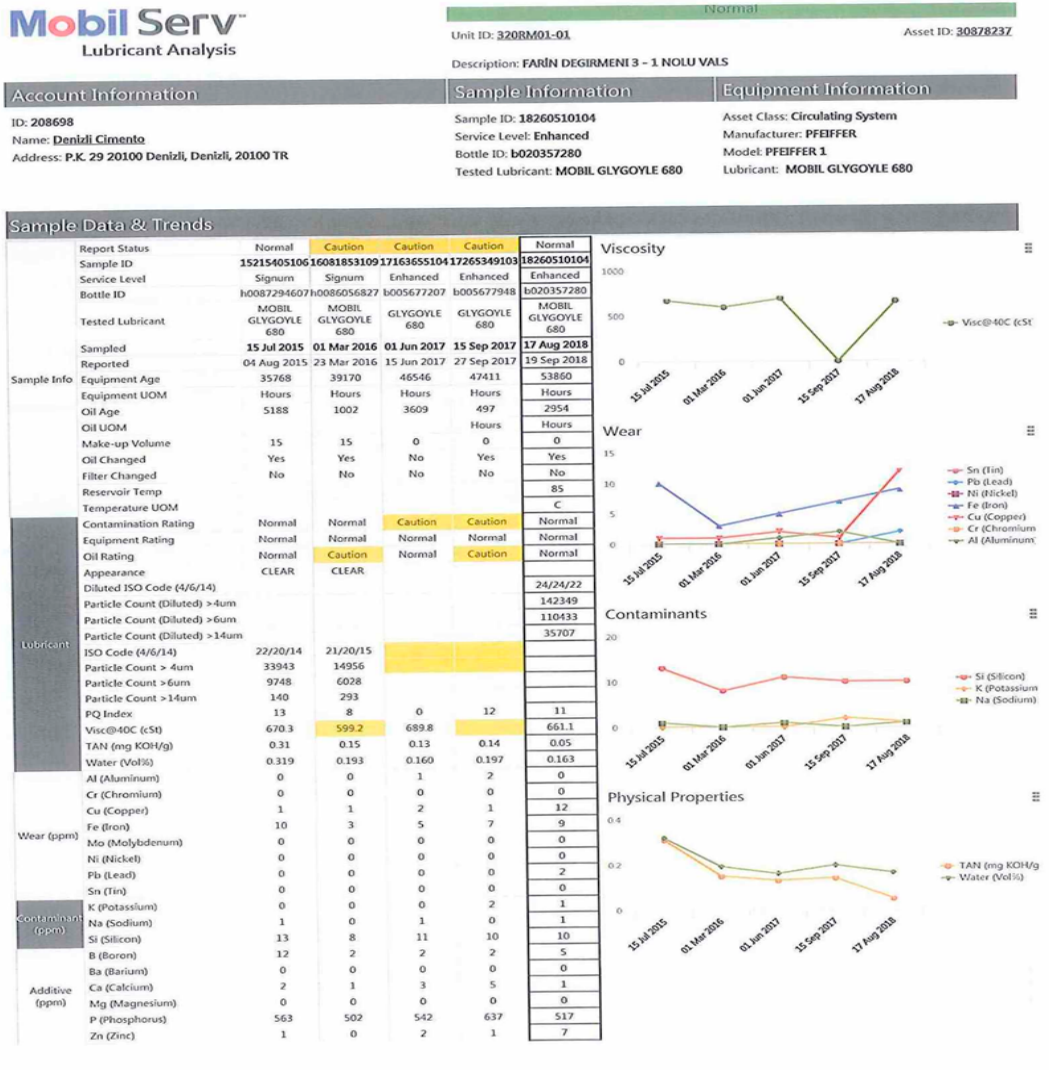


Çizelge 3’de gale yatağının analiz sonuçları gösterilmiştir. Mil-yatak mekanizması içerisinde ISO VG 680 yağı kullanılmıştır. Sistem aksiyon haline gelmeden uyarıda iken hasarlanmıştır. Aşınma elementleri normalin üzerindedir. Demir miktarı normalin üzerindedir ve gittikçe artmaya devam etmektedir. Silyum değeri analizdeki dış ortamdan gelen parçacıkları ifade etmektedir. Bu değer ihmal edilebilecek seviyededir. Bu demektir ki etraftan gelen toz parçaları ihmal edilebilir değerdedir. Uyarı iki grubu ayrılır. Alt uyarı ve üst uyarı. Alüminyum değeri üst uyarıya çok yakın değer de çıkmıştır. Bunun sebebi; gale yatağı içerisinde bulunan alüminyum malzemeden imal edilmiş parçalardan kaynaklanmaktadır.

3.3. Farin Değirmeni Valsi Yağ Analizi

Çimento fabrikalarında öğütme amaçlı kullanılan iş istasyonlarından biri de farin değirmenleridir. Farin; Fransızca “un” anlamına gelen “farine” sözcüğünden alınmıştır ve Türkiye’de, çimento üretiminde hammaddelerin döner fırına girmeden önceki öğütülmüş, ince durumunu tanımlamaktadır. Çizelge 4’de bir farin değirmeniye ait yağ analizi verilmiştir.

Çizelge 4: Farin değirmeni valsini yağ analizi sonuçları

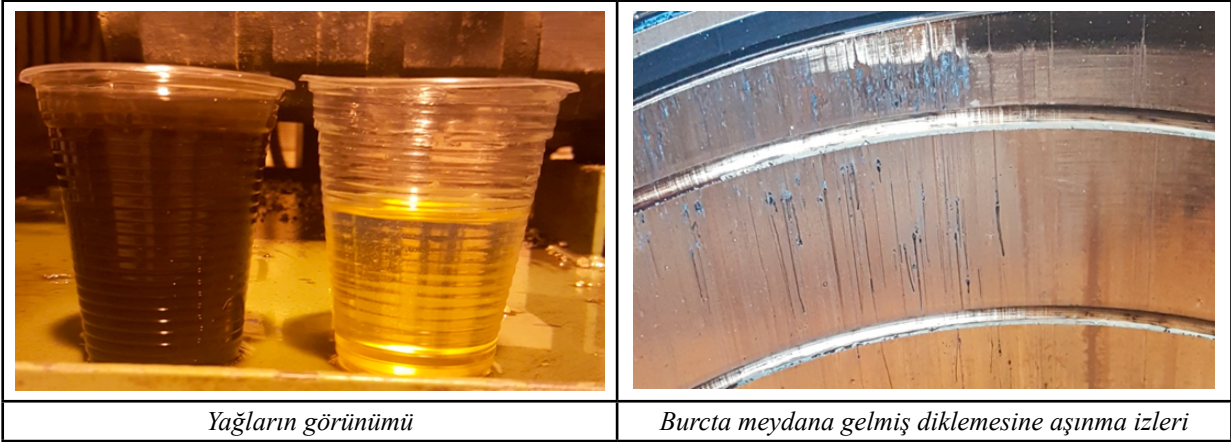


Farin değirmeninin valsinde ISO VG 680 yağı kullanılmıştır. Bu valsin her 3 ayda bir yağ analizi yapılmaktadır. Yağ analizleri Denizli Çimento Fabrikasında her sistem için gereklilik görülmediği takdirde her 3 ayda bir düzenli olarak yağ analizi üzerine hizmet veren firmalara gönderilip incelenmesi yaptırılır. Yapılan inceleme sonuçlarına göre değişim yapıp yapılmayacağına karar verilir.

Çizelge 4’de verilen yağ analizi sonuçları göz önüne alındığında Çizelge 2’deki aşınma limitleri sınır değerlerini geçmediği görülmektedir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere farin değirmeni ve diğer parçaların mekanik kon-disyonlarında bir sıkıntı olmadığı çalışmalarında herhangi bir sorun olmadığı parçaların durumunun iyi olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında vals yağının değişimine gerek yoktur. Bundan dolayı vals yağı değiştirilmeden kullanılmaya devam edilebilir.

3.4. Farin Değirmeni Piston Mil Boğaz Burc Yağ Analizi

Yağ analiz yöntemlerinden bir diğeri de yağın görünümüdür. Şekil 1’deki hidrolik piston mil boğaz yataklamasında kullanılan yağlardan soldaki kirli sağdaki temiz yağdır. Farin değirmeni piston mil boğaz burcuna ait yağ analizi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir.



Yağların görünümü

Burcta meydana gelmiş diklemesine aşınma izleri

Şekil 1: Hidrolik piston mil boğazında kullanılmış kirli ve temiz yağa ait görünümler ile burçta meydana gelmiş aşınma izleri

Çizelge 5: Farin değirmeni piston mil boğaz burc yağ analizi sonuçları

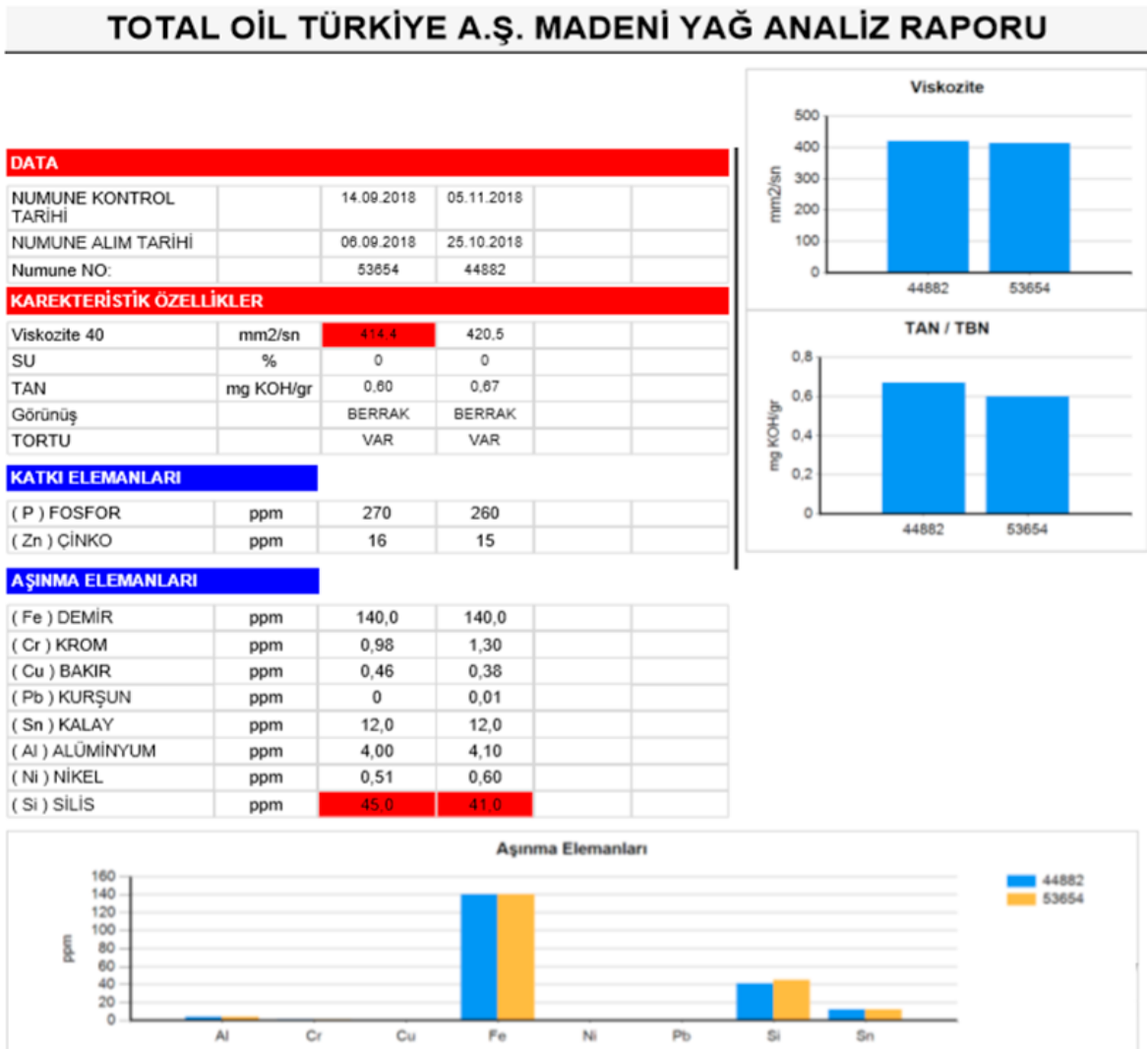
Numune Numarası	359923178	359935888	359713145	359160972	278547	290367
Numune Durumu	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon	Dikkat	Aksiyon	Aksiyon
Numune Tarihi	09/03/2016	09/06/2016	06/01/2017	29/09/2017	03/09/2018	20/12/2018
Ekipman Ömrü	-	-	-	-	-	-
Yağlayıcı Ömrü	-	-	-	-	-	-
Tamamlama Hacmi	-	-	-	-	-	-
Yağ Boşaltma	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Görünüm (Özel)						
Görünüm	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak
Görünüm + Renk						
Renk (D 1500)	-	-	-	-	-	-
Viskozite 40°						
Visk 40°C cSt	47.0	46.6	46.8	46.8	46.9	46.8
TAN (D 664)						
TAN (D 664) mg KOH/g	0.51	0.57	0.35	0.41	0.29	0.33
Su İçeriği (KF)						
Su Miktarı (KF) ppm vol	0	0	0	0	0	0
Metaller/ICP (Yağ)						
Demir (Fe) ppm	21	17	39	27	67	109
Krom (Cr) ppm	5	4	11	4	20	33
Nikel (Ni) ppm	0	1	1	0	1	0
Aluminyum (Al) ppm	0	1	4	0	4	3
Bakır (Cu) ppm	11	12	26	29	71	64
Kurşun (Pb) ppm	1	1	2	0	1	1
Kalay (Sn) ppm	2	1	2	1	3	7
Gümüş (Ag) ppm	0	1	1	0	1	0
Titanyum (Ti) ppm	0	0	0	0	1	0
Vanadyum (V) ppm	0	0	0	0	0	0
Silisyum(Si) ppm	1	0	10	0	7	13
Sodyum (Na) ppm	1	0	2	0	1	0
Potasyum (K) ppm	-	-	-	-	-	-
Molibden (Mo) ppm	0	0	0	0	0	0
Mangan (Mn) ppm	0	0	1	0	2	2
Lityum (Li) ppm	0	0	0	0	0	11
Boron (B) ppm	7	2	1	0	0	2
Magnesyum (Mg) ppm	10	7	16	8	14	12
Kalsiyum (Ca) ppm	36	27	81	39	62	96
Baryum (Ba) ppm	0	0	0	0	0	0
Fosfor (P) ppm	230	160	285	217	252	263
Çinko (Zn) ppm	253	179	277	247	345	249
Particle Count (SAE AS4059)						
ISO 4406 (1999)	21/20/15	21/19/11	20/17/12	15/13/9	24/21/12	24/23/13
SAE AS4059 Code	-	-	-	-	-	-
SAE AS4059 > 4µm Code	12	12	10	5	12	12
SAE AS4059 > 6µm Code	11	11	8	4	12	12
SAE AS4059 >14µm Code	9	6	6	4	6	7
SAE AS4059 >21µm Code	9	0	0	0	8	6
SAE AS4059 >38µm Code	0	0	0	0	10	0
SAE AS4059 >70µm Code	0	0	0	0	0	0
Milipor Tortu (0.8µ)						
Milipor Tortu (0.8µ) mg/100ml	-	-	-	-	-	-

Farin değirmeni piston mil boğaz burc kullanılan yağ ISO VG 46'dır. Şekil 1'de kirli yağ 5 mikronluk özel bir filtreden 2-3 gün boyunca devamlı geçirilirse yaklaşık olarak temiz yağ şekline gelebilir. Kirli yağ içerisinde bulunan makine parçaları ve sistemden gelen pislikten dolayı rengi koyudur. Bunun sebepleri incelendiğinde; piston mil boğazına gelen toz parçalarının mil yüzeyi ve keçelerde deformasyona sebep olmasıdır. Keçe deformasyonu sonrasında yağın içerisinde dış ortam kaynaklı toz girişi olmakta ve yağın özelliğini yitirmesine sebep olmaktadır. Yağın kirlenmesi aşınma süreçlerini daha çok hızlandırmaktadır. Keçelerin dudaklarında meydana gelen aşınmalar sonucunda partiküller daha rahat bir şekilde içeri girer ve bundan dolayı aşınma oranı daha fazla artar. Sistemde bulunan bir filtre sisteminden geçen yağ tam olarak temizlenemez. Bu sistemde kullandığımız filtremizin boyutu 10 mikrondur. 10 mikrondan küçük parçalar bu filtreden geçer ve yağın tam olarak temizlenmemesine sebep olur.

3.5. Kovalı Bant Redüktörü Yağ Analizi

Çizelge 6'da kovalı bant redüktörünün yağ analiz sonucu gösterilmiştir. ISO VG 460 standartlarında endüstriyel bir yağ kullanılmış olan kovalı bant redüktörünün yağ analiz sonuçlarına bakıldığında; silis seviyesinin limit değerde olduğu görülmektedir. Yağ içerisinde herhangi bir su varlığı tespit edilmemiştir. Yağ viskozitesi silisyum değerinin fazlalığından dolayı yükselmiştir. Diğer tüm element ve katkı değerleri nominal düzeydedir. Redüktör içerisindeki yağ boşaltılmış, redüktör içerisi temizlendikten sonra temiz yağ ile dolmuştur.

Çizelge 6: Kovalı bant redüktörü yağ analiz sonucu





4. Genel Değerlendirmeler

Endüstriyel tesislerde yağ kullanımının amacı; makinelerde ve ekipmanlarda birbiri ile temas eden iki metal yüzey arasında yağ filmi oluşturarak bu yüzeylerin birbiri ile olan temasını kesmektir. Bu, sistemlerin yağ filmi üzerinde güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Böylece makine ekipmanlarında oluşabilecek ısınma ve sürtünmeden kaynaklanan deformasyonların ve aşınmaların önüne geçilebilecektir. Anlaşıldığı üzere yağ, bir makinenin verimli ve sağlıklı çalışabilmesi için en önemli unsurlardan biridir. Yağ seçimi yapılırken çalışma ve ortamının sıcaklığı, hangi devirlerde, hangi yatak yükü altında, titreşim ve salınım gibi dış etkiler dikkate alınarak uygun bir yağ seçiminin yapılması önemlidir. Bu koşullar göz önüne alınarak belli periyotlarda görsel kontrol ve laboratuvar ortamlarında yağ analizi yapılır. Yapılan bu analizlerdeki ve görsel kontrollerdeki bulgular ile meydana gelen arızaların, deformasyonların, aşınmaların vb. problemlerin tespit edebilmesi mümkündür.

5. Kaynaklar

Acar, G. 2014. “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kestirimci Bakım Yöntemleri ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli

Ateş, M. G., Yağ Analizi, İş Makineleri Mühendisleri Birliği Dergisi, 2010, 3,40 – 50

Aydın, G., Meran, C., 2018. “Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi ve Önlenmesi”, Mühendis ve Makina, cilt 59, sayı 692, s. 48-67.

Dalkılıç, S., Tanatmış, A.A. 2003. “Pistonlu Uçak Motorlarında Yağlama Sistemleri, Bakımı ve Yağ Analiz Programlarının Uygulanması”, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 16 – 19 Ekim 2003, Denizli Kongre ve Kültür Merkezi, Denizli

Erol, S. S. 2015” Dinamik Sistemlerin Kestirimci Bakımına Etki Eden Faktörlerin Durum Bazlı İncelenmesi”, Doktora, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Gökalp, B., Saraç, i.B., Çelik, C. 2007. “Yağ Analiz Programı ile Aşınmaya Bağlı Hasar Analizi”, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım, İstanbul

Köksal, N. S., Orhan, A. 2012. “İş Makinelerindeki Yağ Tüketimini Azaltmada Yağ Analizi Yönteminin Etkisi”, I. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi Programı, 3 Mayıs, Uşak Üniversitesi, Uşak.

Müjdeci, S., 2009.”İçten Yanmalı Motorda Ticari Yağ Katkı Maddelerinin Sürtünme, Aşınma ve Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Doktora, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Orhan, A., “Yağ Analiz Yöntemiyle Yapılan Kestirimci Bakımda Motor Arızalarının Tespiti”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa

Tuğaç, M.B. 2006. “Geri Kazanılmış Motor Yağlarının Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Uras, A. 2003. “Sentetik Yağlayıcılarla Bakım Giderlerinin Azaltılması”, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, Temmuz, Denizli.

Yıldırım, E., “TCG Turgutreis Fırkateynine ait Ana Makinelerin (MTU 20V 1163 TB 93) Yağ Değişim Periyodunun Belirlenmesi”, Yüksek Lisans, T.C. Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

Url 1 <http://www.ismakinalari.org.tr/tr/article.asp?id=170>

Url 2 <http://www.ozekmakina.com/doner-firinlarda-ring-gale-problemleri-ve-cozum-yontemleri/>

Url 3 http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/BDM/uygulamasunulari/4-Gale-siki_gecme_-_soru.pdf

MAINTENANCE 4.0 FROM DATA AQUISITION TO DECISION-MAKING

¹Prof. Dr. Luca Fumagalli

¹Assistant Professor - Department of Management, Economics and Industrial Engineering
luca1.fumagalli@polimi.it
Politecnico di Milano, ITALY
www.industry40lab.org



 @SMART4CPPS

 @Smart4cpps

This research is supported also by
Smart4CPPS Project

REALIZZATO CON IL SOSTEGNO DI



POR FESR 2014-2020 / INNOVAZIONE E COMPETITIVITÀ



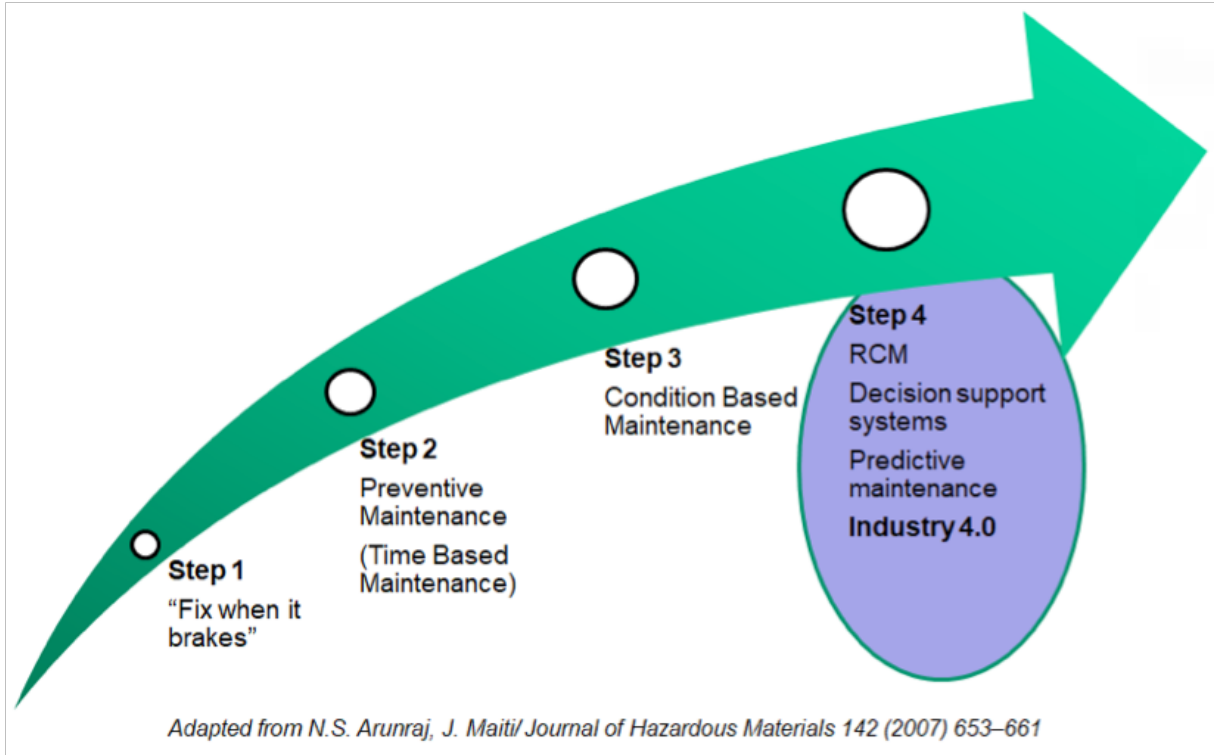
Maintenance 4.0

Maintenance is defined as:

“The combination of all technical, administrative and managerial actions during the life cycle of an item intended to retain it in, or restore it, to a state in which it can perform the required function.”

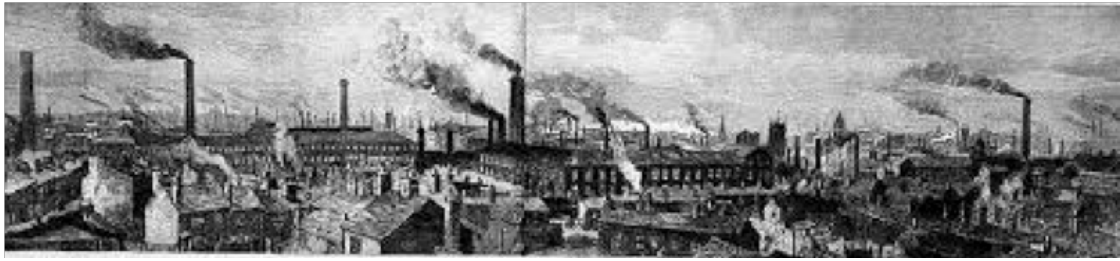
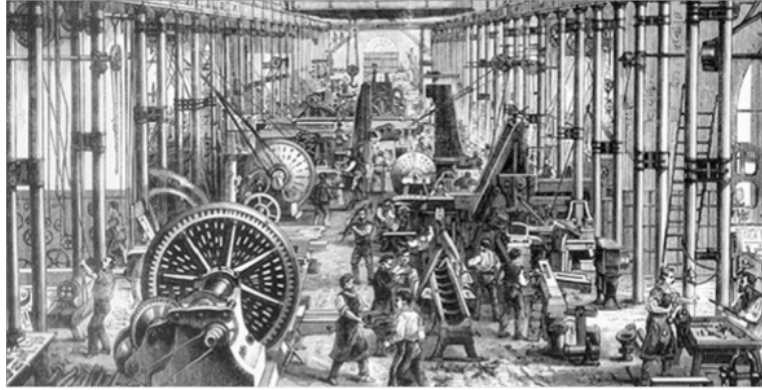


How was foreseen the evolution to Maintenance 4.0?



Evolution of Industry

1° Industrial Revolution: First idea of factories



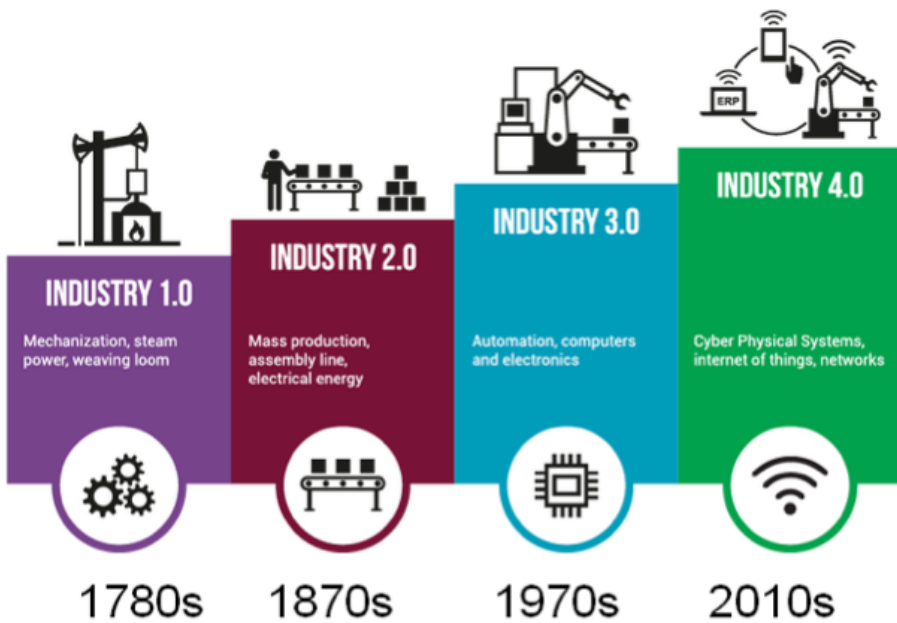
2° Industrial Revolution: Between 1870 and 1914: Electricity, Mass production



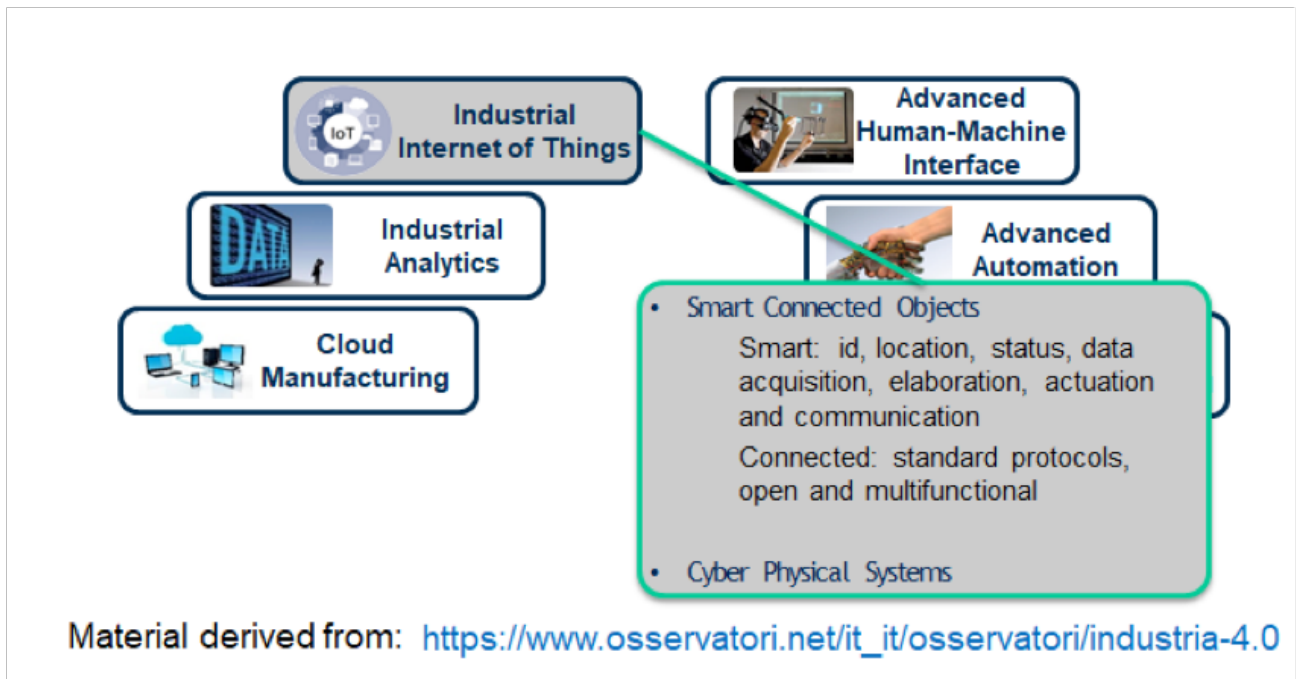
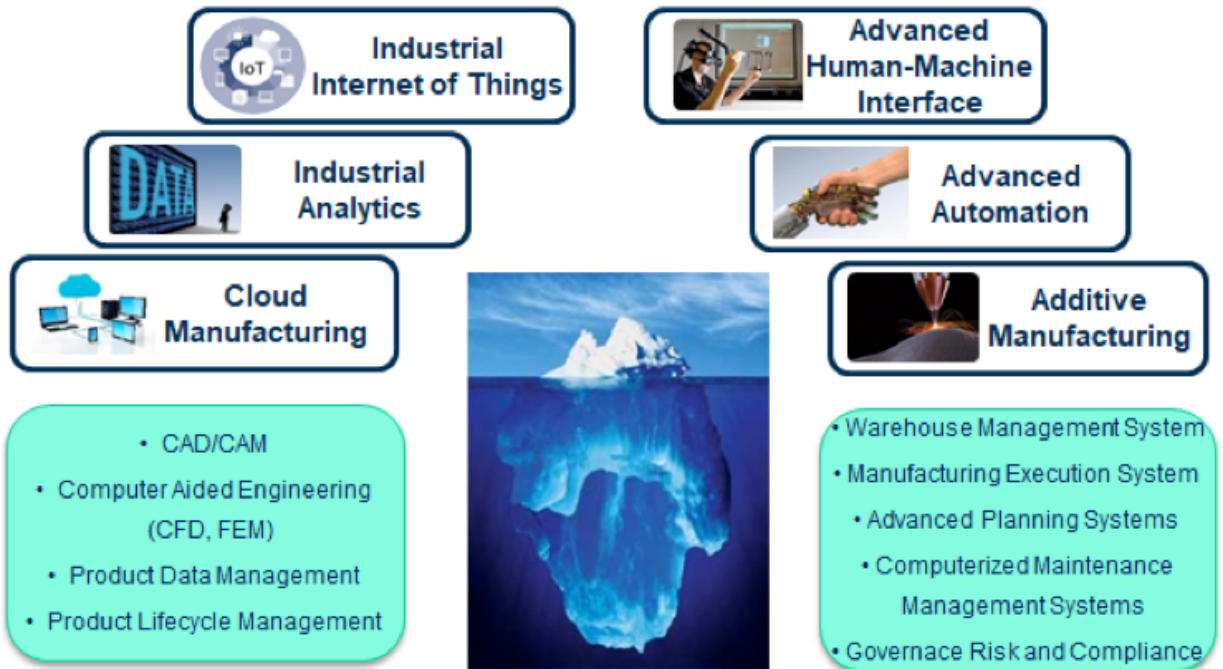


Evolution of Industry

3° Industrial Revolution: In 1970s came the first automation, With robots and numerical control machines

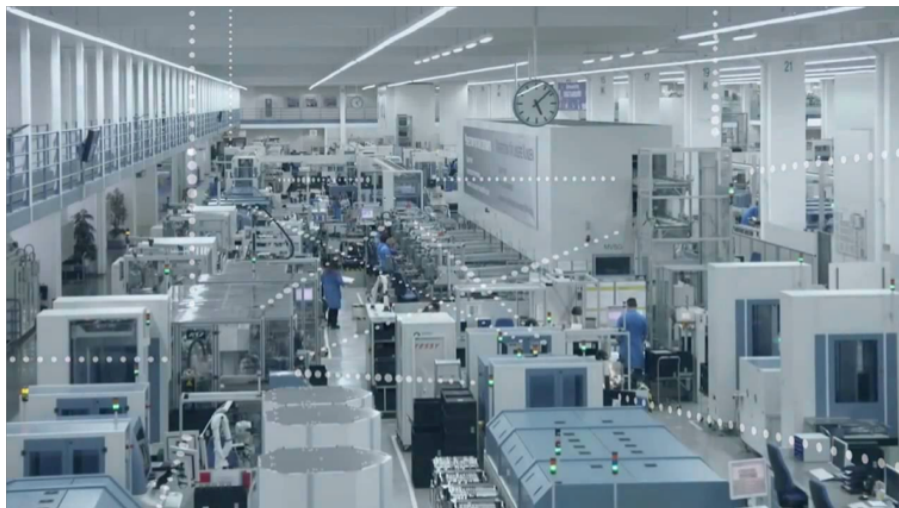
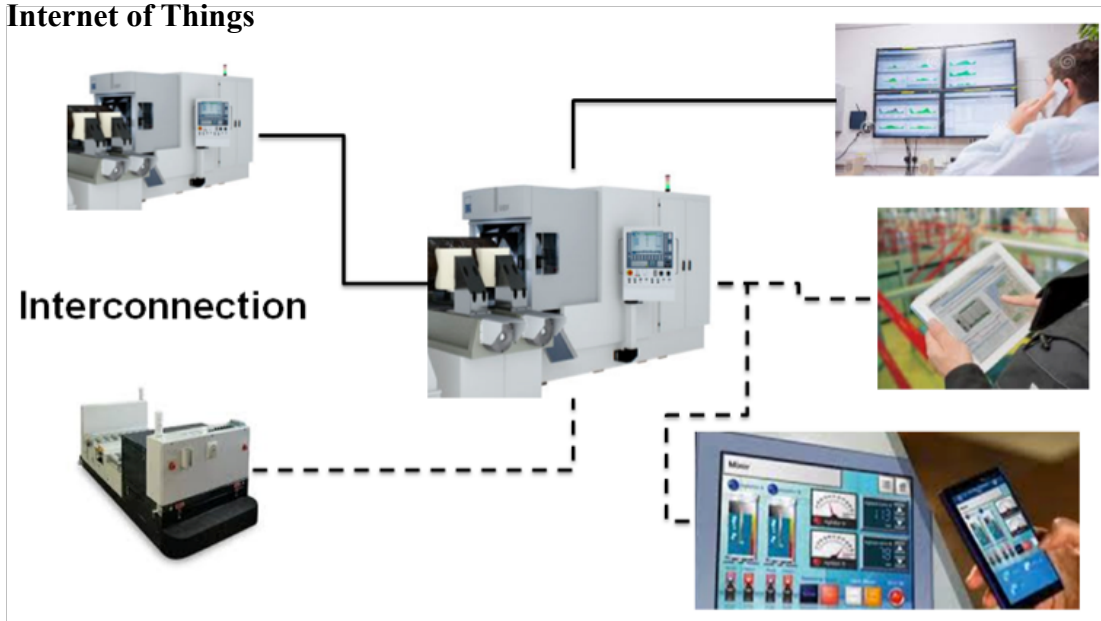


Technologies behind Industry 4.0

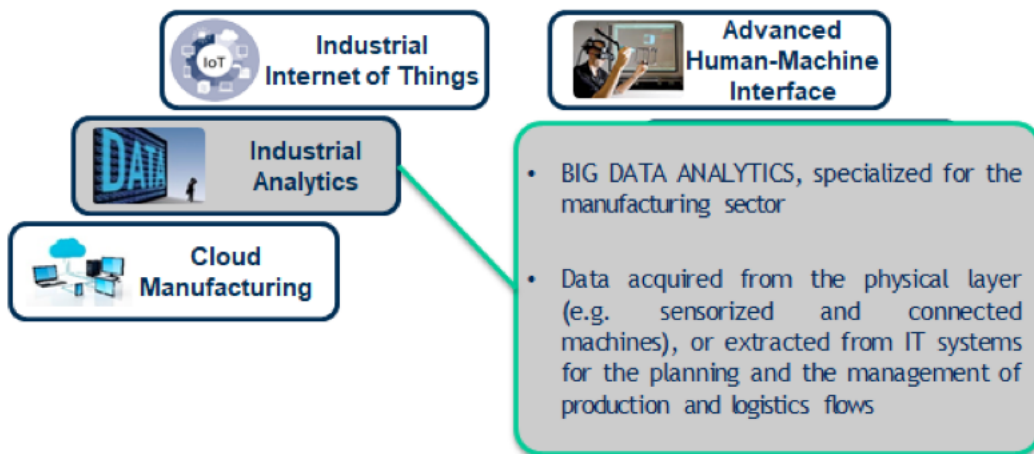


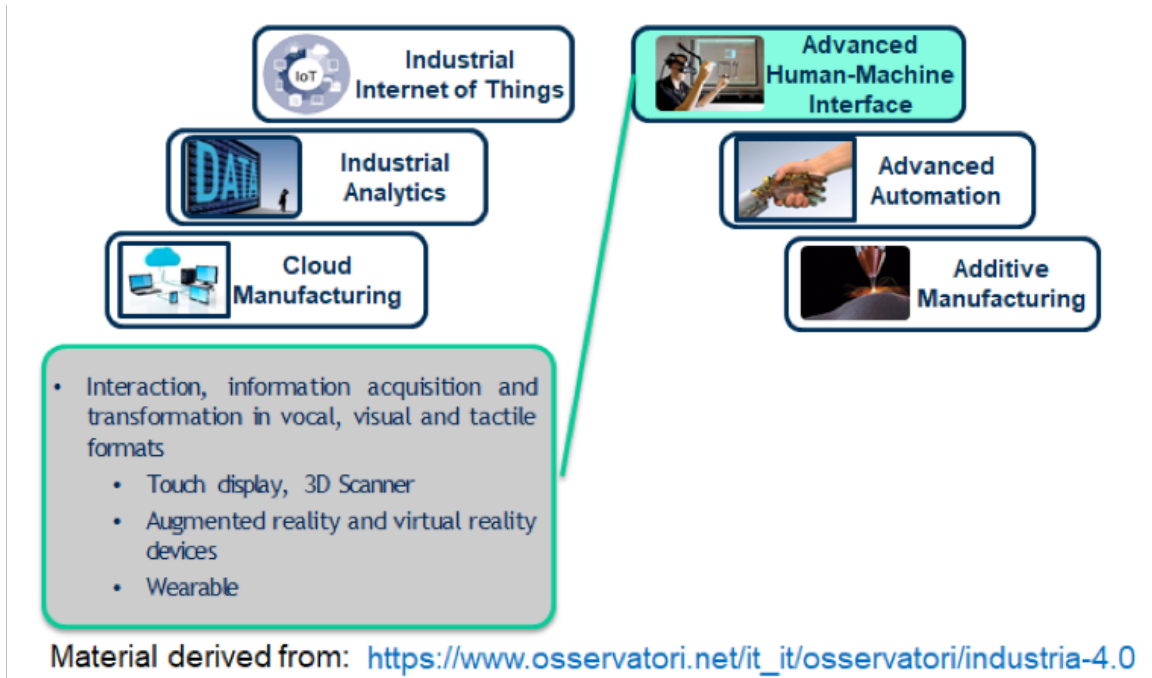


The Internet of Things

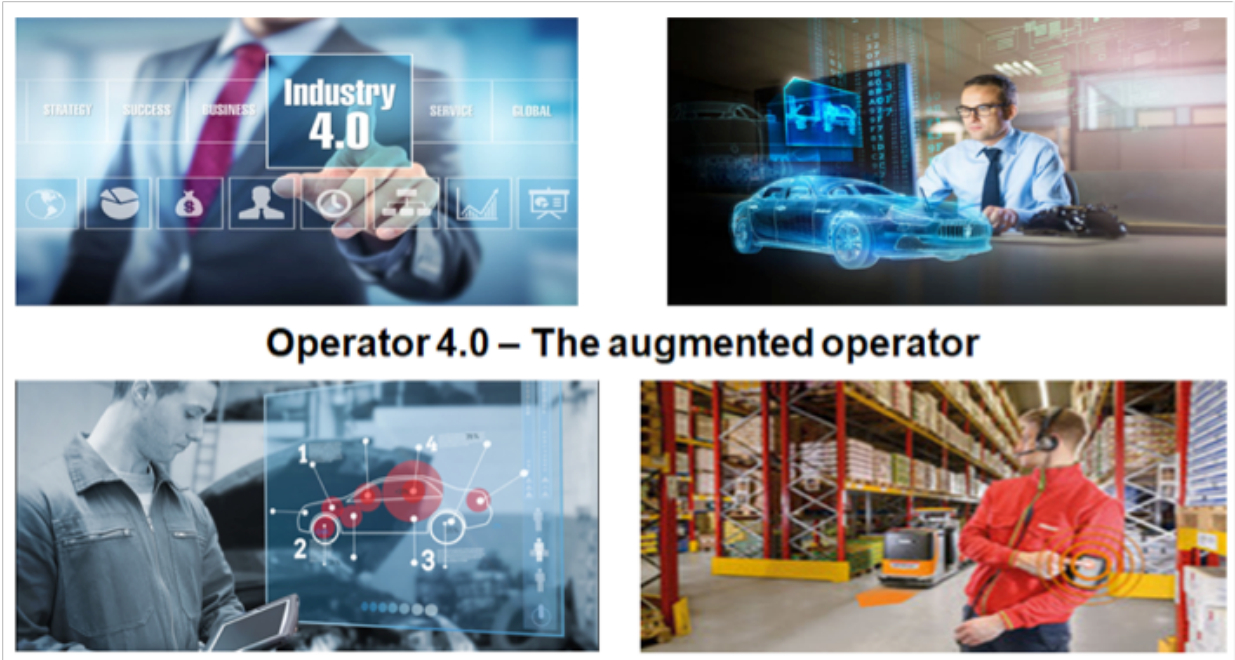


Technologies behind Industry 4.0



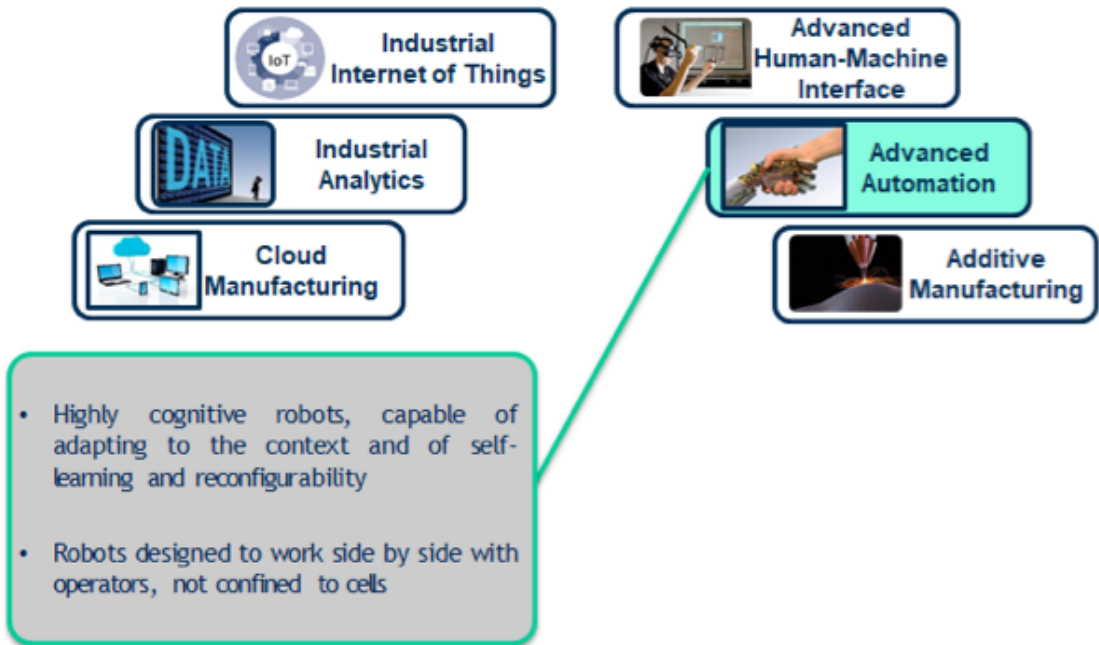


Augmented / Virtual reality

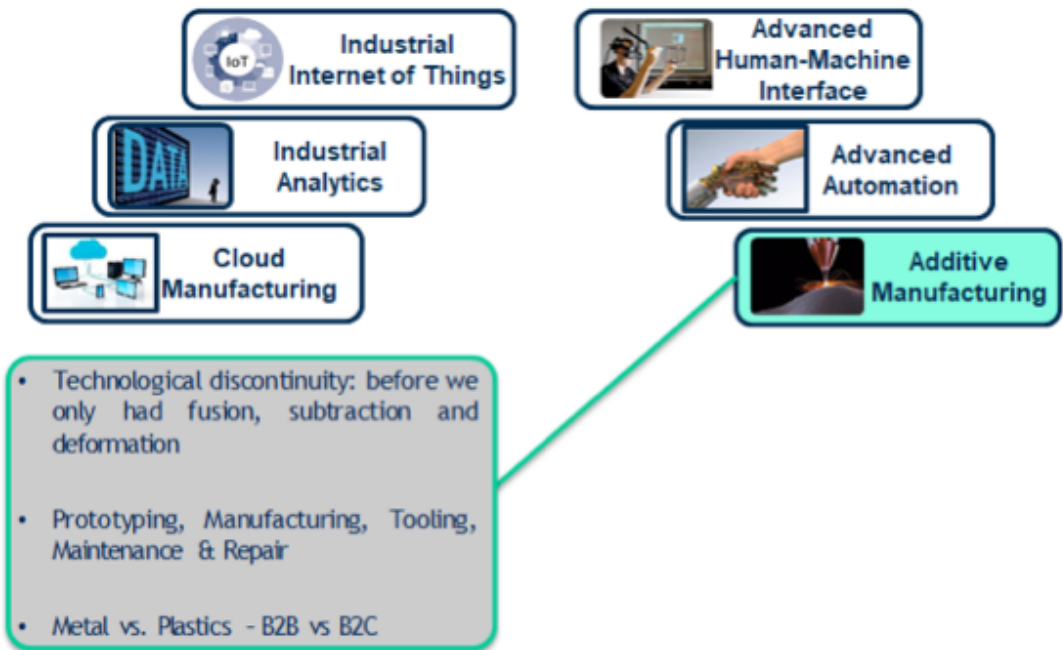




Technologies behind Industry 4.0

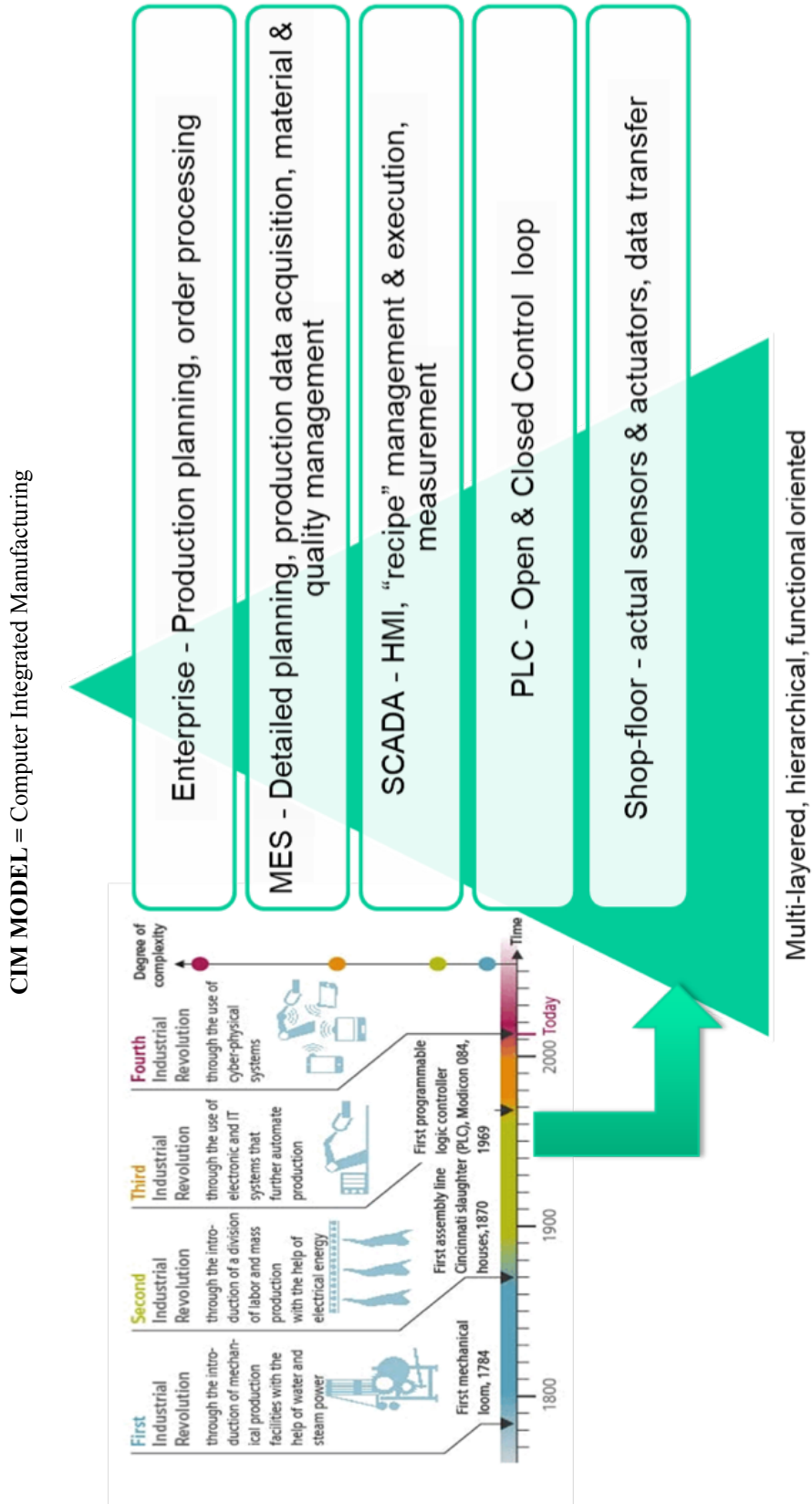


Material derived from: https://www.osservatori.net/it_it/osservatori/industria-4.0



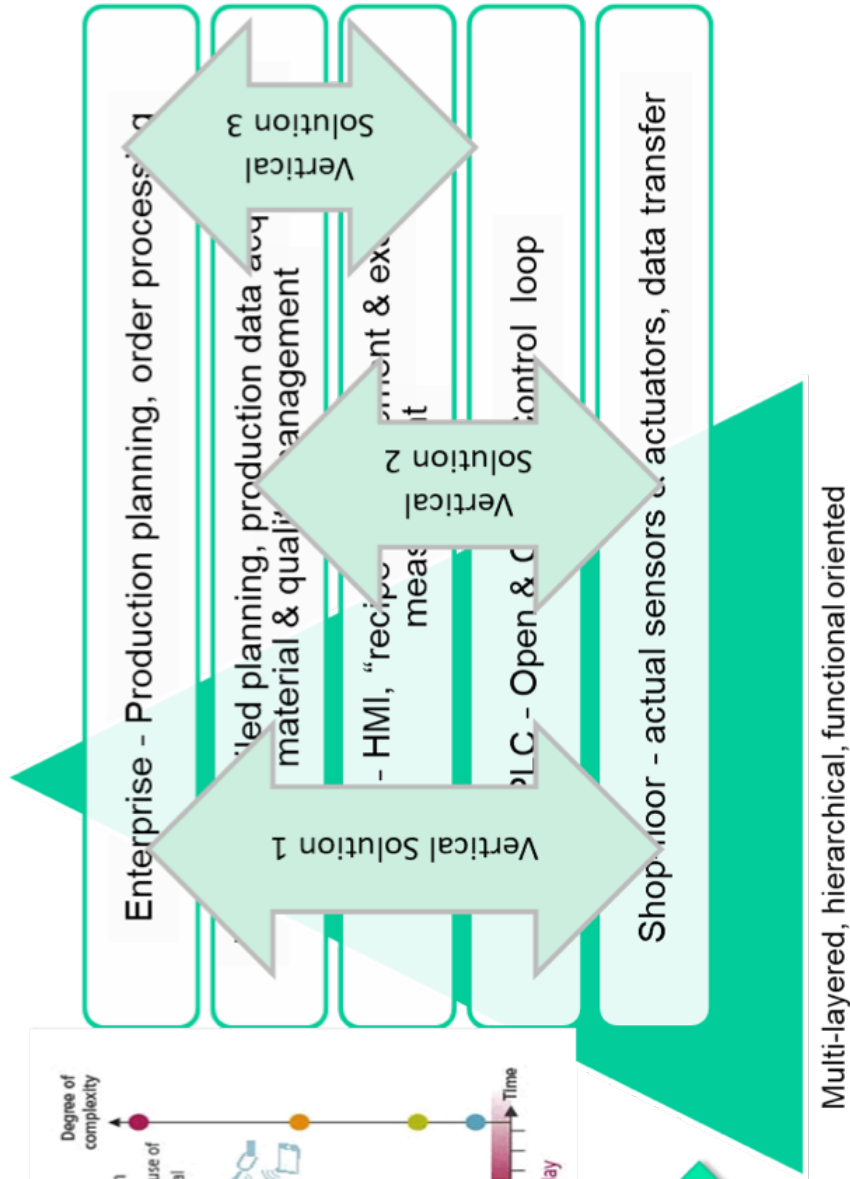
Material derived from: https://www.osservatori.net/it_it/osservatori/industria-4.0

Architecture





Architecture



Evolving workforce

High value on diversity and inclusion

By 2065 there will be no ethnic majority in U.S. workforce



Millennials become managers and Gen Z graduates

Tech-savvy, collaborative, team-work, flat hierarchies, ideas from anywhere



Aging workforce
Older adults (ages 55 and up) are now the fastest-growing segment of the American workforce

The Labor Force is Aging



Sources: «2019 Manufacturing Trends Report» by Microsoft Dynamics 365
"National Survey: Working Longer—Older Americans' Attitudes on Work and Retirement."
NORC Center for Public Affairs Research, 2013.

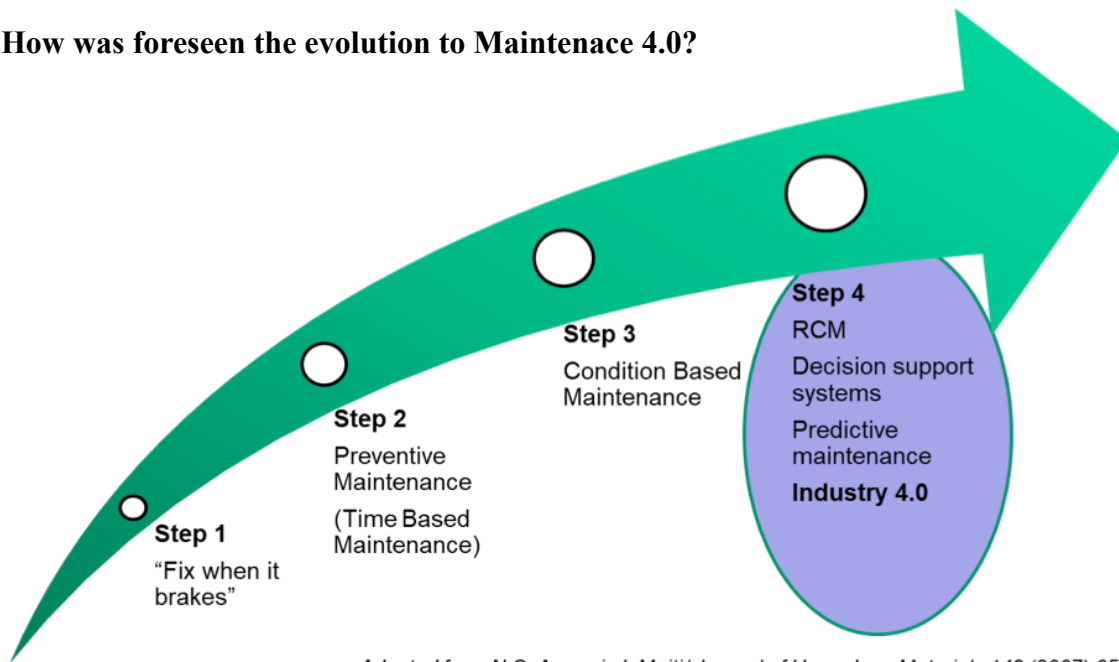


Improved Skills

“We want to build intelligence that augments human abilities and experiences.”
 -Satya Nadella, CEO, Microsoft

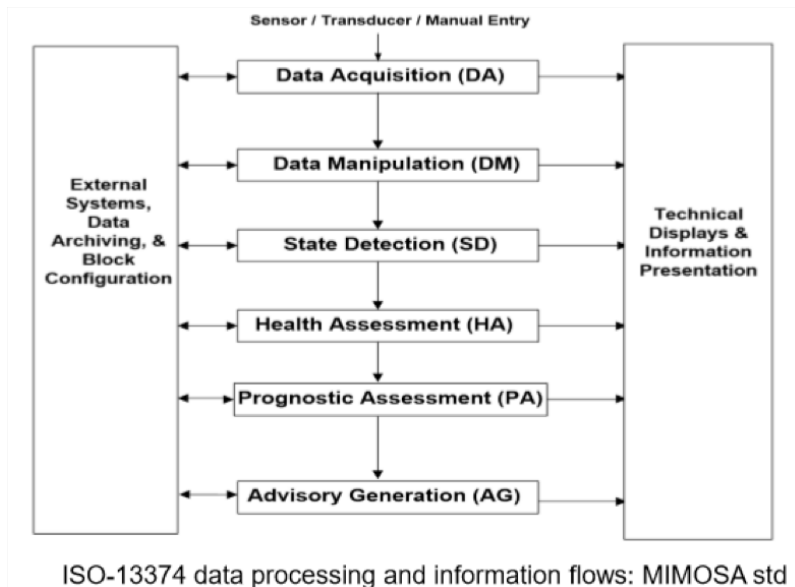
Source: «2019 Manufacturing Trends Report» by Microsoft Dynamics 365

How was foreseen the evolution to Maintenance 4.0?

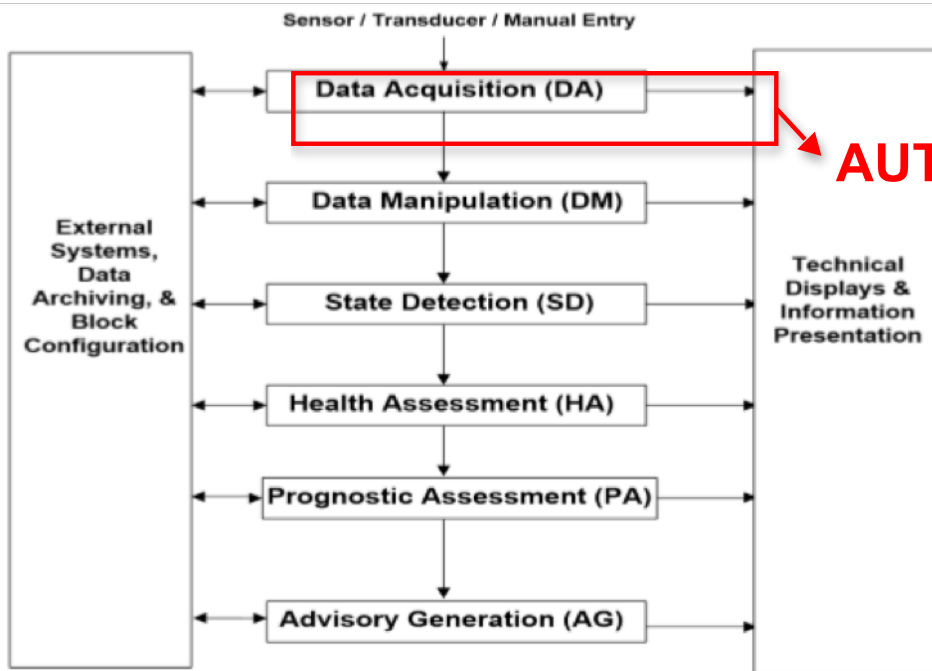


Adapted from N.S. Arunraj, J. Maiti/ Journal of Hazardous Materials 142 (2007) 653–661

Architecture

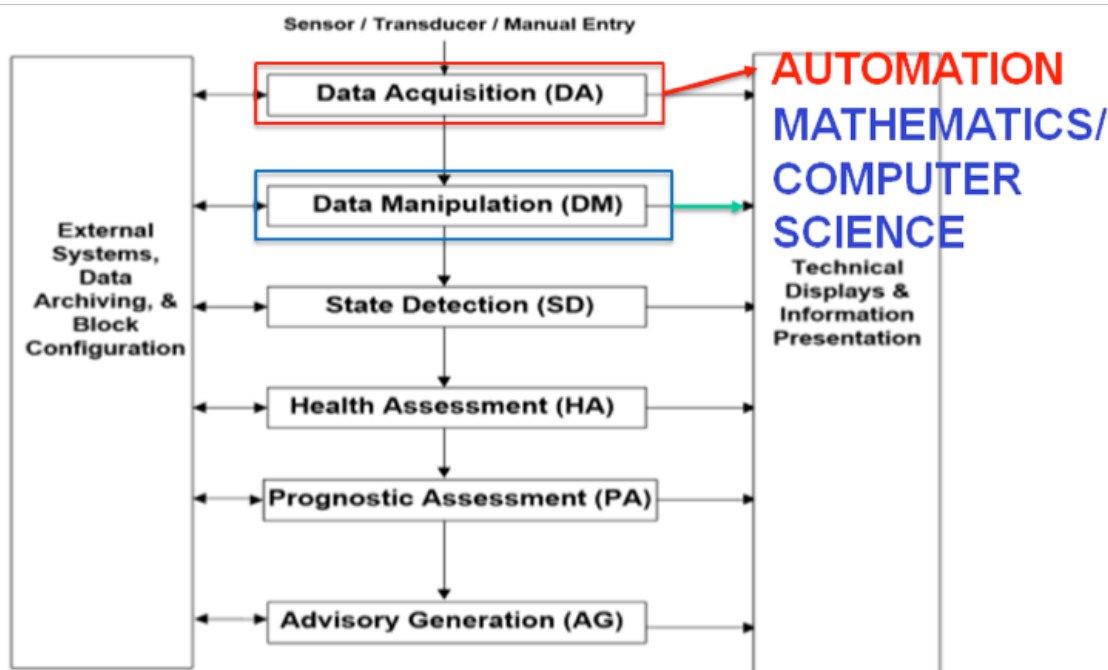


Background: architecture

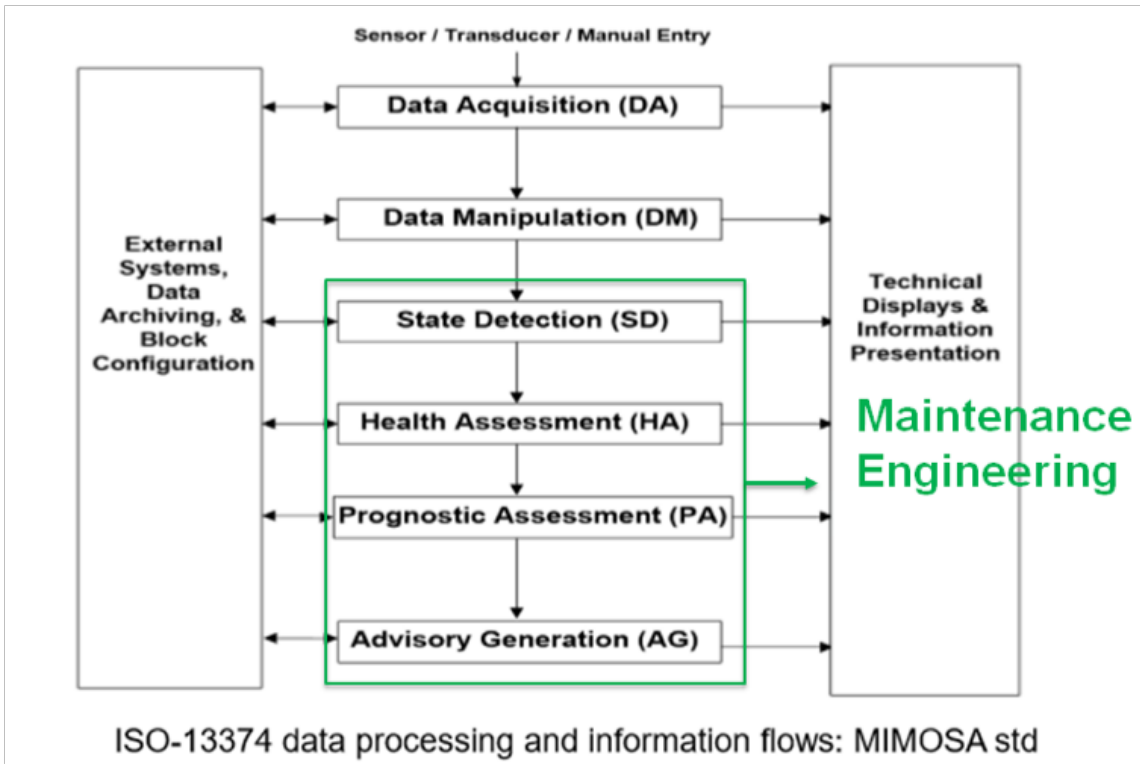


ISO-13374 data processing and information flows: MIMOSA std

www.mimosa.or

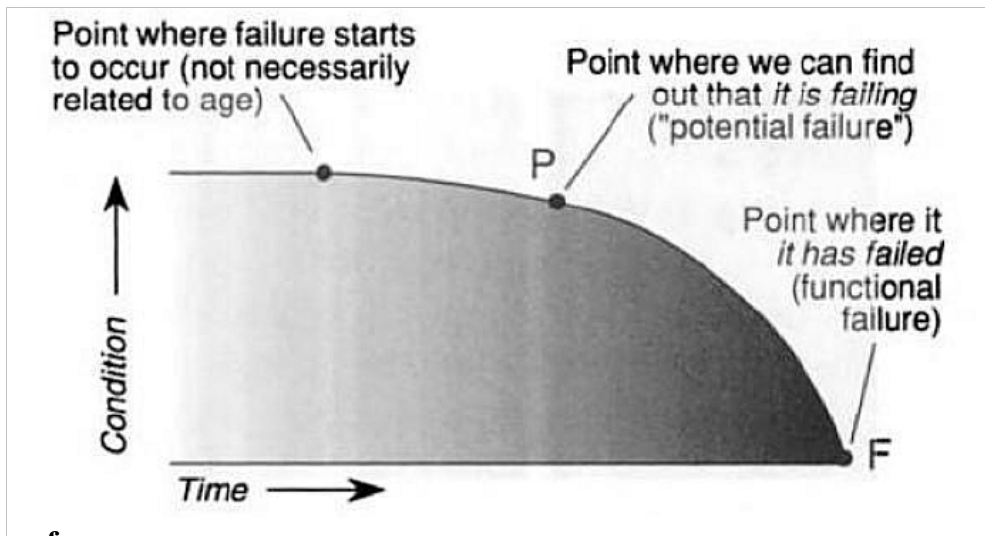


ISO-13374 data processing and information flows: MIMOSA std



Traditional P-F curve

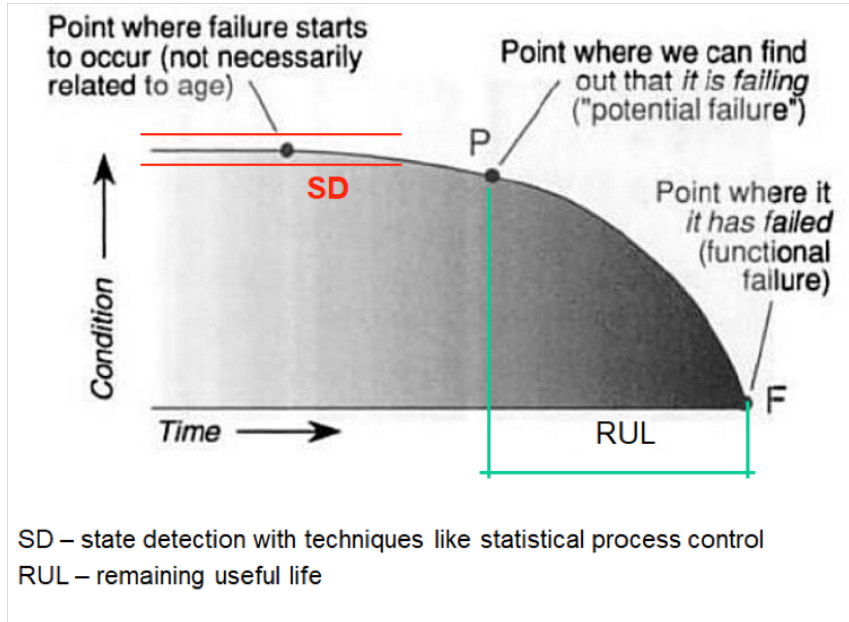
Condition based maintenance consists of continuously evaluating the condition of a monitored machine and thereby successfully identifying faults (or, better, signals indicating potential failure) before the breakdown (functional failure) occurs.



P-F curve from

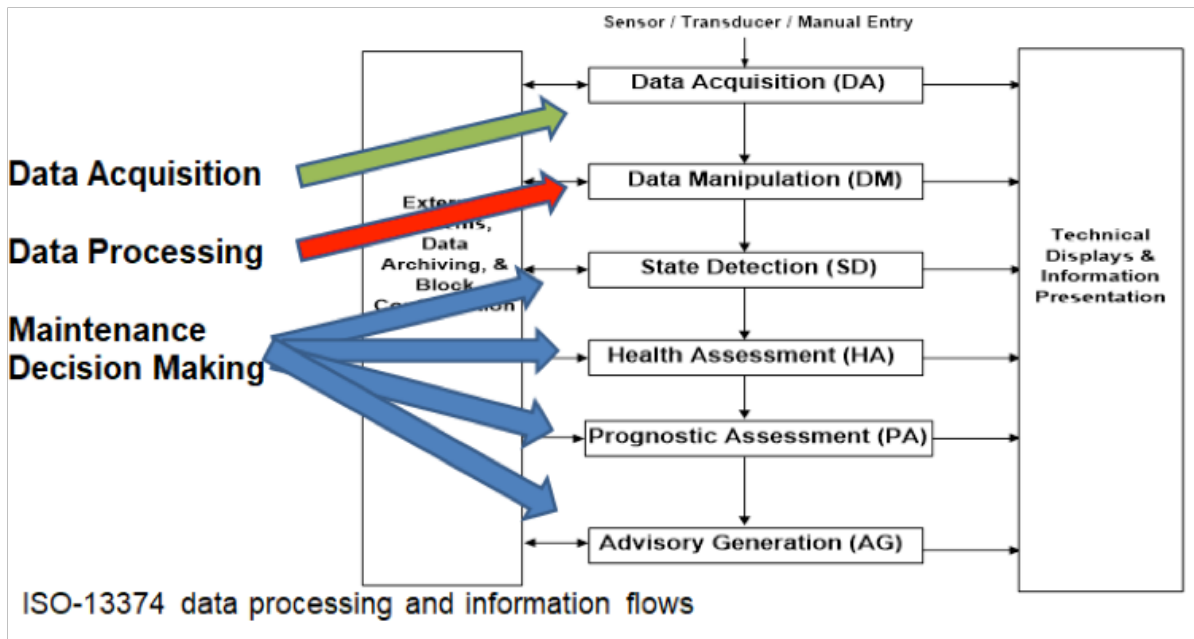
Moubray, J., 1997. Reliability Centred Maintenance. Butterworth Heinemann, Oxford, UK.

The P-F interval is also known as the warning period, or the lead time to failure, that is linked to the concept of Remaining Useful Life (RUL), important concept for Predictive Maintenance.



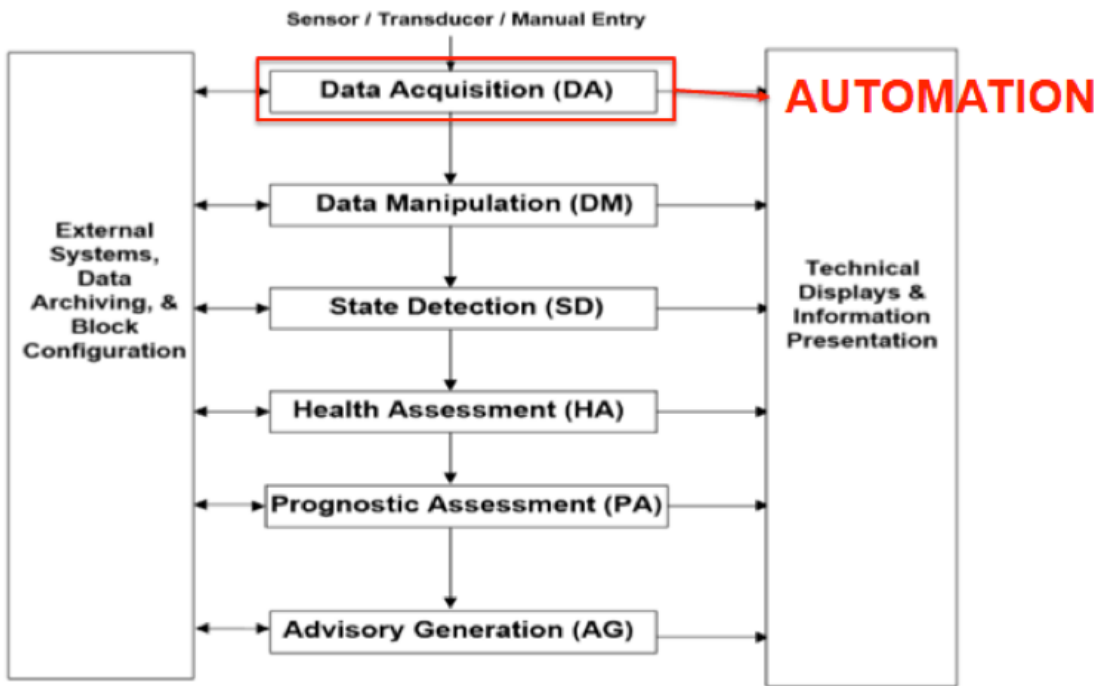
MIMOSA- the OSA-CBM Model

The functional blocks constituting a CBM architecture are shown in the figure and come from ISO-13374.

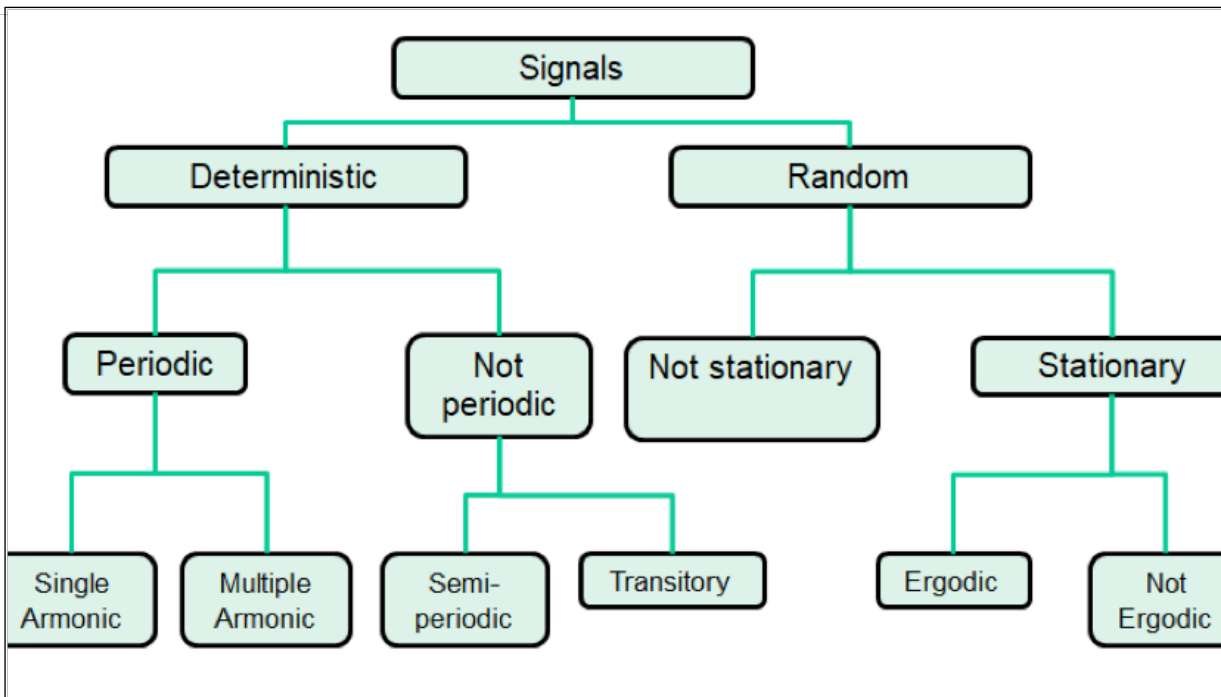




Background: architecture



ISO-13374 data processing and information flows: MIMOSA std



Type of signals

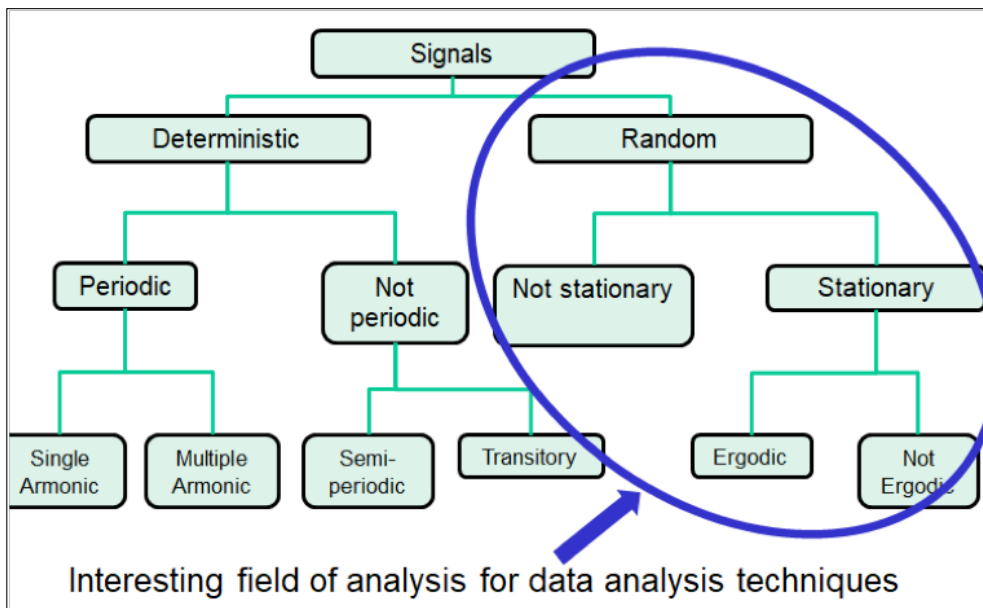
Deterministic phenomena – Deterministic signal

Types of phenomena where it is possible to foreseen (with reasonable accuracy) the future path of the dimension under monitoring.

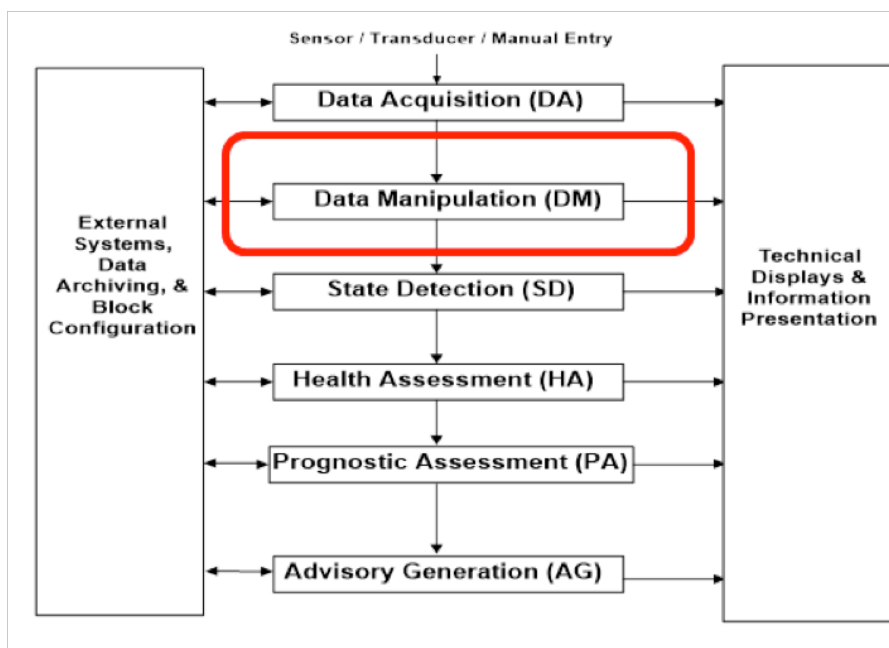
A deterministic signal is associated (or is possible to associate it) to a mathematical formula, that allows to foreseen the future value of the signal at a certain defined future time.

Random (casual) signals

The signal (by definition) is casual and totally unpredictable. So that even knowing is value at time «t» is not possible to make any prediction for the time «t+dt».



Data processing steps



Time-domain indicators (examples):

•Mean Value:

$$\mu_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

•RMS Value:

$$\text{RMS} = \sqrt{\Psi^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

•Kurtosis Coefficient:

$$\hat{\alpha}_4 = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{\mu})^4}{\hat{\sigma}^4} - 3$$

•Skewness Coefficient:

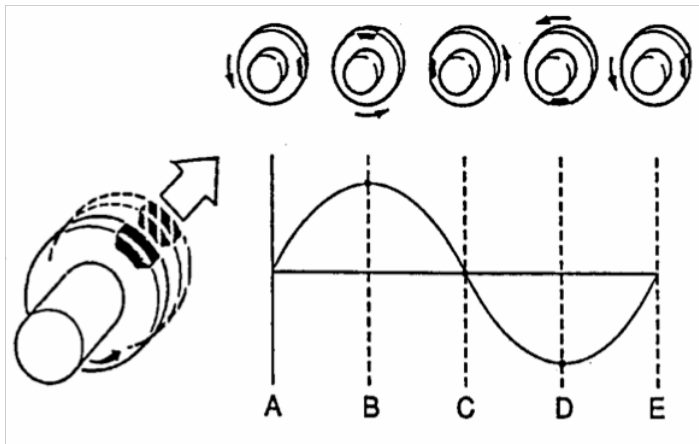
$$\hat{\alpha}_3 = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{\mu})^3}{\hat{\sigma}^3}$$

•Crest Factor:

$$\text{CF} = \frac{\max |x - \mu_x|}{\text{RMS}_x}$$

Analysis in the frequency domain (example): vibration analysis

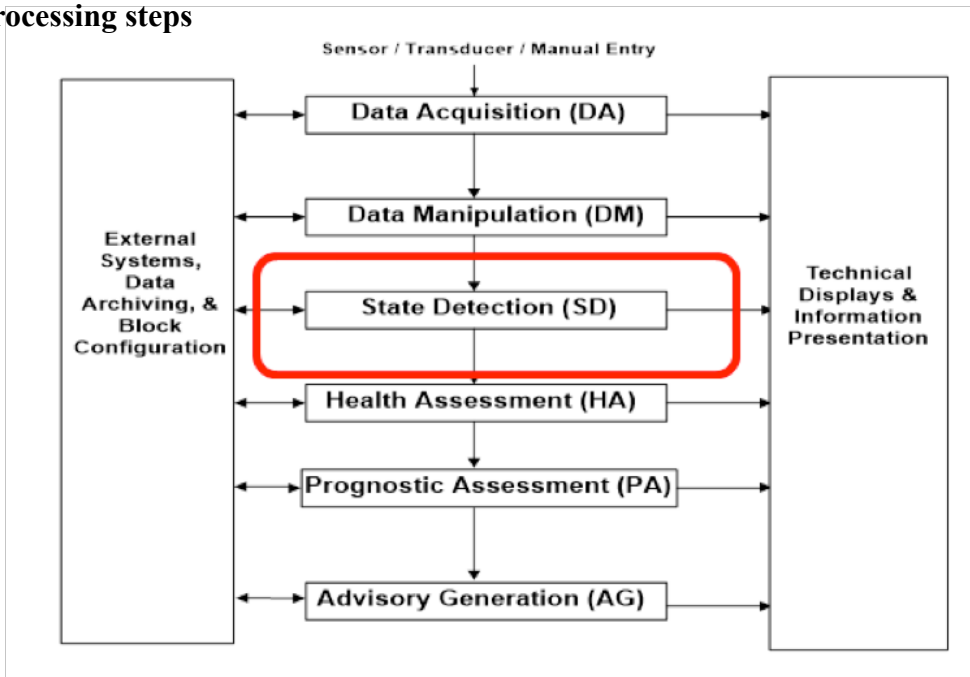
Vibration are caused by many reasons. Rotors are specifically subjected to vibration (e.g. unbalance)



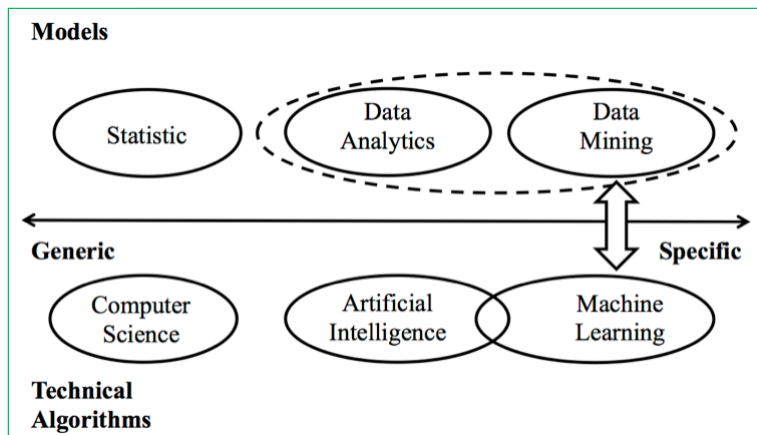
Information to be considered and thus related to the data manipulation are:

- Amplitude of the vibration (in terms of displacement, speed, acceleration)
- Frequency
- Phase

Data processing steps

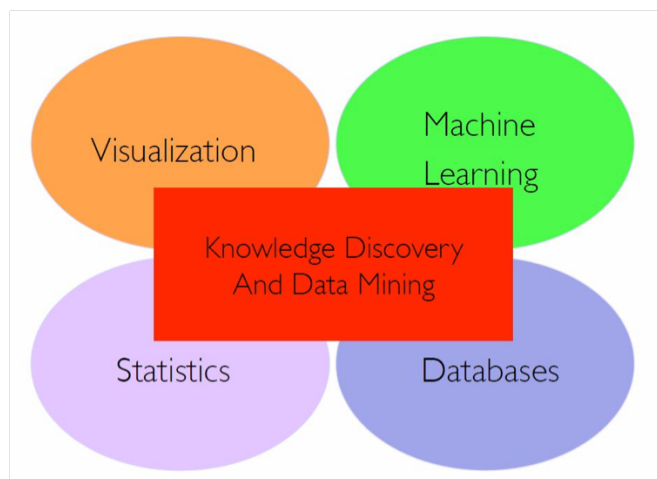


Algorithm Selection – Black box



Soucer: Clarifying Data Analytics concepts for industrial engineering,

Algorithm Selection – Black box





State detection

White box

- Signals can be plotted in 2D graph
- Limits can be identified based on physical property (relation could be known between two consecutive points)

If this is applied to vibration analysis RMS value can be displayed.
This can be called “first level of analysis” for condition monitoring of vibrations

Black box

- Signals can be plotted in 2D graph
- Limits can be identified based on statistical analysis of past history (past recorded signals) or using artificial intelligence techniques
- Each point of the graph must be considered independent

Level of alarm identified based on variation of the signal

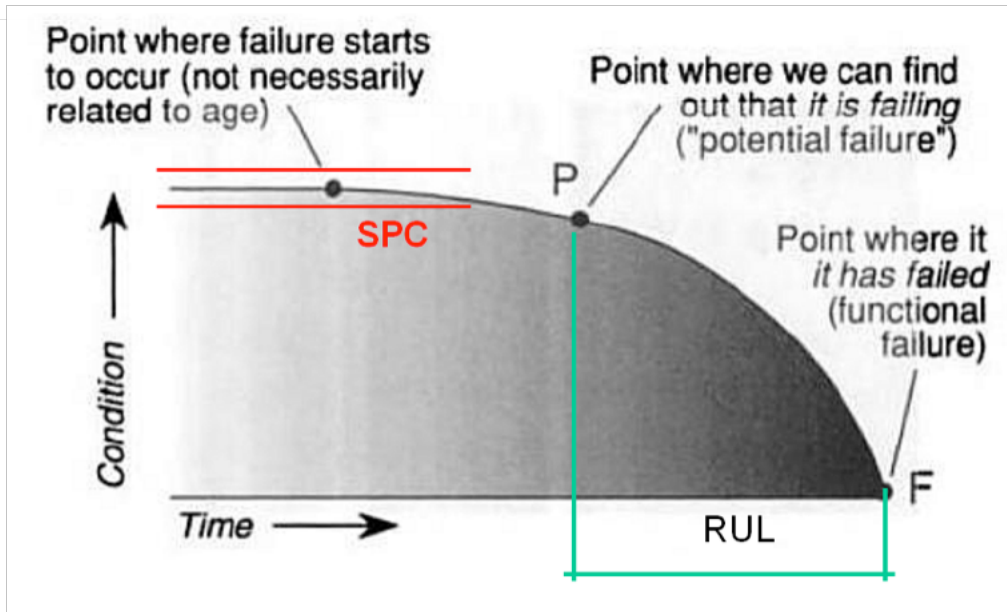
Average of the past recorded signals

State detection

Black box

Statistical Process Control (SPC)

- Statistical Process Control (SPC) is one of the techniques that has been well developed and is widely used in fault detection and diagnostics nowadays.
- It mainly falls in the category of approaches for **State detection**.
- SPC uses control charts that enable the use of objective criteria to distinguish background variations (based on normal variance of the monitored phenomena) from significant events based.
- The approach is based on statistical techniques.
- The principle is to measure the deviation of the current signal from a reference signal representing the normal condition to see whether the current signal is within the control limits or not.

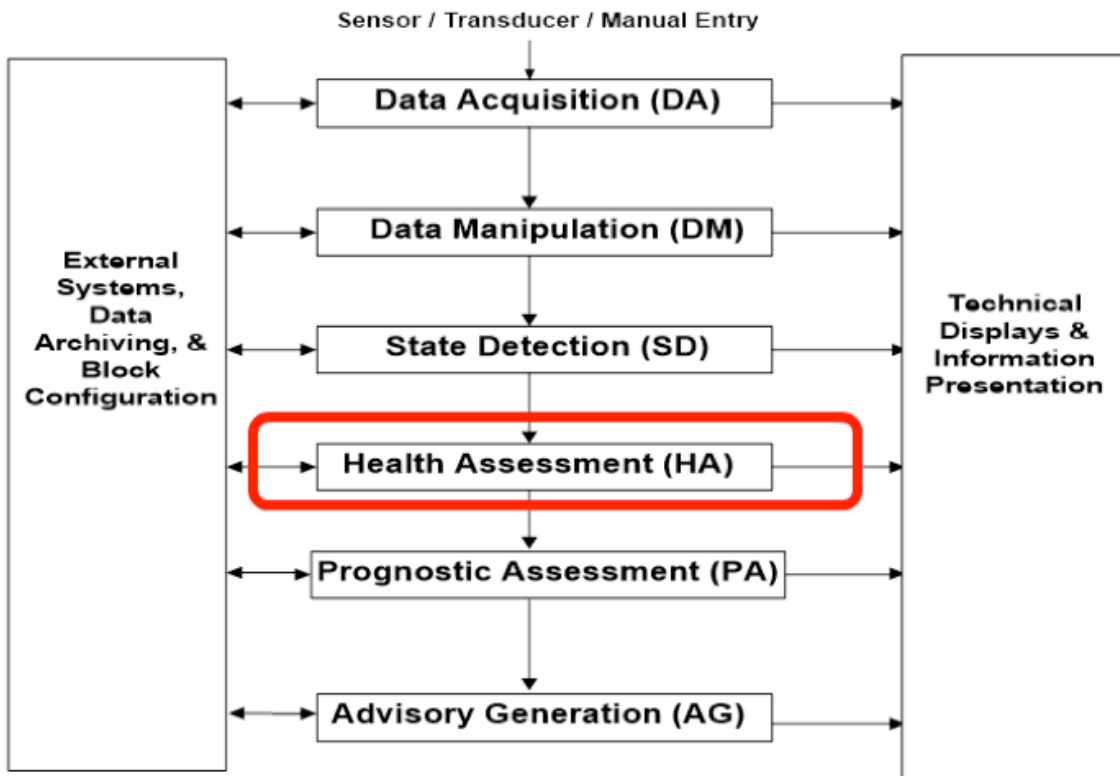


SPC – statistical process control

RUL – remaining useful life

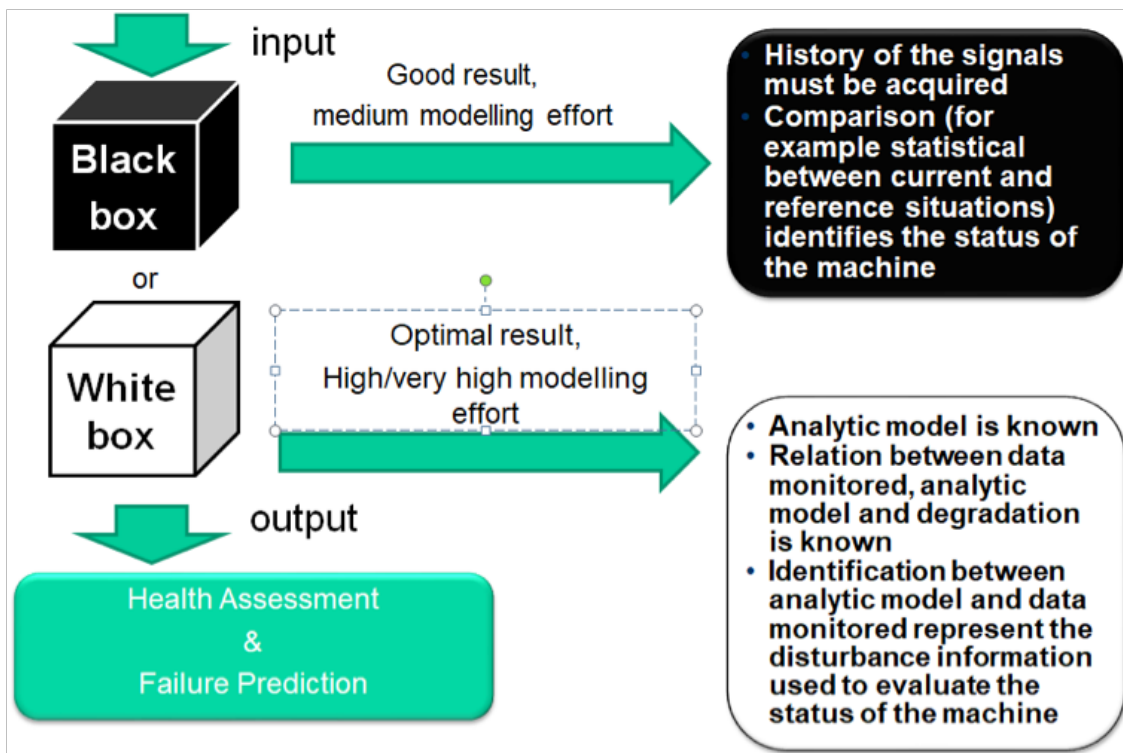


Data processing steps

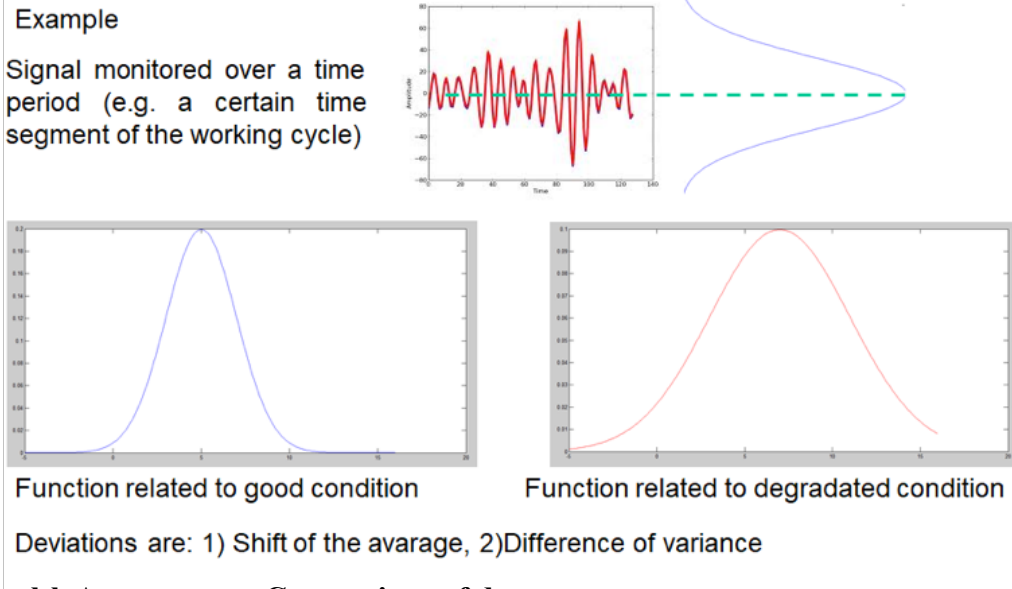


ISO-13374 data processing and information flows

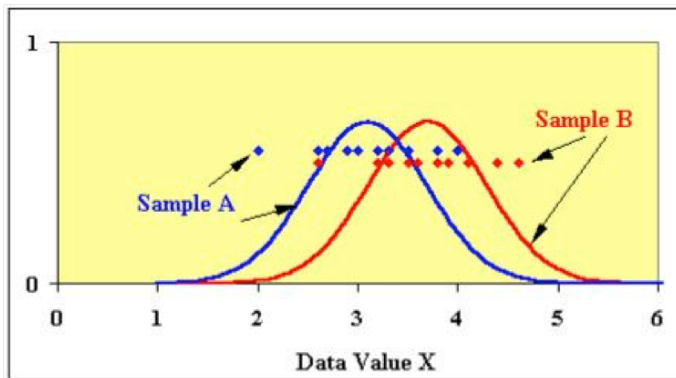
White and black box approach



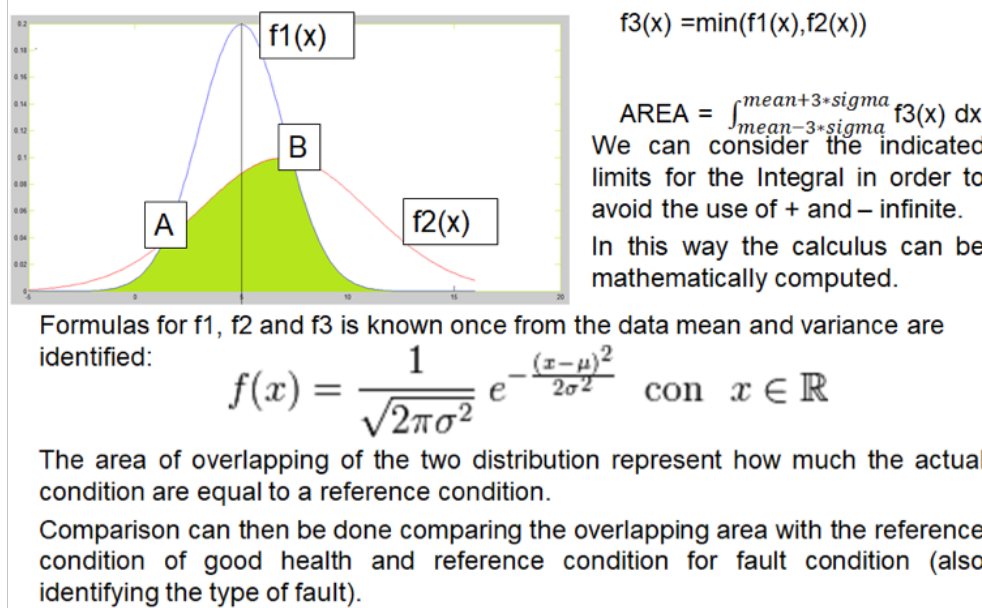
Comparison of data sets (distributed as Normal Distribution)



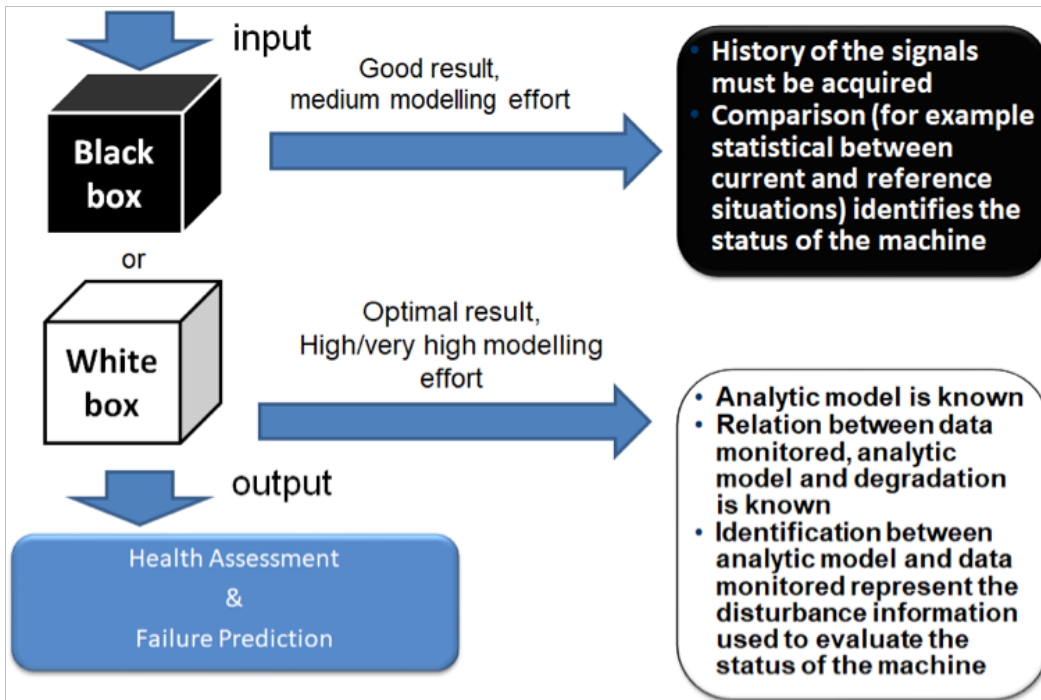
Health Assessment – Comparison of data sets



Health Assessment – Comparison of data sets



White and black box approach

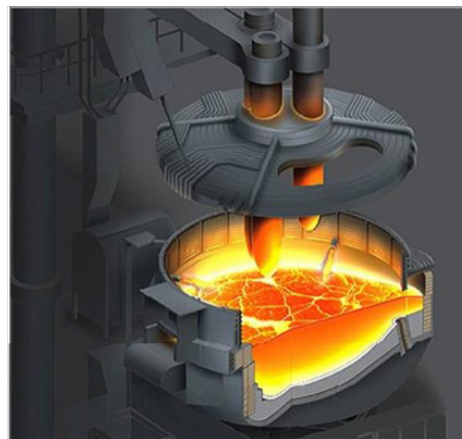
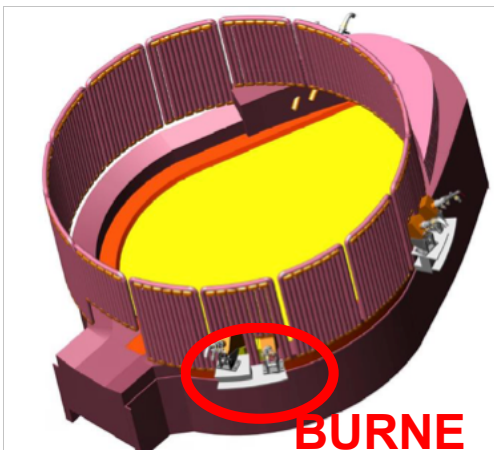


Example

Production process and asset (EAF)

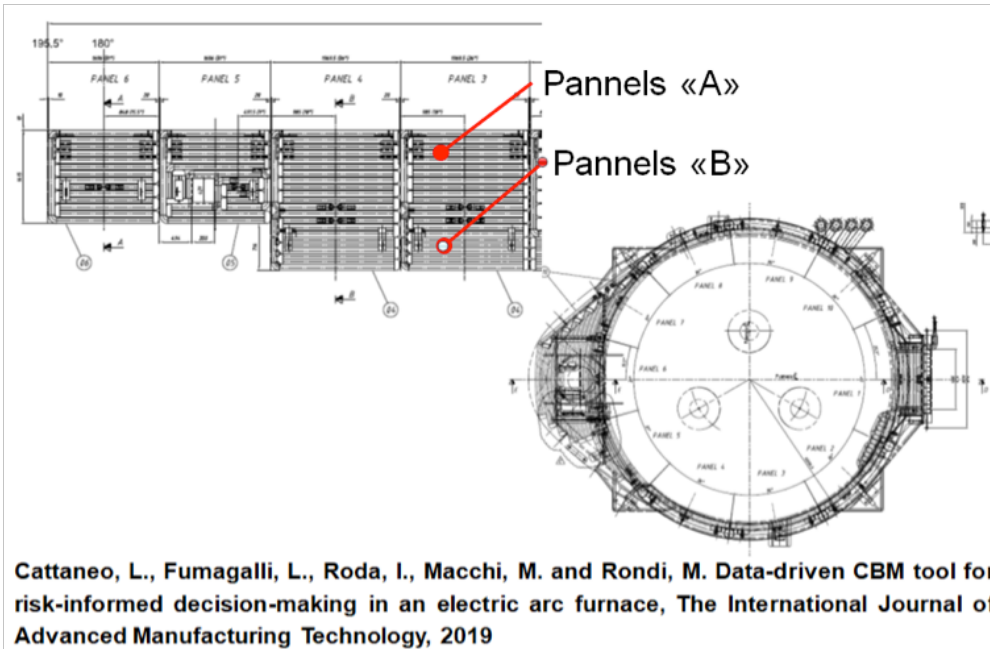
- Electric Arc Furnace as main relevant asset in the process;
- Charged by selected scrap and varying percentages of pig iron;
- Constituted by a lower sheet metal keel coated with refractory bricks, which serve to contain the liquid steel, and cooled by a cage with a structural function that supports panels cooled by a water circuit;
- Energy needed for melting the scrap supplied by electricity (for about two thirds) and by chemical energy (for one thirds) due to the lances and the burners located on board.

Fumagalli, L., Macchi, M., Colace, C., Rondi, M., & Alfieri, A. (2016). A Smart Maintenance tool for a safe Electric Arc Furnace. IFAC-PapersOnLine, 49(31), 19-24.



Cattaneo, L., Fumagalli, L., Roda, I., Macchi, M. and Rondi, M. Data-driven CBM tool for risk-informed decision-making in an electric arc furnace, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019

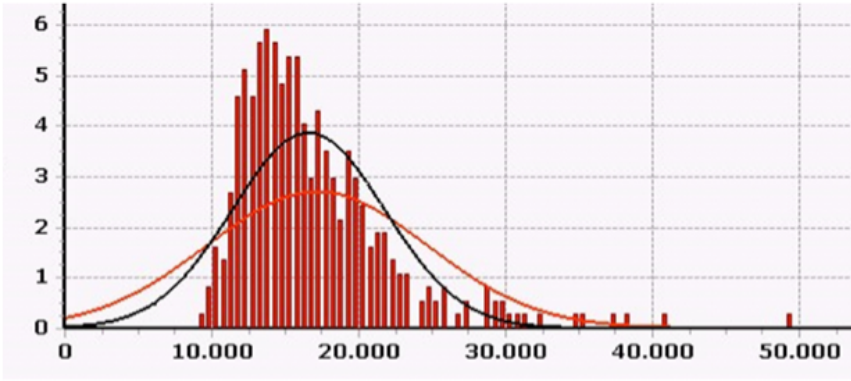
Example



Example

$$\text{Key Feature (KF)} = \int_{T_{start}}^{T_{end}} (T_{H_2O}^{out}(t) - T_{H_2O}^{in}(t)) dt,$$

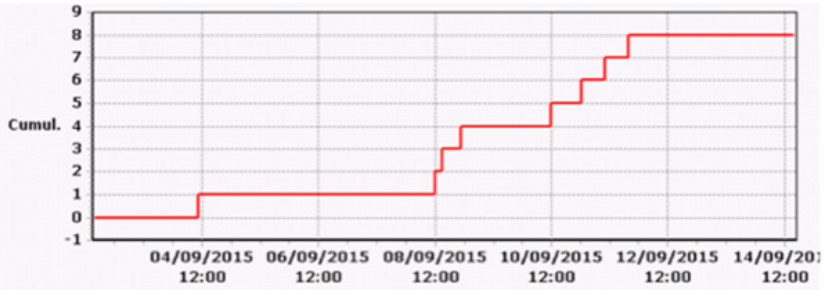
Key Feature > Threshold





Health Assesment – Example

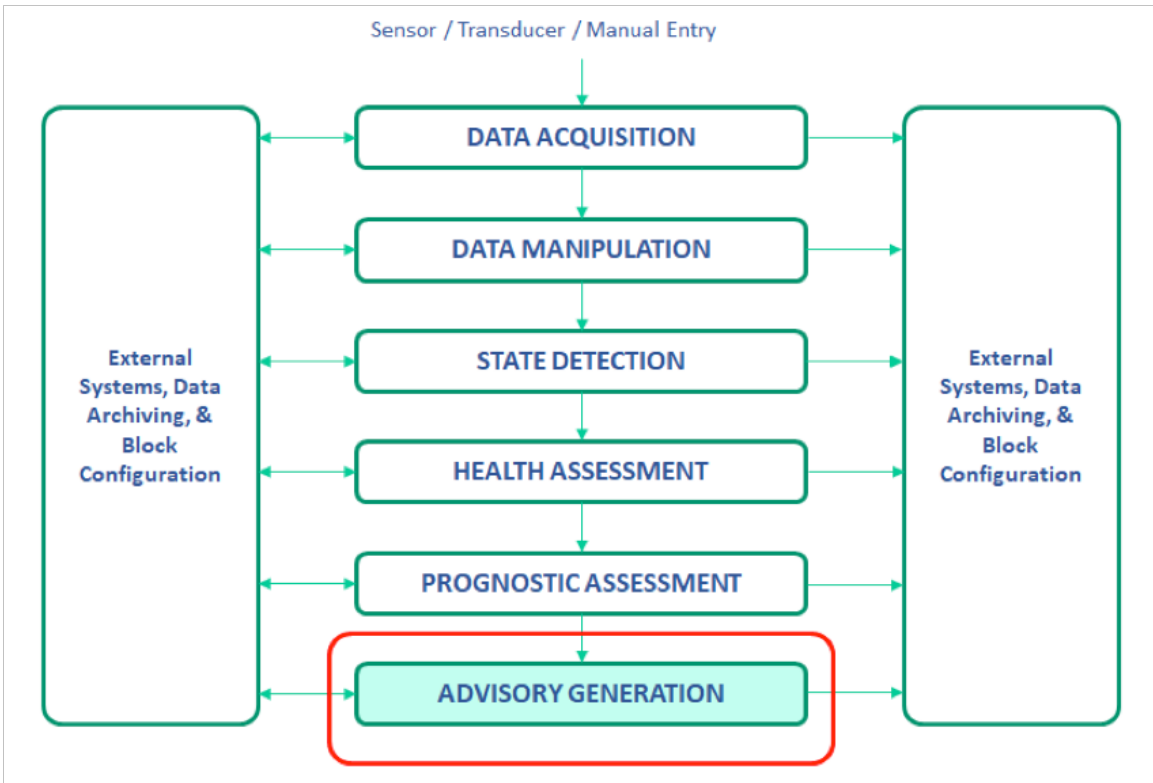
KF & critical event counter



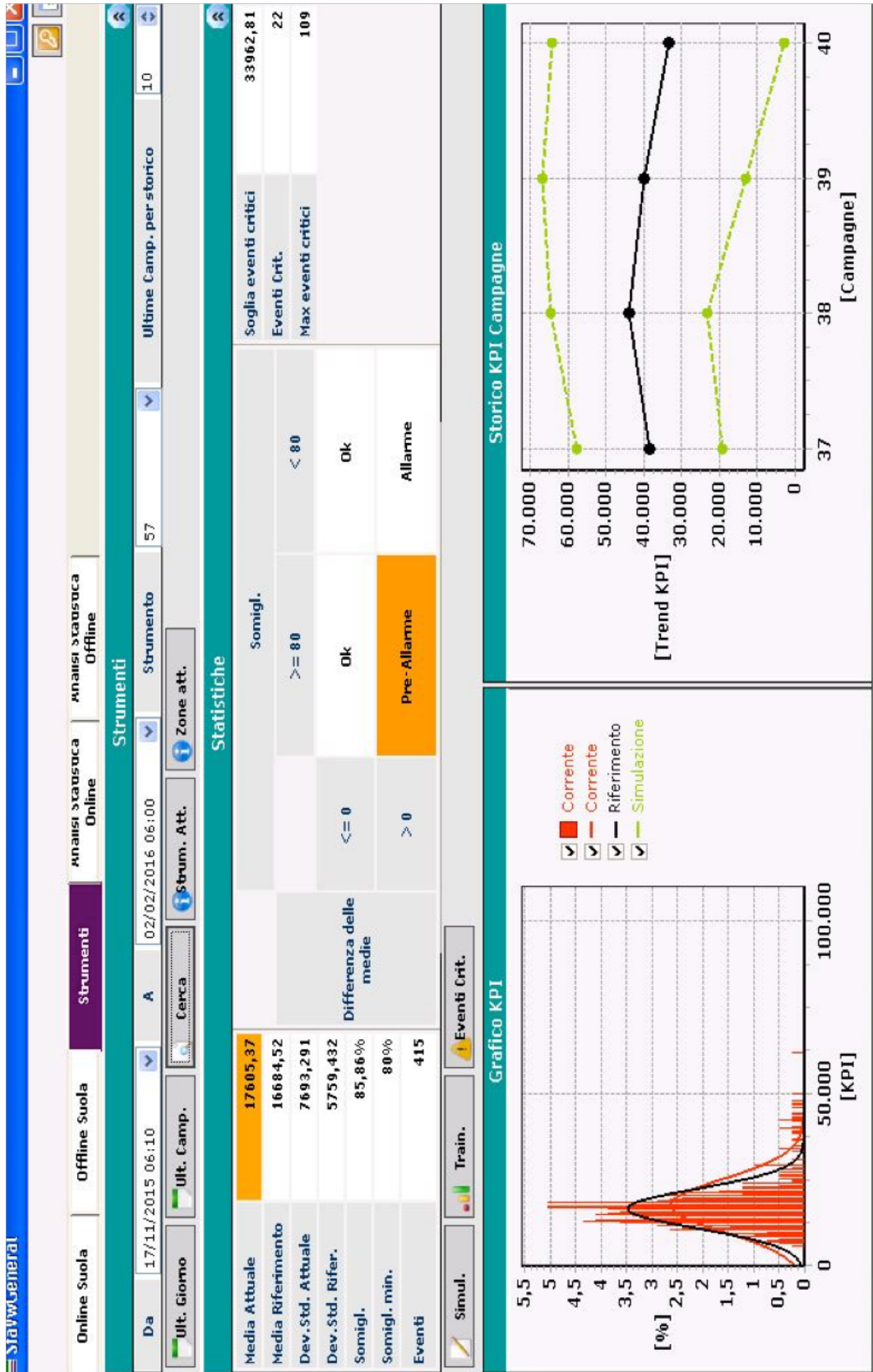
Indicator health: overlapping area



Advisory Generation for decision making



Advisory Generation for decision making





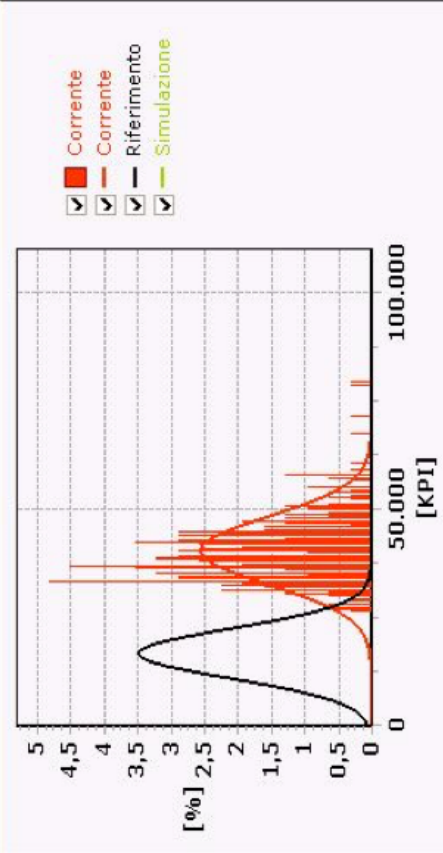
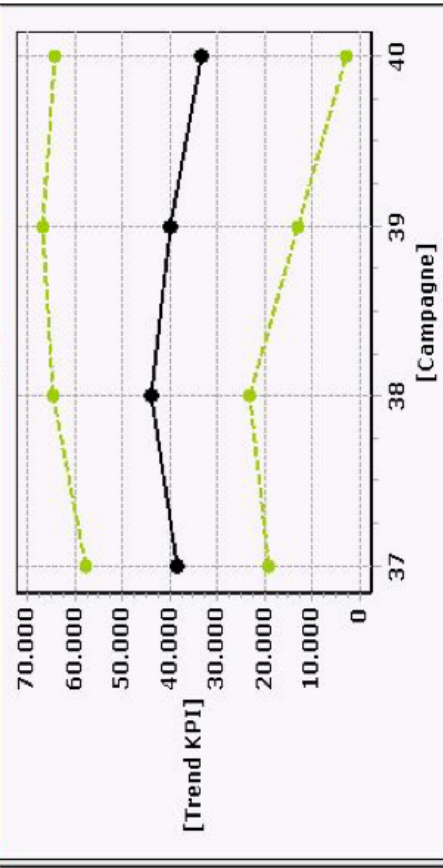
Da 02/02/2016 06:10 A 27/02/2016 06:00 Strumento 57 Ultime Camp. per storico 10

Ult. Giorno Ult. Camp. Cerca Strum. Att. Zone att.

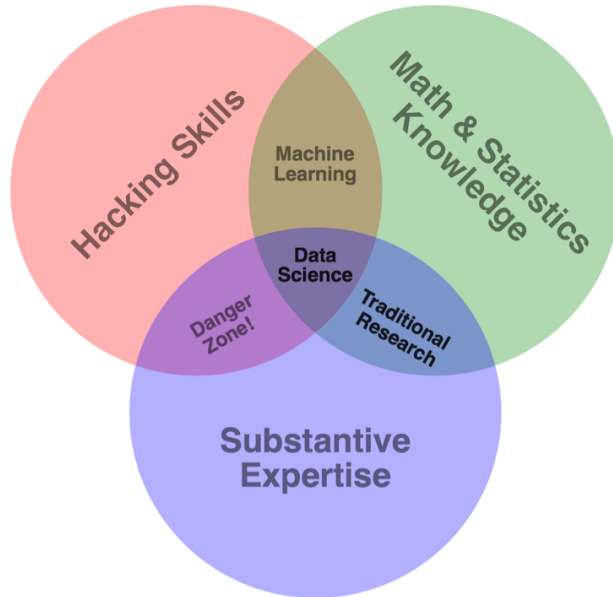
Statistiche

Media Attuale	40503,08	Somigl.	>= 80	< 80	Soglia eventi critici	33962,81
Media Riferimento	16684,52				Eventi Crit.	248
Dev. Std. Attuale	7842,599				Max eventi critici	35
Dev. Std. Rifer.	5759,432	Differenza delle medie	<= 0	Ok		
Somigl.	7,88%					
Somigl. min.	80%		> 0	Pre-Allarme		
Eventi	311			Allarme		

Simul. Train. Eventi Crit.



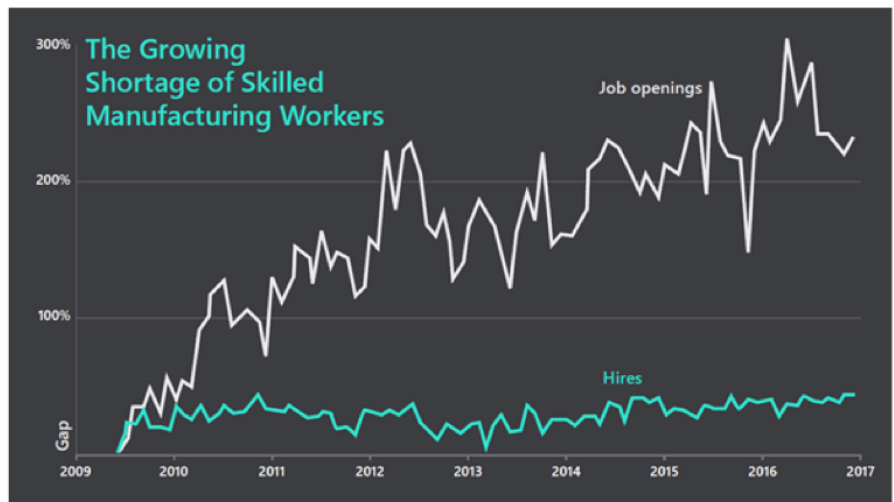
The main information fit one screen in order to be monitored by an operator and not only by the Data Scientist!



https://s3.amazonaws.com/aws.drewconway.com/viz/venn_diagram/data_science.html

Evolving workforce

<p>«No collar» workforce Less and less manual labor but: skilled laborers whose efforts are augmented by technology</p>	<p>Skills gap Companies have difficulties in finding skilled workforce. The gap is going to increase</p>	<p>Less need for unprepared people Employers say the skills gap is due to insufficient training in math, problem-solving, basic technical training, and technology and computer skills.</p>
--	---	--



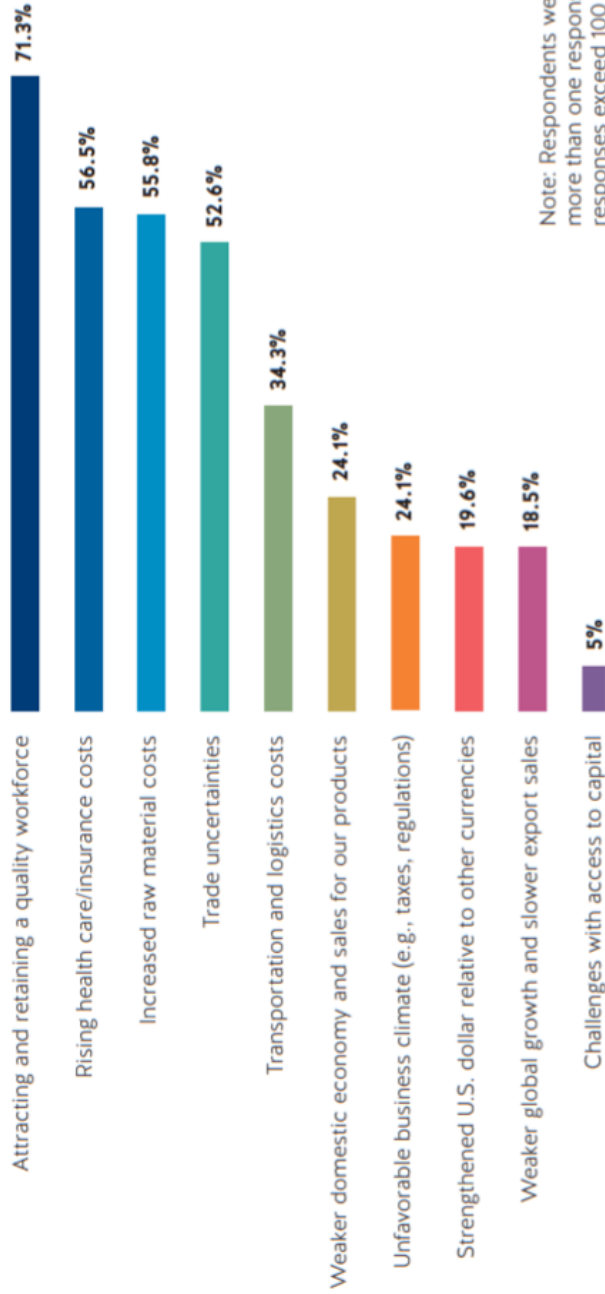
Sources: «2019 Manufacturing Trends Report» by Microsoft Dynamics 365 Gardner Carrick, Ben Dollar, Michelle Drew, Bharath Gangula, Craig Giffi, Jennifer McNelly. "The skills gap in U.S. manufacturing 2015 and beyond." Deloitte Consulting LLP; The Manufacturing Institute, 2015



Evolving workforce

PRIMARY CURRENT BUSINESS CHALLENGES, FIRST QUARTER 2019⁵

(Source: National Association of Manufacturers)



Note: Respondents were able to check more than one response; therefore, responses exceed 100 percent.

Download the World Manufacturing Forum Report 2019
<https://www.worldmanufacturingforum.org/>

MAINTENANCE 4.0 TO FULFIL THE DEMANDS OF INDUSTRY 4.0 AND FACTORY OF THE FUTURE

¹Basim Al-Najjar, ¹Hatem Algabroun, ²Mikael Jonsson

¹Mechanical Engineering Department, Linnaeus University, Swede

²E-Maintenance Sweden AB, Sweden

Corresponding Author: Basim Al-Najjar

Abstract

In today's high market competition, industries attempt to adapt new technologies to retain their market share. With technology advancement in factories, maintenance methods are developed to suit the new manufacturers' demands. Now, with the Industry 4.0, new maintenance techniques have to be developed to fulfill the new demands which we refer to as Maintenance 4.0. Each currently used maintenance technique has its own advantages and disadvantages. Until now it is unclear if these techniques are suitable for Industry 4.0. This study shows how to identify the maintenance technique that is the most suitable to be further developed for Industry 4.0. In this paper, the tasks and features of Maintenance 4.0 are identified, and the suitability of the most popular maintenance techniques is examined with respect to Industry 4.0 demands. This is done by using Multiple Attribute Decision Making combined with the Simple Additive Weight. The results show that Total Quality Maintenance (TQM) and then Condition Based Maintenance (CBM) are the highest ranked among the examined maintenance techniques, and therefore it is concluded that these maintenance techniques could be used as a basis to develop Maintenance 4.0.

Keywords- Maintenance 4.0, maintenance for Industry 4.0, maintenance for smart factories, maintenance techniques comparisons.

1. Introduction: State-Of- Art And Motivations

In today's high market competition, industries attempt to adapt new technologies to fulfill customer needs and retain their market share. Industry has experienced three revolutions during the past 200 years, driven by mechanization, electrical power and the electronics & Information technology (Kagermann et al. 2013; Drath & Horch 2014; Deloitte 2015). With the recent technology advance in Cyber Physical Systems (CPS), the Internet of Things (IoT) and the internet of Services (IoS), Industry 4.0 has been announced as the 4th industrial revolution. This revolution is driven by the need of shorter time to market, customized mass production and increased efficiency (Helmrich 2015). Industry 4.0 is characterized by the vertical integration of systems at different hierarchical levels of the value creation chain and the business process, as well as, by the horizontal integration of several value networks within



and across the factory. This is done through end-to-end engineering across the entire value chain (Kagermann et al. 2013; Hermann et al. 2016; Stock & Seliger 2016). Hermann et al. (2016) defined Industry 4.0 as, a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Industry 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT and CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via the IoS, both internal and cross-organizational services are offered and utilized by participants of the value chain. (p.11) It is proven by many researchers that maintenance plays an important role to enhance production performance (Waeyenbergh & Pintelon 2002; Al-Najjar & Alsyouf 2003; Al-Najjar 2007). With technology advancement in factories and increased complexity in the manufacturing machines, maintenance methods are developed in order to suit the new manufacturers' demands. Furthermore, several commercial software solutions evolved to improve the production performance and its profitability. However, the profitability of maintenance and assessment of its pay-back is not common among maintenance commercial software. Nevertheless, it is still considered in some of the maintenance software systems such as Smart eMDSS (Smart eMaintenance Decision Support System) uses deterministic and statistical approaches) from E-maintenance Sweden AB and EXAKT (uses the probabilistic approach) from OMDEC Inc.

Now, with the Industry 4.0, new maintenance paradigm, innovative methods, tools and systems have to be developed to fulfill the new demands which is referred to as Maintenance 4.0. Industry 4.0 is a relatively new technology (Deloitte 2015; Qin et al. 2016) and therefore a little research is performed in the area of its maintenance. There is a lack of studies that examine the suitability of the current used maintenance techniques for Industry 4.0. Therefore, the problem addressed in this study is: How to identify the maintenance technique that is the most suitable to be developed for meeting the demands stated by factory of the future implementing the concept of Industry 4.0? The need of this study arises from the fact that each maintenance technique has its own features, advantages and disadvantages. However, until now it is unclear how these techniques will perform in Industry 4.0 environment. This study aims to examine the most popular maintenance techniques with respect to the maintenance features demanded by the maintenance suitable for Industry 4.0. It is necessary to give an insight to maintenance professionals that helps in developing proper maintenance strategy that suits Industry 4.0. Next describes the methodology to achieve the aims of this paper. Section 3 and 4 describe and classify the most popular maintenance techniques. Then, section 5, reveals the industry demands, potential maintenance tasks and the features of the maintenance technique/system that is suitable for Industry 4.0 (i.e. Maintenance 4.0). Section 6 explains the tools to examine the suitability of the selected maintenance techniques with respect features demanded by Maintenance 4.0. Section 7 examines the maintenance techniques using the features of Maintenance 4.0, which is followed by results and discussions in section 8. Finally, conclusions will be drawn in section 9.

2. Methodology

To achieve the objective of this study, the suitability of the most popular maintenance techniques will be explored, discussed and examined with respect to the maintenance features demanded by Industry 4.0. The examination of the maintenance techniques will be done by using Multiple Attribute Decision Making (MADM) combined with the Simple Additive Weight (SAW) in order to see the collective performance. This combination is used by several researchers (Al-Najjar & Alsyouf 2003; Chan & Prakash 2012) to examine and rank maintenance techniques. It is used in this study for its simplicity and suitability for the study's purpose. To examine and rank the suitability of the most popular maintenance techniques, we will: 1) Identify possible tasks that are needed to be handled by a maintenance technique in the factory of the future and when Industry 4.0 is implemented. 2) Identify the features that such a maintenance technique/system should acquire to be able to conduct the tasks in 1 above. 3) Examine and rank the suitability of the most popular maintenance techniques to Industry 4.0.

3. Maintenance Techniques

In the recent decades the recognition of maintenance as an effective part of the company competitiveness and existence has grown (Waeyenbergh & Pintelon 2002; Al-Najjar & Alsyouf 2003; Maletic et al. 2014). The most relevant and widely implemented maintenance techniques that are considered in this paper are: Failure Based Maintenance/Breakdown maintenance (FBM), Preventive Maintenance (PM), Condition Based Maintenance (CBM), Total

Productive Maintenance (TPM) and Total Quality Maintenance (TQMMain). Failure Based Maintenance (FBM) strategy (it is also called breakdown or corrective maintenance) is a reactive maintenance. It is done at failure to restore a machine to a working condition as before. It is based on the concept: wait until the breakdown then fix it as soon as possible to as good as before (Al-Najjar 1997; Pintelon & Parodi-herz 2008). In FBM the failure may occur during inconvenient time, therefore long downtime and negative consequences should be expected. In order to reduce downtime and increase the availability, additional spare, redundancy equipment, labor and spare parts are often needed, which are very costly. However, even that the FBM is in some cases, considered cost effective technique especially when no other maintenance technique is applicable (Waeyenbergh & Pintelon 2002; Chan & Prakash 2012). The fundamental concept of Preventive Maintenance (PM) strategy is to reduce the probability of failures by replacing parts at intervals predefined by the manufacturer, end-user and/or experts for example at time T , regardless of the system condition (Waeyenbergh & Pintelon 2002; Pintelon & Parodi-herz 2008; Prajapati et al. 2012). T represents calendar time, age or real running time. So component will be replaced at failure or at fixed time T whichever comes first. PM is used in different industries when it is assumed to be cheaper than FBM and easier to plan as it is relied on scheduled time. However, there might be always a probability of over-maintenance and losing unnecessary production time, or early and unnecessary maintenance actions, e.g. replacements, with additional losses of resources. Strategy of Condition Based Maintenance (CBM) concept advocates that actions are planned only if there are indications/symptoms assessed using relevant condition monitoring (CM) parameters. The CM parameters could be temperature, pressure, vibration, etc. CBM is a technique that utilizes the acquired information by CM parameters in order to act just before a failure when the deviations reach a predetermined level (Al-Najjar 1997; Chan & Prakash 2012; Rastegari 2015). CBM can be used as proactive when enough information of high quality is available and predictive otherwise. Total Productive Maintenance (TPM) is a philosophy that involves all the employees in an organization, from the top management to the floor shop. It advocates operator maintenance that consists of well-defined activities, such as the daily maintenance work to reduce downtime, material waste, improve quality and overall equipment effectiveness. Simple problems are rectified by the operator whereas complicated ones are forwarded to the maintenance staff (Al-Najjar & Ingwald 2002; Chan & Prakash 2012). The assumed results are claimed to be earned in the long-term which make it difficult to be accepted by the higher management as they tend to focus on the early results (Al-Najjar 1997). The Overall Equipment Effectiveness OEE is advocated by TPM to measure the equipment effectiveness technically. However, there is no methodology presented in the framework for data gathering, management, processing and handling (analysis, diagnosis, prognosis and prediction) in order to be able developing as much as possible of a production holistic view. This increases the difficulties in the follow up of the technical and economical results of the improvement activities. TPM provides some tools and methods to investigate and analyze technical problems e.g. Phenomenon-Mechanism Analysis. However, originally in TPM there is no special technique for effective utilization of CM technologies and data. It is left to the operator's experience to decide what and how to measure (Al-Najjar & Ingwald 2002). The main goal of TPM is to maximize the equipment effectiveness through reducing the six big losses in order to meet the JIT (Just-In-Time) manufacturing tough needs, i.e. improve overall equipment effectiveness. Total Quality Maintenance (TQMMain) is a philosophy that was developed to detect deviations in the condition and performance of the essential elements involved in a production process (e.g. operation, quality control system, personal competence, methods, raw material quality and environment) and not only the machine, in order to make a cost-effective decision before the deviation/damage impacts the production performance. It advocates integration of relevant databases in order to detect damage causes, damage initiation and deviations and follow up damage/deviation development in, e.g. production cost, quality, production, machine condition at an early stage. TQMMain uses the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle to continuously improve the process elements. But, its action is applied earlier than the failure occurrence because it is based on detecting changes in the machine/process condition and performance using data from relevant CM technologies (Al-Najjar 1997; Sherwin 2000; Chan & Prakash 2012). The performance indicators used in the TQMMain is the Overall Process effectiveness (OPE). It is a modification of OEE covering whole process and not only the equipment (Sherwin 2000; Al-Najjar & Ingwald 2002). The measure of maintenance Cost Effectiveness (Ce) advocated by TQMMain is the proportion of the difference between the cost of producing high quality item before and after maintenance improvement or policy changes (Bb) and (Ba) respectively, to (Bb), i.e. $(Ce) = 1 - Ba / Bb$. TQMMain aims to maintain the quality of the elements involved in a production process based on using a common database of realtime data. Information provided by TQMMain is easily accessible by all stakeholders at different managerial and technical levels fulfilling the demand of vertical and horizontal integration of an organization. This helps to maintain the quality of the production process. It emphasizes the integration of the data from different disciplines such as production, maintenance, economy and quality.



4. Maintenance Techniques Classifications

In Industry 4.0, the entire value chain will be integrated and share digitalized information to cooperate and execute tasks. This will generate an enormous data mass from different elements over the network. An environment of gigantic data from different systems could provide tremendous value to achieve more accurate; detection of problems and their root-causes as well as diagnosis and prediction of damage development, assessment of effects, and reliable planning of maintenance activities, which at the end avoids unplanned downtime (Lee et al. 2015). Hence, data coverage, quality and its utilization are important factors for maintenance in Industry 4.0. However, dealing with an environment of such huge data and developing tools to transform data into information could be challenging (Lee et al. 2014; Wabner 2018). Based on data coverage, quality, and the level of utilization that describes the condition of a machine and component, maintenance techniques are classified as shown below: Class 1; maintenance techniques able to utilize relevant real-time data from different relevant working areas, e.g. production, economic, quality, operation and economy to achieve more accurate:

- Diagnosis, prognosis, prediction and recommendations
 - Assessment of the technical and economic impact of maintenance on company business.
 - Identification of root causes and reliable opportunity for elimination.
 - Cost effective maintenance decisions.
 - Holistic view of a production station, line and consequently production process.
 - Follow up of deterioration development to select the most profitable maintenance time. An example of Class 1 is TQM.
- Class 2; maintenance techniques able to utilize only technical data and information related to the producing machine components in question. The data and information that are gathered using, for example FMEA, FMECA, FTA, CM techniques, statistical tools for describing and modeling time to failure behavior. The accuracy of the maintenance developed based on only this type of data varies depending on the availability of the technical data, e.g. CM-data, failure data, and the methods/models used (Al-Najjar 2012). However, as all of the data gathered in this class are technical, therefore the outcomes that are not technical related are not expected. Examples of the maintenance techniques under this category are TPM, CBM and PM.
- Class 3; maintenance techniques that are not using any data, for example FBM, i.e. nothing is done before a failure is occurred.

5. Maintenance 4.0

5.1 Industry 4.0 and its demands on advanced maintenance

Several advantages are expected from Industry 4.0. For example, the technologies of CPS, IoT, IoS and the networking allow the integration of data/information from different working areas/disciplines (e.g., sales, quality, production, production cost and price, risk management, environment, etc.) which facilitates the coordination among them and draw synergies. In addition, the utilization of the available data by intelligent systems provides the ability to utilize the resources efficiently as well as the ability to customize even in small production quantities, and yet remains profitable. The different data sources in Industry 4.0 will make factories able to predict and respond rapidly to changes, e.g. in production, delivery, failures, etc. and able to compensate temporary shortages. The flexibility in Industry 4.0 will result in a better working condition for the workers and better life-work balance. In Industry 4.0, new ways of services will be created and therefore, a new business models and opportunities will appear (Kagermann et al. 2013). In a conclusion, Industry 4.0 will result in:

- High customization ability to meet individual customer requirements
 - Continuous improvement and optimized decision making
 - Productivity and resources efficiency
 - Work-Life Balance
 - New business opportunities
- The objectives of Industry 4.0 are driven by the need of shorter time to market, customized mass production and increased efficiency (Helmrich 2015). In order to sustain the successfulness of Industry 4.0; Maintenance 4.0, i.e. maintenance meeting Industry 4.0 demands, should have the following objectives (Al-Najjar 2015):
- Rapid responsiveness to meet the dynamic and rapid changes in the operating conditions and surroundings

- Maintain quality of machines at low cost, which makes maintenance and production processes more profitable, and
- Achieve high quality performance of producing machines

5.2 Maintenance 4.0; Tasks and Features

In general, maintenance activities are responsible of reducing the probability of failure and unplanned stoppages. This minimizes the impact of failure consequences on company performance through maintaining the continuity of a production process and product quality at a predetermined rate, and reducing production cost. In addition, maintenance activities have a very high influence on company's internal effectiveness, due to its internal interaction and impact on different important working areas, such as production cost, energy consumption, safety, delivery on time and working environment (Al-Najjar 2007; Maletic et al. 2014). Therefore, a reliable and efficient maintenance not only increases the profitability, but it also improves the overall performance of the company (Waeyenbergh & Pintelon 2002). Therefore, reliable and effective maintenance methods are an important factor for Industry 4.0 to succeed. Several researchers discussed maintenance tasks for different intelligent maintenance systems (Labib 2006; Lee et al. 2011). However, in the context of this paper, the below are the maintenance tasks necessary to meet the needs stated by Industry 4.0:

- **Abnormalities detection:** It should be able to detect abnormalities in the condition of assets and production process performance in addition to abnormalities in energy consumption, working environment and operating conditions (e.g. speed, load and temperature).
- **Diagnosis, prognosis and prediction:** to identify and localize the causes and damages, estimate damage severity and follow up its development, predict its future development and also assess the asset remaining life.
- **Maintenance scheduling:** to suggest the most profitable time for maintenance associated with the resources and competence required. Also, it should automatically generate the maintenance action schedule to synchronize maintenance actions with production planning.
- **Maintenance execution:** to conduct specific actions automatically to achieve self-healing assets. For those problems where automatic actions are still impossible from technological point of view, the maintenance system should automatically provide report surveying the condition of the machines and work orders/recommendations to conduct actions for the components suffering of severe damage development.
- **Short time to repair:** It should be able to communicate with Augmented Reality (AR) system to provide maintenance engineers the assistant required for conducting actions properly, reliably and in a short time.
- **Self-learning:** to learn from past data (failures and condition-based actions) to continuously improve and optimize maintenance decisions and actions.
- **Data presentation:** to present relevant and realtime information, and results from analysis, diagnosis, predictions, maintenance work progress, completed tasks and pending tasks.

In order for Maintenance 4.0 to be able to perform the above mentioned tasks in a factory of future implementing concepts of Industry 4.0, it should possess the following features:

1. **Real-time communication:** Ability to easily communicate with data gathering platform, import and export data with relevant working areas and be user friendly for different stakeholders and at different levels.
2. **Decentralization:** Capable to be suited for decentralized production as it is advocated strongly by Industry 4.0.
3. **Damage detection:** Able to detect damage initiation at an early stage and follow up its development in order to avoid failures and unplanned stoppages.



4. Automation: Able to be automated, i.e. to automate all maintenance steps/activities, to easily fit with digitalized and automated production process
5. Real time presentation: Provide accessibility of real-time and relevant data in an easy way to enable production process an easy reconfiguration and re-planning of production with respect to the condition of the manufacturing machines.
6. Intelligence: Intelligent and be improved continuously to enhance the decisions' accuracy basing on its ability in extracting information from data and be selflearned.
7. Cost effective: To be sustainable maintenance technique, cost effectiveness should be considered.
8. Scalable: To meet the dynamic operation and technology growing demands, it should be able to be integrated with different new modules, adds-on and software. For example, a fleet could require a new machine technology and the machine also could require a new CM technique, a new sensors type, and new analysis software. Maintenance 4.0 should be flexible to include and exclude modules and activities.
9. Monitoring production process: Able to monitor additional element in addition to the machine, such as working environment, energy consumption and operating condition.
10. Accurate decisions: Able to provide more accurate recommendations and decisions. It is economically necessary to utilize as long as possible a component/equipment life length without increasing the risk of failures.
11. Digitalized: Able to be digitalized in order to ease maintenance automation and integration with digitalized and automated production.
12. Production KPIs consideration: Ability of considering real-time performance measurements (production and maintenance process KPIs). The maintenance technique/system should be able to map production performance indicators in order to identify and assess the maintenance impact and improve it.

6. Tools To Distinguish Maintenance Technique Suitability For Development Of Maintenance 4.0

In this paper, the suitability of the discussed maintenance techniques in section 3 is examined and ranked with respect to their suitability to be developed for Maintenance 4.0. The features introduced in section 5.2 are used as examination criteria. Multi Attribute Decision Making (MADM) issued as it is suitable for this case (since the purpose is to evaluate alternatives over criteria), as well as it is a well-known tool in the decision making (Triantaphyllou & Shu 1998). There are several techniques for the MADM such as Simple Additive Weighting (SAW), Weighted Product Method (WPM), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), etc. In this study, SAW is selected due to its simplicity as well as it is often used as benchmarking method to compare results from other MADM methods (Janic & Reggiani 2002). Next sections will explain the used tools to distinguish maintenance technique suitability for development of Maintenance 4.0.

6.1 Multi Attribute Decision Making (MADM)

Multi Attribute Decision Making (MADM) is considered to be one of the most known branch of decision making (Triantaphyllou & Shu 1998). In general, the steps of the MADM are: forming the criteria C and assessing their weight W by experts/decision-makers, then the possible alternatives A are determined. In the decision matrix, the experts/decision-makers score the value V_{mn} that describes the alternative A_m ($m = 1, 2, 3 \dots i$) with respect to the criterion C_n ($n = 1, 2, 3 \dots j$) and its weight W_n . Then applying a MADM method, in order to get collective evaluation and ordering of each alternative (Al-Najjar & Alsayouf 2004; Chan & Prakash 2012). Table 1 shows the decision matrix.

Table 1. Decision matrix 6.2 Simple Additive Weighting (SAW)

Criteria	C_1	... C_n	...	C_i
Weights	W_1	... W_n	...	W_i
A_1	V_{11}	V_{1n}	V_{1i}
:	:	:	:	:
A_m	V_{m1}	V_{mn}	V_{mi}
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
Alternatives				
A_j	V_{j1}	V_{jn}	V_{ji}

In a decision matrix where A is the alternatives and C is the criteria with W assigned weights, the best alternatives is the one with the highest score (Triantaphyllou & Shu 1998). This can be modeled as follow: $S_b = \max S_m = \sum_{n=1}^c W_n \cdot V_{mn}$ where $m = 1, 2, 3, \dots, j$ (1) S_b is the best alternative S_m is the overall score of the m-alternative C is the number of the decision criteria V is the value of the m-th alternative with the respect to n-th criterion W_n is the weight of the n-th criterion

7. Ranking Maintenance Technique With Respect To The Features Of Maintenance 4.0

Five popular maintenance techniques (alternatives) and 12 features (criteria) are used. The five maintenance techniques and the 12 features that are described in Section 1.1 and 2.2 respectively. For simplicity, all of the features/criteria are assumed to be equally valuable and therefore no weights have been assigned. The MADM matrix then was constructed as shown in Table 2. Each alternative A_m assigned a value V_{mn} against criterion C_n . It was not possible to obtain precise quantified values for V_{mn} . In this case, the MADM matrix requires information that experts/decision-makers assign. As the human judgments often are ambiguous, it will be very difficult to assess the value V_{mn} in a precise quantitative form. Thus using the linguistic approach is more realistic (Herrera & Herrera-Viedma 2000; Chan & Prakash 2012). Therefore, linguistic variables are used to assign the value V_{mn} . The linguistic values are: “high”, “middle”, “low” and “none”, the corresponding numerical values are: 9, 6, 3 and 0 respectively. The assessment of the values V_{mn} was done basing on the author Al-Najjar’s long experience in the industry and maintenance technology, table 2, shows the linguistic value of the matrix. These values are related to the working domain of rotating machines, and different applications may possess different values.

As this is a human judgment, there could be some degree of uncertainty and subjectivity in the assigned values. Therefore, in the discussions section below, the authors chose to provide arguments to reveal and motivate the reasons behind assigning a particular value in Table 2 to each alternative against each criterion.



Table 2: Linguistic estimation of the suitability of the most popular maintenance techniques with respect to the features of Maintenance 4.0 7.1 Discussion of the linguistic values and numerical analysis

		Maintenance techniques (alternatives)				
No.	Features (criteria; abilities of Maintenance 4.0)	FBM	PM	CBM	TQMai n	TPM
1	Real-time communication	none	Low	middle	high	middle
2	Decentralization	high	high	high	high	high
3	Damage detection	none	none	middle	high	none
4	Automation	none	Low	middle	middle	low
5	Real-time data presentation	none	none	low	high	none
6	Intelligence	none	none	middle	high	none
7	Cost effective	low	middle	high	high	middle
8	Scalable	high	Low	middle	high	low
9	Monitoring production process	none	none	low	high	none
10	Accurate decisions	none	Low	high	high	middle
11	Digitalized	low	middle	high	high	middle
12	Production KPIs consideration	none	Low	low	high	low

The suitability of every examined maintenance technique in Table 2, is assessed based on its actual definition and successful applications. The suitability of combined techniques, e.g. CM associated with TPM, is out of the scope of this study and is a subject for a future study. In Table 2, the criterion “Real time communication”, FBM cannot communicate with other systems because it is only relying on action after failure. PM have low level of communication with other working areas/systems/activities, because they have usually a static planning of regular maintenance actions while production and operation are in dynamic changes. This makes active interactions between these maintenance techniques and other systems low. Using TPM circles for never ending improvement provides a special space for communication with, e.g. production and quality working areas. This is why it acquires middle level. In many cases, CBM can utilize real time operational data, such as production speed and loading, thus it has higher level of dynamic interactivity and integration with the operational process, so the value “middle” is given. TQM has high level of communication, as it emphasizes using real-time relevant information from other working areas utilizing common database to achieve cost-effective decisions and planning of maintenance activities, so it possessed the value “high”. The values given to the criterion “Decentralization” highlight the ability of the maintenance technique to execute maintenance tasks in a decentralized production. In many cases, the decentralized production is associated with an inconsistent production process (Garrehy 2015), as the management is left to each unit manager. This will vary the production process and hence will vary the deterioration process, failures types and their quantity among the machines. However, this will not prevent the maintenance techniques from performing their tasks specially if they are applied decentrally as well. Therefore, all of the maintenance techniques are set to be “high”. Data from CM technologies are effectively utilized by CBM and TQM, but at different level of accu-

racy. TQMmain is considered superior compared with CBM, thanks to the additional data supporting the description of the machines condition. TQMmain acquires data from other relevant working areas, for example production, quality, economy, working environment, and also it has its own tools for reducing uncertainty in the measured data. For example, Common database is advocated by TQMmain, compare information, and Cumulative Sum Chart (CUSUM) chart for reducing randomness in the picked up vibration measurements. This suggests that the ability of TQMmain in detecting initiation of damage is “high”, while it is “middle” in CBM due to the randomness in the measurements. Other maintenance techniques, such as PM and TPM may use data from CM technologies. However, in many cases, CM data is used just for statistical modelling of the condition data to estimate the time to failure without giving a reliable attention to the dynamic changes of the damage development rate during operation. The latter is important to follow-up deterioration process and choose the most suitable time for maintenance action in order to enhance maintenance decision accuracy. Observe that FBM acquires no data and consequently no ability for detecting damage initiation. Generally, the practice of FBM in the industry does not involve automation, while in many cases, TPM and PM has some level of it. Applying, PM, maintenance planning system triggers work orders automatically at the time of the planned preventive maintenance actions. TQMmain and CBM are much more prepared for digitalized data management and communication with other systems; therefore, they are highly prepared for automation. For example, CBM can be used to trigger different physical actions, such as stopping producing machine when the CM-level, e.g. vibration level, exceeds a predetermined level. While in TQMmain, the same machine can also be triggered off basing on additional parameters than vibration, for example if the number of defective items or a production cost exceeds a predetermined level and a work order is automatically sent to the maintenance engineer. For the criterion “Real-time data presentation”, as discussed previously, only TQMmain has this feature. In CBM only some operational data e.g. Load and speed of machine, could be associated in the monitoring dashboards. This motivates to set all of the techniques to be “none” except TQMmain and CBM to be “high” and “low” respectively. In order for Maintenance 4.0 to be intelligent in supporting decisions, real time, relevant, wide coverage and high quality data is essential in addition to possessing cognitive algorithms. There are several studies for the application of this criterion in CBM and TQMmain (Durbhaka & Selvaraj 2016; Maliha Salem et al. 2010; Gerdes 2013; Cheng et al. 2008). TQMmain has the accessibility to these required data as well as it uses Smart eMDSS with built-in intelligence and self-learning feature. CBM provide less data as described previously and there is algorithms and techniques to utilize these data e.g. Machine Learning (Coraddu et al. 2016). For these reasons, TQMmain is given the value “high”, CBM is “middle”. FBM, PM, and TPM do not provide sufficient data nor there are intelligent algorithms with self-learning feature. In general, CBM and TQMmain often are more cost effective when they are applied properly, as they detect damages initiation before they impact the production (Maletic et al. 2014; Baoqiang et al. 2014). Therefore, they both are given the value “high”. PM, and TPM have tools and methods to reduce the probability of production stoppages. However, they are not always early enough. While FBM, has no means to reduce probability of failure and reduce stoppages and consequently becomes cost-effective. This motivates to set PM and TPM to be “middle” and FBM to be “low”. For the scalability, in general, most of the maintenance techniques have high ability to be applied on additional similar machines and components. But, for dissimilar machines and components, i.e. of different design, functions, operating conditions or technology, scalability will not be equally easy. In the contrary, it may demand special efforts, configuration and planning as they may have different problems, deterioration processes and behavioral model. In the discussion of this ability/criterion, we still consider the degree of maintenance technique scalability and accuracy simultaneously. Observe that the repair actions belonging to any of these maintenance techniques are equivalent to those demanded by FBM. In general, scalability of PM and TPM demands reliable analysis and understanding the machine structure, functions and behavior of the time to failure in order to design a suitable maintenance plan and actions. In the CBM and TQMmain the biggest efforts will be mainly when selecting and implementing the suitable CM first time. Basing on the fact that, this does not require technical analyses only, -which could be complex in many cases- but also requires economic analyses to select the suitable and profitable CM technique. Therefore, it is assumed that the effort in this case is the highest in the first implementation time. But, if applying CM, e.g. using vibration, temperature, CBM or TQMmain for monitoring and maintaining rotating machines/components, its scalability will be increased much higher (than the first implementation). It does not demand more than reconfiguration of the CM-system i.e. identify machine and components IDs and define warning levels for the components in the new machines. In many cases, it is also possible to do this configuration automatically as the case, for example in Smart eMDSS. This is why it has high scalability when it concerns components of the same category, for example rolling elements bearings, pulleys, gears, shafts, does not matter the machine type. In TQMmain, as long as many relevant information parameters are already considered, therefore its scalability can be higher than CBM, because it is designed to easily include and



exclude different CM parameters. What is really needed in this case is the reconfiguration of the system as described above in CM. For these reasons, the highest value for scalability is given to FBM and TQMmain. The value “middle” is given for CBM, while “low” is given to PM and TPM. TQMmain emphasizes using common database and monitoring the essential elements involved in a production process. Thus, it is given the value “high” for the criterion “Able to monitor additional element”. CBM possessed lesser value “low”, as in practice, it can be used to identify whether external disturbing factors, such as load, ambient/operating temperature, imported shock and vibration, are influencing, e.g. vibration signals. The rest of the techniques, in general, have no possibility to monitor the condition/quality of other production elements, so the value “none” is given to them. The previous discussions suggest FBM to be “none” in the criteria “Accurate decisions” when other maintenance techniques can be implemented for the same machines to avoid failures. PM is based on historical failure data to make the decision, which is not always easy to find due to lack of such data because of the condition-based replacements are done to avoid failures. Thus, it is given the value “low”. TPM have besides the past data acquired by PM, knowledge and experience accumulated when conducting analysis for improving machine performance and availability (in the case of TPM working groups) using, for example Failure Mode Analysis (FMEA), Failure Mode and Criticality Analysis (FMEACA) and Fault Tree Analysis (FTA), therefore, TPM is given the value “middle”. CBM can even gather real-time CM data but due to the uncertainty in measured data, for example randomness in the vibration signal, make the accuracy moderate, therefore it is also given value “middle”. A more accuracy could be obtained by using real-time CM data and techniques for reducing the impact of the randomness in the CM signals associated with data gathered from other relevant working areas and thus “high” is given to TQMmain. The value “high” is given to the TQMmain and CBM in the criterion “Digitalized”; as in general, most of steps of these maintenance techniques are digitalized. PM, and TPM have lower level of digitalized, e.g. the maintenance plan, triggering work orders, and thus they are given the value “middle”. While the maintenance process of FBM is the lowest in the digitalization. Maintenance activities aim to improve the production performance. Hence utilizing production KPIs -e.g. production quality, productivity and production time- and mapping them to the maintenance activities will help to identify and assess the maintenance impact. The ability of considering the production KPIs in the maintenance activities, -i.e., the criterion “To consider real-time performance measurements”- has no mean in FBM. As it has no tools and process of collecting, storing and analyzing production data. While in TPM it is possible to utilize the production KPIs to improve the maintenance performance through TPM circles. But, it is not easy to handle when it concerns PM as long as maintenance planning is static as we discussed above. However, some KPIs, for example the costs and losses related to production and maintenance are usually considered when developing and optimizing statistical models for PM. But, these models are, in general, not able to follow the costs/losses „dynamic changes during operation. In general, CBM does not consider real-time performance measurements. But, it gives better ability for that, as it relies on digitalized techniques and data which can easily be combined with realtime process data. TQMmain gives the best possibility among the discussed maintenance techniques, since real-time, relevant and wide covered data from the production process could be used to assess the maintenance impact, performance and improvements. Therefore, FBM is given the value “none”. PM, and TPM are given the value “low”, CBM is “low” and TQMmain is “high”.

8. Results And Discussions

After the conversion from the linguistic into numerical values, SAW is then performed to obtain the global value for the performance of each alternative, see table 3, and the maintenance techniques are ranked. Table 3 shows that the lowest scores are acquired by FBM and then PM (24) and (36) respectively, followed by TPM which scored (equally 42). CBM acquired double the score that acquired by TPM, while TQMmain’s score is almost three times that acquired by TPM and more than one and a half times the score acquired by CBM. The ranking of the selected maintenance techniques can be re-considered based on the modifications done in the contents and structure of any of these maintenance technique. We will discuss the possibility of dramatic variation in the values given to the features PM, and TPM with more focus for the values 0 or 3. This discussion is considered instead of sensitivity analysis, because the linguistic assessment done is knowledge and experience based. The possibility that any of the maintenance techniques will be able to detect damage initiation (feature number 3) except CBM and TQMmain is relatively very low. If any of the other techniques applies CM technologies, then it should be re-ranked to be equivalent to it utilization of the data provided by CM. Ability of PM and TPM in providing realtime communicating with other systems for; data gathering/data accessibility and monitoring production process condition, (features 1, 5, 9 and 12) is either 3 such as in features 1 and 12, or 0 in features 5 and 9. These values will not be easy to be improved due to the concept and structure of PM and TPM. When using statistical models, the possibility that PM

and TPM becomes more intelligent and effectively competing with CBM and TQMain is rather low. To enhance the estimation of the failure rate and expected time to failure, it is important to change or modify the probability distribution function. The latter demands very big amount of failure data of identical/similar components, which is not easy and maybe impossible to find due to condition-based replacements Ability of PM and TPM to be more scalable is also low because the latter demand high level of digitization, ability to provide wide realtime data coverage of high quality and communication with other systems, which are, in general, low in these maintenance techniques. In other hand, PM, TPM and even FBM, can be more cost-effective (feature 7) than CBM and TQMain in special applications. But, it will not be probable that these maintenance techniques will be more accurate in diagnosis, prediction and decisions, i.e. feature 10. Also, additional improvement in the ability in automation (feature 4) of these techniques will not influence appreciably the final result. Therefore, the uncertainty in the results achieved in Table 3 due to possible dramatic changes in features' values due to the methodology being used is low.

Table 3: Numerical values of MADM

Maintenance techniques (alternatives)						
No.	Features (criteria; abilities of FBM maintenance techniques)	FBM	PM	CBM	TQMain	TPM
1	Real-time communication	0	3	6	9	6
2	Decentralization	9	9	9	9	9
3	Damage detection	0	0	6	9	0
4	Automation	0	3	6	6	3
5	Real-time data presentation	0	0	3	9	0
6	Intelligence	0	0	6	9	0
7	Cost effective	3	6	9	9	6
8	Scalable	9	3	6	9	3
9	Monitoring production process	0	0	3	9	0
10	Accurate decisions	0	3	9	9	6
11	Digitalized	3	6	9	9	6
12	Production KPIs consideration	0	3		9	3
			3			
S_m		24	36	75	105	42

9. Conclusion

In order to develop a proper maintenance approach for Industry 4.0, it is important to describe the abilities of the selected maintenance techniques for conducting the tasks demanded by Maintenance 4.0 and their suitability for further improvement towards Maintenance 4.0. Therefore, in this paper we discussed and analyzed the suitability of most popular maintenance techniques, such as FBM, PM, CBM, TPM and TQMain with respect to the features demanded by Maintenance 4.0. This paper characterizes Maintenance 4.0 by its tasks and features, which is necessary for researchers and practitioners in maintenance to design such a technique. The major conclusion is; the most important features that should be possessed by Maintenance 4.0 are; Real-time communication, Decentralization, Damage detection, Automation, Real-time data presentation, Intelligence, Cost effective, Scalable, Monitoring production process, Accurate decisions, Digitalized, Production KPIs consideration. In addition, applying the results achieved will ease the task of developing a suitable Maintenance 4.0 needed to maintain the profitability expected by adopting manufacturing to Industry 4.0. Applying such sophisticated and advanced maintenance technique,



i.e. Maintenance 4.0, may mean increased maintenance cost. However, does not matter how much maintenance budget will increase as long as maintenance cost per high quality product is decreasing. Future work could include developing weights for the features (criteria) and applying the results in three real industrial cases which are now included as a demonstration companies in H2020-FoF09, PreCoM (Predictive Cognitive Maintenance Decision Support System).

ACKNOWLEDGEMENT The author would like to thank Vinnova, E-maintenance Sweden AB, Vibrationsteknik and Assalub for funding and supporting the project during 2015-2016. The authors would like to emphasize that this study is completed as a part of PreCoM-H2020, FoF 09, 2017-202. The PreCoM project has received funding from European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 768575.

10. Reference

- [1]. Al-Najjar, B., 1997. Condition Based Maintenance: Selection and Improvement of a Cost effective Vibration Based Policy For Rolling Element Bearing. (Doctoral Thesis) Lund University, Sweden.
 - [2]. Al-Najjar, B., 2012. On establishing costeffective condition-based maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), pp.401–416.
 - [3]. Al-Najjar, B., 2007. The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. *International Journal of Production Economics*, 107(1), pp.260–273.
 - [4]. Al-Najjar, B. & Alsayouf, I., 2004. Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibrationbased maintenance: A case study. *European Journal of Operational Research*, 157(3), pp.643–657.
 - [5]. Al-Najjar, B. & Alsayouf, I., 2003. Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *Int. J. Production Economics*, 84, pp.85–100.
 - [6]. Al-Najjar, B. & Ingwald, A., 2002. Identification, analysis, elimination and prevention of recurrence of problems: methods and concepts. In *Proceedings of IFRIM*. Växjö.
 - [7]. Al-Najjar, B., 2015. Maint CPS project report, Linnaeus University.
 - [8]. Baoqiang, X., Baowen, L. & Jie, L., 2014. The Implementing Pattern of Total Quality Maintenance and a Case Study. In *Euro Maintenance*. Helsinki, Finland, pp. 195– 198.
 - [9]. Chan, F.T.S. & Prakash, A., 2012. Maintenance policy selection in manufacturing firms using the fuzzy MCDM approach. , 50(23), pp.7044–7056.
 - [10]. Cheng, Z. et al., 2008. A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6), pp.806–814.
 - [11]. Coraddu, A. et al., 2016. Machine learning approaches for improving condition-based maintenance of naval propulsion plants. *Proc IMechE Part M: J Engineering for the Maritime Environment*, 230(1), pp.136–153.
 - [12]. Deloitte, 2015. Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies,
 - [13]. Drath, R. & Horch, A., 2014. Industrie 4.0: Hit or hype?
- [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), pp.56–58.

- [14]. Durbhaka, G.K. & Selvaraj, B., 2016. Predictive maintenance for wind turbine diagnostics using vibration signal analysis based on collaborative recommendation approach. 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), pp.1839–1842.
- [15]. Garrehy, P., 2015. Centralized vs. Decentralized Manufacturing & Where Cloud ERP Fits In: Part 2 | Rootstock Software. Available at: <http://www.rootstock.com/erp-blog/centralized-vs-decentralized-manufacturing-where-cloud-erp-fits-in-part-2/>
- [Accessed January 16, 2017].
- [16]. Gerdes, M., 2013. Decision trees and genetic algorithms for condition monitoring forecasting of aircraft air conditioning. *Expert Systems with Applications*, 40(12), pp.5021–5026.
- [17]. Helmrich, K., 2015. On the Way to Industrie 4.0 – The Digital Enterprise
- [PowerPoint slides]. Retrieved from <http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2015/digitalfactory/2015-04-hannovermesse/presentation-e.pdf>. *Industry4.0*.
- [18]. Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B., 2016. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. In 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE, pp. 3928–3937.
- [19]. Herrera, F. & Herrera-Viedma, E., 2000. Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), pp.67–82.
- [20]. Janic, M. & Reggiani, A., 2002. An application of the multiple criteria decision making (MCDM) analysis to the selection of a new hub airport. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2(2), pp.113–141.
- [21]. Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J., 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0,
- [22]. Labib, A., 2006. Next Generation Maintenance Systems: Towards the Design of a Self-maintenance Machine. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, pp.213–217.
- [23]. Lee, J. et al., 2015. Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation. *Procedia CIRP*, 38, pp.3–7.
- [24]. Lee, J., Bagheri, B. & Kao, H.-A., 2014. Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics. *Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014*, (November 2015).
- [25]. Lee, J., Ghaffari, M. & Elmeligy, S., 2011. Self-maintenance and engineering immune systems: Towards smarter machines and manufacturing systems. *Annual Reviews in Control*, 35(1), pp.111–122.
- [26]. Maletic, D. et al., 2014. The role of maintenance in improving company's competitiveness and profitability: A case study in a textile company. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), pp.441–456.
- [27]. Maliha Salem, B. et al., 2010. A rule based system for reliability centered maintenance. *Proceedings of Special Session - 9th Mexican International Conference on Artificial Intelligence: Advances in Artificial Intelligence and Applications, MICAI 2010*, pp.57–62.
- [28]. Pintelon, L. & Parodiherz, A., 2008. Maintenance: An Evolutionary Perspective. In K. A. Kobbacy & D. N. P. Murthy, eds. *Complex system maintenance handbook*. Springer, Berlin.
- [29]. Prajapati, A., Bechtel, J. & Ganesan, S., 2012. Condition based maintenance: a survey.



Journal of Quality in Maintenance Engineering, 18(4), pp.384–400.

[30]. Qin, J., Liu, Y. & Grosvenor, R., 2016. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, pp.173–178.

[31]. Rastegari, A., 2015. Strategic Maintenance Development Focusing on Use of Condition Based Maintenance in Manufacturing Industry. (Licentiate thesis) Mälardalen University Press.

[32]. Sherwin, D., 2000. A review of overall models for maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6(3), pp.138–164.

[33]. Stock, T. & Seliger, G., 2016. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40(Icc), pp.536–541.

[34]. Triantaphyllou, E. & Shu, B., 1998. Multicriteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 15, pp.175–186.

[35]. Wabner, M., 2018. MAINTENANCE AND SUPPORT Contributing a strategic approach to EU research and innovation policy Roadmap, Available at: www.focusonfof.eu.

[36]. Waeyenbergh, G. & Pintelon, L., 2002. A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), pp.299–313.

MANİSA FRANKE ÜRETİM TESİSİNDE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (TEE) SİSTEMİNİN MAKİNE DURUŞLARININ İYİLEŞTİRİLMESİNE ETKİSİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

¹Onur Özgen, ²Göksel Kumral, ³Rıdvan Köksal

¹Franke Arge Merkezi Müdürü

²Franke Arge Merkezi Endüstri 4.0 Uygulama Grup Sorumlusu

³Franke Arge Merkezi Endüstri 4.0 Bilgi Teknolojileri Sorumlusu

Özet

Bu çalışmada Manisa Franke davlumbaz ve aspiratör üretim fabrikasında Toplam Ekipman Etkinliğini (TEE) ölçmeye yönelik kurulan sistemin makine duruş sürelerinin iyileştirilmesine, verimliliğin artırılmasına ve bakım faaliyetlerinin planlanmasına yönelik etkileri anlatılmaktadır. Kurulan TEE sistemi planlama ve muhasebe sistemleri ile tam entegre olarak çalışabilmektedir. Bu sistem kurulu olduğu makinalardan makinanın çalışma, durma ve üretilen adet bilgilerini otomatik olarak alarak ve de operatörlerin üretim esnasında üretimde meydana gelen ilgili durumları sisteme kayıt etmesi ile toplam ekipman etkinliğini hesaplamaktadır. Web tabanlı çalışan sistemden anlık olarak gözlenebilen ve alınan veriler ışığında saatlik, vardiyalık, günlük, aylık ve yıllık duruş süreleri incelenmektedir. İncelenen veriler ışığında, fabrikadaki hangi makinada ne kadarlık duruş süresi olduğu listelenmekte, bu duruş süreleri ile iyileştirme yapılması gereken makinalar önceliklendirilmekte ve yapılan önceliklendirme sonucunda seçilen makinalar özelinde duruş süresi iyileştirilmesi için bir problem çözme sayfası açılmaktadır. Problem çözme sayfasında problem tanımı yapılarak, takım oluşturulmakta, sistemden çekilen veriler not edilmekte, hızlı yapılacak olan aksiyonlar hayata geçirilmekte ve orta ve uzun vadeli aksiyonlar belirlenmektedir. Makine duruşuna sebebiyet veren farklı hata modları için bu hataların kök nedenleri tesbit edildikten sonra kalıcı aksiyonlar ile hatanın tekrar etmemesi için çözüm ortaya koyulmaktadır. Bu alınan faaliyetlerin sonuçları ve ortaya koyulan yöntemler ilgili makine ve benzer makinaların otonom ve planlı bakım talimatlarına eklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toplam Ekipman Etkinliği, iyileştirme, makine duruşu, verimlilik, bakım.



1. Giriş

Günümüzde sanayide artan rekabet koşulları, kaynakların etkin ve doğru yerinde kullanım gereksinimleri, maliyet baskısı ve kalite beklentilerinin yükselmesinden dolayı işletmelerin iş güvenliği ve kaliteden sonra en önem verdiği kriterlerin başında verimlilik gelmektedir. Süreçlerinde kayıplarını görüp, ölçüp ve ortadan kaldırabilen, verimliliklerini hergün arttırabilen işletmeler müşterilerine zamanında, kaliteli ve rekabetçi maliyetli ürünler sağlayabilmektedirler. Bu işletmeler aynı zamanda buldukları insan gücü, enerji kaynaklarını ve makinalarını en etkin şekilde kullanabilirler. İşletmelerin verimliliklerini ve makinalarının etkinliklerini izlemek için ise işletme içinde farklı sistemler kullanmaya başlamaları ve bu sistemlerin dijital ortamlara aktarılmaya başlaması artık zaruri bir hale gelmiştir. Firmada geliştirilen ve kurulan Toplam Ekipman Etkinliğini (TEE) ölçmeye yönelik sistem ekipmanların etkinliğine yönelik bilgi vermekle beraber aynı zamanda verimliliğin artırılmasına, makine duruş sürelerinin iyileştirilmesine ve bakım faaliyetlerinin planlanmasına yönelik verilerinde sağlanmasına katkı vermektedir. Bu makalede TEE sisteminin verdiği veriler ışığında makine performanslarını arttırmaya ve makine arıza duruş ve oranlarının düşürülmesine yönelik oluşturulan süreç anlatılmaktadır. Kurulumu yapılan TEE sistemi ile makine arıza süreleri ve oranları düşürülmüş, edinilen bilgiler bakım katologlarına işlenmiş, ilgili tüm operatörler eğitimleri yenilenmiş ve de verimlilik artırılarak kayıp üretim zamanları, üretken üretim zamanı haline getirilmiştir.

2. Tee Sistemi Ve Bakım Süreci

İşletmede kullanılan makinaların üretim sistemi açısından başarı kriteri olan TEE, günümüzde aynı zamanda bakım sistemlerinin ve teknolojilerinin başarı kriteri olarak birçok firma tarafından yakından takip edilmektedir. TEE Seiichi Nakajima tarafından Toplam Üretken Bakım kavramı tanıtıldığı zaman ortaya koyulmuştur [1]. TEE kriteri üç çarpan ile ifade edilmektedir. Bu üç çarpan, bulunabilirlik seviyesi, kalite seviyesi ve performans seviyesidir. Makine ve ekipman bakım teknolojileri açısından planlanan ve ön görülen bakımların başarısı ilk bakışta sadece bulunabilirlik seviyesi ile ölçülebilir ve değerlendirilebilir gibi görülsede aslında diğer iki çarpan ile de doğrudan ilişkilidir. Örnek olarak makinalarda gerçekleştirilen bakım sonucunda, bakım başarı kriterlerinin sağlanması makinanın çalışabilir ve üretim yapabilir olması yanında aynı zamanda makinanın bakım öncesindeki müşteri beklentisi olan kalite kriterlerini sağlaması, hatta iyileştirilmesi, bununla beraber sürdürebilir parça üretebilmesinin ve performansının da artması ile de değerlendirilmektedir. Bu aşamada öncelikle incelenecek nokta oluşabilen bakım problemleridir. İşletmelerin genelindeki ortak bakım problemleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir. [2]

- A. Yetersiz proaktif-önleyici bakım,
- B. Problemlerin sık tekrarı,
- C. Hatalı bakım çalışmaları,
- D. Örnek bakım uygulamalarının kurumsallaştırılmaması,
- E. Gereksiz ve yetersiz planlı bakımlar,
- F. Bakım işlemleri için kabataslak gerekçeler,
- G. İzlenebilirlikten ve görünürlükten yoksun bakım programları,
- H. Üreticilerin verdiği bakım programlarının koşulsuz kabul edilmesi,
- I. Aynı veya benzer makineler arasındaki planlı bakım değişkenlikleri,
- J. Kestirimci bakım teknolojilerinin etkin olmayan kullanımları.

Sıralanan bu maddelerin geneli göz önünde bulundurulduğunda bakım sistemlerinin gelişmesi için makinalardan ve bu makinaları kullanan, bakımlarını yapan ve bu ekipleri yöneten ekiplerden sağlıklı veri akışının sağlanması ve bu verilerin aralıksız kayıt altında tutulmasının problemlerin çözümü açısından ne kadar kritik olduğu görülmektedir. Sağlanacak olan bu veriler ışığında özellikle genel bakım problemlerinden izlenebilirlik ve görünürlük maddesinde de gelişme sağlanacaktır.

Bu bakım problemlerinin giderilmesine yardımcı olacak olan TEE sistemi kurulumunda hedeflenen başarı kriteri ise öncelikle listelenecek olan kayıpların ortadan kaldırılması veya en düşük seviyeye inmesinin sağlanması olarak belirlenmelidir. Bu bağlamda işletmede kurulacak olan TEE izleme sistemi bakım performansının da önemli bir izleme ve iyileştirme sistemi olarak ortaya çıkmaktadır.

İşletmede dijital TEE sistemi kurulumu bir proje olarak ele alınmış ve ilgili tüm birimlerin projenin alt projelerinde

katılımları sağlanmıştır. Bu TEE sistem projesini 4 ana alt projede incelemek mümkündür. Bu alt projeler;

1. Ön süreç analizi ve veri toplama.
2. TEE sistem seçimi, makine seçimleri.
3. TEE sistem kurulumu süreci
4. Sürekli iyileştirme süreci

Bakım süreci bu alt projelerin tümünde etkin olarak rol oynamakta ve hem veri toplama hemde hata modlarının tanımlanmasında aktif olarak çalışmaktadır. Ön süreç analizi aşamasında bakım bölümü, makinalarda oluşabilecek olan arızaların hata modlarını ve kodlarını çalışmakta ve bunların sisteme yansıtılması sağlamaktadır. Örnek olarak bir pres makinası sisteminde oluşabilecek bir hatanın net olarak tanımlanması, bu hatanın ortadan kaldırılması için problemin tanımlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle bakım bölümünden projeyi takip eden ekip üyeleri bu hata modlarının doğru ve net olmasını sağlamak için çalışmaktadır. Bu işlemler sonucunda hata ile karşılaşan operatör hatanın doğru tanımını yapabilecek ve de bakım bölümü bu hatayı baz alarak çalışmalarını gerçekleştirecektir.

Sistemin kurulum ön süreç analizi ve veri toplama aşamasında ise öncelikle işletmedeki kritik olan makinalar belirlenmiştir. Bu belirleme süreci öncelikle değer akışlarının incelenmesi ile başlamıştır. Değer akışlarındaki ana makinalar listelenmiş, bununla beraber bu listelenen makinaların çalışma süreleri, enerji tüketimleri, makine sabit ve değişken giderleri ve ürettikleri parçalar açısından kritiklik seviyeleri göz önünde bulundurulmuştur. TEE sisteminin kurulacağı makinalar bu veriler ışığında pareto mantığı ile seçilmiş ve 32 nokta belirlenmiştir. Bu 32 nokta arasında makine türleri açısından aşağıdaki gruplar oluşturulmuştur.

1. Tam otomatik montaj hatları
2. Yarı otomatik montaj hatları
3. Abkant bükme makinaları
4. Hidrolik presler
5. Mekanik presler
6. Otomatik Punta makine hücreleri
7. Boyahaneler

Belirlenen bu 7 ana grup arasından veri toplamak amacı ile dijital TEE sistem kurulumu öncesinde işletmede manual olarak TEE hesaplamak amacı ile formlar oluşturulmuş ve bir veri tabanı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu formlar işletmedeki ilgili atölyelerin sorumlu vardiya amirleri, postabaşları, üretim mühendisleri, üretim müdürü, metot bölümündeki mühendisler, bakım sorumluları ile eğitimler organize edilmiştir. Bu eğitimler sonucunda manuel olarak takip edilecek olan TEE sisteminde özellikle hata modları, operatörlerin formalrı ne sıklıkla dolduracakları gibi sistem iyileştirmeleri yapılmıştır. Sonrasında ise her ana gruptan 1 makine ile bu makineleri kullanan operatörlere eğitim verilerek TEE verilerinin toplanması ve hesaplanması için deneme süreci başlatılmıştır. Deneme süreci sonucunda sistem yeniden gözden geçirilmiş ve kademeli olarak hem vardiya sayısı hem de makine sayısı artırılarak yayılımın tüm makinalara yapılması sağlanmıştır.

Manuel TEE sisteminden dijital TEE sistemine geçiş aşamasında ise gereksinimler ortaya koyulmuş ve grubun belirlemiş olduğu tedarikçiler ile toplantılar yapılarak sistemin istenilen özelliklere gelmesi sağlanmıştır. Örnek olarak manuel barkod ile parça sayısı okutma yerine otomatik veri toplama algoritmaları ve sistemleri geliştirilmiştir. Manuel TEE sistemi ile dijital TEE sistemine geçiş arasında 2 yıllık bir süreç vardır. Bu süreç sırasında kurulacak olan dijital sistemin en etkin şekilde kullanılması için sistemde iyileştirmeler yapılmış ve bununla beraber tüm atölyelerden dijital sisteme geçilmesi yönünde talebin oluşması sağlamıştır.

TEE sistemin kurulumu için belirlenen sistem konfigürasyonu aşağıdaki gibidir.

- A. Operatörlerin veri girişini yapacağı bir dokunmatik Panel PC
- B. Sistem konfigürasyonun çalışacağı bir mini PC
- C. TEE ekranı olarak kullanılacak LED TV
- D. Gerekli olan makinalara ilave için PLC ünitesi
- E. Sayma, makine durma ve makine çalışma sinyalleri



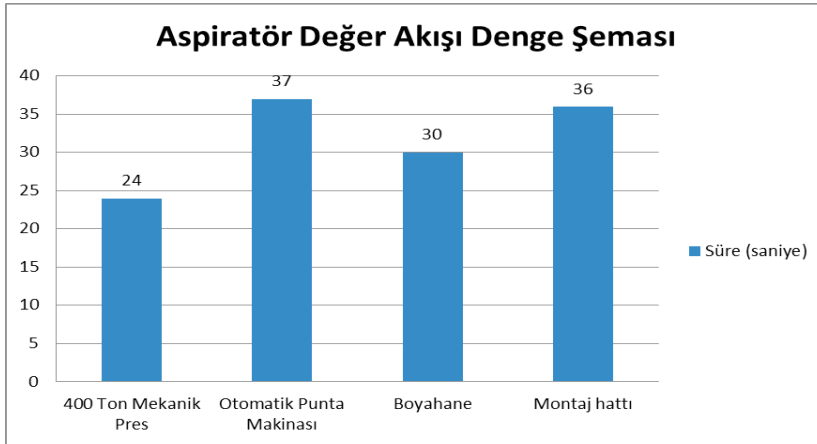
F. ERP sistemi, sunucusu ve TEE sistemin çalışacağı bir sunucu

TEE sistemi bu konfigrasyonları kullanarak aşağıdaki şekilde çalışmaktadır.

1. İlgili üretim siparişindeki barkod TEE sistemindeki Panel PC okutulur
2. Bu barkod içerisinde siparişteki üretilecek kod ve üretim sayısı bulunmaktadır.
3. TEE sistemi üretilecek kodun süresini ve sipariş adedi için ERP sistemini sorgular.
4. Makine çalışmaya başlayınca üretilen adet TEE sistemine kayıt olur
5. Operatör makine duruşlarını Panel PC 'yi kullanarak TEE sistemine kayıt eder.
6. Operatör kalitesiz üretim adedini Panel PC'yi kullanarak TEE sistemine kayıt eder.
7. TEE sistemi anlık olarak TEE değerini, üretilen ve sipariştan kalan üretim adedini, bulunabilirlik, kalite ve performans bileşenlerini hesaplar ve andon ekranında gösterir. TEE sistem çalışmasında en önemli noktalar sistemdeki ürünlerin sürelerinin güncel ve doğru olması, operatörlerin duruş sebeplerini seçim yapacağı menülerdeki duruş nedenlerinin eksiksiz ve net olması ve de kalitesiz üretim adetlerinin ve de hata modlarının operatörler tarafından doğru girilmesi ve doğru girildiğinin kontrol edilmesidir.

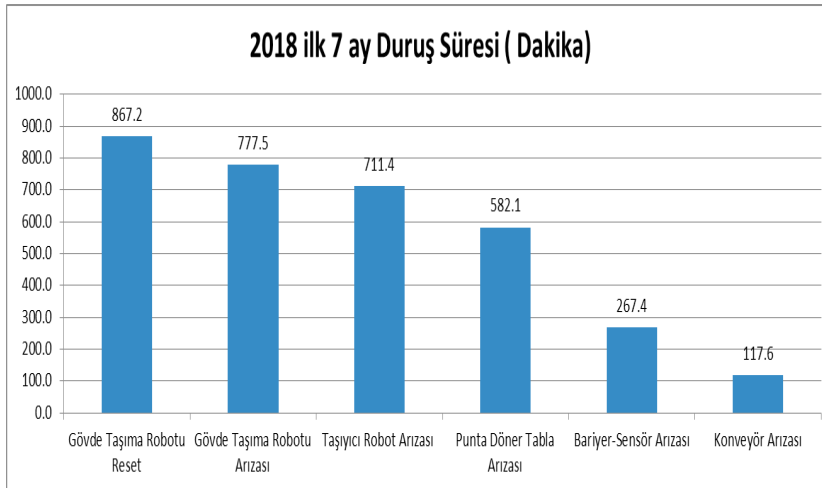
3. TEE sistemi ile Bakım Programlarının İyileştirilmesi

İşletmedeki TEE sistemi ile iyileştirme çalışmasına örnek uygulama, en çok koşan ürün ailesinin değer akışında incelenmiştir. Öncelikle işletmedeki en çok üretilen ürün seçilmiş ve bu seçilen ürünün değer akışı denge şeması incelenmiştir. Bu denge şeması Grafik-1'de verilmiştir. Bu denge şemasında iyileştirme için darboğaz olan makinanın duruş nedenleri TEE sistemi üzerinden 2018 yılı içerisinde çekilmiştir.



Grafik-1

TEE sisteminden bu makine ile ilgili hata modları incelendiğinde ise aşağıdaki Grafik-2'deki veriler elde edilmiştir

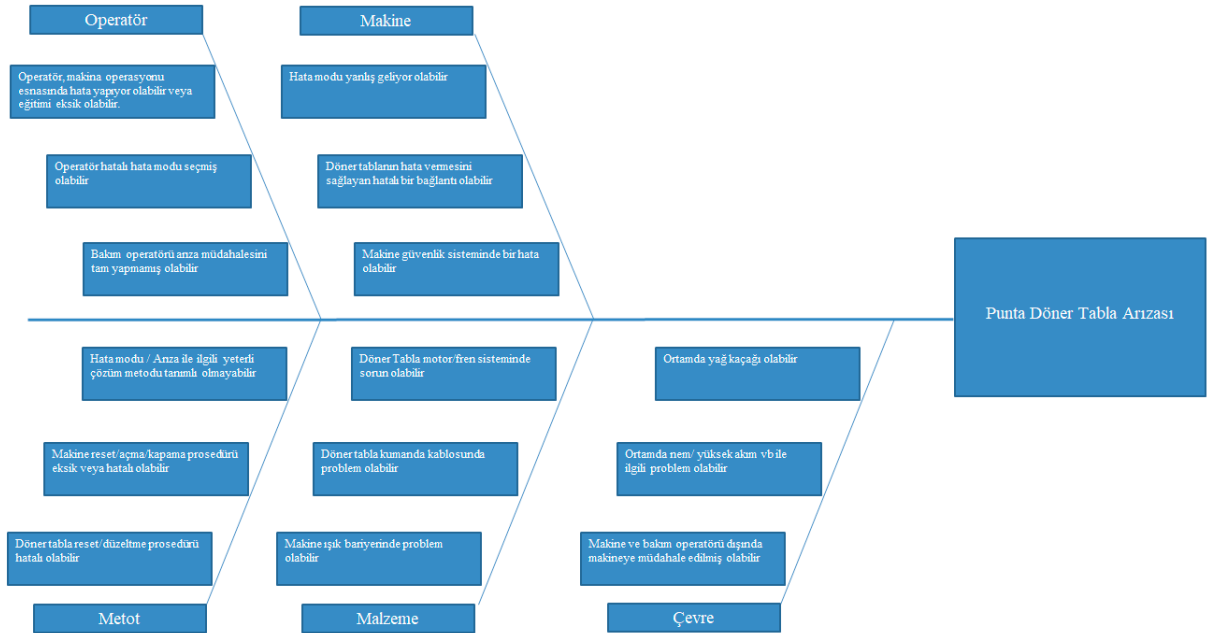


Grafik-2

Tüm bu hata modları için ekip kurulmuş ve bu ekip ile beraber kök neden analizi yapılmıştır. Ekipte makine operatörleri, bakım operatörleri, atölye postabaşı, vardiya amiri, metot mühendisi ve bakım sorumlusu bulunmaktadır. Yapılan kök neden analizi ve problem çözme çalışması aşamaları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

1. Problemin tanımlanması,
2. Problemin olduğu zaman aralığı, sıklığı, vardiyası ve ilgili operatörlerin araştırılması,
3. Takımın kurulması,
4. Geçici önlemlerin belirlenmesi ve üretimin devamlılığının sağlanması
5. Problem için Kepner Tregoe analizi yapılması,
6. Verilerin toplanması,
7. Balık kılıçığı çalışması yapılması,
8. Kalıcı önlemlerin belirlenmesi,
9. Kalıcı önlemlerin gerçekleştirilmesi ve etkinliğinin ölçülmesi,
10. Problem çözme çalışmasının tamamlanması için ilgili önlemlerin, FMEA, kontrol planı, çalışma talimatı, koruyucu bakım dökümanlarına, otonom bakım kontrol listelerine ve tek nokta dersi dökümanlarına işlenmesi,
11. Problem çözme döngüsünün kapatılması ve dökümanite edilmesi.

Hata modlarından Punta döner tabla arızası için yapılan balık kılıçığı örneği aşağıdaki Şekil-1'deki gibi verilmiştir.



Şekil-1

Yapılan balık kılıçığı çalışması sonucunda her olası kök neden takım ile beraber irdelenmiş ve makine üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

1. Operatör eğitimleri tekrarlanmıştır
2. Işık bariyeri kabloları kontrol edilmiş ve değiştirilmiştir.
3. Işık bariyerinin kendisi kontrol edilmiş ve bariyer modülü değiştirilmiştir.
4. Kumanda kablosu bağlantıları kontrol edilmiştir
5. Kumanda kablosunda kırıklar tesbit edilmiş ve değiştirilmiştir
6. Makinede yağ kaçaqları tesbit edilmiş ve giderilmiştir.
7. Döner tabla motor fren kontrol edilmiştir.
8. Kumanda panosu incelenmiş ve değişmesi için yatırım yapılmıştır.



Yapılan bu çalışmalar neticesinde problemin kök nedeninin kumanda kablosundan kaynaklandığı tesbit edilmiştir. Bununla beraber kumanda haberleşme panosundaki komponentlerin ve panonun eski olmasından dolayı pano revizyonuna gidilme kararı alınmıştır. Yapılan yenileme çalışması sonrasında ise hata modlarındaki ilk 3 hata modunda azalması sağlanmıştır.

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmalar sonrasında 2018 yılı ve 2019 yılı ilk 7 ay için arıza duruşları analizleri yapıldığında aşağıdaki Tablo-1'deki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Tablo 1

Hata Modları/Duruş Sebepleri	Duruş Süresi (Dakika)		İyileşme oranı
	2018	2019	
Gövde Taşıma Robotu Reset	867.2	184.7	79%
Gövde Taşıma Robotu Arızası	777.5	312.6	60%
Taşıyıcı Robot Arızası	711.4	75.0	89%
Punta Döner Tabla Arızası	582.1	71.9	88%
Bariyer-Sensör Arızası	267.4	18.5	93%
Konveyör Arızası	117.6	14.6	88%
Toplam (Dakika)	3323.3	677.2	80%

Çalışma yapılan makine de toplam arıza süresi 80% oranında azalırken, çalışma süresine göre karşılaştırma yapıldığında ise arıza oranı 60% olarak azalmıştır. Bu da işletmeye süre anlamında 6 vardiyalık çalışma süresi kazandırmıştır. Genel olarak TPM kapsamında düşünülen bu çalışmaların ekipman verimliliğine ve kaliteye olan etkilerinin olduğu görülmektedir [3].

Bununla beraber yapılan kök neden analizindeki çalışmaların sonucunda ortaya çıkan bilgiler bakım kataloğuna eklenmiştir. Bakım kataloğuna eklenen bu bilgiler ile benzer bir hata olduğunda bakım operatörlerinin öncelikle nereye bakmaları gerekliliği hususunda önem arz etmektedir ve de arıza duruşların azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca yine kök neden analizi sonucunda ortaya çıkan bilgiler planlı bakım dökümanlarına işlenerek, bakım operatörlerinin planlı bakımlar esnasında kontrol etmeleri gereken noktalar olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda bu makine kategorisindeki diğer makinelerde de benzer hataların olacağı öngörülerek, diğer makinelerin bakım katalogları da bu açıdan incelenmiş ve güncellenmiştir.

Gelecekte ise makinelerin arızaların oluşma zamanını tahmin etmesi,kestirimci bakım kapsamında ve planlı bakım kapsamında yapılacak olan bakım faaliyetlerinin dijital ortamda kullanıcıların kullanımına sunulması ve takibin yapılabilmesi gerçekleştirilecek olan durumlardır. ERP sistemleri ile desteklenecek olan bu sistemler sayesinde ise ihtiyaç duyulacak olan sarf malzemeler otomatik olarak sipariş edilebilecek ve AGV sistemleri kullanılarak makinelerin bulunduğu bölgelere planlanan zamanda sevk edilebilecektir. TEE sistemindeki verilerin oluşturduğu bu örneklem grupları makine öğrenmesi için ilgili birimlere çalışma yapma fırsatı sağlamaktadır. Makinelerin bağlanabilirliği ve nesnelerin interneti sayesinde ise bir makinede oluşan ve çözümlenen bir hata modunun diğer makinelere bu altyapılar sayesinde dijital olarak kayıt edilmesi mümkün olacaktır.

TEE sisteminin doğru olarak kullanılması ve doğru verileri vermesi ise ERP sistemindeki ürün sürelerinin doğruluğu ve güncellenmesi, TEE sistemindeki hata modlarının doğru ve güncel olması, operatörlerin hata modlarını ve kalite hatalarını doğru ve eksiksiz şekilde girmesine, operatörlerden gelen geri bildirimlerin değerlendirilip sisteme işlenmesi ve de sistemi kullananların en güncel şekilde eğitimleri almış olmasına bağlıdır. TEE sisteminin verileri ışığında bu çalışmada özetlenen şekilde yapılan iyileştirme çalışmaları makine arızalarının ve sıklıklarının azalmasına, arıza oranlarının düşmesine dolayısı ile de makine performanslarının artmasına ve de şirketlerin rekabetçi maliyetli ve kaliteli ürünleri müşterilerine istenildiği zaman ulaştırabilmesini sağlayacaktır.

5. Referanslar

- [1] S. Nakajima, Introduction to Total Productive Maintenance. Portland: Productivity Press Inc, 1988.
- [2] A.M. Smith, G. R.Hinchcliffe, RCM Gateway to World Class Maintenance. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2004
- [3] Mahi, Mynur Rashid & Ashraf, Sk. (2017). Optimizing Maintenance Management through TPM and Measuring the Overall Equipment Effectiveness (OEE).

MERDANELİ BRİKETLEME PRES TASARIMININ İNCELENMESİ

¹Yük. Mak. Müh. Mehmet Alper Demiral, ²Prof. Dr. İsmet Çelik

¹Kütahya Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü Gaybiefendi Mahallesi Atatürk Bulvarı No:93 Kütahya / Merkez 43100,

²Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi Tavşanlı Yolu 10. km Kütahya/Merkez,

¹demiralper26@hotmail.com

²ismet.celik@dpu.edu.tr

Özet

Kömür tozlarını zenginleştiren, briketleyerek parça haline getiren ve dolayısıyla, sanayide ve evlerde yakıt amaçlı kullanılabilmesi için briketleme teknolojileri geliştirilmiştir. Dünya’da en çok tercih edilen briketleme teknolojilerinden biri olan merdaneli presler ise henüz yaygınlaşmamıştır. Merdaneli preslerde üretilen briketin standartlara uygun olabilmesi için takviye olarak, besleme sistemi ve silindir yataklarına hidrolik piston sistemi ile yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Briket tasarımına briketin şekil, boyut ve yoğunluk etkisi de görülmüştür. Bu çalışmada, merdaneli presin sıkıştırma bölgesinde malzemenin briket şekline olan etkisi üç boyutlu CatiaV5 programıyla modellenerek incelendi. Ayrıca merdaneli preslerin sıkıştırma bölgesinde silindir yataklarına piston etkisiyle sıkıştırmanın briket yoğunluğunu arttırdığı görüldü.

Anahtar Kelime : briketleme, merdaneli pres, briket şekilleri, 3B modelleme

Investigation of Roll Briquetting Press Design

Summary

Briquetting technologies have been developed to enrich coal powders, to briquette into pieces, and thus to be used for fuel in industry and households. Roller presses, one of the most preferred briquetting technologies in the world, have not yet become widespread. In order to comply with the standards of the briquette produced in roll presses, new technologies have been developed with reinforcement, hydraulic system to the cylinder bearings and hydraulic piston system. The form, size and density effect of the briquette was also seen on the briquette design. In this study, the effect of the material on the briquette shape in the compaction zone of the roller press was modeled with three-dimensional CatiaV5 program. In addition, it was observed that the compression of the roller bearings in the compression zone increased the density of the briquettes by the effect of piston on roller presses.

Keywords : *briquetting, roll pres, briquette forms, 3D modelling*

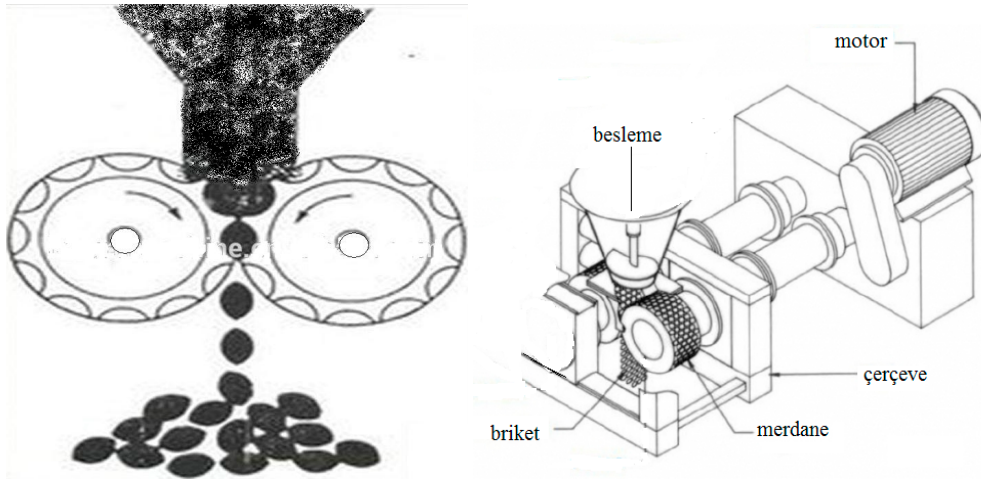
1. Giriş

Toz halindeki kömürün, bir form kalıp içinde sıkıştırılarak, bütün bir parça haline getirilmesine briketleme ve bu suretle elde edilen aglomerata (parçaya) da biriket adı verilmektedir. Kömür briketlenmesi, kömürün özelliğine bağlı olarak, bağlayıcısız veya bağlayıcı olarak yapılmaktadır [1].

Isıl değeri ve mekanik dayanımı yüksek olan kömüre (özellikle parça büyüklüğü açısından) olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Kömür üretiminde ve hazırlanmasında büyük oranlarda toz kömür ve şlam artık olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kömür, yapısı itibarı ile kırılğan ve tozlanmaya müsaittir. Bu nedenle de, üretim esnasında, kömürün büyük bir kısmı toz haline gelmektedir. Özellikle sanayileşmiş ülkelerde sürdürülen kömür madenciliği ve bunun bir sonucu olarak rezervlerin azalması ile madencilik şartları daha zor hale gelmiş ve kömür üretim maliyetleri yüksek mertebelere ulaşmıştır. Kömür tozlarını zenginleştiren, briketleyerek parça haline getiren ve dolayısıyla, sanayide ve evlerde yakıt amaçlı kullanılabilir ürünler haline getiren teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler hammadde kullanım verimlerini arttırmış ve kömür artıklar için gerekli depo sahaları ihtiyacını azaltmıştır. [1].

Ülkemizin petrol ve doğalgaz rezervleri çok azdır ve büyük miktarlarda petrol ve doğalgaz ithal edilmektedir. Fosil enerji kaynaklarından sadece linyit rezervi küçümsenmeyecek miktardadır ve ülke sathına yayılmış durumdadır. Bu linyit kömürlerinin termik santral yanında, sanayi ve teshinde daha fazla kullanılması, ülke ekonomisi açısından olduğu kadar yörede yaşayanlara iş sahaları açılması açısından da büyük öneme sahiptir [1].

Merdaneli presler paralel eksenler üzerinde, yatay olarak zıt yönde dönen aynı çapa sahip iki silindirden oluşmaktadır (Şekil 1) [2]. Merdaneli pres fonksiyonel çalışma prensibi basittir: toz halindeki malzeme karışımı (granül), yerçekimiyle veya bir vidayla iki ters yönlü dönen merdane vasıtasıyla beslenir. Malzeme ve merdane yüzeyi arasındaki sürtünme, granülü merdaneler arasındaki dar alana (aralık) doğru getirilir; buradaki granül, sıkıştırmanın oluşumuna yol açan yüksek gerilmelere maruz kalır. Merdanede üzerinde bulunan oyuklar briket oluşturarak malzeme yoğun tabakalara sıkıştırılır [3]. İki merdane arasındaki mesafe (aralık) malzeme karışımına, partikül boyutu, nem içeriği ve bağlayıcı ilavesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Yoğunlaştırılmış ürünün kalitesi üzerinde büyük rol oynayan tasarım parametreleri ise merdanelerin çapı, boşluk genişliği, silindir kuvveti ve kalıp şeklindedir. Kütle yoğunlukları basit merdaneli presler için genellikle 450 ile 550 kg/m^3 arasında değişir [4].

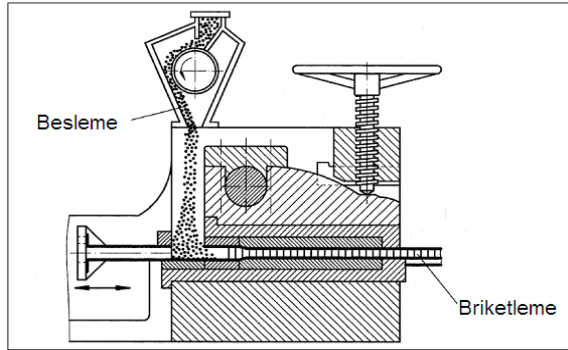


Şekil 1. Merdaneli pres makinesi

Briket malzemesinin merdaneli pres makinelerinde ki işlem değişkenleri üç bitişik bölgenin varlığını göstermektedir: sürtünme mekanizması ile rulolar arasında tozun çekildiği bir faz olan kayma fazı, tozun rulo ile aynı hızda taşındığı bir sıkıştırma fazı ve nötr açıdan önce rulo basıncının artmasıyla toz yatağını deforme ederek yoğunlaştırılmasıyla elde edilir. Oluşturulan briket, daha sonra, kayma gerilmesinin işaretinin yön değişmesinden kaynaklanarak boşluktan dışarı atılır. Malzeme yoğunluğu, nötr noktadan önce maksimum değerine ulaşır. Malzeme sıkıştırma açısından önce merdane üzerinde kayma ile taşınır ve sıkıştırma bölgesine ulaşıldığında, tozun, silindirin yüzeyine yapışarak ve yüksek silindir basıncı altında deforme edilerek yoğunlaştırıldığı varsayılır [5].

2. Briketleme Teknolojileri

İlk kömür briketleme çalışmalarına 1840 yılında başlanılmıştır. Belçika, Fransa ve İngiltere’de bitümlü kömür tozları bağlayıcılarla briketlenirken, ABD ve Almanya da turba, linyit ve diğer karbonlu tozlar kurutulup bağlayıcı olmaksızın, taşınması kolay ve yüksek ısıl değerli briketler haline getirilmiştir. İlk briketleme makinesi olarak Şekil 2’de görülen Pistonlu pres 1857 yılında icat edildi, çift merdane tipi briketleme makinesi veya merdaneli presler (roll-presler) 1870’ in sonlarında başarıyla kullanılmaya başlanılmışlardır ve en çok kullanılan kömür briketleme ekipmanları merdaneli pres makineleri olmuştur [1].



Şekil 2. Pistonlu pres makinesi

Ev yakıtı olarak kullanılacak olan briketin, briketleme yerinden kullanım yerine kadar, yükleme, taşıma, boşaltma ve depolama işlemleri esnasında maruz kalacağı kuvvetlere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu kuvvetler genel olarak, basınç, çarpma ve sürtme kuvvetleri oldukları için, briketlerin kırılma ve ufalanmaya karşı mekanik sağlımlıkları tayin edilmektedir. [1].

Tunçbilek Linyitlerinin briketlenmesi için yerli menşeli merdaneli pres makinesi kullanılmıştır (Şekil 3). Briketleme için Tunçbilek linyiti, melas ve farklı oranlarda şlam ve dolomit kullanılmıştır. Basıncı tam olarak belli olmayan bir sıkıştırma sağlanarak, düzgün briketler elde edilene kadar, alt kısımda yumurta şeklindeki briketler geniş tepsi- lere alınmıştır. Deneyler sonucunda düşme ve aşınma sağlımlığı değerleri TS 12055 Kömür Briketi Standardındaki değerlere göre oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni briket makinesinin yeterli pres basıncını uygulayamamış olmasıdır. Pres basıncı, kullanılan kömürün özellikleri ile uygulanan briketleme yöntemine bağlıdır. Basınç, kömür taneleri arasındaki uzaklığı azaltarak birbirine yakınlaşmasını sağlamakta ve tane yüzeylerinin temasını artırmaktadır. Tanelerin kırılıp yerlerinin değişmesi sonucunda boşluklar dolmaktadır. Ancak, taneler birbirleriyle daha sıkı temas ettirilirken optimum değerlerin üzerine çıkılması durumunda, plastik deformasyonun geri dönüşlü olması ve briketlerin birden genişlemesi, çatlaklar oluşturarak sağlımlığını azaltmaktadır. Briketleme makinesinin uygulama basıncının ne kadar olduğunu bilemediğimizden dolayı, bu basıncın 300-500 kg/cm² arasında olması briketlerin dayanıklılığının artmasını sağlayabilir [6].



Şekil 3. Yerli menşeli merdaneli pres makinesi

Makine sıkıştırma için kullanıldığından basınç çoğunlukla sıkıştırma bölgesi içerisinde gelişmiştir. Dolayısıyla, kütle yoğunluğunda önemli bir değişiklik sıkıştırma bölgesi üzerinde gerçekleşmez [7,8]. Malzemenin başlangıç yığın yoğunluğu üzerinde önemli bir etkisi olmayan yerçekimi beslemesi varsayılır, bu da prototip çalışmalarında varsayım olarak kabul edilir. Vidalı besleyicilerin kullanıldığı durumlarda, sıkıştırma üzerindeki besleme sisteminin etkisini incelemek için malzemenin yoğunluk değişikliğine bağlı olarak görülebilir [3]. Farklı hızlara sahip birçok besleyici tasarımı, kütle yoğunluğu üzerinde farklı etkilere sahip olacaktır. Bir besleyicinin performansı, çeşitli malzemelerin kütle yoğunluğunun artırılması açısından ifade edilmelidir. Yerçekimi beslemeyi kullanan prototip makinelerde, kütle yoğunluğunda önemli bir değişiklik gelişmesi pek olası değildir [9]. Malzemenin kütle yoğunluğunun artması için granüler malzeme üzerine piston silindiri ve merdane pres sıkıştırması yapılması gerekir. Makineler için tasarım parametrelerinin çoğunu gösteren merdane pres sıkıştırma sorununun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına yol açabilir. Gerilmelerin tek eksenli bir olgu olup makinedeki tüm gerilme dağılımının, piston silindiri düzeneğine uygulanan aksenal kuvvetle ilişkilendirilir [10].

2.1 Briketlemeye Etki Eden Faktörler

2.1.1 Besleme Sistemi

Merdaneler tarafından besleme alanındaki malzeme üzerinde uygulanan gerilme çok küçük olduğu için transdüserlerle ölçülemez. Gerilme artışı, sıkıştırma açısının altında gerçekleşir. Gerilme, nötr açısına uyan maksimum değere kadar artar. Birçok durumda, nötr açısı merdane boşluğuyla denk gelmez çünkü malzeme merdane yüzeyinde kayar. Nötr açının ardından sıkıştırma boşaltılır. Boşaltma, gerilme kesitinde hızla azalmasına karşılık gelir (Şekil 4). Vidalı besleyicinin kullanımı ile malzemenin sıkıştırılarak yoğunluğunun artırılması üzerinde etkisi olmuştur [3].



Şekil 4. Basınçsal elektrikli dönüştürücü tarafından ölçülen gerilme kesiti.

Merdaneler arasındaki sıkıştırmayı doğru ve yeterli bir şekilde doldurmak için üniform ve sürekli bir malzeme akışı sağlanmalıdır, böylece sıkıştırılan malzeme karışımı homojendir. Besleme sistemleri malzemeyi sıkıştırarak yoğunlaştırma da ve malzeme içindeki havayı tahliye etmek içinde kullanılır. Akış özelliklerine, toz yoğunluğuna ve yeterli kalitede sıkıştırma üretmek için yoğunlaştırmaya bağlı olarak iki farklı besleme sistemi kullanılır: serbest akan parçacıklar için yer çekimi ile besleyici ve motor yardımıyla malzemeyi döneren iten bir veya birden fazla helezonlu güç besleyicileridir[11]. Besleme sistemi malzemenin zayıf akış kabiliyetini azaltmak için helezon besleyici kullanarak tozların taşınmasına dayanmaktadır. Presin optimum sıkıştırma oranını belirlemek için vidanın dönme hızı ile silindirlerin dönme hızları arasında bir korelasyon gereklidir [5].

2.1.2 Basınçlandırma Sistemi

Merdane seçimi iki şekilde önemlidir: geometrik özellikler (pürüzsüz, yivli, oyuk tasarımı) ve yüzey sertliğidir. Briketleme için dışarı atma problemleri ve kırılmaları azaltmak için oyuk şekilleri optimize edilmelidir. Sıkıştırma üzerinde uygulanabilir maksimum gerilme merdane çapına büyük ölçüde bağlıdır. Hareketli merdanenin yatak bloklarını korumak için hidrolik sistem kullanılır. Böyle bir basınçlandırma sistemi kullanarak, uygulanan kuvvet geniş sınırlar içinde ayarlanabilir olmalıdır. [5]. Kalıp sıkıştırmasında olduğu gibi, silindirler ile temasta bulunan alanlarda basınç daha yüksek olduğundan yoğunluk fazladır ve briketin ortasına doğru yoğunluk azalır [5]. Briketleme çok yüksek basınç altında yapıldığında, pres kapasite ve verimi düşmekte, kalıp aşınmaları artmakta ve tesis masrafları (yatırım) yükselmektedir. Bu nedenle, çok yüksek basınç öngörülen presleme yöntemleri endüstri-

yel uygulama alanlarında kullanım yeri bulamamıştır [1].

2.1.3 Bağlayıcı

Bağlayıcıli briketleme de genel olarak, merdaneli pres yöntemi kullanılmaktadır. Presin uygun olarak beslenmesi ve uygun çalışma şartlarının ayarlanması, briket sağlamlığı açısından önemlidir. Presleme basıncı, bağlayıcısız briketlemeye göre oldukça düşüktür. Basıncın, kömür tanelerini birbirlerine tamamiyla yaklaştırılacak, ancak onları kırmayacak büyüklükte olması gerekmektedir. Normal olarak 150-200 kg/cm² 'lik basınç, bağlayıcıli briketlemede yeterli olmaktadır. Buna rağmen, endüstride kullanılan merdaneli preslerde 600-800 kg/cm² basınçla briketleme yapılmaktadır. Merdaneli preslerde, briketleme süresi ortalama olarak 0,1 saniye civarındadır. Presleme süresinin 0.05 saniyenin altına düşmemesi gerekmektedir. Merdane dönme hızı, bu durum göz önünde bulundurularak saptanır. Büyük preslerde dönme sayısı 28-32 d/d, küçük preslerde, 34-38 d/d arasındadır.

Klasik sıkıştırma teknolojisi, biokütlenin sıkıştırılmasına çok uygun değildir. Çünkü biokütle içindeki temel bağlayıcı lignindir. Ligninin bağlayıcı olarak çalışabilmesi için iki temel koşulun karşılanması gerekir. Sıkıştırma anında, lignin plastik halde (100 °C civarında) olmalıdır ve aynı zamanda preslenmiş yakıt belirli bir süre boyunca çok yüksek basınca maruz bırakılmalıdır. Sıkıştırmada asıl sorun, kalıplamanın gerekli basınç altında kalmasını sağlamaktır. Bu nedenle preslenmiş malzemelerin gerekli kuvveti elde etmek için bir bağlayıcı eklenir [12].

Yüksek derecede plastiklik gösteren biokütlelerin merdaneli pres ile briketlenmesi çok kısa sıkıştırma ve genişleme süreleri nedeniyle hemen olanaksızdır. Merdaneli presin kullanımı hammaddelerin çok karmaşık ve masraflı ön hazırlıkları ve çok özel bağlayıcılarla başarılı olabilmektedir. Merdaneli presin diğer büyük dezavantajı küçük ebatla briketlerin üretiminde kapasitelerinin büyük ölçüde azalmaları ve ekonomik olmamalarıdır. Pistonlu presler sağlam briket üretimi ve kapasite açısından bakıldığında plastik özellik gösteren yakıtlarda daha avantajlı durumdadır [13].

2.2 Briketin şekil, boyut ve yoğunluk optimizasyonu

2.2.1 Yüzey alanının hacme oranının optimizasyonu

Briket yüzey alanının briketin hacmine oranını (S/V) karşılaştırılarak, preslenmiş briketin şeklinin ve boyutunun incelenmesiyle araştırılır. Daha yüksek bir S/V oranıyla (küçük preslenmiş yakıtlar) yanma sürecini daha doğru bir şekilde yönetmek mümkündür, ancak briket, daha yüksek sıcaklıklara (200 °C' nin üzerinde) dayanan uçucu maddelerin yanmasıyla etkilenecek, daha hızlı (10-20 dakika) yanar. Fakat, işlenmiş ham madde ile pres makineleri arasındaki daha fazla temas alanlarını kapsamaktadır, bu yüzden sıkıştırma makinesinin işlev alanlarındaki kalıp, silindir, piston, vs daha hızlı aşınır. Diğer bir dezavantajı ise işlenmiş ham madde parçacığının niteliği ve tekdüzeliğinin üretim teknolojisi üzerindeki gereksinim duyulmasıdır. Materyal homojen olmalı, çok küçük partiküllere ayrılmalı, optimum neme sahip olmalı ve sıkıştırma sırasında optimum sıcaklık sağlanmalıdır. Sıkıştırma sırasında uygun olmayan ham madde veya yanlış parametreler kalıbın tıkanarak sistemin durmasına neden olacaktır. Briket üretimi ve kullanımı yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle avantajlı değildir. Briket kullanıcısı için yüksek yatırım maliyeti ihmal edilemez [12].

Silindir formu, en çok üretilen preslenmiş briket şeklidir. Buna göre, "S_c" yüzey alanının "V_c" hacmine oranının "r" yarıçapındaki ve "h" yüksekliğinde bir değişkenle nasıl değişeceğini karşılaştırılır. Silindirin hacmi,

$$V_c = \pi r^2 h \quad (m^3) \quad (1)$$

ve silindir yüzey alanlarının toplamı

$$S_c = 2\pi r^2 + 2\pi r h \quad (m^2) \quad (2)$$

daha sonra yüzey alanlarının silindir hacme oranı şu şekilde bulunur.

$$\frac{S_c}{V_c} = \frac{2(r+h)}{rh} \quad (m^{-1}) \quad (3)$$

2.2.2 Yoğunluk optimizasyonu

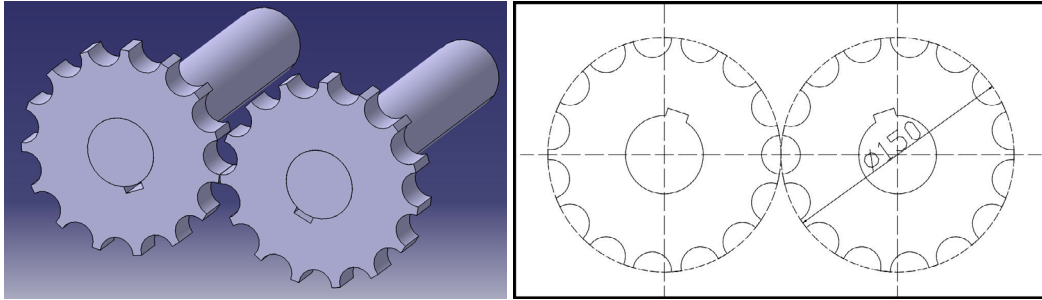
Uluslararası standartlara uygun olarak, rafine preslenmiş briketlerin yoğunluğu 1 ÷ 1,4 kg dm³ aralığında olmalıdır. Bu nedenle, preslenmiş briketin yoğunluğundaki artışla, taşıma, depolama ve yanma işlemindeki otomatik besleme

sırasında nitelik, direnç açısından artacaktır. Belirtilen sebepten dolayı, briketler ayrıca aşınma ve mekanik mukavemet için gereklilikleri yerine getirmelidir. Atmosferik neme karşı direnç, preslenmiş yakıtların artan yoğunluğu ile orantılı olarak artar. Bu nedenle, sıkıştırılmış malzemenin daha yüksek bir presleme gücü ile sıkıştırılmış malzemenin aşırı ısınması, ligninin preslenmiş yakıtın iç yapısında muntazam bir şekilde eridiği ve bunun büyük bir kısmının, sonuç olarak parlak ve gözeneksiz hale gelen yüzeye doğru akmasıdır. Bu, preslenmiş yakıtın mekanik mukavemetinde artışa neden olur ve aynı zamanda preslenmiş yakıtın içeriğine nemin sızmasını önler. Yüksek yoğunluktaki azalma ($> 1,2 \text{ kg/dm}^3$) ile sıkıştırma makinesinde daha fazla zorlanma ve aşınma meydana gelir. Çok yüksek yoğunluk, yanma sürecinde kusurlu yanma üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir [12].

3. Merdaneli Presin Modellenmesi ve Analizi

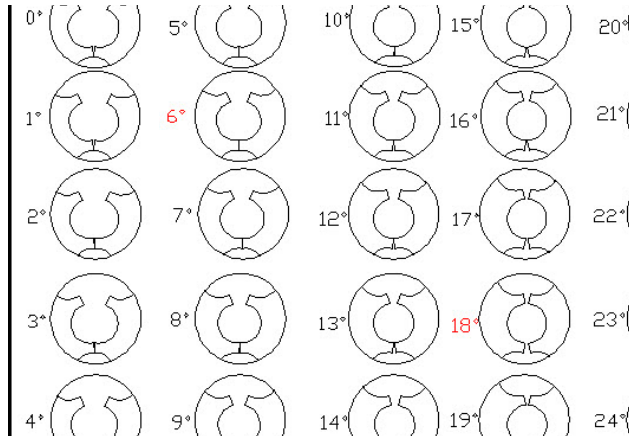
Merdaneli pres, motorların çevirdiği karşılıklı iki silindirin malzemeyi sıkıştırarak şekillendiren briketleme teknolojilerinden biridir. Merdaneli pres üretim kapasitesinin yüksek olması ve bakım giderlerinin düşük olmasından dolayı sanayide en çok kullanılan briketleme yöntemlerinden biridir. Bu bölümde merdaneli pres tasarımı, kayma ve sıkıştırma bölgelerin analizi yapılarak briketin nihai şekillendirilmesiyle tasarlanan geometri ile karşılaştırılması ve merdaneli pres teknolojilerin eksikliklerin giderilmesi için uygulanan ek sistemler tartışılmıştır.

Merdaneli pres için en önemli modelleme sıkıştırmayı sağlayan silindir parçaların ve briketlere şekil veren silindir üzerine açılan yuvaların tasarımıdır. Merdaneli pres modellemesi için CatiaV5 programıyla 3 boyutlu ve kesitlerle teknik resimleri oluşturulmuştur. Merdaneli pres modeli Şekil 5’ de hem 3 boyutlu modelle hem de kesit resimde görüldüğü gibi silindirlerin karşılıklı olarak çalışacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Merdaneli pres modelinin silindirleri $\text{Ø}150\text{mm}$ çapında ve bu silindirlere şekil vermek için $\text{Ø}25\text{mm}$ çapında 15 adet dairesel yuvalar açılmıştır. Böylelikle üretilmesi istenen briketler $\text{Ø}25\text{mm}$ çapında silindir şeklinde olacağı düşünülmektedir.



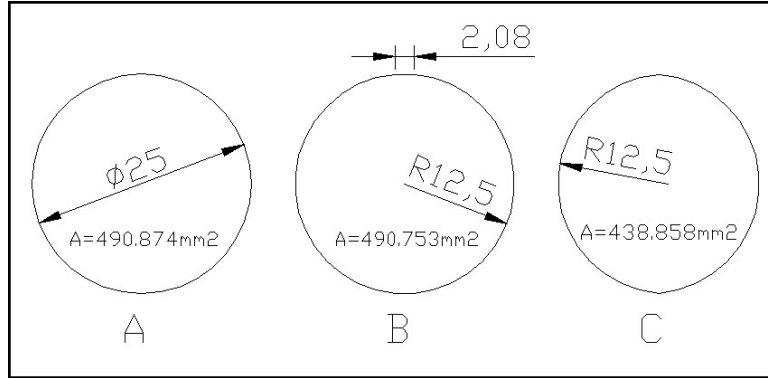
Şekil 5. Merdaneli presin silindir tasarımının 3 boyutlu ve kesit görünüşü

Silindirler motorların simültane çalışmasıyla eş zamanlı olarak birlikte hareket ederler. Silindirler beslemeden gelen malzemeyi Şekil 6’ da görüldüğü gibi $0^\circ - 24^\circ$ arasında hareket ederek malzemeyi briket yuvası içine alır, sıkıştırarak şekil verir ve briketi oluşturarak yuvadan dışarı atımını sağlar. Şekil 6’ da silindirlerin 0° yuva üst çenelerinin en açık hali, 6° yuva alt çenelerinin kapalı olduğu, 18° ise yuvaların alt ve üst çenelerin kapanarak briquete şekil verdiği an ve 18° den sonra briketin yuvayı terk ettiği görülmektedir. Bu döngü olarak devam etmektedir.



Şekil 6. Silindirin $0^\circ - 24^\circ$ arasındaki hareketi sırasında briket oluşumu

Merdaneli pres modelinde silindir üzerine dairesel yuvalar açılarak Şekil 7.A' da görüldüğü gibi $\varnothing 25$ mm çapında ve silindir uzunluğu 1 birim varsayılarak 490.874mm^3 hacminde silindir şeklinde briketler üretilmesi istenmiştir. Fakat Şekil 6' da silindirlerin konumunun 18° olduğu ve briket geometrisine nihai şeklin verildiği anda ise silindirlerin benzeşen yuvalarının alt ve üst çenelerin örtüşmeye en yakın pozisyon olmasına rağmen Şekil 7.B' de görüldüğü üzere çeneler arasında 2.08mm açıklık kalmaktadır. Bu durumda silindir geometrisinden çenelerin tam kapanmamasından dolayı briketin hacimsel olarak yaklaşık %10 sıkıştırılmamaktadır. Söz konusu merdaneli pres teknolojisinde silindir yataklarına hidrolik pres marifetiyle hareketi sağlanırsa Şekil 7.C' de görüldüğü üzere briketin hacimsel olarak yaklaşık %10 sıkıştırılabilmektedir. Merdaneli pres teknolojisinde silindir yataklarını hidrolik sistemle hareket ettirilmesiyle elde edilen yüksek presli merdaneli pres teknoloji mevcut sisteme göre yaklaşık %10 ek sıkıştırma sağlamakta olup, briket dayanım testlerinde TS uygun olması için katkı sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. A-İstenilen Briket geometrisi. B-Üretilen Briket geometrisi. C-Ek sıkıştırılmayla oluşan briket geometrisi.

4. Sonuçlar

Merdaneli presler ilk tasarımlarında zıt yönde dönen iki silindirin üzerine oyuklar açılarak briket üretmek için imal edilmiştir. Briket malzemesinin değişkenliğinden dolayı briketin standartlara uygun olarak tasarlanabilmesi için yeni teknolojilere ihtiyaç doğmuştur. Öncelikle merdaneli preslerin besleme sisteminin geliştirilmesi için çalışılmıştır. Besleme sistemlerinin briketeye yeterli sıkıştırma uygulayamadığı durumlarda silindir yataklarına hidrolik piston ile hareketi sağlanarak yüksek basınçlı merdaneli presler tasarlanmıştır. Bağlayıcı malzeme sıkıştırma kuvvetine doğrudan etkili olup, briket malzemesi içerisinde bulunup bulunmaması karışım parametreleri ile ilişkilidir. Briket üretimine etki eden diğer etkenler ise makine tasarımı haricinde briket üretimini doğrudan etkileyen şekil, boyut ve yoğunluk optimizasyonudur. Briketin yanma esnasında karakteristiğini en çok etkileyen briket yüzey alanının briket hacmine oranıdır. Söz konusu oran ne kadar yüksek olursa yanma üzerene etkisi o kadar avantajlıdır. Briket yoğunluğu ise makine ve briket tasarımında ana etkenlerden bir diğeridir. Yoğunluğun istenilen değer aralığında olması standartlara uygun briket üretimini sağlar.

Merdaneli pres teknolojisinde silindir yataklarını hidrolik sistemle hareket ettirilmesiyle elde edilen yüksek basınçlı merdaneli pres teknolojileri mevcut sisteme göre hacimsel olarak yaklaşık %10 ek sıkışma sağlamakta olup, briket dayanım testlerinde TS uygun olması için katkı sağladığı tespit edilmiştir. Gerek merdaneli preste gerekse yüksek basınçlı merdaneli preste üretilen briket geometrileri silindirlerin geometrisinden dolayı istenilen briket geometrisinden farklı bir şekil oluşmaktadır.

Standartlara uygun briket üretimi sadece briket malzemesini, briket şekil ve boyutunu değil aynı zamanda makine tasarımını da etkilemektedir. Briketleme tesislerinin yaygınlaşa bilmesi için yeni briket makineleri tasarlanarak bu teknolojinin yaygınlaştırılması hedeflenmelidir. Yeni briket makinelerinde söz konusu yardımcı sistemler ne kadar azalır ise makinenin kullanımının artacağı düşünülmektedir.



5. Kaynakça

- [1]. Kemal M., Çiçek T, Şubat, 2005, Kömür Briketleme ve Ülkemiz Yakacak İhtiyacının karşılanmasındaki önemi, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, s. 3-42.
- [2]. Yehia KA, 2007, Estimation of roll press design parameters based on the assess-ment of a particular nip region. Powder Technol 177, p. 148–153.
- [3] P. Guigon, O. Simon, 2003, Roll press design-influence of force feed systems on compaction, Powder Technol 130, p. 41–48, France
- [4]. Kaliyan N, Morey RV, White MD and Doering A, 2009, Roll press briquetting and pelleting of corn stover and switchgrass. Transactions of the ASABE 52(2), p. 543–555.
- [5]. A. Michrafy, H. Diarra , J.A. Dodds , M. Michrafy , L. Penazzi, 2010, Analysis of strain stress state in roller compaction process.
- [6]. Parlak A., Ocak, 2010, Tunçbilek Linyitlerinin Briketlenmesi ve Yanma Esnasında Kükürdün Külde Tutulması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s. 43-73.
- [7]. American Society for Testing and Materials “Standard Test Method for Bulk Solids Characterization by Carr Indices”, Document# ASTM D6393- 99, ASTM International, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA.
- [8]. J.R., Johanson, Toward a Common Language for Bulk Solids Handling Characterization, Johanson Innovations, San Luis Obispo, CA 93401, USA.
- [9]. Khaled Ahmed Yehia, 2007, Estimation of roll press design parameters based on the assessment of a particular nip region
- [10]. T.H. Hyde, K.A. Yehia, A.A. Becker, 1993, Interpretation of impression creep data using a reference stress approach, International Journal of Mechanical Sciences 35 (6), p. 451–462.
- [11]. R. Miller, in: D.M. Parikh (Ed.), 1997, Roller Compaction Technology, Marcel Dekker, New York, p. 99– 150.
- [12]. Ľubomír Šooš, Miloš Matúš, Juraj Beniak and Peter Križan, 2018, Development of the compaction machine for the production of new shapes of pressed biofuels, 8 th TSME-International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2017).
- [13]. W. Pietsch, 2004, Agglomeration in Industry-Occurrence and Application, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.

MTTR ANALİZİ VE ONARIM SÜRESİ AZALTMA

MTTR ANALYSIS & REDUCE THE REPAIR TIME

¹Yener Can Canarlan

¹Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
ycanarlan@etigida.com.tr

Özet

Şirketlerin arıza duruş sürelerini ve kayıplarının azaltılması kapsamında arıza onarım süreleri önem taşımaktadır. Arıza onarımı ile ilgili bakım ekiplerinin yetkinliklerinin ve uyguladığı yöntemlerin doğruluğunun en önemli göstergelerinden biri de ortalama onarım süresidir (MTTR). Bu çalışmada MTTR analizi ile onarım süresi düşürülerek, arıza anında yaşanan duruşların ve kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.

TPM yaklaşımı ile, sıfır arıza çalışmaları paralelinde, yaşanan arızaların en kısa sürede onarılabilmesi için de detaylı MTTR analizleri yapılmıştır. MTTR süresine etki eden iş adımları belirlenerek zaman etütleri ile MTTR'ın düşürülmesine yönelik gelişim noktaları belirlenmiştir. Ekipman ve arıza tipi kırılımında onarım süreleri detaylı bir şekilde incelenerek iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Bu bildiride ETİ Şirketler Grubu'nda yürütülen, MTTR süresinin azaltılmasına yönelik yapılan analiz ve değerlendirmelerle birlikte, onarım performansları artırmaya yardımcı olacak çalışmalar ve uygulamalar aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakım, arıza duruş süresi, arıza onarım süresi, MTTR

Abstract

The companies in terms, repair time is very important for decrease the breakdown time and breakdown losses. Main Time To Repair (MTTR) is the one of the most important indicators of maintenance teams ability and correctness of the maintenance methods. The aim of this study is to reduce MTTR and decrease breakdown time and breakdown losses.



Detailed MTTR analysis is done to ensure that the breakdowns are repaired as soon as possible, in addition to zero breakdown studies with TPM approach. Reducing the MTTR is determined and the development points by work steps and time studies. Repair time is detail with equipment and breakdown types and improvements is done.

In this study, the analysis of to reduce MTTR studies and practices are shared for help and improve the performance, which are applied in the ETİ Group.

Key Words: Maintenance, breakdown, breakdown time, repair time, MTTR

1.Giriş

Şirketlerin bakım yönetimlerinde uygulaması ve dikkat etmesi gereken öncelikli unsurlar, şirketin temel/stratejik amaç ve hedeflerine uygun doğru bakım anahtar performans göstergelerinin seçmektir. Seçilen performans göstergelerinin kıyaslama verilerini oluşturarak, farklı analizlerle doğru hedeflemeleri belirlenmelidir. Hedefler doğrultusunda bakım faaliyetlerini bu hedeflere uygun bir şekilde bakım yöntemleri geliştirilerek yönetilmelidir.

Bakım ekipleri için en önemli performans parametresi de arızalara yönelik yapılan çalışmalardır. Öncelikli hedef sıfır arıza olmasına rağmen yaşanan arızalarda onarım süresi bakım ekiplerinin ve yöntemlerinin yetkinlikleri için önemli bir performansı kriteridir. Servis kalitesini belirleyen parametrelerin başında MTTR değeri gelmektedir.

Onarım süresinin her arıza için detaylı bir şekilde analiz edilerek sürenin kısaltılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmelidir. MTTR'ın düşürülmesi ile beraber bakım ekiplerinin servis kalitesi artacak kayıplar düşürülecektir.

2. Arıza Bakım ve MTTR

Arıza, bir makine veya parçasının, görevini belirlenen biçimde yerine getirmesini engelleyen yetmezlik biçimidir. Arıza duruşlar ise, arızalar sırasında oluşan üretim kayıp süreleri olup, bir ekipmanın kullanılabilirliğini düşüren en önemli kayıp bileşenlerindedir.

Arıza bakıcılık genelde istenmeyen ve “yangın söndürmeye benzetilebilecek bir bakım yöntemi olmakla birlikte, yedekli ve arıza bakım maliyeti düşük makine ve makine kısımlarında planlı biçimde (run to failure) gerçekleştirilebilir. Bu tercih, işletmenin bakım yönetim yaklaşımına bağlıdır.

Bakım anahtar performans göstergeleri ile ilgili Dünya’da pek çok yaklaşım ve uygulama bulunmaktadır. Avrupa’da bu yaklaşımlara bir standart getirmek amacı ile oluşturulan EN 15341 standardı ile birlikte, bazı göstergelerin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Teknik performans göstergesi olan MTTR

Arıza Onarım Süresi

(Mean Time To Repair)

MTTR = Toplam Onarım Süresi (dk) / Arıza Sayısı (adet) formülü ile hesaplanmaktadır.

MTTR üretimi etkileyecek şekilde gerçekleşmiş olan arızanın ortalama onarım süresidir. MTTR bakım yöntem ve ekiplerinin servis kalitesini belirlemede önemli bir parametredir. Bir sistem veya ekipmanın arıza onarımı esnasında tahmini onarımın ne kadar sürede tamamlanacağını belirtir ve bu bilgi güvenilirlik ve kullanılabilirlik çalışmaları için çok önem taşımaktadır. Elde edilen veriler ile bakım prosedürlerinde değişik, ekipmanda veya sistemde revizyon, yedek parça stoklarının gözden geçirilmesi ve kolay erişim imkânı ile bakım ekiplerinin yetkinlik seviyesinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Arıza onarım süresinin azaltılması için öncelikli olarak arızaların detaylı analizleri yapılmalıdır. Analizlerde öncelik, arızanın önlenmesine yönelik iyileştirme adımlarının planlanması olmalıdır. Yapılan çalışmalara rağmen tekrarlayan arızalar ya da yeni oluşabilecek arızalarda onarım süresinin kısaltılmasına yönelik detaylı analizler yapılmalıdır.

3. MTTR Analizi

MTTR analizini yaşanan arızalarda öncelikli olarak hat ve ekipman bazında incelemek arızaların sınıflandırılması için kolaylık sağlayacaktır. Önceliklerin belirlenmesi için arızaların sayılarının ve onarım sürelerinin her ekipman için belirlenmesi önemlidir. Ekipman bazında yapılacak sınıflandırma farklı hatlarda ortak ekipmanların olduğu işletmelerde analiz için önemli verilerin bir araya getirilmesini sağlayacaktır. Detaylı incelemelerde hatların ve ekipmanların onarım süreleri belirleyerek MTTR gerçekleştirmeleri sınıflandırılabilir. Yapılacak çalışmalarda onarım süresi uzun olan arızalar ve hatlar ortaya çıkacağından öncelikler de belirlenmiş olacaktır. Ayrıca yaşanan arızaların mekanik, elektrik ve elektronik olarak sınıflandırılması onarım yöntemi ve sürelerinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır.

Şekil 1’de hat ve ekipman kırılımında arıza MTTR detayları örneklenmiştir. Hat ve ekipman bazında arızalar ve onarım süreleri incelendikten sonra her bir müdahale için onarım adımları incelenmelidir.

ARIZA HAT KIRILIMI				ARIZA EKİPMAN KIRILIMI			
HAT	ARIZA SAYISI	ONARIM SÜRESİ (dk)	MTTR(dk)	EKİPMAN	ARIZA SAYISI	ONARIM SÜRESİ (dk)	MTTR(dk)
1	40	7.434	186	A	33	7.083	215
2	72	7.163	99	B	1	237	237
3	40	5.540	139	C	10	1.166	117
4	35	5.088	145	D	3	1.485	495
5	28	4.898	175	E	10	1.432	143
6	13	1.338	103	F	2	359	180
7	3	217	72	G	3	429	143
8	24	2.527	105	H	22	2.973	135
9	9	833	93	I	9	804	89
10	7	1.098	157	J	7	1.403	200

Şekil 1 Onarım Süresi Hat ve Ekipman Kırılımı

Onarım süresi için yapılacak detaylı incelemede arıza sürecini onarım öncesi, onarım ve onarım sonrası olacak şekilde 3 ana bölümde ayrı iş adımlarında etütler yapılmalıdır.

3.1. Onarım Öncesi Zaman

Onarım öncesindeki incelemede arıza oluşumunun fark edilmesi ve bakım ekibine bildirilmesi, bakım ekibinin arıza noktasına ulaşması ve onarıma başlamadan önce ekipmanın müdahaleye hazır hale gelmesi için beklenen zaman (soğuma, hijyen, ürünlerin uzaklaştırılması vb.) olarak 3 adımda detaylandırılabilir.

Operatörlerin yetkinlik seviyesine göre arızanın fark edilme süreci değişkenlik gösterir. Yetkinlik seviyesi yüksek olan operatörler arızanın hasarı büyümeden ekipmana müdahale ederek bakım ekibine bildirilmesini sağlar. Bu adımın onarım süresine olumlu etkisi olacağından operatörlerin kullandıkları ekipmanları çok iyi bilmeleri gerekmektedir. Operatör seviyesini geliştirmek için işletmede kullanılan her ekipmanın çalışma talimatları ve prensip parametreleri hazırlanarak kullanıcılar bilgilendirilmesi önemlidir.

Onarım öncesi geçen süre içindeki ikinci adımda bakım ekibinin arıza noktasına ulaşımıdır. İşletmenin büyüklüğüne makine parkuruna ve sayısına göre ulaşım süresi değişiklik gösteren bir durumdur. Bakım ekiplerinin arızadan anında haberdar olabilmesi için telefonlara arıza bildirimlerinin mesaj olarak iletilmesi, fabrika için ulaşım için araç (bisiklet vb.) kullanımı arıza noktasına ekiplerin ulaşımını hızlandıracak uygulamalardır.

Onarıma başlamadan önceki son adım ekipmanın müdahale için uygun hale getirilmesidir. Üretilen ürün ve kullanılan ekipmana göre değişiklik gösteren bu koşullarda İSG, hijyen, ekipman güvenilirliği gibi durumlar dikkate alınarak tedbir alınması gerekmektedir. Onarım öncesi kısımda en uzun süre alan adım hazırlık kısmıdır. Örnek vermek gerekirse fırın gibi ekipmanlarda fırının soğuma süresi ya da ürün aktarımı yapan konveyörlerde ürünlerin alınması onarım için ekipmanın hazırlanma süresi olarak değerlendirilmektedir.



3.2. Onarım Zamanı

Onarım için gerekli hazırlıklar yapıldığında, arızanın giderilmesi için problemin kaynağının belirlenmesi ile onarım zamanı başlar. Arıza için bakım ekipleri hatanın tespiti ve yapılacak işlemler için gerekli analiz ve değerlendirmeleri yapar. Onarım süresinin en önemli adımı arıza tespit ve müdahale planlamasıdır. Doğru tespit ile onarım tek seferde sonuçlanması ile arızanın etkisi minimum düzeyde tutulur. Arıza tespit esnasında bakım ekiplerinin yetkinlikleri onarım süresini belirler. Bakım ekiplerinin yetkinliklerinin artırılması için eğitimler verilmesi ve makinelerde arıza/onarım listeleri oluşturularak hazırlanan kılavuzlarla doğru müdahalenin en hızlı şekilde yapılmasını kolaylaştırır. Yaşanan arızaların analizlerinin yapılarak arşivlenmesi tekrarlayan ve bezer arızaların onarımı için yol gösterici olacaktır.

Onarım için yapılacak müdahalenin belirlenmesinden sonra değişimi ya da onarımı gerektirecek yedek parçaların ve malzemelerin hazırlanması ile onarım süreci devam etmektedir. Bu adımda yürütülen sürecin hızlı ilerleyebilmesi için ekipmanlara ait yedek parçaların kritik stok seviyeleri ve ihtiyaçları belirlenmelidir. Yaşanan arızalar sonrasında yapılacak olan analizlerle yedek parça stok seviyeleri güncellenmelidir.

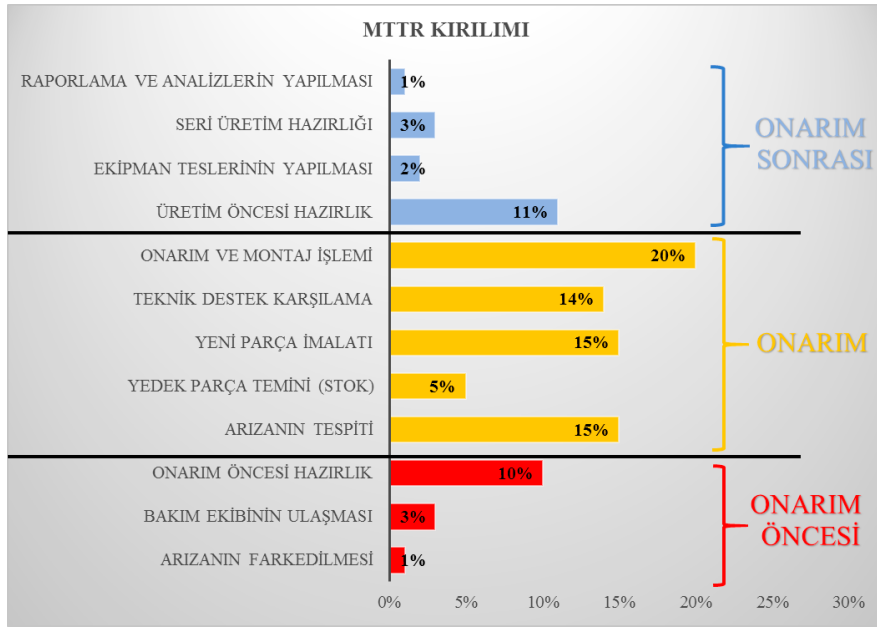
Arızada yapılacak müdahalenin belirlenmemesi ya da bakım personelinin yetkinliğinin/iş gücünün yetersiz olması durumunda teknik destek alınabilmektedir. Alınacak destek işletme içinde daha yetkin personellerden olabileceği gibi dış firmalardan servis hizmeti de olabilir. Onarım süresini kısaltmak için özellikle personel sayısının artırılması ile sağlanacak iş gücü ilavesi gibi durumlarda destek personel transferi onarım süresini arttırabilmektedir. Özellikle elektronik arızaların onarımı esnasında mühendis desteği ihtiyaçları daha fazla olabilmektedir. Teknik destek ihtiyaçlarının azaltılmasına faaliyetler olarak bakım ekiplerinin yetkinliklerinin artırılması ve arıza onarım çözümlerinin hazırlanması önceliklendirilmelidir.

Onarım sürecinin son adımı onarım ve montaj olarak değerlendirilmiştir. Yapılan hazırlıkların ve tespitlerin tamamlanmasından sonrasında onarımı yapılması ve ekipmanın tekrar çalışır hale getirilmesini içermektedir.

3.3. Onarım Sonrası Zaman

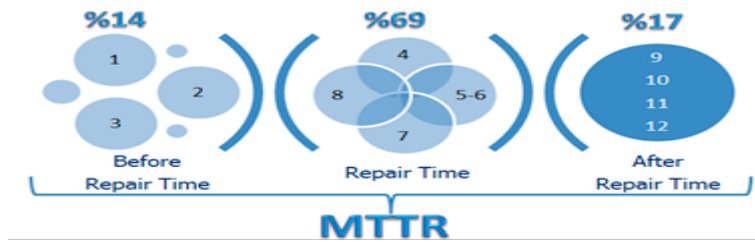
Onarım tamamlandıktan sonra süreç ekipmanın tekrar üretime hazırlanması için temizlik ve gerekli tedbirlerin alınması ile başlar. Ekipman üretime hazır hale geldikten sonra soğuk ve sıcak testleri yapılır. Testler final ayarlamaları yapıldıktan sonra ekipman tekrar üretime hazır hale getirilir. Onarım işlemlerin son adımı raporlama ve analiz kısmıdır. Yaşanan her bir arızanın öncelikli olarak tekrarlamaması için analizler yapılmalıdır. Arızalarda en kök nedene ulaşılabilmesi için yapılacak yaygın analiz neden neden analizidir. Yapılan analizler sonucunda arızanın tekrarlamasını önlemek için faaliyetler planlanmalıdır. Kök neden analizi ile arıza oluşumunu önlemediği durumlar için ya da yaşanabilecek benzer arızalarda onarım sürecinde belirtilen adımlarında detaylandırılması arıza anındaki kayıpları azaltmak için önemlidir. Yapılan analizlerin kayıt altına alınması raporlama çalışmalarını için doğru verilerin aktarılmasını sağlayacaktır.

Şekil 2’de kırılımında MTTR için onarım adımlarının dağılımı listelenmiştir. Belirlenen adımların dağılımına göre önceliklendirilmelidir ve MTTR’ı düşürmek için faaliyetler yürütülmelidir.



Şekil 2 MTTR Kırılımı

MTTR analizlerinin onarım süresinin bütün adımlarını kapsayacak şekilde 3 ayrı başlıkta toplam 12 adımda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan analizlerde Şekil 3'te görüldüğü gibi MTTR'in %14'ü arıza oluşumunda onarıma başlanan kadar geçen süreci içermektedir. Sürenin %69'u ekipman üzerinde yapılan onarım çalışmalarıdır. Kalan %17'lik kısım ise onarım sonrası yapılan işlemler için ayrılan zamandır.



Şekil 3 MTTR Adımları

4. Onarım Süresi Azaltma Faaliyetleri

MTTR analizi sonucunda en uzun süre içeren onarım adımları belirlenebilmektedir. Onarım süresinde en uzun süreye sahip adımlar sırasıyla; onarım ve montaj, arızanın tespiti, yedek parça imali/hazırlanması ve teknik destek/ yedek parçanın tedarikini içermektedir Şekil 4.

A	Onarım ve Montaj İşlemi	20%
B	Arızanın Tespiti	15%
C	Yeni Parça İmalatı	15%
D	Teknik Destek Karşılama	14%

Şekil 4 Onarım Süresi Adımları

Belirlenen adımlarda geçen sürelerin kısaltılması için çalışmalar yürütülmelidir Şekil 5. Sürelerin kısaltılması için öncelikli olarak uzun süreli arızaların önlenmesine yönelik sıfır arıza çalışmaları ya da onarım süresinin kısaltılma-

sına yönelik iyileştirmeler planlanmalıdır. Arızaların tespitlerinin hızlandırılabilmesi için ekipmanlara ait bilgileri içeren eğitim ve dokümanlar hazırlanmalıdır. Arızaya müdahale eden, onarımdan sorumlu ekibin yetkinlik seviyesi artırılarak onarım sürelerinin kısaltılması sağlanabilir. Onarımda en önemli ihtiyaç olan yedek parça ihtiyaçlarının karşılanması için yedek parça ihtiyaçları ve stok seviyeleri kontrol altında tutulmalıdır.

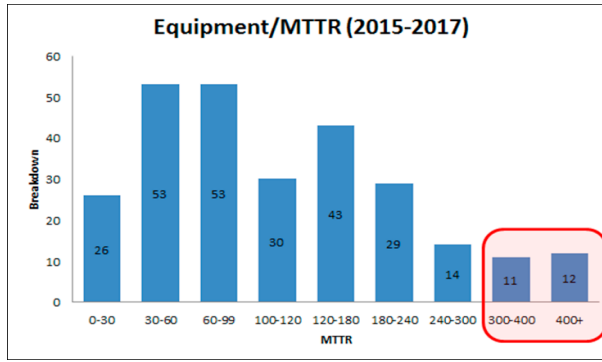
MTTR Azaltma Faaliyetleri		A	B	C	D
1	Uzun onarım süreli arızalar için	X	X	X	X
2	Ekipman Kullanma Kılavuzları, Bakım Talimatları ve Arıza Tablolarının Hazırlanması	X	X		
3	Bakım Ekipleri İçin Teknik Eğitimler	X	X		X
4	Kritik ekipman, yedek parça ve stok seviyelerinin belirlenmesi		X	X	X

Şekil 5 Onarım Süresi Adımları

Belirlenen faaliyetlerle onarım süresinde bulunan farklı adımlar kısaltılabilmektedir. Bu faaliyetler örneklerle aktarılacaktır.

4.1. Uzun Onarım Süreli Arızalar İçin İyileştirmeler

Yaşanan arızalarda onarım süreleri uzun olan arızalar belirlenerek daha detaylı incelenmelidir Şekil 6.



Şekil 6 Uzun Onarım Süreli Arızalar

MTTR'ı yükselten arızalar belirlendikten sonra bu arızalar ve ekipmanlar sınıflandırılmalıdır Şekil 7.

Uzun Onarım Süreli Arızaların Kırılımı			
Arıza Tipi	Arıza Sayısı	Onarım Süresi	MTTR
Mekanik	14	6038	431
Elektrik	3	1278	426
Eletronik	6	2158	360
TOPLAM	23	9474	412

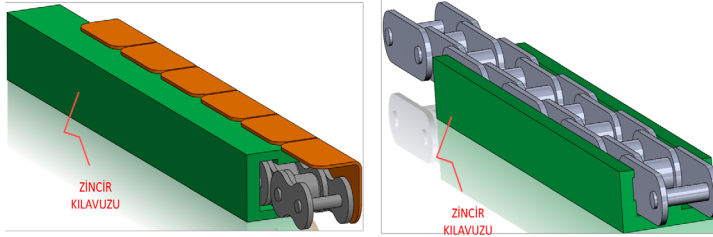
Şekil 7 Uzun Onarım Süreli Arızalar

Bütün arızalar içinde onarım süresi en fazla olan arızalar için öncelikle olarak sıfır arıza çalışmaları yürütülmelidir. Bununla birlikte onarım süresinin azaltılmasına yönelik iyileştirmeler belirlenmelidir. Ekipman kullanımı ile ilgili eğitim ihtiyaçları varsa operatörlerle paylaşılmalıdır. Onarım süresini düşürmeye yönelik yapılacak iyileştirmeler 4 ana başlıkta planlanabilir.

4.1.1. Kolay Montaj Uygulamaları

Arıza anında hasarlı parçalarının değişimlerinin hızlandırılması için ekipmanda kolay montaj/demontaj çalışmaları yapılabilir. Ekipman tasarım sürecinin belirleyici olduğu bu süreçte bakım ekiplerinin yeni ekipman süreçlerine

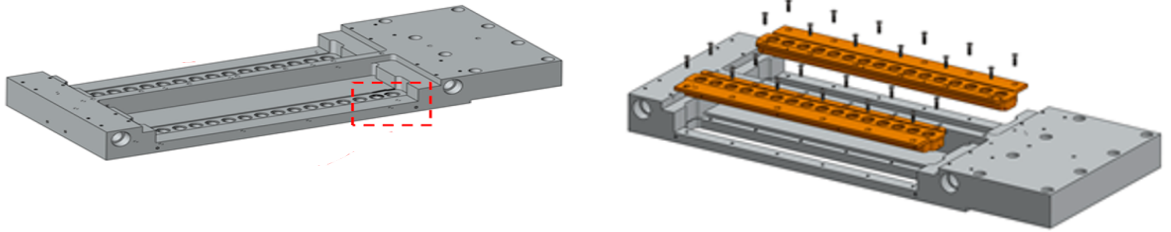
dahil olması avantaj sağlayacaktır. Mevcut ekipmanlarda da yapılacak tasarım değişiklikleri ile kolay montaj çalışmaları yürütülebilir. Şekil 8’de bulunan örnekte tava taşıma zincirlerinde yapılan kolay montaj uygulaması örneği bulunmaktadır. Kapalı kılavuz içinde bulunan zincir açık kılavuza alınarak olası bir zincir değişim süresi 3’te 1 oranında azaltılmıştır.



Şekil 8 Zincir Kolay Montaj Uygulaması

4.1.2. Parça Hafifletme Uygulamaları

Ekipmanlarda bulunan parçaların değişim işlemlerinde parça büyüklükleri ve ağırlıkları onarım süresini uzatabilmektedir. Bu gibi durumlarda parçaları modüler hale getirerek montaj/demontaj işlemleri hızlandırılabilir. Bu uygulamalar aynı zamanda yedek parça temin sürelerini ve maliyetlerini de düşürülmesine katkı sağlayacaktır. Şekil 9 de bulunan örnekte ağırlığı 100kg olan gövde de meydana gelen hasarda değişim gerekli onarım süresini kısaltmak için tasarım değişikliği ile modüler bağlantı yapılmıştır. Böylece onarım süresi 5’te 1 oranında azaltılmıştır.



Şekil 9 Gövde Modüler Değişim Uygulaması

4.1.3. Kolay Bakım Uygulamaları

Onarım süresini kısaltmak için farklı metotlar ve ekipmanlar geliştirilebilmektedir. Özellikle onarım sürecinde parça hazırlama ve montaj adımları için yapılabilecek iyileştirmeler ile farklı ekipman kullanımları onarım süresini azaltacaktır. Şekil 10’da bulunan örnekte konveyörlerde kullanılan PU bantların hazırlanması ile ilgili yapılan aparat yardımı ile bant hazırlama süresi 5’te 1 oranında azaltılmıştır.



Şekil 10 PU Bant Hazırlama Uygulaması

4.1.4. Kolay Arıza Tespit Uygulamaları

Arıza onarım esnasında arızanın tespiti uzun zaman alabilmektedir. Bakım ekiplerinin yetkinliklerinin yanı sıra özellikle elektrik-elektronik arızalarda arızanın kök nedenin tespiti zor olabilmektedir. Haberleşme, sürücü, kablo hasarı gibi arızalarda ekipmanın tekrar devreye alınmasını hızlandırma için test kitleri kullanılabilir. Özel-



likle kablo ve soket arızalarının bulunabilmesi için test kitleri hızlı sonuçlar verebilmektedir.

Birden fazla ekipmanların birbirleri ile senkron şekilde çalıştığı sistem arızalarında haberleşme ağının kontrollü uzun zaman alabilmektedir. Bu gibi arızaların onarımında haberleşmenin aktarımını gösteren soketlerin kullanımı arıza noktasının bulunmasına yardımcı olabilmektedir. Bazen saatler süren onarım süreleri Şekil 11’de verilen örnekteki gibi uygulamalarla dakikalar içinde çözülebilmektedir.



Şekil 11 Haberleşme Arızalarının Kolay Tespit Uygulaması

4.2. Ekipman Kullanma Kılavuzları, Bakım Talimatları ve Arıza Tablolarının Hazırlanması

Yaşanan arızalarda arızanın oluşum nedeni ve hızlı bir şekilde çözülmesinde operatörlerin tanımlamaları önemlidir. Operatörlerin kullandıkları ekipmanlara hakim olmaları otonom bakım felsefesi ile kötüye gidişi tespit edip zamanında müdahale etmesi yada edilmesini sağlaması yaşanacak kayıpları azaltacaktır. Bu noktada operatörlerin yetkinlik seviyelerini arttırmak için ekipmanların kullanma kılavuzları, prensip parametreleri hazırlanmalıdır. Bu sayede operatörler ekipmanlardaki kötüye gidişi fark edebilecekleri gibi olası arıza durumlarında problemi bakım ekiplerini en doğru ve hızlı şekilde bildirebileceklerdir.

Bakım talimatları ve arıza tablolarının hazırlanması ile bakım ekiplerinin ekipman ile ilgili yetkinlikleri arttırılacak ihtiyaç halinde bakabilecekleri kılavuzlar olacaktır. Özellikler arıza tablolarının güncel tutulması arızalarda olası nedenin ve alınacak önlemin bir an önce belirlenmesi yardımcı olacaktır. Hazırlanacak bu dokümanlar onarım süresinin azaltılmasına olumlu katkı sağlamaktadır.

4.3 Bakım Ekipleri İçin Teknik Eğitimler

Arızalarda onarım süreleri detaylı analiz edildiğinde özellikle arızanın tespiti, onarım ve teknik destek ihtiyacı adımlarına bakım ekiplerinin gelişim ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Bakım ekiplerinin yetkinliklerinin arttırılması ve servis seviyelerinin yükseltilmesi için arıza tiplerine göre eğitim başlıkları belirlenir. Belirlenen eğitim ihtiyaçları doğrultusunda bakım ekipleri için uygun eğitimler verilerek MTTR değerine olumlu yönde etki etmesi sağlanır. Şekil 12’de arıza tipine göre eğitim başlıkları belirlenerek onarım adımları ile ilişkisinin kurulduğu bir örnek görülmektedir.

EĞİTİM	ARIZA TİPİ		
	Mekanik	Elektrik	Elektronik
PLC			● □ ▲
Bakım Yöntemleri	● □	● □	
Elektro Pnömatik	●	● □	
Kaplin Ayarlama	●		
Mekanik Ekipmanlar	● □		
Montaj Teknikleri	□	●	
Sensör		●	● ▲
Servo Motor ve Sürücüler			● ▲
Malzeme	●		
MTTR	Tespit	Onarım	Teknik Destek
		□	▲

Şekil 12 MTTR Eğitim İlişkisi

4.4 Kritik Ekipman, Yedek Parça ve Stok Seviyelerinin Belirlenmesi

Onarım süresinde en belirleyici etkenlerden biri de ekipmanların onarımında kullanılacak olan malzemelerin teminidir. Stok seviyeleri belirlenirken ekipmanlarda kritiklik seviyesine göre sınıflandırılmalıdır. Kritiklik seviyesi belirlenirken ekipmanların onarım süreleri de dikkate alınmalıdır. Kritiklik seviyesi yüksek olan ekipmanlardan başlayarak yedek parça matrislerinin hazırlanması ve arıza potansiyeli olabilecek parçaları seçilerek ile stok seviyeleri belirlenmelidir. Stok seviyeleri belirlenirken malzemelerin temin süreleri kadar stok maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Sonuç

Bakım ekiplerinin birinci önceliği sıfır arızalı ekipman ile güvenilirliği ve sürdürülebilirliği sağlamaktır. Ancak yaşanacak arızaların en kısa sürede onarılması da bakım ekiplerinin servis kalitesinin en önemli göstergesidir. Belirtilen MTTR analizleri ile incelenen onarım adımlarının her biri için iyileştirme faaliyetleri planlanmış ve uygulanmıştır. Yapılan onarım süresi azaltma çalışmalarının uygulanması ve yaygınlaştırılması ile beraber 2 yıllık bir süreçte MTTR değerinde %50 iyileşme sağlanmıştır. Yapılan çalışmaların raporlanması ve kayıt altına alınması ilerleyen dönemde yaşanabilecek arızaların önlenmesi ya da onarım süresinin azaltılması için önemli birer referans olacaktır.

6. Kaynaklar

JIPM Danışmanlık Notları, 2015 – 2018, Eti Şirketler Grubu

NAKANO, Kinjiro, Comprehensive approach to Zero Breakdown: Planned Maintenance (Keikaku Hozen), JIPM, 2003; Translation of: Kosho Zero wo Tasseisuru / Keikaku Hozen, JIPM, 1999

CAMKORU M., Sıfır Arızaya Ulaşmada TPM Metotlarının Rolü ve Eti Şirketler Grubundaki Uygulamalar, DENİZLİ, BTKS 2007

7. Özgeçmiş

Yener Can CANARSLAN 1983 yılında Eskişehir’de doğdu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. Mezuniyetinden sonra 1 yıl süreyle Gemont Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş.’de mekanik ve borulama montajında sorumlu saha mühendisi olarak görev aldı. Temmuz 2008 çalışmaya başladığı Eti Şirket Grubu bünyesinde bakım ekiplerinde farklı birimlerde görev almıştır. 2015 yılından beri Kek Fabrikası Kıdemli Teknik İşler Yöneticiliği görevini sürdürmektedir.



ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİM JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNE YÖNELİK BAKIM SÜREÇLERİ

¹Mahmut Hekim, ²Engin Çetin, ³Hasan Özden

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Karaman
mahmuthekim@kmu.edu.tr

²Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü,
Pamukkale / Denizli
engincetin@pau.edu.tr

³Jeoden Elektrik Üretim A.Ş., Gerali Köyü, Sarayköy / Denizli
hasanozden@nrgenerji.com.tr

Özet

Son yıllarda ülkemizde kurulan Jeotermal Enerji Santrali sayısında (JES) kayda değer bir artış görülmektedir. Tüm santral yapılarında olduğu gibi, JES’lerde de kesintisiz enerji üretimi önemlidir. JES’lerde kapasiteye göre enerji üretim hedefini tutturabilmek için makine-ekipmanın yüksek performansla çalışmasının sağlanmasının yanı sıra, arıza kaynaklı duruşların engellenmesi de gerekmektedir. Bu bağlamda, santralin kesintisiz bir şekilde elektrik enerjisi üretmesi ve optimum işletme koşullarının teminine yönelik periyodik kontrol ve bakım programlarının uygulanması birer zorunluluktur. JES’lerde yıl boyunca enerji üretilebilecek zaman, jeotermal kaynağın sürekli kullanıma hazır olması ve enerji üretim teşvikleri nedeniyle oldukça yüksektir. Bu durumda, santral işletmecileri enerji üretiminde yüksek emre amadelik oranlarını yakalayabilmek için, istenmeyen duruşları engellemek zorundadır. Bunu sağlamak için de; JES’lerde türbin-jeneratör sistemi, jeotermal kuyular, soğutma kulesi, elektrik şalt sistemleri, enerji nakil hatları ve mekanik hatlarda bilimsel bakım metodları disiplinli bir şekilde uygulanmalıdır. Bu çalışmada; düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynak kullanılarak Organik Rankine Çevrimi Metodu ile elektrik enerjisi üretilmesi amacıyla Sarayköy/Denizli’de kurulan Jeoden JES için hazırlanan bakım süreçleri sunulmuştur. İlgili süreçler, santralin Pure Cycle elektrik üretim sisteminin çalışma prensipleri ve üretici firma talimatları referans alınarak oluşturulmuştur. Süreçlerin tamamı; Pure Cycle Enerji Üretim Sistemi’nin temel işletme-bakım talimatlarının yanı sıra, mevcut sahaya özgü kuyu başı faaliyetlerini, soğutma kulesinin, reverse osmosis sisteminin, otomasyon ve enerji dağıtım sistemlerinin işletme-bakım faaliyetlerini kapsamaktadır. Yapılan çalışma ile, benzer tesislere yönelik örnek bir yapılanma ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji Santrali, Organik Rankine Çevrim, Bakım Prosedürü.



1. Giriş

Enerji hayatımızın en önemli yapı taşlarından biridir. Enerjinin hayatımızdaki rolünün büyüklüğü yanında temini, üretimi ve iletimi oldukça yüksek maliyetlidir. Bu sebeple kısıtlı, pahalı ve temini zor olan enerjinin, gerekli olduğu yerde etkin bir şekilde kullanılmasına dikkat edilmeli, verim artırıcı yöntemler geliştirilmeli, tüketilen enerjiden tasarruf edilmeli ve çevre dostu, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalıdır.

Türkiye; güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Ancak, bu tür kaynakların kullanımı henüz yeterli düzeyde değildir. Dünya üzerinde bulunan jeotermal enerji kaynakları değerlendirildiğinde, Türkiye dünyanın önde gelen jeotermal enerji kaynaklarına sahip ülkelerinden birisidir ve jeotermal enerji açısından çok avantajlı bir konumdadır. 100 °C'yi aşan çok sayıda sıcak su kaynağının bulunması, Türkiye'nin jeotermal enerji olanakları yönünden önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [1]. Ülkemiz, yeryüzünün sadece %5'lik kısmına tekabül eden jeotermal bölgeler arasında yer almakta ve bu konumu ile jeotermal potansiyel açısından Avrupa'da birinci, Dünya'da ise yedinci sırada yer almaktadır [2].

Jeotermal enerji uzun ömürlü olması, diğer enerji kaynaklarına kolay dönüşebilmesi, ucuz olması, çevre dostu olması, meteorolojik olaylardan fazla etkilenmemesi gibi avantajlara sahiptir. Türkiye'de enerji üretimi amacıyla kullanılmayan 90 °C ile 125 °C arasındaki jeotermal kuyu veya sahalarda, Jeotermal Enerji Santrali (JES) kurulma fikrini harekete geçirebilmek ve JES'lerde atık enerjiden elektrik enerjisi elde edilebilmesi için seçenek oluşturmak önemlidir [3]. Bu amaçla, 100 °C sıcaklık üzerinde jeotermal kaynağa sahip sahalarda Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) prensibi ile çalışan JES'ler kurulup, elektrik üretim sistemindeki yenilenebilir enerji santrali katkısı artırılabilir. Bu çalışmada, düşük sıcaklıkta jeotermal kaynak bulunan sahalarda da jeotermal santral kurulması konusunda yatırımcıya örnek olabilecek özellikte, Sarayköy/Denizli'de kurulan JES sistemi özelliklerinden ve bu santralin bakım süreçlerinden bahsedilmiştir. İster flash buharlı jeotermal santraller olsun ister ORÇ jeotermal santraller olsun, enerji verimliliği her daim çok önemlidir ve enerji üretim kayıplarının mutlaka azaltılması gerekmektedir. Bu enerji kayıplarını azaltmak ve yüksek emre amadelik oranlarını yakalayabilmek için, periyodik bakım faaliyetlerinin yerine getirilmesi ve istenmeyen duruşların engellenmesi önem arz etmektedir.

2. ORÇ Jeotermal Enerji Santralleri

Mikro ölçekli ORÇ santrallere yönelik bakım prosedürlerinin uygulama örneği bağlamında, Denizli ili Sarayköy ilçesinde kurulumu tamamlanan Jeoden JES santral sahası ele alınabilir. ORÇ santrali tasarımı, jeotermal akışkan sıcaklığının 100 °C – 180 °C aralığında olması durumunda yapılabilir. ORÇ santrallerde su ve yüksek basınçlı buhar yerine organik akışkan kullanıldığı için, sistem bu şekilde adlandırılmaktadır. ORÇ teknolojisinde sudan daha düşük sıcaklıkta kaynayan, yüksek moleküler ağırlıklı sıvılar ikincil akışkan olarak kullanılmaktadır. Bu özellik, ekonomik enerji üretimi için geleneksel olarak çok düşük kabul edilen ısı kaynaklarından ısı enerjisi elde eden Rankine Çevrimi'ne imkân tanımaktadır [1].

Bu çalışmada düşük sıcaklıkta jeotermal kaynak kullanan ORÇ sistemi ile üretim yapmak için tasarlanan Jeoden JES enerji üretim santrali parametreleri bir bütün olarak incelenmiştir. Şekil 1'de yerleşim planı görülen Jeoden JES, Türkiye'de ilk kez düşük sıcaklıkta (103 °C) jeotermal kaynak kullanılarak elektrik üretmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu projenin uygulanması ile düşük sıcaklıkta jeotermal kaynak bulunan sahalarda da jeotermal santral kurulması konusunda yatırımcıya örnek olunması hedeflenmiştir.



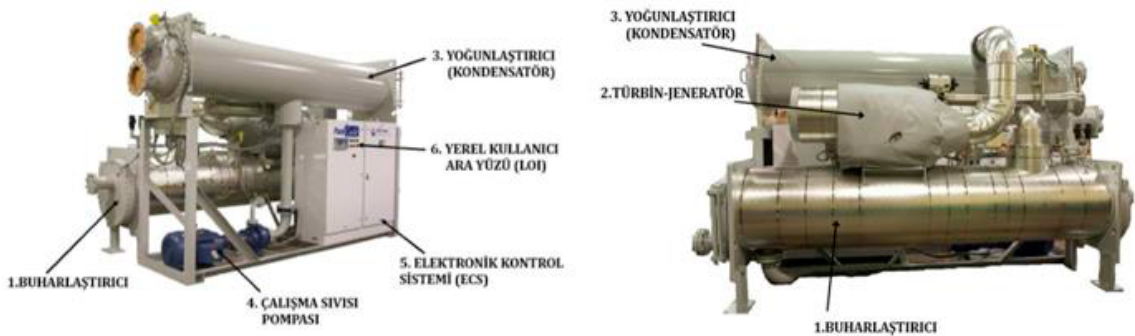
Şekil 1. Jeoden JES santral sahası [1]

Jeoden JES'te her biri 280 kW brüt, 250 kW net güç üretimi yapılabilen 3 adet Pure Cycle 280 modüllerinden toplamda 840 kW brüt, 750 kW net elektrik enerjisi üretimi sağlanacak şekilde deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Organik Rankine çevrimi olarak bilinen bir termodinamik döngü üzerine kurulmuş olan Pure Cycle güç sistemi, düşük ve orta derece sıcaklıktaki kaynak sınırlarındaki enerjiyi, kendi kapalı sisteminde ihtiva ettiği çalışma sıvısını buharlaştırıp genişleterek elektriğe çevirir. Pure Cycle sisteminde; mevcut herhangi bir jeotermal, petrol ve gaz kuyusundaki sıcaklık, endüstriyel tesisteki üretilen sıcaklık, çalışan pistonlu ya da gaz türbininin ürettiği sıcaklık kullanılabilir.

Pure Cycle sisteminin; kolay bakım yapılabilmesi, tamamen entegre ve montajı yapılmış olarak çabuk kurulumun sağlanabilmesi, uzaktan denetlenip çalıştırılabilmesi, alev almayan ve ozona zarar vermeyen çalışma sıvısı kullanılması, modern su soğutmalı sistemlerde kullanılan standart santrifüjlü buhar kompresöründen geliştirilmiş ORÇ türbinine sahip olması gibi avantajları mevcuttur [4].

2.1 Pure Cycle Güç Sistemi

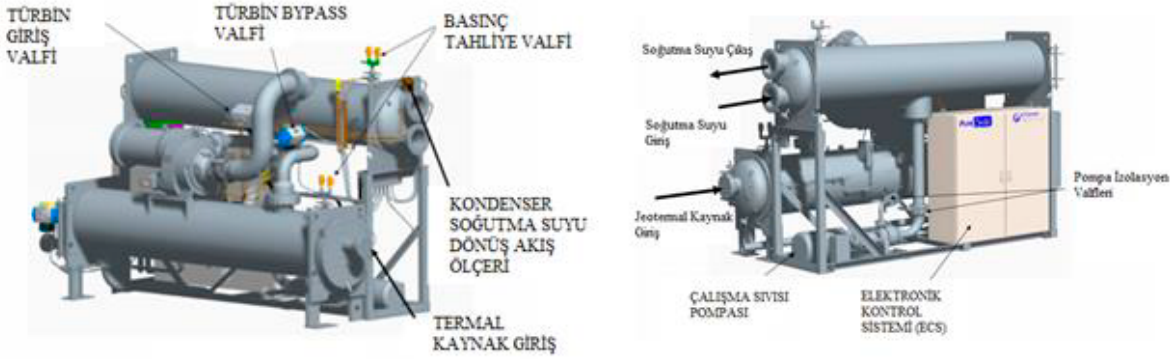
Jeoden JES santralinde kullanılan Pure Cycle güç sistemi tam bir paket olarak, kızağa yüklü, modüler ve test edilmiş olarak, türbin jeneratör, kondenser (yoğusturucu), evaporator (buharlaştırıcı), elektrik kontrol sistemi (ECS) ve çalışma sıvısı pompası ile tam bir bütün halinde nakledilir. Pure Cycle sisteminin genel görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Pure Cycle güç sistemi önden ve arkadan görünüş [4]

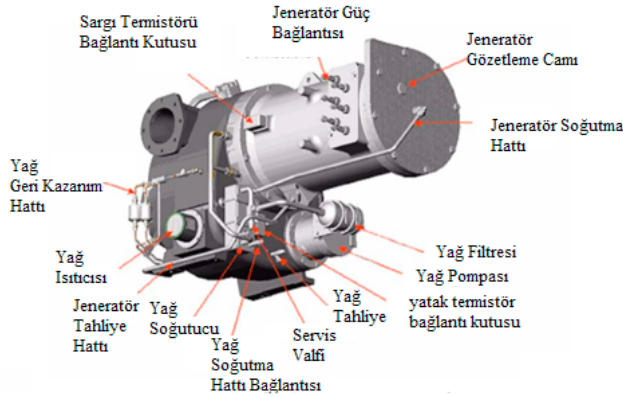
Devreye alma sırasında çalışma sıvısı by-pass valfinin içinden türbine kadar akar ve sisteme yeteri kadar ısı ve-

rildiğinde düzgün olarak çalışmaya başlar. Pure Cycle sistemi devreye alma, çalıştırma ve güvenlik ekipmanları Şekil 3'te gösterilmiştir. Devreye alma sırasında by-pass valfi, türbine doğru yukarı akış valfi yani türbin durdurma valfi kapalı iken, açık konumdadır. Yeteri kadar buhar basıncı türbinden yukarı akımda oluştuğunda, kontrol cihazı tarafından türbin durdurma valfi açılır, by-pass valfi kapatılır [5].



Şekil 3. Pure Cycle ekipmanı [5]

Türbin/Jeneratör kurgusu kendi içinde, Şekil 4'te görülen döner parçalar ve yataklar için yağ soğutma ve yağlama sistemi ihtiva eder. Bu yağ sistemi ve jeneratör çalışma sıvısı tarafından tamamen hermetik ve mühürlü kapalı olarak soğutulurlar, böylece sızmalar engellenir ve ek bir soğutma ara yüzünün de operatör tarafından kullanılmasına gerek kalmaz [5].



Şekil 4. Türbin/Jeneratör güç modu yağlama sistemi [5]

2.1.1 Pure Cycle Elektrik Sistemi

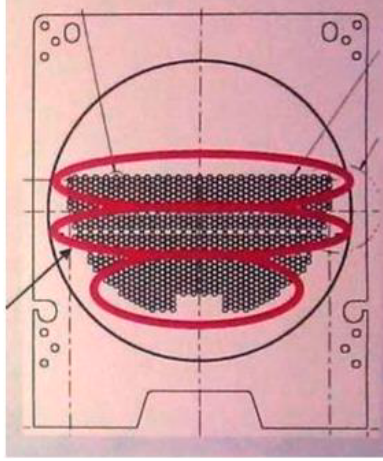
Türbin, üç faz AC @ 480V/60Hz (ya da isteğe göre 380/400/415V/50 Hz) üreten iki fazlı endüksiyon jeneratörü ile sürülür. Endüksiyon jeneratörü faz-kontrollü başlatıcı kullanılarak devreye alınır ve mutlaka şebekeye senkronize olması sağlanır [4].

2.1.2 Çalışma Sıvısı (İkincil Akışkan)

Çalışma sıvısı R245 FA, pentafluoropropane kimyasal bileşimi içeren bir hidrofluorokarbondur. Genelde köpük püskürtme aracı olarak yalıtım endüstrisi tarafından kullanılır ve santrifüjli soğutucular için yeni bir tür soğutucu akışkandır. Ozon tabakasına klorin içermediği için zararı yoktur, flaş noktası içermediği için de kesinlikle yanmaz yapıdadır [4].

2.1.3 Evaporator (Buharlaştırıcı)

Buharlaştırıcı, ASME BP&V- kodlu kazandan oluşan kabuk boru tipi ısı değiştiricidir. İçindeki karbon elik borularla kaynak ısısını yakalar ve ihtiyaca göre istenen maddeden yapılabilir. Cihazın üstünde hazır montajlı olarak teslim edilir. Basınç derecelendirmesi 345 psi (2.379 kPa), sıcaklık derecelendirmesi 177 C karbon elik borulu, karbon elik ısı değiştirici paslanmaz elik, titanyum ve dupleks tp malzemeleri de mevcuttur. n ısıtıcı ve kaynatıcı bölümlü evaporatör i görünüşü Şekil 5'teki gibidir [6]. Seviye kontrolü yüksek ısınmaya göre ayarlanmıştır.



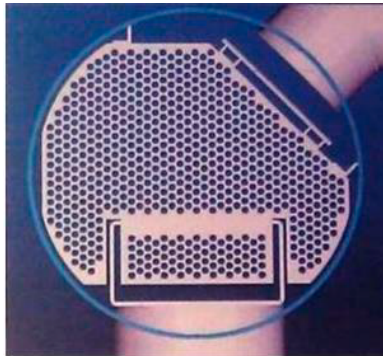
Şekil 5. Evaporator (ısı değiştirici) i görünüşü [6]

2.1.4 Türbin-Jeneratör Sistemi

Sistemin kalbidir. Kurgu, Carrier firmasının standart soğutucu motor-kompresör sistemiyle aynı platformdadır, fakat ters yönde türbin-jeneratör Şeklinde alışmaktadır. Yüksek basınçlı buhar türbini ile dişli sistemi üzerinden endüksiyon jeneratörü çevrilerek elektrik üretilir [6].

2.1.5 Kondenser (Yoğuşturucu)

Kondenser, ASME BP&V-kodlu kazandır. Yine kabuk boru tipi Şekil 6'da görüldüğü gibi bir ısı değiştiricidir. İçindeki borular bakırdan olup, düşük basınçlı buhar burada soğutulup sıvı haline dönüştürülür. Saha ihtiyacına göre bu borular da farklı malzemeden yapılabilir [6]. Cihazın üstünde hazır montajlı olarak teslim edilir.



Şekil 6. Kondenser i görünüşü [6]

2.1.6 Çalışma Sıvısı Pompası

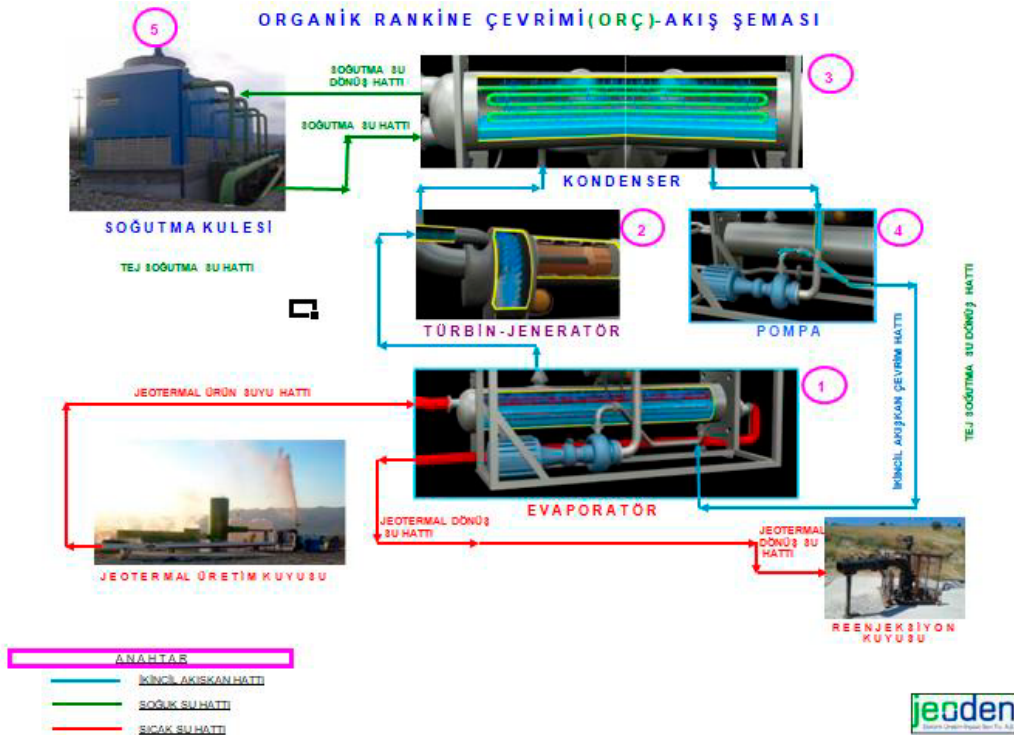
Çalışma sıvısı buharlaşana kadar pompa tarafından basılır. Değişken frekans sürücüsü ile değişen hızlarda ama sürekli olarak çalışır. Pompa hızı enerji santralinin ürettiği gücü arttırmak için kontrol edilir.

2.1.7 Elektrik Kontrol Sistemi

Elektrik santrali kontrol sistemi içinde; sistem kontrolörü, giriş çıkış (I/O) modülleri, çalışma sıvısı pompa kontrol sürücüsü, jeneratör sabit durum yumuşak yol verici, uzaktan kontrol sistemi (RMS), sistem bağlantıları ve röleler bulunmaktadır. Otomatik olarak düzgün başlangıç, devamlı çalışma ve türbin/jeneratör, yağ pompası, yağ ısıtıcısı, işlem kontrolleri ve diğer parçalar için elektrik kesilmesi sistem tarafından kontrol edilir.

2.2 ORÇ Sistemi

Isıdan elektrik üretimini esas alan Pure Cycle sistemi ile JES elektrik üretim sistemini kapsayan ORÇ teknolojisi akış şeması Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Jeoden JES ORÇ teknolojisi akış şeması

Evaporatör içerisine transfer edilen ve (mavi çizgi) ikincil akışkanın (organik çalışma sıvısı) buharlaştırılması için jeotermal kaynaktan gelen ısı enerjisi (kırmızı çizgi) kullanılır. Evaporatör jeotermal kaynaktan gelen ısı enerjisinden faydalanarak organik çalışma sıvısının buharlaşmasını sağlar ve sıcak kaynak suyu evaporatör çıkışından re-enjeksiyon kuyusuna transfer edilir. İkincil akışkan evaporatörden sipin şeklinde dolaşarak geçen jeotermal kaynaktan gelen sıcak suyun etkisiyle buharlaşır. Pure Cycle kontrol sistemi basınç seviyesinin istenilen seviyeye ulaşmasını takiben pnömatik valflere komut vererek ikincil akışkanın türbine transfer olmasını sağlar. İkincil akışkan etkisiyle türbinle birbirine bağlı olan jeneratör beraber dönmeye devam eder. Jeneratör yeterli devire ulaştığında kontrol sistemi şebeke gerilim ve frekansını kontrol ederek jeneratörün elektrik üretme aşamasına geçmesini sağlar. Türbin ve jeneratörün istenilen devirde dönerek elektrik üretilmesini sağlayan buhar halindeki ikincil akışkan kondensere transfer olur. Kondenser içine transfer edilen buhar haldeki ikincil akışkan, soğutma kulesinden temin edilen sürekli devir halindeki soğutma suyu (yeşil çizgi) kullanılarak yoğunlaştırılır. Kondenserde sıvı hale getirilen çalışma sıvısı, sirkülasyon pompası kullanılarak tekrar buharlaştırıcıya transfer edilir ve bu kapalı çevrim süreci tekrarlanır [4].

ORÇ sisteminin çalıştırılması; üretim kuyularının açılmasından sonra, santralin ilk çalıştırılması için gerekli minimum jeotermal enerji, debi, sıcaklık ve basınç değerlerinin sağlanması, ulusal şebeke gerilim ve frekans değerlerinin istenilen seviyede olması ile yapılabilir. Sistemin güvenli ve düzgün bir şekilde çalışabilmesi için bu değerlerin stabilitesi çok önemlidir.

Pure Cycle 280 ORÇ sisteminin çalıştırılması sistemin içinde bulunan Programmable Logic Controller (PLC) ve bu üniteler içinde tanımlı döngüler vasıtası ile sağlanmaktadır. “Başlat” komutunun verilmesi sonrasında PLC ile sistemdeki ekipmanların kontrolü otomatik olarak yapılır ve sistemdeki sıcak akışkan yeterli debiye ulaştığında ilk çalışma döngüsü oluşturulur. Jeotermal akışkan vasıtası ile yeterli basınca ulaştırılan R245FA gazı enjeksiyon vanalarının açılmasıyla türbine akarak türbin ile beraber jeneratör harekete geçirilir. Ulusal şebeke gerilim ve frekans değerleri sistem tarafından yakalandığında sistem şebekeye paralel bağlanır ve elektrik üretimine başlanır.

Santralde üretilen 3-faz 400V elektrik enerjisi, santral ana kesicisinden geçtikten sonra step-up transformatör ile 31,5 kV'a yükseltilir. Buradan santral iç ihtiyacı da karşılanır. Santral iç ihtiyacı karşılamak için yükseltilen gerilim tekrardan 400 V değerine iç ihtiyaç transformatörü ile düşürülür ve alçak gerilim olarak ilgili yerlere yeraltı kabloları vasıtası ile taşınır. İç ihtiyaç karşılandıktan sonra kalan elektrik enerjisi, havai hat ve yeraltı orta gerilim hatları üzerinden ulusal şebekeye dağıtım merkezi fideri vasıtasıyla aktarılır.

3. Kontrol ve Bakım

Jeoden Jeotermal Santrali'nde, sistem içindeki ekipmanın çalışma sürekliliği hedeflerinin yakalanması, arıza bakımlarının olabildiğince çabuk gerçekleştirilerek duruş süresinin kısaltılması, santral bakım ve işletme maliyetlerinin azaltılması amacı ile ekipler oluşturulmuştur. Bakım planlarına uyularak santralin sürekli olarak kontrol ve bakımları, oluşturulan bu ekipler tarafından yapılır. Santralin bakım planları üretici firmalar tarafından hazırlanan yönergeler ve işletmede elde edilen tecrübeler göre hazırlanmıştır. “Periyodik Kontroller ve Bakımlar” ile “Arıza Bakımı” olarak kontrol ve bakım sistemleri incelenebilir.

Periyodik kontroller ve bakımlar; arızaların önceden tespit edilerek yıkıcı sonuçlara ulaşmadan giderilmesi, santral sisteminin bütün halde standart çalışma şartlarında, sağlık ve güvenlik tedbirlerinde aksaklık meydana getirilmeden işletilmesi için yapılan önleyici çalışmaları kapsamaktadır. Bu kapsamda, santralin çalışmasını aksatabilecek sorunlu ekipmanların önceden tespit edilerek, süresi dolan parçalarla birlikte değiştirilmesi için günlük, haftalık, aylık, üç aylık, altı aylık ve yıllık kontrol ve bakım çalışmaları yapılması, arıza kaynaklı duruşları önlemek için zorunludur. Periyodik kontrolde sorun çıkarma ihtimali olan ekipmanın bir sonraki periyodik bakıma kadar güvenli bir şekilde çalışıp çalışmayacağı konusunda karar verilme sürecinde, tecrübe ve takım çalışması son derece önemlidir. Sistem bütünlüğü açısından jeotermal sistem içerisinde kullanılan kontrol vanaları, pompalar, filtreler yedekli olarak tasarlanmalıdır. Bu ekipmanın asıl ve yedeklerinin eş zamanlı yaşlanmasını sağlamak için haftalık periyotlarda asıl/yedek değişimi yapılır ve çalışma süreleri, oluşturulan kontrol formlarına kaydedilir. Ömürlü malzemelerin değişim zamanının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, yedekli ekipmanın eşit yaşlandırılmasına ve çalışma sürelerinin titizlikle takip edilebilmesine bağlıdır [7].

Günlük kontroller, görsel ve işitsel olarak yapılır. Genel olarak günlük kontrollerde; sistemdeki pompa ve motorların gürültüsü, titreşimleri, akımları, salmastra kaçakları takip edilmeli, elektrik panolarında akım ve voltaj ölçümleri yapılmalıdır. Pure Cycle Sistemi'nde, jeotermal ve soğutma suyu boru hatlarında kaçaklar takip edilmeli, bu hatlardaki manometre ve termometre ile ölçülen değerlerin standart aralıkta olup olmadığı kontrol edilmelidir. Evaporatör ve kondenser ünitelerindeki sızıntılar, soğutma kulesinde soğutma fanlarının çalışması, evaporatörde yağlama sisteminin gözetleme camından takibi, kompresör filtrelerinde yağ ve su birikimi, kurutucuda su tahliyesi ve santral genelinde gürültülü çalışma kontrolleri yapılmalıdır. Soğutma suyunun sürekliliğinin sağlanması için havuz dolulukları takip edilmeli, Reverse Osmosis sistemi çıkışı ürün suyu analizi yapılmalı, kimyasal stok seviyeleri takip edilmelidir. Ayrıca üretim kuyusunda kabuklaşmanın engellenmesi için kurulan inhibitör sisteminin debi ve basınç kontrolleri yapılarak, sistemin sürekliliği için belirlenen su/kimyasal karışım oranı ile inhibitör kimyasalı hazırlanarak stok seviyesine göre besleme inhibitör tankına aktarılmalıdır. Tüm ölçülen analog ve dijital veriler PLC/SCADA sistemi ölçümleri ile birlikte değerlendirilmelidir. PLC/SCADA sistemi ölçümlerine göre sistem tarafından verilen alarmlar öncelikli olarak takip edilmelidir.

Haftalık kontroller; görsel, işitsel ve alet ve cihaz kullanılarak yapılır. Genel olarak haftalık kontrollerde; pompa ve motorlarda mekanik salmastra sıcaklıkları, vibrasyon ölçümü, her faza ait akım ve gerilim ölçümü, elektrik panolarında termal kamera ile ölçümler yapılmalıdır. Hava hattı filtrelerinde su ve yağ kontrolü, Pure Cyle Sistemi'ndeki pnömatik vana ve oransal vanaların çalışma kontrolü, çalışma süresine göre değişimi takip edilmesi gereken ekipmanlarda çalışma saati kontrolü yapılmalıdır. Ayrıca jeotermal sistemin verimliliğini jeotermal hatta oluşabilecek kabuklaşmaların olumsuz etkileyeceği düşüncesinden hareketle, jeotermal kaynaktan alınacak numuneler analiz



için laboratuara gönderilmelidir. Numunelerin analizlerinde standart dışı verilerle karşılaşılması durumunda tedbir alınmalıdır [7]. Santral çalışırken üretim, dönüş ve by-pass hattına monte edilen test kuponlarının hattan çıkarılarak yapılan kontrolleri ile jeotermal hatta oluşabilecek kabuklaşmalar takip edilebilir.

Aylık, üç aylık ve altı aylık bakım ve kontrollerde; bakım planlamasına göre ekipman bakımları, yağlama ve jeotermal akışkan filtreleri temizliği/kontrolü/değişimi yapılmalıdır. Ölçüm cihazları ve pnömatik kontrol vanaları çalışma testleri, elektrik kumanda ve otomasyon panolarının, OG hücrelerin, transformatör ve enerji nakil hattı (ENH) ekipmanı temizlik ve kontrolleri yapılmalıdır [7].

Yıllık bakım ve kontroller, zamana bağlı planlanan bakım ve kontrolleri kapsar. Döner parçalarda titreşim ölçümleri yapılır. Ölçüm sonuçları doğrultusunda onarım/değişim işlemleri yapılacak kısımlar belirlenir. Yıllık bakım çalışmasının hatasız gerçekleşmesi için hazırlanan iş planı, yedek parça stokları ile birlikte kontrol edilir. Bakım için dağıtım şirketi ile irtibata geçilerek mümkünse dağıtım şirketinin ulusal şebeke de kesintiye ihtiyaç duyduğu gün için bakım zamanı kararlaştırılır. Bakım çalışması yapacak ekiplerin bakım yapılacak güne ekipman, malzeme ve vardiya olarak hazırlanması organize edilir. Çalışma programına uyularak yıllık bakım ve kontrol işlemi bakım için planlanan sürede tamamlanır.

Önleyici bakım ile tahmin edilemeyen ekipman arızalarının sistemin çalışmasına engel olup olmadığı hızlı bir şekilde değerlendirilip, sistemin çalışmasına engel bir durum yoksa önlemler alınarak sistem çalışması sürdürülebilir. Bu çalışma şeklinde, stok ve ekipman yönünden oluşan arızaya yönelik bakım/onarım iş planı hazırlanarak, yaşanacak ilk duruşta, arızanın daha az duruş süresi ile giderilmesi sağlanır.

Bakım prosedürlerinin önemli kısımlarından birisi olan yedek parça stok yönetiminin üretici firma tavsiyeleri dikkate alınarak oluşturulması ve işletmede edinilen tecrübeler dikkate alınarak ekipman yedek parça stoklarının sürekli yenilenmesi gereklidir [7].

Bütün santral sisteminde meydana gelen arızaların santral çalışan ve ekipmanını riske atmadan, minimum zaman ve maliyetle giderilebilmesi için, arıza bakım prosedürü talimatlara uygun olarak uygulanmalıdır. Arıza bakımı bittikten sonra, arızanın ve benzerlerinin tekrarlanmasının önlenmesi amacıyla arıza analizleri yapılmalıdır. Bu analizde arızanın sebepleri tespit edilmeli, tekrarının gerçekleşmemesi için alınacak önlemler belirlenmeli, arıza ile ilgili üretimi, maliyeti ve karlılığı etkileyen veriler kayıt edilmelidir. Arıza ve kontrol bakımlarında kullanılan malzemeler stoktan düşürülmeli, stoktan düşürülen malzeme miktarı kritik stok seviyesinin altına düşmüşse yenisi temin edilerek stok miktarına tekrar eklenmelidir.

3.1 Jeoden JES İçin İşletme ve Bakım Talimatı

Jeotermal enerji kaynağının üretim değerlerine göre tasarlanan jeotermal elektrik santralleri, kesintisiz üretim esasına göre işletilir. Santral işletimi sırasında elde edilen veriler kaydedilir ve değerlendirilir. Böylelikle, santralin tasarım değerleri ile belirlenmiş performansına uygun olarak çalışması sağlanır. Bu bağlamda, santralin kesintisiz elektrik üretimi ve optimum işletme koşullarının sağlanması için periyodik kontrol ve bakım programlarının uygulanması zorunlu kılınır.

Jeotermal kaynaklı elektrik santral işletmeciliğinin iki ana bileşeni bulunmaktadır:

- Jeotermal enerji kaynağının (rezervuar) işletilmesi (üretim ve re-enjeksiyon),
- Isı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve üretilen elektriğin ulusal şebekeye aktarımının yapılması.

Jeotermal santral işletme aşamasında, arıza ve bakımlara müdahale edebilecek elektrik ve mekanik ekipleri oluşturulmalıdır. Bu ekipler gerekli ekipman ile donatılarak, yerinde müdahale yapabilecek bilgi ve deneyime sahip olmalıdır.

Bir JES'te işletme üç ana kısımda incelenebilir:

1. Jeotermal akışkan üretimi,
2. Elektrik enerjisi üretimi ve ulusal şebekeye bağlantının yapılması,
3. Kontrol ve bakım.

Santralde programlı bakım sistemi uygulanmalıdır. Üretici firma tarafından verilen bilgiler çerçevesinde tüm ekipman için hazırlanmış olan “Pure Cycle Sistemi Periyodik Kontrol ve Bakım Formu”, tablo olarak düzenlenmelidir [5]. Bu planda; günlük, haftalık, aylık, altı aylık ve yıllık periyotlarda sistem durdurulmadan yapılacak kontroller ve bakımlar yer almalıdır. Bu bağlamda, santralin kesintisiz elektrik üretimi ve optimum işletme koşullarının sağlanması için Tablo 1’de örneği görülen periyodik kontrol ve bakım programları ve benzer formların uygulanması zorunlu tutulur.

Tablo 1. Pure Cycle Sistemi periyodik kontrol ve bakım formu [5]

PureCycle Sistemi Kontrol Listesi		Pure Cycle Seri No 137						
Ekipman	Günlük	Haftalık	Aylık	Üç Aylık	Altı Aylık	Yıllık	5 Yılda Bir	
Santral Bakımları	X							
Borulama Sistemi ve Bağlantılar		X						
Jeneratör		X						
Kontrol Vanaları			X					
Pompalar				X				
Elektrik Bağlantıları			X					
PureCycle Bakımları				X				
Türbin Yağ Analizi				X				
Türbin Yağ ve Filtre Bakım / Değişim					X			
Aracı Akışkan Filtre / Kurutucu Denetleme / Değişim						X		
Yağ Geri Kazanım Sistem Filtreleri Değişim							X	
Aracı Akışkan Pompa Sızdırmazlık Elemanı Denetleme / Değişim							X	
Buharlaştırıcı İç Denetleme / Temizlik						X		
Yoğunlaştırıcı İç Denetleme / Temizlik						X		
Güç Santrali Bakım							X	
Elektriksel Bakım						X		
Basınç Tahliye Valfler Denetleme / Bakım / Değişim						X		

Jeotermal enerji kaynağının (rezervuar) işletilmesi (üretim ve re-enjeksiyon), ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve üretilen elektriğin ulusal şebekeye aktarımının yapılması jeotermal santral işletmeciliğinde ana bileşenlerdendir.

Jeotermal kaynaklı elektrik santrali işletiminde, jeotermal kaynağın işletme kapasitesine uygun olarak sürdürülebilir olarak kullanımı ile güvenli, etkin üretim süreçleri için teknik ve idari altyapının kurulması, önemli stratejik unsurlardandır.

3.2 Jeotermal Akışkan Üretimi

Jeotermal akışkan üretimi; jeotermal kuyunun işletilmesi, kabuklaşmayı önleyici inhibitör dozajlanması, kuyubaşı ekipmanı ve otomasyon sistemi şeklinde özetlenebilir.

3.2.1 MDO1 Kuyusu’nun İşletilmesi

Jeoden JES’te, jeotermal enerji kaynağı MDO1 Kuyusu’dur. 2.400 m derinliğinde olan MDO1 Kuyusu’ndan yaklaşık 103 °C sıcaklıkta ve saatte yine yaklaşık 220 ton jeotermal akışkan üretimi yapılmaktadır.

Jeoden JES’te jeotermal enerji; Şekil 8’de görülen MDO1 Kuyusu’ndan elde edilen jeotermal akışkanın ORÇ prosesinden geçirilerek ısı enerjisinin temini ve proses dönüş suyunun re-enjeksiyon hattına verilmesi ile elde edilir. Üretim esnasında kuyu başı basıncı, kuyu başı sıcaklığı ve debi sürekli olarak SCADA sistemi ile izlenir.



Şekil 8. Jeoden JES MDO1 kuyusu

MDO1 Kuyusu, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Kuyubaşı ana vana,
- Kuyubaşı üretim kontrol vanası,
- Kuyu başı by-pass kontrol vanası,
- PLC-SCADA ölçüm ve izleme sistemi,
- Manuel vanalar,
- Test kuponları,
- Kompresör sistemi,
- İnhibitör dozajlama sistemi,
- Savak Silencer.

3.2.2 İnhibitör Dozajlama Sistemi

MDO1 üretim kuyusu içerisinde iki fazlı akışın başladığı (flashpoint) noktadan sonra oluşacak kabuklaşmanın engellenmesi için, aşağıdaki hususlar dahilinde inhibitör dozajlanması gerekmektedir.

- İnhibitör dozajı, kuyunun kabuklaşmasını önlemek amacıyla kesintisiz olmalıdır. Bu nedenle, inhibitör dozaj panosu elektrik beslemesi UPS veya jeneratör ile sağlanmalıdır. Enerji kesintilerinde dahi inhibitör dozajı devam etmelidir.
- İnhibitör dozajlama sisteminde, birisi asıl birisi yedek olarak çalışan iki adet pompa ile kuyu içinde iki fazlı akışın başladığı noktadan daha derine, yekpare paslanmaz çelik çekme boru ile inhibitör dozajlanmalıdır.
- İnhibitör dozaj hattının basıncı, pompaların run/stop konumları, SCADA sisteminden sürekli takip edilmelidir. Basınç yükselmeleri gözlemlendiği zaman inhibitör dozajında sorun olduğu ve kabuklaşma başladığı anlamına gelir. Bu durum, kuyunun verimli çalışması ve kabuklaşmasının önlenmesi bakımından hızlı müdahale gerektirir.
- Kuyu içerisindeki akış ile borunun yüzeye sürüklenmesini engellemek için, boru ucuna Difüzör adı verilen ağırlık monte edilir.
- Kuyu içerisine basılan inhibitörün ppm cinsinden miktarı, inhibitör dozaj pompasının ayar potu kullanılarak kuyu üretim miktarına göre ayarlanır.
- Üretici firmadan alınan inhibitörün korozif etkisinin ve viskozitesinin azaltılması için, su ile seyreltme işlemi yapılır.
- Belirlenen ölçüde hazırlanan karışım, tank üstündeki mikser kullanılarak homojen hale getirilir.
- Mekanik ekip tarafından her gün periyodik olarak inhibitör sisteminin yerinde kontrolü yapılır. Ekip, sistemin

düzenli çalışıp çalışmadığını, tank içerisindeki karışım seviyesini ve dozaj debisini kontrol etmelidir.

- Haftada iki kez jeotermal akışkandan örnekler alınarak inhibitörün etkinliği kontrol edilmelidir.
- İnhibitör borusu üzerinde oluşan titreşimlerden kaynaklanan tahribatların önlenmesi amacıyla, aylık periyotlar halinde inhibitör borusu yukarı-aşağı hareket ettirilerek titreşim noktalarının yerleri değiştirilmelidir.
- Kullanılan inhibitörün etkisinin kontrolü için jeotermal ürün suyu hattı, by-pass hattı ve Pure Cycle dönüş suyu hattı üzerinde çeşitli noktalara test kuponları montajı yapılmıştır. Bu test kuponları, haftalık olarak kontrol edilmektedir. Kontrol sonucunda kuponlarda korozyon var ise, inhibitör dozaj miktarı yeniden düzenlenmelidir. Jeotermal akışkan miktarı düştüğü zamanlarda, jeotermal kuyularda mekanik temizlik yapılmalıdır. Kabuklaşma sorunuyla ilgili yapılan çalışmalar, Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. MDO1 kuyusu bakım çalışmaları

3.2.3 Kuyubaşı Üretim Kontrol Vanası

Jeotermal akışkanı üretime göndermek için, aşağıdaki hususlar dahilinde kuyubaşı üretim kontrol vanası kullanılır.

- Kuyubaşı üretim kontrol vanası, PLC üzerinden komut almakta ve basınçlı hava hattından sağlanan hava beslemesi ile çalışmaktadır.
- Jeotermal kuyu üretime açılırken, bu vananın kontrolü manuel olarak yapılmakta olup, santral üretimde iken kontrol PLC sistemi tarafından yapılmaktadır.
- Bu vana otomatik çalışma sinyalinin ORÇ sistemlerinden alır. Herhangi bir sistem devreden çıktığı zaman, basıncın daha fazla artmasını engellemek için, PLC’den almış olduğu komutla üretimi kısar. Bu sayede vana, ikinci görevi olarak emniyet işlevini de yerine getirir.

3.2.4 Kuyubaşı By-Pass Kontrol Vanası

Kuyubasında bulunan by-pass kontrol vanası üretime geçilirken ve güvenlik için, aşağıdaki hususlar dahilinde kullanılır.

- Vananın görevi, jeotermal akışkanı by-pass hattına göndermektir.
- Kuyubaşı by-pass kontrol vanası manuel olarak çalışır ve her zaman %10 oranında açık durur.
- Jeotermal kuyu üretime açılırken, bu vananın kontrolü manuel olarak yapılır.
- Kuyubaşı üretim vanası kısıldığı zaman artan üretim, bu vana vasıtasıyla drenaj hattına gönderilir. Bu sayede vana, ikinci görevi olarak emniyet işlevini de yerine getirir.

3.2.5 PLC-SCADA Ölçüm ve İzleme Sistemi

PLC-SCADA Ölçüm ve İzleme Sistemi, JES’teki akışkanın basınç, sıcaklık, debi gibi değerlerini ölçmek için kullanılır. Elde edilen veriler, SCADA sistemine aktarılarak sistem verilerinin izlenmesi ve kayıt edilmesi sağlanır.



3.2.6 Manuel Vanalar

Kuyubaşı sistemine monte edilen manuel vanalar ile;

- Olası bir arıza durumunda yedek ekipmanın devreye alınması ve arızalı ekipmanın sökülerek onarılması sağlanır.
- Kuyubaşı kontrollerinde vanaların açıklık oranları kontrol edilerek ana hat ve by-pass hatlarındaki akışkan miktarı ayarlanabilir.

3.2.7 Kompresör Sistemi

Kuyubaşı tesisi ve sistemin içindeki pnömatik vanaların ihtiyacı olan basınçlı havayı karşılamak için, kompresör sistemi kullanılır. Periyodik kontrol kapsamında hava hatları basıncı, hava enstrümanları bağlantısı ve hava hatlarının sağlamlığı sürekli kontrol edilmelidir.

3.2.8 Savak-Silencer Sistemi

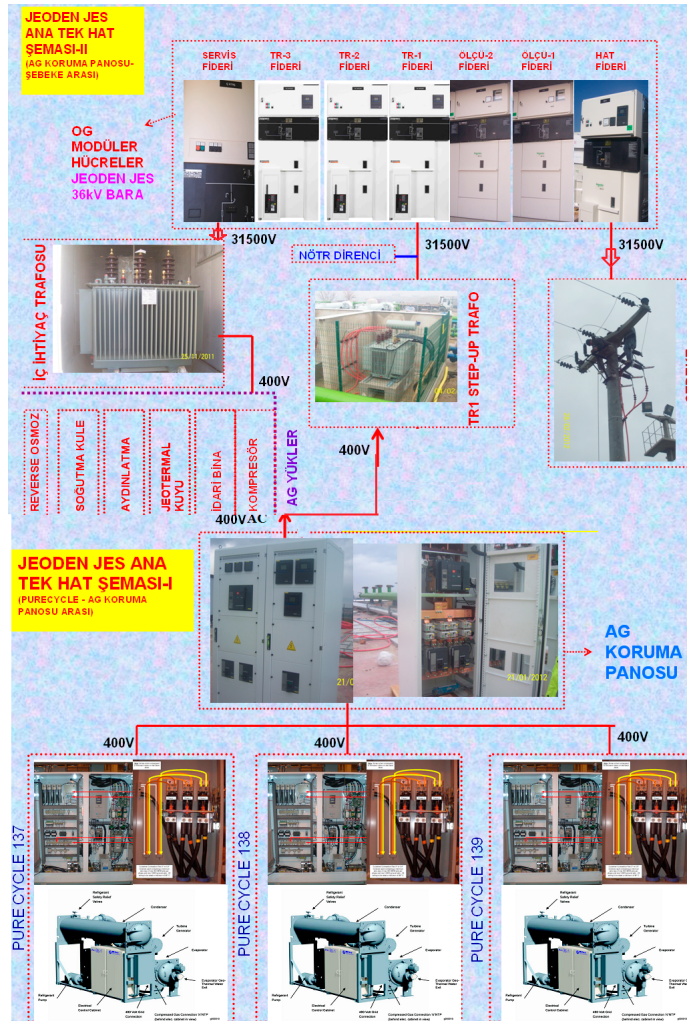
Savak-Silencer sistemi kuyu uyandırma çalışmalarında ve by-pass hattında kullanılmaktadır. Savak Silencer hattında meydana gelen kabuklaşmalar nedeniyle oluşabilecek tıkanmalar önlenmeye çalışılmalı, önlenemezse fiziksel temizlik yapılmalıdır.

3.3 ORÇ'nin İşletilmesi ve Elektrik Üretimi

ORÇ Sistemi'nin çalıştırılması; üretim kuyularının açılmasından sonra, santralin ilk çalıştırılması için gerekli minimum jeotermal enerji, debi, sıcaklık ve basınç değerlerinin sağlanması, ulusal şebeke gerilim ve frekans değerlerinin istenen seviyede olması ile yapılabilir. Sistemin güvenli ve düzgün bir şekilde çalışabilmesi için bu değerlerin stabilitesi çok önemlidir.

PureCycle 280 ORÇ Sistemi'nin çalıştırılması, sistemin içinde bulunan PLC'ler ve bu ekipman içinde tanımlı döngüler vasıtası ile sağlanmaktadır. "Başlat" komutunun verilmesi ile sistemdeki ekipmanın kontrolü, otomatik olarak PLC ile yapılır ve sistemdeki sıcak akışkan yeterli debiye ulaştığında, ilk çalışma döngüsü oluşturulur. Jeotermal akışkan vasıtası ile yeterli basınca ulaştırılan R245fa gazı, enjeksiyon vanalarının açılmasıyla türbine akıtılır. Türbin ile beraber jeneratör harekete geçirilir. Ulusal şebeke gerilim ve frekans değerleri sistem tarafından yakalandığında, sistem şebeke ile paralel bağlanarak elektrik üretimine başlanır [8].

Santralde üretilen 400 V AC elektrik enerjisi, santral alçak gerilim (AG) koruma panosunda bulunan ana kesiciden geçtikten sonra, step-up transformatöre bağlanır ve step-up transformatör kullanılarak 31,5 kV'a yükseltilir. Buradan elde edilen 31,5 kV değerindeki elektrik enerjisi, orta gerilim (OG) koruma hücrelerine XLPE kabloları ile aktarılır. Santral iç ihtiyacını karşılamak için, 31,5 kV değerli gerilim 400 V'a iç ihtiyaç transformatörü ile düşürülür. İç tüketimde kullanılmak üzere elde edilen 3-faz 400 V AC değerindeki enerji, yeraltı kabloları ile yüklere taşınır. OG kuplaj hücresi çıkışındaki 31,5 kV enerjinin, havai hat ve yeraltı hattı ile Sarayköy Dağıtım Merkezi'nde (DM) tesis edilmiş olan otoproduktör fideri vasıtasıyla ulusal şebekeye bağlantısı gerçekleştirilir. Santral sahasında ve DM'de ayrı ayrı olmak üzere, çift yönlü sayaç sistemine sahip, yedek ve ana ölçü hücreleri tesis edilmiştir. Bu sayaçlardan üretim ve tüketim verileri sürekli takip edilmelidir. Aktif verilerin yanı sıra, cezai durumla karşılaşmamak için, reaktif ve kapasitif verilerin oranlarının yönetmeliklerde izin verilen aralıkta olması doğrultusunda önlemler alınmalıdır. ORÇ sisteminde elektrik üretimi, elektrik iletim hatları ve ulusal şebeke bağlantısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



f

Şekil 10. ORÇ sisteminde elektrik üretimi, elektrik iletim hatları ve ulusal şebeke bağlantısı [8]

4. Santral ve Yan Ünitelerde Güvenli Çalışma

İşletmenin elektrik santrali olması nedeniyle güvenlik (iş ve yangın), son derece önemlidir. Başta Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, Çalışanların Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkındaki Yönetmelik, Güvenlik ve Sağlık İşaretleri Yönetmeliği, İş Güvenliği ile Görevli Mühendis veya Teknik Elemanların Görev, Yetki ve Sorumlulukları ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkındaki Yönetmelik'in amir hükümleri doğrultusunda gereken tedbirler alınmalı ve çalışmalar ilgili yönetmeliklere göre düzenlenmelidir.

Santral bölgesi yan üniteleri özelliğine uygun olarak yangın sistemi, yangın dolapları ve kuru kimyevi tozlu yangın söndürme, CO₂ ve köpüklü söndürme cihazı dolabı vb. yardımcı gereçler ile donatımı yapılmış olmalıdır. Tüm teçhizatın rutin kontrolleri yapıлып, çalışır vaziyette konumlandırılması gereklidir. Tüm personele iş güvenliği ve yangın eğitimi verilerek sertifikalandırılmalı, personele periyodik olarak tatbikat yaptırılmalıdır. Çalışan personelin iş güvenliği ve yangın ile ilgili kurallara uyması sağlanmalıdır. İşletme bünyesinde oluşturulan güvenlik birimi ile santral ve kuyu bölgeleri kontrol altında tutulmalıdır. Santral ve kuyu bölgelerinde kurulmuş olan kapalı devre güvenlik kamera sistemi ile izleme yapılmalıdır. Güvenlikle ilgili oluşabilecek tüm durumlarda hızlı müdahale edilmelidir [9-12].



5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; JES ve benzeri işletmelere örnek niteliğinde olması için, düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynak kullanılarak elektrik üretimi amacıyla ülkemizde kurulumu tamamlanan ve deneme üretimlerini gerçekleştiren Jeoden JES Elektrik Üretim A.Ş.'ye dair bakım prosedürleri sunulmuştur.

JES bakım ve işletme koşulları, yıllık enerji üretimi yapılan süre hedeflerinin tutturulması için, sistem, bir bütün halinde ve de tüm ekipman aynı önemde olacak şekilde değerlendirilir. Ülkemizdeki teşvik sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi yapan santraller için geçerlidir. JES'lerde jeotermal kaynaktan yıl boyunca enerji elde edilebilmesinden dolayı, enerji üretilebilecek zaman süresi çok yüksektir. İhtiyaca göre elektrik santrallerinin devreye girmesi durumunda da JES'lerin üretim öncelikleri mevcuttur. Bu avantajlarının yanında JES işletmecileri, enerji üretiminde yüksek emre amadelik oranlarını yakalayabilmek için, istenmeyen duruşları engellemek zorundadır.

JES'lerde kapasiteye göre enerji üretim hedeflerini tutturabilmek için, makine ve ekipmanın yüksek performansla çalışmasının sağlanmasının yanı sıra, arıza kaynaklı duruşların engellenmesi de gerekmektedir. Bu bağlamda, santralin kesintisiz elektrik üretimi ve optimum işletme koşullarının teminine yönelik periyodik kontrol ve bakım programlarının uygulanması zorunludur. Bunu sağlamak için de, JES'lerde; türbin-jeneratör sistemi, jeotermal kuyular, soğutma kulesi, elektriksel şalt sistemleri, enerji nakil hatları ve mekanik hatlarda bilimsel bakım metodları disiplinli bir şekilde uygulanmalıdır. Birbirinden bağımsız gibi gözükken bölümlerde meydana gelen arızalar, tüm santralin elektrik üretimi yapmasını engelleyerek santral kapasite faktörünün düşmesine sebep olmaktadır. JES'lerde ve diğer işletmelerde bakım prosedürlerinin, bilimsel metotlarla, disiplinli bir şekilde uygulanması ile verimlilik artırılarak, işletme karlılığına ve ülke ekonomisine önemli katkılar sunulması kaçınılmaz bir olgudur.

6. Kaynaklar

- [1] Çetin, E., Hekim, M. ve Özden, H., 2013. "A Small Scale Geothermal Power Plant in Denizli-Turkey for Sustainable Energy Studies", 26th European Conference on Operational Research - EURO 2013.
- [2] Erkul, H., 2012, "Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği", Yönetim Bilimleri Dergisi, 10(19), 115-133.
- [3] Özden, H. ve Paul, D., 2011. "Organik Rankine Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi Örnek Çalışma: Sarayköy Jeotermal Santrali", Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan, İzmir.
- [4] Pratt&Whitney Power Systems, HTE 66510B, Product Data and Application Guide.
- [5] Pratt&Whitney Power Systems, PRMAN 66800, Operational and Maintenance (O&M) Manuel Guide, Pure-cycle® Solution Hot Water to Electricity.
- [6] Jeoden Elektrik Üretim A.Ş. Enerji Bakanlığı Dosyaları, Jeoden Gerekçe Raporu.
- [7] Aksoy N., 2007, Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Seminer Kitabı, MMO, Yayın No : E/2007/437.
- [8] Pratt&Whitney Power Systems, PRMAN 66798A Installation Instructions.
- [9] Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği.
- [10] Çalışanların Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkındaki Yönetmelik.
- [11] Güvenlik ve Sağlık İşaretleri Yönetmeliği.
- [12] İş Güvenliği ile Görevli Mühendis veya Teknik Elemanların Görev, Yetki ve Sorumlulukları ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkındaki Yönetmelik.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MODEL BAZLI ARIZA ANALİZ SİSTEMİNİN KULLANILMASI VE KAZANIMLARI

¹Cüneyt Uçak, ²Cumali Özel, ³Dr. Ömer Eker, ⁴Prof. Dr. Ahmet Duyar

¹cuneyt.ucak@renault.com, Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş.,
Organize Sanayi Bölgesi PK: 255 16372 BURSA, www.groupe.renault.com

²cumali.ozel@artesis.com, Artesis Teknoloji Sistemleri A.Ş.
Kemal Nehrozoğlu Cad. GOSB Teknoparkı Hightech Binası Kat: 3/ B10 41480
Gebze Kocaeli Türkiye Tel (0262) 678 88 60 www.artesis.com

³omer.eker@artesis.com, Artesis Teknoloji Sistemleri A.Ş. Kemal Nehrozoğlu Cad. GOSB Teknoparkı Hightech
Binası Kat: 3/ B10 41480 Gebze Kocaeli Türkiye Tel (0262) 678 88 60 www.artesis.com

⁴ahmet.duyar@artesis.com, Artesis Teknoloji Sistemleri A.Ş. Kemal Nehrozoğlu Cad.
GOSB Teknoparkı Hightech Binası Kat: 3/ B10 41480 Gebze Kocaeli Türkiye Tel (0262) 678 88 60
www.artesis.com

Özet

Ekipman durum izleme sistemlerinde hedef; kolay, zahmetsiz ve sürdürülebilir bir sistemin hayata geçirilmesidir. Büyük yatırımlar ve iş gücü sarf edilerek projelendirilip hayata geçirilen çoğu ekipman; durum izleme sistemleri iş yoğunluğu, uzmanlık gereksinimi ve zaman alan veri toplama süreçleri vb. sebeplerden dolayı bakım birimleri tarafından aktif olarak kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada enerji tüketiminde en yüksek paya sahip üç fazlı senkron/asenkron elektrik motor ve jeneratörlerin izlenmesinde patentli Artesis teknolojisinin getirdiği ve kolay uygulanabilen yenilikçi çözümlerden bahsedilmektedir. Artesis durum izleme ve arıza tespit sistemlerinde, alınan üç faz akım ve gerilim dalga şekli model bazlı arıza tespit sisteminde kullanılarak, var olan veya süreçte gelişebilecek mekaniksel/elektriksel /operasyonel arızalar tespit edilmektedir. Ayrıca arızaların enerji verimliliğine etkisi, normalden büyük/normalin altında motorların tespiti, harmonik bozunumlar, akım ve gerilim dengesizlikleri gibi bilgileri de kullanıcıya sağlayarak işletmede enerji verimliliğinin artmasına katkıda bulunmaktadır.

İşletmelerde bakım ekibinin izleme ve analiz yapmak için yeterli zamanı olmadığı düşünülerek, ekipmanlarla alakalı “Arıza nedir?”, “Arızayı gidermek için ne yapmalıyım?” ve “Bakım planlamak için ne kadar zaman var?” sorularının cevaplarını Artesis teknolojileri kullanıcıya vermektedir. Böylece, kestirimci bakımın uygulanmasını sürdürülebilir sağlayarak; üretim ve sermaye verimliliğinde artış, bakım ve üretim planlamasında iyileştirme, enerji ve bakım maliyetlerinde azalma ve performansta iyileşme sağlamayı hedeflemektedir.



Çeşitli sektörlerde yapılan çalışmalar kapsamında Artesis teknolojisinin uygulanması sonrasında altı aydan önce yatırım geri dönüşünün sağlandığı ve plansız duruşların da %80 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: durum izleme, model bazlı arıza tespiti, enerji verimliliği, yatırım geri dönüşü, sürdürülebilir kestirimci bakım

1. Giriş

Akıllı evler kavramının ardından büyük veri ve sanal depolama çözümlerinin gelişmesiyle birlikte akıllı fabrikalar kavramı da gündemimize girdi. Özellikle Endüstri 4.0 çağının başlamasıyla üretim tesisleri dijitalleşme yönünde bazı adımlar atmaya başladılar. Akıllı fabrikalar; tüm üretim, lojistik, satış vb. süreçlerini kontrol altına alabilmek, üretim süreçlerinin plansız duruşlar sonucu kesintiye uğratmamak ve toplanan verilerin anlamlandırılarak anlık olarak izlenmesi olarak tanımlanmaktadır.

Akıllı fabrikalara geçiş sürecinde ilk adım genellikle plansız duruş sonucu üretim verimliliğini düşürecek, üretim kayıplarına yol açacak ekipmanların durumunun izlenmesi olarak atılmaktadır. Durum izleme sistemleri sadece veri görüntüleme ekranlarını içermekle birlikte, toplanan verinin belirli algoritmalar kullanılarak makinanın öğrenilmesini de kapsayabilmektedir. Hangi kapsamda izleme yapılacağı hem ekonomik hem de alt yapı şartlarının ne düzeyde olduğuyla çok ilişkilidir.

Özellikle döner ekipmanlar, büyük ve orta ölçekli üretim tesislerinin çoğu hayati ekipmanlarının başında gelmektedir. Döner ekipmanlar, elektrik motorları ile tahrik edildiği için bu ekipmanların kondisyonunun takip edilmesi çok önemlidir.

Elektrik motorları ve tahrik ekipmanları (pompa, fan, konveyör vb.) çeşitli durum izleme sistemleri ile izlenmektedir. Kimi sistemler çok basit seviyede olup sadece sensörlerden alınan verilerin görüntülenmesini sağlayarak belirli koşullarda alarmlar üretir. Ancak plansız duruşların önüne geçmek için ekipman sağlığı ile alakalı olarak bir öngörüle bulunamaz. Daha ileri seviyede olan durum izleme sistemleri ise büyük veri girişi ile çeşitli algoritmalar kullanılarak makinanın öğrenilmesi gerçekleştirilerek, izleme ve arıza oluşumuna ilişkin öngörüle bulunurlar. Plansız duruş yaşanmadan arızalarının tespit edilmesi ile sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 740.000.000.000\$ (yedi yüz kırk milyon USD) ve tüm dünyada 2.000.000.000.000\$ (iki trilyon USD) kaybın engelleneceği tahmin edilmektedir. [1]

Büyük veri kavramı genel olarak geniş kapsamlı ve çeşitliliği yüksek verilerin kısa sürede elde edilmesini ifade etmektedir. İş dünyasında bu veriler, belli amaçlar doğrultusunda analiz edilmektedir. Analiz sonucu elde edilen bilgiler ışığında doğru kararlar hızlıca alınarak, performansta büyük gelişmeler sağlanmaktadır. Endüstrilerdeyse endüstriyel büyük veriler analiz edilerek, operasyonlar hakkında daha derin bilgi edinilip kararlar alınabilmektedir. Endüstrilerde büyük veri ve yazılımların birlikte kullanılmasına "Endüstriyel İnternet" adı verilmektedir. Endüstriyel internetin, dünya çapındaki endüstrilerde, çalışanlarla haberleşebilen akıllı makineler yaratarak büyük gelişmeler sağlayacağı beklenmektedir. Toplanabilen endüstriyel veri, katlanarak artmaktadır ve önümüzdeki 5 yıl içerisinde internete bağlanabilen makine sayısının 50 milyar civarında olması öngörülmektedir. Bu gelişme, karlılığa 10-15 trilyon dolar bazında yansıtacaktır [2]. Akıllı makinelerin vereceği bilgiler ışığında uygulanacak kestirimci bakım ile "sıfır beklenmedik duruş" amacına hızla ilerlemektedir.

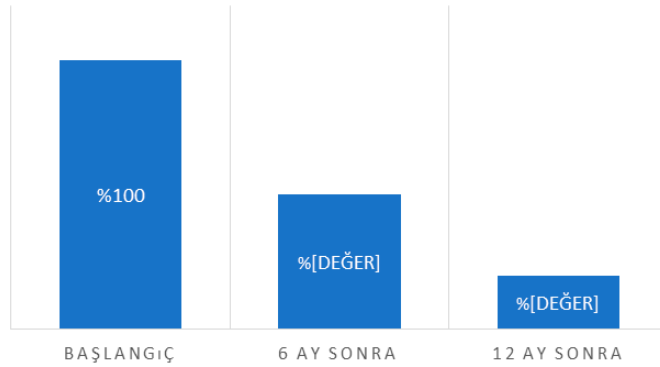
Arızalı çalışmanın yarattığı ekipman yıpranmaları ve enerji sarfiyatı birçok kullanıcı tarafından bilinmektedir. Yanlış hizalama, elektriksel dengesizlik ve mekanik balanssızlık, birçok rulman arızasına ve elektriksel arızaya sebep olmaktadır [3,4]. Bu tür sorunlara proaktif yaklaşmak, operasyonel verimliliğe doğrudan olumlu etki etmektedir. Amerikan Enerji Bakanlığı verilerine göre doğru uygulanan bir operasyon ve bakım programı, enerji tasarrufunda %5 ile %20 artış sağlamaktadır [5]. Ek olarak, iş güvenliği ve konforunu önemli derecede artırmaktadır.

Günümüzde fabrika yöneticileri ve çalışanları, varlık yönetimi konusuna her zamankinden daha çok eğilmek durumundadır. Ekipmanların durumunu izlemenin; ekipmanın emre amadeliğini sağlamak, güvenilirliği artırmak, üretimi ve kalitesini artırmak için etkin bir yöntem olduğu bilinmektedir. Durum izleme sayesinde arızalar erkenden öğrenilir ve gerekli müdahale yapılarak istenmeyen duruşlar engellenir, riskler düşürülür, gereksiz bakımlar ve bakım masrafları azaltılır.

Kestirimci bakımın faydaları geniş çapta kabul görmüş olsa da, sürdürülebilir olmama nedenlerinden dolayı uygulayan firmaların yüzdesi hala düşüktür. Klasik kestirimci bakım yöntemlerinin gerek pahalı, gerek karmaşık ve kullanımı zor olması; potansiyel kullanıcılar için engel teşkil etmektedir. Sürdürülebilir bir kestirimci bakım sistemi aşağıdaki şartların sağlanmasıyla mümkün hale gelmektedir:

- Kullanımı kolay ve zahmetsiz izleme imkânı
- Mekaniksel, elektriksel ve süreçlerdeki oluşabilecek arızaları kapsayan geniş arıza kapsamı
- Yüksek arıza tespit doğruluğu
- Erken uyarı verebilme
- Kurulum kolaylığı
- İş emri önerisi verebilme
- Sinyal gürültülerini giderebilme
- Uygun maliyetli sürekli izleme
- HMI'lerle entegrasyon

Yukarıdaki sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanması durumunda plansız duruşlardaki azalmanın 6 ay sonunda %50, sene sonunda ise %80 oranında azalacağı öngörülmektedir.



Şekil 1: Sürdürülebilir kestirimci bakımla plansız duruşlardaki yüzdelerik azalma

Bu makalede Artesis izleme ve teşhis teknoloji detayları ve kestirimci bakım uygulamaları otomotiv sektörü ekseninde verilmiştir. Ayrıca sektörden vaka analizleri ve yatırım getirisi örnekleri ve hesaplamaları verilmiştir.

2. Kestirimci Bakım ve Artesis Teknolojisi

Makine ve sistemlerin dinamiklerinin (fiziksel özellikler, girdi ve çıktılar) belirli ölçme ve değerlendirme sistemleri ile arızaların oluşmasını engellemek için yapılan proaktif bakım uygulamasına kestirimci bakım denir.

Kestirimci bakım çalışmaları üç aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar tespit, analiz ve bakım/onarımdır. Arızanın var olup olmadığı çeşitli girdi ve çıktılar ölçülerek tespit edilebilmektedir. Varlığı tespit edilen arızanın hangi parçadan ve hangi noktada meydana geldiği, arızayı gidermek için ne kadar sürenin kaldığı ise analiz ile mümkün olabilmektedir.

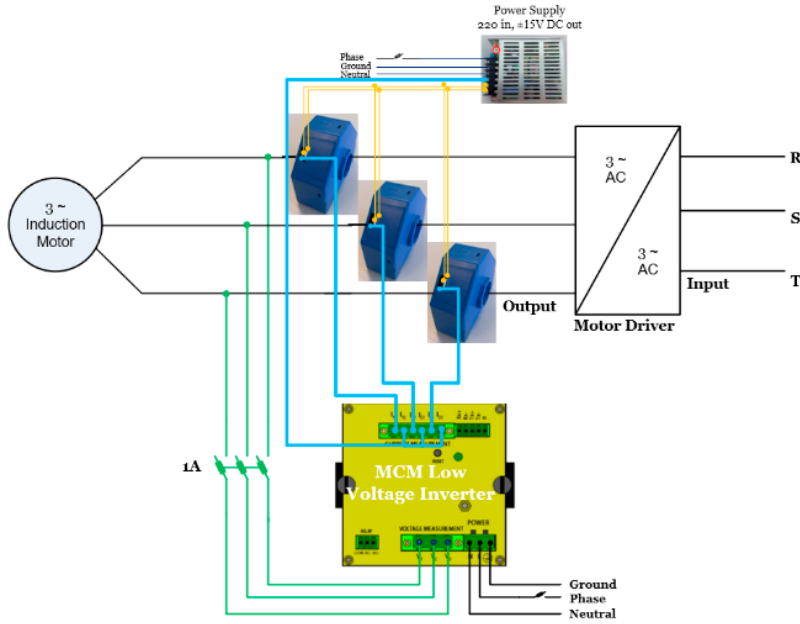
Kestirimci bakım uygulamalarında birçok durum izleme sistemi kullanılmaktadır. Bu izleme sistemleri sürekli veya süreksiz izleme olarak iki bölümden oluşmaktadır. Süreksiz izleme sistemlerinde ekipmanla ilgili olarak sadece izleme yapıldığı zamanın fotoğrafı çekilmekte olup önceki davranışlarına ait durumlar bilinmemektedir. Ekipmanın yük durumu, ortam sıcaklığı, hızı vb. durumlar alınan sonuçları etkileyebilmektedir. Bu değişkenler bilinmediği her ölçümün aynı koşullarda yapılması istenmektedir. Üretimde kullanılan sistemler dinamik olduğu için bu koşulun sağlanması da zor olmaktadır. Sürekli izlenen sistemlerde ise tüm durumlar önceden kayıt altına tutulduğu için mevcut verilerin değerlendirilmesi daha kolay ve doğru olmaktadır.

MCM (model bazlı durum izleme) sadece gerilim ve akım sinyallerini 90 saniyede bir ölçer, bu sinyalleri sürekli izler ve olması muhtemel elektriksel, mekanik ve operasyonel arızaları gelişimlerinin erken safhalarında tespit eder. MCM ayrıca kullanıcıya arıza teşhisi için bilgi sağlar. MCM'in temel işlevi beklenmedik arızalardan kaynaklanan

duruşlara engel olmak ve verimliliği artırmak için zamanla bozulan makina ve süreç koşullarının erken uyarısını sağlamaktır.

Patentli MCM teknolojisi, daha önceden ABD’de Uzay Mekiği Ana Motoru, helikopter motorları ve gaz türbinlerine uygulanmış 10 yıllık bir araştırma çabasının ürünüdür [6,7,8,9]. Yapılan bu teşhis ve analiz işlemleri MCM’i bakım planlanmasını sağlayan ve beklenmedik duruşları önleyen bir cihaz haline getirmektedir.

MCM yıldız-üçgen, direkt, yumuşak yol verici ve değişken hız kontrol cihazı (VFD) ile sürülen 3 fazlı senkron/asenkron motor ve jeneratörlerin tümüne uygulanabilmektedir. MCM ekipmandan sadece standart olarak 6 saniyelik 3 kanal akım (I_r , I_s ve I_t) ve 3 kanal (V_r , V_s ve V_t) gerilim dalga biçimlerini örnekleyerek arıza teşhisi ve tespiti yapmaktadır.



Şekil 2: Değişken hız kontrol cihazı ile sürülen bir motora ait MCM bağlantı şeması

MCM diğer analiz sistemlerinin eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir. MCM’in arıza tespitinin temel prensipleri diğer analiz sistemlerinkinden radikal şekilde farklıdır. MCM model bazlı bir arıza tespit ve teşhis tekniği kullanır. Bu teknikte, üç fazlı sistemin beklenen dinamik davranışı (model) ile gerçekleşen (ölçülen) dinamik davranışı karşılaştırılır. Karşılaştırma sonrası model ve gerçek sistem arasında fark varsa gelişen bir arızanın ortaya çıktığı yargısına varılır.

MCM’de motorun modellenmesi için öğrenme periyodu denilen sistemden gerçek zamanlı veri alınarak tüm yük koşullarının öğrenildiği on günlük süreç vardır. Bu süreç sonunda ekipmanda varsa mevcut arızalar tespit edilip kullanıcı bilgilendirilir.

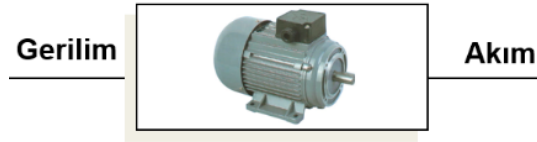


Şekil 3: MCM’in ekipmana ait öğrenme sürecini gösteren zaman akışı

Öğrenme aşaması sırasında Artesis MCM arıza teşhisi yapmaz, sadece ekipmanı izler. Geliştirme aşamasında MCM bir yandan öğrenme sürecinde elde edilen matematiksel modeli güncellerken bir yandan da arıza teşhisi yapar. İzleme periyodunda ise sadece arıza teşhisi yapılır. İzlemenin periyodunun herhangi bir anında ihtiyaç duyulduğunda model “Güncellenebilir”.

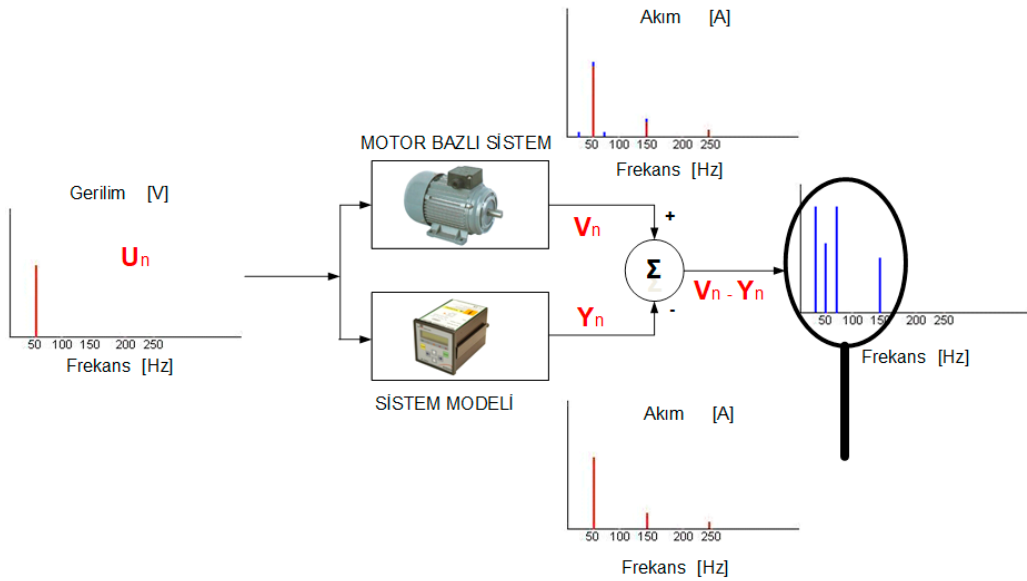
Çoğu durum izleme sistemleri sadece girdiyi ölçmekte olup çevresel ve işletme koşulları (ortam sıcaklığının değişimi, şebeke gerilimi, farklı ekipmanlardan gelen titreşimler vb.) dikkate alınmamaktadır. Elektrik motorlu tahrikli

döner ekipmanlarda farklı sistemlerden gelen titreşimler, ortam sıcaklıkları, motor yükünün ve hızının durumu, şebeke geriliminin kalitesi ve seviyesi; arıza tespit ve analiz aşamasında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 4: Model bazlı durum izleme sistemine ait girdi ve çıktı modeli

Artesis model bazlı durum izleme sistemi (MCM) hem girdiyi (gerilim) hem de çıktıyı (akım) izlemektedir. Bu yaklaşımda neden-sonuç ilişkisi kullanıldığından çevredeki gürültüler dahil dış etkenler de modellemeye dahil olmaktadır. Ayrıca beklenen ve gerçek davranış arasındaki fark sadece sistem tarafından oluşturulan anormallikleri filtre eder ve değerini artırır -ki böylece daha erken ve doğru uyarılar verilir. Uzman sistem yaklaşımı veri tabanı veya kayıt tutma, uzman personel, çok zaman alan veri toplama ve analiz ihtiyacını ortadan kaldırır. Sadece gerilim ve akımları ölçmesine rağmen, arıza bulma kapasitesi (mekanik ve elektriksel) oldukça geniştir [10].



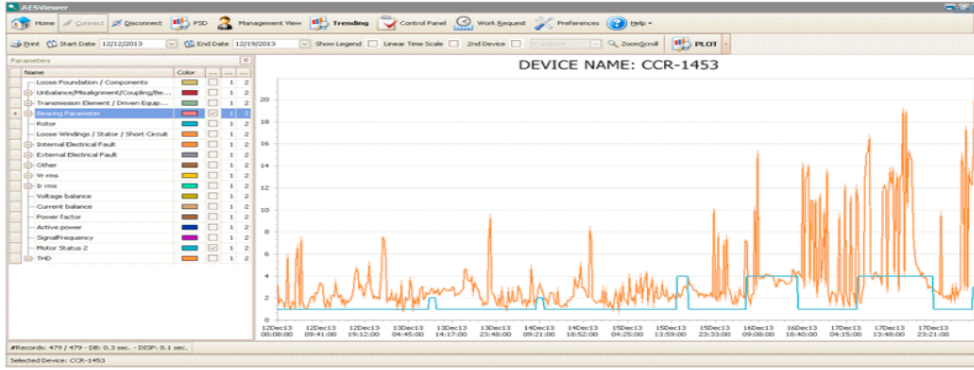
Şekil 5: Model bazlı arıza tespit sisteminin çalışma prensibi

3. Yatırım Getirisi Analizi

Bu bölümde Artesis MCM kestirimci bakım çözümüne yapılan yatırımların son kullanıcıya sağladığı yatırım geri dönüşü örnekleri verilmiştir. İlk olarak K-1453 Propan Kompresöründe rulman arızasının önceden tespit edilmesi ve bunun yatırım getirisi konu edilmiştir, sonrasında da bir ilaç firmasında yapılan MCM yatırımının getirileri sıralanmıştır.

Şekil 6'da görüldüğü üzere izlenen propan kompresörünün rulman parametresi (turuncu renkli trend verisi) belirli bir seviyenin üzerine çıktığı için MCM alarm vermeye başlamıştır (mavi renkli trend motor durum verisidir). Vibrasyon ölçüm ve tespit teknikleriyle de bu alarmin arızadan kaynaklandığı teyit edilmiştir.

Rafinerinin döner ekipman sorumluları, makineyi durdurma ve tamir kararı almışlardır. Ekipman söküldüğünde Şekil 7'da görüldüğü gibi yağ yanmasına bağlı rulman ve sargı arızaları görülmüştür.

Fig. 4 Trending for Bearing Fault and Grease on Winding**Şekil 6: Artesis MCM rulman parametresi trend gösterim sayfası**

Teşhis sonrası motor ve kompresör tamir edilmiştir. Tüm rulmanlar ve bilyeler değiştirilip, izolasyon sargıları kontrol edilip temizlenmiştir. Bakım çalışması 3 gün sürmüştür ve 26.000 \$'a mal olmuştur.

**Şekil 7: Rulman ve sargı arızaları**

Bu arızaların MCM kestirimci bakım sistemiyle erkenden fark edilmiş olmaması durumunda, arızaların ilerleyerek aşağıdaki masraflara sebep olacağı tahmin edilmektedir:

- Motor yanması: Sarım ücreti 27.000 \$
- Kompresörün durması: Duruş masrafı 138.000 \$
- Üretim kaybı: 440 KW'lık bir motorun sarımı 20 güne kadar uzayabilir. 20 günlük bir üretim kaybı 200.000 \$'a denk gelmektedir

Dolayısıyla bu olası kötü senaryonun gerçekleşme durumunda bakım masrafları toplamda 365.000 \$'a mal olmaktadır.

Bir başka yatırım getirisi hesaplaması bir ilaç fabrikasındaki MCM kestirimci bakım uygulamasından alınmıştır. İlaç fabrikasındaki temiz oda ve toz toplama sistemleri, egzoz fanları, kompresörler, iklimlendirme ve soğutma sistemlerini izlenmesi ve arıza tespiti yapması üzere toplamda yüzün üzerinde ekipman bir yıl süreyle izlenmiş ve bu süreçte bulunan arızaların bildirimleri anlık olarak kullanıcıya verilmiştir. Sistemin kullanımının en büyük getirilerinden biri bu süreçte herhangi bir beklenmedik duruş yaşanmamış olmasıdır.

Bu süreç sonunda yapılan yatırım getirisi çalışmalarının sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bakım ve tamir masraflarındaki düşüş: 64.000\$/yıl
- HVAC ünite parça masraflarının elimine edilmesi: 37.900\$/yıl
- HVAC ünitelerinin günlük denetimleri, haftalık ve yıllık bakımlar için yapılan işçilik maliyetlerinde düşüş: 26.500\$/yıl

Yukarıda hesaplanan 130.000\$'a yaklaşan düşüşler bakım, tamir ve işçilik masraflarında olmuştur. Bunun haricinde MCM kullanımıyla aşağıdaki yatırım getirileri de ayrıca hesaplanabilir:

- Enerji verimliliğindeki artış; ekipmanın arızalı çalışmasından kaynaklı ortaya çıkabilecek enerji kaybı maliyeti
- Üretim verimliliğindeki artış; plansız duruşların engellenmesi kapsamında ekipmanın duruşundan kaynaklı

ortaya çıkacak üretim kaybı maliyeti

- Ekipman ömründe artış; arızalar sebebiyle ekipman ömrünün tamiratlardan kaynaklı azalması
- Bakım Onarım Maliyeti; plansız duruş sonrası ekipmanda meydana gelecek birincil ve ikincil arızaların giderilmesinden kaynaklı maliyet

4. Otomotiv Sektörü Vaka Analizleri ve Elde Edilen Tasarruf Miktarları

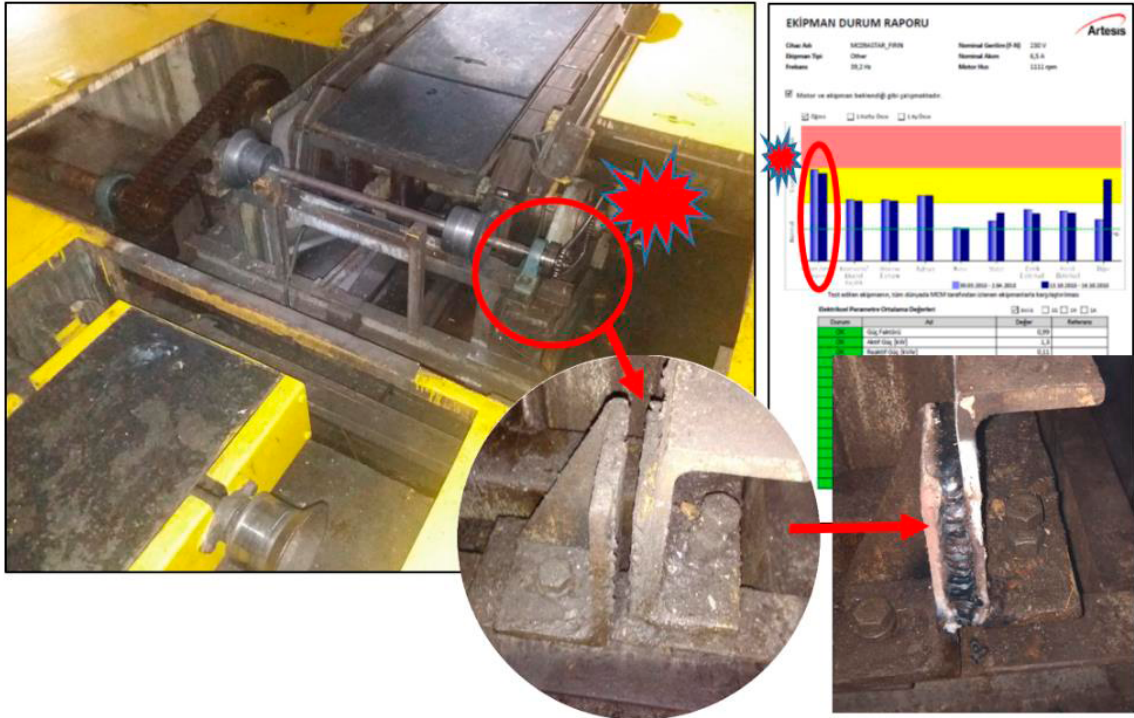
Bu başlıkta Artesis Online Kestirimci Bakım Sistemi'nin Oyak Renault Otomotiv Fabrikaları Boya bölümünde uygulanması sonucunda tespit edilen arızalardan bahsedilmiştir. Ekipmanlarda tespit edilen arızalar, plansız duruş yaşanmadan önce tespit edilmiştir.

Altı adet ekipmanda sağlanan tasarruf miktarları; üretim verimliliğinde artış, enerji verimliliğinde artış, ekipman ömründe artış ve bakım onarım maliyetleri başlıklarında hesaplanmıştır.

1) Astar 1 Fırın Bandı (3 kW) ekipmanına ait MCM cihazı, gevşek zemin/komponent parametresinden alarm göndermiştir. Gönderilen alarm sonrasında yapılan bakım planlamasının ardından konveyör bant dişli yatak konstrüksiyon bağlantı noktalarında kırıklar tespit edilmiştir. Kırık olan bölgelere kaynak işlemi yapılarak arıza giderilmiştir. Bu arızadan kaynaklı olarak olası üretim kaybı 126 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar şöyledir:

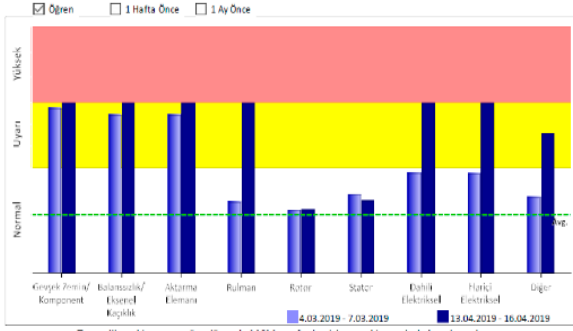
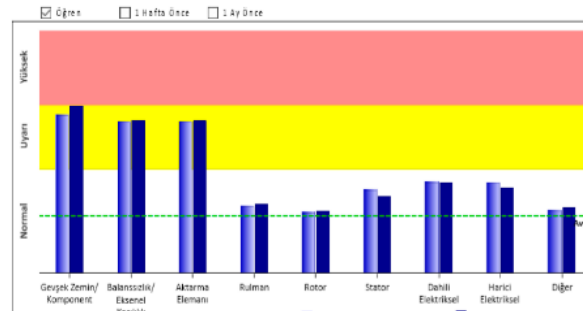
- Üretim verimliliğindeki artış: 61000 ₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 158 ₺ (263 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 260 ₺
- Bakım onarım maliyeti: 435 ₺

Bu vaka özelinde toplamda kazanımlar 61853 ₺'yi bulmuştur.



Şekil 8: Astar 1 Fırın C09 bandı Gevşek zemin/komponent arızası

2) Bir sonraki vakada ise vernik fırın bandı ekipmanında olabilecek bir arızanın bulunması ve sonuçları verilmiştir. Vernik Fırın C30 Bandı (3 kW) ekipmanına ait MCM cihazından gelen verilerde aktarma elemanı/ sürülen ekipman parametresi başta olmak üzere mekanik parametrelerde artış görülmüş ve Şekil 9'da da görüleceği üzere değerler alarm seviyesine yükselmiştir. Yapılan kontroller sonrası ekipmana ait redüktör grubunun değişimi kararlaştırılmıştır.

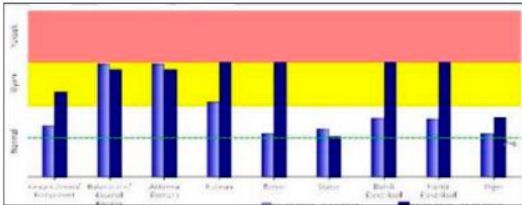
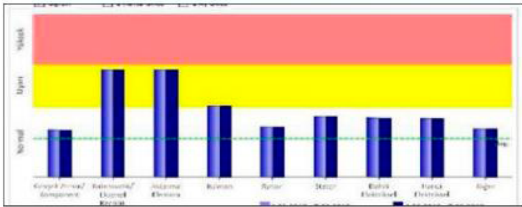

ÖNCE

SONRA

Şekil 9: Vernik Fırın C30 Band ekipmanına ait aktarma elemanı (redüktör) arızası gösteren ekipman durum raporu

Bu problemden kaynaklı arızada olası üretim kaybı 63 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar toplamda 69435₺ olarak hesaplanmıştır:

- Üretim verimliliğindeki artış: 67950₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 790₺ (1315 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 260₺
- Bakım onarım maliyeti: 435₺

3) MSFAN11 (110 kW) ekipmanına ait MCM cihazından gelen verilerde rulman parametresinde artış görülmüş ve Şekil 10'da görüleceği üzere değerler alarm seviyesine yükselmiştir. Yapılan kontroller sonrası ekipmana ait yedek motor devreye alınmıştır. Yapılan incelemelerde motora ait rulman dış bileziğinde hasarlara rastlanılmıştır.

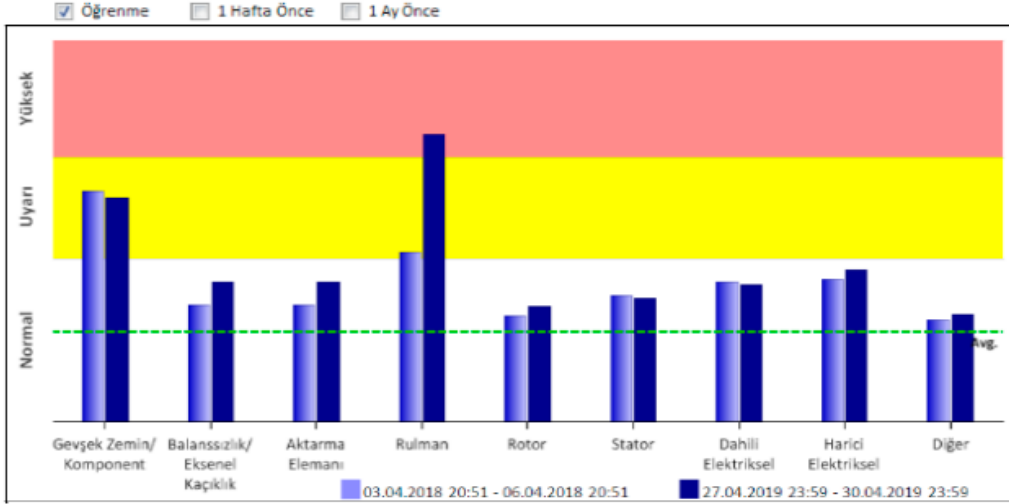
ÖNCE

SONRA


Şekil 10: MSFAN11 ekipmanına ait rulman arızası ve ekipmana ait ekipman durum raporu

Bu problem kaynaklı arızada olası üretim kaybı 126 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar toplamda 57420₺ olarak hesaplanmıştır:

- Üretim verimliliğindeki artış: 32150₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 2870₺ (4818 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 6400₺
- Bakım onarım maliyeti: 16000₺

4) MEXAI71 (160 kW) ekipmanına ait MCM cihazından gelen verilerde rulman parametresinde artış görülmüş ve Şekil 11'de görüleceği üzere değerler alarm seviyesine yükselmiştir. Yapılan kontroller sonrası ekipmana ait yedek motor devreye alınmıştır. Yapılan incelemelerde motora ait rulmanlarda hasar görülmüştür.



Şekil 11: MEXAI71 ekipmanına ait rulman arızasını gösteren ekipman durum raporu

Bu arızadan kaynaklı olarak olası üretim kaybı 189 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar toplamda 82773₺ olarak hesaplanmıştır:

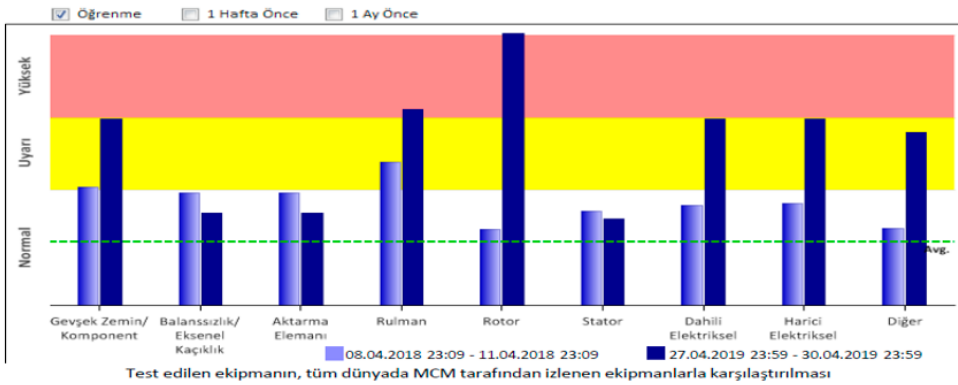
- Üretim verimliliğindeki artış: 48200₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 4205₺ (7008 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 7168₺
- Bakım onarım maliyeti: 23200₺

5) VE-4 MEXAI91 (160 kW) ekipmanına ait MCM cihazından gelen verilere göre hazırlanan raporda Şekil 12’de görüleceği gibi rulman ve rotor parametresinde artış görülmüştür. Yapılan kontroller sonrası ekipmana ait yedek motor devreye alınmıştır. Değişim sonrası yapılan incelemelerde motora ait rotorda arıza tespiti yapılmıştır. Ekipmana ait arızalı rotor Şekil 13’te gösterilmiştir.

EKİPMAN DURUM RAPORU



Cihaz Adı	MEXAI91(H2O)	Nominal Gerilim (F-N)	230 V
Ekipman Tipi	Other	Nominal Akım	285 A
Frekans	50 Hz	Motor Hızı	985 rpm



Test edilen ekipmanın, tüm dünyada MCM tarafından izlenen ekipmanlarla karşılaştırılması

VAROLAN ARIZALARI İNCELE Bu arızalar en kısa zamanda kontrol edilmeli ve gerekiyorsa tamir edilmelidir.

Mekanik Arızalar

Rulman.Rulman(lar) incelenmelidir. **EVE:** Motor ya da sürülen ekipman rulmanında gelişmeye başlayan arızalar hem sistemin verimsiz çalışmasına, hemde tamiri zahmetli ve masraflı sorunlara neden olabilir.

Rotor çubuklarında ya da kısa devre halkalarında problem Rotor ve çubukları (gevşeklik, çatlak vs.) incelenmelidir.

Şekil 12: VE-4 MEXAI91 ekipmanına ait sistem raporu



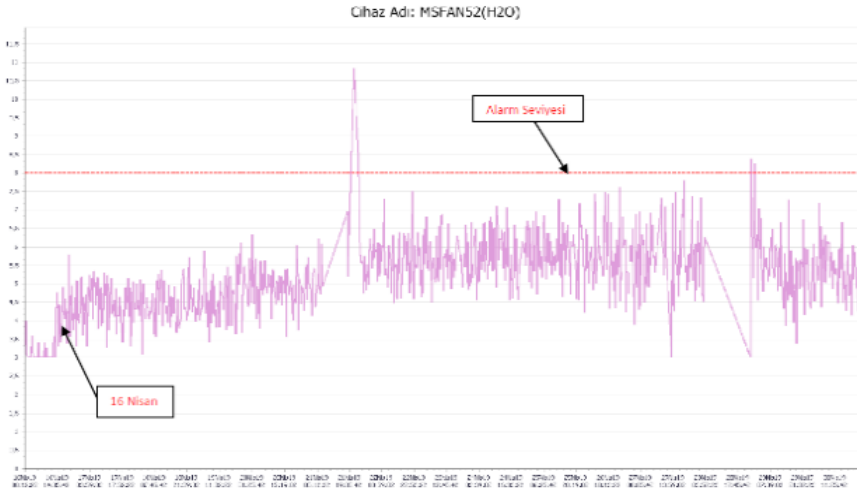
Şekil 13: VE-4 MEXA191 ekipmanına ait arızalı rotor

Bu arızadan kaynaklı olarak olası üretim kaybı 189 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar toplamda 95400 ₺ olarak hesaplanmıştır:

- Üretim verimliliğindeki artış: 48200 ₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 16820 ₺ (28032 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 7168 ₺
- Bakım onarım maliyeti: 23200 ₺

6) VS-1 LAK (160 kW) ekipmanına ait MCM cihazından gelen verilerde Şekil 14'te de görüleceği gibi 16 Nisan tarihinden itibaren aktarma elemanı / sürülen ekipman parametresine ait trendde artış görülmüştür. Yapılan kontroller sonrası ekipmana ait kasnakta kırık tespit edilmiştir. Yapılan bakım çalışmasında kasnak ve kayışlar değiştirilerek, kayış gerginlik ve paralellik ayarından sonra ekipman tekrar devreye alınmıştır.

MSFAN52(H2O)



Şekil 7: MSFAN52(H2O) ekipmanına ait rulman parametresinin trendi

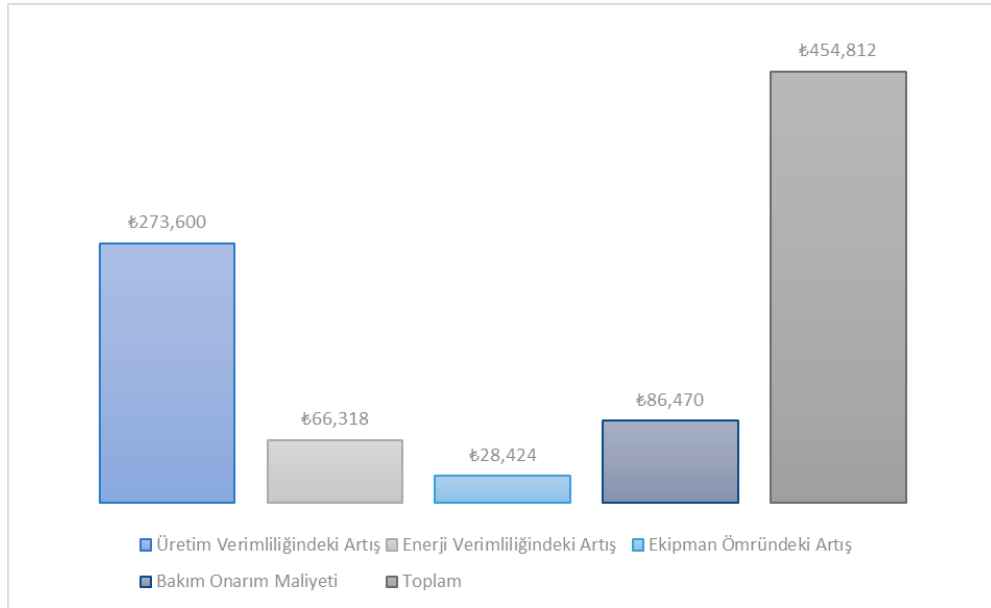
Şekil 14: VS-1 LAK ekipmanına ait aktarma elemanı/ sürülen ekipman parametresinin trendi



Şekil 15: VE-4 MEXA19 VS-1 LAK ekipmanına ait hasarlı kasnak

Bu arızadan kaynaklı olarak olası üretim kaybı 63 dakikadır. Bu arızanın giderilmesinden kaynaklı olarak elde edilen kazanımlar toplamda 87943 ₺ olarak hesaplanmıştır:

- Üretim verimliliğindeki artış: 16100 ₺
- Enerji verimliliğindeki artış: 41475 ₺ (69120 kWh/y)
- Ekipman ömründe artış: 7168 ₺
- Bakım onarım maliyeti: 23200 ₺



Şekil 16: Arızaların önceden önlenmesinden kaynaklı elde edilen kazanç miktarları

5. Sonuç

Bu makalede kolay, zahmetsiz ve sürdürülebilir bir online durum izleme ve arıza teşhis sisteminin Oyak Renault Fabrikası'nın Boya bölümünde kestirimci bakım kullanım detayları ve 2019'un ilk yarısında elde edilen sonuçları verilmiştir. Elde edilen toplam tasarruf miktarı yaklaşık olarak 455 bin lira (Şekil 16) olarak hesaplanmıştır ve dolayısıyla altı aydan kısa bir sürede %100 oranında yatırım getirisi olduğu görülmüştür.



6. Referanslar

- [1] Orbit Magazine (Vol.26 No.2 2006), Enterprise Reliability: Changing the Game, Robert DiStefano, Chairman and CEO Management Resources Group Inc. distefano@mrginc.net, Larry Covino, GE Energy Product Line Leader Reliability Consulting and Implementation Serviceslawrance.covino@ge.com
- [2] Marco Annunziata & Peter C. Evans, The Industrial Internet@Work, General Electric Company, 2013.
- [3] US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Motor Tip Sheet #5, “Replace V-Belts with Cogged or Synchronous Belt Drives”, September 2005
- [4] US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Motor Tip Sheet #2, “Eliminate Voltage Unbalance”, January 2000
- [5] US Department of Energy Web Page, http://www1.eere.energy.gov/femp/program/operations_maintenance.html, March 2013
- [6] A. Duyar and W. C. Merrill, “Fault Diagnosis For the Space Shuttle Main Engine,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 15, no. 2, pp. 384-389, 1992.
- [7] A. Duyar, V. Eldem, W. C. Merrill, and T. Guo, “Fault Detection and Diagnosis in Propulsion Systems: A Fault Parameter Estimation Approach,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 17, no. 1, pp. 104-108, 1994.
- [8] J. Litt, M. Kurtkaya, and A. Duyar, “Sensor Fault Detection and Diagnosis of the T700 Turboshift Engine,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 18, no. 3, pp. 640-642, 1995.
- [9] J. L. Musgrave, T. Guo, E. Wong, and A. Duyar, “Real-Time Accommodation of Actuator Faults on a Reusable Rocket Engine,” IEEE Trans. Cont. Syst. Technol., vol. 5, no. 1, pp. 100-109, Jan. 1997.
- [10] Duyar A., “MCM; Ucuz, Kullanımı Kolay bir Model Bazlı Durum İzleme Teknolojisi”, www.artesis.com.tr, 2006

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BAKIM TAKİP SİSTEMİ

¹Onur Ziya Taşdemir
¹Vestel Elektronik A.Ş.

Vestel Elektronik A.Ş. bünyesinde aktif çalışan 678 plastik enjeksiyon kalıbı; Vestel Elektronik'in iki fabrikasında ve beş yan sanayi fabrikasında üretim yapmaktadır. Her yıl yaklaşık 250 adet kalıp aktif kullanımdan çıkarılarak yerine yenileri eklenmektedir. Üretimde bulunan bütün kalıpların yüksek verimlilikte üretimlerine devam etmesinin sağlanması ve kalıp ömürlerinin artırılması için düzenli kontrol edilmesi gereklidir. Kontrol parametreleri ve bakım içerikleri hammadde, ürün yapısı, göz sayısı gibi değişkenlere göre farklılık göstermektedir. Kalıp sayısı kadar değişken ve 7 farklı lokasyonda bulunan değişkenler göz önünde bulundurulursa; kalıpları takip etmenin ve yönetmenin meydana getirdiği karmaşa anlaşılabilir. Pilot olarak belirlenen yan sanayilerimizde 113 aktif kalıp 28 makinede üretim yapmaktadır. Kalıbın çalıştığı lokasyon, Kalıp özellikleri (Göz sayısı vb), Mevcut çalışma değerleri (Çevrim süresi), Kalıbın bakım durumunu anlık olarak takip edilebilecek bir sistem tedarik edildi. Proje üç ekipman ve bir websitesinden oluşmaktadır (Resim 1).

- I. Kalıp üzerine takılan ve sistemin çevrim süresini ve kaç üretim yaptığını ölçebilen akıllı sayaçlar;
- II. Press makinelerine takılan ve akıllı sayaçlardan alınan verileri anten vasıtası ile modeme(Gateway) aktaran press modüller;
- III. Alınan bütün verileri internet ortamına aktaran modem(Gateway)
- IV. Alınan verilerin analiz edildiği ve gösterildiği web sitesi.



(Resim 1)

Sistemden ilk etapta;

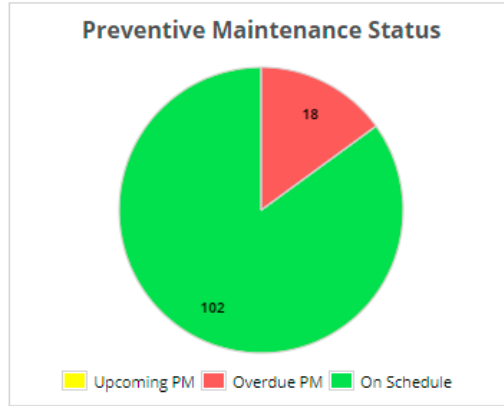
- I. Mevcut çevrim süreleri, ideal çevrim süreleri ile kıyaslanarak tanımlanan limitler dışında çalışma durumunda,
- II. Baskı sayılarına göre bakım yapılması gerektiğinde anlık bildirim alınabilmektedir.

Pilot yan sanayilerde planlı bakımlar her kalıba geleneksel 15K ve 30K bakımları atandı. Bakım durumu mevcut üretim sayısı ile kıyaslanarak (Grafik-1);

I. On Schedule; Bakımı yapılmış kalıpları

II. Upcoming PM; Bakım yapılmasına 5K üretimi kalan kalıpları

III. Overdue PM; Bakım takvimi geçmiş ve ivedilikle bakım yapılması gereken kalıpları ana ekranda gösterilmeye başlandı.



(Grafik-1)

Bakım tarihi yaklaşan ve geçmiş olan kalıplar ile ilgili sistem ilgilililere (Vestel Kalıphane, Yansanayi yöneticileri ve kalıphane personellerine) günlük raporlama yapmaktaydı. Bu raporlamalara göre bakımlar yapıldığında bilgisayar üzerinden sisteme veri girişi yapılabilmekteydi.

Akabinde; planlı bakım sıklığını ve bakım detaylarını optimize etmek için, (kalıp ve operatörden anlık) ihbarlar ile bakım faaliyetlerini geleneksel duruş olmadan bakım yapabilmek için çalışmalarımız başlatıldı. Düşük verimlilik ile çalışan kalıplar (yüksek çevrim süresi, yüksek hurda oranı vb.) sistemsel alarmlar ile takip edilerek, arıza meydana gelmeden iyileştirme faaliyetlerin yapılabilmesi için;

Web sitesinde ve ürünlerde Vestel taleplerine yanıt verecek şekilde;

I. Kalıp ısılarının yüksek olmasından kaynaklı kazımları kontrol etmek için; kalıp yüzey sıcaklığı ölçme sistemi,

II. Plansız kayıpları önlemek için, fire oranlarının makine başında operatör tarafından girileceği ara yüz,

III. Kalıp ömürlerinin artırılması için, kestirimci bakım takip sistemi,

IV. Yan sanayi teknik birimi konuyu çözüme kavuşturamadığı durumlarda, Vestel kalıphaneye sistem üzerinden iş isteği açarak teknik destek talebinde bulunabileceği arayüz,

V. Aktif olmayan kalıplar için, geri dönük veri tabanı oluşturularak analiz imkânı sunacak ara yüz geliştirildi.

Geliştirilen sistemde, düşük verimlilikte çalışan plastik enjeksiyon kalıplarının hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve gerekli müdahalenin yapılması mümkün olmaktadır. Bu sayede arıza meydana gelmeden;

I. Minimum yedek parça,

a. Minimum depolama maliyeti

II. Minimum iş gücü

III. Sıfır duruş

IV. Maksimum kalıp ömrü ile üretim sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda planlı bakım check-listler revize edilmiştir. Sistemin iletteği raporlamalarda iletilen linkler ilgilileri otomatik olarak yapılacak bakım check-listine yönlendirmektedir (Resim-2). Cep telefonu veya bilgisayar üzerinden check-list yapılan işlemlere göre doldurulmaktadır. Sistem bakım geçmişini grafik olarak hafızalık olarak raporlamaktadır (Grafik-2). İletmek istenilen konuları (kullanılan yedek parça vb) not kısmına eklenmektedir.

Add PM Point: 99007895 - COVER SB 32285 DLED BMS M4

Current Cycle Count:
Maintenance Type:
On Cycle Count:

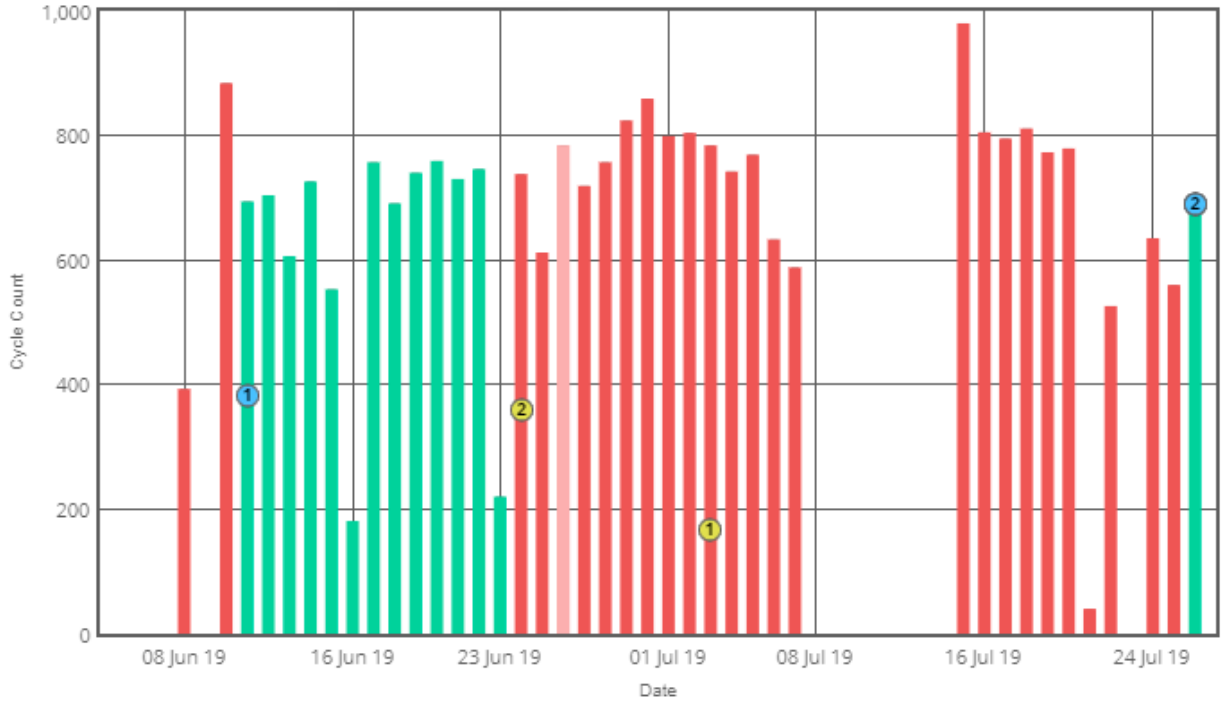
PM Custom Header Fields

Sample Field 1:

Checkpoints

Description	Yes	No	N/A
HG YÜZEYİN KONTROLÜ/SILINMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HİDROLİK PİSTON MAÇLARIN KONTROLÜ-YAG KAÇIĞI KONTROLÜ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
YOLLUK İTİCİLERİNİN KAZIMASI ASILMA KONTROLÜ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SIYIRICI İNERTLERİN KONTROLÜ(ÇATLAK, VURUNTU,EZİK)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
KALIP YÜZEYİNİN TEMİZLENMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SOKET KONTROL VE MONTAJI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLASTİK PARTEKÜLLERİN TEMİZLİĞİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
İTİCİ AÇILI MAÇA , MILLERİN KONTROLÜ /HASARLI İSE BİLDİR DEĞİŞTİR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
İTİCİ AÇILI MAÇA , MILLERİNİN YAGLANMASI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
YAYLARIN KONTROLÜ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SU KANALLARI KONTROLÜ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O-RİNGLERİN YENİLENMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HAREKETLİ ÇEKİRDEĞİN SÖKÜLMESİ TEMİZLENMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GEÇME İNERT LOKLARIN TEMİZLENMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GAZ KANALLARININ TAZENLENMESİ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(Resim-2)



(Grafik-2)

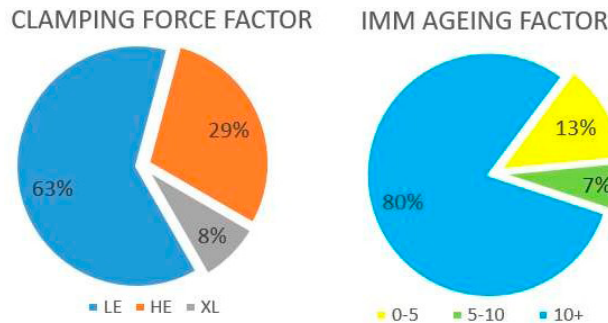


PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE YENİ NESİL BAKIM SİSTEMLERİ

¹Onur Beğen

¹Vestel Elektronik A.Ş.

Vestel Elektronik A.Ş. Üretim Tesisleri, Plastik Üretim Fabrikalarında LED TV son montajına servis edilen ön çerçeve, arka kapak ve orta çerçeve, ayak olarak isimlendirilen parçalar üretilmektedir. Üretim, plastik enjeksiyon makinelerinde (Injection Molding Machine, IMM) kalıplama yöntemiyle yapılmaktadır. Kapama kuvveti 500–3000 ton skalasında bulunan 90’den fazla IMM, 2 ayrı lokasyonda üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Tesiste IMM üretimine destek enjeksiyon sektöründe bulunan gelişmiş üretim destek ekipmanları kullanılmaktadır. Yardımcı ekipmanlara ilaveten soğutma üniteleri ve tesisatları, buhar tesisatları, buharlı üretime destek soğutma kuleleri, hammadde hazırlık birimi ve otomatik dağıtım istasyonları, prosesin basınçlı hava ihtiyacını karşılayan hava ve gaz kompresörleri bulunmaktadır. Tüm makinelerin tam otomatik çalışmakta olup bazı yarı mamullerin son montaj öncesi işlem ihtiyacı bulunan parçalarda otomatik makinelerle yapılmaktadır. Buna ilaveten çok çeşitli ürün için hammadde hazırlık süreci fiziksel şartların sağlanması makinelerle otomatik olarak yüklemesi yapılmaktadır ve nihai ürün paket sevkiyatı da otomatik olarak yapılmaktadır. Genel olarak bakıldığında tesisimiz otomasyon sistemlerini ve Endüstri 3.0’ı önemli ölçüde tamamlamıştır. Bunda sonraki süreçte tesisdeki fiziksel işlemleri ve kargaşa yönetimini siber-fiziksel sistemler üzerinden izlemek ve merkezi olmayan kararların verilmesi hedeflenmektedir.



(Grafik1)

Son yıllarda gelişmiş endüstrilerin önem verdiği Endüstri 4.0; daha az maliyetle üretim, minimum enerji kullanımı, daha az ısı üretimi, zaman kazanımı ve daha az kaynak kullanımı olarak hızla ilerlemektedir. Endüstri 4.0 tek başına akıllı üretim ile sınırlanamaz. Üretimi etkileyen ve üretim yönetimini tetikleyen en önemli unsurlardan biri



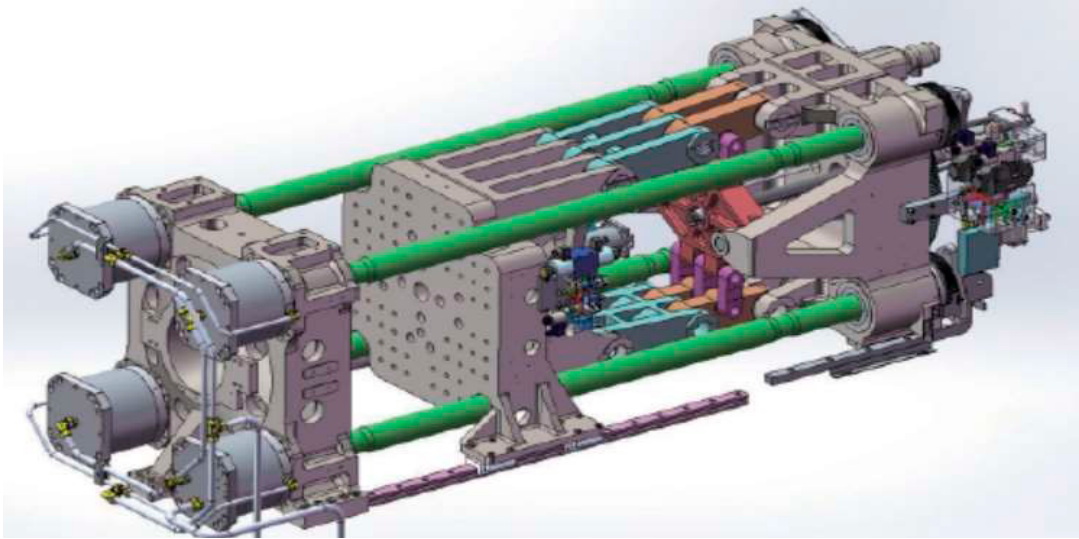
de makine teknik sorunlarıdır. Endüstri 4.0 ile koşul izleme genel başlığı altında kızılötesi termografi, ultrasonic testler, titreşim ölçümü, yağ analizi vb. birçok program üzerine çalışılmaktadır.

Vestel Elektronik üretim tesislerinde de hızla ilerlemekte olan Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm çalışmalarına bakım sistemlerinin de dahil edilmesi için yapılan çalışmalar ile makinelerimizde arıza kaynağı konusunda kararlı sonuca gidilmesi için klasik bakım yöntemleri, periyodik kontrol, periyodik değişim süreçlerinde yedek parça ve yedek parça stok maliyetlerinin optimize edilmesi üzerine odaklanılmıştır. Yılın tüm günlerinde üretim yapma ihtiyacı bulunan makinalarda bakım sürelerinin optimize edilmesi sadece ihtiyaç anında ve içeriğinde bakım yapılması, plastik enjeksiyon makinelerinin ekipmanlarında tespit edilecek arıza tahminlemesi ve parça değişim periyodu optimizasyonu ile makinenin ideal çalışma parametreleri baskılar arası hidrolik basınç stabilizasyonu sağlayarak ürün kalitesinin artırılması ve ıskarta miktarının düşürülmesi, bakım duruşlarının kısaltılmasıyla da makine kullanılabilirliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Plastik enjeksiyon makinelerimizin ekipmanları olan elektrik motorları, endüstriyel hidrolik sistemleri, açık ve kapalı yağlama donanımları, mekanik mengine ve makas sistemlerinde; kuvvet tepkisi sonucu oluşan titreşim sinyallerinin gürültüden arındırılmış olarak ve tekniğine uygun bir şekilde yüksek örnekleme hızlarında toplanarak Fourier Dönüşümü vb. sinyal işleme teknikleri ile işlenerek sayısal veriye dönüştürülmesi ve bu verilerin makine kontrol modülü üzerinden alınacak çalışma şartlarına karşılık gelen anlık fiziksel ölçüm verileriyle ilişkilendirilmektedir. Bu verilerin güvenilir veri kütüphanesi oluşturularak biriktirilmesi ve akıllı algoritmalarla yorumlanmasıyla tahminleme sistemi oluşturmaktadır. Enjeksiyon makinelerinde hidrolik sistemleri, elektrik motoruyla tahrik edilen elemanlar, mekanik sistemler, çoklu bağlantı, hareket ve güç ileten elemanlar bulunmaktadır. Bunlar, makine kontrol modülünde ürün çıkışının ihtiyacına göre girilen değerlerle çalıştırılmaktadır. Proje çalışması ile bunların bir dinamik dengede uyum içerisinde olma koşulları “Predictive” olarak adlandırılan sistemlerde “machine learning” aşaması başlamıştır.

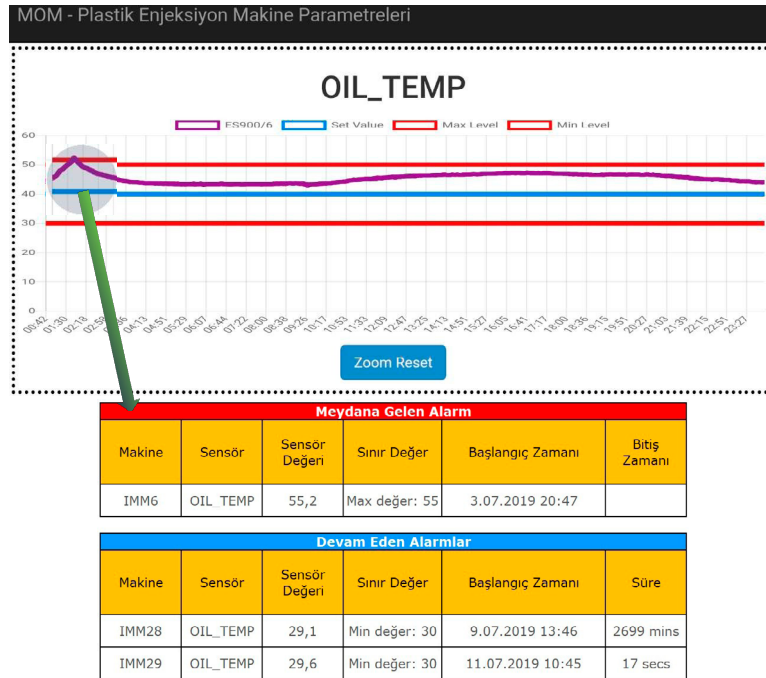
Makinenin çalışma sisteminde girilen parametrelerin karşılığında hidrolik sistemin ürettiği çıktılar bir cycle boyunca anlık değişkenlikler gösterebilmektedir. Bu değerleri üreten makinenin farklı elemanlarındaki titreşime bağlı olarak göreceli yer değişimi ve ivmelenmesiyle ilişkilendirilmesi, bununla birlikte elemanlar arası etkileşimi ilişkilendirilmektedir. Zaman içerisinde “t” anındaki verileri daha önceki verilerle karşılaştırma yaparak oluşan farklılaşmayı tespit etmesi, farklılaşmanın zaman gelişim trendini takip etmesi, elde edilen veriler ile sonunda bunun bir kötüye gidiş olarak belirlenmesi kurulan algoritmanın temel görevidir. Bu kötü gidişinde zaman trendini takip ederek makine elemanının toplam ömür eğrileri oluşturulmaktadır. Bu bilgilere göre makine ekipman ya da eleman üzerinde yapılabilecek küçük iyileştirmeler ya da önleyici bakımlar için doğru zamanın belirlenebileceği ortam oluşturulmaktadır.

Makinelerimizde daha önce yapılan dijitalleşme projelerinde ME (Manufacturing Execution) sistemi uygulanmış olup bu sistemler ile endüstri mühendisliği ilişkisinde birçok parametre değeri okunabilir hale getirildi. Devamında ise makine teknik parametreleri aynı sistem üzerinden okunabilir hale getirildi. Bununla birlikte makinede belirlenen birimler üzerine yerleştirilen sensörler vasıtasıyla sanayide son yıllarda hızlı bir şekilde yaygınlaşmaya başlayan titreşim ve sıcaklık analizi yöntemi de eklenerek buradan gelecek verilerle de karşılaştırılmaya başlandı.



(Resim1)

Burada sensörlerden ve makine parametrelerinden alınacak ve kaydedilecek veriler makinenin çalıştığı tüm zamanlar için ve anlık olarak ta izlenebilmektedir. Diğer taraftan, algoritmanın tespit ettiği bir kötü gidiş, ya da makinenin spesifik parametrelerinden (örneğin: yağ çalışma sıcaklığı) çıktı değerinin set edilmiş bir değerin üzerinde çıkması durumunda online sisteme bildirim olarak düşmektedir.



Resim2

Vestel Elektronik A.Ş. Plastik Üretim tesislerinde yürütülen projenin yurt içi ve yurt dışında kıyaslanabilecek benzerlikte örneğine rastlanılmamıştır. Yeni nesil makinelerde üretici firmalar tarafından henüz deneme aşamasında çalışmalar yapılmaktadır. Titreşim ve sıcaklık kontrollü akıllı bakım sistemlerinin endüstriyel plastik enjeksiyon makinelerinde bilinen yaygın bir kullanımı bulunmamaktadır. Plastik enjeksiyon makinelerinin bileşenlerini oluş-



turan farklı donanımları üzerinden alınacak veriler birleştirilerek amacına hizmet etmesi için arıza tahminlemesi, parça değişimi optimizasyonu ile bu değişimler arası ürün kalitesi kararlılığının sağlanması ve bunun nihai ürün kalitesine de yansması, akıllı karar verme algoritmalarının hazırlanması ve tüm verileri bir bütün olarak yorumlayabilen yapay zeka kullanılması yeni nesil bakım sistemlerinin IMM de entegrasyonunu oluşturmaktadır. Mevcut bilinen akıllı bakım sistemlerinde ölçüm alınan ünitelerin çalışma şartları daha çok verilerin tekli yorumlanmasıyla gerçekleşmektedir. Ancak makine çıktılarıyla ekipmanların fiziksel değişkenliklerinin ilişkilendirilmesi IMM da ilk kez uygulanmıştır. Vestel Elektronik Plastik üretim tesislerindeki akıllı bakım anlayışımız; IMM özellikle geçmiş yıllarda birikimi olan teknik sorunların yoğun yaşandığı, makinenin ana mekanik aksamalarının tümü hakkında çözüm ömür tahminlemesi ve önleyici yöntemlerini daha da geliştirmek üzere çalışmalar devam etmektedir.

Proje kapsamında bakım sistemimizi de dijital dönüşüm sürecine dahil edilmiş olup değişim ihtiyacı olan parçaların periyotlarını optimize edilmektedir, plansız teknik sorun ve makinenin üretim yapamaz hale gelmesini önleyerek makine kullanılabilirliği arttırmış ve özellikle yurt dışı menşeli olan ve dolayısıyla da yedek parçalarının da yurt dışından tedarik edilen miktar ve yedek parçaların stok maliyetleri konusunda önemli kazanımlar sağlanmıştır

RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY, ECONOMY AND MAINTENANCE

¹Learat Sahatqija, ²Ediz Muhamedi, ³Harun Kemal Öztürk

¹Learat Sahatqija, International Business College Mitrovica, Environmental and
Agricultural Management Department, Kosovo
sahatqijaleart23@gmail.com

²Ediz Muhamedi, International Business College Mitrovica,
Environmental and Agricultural Management Department Kosovo
edizmuhamed@hotmail.com

³Harun Kemal ÖZTÜRK, Pamukkale University, Faculty of Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey
hkozturk@pau.edu.tr

Abstract

Energy consumption is one of the most important inputs of the economy. Reducing energy costs is among the issues that industrial organizations attach importance to. Economic growth also leads to an increase in energy consumption. There is a direct relationship between the economy and energy. Competitiveness of firms increases if they reduce costs. One of the ways to reduce costs is to reduce energy costs. Maintenance ensures both machine-free operation and contributes to reducing energy consumption. In this study, energy, economy and maintenance are discussed.

Keywords: Energy; Economy; Maintenance;

Özet

Enerji tüketimi ekonominin en önemli girdilerinden birisidir. Enerji giderlerinin azaltılması sanayi kuruluşlarının önem verdikleri konular içerisinde yer almaktadır. Ekonomik büyüme aynı zamanda enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Ekonomi ve enerji arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Firmaların rekabet gücü maliyetleri azaltmaları durumunda artmaktadır. Maliyetleri azaltmanın yollarından birisi de enerji giderlerinin azaltılmasıdır. Bakım yapılması hem makinelerin arıza yapmadan çalışmasını sağlar hem de enerji tüketiminin azaltılmasına katkı yapar. Bu çalışmada, enerji, ekonomi ve bakım konusu ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji; Ekonomi; Bakım;



1. Introduction

The correlation between energy, economy and maintenance stands very close, as each of these factors, affect each other in a way or another. The aim of this paper is to analyse and find the linkage and explain further more about each of the factors and find the important emphasizes that should be taken to asses it. Starting from energy, further it will be described how energy influences the economy and vice-versa. We already know that the energy dates way back even when the first humans started to hunt and have basic needs, energy was essential part of their life. Over the time, the needs of humans started to increase, so simultaneously did the energy as the population and needs boomed. However, we will go all the way to our age and explain some of the basic energy transitions and how they shape the reality of today and especially economy. Also, how the demand of energy in different parts of the world increased over the past years leading these countries to seek for alternative solutions. Energy is basically everywhere standing at the same phase that it always had, however, changing in the transformation. Additionally, energy productivity plays a role in particular activities related to different industries and it is depended on the technology used for that particular activity.

Besides, the relation of energy and economy continues to grow as the need for it increases continuously. Therefore, further explained will be how the alternative energy is important for today's economy and how companies and governments have to apply there approaches to maximize the production and at the same time reduce the cost and pollution. Furthermore, the factors that led to the use and development of alternative energy is explained, and then showing the importance of maintenance. Techniques used to increase the efficiency, including some approaches which are: preventive, break down, predictive maintenance and the risk-based towards safety maintenance. Each phase will show how these techniques operate and their impact on the equipment.

2. Energy And Economy

Energy is a is very important for goods and services. Energy is one of the most important parameters of production. One of the most important inputs that determine the prices of goods and services is energy. The energy sector is one of the most important sectors in the world. Many research and development activities are carried out on this subject. Energy safety, sustainability and environmental impacts are among the parameters that need to be considered. Energy has also very important impact on the determination of international relations. Moreover, oil price, which tend to lead other fossil fuels is important for procyclical development in oil-producing countries, with high price generating revenues, both for states and the private sector. However, in oil-consuming countries, it deteriorates trade balance, increases inflation and may cut the GDP growth rate. Also it is important to emphasize that the transition towards renewable energy systems provides an environment of stable low prices for electricity and reduced macroeconomic variations.

As in regards to economical aspect of energy, we can say that energy plays a key role in establishing a stable and growing economy. Today, the energy sector has become global. International regulations and taxation have been introduced in this regard. Generally, although energy prices are determined on a global scale, each country applies different taxes. Therefore, energy prices vary from country to country.

When it comes to demand for energy, it is somehow proportional to the GDP. Energy is one of the most important inputs of all sectors from transportation to agriculture, from trade to industry. Industrialization, population growth and the increase in comfort level increase energy consumption. The increase in mechanization and production increases energy consumption rapidly. The increase in GDP also leads to an increase in energy consumption. Energy costs have brought efficiency to the forefront. New methods have been sought to reduce energy consumption. Furthermore, energy is hardly a crucial input on computers which use electricity but in somehow small quantities. Transport is highly based on energy consumption, and in some certain countries the situation is that transportation sector is the sector with the highest energy consumption.

Energy productivity depends on the technology used for a particular activity. For example, although energy consumption in high-rise buildings and skyscrapers is very high, it is very low in ecological buildings. When the energy consumption in the housing sector is considered, it is seen that the high income group consumes more energy than

the middle income group and the middle income group consumes more energy than the lower income group. On the other hand, per capita energy consumption in developed countries is considerably higher than in developing and underdeveloped countries. The development of countries increases energy consumption. The increase in the population is one of the most important reasons for the increase in energy consumption. Therefore, energy problems should be expected to increase in the short and medium term. An increase in energy prices should be envisaged. In addition, problems in energy supply will be inevitable.

Most of the existing energy resources are not renewable, they are pushing a limited time environment to the sustainability of the existing fossil fuel logic. Even the current generation of nuclear energy is based on non-renewable resources. In recent years and even today, energy production is related to the heavy pollution impact on the environment. Carbon dioxide emissions from fossil fuels and other sources contribute to greenhouse impacts and global warming, resulting in ocean acidification, rising sea level, ecosystem degradation and extreme weather events and natural disasters. With the energy supply chain, many major natural disasters, such as nuclear power plants or oil tankers, have been experienced, while climate change itself is a global threat to present and future generations. Alternative sources can help solve these problems positively and reduce long-term carbon pressure. (Piana, 2004-2009).

Reproducibility is a very important concept in production. Some inputs cannot be reproduced, on the other hand, they can be produced at a cost within the economic production system. Labor, capital and natural resources are reproducible factors of production, although energy is a non-reproducible factor of production, energy vectors are reproducible factors. Therefore, many scientists and ecological economists have attached great importance to the role of energy and its availability in economic production and growth processes. On the extreme, the use of energy rather than the output of goods is used as an indicator of economic development.

In order to achieve a certain material output, a larger or equal amount of substance should be used as input as an input to a contaminant or waste product. This is according to the first thermodynamic law, which implies the principle of mass equilibrium. The second law of thermodynamics indicates that a minimum amount of energy is required to perform the conversion of matter. If we take this, the whole production involves a degree of transformation or movement of matter. Although some elements and chemicals can be substituted, some kind of material needs to be transported or converted. Consequently, there must be limits to the substitution of other production factors to energy. Therefore, all economic processes must require energy, so that energy is always a fundamental production factor. Today's economy is closely linked to the efficient ways of technology development and energy use. The substitution thermodynamic limits are defined by an energy-material analysis for individual processes that describes the fundamental limitations of the conversion of materials to different thermodynamic states and the use of energy to achieve the desired conversion. Analysis has shown that technological advances exhibit strong reduction returns due to thermodynamic limits and are a necessary area for improvement in the efficiency of energy and material use. For example, the thermal efficiency of power plants has remained relatively constant for years, reflecting the fact that it is approaching the thermodynamic limit.

The aforementioned was the role of energy and how it affects the overall economy. Moreover, it has been determined that energy is a very important input and in theory may require economic growth in the presence of long-term energy. However, there has been extensive debate about the trend in energy intensity in developed countries, especially since the two oil price shocks of the 70s. An economic output and allocation of resources indicating that growth limits are not as restrictive as in the past has been widely confirmed (Stern and Cleveland, 2004).

The relationship between energy and gross domestic product, such as total production, may be affected:

Substitution between energy and other inputs

Technological change

Changes in energy input composition

Changes in output composition

Economy and alternative energy



Renewable energy technologies are one of the most trendy topics and rising on the market continuously and the world is witnessing a new energy transition with many factors and drivers pushing it. To properly know the phenomenon, it is important to understand the rationale behind the current transition to renewable energy and their relationship with economy, therefore both points will be discussed further on.

The historical background of energy transition is quite interesting as it starts from the early age of humans. This includes the period where humans needed to cover only their basic needs (such as food), which at the very beginning was met by using firewood for cooking and heating. Further in time people started practicing agriculture in the form of human communities depending on the sun energy in the combination with the biomass.

However, as the economies evolved and developed into more complex forms, the primitive approaches were no longer able to meet the increasing demand in energy. Therefore, people started to use different sources of energy including hydropower and coal during the 19th century, oil and natural gas in 20th and additionally the nuclear that was introduced first in mid-20th century.

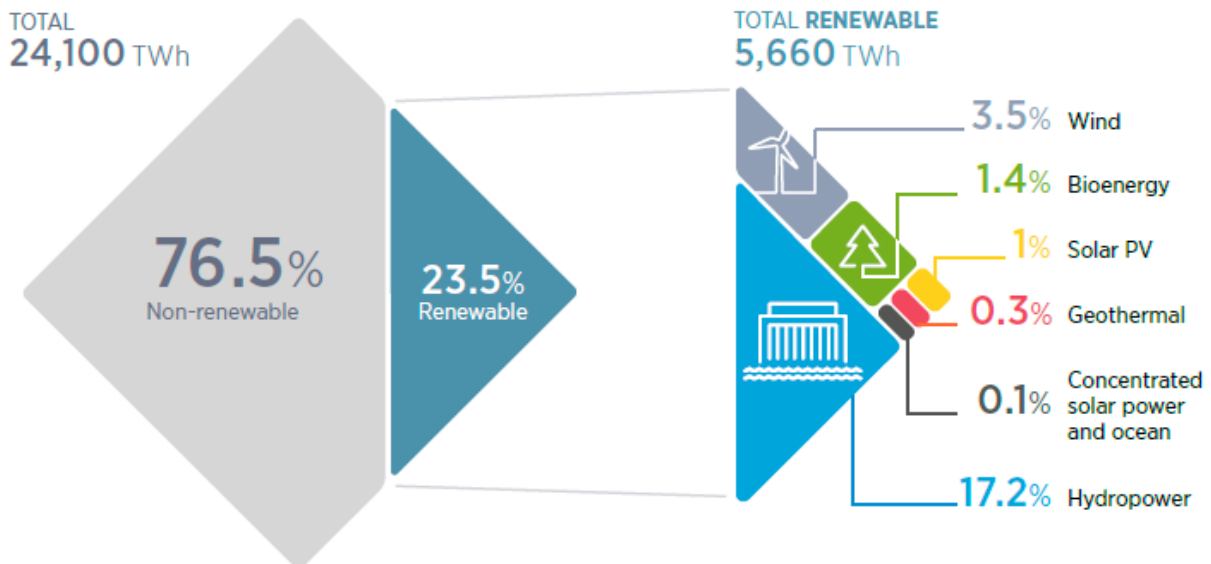
Therefore, as we can see, each critical change in the economic system was always accompanied with a major change in energy or energy transition, shifting from one major energy source to another. Nowadays, the primary or dominant source of energy is fossil fuels (coal, oil, and natural gas), the transition is already happening from these sources to renewables (solar, wind, hydro, etc).

Though, the 21st century energy transition is going afoot, not mainly because of change in human needs but due to other factors as well. These factors are:

- Concerns about environmental impacts (greenhouse gas emissions GHG, climate change, etc);
- The continuous depletion of current energy sources, as they are limited and on the decline;
- The ongoing price and technological change of different energy sources and their Technologies.

Knowing the added costs to mitigate, fight the environmental problems of using fossil fuel, renewable energy might be the only option for people, organizations and governments to adapt in order to reform the current economic system in accordance to the mentioned issues.

By 2014 the world was getting approximately 80% of its electricity supplies from the fossil fuels. That percentage decreased by 3.5-4% only within 3-4 year. In 2017/18 fossil fuels contributed approximately 76.5% to the global electricity supply, reflecting the rise in the global renewables' market (Energypedia, 2019).



3. Importance Of Maintenance In Economics Of Energy

Energy saving is playing a crucial role in industrial sector regarding to the reduce of energy, waste reduction and environmental management. Therefore, maintenance management is dealing with operations that are granting machines to reduce the energy usage by optimizing them in order to ensure that factory reached the desired performance.

However, by using the maintenance methods it is very important to track the maintenance operations and its results, in other words the relation between the input and the output of the operation, in terms of total contribution of plant performances and objectives. As the manufacturing system begins to use its capacity or equipment downtime in case of extending the limits beyond the limits, it will have a huge impact on quality of production, energy loss or environmental pollution can occur. Consequently, it effects negatively the operation cost, demand satisfaction or profitability.

Therefore, in order to maximize the efficiency of the energy through maintenance operations it is very important to make a proper strategy, which maximize performance and efficiency of the equipment, control rate of equipment downtime, reduce the operation cost and ensure of eco-friendly operations (Darabnia & Demichela, 2013).

4. Techniques Of Maintenance

The Maintenance techniques are based on some phases that are related to their efficiency, including preventive, break down, predictive maintenance and the risk- based towards safety maintenance. Therefore, the maintenance efficiency and cost is based on this four main phases:

5. Reactive Maintenance

Reactive maintenance refers to repairs made when the equipment has already failed. Reactive maintenance is less costly and time consuming than other methods, such as preventive maintenance in the short term, but often leads to low asset reliability and efficiency in the long run. As the equipment becomes less efficient over time, it consumes more energy to produce the same output, ie the value of the asset continues to decrease (Cousineau, 2018)

6. Break Down Maintenance

Break down maintenance phase does not take any action or efforts to maintain the equipment, as each equipment has its life cycle design. This is considered as an advantage for the short-term period because of the reduce of the maintenance cost, but at the same time shortening the life span of the equipment, new equipment after a certain period of time, its performance is going to decrease or break. Therefore, after the break of the equipment may be the cost of the maintenance will increase as frequent replacement increases too.

7. Preventive Maintenance

Preventive maintenance refers to the actions taken on a time that the aim to increase the reliability by extending the life span of the equipment. Maintenance occurs while the equipment is working but that it does not break down unexpectedly. In other word, the cost of maintenance is constantly and the equipment life-span increases too.

However, this type of maintenance has its advantages;

- Cost effective in many capital intensive processes.
- Flexibility allows for the adjustment of maintenance periodicity.
- Increased component life cycle.
- Energy savings.
- Reduced equipment or process failure. 6. Estimated 12% to 18% cost savings over reactive maintenance program.

Whereas, disadvantages are as follows;



- Catastrophic failures still likely to occur.
- Labor intensive.
- Includes performance of unneeded maintenance.
- Potential for incidental damage to components in conducting unneeded maintenance

8. Predictive Maintenance

Predictive maintenance is based on monitoring the condition and performance of the equipment during the operation with an aim to decrease the chance of any failure. The aim of this maintenance is to predict whether any equipment failure occurs by continuous monitoring schedule and corrective maintenance. Since in predictive maintenance the equipment has to be monitored continuously, this requires more investment than other types, but the cost saving and maximize of life-span will be much higher (Kumar & Suresh, 2006).

9. Energy And Maintenance Management

Effective Operation and Management (O&M) system for energy industry is one of the most cost-effective methods for ensuring reliability, safety, and energy efficiency. If the energy system is not appropriate and maintenance system is not adequate, it causes energy waste for both the private and the government sectors. Most of energy losses because of water, steam, and air leaks, uninsulated pipe lines. If improper and poor maintenance is performed, if the control is not good, energy losses increase. On the other hand, good maintenance ensures sustainable energy savings. improvement the same time, the development of the maintenance program ensures a reduction in energy costs and a reduction in costs (Sullivan et al., 2010)

It is estimated that O&M programs aiming at energy efficiency can save 5% to 20% on energy bills without significant capital investment (PECI 1999).

Scrap and reprocessing are some of the biggest culprits of energy spent in equipment-intensive plants. Errors usually occur when the equipment fails. If a product is seated during repair, it may be necessary to pull it off the line and discard or recycle the defective product. The additional operating time used to reprocess the product can increase energy consumption by up to 14%. This not only results in higher energy costs, but also reduces the value of production by spending more on labor and other resources for each reworked or scrapped unit (Cousineau, 2018).

A large preventive maintenance routine is crucial to keeping assets in the best possible way, which reduces energy use and costs. To identify and correct problems before they become larger, perform regular checks of an equipment and reduce the ability of an asset to operate effectively. It is also important to establish a preventive maintenance strategy on the data. Robust data can help plants determine the most efficient way to maintain assets and when to replace equipment with energy-efficient models (Cousineau, 2018).

10. Conclusion

The aim of this paper is to find out the importance of energy and its correlation with other key factors such as economy and maintenance. Energy consumption is increasing rapidly through the years due to the increase of demand and industrialization. As today's energy sources are not renewable, it is very crucial to come up with new techniques and methods in order to reduce or save the energy.

Energy consumption and production are two main factors that are directly having impact on economy and the human life. As the energy is commonly coming from fossil fuels it is very essential to have an strategy to save the energy properly. Therefore, maintenance management is explained as an alternative to reduce the usage of the energy by optimizing the machineries to perform efficiently, but at the same time to reduce the cost of production, which is directly linked with economic benefits.

In the other hand, as it mentioned above fossil fuel is considered as a main source of energy, which is considered as limited source since it is not renewable energy. Recently, many developed countries started to invest on the renewable energy with an aim to reduce the usage of the fossil fuels as an energy source. However, the importance of energy is revealed especially in the economy as an essential output to operate or generate an activity. Today, the need for energy is larger than ever, thus creating a surrounding on which we as humans have to seek for alternatives in order to increase the efficiency and at the same time reduce pollution.

11. References

- Darabnia, B., & Demichela, M. (2013). Maintenance an Opportunity for Energy Saving. Torino, Italy: AIDIC, The Italian Association of Chemical Engineering.
- Energypedia. (2019, Ferbruary). Energypedia. Energypedia: https://energypedia.info/wiki/The_Economics_of_Renewable_Energy adresinden alındı
- Kumar, A., & Suresh, N. (2006). Production and Operations Management. New Delhi: New Age International (P) Limited Publishers.
- Piana, V. (2004-2009). Energy. Economics Web Institute.
- Stern, D., & Cleveland, C. (2004). Energy and Economic Growth. USA: Rensselaer Polytechnic Institute.
- Sullivan, G., Pugh, R., Melendez, A. P., & Hunt, W. D. (2010). Operations & Maintenance Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 3) (No. PNNL-19634). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Cousineau, M., 2018. 5 ways to reduce energy use with good maintenance, <https://www.fixsoftware.com/blog/5-ways-to-reduce-energy-with-good-maintenance/#introenergyuse>
- PECI. 1999. Operations and Maintenance Assessments. Portland Energy Conservation, Inc. Published by U.S. Environmental Protection



RİSK TABANLI BAKIM: GÜVENİLİR TESİSLER İÇİN RİSKE DAYALI BAKIM YAKLAŞIMI

¹O. Andaç Kara

¹ADA | Kalite Danışmanlık, Mühendislik, Eğitim, Gözetim ve
Denetim Aleksander Dubçek Cad. 14/3 Çankaya / ANKARA Tel: +90 532 2600086
Web: www.adakalite.com, E-posta: akara@adakalite.com

Özet

1990'ların sonlarından bu yana, endüstrideki bakım yaklaşımları dünya çapında kuralcı / zamana dayalı yaklaşımlardan riske dayalı karar verme süreçlerine doğru evrilmektedir. Bu eğilim, verimli üretim zamanını artırmak amacıyla zaman kayıplarına yol açabilecek plansız duruş sürelerini azaltmak arayışından doğmuştur. Tesis güvenliği ve güvenilirliğinin sağlanması için uygulanacak bakım stratejisinin aynı zamanda işletmenin finansal ve kurumsal hedefleri doğrultusunda performans beklentilerini de göz önünde bulundurması gereklidir.

Genel anlamda, eğer bir şirket basit bir kuralcı bakım / denetim yaklaşımı uygulamak isterse, karar alma sürecinde kesin olarak muhafazakâr kriterler uygulamak zorundadır. Aksine risk tabanlı bir yaklaşım, iş ve çalışma güvenliğini feda etmeyen, performansa ve üretkenliğe dayalı bir işletme / bakım uygulaması için ayrıntılı ve çok disiplinli bir dizi mühendislik analizini kullanır.

Risk Tabanlı Bakım (RBM); geleneksel bakım yöntemleriyle Risk Tabanlı Kontrol (RBI) yöntemlerinin avantajlarını bir araya getiren ve mekanik bütünlüğe odaklanan bir bakım stratejisidir. Bildirimizin amacı, riske dayalı bakım yaklaşımının uygulama esaslarını tartışmak ve sağlayabileceği avantajları kuruluşların değerlendirmesine sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Bakım, risk, mekanik bütünlük, güvenilirlik, strateji, analiz, performans

1. Giriş

Risk Tabanlı Bakım (RBM) yaklaşımı, herhangi bir arıza riskini en aza indirmek amacıyla ile bakım kaynaklarının en ekonomik kullanımını sağlar. Daha büyük risk taşıyan ve arızalanması halinde tesisin üretimine etkisi daha büyük olan varlıklar daha fazla korunur ve izlenirken, daha düşük risk taşıyan varlıklar daha az bakım izlemesine tabi tutulur. Bu sayede tesisin güvenliği sağlanır, eme-amadeli ve performans maksimize edilir. Finansal etkiler ölçülerek “Kullan-Tamir Et-Yeniden Değerle-Devreden Çıkar” kararının alınması sağlanır. Fazla bakım maliyetleri ortadan kaldırılarak bakım bütçesi optimize edilebilir.



Risk Tabanlı Bakım, her bir ekipman için en doğru ve uygun bakım rejimini belirlemek için somut veri ve delilleri kullanır. Böylece sadece gerçekten gerektiğinde bakım yapılması sağlanır. Aynı şekilde, gerçekten zorunlu olmadan ekipmanın hizmetten çekilmesini de engellemektedir.

Risk tabanlı bakım, bakım mühendislerinin doğru bakım rejimini belirlemek için bilgiye dayalı kararlar almalarını sağlar. Bunlara riski göz önünde bulunduran (risk tabanlı) kararlar diyoruz. Bir riskin ortaya çıkmadan verdiği işaretileri analiz eden, ölçen, hakkında bilgi toplayan ve bunların sonuçlarına göre alınan kararlara risk tabanlı kararlar denilebilir.

Risk Tabanlı Bakım stratejisinin temeli, belirlenmiş risklere dayalı kestirimci bakım uygulayarak güvenilirliği merkeze alan bir bakım yaklaşımı geliştirmektir. Burada bahsedilen risk analizleri dizayn aşamasından itibaren uygulanabilmekte, öncelikleri sistematik bir kritiklik sıralamasıyla ele almakta ve her bir ekipmana özgü kontrol ve bakım planları uygulanmasını hedeflemektedir. İki farklı tesisteki birebir aynı iki ekipmanın bakım planları farklı olabilmekte ve özgün bakım aktiviteleri içerebilmektedir.

Son yıllarda pek çok bakım yaklaşımı ortaya atılmakta, yeni terimler kulağımıza çalınmaktadır. Bununla beraber, doğru yaklaşımı benimsemek ve uygulamak için alternatifler içinden seçim yapmak gereklidir. Bakım stratejisi seçim yöntemleri üzerine detaylı metodolojik çalışmalar ülkemizde ve dünyada yapılmaya devam etmektedir.

2. Genel Konseptler ve Teori

Bakım stratejisi, arızanın olma olasılığının azaltılması veya ortadan kaldırılması için alınan kararlar, kullanılan kaynaklar ve yapılan aktivitelerin bütünüdür. Bu sebeple her tesisin bakım stratejisi o tesisin yetenek ve kaynaklarına dayalı ve özgün olmak durumundadır. Genel kanının aksine, bakım yönetiminde tüm soruların cevabı olacak tek bir stratejik yaklaşım yoktur. Bunun yerine, her bir ekipmanın ayrı ayrı ele alındığı çeşitli bakım stratejilerinin birlikte uygulanması ihtiyacı söz konusudur.

Bakım stratejisi seçimine öncelikle tesisin özgün ihtiyaçlarının belirlenerek başlanması gereklidir. Karar vericilerin yatırım ve toplam bakım bütçesini belirleyebilmek için sağlıklı ve anlaşılır teknik veriye ihtiyacı vardır. Bu adım, en yüksek bakım / tamir maliyeti olan ekipmanları ve arıza halinde üretim üzerinde en büyük etkiyi yapacak bileşenleri doğal üye olarak listeye eklemektedir. Bu ekipmanlar hakkında bilinmesi gerekenler;

- Ekipmanın cinsi
- Bir ekipmanın değiştirilme maliyeti /süresi
- Beklenmeyen bir duruşun (arıza) maliyeti /süresi
- Tesisin bakım uygulamalarındaki tecrübe seviyesi ve eğitim ihtiyaçları
- Toplam bakım bütçesi

Tablo-1: Bakım Yönetim Stratejilerinin Karşılaştırılması

STRATEJİ	ÖZET	KURULUM MALİYETİ	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
ARIZA BAKIMI	Bozulunca Tamir Et!	En Düşük	Kritik Olmayan Ekipman İçin İdeal	Gizli Bakım Maliyetleri
ÖNLEYİCİ BAKIM	Planlı Bakım Yap Ki Bozulmasın!	Düşük	Tecrübe Olmaksızın Kurulması En Kolay Sistem	Gereksiz Bakım Aktiviteleri ve Olası Bakım Sonrası Arıza
KESTİRİMCİ BAKIM	Bozulacağı Zamanı Tahmin Et ve Zamanında Bakım Yap!	Orta-Yüksek	Zamanında ve Veriye Dayalı Bakım. Arıza Sebepleri Daha Kolay Belirlenir	İleri Teknolojik Sistemler ve Yüksek Kurulum Maliyetleri
RİSK TABANLI BAKIM	Kritik Ekipmanı Doğru Analiz Et ve Özgün Bakım Yap!	Yüksek	Doğru Biçimde Uygulanırsa En Etkili Bakım Yönetim Stratejisi	Zaman, Tecrübe ve Finansal Kaynakların Etkin Kullanımını Gerektirir.

Bakım ekibinin ihtiyaç duyacağı bilgiler ise biraz daha detaylı olacaktır.

- Ekipmanın çalışma ortamı ve fonksiyonu
- Fonksiyonel arızalar
- Arıza (Hasar) tipleri
- Arıza (Hasar) etkileri
- Arıza (Hasar) sonuçları

- Her bir arızanın nasıl önlenilebileceği veya ortadan kaldırılabileceği
- Arıza ve bakım geçmişi

Yukarıdaki bilgiler ışığında bakım (güvenilirlik) yönetimi, her bir ekipman için aşağıdaki yöntemlerden birini veya bunların uygun bir kombinasyonunu seçmelidir.

3. Risk ve Risk Analizi Kavramları

3.1 Risk

Belirlenmiş bir süre boyunca meydana gelen bazı olayların olasılığının ve olayla ilgili sonuçların (olayın etkilerinin) birleşimidir. Matematiksel olarak risk (1) denklemiyle hesaplanabilir:

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Etki (Sonuç)} \quad (1)$$

3.2 Olasılık (Hata Olasılığı)

Bir olayın söz konusu zaman çerçevesi içerisinde gerçekleşmesi olasılığıdır. Uzun vadeli bir göreceli ortaya çıkma sıklığıyla veya bir olayın meydana geleceğine dair bir inanç derecesi ile tanımlanabilir. Riski açıklamada olasılık yerine frekans kullanılır. Olasılığa ilişkin derecelendirme “nadir / düşük / orta / muhtemel / neredeyse kesin” gibi bir tanımlamayla yapılabilir.

3.3. Etki (Sonuçlar)

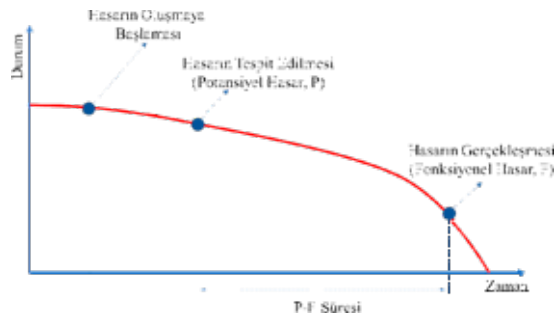
Bir olayın sonucu veya yarattığı etki olarak tanımlanabilir. Bir olayın bir veya daha fazla sonucu olabilir. Sonuçlar pozitif ile negatif arasında değişebilir. Ancak, sonuçlar güvenlik ve güvenilirlik açısından her zaman olumsuzdur. Sonuçlar niteliksel veya niceliksel olarak ifade edilebilir. Tanklarda ortaya çıkabilecek hataların etkileri finansal, ürün kaybı, çevresel zararların maliyeti ve bileşende oluşan hasar göz önünde bulundurularak hesaplanır. Yangın, personel yaralanması, toksik malzemelere maruz kalma veya bunların çevresel etkileri ayrıca yapılacak çalışmalarla değerlendirilmelidir.

3.4 Risk Analizi

Riski öngörmek ve risk kaynaklarını tanımlamak için bilgilerin sistematik kullanımınıdır. Risk analizi, risk değerlendirmesi, risk azaltma ve risk kabulü için temel oluşturur. Bilgi, tarihsel verileri, teorik analizleri, bilgilendirilmiş görüşleri ve paydaşların endişelerini içerebilir. Tanklarda riskler, zamanın bir fonksiyonu olarak hata olasılığı ve hata etkileri ile hesaplanır. Farklı ekipmanlar veya ekipmanın farklı bileşenlerinin riski bir risk matrisinde gösterilebilir. Sonuç olarak Etkilenen Alanın Büyüklüğüne Dayalı Risk (Area-Based Risk) ve Finansal Etkinin Büyüklüğüne Dayalı Risk (Financial-Based Risk) hesaplanabilir. [7]

3.5 P-F Eğrisi

Hesaplanan riskin belirli bir süre sonunda kabul edilebilir risk seviyesini aşması ve arızanın gerçekleşmesi durumu P-F Eğrisiyle tarif edilir. Bir risk (Potansiyel Arıza) gerçekleşmeden önce (Fonksiyonel Arıza) tankın hesaplanmış en yüksek hasar faktörlerine sahip hasar mekanizmalarına dayalı olarak kontrol edilmesi gereklidir. Her ne kadar yapılan kontrolle tanktaki mevcut riskin azaltılması gerekmesede hasarın durumu hakkında bilgi vereceği için belirsizliği azaltacaktır.



Şekil-1: P-F Eğrisi

3.6 Güvenilirlik

Güvenilirlik, bir bileşenin veya sistemin belirli bir işlevi belirli koşullar altında ve sınırlı bir zaman dilimi içinde yerine getirme yeteneğinin tarifidir. Güvenilirlik, ortalama ömür, arızaların olasılığı veya sıklığı, vb. gibi farklı yol-



larla tanımlanabilir. Güvenilirlik analizi, teknik bir sistemin güvenilirliğini analiz etmek için bilgilerin sistematik biçimde kullanımınıdır. Karar vericiye teknik sistemin güvenilirliğini korumak için gerekli önlemlerin ve aktivitelerin nasıl ele alınacağını anlaması için bilgi sağlar.

Tablo 2: Güvenilirlik Analizinin Aşamaları [2]

Planlama	<i>Hedefler Sistem Tanımı Zaman Planlaması İş Süreçlerinin Organizasyonu</i>
Uygulama	<i>Sistem ve Operasyon Tanımları Sistemsel Arızaların (Başarısızlık) Tanımlanması Kabul ve Öngörüler Kök Neden Analizleri Veri Toplama ve Analizi Sonuçların Analizi</i>
Kullanım	<i>Güvenilirlik Değerlendirmesi Kararlar</i>

Güvenilirlik analiz sürecinin ana adımları planlama, uygulama ve kullanımdan oluşmaktadır. Detay süreci açıkça Tablo 2[3]'de sunulmuştur.

Planlama aşamasında, hedeflerin yanısıra analiz sistemi ve sınırları tanımlanmalı, aktiviteler iyi planlanmalı ve çalışma grubu iyi organize edilmelidir.

Uygulama aşamasında sistemin operasyonel kapsamı çok iyi tanımlanmalıdır. Bu sayededir ki, arıza (başarısızlık) koşulları belirlenen model üzerinden analiz edilebilir. Analiz sonuçları kabul kriterleri ile karşılaştırılarak sunulmalıdır. Analiz sürecinde veri ve bilgi kaynakları doğru yönetilmeli, ancak eksik veri veya bilgiyle analize başlamak yerine gerektiğinde kabuller ve tecrübeye dayalı öngörüler kullanılmalıdır.

Güvenilirliğin Analizi, sistemin güvenilirliğini artırmak veya sürdürmek için olası alternatifleri, değişiklikleri ve çözümleri tasarlamak için kullanılmalıdır. Nihayetinde güvenilirlik analizi, karar vericilerin anlayacağı ölçülerle (genellikle parasal

Güvenilirliğin Analizi, sistemin güvenilirliğini artırmak veya sürdürmek için olası alternatifleri, değişiklikleri ve çözümleri tasarlamak için kullanılmalıdır. Nihayetinde güvenilirlik analizi, karar vericilerin anlayacağı ölçülerle (genellikle parasal birimler) maliyet etkin ve performans odaklı veriler sunarak karar verme sürecine destek olmayı amaçlar.

Güvenilirlik Analizi ve Risk Analizi, işleyiş biçimleri açısından benzer ve birbirinden beslenen süreçlerdir. Her şeyden önce, her iki süreç de sistem başarısızlıklarının analizi ve sebeplerinin bulunması için benzer planlama ve yürütme süreçleri içerir. Buna ilave olarak, yaygın olarak kullanılan güvenilirlik analiz metotları, risk analizinin ana metotları olan FTA, FMEA ve ETA'dır. Dahası, Güvenilirlik, başarısızlığın olasılığı veya sıklığı olarak tarif edilebilir ki bu Risk tanımıyla aynıdır. Bunun doğal sonucu olarak güvenilirlik analizi ve risk analizi tek bir proses halinde entegre edilebilir. Bu entegrasyon Risk Tabanlı Bakım yaklaşımının dayanağı ve başarısının da sebebidir.

4. Risk Tabanlı Bakım

Bakım programları, şirketlerin hedeflerine ve gereksinimlerine ulaşmak için işlettikleri tesislerin teknik durumuna göre tasarlanır, programlanır ve yürütülür. Günümüzde bakım yaklaşımı, periyodik (önleyici) bakımdan evrilerek risk tabanlı bakım uygulamalarına kaymıştır. Bakım yönetiminde riske dayalı bir yaklaşım uygulanarak, tehlikeler iyi tanımlanabilir, risklere öncelik verilebilir ve daha sonra kaynaklar en kritik alana iyi tahsis edilebilir. Bakım aktiviteleri, fazla maliyete neden olmadan riski azaltmak için bilimsel olarak planlanabilir ve zamanlanabilir.

Risk Tabanlı Bakım; geleneksel bakım yöntemleriyle Risk Tabanlı Kontrol (RBI) yöntemlerinin avantajlarını bir araya getiren ve mekanik bütünlüğe odaklanan bir bakım stratejisidir.

Risk Tabanlı Bakım'ın temel amacı, tesislerin genel riskini azaltmaktır. En önemli alanlara ve başarı için kritik olan etkenlere öncelik vermeye odaklanır ve daha sonra başarısızlık ve bütçe kısıtlama önceliği doğrultusunda kaynakları ve zamanlama bakım aktivitelerini planlamaya yardımcı olur.



Şekil-1: Risk Tabanlı Bakım Sisteminin Yapısı

Risk Tabanlı Bakım sürecinin birincil çıktısı, bir ekipman ve sistemdeki riskleri yönetmek için alternatifleri ve çözümleri ele alan denetim ve bakım planıdır. Bu plan, riskleri emniyet / sağlık / çevre perspektifinden ve / veya ekonomik açıdan vurgulamaktadır. Bu planlarda, risk azaltma için uygun maliyetli eylemler ve sonuçta ortaya çıkan kalıntı risk (kabul edilebilir risk) düzeyi tarif edilir.

Risk Tabanlı Bakım, diğer diğer organizasyonel risk analiz metotlarında tarif edilmemiş mekanik bütünlük risklerini tanımlayan RBI yaklaşımının sistematik bir arıza analizi aracı olarak kullanılabilirliğini de içerir. Bu sayede prosesin güvenilirliği maksimize edilebilir.

Bu tamamlayıcı özelliği sayesinde RBI, pek çok sektörde tesislerin gerek kestirimci bakım uygulamalarında gerekse güvenilirlik tabanlı bakım uygulamalarında veri toplama, arıza (hasar mekanizması) etkilerinin analizi, risk önceliklendirme, planlama ve bakım adımlarında etkin olarak kullanılmaktadır.

Risk Tabanlı Bakım uygulamalarının standardizasyonu için çeşitli çalışmalar 2000'li yılların başlarında meyvelerini vermeye başlamıştır. API 580 [6], ASME CRTD-Vol.41 [4], CEN CWA 15740:2008 [5] RIMAP gibi standartlar veya kılavuz dokümanlar bunların arasında sayılabilir. Biz bu bildiriye RIMAP yaklaşımını temel almakla birlikte özellikle ön eleme analizinde daha performans odaklı bir yaklaşım sürdüreceğiz.

4.1 Program Başlangıcı ve Planlama

Risk Tabanlı Bakım metodolojisi, endüstriyel ekipmanların yaşam döngüleri boyunca yönetilirken sağduyu (iyi mühendislik uygulamaları veya endüstriyel referans standartları gibi) ve verilere dayalı kararlar verilmesine dayanır. Karmaşık, ileri teknoloji ve yaşlanan ekipmanlar işleten sektörlerde, güvenli, verimli ve etkili operasyonların devam edebilmesi için bilimsel kararlara dayalı bir bakım stratejisi oluşturmak kritik önem taşımaktadır.

Kimi tesisler, risk tabanlı bakım programlarını kurduktan sonra optimize edilmiş bakım maliyetleri, azaltılmış riskler gibi kazanımlarla başarılı ve tatminkâr sonuçlara ulaşabilmektedir. Bazı işletmelerse yüksek maliyetlerle



karşı karşıya kalkmakta ve ekipman performansında veya emre amadelikte kayda değer bir iyileştirme sağlayamamaktadır.

Bilgi ve tecrübe eksikliğinden dolayı risk tabanlı bakım çoğunlukla yanlış anlaşılmakta ve uygulanmaktadır. Bu durumu yaratan en büyük etken, program başlangıcında yanlış soruların sorulmasıdır.

Kuruluş, risk tabanlı bakım uygulamaya karar verdikten sonra yönetimin desteği ve liderliğinde programın etkinliğini sağlayacak altyapıyı kurmalıdır. Etkin bir bakım yönetimi için;

- Kuruluşun hedefleri doğrultusunda bakım yönetimi programının hedefleri tanımlanmalıdır.
- Dikkate alınacak sistem veya alt-sistemler tanımlanmalı, işletme kapsamı, sistemin planlanan ömrü, istenmeyen ve istisnai durumlar belirlenmelidir.
- Kullanılacak veri kaynakları tanımlanmalıdır.
- Kuruluş içi düzenlemeler (prosedür, görevlendirme, fiziki şartlar, ekipman kayıtları ve varlıkların hiyerarşik sınıflandırılması gibi) planlanmalıdır
- Çok-Disiplinli RTB Ekibi kurulmalıdır
- Yazılım dahil olmak üzere kullanılacak veri kaynakları, veri işleme yöntemleri ve araçlar belirlenmelidir.
- Metodolojinin ve hedeflerin yönetim ve diğer taraflar (yasal otoriteler, müşteriler...) tarafından kabul edilmesi garanti altına alınmalıdır.

Program planlanırken, tesis yönetimi, programın hedeflerini anlamalı ve desteklemelidir. Hedef belirlerken göz önünde tutulacak başlıca iş sağlığı, iş güvenliği, çevresel etki ve performans etkileridir. Her tesisin kazanımlarını, ekip üyelerini, hangi ekipmanların ele alınacağını, maliyet iyileştirmelerini ve bütçeyi de tarif eden program hedeflerini oluşturabilmesi gereklidir. Sanayi uygulamalarıyla ulaşılan çeşitli hedefler örnek olabilmesi amacıyla aşağıda listelenmiştir.

- Birim üretime yansıyan bakım maliyetini %20 azaltmak
- Bakımdan kaynaklanan duruşları %50 azaltmak
- Yedek parça stok maliyetini %20 düşürmek
- Birim üretime yansıyan bakım işçiliği maliyetlerini %30 azaltmak
- Kaydedilebilir kazaları %50 azaltmak
- Plan dışı duruşları %85 azaltmak
- Çevreye verilen hasarı ve çevresel etki maliyetlerini sıfırlamak
- Çalışanların beceri seviyelerini iyileştirmek
- Güvenilir ekipman bakım, onarım ve değiştirme kayıtları oluşturmak
- Yönetimin ve işgücünün, karmaşa içinde hayatta kalmak yerine proaktif ortamda çalışmayı öğrenirken moralini yükseltmek

Program tasarımından ve hedeflerden de anlaşılacağı gibi, RTB, her tesisin özgün ihtiyaçları ve tesis yönetiminin yaklaşımıyla doğru orantılı olacak şekilde kurulması ve işletilmesi gereklidir.

4.1.1. Karar Verme Mekanizmasının Kurulması

Karar verme mekanizması da her tesise özgü olarak ayrıca oluşturulmalıdır. Prosesin ilk girdisi, kuruluşun hedefleridir. Bunun yanı sıra, belirlenmiş bakım stratejisi, sistemler ve sınırları, fonksiyonlar, olasılıklar, etkiler, yüksek riskli ekipmanlar gibi birçok girdiyi sürekli ve döngüsel olarak içermelidir.

RTB Takımı, karar verme mekanizmasını işletecek olan yapıdır. Bu yapının çalışma kuralları, “RTB Planı” ile belirlenir ve kayıt altına alınır. RTB planı, RTB analizi ve süreci tarafından belirlenen risk seviyesinin azaltılmasını sağlamak için yürütme stratejisi düzeyindeki tüm ilgili detayları içermelidir. Plan uygulanmadan önce üst yönetime tüm finansal etkileri tanımlanmış biçimde sunulmalı onaylanmalıdır.

RTB Takımı, süreci baştan sonra kadar uygulayacak ve sürdürecektir ana organ görevi göreceği için üyeleri belirli niteliklere sahip olmalıdır.

- Yerel yönetmeliklere / mevzuata bağlı olarak, risk seviyeleri, yetkilendirmeler, uygunsuzlukların yasal sonuçları ve denetim uzmanlığı hakkında yeterli bilgi.
- Bakım yapılabilir sistem ve/veya ekipmanlar hakkında nitelikli bilgi ve tesisle (deneyim, ekipman veya bileşen) ilgili deneyimler. Genel olarak, güvenilirlik mühendisliği uygulaması veya tesisin işletme ve bakımı ile ilgili birkaç yıl aşinalık bilgisi

RTB Takımı, çalışmalarını süresince gerekli olabilecek tüm bilgilere ulaşabilmeli ve yaptığı çalışmaların ölçülebilir sonuçlarını şeffaf olarak kuruluş hiyerarşisi içinde çeşitli detaylarda paylaşmalıdır. Bu şeffaflık, hem kuruluş içi denetim sistemlerinin işletilebilmesini, hem de kazanımların yapıcı etkisinden faydalanılmasını sağlayacaktır.

4.1.2 Sistem Seçimi

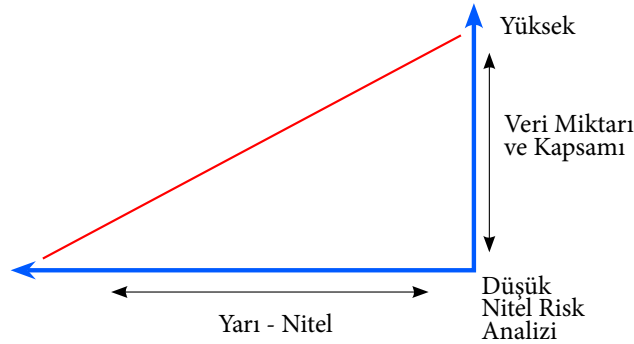
İlk analiz, RTB Takımının odaklanacağı sistem veya alt sistemin seçilmesidir. Tesisin kullanım ömrü boyunca henüz emekleme veya yaşlanma döneminde olan bir sistem veya alt sistem seçimi, daha fazla arıza riski taşıması, bakım yönetiminin optimize edilebilirliği ve İSG gereklerinden ödün vermeden maliyet tasarrufu açısından daha anlamlı bir seçenektir olacaktır.

Tanımlama ve etiketleme sistemi bakım yönetiminin temeli olduğu için, seçilen teknik sistemin bileşenleri ve alt bileşenleri teknik veya fonksiyonel hiyerarşi içinde tanımlanmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Sistemin ana fonksiyonları, alt fonksiyonları ve elemanları hiyerarşisi içinde fonksiyonel bir etiketleme daha sonra arızalar ve birbirleriyle ilişkilerinin değerlendirilmesi açısından kolaylık sağlayacaktır. Burada NORSOK Standartlarından faydalanılabilir [8].

4.2. Veri Toplama Ve Değerlendirme

Analiz sürecinin başarısını etkileyen en önemli faktör, kullanılacak bilgi ve verinin miktarı, detayı ve kesinliğidir. Veri kalitesi ve detayı, uygulanacak risk analiz yaklaşımına bağlıdır. Nicel (Kantitatif) veya Nitel (Kalitatif) bir yaklaşım belirlenebilir. Nicelden nitele doğru gidildikçe kullanılan veri miktarı ve bunun toplanması için gereken zaman azalırken toplanan verinin kalitesinden taviz verilebilir.

Veri ve bilgilerin toplanması ve düzenlenmesi, her türlü risk bazlı analiz için zorunlu ön şarttır. Bu verilerin çoğu muhtemelen tasarım, işletme ve arıza bilgileriyle ilgilidir. Veriler, çeşitli analiz yöntemleriyle bir başarısızlık senaryosunun olasılığını ve sonucunu (ve dolayısıyla riskini) değerlendirmek için kullanılır.



Şekil-2: Veri Toplama ve Risk Analizi Yaklaşımı [7]

Risk bazlı analiz için bilgi kuruluşun mevcut kaynaklarından veya çeşitli dış kaynaklardan edinilebilir. Bununla birlikte, verilerin kalitesi büyük ölçüde olaya bağlı olabilir. Verilerin yetersiz veya kalitesiz olduğu durumlarda, risk değerlendirmesiyle ilgili belirsizlik daha büyük olacaktır.

Veri kaynakları ana başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır:

- Tesisin tasarımı, operasyon limitleri, inşaatı ve devreye alınmasıyla ilgili teknik veriler.
- Muayene ve bakım geçmiş (hata analizi dahil)
- Önceki mühendislik ve hata analizlerinin yanı sıra diğer metotlarla elde edilen veriler ve sonuçlar (ör. RCM, QRA, PHA ve HAZOP)
- Operasyon sürelerini, operasyon ve dizayn şartlarının dışına çıkılan geçici durumları, tripleri, diğer kapanma durumlarını, planlı veya plansız duruşları ve farklı çalışma aşamalarındaki yük seviyelerini tanımlamak için sistem veya alt sistemin operasyonel geçmişi.
- Her parça ve sınıf için tesis ile ilgili maliyet bilgisi, ayrıca geçmiş üretim kayıpları, yasal cezalar vb
- Analiz için çok önemli bir bilgi kaynağı olabilen, tipik olarak personel bilgisi ve görüşü olarak var olan ilgili kayıt dışı veri.

Veri toplama ve değerlendirmenin hedefi, ham teknik verilerden yola çıkarak ilgili sistem veya alt sistemlerin arıza olasılıkları ve arıza sonuçları, dolayısıyla risklerin hesaplanması için gerekli veri tabanını oluşturmaktır. Ancak unutulmamalıdır ki, riske dayalı yaklaşımların ortak kısıtı, yanlış verilerin yanlış sonuçlar doğurabilmesidir. Toplanan ham veriler bu sebeple gözden geçirilerek doğrulanmalı, yapılacak analizle alakalı ve temsili veriler olduğundan emin olunmalıdır.

Sürece tesis yönetiminin destek ve katılımı, toplanan veri miktarına ve kalitesine ciddi katkılar sağladığı pek çok uygulamada görülmüştür. Unutulmaması gereken, bütün bu çalışma, tesis yönetiminin varlıklarının işletilmesi ve geleceği hakkında karar vermelerine yardımcı olmak için yapılmaktadır.

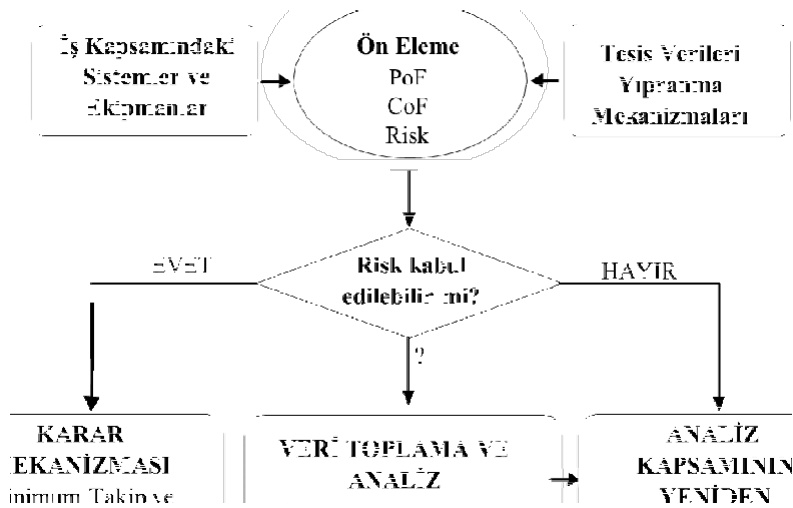
4.3. Ön Eleme ve Risk Analizi

RIMAP yaklaşımına göre risk analizi aşağıdaki adımlardan oluşur [5]:

- Hasarları belirlemek
- İlgili hasar mekanizmalarını ve arıza modlarını tanımlamak
- Arıza olasılığını belirlemek (PoF)
- Başarısızlığın sonucunu belirlemek (CoF)
- Riski belirlemek ve ekipmanı sınıflandırmak

Çok katmanlı risk analizi, risk değerlendirmesini analizin karmaşıklığı (örneğin sadeleştirilmiş / eleme analizinden detaylıya kadar), ve tesis hiyerarşi seviyesi (derinlik) açısından tanımlar. Ancak, analizin her adımı için ön eleme (screening) ve detaylı analiz için istenilen girdiler neredeyse aynıdır. Temel olarak tüm ekipmanlar analize dahil edilir ve iki ana grupta sınıflandırılırlar. Yüksek riskli grupta sınıflandırılan ekipmanlarla ilgili detaylı analiz aşamasına geçilir. Orta riskli gruptaki ekipmanlar için ayrıca eleme daha yapılarak minimum takip ve kontrol veya detaylı analiz arasında karar verilecek ikinci bir karar mekanizması iletilir. Düşük riskli olarak sınıflandırılan ekipmanlar için doğrudan minimum takip ve kontrol kararı verilmektedir.

RIMAP [5] yaklaşımında, analizin katmanları arasında yapısal bir fark olmamakla beraber, başlamak için gereken bilgi ve veri seviyesi de azımsanamayacak kadar fazladır. Her şeyden önce, analiz çalışmasına başlamadan hasarların, hasar mekanizmaları ve arıza modlarının, arıza ve etki olasılıklarının hesaplanmış olması veya henüz ön eleme aşamasında tüm detaylarıyla hesaplanmasını gerektirir. RIMAP yaklaşımı, detaylı analiz için son derece etkin ve verimli olarak değerlendirilse de ön eleme aşamasında yavaş ilerleyen bir süreç tanımlamaktadır.



Şekil-2: RIMAP Yaklaşımında Ön Eleme için İş Akışı [5]

RIMAP Yaklaşımında Çok Katmanlı Veri Analizi [5] hakkında daha fazla bilgiye adı geçen dokümandan ulaşılabilir. Bu bildiri de amacımız, alternatif olarak Kritiklik Analizinin uygulanması ve çok katmanlı analizin ön eleme katmanıyla kıyaslandığında çok daha hızlı, basit ve ekonomik olmasını sağlamaktır.

4.3.1 Kritiklik Analizi

Kritiklik Analizi [2] veya Ön Eleme, çok ve çeşitli ekipmanlar arasından tesisin genel güvenilirliğine etkisi yük-

sek olanlarla, orta seviyede veya daha düşük olanlar arasında bir önceliklendirme yapmayı amaçlar [5]. Bununla birlikte, RIMAP yaklaşımından daha geniş düşünülürse Kritiklik Analizi, tesis ekipmanlarını iş önceliklendirme, malzeme sınıflandırma, bakım yönetimini geliştirme ve güvenilirlik geliştirme amacıyla sistematik olarak sıralamak, ekipman arızalarının organizasyonel performansı nasıl etkilediğini değerlendirmek için kullanılan bir araçtır. Kritiklik analiziyle belirlenecek olan, RTB Takımının her bir ekipmanın neden kritik olduğuna karar vermesini sağlayacak karakteristiklerini tanımlamasıdır. Bunun aracı, güvenilirlik anlayışının geliştirilmesi sürecinin algılar yerine ölçülebilir risklere dayalı olarak ilerlemesidir. Bu karakteristiklerin tanımlaması için ilgili ekipmanın üretim hacmine etkisi, bakım maliyeti, emre-amadelik faktörü ve çalışma ortamının güvenliğine etkisi gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır.

Kritiklik analizi süreci iki aşamada gerçekleştirilmelidir. İlk aşama, Operasyon, Bakım, Mühendislik, Malzeme Yönetimi ve SEÇ temsilcilerinden çapraz fonksiyonel girdi sağlamasını (cross-functional input) gerektiren ön analizdir. Sürecin sahiplenilmesini sağlamak ve algıların üstesinden gelmek için çapraz fonksiyonel analiz neredeyse zorunludur. İkinci aşama ise her zaman döngüsel, yani riskin ne zaman azaldığını ve her bir varlığın önemini değiştirdiğini belirlemek için kritiklik analiz sürecinin varlık veya tesis yaşam döngüsü süresince sürdürülmesi ve yeniden değerlendirilmesi gerekir. Kritiklik analizinde bakım planlanacak her bir ekipman için hangi karakteristiklerin seçileceğine karar verilmesi gereklidir. Örnek vermek gerekirse, listenin doğal üyeleri;

- Tesisin Fonksiyonel Görevine Etkisi
- Müşterilere Etkisi
- SEÇ Etkisi
- Tek Hata Noktası Direnci
- Önleyici Bakım Geçmişi

Uygulanan kritiklik analizinin etkinliğini sağlamak için tesis, sistem ve proses içinde birbirleriyle etkileşimlerine dayalı fonksiyonel ekipman hiyerarşisi (functional asset hierarchy) yaklaşımının takip edilmesi gereklidir. Örnek bir kritiklik analizinde hesaplamalar ham skor ve ağırlıklarına göre arındırılmış Kritiklik Değeri olarak karşımıza çıkmaktadır [2]. Hesaplamalara dayanak olacak skor tespiti, seçilen sistem, alt sistem veya ekipmanın karakteristik özelliklerini yansıtacak şekilde olmalıdır.

Tablo-3: Örnek Kritiklik Analizi

ID	Tip	Fonksiyon Tanımı	Misyon Etkisi	Müşteri Etkisi	İş Güvenliği Etkisi	Çevre Etkisi	Yasal Etkiler	Tek Hata Noktası Direnci	Önleyici Bakım Geçmişi	Arıza Geçmişi	Güvenilirlik	Yedek Parça Temin Süreleri	Değiştirme Maliyeti	Planlanan Emre-Amadelik	Ham Skor	Kritiklik Değeri
		100-01-3277561510210590,496SeviyeGöstergesi														
		Tank içi ürün seviyesinin ölçümü ve takibi														
		önlenmesi 100-01.Serbest Nefeslik3286235103610630,53														
		Vakum ve basınç için hava kanalı														
		100-01-Sıcaklık68536341021063Göstergesi0,53														
		Tank içi ürün sıcaklığının ölçümü ve takibi														
		100-01-DonanmaSac41087432108810780,68														
		Depolama fonksiyonunun sürdürülmesi														

Kritiklik Analizinde kullanılacak parametreler (kabul kriterleri) RTB Takımı tarafından program başlangıcı ve hazırlık aşamasında belirlenmeli ve yönetimin onayına sunulmalıdır. Güvenilirlik gibi yaşam döngüsünü ilgilendiren ve Değiştirme Maliyeti gibi finansal analizler yönetimin kriterlerine göre belirlenmelidir.

Kritiklik Analizinin çıktısı, programın amaçları, iş sağlığı, iş güvenliği, çevresel etki, performans ve maliyetlere etkisi doğrultusunda seçilmiş ekipmanların ve kritikliklerine göre sıralanmış listesidir. Odaklanılacak ekipman ve/veya bileşenler, bu listedeki yerlerine ve etkilerine göre seçilir. Seçilen ekipmanların Operasyon Limitlerinin (In-



tegrity Operating Windows) ele alınmasıyla analiz süreci başlar. Burada bahsedilen operasyon limitleri, bir ekipmanın emniyetli olarak çalışabileceği sınırları tarif eder. Diğer bir deyişle, bir proses ekipmanının yapısal bütünlüğünü ve güvenilirliğini etkileyebilecek farklı parametreleri belirlemek için kullanılan limitler bütünüdür.

Düzenli kontrol edilmediğinde, ekipman yapısal bütünlüğünü etkileyebilecek (hem fiziksel hem de kimyasal) proses parametreleri için operasyon limitleri oluşturulmalıdır. Bu parametreler sıcaklıklar, basınçlar, akışkan hızları, pH, akış hızları, kimyasal veya su enjeksiyon hızları, aşındırıcı bileşenlerin seviyeleri, kimyasal bileşim vb. olabilir. Operasyon limitleri için temel süreç parametreleri tanımlanmalı ve uygulanmalı, gerektiğinde üst ve alt sınırlar belirlenmeli ve bu sınırlardan sapmalar muayene / mühendislik personelinin dikkatine sunulmalıdır.

4.3.2. Hasar Tipleri ve Mekanizmaları

Seçilen her bir ekipman için ilgili yıpranma ve hasar mekanizmaları tanımlanmalı ve hasarın kapsamı tahmin edilmelidir. Ayrıca, en olası hasar gelişimi belirlenmelidir. Bu bilgilere dayanarak, bir sonraki muayene / bakım aktivitesine kadar olan maksimum zaman aralığı, sağlık, güvenlik ve çevresel risklerin kabul edilebilir kalması koşuluyla (kabul kriterlerinde tanımlandığı şekilde) belirlenmelidir. Bu daha sonra kabul kriterlerinin karşılanabileceği uygun maliyet / bakım aralıkları elde etmek için kontrol / bakım maliyeti ve kontrol / bakım etkinliği ile birleştirilmelidir [5].

Tablo-4: Örnek Hasar Kütüğü

SİSTEM	Ham Petrol Stabilizasyonu	
ALT SİSTEM	Ham Petrol Depolaması (Ham Petrol Tankları, Borulama, Vana, Pompa, Elektrik ve Enstrümantasyon)	
FONKSİYON	4000 m3 ham petrolün atmosfer basıncı altında, 50°C sıcaklığa kadar depolanması, oluşan gazların flare hattına tahliyesi, üretim hattının ihtiyacı olan ham petrolün sağlanması.	
HASAR GRUBU	HASAR TİPİ	HASAR MEKANİZMASI
MALZEMEYLE İLGİLİ HASARLAR	I. Korozyon/Aşınma/Diğer Çevresel Hasarlar:	
	I.A Yüzeysel hacimsel malzeme kaybı	I.A1 Genel korozyon, oksidasyon, aşınma, I.A2 Lokal (Çukurcuk, aralık/çatlak veya galvanik) Korozyon
	I.B Çatlak Oluşumu (Çoğunlukla yüzeyde)	I.B1 Gerilmeli Korozyon (klor, kostik vb.) çatlakları I.B2 Hidrojen kaynaklı hasarlar (Kabartılar ve hidrojen çatlakları dahil) I.B3 Korozyon Yorulması
	I.C Malzeme zayıflaması ve/veya gevrekleşme	I.C1 Isıl bozunmalar (küreselleşme, grafitleşme vb.) I.C2 Karbürizasyon, De-karbürizasyon, Alaşım kaybı I.C3 Gevrekleşme (Sertleşme, yaşlanma, temper gevrekleşmesi vb. dahil)
	II. Mekanik veya Termomekanik Yüklerden Kaynaklı Hasarlar	
	II.A Aşınma	II.A1 Kayma Yüzeylerinde Aşınma II.A2 Kaviteasyon
	II.B Gerilme / Ölümsel Değişimler / Kararsızlık/ Kırınım	II.B1 Aşırı Yükleme, Sürünme II.B2 Kullanıcı Kaynaklı Hasarlar
	II.C Mikro Boşluk Oluşumu	II.C1 Sürünme II.C2 Sürünme - Yorulma
	II.D Mikro Çatlaklar, Çatlaklar	II.D1 Yorulma (HCF, LCF), Isıl Yorulma, (Korozyon Yorulması) II.D2 Isıl Şok , sürünme, sürünme-yorulma
	II.E Kırılma	II.E1 Aşırı Yükleme II.E2 Gevrek Kırılma
	III. Diğer Yapısal Hasar Mekanizmaları	
	IV. Kirlenme / Tortu (Akışkandan kaynaklanmayanlar)	
	V Akışkan Akış Sorunları	
	V.A Yüksek / Düşük Debi (HFF/LFF)	
	V.B Akışkan akışı yok (NFF)	
	V.C Diğer akış problemleri (OFFP)	
	VI. Vibrasyon (VIB)	
	VII. Yanlış Ölçülendirme / Mesafe	
	VIII. Kullanıcı Kaynaklı Bozulmalar (kasten veya istemeden)	
	IX. Patlama, Yangın ve Benzerleri	
X. Diğer sebeplerle oluşan hasar / kayıp veya fonksiyon kayıpları		
X.A Harici Sızıntı (EXL)		
X.B Yanlış Strat / Stop - (FTS)		
X.C Çalışırken Arızalanma (FWR)		
X.D Aşırı Isınma (OHE)		
X.E Diğer (OTH)		
BOZULMA, SAPMA, FONKSİYON PROBLEMLERİ (MALZEMEYLE İLGİLİ OLMAYANLAR)		

Hasar Mekanizması; zaman içinde oluşan, malzemenin durumuna ve mekanik özelliklerine zarar veren mikro veya makro değişiklikleri yaratan süreçlerdir. Hasar mekanizmaları genellikle artan eğilimli, biriken ve bazı durumlarda geri dönüşü mümkün olmayan süreçlerdir. Bununla beraber, malzemeye, hizmet şartlarına, imalat parametrelerine ve ürüne bağlı çok daha fazla parametre göz önünde tutulmalı ve hesaplanmalıdır.

- Korozyon (Kimyasal Aşınma)
- Kırılma (Çatlama)
- Mekanik ve Metalurjik Hasarlar
- Bozulma, Sapma, Fonksiyon Problemleri

Hasar Tipi; hasarın fiziksel belirtisidir. Bir diğer deyişle, bir ekipmanın tasarlandığı fonksiyonu yerine getirememesinin fiziksel sebebidir [2].

RIMAP, hasar tipleri ve mekanizmalarının tanımlanması için daha önce bahsedilen diğer yaklaşımlarla da uyumlu bir metodoloji önermektedir. Hasar (Risk) kütüğü oluşturulurken iyi tanımlanmış bir fonksiyonel hiyerarşik düzen neredeyse zorunludur. Her bir hasar mekanizması, ilgili fonksiyona karşılık olarak araştırılmalıdır. Hasar Mekanizmaları / Hasar Tipleri listelenirken, varlık dizaynı, işletme koşulları, insan faktörü gibi ilgili mekanizmaları tetikleyebilecek tüm olay senaryoları değerlendirilmelidir [5]. Hasar tipleri ve mekanizmalarının ortadan kaldırılabilmesi veya kontrol altına alınabilmesi için tüm kök nedenler ilerleyen adımlarda araştırılacaktır. Aynı kök nedenin birden fazla hasar mekanizmasını tetikleyebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır

Her bir hasar-ekipman kombinasyonu için daha detaylı sınıflandırmalar yapmak, risk azaltma ve risk yönetimi açısından fayda sağlayacaktır. RIMAP örneğinden devam edersek;

S – Güvenlikle İlgili

A – Aktif Ekipmanlarla İlgili E – Çevreyle İlgili

D – İlk Kez Karşılaşılan Hasar-Ekipman Kombinasyonu

Önerilen metodoloji bir ham petrol tankına uyarlandığında Tablo-4’teki örnek gibi bir hasar kütüğü hedef sistem veya alt sistem için oluşturulabilir.

Risk Analizinin bir sonraki adımı, oluşturulan hasar kütüğünün fonksiyon hiyerarşisine sadık kalarak sistem veya alt sistemdeki tüm ekipmanlarla eşleştirilerek her bir ekipmanda bu mekanizmanın etkilerinin nasıl ölçüleceğine karar verilmesidir. Böylece hangi ekipmanda hangi hasar mekanizmasının işlediği belirlenebilir, yapılacak kontrolün tipi ve kabul kriterleri tanımlanabilir.

Tablo-5: Örnek Hasar Kütüğü-Muayene Yöntemi Sınıflandırması

SİSTEM		Ham Petrol Stabilizasyonu								
ALT SİSTEM		Ham Petrol Depolama (Ham Petrol Tankları, Boruları, Vana, Pompa, Elektrik ve Enstrümantasyon)								
FONKSİYON		4000 m ³ ham petrolün atmosfer basıncı altında, 50°C sıcaklığa kadar depolanması, oluşan gazların fase lantını tahliyesi, üretim hatlarını iletici olan ham petrolün sağlanması.								
		HASAR KÜTÜĞÜ		MUAYENE YÖNTEMLERİ*		SEÇİLEN MUAYENE YÖNTEMİ İÇİN BELİRSİZLİK / RİSK KRİTERİ			FCP***, NOTLAR, ÖRNEKLER	
HASAR GRUBU:	HASAR TİPİ	HASAR MEKANİZMASI	TESTİTİ EDİLEBİLEN	İN UYGUN	SEÇİLEN YÖNTEM	HATA BOYUTUNA GÖRE POD**				
				1 mm	2 mm	%90 POD**				
MALZEMEYLE İLGİLİ HASARLAR	1. Korozyon/Aşınma/Diğer Çevresel Hasarlar:									
	LA	Yüzeyde lokal/uzun süreli kayıp	1.A1 Genel korozyon, oksidasyon, aşınma, yıpratma, lokal kayıp	DM, VT, ET, UT	UT, (VT), DM	UI	30-70%	30-90%	2 mm	
			1.A2 Lokal (çukurluk, aralık, çatlak veya girinti)	UT, DM, ET	VI, UI	UI	30-70%	40-90%	2 mm	
			1.B1 Genel Korozyon (klar, kristal vb.) çatlak	MT, PT, ET	MT, PT, ET	ET	max 85%	40-90%	4x2 mm	<1%*
	FB	Çatlak Olunumu (Çığırma/taahhüt)	1.B7 Hıfızın kaynaklı hasarlar (Kavartlar ve kırılmalar çatlakları dahil)	UT, ME, FI, EI	ME, FI	UI	N/A	N/A	N/A	
			1.B3 Korozyon Yordumu	MT, PT, ET, VI	MT, PT, VI	UI	80-90%	90-99%, İsv 95-99%, detaylı	1x1 mm 0.5x0.4 mm	%60 POD çatlak ve kırılmalar için gereklidir: 5mm
	IC	Malzeme ayrılması ve/veya gevrekleşme	1.C1 Islı bozunmalar (hidrojenleme, gazlaşma vb.)	MeI	MeI	MeI	Mikrospatik Müryene: İmrenden büyük çatlaklar için -100% POD, 0,65 mm'den büyük çatlaklar için 90% POD kabul edilir. Güvenlik için ilgili asıl problem yanık amme: alın, yangın tutuşma tehlikesi veya yanlış değerlendirilmiştir			
			1.C2 Karbürasyon, De-karbürasyon, Alaşım kaybı	MeI	MeI	MeI				
			1.C3 Gevrekleşme (Stresleme, yorulma, temper gevrekleşmesi vb. dahil)	MSI	MSI	MSI	N/A	N/A	N/A	

4.3.3. Arıza Olasılığı Analizi (PoF)

Analiz sürecindeki olasılık analizi, bir veya birden fazla hasar mekanizması nedeniyle meydana gelen fonksiyon kaybından kaynaklanan belirli bir olumsuz sonuç olasılığını tahmin etmek için yapılır. Belirli bir sonucun ortaya çıkma olasılığı arıza olasılığının sonucudur ve hasarın meydana geldiği varsayımı altında ele alınan senaryonun olasılığıdır.

Arıza olasılığı analizi, çalışılmakta olan ekipmanın hassas olduğu veya olabileceği tüm hasar mekanizmalarını ele almalıdır. Ayrıca, ekipmanın çoklu hasar mekanizmalarına (örneğin kalınlık kaybı ve sürünme) karşı hassas olduğu veya olabileceği durumu da ele almalıdır. Unutulmamalıdır ki hasar mekanizmaları sadece fonksiyon, malzeme veya muhafaza edilen üründen kaynaklanmayabilir. Sert hava şartları, sismik aktiviteler, bir emniyet valfi arızası



sebebiyle aşırı basınca maruz kalma, operatör hataları, dizayn hataları gibi durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Analiz güvenilir, tekrarlanabilir ve kayıt altına alınmış olmalıdır.

Arıza olasılığı analizinde her seviyeden katılım sağlanması çalışmanın etkinliğini arttıracak önemli bir unsurdur. Operatörler, tecrübeli uzmanlar, korozyon uzmanları, tasarımcılar ve bakım ekibi, analiz ekibinin doğal üyesidir. Her seviyeden katkı, kök neden analizinin daha sağlıklı yapılmasını ve her bir olası hasar tipinin doğru tanımlanmasına yardımcı olacaktır.

Hasar tanımlamasında tecrübeden, endüstri pratiklerinden, standart ve tavsiye dokümanlardan ve tesis geçmişinden faydalanılarak frekansa dayalı bir yaklaşım önerilmektedir.

Arıza olasılığının belirlenmesinde analiz yönteminden bağımsız olarak 2 ana faktör göz önüne alınır.

- Çalışma ortamından (iç ve dış) kaynaklanan ekipmanın yapı malzemesinin hasar mekanizmaları ve oranları
- Hasar mekanizmalarının tespit edilmesi ve izlenmesi için denetim programının etkinliği

Aktif ve olası hasar mekanizmalarını belirlemek için her ekipman için proses koşullarının ve maruz kalan malzemelerin eşleştirilmesi gereklidir. Bu mekanizmaları ve hassasiyeti belirlemenin bir yöntemi, aynı malzemeden imal edilmiş ve aynı iç ve dış ortama maruz kalan bileşenleri gruplandırmaktır. Gruptaki bir kalemde alınan inceleme sonuçları gruptaki diğer ekipmanlarla ilgili olabilir.

Birçok hasar mekanizması için, hasar ilerleme hızı genel olarak anlaşılır ve proses ekipmanı için tahmin edilebilir. Bozulma oranı, bozulma oranının bilinmediği veya ölçülemez olduğu (gerilme korozyonu çatlaması gibi) mekanizmalarda kalınlık kaybı veya hassasiyet için korozyon oranı olarak ifade edilebilir. Hassasiyet, genellikle proses / çevre koşullarına ve malzeme cinsine bağlı olarak yüksek, orta veya düşük olarak tanımlanır. Üretim değişkenleri ve tamir geçmişi de göz önünde tutulmalıdır.

Tablo-6: Arıza Olasılığı

Kategori	Kalitatif Arıza Olasılığı Tanımı	Yıllık Gerçekleşme Olasılığı veya Frekansı
V	Beklenmez	0,00001'den büyük
IV	Nadiren	0,0001 ile 0,001 arası
III	Mümkün	0,001 ile 0,01 arası
II	Olası	0,01 ile 0,1 arası
I	Neredeyse Kesin	>0,1

Belirli proses ekipmanlarındaki bozulma oranı genellikle kesin olarak bilinmemektedir. Bozulma oranını tam olarak belirtme kabiliyeti ekipmanın karmaşıklığından, hasar mekanizmasının türünden, proses ve metalurjik değişikliklerden, kontrol için ulaşılamamaktan, muayene ve test yöntemlerinin limitlerinden ve muayeneyi yapan uzmanın tecrübe seviyesinden etkilenir. Bu duruma örnek olarak; dolu bir ham petrol tankının tabanında yapılması gereken kontroller verilebilir.

Muayene programlarının, (gözle muayene, ultrasonik veya radyografik testler vb. veya bunların kombinasyonu) süreksizliğin (hata) yerini tespit etme, karakterize etme, boyutlandırma ve dolayısıyla bozulma oranlarını belirleme konusundaki etkinlikleri değişkenlik gösterir. Olası hasar mekanizmalarının tespit edilmesinden sonra, muayene yöntemlerinin tespit edilen mekanizmaların tanımlanmasındaki etkinliği değerlendirilmelidir.

4.3.4. Arıza Etkileri Analizi (CoF)

Arıza Etkileri (Sonuçları) Analizi, değerlendirilen ekipmanların potansiyel bir arızanın önemi temelinde kategorize edilmesini sağlamak için yapılır. Arıza etkileri analizi, değerlendirilmekte olan ekipmanda bir arıza meydana gelmesi durumunda ne olacağını umulabilecek yinelenebilir, basitleştirilmiş, güvenilir bir tahmin olmalıdır. Arıza etkileri analizi, tipik olarak tanımlanmış bir veya birden fazla hasar mekanizmasından kaynaklanan bir arıza tipi nedeniyle meydana gelen sonuçları tahmin etmek için yapılmalıdır. Etkiler, tipik olarak şöyle sınıflandırılmalıdır

- Çevresel Etkiler
- İş Sağlığı & Güvenliği Etkileri
- Ekonomik Etkiler
- İmaj Kaybı
- ...

Tipik olarak risk denkleminin sonuç tarafını, yani olası sonuçlarını operatörler ve teknik uzmanlar değil yönetim ve süreç güvenliği personeli yönetmek durumundadır. Arıza etkileri analizinin sonuçlarını değiştirmek için birçok yöntem bu bölümde formüle edilecektir. Arıza etkileri analizinin amacı, ekipmanların göreceli bir risk sıralamasının oluşturulmasında yardımcı olmaktadır.

Çevresel etkiler, bir ölçüm birimiyle tarif edilmesi en zor olandır. Bu amaçla yapılmış çalışmalar hem çok sınırlı hem de değişkendir. Bununla beraber, çevresel etkinin ölçülmesinde kullanılabilecek parametreler; etkilenen alanın büyüklüğü, etkilenen biyolojik veya kamu kullanımındaki kaynağın büyüklüğü ve etkilenen alanın eski haline getirilmesinin süre ve maliyeti olarak tanımlanabilir.

Tablo-7: İş Sağlığı & Güvenliği ve Çevresel Sonuçlar

Kategori	Tanım	Açıklama
V	Büyük	Hayat kaybı ve/veya büyük çevresel etki
IV	Ciddi	Ciddi yaralanmalar ve ciddi çevresel etki
III	Önemli	Küçük yaralanmalar ve ciddi çevresel etki
II	Küçük	Sadece ilk yardımla müdahale ve minimal çevresel etki
I	Önemsiz	Önemli bir sonuç yok

İş Sağlığı & Güvenliği etkileri, genellikle sayısal bir değer olarak ifade edilir veya istenmeyen bir olaydan kaynaklanabilecek potansiyel yaralanmaların ciddiyeti ile ilişkili bir sonuç kategorisi ile tanımlanır.

Maliyet, en yaygın kullanılan etki ölçüm aracıdır. Maliyetlerle çalışmanın sağladığı kolaylık, farklı sonuçların ortak bir birimle ölçülebilmesi ve değerlendirilebilmesidir. Etkiler ölçülebilir değerleri ayrı ayrı veya birlikte düşünülebilir. Maliyetle ölçmek, çoğunlukla önceden belirlenebilir değerleri ihtiva etse de bazı etkilerin (sonuçların) maliyetlerinin daha subjektif olacağı ortadadır. Maliyetle ölçülebilir tipik etkiler arasında üretim kaybı, kaybedilen ürün maliyetleri, ürün kalitesinin düşmesi, hasar gören ekipmanın tamir veya yenileme maliyetler, çevredeki mülklere verilen hasar, döküntü temizleme maliyetleri, pazar payının kaybı, kötü şöhret, yaralanma veya ölümlerin finansal sonuçları, yasal yükümlülükler ve cezalar sayılabilir.

Finansal etkinin hesaplanmasında, olası sonuçlarının yaratabileceği maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunların bir kısmı hesaplanabileceği gibi bir kısmı da her kuruluş tarafından ve kendi kriterleri doğrultusunda fiyatlanmalıdır. Finansal etki hesabında kullanılacak temel formül (2);

$$C_f = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (2)$$

C_f : Başarısız Sonucun Toplam Finansal Etkisi

C_1 : Kaybedilen Ürün Maliyeti

C_2 : Çevresel Maliyetler

C_3 : Üretim Kayıpları

C_4 : Tamir ve Yenileme Maliyetleri

C_5 : Pazar Payı Kaybı

Yukarıdaki maliyet kalemlerine Müşteri Etkisi, Tedarikçi Etkisi, Sözleşmesel Maliyetler gibi ürün arzının değişmesi veya taahhütleri karşılayamaması sebebiyle ortaya çıkan maliyetleri de eklemek düşünülebilir.

Arıza etkilerinin analizi sürecinde maliyetlerin matematiksel formülasyonu mümkündür. Her ne kadar ortaya çıkan maliyetler her tesis için farklı değişkenlerle ve büyüklüklerle hesaplanırsa da çeşitli yaklaşımlar rehber niteliğinde formüller tavsiye etmektedir.

Tablo-8: Ekonomik Sonuçlar

Kategori	Tanım	Açıklama
V	Büyük	50.000.000 TL'den büyük
IV	Ciddi	50.000.000 TL- 5.000.000 TL arası
III	Önemli	5.000.000 TL- 500.000 TL arası
II	Küçük	500.000 TL- 50.000 TL arası
I	Önemsiz	<50.000 TL



Tablo-9’te verilen formüller, olası etkilerin gerçekleşmesi halinde nasıl formüle edilmesi gerektiği ile ilgili yaklaşımı temsil eden örneklerdir. Ekonomik etkinin matematiksel hesaplanması için, belirli bir etkinin gerçekleşme olasılığı, her bir olayın kendine özgü etkiyi doğurabilecek olan olasılığının ürünü olmalıdır.

Tablo-9: Ekonomik Etki Formülleri

Etki Tanımı	Formül
Kaybedilen Ürün Maliyeti (C_1)	<i>Kaybedilen Ürün Miktarı x Birim Ürün Maliyeti</i>
Çevresel Maliyetler (C_2)	<i>Eski Haline Getirme Maliyetleri + Cezalar + Diğer</i>
Üretim Kayıpları (C_3)	<i>Proses Birimlerinin Günlük Değeri x Duruş Süresi (Gün)</i>
Tamir ve Yenileme Maliyetleri (C_4)	<i>Tamir Maliyeti veya Yenileme Maliyeti</i>
Pazar Payı Kaybı (C_5)	Kaza öncesi pazar payına ulaşılan kadar geçen süredeki mali kayıplar. <i>Eski Pazar Payının Büyüklüğü – Daralmış Pazar Payının Ekonomik Büyüklüğü</i> Eski Pazar payına tekrar ulaşmak mümkün olmayabilir. Pazar Payının Kaybı 3 aylık, 6 aylık veya yıllık dönemlerde hesaplanarak takip edilebilir.

4.4. Risk Yönetimi

Risk tabanlı bakım uygulamalarında risk yönetimi, tesisin toplam riskinin azaltılmasını hedeflemektedir. Tesis toplam riski ise ekipmanların risklerinin toplamından oluşur. Her bir ekipmanın taşıdığı risk olasılık ve etki cinsinden hesaplandıktan sonra tesisin toplam riski hesaplanabilir. Buradan, her bir ekipmanın taşıdığı riskin tesisin toplam riskine olan etkisi hesaplanarak ön eleme ve önceliklendirme süreçlerine geri bildirim sağlanabilir.

Toplam riski azaltacak önlemlerin etkinliği ve verimliliği de yine her bir ekipmanın riskindeki olumlu yöndeki değişim ve performans üzerindeki etkisi de finansal etkileri açısından karşılaştırılarak kabul edilebilir risk seviyeleri revize edilebilir. Her iki karar için de aceleci olmayan, uygulama sonuçlarına dayalı kararlar almak, risk/performans dengesinin korunması açısından önemli olacaktır.

Tablo-10: Risk Matrisi

Olasılık	5	5	10	15	20	25	Çok Yüksek (20-25) Yüksek (15-19) Orta (6-14) Düşük (0-5)
	4	4	8	12	16	20	
	3	3	6	9	12	15	
	2	2	4	6	8	10	
	1	1	2	3	4	5	
		1	2	3	4	5	Etki

Risk seviyelerini belirledikten sonra bir risk matrisinde yerine koymak, karşılaştırma ve sunum açısından kolaylık sağlar. Hesaplanmış olasılık ve etki ölçekleri Matrisin eksenlerini oluşturacaktır. Matris, analizin kapsamına ve kuruluşun ihtiyaçlarına göre belirlenen risk seviyelerinin sınırlarının belirlenmesiyle bölgelere ayrılır ve risk skorları bu sınırlara göre kategorize edilebilir. Madde 3.1’de tarif edilen Risk Formülü kullanılarak risk skorları hesaplanabilir:

Bununla beraber, çeşitli risklerin olasılık ve etkilerinin farklı değerlendirildiği detaylı bir matris daha kapsamlı bir yaklaşım sunar.

Tablo-10: Detaylı Risk Matrisi

Kategori Tanım			Frekans				
V	Beklenmez	0,00001'den büyük	5	10	15	20	25
IV	Nadiren	0,0001 ile 0,001 arası	4	8	12	16	20
III	Mümkün	0,001 ile 0,01 arası	3	6	9	12	15
II	Olası	0,01 ile 0,1 arası	2	4	6	8	10
I	Neredeyse Kesin	>0,1	1	2	3	4	5

İş Güvenliği	ETKİ				
	Önemsiz veya yaralanma yok.	Sadece ilk yardımla müdahale	Küçük yaralanmalar	Ciddi yaralanmalar	Hayat kaybı
Çevre	Önemli bir sonuç yok	Minimal Çevresel Etki	Orta Seviye Çevresel Etki	Tesisle Sınırlı Ciddi Çevresel Etki	Tesis Dışı Etkileyen Büyük Çevresel Etki
Ekonomik	<50.000 TL	500.000 TL- 50.000 TL arası	5.000.000 TL- 500.000 TL arası	50.000.000 TL- 5.000.000 TL arası	50.000.000 TL'den büyük

Frekans	0	1	2	3	4	5
5	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Orta (6-14)	Yüksek (15-19)	Çok Yüksek (20-25)
4	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Orta (6-14)	Yüksek (15-19)	Çok Yüksek (20-25)
3	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Orta (6-14)	Yüksek (15-19)	Çok Yüksek (20-25)
2	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Orta (6-14)	Yüksek (15-19)	Çok Yüksek (20-25)
1	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Düşük (0-5)	Orta (6-14)	Yüksek (15-19)	Çok Yüksek (20-25)

Risk Matrisi oluşturulurken kullanılan risk seviyeleri, karar verme mekanizmasını ve alınacak tedbirleri de yönlendirebilir. Risk analizinin son aşaması, tesis güvenliği, güvenilirliği ve performansının iyileştirilmesi amacıyla alınacak kararlar ve uygulanacak aktiviteler hakkında genel bir yaklaşım da oluşturularak sonraki adımlara rehberlik edebilir. RIMAP [5] metodolojisinin önerdiği dört seviyeli yaklaşım alt sistem veya sistem seviyesinde alınacak kararlara ışık tutacak niteliktedir.

Tablo-11: Risk Seviyeleri: Karar / Aktivite Örnekleri

Çok Yüksek (20-25)	Riskleri azaltmak için gerekli muayene ve bakım programını tanımlanmalı. Yeterli olmadığı durumda ekipmanın iyileştirilmesi veya modifikasyonu değerlendirilmeli.
Yüksek (15-19)	Riskleri azaltmak için gerekli muayene ve bakım programını tanımlanmalı. Eğer risk kaynakları ekonomik, güvenlik, imaj kaybı vb. ise risk kabul edilebilir.
Orta (6-14)	Risk düşük maliyetli muayene ve bakım yöntemleriyle azaltılması hedeflenmelidir. Yeterli olmadığı durumda optimal maliyet araştırılmalıdır.
Düşük (0-5)	Eğer hali hazırda bir muayene veya bakım planı yoksa, detaylı analiz gerekmez. Aksi durumda ince ayar yapılmalı ve en avantajlı maliyet araştırılmalıdır.

4.4.1. Kritiklik Kategorilerine Göre Risk Matrisleri

RIMAP'tan farklı olarak risk değerlendirme, kritiklik faktörü göz önüne alınarak yapılabilir. Bu sebeple geliştirilecek risk matrisleri de ekipman kritiklik seviyesinin bir fonksiyonu olmalıdır. RTB Takımının tercihinin göre ekipmanlar kritiklik seviyelerine göre kategorize edilebilir veya her ekipmanın riski ayrı ayrı hesaplanabilir [2]. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından klasik risk matrisine göre belirli bir sistem veya alt sistemin bileşeninin risk faktörü 25'ken (Çok Yüksek Riskli), kritiklik seviyelerine göre kategorize edildiğinde risk faktörü (Yüksek Riskli) olarak değerlendirilebilmektedir.

Buraya kadar yapılan çalışmalardan yola çıkarak bakım stratejisi belirlenebilir. Tablo-12'de Kategori-1 ekipmanlar için güvenilirliğe dayalı bakım yerine reaktif bakım tercih edilmesi beklenir. Aynı şekilde, Kategori-4 ekipmanlar için güvenilirliğe dayalı bakım ile önleyici bakım arasında bir tercih yapılması düşünülebilir [2].

**Tablo- 12:** Kritiklik Kategorilerine Göre Risk Matrisi Örnekleri [2]KATEGORİ-1 EKİPMANLAR KRİTİKLİK
DEĞERİ (0,00 - 0,20 ARASI)

OLASILIK	5	1	2	3	4	5
	4	0.8	1.6	2.4	3.2	4
	3	0.6	1.2	1.8	2.4	3
	2	0.4	0.8	1.2	1.6	2
	1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
		1	2	3	4	5
	ETKİ					

KATEGORİ-4 EKİPMANLAR KRİTİKLİK
DEĞERİ (0,61 - 0,80 ARASI)

OLASILIK	5	4	8	12	16	20
	4	3.2	6.4	9.6	12.8	16
	3	2.4	4.8	7.2	9.6	12
	2	1.6	3.2	4.8	6.4	8
	1	0.8	1.6	2.4	3.2	4
		1	2	3	4	5
	ETKİ					

Çok Yüksek (20-25)
Yüksek (15-19)
Orta (6-14)
Düşük (0-5)

Ekipmanların risk faktörlerine dayanarak risk yönetimi süreci başlatılır. Sürecin amacı, Kabul edilebilir olduğu düşünülen riskler için azaltıcı aktiviteler gerekemeyebilir. Kabul edilemez ve bu nedenle risk azaltma gerektiren riskler için, göz önünde bulundurulması gereken çeşitli azaltma aktiviteleri tanımlanabilir.

- Hizmetten Çıkarma: Prosesin çalışmasını desteklemek için konu ekipman gerçekten gerekli mi?
- Performans Sınırlama: Prosesin daha az riskle çalışabilmesi ve tüm tesis riskini düşürmek için operasyon limitleri daraltılabilir mi?
- İyileştirme ve Modifikasyon: Prosesin daha az riskle ve daha iyi bir performansla çalışması için yapılabilecek modifikasyonlar veya iyileştirmeler var mıdır?
- Denetim / Durum İzleme: Risklerin kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesini sağlayacak, muayene sonuçlarında belirttiği şekilde bakım ve onarım içeren uygun maliyetli bir denetim programı uygulanabilir mi?
- Etkileri (Sonuçları) Azaltma: Bir ekipman arızasıyla ilgili sonuçları azaltmak için önlemler alınabilir mi?
- Olasılık Azaltma: Metalurjik değişiklikler veya ekipmanın yeniden tasarımı gibi olasılıkları azaltıcı önlemler alınabilir mi?
- Maliyet Azaltma: Ekipmanın mevcut risk ve kritiklik seviyesine göre bakım aktiviteleri yeniden düzenlenebilir mi?
- Yasal Şartlara Uyum: Ekipmanın risk seviyesi kabul edilebilir ve/veya düşük maliyetli olsa dahi yasal şartları karşılamak için yapılacak aktiviteler var mı?

Risk azaltma kapsamında karar verilen önlemler, kontrol ve bakım görevlerini belirleyecektir. Bu sayede, bakımın fonksiyonunun yol haritası çizilmiş, bakım stratejisi seçimi için yeterli kaynak oluşturulmuş olacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi, Risk Tabanlı Bakım programının doğal sonucu, kontrol ve bakım planlarının üretilmesidir. Kontrol ve Bakım planları, her bir ekipman için üretilir. İstenilirse kontrol planı ve bakım planı ayrı ayrı hazırlanabilir. Kontrol ve bakım planları hazırlanırken üç kriter göz önünde bulundurulmalıdır [5].

- Arıza / Hasar Mekanizmalarını ortadan kaldırma fırsatı
- Muayene ve bakım uygulaması sırasında personel için oluşabilecek riskler
- Yeni Arıza / Hasar Mekanizmalarının ortaya çıkma riski

Yine unutulmaması gereken bir diğer kriter, aktivitelerin amacı, öncelikle iş güvenliği ve çevre risklerini ortadan kaldırmak veya yasal seviyelere düşürmektir. SEÇ risklerini karşılamayan ekonomik çözümlerin risk azaltmaya katkısı olmayacağı açıktır. Bu etki, kalıntı risklerin analizi esnasında da gözlemlenebilmektedir.

Kontrol planlarının hazırlanmasında göz önünde bulundurulacak ilk kriter, önerilen yeni planın muhafazakâr kontrol planlarına göre ekonomik olmasıdır. Kontrol planları ayrıca uygulanabilir, güvenilir, prosesin devamlılığını destekleyici ve sistematik bir yaklaşımla veri toplamaya uygun olmalıdır. Muhafazakâr bakım ve kontrol uygulamalarıyla veya yeni kontrol planıyla riski ölçülemeyen veya azaltılamayan sistemler için yeniden dizayn alternatifleri her zaman el altında bulundurulmalıdır.

Kontrol ve bakım planları hazırlanırken;

- Muayene ve bakım uygulamalarının metodlarını
- Her bir uygulama için sıklığı
- Muayene ve bakım uygulamasının her seviyesi için kapsamı

- Muayene ve bakım personelinin sayı ve niteliğini
- Gerekli muayene ve bakım araçlarını, aletleri ve yedek parçaları
- Uygulama sürelerini
- Muayene ve bakım aktiviteinin doğrulanması için ölçütleri

Tanımlanmalı ve gerekli hallerde kontrol ve/veya bakım personeli oryantasyon eğitimleriyle yeni stratejiye adapte edilmelidir.

4.5. Uygulama ve Raporlama

Bildirimizin bundan önceki bölümlerinden de anlaşılacağı gibi Risk Tabanlı Bakım uygulamalarında tek bir bakım yaklaşımı benimsenmez. Bunun aksine, her sistem, alt sistem veya ekipman için en uygun ve en ekonomik yaklaşım araştırılır. Bunun sonucu olarak varlıklar, tesis riskine etkilerinin büyüklüğüne göre ele alınırlar.

Risk yönetimi, bu sınıflandırmayı yapar ve her ekipman için yapılması gerekenleri sistematik ve ekonomik bir perspektiften, sağlık, emniyet ve çevre risklerini göz ardı etmeden planlar. Bu planlar, ekipmana özgü kontrol ve bakım planlarıdır.

Kontrol ve bakım planları, bakım planlarının zamanlaması açısından çeşitli tiplerde uygulanabilir.

- Acil Durum Bakımı
- Rutin Bakım
- Operatör Seviyesinde Bakım
- Planlı Bakım
- Fırsat Bakımı
- Kısa Duruş (Shutdown)
- Kapsamlı Duruş (Turnaround)

Bakım ve kontrol uygulamaları esnasında tesis tamamen veya kısmen durdurulabileceği gibi, operasyon devam ederken de yapılabilir.

Tesis bakım ve kontrol uygulamaları tesisin kendi personeli ve imkanlarıyla hayata geçirilebileceği gibi uzmanların veya yüklenicilerin katılımını da içerebilir.

Bakım ve kontrol esnasında varlık performansının devamı için uygulamalar planlanabileceği gibi, iyileştirme, yenileme veya modifikasyon ve devreden çıkarma gibi daha kapsamlı çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

Uygulamalar, prosedürlere veya talimatlara dayanabileceği gibi iş emirleri, dizayn ve yapım projelerine de dayanabilir.

Risk tabanlı bakım uygulamalarında toplanacak verilerin çeşitliliği, aktivite takibi, geri bildirim ve raporlama mekanizmalarının etkinliği, yedek parça stok ve sipariş takibi gibi gerekçelerle bakım yönetim yazılımlarının (CMMS) kullanımı neredeyse zorunlu hale gelmekte, uygulamanın ve raporlamanın önemli yardımcıları haline gelmektedir. Bakım ve kontrol aktivitelerinin kayıtları, dokümantasyon, analiz ve geri bildirim amacıyla oluşturulur. Raporlama, aktivitenin doğasına göre (günlük, aylık, yıllık, saatlik) düzenli aralıklarla, amaca uygun ve daha sonraki çalışmalara entegre edilebilir biçimde planlanmalıdır.

Raporlamada ekipmanın uygulama öncesi ve sonrası durumu, karşılaşılan arızalar, hasar ve yıpranma mekanizmaları, plan dışı aktiviteler, aktivite notları, fotoğraflar, video kayıtları ve diğer araçlarla kaydedilmelidir. Kullanılan araçlar, yedek parçalar ve harcanan zaman, maliyet analizine uygunluğun takibi için önem taşır.

Kritik raporlar, mutlaka uzman personel tarafından gözden geçirilerek veri kalitesine etkiyebilecek eksik ve yanlışlar geç olmadan düzeltilmelidir.

Uzmanların veya yüklenicilerin katılımı, bakım aktivitelerinde iş güvenliği kurallarının sıkı şekilde belirlenmiş olmasını ve tüm paydaşlarının farkındalığının en üst seviyede canlı tutulmasını gerektirir. Unutulmamalıdır ki tesislerde oluşan iş kazalarının hatırı sayılır bir kısmı bakım esnasında olmaktadır.

Risk tabanlı bakım uygulamasında kullanılan verinin kalitesi, tüm prosesin etkinliğini ciddi biçimde etkiler. Özellikle henüz kullanılan verinin uygulamayla doğrulanmadığı ilk yıllarda raporlamanın sağlayacağı geri bildirim, pek çok ince ayar ve düzeltmenin yapılmasına ve prosesin etkinliğinin iyileştirilmesine katkı sağlar.



4.5. GÖZDEN GEÇİRME VE SÜREKLİ İYİLEŞTİRME

Risk tabanlı kontrollerle yapılan asıl iş, riski azaltmak değil belirsizliğin ortadan kaldırarak risklerin nicel analizini doğrulamaktır. Kontroller, hasar mekanizmalarının tanımlanması, takibi ve ölçümü için kullanılır. Kontrollerin doğru uygulanması, karar vericilerin hasar mekanizmalarını ve yıpranma oranlarını kestirmelerine yardımcı olacaktır. Unutulmamalıdır ki, kontroller aracılığıyla risk azaltmak ancak tesis yönetiminin kontrol sonuçlarına göre ve zamanında önlemler alacağı kabulüne dayanır.

Bununla beraber, kontrollerin her hasar mekanizmasında etkin olacağı düşünülmemelidir. Gevrekleşme çatlaması gibi anlık hasar mekanizmalarının kontrollerle tespiti, ancak hasar, fonksiyonel arızaya dönüştükten sonra gerçekleşebilir. Kimi zaman kontrollerle hasarın tespit edilmesi ile fonksiyonel arızanın gerçekleşmesi arasındaki süre çok kısa olabilir. Yüksek çevrimli yorulma çatlağı (High Cycle Fatigue) buna örnek olarak verilebilir.

Sürdürülebilir bir bakım programının olmazsa olmazı uygulamadan analiz ve planlama adımlarına geri bildirim mekanizmalarının kurulmasıdır. Bakım ve kontrol kayıtları, aktiviteler sonrasında iyileştirilen mekanik bütünlük seviyesinin tespiti ve kalıntı risk analizi için önem taşır. Geri bildirim sisteminin çalıştırılması hem bakım geçmişinin oluşturulması açısından hem de uygulanan bakım veya kontrol aktivitesinin riski azaltmaktaki etkinliğin tespiti açısından kritiktir.

Tablo- 12: Örnek Anahtar Proses Göstergeleri [5]

Hedef	Anahtar Performans Göstergesi (KPI)
İş Güvenliği ve Çevresel Koşullarını İyileştirme	İş Güvenliği ve Çevre ile ilgili olayların sayısı
Ekipman Emre-amadelik Artışı	<input type="checkbox"/> Toplam Ekipman Verimliliği <input type="checkbox"/> Birim Emre-amadelik oranı (%) <input type="checkbox"/> Tesis Emre-amadelik oranı (%)
Yatırımın Geri Dönüşünü arttırma (ROI)	Yapılan yatırım karşılığında sağlanan performans iyileştirmesinin maddi büyüklüğünün oranı
Varlıklardan elde edilen değer arttırılması	Üretim Artışı
İş Güvenliği ve Çevre Kazalarının Azaltılması	Ramak Kala Sayısı Kazaların tip ve personel, yaş, eğitim saati, yönetici, ünite, bölge, günün saati gibi parametrelere göre değişimi
Ürün birim maliyetinin düşürülmesi	Birim ürün maliyeti
Önlenebilir kar kaybının azaltılması	Hasarın meydana geldiği andan, ticari aktivitein durma veya aksaması tamamen giderilerek normal aktivitee devam olunmasına kadar geçecek süre içinde meydana gelecek kar kaybındaki azalma
Bakım Masraflarının Azaltılması	<input type="checkbox"/> Yıllık bakım / yenileme maliyeti <input type="checkbox"/> Bakım İş Gücü Maliyeti (aylık / iki aylık) <input type="checkbox"/> Ekipman bazlı önleyici bakım maliyeti <input type="checkbox"/> Birim ürün başına düşen bakım maliyeti <input type="checkbox"/> Toplam bakım içinde plansız bakım maliyetleri oranı (%)

Risk azaltma yöntemlerinin seçiminde de kontrol sonuçlarının belirleyici rolü vardır. Kontrol sonuçlarıyla risk azaltırken sadece tespit edilmiş hasar mekanizmalarına bağlı önlemleri değil, çevresel etkilerden, proses parametrelerinin düzenlenmesine, değişim veya yenilemeden, risk sonuçlarının etkilerinin azaltılmasına kadar çok geniş yelpazede alternatifler değerlendirilebilir.

Risk tabanlı bakım prosesinin performansının gözden geçirilmesi, istenilen ve planlanan hedeflerin gerçekleşme oranıyla veya referans standartlardaki kriterlere göre ölçülebilir. Anahtar Performans Göstergeleri, her bir hedefin ölçülebilir ve kıyaslanabilir bir parametreyle uygulama öncesi ve sonrası durumunun karşılaştırılması esasına dayanmalıdır. Performans göstergelerinin yeterince uzun süre ve yeterli veriyle hesaplanması, veri tutarlılığını da arttıracaktır. Toplanan veri miktarı ve kalitesi arttıkça performans göstergesinin daha anlamlı olduğu görülebilir. Veri kalitesini ve tutarlılığını doğrulamanın bir yolu da tesis içi veya benzer özellikteki tesisler arası kıyaslamalardır (benchmarking). Benzer proses hatlarında çalışan ölçüm veya dozajlama aletlerinin birbiriyle karşılaştırılması veya aynı nitelikteki ekipmanın bir diğer tesisteki performansı kıyaslamalara örnek olabilir.

Anahtar proses göstergelerinin bir diğer faydası da kalıntı riski hesaplarken nelerin göz önünde bulundurulacağı hakkında bir fikir vermesidir. Nihayetinde sistem, alt sistem veya ekipman üzerindeki risk düşürülebilse dahi bu tesis hedefleriyle bağdaşmıyorsa, bakım ve kontrol uygulamasının etkinliğinin yeniden sorgulanması gereklidir.

5. Sonuç

Risk tabanlı bakım, maliyetleri azaltmak için “bir sihirli değnek” olarak değil, tesisin yapısal bütünlüğünü yönetmek için kapsamlı bir felsefe olarak düşünülmemelidir. Bu nedenle, risk tabanlı bakım programı, yönetim tarafından desteklenmeli ve uygulanması teşvik edilmelidir. [2]

Her ne kadar ilk bakışta sistemin kurulumu için harcanacak zaman, iş gücü ve finansal kaynaklar çok, proses karmaşık gibi görünse de, uygulamanın ilk yılı atlatıldıktan sonra gözle görülür ve ölçülebilir maliyet iyileştirmeleri ve iş gücü kullanımında iyileşme sağlanabilmektedir. Bu sebeple, kritik olan ilk yılın yönetimin güçlü desteği, farkındalık artırıcı aktiviteler ve motivasyon araçlarıyla desteklenmesi her yeni başlangıçta olduğu gibi risk tabanlı bakım sistemünün kurulumunda da etkinliği artırıcı rol oynamaktadır.

Bir varlık yönetim sistemi olarak Risk Tabanlı Bakım olgunlaştıkça, edinilen güncel ve geçmişe dair bilgi sayesinde arıza olasılıklarının ve yarattığı risklerin anlaşılması ve kestirilmesi çok daha kolaylaşacaktır. Ek olarak, sağlıklı varlıklar üzerinde gereksiz yere aktivite planlamaktan kaçınılmasını da sağlayacaktır. Bu sayede varlıklardan beklenen performans artırılabilir, operasyonel ve sermaye giderleri azaltılabilir, riskler ve etkileri hafifletilebilir [9]. Bu çalışmanın sanayimizce kullanımı ve tanıtılan yaklaşımdan kaynaklanan olumlu etkinin ve tecrübe transferinin ülkemiz endüstrisi için faydalı olması, daha iyi kontrol ve bakım uygulamaları ile rekabet edebilirliğinin güçlenmesi en büyük dileğimizdir.

6. Kaynakça

- [1] DEKE, L., “Application of Risk Based Inspection (RBI), Reliability Centered Maintenance (RCM) and Risk Based Maintenance (RBM)” (Unpublished Master’s Thesis), University of Stavanger, Stavanger.
- [2] KARA, O.A., 2019, “Atmosferik Depolama Tanklarında Risk Tabanlı Bakım”, IV. Tehlikeli Kimyasalların Yönetimi Ve Proses Güvenliği Sempozyumu, Kimya Mühendisleri Odası, Nisan 2019, ANKARA.
- [3] AVEN, T., 1992, “Reliability and Risk Analysis”, Elsevier Applied Science, Hampshire.
- [4] ASME, 2013., Risk-based Methods for Equipment Life Management: An Application Handbook CRTD-Vol. 41, American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [5] CEN CWA 15740:2008., Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry (RI-MAP), Brussels: Comité Européen De Normalisation.
- [6] API RP 580: 2002, Risk-Based Inspection, 1 ed., American Petroleum Institute, Washington.
- [7] API RP 580:2016, Risk-Based Inspection, 3 ed., American Petroleum Institute, Washington.
- [8] NORSOK Z-008:2017, Risk Based Maintenance and Consequence Classification, Norsk Søkkel Konkuranseposisjon, Lysaker.
- [9] KARA, O.A., 2019, “Risk ve Varlık Yönetimi”, IV. Tehlikeli Kimyasalların Yönetimi Ve Proses Güvenliği Sempozyumu, Kimya Mühendisleri Odası, Nisan 2019, ANKARA.



RİSK VE VARLIK YÖNETİMİ

¹O. Andaç Kara

¹ADA | Kalite Danışmanlık, Mühendislik, Eğitim, Gözetim ve Denetim
Web: www.adakalite.com, E-posta: akara@adakalite.com

Özet

Bir varlığın etkinliğini ve verimliliğini etkileyebilecek her faktör, doğal olarak o varlığın yönetiminin bir fonksiyonu haline gelir. Bu sebeptir ki kuruluşlar varlıklarını anlamak ve geliştirmek için yatırım yapar, riskleri yönetir, fırsatları kovalar ve performansı arttırmak için çaba sarf ederler.

Bu sürekli devam eden arayış içinde ISO (International Standards Organization) iki yeni standardı kullanımımıza sundu.

- ISO 31000 - Risk Yönetimi.
- ISO 55000 - Varlık Yönetimi.

Her iki yönetim sisteminde de Risk, “Belirsizliğin, amaçlar üzerindeki etkisi” şeklinde, birebir aynı kelimelerle tarif edilmiştir. Ancak, bu ortaklık, birini diğerinin alternatifi yapmaktan çok, birlikte çalışacak iki mekanizmayı tarif etmek çabasıdır.

Bununla beraber ISO 31000’de Kontrol ve Geliştirme bileşenleri daha güçlüyken ISO 55000, Kapsam ve Tasarım Bileşenlerine de aynı ağırlığı vermektedir. Bunda ISO 31000’in her türden işletmeye uyarlanabilmesi için esnek olması hedeflenirken, ISO 55000 risk yönetiminin yanına değer yaratan varlıklar ilgili karar mekanizmalarını da (Performans Yönetimi) koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: varlık, risk, performans, yönetim, sistem

1. Amaç

Bu makale, risk yönetimi ve varlık yönetimi uygulamalarının değerinin anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Konu olarak risk yönetimi ve varlık yönetimi arasındaki ilişkinin seçilmesinin amacı ister büyük ister küçük, özel, kamu, devlet veya kar amacı gütmeyen her kuruluşta fiziksel varlıklardan uzun vadeli değer elde etmek için formüle edilen sistematik yaklaşımları teşvik etmektir. Bu çalışmanın amacı, standartları yargılamak veya kıyaslamak değil ancak uygulamalardan yola çıkarak farklı yaklaşımların işletmelere neler katabileceğini proses güvenliği penceresinden değerlendirmektir.



Bu çalışma gerek risk yönetimi gerekse varlık yönetimini incelerken ilgili ISO standartlarına bağlı kalacaktır. Bu sayede iki yeni yaklaşımın da tanıtılması ve birbiriyle ilişkisinin sistematik olarak ele alınması hedeflenmiştir.

2. Yönetim ve Fonksiyonları

Modern yönetimin ilk tanımlarından biri, planlama, organize etme, koordine etme, komut verme ve kontrol etmenin birincil işlevler olduğunu öne süren Henri FAYOL¹ tarafından yapıldı.

Ancak günümüzde, temel yönetim işlevlerinin "...planlama, organizasyon, liderlik ve kontrol yoluyla etkin ve verimli bir şekilde ulaştırılması..." olduğu üzerine genel bir konsensüs oluşmuştur. Bununla birlikte, yönetimin (veya yöneticinin) üzerinde taşıdığı riskler de doğal bir etken olarak kabul edilmiştir. Yönetim riski, finansal, etik veya başka türlü, etkin olmayan, yıkıcı veya düşük performanslı yönetim ile ilişkili risktir. Sonuç olarak, bir işin, yatırımın, faaliyetin veya değerlerin etkin olmayan, yıkıcı veya düşük performanslı olması, o yöneticiler için "risk" tanımını yapmaktadır.

3. Varlık Yönetimi: Konsept ve İlkeler

Özellikle varlık-bağımlı kuruluşlar, değişen ve daralan bütçe sınırları karşısında maliyetlerin ve artan performans talebi karşısında geleneksel bakım programlarının yeterince etkin olmadığını fark edince yeni çözümler aramaya giriştiler.

Bakım maliyetleri, tüm üretim ve imalat endüstrilerinin toplam işletme maliyetlerinin kritik bir parçasıdır. Bununla beraber, geleneksel anlayışla bakım için harcanan paranın üçte biri, gereksiz veya yanlış yapılan bakım nedeniyle israf edilmektedir. 80'li yılların başında ortaya atılan toplam üretken bakım (TPM) ve güvenilirlik merkezli bakım (RCM) gibi yenilikçi bakım yaklaşımları, günümüzün varlık yönetimi anlayışının temellerini oluşturmuştur. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)³, varlık tanımını, bir "kuruluşa potansiyel veya fiili değer getiren öge, şey veya oluşum" şeklinde yapar.

Varlık yönetimi, bir kuruluşun varlıklardan değeri üretmek için giriştiği tüm faaliyetleri içerir. Değer üretimi, varlığın yaşam döngüsü süresince ilgili maliyetlerin, risklerin, fırsatların ve performansının göz önünde bulundurulmasını gerektiren bir süreçtir.

ISO 55000, varlık yönetimi konseptini "Kuruluş üst yönetimi, personeli ve paydaşları fırsatları değerlendirip, riskleri kabul edilebilir düzeylere kadar azaltmak için planlama, kontrol faaliyetleri (örneğin, politikalar, prosesler veya izleme eylemleri) ve izleme faaliyetleri" şeklinde tarif eder. Bu tanımlamayla yönetim fonksiyonları arasında risk ve performans odaklı bir denge kurulmasını vurgular ve konseptte oluşturan dört temel fikre de ışık tutmuş olur.

■ Değer Yaratmak

■ Kurumsal Hedeflerle Uyumluluk

■ Yönetimin Önderliği ve Kuruluş Kültürü

■ Varlıkların Hedeflere Ulaşacağına Dair Güvence

Standart, bugüne kadar benimsenen diğer varlık yönetimi sistemlerinden farklı olarak, önerdiği konseptin hayata geçirilmesinde iki yeni aracı da uygulayıcıların kullanımına sunar:

■ Varlık Yaşam Döngüsü

■ Karar Sürecine Yaklaşım

Her kuruluş, organizasyonel hedeflerine ulaşmak için neyin değer taşıdığını belirlemelidir. Bu hedefler, yatırımcılar, müşteriler, çalışanlar, yasa ve yönetmelikler ve içinde bulunulan toplumun beklentilerine uygun olarak belirlenmelidir. Kuruluşlar, karar verirken fiziksel varlıklar kadar müşteri memnuniyeti, itibar veya çevreye karşı sorumluluk gibi soyut değerleri de hesaba katmalıdırlar.

¹Fayol, H. (1916), General and Industrial Management, Paris, 1. Baskı, Dunod

²Daft, R.L. (2012). Management South-Western, Ohio, 10. Baskı, Cengage Learning

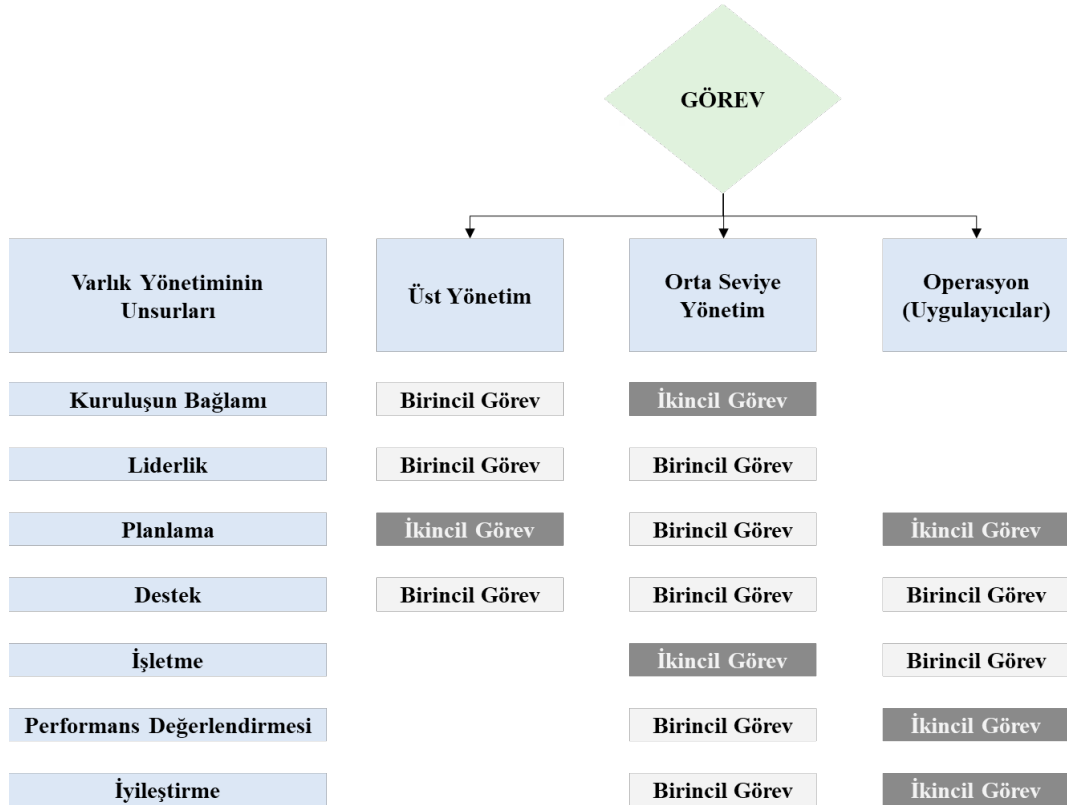
³Türk Standartları Enstitüsü. (2014). Varlık Yönetimi- Genel Bakış, Prensipler ve Terminoloji, TS ISO 55000:2014

Bir kuruluşun kurumsal değerlerini, faaliyetleri sonucu oluşturulan müşterinin değer algısıyla karıştırmamak gerekir. Bir kuruluşun kurumsal değerleri, onun çalışma şartlarının bir parçasıdır ve sınırlayıcı veya teşvik edici olabilir. Bu özellikleriyle kuruluşun ürettiği ürün veya hizmetin müşteri gözündeki değerine katkıda bulunabilirler. Ancak, müşterinin pazardaki diğer alternatifler karşısında ürün veya hizmetlere atfettiği değer, kuruluşun kar etme veya maliyetleri düzenleme yönündeki hedefleriyle her zaman uyumlu olmayabilir.

Standart, kuruluşun varlıklarını değerlerken varlık yaşam döngüsü yaklaşımının kullanılmasını ve ilgili karar verme prosedürünün bir prosedürde tarif edilmesini gerekli görmektedir. Bunun da Varlık Yönetimi Politikasının beyan edildiği bir deklarasyonla duyurulmasını şarta bağlar.

Varlık yönetimi kapsamında alınan mali veya teknik kararlar, kuruluşun hedeflerini planlara veya faaliyetlere dönüştürmelidir. Bir diğer deyişle bakış açısı, kurumsal hedefleri varlık yönetimi stratejisine, politikalarına ve hedeflerine dönüştürür. Bu şart, aynı zamanda üst yönetimin kararlarını, stratejilerini ve planlarını olguya dayalı, detaylı ve fiziksel varlığın yeteneklerini, performansını, yarattığı fırsatları ve operasyonel sınırları da göz önünde tutan bir mekanizmayla oluşturmasını gerektirir.

Bakış açısı (uyumluluk), varlık yönetimi faaliyetlerini yürüten ekibe bir çerçeve oluşturması açısından da önemlidir. Ekibin sınırlarını belirlediği kadar yaratıcılığını da teşvik etmeli ve inovasyon için uygun koşulları da oluşturmalıdır.



Şekil – 1: Varlık Yönetim Sisteminde Görev ve Sorumluluklar (ISO 55001)

Standart, bu şartların uygulamasının, organizasyonun risk yapısıyla uyumlu prosedürler yardımıyla varlık yönetimi politikası, hedefleri ve kararlarının mevcut operasyonel proseslere entegre edilerek yapılabileceğini belirtmektedir. Burada bahsedilen operasyonel prosesler; finans, insan kaynakları, bilgi sistemleri, lojistik ve ürün / hizmet gerçekleştirme operasyonları olarak tanımlanmıştır.

Kuruluş bünyesinde varlık yönetiminin başarılı bir şekilde tesis edilmesi, işletilmesi ve iyileştirilebilmesi için



liderlik ve tüm yönetim kademelerinin kararlılığı büyük önem taşır. Standart, varlık yönetim sistemini tarif etse de kuruluşun nasıl değer yaratacağını tarif etmemektedir. Bununla beraber, tanımladığı her kurumsal fonksiyonun bir sahibi olması gereklidir.

Varlık yönetim sisteminin etkin uygulanabilmesi için her seviyede katılım gereklidir. Değer yaratma ve kurumsal hedeflerle uyumluluk tartışılırken her seviyeden yöneticilerin ve bireylerin katılımı sağlanmalı, görev ve sorumluluk yapısı da tarif edilmelidir. Bununla birlikte, varlık yönetimi sisteminde görev alan tüm paydaşların, görevlerini yerine getirecek niteliklerle donatılması gereklidir. Görev ve sorumluluklar tarif edilirken sahip olunması veya sistemin olgunlaşma sürecinde edinilmesi gereken becerilerin de planlama süreçlerine dahil edilmesi gereklidir. Bu yaklaşım, sistemin benimsenmesine de katkı sağlayacaktır. Ana hatlarıyla, varlık yönetiminin temelleri, kuruluşun varlık yönetimi hedefleri, teknik beceriler ve problem çözme teknikleri, ihtiyaç duyulan eğitimler arasında sayılabilir.

Güvence, varlıkların, sistemlerin ve proseslerin istenildiği biçimde işlediğinin (proses çıktılarının), izlenmesi ve tetkik edilmesi faaliyetlerinin bir kombinasyonudur. İyi bir varlık yönetimi, etkin bir güvence yapısı gerektirir. Standardın anladığı biçimde güvence sağlayabilmek için hem varlıklar, onlardan beklenen hedeflere ulaşmalıdır hem de varlık yönetimi faaliyetleri ve hedefleri zaman içinde tutarlı ve sürdürülebilir biçimde hayata geçirilmelidir. Varlık yönetiminde güvence yapısı politikalar, iş süreçleri bilgi sistemleri gibi prosese ilişkin dayanaklar, yaşam döngüsü süresince varlık kabiliyetinin sürdürülmesi için mekanizmalar ve sistemin çalıştırılması ve iyileştirilebilmesi için diğer kaynakları ve yetkin personeli de içermektedir.

4. Varlık Yönetimi – Risk Yönetimi İlişkisi

Enerji ve üretim gibi sektörlerde faaliyet gösteren kuruluşlar tipik olarak varlık bağımlıdır. Günlük operasyonları büyük ölçüde fiziksel varlıklarının performansına bağlıdır. Sonuç olarak, bu kuruluşlar varlık performanslarını optimize etmek için sürekli çalışırlar. Aynı zamanda, yaşlanmaya devam eden varlıklarla, gittikçe daha sıkı hale gelen çevresel, güvenlik ve yasal uyumluluk gereklilikleri, olumsuz hava koşulları ve çevresel tehditler, ortaya çıkan teknolojiler ve varlık mülkiyeti ve işletimi ile ilgili diğer zorluklarla da karşı karşıya kalmaktadırlar. Buna ek olarak, daralan bütçelerle birlikte maliyetleri azaltmak için süregelen bir baskı hissedilmektedir. Bu kadar fazla değişken ve sınırlayıcı faktör, üst yönetime kıt bütçelerini varlıklarına en uygun şekilde tahsis etmede büyük zorluklar getirir. Varlıkların yönetimine risk bazlı bir yaklaşım fikri, son on beş yılda önemli ölçüde kabul görmüştür. Risk bazlı varlık yönetimi, zorunlu olarak riskleri azaltmakla değil, varlıkların operasyonel performansını varlıkların yaşam döngüsü maliyetine karşı dengelemek için riskin kullanılmasıyla etkin sonuçlara ulaşmıştır. Varlıklara ilişkin harcamalar, farklı paydaşlar tarafından hangi riske maruz kalmanın kabul edilebilir olduğuna dair bir değerlendirme yapılarak, kuruluş ve toplum için üretilen toplam değeri en üst seviyeye çıkarmaya yönlendirilmiştir. Bu nedenle risk yönetimi, ISO55000 standart serisine yaygın bir şekilde dahil edilmiştir.



Şekil – 2: Varlık Yaşam Döngüsü Yaklaşımında Farklı Örnekler

Varlık yönetimi kararlarını yönlendirmek için kullanılan temel iş değerleri; yasa ve yönetmeliklere uygunluk, güvenlik, iş güvenliği, kalite, çevre ve itibardır. Riske dayalı varlık yönetimi, varlık bağımlı şirketlerin, işletme değeriyle ilgili maruz kaldıkları riski maliyetler cinsinden anlamalarına yardımcı olur. Risk yönetim sistemine değer temelli bir sistem ekleyerek, kuruluş ve toplum için genel fayda optimize edilir. Bu fayda yaygın olarak kabul görse

de kuruluşların çok az bir bölümü bu faydaları ölçmekte ve rapor etmektedir. Risk bazlı varlık yönetiminde karar alma sürecine dahil edilen faaliyetlerin faydalarını ölçen bir yönetim aracına geçmek, karmaşık görünse de değer üretmenin en etkin yoludur. En etkili uygulamalar, risk belirleme ve risk ve değer hesaplamalarını karar alma sürecine entegre etmelerini sağlayan çeşitli araç ve tekniklere daha fazla odaklananlardır.

ISO 55000⁴ standart ailesi, risk tanımını, ISO 31000⁵ standardıyla birebir aynı kelimelerle yapmıştır; *Risk; Belirsizliğin, amaçlar üzerindeki etkisidir.*⁶

Varlık yönetimi, kurumsal amaçların yerine getirilmesi için varlıklardan arzu edilen performans ile maliyet, fırsat ve riskler arasında bir denge kurar. Ne kadar soyut görünse de varlık yönetiminde politika yapıcılar, risk yönetimiyle daha en başta, yatırım kararlarının önceliklendirilmesinde, varlıkların zamanla yıpranmasının / yaşlanmasının varlıkların mülkiyeti ve işletilmesinde en büyük risk kalemini oluşturması sebebiyle tanışırlar. Henüz ihtiyaç belirleme aşamasında bir varlığın yaşam döngüsü boyunca taşıyacağı ve üreteceği tüm risklerin zamana dayalı olarak analizi, hangi varlığa yatırım yapılacağı kararında kilit rol oynar. Yatırım kararları, her zaman riski en az varlığa yatırım yapmayı değil, taşıdığı riskin anlaşıldığı ve yönetilebileceği varlıklara yatırım yapmayı tercih edebilirler. Bu kararda belirleyici unsur, kaçınılmaz olarak kuruluşun hedefleri olacaktır. Yatırım kararı aşamasında kurulması gereken denge, yatırım ve işletme maliyetleri ile teknik, finansal, çevresel, iş sağlığı ve güvenliğinin yanısıra, varlık performansı ve varlığın üreteceği katma değer arasındadır.

Etkin bir varlık yönetim sisteminin kurulabilmesi, operasyonel düzeyde anlaşılmasına ve uygulanmasına bağlıdır. Kuruluş içi etkin iletişim kanalları kurulması ve tesisi etkileyen başlıca risklerin her seviyede anlaşılmasının sağlanması büyük önem taşır. Basson'a (2013) göre "Operasyonel Risk Yönetimi kavramı, kuruluş genelinde yöneticilerden sahadaki operatörlere kadar tüm personelin organizasyonu etkileyen başlıca riskleri anlamalarını, bu riskleri etkin bir şekilde ele almak için iş süreçleri oluşturmalarını ve düzeltici / önleyici faaliyetler için prosedürleri uygulamalarını sağlayacak bir yapı oluşturmakla ilgilidir."⁷

Bir diğer deyişle, varlıklar üzerindeki risklerin her seviyede anlaşılacak varlık yönetim sisteminin benimsenmesini sağlamaları için gereken yapı operasyonel risk yönetimidir.

ISO 31000'e göre, risk yönetimi prosesinin ilk adımı ve girdisi iletişim ve danışmadır (istişare). Burada bahsedilen bilgi, riskin yönetiminin varlığı, doğası, biçimi, ihtimali, önemi, değerlendirmesi, kabul edilebilirliği ve azaltılması ile ilgili olabilir. Danışma ise, bir karar almadan önce veya bir yön belirlemeden önce bir husus hakkında bir kuruluş ile onun paydaşları arasındaki iki yönlü bir bilgilendirme iletişimi sürecidir.

5. Varlık Yönetiminde Risk Analiz Metotları

ISO 55002, Varlık yönetimi açısından risk yönetiminin genel amacını "...meydana gelen olumsuz olayların nedenini, etkisini ve olasılığını anlamak, bu riskleri kabul edilebilir bir düzeyde yönetmek ve risklerin yönetimi için bir denetim izi sağlamaktır. Amaç, kuruluşun varlık yönetimi sisteminin amaçlarına ulaşmasını, istenmeyen etkileri önlemesini veya azaltmasını, fırsatları tespit etmesini ve sürekli iyileştirmeyi sağlamasıdır." şeklinde açıklar. Varlık yönetiminin her aşamasında kullanılacak risk yönetim araçlarını bu tanımın içinde aramak gereklidir. Ana hatlarıyla nicel, yarı-nicel ve nitel analiz metotları gerek karar verme aşamasında gerekse risk yönetimi aşamasında uygulanabilir.

Standart, varlık yönetimi hedeflerinin ölçülebilir ve izlenebilir olması gerektiğinin altını çizmektedir. Aynı yaklaşım, yeterli ve kaliteli verinin sağlanabildiği her aşamada risk tabanlı bakım uygulamalarında da görülmektedir. Ortak amaç, sağlıklı, ölçülebilir ve izlenebilir veriye dayanarak riskleri en aza indirmek, böylece varlık yönetiminin ve bakım uygulamalarının etkinliğini maksimize etmektir. Bu çalışma, fiziksel varlıkların yönetiminde nicel risk analizi metotlarını, soyut varlıkların yönetiminde ise yarı-nicel ve nitel risk analiz metotlarının kullanımını teşvik

⁴ 12 Türk Standartları Enstitüsü, Varlık Yönetimi- Genel Bakış, Prensipler ve Terminoloji (2015), TS ISO 55000:2015

⁵ Türk Standartları Enstitüsü, Risk Yönetimi- Kurallar (2018) İngilizce Metin, TS ISO 31000:2018

⁶ Türk Standartları Enstitüsü, Risk Yönetimi- Terim ve Tarifler- Standartlarda Kullanmak İçin Rehber, TSE ISO/IEC GUIDE 73

⁷ BASSON, W. Risk Management Solutions Flow to Implement Quantitative Methods As Part Of ISO 55000 for Physical Asset Management. 2016. PhD Thesis. Stellenbosch: Stellenbosch University.

etmektedir. Bu açıdan bakıldığında, fiziksel varlıkların yönetimi için aşağıdaki risk analiz metotları sıralanabilir:

- İzleme, Ölçme, Analiz ve Değerlendirme
- Varlık Kritikliği Analizi
- Arıza (Hasar) Analizi
- Finansal Risk Etkisi

ISO 55001, performans değerlendirmesi başlığı izleme, ölçme, analiz ve değerlendirme faaliyetleri tanımlamaktadır:

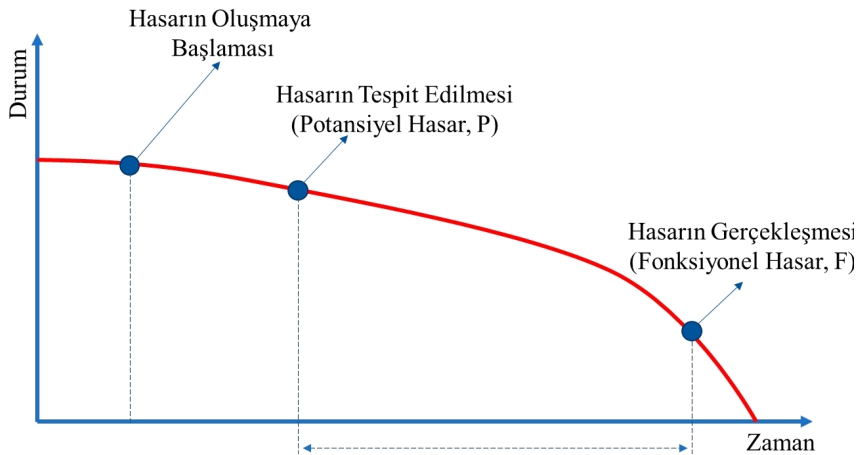
“Kuruluş, ölçülmesi ve izlenmesi gerekenleri, sonuçların geçerli olmasını temin etmek için kullanımı mümkün olan izleme, ölçme, analiz ve değerlendirme metotlarını, izleme ve ölçümün ne zaman yapılacağını, izleme ve ölçüm sonuçlarının ne zaman analiz edileceğini ve değerlendireceğini belirlemelidir.”

Bakım yönetimi açısından düşünüldüğünde tipik bir risk tabanlı kontrol (RBI) tanımı gibi görünse de varlık yönetimi açısından izleme, ölçme, analiz ve değerlendirme faaliyetleri tüm varlık yaşam döngüsü süresince yapılmalıdır. Burada nicel analiz yöntemlerinin yaratacağı katkı açıktır.

Varlık Kritikliği, analiz edilecek fiziksel varlığın seçimi, dolayısıyla da risk önceliklendirmesiyle doğrudan ilişkilidir. Yukarıdaki tanımdan yola çıkarak, kuruluş neyin izlenmesi gerektiğine karar vermelidir. Bir diğer deyişle, fiziksel varlığın kuruluşun hedeflerine ulaşabilmesi açısından ne ölçüde önemli olduğu, bu varlığın karşılaşılabileceği arızaların ne tür potansiyel riskler yaratabileceği belirlenmelidir.

Varlık Kritikliğini belirlerken, Hata Tipleri, Etkileri ve Kritiklik Analizinden (FMECA)’dan faydalanılabileceği gibi her iki yöntemin birlikte kullanılması etkinliği arttıracaktır. Kritiklik analizi yöntemiyle varlığın tesis bütünü içindeki önemi zamana dayalı olarak takip edilebileceği gibi, FMECA ile olası arıza senaryolarına yönelik riskler detaylı analiz edilebilir. Her durumda varlığın zaman içindeki değeri değişebileceğinden, varlık yaşam döngüsü boyunca varlığın kritikliği analiz edilmeli ve izlenmelidir.

ISO 55000, varlık yönetimiyle ilgili tanım ve tariflerde, *“bir varlığın durumunu izleme ve önleyici faaliyete veya düzeltici faaliyete olan ihtiyacı tahmin etme amaçlı faaliyet”* tanımıyla kestirimci faaliyetlere atıfta bulunur. Arıza (Hata) analizi, istatistiksel olarak uygulandığında, bir varlığın ne zaman arıza vereceğinin ve olası sonuçlarının nasıl etkileri olabileceği öngörme prosesidir.



Şekil-3: P-F Eğrisi

Arıza analizinin unsurları zaman ve varlığın durumudur. Hesaplanan riskin belirli bir süre sonunda kabul edilebilir risk seviyesini aşması ve arızanın gerçekleşmesi durumu P-F Eğrisiyle tarif edilir.⁸

⁸KARA, O.A. (2019), Atmosferik Depolama Tanklarında Risk Tabanlı Bakım, ADA Kalite | Danışmanlık, IV. Tehlikeli Kimyasalların Yönetimi ve Proses Güvenliği Sempozyumu Bildirisi

Bir risk (Potansiyel Arıza) gerçekleşmeden önce (Fonksiyonel Arıza) varlığın hesaplanmış en yüksek hasar faktörlerine sahip hasar mekanizmalarına dayalı olarak kontrol edilmesi gereklidir. Kestirimci bakım yöntemlerinde P-F süresi öngörülmeye çalışılır. Bir hasarın tespit edilmesiyle fonksiyonel bir arızaya dönüşmesi arasında belirlenen bir zamanda riski azaltacak, ortadan kaldıracak veya P-F süresini uzatacak faaliyeti hayata geçirmek kararı, varlık yönetim sisteminin hedefleri doğrultusunda verilmesi gereken bir karardır. Bu kararda belirleyici unsurlar kritiklik, maliyet veya her ikisi birden olabilir.

ISO 55000'de standardın varlıkları yönetmek için finansal rehberlik sağlamadığı açıkça belirtilmiş olmasına rağmen, standart boyunca finansal performansın ölçülmesi, varlıkları yönetmenin önemli bir parçası olarak tanımlanmaktadır.

İyileştirilmiş finansal performans, ISO 55000'de varlık yönetiminin faydalarından biri olarak listelenmiştir. Bir varlığın değerinin maddi veya maddi olmayan, finansal veya finansal olmayan olabileceği gerçeği, ISO 55000 serisi boyunca bir kereden fazla belirtilmiştir.

Varlık yönetiminin bir finansal yaklaşımla entegrasyonu önemlidir ve gerçekte varlık yönetimi sistemi finansal performans ve risk yönetimini de içeriyorsa verimli bir şekilde işletilebilir. Bunun en belirgin sebebi, üst yönetimin fiziksel varlık yönetiminin etkinliğini fayda ve maliyet cinsinden ölçüyor olmasıdır.

Finansal risk etkisinin analizi birçok farklı modelle yapılabilir. Bu çalışmada 3 ana yaklaşım ana hatlarıyla anlatılmıştır.

- Fayda-Maliyet Analizi
- Net Bugünkü Değer
- Fayda-Maliyet Oranı
- Ekonomik Katma Değer
- Toplam Ekipman Verimliliği veya Toplam Proses Verimliliği

Fayda-Maliyet Analizi, kuşkusuz her şeyden önce ekonomik bir değerlendirme metodudur. Doğru uygulandığında bir faaliyetin yararları ve maliyetini parasal ölçülerle tanımlanabilir.

Fayda-Maliyet Analizine örnek olarak Net Bugünkü Değer analizi ve Fayda-Maliyet Oranı metotları verilebilir. Net Bugünkü Değer Analizi, gelecekte elde edeceğimiz nakit tutarlarının belirli bir iskonto oranı ile bugüne indirgenmesidir. Örnek olay üzerinden anlatılırsa;

Kuruluşun ihtiyaç duyduğu kaynak makinasının satın alma ve kurulum maliyeti 10.000 TL'dir. Ekipmanın ömüründeki 5 yıl boyunca aylık 25 TL ekonomik fayda sağlaması beklenmektedir. Alternatif olarak, yatırım için düşünülen 10.000 TL, aylık %0,64 net faizle bankaya yatırılabilir.

Net bugünkü değer (NBD) için kullanılacak formül;

$$NBD = -Yatırım + \sum_{t=0}^{N_a} \frac{(Fayda)_t}{(1-r)^t} \quad (1)$$

- N_a = Öngörülen süre (ay)
- t = Süre
- r = Alternatif yatırım getirisi (%)

Dolayısıyla, kaynak makinasının net bugünkü değeri;

$$NBD = -10.000 + \sum_{t=0}^{60} \frac{(25)_{60}}{(1-0,64)^{60}}$$

$$NBD = 2423,23 \text{ TL}$$



Bulunan net bugünkü değer, pozitif olduğu için, ekipman yatırımının yapılması finansal olarak faydalıdır. Eğer değer negatif bir değer bulunsaydı, faydanın maliyete göre daha az olduğu düşünülecekti. Bu durumda satın alma kararını etkileyecek başka gerekçe yoksa, kaynak makinasının alınmamasına karar vermek gerekecektir. Fayda-Maliyet Oranı, toplam faydanın toplam maliyete bölünmesiyle hesaplanır.

Ekonomik katma değer hesabı, bir fiziksel varlığın bir finansal dönem içinde yarattığı gerçek değer belirlenmesi amacıyla kullanılır. Ekipmanın ürettiği net ölçülebilir fayda ile yatırım maliyetinin ağırlıklı ortalaması arasındaki fark, o ekipmanın ürettiği ekonomik katma değer olarak tarif edilebilir. Bu yaklaşımın varyasyonlarıyla mülkiyetin ekonomik etkisi gibi birçok risk, ölçülebilir olarak hesaplanabilmektedir.

Toplam Ekipman Verimliliği, ekipmanın emre-amadeligi, üretim hızı (kapasite kullanımı) ve üretilen ürünün kalitesinin fonksiyonu olarak hesaplanır. Bir yalın üretim göstergesi olan toplam ekipman verimliliği, en basit tarifıyla; kaliteli ürün üretmek için zamanın ne kadar etkili kullanıldığıdır.

Toplam Proses Verimliliği, daha detaylı bir yaklaşımla duruşların sayısını, süresini, arıza bakımı oranlarını, tamir sonrası yeniden devreye alma süresini ve bu sırada çeşitli sebeplerle üretilen hatalı ürün adetlerini de göz önünde bulundurarak prosesin verimliliğini ölçmeyi amaçlar.

Gerek Toplam Ekipman Verimliliği gerekse Toplam Proses Verimliliği, varlığın yaşam döngüsü süresince çeşitli periyotlarda hesaplanarak maliyet etkinliğindeki değişimi veya bakım faaliyetinin yarattığı iyileştirmeyi ölçmek amacıyla da kullanılabilir.

6. Sonuç

Günümüzde çoğu kuruluş, varlık risk yönetiminin önemini ve organizasyonlarına getirebileceği değer farkındadır. Bununla birlikte, pek çok kuruluş etkili ve verimli varlık verisi toplamakta zorlanmaktadır. Yanlış seçilmiş veya kullanılan veri toplama araçları her zaman beklentilere cevap verememektedir. Bu durum çoğunlukla kullanılan veri toplama teknolojiden değil, tesisteki veri kalitesi etrafında uygun bir varlık yönetimi kültürünün bulunmamasının kaynaklarıdır. Ancak, zorluk sadece varlık verilerini etkili ve verimli bir şekilde toplamaktan ibaret değildir. Aynı zamanda, iyi kararlar almak için “doğru” verilere sahip olmakla da ilgilidir.

Varlık risk yöneticilerini bekleyen üçüncü zorluk, toplanan büyük miktarda veriyi, karar mekanizmalarında kullanılacak nitelikte bilgiye çevirebilmektir. Toplanan verilerden varlıkların geçmiş performans verileri çıkarılabileceği gibi mevcut durumları da değerlendirilebilir. Bu sayede arıza şablonları, arıza davranışları ve risk etkilerini anlamaya yardımcı olacak çok değerli bilgiler elde edilebilir. Bu sayede performans değerlendirmesi ve risk analizi için çok daha iyi tanımlanmış ölçüler oluşturulabilir, risk yönetimi ve performans geliştirme faaliyetleri için sağlam temeller oluşturulabilir.

Varlık yönetim sistemi olgunlaştıkça, edinilen güncel ve geçmişe dair bilgi sayesinde arıza olasılıklarının ve yarattığı risklerin anlaşılması ve kestirilmesi çok daha kolaylaşacaktır. Ek olarak, sağlıklı varlıklar üzerinde gereksiz yere faaliyet planlamaktan kaçınılmasını sağlayacaktır. Bu sayede varlıklardan beklenen performans artırılabilir, operasyonel ve sermaye giderleri azaltılabilir, riskler ve etkileri hafifletilebilir.

Bu çalışmanın sanayimizce kullanımı ve tanıtilen yaklaşımdan kaynaklanan olumlu etkinin ve tecrübe transferinin ülkemiz endüstrisi için faydalı olması, daha iyi risk ve varlık yönetimi uygulamaları ile rekabet edebilirliğinin güçlenmesi en büyük dileğimizdir.

ROLE OF MATERIALS DESIGN IN MAINTENANCE ENGINEERING IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 IDEA

¹Prof. Leszek A. Dobrzański

DSc, PhD, MSc Eng, Hon. Prof., Dr HC multi

¹Prof. Leszek A. Dobrzański, DSc, PhD, MSc Eng, Hon. Prof., Dr HC multi, Professor and Director of the Science Centre: Medical and Dental Engineering Centre for Research, Design and Production ASKLEPIOS, in Gliwice, Poland, leszek.dobrzanski@centrumasklepious.pl

Abstract

Since the dawn of time, man has been using and, over time, he has been processing materials needed to obtain food, increase safety and ensure a good standard of living. After an era of water and steam and mass production based on the division of work with the use of electricity and subsequently using electronics and information technology to automate manufacturing processes, there is a dynamic use of cyber-physical systems, currently guaranteeing production progress in the fourth stage of the industrial revolution, abbreviated as Industry 4.0. It is necessary to extend the enumerative list of the designated nine technologies that decide about the change in industrial production at this stage with crucial aspects, i.e. manufacturing processes and engineering materials. During the material design, it is needed to design the durability, maintenance and performance of the products also. The examples of own advanced research, which illustrate the legitimacy of the thesis were presented. It has been confirmed experimentally that material design is one of the most important elements guaranteeing the production progress in stage 4.0 of the industrial revolution.

Keywords: civilization, development of materials, industrial revolution, Industry 4.0

1. Introduction

Development in many areas of life, technologies, which has been accompanied since the dawn of civilisation, the continuous social and cultural development of people is noted over time. New discoveries have become a measure of the progressive biological and cultural evolution of people, and it is impossible not to underestimate the huge importance of materials in these processes and the role of the increasing level of productive forces, discovered and over time controlled by people. Since the dawn of time, people have used and processed, over time, materials needed to obtain food, increase safety, and ensure a fair standard of living. These issues were described in several previous own works [1-9], where a detailed bibliography of the subject is also given.

Currently, over 100,000 various engineering materials are known and used in the world. Usually, during professional work, the average engineer comes into contact with 50 ÷ 100 of these materials and he has as many chances to get to know the level sufficient for practice. Therefore, it is difficult to assume that such knowledge is enough



for him to select the right material due to all possible criteria, including those related to the structure and properties of materials, technological, ecological, economic, social aspects, and above all due to the operational reliability of the products and health and safety of people using them. This paper presents the approach in line with the idea of Industry 4.0 with a special focus on the issues of exploitation and maintenance of products. The paper is part of the bigger one report prepared for publication in AMSE Journal.

2. Role Of Engineering Materials And Manufacturing Processes In Industry 4.0 Stage Of Industrial Revolution

Currently, our civilization faces very serious challenges regarding food, energy, water and life's level and health care. They were defined in 17 Sustainable Development Goals by the UN and given in 4 groups in Fig.1. About the chances of achieving these goals, as well as about the level and quality of life, exchange of information, level of education, quality and possibilities of health care and other aspects of the environment, in where we live, the products and other consumer goods that each of us supplies on the market decide, and which are supplied by the manufacturers, in particular by the technical society in which engineers play a special inspirational, creative and managerial role. Manufacturing involves the processing of raw materials into products in various processes, using various machines and operations organized according to a well- prepared plan with the appropriate use of resources such as materials, energy, capital and people. Engineering design is the basis of launched and performed production. In turn, the material is a substance from which all products of interest to customers are made without exception. The most important is materials design so as to shape their structure and properties that meet the requirements in working conditions. Material issues, therefore, play an important role in the implementation of the humanistic mission and tasks of the engineering society, consisting of making products available to people.

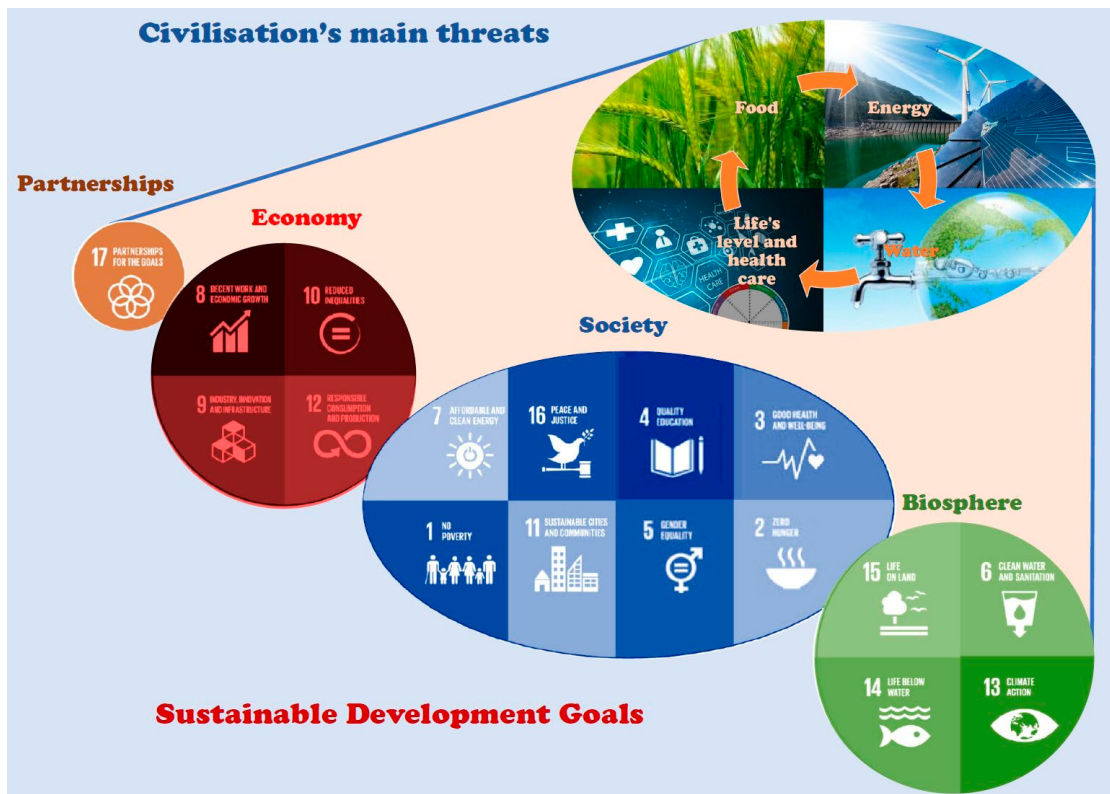


Figure 1. Sustainable Development Goals

Materials design, as one of the three inseparable elements of engineering design in addition to structural design (regarding the selection of the shape and geometric form of the product or its element) and technological design (regarding the method of processing engineering materials to produce the product) is a complex and difficult task (Fig. 2).

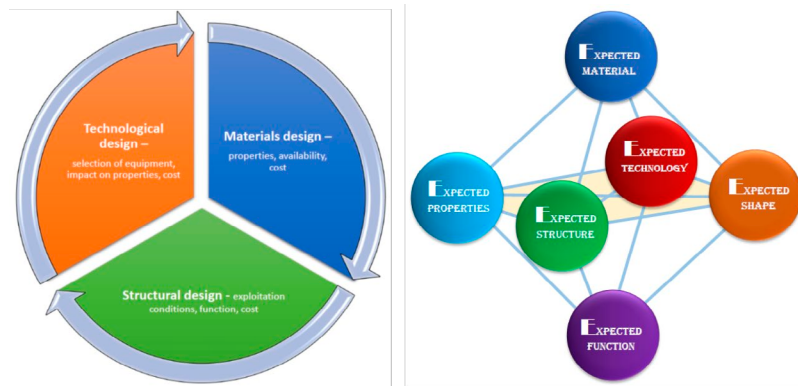


Figure 2. Diagram of inter-relation between the components of the product's engineering design, i.e. constructional design, materials design and technological design and paradigm of materials engineering and materials science – an octahedron of the rule of 6 expectations, 6xE

Therefore, it is difficult to imagine that material design can be carried out in a random manner and without appropriate adopted methodology. In this case, there can be no question of choosing from an infinitely large number of possible solutions which is optimal and at least appropriate due to the set of listed and appropriate criteria. The average small car consists of 15,000 elements, while a large passenger plane with about 4.5 million elements. This means that starting the production of such a complex product requires the same number of correctly made decisions regarding the selection of engineering materials for each of the elements and the same number of decisions regarding the correct selection of the technological process of each of the elements made from these materials. A mistake, even in one case, can cost a lot of lives. A similar situation applies to every product, although the effects of a wrong decision do not have to be that dramatic. However, they can be associated with unnecessary expenses, a high failure rate of the equipment, machinery and devices, discomfort or simply upset users, as well as with the product's market failure and, as a consequence, the manufacturer's lack of success. Historical analysis of this process indicates, however, that over time, an increasingly advanced methodology was developed, initially by the selection, trial and error method, and then material design using increasingly advanced methods of laboratory research and computational simulations (Fig. 3), as described in publications, including own [3-10].

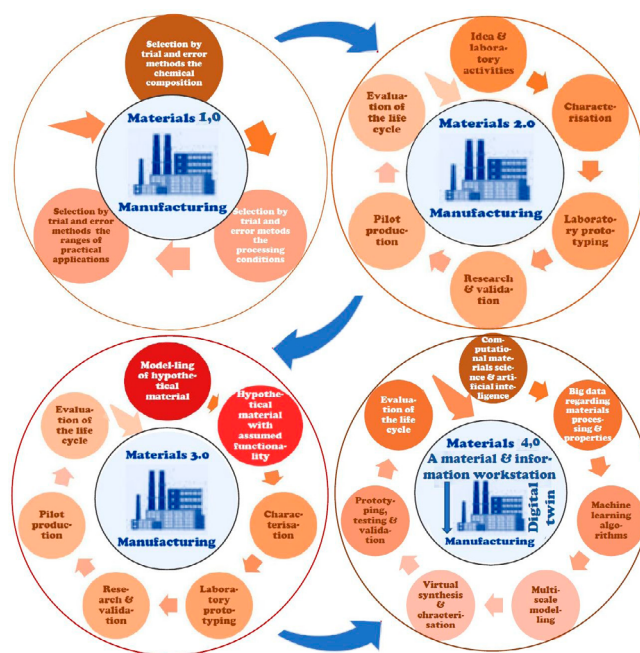


Figure 3. Development of material design methodology from Materials 1.0 trial and error method to Materials 4.0 methodology using cyber-physical systems and advanced informatics technologies

According to the material engineering paradigm, the expected functional properties of the product will be ensured when the appropriate expected material is designed, in a appropriate designed expected manufacturing process, the expected shape and other geometric features of the product are obtained, and the expected material structure is guaranteed that guarantees the expected mechanical, physical and chemical properties of material that, when applied to the designed product, provides the expected exploitation functions of the product (Figure 2b). From the point of view of product design, all engineering materials that can provide the required product properties are equal, and multi-criteria optimisation is the basis for the selection of the material with the best exploitation and technological properties and with the lowest possible costs of manufacturing, processing, and materials and product exploitation. As a result of numerous changes from the beginning for millions of years and almost a hundred years ago, the material selection process relied on the trial and error method and was defined as Materials 1.0. In most 80% of cases, the Materials 2.0 protocol [10] is currently most commonly used, associated with systematic materials testing, from concept development and verification, as well as prototyping in laboratory tests, followed by testing and validation of products in the real environment and assessment of their life cycle (Fig. 3). In the case of the Materials 3.0 protocol, the procedure is similar, except that the concept uses informatics tools on materials, and materials with the target functionality are computationally designed, among others, using the principles of quantum chemistry and physics, but also artificial intelligence methods, using the previously collected information. The most advanced and growing idea of materials 4.0 uses cyber-physical systems and materials big data as well as modern artificial intelligence tools, intelligent machine learning algorithms and neural networks, and systems cooperating with people.

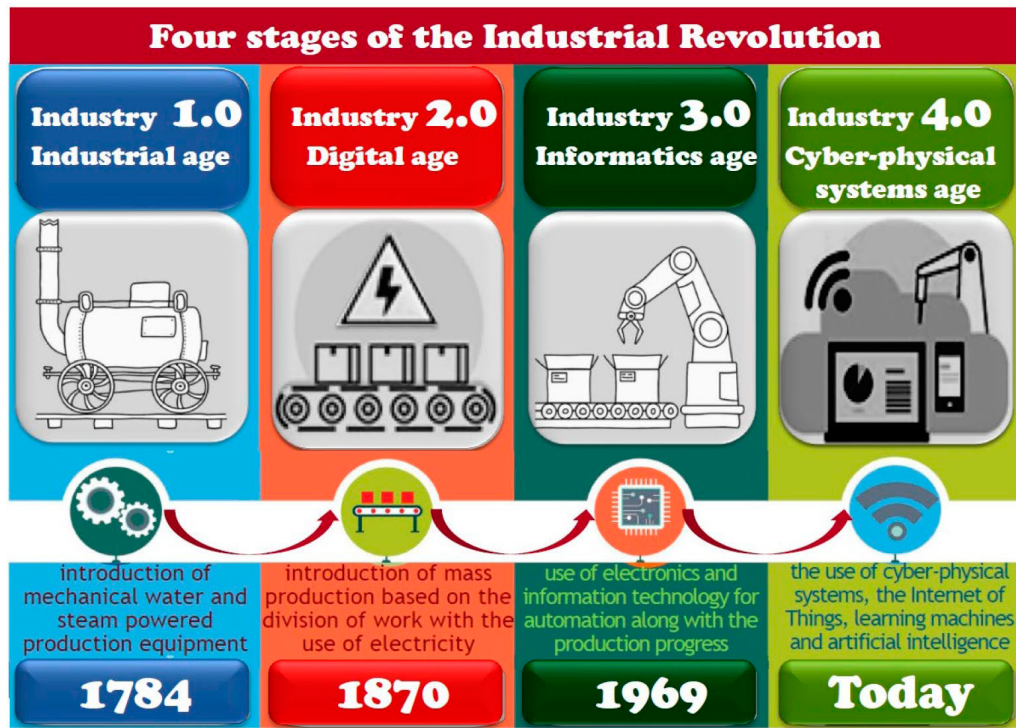


Figure 4. Scheme of the successive stages of development of the industrial revolution from Industry 1.0 to 4.0

The decision to design material is by no means easy. Appropriate material design for a given application based on multi-criteria optimisation related to both chemical composition, manufacturing conditions, exploitation and maintenance conditions and the method of removing material waste in the post-use phase, as well as price conditions related to obtaining the material, its processing into the product, and the product itself, as well as the costs of removing post-production and post-exploitation waste, as well as modelling of all processes and properties related to materials, inevitably computer-aided, are important issues for which every engineer, regardless of completed specialisation, must be well prepared.

Changes in material design methodologies are part of the stages of development of material culture in general. The works [3,11,12] present the concept of stages of society's development. The Japanese government approved

in January 2016 the Society 5.0 Program and modified it in 2017, assuming that in the early 1.0 Society, groups of people practised hunting and harmoniously coexisted with nature, while in Society 2.0 they organized around agriculture. Society 3.0 was characterised by industrialisation and the industrial revolution, when Society 4.0 was informational, combining real and intangible resources through informatics networks. An informational Society 5.0 aims at the well-being of a people-oriented society, with a major focus on economic development, social issues and high quality of life in which goals are achieved by connecting cyberspace to the real world. Society 5.0 is universal and fulfils the Sustainable Development Goals SDG set by the UN (Fig. 1).

In Europe, based on German reports [13], the idea of Industry 4.0 is becoming more and more widespread, also presented in own works [3-9], describing the successive stages of the industrial revolution (Fig. 4). This idea is also universal and is currently adopted in many countries. Initiation of industrial development was recognized as Industry 1.0 by the introduction of steam engines in the 18th century. The next stages Industry

2.0 are the introduction of a mass production line using electricity, replaced in the 1970s by Industry 3.0 as a result of the extensive use of computer aiding not only for design but also for the production and wide use of electronic devices in production processes. The current stage of Industry 4.0 covers the cyber-physical systems of various things and objects as well as the integration of the Internet of Things and the Internet of services as an internal and inter-organisational network with the production process. Industry 4.0 includes communication between machines and also machines with people and aims to create smart factories (Fig. 5) in which production technologies are improved and transformed using cyber-physical systems (CPS), the Internet of Things (IoT) and computing cloud using big data.

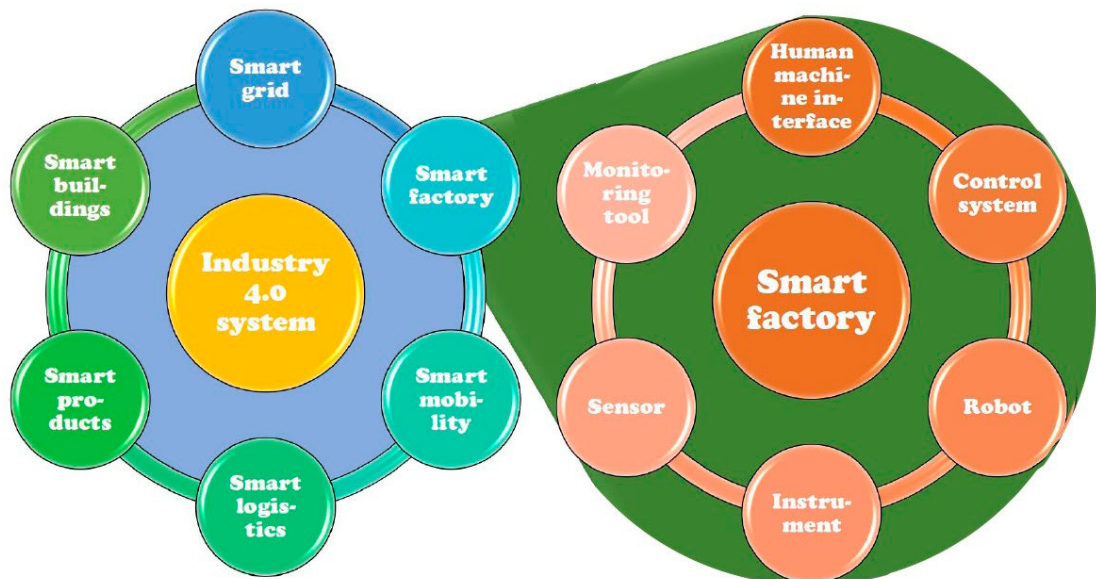


Figure 5. Scheme of smart components of the Industry 4.0 system and smart factory

Products, stakeholders (customers, employees or suppliers) and production devices exchange data between themselves, placing it in a virtual network. The resulting smart factories produce intelligent products and are supplied with energy and water and other raw materials by intelligent suppliers. Production systems monitor physical processes and make intelligent decisions through communication and cooperation in real-time with people, machines and sensors based on simulations and experiments carried out in virtual reality using the so-called “digital twins” of the physical world, simulating the real exploitation and maintenance conditions of manufactured products. Intelligent manufacturing is implemented through direct communication with production systems and allows devices or machines to change their behaviour in response to various production situations, with the possibility of learning and using artificial intelligence, computing cloud and the Internet of Things. The practical application of the Industry 4.0 concept improves the competitiveness of companies and regions by increasing productivity and improving production economics, accelerating industrial growth and favouring a change in the workforce profile, which is ensured by the nine basic technologies described in the literature [10] that underpin the assumptions of the Industry 4.0

idea. Despite the widespread acceptance of this list and its repeated presentation during many scientific conferences and industrial training in own works [3-9], it has been shown that the case requires re-analysis and verification of the approach.

Currently, manufacturing is a complex activity connecting people performing different professions and tasks using different machines, devices and tools, and to varying degrees automated and robotised, described in a real way, as well as various tasks described in virtual reality and even augmented reality by many tools and informatics technologies, which require not only advanced IT software, but also extensive cooperation of people, things and services in very advanced IT networks using big data and computing cloud. Fig. 6 shows “the flower of Industry 4.0 main tasks”. This scheme illustrates all relationships between engineering materials, manufacturing processes, robotisation and computerisation of manufacturing, the product life cycle and ecological issues in the manufacturing and exploitation of products as well as cyber-physical systems that combine all these tasks.



Figure 6. Scheme of „the flower of Industry 4.0 main tasks”

The most important thing is that manufacturing is possible only thanks to the physical system in reality and provided that real materials, usually engineering ones, are used. Materials are solids with properties that enable them to be used by man in the manufacture of products. Without materials, no product can be manufactured, so without them, there is no stage of the industrial revolution from Industry 1.0 to 4.0 and it is necessary to include them in the Industry 4.0 scheme. Despite enormous technological progress, neither now nor in the near future, no Industry 4.0 assumptions can be realised without products manufacturing technologies which are known for many years, including foundry, machining, plastic deformation, heat treatment, surface treatment, welding and joining, assembly. These all technologies are systematically modernised, mechanised, robotised, largely require computer aiding, both at the engineering design stage and during manufacturing, and are fully subject to the rules of cyber-physical systems. It is impossible to apply additive technologies instead of all other manufacturing technologies. Additive manufacturing is only one of the alternative, complementary and even uncompetitive technological options. The wrong approach is to give the wrong impression that is not needed progress in real machines and production technologies and the materials used to manufacture any product. It is not true that progress takes place only in technologies that provide monitoring, coordination, control and integration of computer and communication technologies and possibly other elements ensuring physical preparation of products in real conditions. This issue has already

been presented in own works [3-9], initiating a broad discussion in the scientific society in the field of improving the Industry 4.0 model. The discussion conducted here and in previous own works indicates that 12 technologies (in some cases technology groups) should be taken into account, which determines the practical implementation of Industry 4.0 (Fig. 6).

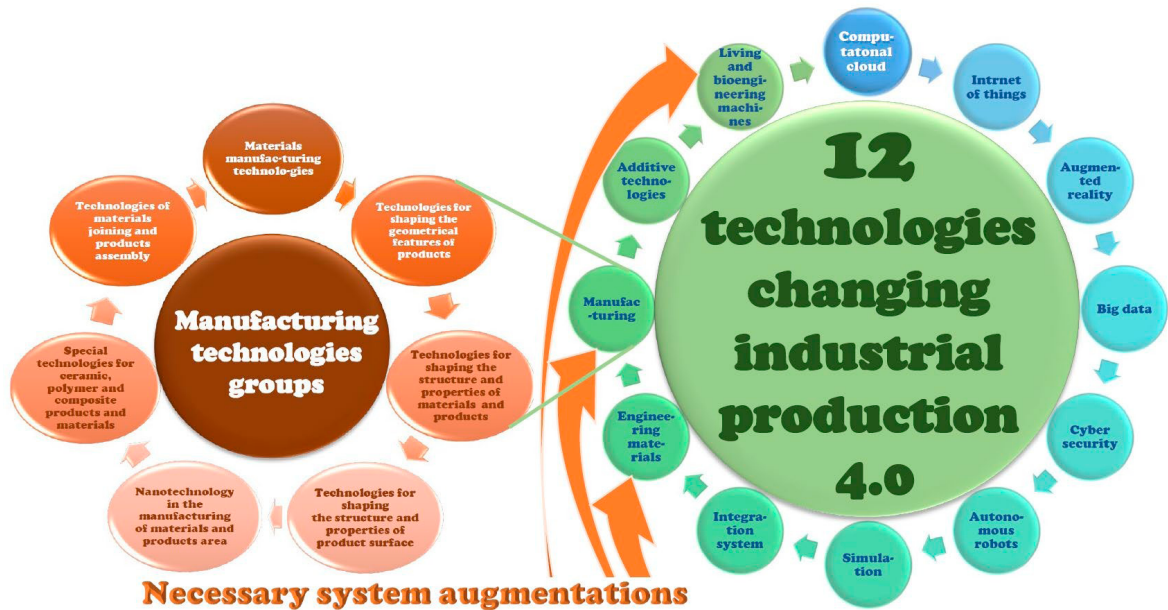


Figure 6. Twelve technologies determining the development of production in the Industry 4.0 stage along with the necessary system augmentation and the specification of the manufacturing technologies groups used

3. Practical Examples Of The Products Maintenance Design Obtaining By Engineering Design And Appropriate Technological Processes

During material design, which is part of the product engineering design, the shape, structure and properties, as well as the exploitation functions of the product should be designed, as well as the durability, maintenance and performance of the products. Some examples of own advanced research were presented on several selected, newly developed materials used in very different fields of application, asking the following few questions: How to increase the functional properties of dental restorations?

How to increase the efficiency of photovoltaic cells from polycrystalline silicon? How to increase the resistance of steel to cracking?

How to increase the durability of cutting tools?

How to increase the working properties of the nanocomposites with carbon nanotubes and flake graphene? The results of detailed research were presented, mainly using a high-resolution transmission electron microscope, which illustrates the validity of the scientific hypothesis. The durability and life-time of products require the design of maintenance conditions by designing relatively small changes in the critical exploitation properties of products as a function of time. This requires the appropriate design of the structure and properties of the engineering materials used and their changes during exploitation. The relationship between the studied phenomena and structural effects and the using functions of products made from the materials used and their maintenance was presented.

4. Conclusions

Manufacturing involves the processing of raw materials into products in various processes, using various machines and operations organized according to a well-prepared plan with the appropriate use of resources such as materials, energy, capital and people. The basis of production is engineering design consisting of structural, material and



technological design. During engineering design, in addition to the shape, structure, properties and functions of products, durability, maintenance and performance of products should also be designed.

The methods of selecting the right materials, and overtime of the materials design of products have changed over time from the trial and error method in the Materials 1.0 stage, which was still used about 100 years ago, through the subsequent stages of Materials 2.0 stage, still the most commonly used and related to concept development, with systematic testing of materials, prototyping, validation of products in real conditions after assessing their life cycle. In Materials 3.0 stage, the procedure, is similar as earlier, but to develop the concept, not intuitive methods are used, but informatics tools for computational design and computer simulations. The most advanced idea of Materials 4.0 stage uses cyber-physical systems and big data on materials, as well as modern artificial intelligence tools, intelligent machine learning algorithms and neural networks as well as information systems cooperating with people.

In the framework of the industrial revolution, four successive stages were separated, with the Industry 1.0 stage being recognized as the initiating one of industry development, the Industry 2.0 stage is pending the introduction of a mass production line using electricity, the Industry 3.0 stage involves the widespread use of robotisation, computer-aiding and electronic devices, while the current Industry 4.0 stage implemented in smart factories includes cyber-physical systems of various things and objects, as well as the integration of the Internet of Things and the Internet of services as an internal and inter-organizational network with the production processes, using computing cloud and big data. Intelligent production is provided by nine core technologies. The simulations and experiments carried out in virtual reality are made using the so-called “digital twins” of the physical world, simulating the reality of the conditions of exploitation and maintenance of manufactured products.

By presenting the concept of “the flower of the main tasks of Industry 4.0”, it was shown that it is necessary to augment of this enumerative list of technologies with engineering materials, without the use of which no product can be manufactured, and with manufacturing including a whole set of constantly modernised technologies that cannot be replaced by additive technologies, which at most can be complementary ones, and only very rarely competitive in the production of products as well as live and bioengineering machines.

The examples of own advanced research on several selected, newly developed materials, used in very different areas of application confirmed the validity of the scientific hypothesis and the relationship between the studied phenomena and structural effects and the exploitation functions of the products and their maintenance and indicated that the design of materials is one of the most important elements guaranteeing production progress at stage Industry 4.0 of the industrial revolution.

5. References

1. Dobrzański L.A.: Significance of materials science for the future development of societies, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 175, 2006, Issues 1-3, pp. 133-148
2. Dobrzański L.A.: *Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Wydanie II zmienione i uzupełnione, Warszawa, 2006, pp. 1-1600 (ISBN: 83-204-3249-9)
3. Dobrzański L.A. and Dobrzańska-Danikiewicz A.D.: Why are Carbon-Based Materials Important in Civilization Progress and Especially in the Industry 4.0 Stage of the Industrial Revolution?, *Materials Performance and Characterization* <https://doi.org/910.1520/MPC20190145> (in print)
4. Dobrzański L.A. and Dobrzańska-Danikiewicz A.D.: Applications of laser processing of materials in surface engineering in the Industry 4.0 stage of the industrial revolution, *Materials Performance and Characterization* (accepted for printing)
5. Dobrzański L.A.: Effect of Heat and Surface Treatment on the Structure and Properties of the Mg-Al-Zn-Mn Casting Alloys, in Dobrzański L.A., Totten G.E., Bamberger M. (eds.): *Magnesium and Its Alloys: Technology and Applications* CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2020 ISBN 13: 978-1-4665-9662-7 (in print)
6. Dobrzański L.A.: Rola inżynierii materiałowej w etapie 4.0 rewolucji technologicznej, *Rozważania z okazji Seminarium Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego 2019*, Jachranka k. Warszawy, 12.05.2019 <http://ptm-materials.pl/media/dokumentyDopobrania/PTM%20wyst%C4%85pnie%20LAD%2013-05-2019%20kompr.pdf> access 04.08.2019
7. Dobrzański L.A.: Znaczenie inżynierii materiałowej w etapie 4.0 rewolucji technologicznej Invited lecture in Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warsaw, Poland, 27.05.2019
8. Dobrzański L.A.: Stage 4.0 of the technological revolution in the context of the development of engineering materials, Invited Lecture in Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, 3.06.2019
9. Dobrzański L.A.: Structural phenomena accompanying the production of composite and nanocomposite materials using selected technologies, Invited Speaker Lecture, in The XXII AMT Conference, 9th -12th June 2019, Bukowina Tatrzańska, Poland
10. Josea R., Ramakrishna S.: Materials 4.0: Materials big data enabled materials discovery, *Applied Materials Today* 10 (2018) 127– 132, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.12.015>
11. Keidanren, Society 5.0: Co-Creating the Future (Excerpt) (Tokyo: Keidanren, 2018).
12. Government of Japan Cabinet Office, “Society 5.0,” Cabinet Office, 2019. http://web.archive.org/web/20190710182953/https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
13. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. (eds.): Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group, Frankfurt a. Main, 2013, p. 1-84, http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf, access 30.01.2019



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



ASKLEPIOS Unia Europejska



The paper is prepared in the framework of the Project POIR.01.01-00-0485/16-00 on ‘IMSKA-MAT Innovative dental and maxillofacial implants manufactured using the innovative additive technology supported by computer-aided materials design ADD- MAT’ realised by the Medical and Dental Engineering Centre for Research, Design and Production ASKLEPIOS in Gliwice, Poland and co-financed by the National Centre for Research and Development in Warsaw, Poland.



RULMAN ÖMÜRLERİNDE GÜVENİLİRLİK VE BAKIM İLİŞKİSİ

¹Prof. Dr. Tezcan Şekercioğlu

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli
tsekerci@pau.edu.tr

Özet

Yataklar genel olarak, yuvarlanmalı (rulmanlar) ve kaymalı yataklar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Rulmanlar, dişli çark, kasnak vb. elemanlar üzerinden mil veya aksa gelen yükleri karşılayabilmek için destek elemanı olarak görev yaparlar. Rulman kataloglarında, her bir rulman için verilen dinamik yük sayısı (C) değerleri, %90 güvenilir kabul edilmektedir. Çalışma anında, uygun olmayan yağlama, yanlış tip rulman seçimi, kirlilik, montaj hasarları vb. nedenlerden dolayı rulman ömürleri ve güvenilirlik ciddi oranlarda azalmakta ve erken hasarlar meydana gelmektedir. ISO ve DIN standartlarında göz önünde bulundurulmuş, güvenilirlik, yağın kirlilik seviyesi, çalışma sıcaklığı, viskozitesi vb. faktörlerin rulman ömrü üzerine olan etkileri incelenmiştir.

1. Giriş

Makine, alet ve cihazlar, kullanım esnasında aşınma, korozyon, yorulma, sıcaklık, yaşlanma vb. çok farklı etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler sonucunda, teknik sistem tasarım aşamasında belirlenen fonksiyonu ya tamamen ya da kısmen yerine getiremez hale gelmektedir. Çalışma anında fonksiyonun tam olarak yerine getirilebilmesi için bakımın önemi tartışılmazdır. Rulmanlar, makinelerde kullanılan en önemli elemanlardan birisidir. Daha önceleri rulmanlar, malzeme, tasarım veya imalat anındaki hatalardan dolayı hasara uğrar iken, günümüzde rulmanların büyük çoğunluğu, uygun olmayan yağlama, kirlilik, yanlış hizalama, montaj hatası, yanlış yataklama, aşırı yüklenme ve elektrik erozyonu gibi nedenlerden dolayı hasara uğramaktadırlar. Ömürleri tasarım aşamasında hesaplanan değerlerden daha önce dolmaktadır.

2. Rulman Ömrü

Rulmanların büyüklüğünün ve tipinin seçimi, ona etki eden kuvvetlerin yönlerine ve büyüklüklerine bağlıdır. Seçimin yapılabilmesi için, rulman kataloglarında bütün rulmanlar için statik yük sayısı ve dinamik yük sayısı verilmiştir. Bu sayılar [1];

Statik yük sayısı (C_0): Bilezik yuvasında en çok zorlanan noktada, yuvarlanma elemanı çapının 0,0001'i kadar yuvarlanma elemanı ve bilezikte kalıcı deformasyon oluşturan yüküdür. Bu deformasyon, yatağın işlevini henüz kaybettirmeyen deformasyon sınırındır.



Dinamik yük sayısı (C): Laboratuvar şartlarında deneye tabi tutulan rulmanlardan %90'ının 10^6 devir sayısında hasar görmeden (pitting oluşumu yok) taşıdığı yükür.

Rulmanlar yapılarına göre radyal kuvvet, eksenel kuvvet veya ikisini birden taşırlar. Hem radyal hem de eksenel yük taşıyan rulmanın ömrünü hesaplayabilmek için, eşdeğer yatak yükü (P) tanımlanmıştır. Sabit bilyeli rulmanlarda eksenel yük, $P_a \leq 0,5 \cdot C_0$ olmalıdır. $d=12$ mm'den küçük ve çap serisi 8,9,0,1 olan hafif rulmanlarda ise $P_a \leq 0,25 \cdot C_0$ olmalıdır. Aşırı eksenel yük rulman ömrünün azalmasına yol açar. Statik yükleme durumunda rulmanlar, emniyet katsayısına göre seçilmektedir.

$$\text{Emniyet katsayısı: } S = \frac{C}{P_0} \quad (1)$$

$$\text{Statik eşdeğer yük: } P_0 = X_0 \cdot P_r + Y_0 \cdot P_a \quad (2)$$

Darbesiz ve sarsıntısız yükler için: $S = 0,6-1,0$; Normal yükler için: $S = 1,0-1,5$

Sarsıntılı yük için veya rulmanın çok düzenli çalışması gerekiyorsa: $S = 1,5-2,5$ alınır.

Dinamik yükleme durumunda ($n \geq 10 \text{ min}^{-1}$) nominal ömür, dinamik yük sayısına ve dinamik eşdeğer yüke bağlıdır.

$$\text{Dinamik eşdeğer yük: } P = X \cdot P_r + Y \cdot P_a \quad (3)$$

X (radyal faktör) ve Y (eksenel faktör) olup rulman kataloglarından, sabit bilyeli rulmanlar için, $(f_0 \cdot P_a / C_0)$ ve (P_a / P_r) oranına göre, diğer rulmanlar için ise (e) ve (P_a / P_r) oranlarına göre tespit edilirler.

$$\text{Nominal ömür: } L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (4)$$

L_{10h} : %90 güvenilirlikteki nominal ömür, h

C: Dinamik yük sayısı, kN

P: Dinamik eşdeğer yük, kN

n: Devir sayısı, min^{-1}

p: Lundberg ve Palmgren'e [2] göre üstel sayı, bilyeli yataklar için $p=3$ ve makaralı yataklar için $p=10/3 = 3,333$ alınır.

3. Rulmanlarda Güvenilirlik

Rulman kataloglarında verilen dinamik yük sayıları, %90 güvenilirdir. ISO 281:2007 [3] standardında farklı güvenilirlik oranlarını dikkate alan güvenilirlik faktörü (a_1) tanımlanmıştır. a_1 değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 Güvenilirlik faktörü, a_1 [3]

Güvenilirlik, %	Hasar Olasılığı, %	L_{nm}	Güvenilirlik faktörü, a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25
99,9	0,1	$L_{0,1m}$	0,093

(4) nolu eşitlik, a_1 faktörü kullanılarak yeniden düzenlenirse, deney şartları haricindeki istenilen güvenilirlik oranlarında rulman ömürleri hesaplanabilir.

$$L_{nmh} = a_1 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (5)$$

4. Rulmanlarda Güvenilirliği Etkileyen Faktörler

Literatürde verilen istatistiklere göre rulman hasarlarının yaklaşık %60'ı uygun olmayan yağlamaya bağlıdır. Rulmanların yağlanması, uygun yağ, uygun yağlama yöntemi, uygun miktar, uygun yeniden yağlama, temiz yağ vb. faktörler büyük önem arz etmektedir. ISO 281 standardında, bu faktörleri dikkate alan ömür düzeltme faktörü

(a_{ISO}) tanımlanmıştır. Ömür düzeltme faktörü, rulmana etki eden eşdeğer yüke (P), yağın viskozite oranına (κ), rulmanın yorulma limitine (C_u) ve yağın kirlilik faktörüne (e_c) göre değişmektedir. Çalışma şartlarının fonksiyonu olarak;

$$a_{ISO} = f \left(\frac{e_c \cdot C_u}{P} \cdot \kappa \right) \quad (6)$$

şeklinde verilmiştir.

Kirlilik, rulman ömrünü aşırı derecede azaltan bir faktördür. ISO 281 standardında bu durumu dikkate alan kirlilik faktörü tanımlanmış olup Çizelge 2’de verilmiştir. Yorulma limiti, her bir rulman için rulman kataloglarından alınabilir.

Çizelge 2 Yağ kirlilik faktörü, e_c [3]

Yağın Kirlenme Durumu	Kirlenme Faktörü	
	$d_m < 100\text{mm}$	$d_m \geq 100\text{mm}$
Deney şartları, aşırı temiz	1	1
Çok ince filtre ile yüksek temiz	0,6-0,8	0,8-0,9
İnce filtre ile normal temiz	0,5-0,6	0,6-0,8
Kaba filtre ile hafif kirli	0,3-0,5	0,4-0,6
Kaba filtre, aşındırıcı partiküller	0,1-0,3	0,2-0,4
Yüksek kirli, aşındırıcılar mevcut, yetersiz sızdırmazlık elemanları	0-0,1	0-0,1
Yağ kirlilik ölçeğinin dışı	0	0

Çizelge 2’de verilen d_m , ortalama rulman çapıdır. Rulmanın iç bilezik çapı d, dış bilezik çapı D alınarak elde edilir.

$$d_m = \frac{d+D}{2} \quad (7)$$

ISO 4406:1999 [4] standardında yağların kirlilik derecesi için belirlenen ölçek Çizelge 3’de verilmiştir. NIST (Institute Standart Organization) tarafından geliştirilen lisanslı toz olan ISO MTD (Medium Test Dust) endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Daha önceki standartlarda boyutları olan 2, 5 ve 15 μm olan tozun yerine günümüzde 4, 6 ve 14 μm referans alınmıştır.

Çizelge 3 ISO 4406 yağ kirlilik ölçeği [4]

ISO Ölçeği	1 ml’deki Partikül Sayısı Aralığı	ISO Ölçeği	1 ml’deki Partikül Sayısı Aralığı
>28	>2500000	14	80-160
28	1300000-2500000	13	40-80
27	640000-1300000	12	20-40
26	320000-640000	11	10-20
25	160000-320000	10	5-10
24	80000-160000	9	2,5-5
23	40000-80000	8	1,3-2,5
22	20000-40000	7	0,64-1,3
21	10000-20000	6	0,32-0,64
20	5000-10000	5	0,16-0,32
19	2500-5000	4	0,08-0,16
18	1300-2500	3	0,04-0,08
17	640-1300	2	0,02-0,04
16	320-640	1	0,01-0,02
15	160-320	0	0,00-01

Literatürde rulmanlar için maksimum kirlilik seviyesi, ISO ölçeğine göre 15/13/11 ve NAS’a (National Aerospace Standarts) göre 5 olarak önerilmektedir. ISO gösterimini açıklamak gerekirse, yağın içerisinde maksimum;



- 15: Boyutu 4 µm olan partiküllerden 160-320 adet,
13: Boyutu 6 µm olan partiküllerden 40-80 adet,
11: Boyutu 14 µm olan partiküllerden 10-20 adet bulunabilir.

Yağın çalışma sıcaklığına bağlı olarak kinematik viskozitesini, milin devir sayısını ve yatağın büyüklüğünü dikkate alan viskozite oranı;

$$\kappa = \frac{v}{v_1} \quad (8)$$

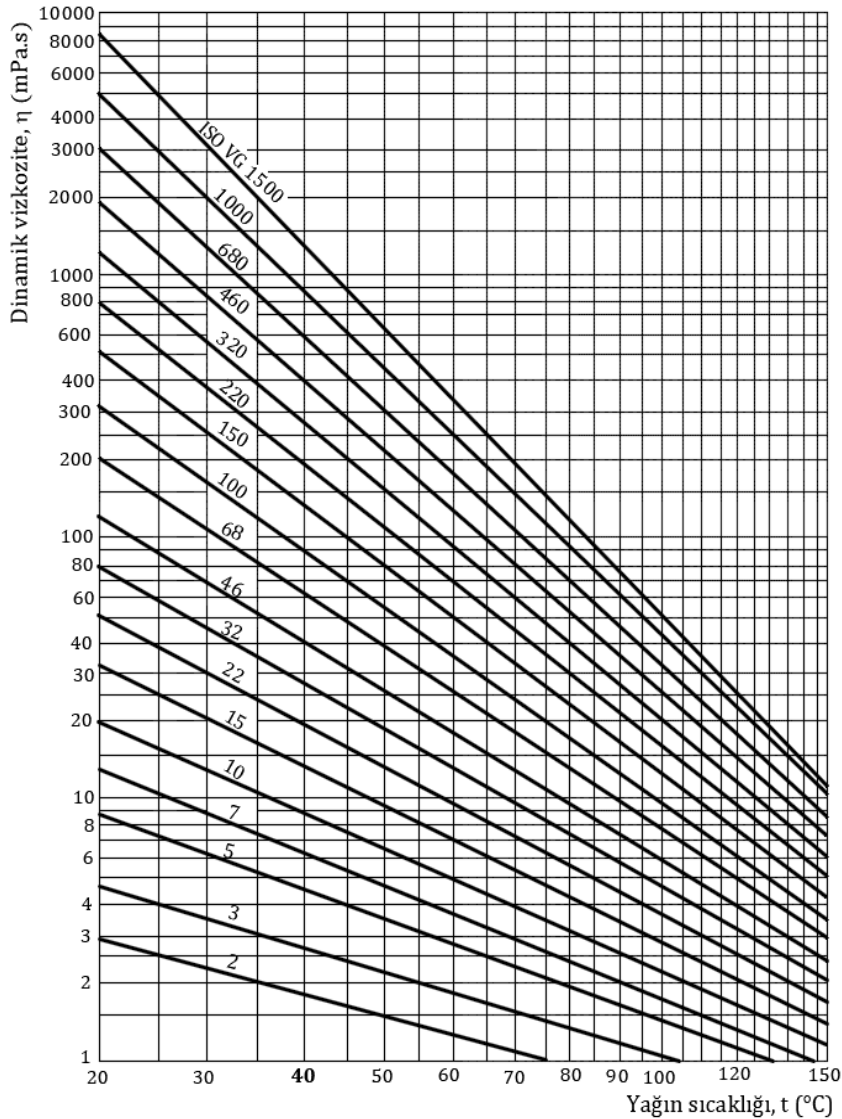
v : Yağın kinematik viskozitesi (Şekil 1).

v_1 : Milin devir sayısına ve rulman ortalama çapına bağlı viskozite (Şekil 2)

ISO tarafından yağ dereceleri (VG: Viscosity Grade) belirlenirken, yağın 40 °C'deki ±%10 kinematik viskozite değeri, yağ numarası olarak kabul edilmiştir (Şekil 1).

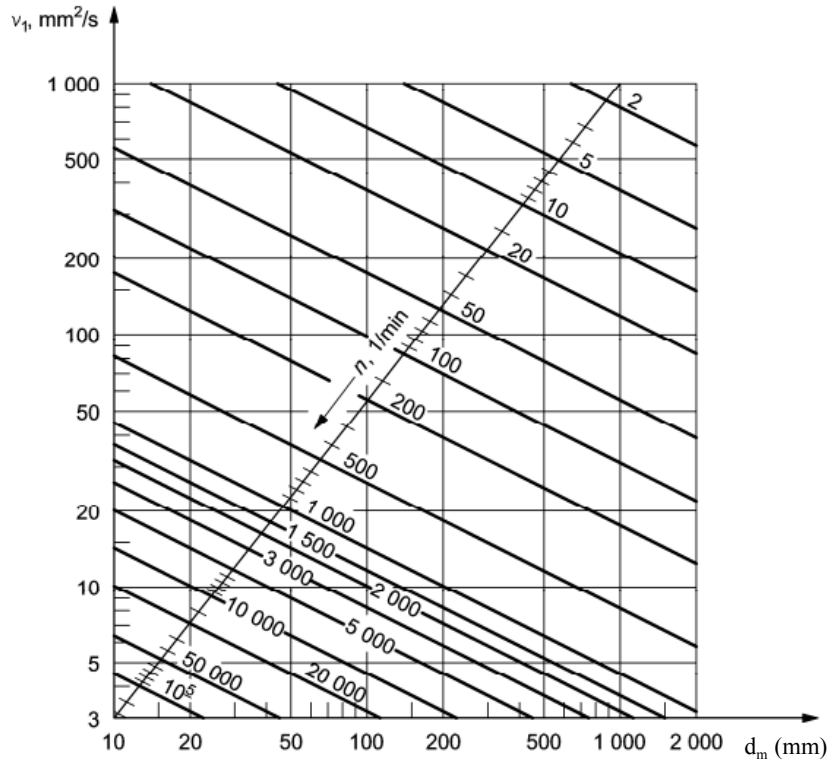
Dinamik viskozite: $\eta = v \cdot \rho$ (9)

$$\text{mPa} \cdot \text{s} = \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 900 \rightarrow \eta = 0,9 \cdot v \quad (10)$$



Şekil 1 Yağın sıcaklığına ve numarasına bağlı olarak viskozite değerleri [5]

Rulmanların yağlanması için kullanılan yağların viskoziteleri, çalışma esnasında sıcaklık arttıkça önemli oranlarda değişmektedir. Sıcaklığın artması, yük taşıma kabiliyetini, yatak performansını ve oluşan yağ filmi tabakasının kalınlığını etkilemektedir. Bu nedenle, ISO 281 standardında ömrü etkileyen faktör olarak dikkate alınmıştır. Seçilen rulmanın ortalama çapı ve devir sayısına bağlı olarak viskozitenin değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Aynı devir sayısında, rulman boyutları büyüdükçe viskozite değeri azalmaktadır.



Şekil 2 Yatak ortalama çapına ve milin devir sayısına bağlı olarak kinematik viskozite [3]

Çizelge 2’den yağ kirlilik faktörü (ec), rulman kataloglarından [6, 7] alınan yorulma limiti (Cu, Pu) ve Şekil 1 ve 2’den viskozite değerlerine bağlı olarak bulunan viskozite oranı (κ) yardımıyla, Şekil 3’den ömür düzeltme faktörü aISO bulunur. Şekil 3, sadece radyal sabit bilyeli rulmanlar için geçerlidir. ISO 281 standardında ve rulman kataloglarında radyal makaralı, eksenel sabit bilyeli ve eksenel makaralı rulmanlar için de ayrı ayrı diyagramlar verilmiştir.

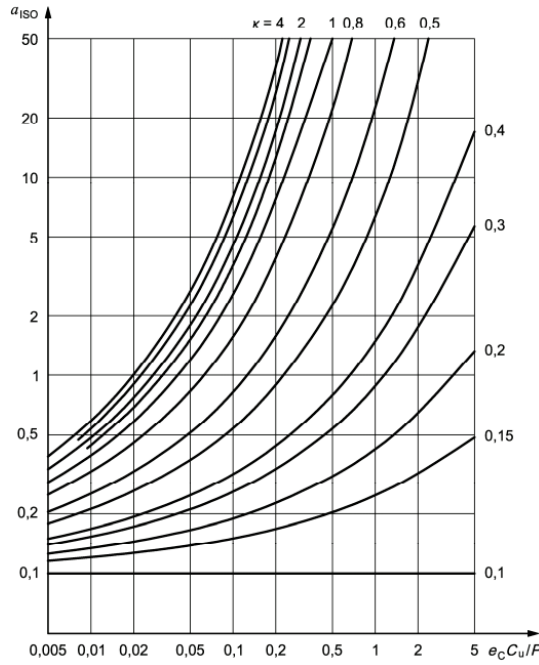
Güvenilirlik faktörü a1 ve aISO değerleri (4) nolu eşitlikte yerine yazılarak;

$$L_{mnh} = a_1 \cdot a_{iso} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (11)$$

modifiye edilmiş gerçek nominal rulman ömrü saat cinsinden bulunur. Literatürde, bu faktörlerin dışında çalışma sıcaklığını ve darbeli yüklenme durumlarını dikkate alan farklı eşitlikler de önerilmiştir.

5. Sonuç

Rulman seçiminde, kısıtlayıcılardan bir tanesi de güvenilirliktir. Yüksek güvenilirlik istenilen kritik uygulamalarda, standardın belirlediği katsayılar dikkate alınarak rulman seçimi yapılmalıdır. Ömür hesabında, %90 güvenilirlik için katsayı 1 iken, %95 güvenilirlikte katsayı 0,64'e düşmektedir. Başka bir deyişle, rulmanın güvenilirliği %5 artarken saat cinsinden ömrü %36 azalmaktadır. Rulmanlarda bakım, yataklama sisteminin gerçek halini izleme, değerlendirme ve amaçlanan ömrü koruma aşamalarını kapsamaktadır. Rulmanlar için standart bir yağlama metodu mevcut olmadığı için, yağ seçimi, işletme şartlarının analizine ve yağın teknik özelliklerine göre yapılmalıdır. Uygun yağ seçiminde ve yağ değiştirme aralıklarının belirlenmesinde, yağın kirlilik derecesi, rulmanın boyutu, yükleme durumu ve çalışma sıcaklığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3 Radyal sabit bilyeli rulmanlar için aISO ömür düzeltme faktörü [3]

6. Kaynaklar

- [1] Şekercioğlu, T. 2018. Makine Elemanları Hesap Şekillendirme, ISBN: 978-975-511-601-3, 4. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [2] Lundberg, G., Palmgren, A. 1952. Dynamic Capacity of Roller Bearings. Ingenioersvetenskapskad. Handl. no. 210, The Royal Swedish Academy of Engineering Science, Stockholm, Sweden.
- [3] ISO 281. 2007. Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life.
- [4] ISO 4406. 1999. Hydraulic fluid power-Fluids-Method for coding the level of contamination by solid particles.
- [5] DIN 31653-2. 1991. Gleitlager - Hydrodynamische axial gleitlager im stationären betrieb funktionen für die berechnung von axialesegmentlagern.
- [6] SKF, Rolling Bearings, PUB BU/P1 10000/3 EN, 2016.
- [7] FAG, Rolling Bearings, Schaeffler KG, 2012.

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE İŞLETME VE BAKIM

¹Harun Kemal Öztürk

¹Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey,
hkozturk@pau.edu.tr

Özet

Enerji tüketimi nüfus artışı, sanayileşme ve konfor seviyesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Diğer yandan, günümüzde enerji tüketiminin çok büyük kısmının sağlandığı fosil yakıtlar, iklim değişikliği ve çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Bu nedenle de, yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise rüzgar enerjisi, ilk yatırım ve işletme maliyetleri göz önüne alındığında ön plana çıkmaktadır. Rüzgar türbinlerinde arızalar nedeni ile meydana gelebilecek duraksamalar yatırımcıların istemediği konular içerisinde yer almaktadır. Rüzgar türbinlerinin mekanik ve elektriksel aksamaları göz önüne alındığında, en çok arızanın elektriksel aşamalarından kaynaklandığı ancak mekanik arızalar sırasındaki duraksamaların ise daha uzun süreler aldığı gözlemlenmiştir. Rüzgar türbinlerinde yapılacak bakım çalışmaları ile hem arızaların önüne geçilebilmekte hem de duraksama süreleri kısıtlamaktadır. Bu çalışmada, rüzgar türbinlerinde meydana gelen arızaların nedenleri ile işletme ve bakım konuları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Türbini; Bakım; İşletme ve Bakım;

1. Giriş

Tüm rüzgar türbinleri, aerodinamik kaldırma veya aerodinamik sürükleme kuvvetlerinden yararlanarak çalışır. Aerodinamik kaldırma kuvvetleri rüzgarın yönüne diktir, sürükleme kuvvetleri ise aynı yöndedir. Günümüz rüzgar türbinleri esas olarak, aerodinamik kaldırma kuvvetlerini kullanmak için tasarlanmıştır. Dikey kaldırma kuvveti, rotorun kaldırma gücü vasıtasıyla gerekli döndürme torkunu üretir.

Rüzgar enerjisinin ticari olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanımı son yıllarda oldukça hızlı bir şekilde gelişmiş ve yatırım maliyetleri açısından kömür santralleri ile rekabet edebilecek düzeylere kadar gelmiştir (IRENA, 2018). Herhangi bir enerji üretim teknolojisi için, üretimin maliyeti değişkendir ve teknolojinin gelişmişlik düzeyinden, çalışma koşullarından, kurulduğu yerden ve tesisin kapasite değerinden etkilenir (Wu ve diğ., 2011). Rüzgar santralleri temel olarak aşağıdaki faktörlerden etkilenir (Boccard, 2009):

- İşletme ve Bakım (İ&B) maliyetleri;
- Yıllık enerji üretimi (YEÜ);
- Sermaye maliyetleri;
- Finansman maliyetleri;
- Rüzgar hızı
- Türbin tipi.

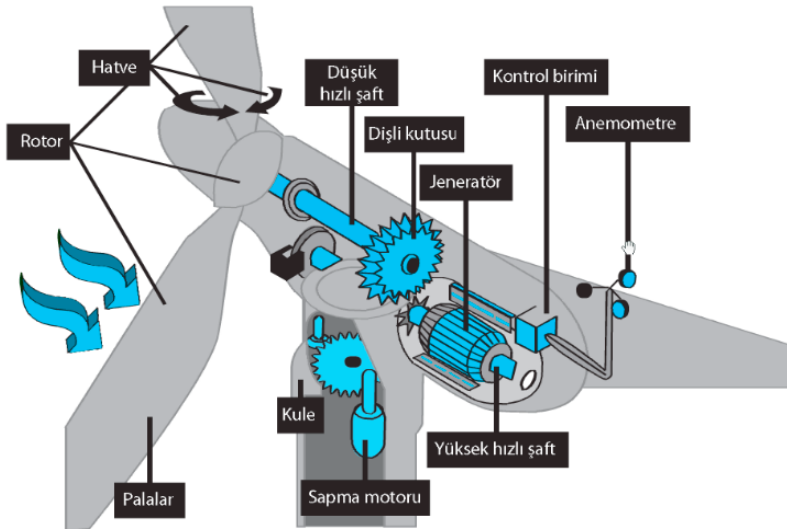
Rüzgar türbini üreticilerin türbin teknolojisini geliştirmesine bağlı olarak; yatırım, işletme ve bakım maliyetleri azaltılabilir ve farklı rüzgar koşulları için farklı tasarımlar yapılabilir. Rüzgar enerjisinden üretilen enerjinin artışı sağlamak için, büyük rüzgar türbinleri ve süpürme alanları, geliştirilmiş kanat aerodinamiği ve daha uzun kuleler geliştirilmekte ve kurulmaktadır (Boccard, 2009).

Rüzgar türbinlerinin İ&B maliyetleri, tesisin kullanım ömrüne göre değişir ve ekipmanın arızalanması riski türbinin yaşı ile birlikte artar. Rüzgar türbinlerinin İ&B maliyetleri, son 30 yılda önemli ölçüde azalmıştır ve karada kurulmuş rüzgar türbinleri için toplam yaşam döngüsü maliyetlerinin % 20 ila 30'unu oluşturmaktadır (IRENA, 2018). Açık deniz rüzgârı projelerindeki işletme ve bakım maliyetleri, denizdeki ağır çalışma koşulları, sahaya erişim, karmaşık bakım işleri ve iletim altyapısı maliyetleri nedeniyle daha yüksektir. Kıyıdaki rüzgar projeleri için maliyeti yaklaşık 30-60 ABD Doları/MWh iken denizde kurulan projeler için 71-155 ABD Doları / MWh değerlerini bulmaktadır (Lazard, 2017).

Rüzgar türbinleri optimum enerji dönüşümünü sağlayabilmek için, rüzgar hızına veya elektriksel tasarıma bağlı olarak karmaşık yapılarla sahip olmaktadır (Saheb-Koussa ve diğ., 2012) ve değişken rüzgar hızlarında bile sabit hızlarda dönebilmelidir. Rüzgar türbini sabit hızı, şanzıman oranına, şebekenin frekansına ve elektrik jeneratörü tasarım özelliklerine bağlı olarak ayarlanmaktadır (Bustos ve diğ., 2012).

Güç düzenlemesi normal olarak, rüzgar türbininin aşırı yüklenmesini önlemek için rotor kanatları, durma kontrolü veya ikisinin bir kombinasyonu ile yapılır. Rotor üzerine etki eden aerodinamik kuvvetler ve türbinin çıkış gücü, yüksek rüzgar hızlarında azalır.

Rüzgar enerjisi yenilenebilir, uygun maliyetli ve sürdürülebilir bir güç teknolojisi olarak gelişmektedir. Rüzgar türbinlerinin boyutları sürekli olarak artmaktadır ve yeni gelişmeler ile birlikte elektrik şebekelerine daha iyi entegrasyon mümkün olmaktadır. Güç elektroniğinin gelişimi, enerji verimliliği daha iyi olan değişken hızlı rüzgar türbinlerinin gelişmesini sağlamıştır. Bir rüzgar türbini tipik olarak ana bileşenleri olan kanatlar, rotor, ana yatak, aktarma organları ve güç modülü ile birlikte 8000 parça veya daha fazlasını içermektedir. Şekil 1, bir rüzgar türbininin ana bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 1. Rüzgar Türbin Parçaları (Köseoğlu, 2019)

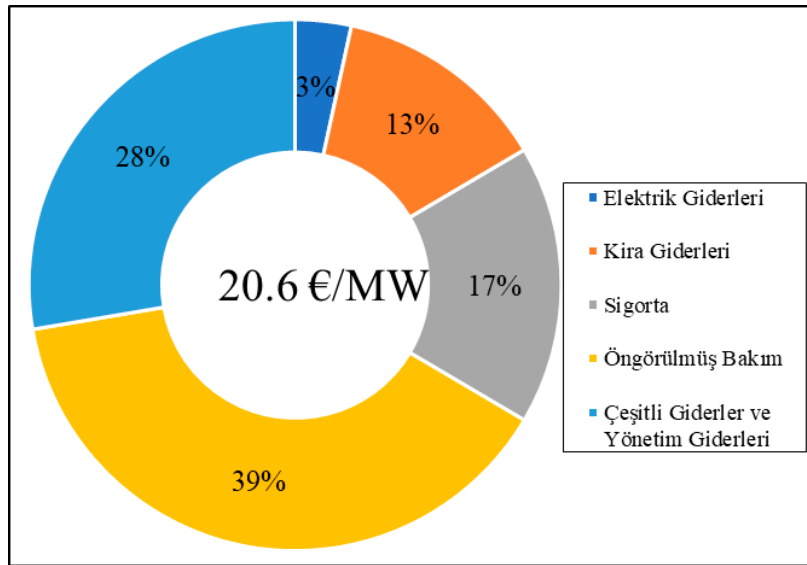
Enerji endüstrisindeki diğer güç santralleri gibi, rüzgar santralleri de şirketler için hem elektrik üretimine hem de gelir elde etmelerine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, kömür veya gaz santrallerinin aksine, rüzgar santrallerinde bazı farklı zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Endüstriyel ölçekte seri rüzgar türbinlerinin üretimi oldukça yenidir ve farklı rüzgar türbin modelleri bir süredir çok sayıda işletmede çalışmaktadır. Rüzgar türbini sektörünün yeni olması nedeni ile, mühendis, ve uzman teknisyenler bile türbinlerin hangi bileşenin ne zaman arıza yapabileceği veya arıza meydana gelmeden önce veya sonrasında sorunun nasıl önlenilebileceği veya çözüleceği konusunda, ellerindeki veri eksikliği nedeni ile tam olarak bilgi sahibi olmamaktadırlar. Ancak rüzgar türbini işletmecileri, operatörleri ve türbin üreticileri; yürüttükleri projeler ile kırılana veya tamamen devreden çıkıncaya kadar türbinleri çalıştırmak yerine, bakımlarını yaparak çok uzun süreler türbinleri çalıştırmının mümkün ve önemli olduğunu görmüşlerdir.

Rüzgar türbinlerinin onarımı çeşitli nedenlerle oldukça zordur. Çoğu rüzgar santrali genellikle uzak bölgelerdedir ve işçiler sahada 90 m kadar yükseklikte onarım yapmak zorunda kalmaktadır. Ayrıca, doğal gaz yakıtlı veya kömür yakıtlı santrallerin aksine, operatörler nispeten küçük kapasiteli rüzgar türbinleri nedeniyle bu işlemi birkaç kez tekrarlamaları da gerekebilir.

Rüzgar türbinlerinin İşletme ve Bakım (İ&B) maliyetlerinin iki bileşeni hayati önem taşımaktadır ve en aza indirgenmesi gerekir: Programlı bakım ve planlanmamış bakım. Parça arızaları planlanmamış durumlara yol açarsa, o zaman elektrik satışları mümkün olmayacağı için ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu gibi durumları ortadan kaldırmak ve oluşabilecek arızaları öngörebilmek için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

İ&B maliyetlerini tahmin etmenin üç yolu vardır. En basit yöntem, yıllık toplam giderin, kurulum maliyetinin belli bir yüzdesini temsil ettiğini varsaymaktır ve genellikle bu değer % 3 ile % 5 arasında olduğu kabul edilir. Daha ayrıntılı değerlendirmeler, geliri oluşturan yıllık elektrik üretimi maliyeti veya saatlik elektrik üretim değerleri incelenerek yapılabilir. Yapılan detaylı çalışmalarda, İ&B maliyetinin 15-26 € / MWh arasında değiştiğini göstermiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 12 farklı ülkeden gelen verileri kullanarak yaptığı bir araştırmada İ&B maliyetlerinin, 7-26 €/MWh değerinde olduğunu göstermiştir (Milborrow, 2010). Şekil 2 de Almanya'da yapılan bir çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak, rüzgar türbinlerinde işletme ve bakım giderlerinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2. Rüzgar türbinlerinde işletme ve bakım giderleri

Veriler işletme maliyetlerinin türbin büyüklüğünün artmasıyla düştüğünü göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, 800-1000 kW aralığında yer alan rüzgar türbinlerinin işletme maliyetlerinin, 420- 490 kW aralığındaki türbinlerin işletme maliyetinden %15 daha düşük olduğunu göstermiştir. Daha büyük rüzgar santrallerinin işletme maliyetlerinin, daha düşük değerler alması beklenebilir, çünkü genel giderler daha fazla sayıdaki türbine bölünmektedir (Milborrow, 2010).



Rüzgar santralinde bakım ve işletme maliyetlerini en aza indirmenin, çok iyi yolları olduğu konusunda karmaşık teoriler vardır, ancak, özünde, çok az ve yüzeysel bakım yapmakla çok fazla ve detaylı bakım yapmak arasında bir denge kurulmalıdır. Fazla, detaylı ve gereksiz yapılacak bakım da bir maliyet olarak ortaya çıkmaktadır.

Bakım stratejilerini planlarken önemli bir diğer araç, bileşen arızalarının olasılığı hakkında bilgi sahibi olmaktan geçmektedir. Bunun için, ülke çapında ve tek elden rüzgar türbinlerinin izlenmesi, bunların verilerin arşivlenmesi ve arızaların nedenlerinin belirlenmesinin büyük yararlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Aynı derecede önemli olan bir diğer konu, türbin arızalanması sırasında geçen sürenin belirlenmesi ve belirli bileşenlerin arızası sonucu oluşabilecek gelirin kaybının belirlenmesidir. Arıza özellikleri makinelerin tasarımına ve kullanım sürelerinin uzunluğuna da bağlıdır.

2. Rüzgar Türbini Arızaları ve Bakım

Bakım, üretim işlemlerinde en düşük maliyetle optimum kullanılabilirlik, güvenilirlik ve işletilebilirlik seviyelerinin sağlanmasına yardımcı olan bir aktivitedir. Bakım stratejileri genel olarak arıza bakımı, önleyici bakım ve düzeltici bakım olmak üzere üç ana stratejiye ayrılabilir (Kuiler, 2018).

Halen üç bakım stratejisinin tamamı veya bunların kombinasyonu, rüzgar santrallerinde de kullanılmaktadır. Arıza bakımı, tipik bir “arızadan kaçma” yaklaşımıdır, bir sorunun bir arızaya yol açmasından önce önleyici bakım yapılır ve mevcut tesise özgü sorunları gidermek için düzeltici bir bakım planlanır. Önleyici bakım, kullanıma dayalı veya öngörücü bakım olarak da sınıflandırılır ve birincisi, ekipmanın yaşıyla ilişkili önceden belirlenmiş durumlarda veya belirli süresi dolmuş takvim zamanlarında yapılır (Tian, 2011). Kullanım tabanlı bakım, kaynaklar en uygun şekilde kullanılmadığından aşırı bakım yapılmasına neden olabilir (Agrawal, 2013).

Duruma dayalı bakım, arıza oluşmadan önce en iyi bakım stratejisini uygulamak için ekipmanın kalan ömrünü tahmin etme yeteneğine sahiptir. Ekipmanın durumunu belirlemek için sıcaklık, voltaj, akım, gürültü veya titreşim gibi sensörleri kullanarak kontroller yapmak veya bazı değişkenleri izlemek mümkündür. Durum izleme süreci; çevrimiçi veya çevrimdışı olabilir ve üç temel adımdan oluşur (Yang, 2014):

- Veri toplama — ekipman sağlığıyla ilgili verileri toplamak;
- Veri işleme — analitik doğrulama, toplanan verilerin anlaşılması ve iyileştirilmesi;
- Karar verme - uzun vadeli tesis sağlığını en düşük maliyetle sağlamak için hangi bakım stratejisinin ideal olduğuna karar vermek.

Rüzgar türbinlerindeki arızalar, düşük kalite, kötü tasarım ve üretim standartları, inşaat ve montaj eksiklikleri, yerel işletme koşulları, iletim sistemi tasarımı ve genel bakım gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir (Gowdar ve diğ., 2016). Şanzıman arızaları en uzun duruş sürelerine neden olan mekanik arızalardandır (Hahn ve diğ., 2007) Yaklaşık 800 rüzgâr türbininde yapılan bir çalışmada türbinlerin büyüklüğüne bakılmaksızın türbinlerin çoğunluğu için arıza tespitinin % 90'ın üzerinde olduğu görülmüştür (Gowdar, 2016). Hahn ve diğ. (2007), şanzıman (dişli kutusu) arızalarının en uzun aksama sürelerine neden olduğu ve teknolojiler iyileştikçe ortalama aksama süresinin azaldığı sonucuna varmışlardır. 15 yıllık bir süre zarfında Almanya'da 1500'den fazla rüzgar türbinine yapılan bir anket sırasındaki alt sistemlerdeki arıza oranları ve duruş süreleri, jeneratör arızalarının rüzgar türbinlerindeki toplam arıza sayısının yaklaşık % 4'ünü temsil ettiğini göstermektedir. Rüzgar türbinlerinde meydana gelebilecek arızaların çok ciddi sonuçları olduğu ve türbinleri tamamen kullanılamaz duruma getirdiği arızalar da meydana gelebilmektedir (Bkz. Şekil 3.)



Şekil 3. Türbin arızası ve yangın (MECF, 2019; Simith, 2014)

Rüzgar türbinlerinin elektriksel aksamalarında ana arıza nedeni, yataklar ve sargılarla ilgilidir. Aşağıdaki bileşenler, indüksiyon jeneratörleri kullanan rüzgar jeneratörlerinde meydana gelen çoğu arızanın nedenleri arasında yer almaktadır (Alewine, 2012):

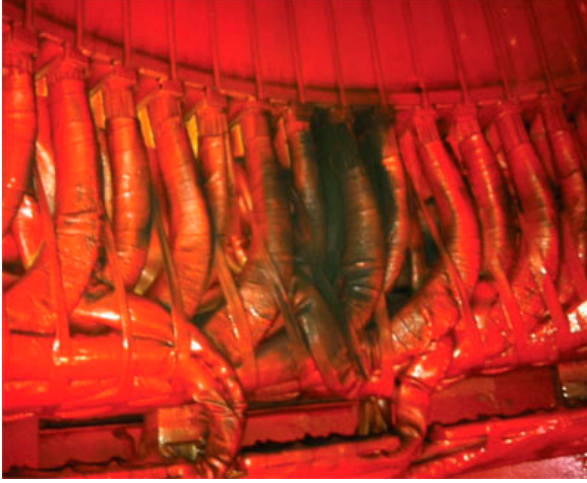
- Rulmanlar;
- Stator ve rotordaki sargı arızaları;
- Rotor kafesleri ve uçları;
- Kayma halkaları;
- Statordaki manyetik takozlar;
- Soğutma tesisi.

Yapılan araştırmalar sonucunda en çok arızanın ise elektrik ekipmanlarında kaynaklandığı (her on makine yılda yaklaşık 5.5 arıza) ve bunun da çok kısa sürelerde (ortalama 1.5 gün) tamir edilerek yeniden faaliyete geçirildiğini göstermiştir. Diğer yandan dişli kutusu arızalarının daha seyrek (on yılda 1.5 arıza) olduğunun ancak tamiratının ise daha uzun süreler aldığını (ortalama 6 gün) göstermiştir. En az soruna neden olan ise hidrolik sistemlerdir ve tamiratları yılda yarım günden daha az süre almaktadır.

Arıza sayısının türbinin çalışmadığı gün sayısı ile birleştirilmesi, on yıldaki ortalama verimlilik kaybının tahmin edilmesini sağlamaktadır. Hem dişli kutularındaki hem de elektrik sistemlerindeki arızalar, yılda ortalama sadece bir gün çalışma kaybına neden olmaktadır.

Stator arızaları

Rotor ve stator sargılarının yalıtım arızasına neden olan ana yaşlanma mekanizmaları ısıl etkiler, titreşim gerilmeleri, güç dönüştürücülerindeki voltaj yükselmeleri ve sıcaklık değişimlerinden dolayı malzeme bozulmalarıdır (Şekil 4). Çevresel koşullar yalıtım bozulmasını hızlandırabilir ve nemli çalışma koşullarından kaçınılmalıdır. Kısa devrelerin oluşumu aşırı ısınmadan kaynaklanır ve zamanla artar. Değişken hızlı endüksiyon makinelerinde güç dönüştürücülerinin neden olduğu voltaj yükselmeleri, sargı yalıtım hatalarının da kaynağıdır. Çıkış kablosu ile jeneratör arasındaki empedans farklılıkları, kablo uzunluğu arttıkça ve yarı iletkenlerin anahtarlama frekansı arttıkça daha şiddetli hale gelen yansıyan dalgaları oluşturur (Hahn ve diğ., 2007).



Şekil 4. Rüzgar türbinlerinin rotor sargılarında meydana gelen arızalar (EP, 2013)

3. Rulman arızaları ve Bakım

Yatak arızaları büyük ölçüde rüzgar jeneratörü arızalarına neden olur ve sık karşılaşılan nedenleri yanlış montaj veya yanlış hizalamanın yanı sıra zayıf yağlama, aşırı ısınma ve mekanik kırılmadır (Gowdar ve diğ., 2016). Yüzey sıkıntısı, korozyon, elektrik akımı akışı ve aşırı yüklenme ile birlikte normal yaşlanma sırasında yatak aşınması da rulman arızasına neden olabilir. Bakım uygulamalarının, yatak arıza oranlarını azaltmak için yatak yağlama programlarına uyması oldukça önemlidir. Hasarlı rulmanlar, stator ve rotor arasındaki havanın eşit dağılımını bozar ve rotorun aşırı titreşimlerine neden olabilir. Bu titreşimler giderilmez ise, stator ve rotor arasında temas neden olabilir, bu da her iki bileşenin de yıkıcı hasarına neden olur.

4. Türbin Kanatlarında Bakım

Bazı durumlarda kanatlarda meydana gelen arızalar nedeni ile bütün bir kanat veya türbinin tümü kullanılamaz hale gelebilmektedir (Şekil 4). Geleneksel olarak, türbin kanatlarının bakımına, türbinin diğer bileşenlerinin onarımı ve bakımından daha az dikkat edilmiştir. Oysa ki, verimli çalışmayan kanatlar, titreşim yaratabilmekte ve şanzıman arızalarına neden olmaktadır. Rüzgar türbini sektöründe, genel olarak, koruyucu bakım programları, bakım gereksinimlerinin tahmin edilebilirliği nedeniyle türbinlerin iç mekanikğine odaklanılmıştır. Dahili bileşenler için tipik koruyucu bakım planları 3, 6 ve 12 aylık çalışma programlarına ayrılır. Doğal olarak, kanat onarımlarını planlamak daha zordur. İmalat, nakliye, kule yapımı ve montajında kanatlarda hasarlara neden olabilir. Bununla birlikte, kanatlarda bakım gereksinimi sahada en sık görülen erozyon, hava durumu ve diğer faktörlerden kaynaklanmaktadır. Tahmin edilebilirlik ve geçmişe dair veri eksikliği, kanatların önleyici bakımını zorlaştırmaktadır (Behrends, 2019).

Ticari türbinlerin devir hızları 90 m/s'den daha fazla olabilir. Bu hızlarda yağmur damlaları küçük taşların çarpma etkisi gibi etki yaratabilir ve kum üfleyen bir plazma kesicinin erozyon gücüne sahiptir. Bu durum zaman içinde kanat yüzeylerinde pürüzlülüğün artmasına neden olmaktadır. Çalışmalar kanat pürüzlülüğünü ve kanatların üzerinde biriken artıkların rüzgar türbini performansını %5 ila 30 oranında azaltabileceğini göstermiştir (WP, 2011). Kanatların yüzey veya kenarlarında oluşabilecek arızalar türbin verimini düşüreceğinden mutlaka bakım yapılarak giderilmelidir (Şekil 5).

Arıza süresini en aza indirmek ve enerji verimliliğini artırmak için, önleyici bir bakım programı uygulamak ve sorunlu alanları belirlemek de dahil olmak üzere, uygulamaları hızlı bir şekilde yapmak kritik öneme sahiptir. Rüzgar türbinleri için yatırımın geri dönüşünün uzun olduğu göz önünde bulundurulduğunda, türbinlerin arıza yapması ve duraksamaların minimize edilmesi ve bakım ve onarımların hızlı ve düşük maliyetlerle yapılması rüzgar enerjisi sektörü için büyük önem kazanmaktadır.

5. Türbinlerde Yağlama ve Dişli Kutusunda Bakım

Rüzgar türbinleri pahalı makinelerdir ve yağlama sistemi bu makinenin iyi çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. “ Rüzgar türbininin birçok farklı parçasının, dişli kutusu akışkanlarından hidrolik yağlara kadar bir dizi yağlayıcı gres yağıyla yağlanması gerekir. Bir rüzgar türbininin şanzımanının doğru şekilde yağlanması, iyi bir bakım yapılması bir rüzgar türbininin ömrünün uzatılmasında önemli katkılar sağlar. Rüzgar türbini dişli kutularında kullanılmak üzere geliştirilen; rüzgar türbinlerinin aşırı sıcaklıklar kullanılmasına olanak sağlayan, açık deniz rüzgar türbinleri için tuzlu sudan ve olası korozyondan etkilenmeyen ve bütün bu etkilerden türbinleri koruyan ve çok zor koşullarda özelliklerini kaybetmeyen sentetik veya mineral yağlar geliştirilmiştir.

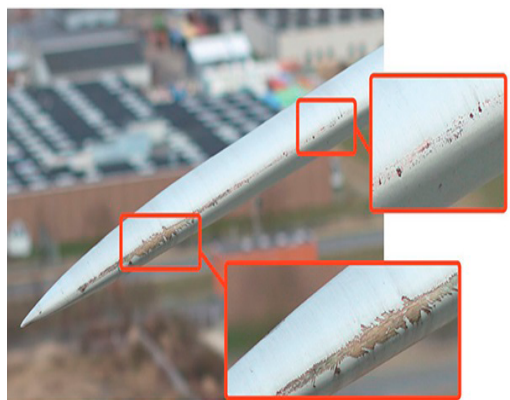
Dişli kutusundaki kullanılan yağlar, değiştirmeden üç ila beş yıl arasında kullanılabilir. Dişli kutusu yağının değiştirmesi çok maliyetlidir. Şanzımanın arızalanması veya şanzımanın değiştirilmesi işletmeciler tarafından istenmeyen bir durumdur. Bu süreçte hem üretim durmakta, hem bakım masrafları yüksek olmakta, hem de özel vinçlerin kiralanarak dişli kutuları değiştirilebildiği için maliyetler çok yükselmektedir. Ancak türbinin yağlaması gerektiren tek parçası dişli kutusu değildir. Jeneratör yatakları ve türbin kanat yataklarının da yağlanması gerektirir ve kanatların üzerinde yağlama noktaları vardır. Rüzgar türbin kanatları, esasen kanadın gövdeye bağlandığı kısmı kuşatan yataklara sahiptir, böylece operatörler türbin kanat açısını rüzgar hızına ve yönüne göre optimize edebilirler.

Şanzıman rüzgar türbinlerinde ek bir stres yaratmakta ve yağın yeterli bir film mukavemeti sağlaması konusunda zorluklar oluşturmaktadır. Yağlama yağlarının oksidasyon direncinin optimize edilebilmesi ve düşük sıcaklıkta akışkanlığının korunabilmesi için katkı maddeleri kullanılması gerekmektedir. Bu konularda özellikle yağ sektöründe araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Rüzgar türbini sektöründe, daha yüksek kuleler, daha uzun rüzgar türbini kanatları ve daha yüksek güçler (MW) oldukça, yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır





Şekil 4. Rüzgar türbini kanatlarında meydana gelen büyük hasarlar (Shreve, 2018; NWW, 2016; NNYW, 2018;



Şekil 5. Rüzgar türbin kanatlarında meydana gelen arızalar ve bakımları (BR, 2019; BS, 2019; FT, 2019)

Rüzgar türbinleri, aşırı yükleri, basıncı ve gerilimi düzenli olarak idare eden karmaşık bir makinelerdir. Rüzgar türbinlerinin en yüksek kapasitede ve verimde çalışmasını sağlamak için bakım oldukça önemlidir. Türbin yağlaması, rüzgar enerjisi çiftliklerinde ekipmanı koruma işleminin sadece bir parçasıdır. Rüzgar türbinlerinde, planlı bakımın ayrıca filtre değiştirme ve civata torklama gibi hizmetleri de oldukça önemlidir.

6. Açık Deniz Rüzgar Türbinlerinde Bakım

Rüzgar türbinlerinde, özellikle açık deniz rüzgâr santrallerinde, bileşen arızalarıyla uğraşmanın sonuçları ve maliyetleri çok daha kritiktir, zira tamir gemilerinin bölgeyi ziyaret etmesi ve hataların giderilmesi için zaman ayırması hem zaman almakta hem de bakım maliyetlerini artırmaktadır. Şanzıman gibi kritik bir parçanın arızalanması diğer bileşenlere zarar verebilir ve bu nedenle de olası sorunlara önceden belirlenmesi ve uyarı verilmesinin sağlanması oldukça önemlidir.

Açık denizlerde rüzgar türbinleri çok daha fazla enerji üretir. Ancak, denizlerde pas çok ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Sermaye yatırımını ödemek için, açık deniz rüzgar santrallerinin en az 25 yıl boyunca çalışabilmeleri gerekmektedir bu ise ancak ayrıntılı bir bakımla mümkündür. Gelecekte, yenilikçi malzemeler ve teknolojiler sayesinde daha iyi ve daha uygun maliyetli bir hale getirilebilir. Yapılan araştırmalar, optimize edilmiş bir tamir işlemi için koruyucu bir filmler geliştirerek açık deniz rüzgar türbinlerinin kullanımında ortaya çıkan problemleri ortadan kaldırmaya çalışmaktadırlar. Açık deniz rüzgar türbinlerinin bakım ve onarımı oldukça zordur çünkü tüm işler denizde ve her türlü havada yapılmalıdır. Korozyona karşı koruyucu kaplamalar yapılması da oldukça zor bir süreçtir. Rüzgar türbinlerinin su altında kalan kısmının da su üstünde bulunan bölümünün de korozyona karşı korunması büyük önem taşımaktadır.

7. Rüzgar Türbinlerinde Yapılan Bakım Çalışmaları

Genel olarak bakıldığında bakım ile ilgili farklı kategoriler mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

7.1. Önleyici Bakım

Bakım, önceden belirlenmiş aralıklarla veya belirtilen kriterlere göre yapılır ve bir ürünün işleyişinin arıza veya bozulma olasılığını azaltmayı amaçlar. Önleyici bakım, bakımın planlı ve periyodik olduğu anlamına gelir. Arızaların oluşmasını önlemek için bakım eşit aralıklarla yapılır.

7.2. Programlı Bakım

Belirlenmiş bir zaman çizelgesine veya belirlenmiş bir aralıkta yapılan bakım.

7.3. Şartlara Dayalı Bakım

Performans veya parametre izlemeye ve sonraki işlemlere dayalı önleyici bakımdır. Bileşenlerin geçmişi hakkındaki veriler, bakıma ne zaman ihtiyaç duyulduğunu tahmin etmek için istatistiksel yöntemlerle birlikte kullanılır. Ne zaman bakıma ihtiyaç duyulduğunu tahmin etmek, bileşenin nasıl ve neden başarısız olduğu belirlemek için yapılan bakım çalışmalarıdır.

7.4. Düzeltici Bakım

Arıza tespitinden sonra yapılan ve bir öğeyi istenen işlevini yerine getirebileceği bir duruma getirme amaçlı bakımdır. Bileşenler çalıştığı sürece düzeltici bakım yapılmaz. Parçalardan biri arıza yaptığı zaman tamir edilir veya kaldırılır.

7.5. Bakım optimizasyonu

Bakım optimizasyonu için genel amaç, toplam maliyetleri en aza indirmek veya bakım kaynaklarını en üst düzeye çıkarmaktır.

7.6. Veri analizi

İzlemenin ilkeleri yeni değildir, ancak giderek ön plana çıkmakta olan karmaşık bilgi işlem analizi ile ölçülen verilerin yorumlanması ve analizi konusunda son yıllarda çok büyük yol alınmıştır. Dişli kutusundan alınacak titreşim



seviyelerinin analizi muhtemel ortaya çıkabilecek arızalar konusunda bilgi verebilir. Titreşim çalışan bir makinenin durumu hakkında bilgi vermektedir. Titreşimde meydana gelecek değişimler, makinenin aksamalarında bir farklılık olduğu anlamına gelebilir. Bu nedenle dakikalık veya saatlik titreşim seviyelerini ölçüp kaydederek, yeni ölçülen titreşim verileri ile karşılaştırmak ve farklılık ortaya çıkarsa kullanıcıya önceden haber vermek olası arızaların önüne geçilmesine yardımcı olacaktır.

Titreşim seviyesi kademeli olarak artış gösteriyorsa, kullanıcıya bir alarm gönderilir. Bu seviye tehlike seviyesinin çok altında bile olsa izlemede yarar olabilir.

8. Güvenirlilik Merkezli Bakım (GMB)

GMB, koruyucu bakım ve düzeltici bakım arasında denge kurmak ve doğru zamanda doğru bileşen için doğru koruyucu bakım faaliyetlerini en uygun maliyetli çözüme ulaştırmak için sistematik bir yöntem sunar. GMB yöntemi, bakım planlarını belirlerken güvenilirlik konularına odaklanan yapısal bir yaklaşımdır.

Rüzgar türbinlerinde yapılan bakımlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Yıllık önleyici bakım

- Sözleşme başlangıcında rüzgar türbini ön incelemesi
- Üreticinin özelliklerine göre önleyici bakım
- Yağ değişimi
- Yağlama
- Tork ve vidaların gözden geçirilmesi
- Elektriksel değerlerin ve sıcaklıkların ölçülmesi
- Yağların analizi
- Yedek parçaların ve sarf malzemelerinin temini ve kapsamlı yönetimi

2. Düzeltici bakım:

- Elektrik arızalarının belirlenmesi ve çözülmesi
- Küçük parçaların değiştirilmesi
- Büyük parçaların değiştirilmesi
- Yenileme
- Telekomünikasyon sistemlerinin onarımı

Bakımın Sağladığı Yararlar

- Verimlilik ve karlılığın artırılması (15 yıldan fazla bile olsa)
- Güvenlik görevlilerinin iyileştirilmesi
- Maliyetlerin azaltılması
- Üretilen MW'in tahmin etkinliğinin iyileştirilmesi
- Ömrü uzatma

9. Rüzgar Üreten Gücün İşletme ve Bakım Maliyetleri

İşletme ve Bakım (İ&B) maliyetleri, bir rüzgar türbininin yıllık toplam maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Yeni bir türbin için, işletme ve bakım maliyetleri, türbinin kullanım ömrü boyunca üretilen kWh başına toplam maliyetin % 20-25'ini bulabilmektedir. Türbin yeniyse, pay yalnızca % 10-15 olabilir, ancak bu türbin ömrünün sonuna doğru % 20-35 seviyelerine çıkabilmektedir. Bu nedenle de, üreticiler daha az düzenli servis ziyaretleri ve daha az türbin aksama süresi gerektiren yeni türbin tasarımları geliştirerek bu maliyetleri önemli ölçüde azaltmaya çalıştıklarından, işletme ve bakım maliyetleri daha fazla dikkat çekmektedir.

İşletme ve bakım maliyetleri, aşağıdakileri içeren sınırlı sayıda maliyet bileşeniyle ilgilidir:

- Sigorta;
- Düzenli bakım;
- Tamir etmek;
- Yedek parçalar ve
- İdaresi.

Bu maliyet bileşenlerinden bazıları nispeten kolay bir şekilde tahmin edilebilir. Sigorta ve düzenli bakım için, rüzgar türbininin toplam kullanım ömrünün önemli bir kısmını kapsayan standart sözleşmeler yapmak mümkündür. Tersine, onarım ve ilgili yedek parçaların maliyetlerini tahmin etmek çok daha zordur. Her ne kadar tüm maliyet bileşenleri türbin büyüdükçe artma eğiliminde olsa da, tamir ve yedek parça maliyetleri özellikle türbin yaşından etkilenir; düşük başlar ve zamanla artar.

Rüzgar enerjisi endüstrisinin göreceli yeni olmasından dolayı, 20 yıllık ömür beklentisine ulaşmış sadece birkaç türbin vardır. Bu türbinler de şu anda piyasada bulunanlardan çok daha küçüktür.

Almanya, İspanya, İngiltere ve Danimarka'daki deneyimlere dayanarak, işletme ve bakım maliyetlerinin, türbinlerin toplam ömrü boyunca, üretilen kWh başına rüzgar enerjisi başına yaklaşık 1,2 ila 1,5 eurocent (c €) olduğu tahmin edilmektedir. İspanya'daki veriler, bu miktarın yüzde 60'ından daha azının kesinlikle türbin ve tesisatların İ&B'na gittiğini ve geri kalanının işçilik maliyetleri ve yedek parçalar arasında eşit olarak dağıldığını göstermektedir. Kalan yüzde 40, sigorta, arsa kiralama ve genel giderler arasında eşit olarak dağılmıştır. Yeni ve daha büyük türbinler için daha düşük İ&B maliyetlerine yönelik eğilimi göstermektedir. Bu nedenle, üç yıllık bir türbin için, İşletme ve Bakım maliyetleri yaklaşık 3.5 c €/kWh'den düşmüştür; eski 55 kW türbinler için yeni 600 kW makineler için 1 c €/kWh'den az olmaktadır (WEF, 2019)

10. Sonuç

Enerji tüketiminin artması ve iklim değişiminde fosil yakıtların rolü göz önüne alındığında rüzgar enerjisinin önümüzdeki dönemde daha da artması beklenebilir. Rüzgar türbinleri çoğunlukla kırsal alanlarda veya denizlerde kurularak işletilmektedir. Rüzgar türbinlerinin işletilmesinde ve bakımında birçok zorluk ile karşılaşmaktadır. Gerekli bakım işlemlerinin zamanında veya gerektiği gibi yapılmaması bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu problemler bazen basit arızalara ve türbinin duraksamasına neden olurken, bazı durumlarda türbinin tamamen kullanılamaz duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle de rüzgar türbinlerinde bakım çalışmalarına önem verilmesi elzemdir.

Rüzgar türbinlerinde bakımın elektrik üretim değeri üzerinde de doğrudan etkisi olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Kanat yüzeylerinde meydana gelen bozulmalar veya korozyon elektrik üretiminin düşmesine neden olmaktadır. Rulmanlarda veya hareketli akşamlarda meydana gelebilecek arızalar nedeni ile ortaya çıkabilecek olan titreşimler de hem enerji tüketiminin düşmesine neden olmakta, hem de zamanında giderilmez ise arızalara ve türbinin duraksamasına neden olmaktadır.

Bütün bu ve benzeri nedenlerle rüzgar türbinlerinde bakım çalışmaları yapılmalı ve önleyici bakım konusuna önem verilmelidir.

11. Kaynaklar

1. Agrawal KK, Pandey GN, Chandrasekaran K. Analysis of the condition based monitoring system for heavy industrial machineries. In: IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, Enathi. 2013. pp. 1-4
2. Alewine K, Chen W. A review of electrical winding failures in wind turbine generators. IEEE Electrical Insulation Magazine. 2012;28(4):8-13
3. Behrends, L., 2019, Full maintenance and basic maintenance, <https://www.deutsche-windtechnik.com/onshore-full-maintenance-and-basic-maintenance>



4. Bocard N. Capacity factor of wind power realized values vs. estimates. *Energy Policy* 2009;37(7):2679-2688
5. BR, 2019, Blade Repair Quality Blade Repair Pays, <https://fairwindres.com/wind-industry-maintenance/blade-repair/>
6. BS, 2019, Blade Service, Our Service Portfolio, <https://www.mb-bladeservice.com/en/leistungen.html>
7. Bustos G, Vargas LS, Milla F, Sáez D, Zareipour H, Nuñez A. Comparison of fixed speed wind turbines models: A case study. In: *Proceedings of the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON-2012)*, Montreal, Canada, October 25-28. 2012
8. EP, Efficient Plant, Stopping Repeat Wind-Farm Generator Failures, <https://www.efficientplantmag.com/2013/09/stopping-repeat-wind-farm-generator-failures/>
9. FT, 2019, Force Technology, Wind turbine towers and rotor blades are exposed to the whims of the weather. Drone inspection provides a visual or thermographic image of the state of the components. <https://forcetechnology.com/en/services/drone-inspection-of-wind-turbines-onshore-and-offshore>
10. Gowdar RD, Mallikarjune Gowda MC. Reasons for wind turbine generator failures: A multi-criteria approach for sustainable power production. *Renewables: Wind, Water, and Solar*. 2016;3(1):9
11. Hahn B, Durstewitz M, Rohrig K. Reliability of wind turbines. In: *Wind Energy*. 2007. Berlin Heidelberg: Springer; pp. 329-332. DOI: 10.1007/978-3-540-33866-6_62
12. IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2017. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2018
13. Köseoğlu, H., 2019, Rüzgar Enerjisi Nedir, Elektrik Enerjisi Santralleri, <http://www.huseyinkosoglu.com/wp-content/uploads/2016/01/R%C3%BCzgar-Enerjisi-Nedir.pdf>.
14. Kuiler, I., Adonis, M., & Raji, A. (2018). Preventive Maintenance and Fault Detection for Wind Turbine Generators Using a Statistical Model. In *Fault Detection and Diagnosis*. IntechOpen.
15. Lazard, Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis. Version 11.0; November 2017
16. MECF, Metropolitan Engineering Consulting and Forensics, Cause and Contributing Factors of Failure of Geared Wind Turbines, <https://sites.google.com/site/metropolitanforensics/cause-and-contributing-factors-of-failure-of-wind-turbines>
17. Milborrow, D., Breaking down the cost of wind turbine maintenance, *Wind Power*, <https://www.windpowermonthly.com/article/1010136/breaking-down-cost-wind-turbine-maintenance>, 2010.
18. NNYW, 2018, Northern NY Wind, <http://www.nnywind.com/photos.html>
19. NWW, 2016, National Wind Watch, Exelon: Mechanical failure led to turbine collapse, <https://www.wind-watch.org/news/2016/05/07/exelon-mechanical-failure-led-to-turbine-collapse/>
20. Saheb-Koussa D, Haddadi M, Belhamel M, Koussa M, Noureddine S. Modeling and simulation of wind generator with fixed speed wind turbine under MATLAB-Simulink. *Energy Procedia*. 2012;18:701-708
21. Shreve, E., 2018, Wind turbine topples in Chatham-Kent <https://windsorstar.com/news/local-news/wind-turbine-topples-in-chatham-kent>
22. Smith, C., Fires are major cause of wind farm failure, according to new research, <https://www.imperial.ac.uk/news/153886/fires-major-cause-wind-farm-failure/>, 2014.
23. Tian Z, Jin T, Wu B, Ding F. Condition based maintenance optimization for wind power generation systems under continuous monitoring. *Renewable Energy*. 2011;36(5): 1502-1509
24. WEF, 2019, Wind Energy the Fact, Operation and Maintenance Costs of Wind Generated Power, <https://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>
25. WP, 2011, Wind Power, Planning Maintenance for Wind Turbine Blades, <https://www.windpowerengineering.com/operations-maintenance/planning-maintenance-for-wind-turbine-blades/>
26. Wu B, Lang Y, Zargari N, Kouros S. *Power Conversion and Control of Wind Energy Systems*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press; John Wiley & Sons; 2011
27. Yang W, Tavner PJ, Crabtree CJ, Feng Y, Qiu Y. Wind turbine condition monitoring: Technical and commercial challenges. *Wind Energy*. 2014;17(5):673-693

SANTRİFUJ POMPADA DÜŞÜK HERTZ'İN ETKİSİ VE ÇÖZÜMÜ

¹**Selçuk Karabay**
¹Endüstri Mühendisi

1. Giriş

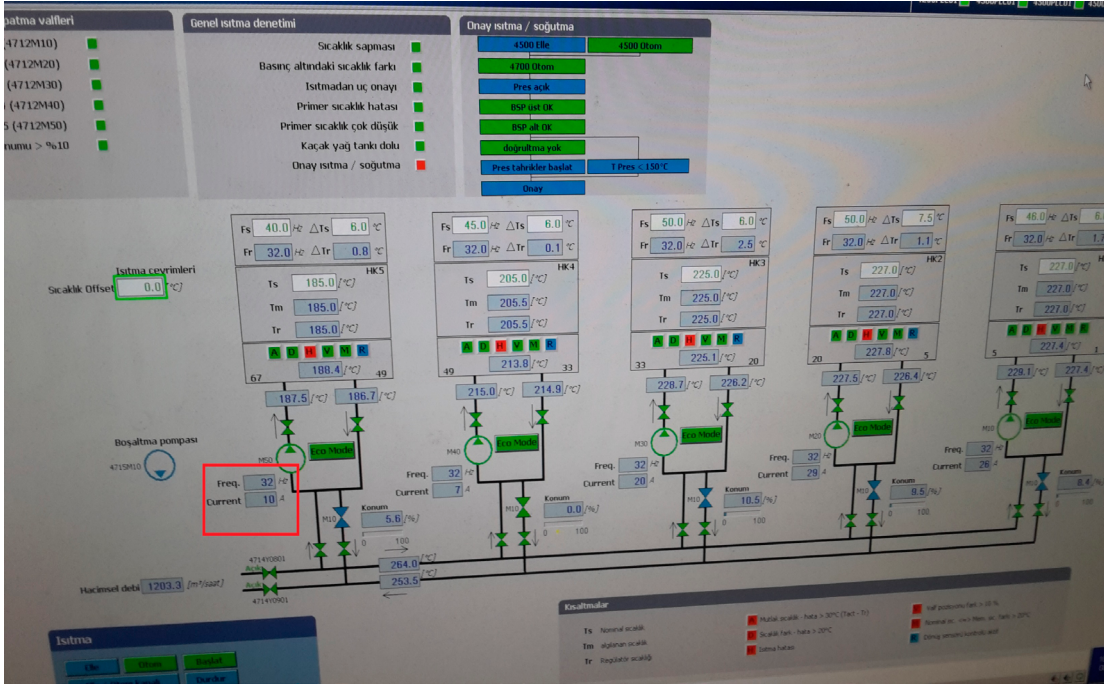
İşletmeler rekabetin yoğun olduğu pazarda maliyetleri düşürerek arz yönünde bir talep yaratmak istediklerinden, yüksek bir girdi değerine sahip olan elektrik enerjisi maliyetlerini düşürmek için bu yönde bir dizi tedbirler almaktadırlar. Bu tedbirlerden biri de frekans konvertörünün kullanımınıdır. Yapılan yanlışlardan biriside frekans konvertörleri bir sihirbaz gibi algılanıp her yere takılması. Bu çalışmayı iki yönden inceleyeceğiz. Birinci ana kısımda Düşük hertz'in pompa ve motora etkisi ile çözümü, ikinci ana kısımda frekans konvertörü ile pompa impel çapının düşürülmesi ile enerji yönünden karşılaştırılması.

2. 1 Düşük Hertz'de Çalıştırılan Bir Pompa Uygulaması

Bu uygulamayı iki bölümde ele alacağız. İlk bölümde pompa bilgileri, çalışma eğrileri ve oluşan hasarlar, diğer bölümde bu hasarın önlenmesi üzerine.

2.1.1 Pompamızın bilgileri, çalışma eğrisi ve oluşan hasar

MOTOR			POMPA			Q	H	FAN ÇAPI
MARKA	KW	DEVİR	MARKA	POMPA TİPİ	DEVİR			
KSB	30	1470	KSB	ETNY 200-150-315	1477	420	24.20	302

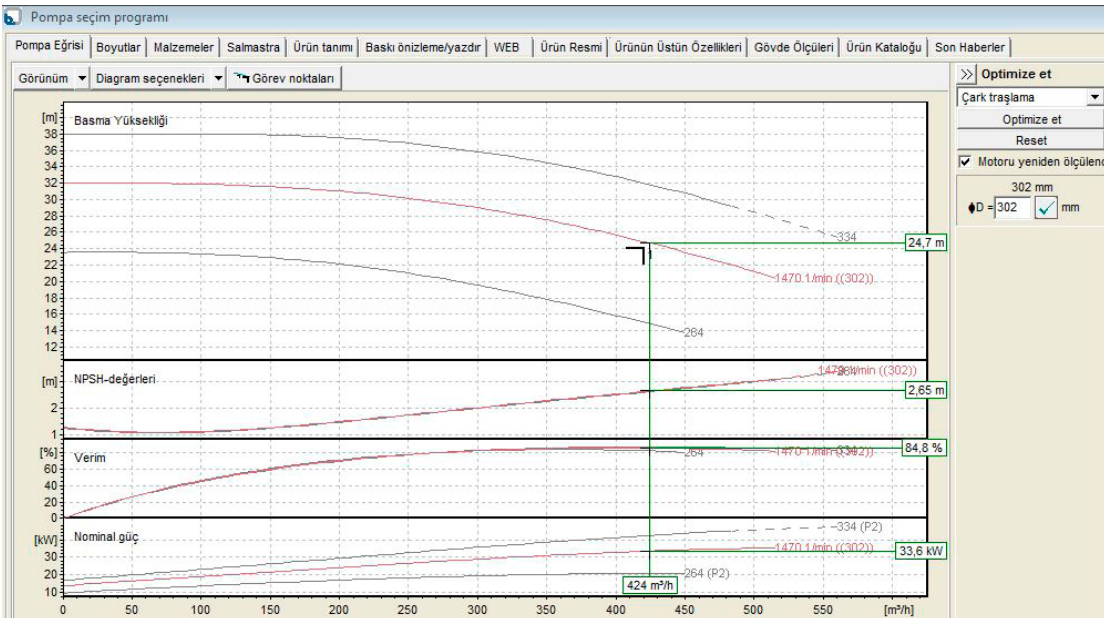


Resim 1: Operatör bilgisayarından pompanın 32 Hz’de çalıştığını gösteren fotoğraf

Pomparamız yukardaki bilgiler ışığında incelendiğinde pompa fark basıncı 1 bar olduğundan mevcut çalışma durumu aşağıdaki gibidir.

Pompa Çalışma Değerleri	DEBİ (Q)	RPM (d/dk)
50 HZ	420 m ³ /h	1470
32 HZ	273 m ³ /h	940

Pomparamızın 50 HZ ve 32 HZ’deki çalışma eğrileri;



Resim 2: Pompanın 50 Hz’deki çalışma eğrisi



Resim 3: Pompanın 32 Hz'deki çalışma eğrisi

Yukarıdaki çalışma eğrileri incelendiğinde minimum eğrinin de çok altında çalıştığı ve bunun sonucunda pompanın içinde vorteks oluşuyor. Bu da pompaya aşağıdaki gibi hasar vermektedir.



Resim 4: Pompanın 32 Hz'deki çalışması sonucu oluşan vorteksin verdiği hasar

2.1.2 Pompada oluşan hasar için çözüm önerileri

Bu hasar için iki çözüm mevcuttur. Birincisi pompa çalışma eğrisine bakılarak pompa impel çapının küçültülmesi ya da bu kurtarmıyorsa sisteme uygun bir pompanın seçilmesi. İkinci çözüm olarak pompaya vorteks kırıcı eklenmesi. Biz burada vorteks kırıcı üzerinde duracağız. İşletme pompa seçimini yaparken vorteks oluşumunu göz önünde bulundurarak istemesi halinde orijinal vorteks kırıcılı pompa alabilir.

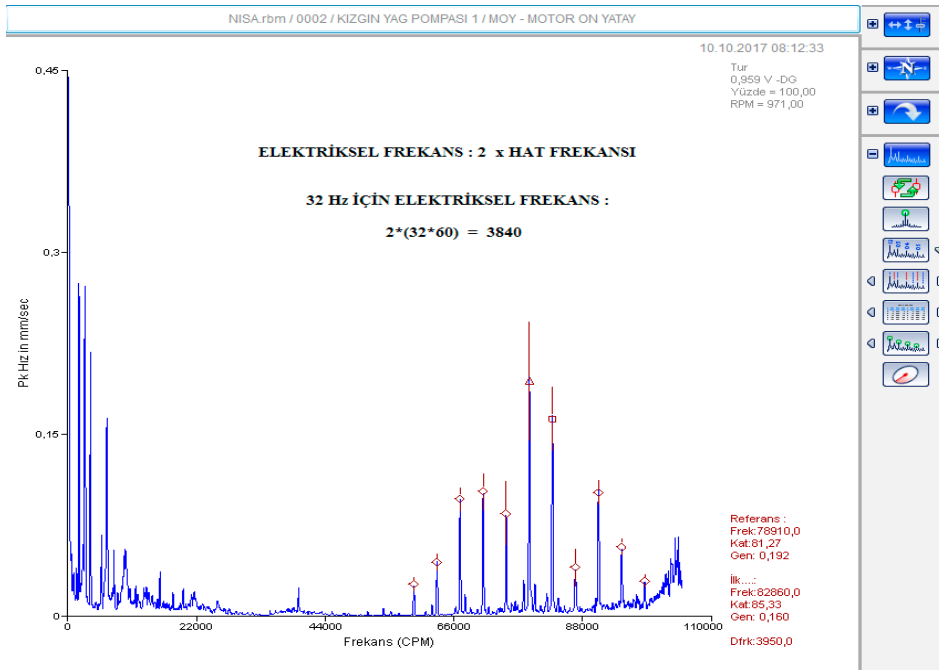


Resim 5: Pompaya sonradan eklenen vorteks kırıcılar

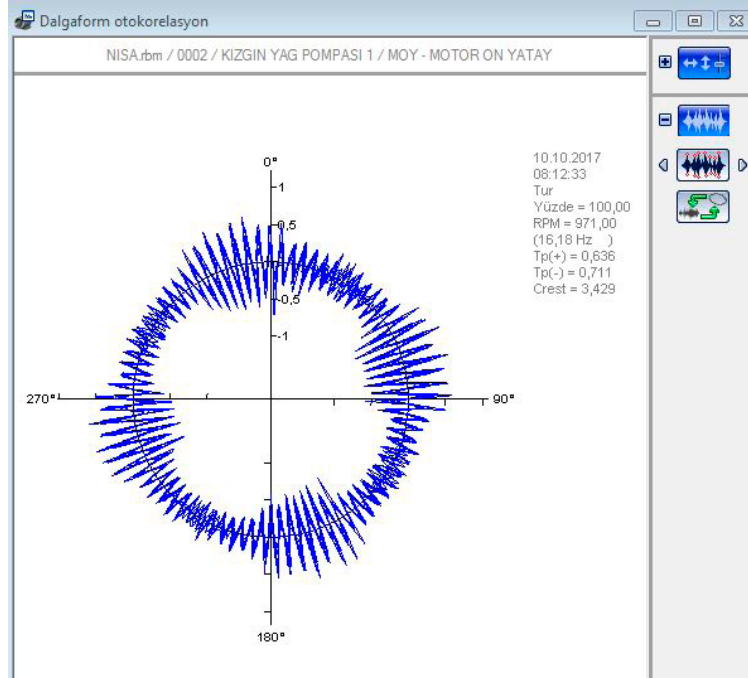
2.2 Düşük Hertz'de Çalışmanın Motora Etkileri

Bu bölümde motor vibrasyon grafikleri, motor harmonik ölçümleri ve mil akımları ele alınacaktır.

2.2.1 Motor Vibrasyon Ölçümü



Resim 6: 32Hz'de çalışan motorun spektrum analizi



Resim 7: 32Hz'de çalışan motorun dairesel dalga formu

6 no'lu resim incelendiğinde spektrum dalga formu üzerinde hat frekansı rahatlıkla görülüyor. Dairesel dalga formuna çevrildiğinde motor 4 kutuplu olduğundan kutupların yansması görülüp elektriksel bir sorunu işaret etmektedir.

2.2.2 Motor'un Enerji Analizörü İle Harmonik Ölçümleri



Resim 8: 32Hz'de çalışan motorun 3,5,7,9 ve 11. Harmonikleri

Yukarıda da görüldüğü üzere 3. ve 11. harmonik değerleri yüksektir.

2.2.3 Motordaki Mil Akımlarının Ölçülmesi



Resim 9: 32 Hz'de çalışan motordaki mil akımı atlama sayılarının ölçümü

2.2.4 Sonuç

Düşük hertz'in motor tarafındaki yansıması motorun kendini soğutamaması, frekans konvektöründen yayılan harmoniklerin motor üzerinde bir gerilim oluşturması ve bununda mil akımı şeklinde rulman üzerine akması. Zamanla da rulmanların hasar görmesi. Rulmanlardaki mil akımı hasarını önlemenin bir yolu da mil topraklama bileziği, ya da izoleli rulman kullanılmasıdır.

3. Frekans Konvertörü İle Fan Çapı Düşürülmesinin Enerji Yönünden İncelenmesi

Bu çalışma iki bölümde incelenecektir. İlk bölümde pompanın etiket bilgileri ile pompa eğrileri, 40 HZ'deki emme ve basma manometre değerleri, çektiği akım ile tüketim değerleri verilecektir. İkinci bölümde pompa impel çapının küçültülmesi ile aynı basınç değerlerindeki çektiği akım ile tüketim değerleri verilip sonuca bağlanacaktır.

3.1 Pompanın Etiket bilgileri ve 40 HZ'deki değerleri

Pompa etiket değeri:

Pompa tipi: ALWAILER NT 200-400

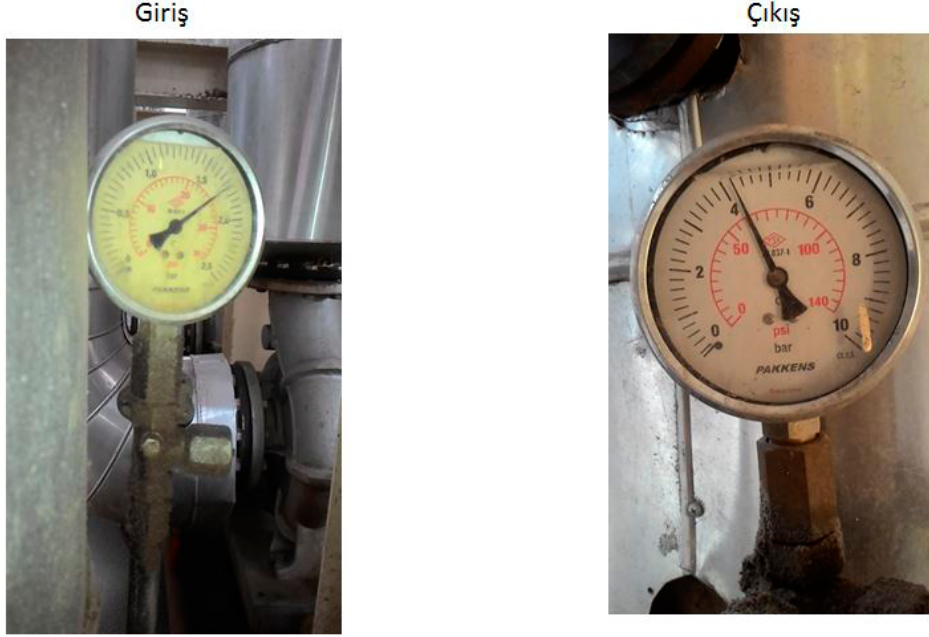
Kapasite: Debi: 500 m³/h, Basma yük.: 55 m

Fan çapı: 408 mm

Motor gücü: 90 Kw

Motor devri: 1485 d/dk

Pompanın 40 HZ'deki Giriş ve Çıkış manometre Değerleri



Resim 10: 40 Hz'deki basınç değerleri

Power Log 5.3 - [MEAS 81 -- MENDEZ 7400 M01 (1190).fpqo]

Dosya Düzen İzle Araçlar Pencere Yrdm A new version of PowerLog 430-II is available.

Kimden 26.01.2019 13:15 Kime 26.01.2019 13:25

Özet Elektronik tablo Voltaj ve Akım İstatistikler Frekans / Dengesiz Güç Enerji Güç Harmoniği Harmonik

Filtre Süre AN(V) / A(A) BN(V) / B(A) CN(V) / C(A) NG(V) / N(A) Toplam Min Ort Maks

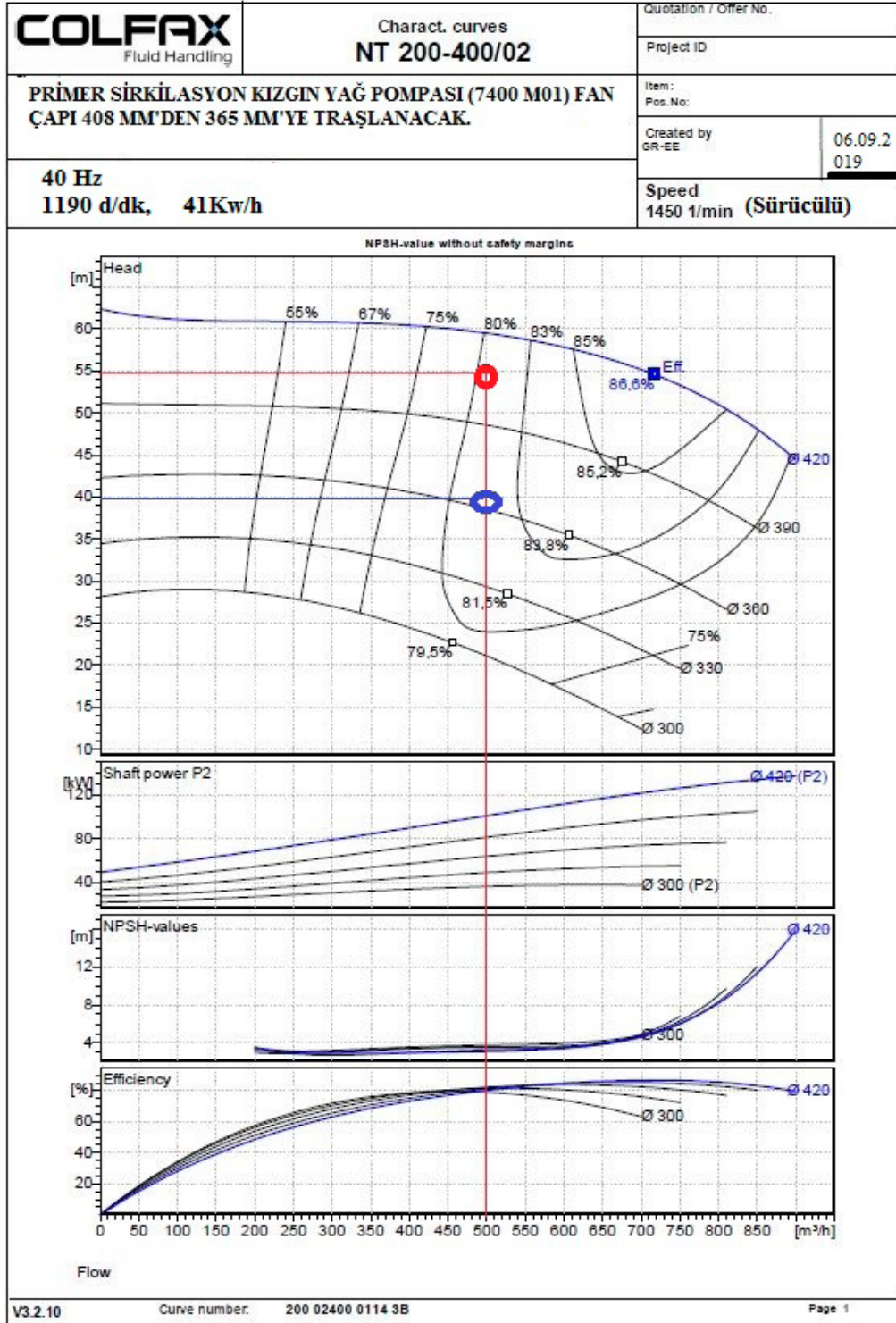
Tarih	İşlev	AN(V) / A(A) Ort	BN(V) / B(A) Ort	CN(V) / C(A) Ort	NG(V) / N(A) Ort	Toplam Ort
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Vrms ph-ph	394,06 V	394,74 V	393,64 V		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Vrms ph-n	227,22 V	227,84 V	227,6 V	1,36 V	
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Arms	66 A	67 A	69 A		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Tepe Voltajı	532,9 V	531,9 V	530,7 V		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Tepe Akımı	134 A	132 A	144 A		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Etkin Güç	13,5 kW	13,6 kW	13,8 kW		40,8 kW
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Aktif Enerji					
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	THD V	6,25 %	6,16 %	6,4 %		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	THD A	36,22 %	38,31 %	33,88 %		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	THD W	2,24 %	2,41 %	2,18 %		
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Frekans	50,015 Hz				
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Cos Phi	1	1	1		1
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Etkinlik Faktörü					0,91
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Yeniden etkin Güç	1 kvar	1,2 kvar	1,1 kvar		3,3 kvar
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Güç Faktörü	0,9	0,89	0,87		0,89
26.01.2019 13:15:10 371m.sn.	Açık Enerji					

Resim 11: 40 Hz 'de 40,8 kw/h tüketim olmaktadır.



3.2 Pompa impel çapı küçültülerek elde edilen sonuçların incelenmesi

Pompa impel çapı işletmenin çalışma şartına uygun olarak 408 mm'den 365 mm'ye düşürülmüş ve tüketim değerleri incelenmiştir.



ALLWEILER GmbH / 78315 Radolfzell Info-DE@colfaxcorp.com

Resim 12: Mevcut Pompanın Grafiği

Power Log 5.3 - [MEAS 97 -- 7400 M01 FAN ÇAPI KÜÇÜLTÜLMÜŞ %85 DEĞERİ - Kopya.fpqq]

Dosya Düzen İzle Araçlar Pencerele Yardım A new version of PowerLog 430-II is available.

Kimden 08.03.2019 14:07 Kime 08.03.2019 14:20

Özet Elektronik tablo Voltaj ve Akım İstatistikler Frekans / Dengesiz Güç Enerji Güç Harmoniği Harmonik

Filtre Süre AN(V) / A(A) BN(V) / B(A) CN(V) / C(A) NG(V) / N(A) Toplam Min Ort Maks

Tarih	İşlev	AN(V) / A(A) Ort	BN(V) / B(A) Ort	CN(V) / C(A) Ort	NG(V) / N(A) Ort	Toplam Ort
08.03.2019 14:20:02 491m.sn.	Adc	30 kA	30 kA	30 kA		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Vrms ph-ph	392,5 V	393,36 V	392,12 V		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Vrms ph-n	226,3 V	227,02 V	226,8 V	1,56 V	
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Arms	50 A	53 A	54 A		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Tepe Voltajı	529 V	527,6 V	525,5 V		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Tepe Akımı	104 A	98 A	102 A		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Etkin Güç	10,1 kW	10,7 kW	11,2 kW		32,1 kW
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Aktif Enerji					
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	THD V	7,19 %	7,07 %	7,34 %		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	THD A	37,58 %	41,23 %	33,3 %		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	THD W	2,83 %	3,07 %	2,64 %		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Frekans	49,996 Hz				
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Cos Phi	1	1	1		1
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Etkinlik Faktörü					0,92
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Yeniden etkin Güç	0,5 kvar	0,4 kvar	1 kvar		1,8 kvar
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Güç Faktörü	0,9	0,9	0,91		0,9
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Açık Enerji					
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Temel Akım	46 A	48 A	52 A		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Yarı Çevrim Akım	50 A	53 A	54 A		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Tepe Faktör Akımı	2,1	1,85	1,9		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Akım Phi	-2,98 °	-121,88 °	-245,16 °		
08.03.2019 14:20:02 741m.sn.	Adc	30 kA	30 kA	30 kA		

Resim 13: Fan impel çapı düşürüldükten sonra 42,5 HZ'deki tüketim 32,1 kW'dır.

3.3 Sonuç

40 HZ'de 40,8 kW tüketen bir pompa, impel çapı düşürüldükten sonra 42,5 HZ'de 32,1 kW tüketim yapmaktadır. Tüketim değerleri bazında incelendiğinde fan küçültme işlemi ile daha çok tasarruf yapıldığı gözlenmiştir.

4. Sonuç

Buradaki çalışmamızda Frekans konvertörünün pompa ve motor üzerindeki etkileri ile enerji yönünden frekans konvertörüne alternatif bir çözüm üzerinde durulmuştur. Hassas proseslerde frekans konvertörünün kullanılması mutlaka gereklidir, onun dışında ki yerlerde gerekli hesaplamaların iyi yapılması ile impel çapı küçültülerekten enerji tasarrufu yapılabilir. Ve bu yapılan tasarruf ilk maliyetler göz önüne alındığında frekans konvertörüne göre daha ucuz bir yatırım ile daha yüksek tasarruf sağlar. Tasarruf dışında frekans konvertörü kullanılan pompa minimum eğri altında çalıştırıldığında baskı kapaklarında oluşan vorteks sonucu aşınmaktadır. Pompa seçimlerinde bu konuda göz önüne alınırsa pompa ömrü uzar ve beklenmedik arızaların önüne geçilir. Şayet böyle bir sorunla karşılaşıldığında kendimizde vorteks kırıcı ekleyerek sorunu çözebiliriz. Vorteks kırıcı yapılmak istenirse de pompa mili ile aynı özellikteki malzeme kaynatılmalı.



5. Kaynaklar

[1] STARWOOD ORMAN ÜRÜNLERİ A.Ş. İnegöl/ BURSA Pompa Uygulaması (2018 - 2019)

6. Özgeçmiş

Selçuk KARABAY

Endüstri Müh.

1977 yılı Ağrı doğumlu olup, 2000 yılında T.C. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2003 – 2009 yılları arasında bir tekstil firmasında planlama mühendisi ve kalite mühendisi olarak çalıştıktan sonra, 2009 yılından itibaren Starwood Orman Ürünleri A.Ş’de Kestirimci Bakım Şefi olarak devam etmektedir. Evli ve Beril adında biri kızı var.

SEÇİLMİŞ ÜLKELERİN ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEKİ BAKIM VE YATIRIM GİDERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

¹Harun Kemal Öztürk, ²Aşkın GÜNGÖR,

¹Harun Kemal ÖZTÜRK, Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey, hkozturk@pau.edu.tr

²Aşkın GÜNGÖR, Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Industry Engineering, Denizli, Turkey, hkozturk@pau.edu.tr

Özet

Ulaştırma sektörü sosyo ekonomik gelişmeler ile doğrudan ilişkilidir. Ulaştırma sektörü ile malların hareketliliği sağladığı gibi yolcu taşımacılığı ile de insanların hareketliliği sağlanmaktadır. Ulaştırma sistemlerinin gelişimi hem sosyal hem de ekonomik gelişmenin temelini oluşturmaktadır. Geçmişte, kalkınma politikaları ve stratejileri fiziksel sermayeye odaklanma eğilimindeyken, son yıllarda insan sermayesi konularını da dahil ederek daha karmaşık hale dönüşmüştür. Fiziki ve beşeri sermayenin göreceli önemine bakılmaksızın, altyapı, uygun faaliyetler ve bakım olmadan etkin kalamamaktadır. Ekonomik faaliyetler altyapı temeli olmadan gerçekleşemezken, altyapı ise diğer üretim sistemleri ile etkileşime girmeden gelişemez. Birçok taşımacılık faaliyetinin; yüksek işlem ve hizmet odaklı işlevleri ile fiziksel ve insan sermayesi ihtiyaçları arasında karmaşık ilişki bulunur. Dolayısı ile ekonomilerin gelişmesi için devletler, ulaştırma sektöründe hem yatırım hem de bakım hizmetlerine kaynak aktarmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de ekonomik büyüme, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) ile ulaştırma sektöründe yatırım ve bakım hizmetlerine ayrılan kaynaklar arasındaki ilişki incelenmiş ve seçilmiş ülkeler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ulaştırma; Bakım; Yatırım, Türkiye

1. Giriş

Ulaştırma sistemleri sosyo-ekonomik değişimlerle yakından ilgilidir. İnsanların hareketliliği, yük taşımacılığı ve ulaşma erişilebilirlik seviyeleri bu ilişkinin merkezinde yer almaktadır. Ulaşım altyapılarının mobilite ihtiyaçlarını karşıladığı, pazarlara ve kaynaklara erişimi sağladığı durumlarda ekonomik faaliyetler yürütülebilmekte ve fırsatlar ortaya çıkabilmektedir. 19. yüzyıldaki sanayi devriminden, 20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyılın başlarında küreselleşme ve ekonomik entegrasyon süreçlerine kadar dünyanın bölgeleri ekonomik kalkınmadan farklı şekilde etkilenmiştir. Uluslararası, bölgesel ve yerel ulaşım sistemleri, ekonomik faaliyetlerin temel bileşenleri haline gelmiştir. Taşımacılığın sosyoekonomik sistemler üzerinde olumlu etkileri olsa da, trafik sıkışıklığı, kazalar gibi olumsuz sonuçlar da vardır. Taşımacılık aynı zamanda maliyet, kapasite, verimlilik, güvenilirlik ve hız gibi operasyonel özelliklerden faydalanan ticari bir faaliyettir. Ulaştırma sistemleri, şebekenin işletme kapasitesini yansıtan ve bir ekonominin mobilite gereklilikleri olan ulaştırma talebi ve arzı arasındaki karmaşık ilişkiler içinde gelişmektedir.



Yoğun altyapı kullanımı nedeniyle, ulaştırma sektörü ekonominin önemli bir bileşeni ve kalkınma için kullanılan ortak bir araçtır. Ekonomilerin, insanların, malların ve bilginin hareketliliği ile artan bir şekilde ilişkili olduğu bilinmektedir, ancak bu ilişkiler küresel bir ekonomide daha da yoğun olmaktadır. Ulaştırma altyapısının niceliği ve kalitesi ile ekonomik gelişme düzeyi arasındaki ilişki açıktır. Yüksek yoğunluklu ulaştırma altyapısı ve yüksek bağlantılı ağlar genellikle yüksek gelişmişlik sağlar. Ulaşım sistemleri verimli olduğunda, piyasalara daha iyi erişilebilirlik, istihdam ve ek yatırımlar gibi olumlu çarpan etkileri ile sonuçlanan ekonomik ve sosyal fırsatlar ve faydalar sağlarlar. Ulaşım sistemleri kapasite veya güvenilirlik açısından yetersiz olduğunda, azaltılmış veya kaçırılmış fırsatlar ve düşük yaşam kalitesi gibi ekonomik bir maliyete sebep olabilirler.

Kamu altyapı yatırımlarını ampirik olarak özel sektörün üretkenliği veya ekonomik büyüme ile ilişkilendirmeye çalışan birçok makroekonomik çalışma vardır (Cheteni, 2013; Canning ve Bennethan, 2000; Aschaeur, 1989). Bu çalışmalar göstermektedir ki; altyapıya yapılan yatırım ekonomik büyümeye olumlu katkıda bulunur; Altyapının etkisi, sermayenin marjinal ürününün yükseltilmesi üzerinde doğrudan veya dolaylı etkilere neden olabilir. (Gramlich, 1994; Calderon ve Serven, 2004) yaptıkları çalışmada ise kamu yatırımları ile çıktı büyümesi arasındaki nedensellik yönünün belirsiz olduğunu ve belirsiz politika tavsiyelerine yol açtığını savunmaktadır. Diğer yandan Mittnik ve Neumann (2001), kamu yatırımlarının ekonomik büyümenin bir faktörü olarak değerlendirilebileceğini, ancak finanse edilme tarzının özel yatırımlar üzerindeki etkisinin artmasına yol açtığını savunmaktadır.

Yollar, demiryolları, limanlar ve havaalanları; tarım, madencilik ve imalatçı üreticileri uluslararası ve bölgesel pazarlara bağlayarak ekonomik ve sosyal faydalar sağlar. Güvenilir ve rekabetçi fiyatlara sahip nakliye taşımacılığı altyapısı ve uluslararası pazarlara bağlanma olanakları olmadan, ülkeler mallarını avantajlı koşullarda alma ya da satma olanağına sahip olamazlar. Ürünleri iç pazarlara taşıyamazlarsa, imkansız olmasa da GSYİH büyümesi zorlaşacaktır. Hem iç hem de dış pazarları çalıştıracak yeterli ulaşım altyapısı ve hizmetleri gerekmektedir. Altyapı olmadığı veya bozulmuş olduğunda, yeterli bakım hizmetleri sunulmadığında veya sunulmadığında artık bağlayıcı işlevlerini yerine getirmeyen ve ekonomiler bundan zarar görür. Temel işlemler ve hareketler ertelendiğinde veya bozuldukça, ulaşım maliyetleri arttıkça, ürünlerin pazara ulaştırılmasında zaman kaybederler ve şirketler rekabet edebilmek için daha fazla mücadele etmek zorunda kalırlar (Carruthers, 2013). Bağlantıları geri kazanabilmek için yeni altyapının inşa edilmesi ve mevcut altyapının geri yenilenmesi, bakımının yapılması veya iyileştirilmesi gerekir. Ulaşım altyapısı pahalıdır. Karayolları, demiryolları, havaalanları ve limanlar inşa etmek için gereken büyük yatırımların iyi planlanması gerekir. Düzenli olarak bakım hizmetlerinin yürütülmesi durumunda ulaşım altyapısı uzun süre ihtiyaçlara cevap verebilir. Ancak bakım olmadan, bu değerli varlıklar birkaç yıl içinde bozulabilir. Çok sık olarak, aynı yollar, uygun bakım hizmetlerinin zamanında yapılmamasından dolayı hizmet veremez duruma gelirler ve yeni ve daha pahalı yatırımların yapılması zorunluluk haline gelebilir.

Bakım, “bir öğeyi veya sistemi tutması veya gerekli işlevini yerine getirebileceği bir durumda tutması amaçlanan tüm teknik ve ilgili idari işlemler” olarak tanımlanabilir (Dekker 1996). Belirli bir yol segmenti için, alternatif bakım yöntemleri ve bakımın uygulanma zamanları arasında seçim yapılması gerekir. Bakım, yeni altyapıya göre daha küçük, daha az belirgin olması nedeniyle yatırıma oranla daha az kaynak harcanarak yapılabilmektedir (Semmens 2006, Zeitlow 2006).

Bakım olmadan, karayolları kullanıcıları araç çalışması, zaman, güvenilirlik ve emniyet açısından artan maliyetlerle karşı karşıya kalabilirler. Eğer bozulma çok ileri düzeylere ulaşırsa, kullanıcılar karayolunun sağladığı ekonomik ve sosyal faydaların kesin kayıplarıyla karşılaşacaklarından yolu kullanmak istemeyecektir. Dünya çapında, bugün ulaştırma sektörü, toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri ve petrol tüketiminin ise neredeyse üçte ikisini kapsamaktadır. Ayrıca, yakıtın yanmasından kaynaklanan küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık dörtte biri de ulaşım sektörü kaynaklıdır. Özellikle kentsel alanlarda hava kirliliğini önemli şekilde etkilemektedir. Zorunluluklar, özellikle şehirlerin katlanarak büyümesi, hareketlilik talebinin hızla artması daha verimli, daha hızlı ve daha temiz ulaşım için geliştirmekte olan ekonomilerde bir ihtiyaç yaratmaktadır (Harvey, 2012).

Bir ulaştırma altyapısı projesi üç farklı maliyet gerektirir: yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve bakım maliyeti. Yeni bir varlık inşa edilmesi durumunda - ya karayolu ya da demiryolu gibi doğrusal bir altyapı ya da liman, istasyon ya da havaalanı gibi düğüm noktası - yatırım maliyeti, toplam maliyetlerin en büyük kısmını temsil eder. Bu kalem, altyapı tarafından işgal edilecek olan alanın planlanması ve ıslahı ile ilgili maliyetleri ve altyapı ve üstyapının inşası ve diğer maliyetleri içerir.

Yukarıda listelenen parasal maliyetlere, bazı parasal olmayan maliyet kalemlerine de eklenmesi gerekir: inşaat

işleri ve tüm ömrü boyunca altyapı varlığının varlığı ile çevre üzerindeki etkisi. Tüm bu maliyet kalemleri, yapım aşamasındaki ömrünün ilk yıllarında, nakit akışını negatif yapan, görünür (veya görünmeye başlar). Varlık kurulduktan ve çalışmaya hazır olduktan sonra, diğer maliyet kalemleri ortaya çıkar: varlığın çalışması ve yönetimi ile ilgili maliyetler ile bakım maliyetleri. Bakım maliyet kalemi, sırayla rutin bakım maliyetlerine ve periyodik bakım maliyetlerine ayrılabilen bakım maliyetleri ile temsil edilir. Bakım, varlığı tüm ömrü boyunca verimli bir şekilde sürdürmek için gereklidirler. Her ne kadar eski maliyetler sistemin ömrü boyunca neredeyse sabit olsa da, periyodik bakım maliyetleri daha önemlidir ve bazı durumlarda yıllık nakit akışı işaretindeki bir değişikliği belirlemek için çok daha önemli hale gelebilir (Ferrari ve diğ. 2018).

Bakım hizmetlerini uygun zamanda ve uygun yöntemlerle yaparak ulaşım sektörü altyapısının çok daha uzun sürelerde kullanımı mümkün olabilmektedir. Bakım maliyetleri, yatırım maliyetleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Ancak, yeni yatırımlar kadar görünürlüğü bulunmamaktadır. Bu durum özellikle yöneticilerin, bakım yerine yatırım projelerini öncelemelerinde etkin olmaktadır.

2. Veriler ve Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada seçilmiş ülkelerin ulaştırma sektöründeki yatırım ve bakım giderleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda Türkiye için, bakım ve yatırım giderlerinin GSYİH'daki oranı ve bakım ve yatırım giderlerinin yıllar içindeki değişimi de incelenmiştir.

Veriler Uluslararası Ulaştırma Forumu (ITF) veri setinden elde edilmiştir. ITF üye ülkelerinden yıllık olarak toplanan verileri içermektedir. Ulaştırma altyapılarına yapılan yatırım ve bakım harcamalarına ilişkin veriler, ülkelerin Ulaştırma Bakanlıklarından, istatistik ofislerinden ve resmi veri kaynağı olarak belirlenen diğer kurumlardan ITF tarafından toplanmaktadır. Orijinal veriler, ulusal para birimlerinde güncel değerler ile toplanarak güncel kurlar üzerinden analitik amaçlar ve veri karşılaştırmaları için milyon avro olarak dönüştürülüp yayınlanmaktadır. Toplanan değişkenler yatırım ve bakım harcamaları ve karayolu, demiryolu, iç su yolları, deniz limanları ve havaalanları için sermaye değerini içermektedir (ITF, 2019).

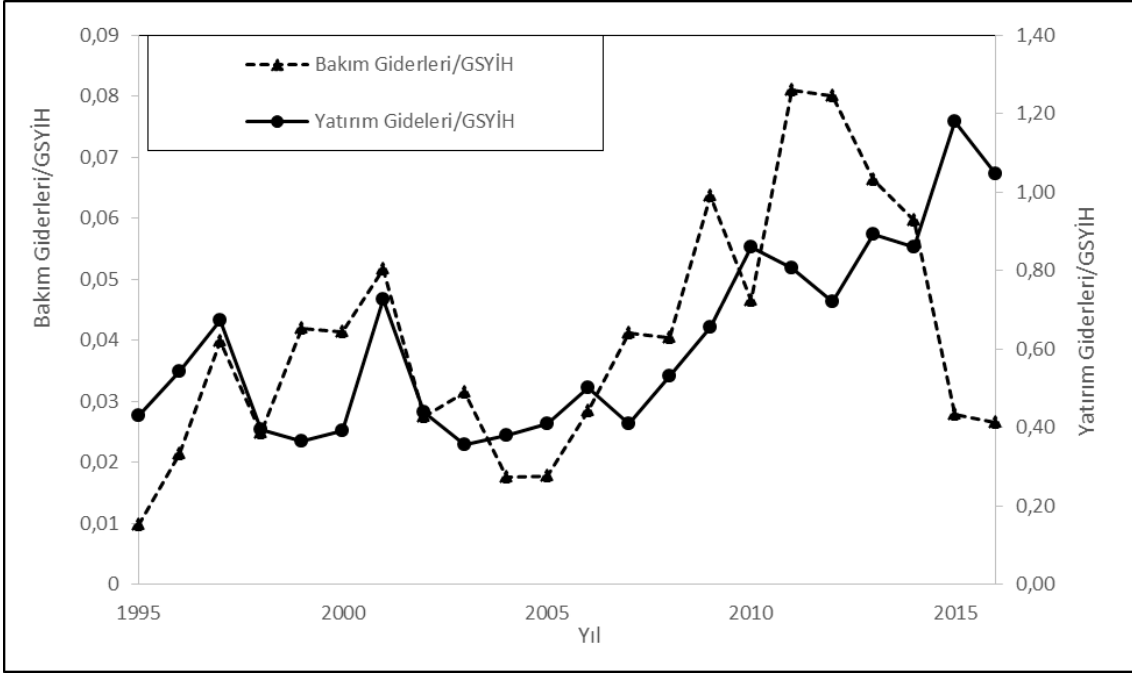
3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında Türkiye ve seçilmiş ülkelerin ulaştırma sektöründe yaptıkları yatırım ve bakım harcamaları karşılaştırılmıştır. Birçok ülkede yol bakımı fonunun yetersiz olduğu ve bakım eksikliğinin hem ülke ekonomileri olumsuz etilediği hem de kazalara neden olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, bu kaygının, karayolu varlıklarının durumuna ilişkin veri eksikliğinden dolayı doğrulanması güçtür. Yol harcamalarına ilişkin mevcut veriler, yol bakımı ve yatırım arasındaki dengenin birçok bölgede zaman içinde nispeten sabit olduğunu göstermektedir. Ulaştırma sektörüne yapılan kamu harcamalarından toplam yol harcamalarında bakımın payı% 25 ile% 35 arasında kalmıştır. 2009 yılına kadar karşılaştırılabilir verilerin bulunduğu 28 OECD ülkesinde, toplam yol harcamalarındaki bakımın payı 1995'te% 27'den 2005'te% 33'e yükselmiştir ve sonrasında ise kademeli olarak 2009'da% 30'a gerilemiştir. Bu düşüş eğilimi 2011 yılına kadar 18 OECD ülkesindeki verilerle incelendiğinde % 27'ye düştüğü görülmüştür. Karşılaştırılabilir verilerin bulunduğu 11 Batı Avrupa ülkesinde, veriler 2005 yılında bakım harcamalarında bir artış olduğunu ve bunun ardından bakım payının kademeli olarak önceki seviyelere düştüğünü göstermektedir (% 27 toplam harcama). Benzer şekilde, Kuzey Amerika'daki yol bakım payı kademeli olarak 1995'te% 35'ten, 2009'da ise% 30'a düşmüştür (ITF, 2013)

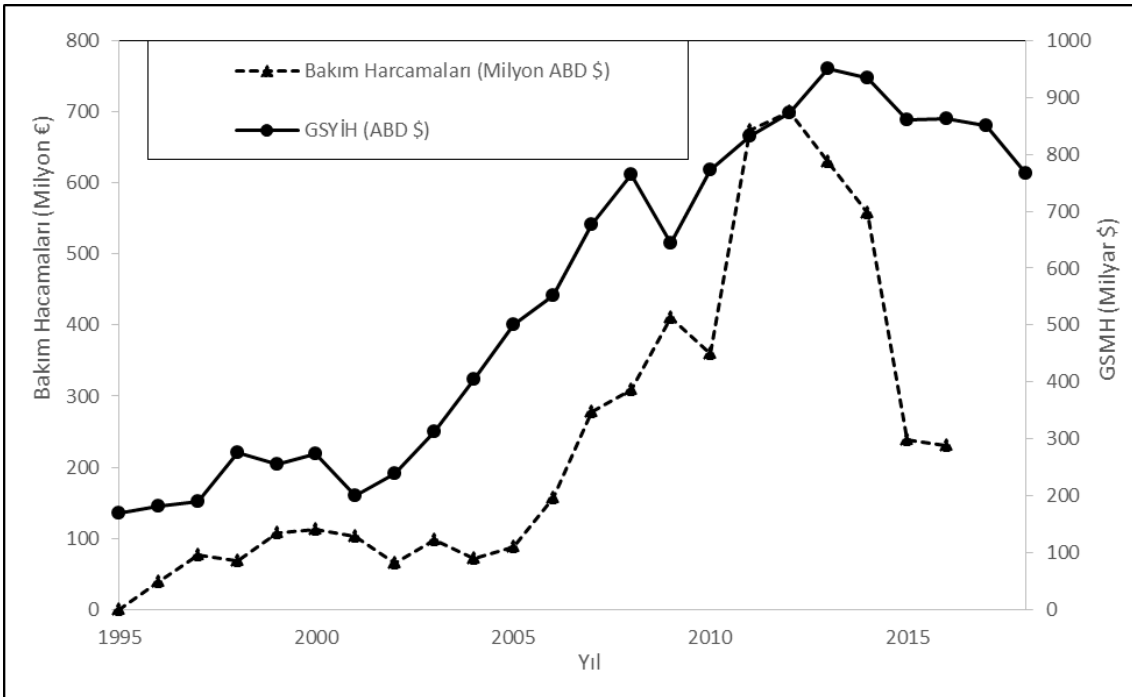
Türkiye'de ulaştırma sektöründe yatırım ve bakım için yapılan harcamaların GSYİH içindeki payı dalgalanma göstermektedir. Ulaştırma sektöründe yapılan yatırımın GSYİH içindeki payı 1995 yılında %0,43, 2001 yılında %0,73, 2008 yılında %0,53 ve 2016 yılında %1,03 değerini almıştır. Öte yandan ulaştırma sektöründe yapılan bakımın GSYİH içindeki payı 1995 yılında %0,01, 2001 yılında %0,05, 2008 yılında %0,04 ve 2016 yılında %0,02 değerini almıştır (Şekil 1).

Ulaştırma sektöründe bakım yapılan yatırımlar ve Türkiye'nin GSYİH'nın 1995-2016 yılları arasındaki değişimi Şekil 2 de verilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi, Türkiye 1995-2016 yılları arasında yaşanan genel olarak büyüme trendini içinde olmuştur ve GSYİ hasılası yükselme trendindedir. 1995-20018 yılları arasında ekonomi 3 defa, 2001, 2008 ve 2013 yıllarında yaşanan krizler ile birlikte daralmıştır. 2001 ve 2008 yıllarında, krizin hemen sonrasında ekonomide büyüme görünürken, 2013 yılından sonra üst üste 5 yıl GSYİ hasılasında düşme olmuştur. Tür-

kiye'nin GSYİH'sı 2013 yılında 950 milyar dolar iken 2018 yılında 766 milyar dolara düşmüştür. Bu yaklaşık dolar bazında GSYİH'da %20 küçülme anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle Türkiye ekonomisi geçen 5 yılda sürekli olarak her yılve toplamda %20 küçülmüştür.



Şekil 1. Ulaştırma sektöründe bakım ve yatırım yapılan harcamaların GSYİH içindeki payı

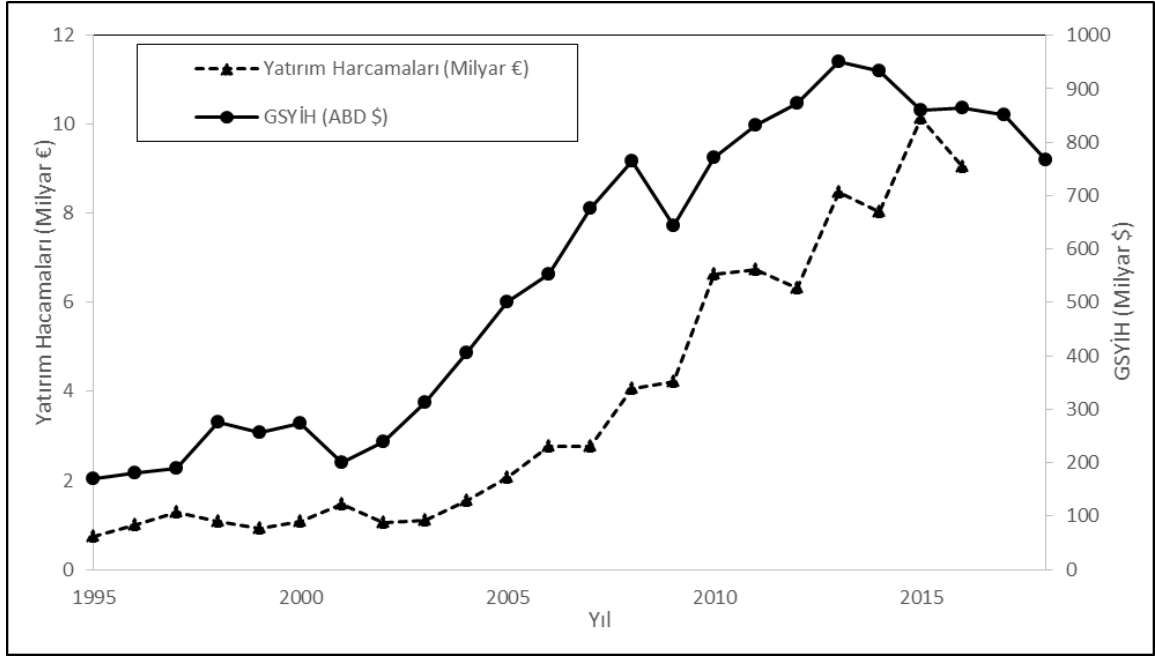


Şekil 2. GSYİH ve ulaştırma bakım giderleri

Ulaştırma bakım masrafları ile GSYİH karşılaştırıldığında ikisi arasında bir paralellik göze çarpmaktadır. Ekonominin büyüdüğü veya GSYİH'nın arttığı yıllarda ulaştırma bakım giderleri artarken ekonominin küçüldüğü yıllarda ise azalmaktadır. 2018 yılında Türkiye ekonomisinin büyüklüğü 2008 yılı değerlerine gerilerken, bakım giderleri

de 2007 yılı değerine gerilemiştir.

Şekil 3’de Türkiye’de 1995-2018 yılları arasında ulaştırma sektöründe yapılan yatırım ve GSYİH arasındaki değişim verilmiştir. Şekil 3’den de açıkça görüleceği üzere, ulaştırma bakım masrafları gibi, yatırım giderleri de GSYİH ile paralellik göstermektedir.

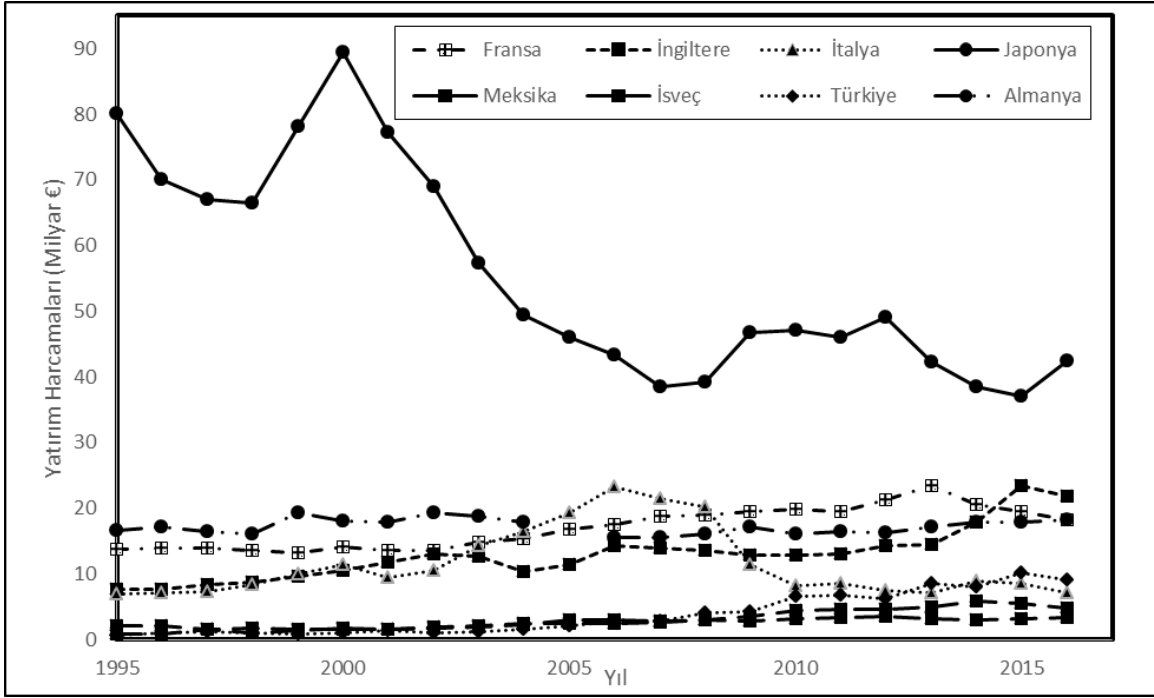


Şekil 3. GYSİH ve ulaştırma yatırım giderleri

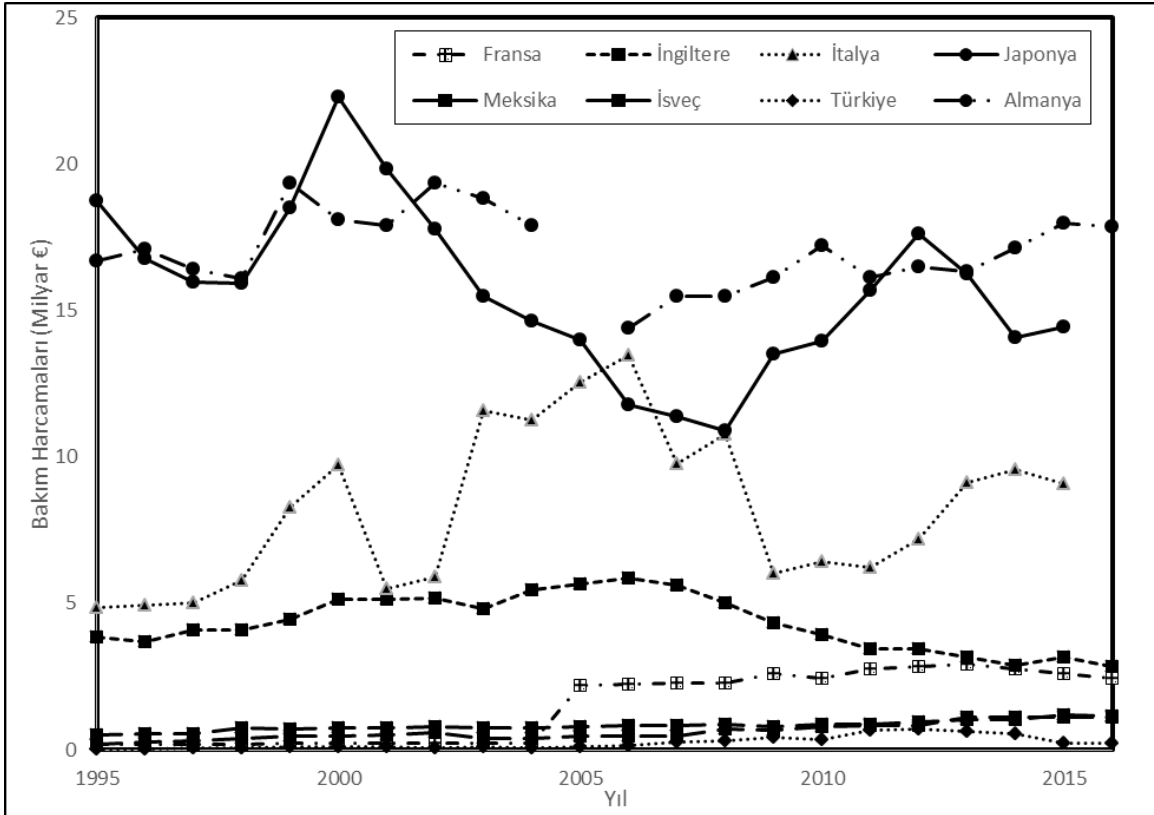
Şekil 4 ve Şekil 5 de seçilmiş bazı ülkelerin ulaştırma sektöründeki yatırım ve bakım giderleri verilmiştir. Bu ülkeler seçilirken coğrafi olarak ve nüfus olarak büyüklüklerinin Türkiye ile yakın olmaları kriter olarak belirlenmiştir. Şekil 4 de görüldüğü gibi seçilen ülkelerden ulaştırma sektörüne en büyü yatırımını yapan ülke Japonya’dır. 1995 yılında Türkiye’nin ulaştırma yatırım harcaması 0,73 Milyar € iken, Meksika 0,82 Milyar €, İsveç 2,05 Milyar €, İtalya 6,94 Milyar €, İngiltere 7,73 Milyar €, Fransa 13,71 Milyar €, Almanya 16,67 Milyar €, ve Japonya 80,02 Milyar € olmuştur. 2016 yılına gelindiğinde ise Türkiye’nin ulaştırma yatırım harcaması 9,04 Milyar € iken, Meksika’nın 4,74 Milyar €, İsveç’in 3,30 Milyar €, İtalya’nın 7,08 Milyar €, İngiltere’nin 21,78 Milyar €, Fransa’nın 18,16 Milyar €, Almanya’nın 18,32 Milyar €, ve Japonya’nın 42,44 Milyar € olmuştur. Bu rakamlarda, Türkiye’de ulaştırma yatırımlarında bir artış olduğunu ancak bunun Japonya, Almanya, Fransa ve İngiltere’nin gerisinde kaldığını göstermektedir.

Ulaştırma sektöründe yapılan bakım harcamaları Şekil 5 de verilmiştir. Şekil 5’de görüldüğü gibi yatırımda olduğu gibi bakım harcamalarında da Japonya, Almanya, Fransa, İtalya ve İngiltere gibi ülkeler ulaştırma sektöründe fazla harcama yapmışlardır. Şekil incelendiğinde görüleceği üzere, ulaştırma sektöründe bakım için yapılan harcamalar seçilen ülkeler içerisinde en düşük seviyededir.

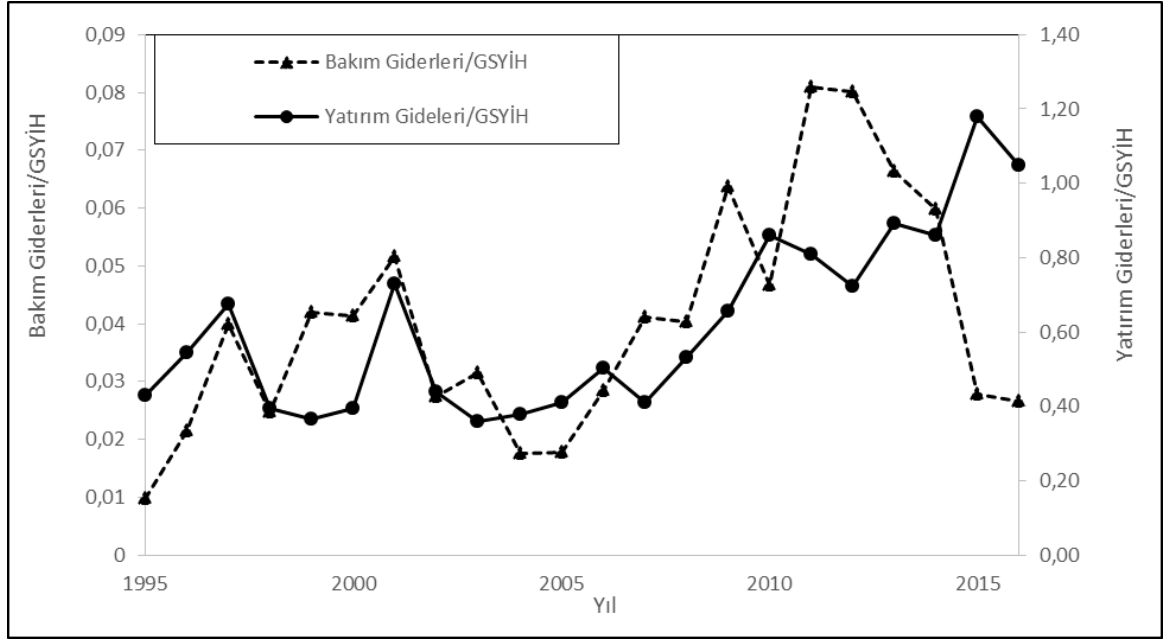
Ulaştırma sektöründe bakım ve yatırım harcamalarının GSYİH içindeki payı Şekil 6’da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ulaştırma sektöründe hem bakım hem de yatırım harcamaları dalgalı bir seyir izlemiştir. Ulaştırma sektöründeki bakım giderlerinin GSYİH içindeki payı 2001 yılında 0,05 iken bu değer 2011 yılında 0,08’e çıkmış ancak sonrasında hızlı bir şekilde düşerek 2016 yılında hızlı bir şekilde düşerek 2001 yılının da altına 0,02’ye gerilemiş. Ulaştırma sektöründeki yatırım harcamalarının GSYİH içindeki payı ise 2001 yılında 0,73 iken bu değer 2011 yılında 0,81’e, 2015 yılında 1,18’e çıkmış ancak sonrasında 2016 yılının da 1,05’e gerilemiştir.



Şekil 4. Seçilmiş bazı ülkelerin ulaştırma yatırım değerleri



Şekil 5. Seçilmiş bazı ülkelerin ulaştırma bakım değerleri



Şekil 6. Türkiye'nin ulaştırma sektöründe bakım ve yatırım harcamalarının GSYİH içindeki payı.

4. Sonuç

Bu çalışmada Türk ekonomisindeki gelişmeler, GSYİH'la ulaştırma sektörüne yapılan yatırımlar ve bakım giderleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan incelemede ekonomik gelişmeler ile ulaştırma sektörüne yapılan yatırım ve bakım giderleri arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Ekonomik büyürken ulaştırma sektörüne yapılan yatırımlar ve bakım giderleri artarken ekonomi yavaşlarken azalmaktadır. Seçilmiş bazı ülkeler ile Türkiye'nin ulaştırma sektöründeki yatırım ve bakım için ayrılan kaynaklar da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, Türkiye'nin ulaştırma sektöründe kendi ölçeğinde karşılaştırıldığında hem bakım hem de yatırımda artışlar olmakla birlikte, bu değer birçok ülkenin oldukça gerisinde kalmaktadır. Diğer yandan 2013 yılından bu yana süre Türkiye ekonomisindeki küçülme ulaştırma sektörünü de etkilemiş ve bakım giderleri keskin bir şekilde düşmüştür.



5. Kaynaklar

Aschauer, D. A. (2000). Do states optimise? Public capital and economic growth. *The Annals of Regional Science*, 34, 343-363.

Calderon, C., & Serven, L. (2004). The Effects of Infrastructure Development On Growth and Income Distribution. Central Bank of Chile. Working Papers No 270.

Canning, D., & Bennathan, E. (2000). The social rate of return on infrastructure investments. World Bank Research Project, RPO 680-89, Washington, D.C.

Carruthers, R. C. 2013, What prospects for transport infrastructure and impacts on growth in southern and eastern Mediterranean countries? MEDPRO Report No. 3/February 2013.

Cheteni, P. (2013). Transport infrastructure investment and transport sector productivity on economic growth in South Africa (1975-2011). *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 4(13), 761.

Decker R. 1996, 'Applications of maintenance optimization models: a review and analysis', *Reliability Engineering and System Safety*, 51(3): 229-240.

Ferrari, C., Bottasso, A., Conti, M., & Tei, A. (2018). *Economic Role of Transport Infrastructure: Theory and Models*. Elsevier.

Gramlich, E. M. (1994). Infrastructure investment: A review essay. *Journal of Economic Literature*, 32, 1176-1196.

Harvey, M.O. 2012, "Optimising road maintenance.", Discussion Paper No. 2012-12

<https://stats.oecd.org/index.aspx?r=367172>

ITF, 2013, International Transport Forum, Spending on Transport Infrastructure 1995-2011: Trends, Policies, Data.

ITF, 2019, International Transport Forum, "Transport infrastructure investment and maintenance", ITF Transport Statistics (database), <https://doi.org/10.1787/g2g55573-en> (accessed on 17 April 2019).

Semmens J. 2006, 'De-socializing the roads', in: Roth G. (ed.), *Street smart*, Transaction Publishers, New Brunswick.

Zietlow G.J. 2006, 'Role of the private sector in managing and maintaining roads' in Roth G. (ed.), *Street Smart*, Transaction Publishers, New Brunswick.

SICAK HAVA BALONLARINDA BAKIM PROSEDÜRLERİ

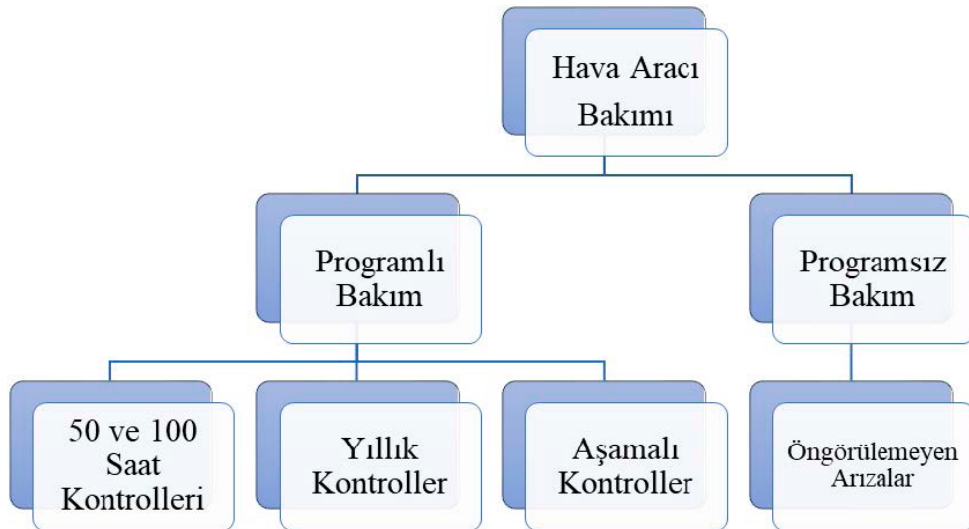
¹Haşim Kafalı, ²Göksel Keskin

¹Dr. Öğr. Üyesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Dalaman Sivil Havacılık Yüksekokulu, Muğla, Türkiye
hasimkafali@mu.edu.tr

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye
gokselkeskin@outlook.com

1. Havacılıkta Bakım

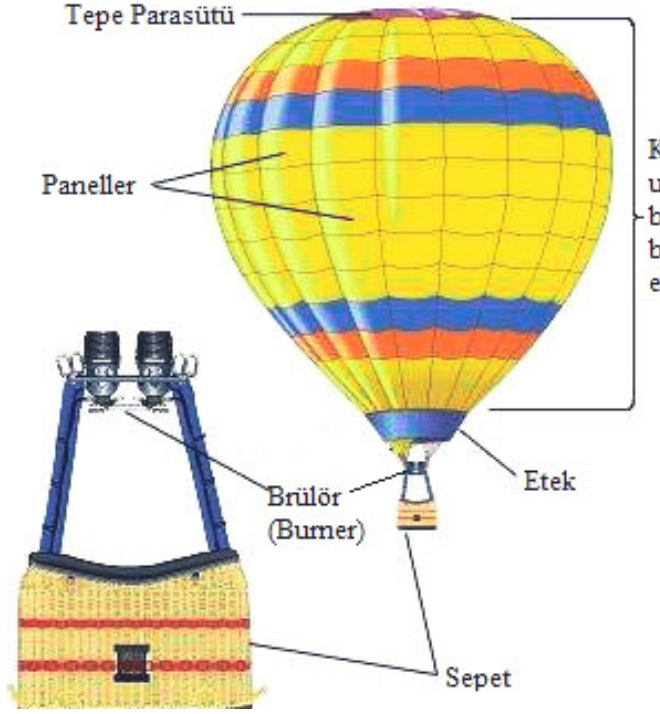
Bakım, uçuş öncesi kontrol hariç olmak üzere, bir hava aracının veya bileşenin revizyonu, tamiri, kontrol edilmesi, değiştirilmesi, modifikasyonu veya arıza giderme işlemlerinden herhangi birinin veya bunların herhangi bir kombinasyonunun uygulanmasıdır [1]. Havacılıkta bakım Planlı Bakım (Programlı Bakım, Scheduled Maintenance) ve Plansız Bakım (Programsız Bakım, Unscheduled Maintenance) olmak üzere iki kısma ayrılır [2].



Şekil 1. Havacılıkta bakımın sınıflandırılması

2. BALON

Balon motor tahrikli olmayan ve gaz ya da hava ile çalışan bir ısıtıcı kullanılarak uçuş yapılmasını sağlayan havadan hafif hava aracıdır [3]. Bu hava aracı havadan hafif hava araçları sınıflandırması içerisinde yer alıp temelde 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kubbe (envelope), sepet (basket) ve ateşleyici (burner) olarak adlandırılmaktadır. Sıcak hava balonları hem ticari hem sportif olarak kullanılır sepet ve kubbenin hacmine göre boyutlandırılır. 2 kişilik eğitim balonlarından, 32 kişilik ticari balonlara kadar farklı tipler mevcuttur. Balonlar sadece kendi ekseninde dönebilirler ve uçuşun geri kalanında irtifa rüzgârlarını kullanarak hareket edebilirler. Tamamıyla, meteorolojik koşullara bağlı uçuşları sebebiyle her balon yer ekibine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 2. Sıcak hava balonunu oluşturan bölümler.

2.1 Kubbe

Kubbe (Envelope), yırtılmaz naylon veya hafif ve güçlü sentetik kumaşlardan yapılır [4]. Bu kumaşlara dokuma ve kullanılan ham maddeye göre Ripstop, Hyperlast, Hyperlife, Ultralast, Ultraliteda denilmektedir. [1]. Kubbenin tabanındaki naylon “etek”, alevin balonu tutuşmasını önlemek için özel yangına dayanıklı malzeme ile kaplanmıştır [4].

2.2 Brülör (Burner)

Isıtıcı sistem (Burner), propanı yakan bir veya daha fazla brülör ile propanı depolayan tank ve tanktan yakıt taşıyan yakıt hortumlarından oluşmaktadır. Böylece soğuk ya da ortam havasını ısıya dönüştürür [4]. Brülör yakıt silindirelerinde depolanan yakıtı (sıvı propan) ısı enerjisine dönüştürür. Balon kubbesindeki havayı ısıtmak için kullanılan bu enerji balonun uçuş sırasında irtifa kontrolünü sağlamaktadır [5]. Kubbe büyüklüğüne göre kullanılan üçlü “burner” sayısı farklılık gösterir. Kubbe büyüklükleri Linsdrand Balonları ve FAI’a göre sınıflandırılmıştır. [6]. Tekli, ikili, üçlü veya dördümlü burnerlar mevcuttur. Sıcak hava balonlarında burner sayısına bağlı olarak yakıt tankı olması gerekir. Tekli burner’da en az iki tane ikili burner’da yine en az iki tane üçlü burner’da en az üç dördümlü burner’da en az dört yakıt tankı olması gerekmektedir [1].

2.3 Sepet

Basket (Sepet), pilot, yolcu, yakıt tankları ve ateşleyici sistemini taşıyan kısmına sepet denir. Balon sepetleri klasik hasır örgüsüne benzeyen bir yapıya sahiptir. Çeşitli kalınlıklarda rattan ile örülerek yapılır. Sepetler paslanmaz çelik çerçeve ile taban ve üst bölümden desteklenir. Sepetler burner çerçevesinden sepet zemininin altına kadar uzanan askı biçimindeki paslanmaz çelik sepet telleri ile kubbeye bağlanır. (Süspansiyon telleri) Sepetin alt bölümü bütün kenarları sağlam işlenmemiş deriyle kaplıdır. Sepetin üst bölümü kopuk ile döşenir ve daha sonra işlenmiş yumuşak deri ya da süet deri ile kaplanır. Sepetlerin iç zemin ve duvarlarına sünger destekler kullanılarak sepet içi konfor ve güvenlik artırılabilir. Sepetin içine emniyet kemerleri eklenerek yolcu güvenliği artırılabilir. Sepete düzenli olarak üretici firma el kitabına uygun olarak temizlik ve bakım yapılmalıdır. Sepette 50 mm çapında nesnenin girebileceği kadar hasar oluşmuşsa hasarlı bölüm yeniden örülmelidir. Sepet tabanları hasır örgüden ya da yük dağıtıcı sert bir suntuadan oluşur [1]. Yolcu sepetleri 2 kişiden 32 kişiye kadar yolcu taşıyabilecek büyüklükte ve tiptedir. Sepetlerin ortalama yüksekliği 1,10 metredir [7].

3. Türkiye’de Sıcak Hava Balonculuğu

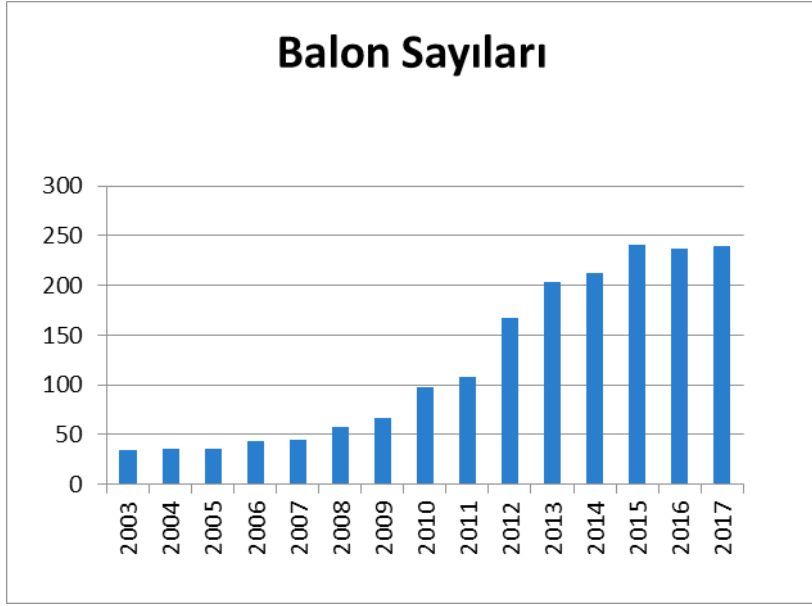
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü(SHGM) tarafından ülkemizin farklı bölgelerinde balon uçuşlarının yapılabilmesinin cazip hale getirilmesi amacıyla yayımlanan “Balon Uçuşlarını Teşvik Genelgesi” kapsamında gelen taleplerin değerlendirilmesi sonucunda 9 nokta balon uçuşlarına uygun bulunmuştur. Belirtilen bölgelerde yapılan incelemelerde Burdur-Bucak, Denizli-Pamukkale, Adana-Kozan, Bitlis-Ahlat, Ankara-Polatlı, Afyon-İhsaniye, Eskişehir-Seyitgazi, Samsun-Bafra, Aksaray-İhlara’nın sıcak hava balonu taşımacılığı için uygun olduğu tespit edilmiştir [8].

Türkiye, Sıcak Hava Balonculuğu alanında gerek trafik hacmi, gerek yolcu sayısı, gerekse uçulan gün sayısı bakımından dünyanın en büyük ticari operasyonunu yürütmektedir. SHGM verilerine göre, Kapadokya Bölgesinde 25 balon işletmesi 239 sıcak hava balonuyla, yılda ortalama 260 gün uçuş yapılmakta, günde 90 civarında uçuş gerçekleştirilmekte ve yıllık 500 bine kadar turiste hizmet verilmektedir [8].

SHGM verilerine göre, Almanya, İngiltere, Fransa ve Hollanda gibi Avrupa ülkelerinde hava şartlarından dolayı yılda en fazla 60 gün uçuş yapılabilirken, Kapadokya bölgesindeki uçuş sayısına en yakın ülke olan Kenya’da yılda en fazla 150-170 gün uçuş gerçekleştirilebilmektedir. Ticari balon operasyonlarının yoğun olduğu ülkelere biri olan Avustralya’da uçulabilir gün sayısı ise 110-120 gün civarında olup, bu ülkede yaklaşık 100 ticari balon ile faaliyet gösterilmektedir. Kapadokya’da bir günde yapılan uçuş sayısına dünyanın diğer uçuş yapılabilen bölgelerinde sadece festivallerde ulaşılabilmesi de, ülkemizin bu konudaki potansiyelini göstermesi bakımından önem taşımaktadır [8].

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün 2018 yılı faaliyet raporuna göre Kapadokya bölgesinde faaliyet gösteren SHGM’ye kayıtlı 25 balon işletmesinde toplam 239 adet balonu bulunmaktadır. Kapadokya’da yılda ortalama 260 gün uçuş yapılarak 500 bin civarı turist taşınmaktadır [8]. Son yıllarda Pamukkale bölgesinde balonculuk hizmeti veren kurumların oluşumu dikkat çekmektedir. 02.01.2019 tarihinde SHGM tarafından yayınlanan Balon İşletmeleri listesinde Pamukkale bölgesinde hizmet vermekte olan 3 işletme görülmektedir. Tablo 1’de SHGM’de kayıtlı olan sıcak hava balonlarının sayısal verileri yer almaktadır. Görüldüğü gibi sektörde düzenli olarak bir büyüme gerçekleşmiştir. SHGM tarafından 27.06.2019 tarihinde yayımlanan UOD-2014/5 genelge ile Kapadokya bölgesinde günlük uçuş limitlerinin belirlendiği slot sayısında VFR koşullarının başlaması ile lokal saat 11:00 a kadar olan uçuşlar 100 balondan 105 balona, 14:00 VFR koşulların sonuna kadar olan zaman diliminde ise 50 balondan 65 balona çıkartılmıştır [9].

Türkiye’de Sivil Havacılık mevzuatına göre, balon ve balon işletmeciliği ile ilgili gereklilikler SHT-BALON talimatına göre ve balon bakımı ile ilgili hususlar SHT-M talimatına göre yapılmaktadır.



Tablo 1. SHGM’de kayıtlı olan sıcak hava balonlarının yıllara göre değişimi

4. Balon Bakımı

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün Sürekli Uçuşa Elverişlilik ve Bakım Sorumluluğu Talimatı (SHT-M)’de bulunan maddeler uyarınca bakımlar gerçekleştirilmektedir. Balonlar ve zeplinler için, örtü ve taban ekipmanının bakımının, gerekli tüm bakım M.A.402 doğrultusunda yerine getirilebildiği sürece, dışarıda daha uygun bir şekilde yapılabildiği durumlarda hangar ortamı gerekli değildir.

İlgili talimata göre; ELA1(European Light Aircraft 1) Azami tasarım kaldırma gazı veya sıcak hava hacmi, sıcak hava balonları için 3,400 m³’ün, gaz balonları için 1,050 m³’ün, bağlı gaz balonları için 300 m³’ün üzerinde olmayan balon, ELA2(European Light Aircraft 2): Tüm balonlar için kullanılmaktadır.

Genel Hava Araçları için;

- Tasarım Onay Sahibi gereklilikleri uyarınca ikmal işlemleri.
- İşaretlerin kontrolleri.
- Tartı kayıtlarının ve tartımın incelenmesi.
- Varsa, alıcı-verici (transponder) testi.
- Pitot-statik sistemi testi.

ELA1 balonları için yılda bir ve bir sonraki periyot ilk planlanan tarihten itibaren hesaplandığı sürece 1 aylık tolerans uygulanabilir. SHGM tarafından yayınlanan SHT-M talimatına göre parçalara göre yapılması gerekenler [1];

1. Kubbe

- a) Kimlik kontrolü (tip/seri numarası/tescil plakası): Tip/seri numarası plakasının takılı ve doğru olup olmadığını kontrol edin.
- b) Tepe halkası ve hattı: Yerinde; korozyona uğramamış, tepe hattı zarar görmemiş ve uygun uzunlukta.
- c) Dikey/yatay yük bantları: Tepe halkası eklemlerini, zarfın tepesini ve telleri kontrol edin.
- d) Tüm yük bantları, tüm uzunlukları boyunca hasarsızdır. Taban yatay bandı ve zarf tepesinin kenarını kontrol edin. Taban yatay yük bandı ve dikey yük bantları arasındaki eklemi kontrol edin.
- e) Zarf dokusu: Zarf doku panellerinde (takılıysa paraşüt ve rotasyon menfezleri dahil) hasar, gözeneklilik aşırı ısınması ya da zayıflığı olup olmadığını kontrol edin. Onarılmamış hasar imalatçı tarafından verilen tolerans dahilindedir. Eğer önemli miktarda doku gözenekliliğinden şüpheleniliyorsa, ancak bir tutuş testi balonun uçuş için el-

- verişli olduğunu göstermesinden sonra bir uçuş testi yapılmalıdır. Tutuş testini imalatçının talimatlarına göre yapın.
- f) Uçuş kabloları: Hasar kontrolü yapın (özellikle ısı hasarı). Kevlar kablosu — sarı göbek açıkta değil
- g) Karabinalar: Hasar olup olmadığını kontrol edin. Karabina kilidi düzgün çalışıyor.
- h) Eriyen link ve Tempilabel Maksimum ısı göstergesini kontrol edin (bayrak/‘sayaç’).
- i) Kontrol sistemi ipleri: Hasar, yıpranma olup olmadığını ve düğümlerin güvenli olup olmadığını kontrol edin. Uzunlukta olup olmadıklarını kontrol edin. İp bağlantılarını hasar, yıpranma ve emniyet açısından kontrol edin.
- j) Kontrol ipleri ve bağlantıları: Hasar, yıpranma olup olmadığını ve düğümlerin güvenli olup olmadığını kontrol edin. İplerin uygun uzunlukta olup olmadığını kontrol edin.
- k) Zarf kasnakları: Hasar, yıpranma olup olmadığını, serbestçe hareket edip etmediklerini, kirli olup olmadıklarını, bağlantıların güvenli olup olmadığını kontrol edin.

2. Brülör (burner)

- a) Kimlik kontrolü (tip/seri numarası): Tip/seri numarası plakartının takılı ve doğru olup olmadığını kontrol edin.
- b) Brülör çerçevesi: Kaynaklarda çatlak olup olmadığını kontrol edin. Borularda çarpıklık/deformasyon/kesik/oyuk olup olmadığını kontrol edin. Çerçeveyi bağlantı elemanlarının güvenliği açısından kontrol edin (ısı kalkanları, esnek köşeler). Çerçeve kulaklarında yıpranma, çatlak olup olmadığını kontrol edin. Genel durumu (korozyon, ısı kalkanları) kontrol edin.
- c) Yalpa Çemberi: Sertlik olup olmadığını, bağlama manifoldlarının güvenliğini kontrol edin.
- d) Sızıntı kontrolü: Brülörde sızıntı olup olmadığını kontrol edin.
- e) Hortumlar: Tüm hortumları yıpranma, hasar, sızıntı ve ömür sınırlaması açısından kontrol edin. Yakıtın genel durumunu ve doğru şekilde işleyip işlemediğini kontrol edin.
- f) Basınç ölçerler: Basınç uygulanmadığı zaman basınç ölçerin sıfır gösterip göstermediğini, merccek olup olmadığını kontrol edin.
- g) Kılavuz vanaları/alev: Kapatma, hareket serbestliği ve doğru işleyişi kontrol edin; gerekirse yağlayın.
- h) Sessiz uçuş vanaları/alev: Kapatma, hareket serbestliği ve doğru işleyişi kontrol edin; gerekirse yağlayın.
- i) Ana vanalar/alev: Kapatma, hareket serbestliği ve doğru işleyişi kontrol edin; gerekirse yağlayın.
- j) Sargılar: Hasar, çarpıklık olup olmadığını ve bağlantı elemanlarının güvenli olup olmadığını kontrol edin. Kaynaklarda çatlak olup olmadığını kontrol edin. Jetlerin emniyetini kontrol edin; gerekirse sıkıştırın veya değiştirin.
- k) Yakıt: Doğru tipte olup olmadığını kontrol edin; tarihleri kontrol edin (uygulanabiliyorsa).

3. Sepet

- a) Kimlik kontrolü (tip/seri numarası): Tip/seri numarası plakartının takılı ve doğru olup olmadığını kontrol edin.
- b) Sepet gövdesi: Sepet gövdesinin genel durumunu kontrol edin. Sepet örgüsünü hasar, çatlak/delikler açısından kontrol edin. Sepet içinde sivri/keskin nesne yoktur.
- c) Sepet telleri: Hasar olup olmadığını, göz halkalarını kontrol edin.
- d) Karabinalar: Hasar olup olmadığını kontrol edin. Karabina kilidi düzgün çalışıyor.
- e) Sepet zemini: Hasar ve çatlak olup olmadığını kontrol edin.
- f) Kanallar: Hasar olup olmadığını kontrol edin.
- g) Ham deri: Hasar, yıpranma olup olmadığını ve zemine bağlantılarını kontrol edin.
- h) İp sapsarlar: Hasar olup olmadığını ve bağlantının güvenli olup olmadığını kontrol edin.
- i) Tüp kayışları: Hasar ve bozulma olup olmadığını kontrol edin.
- j) Yastıklı sepet kenarı trimi: Hasar ve yıpranma olup olmadığını kontrol edin.
- k) Brülör çubukları: Hasar, yıpranma ve çatlak olup olmadığını kontrol edin.
- l) Yastıklı brülör çubuk kılıfları: Hasar ve yıpranma olup olmadığını kontrol edin.
- m) Sepet ekipmanları: Eksik olup olmadığını ve işleyişlerini kontrol edin.
- n) Pilot kayışı: Güvenlik ve genel durumu açısından kontrol edin.
- o) Yangın söndürücü: Son kullanım tarihini ve koruma örtüsünü kontrol edin.
- p) İlk yardım seti: Eksik malzeme olup olmadığını ve son kullanım tarihini kontrol edin.

4. Yakıt tankları

- a) Kimlik kontrolü (tip/seri numarası): Tamam olup olmadıklarını kontrol edin.
- b) Tüp: Her bir tüpün periyodik kontrollerinin geçerli olup olmadığını kontrol edin (tarih) (örn. 10 yıllık kontrol).
- c) Tüp gövdesi: Hasar, korozyon olup olmadığını kontrol edin.
- d) Sıvı vanası: Hasar, korozyon olup olmadığını, doğru işleyip işlemediğini kontrol edin. O halkası contaları kontrol edin; gerekirse yağlayın/değiştirin.
- e) Sabit sıvı Seviye göstergesi: Hasar, korozyon olup olmadığını, doğru işleyip işlemediğini kontrol edin.



- f) İçerik Göstergesi: Hasar, korozyon olup olmadığını serbestçe hareket edip etmediğini kontrol edin.
- g) Buhar vanası: Hasar, korozyon olup olmadığını, doğru işleyip işlemediğini (düzenleyici dahil) kontrol edin. Hızlı bağlama-çözme kaplininin doğru çalışıp çalışmadığını ve sızdırmazlığını kontrol edin.
- h) Takviyeli kapak: Hasar olup olmadığını kontrol edin.
- i) Basınç tahliye vanası: Aşırı basınç göstermiyor
- j) Montaj: Sızıntı detektörü kullanarak tüm basınç tutucu eklemleri kontrol edin ve sızıntı testi yapın. Fonksiyonel testi

5. Ekipman ve teçhizat kontrolü

- a) Aletler: Fonksiyonel test.
- b) Hızlı bağlama-çözme: Fonksiyonel test yapın ve mandal, tutucu ve iplerde yıpranma ve bozulma olup olmadığını kontrol edin. Karabinaların hasarsız olup olmadığını ve doğru şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol edin.
- c) İletişim/seyrüsefer ekipmanları (telsiz): Operasyonel kontrol yapın.
- d) Alıcı-verici (Transponder): Operasyonel kontrol yapın.

SHT-BALON Rev03'e göre balonlarda bulunması gereken teçhizat ve doküman listesi aşağıda belirtilmiştir [10].

1. Balonlarda bulunması gereken teçhizatlar,

- a) Balon içerisinde erişilmesi kolay bir yerde bulunan ve asgari TSE 4019 standartlara uygun ilk yardım çantası,
- b) En az iki kg kapasiteli C tipi, kuru kimyevi tozla çalışan yangın söndürücü,
- c) Burner pilot alevini ateşleyecek boyutta çakmak,
- d) Zaman saati,
- e) Yer personeli ile iletişim için telsiz,
- f) Mobil telefon,
- g) Göl ve deniz üzerinde yapılacak uçuşlarda can yeleği,
- h) Pilot emniyet kemeri,
- i) Barometrik altimetrel ve kayıt tutan GPS,
- j) Altimetre,
- k) Kubbe ısı ölçer,
- l) Varyometre,
- m) Pilotların iletişim frekanslarını ve 121.5 MHz acil frekansı kapsayan hava bantlı telsiz.

2. Uçuş sırasında aşağıdaki dokümanların birer suretinin bulundurulması zorunludur.

- a) Balonun uçuşa elverişlilik sertifikası,
- b) Balonun tescil sertifikası,
- c) Sigorta belgeleri (3. Şahıs ve yolcu)
- d) Pilota ait kimlik kartı, lisans, sağlık sertifikası. Türk vatandaşı olmayan pilotların ayrıca validasyon belgesi bulundurmaları zorunludur.

3. Sıcak şişirme sırasında açık alanda ve erişimi kolay bir yerde en az altı kg kapasiteli C tipi, kuru kimyevi tozla çalışan yangın söndürücü bulundurulması zorunludur.

SHT-M' ye göre balonlar ve ticari hava taşımacılığında kullanılmayan azami kalkış kütlesi (MTOM) 2.730 kg ve altında olan hava araçları için de söz konusu personel aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [1]:

- a) sürekli uçuşa elverişlilikte en az üç yıllık deneyim,
- b) SHY-66 lisansına veya havacılık ile ilgili lisans diplomasına veya bunların ulusal eşdeğerine,
- c) uygun havacılık bakımı eğitimi
- d) onaylı kuruluş bünyesinde uygun sorumluluklara sahip olan bir pozisyon.

Pilot/Hava Aracı Sahibi 50-100 Saatlik veya 6 aylık periyodik bakım olarak genellememekle birlikte aşağıda ki sorumlulukları tamamlanması beklenir (SHT-M).

- 1- Kumaş tamirleri- tam paneller hariç (Tip Sertifikası sahiplerinin talimatlarında tanımlandığı şekilde ve söz konusu talimatlar doğrultusunda) yük bandı tamiri veya değişikliği gerektirmeyen.
- 2-Banner'ler- takma, değiştirme veya tamir (dikiş olmadan).
- 3-Melting link (temperature flag)- değiştirme.
- 4- Sıcaklık iletici (temperature transmitter) ve sıcaklık gösterge kabloları- sökme veya yeniden takma.
- 5 -Crown line - değiştirme (crown ring'e kalıcı olarak takılı olduğunda).
- 6- Scoop veya skirt değiştirme veya tamiri (bağlayıcılar (fasteners) dahil).
- 7- Yakıt memesi / Brülör (burner)- temizleme ve yağlama.

- 8 Basınç ateşleyicileri (piezo igniters)- ayarlama.
- 9- Yakıt memesi/Brülör (burner)- temizleme ve değiştirme.
- 10-Burner frame corner buffer'ları- değiştirme veya yeniden takma.
- 11- Brülör Valfleri (Burner Valves)- özel aletler veya test ekipmanları gerektirmeyen kapatma valfinin ayarlanması.
- 12-Sepet/balon sepeti çerçeve trimi- tamir veya değiştirme.
- 13-Sepet/balon sepeti runner'ları (tekerlekler dahil)- tamir veya değiştirme.
- 14- Harici halat tutacakları (external rope handles)- tamir.
- 15- Koltuk kılıflarının- döşemelerin ve emniyet kemerlerinin değiştirilmesi.
- 16- Sıvı valfi (liquid valve)- çıkıştaki (outlet) O-ringlerin değiştirilmesi.
- 17- Bataryalar- Kendinden takılı aletlerin ve haberleşme ekipmanlarının değiştirilmesi.
- 18-Haberleşme, seyrüsefer cihazları, aletleri ve/veya ekipmanları- Hızlı bağlantı kesme konektörlerine sahip olan müstakil, alet paneline takılı haberleşme cihazlarının sökülmesi ve değiştirilmesi.

Ticari Hava Taşımacılığı için ise karmaşık motorlu olmayan hava araçlarının, sürekli uçuşa elverişlilik yönetimi için M.A.201 (e) gereği SYK, işletme ruhsatının bir parçası olarak gereklidir. Bu nedenle M.A.201 (e) gereği bakım onaylı bir SHT-145/EASA Part-145 kuruluşu tarafından yapılmalıdır.

5. Tartışma ve Sonuç

Sportif havacılık uçuşları için EASA ve SHT-M kapsamında balon uçuşları için kolaylıklar sağlanmıştır. Fakat Amerikan Havacılık Dairesi'nin (FAA) kurallarıyla farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların başında önleyici bakım yöntemleri ve süreleri vardır. Sportif havacılık faaliyetleri konusunda iki otorite de sorumluluğu hava aracı sahiplerine ve pilotlara bırakmıştır.

Ülkemizde ki sıcak hava balonu ile ticari faaliyetler oldukça yaygındır. Bu konuda ki en önemli bölge olan Kapadokya'da turist uçuşları yılın 4 mevsimi devam etmektedir. Ticari faaliyet olması nedeniyle, bakımda standartları ve kontrolü sağlamak amacıyla 2015 yılında 5 ortak tarafından Kapadokya Balon Bakım Merkezi kurulmuştur. Bu merkezde 12 personel ile SYK (Sürekli Uçuşa Elverişlilik Yönetim Kuruluşu) ve F-Bakım kuruluşu olarak hizmet vermektedir. SHY-M yönetmeliğine göre balon firmalarının SYK kuruluşu ile anlaşarak balonlarının periyodik bakımını yapması beklenmiştir, bu nedenle kurulan işletme bölgenin ve ülkenin tek yetkili balon bakım merkezidir. Sıcak hava balonu turizmi yavaş yavaş Kapadokya dışına çıkmakta ve yurdun farklı bölgelerinde Eskişehir ve Denizli gibi illerde faaliyetlere başlamaktadırlar. Bu nedenle mevcut bakım merkezi yeterli olmayacak ve balonların karadan bu bölgeye transferi oldukça zor ve maliyetli olacaktır. AMC M.A.605 (a)' ya göre kubbe ve taban ekipmanlarının bakımının hangar zorunluluğu olmadan yapılabilmesinin avantajı olacağı gibi konu hakkında ki kalifiye personel sayısına bağlıdır. Yeterli personel ile farklı bölgelerde bakım daha kolay olabilecektir.

SHGM verilerine göre, Almanya, İngiltere, Fransa ve Hollanda gibi Avrupa ülkelerinde hava şartlarından dolayı yılda en fazla 60 gün uçuş yapılabilirken, Kapadokya bölgesindeki uçuş sayısına en yakın ülke olan Kenya'da yılda en fazla 150-170 gün uçuş gerçekleştirilebilmektedir. Ticari balon operasyonlarının yoğun olduğu ülkelerden biri olan Avustralya'da uçulabilir gün sayısı ise 110-120 gün civarında olup, bu ülkede yaklaşık 100 ticari balon ile faaliyet gösterilmektedir. Kapadokya'da bir günde yapılan uçuş sayısına dünyanın diğer uçuş yapılabilen bölgelerinde sadece festivallerde ulaşılabilmesi de, ülkemizin bu konudaki potansiyelini göstermesi bakımından önem taşımaktadır [8].



6. Kaynaklar

- [1] Sürekli Uçuşa Elverişlilik ve Bakım Sorumluluğu Talimatı (SHT-M Rev. 03)
- [2] Double M Aviation. 2018. “Understanding Scheduled and Unscheduled Aircraft Maintenance”, <https://double-maviation.com/aircraft-maintenance/>, (E.T. 25.09.2019)
- [3] CAP 804, Flight Crew Licensing: Mandatory Requirements, Policy and Guidance, Civil Aviation Authority (CAA), 2015.
- [4] Federal Aviation Administration. 2008. Balloon Flying Handbook, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Flight Standards Service.
- [5] Lladó-Gambín, A., Heat Transfer Model for Hot Air Balloons, University Of California, Master Of Science in Mechanical and Aerospace Engineering, IRVINE, 2016.
- [6] Lindsrand Balloon Flight Manual, http://www.cameronballoons.co.uk/uploads/Approved%20Modifications/Support%20Files/Lindstrand%20Manuals/HABFM46-1_web.pdf, (E.T. 29.11.2018).
- [7] Kaya Baloons, 2016. “Balonun Bölümleri Nedir”, <http://kapadokyakayaballoons.com/tr/deneyim/balon-tarihi>, (E.T. 27.09.2019)
- [8] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 2018. “SHGM’den turizme önemli katkı: Balon faaliyetlerinde yeni noktalar...”, <http://web.shgm.gov.tr/tr/s/5874-shgm>, (E.T. 27.09.2019)
- [9] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 2019. Kapadokya Bölgesi Balonla Uçuş Tedbirleri Genelgesi (UOD-2014/5).
- [10] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 2015. Balonla Ticari Havacılık Faaliyetleri Talimatı (SHT-Balon Rev.3)

THE COMPARISON OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN ESTIMATION OF REMAINING USEFUL LIFE

¹Erkan Caner Ozkat

¹University of Warwick, Warwick Manufacturing Group, Coventry CV4 7AL, UK, E.C.Ozkat@warwick.ac.uk

Abstract

Predictive maintenance has been gained importance in the aviation industry to increase operational reliability and reduce costs. It also pinpoints problems in your complex machinery and helps you identify what parts need to be fixed. One of the goals of predictive maintenance is to estimate the remaining useful life (RUL) of the machinery. There are three common ways to estimate the RUL: (i) survival, (ii) degradation, and (iii) similarity models. All these models employ machine learning algorithms (ANN, GPR, Simple Regression, etc.) to build a fitting function between condition indicator of the machine and available sensor data. However, due to its complicated relationship between condition indicator with sensor data, there is no such best approach which can be used universally to achieve the best estimate. Therefore, this paper compares some of the machine learning algorithms that have been used in the similarity-based RUL estimation. Prediction performances of the machine learning algorithms are evaluated based on the correlation coefficient, root mean square error and cross-correlations between the measured and the predicted output values. The data used in this paper is obtained from the Turbofan Engine Degradation Simulation Data Set, which is available from the NASA repository.

Keywords- Predictive Maintenance, Remaining Useful Life Estimation, Similarity-based Modelling, Machine Learning Algorithms

1. Introduction

Companies follow different maintenance programs to increase operational reliability and reduce cost (Jardine, et al., 2006; Si, et al., 2011). These maintenance programs can be categorized into (i) reactive maintenance; where the machine is used to its limits and repairs are performed only after machine failure, (ii) preventive maintenance; where failure is prevented before it occurs by performing scheduled maintenance, and (iii) predictive maintenance; where the time of failure is estimated and maintenance is performed right before the time of failure.

Predictive maintenance has been gained importance in the industry because machine life can be maximized, and the downtime can be minimized (Hoa, et al., 2017; Sutrisno, et al., 2012). Furthermore, it identifies the current health of machinery. One of the goals of predictive maintenance is to estimate the remaining useful life (RUL) of the machine (Selcuk, 2017; Zheng, 2019).

The health of a machine deteriorates over time from a healthy state to failure. The RUL is defined as the remaining time from the current health to failure. Depending on the operation, this time can be represented in terms of hours,



days, cycles, etc. In general, there are three common models to estimate the RUL (Baru, 2019): (i) survival model (Zupan, et al., 2000; Sikorska, et al., 2011); when data only from the time of failure is known, (ii) degradation model (Li, et al., 2018; Ramasso & Gouriveau, 2014); when failure data is not available, but a safety threshold that indicates failure is known, and (iii) similarity model (Bektas, 2018; Bektas, et al., 2019a; Bektas, et al., 2019b), when the complete history (from health state to failure) from similar machines is known.

Throughout this paper, we focus on two objectives: (i) finding a function that maps sensor data (i.e. input) to the current health of the machine (i.e. output) using machine learning algorithms, and (ii) selection of the optimum machine learning algorithm utilized in the similarity-based RUL estimation. Generally, models are built using supervised machine learning methods such as artificial neural networks (ANN), gaussian process regression (GPR), 2nd order polynomial regression, etc. These algorithms are utilized to construct the mapping function and the root mean square error (RMSE) value is evaluated to find the optimum algorithm.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 reviews the problem and highlights the data structure used in this paper. Section 3 presents each step in the proposed methodology. Section 4 presents the results. Section 5 provides conclusions of the work.

2. Problem Statement

One of the most applied datasets in the literature is the C-MAPSS datasets. Commercial Modular Aero-Propulsion System Simulation (C-MAPSS) was developed by NASA to simulate realistic large commercial turbofan engines (Saxena & Goebel, 2008). This data set includes the complete histories (from a healthy state to failure) for 100 engines (i.e. trajectories), where trajectory contains data from 21 sensors measurements. In addition, each trajectory has a distinct degree of an initial wear level, length, and manufacturing variation which is unknown to the users. Let us define the data collected by all sensors and represent using set theory in (1).

$$\begin{aligned} S_i^t &= \{S_i^{t,j}\} \quad j = \{1, \dots, m(t)\} \\ S^t &= \{S_i^t\} \quad i = \{1, \dots, N\} \\ S &= \{S^t\} \quad t = \{1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (1)$$

where single sensor measurement at a given instant, i is the index of the sensor and N is the total number of sensors, t is the index of the trajectory and T is the total number of trajectories, j is the index of the operational cycle and $m(t)$ is the number of the operational cycle belongs to t th trajectory. For example, Figure 1 illustrates the measurements from Sensor 7 and 12 (i.e. $i=\{7,12\}$) highlighting 3 different trajectories (i.e. $t=\{1,3,5\}$). Each trajectory has different operational cycle (i.e. $m(t=1)=180$, $m(t=3)=170$, $m(t=5)=270$).

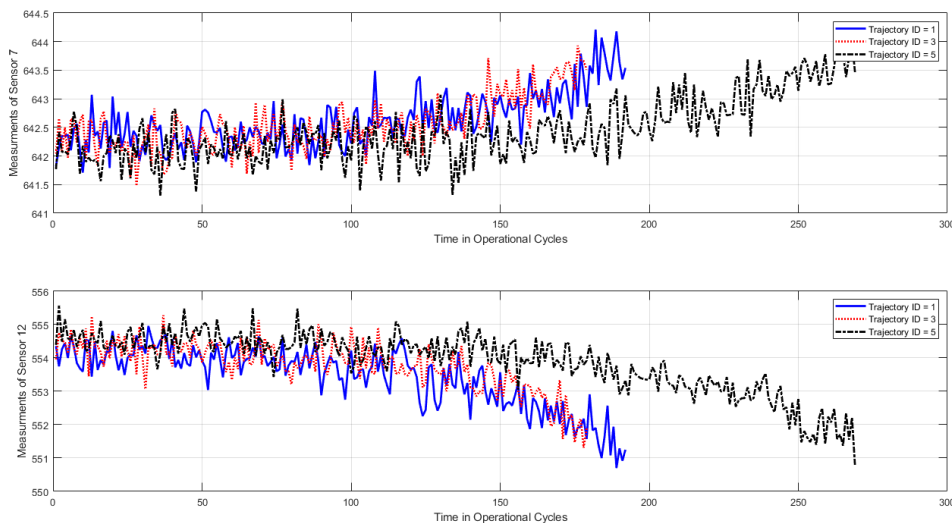


Figure 1. Trajectories in different sensor measurements

The main challenge is to predict RUL for the given trajectory (i.e. test trajectory) by learning from the complete history (i.e. training trajectories). The training trajectories are implemented to develop similarity-based RUL prediction; and therefore, each trajectory starts in a healthy state and ends in failure. On the other hand, the test trajectory starts in a healthy state, but it ends at a certain time prior to failure.

3. Methodology

The methodology for addressing model-driven similarity-based RUL estimation has three major components: (i) Pre-process, (ii) Train model, and (iii) RUL Estimation. Figure 2 presents an overview of the proposed methodology whereby health indicators have been developed from the sensor data, then a machine learning model is trained between health indicator and sensor data; and finally, similarity-based RUL estimation is utilized to obtain the RUL for the test data.

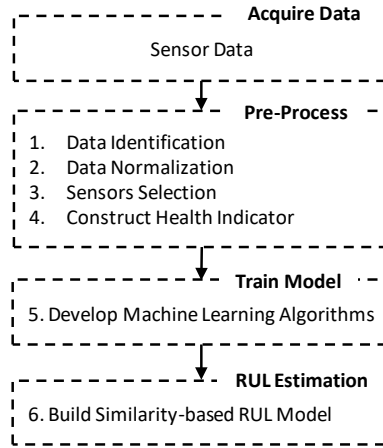


Figure 2. The methodology of data-driven similarity-based RUL estimation

3.1. Data Identification

It has been noticed that some of the sensor measurements show a positive trend, while others show a negative trend (See Fig. 1). In general, the health levels in all trajectories evolve with exponential characteristics [51, 58]. Therefore, sensor measurements showing a negative trend are reversed sequentially using (2).

$$S_{i_{reverse}} = \max(\{S_i^{t,j}\}) - \{S_i^{t,j}\} + \min(\{S_i^{t,j}\}) \quad (2)$$

3.2. Data Normalisation

The measurement of each sensor is different in scale. Therefore, an adjustment should be made by normalising all measurements to a common scale. The z-score has been widely used in this field and its formulation is given in (3).

$$S_{i,Z}^{t,j} = \frac{S_i^{t,j} - \text{mean}(\mathbf{S})}{\text{std}(\mathbf{S})} \quad \begin{matrix} i = \{1, \dots, N\}, & t = \{1, \dots, T\} \\ j = \{1, \dots, m(t)\} \end{matrix} \quad (3)$$

3.3. Sensors Selection

Let us reorganize the normalized sensor measurements as:

$$\mathbf{S}_Z = \{S_{1,Z}, \dots, S_{i,Z}, \dots, S_{N,Z}\}$$

$$S_{i,Z} = \begin{Bmatrix} \mathbf{S}_{i,Z}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{S}_{i,Z}^t \\ \vdots \\ \mathbf{S}_{i,Z}^T \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} S_{i,Z}^{1,1} & \dots & S_{i,Z}^{1,j} & \dots & S_{i,Z}^{1,m(1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i,Z}^{t,1} & & S_{i,Z}^{t,j} & & S_{i,Z}^{t,m(t)} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i,Z}^{T,1} & \dots & S_{i,Z}^{T,j} & \dots & S_{i,Z}^{T,m(T)} \end{Bmatrix} \quad (4)$$



Some of the sensor measurements do not show any monotonic increasing trend from a healthy state to failure (See Fig.1). Therefore, these measurements will not contribute to the selection of useful sensors. In order to determine them, a linear slope model is expressed in (5). After calculating slopes, 10 sensors with the largest slopes are selected as the most useful sensors.

$$slope(i) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{S_{i,Z}^{t,1} - S_{i,Z}^{t,m(t)}}{1 - m(t)} \right| \quad i = \{1, \dots, N\} \tag{5}$$

3.4. Construct Health Indicator

This section focuses on fusing the useful sensor measurements into a single health indicator. For a given trajectory, the health indicator (HI) is constructed by taking the mean value of each useful sensor measurements over each time as given in (6) - (10).

$$i^* = \{useful_1, \dots, useful_{end}\} \rightarrow \|i^*\| = N_{useful} \tag{6}$$

$$S_{i^*,Z}^t = \{S_{useful_1,Z}^{t,1}, \dots, S_{i^*,Z}^{t,j}, \dots, S_{useful_{end},Z}^{t,m(t)}\} \tag{7}$$

$$HI^{t,j} = \frac{1}{N_{useful}} \sum_{i^*=useful_1}^{N_{useful}} S_{i^*,Z}^{t,j} \tag{8}$$

$$HI^t = \{HI^{t,1}, \dots, HI^{t,j}, \dots, HI^{t,m(t)}\} \tag{9}$$

$$HI = \{HI^1, \dots, HI^t, \dots, HI^T\} \tag{10}$$

3.5. Develop Machine Learning Algorithms

The HI changes over time from the healthy state to degradation, and failure. However, it includes some noise inherited from the training stage. Therefore, a key step in the methodology is predicting health indicator for given sensor measurements. For this purpose, 3 different machine learning algorithms (i.e. Artificial Neural Network (ANN), Gaussian Process Regression, and 2nd order Polynomial Regression) are applied to describe the relationship between the HI and the sensor measurements. These algorithms take the set of sensor measurements as input, and the estimated health indicators as outputs. The general form of a fitting model for estimating health indicator is given in (11).

$$\hat{HI}^{t,j} = f(S_1^{t,j}, \dots, S_i^{t,j}, \dots, S_{Ni}^{t,j}) \tag{11}$$

3.6. Build Similarity-based RUL Model

In the similarity-based RUL prediction, the moving pairwise distance is calculated between the test trajectory and the training trajectories at each time step as follows:

$$d^{t,k+j} = \sqrt{\sum_{k=1}^{Nk} (\hat{HI}_{test}^{t,k} - \hat{HI}_{train}^{t,k+j})^2} \tag{12}$$

$$d^t = \{d^{t,k+j} \mid k = \{1, \dots, Nk\}, j = \{1, \dots, m(t) - Nk\}\} \tag{13}$$

where k is the index of the time for test trajectory, Nk is the total time step for the test trajectory, is the estimated health indicator for test trajectory at the kth time step, and is the estimated health indicator for test trajectory at the kth time step. Let us gather all the calculated pairwise distances as:

$$D = \{d^t \mid t = \{1, \dots, T\}\} \tag{14}$$

The best similarity is identified by the minimum pairwise distance value which is calculated as follows:

$$[t^*, j^*] = \mathit{find}(\mathit{arg\,min}(\{\mathbf{D}\})) \quad (15)$$

where t^* is the training trajectory that satisfies the minimum pairwise distance between test and training trajectories, and j^* is the time step of the t^* trajectory when the minimum pairwise distance is obtained. Then, the estimated RUL is found based on the calculated t^* and j^* by the difference between the length of the training trajectory ($m(t^*)$), and the sum of the length of test trajectory (Nk) and the time step when the minimum pairwise distance is obtained (j^*) as given in (16).

$$RUL = m(t^*) - (Nk + j^*) \quad (16)$$

4. Results

The first step of the methodology is to identify the reverse sensors. The following sensors ($i_{\text{reverse}} = \{12, 17, 25, 26\}$) measurements show negative trends and these trends are reversed sequentially using (2). The z-score normalization method is utilized in the next step.

It has been observed that the sensors can provide useful degradation information when each measurement shows a swift increase. With respect to the formulation (5), the ten sensors ($i^* = \{2, 3, 4, 7, 11, 12, 15, 17, 20, 21\}$) are accepted as useful sensors for the calculation of health indicator (HI).

The subsequent step is to calculate the HI for each time step and trajectory. The useful sensor measurements are aggregated according to (8). Figure 3 shows the HI for selected 10 trajectories. Sensor measurements have been taken place at each time step, but each trajectory has a different length. This means that the total number of time step is a function of the trajectory (i.e.). Furthermore, the HI values evolve with exponentially in all trajectories, starting at a different initial wear level; however, the failure occurs at the same HI value.

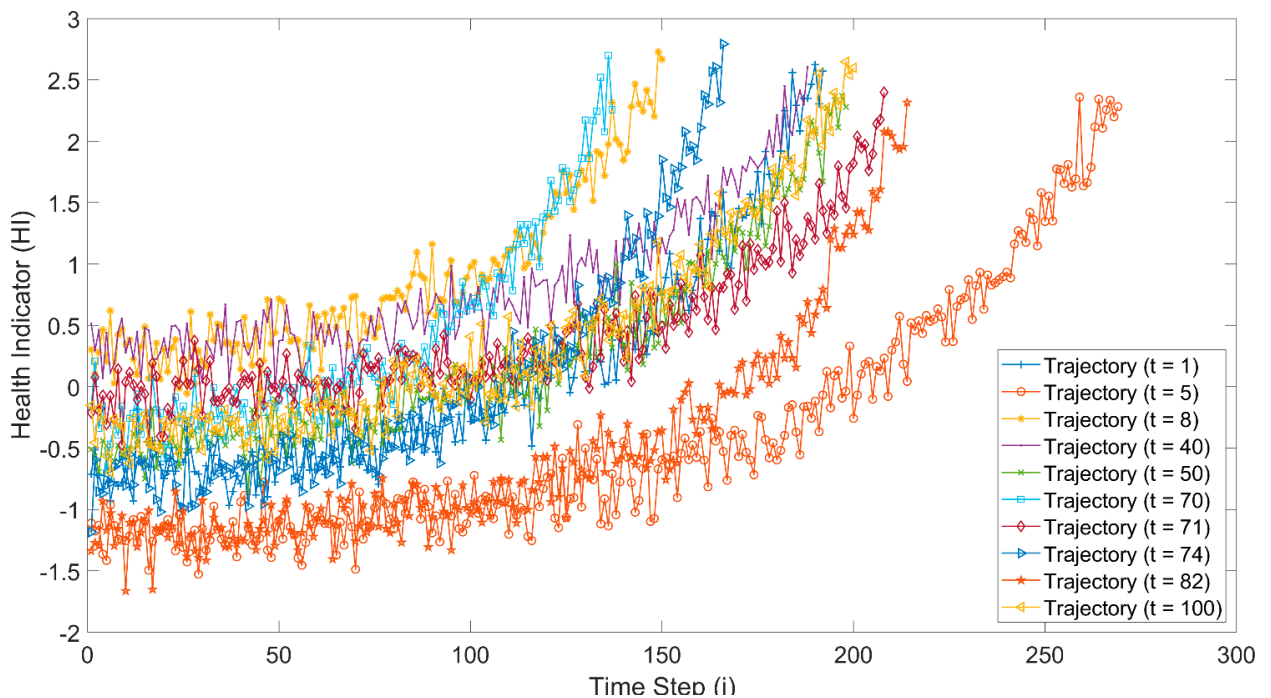


Figure 3. Health Indicators for selected training trajectories

The main objective of this paper is to investigate the performance of the different machine learning algorithms, namely: 2nd order polynomial regression, Gaussian Process Regression (GPR) and Artificial Neural Network (ANN). These different algorithms are utilized to develop three different mapping function between the HI and the sensor measurements. Therefore, the HI can be directly estimated for given sensor measurements at a given time step.

Figure 4 illustrates the estimated HI for both all training trajectories (i.e. complete history) and the test trajectory (i.e. $t=50$). The blue lines visualize the complete history and the red stars represent the failure. In addition, the red line indicates the estimated HI based the proposed machine learning algorithms for the test trajectory and its total number of time step is 74 cycles. As shown in Figure 4a, the estimated HI by 2nd order Polynomial includes noise, but the other estimations are filtered from noise since GPR and ANN utilize covariance matrix (See Figure 4b and 4c). It is important to estimate HI without noise since the RUL is calculated based on the similarity to the training trajectories.

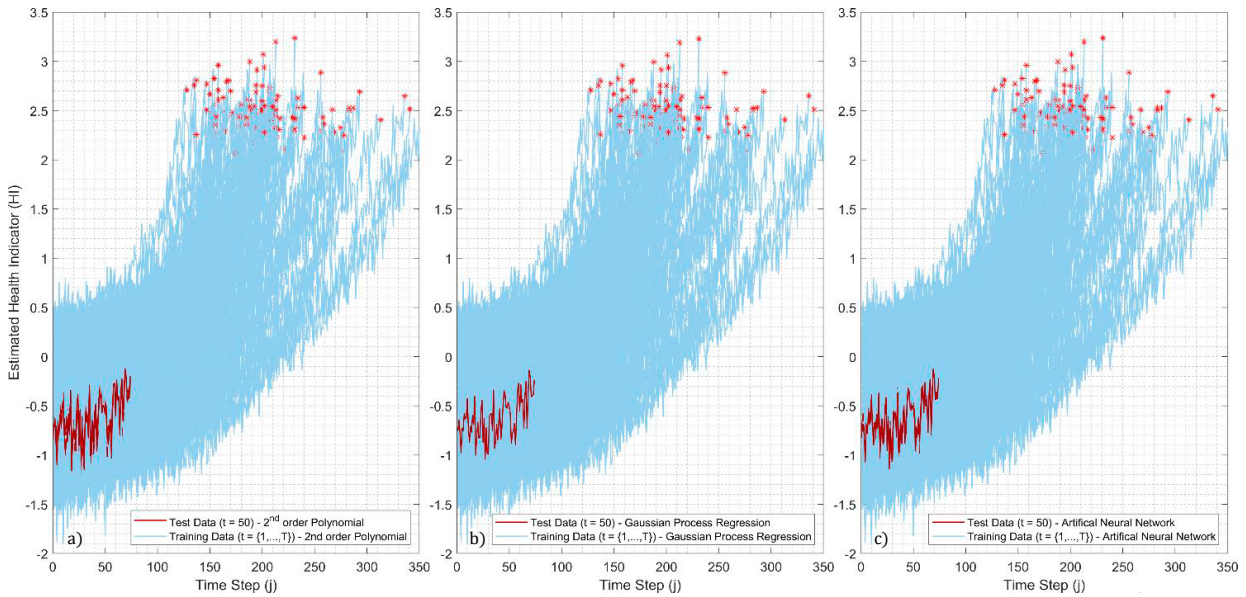


Figure 4. Estimated Health Indicators for all training trajectories and a test trajectory using a) 2nd order Polynomial, b) Gaussian Process Regression, and c) Artificial Neural Network

The test trajectories are used to evaluate the performance of the predictive model trained on the training trajectories. Figure 5 shows the estimated RUL results using the 2nd order Polynomial, GPR and ANN models, respectively. It has been observed that estimation accuracy is very high for those test trajectories that have longer time steps (N_k), whereas estimation accuracy is relatively low for those test trajectories that have shorter time steps (N_k). For example, the worst estimation for all machine learning algorithms is at 1st and 2nd trajectories (i.e. $t=\{1,2\}$). The lengths of the 1st and 2nd training trajectories are 192 and 287, respectively. However, the lengths of the 1st and 2nd test trajectories are 31 and 49, respectively. Furthermore, there is a negative prediction at trajectory 49 because the length of training trajectory (For training $m(49)=215$) is shorter than the length of test trajectory (For test $m(49)=303$).

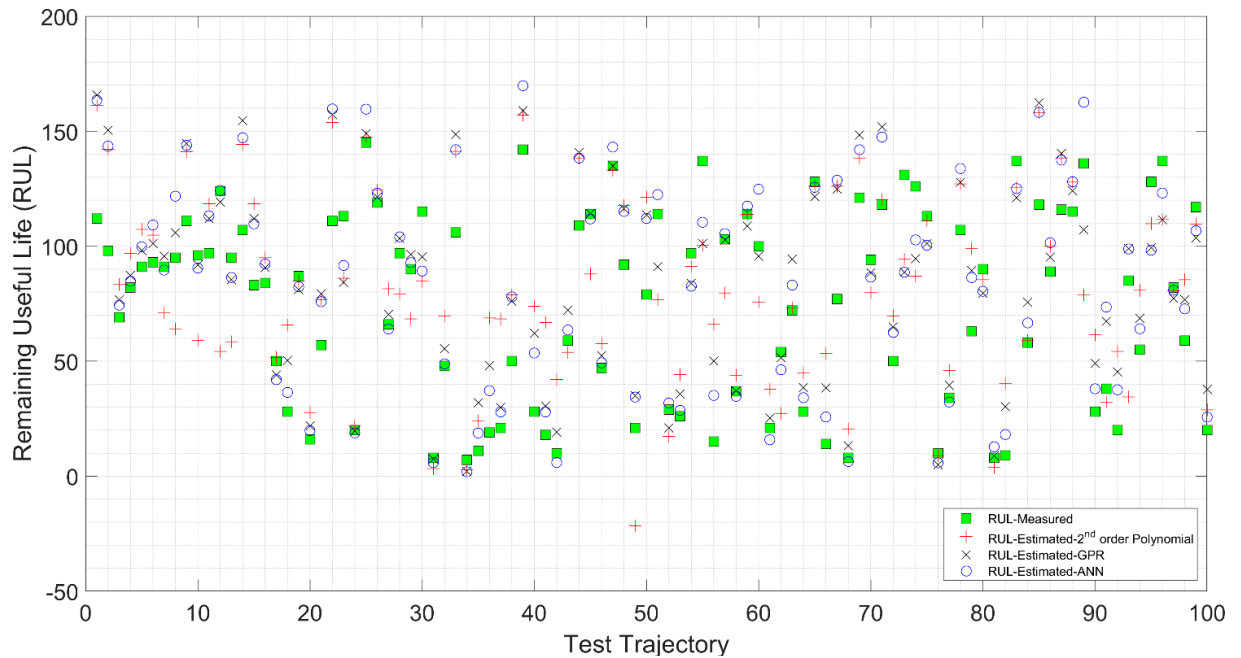


Figure 5. The comparison of the measured RUL against the proposed machine learning algorithms

The accuracy of the estimation is measured by root mean square error (RMSE) value which is formalized as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (RUL_{Estimated}^t - RUL_{Measured}^t)^2} \quad (17)$$

Table 1 lists the results of RMSE values for the considered machine learning algorithms. According to the results, the RMSE value is high for 2nd order Polynomial since it is good enough to capture the exponential degradation pattern. However, GPR performs better than 2nd order Polynomial since it utilizes the covariance matrix in the regression. The best RMSE value is obtained using ANN due to its algorithm the noise in the prediction can be filtered.

Table 1. The comparison of RMSE values

Machine Learning Algorithm	RMSE
2nd order Polynomial	27.59
Gaussian Process Regression	21.56
Artificial Neural Network	19.51

5. Conclusions

Estimating the RUL is considered as a challenge for real-world problems such as aircraft engines. This paper has presented a machine learning approach to the similarity-based RUL estimation. Initially, the HI has been calculated from the sensor measurements, then three different mapping functions have been trained based on the calculated HI. The results have shown that the error between the estimated HIs and the calculated HIs are acceptable, and these algorithms can be used in the similarity-based RUL estimation. However, the estimated RULs differ from the measured RULs for test trajectories. It has been observed that when the length of the test trajectory has been getting shorter, the error between the estimated RUL and the measured RUL gets bigger. This indicates that the HI shows a linear increasing trend in early-stage of the degradation. Finally, the accuracy of the machine learning algorithms has been evaluated by RMSE value. It has been noticed that ANN performs best among other algorithms.



6. References

- Baru, A.** (2019). Retrieved from Three ways to estimate remaining useful life for predictive maintenance: <https://uk.mathworks.com/company/newsletters/articles/three-ways-to-estimate-remaining-useful-life-for-predictive-maintenance.html>
- Bektas, O.** (2018). Çok Boyutlu Turbofan Motoru Durum İzleme Verilerinde Prognostik Uygulamalarının Değerlendirilmesi. VII. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, (pp. 1-10). Samsun.
- Bektas, O., Jones, J., Sankararaman, S., Roychoudhury, I., & Goebel, K.** (2019a). A neural network framework for similarity-based prognostics. *MethodsX*, 6, 383-390.
- Bektas, O., Jones, J., Sankararaman, S., Roychoudhury, I., & Goebel, K.** (2019b). A neural network filtering approach for similarity-based remaining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 87-103.
- Hoa, N., Noi, V., & Nam, V.** (2017). A data-driven framework for remaining useful estimation. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 55(5), 557-571.
- Jardine, A., Lin, D., & Banjevic, D.** (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20, 1483-1510.
- Li, Z., Goebel, K., & Wu, D.** (2018). Degradation modelling and remaining useful life prediction of aircraft engines using ensemble learning. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 141(4).
- Ramasso, E., & Gouriveau, R.** (2014). Remaining useful life estimation by classification of predictions based on a neuro-fuzzy system and theory of belief functions. *IEEE Transactions on Reliability*, 63(2), 555-566.
- Saxena, A., & Goebel, K.** (2008). Turbofan Engine Degradation Simulation Data Set. NASA Ames Prognostics Data Repository. Retrieved from <http://ti.arc.nasa.gov/project/prognostic-data-repository>
- Selcuk, S.** (2017). Predictive maintenance, its implementation and latest trends. *Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1-10.
- Si, X., Wang, W., Hu, C., & Zhou, D.** (2011). Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 1-14.
- Sikorska, J., Hodkiewicz, M., & Ma, L.** (2011). Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25, 1803-1836.
- Sutrisno, E., Oh, H., Sai, A., Vasan, S., & Pecht, M.** (2012). Estimation of Remaining Useful Life of Ball Bearings using Data Driven Methodologies. *IEEE Conference on Prognostics and Health Management*, 2, pp. 1-7.
- Zheng, Y.** (2019). Predicting remaining useful life based on Hilbert – Huang entropy with degradation model. *Journal of Electrical and Computer Engineering*.
- Zupan, B., Demsar, J., Kattan, M., Beck, J., & Bratko, I.** (2000). Machine learning for survival analysis: A case study on recurrence of prostate cancer. *Artificial Intelligence in Medicine*, 20, 59-75.

UÇAK BAKIMDAKİ PROBLEMLERİN TRIZ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Olca Bakşı, ²Nasır Çoruh, ³Faruk Aras, ⁴Nezih Kaya

¹Uçak Bakım Eğitmeni, o.baksi@thy.com, ²Dr. Öğr. Üyesi, ncoruh@kocaeli.edu.tr,

³Prof. Dr. farukaras@kocaeli.edu.tr, ⁴Öğr. Gör. Nezih.kaya@kocaeli.edu.tr

¹THY Teknik A.Ş. Sabiha Gökçen Havalimanı-İstanbul

^{2,3,4}Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kartepe-Kocaeli

Özet

Günümüzde havacılık sektörü dünya ekonomileri için itici güç olup ülkelerin sosyal gelişiminde de önemli rol oynamaktadır. Dünyada hava ulaşım ağlarının sayısı her geçen gün artmakta ve hava taşımacılığı devamlı olarak büyümektedir. Bu büyüme arka planda devasa bir teknoloji, bilgi, birikimi de peşinde götürmektedir. Her yeni nesil uçak yeni teknolojik sistemlerle modernize edilip gökyüzüyle buluşmaktadır. Ancak uçaklar ne kadar iyi teknolojiye, sistemlere sahip olsalar da havada güvenli uçuşlarını sürdürebilmeleri için sürekli bakıma ihtiyaçları bulunmaktadır. Basit anlamda bir hava aracının faaliyetinin sürdürülebilir olması diğer bir deyişle sürekli uçuşa elverişli olabilmesi için planlı ve plansız bakımlarının yapılması ve gerekli modifikasyonların zamanında uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple havacılık sektörünün en önemli yapı taşlarından birisi şüphesiz bakım ve onarım faaliyetleridir. Uçak bakımda sistemlerin çokluğu, karmaşıklığı ve birbiriyle ilişkili olması istenilmeyen bakım problemlerine sebep olabilmektedir.

Bu çalışma da uçak bakımda karşılaşılan **problemlerin ve hataların** TRIZ yöntemiyle sistematik bir şekilde çözülmesi, çalışma ortamının iyileştirilmesi, tehlikeli durumlardan kaçınılması, yüksek bakım maliyetlerinin önlenmesi, yaşanan problem/hataların bir daha yaşanılmaması için önlemler alınması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması amaçlanmıştır.

Key Words: TRIZ, Uçak, Bakım, Hata, Problem Çözümü

1. Giriş

Gerek işin kapsamı gerekse gerektirdiği nitelikler bakımından zor ve nispeten karmaşık bir sektör olan “Uçak Bakım Sektörü” hatalar konusunda oldukça zayıf halkalara ve riskli süreçlere sahiptir. Bakım Sektörü, Üreticiler ve Otoriteler hataların en aza indirilmesi için çeşitli prosedürler, kurallar ve eğitimler gerçekleştiriyor olsa da insan faktörünün olduğu alanlarda hatalar tamamen yok edilememektedir.

Havacılık Sektöründe, günümüzün küresel pazarı ve acımasız rekabetinde yaşanan kazalar şirketlerin imajlarını zedeleyebilmekte ve yaralanmalar, ekonomik sıkıntılar, adam saat kaybı gibi sebeplere neden olmaktadır.



Uçak Bakımında yaşanan hataların bir daha yaşanılmaması ve bu hatalardan ders çıkarılması oldukça gerekli bir durumdur. Ancak bazı hataların kişilerin meslek hayatları boyunca bir kez karşılaşabileceği kadar ender yaşanması, sistemlerin çokluğu ve karmaşıklığı yaşanan hataların analiz edilmesini zorlaştırmakta ve analiz yöntemi kişinin bilgi ve tecrübelerine göre değişmektedir.

Yaşanılan hatalar ve karşılaşılan problemler farklı da gözükse, hızlı ve doğru bir şekilde analiz edebilmek gerekmektedir. Bu kapsamda 1946 yılında Genrich Altshuller isimli Rus mühendis tarafından tasarlanmış TRIZ yöntemiyle farklı hatalarda temel prensipler uygulanıp, yaşanan hataların teknik çelişkilerinin belirlenmesiyle %80 oranında daha önceden bilinen bir hatanın yeni bir şekilde karşımıza çıkacağını geri kalanının ise yaratıcı çözümlere ihtiyacı olduğunu öngörmektedir. TRIZ yöntemi; aynı tip problemlerin tekrar tekrar, sadece 40 tane temel yaratıcı prensipten biri kullanılarak çözülebileceğini önermiştir. TRIZ metodunda çelişkilerin ortadan kaldırılması ve ideal sonuca ulaşmak için “40 prensip” ve “çelişkiler matrisi” kullanılmaktadır.

Bakım alanında Twente Üniversitesinin Bakım Mühendisliği Bölümünde oluşturulan 37 bakım manuelinden Triz stratejisi ile 4 temada sınıflandırılmış ve TRIZ araçlarının desteği ile bakım problemlerinin çözümünde bakım aktivitelerine tasarımında Mühendisler yardımcı olan bir yol haritası hazırlanmıştır [1]. Hazırlanan yol haritası, bakım mühendislerinin bakım problemlerini çözmek için TRIZ’in tüm araçları ve felsefesi hakkında bilgi ve beceriye ihtiyaç duymamalarını sağlamaktadır.

Hizmet kalitesi ve uçuş ile bir havayolu hakkındaki yolcuların imajına ilişkin algılarını geliştirmek için TRIZ kullanılmıştır [2]. Uçuş emniyetinden taviz vermeden kötü hava koşullarından, hava trafiği yoğunluğundan dolayı oluşan kesintilerden ve servis ekipmanlarının bozulmasından kaynaklanan servis kalitesi hakkındaki problemlerin bu üç kategoride TRIZ prensiplerini kullanarak incelenmiş ve servis kalitesi ile uçuş emniyeti geliştirilmiştir.

Öte yandan, direkt olarak uçak bakımına yönelik literatürde bilinen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Uçak Bakım sırasında karşılaşılan bazı bakım problemleri TRIZ Metodu ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Diğer TRIZ uygulamalarında olduğu gibi, daha hızlı, daha ucuza ve aynı zamanda yenilikçi yollar ile uçak bakımıyla ilgili problemlerin çözümlerini bulunması sağlanmaktadır.

2. TRIZ

TRIZ 1950’lerden itibaren Rusya’da kullanılıyor olmasına rağmen batı dünyasına girişi 1990’nın başlarında olabilmektedir. TRIZ konusunda çok sayıda kitap yazılmıştır.

(Karen Gadd, 2011; Leonid Chechurin, 2016; Michael A. Orloff, 2017; H. James Harrington, 2017).

Triz içinde çok sayıda teknikleri barındıran sistematik fikir üretme topluluğudur. Triz 1926’da Sovyetler Birliği Taşkent’de doğan Genrich Altshuller tarafından ortaya konulmuştur. Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (Теория Решения Изобретательских Задач) kelimelerinin baş harflerinden ortaya çıkmıştır. Altshuller 1946’da patent subayı olarak atandıktan sonra çok sayıda patent incelemiş ve bu patentlerin arkasındaki temel fikirleri yakalayarak TRIZ’in ortaya çıkmasını sağlamıştır.

TRIZ size problemin çözümünün yaklaşık olarak neye benzediğini söyler. Örneğin 1 km karelik bir alanda hazine olsun. Önceden nerede olduğunu bilmediğimiz için her yeri tek tek kazmamız gerekir. Bizden önce başkaları da kazmış ise şanslı sayılırız en azından oraları kazmamıza gerek kalmaz. TRIZ ise sizi boş yere tüm alanı kazmanıza gerek bırakmadan örneğin 10 metre karelik bir alanda kazı yaparak hazineyi bulmanızı sağlar. Doğrudan hazineyi buldurmaz, eninde sonunda deneme/yanılma veya beyin fırtınası gibi tekniklere ihtiyacınız olacaktır. Yani bir program yapalım düğmeye bastığımızda bize doğrudan problem çözsün diye bir beklenti içinde olmamız gerekir. Program sizi çözüme oldukça yaklaştıracaktır.

Klasik TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) çok sayıda problem çözme ve teknoloji ön kestirim araçlarını içinde barındırır. Bu araçlar: 40 Buluş Prensibi, 39x39 Çelişki Matrisi, İdeallik, 9 Pencere Yaklaşımı, Teknik Sistemlerin Gelişimi, Kaynak Kullanımı, Fonksiyonel Analiz, Cisim-Alan Prensibi, 76 Buluş Standartı, Minik Cüceler Topluğu, Bilimsel Etkiler, Boyut, Zaman, Maliyet Operatörleri ve ARIZ.

Altshuller tüm bu teknikleri bir çırpıda geliştirmemiştir [3]. Aşağıda bazı tekniklerin geliştirilme tarihlerini verilmektedir.

40 Prensipl	1946–1971
ARIZ-Algorithm of Inventive Problem Solving	1959–1985
Ayrıllık Prensipleri	1973–1985
Madde-Alan (Su Field) Analizi	1973–1985
Standart Çözümler	1975–1985
Doğal Etkiler (Bilimsel Etkiler)	1970–1980
Teknik Sistemlerin Evrim Kalıpları	1975–1980

TRIZ eğitiminin ne kadar sürede verileceği konusunda bir anlaşma bulunmamaktadır. Ruslar 500 saatlik bir eğitimi öngörürken Samsung firması işe her giren elemanına 80 saatlik temel TRIZ eğitimi vermektedir. Batıda mühendislere yönelik olarak 2 günlük eğitimden 2 haftalık eğitime kadar farklı uygulamalar bulunmaktadır.

3. TRIZ Metodolojisi

TRIZ yöntemi, dört temel paradigmaya dayandırılmıştır (Mann, 2003):

1. Teknik Sistemler (Fonksiyonellik)
2. İdeal Nihai Sonuç (İNS) (İdeallik)
3. Problemin Tanımlanması ve Formülasyonu (Kaynakların Kullanımı)
4. Çelişkiler

3.1. Teknik Sistemler (Fonksiyonellik)

Bir işlev sergileyen her şey teknik sistemdir.

Teknik Sistem	Teknik Sistemin Alt Sistemleri
Ulaşım	Otomobil, Yollar, Haritalar, Sürücüler, Servis istasyonları
Otomobil	Güç aktarımı, Frenler, Isıtma, Direksiyon, Elektrik aksamı
Frenler	Fren pedalı, Hidrolik silindir, Akışkan, Fren balata sistemi
Fren balata sistemi	Balata Bağlantı parçası, Perçinler
Balata	A parçacıkları, B parçacıkları, Kimyasal bağlar
Kimyasal bağ	A molekülleri, B molekülleri

Bir sistem yetersiz veya zararlı bir fonksiyon üretiyorsa (yapıyorsa) iyileştirilmelidir. Bunun için sistemin en basit haline hayali olarak indirgenebilmesi gereklidir. TRIZ’de basit, sistem birbirine enerji aktaran iki elemandan oluşan bir sistem demektir.

3.2. İdeal Nihai Sonuç (İNS) (İdeallik)

Herhangi bir sistemin amacı bazı fonksiyonları yerine getirebilmesidir. *İdeallik (mükemmellik) kanunu* herhangi bir teknik sistemin çalışma ömrü boyunca basit, etkili ve güvenli olması gerektiğini ifade eder. *İdeal Nihai Sonuç* bir ürünün yararlı fonksiyonları yerine getiriliyor olmasına rağmen sistemin kendisinin olmamasıdır.



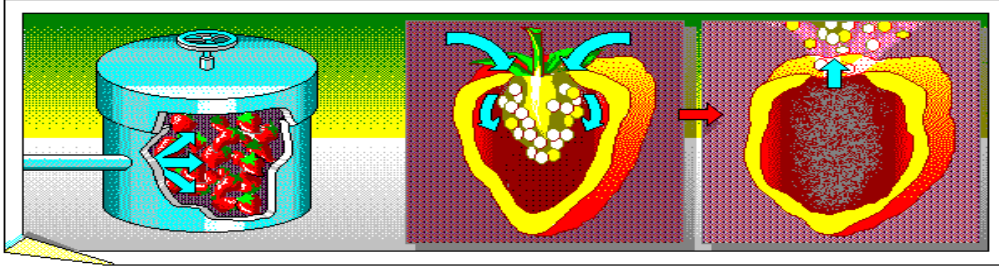
İNS karakteristikleri:

- Orijinal sistemin eksikleri giderir.
- Orijinal sistemin avantajları korur.
- Sistem karmaşıklığı azaltır (mevcut veya kullanılmayan kaynakları kullanır.)
- Sisteme yeni dezavantajlar eklemeyebilir.

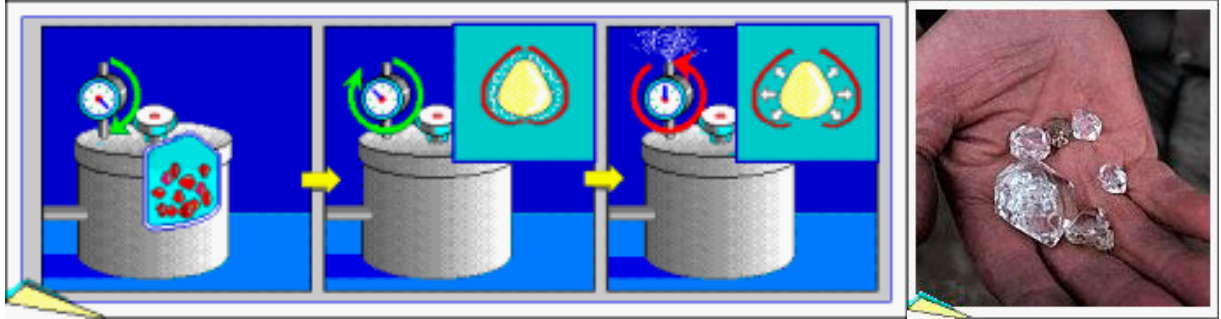
3.3. Problemin Tanımlanması ve Formülasyonu (Kaynakların Kullanımı)

Genellikle çözümü için üzerinde çalışılan problem gerçek problem değildir. Dolayısıyla, üzerinde çalışılması gereken gerçek problemin tanımlanabilmesi için çalışma çevresi, kaynak gereksinimleri, zararlı etkiler, ana yararlı işlevi ve ideal sonucun belirtilmesi gerekmektedir.

Buluş Kalıpları



“Yavaşa basıncı yükseltin ve aniden basıncı azaltın” veya “enerjiyi yavaşa artırın ve aniden kaldırın” Patent 1945.



3.4. Çelişkiler

Çelişkiler teknik bir sistemin bir karakteristiğini veya parametresinin iyileştirilmesi arzulanırken diğer bir karakteristiğinin veya parametresinin kötüleşmesiyle ortaya çıkar. Altshuller yaklaşık 2.000.000 patenti inceleyerek çelişkiye sebebiyet veren 39 teknik çelişki belirlemiştir. Bunlar 39 standart mühendislik parametresi olarak isimlendirilmektedir.

Problemin teknik çelişkisi; iyileştirilmesi gereken parametre ile kötüleşen mühendislik parametresi olarak tanımlanmalıdır.

TRIZ yöntemi, sorunların %90'ından fazlası tekrarlardır, belirlidir ve tanımlıdır temel varsayımı üzerine kurulmuştur. Sorunlar kendi içlerinde yeni sorunlar yaratırlar ve bu da çelişkileri oluşturur. Ancak çelişkiler aynı zamanda yaratıcılığın da temelini oluştururlar. İdeal çözüm ya da ideallik TRIZ yönteminin ana amacıdır. İdeallik, çözümün yararlı etkilerinin zararlı etkilerine oranı olarak tanımlanır ve nokta, tek boyutlu çizgi, iki boyutlu düzlem ve üç boyutlu cisim adımlarından oluşan temel bir süreci gerektirir (Stratton, 2003). Diğer bir deyişle ideal çözüm, çelişkilerden bütün boyutlarıyla düşünümlere arındırılmalıdır. Ayrıca ideal çözüm fonksiyonel olmalıdır ve etkin kaynak kullanımı ile ortaya konmalıdır.

Altshuller bu paradigmalarda ışığında TRIZ yöntemini dört aşamalı bir süreci kullanarak tanımlamıştır:

1. Sorunun tanımlanması
2. Sorunun genel TRIZ sorunlarıyla karşılaştırılması ve eşleştirilmesi
3. Sorun çiftine karşılık gelen genel TRIZ çözümünün bulunması

3.5. Soruna ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi

TRIZ yönteminde sorunlar, yukarıda da belirtildiği gibi bugüne kadar yaklaşık 2 milyon patent incelenerek sınıflandırılmış, genel tanımları yapılmış ve 39 adede indirgenmiştir. Mühendislik Parametreleri adı verilen bu sorunlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

TRIZ yönteminde söz konusu 39 Mühendislik Parametresi, matris formatında düzenlenmiş ve 39x39 boyutunda Çelişkiler Matrisi adı verilen bir kare matris elde edilmiştir. Çelişkiler Matrisinin satırlarında (Y-ekseni) ve sütunlarında (X-ekseni) Mühendislik Parametreleri yer alır. Burada satırlar *aksiyon sorunları*, sütunlar ise *reaksiyon sorunları* simgeler.

Tablo 1 – 39x39 Mühendislik parametreleri

Kötüleştiren Özellik (İstenilmeyen Durum)																																							
	1	2	14	38	39																																		
İyileştirilmek İstenen Özellik	Hareketli nesnenin Ağırlığı	Hareketsiz nesnenin Ağırlığı	Mükavemet	Otomatikleştirilmenin artırılması	Verimlilik																																		
1	Hareketli nesnenin ağırlığı		28, 27, 18, 40																																				
2	Hareketsiz nesnenin Ağırlığı																																						
14																																							
38																																							
39																																							

1	Hareketli nesnenin ağırlığı	Yerçekimi etkisi altındaki nesnenin kütlesi. Cismin temas halinde bulunduğu yataklara veya asılı olduğu yere uyguladığı kuvvet.
14	Mükavemet	Bir nesnenin kuvvet etkisi altında dayanma noktası. Kırılmaya olan direnç.

Altshuller tanımladığı 40 Yaratıcı Prensipleri, Çelişkiler Matrisinin hücrelerine, her bir hücrede en fazla dört prensip olmak üzere yerleştirmiş ve matrisi tamamlamıştır. Sonuçta 39x39 boyutundaki Çelişkiler Matrisinde yaklaşık 1.600 hücre ve yaklaşık 6.400 ideal TRIZ çözümü yer almaktadır.

Tablo 2 – 40 Yaratıcı Prensipli kullanımı

Teknik çelişkileri nasıl çözeriz?

Kötüleştiren Özellik (İstenilmeyen Durum)																																							
	1	2	14	38	39																																		
İyileştirilmek İstenen Özellik	Hareketli nesnenin Ağırlığı	Hareketsiz nesnenin Ağırlığı	Mükavemet	Otomatikleştirilmenin seviyesi	Verimlilik																																		
1	Hareketli nesnenin ağırlığı		28, 27, 18, 40																																				
2	Hareketsiz nesnenin Ağırlığı																																						
14																																							
38																																							
39																																							

- Olası çelişkiler 39X39 matriste verilmiştir.
- Satır ve sütun kesişim hücrelerindeki rakamlar söz konusu çelişkiyi ortadan kaldıracak 40 yenilikçi prensipten ilgili olanları belirtmektedir.

28 Mekanik bir sistem yerine mekanik olmayan bir sistem ile değiştirilmesi

27 Pahalı bir dayanıklı bir nesne yerine ucuz kısa ömürlü nesne kullanılması

18 Mekanik titreşim

40 Kompozit Malzemeler

Çelişkiler Matrisinin sol üst köşegeni üzerinde yer alan hücrelerde çözüm yer almamaktadır. Bunun nedeni, bu



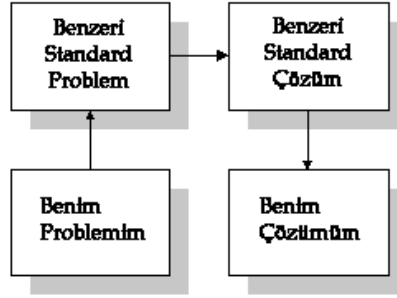
hücrelere ilişkin satır ve sütunlarda yer alan sorunların aynı sorunlar olmasıdır.

4. Problem Çözümünde Genel Yaklaşımlar

Genelde karşılaşılan iki grup problem vardır.

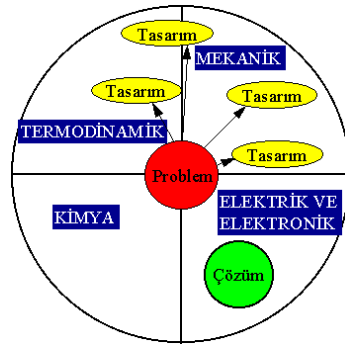
a) **Yaratıcılık/Yenilikçilik Gerekirmeyen Problemler**

- Çözümleri bellidir.
- Gerekli bilgiler kitaplarda, teknik bültenlerde ve dergilerden elde edilebilir.
- Benzeşimle çözülebilir



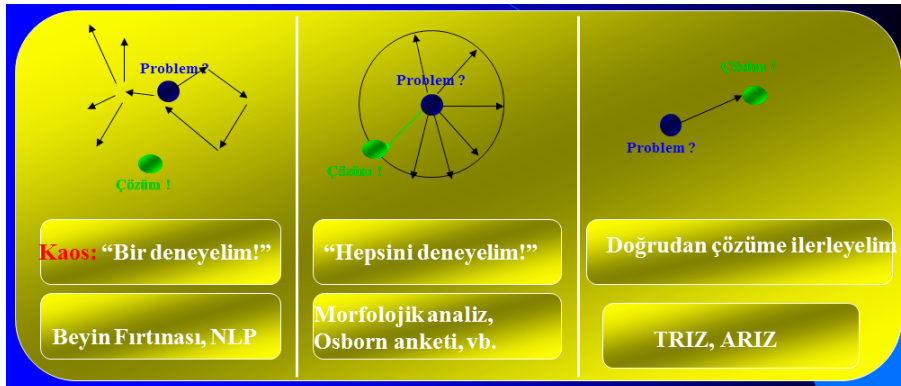
b) **Yaratıcılık/Yenilikçilik Gerekiren Problemler**

- Çözüme ulaşmak zordur.
- Genellikle çelişki içerir.
- Bu tür problemlerin çözümü için Beyin Fırtınası, Deneme Yanılma vb. metotlar önerilmektedir. Ancak bu metotlarda da araştırmacının beyin fırtınası, sezgi ve yaratıcılık gibi psikolojik araçlarda ne kadar usta olduğuna bağlı olarak deneme sayısı artacaktır.



Not: İDEAL Çözüm Uzmanlık Alanınız Dışında Olabilir.

Neden TRIZ Tamamen Farklı?



TRIZ, Problemlerin çözümünde Analitik yöntemleri kullanır. Bu yüzden tahminden çok, eldeki verilerin değerlendirilmesini sağlar.

dirilmesine dayanır. Ayrıca Psikolojik ataletin üstesinden gelinmesine de yardımcı olur.

5. Uçak Bakımda TRIZ'e İhtiyaç

Bir uçağın bakımı 24/36 saate bir yapılan günlük bakım, hafta da bir yapılan aylık bakım, 300/400 saatte bir yapılan A bakım, her 3000/4000 saatte bir yapılan B+C bakımları, her inişten sonra ve kalkış öncesi yapılan Uçuş öncesi kontroller (Pre-flight inspection) Transit Bakım ve varsa arıza giderme işlemleri gibi çeşitli bakımlardan oluşmaktadır. Bu bakımlar esnasında uçak seferden çekilmiş ve bir sonraki planlı uçuşuna kadar bakım paketinde ki tüm Task Card'lar tamamlanmış ve kontrollerinin eksiksiz bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Bu bakım süreçleri farklı vardiyalarda, farklı personellerle, bireysel ve ekip çalışmalarıyla sürdürülmektedir.

TRIZ yöntemi tüm bu bakım sürecinde karşılaşıla bilinecek problemlerin, yaşanabilecek hataların çözümünü bizlere sistematik inceleyebilmekte ve bizi çözüme en yakın yere götürebilmektedir. TRIZ sayesinde problemleri çözerek tehlikeli durumlardan kaçınıp, yüksek maliyetli bakımların önüne geçip müşteri memnuniyetini en üst seviyeye çıkarabilmek mümkündür.

6. Uçak Bakımda TRIZ Uygulama Örnekleri

Örnek 1

Jet uçaklarına ait bir uçak bakım hangarında B737 tipi bir uçağın bakımı yapılmak istenilmektedir. Ancak bakım hangarı öncesinde küçük uçaklar için tasarlandığından B737 tipi uçak hangar kapısından sığmamaktadır. Problem: hangar kapı yüksekliği 12 metre, uçağın kuyruk kısmında boyu yerden 12,5 metre yükseklikte, uçak 2-3 haftalık bir bakım için tamamen hangar içine alınmak isteniyor.

Çözüm 1

Bu problemin mühendislik parametrelerinde **aksiyon sorunu** (3) Hareketli Cismin Uzunluğu, **reaksiyon sorunu** ise (13) Cismin Değişmezliği olarak saptanmıştır. 3 ve 13 numaralı mühendislik parametrelerinin satır ve sütununun kesiştiği hücredeki ideal TRIZ çözümleri;

1. Dilimlemek, bölmek, parçalamak
8. Ağırlık azaltma, dengeleme
15. Dinamik
34. Gözden çıkarma ve yeniden ele alma

TRIZ çözümleri yorumlandığında aşağıdaki seçenekler oluşmuştur.

Seçenek 1: Uçak hangara girerken kuyruğunun sökülmesi bakım çıkışında tekrar takılması değerlendirilmiştir. (Uçak bakımda dikey kuyruk gibi ana yapıların sökülmesi normal bir durum olmaması, sökülüp takılırken yapıya zarar gelebilme ihtimali ve fazla adam/saat kaybına sebebiyet verecek olmasından uygun görülmemiştir.)

Seçenek 2: Hangar kapısı üstündeki çelik yapıdan uçağın kuyruğunun geçebileceği kadar kısmın kesilmesi değerlendirilmiştir. (Çelik yapının Hangar çatısını taşıyan ana yük taşıyıcısı olması sebebiyle kesilmesi uygun görülmemiştir.)

Seçenek 3*: Uçağın burun iniş takımı bir araç vasıtasıyla kuyruğu yere deşmeyecek seviyede kaldırıldığında kuyruk yüksekliği 12 metrenin altına düşmektedir. Uçak burun iniş takımından kaldırılarak hangara sokulabilir. Bakım sonrasında da aynı yöntemle hangardan çıkartıla bilinir.

Örnek 2

A330 uçağında uçuş esnasında IDG yağ seviyesi kritik seviyenin altına düşmüş ve uçak bu sebepten en yakın hava alanına inmek zorunda kalmıştır. Yapılan incelemelerde IDG'yi Gear Box'a sabitleyen QAD konektörünün iki diş gevşediği görülmüştür.

Olay incelendiğinde geçmiş bakımlarda herhangi bir bakım hatası gözlemlenmemiş. QAD bağlantı mekanizması dizaynından ve motordan kaynaklanan titreşimin bağlantıyı zaman için de gevşetmesinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Çözüm 2

Bu problemin mühendislik parametrelerinde **aksiyon sorunu** (13) Cismin Değişmezliği, **reaksiyon sorunu** ise (37) Kontrol Karmaşıklığı olarak saptanmıştır. 13 ve 37 numaralı mühendislik parametrelerinin satır ve sütununun



kesiştği hücredeki ideal TRIZ çözümleri;

- 22. Zararı yarara dönüştürme
- 23*. Geri besleme
- 35. Parametre değişikliği
- 39. Eylemsiz atmosfer

TRIZ çözümleri yorumlandığında aşağıdaki seçeneğe ulaşılmıştır.

Seçenek 1*: Problemi ortadan kaldırmak için QAD Tension Bolt kontrol süresinin düşürülmesi ve IDG üreticisiyle irtibata geçilip QAD-IDG bağlantı mekanizmasında ürün geliştirmesi yapılması değerlendirilmiştir.

7. Sonuç

Bu çalışmada dünyada Airbus, Boeing, Honeywell, NASA, Samsung, Panasonic, Teledyne, Siemens, Arçelik, ViKO, Tofaş gibi şirketlerin [11] de kullanmış olduğu TRIZ yönteminin 39x39 çelişkiler matrisi ve 40 yaratıcı prensibi kullanılarak Uçak Bakımda karşılaşılan problemlere ve yaşanan hatalara karşı sistematik çözümler üretilmesi amaçlanmış ve uygulama örnekleri ile TRIZ yönteminin kullanımı tanıtılmıştır.

8. Kaynaklar

1. Vaneker T., Van Diepen T., “Design Support for Maintenance Tasks using TRIZ”, Procedia CIRP, Volume 39, 2016, Pages 67-72
2. Jeeradist T., Thawesaengskulthai N., Sangsuwan T., “Using TRIZ to enhance passengers’ perceptions of an airline’s image through service quality and safety”, Journal of Air Transport Management 53 (2016) 131-139
3. Genrich Altshuller (H. Altov), “And Suddenly the Inventor Appeared, TRIZ the Theory of Inventive Problem Solving”, Technical Innovation Center. Inc. Worcester, Massachusetts, 1996.
4. Kapucu S., YILDIRIM N., “Mühendislik Öğrencilerine TRIZ ile Yenilikçi Problem Tekniklerinin Öğretilmesi”, Cilt 48, Sayı 572.
5. KAYA M.O., “TRIZ ile Yenilikçi Mühendislik Eğitimi Tasarımı”, Üniversite Araştırma Dergisi 2018.
6. Valeri S., “Breakthrough Thinking With TRIZ for Business and Management: an Overview”, 2014.
7. Kapucu S., “Yenilikçi Yaratıcı Problem Çözme Teorisi ile Teknolojik Öngörü”.
8. Kapucu S., “Yenilikçi Yöntemlerden TRIZ”.
9. STM, Mühendislik Teknoloji Danışmanlık, “Sivil Havacılık Sektör Değerlendirme Raporu”, Nisan 2017.
10. DÜLGER S., “Bir Mermer İşletmesindeki Problemlerin TRIZ Yöntemi ile Değerlendirilmesi”, Ocak 2015, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
11. KAYA. M.O., 2016, <https://medium.com/@metinokaya/trize-ba%C5%9Flarken-9bdad7cca9c0>

YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZİ

¹Emrah Erdoğan

¹Eskişehir
eerdogan@etigida.com.tr

Özet

Bir üretim tesisinde güvenilirliğin önemi kaçınılmazdır. Bunu sağlamanın en kolay yolu etkin bakımın kullanılmasıdır. Peki, en ucuz seçenek bu mudur?

Yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi bu sorunun cevabını bulmak için ortaya çıkmıştır. Bu yöntem özetle, bir ekipmanın ömrü boyunca ortaya çıkan operasyon maliyetleri ile ekipmanın yenilenme maliyetini karşılaştırarak doğru seçimin yapılabilmesi için kullanılacak bir araçtır.

İlk bakışta görece yüksek ilk alım maliyeti ile geç kalınmış yatırım kararları, operasyonel olarak çok daha pahalıya mal olabilir. Bunun optimizasyonu ise doğru zamanda doğru kararı almakla sağlanır.

Bu bildiri ile yatırımcılara yol gösterecek yaşam döngüsü maliyet analizi yönteminden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Bakım maliyeti, operasyon maliyeti, yatırım, optimizasyon

Abstract

The importance of reliability in production facility is inevitable. The easiest way to achieve this is to perform effective maintenance. So, is this the cheapest option?

To find the answer for this question, the life cycle cost analysis method has been emerged. This method is, in summary, a tool that can be used to make the right choice by comparing the costs of operation of the equipment and the renewal cost of the equipment.

At first glance, the relatively high initial cost of purchasing the late investment decisions can be much more expensive operationally. This optimization is provided to take the right decision at the right time. This paper will describe the lifecycle cost analysis method that will guide the investors.

Key Words: Maintenance cost, operation cost, investment, optimization

1. Giriş

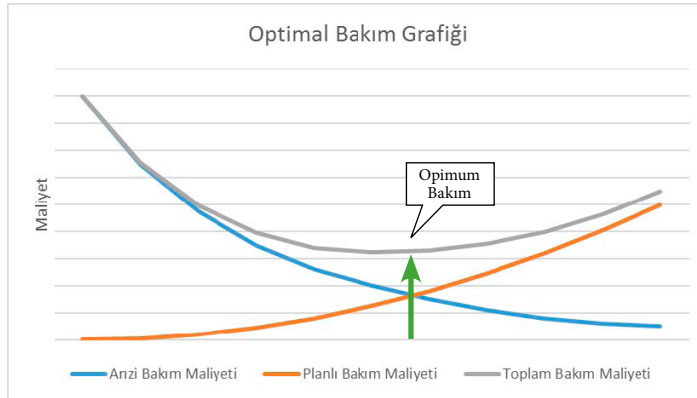
“Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA)” metodu literatürde genelde inşaat uygulamaları üzerinden anlatılmıştır. Ancak bu bildiride üretim tesisi ekipmanları üzerinden aktarılması amaçlanmıştır.

Yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi, fabrikaların en verimli şekilde ve maksimum güvenilirlikte işletilmesinde yatırımcılara kılavuz olacak bir araçtır ve kısaca, ekipmanı ne zaman yenilememiz gerektiği ve alternatif ekipmanlardan hangisini seçilmesi gerektiği sorularına cevap vermektedir. Bu yöntem genel tabir ile, bir ekipmanın ömrü boyunca ortaya çıkan operasyon maliyetleri ile ekipmanın yenilenme maliyetini karşılaştırarak doğru seçimin yapılabilmesi için kullanılacak bir araçtır.

2. Bakım Maliyetinde Optimizasyon

Tüm bu kongrelerin konusu, bakım mühendisliği, büyük organizasyonlar işletmenin güvenilirliği üzerine çalışır ve endüstriye daha verimli işletmelerin olması için hizmet ederler. Otonom bakım konularının başında gelen temizlik aktivitesinden tutun da en kapsamlı revizyon bakımlara kadar tamamı ekipmanın, hattın ve dolayısıyla fabrikanın daha güvenilir olmasını amaçlamıştır. Bakım mühendisleri, akademisyenler bu konu ile ilgili aktivitelere kafa yoraktadırlar [1].

Çoğu durumda olduğu gibi, bakım aktivitelerinde de bir optimizasyona ihtiyaç duyulur. Bununla ilgili yöntemler ve hatta bilgisayar programları geliştirilmiştir. Literatürde bahsedilen yöntemler, standart periyodik planlı bakım uygulamalarının hakim olduğu durumlarda, özetle planlı bakım ve arıza bakım arasında bir denge kurulmasından bahseder ve Şekil 1 ‘deki grafikte de görüldüğü gibi en az bakım maliyetinin gerçekleşeceği optimum bir nokta seçmek amaçlanmaktadır [2] [3] [4].



Şekil 1. Optimal Bakım Grafiği

Durum bazlı bakım (CBM) tekniklerinin kullanıldığı durumlarda bakım maliyetleri daha aşağıya çekilebilir ancak burada da durum bazlı müdahale sıklığının sürekli kontrol altında tutulması ve izlenmesi gerekmektedir.

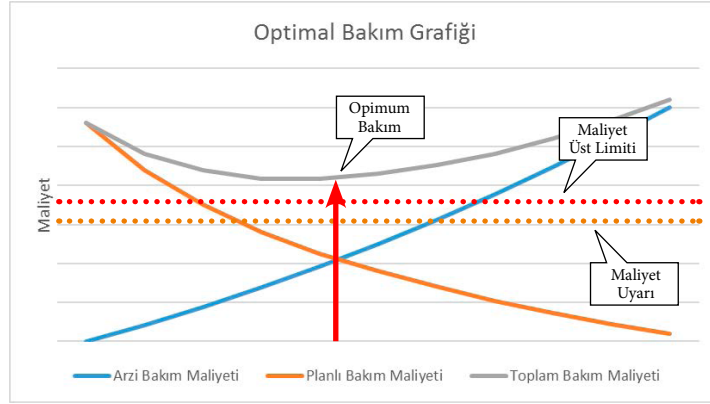
Orta veya uzun vadede endüstrinin gelmek istediği nokta, bakım periyotlarını kendi belirleyen, arıza yapan parçasını otomatik olarak bakım ambarından rezerve eden, yoksa yenisini otomatik olarak sipariş eden ve hatta bakımını kendi yapan ekipmanların kullanımı olmalıdır. Sonraki aşama ise ekonomik ömrü boyunca bakım gerektirmeyen ekipman tasarımlarının yapılmasıdır.

3. Bakım Maliyeti Limitlerinin Belirlenmesi /Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi

Bakım aktivitelerinin optimum maliyette yapılması gerekliliği tartışılmaz bir konudur. Bununla ilgili günümüzde farklı metodlar araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Ancak standart bir planlı bakım ve arıza bakım süreci yürütülen işletmelerde optimum noktada (arıza bakım maliyeti ve planlı bakım maliyeti eğrilerinin kesiştiği noktada) yapıldığını düşündüğümüz bakım faaliyetleri gerçekte optimum noktada olmayabilir. Çünkü ekipmanın durumu baz

alındığında artık çok kapsamlı planlı bakım uyguluyor olsanız da size çok maliyetli arızalara yol açıyor olabilir ve iki maliyet eğrisinin kesişim noktası (optimum gibi görünse de) aslında yüksek maliyetlerde çalışıyor olabilir. Bir başka deyişle, ekipmanın yenisi ile değişiminin zamanı gelmiş olabilir.

Bu durumda ekipmanın ne zaman değiştirilmesi gerektiğini belirleyebilecek bir limit değerini izlememiz gerekmektedir. Bu değer “maliyet üst limiti” olarak adlandırılabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Optimal Bakım Grafiğinde Uyarı ve Üst Limitleri

Ancak bu limite ulaşıldığında yapılacak yeni ekipman analizleri, bütçeleme, tedarik ve kurulum süreleri boyunca yüksek bakım maliyetinin devamına katlanmak gerekecektir. Bunu en aza indirmek için, maliyet üst limiti yanında maliyet uyarı limitini de izlemek faydalı olacaktır. Bahsedilen değer ekipmanı yenileme sürecinin başlatılması gerektiğini belirtir. İki limit arasındaki fark ekipmanın cinsine, maliyetine, tedarik süresine, işletmeye göre değişecektir. Bunun için bir formül üretmek rasyonel olmayacaktır. Ancak hesaplanacak net bugünkü değer belli bir yüzdesine ulaşıldığı değer uyarı limiti olarak belirlenebilir.

3.1. Yaşam Döngüsü Maliyetinin Hesaplanması İçin Gerekli Veriler

Maliyet limitlerinin belirlenebilmesi için ekipmanın işletme maliyetlerini hesaplamak gerekecektir. Bunun yanında yeni ekipmanın fiyatı güncel olarak takip edilmeli; nakliye, kurulum, kurulum sırasındaki duruş maliyeti gibi veriler hesaplanabilir olmalıdır.

Bir ekipmanın YDMA 'ni hesaplayabilmek için aşağıdaki veriler toplanmalıdır:

- Ekipmanın yıllık bakım maliyeti
- Ekipmanın yıllık enerji tüketim maliyeti
- Ekipmanın yıllık sarf malzeme tüketim maliyeti
- Ekipmanın yıllık işçilik maliyeti
- Ekipmanın yıllık ıskarta / çöp maliyeti
- Ekipmanın devreden çıkarma maliyeti
- Ekipmanın ikinci el / hurda satış fiyatı
- Yeni ekipman alım fiyatı
- Yeni ekipman nakliye ve kurulum maliyeti
- Yeni ekipman kurulumu sırasındaki üretim kaybı maliyeti
- Yeni ekipman sigorta maliyeti
- Yeni ekipmanın tahmini yıllık bakım maliyeti
- Yeni ekipmanın tahmini yıllık enerji maliyeti
- Yeni ekipmanın tahmini yıllık işçilik maliyeti
- Yeni ekipmanın tahmini yıllık sarf malzeme tüketim maliyeti
- Yeni ekipmanın tahmini yıllık ıskarta / çöp maliyeti



3.1.1 Ekipmanın Yıllık Bakım Maliyeti

Ekipmanın yıllık bakım maliyetinin hesaplanabilmesi için arıza duruşlarının gerçekçi bir şekilde kaydedilmiş olması gerekir. Buna bağlı olarak üretim duruş maliyeti, arıza bakımı sırasında kullanılan parça maliyeti, işçilik maliyeti ve üretime başlama sırasında oluşan kayıpların maliyeti hesaba katılmalıdır. Periyodik planlı bakım uygulandığını varsayarsak en geniş hali ile periyodu baz alınarak (6 aylık, 1 yıllık ve 3 yıllık planlı bakım uygulanıyor ise en az 3 yıl veya katlarındaki bir dönemi baz alarak maliyeti yıllık maliyete indirmek gerekir), kullanılan yedek parça maliyetleri ile birlikte hesaplanır. Yedek parçaların ilk alım maliyetleri yanında, stok maliyetleri de hesaba katılmalıdır.

3.1.2 Ekipmanın Yıllık Enerji Tüketim Maliyeti

Tesiste her bir makine enerji analizörleri ile takip edilmiyor olabilir. Kullanılan motor güçleri, varsa basınçlı hava, sıcak/soğuk su ve buhar tüketimleri kullanılan iş elemanları kapasiteleri üzerinden hesaplanmalıdır.

3.1.3 Ekipmanın Yıllık Sarf Malzeme Tüketim Maliyeti

Ekipmanda sürekli olarak tüketilen bir sarf malzeme (solvent, mürekkep, kağıt, yağ, vb.) olabilir. Bunun yıllık kullanım maliyetinden bahsedilmektedir. Yeni alınacak ekipmanda sarf malzeme tüketiminde anlamlı bir fark olmayacaksa bu parametre hesaba katılmayabilir.

3.1.4 Ekipmanın Yıllık İşçilik Maliyeti

Ekipmanı çalıştıracak sabit bir işçilik varsa ve yeni alınacak ekipmanda bu anlamda bir fark olacaksa yıllık maliyet hesaplanmalıdır. Yeni alınacak ekipmanda kolay kullanım konularında da gelişmiş bir versiyon tercih edilecekse, kullanılacak işçiliğin maliyeti değişebilir (uzman operatör ve kalifiye olmayan işçilik gibi) ve hesaba katılmalıdır.

3.1.5 Ekipmanın Yıllık İskarta / Çöp Maliyeti

Ekipman ekonomik ömrü yaşlandıkça daha fazla fireli çalışacağı konusunda bir önyargı bulunmaktadır. Ancak bakım maliyeti üst limitine kadar kullanılacak ekipman için uygulanacak planlı bakım aktiviteleri sayesinde, ekipmanın ilk yaşındaki gibi firesiz çalışacağı düzeye getireceğini düşünmek gerekir. Bu nedenle hesaba katılması gereken iskarta / çöp maliyetleri, ekipmanın nominal çalışma anında ortaya çıkan firenin maliyetidir. Yeni ekipmanda tahmin edilmesi en zor parametrelerden biri budur. Bunun için yalnızca imalatçının iddialarını hesaba katmak yetmez. Bunun yanında referans göstereceği bir firmadan bu verileri almak gerekecektir.

3.1.6 Ekipmanın Devreden Çıkarma Maliyeti

Ekipmanın değişimi sırasında (demontaj, stoklama, üretim kaybı vs.) oluşacak kayıpların maliyetidir.

3.1.7 Ekipmanın İkinci El / Hurda Satış Fiyatı

Ekipmanın değişiminden sonra ikinci el ya da hurda kapsamında tahmini fiyatı hesaplamaya pozitif katkı sağlayacaktır.

Bu ekipmanı mutlaka elden çıkaracağınız anlamına gelmez, ancak bir varlığı boşa çıkarmak pozitif anlamda bir katkı sağlamış olur.

3.1.8 Yeni Ekipman Tahmini Maliyetleri

Yukarıda bahsedilen ekipman maliyetlerinin çoğu yeni ekipman için de söz konusudur. En büyük fark yeni ekipmandaki özellikle bakım ve iskarta/çöp maliyetlerinin bir yaklaşım ile tahmini olarak hesaplanma zorluğudur. Temel olarak üretici firmanın verileri üzerinden hesaplanır. Ekipmanın hangi periyotta, hangi bakımlarının yapılacağı, ne kadar işçilik kullanılacağı, hangi yedek parçalarının değişeceği bilgileri kolayca alınabilir. Ancak ne kadar arızaya neden olacağı ve ortaya çıkacak fire miktarı (eğer bir referans yoksa) bir yaklaşım ile tahmin edilmelidir.

Eğer yenilemeye karar verilen ekipmanın aynısının (geliştirilmemiş olduğunu da kabul ederek) yenisi tedarik edi-

lecekse ve bununla ilgili, ilk yaşından itibaren tüm veriler bulunuyorsa, en gerçekçi verilere ulaşılmış demektir. Kusursuz bir YDMA hesaplanabilir.

3.2. Yaşam Döngüsü Maliyetinin Hesaplanması

Yukarıda belirlenen veriler ne kadar gerçekçi ise yaşam döngüsü maliyet hesabı ve sonrasında verilecek yatırım kararı o kadar doğru olur. Bir ekipman yatırımın zamanlamasını optimal bakım yaklaşımı grafiğinin yanında elbette ki dönemin ekonomik koşulları da etkiler. Bu nedenle hesaba işlemenin belirleyeceği bir iskonto oranı ve marjinal kurumlar vergisi oranı da dahil edilmelidir.

Öncelikle mevcut ekipmanın tüm işletme maliyeti, belirlenecek tahmini fiyat artışları ile birlikte ekonomik ömrü boyunca hesaplanır. Buna devreden çıkarma maliyeti negatif, ikinci el / hurda satış maliyeti pozitif yönde ilave edilir. Aşağıdaki gibi yıl bazında maliyet tablosu oluşur:

Tablo 1. Mavcut Ekipman Yıl Bazında Maliyet Tablosu

Dönem	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	6.Yıl	7.Yıl	8.Yıl	9.Yıl	10.Yıl
Net Nakit Akışı	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10

Yeni alınacak ekipmanın da tahmini işletme maliyeti hesaplanır. Buna ilk alım maliyeti, nakliye, devreye alma maliyeti, sigorta gibi ek maliyetler ilave edilir. Aşağıdaki gibi yıl bazında maliyet tablosu oluşur:

Tablo 2. Alternatif (Yeni) Ekipman Yıl Bazında Maliyet Tablosu

Dönem	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	6.Yıl	7.Yıl	8.Yıl	9.Yıl	10.Yıl
Net Nakit Akışı	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10

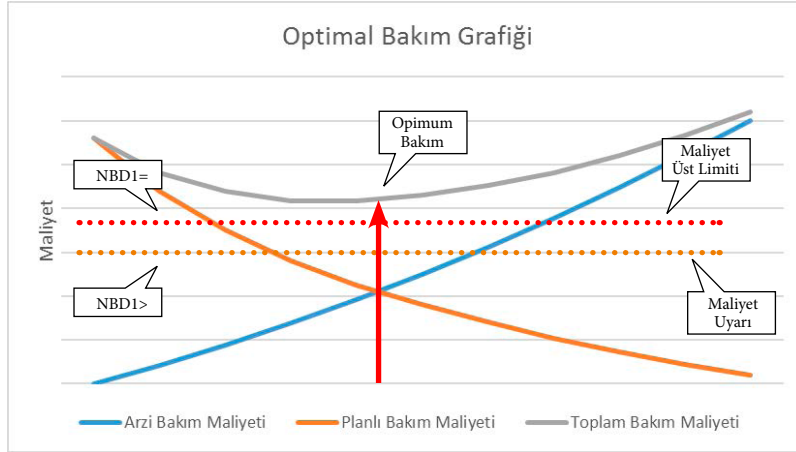
Her iki alternatif net nakit akışı tablosundan her birinin kendi net bugünkü değerleri (NBD) hesaplanır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır:

$$NBD = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} - c$$

R_t : Yıl Bazında Net Nakit Akışı
C : Yatırım Tutarı
i : İskonto Oranı

Formül sonucunda her iki alternatifin bugünkü değerleri ortaya çıkar. Bu değerlerin birbiri ile eşit olduğu durum, ekipmanın tüm özellikleri ile geliştirilmeden aynıının yenisinin alındığı durumlarda; yani yalnızca bakım maliyetlerinin değerlendirileceği durumlarda; optimal bakım grafiğindeki üst maliyet limitini işaret etmektedir.

Bir diğer deyişle, NBD 'ler eşit olduğu andaki bakım maliyetlerini oluşturan planlı bakım ve arıza bakım dengesi, en üst maliyet endeksindedir. Artık bunun üzerindeki her bakım maliyeti yanlış verilen yatırım kararı sonucunda şirketin kasasından çıkan fazla parayı işaret eder.



Şekil 2. Optimal Bakım Grafiği ile NBD İlişkisi

Özetle, maliyet üst limitinde, NBD1, NBD2 'ye eşit durumdadır. Maliyet uyarı limitinde ise henüz NBD1, NBD2 'den daha büyüktür. Tam da bu noktanın, yani ekipman tedariki için gerekli zaman marjının belirlenmesi, yukarıda da bahsedildiği gibi ekipmana ve işletmeye göre değişir.

4. Yeni Yatırımlarda Yaşam Döngüsü Maliyet Analizinin Kullanımı

Yukarıda temelde bakım maliyetleri nedeni ile ekipmanın yenisinin ne zaman alınacağına dair karar verebilme yönteminden bahsedilmiştir. Ancak bunun dışında, aşağıdaki durumlarda da YDMA metoduna başvurulmalıdır:

- Yeni hat / üretim tesisi yatırımlarında
- Ekipman ilavesi ile gelişen kapasite artırma yatırımlarında
- Otomasyon yatırımlarında
- Sözleşmeli ekipman tedarikçilerinin belirlenmesinde, vb.

Kısacası her yeni ekipman alımında bu bildiriye bahsedilen metoda başvurulabilir. Satın alma departmanları ilk alım maliyetleri üzerinden hızlıca karar vererek tedarikçinin gerçekleştirilmesini sağlıyor olabilir. Ancak ekipmanı alırken, ömrü boyunca işletmeye ne gibi maliyetlerinin oluşacağını hesaplamak ve bununla birlikte ilk alım maliyetlerini değerlendirmek gerekmektedir. Bu işletmedeki teknik insanların önceliğinde olmalıdır.

5. Sonuç

Bir İngiliz atasözü "ucuz şey alacak kadar zengin değilim" der. İlk bakışta görece yüksek ilk alım maliyeti ile geç kalınmış yatırım kararları, operasyonel olarak çok daha pahalıya mal olabilir. Bunun optimizasyonu ise doğru zamanda doğru kararı almakla sağlanır.

Teknik sorumlular işletmesindeki ekipmanları tanımalı, onları takip etmeli, ömrünün hangi aşamasında olduklarını bilmeli ve buna göre, doğru zamanda yatırım kararı alabilmelidirler.

Ekipmanın ömür döngüsünün kontrolü için farklı yaklaşımlar ortaya çıkabilir. Yukarıda bahsedilen yöntem ilgililere yalnızca bir yol göstermeyi amaçlamıştır.

6. Kaynaklar

- [1] DAYA, M. B., DUFFUA, S. O., RAOUF, A., KNEZEVIC, J., AIT D., “Handbook of Maintenance Management and Engineering”, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009.
- [2] ÖTEYAKA, H. C., “Optimal Zamanda Planlı Bakım Yapılması”, 2011.
- [3] ERDOĞAN, E., “Planlı Bakımda Optimizasyon”, 2011.
- [4] JOHNSON, L. “PM Optimization”, 2004.

7. Özgeçmiş

Emrah ERDOĞAN

1978 yılı Eskişehir doğumludur. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılından itibaren 4 yıl süreyle İzmir’de çeşitli şirketlerde proje, satış ve bakım destek birimlerinde çalışmıştır. 2007 yılında Eskişehir Hidropar Ltd. Şti.’nde hidrolik ve pnömatik alanında proje mühendisi olarak görev almıştır. Ekim 2007 ‘de Eti Şirket Grubu bünyesinde Bakım Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2010 – 2012 yılları arasında Proje Mühendisi ve 2018 yılına kadar Bakım Yöneticisi ve Proje Yöneticisi görevlerini yapmıştır. 2018 yılından günümüze kadar Yatırımlar ve Proses Geliştirme Müdürü olarak görev almaktadır.

Eti ‘de TPM uygulamaları ile sıfır arıza yaklaşımı, buna yönelik iyileştirmeler, bakım metodolojisi geliştirme, yeni teknolojilerin fizibilitesi ve uygulamaları, kapasite artırma, maliyet azaltma, otomasyon, yeni ürün prosesleri tasarlama, teknoloji geliştirme ve Ar-Ge konularında çalışmaya devam etmektedir.



YEŞİL BİNALARDA MEKANİK SİSTEMLERİN COMMISSIONING SÜRECİNDE SİSTEM KULLANIM KILAVUZLARI

¹Berk Kurtuluş, ²Ufuk Yeni, ³Murat Özcan, ⁴Ümit Yıldırım, ⁵Erdinç Duran

¹Commissioning Mühendisi, Doseme Mh. 60075 Sok.
Panora Plaza K:6 D:4I 01060 Seyhan/Adana, berk@incoma.com.tr

²Commissioning Uzmanı, ufuk@incoma.com.tr

³Commissioning Mühendisi, murat@incoma.com.tr

⁴Commissioning Mühendisi, umit@incoma.com.tr

⁵Commissioning Mühendisi, erdinc@incoma.com.tr

Özet

Sistem kullanım kılavuzları, bir bina içerisindeki sistemleri ve montajları anlamak, işletmek ve bakımını yapmak için gereken detay bilgileri içermektedir. Bu bilgilerin erişimi ve tüm paydaşlar tarafından rahat bir şekilde anlaşılması gerekmektedir, çünkü işletmenin operasyonel anlamda zaman kaybına uğramaması ciddi bir kayıptır. Özellikle enerji verimli ve işletme maliyetleri düşük tasarlanmış ve ona göre imali gerçekleştirilmiş yeşil binaların sistemlerinin yer aldığı kullanım kılavuzlarında, birçok önemli detay atlanmadan içeriklerinde yer verilmelidir. İşverenin projeye yönelik gereksinimlerinden başlayarak anahtar teslimi ve ardından işletmeye dahil olmak üzere olarak diye de tarif edilebilecek commissioning sürecinin geleneksel dökümantasyon haricinde; kapsamı daha geniş, proje sahibi olan işverenin ihtiyaç programından başlayarak sistem tedarikçi iletişim bilgilerine kadar kapsayan süreci içeren birçok belgeyi de içermelidir. Bu çalışmada yeşil bina sistemlerinin kim tarafından kimlere yönelik hangi sistemlerin bakım, onarım ve işletme açısından gerekli ve öz dökümantasyon sistemi hazırlanması gerektiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: yeşil bina, commissioning, kullanım kılavuzları.

1. Giriş

İnşaat endüstrisi, toplum üzerinde önemli çevresel, sosyal ve ekonomik etkilere sahiptir. Bu etkileri, inşaat endüstrisinin temel çıktılarında biri olan binalar, bina ömürleri -yaşam döngüleri- boyunca büyük ölçüde yansıtmaktadır. İnşaat faaliyetlerinin olumlu etkilerinin arasında; insanın gereksinimlerini karşılamak için kaliteli bina ve tesisler sağlamak, doğrudan veya dolaylı olarak istihdam olanakları sağlamak (inşaat sektörüyle ilgili diğer endüstriler aracılığıyla) ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak yer almaktadır [1].



Yeşil bina hakkında dünya çapında ve özellikle nispeten ülkemizde artan bir toplum bilinci oluşmaktadır. Bununla birlikte, yeşil bir binanın ne olduğu veya yeşil binanın neleri kapsamı gerektiği konusunda özellikle gelişmiş ülkelerde geniş tartışmalar yaşanmıştır ve yaşanmaya da devam etmektedir.

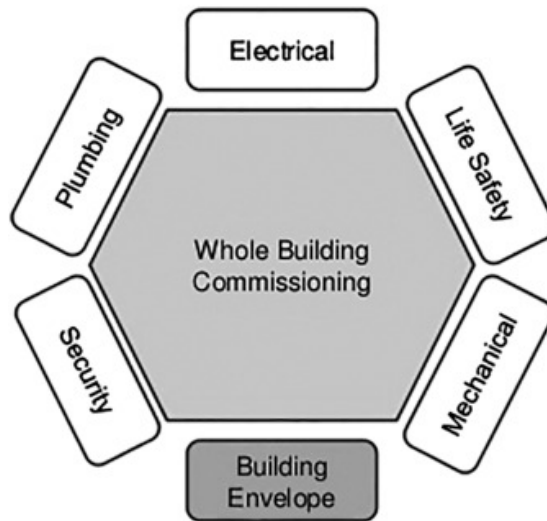
Bu kapsamda dünyada en yaygın kullanılan Yeşil Bina Sistemleri'nin başında gelen United States of Green Building Council (USGBC) tarafından ortaya konulan LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Sertifika sistemi kapsamında yukarıda bahsedilen çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerin sistematize edilmiş bir biçimde düzenli yaklaşımlarda bulunması, binaların yüksek kalitede olmasına olanak sağlamaktadır. Binaların sadece tasarım veya inşaat aşamalarında çeşitli sorunlarla karşılaşılmamaktadır. Önemli noktalardan birisi de projenin tamamlanma noktasına doğru ilerlenildiğinde, commissioning sürecinin bir parçası olarak; bina sistemlerinin montajından sonra, kalite kontrol, çalıştırma, ön kontrol, fonksiyon ve performans testlerinin yapılması, otomasyon ile ilişkisinin tutarlılığının gösterilmesi ve varsa noksanlıkların tespit edilmesi ve bina sistemlerinin kullanım şeklinin bina işletmecilerine/operatörlerine yönelik açıkça ortaya konulması gerekmektedir [2]. Bu açıdan bakıldığında sistem kılavuzlarının ileride yaşanacak muhtemel iş kayıplarının önüne geçilmesi için geniş, tutarlı ve anlaşılır bir şekilde hazırlanmalıdır. Bu çalışmada yeşil bina perspektifinde sistem kullanım kılavuzlarının yeri ve önemi irdelenecektir.

2. Yeşil Binalarda Commissioning

Commissioning, bir projenin teslim edilmesini geliştirmek için kalite odaklı bir süreçtir. Süreç, tesisin ve tüm sistemlerinin ve montajlarının planlandığını, tasarlandığını, kurulduğunu doğrulamaya ve belgelemeye odaklanır, ilk başlangıçtaki proje sahibinin gereksinimlerini karşılayacak şekilde test edilmiş, işletilmiş ve bakımı yapılmış şekilde sunumun yapılmasıdır.

Komple bu sürecin bütüncül bir yaklaşımla tüm ilgili disiplinleri birarada tutan ve bina devreye alma sürecini uygulamak için ekipleri yönlendiren, planlayan, programlayan ve koordinasyonu sağlayan, proje sahibi tarafından dahil edilmiş bir işletme olan Commissioning Uzman Kuruluşu; tüm aşamaları, bina devreye alma işleminin organizasyonu, zamanlaması, kaynakların tahsisi ve dokümantasyon gerekliliklerini ana hatlarıyla açıklayan bir Commissioning Planı kapsamında gerçekleştirir [3].

Ortaya konulan Commissioning Plan içerisinde mekanik, yangın, elektrik, borulama, güvenlik ve bina cephe sistemleri esas alınır [4].



Şekil 1. Bütüncül bina commissioning yaklaşımı

3. Leed Sertifikasyon Sistemi'nde Commissioning

Uluslararası alanda kabul edilmiş ve ülkemizde de benimsenmiş enerji ve çevresel konulardaki en güncel derecelendirme sistemlerinden biri olan LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) sertifikasyon sistemi birkaç başlıktan oluşmakta ve puanlama sistemine göre seviyesi oluşmaktadır. Toplamda 110 puan üzerinden değerlendirilmektedir [5].



Şekil 2. Puanlandırmaya göre sertifika seviyeleri

Puanlandırma başlıklara göre proje kapsamında yerine getirildikçe seviyeler belirtilmektedir.



Şekil 3. LEED Ana Başlıkları [6]

Bu başlıkların içerisindeki puan dağılımı ise Tablo 1.'deki gibi gerçekleşmektedir:

Tablo 1. LEED Kredi Başlıklarının Puanları

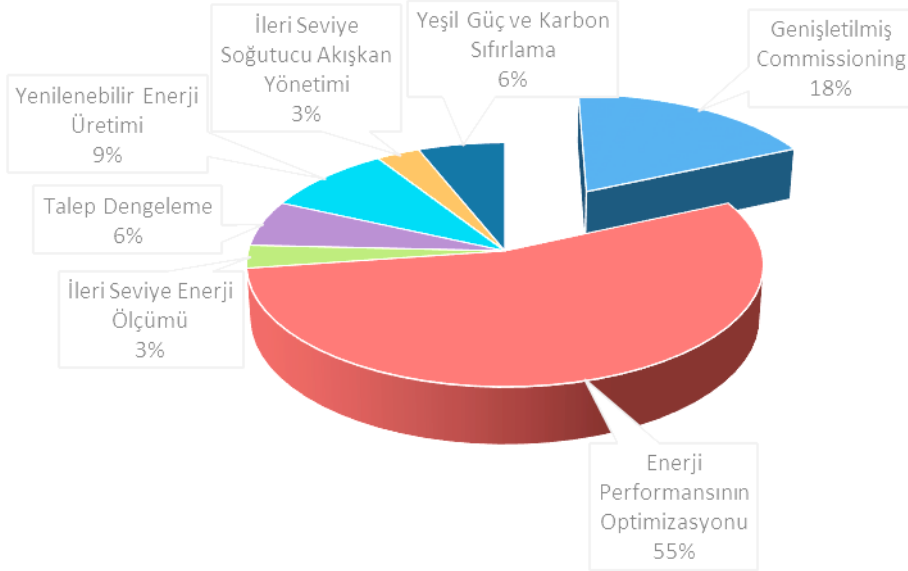
Kredi Başlığı	Puan
Bütünleşik Süreç Yönetimi	1
Yer Seçimi ve Ulaşım	16
Sürdürülebilir Araziler	10
Su Verimliliği	11
Enerji ve Atmosfer	33
Malzemeler ve Kaynaklar	13
İç Mekan Kalitesi	16
İnovasyon ve Bölgesel Öncelik	10
Toplam Puan	110

Kredi başlıklarına göre puanlamada Enerji ve Atmosfer başlığı yaklaşık tüm puanların 1/3'ünü oluşturmaktadır.

Bir LEED projesinin başarısı, doğrudan Temel Bina Sistemleri'nde Commissioning ön koşulunun yerine getirilmesine ve bina projesinin LEED Sertifikasyonuna doğru ilerlerken Genişletilmiş Commissioning kredisinin nasıl elde edilmesi ile doğrudan ilişkilidir [7].

LEED Sertifikasyon sistemi başta Amerikan Standartları olmak üzere Avrupa ve İngiltere Standartları ile bağımsız kuruluşlar tarafından ortaya konulan yüksek kalitedeki yönergeleri takip etmektedir. Her geliştirdiği versiyon ile bu standartların da güncellenmesini sağlar. LEED Versiyon olarak şu anki güncel proje kayıtları 4.0 ve 4.1 ile gerçekleştirilmektedir.

Commissioning başlığı LEED Sertifika Sistemi'nde Enerji ve Atmosfer başlığı içerisinde yer almaktadır. Aslında birçok başlıktaki çeşitli kredilere doğrudan veya dolaylı olarak etkileri olsa da LEED Derecelendirme Sistemi'nde iki başlıkta direkt olarak etkisini göstermektedir. Yalnız bu anlamdaki Commissioning, mekanik sistemler üzerindeki commissioning olarak da düşünülebilir; çünkü mekanik sistemler ile bağlantılı olduğu elektrik sistemleri ve otomasyon sistemi ile daha dar bir çerçevede kapsamı gerçekleşmektedir.



Şekil 4. Genişletilmiş Commissioning kredisinin Enerji ve Atmosfer başlığındaki yüzdesel dağılımı

4. Sistem Kullanım Kılavuzları

LEED Sertifikasyon sistemi içerisinde iki noktada bakım ve onarım aşamaları görülmektedir. Esasında işletme tarafı için tasarım ve inşaat aşamasından itibaren yönlendirme başlamaktadır. LEED Sertifikasyon sistemi içerisinde Enerji ve Atmosfer Başlığı'nda bir ön koşul olan başlıkta ve puan kazanılan kredi başlığında sistem kullanım kılavuzları belirmektedir.

İşletme ve bakım (O&M) planı; cihazların ve sistemlerin düzgün çalışmasını ve bakımını göstermek için gerekli büyük sistem işletme parametrelerini ve sınırlarını, bakım prosedürlerini ve programlarını, dokümantasyon yöntemleri ile belirten bir plandır.

Sistem kılavuzu, bir bina içindeki sistemleri ve montajları anlamak, işletmek ve bakımını yapmak için gereken bilgileri sağlamaktadır. Geleneksel işletme ve bakım dokümantasyonunun kapsamını genişletir ve proje sahibinin gerekliliklerini, işletme ve bakım el kitapları ile işletme basamakları gibi işletmeye alma sürecinde geliştirilen birden fazla belgeden oluşmaktadır.

Temel Commissioning ve Doğrulama

Binayı verimli bir şekilde işletmek için gerekli bilgileri içeren mevcut tesis gereksinimlerini ve işlemlerini ve bakım

planını hazırlanması gerekmektedir. Bu planın sürdürülmesi sağlanarak; binayı verimli bir şekilde işletmek için gerekli bilgileri içeren mevcut tesis gereksinimlerini (CFR) ve işletme ve bakım (O&M) planını hazırlanır. Bu bilgiler İşveren Proje Gereksinimleri, Temel Tasarım İlkeleri ve Fonksiyonel Test Senaryoları'nda ele alınmaktadır, ancak ekipman operasyonlarından ve bakım kılavuzlarından daha fazla bilgi alınabilir.

Bakım planı aşağıdaki maddeleri içermelidir:

- Binanın işletme adım basamakları
- Bina kullanıcı yoğunluk saatleri
- Ekipmanların çalışma zamanı programları
- Tüm HVAC ekipmanları için ayar noktaları
- Bina boyunca aydınlatma seviyelerini belirlenmesi
- Minimum dış hava gereksinimleri
- Farklı mevsimler, haftanın günleri ve günün saatleri için programlarda veya ayar noktalarında herhangi bir değişiklik
- Mekanik ve elektrik sistemleri ve ekipmanlarını tanımlayan bir sistem anlatısı
- Sistem açıklamasında açıklanan bina ekipmanı için önleyici bakım planı ve
- Periyodik devreye alma şartlarını, devam eden devreye alma görevlerini ve kritik tesisler için sürekli görevleri içeren bir programı.

Genişletilmiş Commissioning

Proje sahibinin enerji, su, iç ortam kalitesi ve dayanıklılık konusundaki proje gereksinimlerini karşılayan bir projenin tasarımını, yapımını ve nihayetinde çalışmasının desteklenmesidir.

- Yönetici özeti
- Proje sahibinin ihtiyaç programı
- Temel tasarım ilkeleri
- Sistem tek hat şemaları
- İnşaat kayıt belgeleri ve şartnameleri
- Malzeme sunumları
- As-built çizimler
- Revizyonları gösteren yapılmış işlem sırası
- Tüm sistemler için orjinal ayar noktaları
- Yeniden commissioning (re-commissioning) için ekipmanların çalışma program takvimi tavsiyeleri
- Yeniden sensör kalibrasyonu için cihazların çalışma program takvimi tavsiyeleri
- Ekipman işletme prosedürleri ve bakım kılavuzları
- Önleyici bakım programları
- İşletme ve operatörler için tamamlanmış eğitim onayı
- Devam eden sistem optimizasyon prosedürleri
- Nihai commissioning raporu (işletmeye alma)



Genişletilmiş Commissioning kapsamında yukarıdaki maddelere göre bakım, onarım ve işletme süreci ile ilgili önemli başlıklar aşağıda sunulmuştur:

Eğitim

Eğitim programının, tüm devreye alınmış ekipman için proje sahibinin gereksinimlerine göre tamamlandığının onaylanması gerekmektedir.

Binanın işletme personelinin ekipman ve sistemleri kullanma konusunda tam bilgili olmasını sağlamak için eğitim alması gereklidir. Ekipman üreticileri ile yükleniciler arasındaki bilgi birikiminin işletme operatörlerine aktarılması gerekmektedir.

İyi bir eğitim programı, tüm yeni HVAC&R ekipmanlarını ve ilgili kontrolleri, ayrıca otoamsyon ekipmanını ve yazılımını kapsar.

Eğitimin, bina mühendisliği ekibinin binayı işletmenin en etkili ve verimli yolunun izlenmesine yardımcı olmak için tüm işletme senaryolarını kapsamaması gerekmektedir.

ASHRAE Rehberi 0-2005'te belirtildiği gibi, iyi bir eğitim programı aşağıdakileri ele alacaktır:

- Acil durum talimatları ve prosedürleri
- Çalıştırma talimatları ve prosedürleri
- Sorun giderme prosedürleri
- Bakım ve muayene prosedürleri
- Onarım prosedürleri
- Sistem el kitabının ve ilgili bakım dokümantasyon kayıtlarının bakımı

İnşaat sonrası belgelerin teslim edilmesi

İnşaat sürecinin tamamlanması ile birlikte işletmeye sorunsuz bir geçiş sağlamak için bina kullanıcılarının geçmesinden önce gerekli işletme belgelerinin ve raporlarının hazırlanması gerekmektedir. Commissioning Uzmanı tarafından tüm dökümantasyonun onayına sunulmasına gerekmektedir:

- Tüm devreye alınmış ekipmanlara ilişkin işlemler ve bakım kılavuzları dahil, güncel sistemler el kitabı
- Tüm devreye alınan sistemlerde operatör eğitimi dokümantasyonu
- Tamamlanmış fonksiyon ve performans test raporları
- Sorunların detaylandırıldığı güncel konular günlüğü
- Devreye alma tarihine kadar tamamlanan, mevsimsel test planını, 10 aylık operasyonel inceleme planını ve ilk devreye alma işleminden sonra tespit edilen açık konuların ele alınmasını planlayan commissioning planı

Bina kullanıma açıldıktan 10 ay sonra bina operasyonlarının gözden geçirilmesi

Binanın işletme sahibinin gereksinimlerine göre işletilmesini sağlamak için bina kullanıma açıldıktan sonra 10 aylık bina işlemlerinin gözden geçirilmesi önerilmektedir:

- Operasyon ve bakım personeli ile yapılan görüşmeler
- Bina kullanıcıları ile yapılan görüşmeler
- Devreye alma ile ilgili sorunların durumu
- EA Ön Koşul Temel Commissioning'in bir parçası olarak belgelenen operasyonlar ve bakım planı ile mevcut operasyonların karşılaştırılması
- Gerektiğinde takip fonksiyonel performans testi
- Bina otomasyon sistemi, sistem alt sayaçları veya tüm bina hizmet sayaçları ile belirtildiği gibi, bina operasyonlarındaki eğilimlerin ortaya konulması

5. Sonuç

Bir yapının proje sahibinin isteklerini karşılayacak şekilde temel tasarım ilkeleri doğrultusunda yüksek kaliteli tasarımının oluştuktan sonra; malzeme seçimleri ile inşai sürecin yüksek kalitede ilerlemesi ile işletmeye devredilme aşamasında dikkat edilmesi gerekmektedir. Nihai anlamda bina işletmecilerine yönelik tüm dökümantasyonun sistematik ve düzenli bir şekilde teslim edilmesi gerekmektedir.

Tablo 2. Commissioning Uzmanı ile Bina Operatörlerinin işletme safhasındaki sistemler için görev dağılımı

Aşama	Commissioning Görevi	Sorumlular	Temel Commissioning	Genişletilmiş Commissioning
Kullanıcı ve İşletme Safhası	Commissioning raporu	Commissioning Uzmanı	✓	✓
	İşletme ve Bakım Planının Hazırlanması	Commissioning Uzmanı	✓	✓
	Sistem kılavuzlarının finalize edilmesi	Commissioning Uzmanı		✓
	Sezonsal testlerin performansı	Commissioning Uzmanı, Bina Operatörleri		✓
	10 ay sonraki gözden geçirme	Commissioning Uzmanı, Bina Operatörleri		✓
	Devam eden Commissioning planının geliştirilmesi	Commissioning Uzmanı, Bina Operatörleri		✓

Günümüzde önemi gün geçtikçe anlaşılan commissioning süreci, işverene veya yüklenicilere sorun çıkartmak için değil tam tersine bütünlendirici bir yaklaşım göstererek sağlıklı ve verimli bir işletme dönemine doğru çıkılan basamakların ilk adımındır.

6. Kaynaklar

- [1] Zuo, J. ve Zhao, Z., Green Building Research—Current Status and Future Agenda: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (30), 271-281, 2014.
- [2] ASHRAE Standard 202_2013, Commissioning Process for Building and Systems, 2013.
- [3] ASHRAE Standard 189.1, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings, 2011.
- [4] Kubba, S. Handbook of Green Building Design and Construction LEED, BREEAM, and Green Globes Book 2nd Edition, pp. 621-659, 2017
- [5] Berning, M. ve Grunenwald, B. How to Achieve LEED Certification for Commissioning Projects, National Conference on Building Commissioning: May4-6, 2005.
- [6] <https://www.igbc.ie/certification/leed/>
- [7] Jones, B., Sustainability in Construction: a LEED Primer, Southface Responsible Solutions For Environmental Diving.
- [8] LEED Reference Guide for Building Design and Construction Version 4.



PROFESYONEL, KALİTELİ, ZAMANINDA BAKIM!

Sarmak, satış sonrası hizmetler ile daha verimli ve uzun ömürlü kompresörler sunar.



Genel bakım ve servis Sarmak Hava Kompresörü ve ekipmanlarınızın garanti süresi sonrasında da en sağlıklı şekilde çalışmasını temin etmek için "bakım sözleşmeleri" opsiyonumuzdan yararlanabilirsiniz. Uygun fiyat koşullarıyla uzun süreli bakımları buluşturan bu avantajdan yararlanarak; hava kompresörü ve ekipmanlarınızın uzun ömürlü olarak kalmasını orijinal üreticisi olarak bize bırakın.