tmmob
makina mühendisleri odası

20-22 EKİM
2022
DENİZLİ / TÜRKİYE

20-22 October
2022 Denizli / Turkey

X. Uluslararası Katılımlı Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi

Xth INTERNATIONAL MAINTENANCE TECHNOLOGIES CONGRESS AND EXHIBITION

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ KONGRE VE KÜLTÜR MERKEZİ / DENİZLİ

bakımda dijitalleşme ve dijitalleşmede bakım

BİLDİRİLER KİTABI

TMMOB Makina Mühendisleri Odası Denizli Şubesi | Tel: 0 258 263 36 38
E-posta: bakimkongresi@mmo.org.tr | URL: http://www.bakimkongresi.org
Sırakapılar Mahallesi Saltak Caddesi No:83 Merkezefendi / DENİZLİ

Yayın No: E/MMO/735 E

btks 2022

X.

Uluslararası Katılımlı Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi

Bakımda Dijitalleşme ve Dijitalleşmede Bakım

btks 2022

BİLDİRİLER KİTABI

BTKS | 20-22 EKİM 2022
DENİZLİ | TÜRKİYE

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI 1954

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

Yayın No: E/MMO/735 E
ISBN No: 978-605-01-1546-8

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.

EKİM 2022 / DENİZLİ / TÜRKİYE
October 2022 / DENIZLI / TURKEY

KONGRE AMACI

AIM OF CONGRESS

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 sisteme bakım yapılması gerekir. Bakım, ciddi bir mühendislik çalışmasıdır.

Bakım mühendisliği, bilim ve teknolojiye paralel gelişmektedir. Dijitalleşen sistemlere etkili bakım yaklaşımları geliştirmek ve bakım yöntemleri içerisinde dijitalleşmeyi kullanmak kaçınılmazdır. Bu nedenle Kongrenin teması "Bakımda Dijitalleşme ve Dijitalleşmede Bakım" olarak belirlenmiştir.

Makina Mühendisleri Odası, Uluslararası Katılımlı Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi (BTKS)'nin onuncusunu Denizli'de 20-22 Ekim 2022 tarihlerinde düzenleyerek, bakım sektörü ile ilgili tarafları bir araya getirmeyi ve bakım konusundaki bilgi birikiminin gelişimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Makina Mühendisleri Odası tarafından bundan önce düzenlenen 9 kongrede, bakım ve bakımın önemi tartışılmış, bakım konusunda gelinen nokta ve yenilikler ele alınmış ve bakım mühendisliği alanında çok önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu bakımdan, Uluslararası Katılımlı Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi bütün dünyada bu alanda çalışan herkesin buluştuğu ve bakım alanında gelinen yeniliklerin tartışıldığı bir kongredir.

Sanayi devrimleri ile sürekli bir gelişme içinde olması, bakım mühendisliğini neredeyse tüm mühendislik dallarının ortak alanı haline getirmiştir. Bu nedenle BTKS, tüm sektörlere, ürünlere, hizmetlere ve tüm mühendislik dallarına açık bir platformdur.

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

X. BTKS Yürütme Kurulu

BİLDİRİ KONULARI

PROCEEDINGS SUBJECTS

- Sürdürülebilir Biyogüvenlikli Sistemlerin Tasarımı
- Biyogüvenlik için Bakım Teknikleri
- Bakımda Nesnelerin İnterneti
- Bakımda Otomasyon Sistemleri
- Otomasyon Sistemlerinin Bakımı
- Yağ Analizi İle Kestirimci Bakım
- Bakımda Yağlama
- Bakım Sistemlerinde Büyük Veri Yönetimi
- Bakım Yönetiminde Yapay Zeka Kullanımı
- Güvenilirlik Mühendisliği
- Bakımcı, Bakım Mühendisi Yetkinliği ve Bakım Teknikleri
- Toplam Üretken Bakım (TPM)
- Dünyada ve Türkiye'de Bakım Mühendisliği
- Bakımda İşçi Sağlığı ve Güvenliği

KONGRE PROGRAMI

CONGRESS PROGRAMME

X. ULUSLARARASI KATILIMLI BAKIM TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ VE SERGİSİ - PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ - DENİZLİ - TÜRKİYE
(X. International Maintenance Technologies Congress and Exhibition - Pamukkale University - Denizli - TURKEY)

Program 20,21,22 Ekim 2022
(Program 20,21,22 October 2022)

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)
20 Ekim 2022 / Perşembe *(20 October 2022 / Thursday)*		09:00-09:30	HOŞGELDİNİZ / KAYIT *(REGISTRATION)*			
		09:30-09:40	AÇILIŞ GÖSTERİSİ *(OPENING SHOW)*			
		09:40-10:10	AÇILIŞ KONUŞMALARI *(OPENING SPEECHES)*			
	1. Oturum (Session 1)	10:10-11:50	**AÇILIŞ KONFERANSI** PLANLI BAKIM YÖNETİMİ NEDİR VE DİJİTAL BAKIM YÖNETİMİNE NASIL GEÇİŞ YAPILIR? *Ömer TEKİN* Obeya Akademi			
		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- 13:50	**OTURUM BAŞKANI: YUNUS YENER - MMO YÖNETİM KURULU BAŞKANI** YAPAY ZEKA VE BÜYÜK VERİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN BİR KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI *Dr. İzzet Y. ÖNEL, İhsancan ÖZPOYRAZ, Berk BARIŞ* KoçDigital		**SHOCK PULSE METHOD İLE ERKEN HASAR ANALİZİ VE ENDÜSTRİDE PROSES OPTİMİZASYONU** *Atanur DÜNDAR* **DMT MAKİNA**	**PNÖMATİK OTOMASYON** *Yaşar MUTLU* **SMS TORK**
		13.50-14.10	BAKIMDA NESNELERİN İNTERNETİ VE UÇAK BAKIMDA SANAL GERÇEKLİK/ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI *Prof.Dr. Melih Cemal KUŞHAN, Mehmet Cemal DEĞERLİ, Doç.Dr. Özlem ŞAHİN, Doç.Dr. Işıl YAZAR* Eskişehir Teknik Üni., Eskişehir Osmangazi Üni.			
		14.10-14.30	SU TEMİNİ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMİŞ GÜVENİLİRLİĞİ İÇİN KAMU HİZMETLERİ KURULU'NDA SÜRDÜRÜLEBİLİR KESTİRİMCİ BAKIM *Ahmet DUYAR* Artesis		**BASINÇLI HAVA/GAZ VE VAKUM HATLARINDA YENİ NESİL SES KAMERASI** *İclal KURT* **DMT MAKİNA**	
		14:30-14:50	BİLGİSAYAR DESTEKLİ ENTEGRE BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ *Doç.Dr. İlhami ORAK, Dr.Emrullah ÇAYIR, Burak ESEN* Karabük Üniversitesi, Teknoplan Mühendislik			
		14:50-15:10	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** *(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)*			
	3. Oturum (Session 3)	15:10-:15:30	**OTURUM BAŞKANI: BEDRİ TEKİN - MMO YÖNETİM KURULU SAYMANI** MEDİKAL CİHAZLARIN BAKIMINDA BULUT BİLİŞİM TABANLI ÇÖZÜM ÖNERİSİ *Pınar ASLAN YILDIRIM, Özkan HİZAROĞLU, Prof.Dr.Adnan AKKURT* Gazi Üniversitesi		**EKSEN AYARINDA STABİL VE DOĞRU ÖLÇÜM İÇİN LAZER TEKNOLOJİSİ** *Ahmet YÜCE* **DMT MAKİNA**	**BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE DİJİTALLEŞME VE ENDÜSTRİ 4.0** *Serkan DURSUN* **Kaeser Kompresörleri Servis Müdürü** **KAESER KOMPRESÖR - TOPKAPI ENDÜSTRİ**
		15:30-15:50	BÜYÜK ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE BAKIM YÖNETİMİ *Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN* İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.			
		15:50-16:10	YÜKSEK BASINÇ TEZGÂHLARI DİJİTALLEŞME – GELİŞTİRME – VERİMLİLİK ARTIŞI *Ömer HAKİ* Bosch A.Ş.			
		16:10-16:30	ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE YARDIMCI TESİSLERİN DİJİTAL DÖNÜŞÜM ADIMLARI *Özgün Emre GÜNGÖR, Özgün KOŞDERE* ETİ Şirketler Grubu			
		16:30-16:50	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** *(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)*			
	4. Oturum (Session 4)	16:50-17:10	**OTURUM BAŞKANI: PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK** BİR KABLO FABRİKASI BAKIM YÖNETİMİNDE ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN İNCELENMESİ *Prof.Dr. Cemal MERAN, Köksal İLHAN, Aleyna YAVAŞ, Emine KARAHAN, Şeyma BÜKE* Pamukkale Üniversitesi, NEXANS			**BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE DİJİTALLEŞME VE ENDÜSTRİ 4.0** **Serkan DURSUN** **Kaeser Kompresörleri Servis Müdürü** **KAESER KOMPRESÖR - TOPKAPI ENDÜSTRİ**
		17:10-17:30	TEL ÇEKME MAKİNASINDA OTONOM BAKIM *Prof.Dr. Cemal MERAN, Ömer EREN, Baki Can TÜFEKÇİ, Veysel KAYA, Yusuf ŞENYILDIZ* Pamukkale Üniversitesi, NEXANS			
		17:30-17:50	KABLO ZIRH-BÜKÜM MAKİNESİNDE OTONOM BAKIM UYGULAMASI *Prof.Dr. Cemal MERAN, Köksal İLHAN, Uğurcan AVCI, Yasin SUSAR, Gülsüm GÜLER, Burak ÇALHAN* Pamukkale Üniversitesi, NEXANS			
		18:00-20:00	**KONGRE AÇILIŞ KOKTEYLİ (1.KAT SERGİ SALONU)** *(CONGRESS OPENING COCKTAIL - FIRST FLOOR SHOWROOM)*			

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)
21 Ekim 2022 / Cuma (21 October 2022 / Friday)	5. Oturum (Session 5)	09:30-09:50	BAKIM NELERİ ÖLÇMELİDİR VE ORGANİZASYON YAPISI NASIL OLMALIDIR? *Ömer TEKİN* Obeya Akademi	OTURUM BAŞKANI: İSKENDER ERBİL HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLARDA YATAK TASARIMLARININ YAĞLAYICI VE YATAK PERFORMANSINA ETKİLERİ *Doç.Dr. Mustafa Ertunç TAT, Merve SAYAR* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	HİDROLİK PNÖMATİK SİSTEMLERDE SIZDIRMAZLIK EKİPMANLARI *Volkan İLHAN* KASTAŞ A.Ş.	RDI - Motion Amplification® *Yusuf İHTİYAROĞLU* RISE Güvenlirlik Çözümleri
		09:50-10:10		HAVACILIK MOTORLARININ BAKIMINA YÖNELİK PALE HASAR TESPİTİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ *Özgür POYRAZ, Oğuz ÇOLAK* Eskişehir Teknik Üniversitesi		
		10:10-10:30		PLM SİSTEMLERİNDEKİ DOKÜMAN YÖNETİMİ MODÜLÜNÜN ŞİRKETLERE UYGULANMASI *Emrecan MAKARAÇ, Nedim Ozan TEKİN, Mehmet Musa ÖZCAN, Nusret KİBAR* ASELSAN	BUHAR KAZANLARI VE SOĞUTMA PROSESLERİNDE KİMYASAL KULLANIMI VE ARITMA SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ *Rafet TETİK - Atay Tan ULU* HEDEF SU - DIVERSEY KİMYA	BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE BAKIMIN ÖNEMİ *Ümit AKSU* DALGAKIRAN MAKİNA
		10:30-10:50		ORGANİZASYONEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN DEĞER AKIŞI ANALİZİ YÖNTEMİ *Onur KÖLEOĞLU, Prof. Dr. Adnan AKKURT* Gazi Üniversitesi		
		11:10-11:30	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** *(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)*			
	6. Oturum (Session 6)	11:30-12:30	**KONFERANS** OTURUM BAŞKANI: İSKENDER ERBİL ETİ'DE TOPLAM ÜRETKEN BAKIM (TPM) VE DÜNYA KLASINDA ÜRETİM (WCM) YAKLAŞIMI *Dr. Ahmet BİNGÖL – Eti Gıda WCM Kıdemli Müdürü* ETİ Şirketler Grubu		KESTİRİMCİ BAKIM VE BAKIM 4.0 *Servet ŞAVRAN* MARAY MAKİNA MÜHENDİSLİK	
		12:30-13.30	**ÖĞLE YEMEĞİ - ANA YEMEKHANE** *(LUNCH - MAIN DINING HALL)*			
	7. Oturum (Session 7)	13:30-14:30	**KONFERANS** OTURUM BAŞKANI: İLKİN BOZ ETİ'DE MERKEZİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ *Emrah ERDOĞAN – Sürdürülebilirlik, Bakım ve Teknik Hizmetler Grup Müdürü* *Yener Can CANARSLAN – Bakım Müdürü* ETİ Şirketler Grubu		MAKİNA ARIZALARININ BELİRLENMESİNDE VİBRASYON ANALİZİ VE RULMAN ARIZASININ YAKALANMASINDA "PEAKVUE" NUN GÜCÜ *Yavuz TÜTÜNOĞLU* MARAY MAKİNA MÜHENDİSLİK	SULU YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİ VE EKİPMANLARI, SIKÇA YAPILAN MONTAJ HATALARI VE BAKIMIN ÖNEMİ Onur Can ŞAHİN DUYAR VANA
		14:30-14:50	SORU CEVAP			
		14:50:-15:10	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** *(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)*			
	8. Oturum (Session 8)	15:10:-15:30	OTURUM BAŞKANI: PROF. DR. AŞKINER GÜNGÖR FABRİKA ORGANİZASYONLARINDAKİ SİPARİŞ DÖNGÜSÜ İÇİN GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ MODELLEMESİ VE ANALİZİ *İskender ERBİL* Pivot Yönetim Danışmanlığı	OTURUM BAŞKANI: METİN BIÇAKÇI RESONANCE DIAGNOSIS BY USING VIBRATION BASED MACHINE MODE SIMILARITY *Anıl ULUSOY, F. Başar GENCER, Ahmet Ö. AKTAŞ* Sensemore	POMPALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE DİJİTALİZASYON *Ahmet DEMİR* *Canberk ŞAHİN* GRUNDFOS	BUHAR KAPANI BAKIMI İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ *Ertan KUŞPINAR* VENKAVA - TLV
		15:30-15:50	VİBRASYON İZLEME SİSTEMİ SEÇİM KRİTERLERİ *B. Emre ORHON, F. Kerem AK* PRO-PLAN LTD. ŞTİ.	GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİNDE DEMODELİK YÖNETİMİ *Cihan POLAT* TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş.		
		15:50-16:10	A SYSTEMATIC DESIGN APPROACH FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN SOME MARINE VESSELS IN TERMS OF MAINTENANCE CONCEPT *Assist. Prof.Dr. S. Seçkin EROL* Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi	YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM (KTB) SÜREÇLERİNİN DİJİTALLEŞTİRİLMESİ *Mak. Yük. Müh. Duhan PORTAKAL* Etik Yangın		
		16:10-16:30	DİJİTAL BAKIM İLE VERİMLİLİĞİN ARTMASI *Sinan Cem GÜNEY* Festo A.Ş.			
		16:30-16:50	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** *(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)*			
	9. Oturum (Session 9)	16:50-17:10	OTURUM BAŞKANI: FATİH TEMİZSOY ETİ KEK FABRİKASI ONLINE CONDITION MONITORING (OCM) UYGULAMASI *Ali Semih YILDIRIM, Reha ULUSŞEN* Eti Şirketler Grubu	OTURUM BAŞKANI: PROF.DR. CEMAL MERAN AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE KAYNAKLI BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARI *Utku USLU, Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU* Karadeniz Teknik Üniversitesi		BUHAR KAPANI BAKIMI İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ *Ertan KUŞPINAR* VENKAVA - TLV
		17:10-17:30	BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KAİZEN UYGULAMALARI İLE BAKIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI Merve Nur Özer, Aslı Özmen Selçuk, Mustafa Çörekcioğlu, Onur Emre Kundakcı, Prof.Dr. Aşkıner Güngör Pamukkale Üniversitesi,Ozanteks Tekstil San. Ve Tic A.Ş	İŞ MAKİNELERİNDE PERİYODİK KONTROL ÇİZELGELERİ *Utku USLU, Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU* Karadeniz Teknik Üniversitesi		
		17:30-17:50	BAKIMDA ERGONOMİK İŞ ALETLERİ *Prof.Dr. Ali ORAL* Balıkesir Üniversitesi	EĞİK HURDA KESME MAKASI BAKIMLARINDA KULLANILAN YENİ BİR EMNİYET SİSTEMİ *Çağatay Y. YILDIRIM, Özer ÖĞÜÇLÜ* Ege Üniversitesi, AYMAS Geri Dönüşüm Makinaları		
		20:00	**KONGRE GALA YEMEĞİ -** *(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)
22 Ekim 2022 / Cumartesi (22 October 2022 / Saturday)	10. Oturum *(Session 10)*	09:30-09:50	OTURUM BAŞKANI: DR. ÖNER ATALAY TRİJENERASYON SİSTEMİNİN TPM VE ANDON SISTEMI UYGULAMASI İLE VERIM ARTTIRILMASI *Uğur ÇETİN* Piri Reis Üniversitesi	OTURUM BAŞKANI: ALİ PALA TOPLAM ÜRETKEN BAKIMDA ANAHTAR BAKIM PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN ETKİSİ *Onur KÖLEOĞLU, Adnan AKKURT* Gazi Üniversitesi		
		09:50-10:10	ERDEMİR'DE YASAL EKİPMAN BAKIM SİSTEMATİĞİ *Serkan KESKİ* Ereğli Demir ve Çelik A. Ş.	TOPLAM ÜRETKEN BAKIM TASARIMINDA OTONOM BAKIM KONSEPTİ *Onur KÖLEOĞLU, Adnan AKKURT* Gazi Üniversitesi		
		10:10-10:30	LİTYUM İYON PİL FABRİKASINDA İKLİMLENDİRME VE KURU ODA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON *Mehmet Akif ÇAVDARCI, Emre ARSLAN* ASPİLSAN Enerji	BAKIM PLANLAMASI İÇİN ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNE DAYALI BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ *Y. Müh. Taha AKKURT, Prof.Dr. İnci SARIÇİÇEK* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi		
		10:30-10:50	GRUP KOBİLERDE BAKIM OPERASYONLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ, KALİTE ENTEGRASYONU *Vedat BOZKAN* Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi San. ve Tic. A.Ş.	MAKİNE ÖĞRENMESİNE DAYALI BÜYÜK VERİ DESTEKLİ ERKEN ANOMALİ TESPİTİ *Y. Müh. Taha AKKURT, Dr. İ. Serdar ÖZKÜTÜK, Nagihan AKKURT* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi		
		10:50-11:10	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** ***(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)***			
	11. Oturum *(Session 11)*	11:10-11:30	OTURUM BAŞKANI: DOÇ. DR. OLCAY POLAT EMNİYET VANALARININ TESTLERİ *Hasan VENEDİKOĞLU*			
		11:30-11:50	FARKLI SEKTÖRLERDE KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR İÇİN MALZEME SEÇİMİNİN BAKIM VE ONARIM SÜRECİNDEKİ ETKİLERİ *Sidem Kaner* Pamukkale Üniversitesi			
		11:50-12:10	SAP BAKIM MODÜL SİSTEMİNİN ÖZETİ VE ARIZA HATASIZLAŞTIRMA ÖRNEĞİ *Güven YÜCEL, Murat KILIÇ, Salih ÖZTAŞ, Ali OZANSOY, Orhan AKYÜZ* ER-BAKIR A.Ş.			
		12.10-12:30	ENDÜSTRİDE YÜRÜTÜLEN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ FAALİYETLERİNDE DİJİTALLEŞME ETKİLERİ *Deniz ERGUVAN* ETİ Şirketler Grubu			
		12:30-13.30	**ÖĞLE YEMEĞİ** ***(LUNCH)***			
	12. Oturum *(Session 12)*	13:30-13:50	OTURUM BAŞKANI: CİHAN DELİGÖZ UÇAK BAKIMINDA YENİ TRENDLER *Necmi KARA* TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.	OTURUM BAŞKANI: SERKAN DEMİR YOĞUN YOLCU KULLANIMINA AÇIK YÜRÜYEN MERDİVENLERİN GÜVENLİK SEVİYESİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK KORUYUCU BAKIM ESASLARI *Arş. Gör. Abdülmelik SANCAK, Öğr. Gör. Dr. Adem CANDAŞ, Öğr. Gör. Yusuf Ziya KOCABAL, Prof.Dr. Cevat Erdem İMRAK* İstanbul Teknik Üniversitesi		
		13:50-14:10	UÇAK MOTOR BAKIMINDA YAĞ SİSTEM ELEMANLARINDAKİ HASARLARIN ERKEN TESPİTİ AMACIYLA KULLANILAN MANYETİK ÇİP DEDEKTÖRLER *Seyid Fehmi DİLTEMİZ, Özge ALTUN* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	ENDÜSTRİYEL YAĞLARIN KÖPÜKLENMESİ ARIZALARI, ARIZALARIN TESBİTİ VE ÖNLENMESİ *Cüneyt DEMİR* Starwood Orman Ürünleri		
		14:10-14:30	GÜVENİLİRLİK VE EMNİYET TEDBİRLERİN PLANLANMASI VE UYGULANMASI *Saialy ALEKPEROVA* MDD Expert Limited Şirketi	ENCODER BAĞLANTI KAYNAKLI SORUN VE ÇÖZÜMÜ *Selçuk KARABAY* Starwood Orman Ürünleri		
		14:30-15:00	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** ***(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)***			
	13. Oturum *(Session 13)*	14:40-16:00	**OTURUM BAŞKANI: SÜLEYMAN ZAFER GÜNEŞ - TMMOB Makina Mühendisleri Odası (MMO)** **PANEL** **ÜLKEMİZDE ASANSÖR BAKIMLARININ VE İŞLETİLMESİNİN DÜNÜ, BUGÜNÜ VE YARINI** Panelistler: Harun GÜNEŞ - T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Tamer ÇAKMAK - Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Ethem Kayhan KAYMAKÇI - TMMOB Makina Mühendisleri Odası (MMO) İbrahim ÖZÇAKIR - Türkiye Asansör Sanayicileri Federasyonu (TASFED) Aziz AZ - Asansör ve Yürüyen Merdiven Sanayicileri Derneği (AYSAD) Sercan TAŞĞIN - Denizli Asansörcüler Derneği (DENASDER)			
		16:00-16:30	**KAHVE ARASI - SERGİ ZİYARETİ** **(COFFEE BREAK - EXHIBITION VISIT)**			
	14. Oturum *(Session 14)*	16:30-17:00	KAPANIŞ OTURUMU			

EĞİTİMLER				
	EĞİTİM ADI	EĞİTİMİ VEREN	EĞİTİM SÜRESİ	EĞİTİM ÜCRETİ
1.	GENEL METROLOJİ VE KALİBRASYON EĞİTİMİ	*Berkay ERİŞ* MMO Kalmem Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezi	1 GÜN 21 EKİM 2022	250₺ (KDV Dahil)
2.	BAKIMDA İSG EĞİTİMİ	*Osman ÖZTÜRK* Makina Mühendisleri Odası	2 GÜN 21-22 EKİM 2022	Ücretsiz (Kayıt zorunludur)

KURULLAR

COMMITTEES

ETKİNLİK DÜZENLEME KURULU

Bedri Tekin	Genel Merkez	Ali Ulvi Avanoğlu	Denizli Şube
Özgür Demirtas	Genel Merkez	Halil Mavi	Denizli Şube
Erhan İğneli	Genel Merkez	Ercan Baturay	Diyarbakır Şube
Ümit Galip Uncu	Adana Şube	Serhat Salık	Edirne Şube
Mehmet Serdar Ulu	Ankara Şube	Gökşin Sayer	Eskişehir Şube
Prof. Dr. İbrahim Atmaca	Antalya Şube	Çetin Külah	Gaziantep Şube
Sunullah Kumru	Bursa Şube	Ömer Yardımcı	Samsun Şube
Mehmet Orçun Çiğdem	Denizli Şube	Seyfettin Avcı	İstanbul Şube
Umut Cüneyt İyiol	Denizli Şube	İlkin Boz	İzmir Şube
Ali Pala	Denizli Şube	Ziya Murat Öztürk	Kayseri Şube
Mehmet Sarıca	Denizli Şube	Serkan Demir	Kocaeli Şube
Mehmet Tunç Erlaçin	Denizli Şube	Ali Aydemir	Konya Şube
Mehmet Günlük	Denizli Şube	İsmail Oğuz	Mersin Şube
Ozan Bayık	Denizli Şube	Metin Bıçakçı	Trabzon Şube
Semayi Yaman	Denizli Şube	Hasan Andaç Acar	Zonguldak Şube
Mustafa Tunç	Denizli Şube		

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Prof.Dr. Cemal Meran	Pamukkale Üniversitesi
Prof.Dr. Aşkıner Güngör	Pamukkale Üniversitesi
Doç.Dr. Olcay Polat	Pamukkale Üniversitesi
Prof.Dr. Hasan Öztürk	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof.Dr. Melih Cemal Kuşhan	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof.Dr. İsa Yeşilyurt	Uşak Üniversitesi
Prof.Dr. Adnan Akkurt	Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Müfit Gülgeç	Çankaya Üniversitesi
Prof.Dr. Ertuğrul Durak	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof.Dr. Erdem Imrak	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof.Dr. Ahmet Dursun Alkan	Milli Savunma Üniversitesi
Prof.Dr. Olcay Ersel Canyurt	Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Bülent Eker	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Prof.Dr. İbrahim Atmaca	Akdeniz Üniversitesi

ETKİNLİK YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr. H. Kemal Öztürk
(Yürütme Kurulu Başkanı)

İlker Bitişyılmaz
Behice Çetinkaya Dilbaz
Cihan Deligöz
İskender Erbil
Enver Erkan Ay
Artunç Lebeoğlu
Burak Ökünç
Beycan Tekkoyun
Fatih Temizsoy
Z. Göksel Parlar
(Kongre Sekreteri)

KONGRE ULUSLARARASI BİLİM KURULU

Prof.Dr. Basim Al-Najjar	Linnaeus University	SE
Prof.Dr. Gilmar Batalha	University of Sao Paulo	BR
Prof.Dr. Damian Batory	Lodz University of Technology	PL
Prof.Dr. Miroslaw Bonek	Silesian University	PL
Prof.Dr. Ulrich Briem	OTH Regensburg	DE
Prof.Dr. Anna Dobrzanska-Danikiewicz	University of Zielona Góra	PL
Doç.Dr. Murat Dilmeç	Necmettin Erbakan Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Ertuğrul Durak	Süleyman Demirel Üniversitesi	TR
Prof.Dr.-Ing. Ingo Ehrlich	OTH Regensburg	DE
Prof.Dr. Marco Actis Grande	Politecnico di Torino	IT
Prof.Dr. Aşkıner Güngör	Pamukkale Üniversitesi	TR
Prof.Dr.-Ing.Joachim Hammer	OTH Regensburg	DE
Prof.Dr. Tahir Hikmet Karakoç	Eskişehir Teknik Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Boruta Kosec	University of Ljubljana	SI
Prof.Dr. Hilmi Kuşçu	Trakya Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Melih Cemal Kuşhan	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Cemal Meran	Pamukkale Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Peter Palcek	University of Zilina	SK
Prof.Dr. Norbert Radek	Kielce University of Technology	PL
Prof.Dr. Bozo Smoljan	The University of Rijeka	HR
Prof.Dr. Tezcan Şekercioğlu	Pamukkale Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Eva Tillova	University of Zilina	SK
Prof.Dr. Fatih Tunay	Süleyman Demirel Üniversitesi	TR
Prof.Dr. Jingwei Zhao	University of Wollongong	AU
Prof.Dr. Ali Oral	Balıkesir Üniversitesi	TR

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR
SUPPORTING ORGANIZATIONS

DESTEKLEYEN FİRMALAR
SUPPORTING COMPANIES

GERMETAL MAKİNA SAN. & MÜH. TİC. LTD. ŞTİ.

HD since 1959

DALGAKIRAN

db PRÜFTECHNIK

RISE RELIABILITY INSTITUTE SOLUTIONS ENGINEERING

DMT

sense more smart machine health

GRUNDFOS DATE ENDÜSTRİYEL

PRO-PLAN

akiair

Nexans ELECTRIFY THE FUTURE

NAKOSAN

venKAVA Buhar Sistem Teknolojileri

KAESER COMPRESSORS TOPKAPI ENDÜSTRİ MALLARI TİCARET A.Ş.

MARAY MAKİNA MÜHENDİSLİK

DUYAR

CADBİM

ZİMEK TAŞA ŞEKİL VEREN TEKNOLOJİ - STONE PROCESSING TECHNOLOGY

DESTEKLEYEN FİRMALAR
SUPPORTING COMPANIES

AKİ KOMPRESÖR

Artesis

aynes

HEDEF SU arıtma sistemleri

İNCİ ENERJİ

YAVUZ TİCARET Endüstriyel Ürünler Limited Şirketi

PINAR SÜT

pps endüstriyel otomasyon

cea mühendislik

ÇAYKUR

SOLİMPEKS Yenilenebilir Enerji Sistemleri

HT HİDROTEKNİK

Alindair EVAPORATİF SOĞUTMA SİSTEMLERİ

GERECOM bakimtakip.net

UYGUN METAL VE PLASTİK KONTEYNER SİSTEMLERİ

İÇİNDEKİLER

CONTENTS

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / *PAPER TITLES*	SAYFA / *PAGE*
A SYSTEMATIC DESIGN APPROACH FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN SOME MARINE VESSELS IN TERMS OF MAINTENANCE CONCEPT **Assist. Prof. Dr. S. Seçkin EROL**	19
AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE KAYNAKLI BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARI **Utku USLU, Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU**	21
BAKIM BECERİ EĞİTİM PROGRAMINDA BAŞARIYA ULAŞMAK, **Şaban YURT**	29
BAKIM PLANLAMASI İÇİN ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNE DAYALI BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ, **Y. Müh. Taha AKKURT, Prof. Dr. İnci SARIÇİÇEK**	37
BAKIMDA ERGONOMİK İŞ ALETLERİ, **Prof.Dr. Ali ORAL**	47
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ENTEGRE BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ, **Dr.Emrullah ÇAYIR, Burak Esen, Doç. Dr. İlhami ORAK**	57
BİR KABLO FABRİKASI BAKIM YÖNETİMİNDE ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN İNCELENMESİ, **C. MERAN, K. İLHAN, A. YAVAŞ, E. KARAHAN, Ş. BÜKE**	67
BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KAİZEN UYGULAMALARI İLE BAKIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI, **Merve Nur ÖZER, Aslı Özmen SELÇUK, Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU, Onur Emre KUNDAKÇI, Prof. Dr. Aşkıner GÜNGÖR**	81
BÜYÜK ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE BAKIM YÖNETİMİ, **Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN**	91
DİJİTAL BAKIM İLE VERİMLİLİĞİN ARTMASI, **Sinan Cem GÜNEY**	99
EMNİYET VANA TESTLERİ, **Hasan VENEDİKOĞLU**	113
"EN İYİ BAKIM" A GİDEN YOL, **Yasemin ARIKAN**	121
ENCODER BAĞLANTI KAYNAKLI SORUN VE ÇÖZÜMÜ, **Selçuk KARABAY**	125
ENDÜSTRİDE YÜRÜTÜLEN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ FAALİYETLERİNDE DİJİTALLEŞME ETKİLERİ, **Deniz ERGUVAN**	131
ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE YARDIMCI TESİSLERİN DİJİTAL DÖNÜŞÜM ADIMLARI, **Özgün Emre GÜNGÖR, Özgün KOŞDERE**	143

İÇİNDEKİLER

CONTENTS

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / *PAPER TITLES*	SAYFA / *PAGE*
ENDÜSTRİYEL YAĞLARIN KÖPÜKLENMESİ ARIZALARI, ARIZALARIN TESPİTİ VE ÖNLENMESİ, **Cüneyt DEMİR**	159
ERDEMİR'DE YASAL EKİPMAN BAKIM SİSTEMATİĞİ, **Serkan KESKİ, Aydın DUMAN, M. Sinan KONURALP**	167
ETİ KEK FABRİKASI ONLINE CONDITION MONITORING (OCM) UYGULAMASI, **Ali Semih YILDIRIM, Reha ULUSŞEN**	177
FABRİKA ORGANİZASYONLARINDAKİ SİPARİŞ DÖNGÜSÜ İÇİN GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ MODELLEMESİ VE ANALİZİ, **İskender ERBİL**	187
FARKLI SEKTÖRLERDE KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR İÇİN MALZEME SEÇİMİNİN BAKIM VE ONARIM SÜRECİNDEKİ ETKİLERİ, **Sidem KANER**	195
GRUP KOBİLERDE BAKIM OPERASYONLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ, KALİTE ENTEGRASYONU, **Vedat BOZKAN**	203
GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİNDE DEMODELİK YÖNETİMİ, **Cihan POLAT**	211
HAVACILIK MOTORLARININ BAKIMINA YÖNELİK PALE HASAR TESPİTİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ, **Özgür POYRAZ, Oğuz ÇOLAK**	219
HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLARDA YATAK KANAL TASARIMLARININ YAĞLAYICI PERFORMANSINA ETKİLERİ, **Merve SAYAR**	231
INTERNET OF THINGS IN MAINTENANCE AND VIRTUAL REALITY/AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN AIRCRAFT MAINTENANCE, **Mehmet Cemal DEĞERLİ, Doç. Dr. Özlem ŞAHİN, Doç. Dr. Işıl YAZAR, Prof. Dr. Melih Cemal KUŞHAN**	239
İŞ MAKİNELERİNDE PERİYODİK KONTROL ÇİZELGELERİ, **Utku USLU, Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU**	245
KABLO ZIRH-BÜKÜM MAKİNESİNDE OTONOM BAKIM UYGULAMASI, **Cemal MERAN, Köksal İLHAN, Uğurcan AVCI, Yasin SUSAR, Gülsüm GÜLER, Burak ÇALHAN**	253
LİTYUM İYON PİL FABRİKASINDA İKLİMLENDİRME VE KURU ODA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON, **Mehmet Akif ÇAVDARCI**	261
MAKİNE ÖĞRENMESİNE DAYALI BÜYÜK VERİ DESTEKLİ ERKEN ANOMALİ TESPİTİ, **Y. Müh. Taha AKKURT, Dr. İ. Serdar ÖZKÜTÜK, Nagihan AKKURT**	277

İÇİNDEKİLER

CONTENTS

BİLDİRİ BAŞLIKLARI / *PAPER TITLES*	SAYFA / *PAGE*
MAKİNE MODU BENZERLİĞİNİ KULLANARAK TİTREŞİM TABANLI REZONANS TEŞHİSİ, **Mehmet Ozan ŞERİFOĞLU, Fikret Başar GENCER, Ahmet Özler AKTAŞ, Anıl Erkut ULUSOY**	285
PLM SİSTEMLERİNDEKİ DOKÜMAN YÖNETİMİ MODÜLÜNÜN ŞİRKETLERE UYGULANMASI, **Emrecan MAKARAÇ1 Nedim Ozan TEKİN, Mehmet Musa ÖZCAN, Nusret KİBAR**	295
SAP BAKIM MODÜL SİSTEMİNİN ÖZETİ VE ARIZA HATASIZLAŞTIRMA ÖRNEĞİ, **G. YÜCEL, M. KILIÇ, S. ÖZTAŞ, A. OZANSOY, O. AKYÜZ**	309
SU TEMİNİ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMİŞ GÜVENİLİRLİĞİ İÇİN KAMU HİZMETLERİ KURULU'NDA SÜRDÜRÜLEBİLİR KESTİRİMCİ BAKIM, **E.S. TAN, V. GOH, N. KANG, A. DUYAR**	317
TEL ÇEKME MAKİNESİNDE OTONOM BAKIM, **Cemal MERAN, Ömer EREN, Baki Can TÜFEKÇİ, Veysel KAYA, Yusuf ŞENYILDIZ**	321
TRİJENERASYON SİSTEMİNİN TPM VE ANDON SISTEMİ UYGULAMASI İLE VERIM ARTTIRILMASI, **Uğur ÇETİN**	327
UÇAK BAKIMINDA YENİ TRENDLER, **Necmi KARA**	345
UÇAK MOTOR BAKIMINDA YAĞ SİSTEM ELEMANLARINDAKİ HASARLARIN ERKEN TESPİTİ AMACIYLA KULLANILAN MANYETİK ÇİP DEDEKTÖRLER, **Seyid Fehmi DİLTEMİZ, Özge ALTUN**	351
VİBRASYON İZLEME SİSTEMİ SEÇİM KRİTERLERİ, **B. Emre ORHON, F. Kerem AK**	359
YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM (KTB) SÜREÇLERİNİN DİJİTALLEŞTİRİLMESİ, **Mak. Yük. Müh. Duhan PORTAKAL**	369
YAPAY ZEKA VE BÜYÜK VERİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN BİR KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI, **Dr. İzzet Y. ÖNEL, Berk BARIŞ, Berke Deniz BUĞA, İhsancan ÖZPOYRAZ**	379
YOĞUN YOLCU KULLANIMINA AÇIK YÜRÜYEN MERDİVENLERİN GÜVENLİK SEVİYESİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK KORUYUCU BAKIM ESASLARI, **Arş. Gör. Abdülmelik SANCAK, Öğr. Gör. Dr. Adem CANDAŞ, Öğr. Gör. Yusuf Ziya KOCABAL, Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK**	385
YÜKSEK BASINÇ TEZGÂHLARI DİJİTALLEŞME – GELİŞTİRME – VERİMLİLİK ARTIŞI, **Ömer HAKİ**	399

SUNUŞ

Makinaların ve Tesislerin arızasız, sorunsuz, verimli ve uzun ömürlü çalıştırabilmesi, üretiminin aksamaması, sağlıklı ve programlı bir bakım politikası ile mümkündür. Düzenli ve planlı bakım yapılması durumunda; makina ve tesis kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirecek şekilde hazır bulunacaktır.

Makina ve tesisin ömrü imkanlar oranında uzatılmış olacaktır. Yapılan planlı bakım sonucunda; hem işletme hem de tesis ve ülke ekonomisi çok büyük kazanç sağlayacaktır. Ancak ülkemizde bütün alanlarda olduğu gibi bakım konusunda da arıza sonrası; hem arızanın giderilmesi hem de arıza ile birlikte bakım yapma anlayışı yaygındır. Bu yöntem büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. İşletmelerde kullanılan çok çeşitli cihaz, makina, teçhizat, alet ve ekipmanın her an kullanıma hazır, arızasız durumda bulunması üretimin aksamaması açısından çok önemlidir. Bunu sağlayabilmek için söz konusu ekipmanlarda ani arızalar ortaya çıkmadan önce koruyucu bakım çalışmaları yapmak ve bu bakım çalışmalarını planlı bir şekilde yürütmek gerekmektedir.

Makina Mühendisleri Odasının başlattığı bakım konusundaki bilinçlenme çabaları 2003-2009 yılları arasında Denizli, 2011 yılında Kocaeli, 2013 yılında Sakarya, 2015 yılında Eskişehir`de düzenlemiş olduğu Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergi faaliyetleriyle ivme kazanmıştır. Bakım Kongresi 2017 yılında yeniden Denizli'de gerçekleştirilmiştir. 2019 yılında ise Bakım Kongresi ve Sergisi Makina Mühendisleri Odası Denizli Şubesi tarafından ilk kez uluslararası olarak gerçekleştirilmiştir. 2021 Yılında gerçekleşmesi planlanan Kongre bütün dünyayı etkisi altına alan pandemi nedeniyle 1 yıl ertelenmiş ve 2022 yılında Denizli'de uluslararası katılımlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Ülkemiz ve tüm dünya çok hızlı bir şekilde dönüşmekte; artık yapay zeka çalışmaları, dijitalleşme, otonom sistemler, uzaktan kontrol mekanizmaları, nesnelerin birbiri ile iletişimde olması vb. çalışmalar yeni bir sanayi devrimini ciddi anlama tetiklemektedir. Gelişen ve dönüşen dünya içerisinde yurt sanayimizi ve sanayideki bakım faaliyetlerini bu platform üzerinde buluşturmayı amaçladığımız için kongremizin bu seneki ana temasını 'Bakımda Dijitalleşme ve Dijitalleşmede Bakım' olarak belirledik.

Odamız adına bu yıl Onuncusunu gerçekleştirdiğimiz Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'nde 55 adet bildiri, 4 panel, 15 seminer ve 2 eğitimden oluşan geniş bir akademik çalışma ortaya çıkarılmıştır. Bu akademik çalışmaya ek olarak sergi açan toplam 28 farklı firma da sektörde gelinen son durumu, kullanılan ekipmanları ve yapılan çalışmaları sergileme fırsatı bulmuştur.

Gelişen dünya ve bakım sektörü içerisinde yer alan paydaşların sanayi devrimlerine ilave olarak bakım mühendisi, bakım mühendisliği ve çalışma alanları/şartları gibi konuların yanı sıra bakımda dijitalleşme konularını da takip edebildikleri bir kongre ve sergi sürecini daha geride bıraktık.

Bu serüvende Şubemize ve bizlere destek veren tüm paydaşlarımıza, kurum ve kuruluşlara, sergi açan firmalara, bildiri sunan bilim insanlarına ve tüm katılımcılara teşekkür ederiz.

11. BTKS'de görüşmek üzere…

TMMOB
Makina Mühendisleri Odası
Denizli Şubesi Yönetim Kurulu

btks 2022

BİLDİRİLER

A SYSTEMATIC DESIGN APPROACH FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN SOME MARINE VESSELS IN TERMS OF MAINTENANCE CONCEPT

Assist. Prof. Dr. S. Seckin EROL

Bandirma Onyedi Eylul University, Maritime Faculty

Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, 10200 Bandirma/Turkey

In the presented study, with the design-oriented thinking approach, the precautions to be taken in case of emergencies on the yachts were examined and it was determined as a possible situation that automatic intervention could be made as a need for the needs of the yachts. In the next stage, it was investigated whether it was possible to do these situations and the study was carried out. Thus, the expectations of the customers for the new generation smart system to be designed were revealed. The design was realized by following the construction systematic steps, and the most suitable alternative design was decided as a result of the technical and economic evaluation in the concept of maintenance. The design is detailed after this stage. The design includes the necessary material selection with respect to the occupational health and safety. Maintenance activities are crucial in bringing solutions and consists all kinds of precautions for work safety in marine vessels.

Keywords: Systematic design, maintenance, yacht, smart actuators, work safety

AĞIR İŞ MAKİNELERİNDE KAYNAKLI BAKIM ONARIM ÇALIŞMALARI

Utku USLU[1], Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU[1]

[1]Makina Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye,
utkuuslu@ktu.edu.tr, tkomer@ktu.edu.tr

Bu çalışmada, ağır iş makinelerinin kaynaklı şasilerinde servis ömrü içerisinde gerçekleştirilen bakım onarım çalışmaları incelenmiştir. Söz konusu bakım onarıma ait aşamalar araç servisten çekilip, atölye ortamında detaylı muayeneler neticesinde belirlenen ve uygun yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şasi aracın tüm ekipmanlarını üzerinde taşıyan ve aracın bütünlüğünü sağlayan en kritik kaynaklı konstrüksiyonudur. Bu sebeple şasi üzerinde meydana gelen hasarlar genellikle kaynaklı bölgelerde görülmektedir. Bu durum aracın verimini ve güvenli iş yapabilme kabiliyetini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla söz konusu hasarların detaylı tespiti ve doğru yöntemler kullanılarak giderilmesi onarımın iki ana adımını oluşturmaktadır. Hasar, oluştuğu bölgede çekirdeklenme ile başlayıp etkiyen koşullara bağlı olarak gelişip, makro boyuta erişmesiyle tanımlanır hale gelir. Dolayısıyla hasarın tespiti ve tespit edilen hasar tipine göre giderilme yöntemi belirlenir. Şasi araçtan ayrılıp temizlenerek, muayene edilmeye hazır hale getirilir. Şasi üzerine uygulanan muayene yöntemleri sonucunda yapıdaki tüm hasarlar ve hasar boyutları tanımlandıktan sonra karakterleri ve boyutlarına göre belirlenen uygun metotlar neticesinde tüm hasarlar onarılmıştır. Yapılan detaylı onarım sonucunda şasi üzerindeki tüm hasarlar giderilerek aracın güvenli iş yapabilme kabiliyeti tekrar geri kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır İş Makineleri, Yer Altı Mobil Ekipmanlar, Kaynaklı Bakım Onarım

ABSTRACT

In this study, the repair stages of the damages that occur in the welded chassis of heavy duty machines during the service life are examined. These repair stages were carried out in line with the appropriate methods determined as a result of detailed examinations in the workshop after the vehicle was remove from the service.

The chassis is the most critical welded construction that carries all the equipment of the vehicle and ensures the integrity of the vehicle. For this reason, the damages on the chassis usually occur in the welded areas. This situation directly affects the efficiency of the vehicle and its ability to work safely. Therefore, the detailed determination of the said damages and their removal with the right methods constitute the two main steps of the repair. The damage begins with nucleation in the region where it occurs, develops depending on the affecting

conditions and becomes defined as it reaches the macro dimension. Therefore, the detection of the damage and the method of removal according to the type of damage detected are determined. The chassis is separated from the vehicle, cleaned and made ready for inspection. As a result of the inspection methods applied on the chassis, after all the damages and damage dimensions were identified, all the damages were repaired as a result of the appropriate methods determined according to their characters and dimensions. As a result of the detailed repair, all damages on the chassis were repaired and the vehicle's ability to perform safely was restored.

Keywords: Heavy Duty Machines, Underground Mobile Equipment, Welded Maintenance and Repair

1. Giriş

Ağır iş makineleri gerek inşaat gerek madencilik gibi ağır sanayi uygulamalarında ihtiyaç duyulan en önemli ekipmanların başında gelmektedir. Ağır iş makinalarının kullanıldıkları operasyonların emniyetli ve verimli şekilde gerçekleştirilmesine katkıları son derece büyüktür. Bu ekipmanlar ülkemize genellikle ithalat yoluyla kazandırıldıkları için öenmli oranda döviz kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple söz konusu ekipmanların maksimum ömürle kullanılmaları, döviz kaybının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır [1].

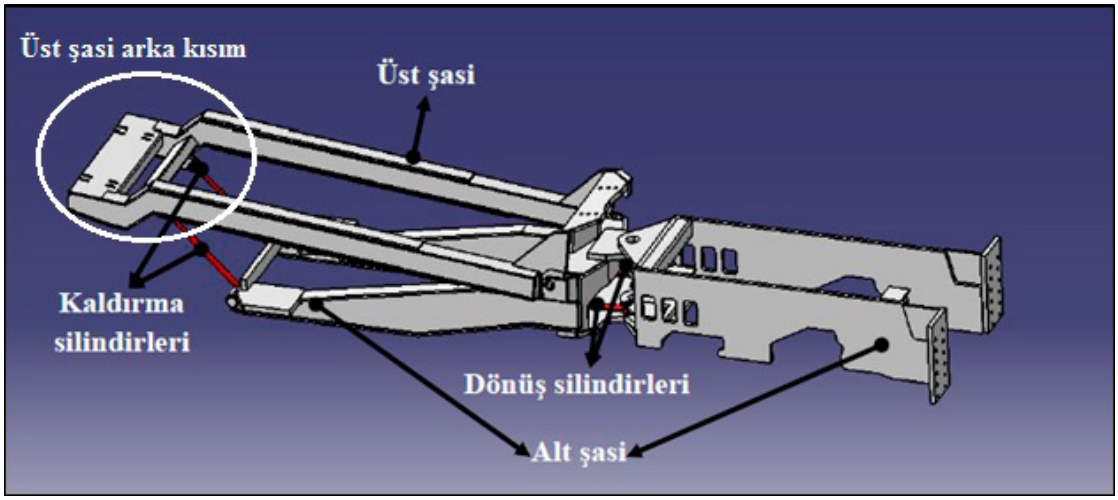
Madencilik amaçlı araçların kullanıldıkları operasyonda maksimum ömre ulaşmaları, araçlara uygulanacak etkin ve efektif bakım onarım faaliyetlerine bağlıdır. Söz konusu bakım onarım faaliyetleri ISO 9001 kapsamında yer alan EN 474 ve TS EN 474 standart serileri ile belirlenmiştir. TS EN 474 standart serisi, TS EN ISO 6165 standardında tanımlanmış olan mobil ağır iş makinelerinin güvenlik gerekliliklerini tanımlamaktadır. Bu araçları üreten firmalar EN 474 standardı kılavuzluğunda ekipmanlarının servis manuellerini oluştururlar. Söz konusu araçları kullanan firmalar da operasyon koşullarını göz önüne alınarak kendilerine has özgün bakım onarım planlarını oluşturarak uygulamaya koyarlar [1, 2, 4-6].

Bu çalışmada standartlar klavuzluğunda oluşturulmuş özgün bir bakım planları doğrultusunda ağır iş makinesine ait bakım ve onarım aşamalarının incelenmesini amaçlamıştır. Şasiler genel olarak kaynaklı yöntemle imal edildiklerinden, üzerlerindeki kaynak bölgelerinde ortaya çıkabilecek potansiyel hasarlara karşı kontrol edilme ihtiyacı duymaktadırlar. Söz konusu şasiler görevlerini dinamik gerilmeler altında gerçekleştiriler. Bu durum hasarın, dinamik gerilmelere maruz kalan kısımlarda öncelikli olarak başladığı ve bu kısımların öncelikli olarak onarıma ihtiyaç duymasını ortaya koymaktadır. Şasilerin konstrüktif yapıları gereği maksimum gerilmeye maruz kalan kısımları genel olarak kaynak dikişi içeren bölgeleriyle örtüşmektedir. Dolayısıyla şasiler üzerindeki kaynak dikişlerinin kontrolü ön plana çıkmaktadır [1, 2, 3].

2. Yöntem

Bu çalışmada ağır iş makinelerine uygulama örneği olarak, Şekil 1'de görülen yer altı madenciliğinde kullanılan yatay mikser seçilmiştir. Söz konusu mikser 7,1 m³ beton taşıma kapasitesine sahip, belden kırma, alt ve üst olmak üzere 2 şasiye sahiptir. Söz konusu şasi konstrüksiyonu Şekil 2'de verilmiştir. Aracın şasi onarımında S355JR2 çeliği ve MIG kaynak yöntemi SG3 kaynak teli kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

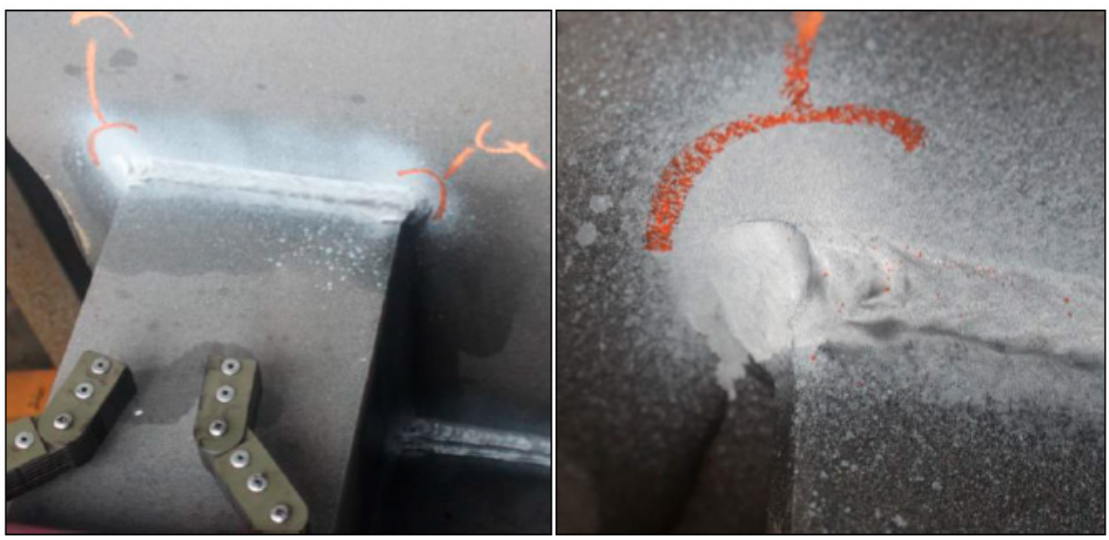
Şekil 1. Çalışmaya konu olan yer altı yatay mikser [7].



Şekil 2. Araç şasileri ve temel kısımlarının tanıtımı

Genel bakım onarım çalışmaları, araç üzerindeki hataların sağlıklı algılanabilmesi için öncelikle genel temizliği yapılarak başlanır. Şasinin incelenebilmesi için üzerindeki tüm ekipmanlar sökülerek muayeneye hazır hale getirilir. Şasilerin üzerindeki tabakalar (kirlikler, boya vb.) ortadan kaldırılıp, hataların algılanabilme kabiliyeti artırılıp, incelemeye hazır hale getirebilmek için şasiler mekanik olarak temizlenip, kumlanarak muayeneye hazır hale getirilir. Kumlama sonucunda tüm şasi öncelikle gözle muayene edilerek genel bir fikir elde edilir [1, 2].

Kumlamanın ardından kaynak ve diğer genel hataları tespit edebilmek için çeşitli tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden (Penetrant sıvı, manyetik parçacıkla muayene vb.) yararlanılmıştır. Bu muayene işlemlerinde kullanılan tahribatsız malzeme muayene yöntemleriyle tespit edilen karakteristik hatalara örnekleri Şekil 3'te verilmiştir [1, 2].



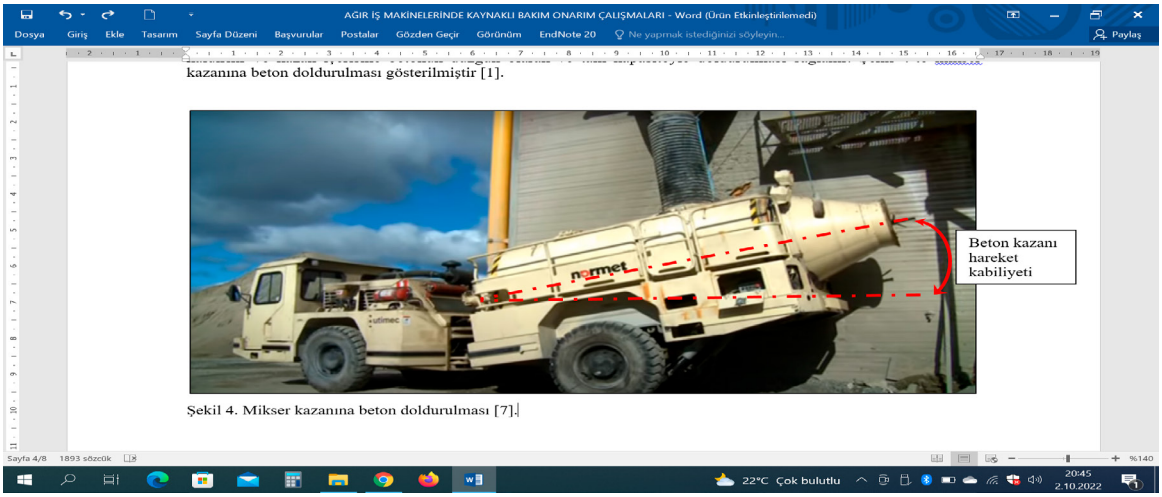
Şekil 3. Penetrant sıvı ve manyetik parçacıkla muayene yöntemlerinin uygulanarak kaynaklı bölgelerin incelenmesi.

Muayene işlemleri sonucunda tespit edilen hatalar boyutlarına göre sınıflandırılıp, belirlenen kaynak hataları oluşturulan tashih prosedürü doğrultusunda giderilmiştir. Prosedürdeki tashih işlemleri şasilerde görülen kaynak hatalarının cinsi ve boyutlarına göre tanımlanmaktadır. Tashih işlemleri için kaynak düzensizlikleri ve kaynak hataları aşırı ilerlememiş çatlakların tashih yöntemi ve aşırı boyutlara ulaşmış çatlakların tashih

yöntemi olarak 2 farklı proses belirlenmiştir. Belirlenen hasarın büyüklüğü, bulunduğu sacın kalınlığının yarısına kadar ilerlememiş olan çatlaklar aşırı ilerlememiş, derinliği, bulunduğu sacın kalınlığının yarısına kadar ilerlemiş çatlaklar ise aşırı ilerlemiş çatlaklar olarak kabul edilmiştir [1, 2, 3].

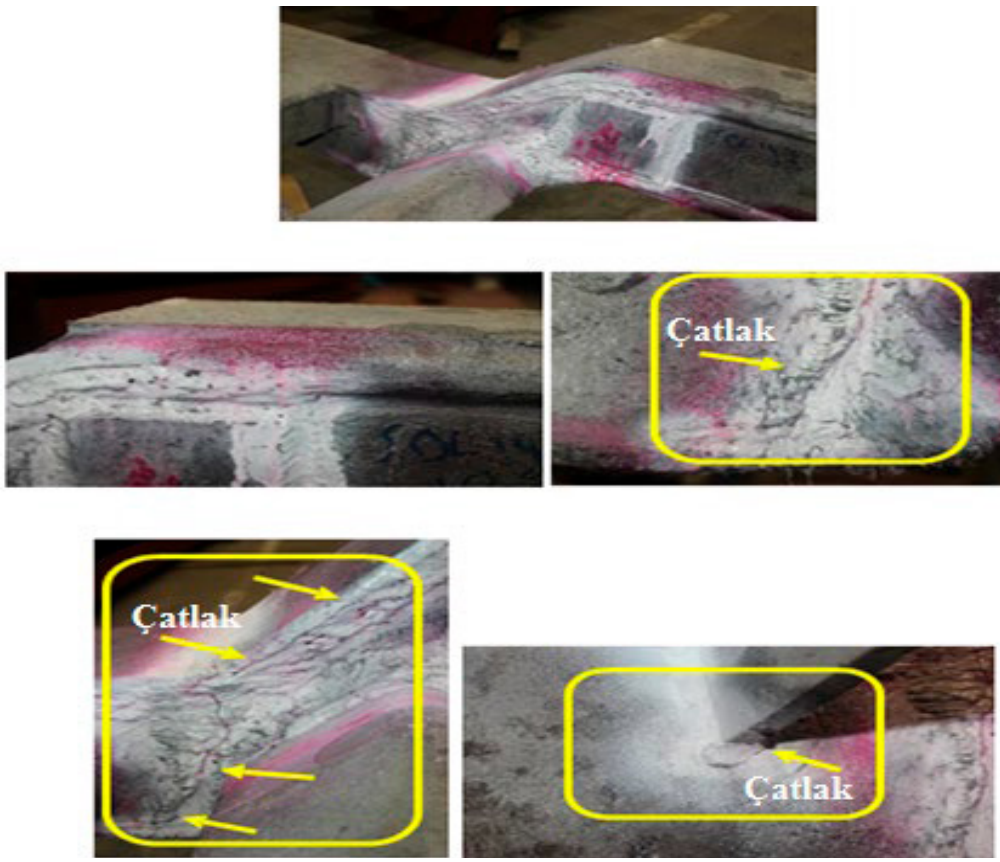
Şasilerin kaynaklarındaki tüm hatalar tespit edildikten sonra onarım aşamasına geçilir. Bu aşamada hataların onarımında parça değişimine ihtiyaç duyulan ve duyulmayan olarak 2 gruba ayrılır. Parça değişimine ihtiyaç duyulmayan (aşırı ilerlememiş) hatalar; boyutlarına göre sınıflandırılıp, oluşturulan kaynak hataları tahsis prosedürüne göre giderilir. Parça değişimine ihtiyaç duyulan (aşırı ilerlemiş) hataların, orijinal şasi malzemesi olan S355JR2 çeliğinin SG3 kaynak teli kullanılarak 180-200 Amper akım aralığında MIG kaynak yöntemiyle, yenileme işlemi gerçekleştirilir. Bu şekilde gerçekleştirilen onarımlardan biri üst şasinin arka kısmının yenilenme aşamaları aşağıda ifade edilmiştir [1, 2, 3].

Yer altında galerilerin yer yer dar olması aracın manevra yeteneğini zorlar. Belden kırma dönüş sistemi sayesinde bu zorluk aşılır. Bu sistemde araç manevrasını herhangi bir teker dönüşüyle değil de şasinin ortadan bükülmesiyle yaptığından, ortaya çıkan manevra kabiliyeti, yer altındaki dar ortamlarda, aracın etkin olarak dönüşlerini gerçekleştirmesini sağlar. Bu sebeple alt şasi, aracın tüm ekipmanlarını taşıyan belden kırılmalı manevra kabiliyetine sahip olan aracın temel şasisidir. Belden kırılma işlemi, 2 parça olan alt şasinin orta kısımdan pivotlu yapısı ve 2 adet dönme silindiri vasıtasıyla gerçekleştirilir [1]. Üst şasi belden kırma kısmından aracın arkasına kadar olan, alt şasiye ön kısımdan pivotlu ve arka kısımdan 2 adet kaldırma silindiriyle bağlı, bu sayede açılı olarak yükselip alçalabilen ve beton kazanını taşıyan şasidir. Bu açılı olarak yükselme sayesinde kazana beton doldurulması esnasında kazan yukarı kaldırılır ve kazan içerisine betonun düzgün olarak ve tam kapasiteyle doldurulması sağlanır. Şekil 4'te mikser kazanına beton doldurulması gösterilmiştir [1].

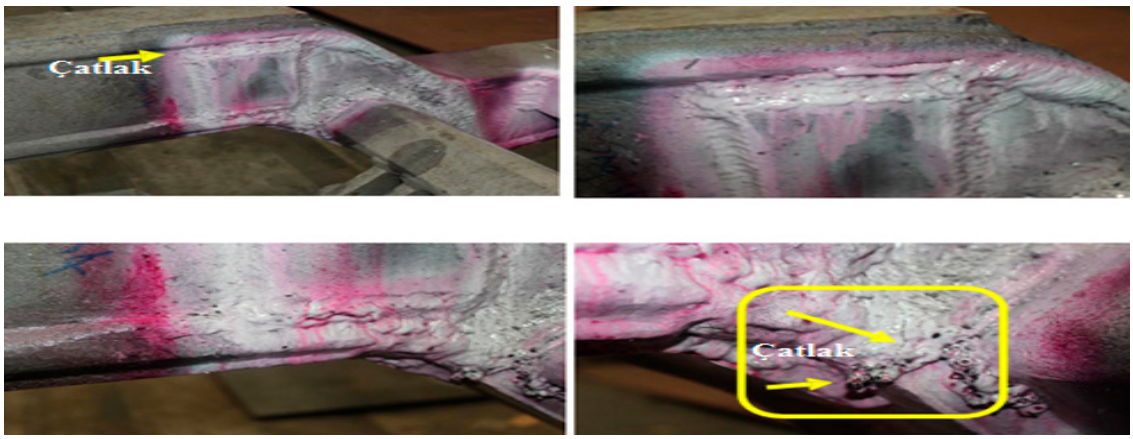


Şekil 4. Mikser kazanına beton doldurulması [7].

Şekil 2' de gösterilen üst şasinin arka kısmı araç şasisinin en hareketli ve dinamik gerilmelere en çok maruz kalan kısımlarındandır. Dolayısıyla servis süresi içerisinde en çok hasar gören ve onarılan kısımlarından olmaktadır. Aynı bölgede yapılan kaynaklı onarımlarda, ilgili bölgeye kontrolsüz ısı girdisi oluştuğundan, söz konusu bölgede malzemede mikroyapı değişimi ve mukavemet düşüşü oluşmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede daha sık hasar tespiti yapılmaktadır. İncelenen aracın üst şasisinin arka kısmında bahsedilen durum gerçekleşmiş ve söz konusu bölge daha önceki bakımlarda birkaç kez onarılmıştır. Aracın üst şasisinin arka kısım bölgesinin muayeneler işlemine ait fotoğraflar Şekil 5-6'da gösterilmiştir [1].

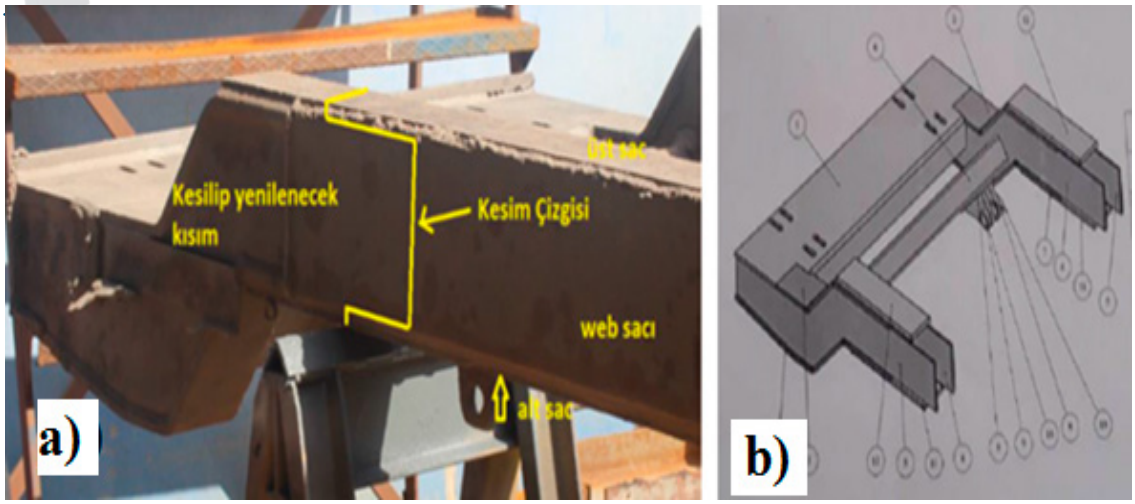


Şekil 5. Üst şasi arka kısım sol tarafa ait detay fotoğraflar [1].



Şekil 6. Üst şasi arka kısım sağ tarafa ait detay fotoğraflar [1].

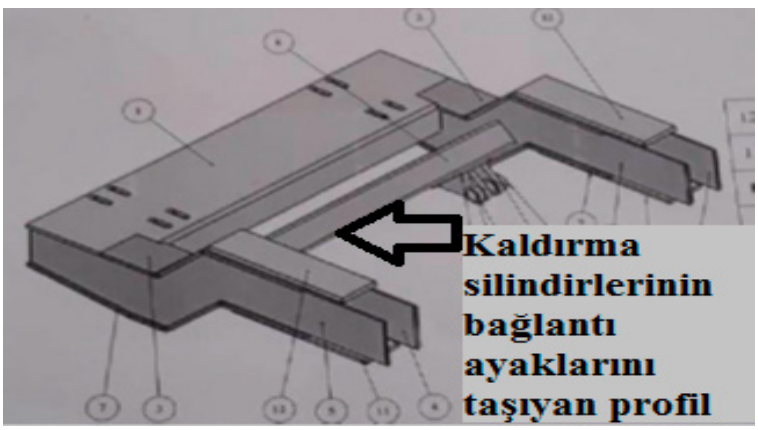
Yapılan incelemeler sonucunda ilgili bölgede yapılan onarımlar, kaynak dikişlerinin üst üste bindiği dikişlerde yeniden çatlak oluştuğu gözlendi. İlgili çatlakların ortadan kaldırılması işleminde, söz konusu bölgede yük taşıma kabiliyetinde ve kullanım ömründe düşüşe sebep olacağı tespit edildiğinden, ilgili kısım aşağıda Şekil 7'de detay fotoğrafında görüldüğü üzere kesilerek şasiden ayrılıp, orijinal boyutlarında ve orijinal et kalınlığında yeniden imal edilerek kaynakla birleştirildi [1].



Şekil 7. a) Üst şasiden kesilerek ayrılan arka kısmın görüntüsü, b) üst şaside yenilenen kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi [1].

Yenilenen kısmın şasiyle birleşim yeri şekil bağı oluşturulacak şekilde yeniden tasarlanarak birleşim kısmındaki yük bu bölgede alın kaynağına değil de malzemeye taşıtıldı. Bu sayede üst şasinin arka kısım bölgesine etkiyen gerilme değeri düşürülmüş olundu. Söz konusu bölge yenilendiğinden ilgili yerdeki malzemenin yorulma ömrü artırılmış oldu. Böylece dinamik gerilme etkisindeki bu kısmın bir sonraki onarıma ihtiyaç duyma süresi (yorulma ömrü) de artırılmış olundu [1].

Yukarıda anlatılanlara ek olarak bu kısımda yapılan en önemli işlemlerden biri de kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profilin tasarımında yapılan değişikliktir. Üst şaside kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profil Şekil 8'de görülmektedir. Bu profil kaldırma silindirlerinden gelen yükü üst şasiye aktaran kısımdır dolayısıyla üst şasideki en yüksek gerileme bu profil üzerinde bulunmaktadır. Orijinal tasarımda profilin boyu şasi kolları arasındaki mesafe kadar olup söz konusu profil şasi iç kısımlardaki saclara alın kaynağıyla birleştirilmişti. Bu durumda profil aracılığıyla şasiye aktarılan yük, profili şasiye bağlayan alın kaynakları tarafından taşımaktaydı ve söz konusu bölgedeki kaynak dikişi aracın servis süresince dinamik gerilmelere maruz kalmasından dolayı sıkça hasarlanıp, onarım ihtiyacı gerektirmekteydi. Bu problemi çözmek için söz konusu profilin boyu iç kısımdaki birleşme yerinde bulunan sacların içine her iki taraftan 40 mm geçecek şekilde uzatılarak ilgili yerdeki yük, alın kaynağına değil şekil bağı oluşturulmuş malzemeye aktarılarak, kaynak dikişine etkiyen gerilme azaltılıp, bölgenin yorulma dayanımı artırılmıştır. Burada dikkat edilen en önemli husus şekil bağı oluşturularak kaynak dikişine etki eden gerilmenin değeri azaltılıp türü değiştirilerek yorulma ömrünün uzatılmış olmasıdır [1].



Şekil 8. Üst şasideki kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profil [1].

3. Sonuçlar

Zorlanmış kullanım koşulları, mikser şasilerinde ek zorlayıcı etkiler meydana getirir.

Belirli motor saatleri sonucunda yatay mikserlerinin şasileri kaynak hasarlarına karşı detaylı revizyona ihtiyaç duyarlar.

Kaynak hataları şasilerin dinamik gerilmelere maruz kalan hareketli kısımlarında öncelikli olarak başlar ve bu kısımlar öncelikli olarak onarıma ihtiyaç duyarlar.

Aracın şasi ve onarımında kullanılan S355JR2 malzemesi MIG kaynak yöntemiyle SG3 kaynak teli ve 180-220 Amper aralığında etkin bir şekilde kaynak edilir.

S355JR2 malzemenin kaynaklı onarımında SG3 kaynak teli tatminkâr sonuç verir.

Araç şasisinin kaynaklı onarımında tahribatsız muayene yöntemleri hataların belirlenmesi için yeterli çözünürlüğe sahiptir.

4. Kaynaklar

- *Uslu, U., Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021, Trabzon*
- *Uslu, U. ve Küçükömeroğlu, T., 2019. Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi, 11. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Kasım 2019, Ankara*
- *Uslu, U. ve Küçükömeroğlu, T., 2021. Yer Altı İş Makineleri Şaselerinde Kaynaklı Onarım Prosedürü, 12. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Kasım 2021, Ankara*
- *EN 474, Construction Equipment Standards Series, E.N., 01.04.2018*
- *TS EN 474, İş Makineleri Standartlar Serisi, T.S.E., 28.04.2022*
- *TS EN ISO 6165, İnşaat ve kazı makinaları - Temel tipler - Tanımlama, terimler ve tarifler, T.S.E., 13.07.2010*
- *https://www.normet.com/product_type/utimec/, Normet, 02 Ağustos 2022*

BAKIM BECERİ EĞİTİM PROGRAMINDA BAŞARIYA ULAŞMAK

Şaban YURT
saban_yurt@hotmail.com

Bakım, tesis ve üretim sistemlerinin plan ve programlarına uygun olarak çalışmasını sağlamak ve istenen çalışma düzeyinde kalmasını kontrol altında tutmak için her çeşit onarım, yenileme, muayene gibi faaliyetlerini içeren bir yürütme ve kontrol fonksiyonudur Bakım faaliyetlerindeki aksaklıkların maliyetler üzerine etkisi çok büyüktür. Bu yüzden iyi bir bakım organizasyonunun kurulması ve bakım stratejilerinin tasarımı için en önemli şey bilgidir. Yetenekli ve deneyimli bir bakım işgücü firma için fark yaratan bir unsurdur. Bunun sağlanabilmesi içinde eğitim önemli bir unsurdur. Bakım eğitim programının birçok unsuru ve farklı eğitim biçimleri vardır. Bakım becerileri eğitimi geleceğe yapılan bir yatırımdır.

Anahtar Kelimeler: Bakım, bakım eğitimi, beceri

1. Bakımın Tanımı ve Bakım Faaliyetlerinin Önemi

Bakım, tesis ve üretim sistemlerinin plan ve programlarına uygun olarak çalışmasını sağlamak ve istenen çalışma düzeyinde kalmasını kontrol altında tutmak için her çeşit onarım, yenileme, muayene gibi faaliyetlerini içeren bir yürütme ve kontrol fonksiyonudur.

Bakımla ilgili temel kavramlara bakacak olursak;

Arıza Bakım: Üretim ekipmanlarında herhangi bir arıza meydana geldiğinde büyük kayıpların oluşmasını engellenmesi için yapılan bakımdır.

Önleyici (Koruyucu) Bakım: Tesis ve ekipmanın belirli bir programa göre arıza meydana gelme şartı aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme, revizyon ile kullanılabilirlik süresinin arttırılması çalışmalarıdır, amaç arıza bakımlarını en aza indirmektir.

Kestirimci Bakım: Belirli makine veya ekipman için özel donanım, aparat ve teknikler kullanarak önleyici bakım ihtiyacını saptamak için yapılan muayene mahiyetindeki uygulamalardır.

Düzeltici Bakım: Ekipmanı arızadan koruma, onarımı ve kullanımı kolaylaştırma, güvenliği sağlama çalışmalarının bütünüdür. Günlük kontrol sonuçlarını ve arızaların detaylarının analizi ile bunların sebeplerini ortadan kaldırıcı iyileştirme faaliyetleridir.

Otonom Bakım: Ekipmanların işletilmesinden sorumlu kullanıcıların ekipmanın uygun çalışma koşullarının sağlanmasında yaptığı bakım işleridir. Bunlar günlük yağlama, temizleme, küçük ayar ve kontrollerdir.

Arıza: Engel olunamayan bir nedenle sistemin durması, üretim hızının veya kalitesinin düşmesidir.

Güvenilirlik: Bir sistemin veya parçanın belirli bir zaman periyodu için belirli koşullar altında hatasız çalışma olasılığıdır.

Güvenilirlik Merkezli Bakım: Herhangi bir varlığın süregelen operasyon koşulları altında ihtiyaç duyacağı bakım faaliyetlerinin belirlenmesi için kullanılan bir süreçtir.

Bir işletmede bulunan bakım fonksiyonunun amacı, arızaları önleyerek arızalardan oluşan üretim kayıplarını minimum yapmaya çalışarak tüm donanımın düzgün ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak suretiyle performansını arttırmaya çalışmaktır. Bakım fonksiyonunun önemi aşağıdaki nedenlerden ötürü gün geçtikçe artmaktadır.

- Yatırım ve mekanizasyonun artması
- Otomasyon, makinaların karmaşıklığının artması
- Yedek parça ve bakım malzemeleri çeşidin artması
- Diğer firmalarla rekabet
- Diğer firmalarla rekabet
- Daha yüksek maaş ve ücret düzeyi
- Daha yüksek üretim kalitesi
- Teslim tarihlerinin daha düzenli olması ihtiyacı

Bakım faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, verimlilik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkileri şöyle özetlenebilir.

- Makinaların ve onları çalıştıran operatörlerin boş kalmaları
- Dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artması
- Müşteri taleplerinin karşılanamaması, satışlarda düşmeler
- Aksaklığın meydana geldiği departmanla ilgili bulunan diğer departmanlardaki gecikme ve boş beklemeler
- Hatalı ürün oranının artması, kalitenin düşmesi
- Siparişlerin zamanında teslim edilememesi yüzünden müşteri kaybetme

2. Bakımda Bilgi İhtiyacı

Optimum bakım stratejilerinin tasarımı için bilgi gereklidir. Gerekli bilginin makul bir süre içinde ve en az maliyetle elde edilmesi çoğunlukla zor hatta imkansızdır. Bu durumda gerçeğe yakın bilgilerle veya gerçek bağlantılar hakkında varsayımlarla hareket etmek gerekecektir. Bakım yapılacak sistem için şu bilgilere ihtiyaç vardır;

- Bakım yapılacak tüm üretim olanaklarının ve donanımın listesi
- Bir üretim aracının üretim sistemi ile bütünleşme derecesi
- Bakım malzemesinin, personelin ve yedek parçaların kısa sürede elde bulunmasına ait olasılıkların dağılımı
- Arızaların niteliği

Tek bir üretim aracı olarak şu bilgilere ihtiyaç vardır;

- Üretim aracının fonksiyonları, tasarımı ve ham malzemesi
- Yaşı ve kullanma süresi
- Yıpranma durumu
- Yıpranma durumunu belirleme yöntemleri
- Arızaları belirlemek için arama yöntemleri

• Geçmiş arızaların listesi ve uygulanan önemli bakım işlemleri listesi
• Yıpranma karakteristikleri arıza dağılım fonksiyonu, faydalı ömür uzunluğu
• Mümkün bakım işlemlerinin süreleri ve maliyetleri
• Arızaların maliyetleri

3. Etkili Bakım Eğitim Programının Kurulması

İşletmelerin en büyük varlığı işgücüdür. Başarılı olmak için de gereken üst düzeyden teknisyenlere kadar tüm kadrolarda yetenek, beceri ve deneyimin doğru karışımına ihtiyaç vardır. Bunu ifade etmek yapmaktan daha kolaydır. Bakım bölümleri ekipmanların güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için uygun donanıma sahip elemanlar bulmakta zorlanırlar. Teknolojinin gelişmesi ile de mevcut çalışanların sürekli olarak kendini geliştirmesine ve eğitime ihtiyacı vardır. Bu beceri açığı bütün firmalar için bir engeldir.

Bir bakım eğitim programını oluşturmanın temel süreçleri şunlardır;

1. Bakım eğitim programının başlatılması kararının alınması

Eğitim programı firmanın kaynaklarının kullanılmasını gerektiren önemli bir projedir. Başarılı olabilmesi için öncelikle bakım teknisyenlerinin mevcut yeteneklerinin tespit edilmesi gerekir.

Bunun için çalışan beceri düzeylerinin kapsamlı bir değerlendirilmesinin yapılması, zayıf ve geliştirmeye açık alanlarını belirlenmesi gerekir.

Bakım yöneticilerinin eğitim programını üst yönetime kabul ettirebilmesi için bu değerlendirme sonuçlarını onlarla paylaşmalıdır. Bunu yaparken de daha az arıza ve duruş süreleri, mesai azaltma ve böylece bakım işletme maliyetlerini azaltma gibi parametrelerle desteklemek önemlidir.

2. Sistematik bir program oluşturulması

Üst yönetimin onayı alındıktan sonra uygun program içeriğinin oluşturulması gereklidir. İçerik de beceri düzeyleri değerlendirme, zayıf ve geliştirme açık alanlar raporunun sonuçları önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca iş güvenliği kanunları, yönetmelikler, bakımla ilgili standartlar da bu eğitim içeriğinin oluşturulmasında gözönünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte işbaşı eğitimi, atölye eğitimleri, online eğitimler gibi eğitim formatı da belirlenmelidir. En son olarak bütün bunlar belgelenmiş bir şekilde tekrarlanabilir bir halde standart bir uygulama haline getirilmelidir.

3. Eğitimin planlanması ve yürütülmesi

Bakım eğitimi alacak çalışanların belirlenmesi gereklidir. Bir anda bütün bakım çalışanlarının eğitim alması için görevlendirilmesi mümkün olmayabilir. Bunları gruplara ayırmak üretimin aksamadan devamı için önemlidir. Bu eğitimden en fazla fayda sağlayacak kişilere öncelik verilmelidir. İyi bir eğitim programı sürekli öğrenmeyi hedefler. Bu da iş başında öğrenme anlamına gelebilir ve sık sık atölye çalışmaları, eğitim oturumları içerir.

Çalışanların yetkinliklerinin ve ihtiyaç odaklı eğitimlerinin belirlenmesi de önemlidir. Beceri matrisi teknik personelin pozisyonlarının getirdiği profillerinin oluşturulması amacıyla uygulanmaktadır. Farklı pozisyonlara ait görevlerin ve bu görevleri yerine getirmek için ne tür çalışan özelliklerine ihtiyaç duyulduğunun tanımlanması sürecidir. Günümüzde zekaya oranla daha çok yetkinlik kullanılmaya başlanmıştır. Bundan dolayı performans değerlendirme, eğitim planlama ve çalışanı geliştirme yetkinlik modelleri temel alınarak oluşturulmalıdır.

Eğitim ihtiyaç analizi, eğitim ihtiyaçlarının sahada tespit edilmesi, doğru zamanda, doğru çalışan grubuna, doğru içerikle ve yöntemlerle, ihtiyaç duyulan eğitimlerin verilmesi, eğitim kaynaklarının etkin ve etkili kullanımı amacıyla kullanılır. Bu analiz sistematik ve yetkinlik odaklı personel gelişiminin temelidir.

Modern bakım çalışanlarının sahip olması gereken 7 önemli beceri:

• Teknik Uzmanlık

Temel çalışma prensipleri, güvenlik gereksinimleri, teknik şartnameler, bilgisayar becerileri karar verme süreçlerini hızlandırmaya, proaktif bakım stratejilerini kolaylaştırmaya yardımcı olur.

• Kişisel beceriler

Bakım çalışanları herkesle fiziksel ve sanal olarak etkileşime girer ve iyi ilişkileri sürdürürken bilgileri açık ve öz bir şekilde yayabilmeleri gerekir. Kişilerarası iyi beceriler gençlerle kıdemliler arasındaki işbirliğini arttırır.

• Problem çözme ve analitik beceri

Bakım çalışanlarının sağlanan veriler ve bilgileri gözden geçirmeleri, eleştirisel düşünebilmeleri ve sorunları çözmek için rasyonel kararlar verebilmeleri çok önemlidir.

• Adaptasyon

Gelişen teknoloji ile eski süreçler ve ekipmanlar çevre dostu sürdürülebilir seçeneklerle yer değiştirmektedir. Bu çözümler sistemlerin verimliliğini arttırırken bakımda karmaşıklıklara neden olabilmektedir. Bunlar bakım faaliyetlerinin kapsamını değiştirir. Çalışanların yeni teknolojiyi benimseyerek değişikliklere hızlı bir şekilde uyum sağlamaları önemlidir.

• Zaman Yönetim becerisi

Bakım çalışanları kısıtlı zaman çizelgeleri içinde kontrollü bir şekilde üretkenliği korumak için doğru iş rollerini doğru şekilde yerine getirmelidirler. Herhangi bir zamanda birden fazla bakım işlemini yerine getirmeleri gerekir.

• Takım çalışması ve işbirliği

Çok yetenekli bireylerden oluşan ekip ile elde edilen sonuçlar bireysel başarıyı geride bırakır. Ekip halinde çalışarak iyi kararlar alınabilir ve birbirlerinin güçlü yönlerini tamamlayabilirler. Yatay ve dikey işbirliği önemlidir.

• Stresle başa çıkabilme

Tüm bakım faaliyetlerini planlamak mümkün değildir. Acil arızalar oluşabilir. Bu durumlarda bakım faaliyetleri yorucu olup strese neden olabilir. Bu tür durumları iyi yönetebilmek, bunlarla başa çıkabilmek ve kontrol altına alabilmek için esneklik becerileri geliştirmek gerekir.

4. Bakım eğitiminin etkinliğinin ölçülmesi

Bakım eğitimine yapılan yatırımın geri dönüşünü hesaplamak çok mümkün değildir. Bütün bakım performans parametreleri birçok faktörden etkilenir. Arızaların sayısındaki azalmasının kaynağının ne olduğunu bulmak zor olabilir. Bakım performans parametrelerinin seçimi organizasyondan organizasyona farklılık gösterir. Bu parametreler programın güçlü ve zayıf yönlerini bulmak için kullanılabilir. Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi çeşitli parametreleri tanımlamanıza ve izlemenize yardımcı olduğundan bakım raporlarını oluşturmak ve eğitimin çalışanların ve firmanın performansını nasıl etkilediğine ilişkin daha iyi bir görünürlük sağlar. Bütün bunlar da gelecekteki bakım eğitiminin içeriğinin değiştirilmesinde önemli bir rol oynar.

5. Eğitim sonrası aşama için planların oluşturulması

Etkili bir eğitim programı insan unsunu yani eğitime katılanların ilgi ve isteklerini dikkate alır. Bu eğitim programlarına katılanlara teşvik/ödül sistemi oluşturulması önemlidir. Kariyer beklentilerini iyileştiren bir sertifika, yeni bir role terfi, iyileştirilmiş ücret veya başka bir ödül katılımcıların eğitimde daha fazla çaba göstermelerini teşvik eder ve böylece eğitim programının etkinliği büyük ölçüde attırılabilir.

4. Bakım Eğitiminin Faydaları

Etkili bakım, ekipman duruş sürelerine, üretkenlik sorunlarına, güvenlik açıklarına ve diğer sorunlara karşı ilk silahınızdır. Yetenekli ve deneyimli bir bakım işgücü, o işletme için fark yaratır.

Bakım elemanlarının uygun bir şekilde eğitilmesi ile şunlar sağlanır.

• Planlı ve plansız duruşların azaltılması

Bakım çalışmalarının daha hızlı, daha iyi ve zamanında yapılması ile üretkenlik, verimlilik arttırılır. Eğitimli bakım elemanları ekipmanları çalışır durumda tutar ve arızaları da önlemeye yardımcı olur.

• Daha az kaza ve emniyet problemleri

Etkili bakım çalışması ile daha az kaza yaşanır ve her türlü emniyet tedbiri alınarak güvenlik standartlarına uygun çalışmalar yapılır.

• Yönetime daha fazla esneklik sağlar

Bakım eğitim programları ile çalışanların becerileri arttırılacağı için çok yönlü çalışabilen bir ekibe sahip olursunuz. Bu üretim çalışanları içinde böyledir. Böylece üretim ve bakım programlarını uygularken esnek bir yapı kazanılır.

• Çalışanların moralini ve odağını iyileştirir.

Çalışanlar kendilerini güvenli ve yetenekli hissettiklerinde bu işlerine de yansır. Eğitim ile ek yetkinlikler kazanırlar ve kariyer beklentileri de gelişir. Bu faktörler çalışanların moralini ve işe bağlılığını arttırır.

5. Etkili Bir Bakım Eğitim Programının Ayırt Edici Özellikleri ve Temel Unsurları

Etkili bir bakım eğitiminin nasıl olmasına dair kesin bir formül yoktur. İşletmenin türüne, büyüklüğüne, süreçlerine, ekipmanların türlerine, sahip olduğu teknoloji gibi birçok değişkene bağlıdır. Etkili bir bakım eğitim programında çoğaltmaya çalışmamız gereken konular vardır ve bunlar;

• Ekibi eyleme geçirebilir ve teknik beceriler kazandırır.

Ekibi ekipman arızalarına daha hızlı müdahale edebilecek şekilde donatmalıdır.

• Sistematik olarak belgelenmeli ve tekrarlanabilmelidir. Eğitim programı kişiye bağlı olmamalı, eğitim programının kalitesi bozulmamalıdır.

• Tek seferlik bir etkinlik değildir. Konuların karmaşıklığına göre haftalar aylar süren bir süreçtir. En iyi sonuçlar için sürekli eğitim sağlanmalıdır.

• Uzmanlardan oluşan bir ekip tarafından yürütülür.

Bakım gereksinimleri endüstriler arasında büyük farklılıklar gösterir. Genel olarak aşağıdaki eğitim temelleri öğretilir;

• Güvenlik prosedürleri

• Kilitleme ve etiketleme prosedürleri

• Kapatma ve başlatma prosedürleri

• Özel teknik roller için yeterlilik

Endüstriyel bakım eğitimi çok çeşitli uzmanlıkları içeren geniş bir alandır. Temel bilgilerden bazıları endüstriyel güvenlik, çizim ve şemaları okuma, arıza giderme, taşıma araçları/ekipmanları vb. içerir.

Daha özel olanlar, elektrik sistemleri, iklimlendirme sistemleri, bina ve tesis bakımı, depo süreçleri, endüstriyel teçhizat, kaynak, atık işleme, sıhhi tesisat, elektronik, mekanik gibi birçok konuyu kapsayabilir.

6. Bakım Eğitiminin Farklı Biçimleri

Bakım eğitimine yönelik en popüler yaklaşım "Giriş-Uygulama-Doğrulama" yaklaşımıdır. Teorik bilgileri pratik eğitim ve titiz bir değerlendirme sistemi ile birleştirir. Çok sayıda özel bakım bilgi kaynağına dayanan denenmiş ve test edilmiş bir eğitim paradigmasıdır.

Etkili bir bakım eğitim programında aşağıdaki eğitim biçimlerinin karışımı kullanılabilir. Bunlar;

• İşbaşında Eğitim

Bakımda zaman kavramı lükstür. Çok az firma bakım çalışanlarına işten uzakta eğitim için izin verebilir. İşbaşında eğitim sınıf veya metin tabanlı eğitime kıyasla beceri geliştirmede daha etkili olduğu gibi yöneticileri fabrika alanında olduğu için çalışma rahatlığı sağlar. Uygulamalı öğrenme biçimi olduğu için özellikle mekanik bakım için daha yararlıdır.

• Okullar

Çeşitli teknik okullarda temel endüstriyel bakım üzerine birçok kurs vardır. Firmalar çalışanlarına eğitim sağlamak için bu tür okullarla stratejik ortaklıklar kurabilir.

• Çalıştaylar

Firmalar, endüstriyel bakım konularında sertifikalı eğitmenler tarafından yürütülen özel kurum içi atölye çalışmaları düzenleyebilir. Ayrıca ücretsiz güvenlik/bakım eğitimleri sağlamak için bu tür ürün satan firmalardan bu tür ekipman/araçlar hakkında bilgi edinmek içinde faydalanabilirler.

• Online bakım eğitim programları

İnternet eğitim yönünden de kullanılabilir. Güvenilir bakım eğitim sitelerinden videolar ve dökümanlar ile çalışanların kendi kendine öğrenmelerine yardımcı olunabilir.

• Sanal gerçeklik ve arttırılmış gerçeklik teknolojileri ile bakım eğitimi

Sanal gerçeklik ve arttırılmış gerçeklik teknolojileri ile bakım eğitimi çok farklı bir platforma taşınmıştır. Bazı firmalar üretimi kesintiye uğratmadan sürükleyici pratik dersler vermek için makine ve parçalarının yazılımla oluşturulmuş 3D sürümlerini kullanıyor ve makineyi sökmeye gerek kalmadan en iyi şekilde nasıl bakım yapılabileceğini bu sayede göstermektedirler. Bazı firmalarda belirli bakım görevlerinin nasıl yapılacağına dair talimatları içeren arttırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmişlerdir. Bu yöntemler bakım eğitimini yürütmenin en güvenli ve ilgi çekici bir yöntemidir ama maliyetlidir.

• Sanal eğitim

Uzaktan eğitimin popüler olduğu bu dönemde bakım eğitimi sanal bir sınıfta yapılabilir. Eğitimciler firmaya gelmeden video konferans yöntemi ile canlı eğitimler sunabilir.

7. Sonuç

Başarılı bir bakım eğitim programı arayan bir firma, bir programı geliştirmenin ve uygulamanın zaman ve para gerektirdiğini, ancak ödüllerin kendileriyle ilişkili maliyetin çok ötesinde olduğunu bilmelidir. Doğru şekilde geliştirilen ve uygulanan bakım eğitimi, şirketlerin paradan tasarruf etmesine, ürün kalitesini artırmasına ve çalışanların moralini iyileştirmesine yardımcı olabilir. Bir birey bir beceri konusunda eğitildikten sonra, bu beceriyi gerçekleştirmek için zaman ve araçlar sağlanmalı ve eylemlerinden sorumlu tutulmalıdır. Her zaman "Yetişkin Öğrenme ilkesini hatırlanmalıdır, bir kişi bilgiyi öğrenmek ve saklamak için 7 -21 kez arasında bir şey görmeli veya yapmalıdır.

8. Referanslar

1- www.reliabilityweb.com, "How To Develop and Implement a Successful Maintenance Skills Training Program", Ricky Smith

2- www.plant-maintenance.com/articles/Assessing_Maintenance_Training_Needs.pdf

3- Antosz K. Maintenance – identification and analysis of the competency gap. Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, 2018; 20 (3): 484–494

4- https://ftmaintenance.com/maintenance-management/what-makes-good-maintenance-technician/

Higgins & R. Keith Mobley - 7th Edition, Maintenance Engineering Handbook

9. Özgeçmiş

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.

Üretim firmalarında Bakım konusunda part-time danışmanlık yapmaktadır.

BAKIM PLANLAMASI İÇİN ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNE DAYALI BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

Y. Müh. Taha AKKURT [1], Prof. Dr. İnci SARIÇİÇEK [2]

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
akkurttaha@gmail.com[1], incid@ogu.edu.tr[2]

İmalat sektöründeki firmaların rekabet ortamında gelişimlerini sürdürebilmeleri için makina ve tesislerinin sürekli çalışır durumda olmasını sağlayacak bakım çalışmalarını gerçekleştirmesi gerekmektedir. Sistem performansının analiz edilmesi, bakım planlamasının daha etkin hale getirilmesi için çok önemlidir. Bu kapsamda işletmelerin performanslarını ölçmek amacıyla standartlara uygun 24 adet KPI (Key Performance Indicator, Anahtar Performans Göstergesi) belirlenmiştir. CNC makinelerinden anlık olarak elde edilen verileri kullanarak, KPI'larla sistem performansının izlendiği bir karar destek sistemi hazırlanmıştır. Tasarlanan sistem üç ayrı modülden oluşmaktadır. Performans izleme modülü içerisinde, KPI değerleri anlık olarak görselleştirilmektedir. Performans değerlendirme modülünde, KPI değerleri istatistiksel süreç kontrolü teknikleriyle analiz edilerek kullanıcıya sunulmaktadır. Performans tahminleme modülünde ise, derin öğrenme tekniklerinden LSTM modeli ile geçmiş dönem performans verileri incelenerek gelecek periyotlardaki değerlerin tahminlemesi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak kullanıcıya muhtemel senaryolar gösterilmektedir. Oluşturulan sistem kullandığı teknikler ve açık kaynak kodlu programlama alt yapısıyla özelleştirilmeye ve sürekli gelişmeye uygun olup, endüstrilerde kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır.

1. GİRİŞ

Bakım, bir sistemi veya bir birimi, amaçlanan işlevini yerine getirmek için gerekli olan tüm eylemler olarak tanımlanabilir. Bakımın temel amacı, bakım faaliyetlerinden kaynaklanan maliyeti ve olası üretim kaybını kontrol ederken, sistemin kabiliyetini ve işlevselliğini korumaktır.

Bakım politikaları olarak da literatürde yer alan bakım stratejileri onarıcı bakım, önleyici bakım ve kestirimci bakım olarak üç başlıkta toplanmaktadır [1].

***Onarıcı** Bakım (**Corrective Maintenance/Run-to-Failure (R2F)/Breakdown Maintenance**),* sadece bir ekipman bozulduğunda, çalışmaz duruma geldiğinde gerçekleştirilen bakım türüdür. Bir makinanın arızalanması işletmede üretimin aksamasına sebep olabilmekte ve bu da doğrudan maliyetleri etkilemektedir. Arızalanan ya da bozulan ekipman için onarıcı bakım yapılır. Onarıcı bakım, literatürde "Arıza giderici bakım", Düzeltici bakım" ve "Acil bakım" olarak da adlandırılmaktadır.

Önleyici bakım (Preventive Maintenance), süreç/ekipman arızalarını önlemek için periyodik olarak planlanmış bir program veya süreç yinelemeleriyle periyodik olarak gerçekleştirilen bakımdır. Arızalardan kaynaklanan başarısızlıkları önlemek için etkili bir yaklaşımdır. Önleyici bakım, "Koruyucu bakım", "Planlı bakım", "Programlı bakım" olarak da adlandırılmaktadır. Önleyici bakım, rutin olarak yağlama, temizlik, parça değiştirme gibi aşınma ve bozulmayı önleyici faaliyetleri içerir.

Kestirimci bakım (Predictive Maintenance), bir süreç/ekipmanın proses bütünlüğünün sürekli olarak izlenmesine dayanarak bakımın sadece gerektiğinde yapılmasını amaçlayan bakımdır. Bakım işlemlerinin ne zaman gerekli olduğunu belirlemek için öngörücü araçlar kullanır. Geçmiş verilere dayanan tahmin araçları (örn. Makine öğrenmesi teknikleri), bütünlük faktörleri (örn. Görsel yönler, aşınma, orijinalden farklı renklendirme, vb.), istatistiksel çıkarım yöntemleri ve diğer mühendislik yaklaşımları sayesinde arızaların erken tespitine izin verir. Kestirimci bakım, arıza meydana gelmeden önce arıza veya hata tahmini ile ilgilenir.

Bir fabrikanın makina ve tesislerinin sürekli olarak çalışır durumda olmasını sağlamak amacı ile yapılacak olan faaliyetlerin planlanması bakım planlaması olarak tanımlanmaktadır. Bakım planlaması, arıza sayısını ve bunlarla ilgili maliyetleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için tasarlanmış olup işletmeler için kritik öneme sahiptir. Endüstri 4.0 yaklaşımı ile birlikte veriye dayalı bakım planlamasının önemi artmıştır. Nesnelerin İnterneti ve sensör teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde işletmelerin bünyesinde bulunan varlıklara ait büyük miktarlarda veriler toplanmaktadır. Toplanan veriler bakım performansını izlemek ve değerlendirmek için kullanılabilmektedir.

Bakım performansı, bir öğeyi korumak için aktif olarak kaynakları kullanmak veya gerekli işlevini yerine getirebileceği bir duruma geri yüklemenin sonucudur. Bakım performansı, hem gerçek hem de beklenen sonuçları ölçmek için uygun göstergelerle değerlendirilebilecek karmaşık faaliyetlerin bir sonucudur [2]. Çeşitli yöntemler kullanılarak bakım performansını hesaplamak mümkündür. İşletmeler için performans ölçümünün büyük önem sarf etmesi, bu sistemlerin oldukça etkili olması gerektiğini göstermektedir. Bu noktada hedeflerin iyi seçilmesi, aynı doğrultuda etkin bir veri toplama sisteminin olması gerekmektedir. Ayrıca ortaya konulan performans ölçüm sisteminin işletmenin her seviyesinde kabul görülüp benimsenmesi, süreklilik ve başarı açısından çok önemlidir. Bu çalışmada, bakım faaliyetlerinin performans değerlendirmesi için anahtar performans göstergelerini (Key Performance Indicators, KPI) kullanan bir sistem tasarlanmıştır.

Çalışmanın izleyen bölümlerinde ilk olarak literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, anahtar performans göstergelerinin tanımı ve önerilen sistemde kullanılan göstergeler detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde sistem mimarisi ve yapılan çalışmaların detayları aktarılmıştır. Son bölümde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde anahtar performans göstergeleri kullanarak tasarlanan birçok üretim izleme ve değerlendirme çalışması bulunmaktadır. Senkuvienė vd. [3] çalışmalarında, Litvanya'daki bir CNC imalat fabrikası için performansı artırmak üzere KPI'lar kullanarak bir üretim izleme sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem gerçek zamanlı üretim takibi ve ekipman iş yükü izleme üzerinedir. Başka bir çalışmada [4], esnek üretim sistemleri (FMS) için dinamik makine kullanım oranı ve toplam ekipman etkinliği (OEE) gibi anahtar performans göstergeleri kullanılarak bağlama duyarlı bir optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Riexinger vd. [5], çalışmalarında çevresel, operasyonel ve ekonomik yönlere odaklanan dinamik anahtar performans göstergeleri içeren bütünsel bir üretim modeli ve simülasyon sistemi tasarlamışlardır. Üretim hattından toplanan veriler KPI odaklı olarak izlenip, görselleştirilip analiz edilmektedir. Diğer bir çalışmada [6], lojistik işletmeleri için

anahtar performans göstergelerine dayalı bir performans değerlendirme modeli önerilmiştir. Wohler vd. [7], çalışmalarında anahtar performans göstergeleri ile istatistiksel süreç kontrolü tekniklerini bir arada kullanmışlardır. Skylakha vd. [8], çalışmalarında Hindistan'daki bir hastane için performans yönetimine dayalı bir karar destek sistemi hazırlamışlardır. Bu doğrultuda 5 bölümde 44 gösterge belirlenmiş, yıllık 350 GB boyutunda veriyle analiz edilmiş ve sağlık izleme sisteminin kurumsal performansı ölçülmüştür. Ayrıca makine öğrenmesi algoritmalarıyla da (trend analizi vb. yöntemler) geleceğe yönelik kestirimler çıkarılmıştır. Sikora vd. [9], köprü vinç ekipmanı için canlı durum izleme sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca tüm gösterge verileri incelenerek kestirimci bakım için analizler çıkarılmıştır.

3. ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİ

Bir performans değerlendirme yöntemi olan anahtar performans göstergeleri, organizasyonların devam eden ve gelecek başarısında kritik ve hayati önem taşıyan performanslarına odaklanır. Operasyonel, taktik veya stratejik bir faaliyetin ne kadar iyi gerçekleştirildiğini ölçen bir ölçüm yöntemi olarak tanımlanmaktadır. KPI'lar, performansı izlenen bir sistemin amaçlarını değerlendirmek veya bir sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmek gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Bir KPI tanımı, içeriği hakkında bilgi içermelidir. Bu bilgiler KPI'ın formülü, ölçü birimi, eşik değerleri ve hedef trendleri olabilir [10].

KPI'ların tanımlanmasında kullanılan kavramların bazılarında, neyin ölçüleceği, değerlerin kuruluş çapında nasıl iletileceği, hedefler ve stratejilerle nasıl uyumlu hale getirileceği konusunda karışıklıklar çıkabilmektedir. Bu noktada KPI'lar ile ilgili standartlara ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Avrupa Standardizasyon Komitesi, bakım mükemmelliğine ulaşmada yönetimi desteklemek ve teknik ekipmanları rekabetçi bir şekilde kullanmak için Bakım Anahtar Performans Göstergelerini oluşturmuştur. Bu göstergelerin çoğu, tüm endüstriyel ve destekleyici tesisler için geçerlidir. İzleyen başlıkta EN 15341 standardını detayları verilmiştir.

3.1. EN 15341 Bakım Anahtar Performans Göstergeleri Standardı

EN 15341 standardı, bakım performansını ölçmek, ekipmanların bakımında mükemmelliğe ulaşmak, verimliliği değerlendirmek ve iyileştirmek için ekonomik, teknik ve organizasyonel çerçeveden performans göstergelerini açıklamaktadır. Toplam 71 adet göstergeden oluşan EN 15341 standartlarında kullanılan tüm formüllerin ve açıklamaların tanımı EN 13306:2001 Bakım Terminolojisi standartlarına dayandırılmıştır. Önerilen bu göstergeler belirli bir formüle göre aktiviteler, kaynaklar veya olaylar arasındaki pay ve payda oranı olarak değerlendirilebilir. Bu göstergelerin ölçümü ve analizi, ekonomik, teknik ve organizasyonel açıdan yönetime aşağıdaki konularda yardımcı olabilir:

- Güncel durumu ölçmek,
- Performansı değerlendirmek ve karşılaştırmak,
- Güçlü ve zayıf yönleri belirlemek,
- Kontrol ilerlemesini ve zaman içindeki değişiklikleri kontrol etmek,
- Hedefler koymak, strateji ve eylemleri planlamak [2].

3.2. Önerilen Sistemdeki Anahtar Performans Göstergeleri

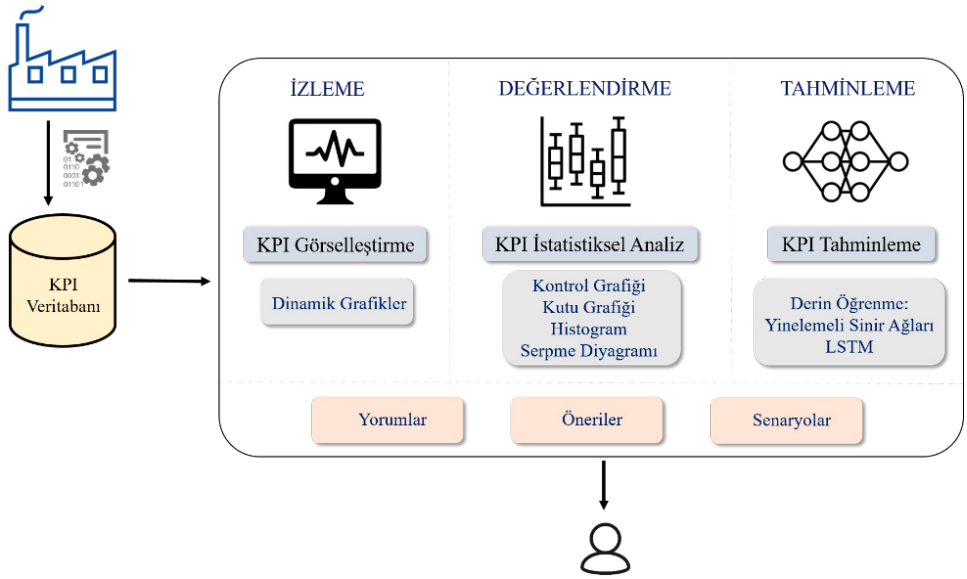
Yapılan literatür araştırmasıyla birlikte, bakım performansını her yönüyle ölçebilmek için bu çalışmada kullanılması gereken toplam 24 KPI belirlenmiştir. Göstergeler belirlenirken çeşitli kaynaklar baz alınmış ancak çoğu kaynağın temelinin 2007 yılında İngiliz Standartlar Enstitüsü (BSI) tarafından yayımlanan "EN 15341 Bakım Anahtar Performans Göstergeleri" standartlarına dayandığı görülmüştür. İlgili göstergelerin tanımları, hesaplama formülleri, hedef trendleri ve işletme seviyesinde nereye hitap ettikleri belirlenmiştir. Tüm anahtar performans göstergeleri içeriğiyle birlikte Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge **1.** Önerilen sistemdeki anahtar performans göstergeleri

KPI (İng.)	Tanım	Formül
Asset utilization	Varlık kullanımı	
Availability	Varlıkların kullanılabilirliği	
Capacity utilization	Kapasite kullanımı	
Downtime	Duruş süresi oranı	
Mean time between failure (MTBF)	Arızalar arası ortalama süre	
Mean time to repair	Ortalama onarım süresi	
Defect rate	Kusurlu oranı	
Completion ratio	Zamanında tamamlanan iş oranı	
Performance rate	Bir sürecin aktif olarak çalıştığı periyotta üretim için geçen sürenin etkin süreye oranı	
Quality rate	Toplam üretim miktarındaki kusurlu ürün sayısı oranı	
OEE (Overall Equipment Effiency) rate	Toplam ekipman etkinliği	
Preventive maintenance work ratio	Önleyici bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı	
Emergency maintenance work ratio	Acil bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	
Utilization about maintenance	Bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	
Utilization about failure	Arızayla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	
Utilization about planned maintenance	Planlı bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	
Mean time between maintenance work orders causing downtime	Toplam çalışma süresindeki duruşa neden olan bakım iş emri sayısı	
Mean time between maintenance work orders	Toplam çalışma süresindeki bakım iş emri sayısı	
Percentage maintenance personnel on shift	Vardiyadaki bakım personeli sayısı oranı	
Uptime	Çalışma süresi	
Man power utilization	Bakım personelin işbaşında olduğu sürenin toplam süreye oranı.	
Planned maintenance work ratio	Planlı ve kestirimci bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	
Maintenance personnel ratio	Toplam bakım personel sayısı oranı	
Training hours ratio	Bakım personeli için eğitim saatleri oranı	
Maintenance cost ratio	Bakım maliyetinin tezgah değerine oranı	
Breakdown cost ratio	Duruş süresi maliyetinin toplam bakımdaki oranı	

4. ÖNERİLEN SİSTEM

Çalışmada kullanılması planlanan göstergelerin belirlenmesinin ardından uygulamanın yapılabilmesi için veri seti arayışına girilmiştir. Bu doğrultuda veri seti olarak, bir otomotiv işletmesindeki CNC makinelerine ait KPI verileri kullanılmıştır. İşletmeden ancak Çizelge 1'deki ilk 11 KPI tahsis edilebildiği için uygulama bu KPI'lar özelinde gerçekleştirilmiştir. İşletme 8'er saat olmak üzere iki vardiyalı sistemde çalışmaktadır. Günlük olarak her dakika ölçülen veriler boyutunun fazla olmasından dolayı büyük veri özellikli veritabanı MongoDB' ye aktarılmaktadır. Tasarlanan karar destek sisteminin diyagramı Şekil 1'de verilmektedir.

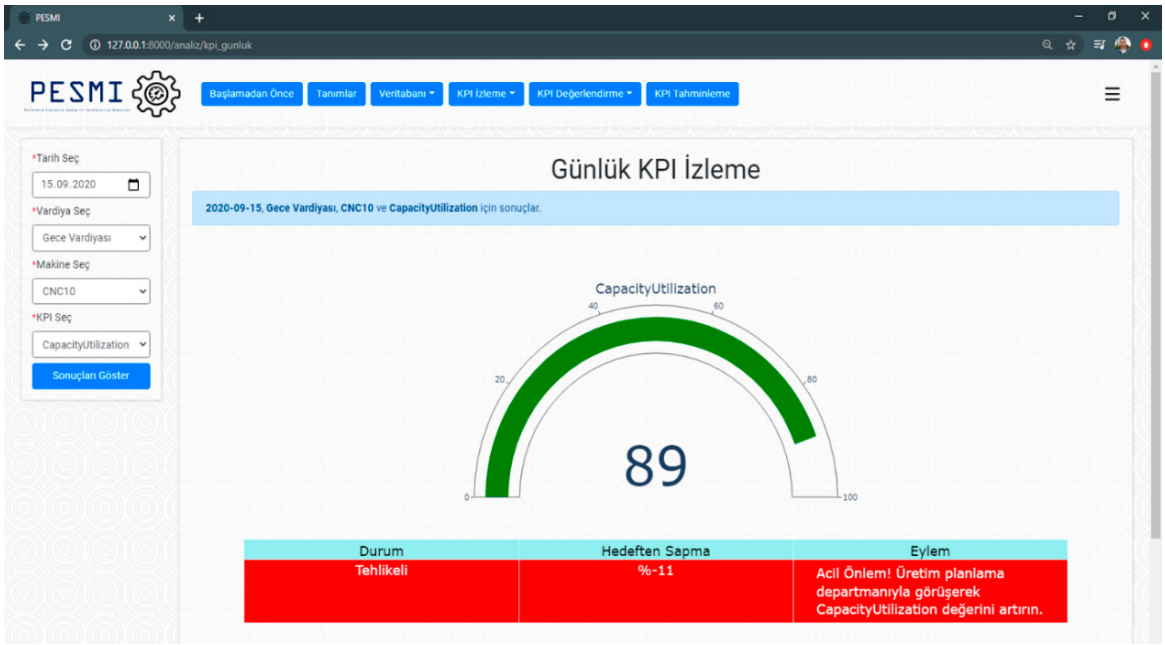


Şekil 1. Tasarlanan karar destek sisteminin mimarisi

İşletmeye ait veriler, oluşturulan KPI veritabanında toplandıktan sonra analiz edilmesi için sisteme yönlendirilmektedir. Sistemde gerçekleştirilen analiz çalışmaları 3 ana modüle ayrılmıştır [11]. Bu modüller sırasıyla izleme (monitoring), değerlendirme (evaluation) ve tahminleme (prediction) şeklindedir. Tüm analizler kullanıcı dostu grafiklerle görselleştirilerek anlaşılır bir şekilde karar vericiye sunulmuştur. Yapılan analizlerin ardından elde edilen sonuçlar oluşturulan senaryolar çerçevesinde kullanıcıya sunulmaktadır. Tasarlanan uygulamanın kullanıcı dostu bir arayüzde sunulması bu çalışmanın önemli hedeflerinden biridir. Bu doğrultuda Python programlama dili kullanılarak web tabanlı bir arayüz tasarlanmıştır. Sistem güvenliği, anlaşılır butonlar ve görsellik ön planda tutulmuştur.

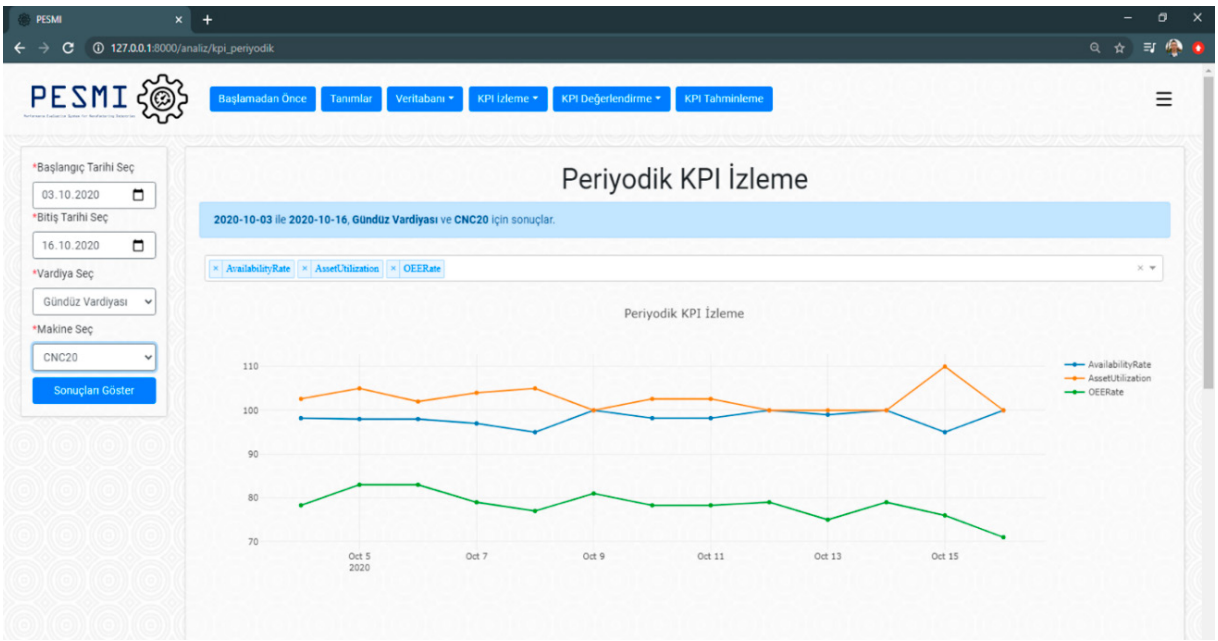
4.1. KPI İzleme Modülü

KPI İzleme modülünde, kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerde günlük ve periyodik olarak göstergeler takip edilebilir. Ayrıca yine bu başlık altında, seçilen bir anahtar performans göstergesinin iki zaman periyodu aralığında karşılaştırması yapılabilmektedir. Şekil 2'de Günlük KPI İzleme sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.



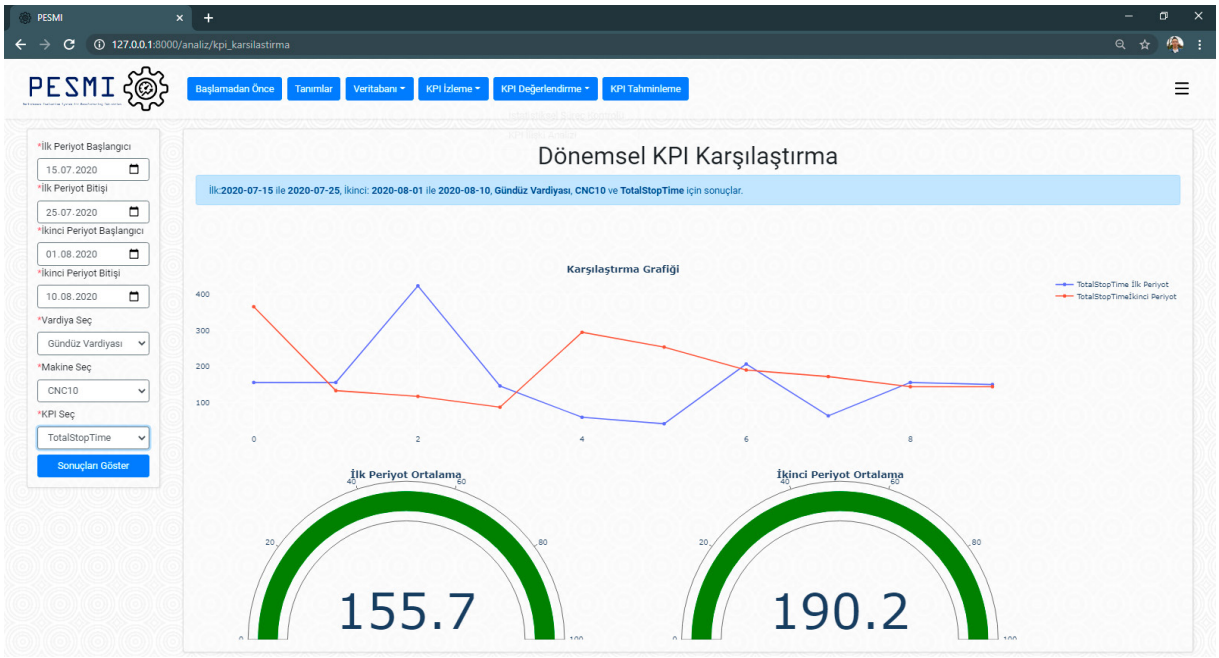
Şekil 2. Günlük KPI İzleme Ekran Görüntüsü

Değerleri yorumlamak için oluşturulan tablo, durum, hedeften sapma ve eylem sütunlarından oluşmaktadır. İlgili göstergenin seçilen tarihteki değerine göre yorum ve eylem planları tabloda yer almaktadır. Ayrıca hedeften sapma yüzdesine göre kırmızı, sarı ve yeşil renklerle tablo boyanarak kullanıcıya durumun aciliyet seviyesi anlatılmak istenmiştir. Şekil 3'te Periyodik KPI İzleme sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.

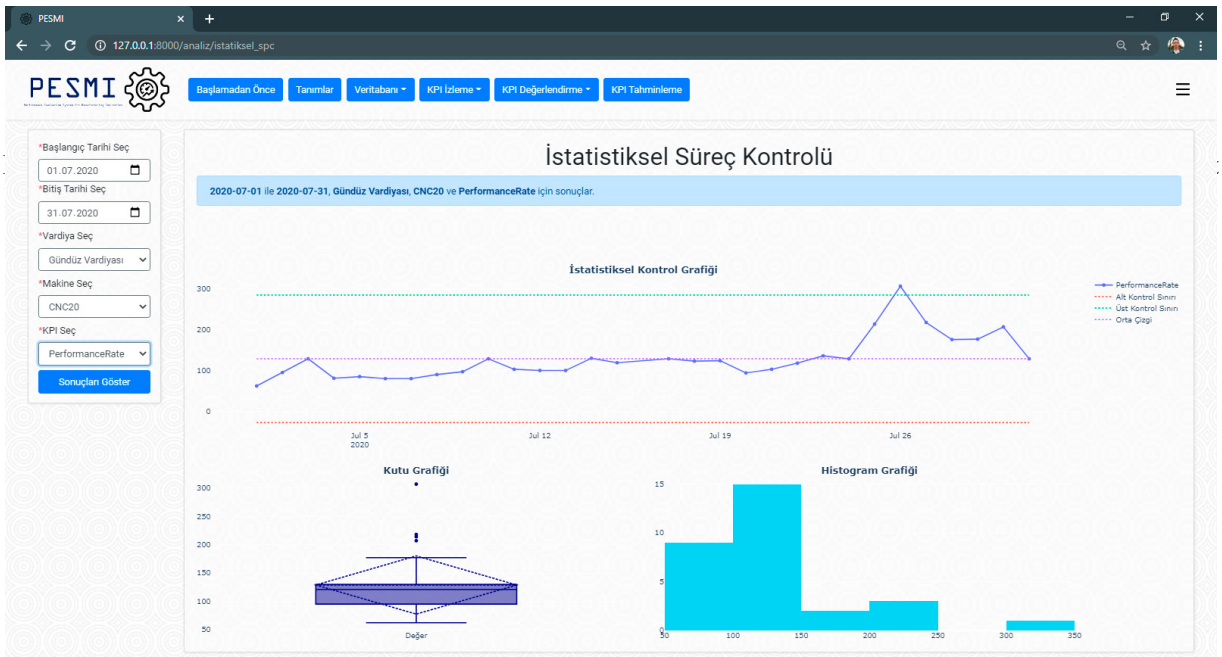


Şekil 3. Periyodik KPI İzleme Ekran Görüntüsü

Kullanıcı istediği göstergeyi seçerek ve grafiğe ekleyip çıkararak belirlenen periyotta KPI takibi sağlayabilmektedir. Bu sayede birden çok anahtar performans göstergesinin bir arada takip edilmesi sağlanmıştır. Şekil 4'te ilgilenilen KPI'ın farklı dönemlerdeki değerlerinin karşılaştırıldığı ekran görüntüsü verilmiştir.

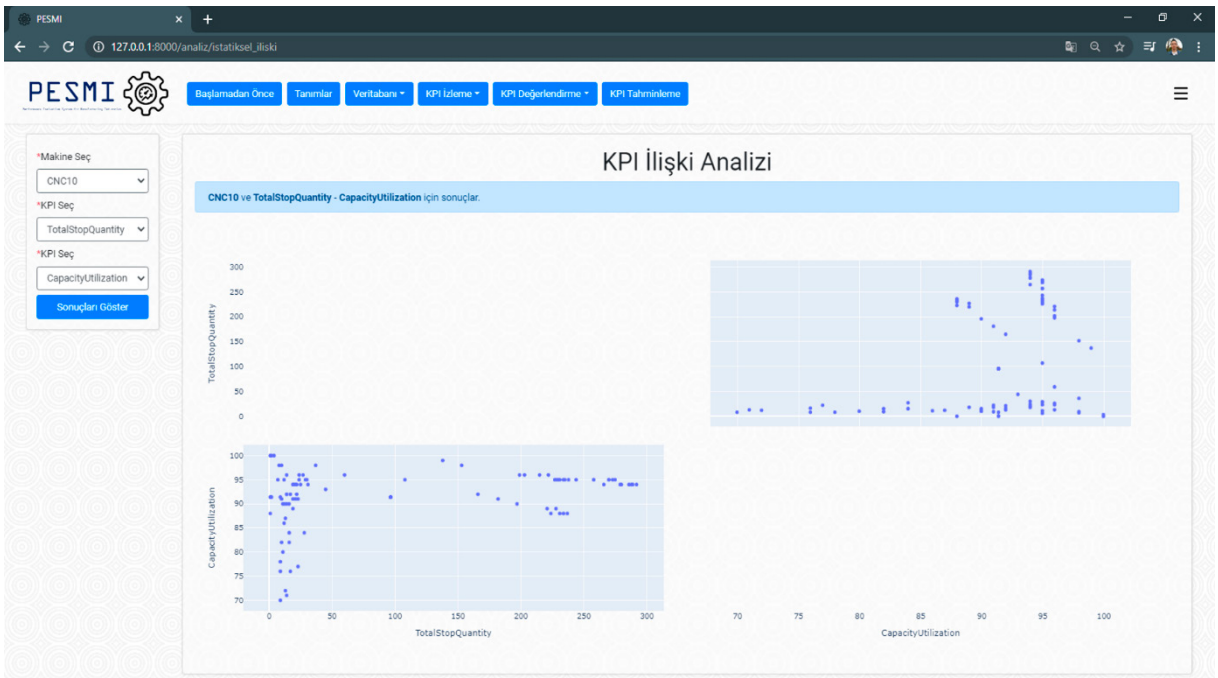


Şekil 4. Dönemsel KPI Karşılaştırma Ekran Görüntüsü



Şekil **5.** *İstatistiksel Süreç Kontrolü Ekran Görüntüsü*

Yapılan istatistiksel analiz ile birlikte KPI değerlerinin belirlenen aralıkta nasıl seyrettiği ve değişkenliği kullanıcıya sunularak performans kontrolünün sağlanması ve işgücü verimliliğinin takibi amaçlanmıştır. Şekil 6' da KPI İlişki Analizi sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.

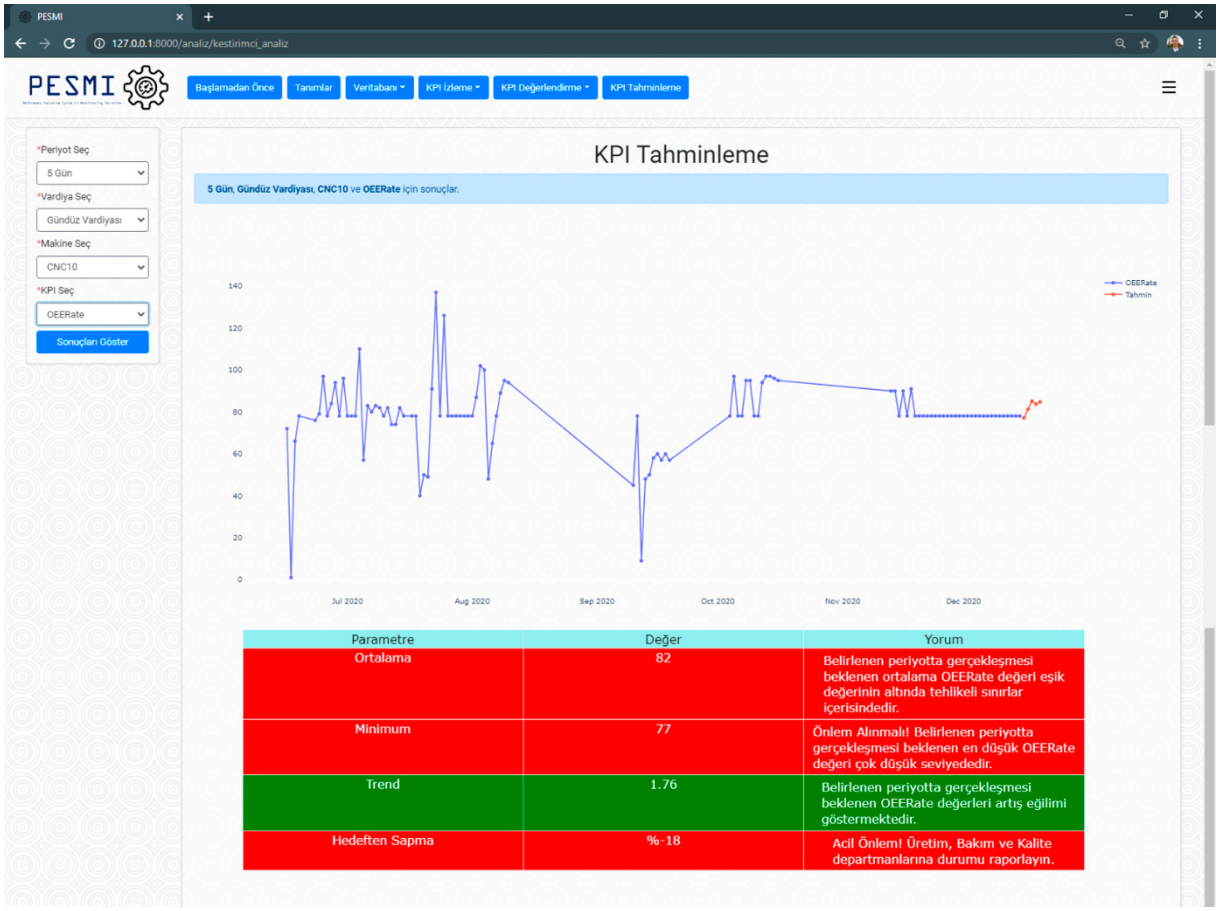


Şekil **6.** *KPI İlişki Analizi Ekran Görüntüsü*

4.3. KPI Tahminleme Modülü

KPI Tahminleme modülünde, ilgilenilen KPI'ların gelecek dönemlerde nasıl seyredeceğini tahmin etmek amaçlanmıştır. Veri setindeki KPI'lar her gün olmak üzere sabit zaman aralıklarında toplandığı için özünde sıralı bir zaman serisi oluşturmaktadır. KPI tahminleme modülünde, yinelemeli sinir ağlarının gelişmiş bir hali olan LSTM modeli kullanılarak kestirimci analiz gerçekleştirilmekte ve belirlenen periyoda göre geleceğe yönelik tahminlerde bulunulmaktadır. LSTM yapısı geçmiş verileri sıralı nöronlar haline getirerek sürekli olarak geleceğe yönelik bilgi akışı sağlamaktadır. Problemin çözümü için Python'da yazılmış açık kaynak kodlu sinir ağı kütüphanesi olan Keras kullanılmıştır. Ardından sonuçlar yorumlanarak kullanıcıya muhtemel senaryolar gösterilmektedir.

Kullanıcı bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler tahmin periyodu, vardiya, makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır. Tahmin periyodu 5, 10, 15 ve 20 günden oluşmaktadır ancak bu değerler özelleştirilebilir. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına seçilen göstergenin bu zamana kadarki tüm değerleri ve ardından tahmin edilen KPI değerleri aynı çizgi grafiği üzerinde gösterilmektedir. Grafiğin altındaki tabloda sonuçlar yorumlanarak kullanıcıya senaryolar gösterilmekte ve karar vermesinde destek olunmaya çalışılmıştır. Şekil 7'de KPI tahminleme modülüne ait örnek ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil **7.** *KPI tahminleme ekran görüntüsü*

Belirlenen gelecek döneme ait tahminlerin yapılmasının ardından oluşan sonuçlar grafiğin altındaki tabloda yorumlanmaktadır. Beklenen KPI tahminlerinin ortalaması, minimum değeri ve hedeften sapma yüzdesi tespit edilerek yorum ve öneriler kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca tahmin edilen değerler üzerinde trend analizi de gerçekleştirilmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen değer 0'dan büyükse KPI artış eğilimindedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada imalat sektöründeki firmalarda bakım planlaması için anahtar performans göstergeleri üzerine kurulmuş performans değerlendirme sistemi tasarlanmıştır. Bakım yönetimi EN 15341 standartlarına uygun anahtar performans göstergeleri kullanılarak oluşturulan çalışma, işletmelerin bakım başarısında kritik rol oynayan noktalara odaklanarak karar vericiye bakım performansı hakkında bilgi vermektedir. Tasarlanan sistem, KPI İzleme, KPI Değerlendirme ve KPI Tahminleme olmak üzere 3 modülden oluşmaktadır. Elde edilen performans değerleri, dinamik ve anlaşılır grafikler ile görselleştirilmekte, ayrıca istatistiksel süreç kontrolü ve derin öğrenme teknikleriyle analiz edilip yorumlanarak kullanıcılara sunulmaktadır. Oluşturulan performans değerlendirme sisteminin tüm analiz çalışmaları ve görsel arayüzü açık kaynak kodlu Python programlama dili ile kodlanmıştır. Yapılan çalışmaların ardından üretim endüstrisindeki firmalar için kullanılabilir nitelikte bakım performans değerlendirme sistemi başarıyla kurulmuştur. Tasarlanan sistemin geliştirilebilmesi için ilerleyen aşamalarda sanayi desteği alarak bir işletmedeki tüm makineler için anlık veriler üzerinde bakım performans değerlendirmesi mümkün olabilir. Ayrıca oluşturulan KPI sayısı artırılarak daha geniş yelpazede performans ölçümü yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 1170452 no'lu "Otomotiv Endüstrisi için Akıllı Üretim Yönetim Sistemi-IOTOPRO" proje çerçevesinde elde edilmiştir.

Kaynakça

1. *Çınar E., Sarıçiçek İ. 2021. Hata Tespiti ve Kestirimci Bakım Uygulamalarında Yapay Zeka Kullanımı, Yapay Zeka ve Büyük Veri Kitap Serisi 2: Endüstri 4.0 ve Yapay Zeka, Sağıroğlu Şeref, Demirezen Mustafa Umut, Yazıcı Ahmet, Editör, Nobel, s.243-266, Ankara.*

2. *The European Standard EN 15341, 2007. "Maintenance Key Performance Indicators", British Standards Institution.*

3. *Senkuvienė, I., Jankauskas, K., Kvietkauskas, H. 2014. "Using Manufacturing Measurement Visualization to Improve Performance, Mechanics", vol. 20, no.1, p. 99-107.*

4. *Uddin, M. K., Puttonen, J., Martinez Lastra, J. L. 2015. "Context-Sensitive Optimisation of the Key Performance İndicators For FMS", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 28, no. 9, p. 958-971.*

5. *Riexinger, G., Holtewert, P., Bruns, A., Wahren, S., Tran, K., Bauernhansl, T. 2015. "KPI-Focused Simulation and Management System For Eco-Efficient Design of Energy-İntensive Production Systems", Procedia CIRP, vol. 29, p. 68-73.*

6. *Küçükaltan, B., Irani, Z., Aktas, E. 2016. "A Decision Support Model For Identification and Prioritization of Key Performance Indicators in the Logistics Industry", Computers in Human Behavior, vol. 65, p. 346-358.*

7. *Wohlers, B., Dziwok, S., Schmelter, D., Lorenz, W. 2018. "Improving Quality Control of Mechatronic Systems Using KPI-Based Statistical Process Control", International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, p. 398-410.*

8. *Skylakha, S., Sakthivel, P., Arunselvan, K. S. 2020. "Empirical Study on Application of Machine Learning Techniques For Resource Allocation in Health Care Using KPI", The Journal of Supercomputing, vol. 76, no. 4, p. 2266-2274.*

9. *Sikora, M., Szczyrba, K., Wróbel, Ł., Michalak, M. 2019. "Monitoring and Maintenance of A Gantry Based on A Wireless System For Measurement and Analysis of the Vibration Level", Eksploatacja i Niezawodność, vol. 21, no. 2, p. 341-350.*

10. *BS ISO 22400-1, 2014. "Automation Systems and Integration — Key Performance Indicators (KPIs) For Manufacturing Operations Management", International Organization for Standardization.*

11. *Akkurt, T. 2021. "Üretim Sistemlerinde Anahtar Performans Göstergeleri İçin Bir Karar Destek Sistemi", Yüksek Lisans Tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.*

BAKIMDA ERGONOMİK İŞ ALETLERİ

Prof.Dr. Ali ORAL

Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Çağış Yerleşkesi -Balıkesir
alioral@balikesir.edu.tr

ÖZET

Bakım, bir makinenin aynı performansı koruyarak düzenli olarak çalışmasını sağlamak üzere yapılan planlı çalışmalardır. Bu çalışmalar sırasında bakım personeli, çeşitli ortopedik zorlanmalara maruz kalabilmektedir. Bakım faaliyetlerinde ergonomi biliminden yararlanılmaması halinde bu zorlanmalar bazen kalıcı sakatlıklara neden olabilmektedir. Vücudumuzla bir iş yaparken vücudumuzun doğal duruş pozisyonu korunmalıdır. Bu duruş pozisyonundan uzaklaşıldıkça daha fazla enerji harcanarak vücutta istenmeyen hasarlar oluşmaktadır. Bu nedenle iş yaşamında iş görenin doğal duruş pozisyonuna uygun çalışması sağlanabilmelidir. Bu amaçla, çalışırken kullanılan alet ve teçhizatın da insana uyumlu olarak tasarlanıp-üretilmesi gereklidir.

Bakım personelinin çalışması esnasında zarar görmesini önlemek için öncelikle makinenin tasarım aşamasında montaj-demontaj kolaylıkları dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, bakım esnasında karşılaşılabilecek zor çalışma şartlarına ait örnekler değerlendirilerek tasarım çalışmalarında insan antropometrisine uygun bakım aletlerinin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Terimler: ergonomi, antropometri, el aletleri

ERGONOMIC WORK TOOLS IN MAINTENANCE

Prof.Dr. Ali ORAL

Balıkesir University, Department of Mechanical Engineering Çağış Campus -Balıkesir
alioral@balikesir.edu.tr

ABSTRACT

Maintenance is the planned work of a machine to ensure continuous operation while maintaining the same performance. During these studies, maintenance personnel may be exposed to various orthopedic difficulties. If ergonomics science is not used in care activities, these difficulties can sometimes cause permanent disabilities. When doing a job with our body, the natural posture of our body should be kept. As you move away from this posture, more energy spent and unwanted damage occurs in the body. For this reason, it should be ensured that the employee works in accordance with the natural posture of the employee in business life. For this purpose, the tools and equipment used in the work must be designed and produced in accordance with the human.

In order to prevent damage to the maintenance personnel during their work, the ease of assembly-disassembly should be taken into consideration during the design phase of the machine.

In this study, examples of difficult working conditions that may be encountered during maintenance will be evaluated and suggestions for the development of care tools suitable for human anthropometry will be presented in design studies.

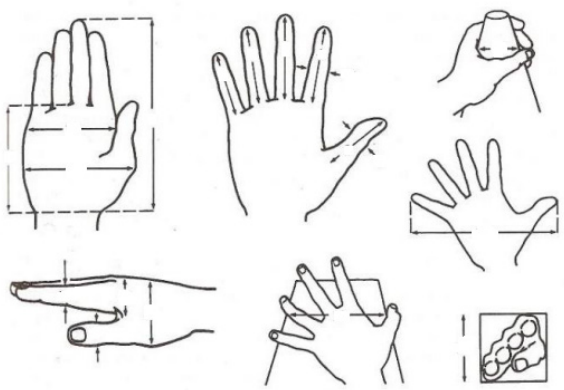
Key Words: ergonomics, anthropometry, hand tools

1. Giriş

Bakım, iş ekipmanında ve bileşenlerinde ömür çevrimi boyunca yapılan her türlü yenilenme, tamir, değişim, ayar, arıza giderme, temizlik ve kalibrasyon işlemlerinden herhangi birisinin veya birkaçının birlikte uygulandığı işlemdir. Bakım faaliyeti verimliliğin sürdürülebilmesi, firmanın rekabet edebilirliğinin ve yüksek kalitede ürün üretiminin sağlanması açısından önemlidir. Aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği üzerine de etkisi bulunmaktadır. Bakım çalışmalarının önemli bileşenleri insan ve makinedir. İnsan faktörü konusunda yapılacak her türlü çalışma, kazaların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Endüstriyel çalışmalarda mümkün olan en iyi performansı elde etmek için, kullanılan el aletlerinin kullanıcıya ve işe uyması gerektiği bilinmektedir. Bu aletlerin tasarımında ve seçiminde, işi ve işgöreni dikkate almamak, akut veya kronik yaralanmalara neden olabilir.

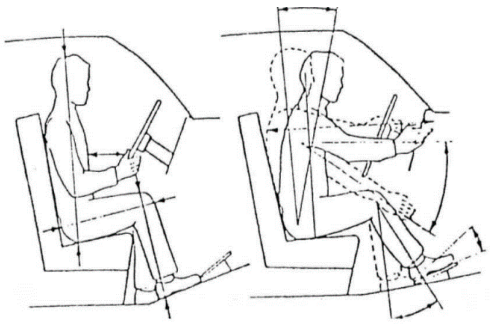
Tasarım mühendisleri, bir makinanın tasarımını yaparken montaj kolaylıkları kadar bakım kolaylıklarını da dikkate almak zorundadır. Montaj-demontaj kolaylıklarını sağlayabilmenin en önemli koşullarından biri tasarımı yapılan makinenin insan vücut ölçülerine ve insan hareket sınırlarına uyumlu olmasının sağlanmasıdır. Bu ifade, ergonomi terimini hatırlatmaktadır. Ergonomi, insan makine çevre uyumunu sağlamaya çalışan multi-disipliner bir araştırma geliştirme aracıdır. Bir makinenin insan vücut ölçülerine uyumlu yapılabilmesi için o makineyi kullanan insan boyutlarıyla makine ölçülerinin birbirine uyumlu olması gerekir. Yani, bir makine tasarımı yapılırken makineyle etkileşim halinde olan insan vücut ölçülerinin dikkate alınması gerekir. İnsan vücut ölçülerini inceleyen bilim dalına antropometri bilimi, insan vücut ölçülerine de antropometrik ölçümler denilmektedir [1].

Antropometri bilimi, bireyler veya gruplar arasında, anatomi, coğrafi bölge ve meslek grupları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan farklılıkları ve benzerlikleri saptayarak daha geniş bir insan kitlesine uygun tasarımlar yapma imkânı sağlar [2]. Antropometrik ölçüler, sabit duran ve çalışan insan üzerinden alınabilir. Statik veriler yükseklik, uzunluk, derinlik, çevre, kalınlık vb. gibi ölçümlerden oluşmaktadır. Şekil 1 'de el aletleri tasarımında kullanılabilecek statik ölçüler gösterilmektedir [3].



Şekil 1. El aleti tasarımı için gerekli statik ölçüler [3]

Vücut hareket halinde iken, alınan ölçülere fonksiyonel vücut ölçüleri denir. Statik vücut ölçüleri tasarım amaçlarına uygundur. Birçok tasarım çalışmasında, fonksiyonel vücut ölçüleri daha önemlidir. İnsanlar günlük işlerinde genellikle hareket halindedir. Aracını kullanan bir sürücü, montaj hattında çalışan bir işçi görevlerini yerine getirirken birbirinden çok farklı hareketler yaparlar ve dolayısıyla farklı vücut pozisyonları gösterirler. Şekil 2'de bir otomobil sürücüsü yeri tasarımında statik ve fonksiyonel ölçülerin rolü görülmektedir [4].



Şekil 2. Bir otomobilin oturma yeri tasarımında dikkate alınması gereken boyutlar [7]

Fonksiyonel antropometrik ölçülerin belirlenmesi oldukça zordur, bu nedenle tasarımlarda daha çok statik antropometri ölçüleri dikkate alınır. Antropometrik ölçümler; elbise, mobilya, makine, el aletleri ve tezgah tasarımı gibi bir çok alanda tasarımcılara yardımcı olur.

Aynı alet-teçhizat ve eşya; uzun boylu, kısa boylu, şişman veya zayıf insanlar tarafından kullanılabilmektedir. Antropometri, birbirine hiç benzemeyen eşya, alet-teçhizatın boyutlarını bunları kullanmak isteyen tüm insanlar için kullanılabilir kılmaya katkı sağlar.

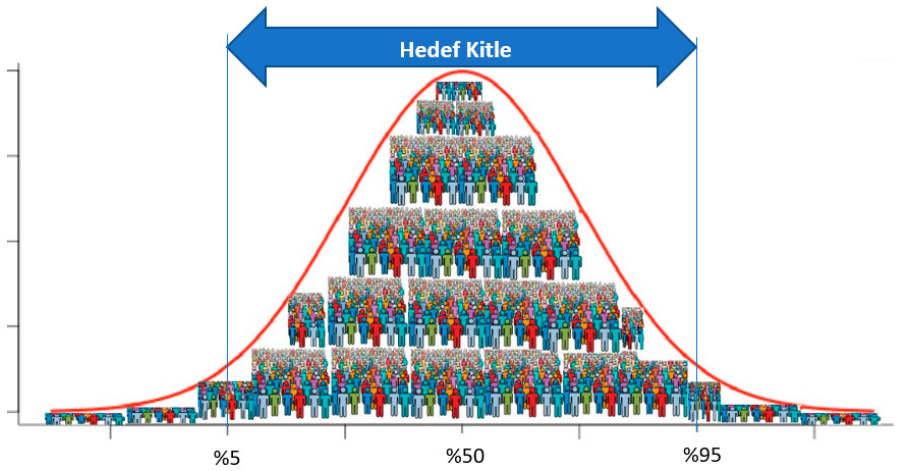
Antropometrik ölçüler insanların yaşadıkları coğrafya, cinsiyet, yaş gibi faktörlere göre farklılıklar göstermektedir. Günümüzde, tasarımcılar hangi ülkeye yönelik makine – alet tasarımı yapacak ise o ülke insanlarının antropometrik ölçülerini dikkate almak zorundadır. Amerikan halkının %90 'ına uygun tasarlanmış bir alet teçhizat, Vietnam 'lıların sadece %10 'una uygun olabilmektedir (5).

2. Tasarımlarda Antropometrik Verilerden Yararlanma İlkeleri

Yapılacak tasarımlar, en uzundan en kısaya, en şişmandan en zayıfa tüm bireyleri kapsayacak şekilde yapılmamaktadır. Antropometrik verilerin tasarım amaçlarına uygun olarak kullanılmasında uyulması gereken bazı ilkeler vardır. Bu ilkeler; i- uç değerler için tasarım, ii- ayarlanabilir aralıklar için tasarım ve iii- ortalama değer için tasarım şeklinde sıralanabilir.

2.1 Uç Değerler İçin Tasarım

Tasarım çalışmalarının en önemli amacı kullanıcı kitlesinin tamamına yakın bir kısmına uyum sağlayabilecek tasarım standartlarının geliştirilmesidir. Bu çalışmalarda %90 'lık bir kullanıcı kitlesi hedef alınmıştır. Bu anlamda, attaki %5 'lik kısımla üstteki %5 'lik kısımlar standart kapsamın dışında tutulmuşlardır. Tasarım çalışmalarında, %5-%95 yüzde dağılım değerleri arasında yer alan kitle hedef alınır (Şekil 3).



Şekil 3. Ergonomik tasarımlar için normal dağılım eğrisine bakış [6]

Hacimle ilgili tasarımlarda %95 'lik dağılım değeri, erişimle ilgili tasarımlarda ise %5 'lik yüzde dağılım değerleri dikkate alınır. Alt ve üstte kalan diğer % 5 lik gruplar için gerekli ihtiyaçlar özel yapımlar yolu ile giderilir.

2.2 Ayarlanabilir Aralıklar İçin Tasarım

Bir donanım veya teçhizatın belirli ölçüleri, değişik boyutlardaki kullanıcı kitlesini kapsayacak şekilde ayarlanabilir ölçülerde yapılabilir. Örneğin bir otomobil ön koltuğunun ileri-geri hareketi, bir sandalyenin oturak kısmının aşağı-yukarı hareketi gibi. Bunlar gibi ayarlanabilir özelliklere sahip olan donanım ve araç gerecin %5 ve %95'lik dağılım içerisinde herhangi bir noktaya göre ayarlanabilecek şekilde tasarımlanması önerilmektedir.

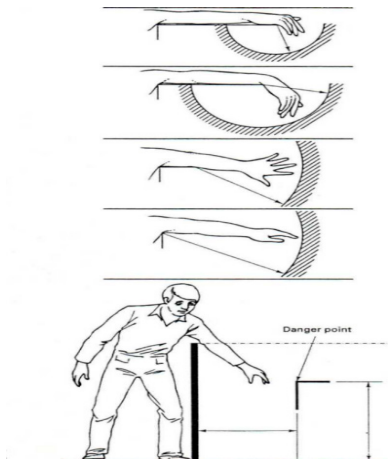
2.3 Ortalama Değer İçin Tasarım

Ortalama değere göre yapılan tasarımlar düşünüldüğünün aksine büyük bir kullanıcı kitlesini karşılamamaktadır. Buna rağmen bazı eşya ve araç gereçlerin tasarımında ortalama değere göre boyutlandırma yapılmaktadır. Örneğin; kazak, çorap ve eldiven gibi giysiler, ortalama değerlere göre yapılmaktadır.

3. Fonksiyonel Vücut Ölçüleri

Fonksiyonel vücut ölçülerinin kullanımındaki temel fikir, iş yapılırken vücut uzuvlarının birbiriyle uyum içinde çalışmalarını sağlamaktır. Örneğin, iş yapan bir kişinin erişim uzaklıkları kol uzunluğunun yanında, kısmen de olsa, omuz hareketine ve gövdenin dönebilme ve ileri geri hareket etme özelliğine ve yapılacak işin özelliğine göre değişir. Bu nedenle, bir durum için tasarım yapılırken vücudun çeşitli hareketlerinin dikkate alınması gerekir.

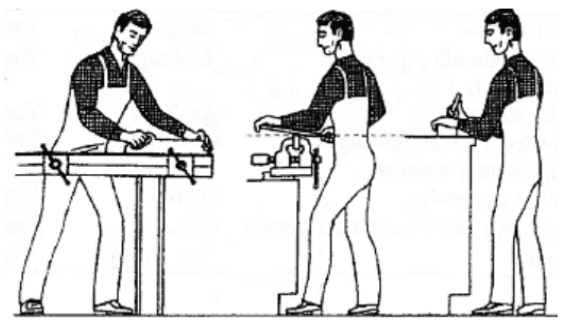
Antropometrik olarak, fonksiyonel ölçüler, insan emniyeti açısından da önemli bir yer oluşturmaktadır. Bu ölçülerin gerek makinanın montajı gerekse demontajı açısından önemli olduğu açıktır. Şekil 4 'te el ile erişim için emniyetli mesafe örnekleri verilmiştir.



Şekil 4. El ile erişim için emniyetli mesafeler [7]

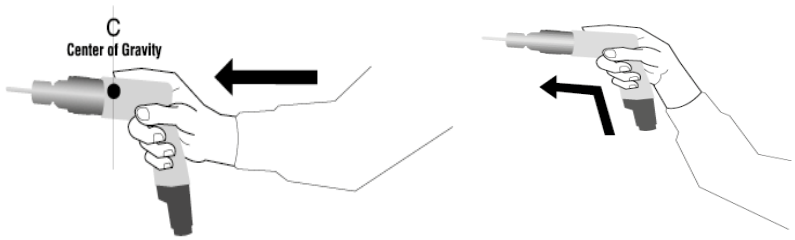
4. Montaj-Demontaj İşlerinde El Aletleri

Emek yoğun yapılan işlerde işin yapıldığı yerin yüksekliği iş başarısını, süresini ve çalışanın sağlığını doğrudan etkilemektedir. Birçok montaj-demontaj işlemi Şekil 5'te görüldüğü gibi dirsek hizasında yapılması işlemi kolaylaştırır ve uygun kan dolaşımı sağlaması nedeniyle yorgunluğu azaltır. İş yüzeyi yüksekliği çok yüksek olduğunda boyun ve omuzlar tutulur ve ağrı oluşur. İş yüzeyi yüksekliği çok düşükse, iş bedenin öne doğru eğilmesiyle yapıldığı için bel bölgesinde ağrı oluşur. İlerleyen aşamalarda bel fıtığı olarak adlandırılan rahatsızlık kaçınılmaz olur [8].



Şekil 5. Dirsek seviyesinde yapılan işler [8]

Montaj ve demontaj işlerinde kullanılacak el aletlerinin kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli özellikler vardır. El aletinin kullanımı sırasında aletin tasarımsal hatası nedeniyle el ve/veya kola ek yükler etki etmemelidir. Bu aletlerin kullanımı sırasında elin doğal duruşu bozulmamalıdır. İdeal olarak, bir işçi bir aleti tek elle çalıştırabilmelidir. Aletin ağırlığı da kullanımını etkileyen önemli bir parametredir. El aleti vücuttan uzakta veya omuz yüksekliğinin üzerinde kullanılacaksa en fazla 2,3 kg olmalıdır. İyi kontrol sağlamak için hassas aletler için 0,4 kg aşılmamalıdır. Bu değerlerin üzerinde ağırlığa sahip olan el aletleri bir dengeleyici araç ile desteklenmelidir. Aletin ağırlık merkezi, elin merkeziyle aynı hizada olmalı, bilek bükülmemelidir. El aletleri ele uyumlu olduğu kadar yapılan işe de uyumlu olarak seçilmelidir. Aşağıda çeşitli işler için uygun el aletleri verilmiştir [9].



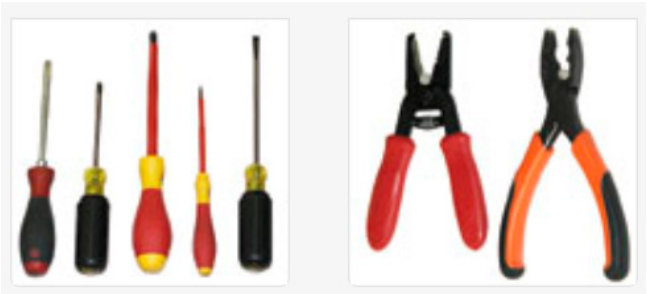
Uygun b- uygun değil

Şekil 6. El aleti kullanımında çalışma pozisyonları [9]

Hassas görevler için kullanılan tek kulplu aletler için: ~5 -12,5 mm (1/4”-1/2”) arasında bir sap çapına sahip bir alet seçilmelidir (Şekil 7).

Şekil 7. El aleti sap ölçüsü

El aleti kullanımında aletin el ile temas eden bölümlerinin kullanıcıya zarar vermesini engellemek için sap kısımlarının yumuşak ve kaymaz malzeme ile kaplanmış olmasına özen gösterilmelidir (Şekil 8).

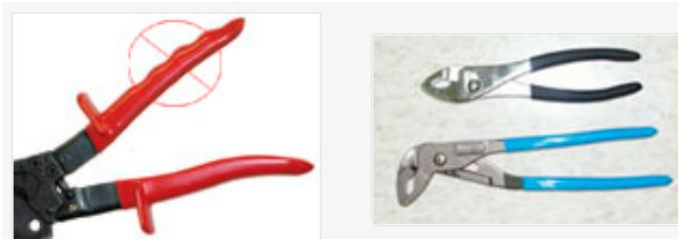


Şekil 8. Kaymaz malzeme ile kaplanmış el aletleri

Çift saplı pense, kavrama veya kesme aletleri için: Kolları açık konuma döndürmek için yaylı bir takım seçilmelidir (Şekil 9).

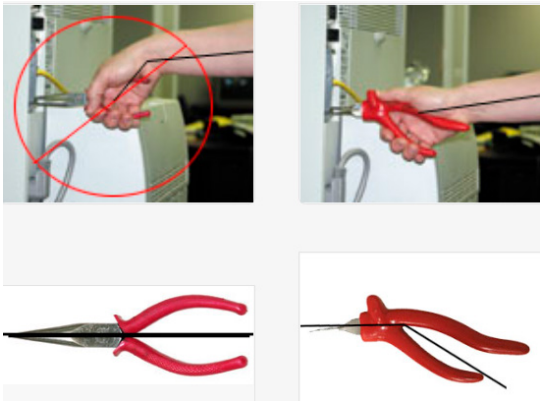
Şekil 9. Pense için önemli bir özellik

Sap kısmında keskin kenarları ve parmak oyukları olmayan el aletlerinin seçimine dikkat edilmelidir (Şekil 10). Parmak için oyuk bulunan aletler çoğu kez rahatsız edicidir.



Şekil 10. Ele uyumlu el aletleri

Düz bir bilekle çalışmanıza izin veren bir açıya sahip bir alet seçin (Şekil 11). Kıvrık saplı aletler, kuvvet yatay olarak uygulandığında düz saplı aletlerden daha iyidir.



Şekil 11. Yatay kuvvetler uygulandığında kullanılabilecek aletler

Düz saplı aletler, kuvvet dikey olarak uygulandığında bükülmüş saplı aletlerden daha iyidir (Şekil 12).

Şekil 12. Dikey kuvvetler uygulandığında kullanılabilecek aletler

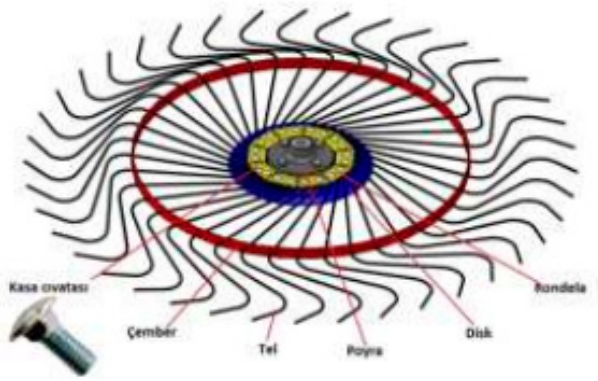
El aletlerinin yapılacak işe ve uygulanacak kuvvetin yerine ve niteliğine bağlı olduğu açıktır. Her ne kadar yapılan işe ve uygulanan kuvvete uygun el aleti kullanılsa da bazı tasarım hataları bakım işleminin güç bir şekilde gerçekleşmesine neden olacaktır. Şekil 13, bir plaka kenarına kaynak ağzı açma makinesinin kesici takımının değiştirilmesi esnasında takım değiştirme işleminin zorluğuna dair bir fikir vermektedir. Tasarım aşamasında, ürünün kullanımı esnasında olabilecek zorluklara karşı önlem alınması gerektiğinin altını çizmek gerekir.

a-kesici takım b-takım montaj yeri c-d:montaj-demontaj zorluğu

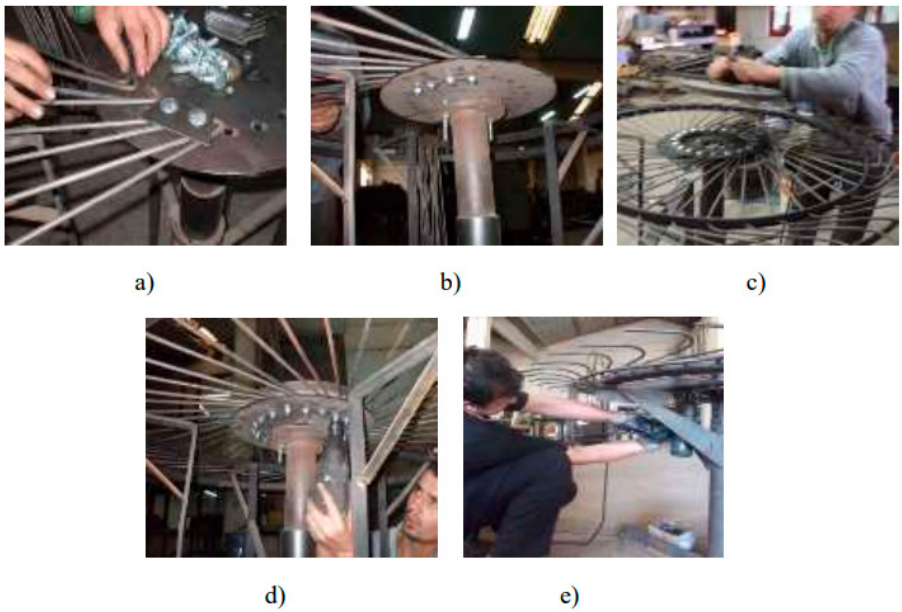
Şekil 13. Kaynak ağzı açma makinesi için takım değiştirme işlemi

5. İş Ortamı Tasarımında Bilgisayar Destekli Ergonomi Yazılımları

İş tasarımında ilk yapılacak işlem çalışanın yanlış duruşuna karşı önlem alınmasıdır. Günümüzde bilgisayar destekli ergonomi yazılımları ile iş ortamı tasarımı yapılmadan önce çalışan üzerindeki yükler belirlenerek çalışanın hasar görmeyeceği ortamlar oluşturulabilir. Bu amaçla bilgisayar destekli ergonomi yazılımlarından yararlanılabilmektedir. Bilgisayar destekli ergonomi yazılımları ile bakım esnasında çalışanda oluşabilecek iş yükleri, henüz sistem tasarım aşamasındayken belirlenerek gerekli önlemler alınabilmektedir. Bu amaçla Catia Ergonomi Modülü, Delmia, Jack, Anybody gibi yazılımlar kullanılabilmektedir. Şekil 14'de tarım sektöründe ot biçme işlemi sonunda biçilen otların namlu haline getirilmesini sağlayan ot toplama tırmığı yıldız çarkının 3D görüntüsü ve Şekil 15'de yıldız çarkının işletmedeki montaj görüntüleri görülmektedir [11].

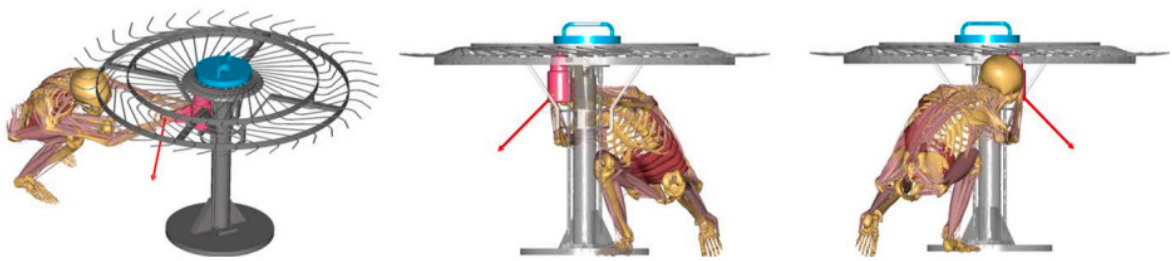


Şekil 14. Ot toplama çarkı yıldız çarkı ()

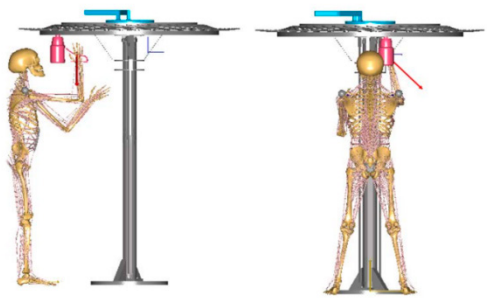


Şekil 15. Ot toplama tırmığı montaj işleminde operatörün çalışma duruşları

Şekil 15 değerlendirildiğinde, çalışanın montaj ve demontaj işleminde çok rahat olmadığı açıktır. Bu çalışma duruşu bilgisayar destekli ergonomi yazılımı Anybody Modelleme Sistemi ile analiz edilmiştir (Şekil 16). Çalışmanın devamında çalışanın daha az zorlanmasını sağlayacak yeni montaj-demontaj sehpası tasarımı geliştirilmiştir (Şekil 17). Montaj ve demontaj kolaylıkları makinenin imalatı sırasında olduğu kadar bakım çalışmaları için de önemlidir.

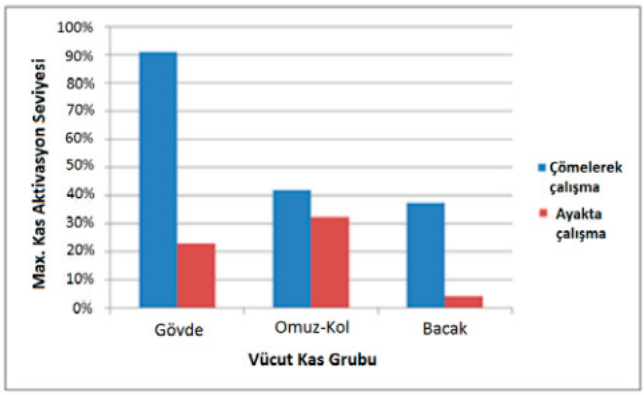


Şekil 16. İşletmede kullanılmakta olan yıldız çarkı montaj-demontaj-bakım/onarım çalışmalarına ait Anybody insan modeli [11]



Şekil 17. Yıldız çarkı montaj işleminde önerilen tasarım [11]

Ot toplama tırmığı montaj işleminde işletmenin kullandığı montaj işleminde çalışana etki eden yükler ve alternatif olarak önerilen montaj-demontaj sisteminde çalışana etki edebilecek yükler Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Mevcut durum ile önerilen durum için kas aktivasyon seviyelerinin karşılaştırılması [11]

6. Sonuçlar

Uzun yıllar boyunca yapılan çalışmalarda, bir makinenin tasarımından itibaren servis ve bakım işlemlerine kadar ergonomi kurallarına uygun iş aletlerinin kullanılmaması halinde çalışanda geri dönüşü zor olan bir çok rahatsızlık ortaya çıkacağı kesin kanıtlarıyla ortaya konmuştur.

Bir makinenin tasarımında montaj kolaylıkları kadar, demontaj ve bakım kolaylıklarının da dikkate alınması ne kadar önemli ise, montaj-bakım-onarım çalışmalarında kullanılan el aletlerinin insan antropometrisine ve yapılan işe uyumlu olması da o kadar önemlidir.

Bilgisayar destekli ergonomi yazılımlarını kullanarak, bir ürünün montaj-demontaj, bakım-onarım çalışmalarında insanın zarar görmemesini sağlayacak tasarımlar geliştirmek mümkün olmaktadır.

7. Kaynaklar

- *Jasmin Kaljun, Bojan D., 2012, Ergonomic design recommendations based on an actual chainsaw design, South African Journal of Industrial Engineering 23(2),p.215-229*
- *Nordstedt A.,2008, Marketing and functional analysis of kitchen utensils: from an ergonomic point of view , Master Of Science Programme Ergonomic Design & Production Engineering, Lulea University Of Technology Department Of Human Work Sciences Division of Industrial Design, Sweden*
- *https://tr.wikipedia.org/wiki/Antropometri (erişim tarihi: 1.9.2022)*
- *Doğan C, Altan O., 2007, Kamusal Alanda Oturma Eylemi ve Ergonomik İlkeler,*
- *YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, s.159-166*
- *Ismail WilsonTaifa, Darshak A.Desai, Anthropometric measurements for ergonomic design of students' furniture in India, Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 20, Issue 1, February 2017, p.232-239*
- *http://www.ihatepsm.com/blog/normal-distribution-normal-curve (erişim tarihi: 1.9.2022)*
- *http://www.ris.bka.gv.at (erişim tarihi: 1.9.2022)*
- *Hacıosmanoğlu S., 2013, Türkiye`de Antropometrik Verilere Göre Kalıpçılık ve Plastik Enjeksiyon Sektöründe Ergonomik İşyeri Tasarımı, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi / Araştırma, Ankara-*
- *https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/handtools/tooldesign.html (erişim tarihi: 1.9.2022)*
- *https://www.dir.ca.gov/dosh/dosh_publications/handtools5.html (erişim tarihi: 1.9.2022)*
- *Gönen D, Oral A, Yosunlukaya M, 2017, Analysis of working postures in the assembly process of wheel hay rake using anybody modelling system, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:3, p.651-660*

BİLGİSAYAR DESTEKLİ ENTEGRE BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ

Dr.Emrullah ÇAYIR
Makine Mühendisi
Tel: 532 303 38 63 | *ecayir@teknoplan.com.tr*

Burak Esen
Bilgisayar Mühendisi
Teknoplan Mühendislik Otomasyon Makine Yazılım San.ve Tic.Ltd.Şti.
Tel: 0545 922 29 30 | *besen@teknoplan.com.tr*

Doç.Dr. İlhami ORAK
Karabük Üniversitesi Öğretim Üyesi

ÖZET

Yapılan araştırmalar, bakım faaliyetlerini bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi, ile yapan kuruluşlarda, bakım maliyetlerinde ve duruş sürelerinde ciddi azalma ve verimlilikte artış sağlandığını ortaya koymaktadır. Burada önemli hususlardan birisi kullanılacak bakım yönetim sisteminin pratik ve amaca uygun olması çok önemlidir. Kuruluşların bakım maliyetlerinin optimize edilmesi ve verimliliğin artırılması amacıyla, bilgisayar destekli ve WEB tabanlı MOBAYS (Modern Bakım Yönetim Sistemi) yazılımı geliştirilmiştir. MOBAYS, çok kullanıcılı olup, internet veya intranet aracılığı erişimi kolaydır. MOBAYS yardımıyla bakım performansı ölçülebilir hale getirilmiş olup, kuruluştaki bakım faaliyetlerinin bilgisayar destekli olarak yapılabilmesini sağlamaktadır. MOBAYS bakım yönetim sistemi MOBAYS; arıza bakımın kaldırılarak, tamamen planlı ve kestirimci bakıma geçilmesini teşvik etmektedir. Kestirimci bakım modülü ile sahadan alınan ölçümler online olarak grafiksel bir şekilde izlenmekte, belirlenen limitler dışına çıktığında otomatik olarak iş emri üretmektedir. MOBAYS, ayrıca kalite Yönetim Sistemlerini destekleyecek şekilde geliştirilmiştir. MOBAYS Bilgisayar destekli bakım yönetimin hedefleri şunlardır: Arıza süresini ve bakım süresini ve maliyetini azaltmak, üretim verimliliğini artırmak, stok maliyetlerini düşürmek, bakım performansını sayısal analiz etmek, iyileştirmeye açık alanları tespit etmek, bakım kayıtlarına, iş emir ve talimatlarına kolay erişilmesini sağlamaktır.

1. GİRİŞ:

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 [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 kaynaklı üretim kayıpları: Bakım kaynaklı duruşlar üretim kaybına sebep olmaktadır.
- Ürün kalite kayıpları: Bakım eksikliğin veya yetersizliği nedeniyle üretimlerin 1. kaliteden sapmasıdır.
- Bakım kaynaklı düşük hız üretim kayıpları: Bakım yetersizliğinden kaynaklı düşük üretim hızları, üretim miktarında ve verimliliğinde kayba sebep olmaktadır.
- Yedek parça veya stok maliyetleri,
- Bakım işgücü maliyetlerinden oluşmaktadır.

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

Bu amaç doğrultusunda, fabrikaların tüm birimlerini ve bakım faaliyetlerini kapsayacak şekilde bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi (MOBAYS) yazılımı tasarlanarak geliştirilmiştir. Sistem web tabanlı olup, Dünya'nın herhangi bir yerinden internet üzerinden bakım faaliyetlerini görmek ve koordine etmek mümkündür. Ölçmeden etkin yönetilemez ilkesi doğrultusunda MOBAYS yazılımı ile, yapılan bakımların performansları ve bakım kaynaklı kayıplar sayısal olarak ölçülür hale getirilmekte ve gerekli iyileştirmelerin etkin bir şekilde yapılması sağlanmaktadır.

Bakım yönetim sistemi de dahil olmak üzere, genel olarak sistemlerin başarı ile kurulması ve yürütülmesi için gerekli ana kriterler aşağıda verilmiştir [9].
- İhtiyaç ve amacın belirlenmesi
- Üst yönetimin desteği
- Uygulamanın Planlanması
- Çalışanların direncinin aşılması
- Eğitim
- Bakım Performansının Ölçülmesi
- Sistemin Kolay Olması
- PUKÖ Döngüsünün Uygulanması

2. MOBAYS BAKIM YÖNETİM SİSTEMİNİN AMAÇLARI

MOBAYS bakım yönetim sistemi, yukarıda belirtilen hedeflere ulaşabilmek için, bakım yönetim sistemi kapsamında, kestirimci ve pro-aktif bakım felsefesini temel almaktadır. Bundan amaç, ekipmanlarda ve sistemlerde beklenmeyen ve ani oluşan arızaları en az seviyeye indirerek, hatların ve sistemlerin kaliteyi etkilemeksizin verimli bir şekilde sürekli çalışmasını sağlamaktır.

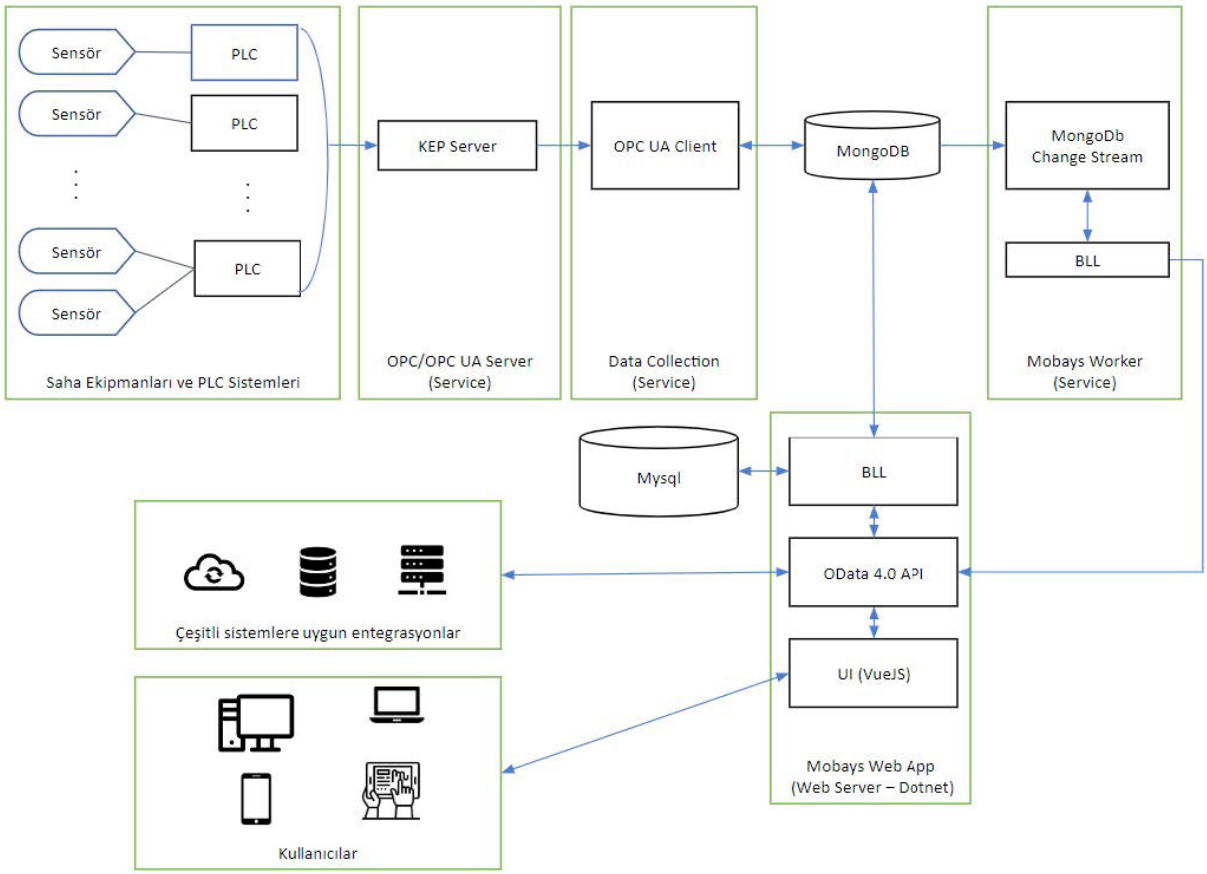
Web tabanlı MOBAYS'ın bakım yönetim sisteminin amaçları ve beklenen faydaları şunlardır:

- İşletmelerin bünyesinde yer alan kaynakların (insan, tesis, makine, teçhizat, malzeme, para) en etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak,
- Kuruluş seviyesinden makine ve nokta seviyesine kadar tüm kırınımlarda iş emri, duruş, maliyet ve işgücü parametrelerini analiz etmek.
- Koruyucu ve kestirimci bakım felsefesini oluşumunu geliştirmek,
- Bakım faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde planlanmasına ve gerçekleştirilmesine yardımcı olmak,
- Bakım ve teçhizat ile ilgili her türlü bilgiye çok kolay ve kısa sürede ulaşmak,
- İş gücü analizlerini yapmak ve personelin çalışma verimini artırmak,
- Beklenmeyen arızaları sıfır'a yaklaştırmak,
- Bakım maliyetlerinin analizini, tespitini yaparak bakım ve stok maliyetlerini düşürmek,
- Kullanılan talimatlarda, teçhizatlarda, tüketilen malzemelerde standartlaştırmayı gerçekleştirmek,
- İş bildirimleri oluşturularak, bildirimin önemine ve durumuna göre iş emri açmak.
- Planlı ve arıza duruşlara göre duruş içerisindeki gerçek bakım süresini ve maliyetini göstermek,
- İş planları yaparak, plan dahilinde oluşacak iş emirlerini oluşturmak.
- Yapılan bakımın 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,
- Sürekli iyileştirmeyi teşvik etmek ve kurum kültürü haline getirilmesine yardımcı olmak.
- Yedek parça ve malzeme kullanımını takip ve analiz etmek,

3. MOBAYS SİSTEMİNİN GENEL MİMARİSİ

MOBAYS modern bakım yönetim sistemi, bilgisayar destekli ve WEB tabanlı bir bakım yönetim sistemidir. Bilgisayar ağından kullanıcı kodu ve şifre girilerek sisteme bağlanmaktadır. Sistem, bir kuruluştaki tüm bakım birimlerini ve bakım faaliyetlerini kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. MOBAYS'ın bilgisayar entegrasyon yapısı Şekil 1'de verilmiştir. MOBAYS Bakım Yönetim Sistemi, web uygulama ve veri depolama/işleme olarak iki alt sistemden oluşan bir sistemdir.

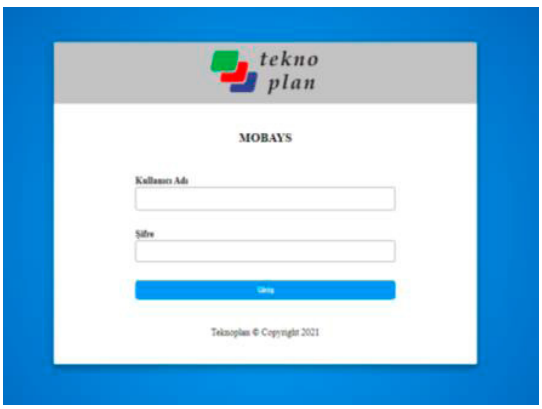
1. MOBAYS Web Uygulama
   a. Tüm süreçlerin izlendiği, yönetildiği, raporlandığı web uygulamasıdır.
   b. Veri işlemleri Odata protokolüyle Web API üzerinden yapılmaktadır. Net 6 platformunda geliştirilmiştir.
   c. Veritabanı olarak Mysql 8 kullanılmıştır.
   d. Önyüz VueJS ile tasarlanmıştır.
2. MOBAYS Veri Depolama ve İşleme Sistemi
   a. Sahadaki sensörlerden okunan verileri otomatik depolayıp, işleyen servislerdir.
   b. Net 6 platformunda geliştirilmiştir.
   c. Veritabanı olarak MongoDb kullanılmıştır.



Şekil 1. MOBAYS Bakım Yönetim Sisteminin Genel Mimarisi

Uygulama web tabanlı olduğundan dolayı sistemin kurulu olduğu web servera ister internetten isterse intranet üzerinden rahatlıkla ulaşılabilir. Otomasyon sistemlerinden dolayı MOBAYS Veri Depolama ve İşleme sistemi intranette çalışmalıdır. Ama veriler, internete açık olan MOBAYS Web Uygulama sistemine aktarılabilir. Uygulamanın çalıştığı sunucuya göre binlerce kullanıcıya hizmet verebilir.

MOBAYS bakım yönetim sistemine kullanıcı kodu ve şifre ile girilmektedir. Şekil 2'de sisteme giriş ekranı görülmektedir. Sistemde değiştirme ve tanım yetkisinden, sadece görme yetkisine kadar 4 farklı seviyede kullanıcı tanımlanmıştır. Bu seviyeler sistemin kullanım güvenliği açısından önemlidir.



Şekil 2. MOBAYS Bakım Yönetim Sistemi Giriş Ekranı

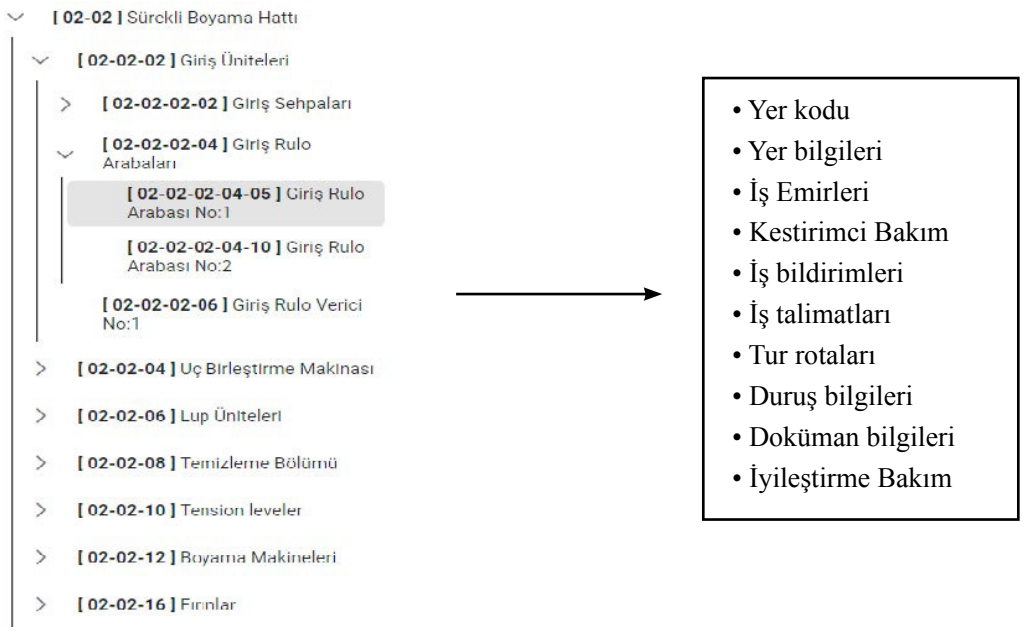
Kuruluşta bakım yapılan tüm alanlar (Ünite bazından-ekipman bazına kadar) kodlanarak MOBAYS üzerinde ağaç yapısına aktarılmıştır. Özellikle işgücü, maliyetlerin ve yapılan bakım faaliyetlerinin doğru yerlere aktarılması için yer bilgilerinin oluşturulması gerekmektedir. Yer bilgileri MOBAYS Bakım Yönetim Sisteminin kalbi gibidir. Bakım yapılacak ünite, sistem, tesis, ekipmanlar burada tanımlanır. Yer bilgileri hiyerarşik olarak herhangi bir limitleme olmadan istenildiği kadar eklenebilir. Eklenen bu yer bilgileri daha sonra isteğe göre güncellenip taşınarak dinamik bir şekilde yönetilebilir. İş emirleri yer bilgilerine entegre edilir. Bu nedenle yer bilgilerinin doğru tanımlanması çok önemlidir.

Yer bilgileri, ünite, tesis, saha, ekipman, makine, parça, nokta vs olarak tanımlanır. Her yer bilgisinin kendine özgü bir kodu vardır. Bu kod yardımıyla en üst hiyerarşiden en alt hiyerarşiye kadar yer bilgilerinin birbirlerine bağlantısı sağlanır. Yer bilgileri hiyerarşisi şu şekildedir:

Yer bilgileri ve hiyerarşisi

- Ünite
- Tesis
- Saha
- Ekipman
- Makine
- Parça
- Nokta

Kod yapısı ve yer bilgileri oluşturulurken, tesis girişinden çıkışına kadar üretim akışını takip etmek faydalı olacaktır. Üretim akışına göre yer bilgilerinin oluşturulması faydalı olacaktır. Yer bilgilerinin sıralaması kod yapısına göre yapılır. Yer kodu o yerin kimlik numarası gibidir. Yer bilgileri, ancak yetkisi olanlar tarafından tanımlanır veya silinir. Yer bilgileri ile ilgili ağaç yapısı ile ilgili örnek Şekil 3'de verilmiştir.

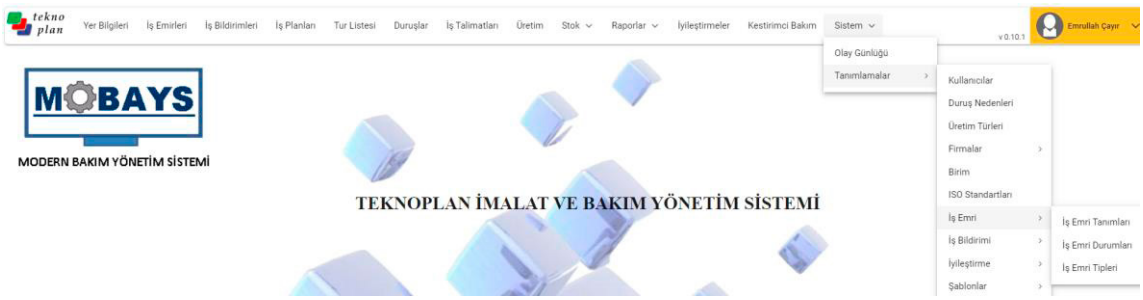


Şekil 3. MOBAYS Bakım Yönetim Sistemi Örnek Ağaç (Yer) Yapısı.

4. MOBAYS BAKIM YÖNETİM SİSTEMİNİN MODÜLLERİ

MOBAYS Bakım Yönetim sisteminde kullanılan modüller şu şekildedir (Şekil 4):

- Yer bilgileri
- İş Emirleri
- İş Bildirimleri
- İş Planları
- Tur Listeleri
- Duruşlar
- İş Talimatları
- Üretim
- Stok
- İyileştirmeler
- Kestimci Bakım
- Raporlar



Şekil 4. MOBAYS Bakım Yönetim sistemi Ana Ekranı

• YER BİLGİLERİ: Yer bilgileri MOBAYS Bakım Yönetim Sisteminin önemli bir modülüdür. Bakımı yapılacak ünite, sistem, tesis ve ekipmanlar hiyerarşik olarak burada tanımlanır. Resim, doküman, imalatçı bilgileri, demirbaş numarası vs. bilgiler yer bilgilerinde tanımlanır. Yer bilgileri FABRİKA, ÜNİTE, TESİS, SAHA, EKİPMAN, MAKİNE, PARÇA, NOKTA vs. hiyerarşisi şeklinde birbirleriyle bağlantılı olarak istenilen kadar hiyerarşide oluşturulabilir.

• İŞ EMİRLERİ: Bakım ile ilgili faaliyetler iş emirleri modülü kullanılarak tanımlanır. İş emirleri menüsü sistemin en çok kullanılan modülüdür. İş emirleri yer bilgilerine entegre edilir. Bu şekilde hangi yerde iş yoğunluğunun olduğu belirlenir. Yapılan veya yapılacak bakımın tanımlanması, ilgili birim, bakımın türü, bakımın tipi, tarihi, önceliği, işin süresi, harcanan işgücü, maliyeti, görevli personeller, duruş gerektirip-gerektirmediği, harcanan malzemeler ve işin detay açıklaması iş emirlerinde belirtilir. Bakımın performansı, iş emirlerinde oluşan bilgilerin analiz edip, değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Planlı ve arıza bakımlar analiz edilir. İş emirlerinde harcanan işgücü değerleri sahada o işi yapan çalışanlar tarafından bilgisayar veya cep telefonu aracılığı ile girilebilmektedir.

• İŞ BİLDİRİMLERİ: Bakım yönetim sisteminde gelen bildirimler iş bildirimi menüsü kullanılarak yapılır. İş bildirimi bir işin yapılmasına yönelik gelen ilk ihbar bilgi olarak kabul edilir. İnceme sonucunda şayet iş bildiriminde belirtilen işin yapılması gerekiyorsa, iş emri açılır. İş bildirimleri bakım birimi tarafından yapılabileceği gibi işletme veya başka birimler tarafından da yapılır.

• İŞ TALİMATLARI: MOBAYS 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. Sistem bu şekilde kalite yönetim sistemi ile uyumlu halde çalışmaktadır. İş talimatları ancak yetkisi olanlar tarafından oluşturulabilir veya değişiklik yapılabilir. Sistemin kullanımı ile ilgili kullanım kılavuzu entegre edilmiştir.

• **İŞ PLANLARI:** İş planları birden fazla işin yapıldığı durumlar için oluşturulur. İş planları gelecekte planlanan büyük bakımlar için oluşturulur. İş planın amacı, yapılması gereken işlerin unutulmadan ve aksatılmadan yapılmasını sağlamaktır.

• **TUR LİSTELERİ:** Tur listeleri periyodik olarak yapılacak birden fazla kontrol ve ölçüm faaliyetleri için kullanılır. MOBAYS Bakım Yönetim Sistemi üzerinde periyodik kontrol ve kestirimci bakım faaliyetleri tur listeleri oluşturularak yapılır. Tur listelerinin oluşturulması kestirimci bakım açısından son derece önemlidir. Aynı tur listesinde çok sayıda ölçüm ve kontrol yapılabilir. Tur raporları oluşturulabilir.

Şekil 5 MOBAYS Tur Listesi Grafik Örneği

• **KESTİRİMCİ BAKIM:** Kestirimci bakım sistemi; makinenin durumunu periyodik veya sürekli ölçüm yaparak tespit etmeyi ve bu ölçüm ve kontrol sonucuna göre üretimi etkiyecek arızanın olabileceği zamanı önceden kestirerek, buna göre uygun zamanda makineyi bakıma almayı hedefler. Bu bakım sisteminde, alınan ölçümler ile trend analizi ve spektrum analizi yapılarak, makinenin arıza kaynağı ve tarihçesi hakkında bilgi sahibi olunur. Makinelerin maksimum verimde kullanılmasını ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi amaçlanır.

Sahada çalışan makine veya ekipmanlarda, titreşim, sıcaklık, akım, basınç vs. sensörleri kullanarak tanımlanmış alarm değerlere ulaştığı an otomatik iş emri oluşturarak önceden arıza potansiyelini bildirir. Online sürekli ölçümler yapılarak özellikle kritik makine ve ekipmanların çalışma durumları izlenir. Titreşim, sıcaklık, akım, basınç vs. gibi değerler sensörler yardımıyla online olarak ölçülür. PLC yardımıyla alınan veriler ağ yapısı üzerinden MOBAYS bakım yönetim sistemine aktarılır.

Kestirimci bakım iş emirlerinde ölçülecek parametreye ait alt alarm, alt stop, üst alarm ve üst stop değerleri tanımlanmaktadır. Şayet ölçüm neticesinde değer alt veya üst alarm değerine gelmişse, sistem tarafından otomatik iş emri açılır ve ilgilisi uyarılır. Ayrıca sahadaki sensöre bağlı olarak ışıklı veya sesli alarm oluşturulabilir.

Sensörlerden gelen ölçüm değerlerinin ani olarak yükselip, tekrar normal değerlere geçtiği durumlar olabilir. Bu gibi durumlar için ani yükselme ve normal değere gelme için geçiş süreleri tanımlanmaktadır. Ani yükselme süreklilik arz etmez ise sistem otomatik iş emri oluşturmaz.

Verilerin sisteme aktarılma periyotları, kestirimci bakım panelinde tanımlanmaktadır. Bu zaman aralığında makinadan alınan ölçümler sisteme aktarılır. Alınan ölçümlerin trend grafikleri sistem üzerinden incelenebilir. Hangi zaman periyodunda değerlerin nasıl yükseldiği belirlenebilir. Sensörler sisteme eklenip takip edilmeye başlandığı zaman sistem tarafından kayıt altına alınarak grafiksel olarak incelenebilir.

Daha önce bir sensörden gelen ve alarm değerini geçtiği durumda, daha önceden iş emri oluşturulmuş ise,

sistem tekrar iş emri oluşturmaz. Yeni bir iş emri oluşumu için daha önceki iş emrinin gereğinin yapılarak kapatılması gerekmektedir. İlgili arızanın iş emri daha önceden açılmış ve kapanmamışsa tekrar otomatik iş emri oluşturmaz. Önceki iş emrinin kapatılması beklenir.

• **DURUŞ BİLGİLERİ:** Duruş bilgileri menüsü sayesinde, duruşların analizi mümkün olmaktadır. 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 amaçlanmaktadır. Duruş bilgileri ile bakımın performansı ölçülebilir hale getirilmektedir. Tesisin zaman kullanım oranı, bakım duruş oranı, bakım duruş süreleri gibi parametrelerin ölçülmesi sağlanmaktadır.

• **İYİLEŞTİRME:** Sürekli iyileştirme (kaizen) metodolojisi kuruluşların gelişmesi açısından çok önemlidir. Kalite yönetim sistemleri ve modern yönetim teknikleri, tüm çalışanların iyileştirme süreçlerine katılımını sağlamayı ve bu şekilde sürdürülebilir gelişmeyi amaçlamaktadır. İşlemler modülü altındaki "İyileştirme" menüsü, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim sistemi iyileştirme alt yapısını destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

• **PERSONEL BİLGİLERİ:** MOBAYS Bakım Yönetim Sisteminde yönetici ve çalışanlar, Personel Bilgileri modülü ile belirtilir. Personel bilgileri kuruluşun alt yapısındaki ERP sistemleri ile entegre edilebilir. Personel bilgileri menüsünde yardımı ile belirtilen personeller otomatik olarak, iş emirlerinde görevli personel bilgileri seçim ekranına otomatik olarak gelir. İş emirlerinde görevli personeller, personel bilgilerinden akar.

• **AYARLAR:** MOBAYS yazılımının tüm kuruluşlara uygunluğunu sağlamak üzere, "Ayarlar" menüsü geliştirilmiştir. Ayarlar menüsünde, o kuruluşa özgü bakım birimleri, ana modüller altında açılan kutulardaki parametrelerin tanımlanması, duruşların kuruluşa özgü tanımlanması, ayarlar yardımı ile yapılır. Ayarlar ana giriş ekranını yönetim paneli olarak adlandırabiliriz. Ayarlar menüsüne giriş yetkisi, üst seviyede yetkisi olanlara verilmiştir. Bunun nedeni, belirtilen tanımların bir defa yapıldıktan sonra, sürekli kullanılmasıdır. Aşağıda ayarlar menüsü yönetim paneli verilmektedir. İş bildirimi, iş emri, iyileştirme gibi her modülde açılan kutular için, ayrı tanım yapmak mümkün olmaktadır. 5. RAPORLAR: Raporlar modülü ile bakım birimlerinin performansını ve yapılan bakımların etkinliğini ölçmek için MOBAYS bakım yönetim sisteminden alınan raporlar şunlardır:

- Arıza ve planlı bakım raporları:
- İş Emri Raporları;
- İş Bildirim Raporları:
- İş Talimat Raporları:
- Duruş raporları:
- Periyodik bakım/kontrol tur listesi raporları:
- Maliyet raporları:
- Malzeme ve Stok Raporları:
- Pareto grafikleri:
- Düzeltici ve Önleyici Faaliyet Raporları:

5. SONUÇ:

Web tabanlı olması dolayısıyla, internet üzerinden bakım yönetim sistemine ve kayıtlarına kolaylıkla erişilebilmektedir. İnternet bağlantısı olan kuruluşlar için ek bir donanıma ihtiyaç yoktur ve kurulum maliyeti düşüktür. MOBAYS Sistemi hızlı ve kullanımı kolaydır. Firmaların mevcut ERP sistemleri ile kolaylıkla elde edilebilir.

İşletme içerisinden bakım birimlerine gelen tüm ihbarlar (iş bildirimi) bakım yönetim kapsamında tutulmaktadır. Gelen iş bildirimleri değerlendirilir olumlu bulunursa, ilgili yere iş emri açılır. Bu amaçla bildirimi yapan kişi yaptığı iş bildiriminin durumunu MOBAYS üzerinden takip edebilir. Bakım yönetim sisteminin kolay

olması operatörler tarafından rahatlıkla kullanılmasını sağlamaktadır. MOBAYS bakım yönetim sisteminin hızlı olması ve sisteme kayıt giriş süresinin kısa olması, zaman kullanımı açısından avantaj oluşturmaktadır. Bakım operatörleri tarafından sahada işgücü bilgileri girilmektedir.

MOBAYS bakım yönetim sisteminde kestirimci bakım ölçüleri on-line olarak sisteme entegre edilir. Tanımlanan alt alarm ve üst alarma limitleri ve trend grafikleri sayesinde ilgili kritik makinanın durumu on-line olarak izelenebilmektedir.

MOBAYS'dan alınan raporlar ve grafikler sayesinde, yapılan bakımların performansları ölçülmekte ve iyileştirmeye açık alanlar kolaylıkla sürekli bir biçimde tespit edilebilmektedir.

MOBAYS bakım yönetim sistemi işletmelerin tüm birimlerini ve bakım faaliyetlerini kapsayacak şekilde tasarlanmış bilgisayar destekli bir sistemdir. MOBAYS'da tüm makine, teçhizat ve ekipmanların kodlanması sağlanmıştır. Tüm bakım birimlerinde standartlaşmayı, kayıt ve arşiv düzeni getirmeyi amaçlamaktadır. MOBAYS, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, OHSAS 18001 İş Sağılığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve ISO 14001 Çevre Yönetim sistemlerini alt yapı olarak desteklemektedir. Ayrıca toplam üretken bakım yönetiminin uygulanmasını kolaylaştırmakta ve bilgisayar mimari alt yapısını oluşturmaktadır.

MOBAYS Bakım Yönetim sisteminin Kardemir Ray Profil Haddehanesinde kullanan 24 personel ile yapılan anket sonucunda sistemin kullanımının kolay olduğu tespitine varılmıştır. 10 adet kriter soru bazında yapılan anket sonucuna göre memnuniyet endeksi 4,41 / 5,00 olarak belirlenmiştir. Ortalama anket sonucu; memnun ve çok memnun arasında puan bandında yer almıştır. Ayrıca sistemin SAP bakım modülüne göre daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir.

MOBAYS Bilgisayar destekli bakım yönetimin hedefleri şunlardır: Arıza süresini ve bakım süresini ve maliyetini azaltmak, üretim verimliliğini artırmak, stok maliyetlerini düşürmek, bakım performansını sayısal analiz etmek, iyileştirmeye açık alanları tespit etmek, bakım kayıtlarına, iş emir ve talimatlarına kolay erişilmesini sağlamaktır. Üretim verimliliği artışına sağladığı katkı ve bakım maliyetlerinde sağladığı düşüş nedeniyle, kuruluşun büyüklüğüne bağlı olarak sistemin kendisini 6 ay ile 2 yıl arasında geri ödeme süresi olacağı değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKÇA:

[1] Çayır E., Doğan Ö., Önal Y., Keski S., Aydın K., Erdal B., Eruz B., "Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS)", I.Bakım Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Yayın No:E2003/334, Sayfa no:119-126, Ekim 2003, Denizli.

[2] Çayır E., Doğan Ö., Önal Y., Keski S., Aydın K., Erdal B., Eruz B., "Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS) Yardımı ile Hidrolik ve Pnömatik Sistemlerin Periyodik Bakımı", III.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayfa no:353-360, Aralık 2003, İzmir.

[3] Sullivan G.P, Pugh P, Melendez A.P, Hunt W.D, , Computerized Maintenance Management System, Chapter 4, Operation & Maintenance (O&M) Best Practices Guide, A guide to Achieve Operational Efficiency, Release 2.0. U.S. Department of Energy, July 2004.

[4] R. Keith Mobley R K,, Lindley R. Higgins, Darrin J. Wikoff., Maintenance Engineering Handbook, McGraw-Hill Handbook, 7 th Edition, 2008.

[5] Bagadia K, CMMS: 7 Steps to success, Maintenance Solutions, Plant Engineering, October 2009, pp 55-56.

[6] E.Çayır, "Measurable 5S System", ESDA 2010-24221, Proceedings of the ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA 2010, July 12-14, 2010, Istanbul, TURKEY.

[7] Çayır E., "Bakım Yönetiminde Sürekli İyileştirme ve Takım Çalışmaları" V.Bakım Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ekim 2011, Sakarya.

[8] Çayır E., "Bilgisayar Destekli Bakim Yönetim Sisteminin Kardemir A.Ş. Ray Profil Haddehanesinde Uygulanabilirliği. VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası. 08-09-10 Ekim 2015 / ESKİŞEHİR

[9] Çayır E., "Kardemir A.Ş. Ray Profil Haddehanesinde Kullanılan Web Tabanlı Mobays Bakim Yönetim Sisteminin Kullanımı Üzerine Anket Çalışması. VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası. 08-09-10 Ekim 2015 / ESKİŞEHİR

BİR KABLO FABRİKASI BAKIM YÖNETİMİNDE ANAHTAR PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN İNCELENMESİ

C. Meran[1],*, K. İlhan[2], A. Yavaş[3], E. Karahan[3], Ş. Büke[3]

[1]*Prof.Dr., Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye
cmeran@pau.edu.tr
[2] Nexans Türkiye Endüstri, Ar-Ge Merkezi,
Makine Mühendisi, Denizli, Tükiye
[3] Öğrenci, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada ülkemizin önemli kablo üreticisi firmalarından biri olan Nexans Kablo Denizli fabrikasında kullandığı Anahtar Performans Göstergelerinin iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur. Nexans Kablodan 2021 yılının ilk 9 ayına ait A Sınıfı 20 makina için APG verileri ve arıza kayıtları alınmıştır.2021 yılının ilk 9 ayına ait arıza kayıtları incelenmiştir. İncelemeler sonucu karar matrisi, balık kılçığı diyagramı, 5 neden analizi ve kök neden aksiyon tablosu yapılmıştır. Toplanan veriler doğrultusunda en kritik 5 makina belirlenmiştir. 5 makinadan KB_58/2 numaralı makinanın şanzıman mili arızası tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak şanzıman milinin kırılmasına sebep olan etkenler incelenmiştir. Firmada kullanılan anahtar performans göstergeleri makine özelinde incelenerek en uygun APG'ler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: APG, Bakım, Kök Neden Analizi,

1. GİRİŞ

Günümüzde maksimum verimle çalışmak, karı artırmak, gereksiz duruşları önlemek, küçük arızaları büyük, küçük arızalara dönüştürerek tesisleri büyük hasarlardan korumak için bakım ve onarımın önemi giderek artmaktadır. Her işletmenin, genel hedeflerine ulaşmak için bireysel ve ekip düzeyinde gerçekleştirilmesi gereken hedefleri vardır. Bu hedefler doğrultusunda oluşturdukları KPI'lar vardır. Bir bakım sürecine bir KPI atamak için izleme ve ölçüm metrikleri gereklidir. Veri toplama ve ölçüm, KPI'nın belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak günümüzde birçok işletme veri toplama ve ölçme konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle KPI dikkatli seçilmeli ve veriler doğru bir şekilde toplanmalıdır. KPI, performansı artırmak için gereken bakımın ve gerektiğinde belirlenmesine yardımcı olur.

2. MATERYAL VE METHOD

Bu çalışma beş aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, temel performans göstergeleri hakkında genel bir literatür taraması yapılmıştır. KPI ve bakım türleri hakkında araştırma yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda Nexans tarafından kullanılan Bakım KPI'ları ve Nexans için kritik KPI'lar kullanılmıştır. Bunlar; Arıza Sayısı (N), Harcanan Bakım Süresi (B), Duruş Zamanı (DT), Açık Kalma Süresi (OT), Arızalar Arası Ortalama Zaman (MTBF), Ortalama Arıza Süresi (MDT), Arıza Duruş oranı (BDT), Bekleme Süresi Onarım (TTR), Ortalama Onarım Süresi (MTTR). Nexans'ın SAP programından topladığı veriler doğrultusunda A-Class 20 makinesinin 2021'in ilk 9 ayındaki arıza sayısı, bakım elemanının harcadığı süre, arıza süresi, açık kalma süresi gibi KPI'lar, Toplam Arıza Süresi (TDS) gibi KPI'lar ve maliyet incelenmiştir. Bu 6 KPI kullanılarak 20 makinenin verileriyle bir karar matrisi oluşturulmuştur. Her KPI için belirli bir değer aralığına katsayılar atanmıştır. Bu katsayılar eklendiğinde en önemli 5 makine ortaya çıkmıştır. Nexans'ın SAP'de topladığı veriler doğrultusunda 5 makinenin arıza kayıtları incelenmiştir. Karmaşık bir şekilde yazılan arıza tanımları gruplandırılarak düzenlenmiştir. Arıza tipi, arıza sayısı ve her bir işleme alanındaki süre analiz edilerek bir tablo ve grafik halinde sunulmuştur. En çok arızanın makinenin hangi bölümünde meydana geldiği ve arıza türleri belirlenerek bu arızalar üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalar belirlenen beş makine için gerçekleştirilmiştir. KB_57/3 Çelik Tel Zırh Hattı, TC_11 Kaba Tel Çekme Hattı, IK_35 Kılıf Hattı ve TC_10 Kaba Tel adlı makinelerdeki arızalar planlı bakımlarla giderilebildiğinden, KB_58/2 Çelik Zırh Hattı makinesinin tamburdaki dişli kutusu arızasına odaklanılmıştır. Problem çözme yöntemlerinden balık kılçığına odaklanılmış ve beş neden yöntemi uygulanmıştır. Arızanın nedeni belirlenmiş ve ilgili rapor oluşturulmuştur. Bu rapor sonucunda arızaya neden olan sebepler adım adım giderilmiştir. Arızaya neden olan sebepler giderildikten sonra 2021 yılının son üç ayı incelenerek tekrar veriler elde edilmiş ve aksiyon adımları sonuç vermiştir. Arızaların önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

3. NEXANS KABLO FİRMASI'NDAN ELDE EDİLEN BULGULAR

Nexans, yukarıda belirtilen KPI'lardan Arıza Süresi(BDT), Arıza Sayısı (N), Toplam Arıza Süresi(TDS), Harcanan Bakım Süresi(B), Açık Zaman(OT) ve Maliyet KPI'larını kullanan Denizli'de bir kablo firmasıdır. A-Serisi 20 makineden en fazla arıza yapan beş makineye ulaşmak için 2021'in ilk dokuz ayına ait Nexans'ın verileriyle Tablo 1'de bir karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 1'de her A sınıfı 20 makine için; 2021 yılının ilk 9 ayına ait toplam veriler Arıza Duruş Oranı (BDT), Arıza Sayısı (N), Toplam Arıza Süresi (TDS), Bakım Süresi (B), Açık Kalma Süresi (OT) ve Maliyet KPI'larının verileri verilmiştir.

Tablo 1: Karar matrisi verileri

	CV_2	IK_31	IK_32	IK_34	IK_35
BDT (%)	0,43	0,95	1,31	0,76	0,92
TDS (min)	1250,58	3233,98	6083,63	2321,92	3769,68
OT (min)	315388,38	288050,38	299658,45	310963,18	319910,93
B (min)	280,75	51,43	93,54	169,50	171,80
N	57,00	18,00	42,00	64,00	83,00
MALİYET (TL)	128331,00	46920,00	109833,00	55114,00	92851,00

	IK_36	IK_37	IK_38	IK_39	KB_51/2
BDT (%)	0,32	0,64	0,70	0,62	0,94
TDS (min)	2895,30	2166,92	2291,77	1930,17	2449,77
OT (min)	285274,38	358116,80	362183,97	308944,98	265333,85
B (min)	170,25	26,00	108,46	213,42	6,50
N	55,00	10,00	38,00	80,00	3,00
MALİYET (TL)	36305,00	46714,00	41984,00	59038,00	23035,00

	KB_55	KB_57	KB_57/2	KB_57/3	KB_58/2
BDT (%)	3,57	0,74	1,37	2,16	4,01
TDS (min)	9661,03	1740,25	4669,40	6619,23	6134,07
OT (min)	243369,95	247283,12	354290,43	336531,62	153082,15
B (min)	42,83	13,00	90,75	111,50	139,75
N	20,00	5,00	30,00	46,00	57,00
MALİYET (TL)	146776,00	57221,00	41265,00	152166,00	69752,00

	TB_23	TB_29	TC_10	TC_11	TB_23/2
BDT (%)	0,61	1,09	1,54	2,64	0,88
TDS (min)	1855,67	2399,83	11806,00	26894,35	6465,70
OT (min)	308514,33	221166,72	300820,58	286645,65	282394,20
B (min)	114,50	71,67	134,45	122,95	110,13
N	51,00	37,00	41,00	50,00	46,00
MALİYET (TL)	34950,00	54789,00	162359,00	109012,00	40894,00

Tablo 2'de Nexans Firmasında kullanılan KPI'ların önem sırasına göre uygun değer aralıkları verilmiş ve bu değer aralıklarına 1'den 5'e kadar uygun katsayılar atanmıştır.

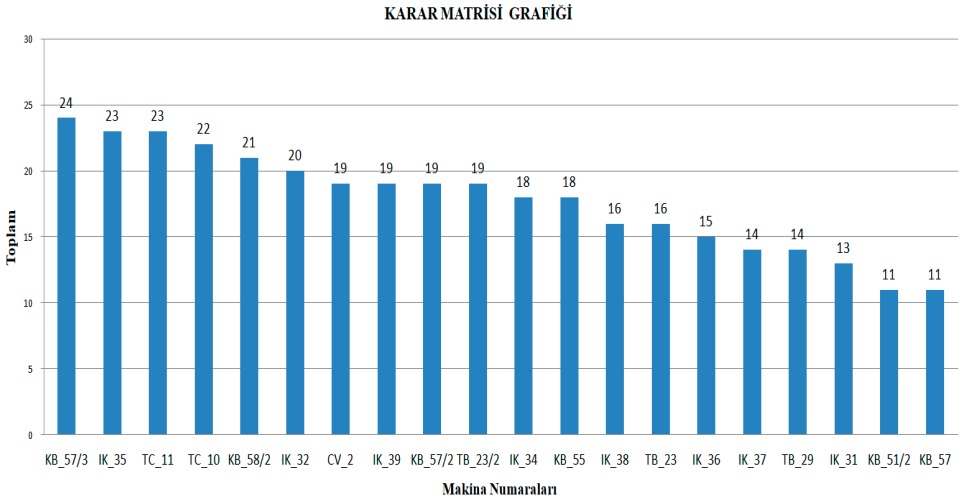
Tablo 2: Karar matrisi belirlenen aralıklar

BELİRLENEN ARALIKLAR											
BDT		TDS		OT		B		N		MALİYET	
0,3	1	1500	1	250000	1	55	1	25	1	20000	1
0,6	2	3000	2	300000	2	110	2	45	2	40000	2
1,00	3	4500	3	350000	3	165	3	65	3	60000	3
2,00	4	6000	4	380000	4	220	4	80	4	80000	4
<2	5	<6000	5	<380000	5	<220	5	<80	5	<100000	5

Tablo 3: Karar matrisi

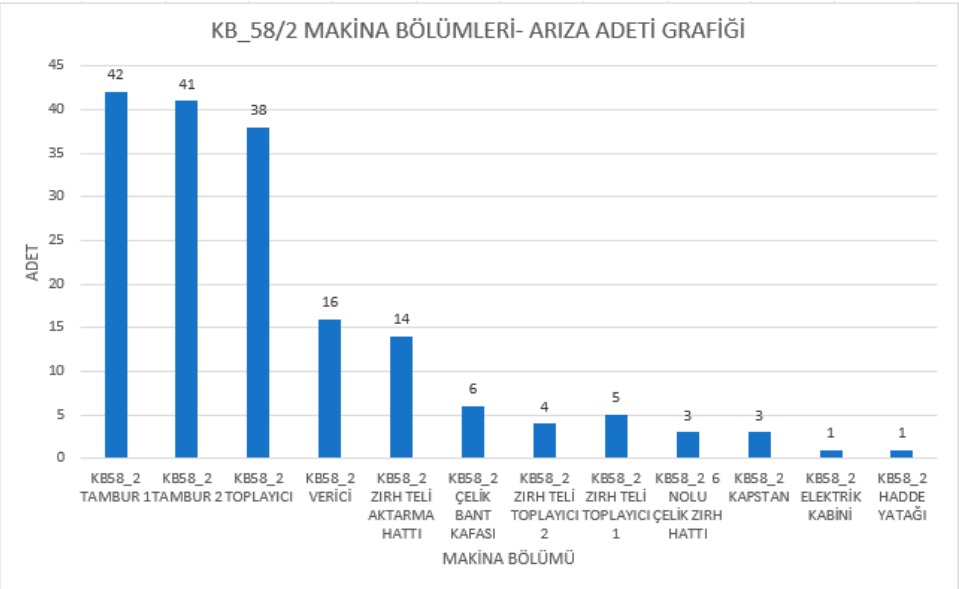
KARAR MATRİSİ										
	KB_55	KB_57	KB_57/2	KB_57/3	KB_58/2	TB_23	TB_29	TC_10	TC_11	TB_23/2
BDT	5	3	4	5	5	3	4	4	5	3
TDS	5	2	4	5	5	2	2	5	5	5
OT	1	1	4	3	1	3	1	3	2	2
B	1	1	2	3	3	3	2	3	3	3
N	1	1	2	3	3	3	2	2	3	3
MALİYET	5	3	3	5	4	2	3	5	5	3
TOPLAM	18	11	19	24	21	16	14	22	23	19

KARAR MATRİSİ										
	CV_2	IK_31	IK_32	IK_34	IK_35	IK_36	IK_37	IK_38	IK_39	KB_51/2
BDT	2	3	4	3	3	2	3	3	3	3
TDS	1	3	5	2	3	2	2	2	2	2
OT	3	2	2	3	3	2	4	4	3	2
B	5	1	2	4	4	4	1	2	4	1
N	3	1	2	3	5	3	1	2	4	1
MALİYET	5	3	5	3	5	2	3	3	3	2
TOPLAM	19	13	20	18	23	15	14	16	19	11



Şekil 1: Karar matrisi sonucu A sınıfı 20 makinanın önem sırası

Excel programında oluşturulan bir formül yardımıyla Tablo 3'te her bir KPI ve makine için Tablo 2'de belirlenen aralıklardaki katsayılar atanmış ve karar matrisi oluşturulmuştur. Bu katsayılar toplanarak en çok soruna neden olan 5 makineye ulaşılmıştır. Bu 5 sorunlu makine sırasıyla: KB_57/3, IK_35, TC_11, TC_10, KB_58/2. Şekil 1'de matristen elde edilen makinelerin sıralı sütun grafiği verilmiştir.

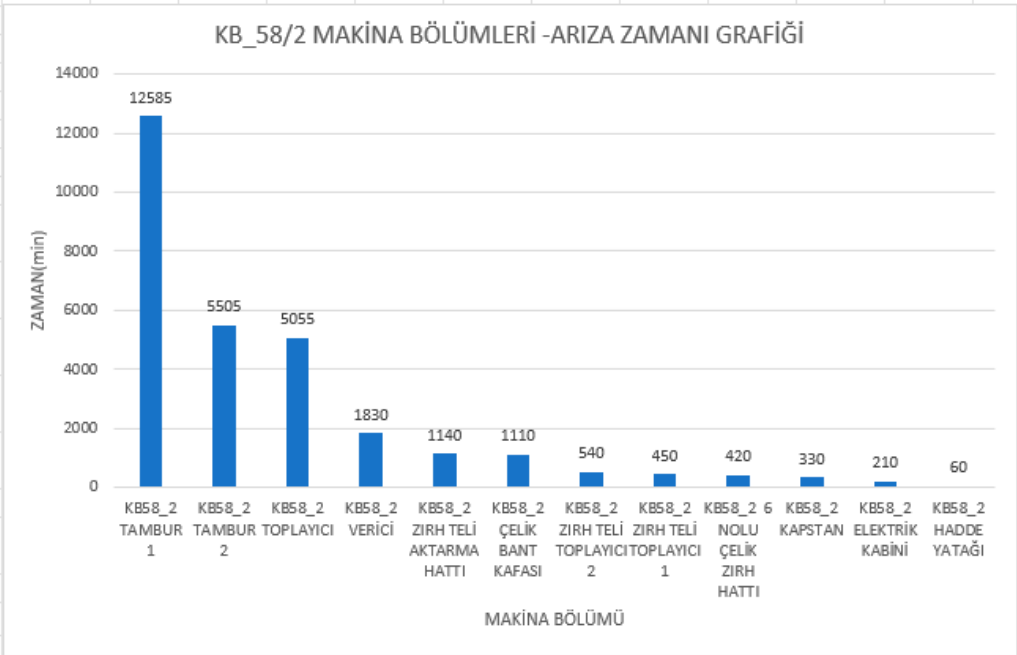


Şekil 2: KB_58/2 makina bölümleri – arıza adedi ilişkisi

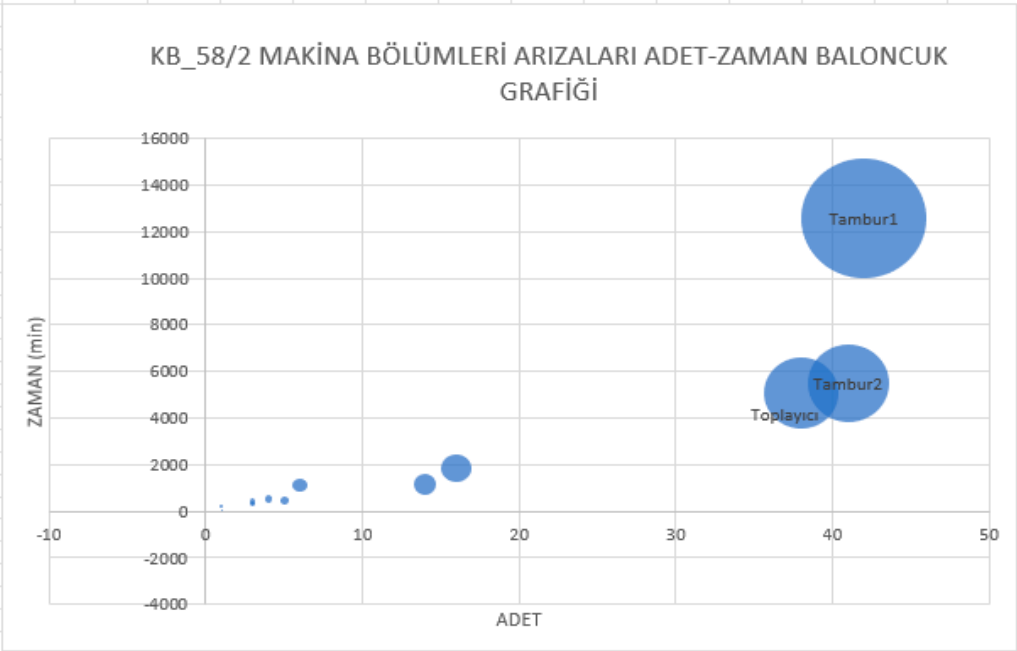
3.1 KB_58/2 Çelik Zırh Hattı

KB58_2 numaralı makine, Tambur 1, Tambur 2, Toplayıcı, Verici, Zırhlı Teli Aktarma Hattı, Çelik Bant Kafası, Zırh Teli Toplayıcı 1, Zırh Teli Toplayıcı 2, 6 Nolu Çelik Zırh Hattı, Kapstan, Elektrik Kabini ve Hadde Yatağından oluşmaktadır. Her bölümdeki arızalar türlerine göre gruplandırılmıştır. Bu arıza türleri aşağıdaki Tablo 4'te arıza sayısı ve zaman açısından verilmiştir. Toplanan veriler sonucunda Tablo 4'e göre 2021 yılının ilk 9 ayında 42 adet ve 12585 dakikalık arıza ile makinenin en çok arızalanan kısmının Tambur 1 bölümü olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 4'te KB58_2 numaralı makinenin her bir parçasındaki toplam arıza sayısı ve arıza süresi verileri verilmektedir. Şekil 2, Tambur 1 bölümünde12585 dakikalık arıza tespit edildiğini,

Şekil 3 Tambur 1 bölümünde 42 adet arıza tespit edildiğini göstermiştir. Şekil 4'te ise balonların boyutu, her bir arıza bölümü için geçen süre ve arıza sayısının çarpımı ile doğru orantılı olarak değişmekte olup, tambur 1 bölümünde arıza görülmektedir.



Şekil 3: KB_58/2 makina bölümleri – arıza zamanı ilişkisi



Şekil 4: KB_58/2 makine bölümleri arızaları adet – zaman baloncuk gösterimi

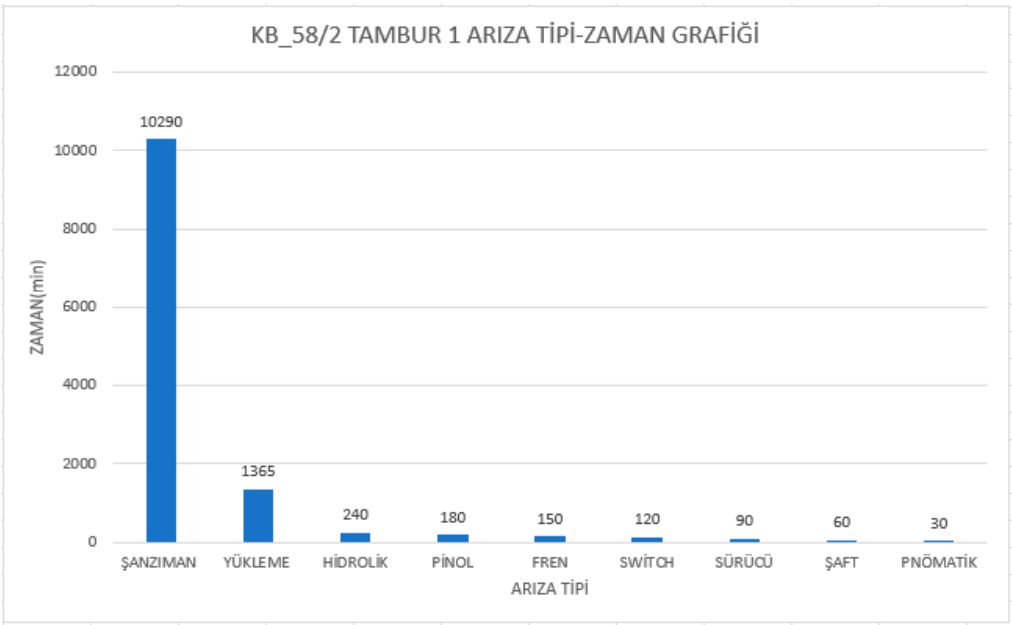
Tablo 4: KB 58/2'ye ait arıza kayıtları

KB_58/2	ARIZA TİPİ	ADET	SÜRE(min)
KB_58/2 6 NOLU ÇELİK ZIRH HATTI	DİĞER	2	300
	KORKULUK	1	120
KB_58/2 ÇELİK BANT KAFASI	ACİL STOP	1	30
	SABİTLEME	2	420
	KAYIŞ	2	600
	PİNOL	1	60
KB_58/2 ELEKTRİK KABİNİ	KABLO	1	210
KB_58/2 HADDE YATAĞI	PİNOL	1	60
KB_58/2 KAPSTAN	ACİL STOP	1	150
	TEL SIKIŞMA	1	60
	KORUMA	1	120
KB_58/2 TAMBUR 1	HİDROLİK	3	240
	PNÖMATİK	1	30
	ŞAFT	1	60
	YÜKLEME	12	1365
	ŞANZIMAN	18	10290
	FREN	3	210
	SÜRÜCÜ	1	90
	SWİTCH	1	120
	PİNOL	2	180
KB_58/2 TAMBUR 2	YÖNLENDİRİCİ	2	90
	BUTON	2	150
	YÜKLEME	15	1275
	FREN	2	180
	HADDE	1	120
	HİDROLİK	1	120
	KILAVUZ	1	60
	MOTOR	1	120
	PNÖMATİK	1	120
	PİNOL	2	300
	SENSÖR	1	120
	SWİTCH	1	120
	ŞAFT	3	630
	ŞANZIMAN	8	2100

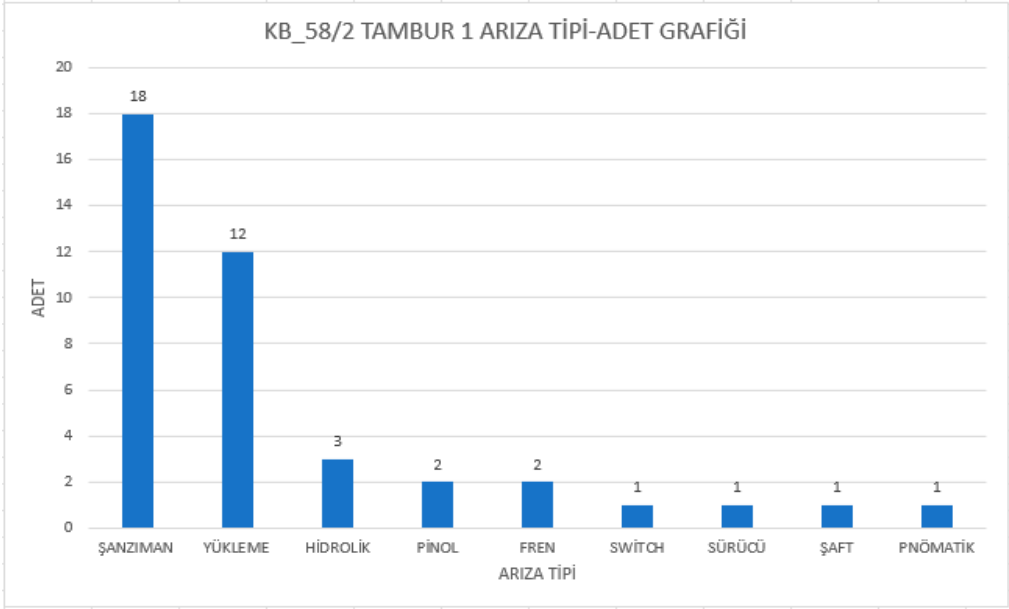
KB_58/2	ARIZA TİPİ	ADET	SÜRE(min)
KB_58/2 TOPLAYICI	AYAK İNDİRME	3	750
	DİĞER	1	60
	BUTON	2	150
	HİDROLİK	1	150
	FREN	3	150
	GEZDİRGE	7	990
	PANO	4	660
	KABLO	6	900
	METRE DİSKİ	1	60
	PİNOL	6	585
	REDÜKTÖR	2	180
	SÜRÜCÜ	2	420
KB_58/2 VERİCİ	AYAK AÇMA	2	300
	PİNOL	2	240
	FREN	4	270
	KABLO	1	120
	KUMANDA	3	480
	SÜRÜCÜ	2	240
	REDÜKTÖR	1	120
	SENSÖR	1	60
KB_58/2 ZIRH TELİ AKTARMA HATTI	HİDROLİK	1	240
	KORUMA	2	120
	KAYIŞ	4	300
	METRE DİSKİ	1	60
	SABİTLEME	2	180
	PİNOL	2	90
	YÖNLENDİRİCİ	1	60
	SWİTCH	1	90
KB_58/2 ZIRH TELİ TOPLAYICI 1	KAYIŞ	3	240
	YÖNLENDİRİCİ	1	120
	BUTON	1	90
KB_58/2 ZIRH TELİ TOPLAYICI 2	YÖNLENDİRİCİ	2	240
	KUMANDA	1	240
	GEZDİRGE	1	60

KB_58/2 numaralı makinede 42 arıza ve 12585 dakika ile Tambur 1 bölümündeki Tablo 4'de verilen arızalara odaklanılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi 10290 dakika ve 19 adet olmak üzere şanzıman arızası tespit edilmiştir. Şekil 7'de balonların boyutu, her bir arıza türü için ulaşılan süre ve sayının çarpımı ile doğru orantılı olarak değişmekte ve şanzıman arızası görülmektedir. Bir sonraki adımda bu arıza tipi için problem çözme yöntemleri uygulanmıştır.

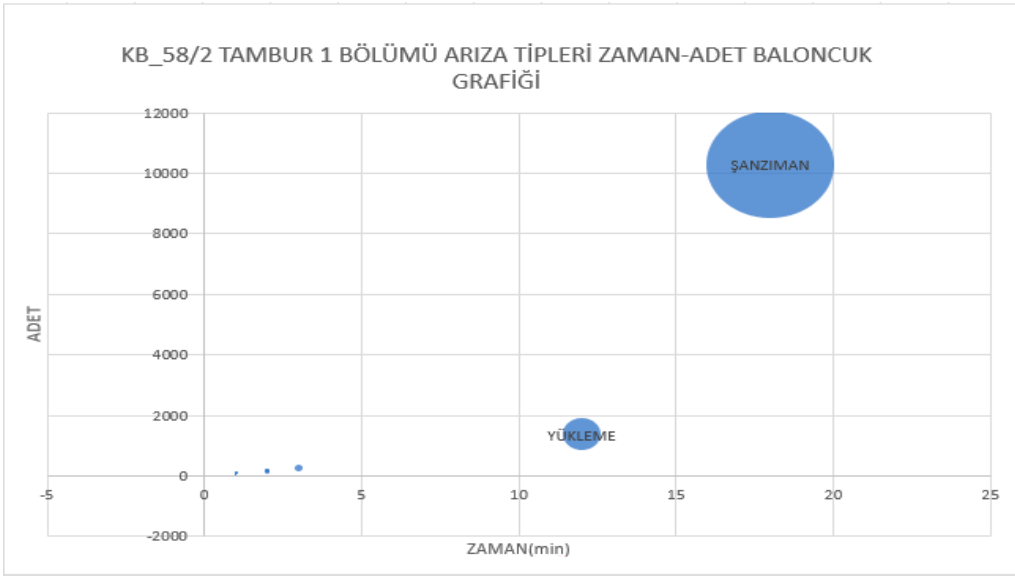
KB_58/2 ARIZA TABLOSU		
BÖLÜM	**ARIZA (ADET)**	**ARIZA (min)**
KB_58/2 TAMBUR 1	42	12585
KB_58/2 TAMBUR 2	41	5505
KB_58/2 TOPLAYICI	38	5055
KB_58/2 VERİCİ	16	1830
KB_58/2 ZIRH TELİ AKTARMA HATTI	14	1140
KB_58/2 ÇELİK BANT KAFASI	6	1110
KB_58/2 ZIRH TELİ TOPLAYICI 2	4	540
KB_58/2 ZIRH TELİ TOPLAYICI 1	5	450
KB_58/2 6 NOLU ÇELİK ZIRH HATTI	3	420
KB_58/2 KAPSTAN	3	330
KB_58/2 ELEKTRİK KABİNİ	1	210
KB_58/2 HADDE YATAĞI	1	60



Şekil 5: KB_58/2 tambur 1 bölümü arıza tipi- zaman sütun grafiği



Şekil 6: KB_58/2 tambur 1 bölümü arıza tipi- adet sütun grafiği

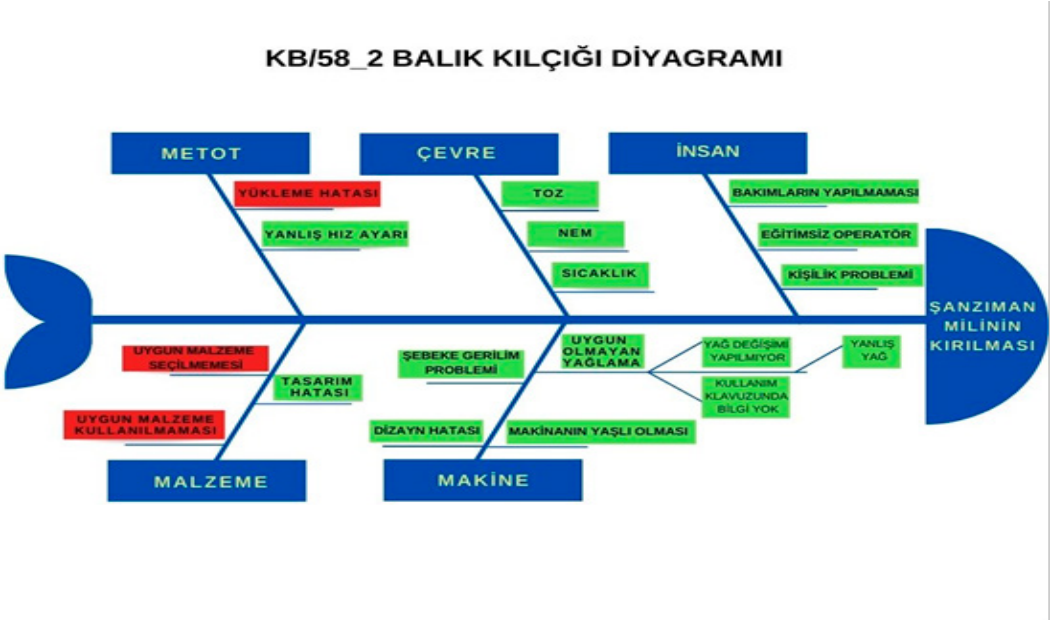


Şekil 7: KB_58/2 tambur 1 bölümü arıza tipleri adet – zaman baloncuk grafiği

4. PROBLEM – KB_58/2 ÇELİK ZIRH HATTI İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

4.1 Balık Kılçığı Diyagramı

KB_58/2 Çelik Zırh Hattı isimli makine için balık kılçığı diyagramı yöntemi, ortam, insan, malzeme ve makine başlıklarından oluşmaktadır. Şanzıman milinin kırılmasına neden olabilecek faktörler bu başlıklar altında incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda Şekil 4'te firmada bu soruna neden olabilecek faktörler kırmızı, yaratmayan faktörler ise yeşil renkte verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen faktörler için ayrıca 5 Neden yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 4: KB_58/2 balık kılçığı diyagramı

4.2 5 Neden Yöntemi

Balık kılçığı diyagramında kırmızı renkte olan etkenlerden yükleme hatası, uygun malzeme seçilmemesi ve uygun malzeme kullanılmaması 5 nedenin analizi ile aşağıdaki Şekil 5'te incelenmiştir. Kök neden analizi tablosu Tablo 5'te verilmiştir.

Çözüm: Proses gereği zorunlu olduğu için herhangi bir çözüm önerisi sunulmamıştır.

*Şekil 5: **3** farklı arıza için 5 neden analizi*

Şekil 6›da kök neden analizi sonucunda alınacak aksiyonların düşük etkili, zor-kolay dereceli grafiği verilmiştir. 1 numaralı kabarcık yükleme hatası, 2 numaralı kabarcık uygun malzemeyi seçmeme, 3 numaralı kabarcık ise uygun malzeme kullanmama sorunları için Tablo 5›te gösterilen eylemleri temsil etmektedir. 1 numarada yapılacak işlem zor ama yapılırsa etkisi orta derecede olur. 2 numaradaki işlem hızlı yapılırsa etkisi orta düzeyde olacaktır. 3 numarada yapılacak işlem diğer işlemlere göre daha erişilebilir ve yapılırsa daha etkili sonuçlar alınacaktır.

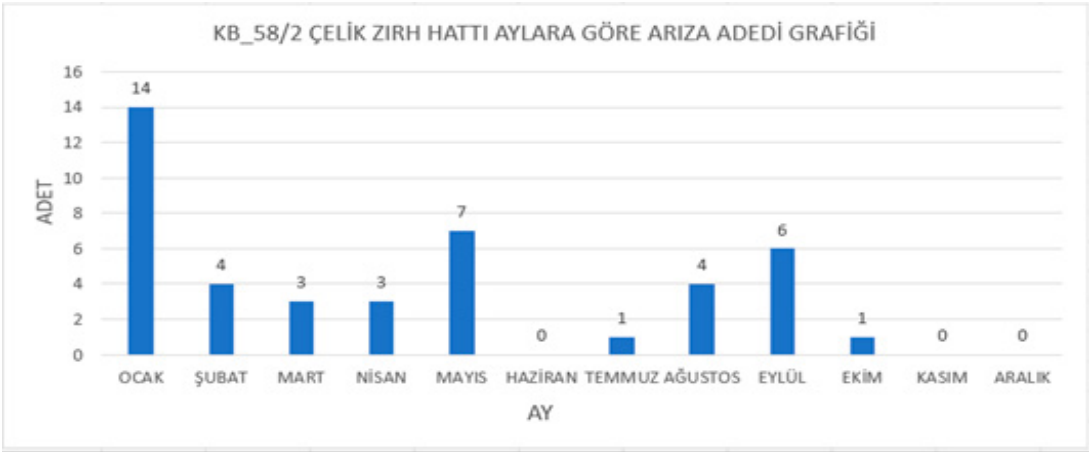
Tablo 5: Kök neden aksiyon tablosu

	SEBEP	KÖK NEDEN	AKSİYON	BİTİŞ ZAMANI
1	YÜKLEME HATASI	Proses Gereği zorunlu	Aksiyon alınmayacak.	-----
2	UYGUN MALZEME SEÇİLMEMESİ	Malzemeye dayanım hesabı yaptırılmadı.	Dayanım hesabı yapılarak uygun malzeme ve ısıl işlem belirlenecek. Üniversite İşbirliği (Farklı sertlikteki malzemeler denenecek.)	1 Hafta
3	UYGUN MALZEME KULLANILMAMASI	Firma gerekli ekipmana sahip değildi.	Spektral Analiz için gerekli ekipmanın alınması	3 Hafta

Şekil 6: Kök neden aksiyon grafiği

5. SONUÇLAR

KB_58/2 Çelik Zırh Hattı adlı makinenin Şekil 7'deki beş neden analizine göre uygun malzeme kullanılmaması şanzıman milinin kırılmasına neden olan etkenlerden biridir. Son zamanlarda artan dişli kutusu mili arızaları nedeniyle şaft malzemelerinin numune muayenesi ve sertlik için 5 Ekim 2021 tarihinde üniversite işbirliği ile saha çalışması başlatılmıştır. Firmanın kendilerine bu millerin ıslahlı AISI 4140 (42CrMo4) çeliğinden imal edilen bu şanzıman millerinin sevkiyatı için üretici firma ile anlaşmaları olduğu biliniyor. Bu kırık dişli millerinin bu nitelikte olup olmadığını belirlemek için üniversitede sertlik ve spektral analizler yapılmıştır.



Şekil 7: KB_58/2 çelik zırh hattı şanzıman mili arızası aylara göre arıza zamanı ve arıza adedi sütun grafiği

Üniversite ile ortaklaşa yapılan dişli kutusu mili malzeme numunelerinin sertlik ölçümleri ve spektral analizleri yapılmıştır. Firmanın tedarikçiden tedarik ettiği çelik AISI 4140 çeliği olmayıp, imalat çeliği denilen E335 benzeri çelik olduğu tespit edilmiştir. E335 çeliği sıradan alaşımsız çeliktir ve sertleşme özelliği yoktur. Bu rapor sonucunda tedarikçi hakkında cezai işlem başlatılmış ve tedarikçi değiştirilmiştir. Yeni tedarikçiden doğru dişli kutusu mili malzemesi sağlandı. Ayrıca şirket, gelen şaft malzemelerinin doğruluğunu kontrol etmek için bir spektrometre analiz cihazı sipariş edildiğini söyledi. Yapılan çalışmalar doğrultusunda eylül ayında aksiyon alınmış, ekim ayında alınan aksiyonların sonuçları görülmüştür. Şekil 7, dişli kutusu mili arızasının 12 aylık verilerinin sütun grafiklerine sahiptir. Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, eylül ayından sonra şanzıman mili arızasında önemli bir azalma gözlemlenmiştir.

6. Kaynakça

- *Amrina E., Yulianto A., Kamil I., "Fuzzyy Multi Criteria Approach For Sustainable Maintenance Evaluation In Rubber Industry", 16TH Global Conference on Sustainable Manufacturing—Sustainable Manufacturingf or Global Circular Economy*
- *Cavlak H., 2021: "Temel Performans Göstergeleri ile kritik başarı faktörleri ilişkisi:Bir Hava Yolu işletmesi Uygulaması", Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 43, Sayı: 1, ISSN: 2587-2672, ss/pp. 78-99]*
- *Chan, K. T., Lee, R. H. K., Burnett, J., 2001:. "Maintenance Performance: A Case Study of Hospitality Engineering Systems," Facilities, vol. 19, no. 13/14, p.494–504. doi:10.1108/02632770110409477.*
- *Law, G. ., 2003: "Setting Performance Standarts for your Maintenance Contract", Maintenance Management Conference, Auckland,New Zeland.*
- *Mazlum, A., Determining., 2019: Of Key Performance Indıcators In Business, İstanbul Ticaret Üniversitesi Girişimcilik Dergisi, Cilt.1 , Sayı.2,*
- *Meran, C., Güngör, A., Gültekin, E., Erol, S.S., 2009: TMMOB Makina Mühendisleri Odası IV. Bakım Teknolojileri Kongre ve Sergisi, Denizli, Türkiye*
- *Ng K.K.H., Tang M.H.M., Lee C.K.M., "Design and Development of a Performance Evaluatıon System For The Aırcraft Maıntenance Industry", Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China*
- *Özyazar, Ö., Yardımcı, İ., Vayvay, Ö., 2014 :"lojistik ve tedarik zinciri performans zinciri", Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği,*
- *Sénéchal, O., 2018: Performance Indicator Nomenclatures For Decision Making In Suıstaınable Condition Based Maintenance, ıfacPapersOnline 51-11(2018) 1137-1142*
- *Varisco, M., Johnsson, C., Mejvik, C., Schiraldi, M., Zhu,L., 2018 :"KPIsforManufacturing Operations Management: drivingthe ISO22400 standardtowardspracticalapplicability", IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 11, Pages 7-12*

BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KAİZEN UYGULAMALARI İLE BAKIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

Merve Nur Özer, Aslı Özmen Selçuk, Mustafa Çörekçioğlu, Onur Emre Kundakçı, Prof. Dr. Aşkıner Güngör[1]

[1]Ar-Ge Merkezi akademik danışmanıdır.

Ozanteks Tekstil San. Ve Tic A.Ş. Ar-Ge Merkezi Bozburun Mah. 7042 Sok. No:6 Denizli

merve.ozer@ozanteks.com.tr

asliozmen@ozanteks.com.tr

mcorekcioglu@ozanteks.com.tr

onur.kundakci@ozanteks.com.tr

askiner@pau.edu.tr

Özet

Günümüzde uluslararası ticaretteki artış, işletmelerin rekabet güçlerini artırabilmek için geleneksel üretim yöntemleri yerine sürdürülebilir ve yenilikçi yöntemleri öğrenerek uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Söz konusu ticari koşullarda ayakta kalabilen işletmelerin "sürekli iyileşme" bakış açısında olan kuruluşlar olduğu görülmektedir. Sürekli çabaların sonucunda mevcut durumda görülen küçük çapta iyileşmeleri ifade eden Kaizen; insana dayanan ve bilgiyi paylaşan yaklaşımıyla, kuruluşlara sağlam temelli iyileşmeleri kazandırmaktadır. Küçük adımlarla gerçekleştirilen sürekli iyileştirmeleri devamlı kılmak ise kuruluşun tüm faaliyetlerine canlılık getirmektedir. Bunun yanında sürekli iyileşme bakış açısının bir parçası olarak, işletmelerin sahip olduğu varlıkların ve makinelerin verimli kullanılmasını ve sıfır kaybı hedefleyen Toplam Verimli Bakım anlayışı; verimlilik ve diğer temel rekabet unsurlarının da daha hızlı gelişmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada bir tekstil işletmesinde Kaizen anlayışının gelişim ve uygulama süreci anlatılmış, Toplam Verimli Bakım konusunda uygulanan Kaizen çalışmalarının etkileri paylaşılmıştır. Sunulan Bakım Kaizen örnekleri ile kuruluşta elde edilen yer alan tasarrufu, süre azaltma, maliyet azaltma, enerji tasarrufu, kalite iyileştirme, iş sağlığı ve güvenliği, çalışan memnuniyeti, çevre etkisi ve otomasyon etkisi kazanımları açıklanmıştır. Tecrübe paylaşımı niteliğindeki bu çalışmayla, sürekli iyileşme bakış açısı ile bakım faaliyetlerinde gerçekleştirilen iyileştirmelerin tekstil sektöründe bulunan diğer firmalara örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Bakım, Kaizen, Toplam Verimli Bakım, Tekstil*

1. GİRİŞ

TPM (Total Productive Maintenance), "Toplam Verimli Bakım" anlamına gelir ve Bakım ile Verimlilik arasında yakın bir ilişki kurarak, ekipmana iyi bakmanın ve bakımının ne kadar yüksek üretkenlikle sonuçlanacağını gösterir. Bu, her makinenin operatör(ler)inde bir sahiplenme duygusu yaratan sürekli iyileştirme felsefesidir. Bu, üretim verimliliğinin ortak amacını gerçekleştirmek için tüm insan gücü kaynaklarının birlikte çalışmasını sağlayan ilerici, sürekli bir felsefe ile kuruluşu güçlendiren bir bakım yönetimi sürecidir. TPM, yenilikçi bir Japon konseptidir. (Vencatesh, 2007).

Modern üretim, başarılı olmak ve dünya standartlarında üretim yapmak isteyen kuruluşların hem etkin hem de verimli bakıma sahip olmasını gerektirir. Müşteriler ürün kalitesine, teslim süresine ve ürünün maliyetine odaklanır. Bu nedenle firma, hem kaliteyi hem de verimliliği sürekli iyileştirmek ve artırmak için bir kalite sistemi getirmelidir. TPM, mevcut ekipmanın kullanılabilirliğini artırmayı ve dolayısıyla daha fazla sermaye yatırımı ihtiyacını azaltmayı amaçlayan bir metodolojidir. İnsan kaynaklarına yatırım ayrıca daha iyi donanım kullanımı, daha yüksek ürün kalitesi ve düşük işçilik maliyetleri ile sonuçlanabilir (Chan ve diğ, 2005). TPM programı, popüler Toplam Kalite Yönetimi (TKY) programına çok benzemektedir. TKY'de kullanılan çalışan güçlendirme, kıyaslama, dokümantasyon vb. araçların çoğu TPM'yi uygulamak ve optimize etmek için kullanılır. Toplam Üretken Bakım, daha yüksek ekipman seviyeleri elde etmek için iyi bir bakım programının birçok unsurunu birbirine bağlayan ekipman ve süreç iyileştirme stratejisidir (Digalwar, Nayagam 2014).

Sürekli iyileştirme, endüstriyel bağlamda büyük önemi olan bir kavramdır. Sürekli iyileştirme ile ilgili en ünlü kavramlar Toyota otomotiv endüstrisinden kaynaklanmıştır ve başarılı olmak isteyen organizasyonların Kaizen felsefesini geliştirmeleri gerekmektedir. Felsefenin, sürekli iyileştirme arayışı içinde, iş süreçlerinin pratiğini geliştirmek için çalışanların motivasyonuna ve yaratıcılığına yardımcı olacak sağduyuya dayalı bir yöntem olduğunu söylemek mümkündür. Kaizen, tüm çalışanları kapsayan israfı ortadan kaldırarak iyileştirme uygulamasını temsil eder. Bu, kuruluşların maliyetleri düşürmesine ve kaliteyi artırmasının yanı sıra ürün çeşitlendirmesine olanak tanır. Şirketler tarafından sağlanan faydalar muazzamdır, örneğin: ilgili finansal yatırımlar olmaksızın verimlilik artışı; üretim maliyetlerinde veya süreçlerinde azalma; pazar değişikliklerine uyum ve özellikle çalışanların motivasyonu. Bununla birlikte, Kaizen'in organizasyonda yer alan herkesin algısında bir değişiklik gerektirdiğini, onları vurgulamak için işyerindeki israfları sürekli olarak tanımlamaları ve bunları ortadan kaldırmak için çözümler önermeleri gerektiğini doğrulamak mümkündür (Carvalho ve diğ. 2017).

Bu çalışmanın temel amacı bir tekstil işletmesinde Toplam Verimli Bakım uygulamaları için gerçekleştirilen Kaizen çalışmalarını inceleyerek işletmenin sağladığı kazançları anlatmak ve öneriler getirmektir. Bu amaçla dokuma, havlu konfeksiyon ve penye konfeksiyon bölümlerinde gerçekleştirilen Kaizen çalışmaları incelenmiştir.

2. METOD

Kaizen kavramı Kai ve Zen kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. Kai, değişiklik; Zen, iyi/iyiye doğru anlamına gelmekte Kaizen ise Sürekli İyileşme demektir. Kaizen, en üst kademeden en alt kademeye kadar herkesi içeren sürekli iyileştirme kültürüdür. Kaizen'in amacı küçük ama etkili değişiklikler yaparak işletmeyi daha iyi hale getirmektir.

Savaş sonrası Japon halkının günlük yaşantısını göz önüne alınca Japonların küçük ama sık gelişme adımlarına dayanan Kaizen anlayışı ortaya çıkmıştır. Kaizen felsefesini ilk ortaya koyan kişi Masaaki İmai olarak bilinmektedir. Kaizen'in temelinde geçici önlemlerle günü kurtarmak değil aksine kalıcı çözümlerle yarını kurtarmak vardır.

Womack ve Jones, Kaizen terimini, değer akış haritalama tekniğini kullanarak üretim hattındaki israfı veya

sorunları ortadan kaldırmak için işbirliği yapan çalışan grupları tarafından normalde gerçekleştirilen faaliyetlerde "artımlı sürekli iyileştirme" olarak nitelendirmektedir. Scotelano'nun belirttiği gibi, bu, sağduyuya dayalı israfı ortadan kaldırma felsefesinden ve iyileştirmeye odaklanarak, çalışanların kendi iş süreçlerini iyileştirme motivasyonunu ve yaratıcılığını destekleyen düşük maliyetli çözümlerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Carvalho ve diğ. 2017).

Prošić (2011)'e göre Kaizen, standartların belirlenmesini ve ardından bu standartların sürekli olarak iyileştirilmesini içerir. Kaizen, daha yüksek standartları desteklemek için, çalışanların daha yüksek standartlara ulaşması ve bu standartları karşılama yeteneklerini sürekli olarak sürdürmeleri için ihtiyaç duyulan eğitim, materyal ve denetimi sağlamayı da içerir. "Standart" terimi katı, değişmez ve mutlak bir şey olarak yanlış anlaşılabilir. Bu şekilde yanlış anlaşılırsa Kaizen'e engel olur. İş dünyasında Kaizen, Japon işletmelerinin başarılarının bir parçası olarak görülen birçok bileşenini kapsar. Kalite çemberleri, otomasyon, öneri sistemleri, tam zamanında teslimat, Kanban (parça tedariklerinin entegre kontrolünün bir biçimi olarak duyuru panosu) ve 5 S, bir işi yürütmenin Kaizen sistemine dahildir. Bir dizi ilke olarak Kaizen, genellikle yönergeler biçiminde sunulur:

- Geleneksel sabit fikirleri atın.
- Neden yapılamayacağını değil, nasıl yapılacağını düşünün.
- Bahane üretmeyin. Mevcut uygulamaları sorgulayarak başlayın.
- Mükemmelliği aramayın. Hedefin yalnızca %50'sine ulaşacak olsa bile hemen yapın.
- Bir hata yaparsanız hemen düzeltin.
- Bir soruna bilgelik katın.
- "NEDEN?" diye sorun ve kök sebepleri araştırın.
- Bir kişinin bilgisinden ziyade on kişinin bilgeliğini arayın.
- İşçilerden fabrika kapısında beyinlerini bırakmalarını istemeyin.

Şekil 1, Kaizen aracının uygulanmasında yer alan aşamaları göstermektedir. Teorik çerçeve, ele alınan konunun önemini ve Yalın Üretim Sisteminin Kaizen aracının doğru uygulandığında nasıl verimli olduğunu, daha iyi bir üretim akışını koordine etmeye, değer üretmeye ve süreçleri daha verimli ve karlı hale getirmeye yardımcı olduğunu vurgular.

Bu bilgilere dayanarak Kaizen Enstitüsünün bu felsefenin 7 temel ilkesini sunduğu bilinmektedir. Bunlar (Web 1, 2022);

1- Sorun olduğunun kabul edilmesi,

2- Düşük maliyetli projelerin seçilmesi,

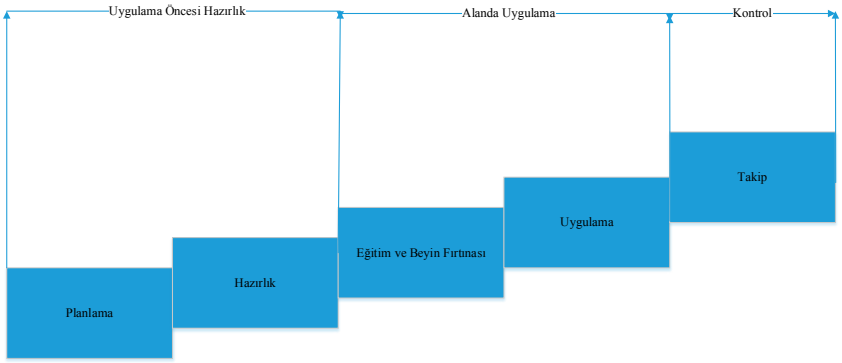
3- "Biz" odaklı olarak ilerlemesi,

4- Amacının sadece ekonomik çıkar olmaması,

5- Önceliğin en başta saptanması,

6- PUKÖ (planla, uygula, kontrol et, önlem al) döngüsünü izlemesi,

7- Doğru ve uygun çözüm yollarının kullanılmasıdır. Ayrıca Kaizen felsefesi, israfların ortadan kaldırılmasına yardım eder; aşırı üretim, aşırı stoklama, nakliye, uygunsuz kusurlar ve bekleme sürelerine odaklanılması gerektiğini savunur.

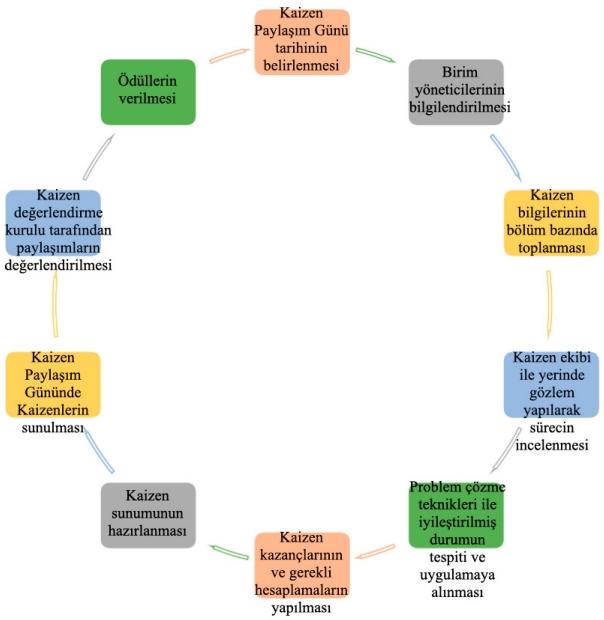


Şekil 1: Kaizen Uygulama Aşamaları

3. UYGULAMA

Çalışmanın gerçekleştirildiği tekstil işletmesinde Kaizen Uygulama ve Kaizen Paylaşma 2014 yılından itibaren düzenli olarak Kaizen Paylaşım Günleri düzenlenmektedir. İşletmede yürütülen Kaizen süreci Şekil 2'de sunulan şekilde ilerlemektedir. Paylaşım Günü tarihi üst yönetim ile birlikte belirlendikten sonra Kaizen çalışmaları Ar-Ge Merkezi tarafından toplanarak yerinde inceleme yapılmaktadır. Yerinde inceleme sonrası Kaizen ekibi ile problem çözme teknikleri aracılığı ile iyileştirilmiş durum analiz edilir, kazançlar hesaplanır ve çalışma uygulamaya alınır. Kaizen paylaşım gününde sunumlar gerçekleştirilir ve Kaizen Değerlendirme Kurulu tarafından tüm Kaizenler değerlendirilerek ödül verilecek gruplar belirlenir. Şirket genelinde Kaizen ve problem çözme teknikleri ile ilgili eğitimler Ar-Ge Merkezindeki uzmanlarca düzenli aralıklarla tekrarlanmaktadır. 2014 yılından bu güne kadar toplamda 45 Kaizen Paylaşım Günü düzenlenmiş ve nevresim konfeksiyon, havlu konfeksiyon, bornoz konfeksiyon, iç giyim konfeksiyon, boyahane ve dokuma bölümlerinde olmak üzere bakım odaklı toplam 45 Kaizen çalışması yapılmıştır. Bu Kaizen çalışmaları işletmeye yıllık ortalama 130.000 TL kazanç sağlamıştır.

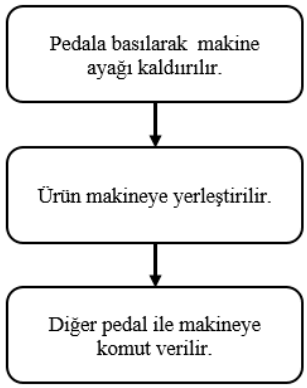
Uygulamanın yapıldığı firmada, yapılan bakım odaklı Kaizen uygulamaları üretim verimliliği, İSG, ergonomi, çalışan memnuniyeti, maliyet azaltma ve kalite iyileştirme gibi başlıklar altında toplanmaktadır. Bildiri kapsamında seçilen üç Kaizen örneği aşağıdaki alt başlıklarda sunulmuştur.



Şekil 2: Kaizen Uygulama Planı

3.1. Penye konfeksiyon bölümü lok makinesinde pedal birleştirme ve vakum sistemi eklenmesi

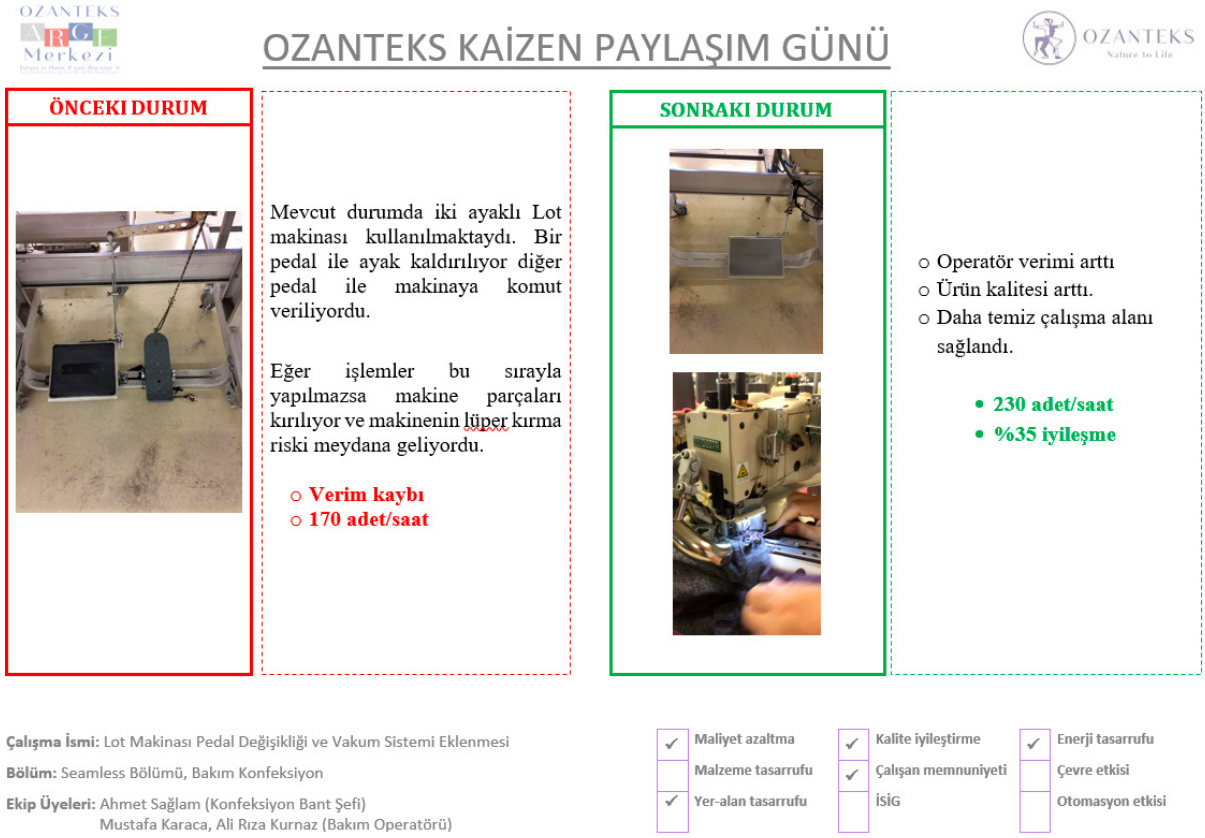
Penye Konfeksiyon bölümünde Lok Makinesinde gerçekleştirilen Kaizen çalışmasıdır. İki parçayı birbiri ile birleştiren konfeksiyon makinesine "Lok makinesi" denmektedir. Süreçte mevcut durumda omuz birleştirme, önlü arkalı iki parçayı birleştirme, tayt içine ağ takma, vb. işlemler için iki ayaklı Lok makinası kullanılmaktadır. İşlem akışı Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Lok makinesi iş akışı

Eğer işlemler; ayak kaldırma, mal/ürün yerleştirme, komut verme şeklinde sırayla yapılmazsa makine parçalarının kırılma ve üretimin aksama riskleri ortaya çıkmaktadır. Bundan kaynaklı da üretim verimliliğinde düşüşler yaşanmaktadır. Arıza yaşandığında ilgili bakımcıya haber verme, bakımcının gelmesi, kırılan parçanın stoğa göre tedarik edilmesi, makinenin tamir edilmesi gibi işlemler için ise 3 ile 24 saat zaman kaybı yaşanmaktaydı. Ayrıca makinede ürün atıklarının düzgün tahliye edilememesi sonucu arıza ile sonuçlanan aksaklıklar yaşanmaktadır. Bunlar atıkların makine üzerinde bulunan bıçak ile iğne arasına girmesi ile bıçak veya iğnede kırılma ve atıkların makine tekerine dolaşması ile makinede taşıma zorluğu meydana getirerek tekerleğin zaman içerisinde kırılmasına neden olmasıdır.

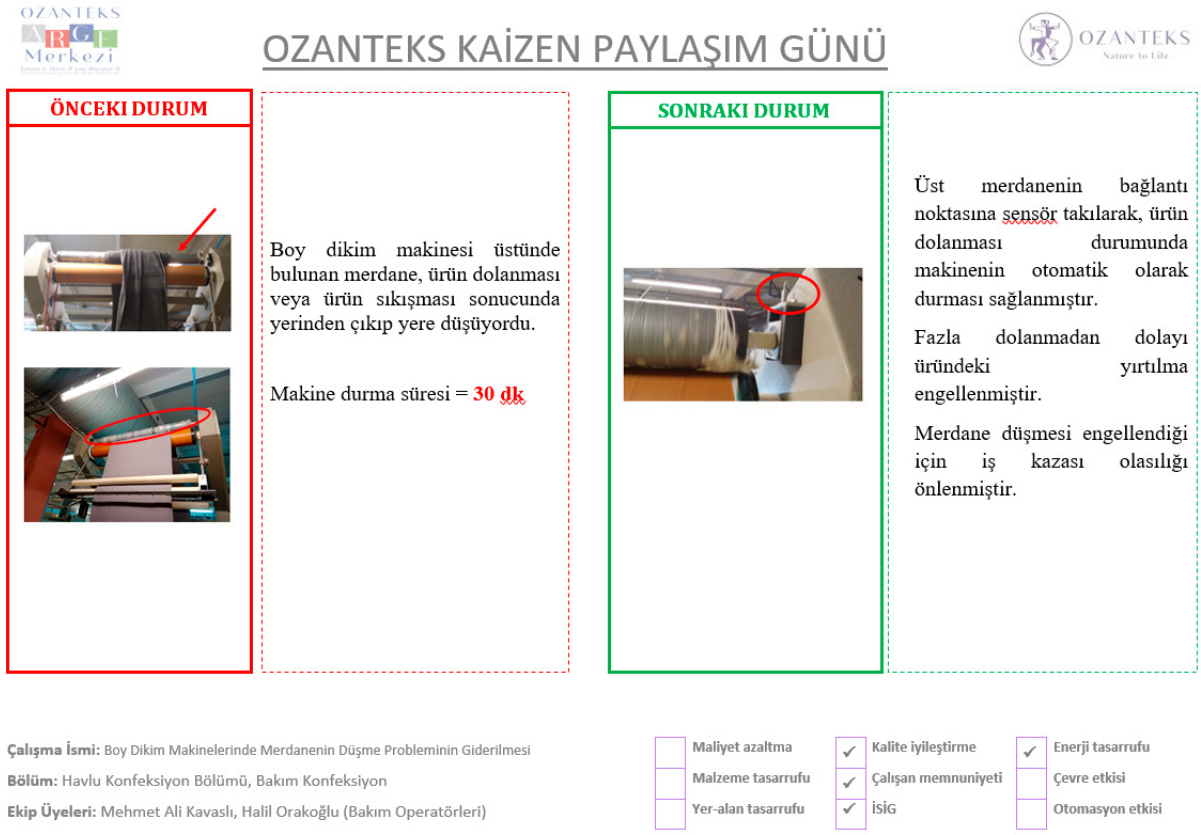
Şekil 4'te detayları bulunan Kaizen çalışmasında Lok makinasında bulunan iki pedal tek pedala düşürülmüştür ve makineye hava sistemi takılmıştır. Tek pedalla kullanım sayesinde operatörün makine hâkimiyeti artarken makine parçalarında yaşanan kırılma problemleri azalmıştır. Hava sistemi ile atıkların bıçak, iğne ve tekerleğe dolanma riskleri ortadan kaldırılmıştır. Lok makinesinde gerçekleştirilen Kaizen çalışması sayesinde Toplam Verimli Bakım anlayışı ile bakım ile verimlilik arasında yakın bir ilişki sayesinde üretim verimliliği % 35 artarken, makine arıza sayısı %60 azalmıştır.



Şekil 4: Lok Makinesinde Pedal Birleştirme ve Hava Sistemi Ekleme

3.2. Havlu konfeksiyon bölümü boy dikim makinelerinde merdane düşme probleminin ortadan kaldırılması

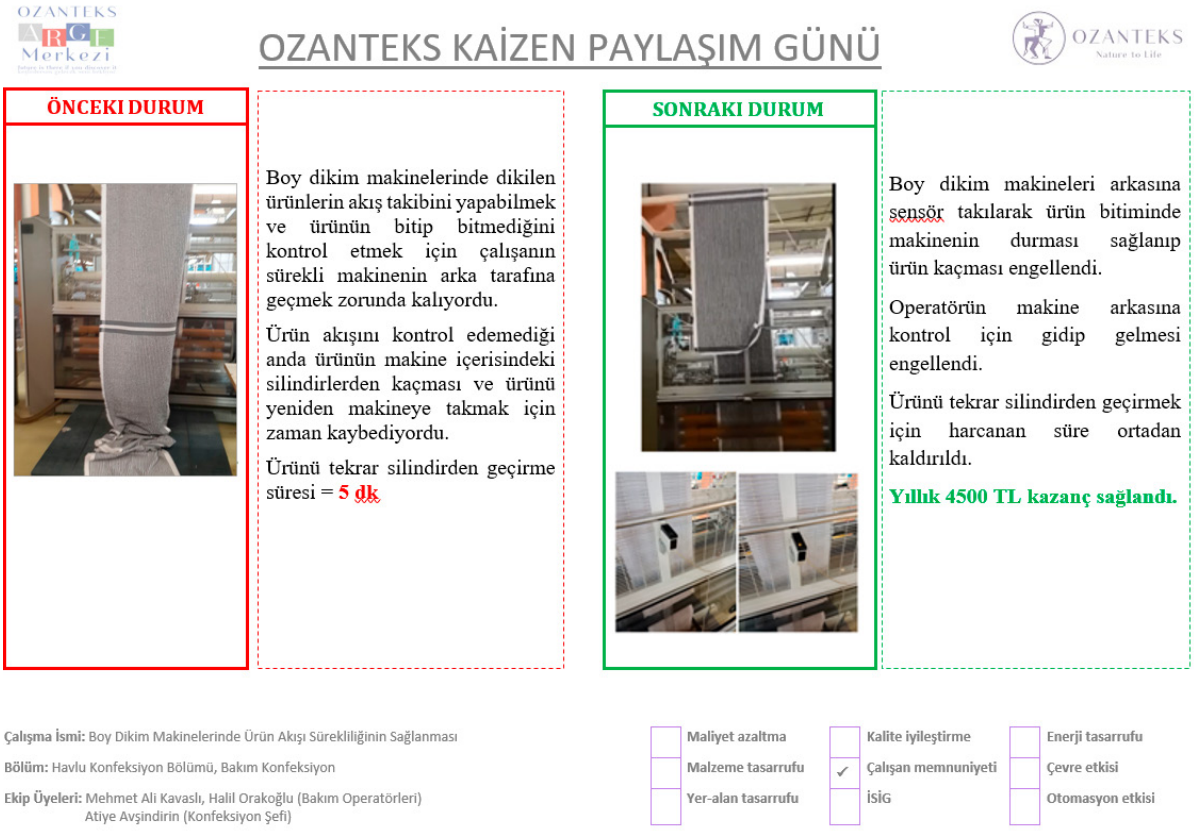
Havlu kumaşlar; zemin, hav ve atkı olmak üzere üç farklı ipliğin dokuma tezgahlarında hav oluşturma tekniği ile dokunması sonucu doklar haline üretilir (Çetin, 2017). Boyanan doklar konfeksiyona geldiğinde ürün ebatlarına göre boyları kesilerek boy dikim makinalarına taşınmaktadır. Şekil 5'te görülen boy dikim makinalarında havlular boy kenarları dikilerek merdaneler yardımıyla makineden çıkarılır. Bu işlem sırasında havlu ürün boy dikim makineleri içerisinde ilerlerken üzerinde bulunan iplik, saçak vb. yabancı cisimlerin merdaneye dolanması sonucu üst merdanenin yatağından çıkıp yere düşerek iş kazası yaşanmasına sebebiyet vermesi ve üretimin durması aksaklıkları yaşanmaktadır. Bu esnada; ürünlerin merdanelerle makineden çıkarılması sırasında operatör makine arkasında mal ekleme yaptığı için üst merdanenin düştüğünü fark edememektedir. Makine durması sonucunda bakımcının çağrılması, merdanenin yerden kaldırılması, yerine takılması gibi işlemler için yaklaşık 30 dk duruş yaşanmaktadır. Yapılan Kaizen çalışması sonucu üst merdanenin bağlantı noktasına sensör takılmıştır. Böylelikle ürün dolanması sırasında makinenin otomatik durması sağlanarak üst merdanenin düşmesi engellenmiştir. Son yıllarda üretim yapan işletmelerde gelişen sensör sistemleriyle birlikte üretim ekipmanlarına yönelik veri toplanması ve ekipman durumunun izlenmesi kolaylaşmış, kestirimci bakım yöntemleri diğer bakım yöntemlerine göre daha çok ön plana çıkmıştır. Kestirimci bakım teknikleri izlenen üretim sürecinin mevcut durumundan hareketle bakımın ne zaman yapılması gerektiğini tahmin etmeye dayalıdır. Bu yaklaşım rutin veya zamana dayalı diğer önleyici bakım tekniklerine göre bakım maliyetinde avantaj sağlamaktadır (Aydın, 2021). Kaizen çalışmasında kullanılan sensör sayesinde merdanenin durumu izlenerek mal sarma sorununun önüne geçilmiştir ve merdanenin bakım planı daha etkin şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5: Havlu Boy Dikim Makinelerinde Merdane Düşme Probleminin Ortadan Kaldırılması

3.3. Havlu konfeksiyon bölümü havlu boy dikim makinelerinde ürün akışı sürekliliğinin sağlanması

Yalın üretim anlayışında set-up (hazırlık) zamanı, bir iş veya işlemi gerçekleştirmek için makine, insan gibi bir kaynağı hazırlamak için kullanılan süre olarak tanımlanabilir. Hazırlık maliyeti ise işin başlaması için kullanılan bu kaynakların ayarlanma maliyetidir (Akyurt ve Erkan 2019). Havlu boy dikim makinalarında operatör, ürünlerin akışının takibini yapabilmek ve hazırlık süresini minimuma düşürebilmek için ürün bitmesine yakın bir sonraki ürünü bir önceki ürünün sonuna diker ve makinede sadece dikim ayarı yaparak üretime devam eder. Böylelikle iki ürün arasındaki hazırlık süresi en aza indirilmiş olur. Operatör dikilen ürünlerin akış takibini yapabilmek, ürünün bitip bitmediğini kontrol etmek için sürekli makinenin arka tarafına geçerek gözle kontrol yapması gerekmektedir ve ürün akışını kontrol edemediği anda ürünün makine içerisindeki silindirlerden kaçması sonucu ürünü yeniden makineye takmak için ortalama 15 dk zaman kaybetmesi durumu yaşanmaktadır. Kaizen ekibi ile beyin fırtınası sonucu boy dikim makinelerinin ürün giriş noktalarına Şekil 6'da görülen sensör takılmıştır. Sensör ürün bitimini gördüğü anda makineyi otomatik olarak durdurmakta ve böylelikle ürün kaçması, yeni ürünü merdaneler arasından geçirme gibi ekstra işlemler yapılmamaktadır. Operatörün ürün kontrolü için makine arkasına geçerek gözle kontrol etmesinin ödüne geçilerek daha verimli çalışması sağlanmıştır.



Şekil 6: Boy Dikim Makinelerinde Ürün Akışı Sürekliliğinin Sağlanması

4. SONUÇ

Günümüz rekabet koşullarında müşterilerin kalite, teslim süresi ve maliyet taleplerini en üst düzeyde karşılamak isteyen firmalar hem kaliteyi hem de verimliliği sürekli iyileştirmek ve artırmak için bir kalite sistemi uygulamalıdır. TPM, mevcut ekipmanın kullanılabilirliğini artırmayı ve dolayısıyla daha fazla sermaye yatırımı ihtiyacını azaltmayı amaçlayan bir metodolojidir. Bu çalışma kapsamında bir tekstil işletmesinde TPM metodolojisini uygulamak için gerçekleştirilen sürekli iyileştirme faaliyetleri incelenmiştir. Bu faaliyetler Kaizen fikirlerinin oluşmasından uygulama sonrası ödüllerin verilmesine kadar giden bir döngüde devam etmektedir. Firmada gerçekleştirilen Bu maddi kazanç hesaplanırken firmanın elde ettiği elektrik, buhar ve doğalgaz kazanımları da hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmalar çalışan memnuniyetini artırırken işçi sağlığı ve güvenliği konularında da ciddi destek sağlamıştır.

Kaizen, tüm çalışanların katılımı ile israfların ortadan kaldırılması için yapılan iyileştirme uygulamalarını temsil etmektedir. Şirketler tarafından Kaizen çalışmaları sayesinde sağlanan faydalar verimlilik artışı; üretim maliyetlerinde veya süreçlerinde azalma; pazar değişikliklerine uyum ve özellikle çalışanların motivasyonudur. Çalışmanın gerçekleştirildiği firmada uygulanan Kaizen süreci ile organizasyonda yer alan herkesin algısında bir değişiklik oluşmuş ve tüm çalışanlar israfları ortadan kaldırılması için çözüm önerileri sunmayı doğal hale getirmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 119C070 sayılı TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora Programı projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- *Web 1, https://www.iienstitu.com/blog/kaizen-nedir (4 Ağustos 2022)*
- *Akyurt, İ. Z., Erkan, E., (2019). Hazirlik Süresinin Azaltilmasinda Smed Yöntemi̇ Uygulamasi. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 15(3), 315-331.*
- *Aydın, C. (2021). Üretim Yapan Bir İşletme İçin Veri Odaklı Kestirimci Bakım Modellerinin Karşılaştırılması.*
- *Bozdemir, E., & Orhan, M. S. (2011). Üretim maliyetlerinin düşürülmesinde kaizen maliyetleme yönteminin rolü ve uygulanabilirliğine yönelik bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 15(2), 463-480.*
- *Carvalho, C. P., Gonçalves, L. W. N., & Silva, M. B. (2017). Kaizen and 5S as Lean Manufacturing Tools for Discreat Production Systems: A Study of the Feasibility in a Textile Company. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology, 4(7), 1-12.*
- *Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. International journal of production economics, 95(1), 71-94.*
- *Çetin, L. (2017). Denizli'de üretilen dokuma havlu ve bornozluk kumaşların haslık ve su emicilik özelliklerinin araştırılması (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).*
- *Digalwar, A. K., & Nayagam, P. V. (2014). Implementation of total productive maintenance in manufacturing industries: a literature-based metadata analysis. IUP Journal of Operations Management, 13(1), 39.*
- *Prošić, S. (2011). Kaizen management philosophy. In I International Symposium Engineering Management And Competitiveness, June (pp. 24-25).*
- *Venkatesh, J. (2007). An introduction to total productive maintenance (TPM). The plant maintenance resource center, 3-20.*

BÜYÜK ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE BAKIM YÖNETİMİ

MAINTENANCE MANAGEMENT IN INDUSTRIAL FACILITIES

Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN

Büyük Endüstri Tesislerinde Bakım Yönetimi
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Payas/HATAY
hbulut@isdemir.com.tr

ABSTRACT

As in every production facility, it is expected that all systems and machines will operate at the desired level in a sustainable, reliable and efficient manner in large industrial facilities. Achieving this situation is possible with an effective asset management. Asset management is a very complex structure provided by the participation of many organizations and individuals. Moreover, it interacts with other management tools. In this study, the studies that need to be done on maintenance management in large industrial facilities will be shared.

Maintenance management has a special status in large industrial plants. Because the results of the maintenance process can cause enormous gains or losses. Therefore, they must be managed with a certain strategy and approach. By ensuring efficient use of existing limited resources with an effective management; It is possible to improve the effects of assets on OHS, environment, quality and production management in a positive way. More importantly, a sustainable structure can be created by improving the corporate culture.

Key Words: Asset management, maintenance culture, maintenance management, reliability, sustainability

ÖZET

Her üretim tesisinde olduğu gibi büyük endüstriyel tesislerde de tüm sistem ve makinelerin sürdürülebilir, güvenilir ve verimli bir şekilde çalışması beklenir. Bu durumun sağlanması etkin bir varlık yönetimi ile mümkündür. Varlık yönetimi, birçok kurum ve kişinin katılımıyla sağlanan oldukça karmaşık bir yapıdır. Ayrıca, diğer yönetim araçlarıyla etkileşime girer. Bu çalışmada büyük sanayi tesislerinde bakım yönetimi konusunda yapılması gereken çalışmalar paylaşılacaktır. Bakım yönetimi, büyük endüstriyel tesislerde özel bir konuma sahiptir. Çünkü bakım sürecinin sonuçları çok büyük kazanç veya kayıplara neden olabilir. Bu nedenle belirli bir strateji ve yaklaşımla yönetilmeleri gerekir. Etkin bir yönetim ile mevcut sınırlı kaynakların verimli kullanımını sağlayarak varlıkların İSG, çevre, kalite ve üretim yönetimi üzerindeki etkilerini olumlu yönde geliştirmek mümkündür. Daha da önemlisi, kurum kültürü geliştirilerek sürdürülebilir bir yapı oluşturulabilir.

Anahtar Kelimeler: Varlık yönetimi, bakım kültürü, bakım yönetimi, güvenilirlik, sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

Öncelikle temel bir noktayı belirtmekte fayda var. Bakım yönetimi, daha da kapsamı genişletirsek varlık yönetimi olarak tanımladığımız kavramlar çok geniş bir içerik oluşturmaktadır. Dolayısı ile konunun her noktasına değinmek bizim yetkinliğimizin üzerine çıkabileceği gibi, konunun dağılmasına da sebep olabilecektir. Dolayısı ile bu çalışmada bize göre en önemli başlıklara değinilecektir.

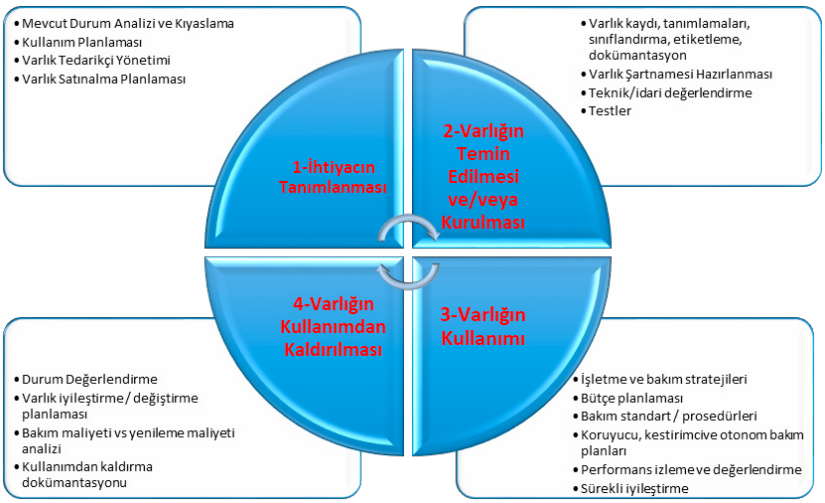
Her başlık, temel çerçevede değerlendirilecek olup, bize göre işin sonucu ve olması gereken net olarak ortaya konulmaya çalışılacaktır.

Temelde bir süreç konusu işlendiğinde, bakım yönetiminin temel girdilerinden başlayarak, süreç sonuçlarının değerlendirileceği aşamaya doğru bir yaklaşım izlenecektir.

2. BAKIM YÖNETİMİ

Bir bakım veya varlık yönetiminden bahsediyorsak, öncelikle kavranılması gereken en önemli konu bir varlığın yaşam döngüsünün bütünsel olarak görülebilmesidir. Hepimizin bildiği gibi işletmelerimizdeki tüm varlıklarımız tesis edilir, kullanılır ve zamanı geldiğinde ise hurdaya ayrılırlar. Varlığın yaşam döngüsü olarak tanımladığımız bu evreleri temel de 4 döneme ayırıyoruz. Aşağıda bu dönemler ve bu dönemlerde yapılması gerekenler başlıklar halinde verilmiştir;

- İhtiyacın Tanımlanması
- Varlığın Temin Edilmesi ve/veya Kurulması
- Varlığın Kullanımı
- Varlığın Kullanımdan Kaldırılması



Varlığın yaşam döngüsündeki ikinci aşamada, temin ederken öngörülen bakım ihtiyacı, bakım maliyeti vb. konular mutlaka alım şartnamelerinde olmalı ve tedarik sürecinde bu değerler alım esnasında değerlendirme kriterleri içerisinde olmalıdır.

Varlık yaşam döngüsünü kavradıktan sonra gelin hep birlikte etkin bir bakım yönetimi için işletmelerimizde olması gereken temel konuları tek tek inceleyelim;

2.1 Organizasyon ve Doküman Çalışmaları

Her işletmenin kendi ihtiyaçları doğrultusunda yapılandırdığı organizasyonunun bulunması olağandır. Burada önerebileceğimiz sadece özellikle büyük endüstriyel tesislerde bir "Bakım Yöneticiliği" oluşturulmasıdır. Bu organizasyon bakım birimleri arasındaki koordinasyon, bakım KPI'larının oluşturulması ve takibi, sürecin geliştirilmesi gibi temel konularda görev alabilir.

Diğer önemli konulardan bir tanesi de işletmenin bakım stratejisini oluşturması ve tüm faaliyetlerini bu strateji doğrultusunda hayata geçiriyor olmasıdır. Aynı zamanda işletmenin bir bakım prosedürünün olması önemli bir konudur. Bu prosedür, oyunun kurallarının herkes tarafından bilinmesini sağlayacaktır. En önemlisi de tüm ilgili çalışanların ve birimlerin şirket içerisinde ortak dili olacaktır.

2.2 Bilgisayar Destekli Bakım

Günümüz dünyasında bilgisayar teknolojisinin girmediği alan neredeyse yoktur. Durum bu şekildeyken, bakım yönetiminde de bilgisayar desteğinin alınması kaçınılmaz bir durumdur.

- Aşağıda bilgisayar destekli bakımın öngörülen faydaları ana başlıklar olarak verilmektedir;
- Şirket bakım yönetimi kurumsal yapısının standardizasyonunun ve sürdürülebilirliğinin sağlanması
- Bakım süreci ile ilgili tüm kaynak ve verilere tek merkezden erişilebilirliğinin sağlanmasıyla verimlilik artışı ve çalışan memnuniyeti
- Bakım yönetimi kurumsal yapısı standardizasyonu gelişimi sonrası yeni personellerin sisteme hızlı entegre olması
- Bakım ve Atelye süreci ile ilgili yapılan tüm faaliyetler ve kaynakların (işgücü, malzeme, dış hizmet alımları, yardımcı ekipman, makine teçhizat vb.) tek sistem üzerinden kayıt altına alınması
- Varlık bazında kritiklik, TEE, maliyet, ömür bilgileri vb. verilerin analiz edilmesi
- Etkin stok takibi ve stok yönetimi yapılması
- Sahadaki varlıklar üzerinden alınan online alarm/ölçüm bilgilerinin yazılıma aktarılarak kestirimci bakım sürecine katkı (Endüstri 4.0)
- Arızaların kök neden analizlerinin ve sonuçlarının takibinin yapılabilmesi
- Uluslararası düzeyde takip edilen Kullanılabilirlik, Güvenilirlik, MTBF/MTTR gibi performans kriterlerinin takibi
- Sistemden alınan raporlar doğrultusunda bakım ve yatırım süreçlerine yön tayin edilebilmesi
- Kendini sürekli geliştiren, değişime açık, teknolojik yönetim aracı

Günümüzde bilgisayar destekli varlık yönetimi için piyasada çok sayıda hazır yazılım bulmak mümkündür. Kullanılan bilgisayar destekli uygulamanın başarılı olabilmesi için öncelikle şirket içerisinde aşağıdaki konuların çözülmüş olması gerekmektedir;

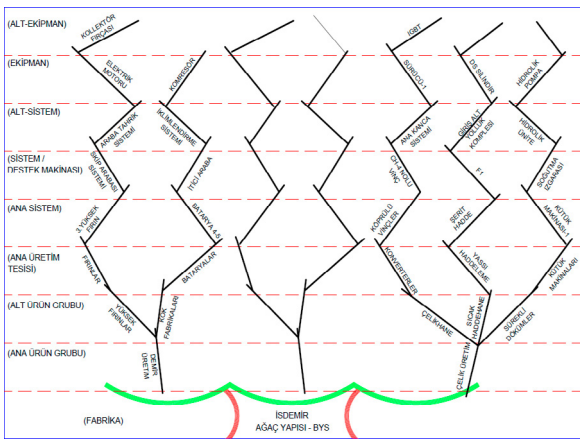
- Üst yönetimin farkındalığı ve desteği
- Ne istediğini bilen bir proje ekibi
- İstenilenleri yazılama aktarabilecek yazılım çözüm ortağı
- Değişime ayak uydurabilen çalışan profili
- Endüstri 4.0 için de teknolojik alt yapı ve IT desteği

2.2.1 Varlıkların Tanımlanması

Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi için öncelikle çok iyi kurgulanmış bir varlık ağaç yapısı oluşturmak gerekiyor. Bu yapıyı oluştururken varlıkları nasıl takip etmek istediğinize öncelikle karar vermeniz gerekli. Her varlığın üzerinde temelde üç tür bilgi tutulur;

- Varlık bilgileri
- Süreç bilgileri
- Performans bilgileri

Burada bahsedilen varlık bilgilerinden kasıt, varlığın tanımı, tipi, teknik özellik grubu, bakım birimi, bakım planları gibi bilgilerdir. Bu bilgiler ne kadar sağlıklı olur ise o kadar verimli bir çalışma yapılmış olur. Aynı şekilde süreç bilgilerinden kasıtsa, varlık üzerine yapılan her türlü faaliyet ve ölçüm bilgileridir. Nihayet, süreç bilgileri oluştukça ekipman üzerinde otomatik hesaplanan performans bilgileri oluşur.



Varlık ağaç yapısı şirketin yapısına göre değişkenlik gösterebilir. İhtiyaç durumunuza göre kaç kademeli olması gerektiğine tüm varlık yöneticileri birlikte karar verilmelidir. Ortak yaklaşım için her kademenin tanımı yapılmalıdır.

2.2.2. Varlıkların Sınıflandırılması

Varlıkların yapısı oluşturulduktan sonra en önemli konuların başında bu varlıkların sınıflandırılması gelmektedir. Bir sistemdeki bazı bileşenler sistemin performansı açısından daha kritik bir öneme sahiptir. Söz konusu sistem teknik bir sistemin tümü veya bu sistemin alt parçaları olabilir. Alt parçaları ile birlikte binlerce, yüz binlerce ekipman olan bir fabrikada tüm ekipmanlara koruyucu bakım görevi atanması, gereğinden fazla kaynak ihtiyacını ve kaynakların doğru kullanılmadığı bir programı beraberinde getirir. Yerinde yapılmış bir sınıflandırma çalışması ile şirket iş önceliklendirme, stok optimizasyonu, iyileştirme planları için odaklanması gereken noktaları en etkin bir şekilde kişilerden bağımsız olarak yapabilir konumda olacaktır. Daha da önemlisi sınırlı kaynaklarımızın en etkin şekilde kullanımına olanak tanıyacaktır.

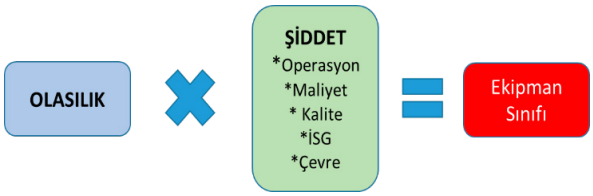
Buradaki sınıflandırmadan kasıt şirket için bir sistem, makina veya ekipmanın önem derecesidir. Örneğin varlıklar

- Kritik
- Önemli
- Normal

varlıklar olarak sınıflandırılabilir.

Varlıkların sınıflandırılmasının hangi parametrelere göre olacağını önceden belirlemek ve mümkünse yazılım içerisine yerleştirmek çok önemlidir. Verilen her parametrenin yine tanımının etkin yapılması ve yayılımının sağlanması önemlidir. Yazılımın zaman içerisinde bu sınıflandırmaları güncellemesi tam da istenen bir durumdur. Bu çalışmalara varlık yönetiminden sorumlu tüm birimlerin katılımı olmazsa olmaz bir kabul olarak benimsenmelidir. Gerektiği noktalarda İş Sağlığı ve Güvenli, Çevre Birimleri, Kalite birimlerinden de destek alınmalıdır.

Özellikle ekipmanların risk merkezli olarak sınıflandırılması daha dinamik bir yapı ortaya koyacaktır. Her ekipman *olasılık x şiddet* matrisinde yerine konularak en uygun sınıfı seçilecektir. Burada olasılığın da hesaplamada kullanılması ekipmanlarınızı risk durumuna göre sınıflandırmanızı sağlayacaktır ki bu durum hedeflenen olgunluk seviyesidir.



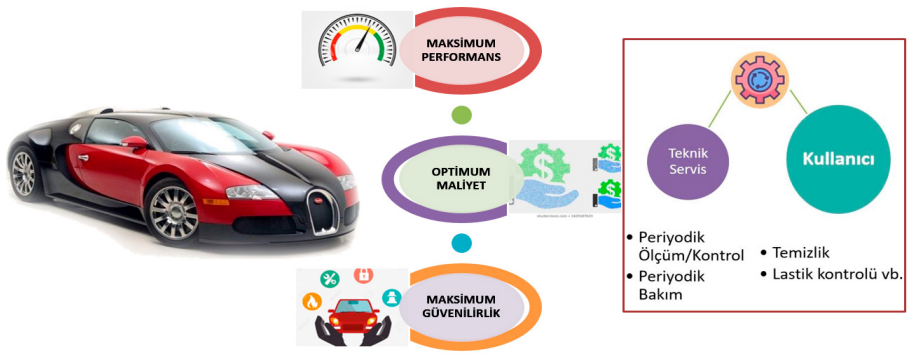
ÇEVRE 1		OLASILIK 2	3	4	5	
ŞİDDET	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	9	10	11
	3	8	12	13	14	15
	4	16	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

2.2.3. Varlık Koruyucu Bakımların Tanımlanması

Güvenilirlik bir sistemin veya parçanın belirli bir zaman periyodu için belirli koşullar altında hatasız çalışma olasılığıdır. Güvenilirlik merkezli bakım tanımını, bakım kavramı tanımıyla birlikte ele almak gerekir. Bakım, fiziksel varlıkların yapmaları gereken işleri sürdürmeyi sağlamak ve güvence altına almak demektir. Bu tanım ışığında güvenilirlik merkezli bakım, herhangi bir fiziksel varlığın kendi çalışma sistemi içerisinde bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan süreçtir. Varlıklarımıza yapacağımız koruyucu bakımları temelde iki sınıfa ayırıyoruz. Bunlar;

- Bakım birimleri tarafından yapılan periyodik bakımlar
- İşletme birimleri tarafından yapılan otonom bakımlar

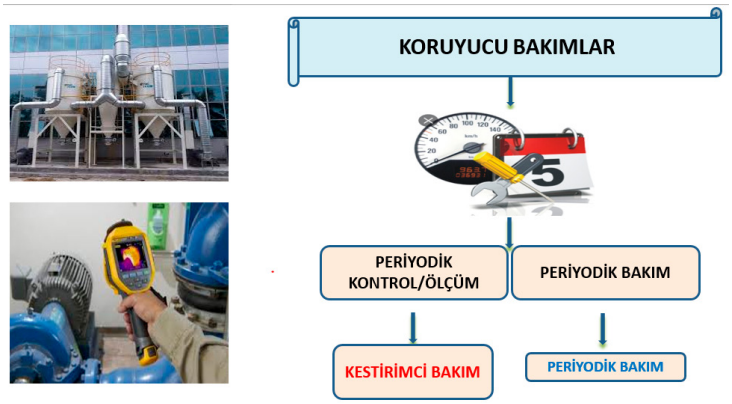
Koruyucu bakımdan istenen asıl beklenti varlıklardan en üst seviyede performans ve güvenirilliği optimum bakım maliyeti ile sağlamaktır.



Bir varlık üzerine yapılacak tüm koruyucu bakımlar ilgili tüm birimlerin birlikte yapacağı çalışmalarla tanımlanmalı ve performansları sürekli izlemelidir. Gerekli görüldüğünde koruyucu bakımlarda revizyonları en kısa zaman içerisinde yapmak gerekmektedir.

Varlık yazılımında en önemli hususlardan olan koruyucu bakım tanımlamaları, ihtiyaç durumuna göre şekillendirilmelidir. Koruyucu bakımlar takvim, ölçüm ve durum bazlı olarak sistemden otomatik olarak oluş-

turularak ilgili birimlerin önüne gelmelidir. Kaynakların etkin planlanması adına gelecek tarihli koruyucu bakımlar ilgili birimlere yol gösterecek düzeyde tanımlanabilir ve izlenebilir olmalıdır.



Yukarıdaki resimlerde bakım birimleri tarafından yapılan koruyucu bakımlar gösterilmektedir. Aynı şekilde makinaların kullanıcıları tarafından da otonom bakımlar tanımlanmalı ve her iki grup tarafından tanımlanan bakımlar senkronize olmalı, birbirini tamamlamalıdır. İlave olarak kestirimci bakım teknolojileri yakından takip edilerek arızaların daha oluşum esnasında çeşitli test ve analiz yöntemleri kullanarak tespiti yapılmalıdır.

2.2.4. Raporlar

Yazılımdan alınan raporların tamamı grubumuz tarafından tasarlanmıştır. Her raporun yetkili bir grubu olup, bazı raporlar otomatik e-posta olarak ilgili kişi ve gruplara belirli zamanlarda gönderilmektedir. Temelde iki sonucu ölçerler;

- Varlık bakım yönetiminin kritik başarı faktörleri
- Varlık yönetimi KPI'ları

Rapor örnekleri;

- Varlık performans raporları
- Varlık maliyet raporları
- Yönetici özeti raporu (e-posta)
- Kokpit raporu
- Koruyucu bakım analiz raporu
- Planlı duruş performans raporu
- Arıza inceleme formu etkinlik raporu
- Faaliyet etki analiz raporu

2.2. Bakım Yönetim KPI Çalışmaları

Uygun KPI tanımlama ve izleme en etkin yönetim araçlarındandır. Bu nedenle, bakım yönetim sürecinin yönetilmesinde de önemli bir yeri olduğunu düşünüyoruz. Belirlenen KPI'lar işletmenin bakım olgunluk seviyesine göre giderek direkt sonuç olarak olarak belirlenmeli ve takip edilmelidir. En etkin KPI örnekleri olarak aşağıdakiler verilebilir;

- Sistem-Makine-Ekipman kullanılabilirlik oranı
- Arıza kaynaklı gecikme oranı

- Yasal bakımların tamamlanmama oranı
- Birim bakım maliyeti
- Koruyucu bakım performans oranı

2.3. Arıza Kök Neden Çalışmaları

İşletme faaliyetleri esnasında çok miktarda arıza faaliyetleri oluşmaktadır. Bu arızaların tamamına eğilerek kök neden analizi yapmak oldukça zahmetli, çoğunlukla fayda-maliyet analizi yaptığımızda da çoğunlukla gereksizdir. Bunun yerine işletme sahasında özellikle kritik ve önemli ekipmanların arızalarına yoğunlaşmak, bu ekipmanlar üzerinde meydana gelen arızaların tekrarını önlemek için odaklanmak oldukça mantıklı bir seçim olacaktır. Hatta burada da seçim yapabilmek son derece kıymetli olan işgücü kullanımını daha da verimli hale getirecektir. İşletmelerimiz için kritik ve önemli olan ekipmanların arıza frekansları ve arıza giderme süreleri dikkate alarak odaklanmanız gereken arızaları çok daha etkin tespit edilebilir. Burada bu tip analizleri kullanıcı yerine, sistemlerden otomatik olarak alınmasını sağlamanız ekstra analiz yapma durumunda kalınmayacaktır. Daha da önemlisi kişiye bağımlılığı ortadan kaldıracak, bir şekilde gözden kaçma durumlarının önüne geçilebilecektir.

2.4. Yedek Yönetim Çalışmaları

Etkin bakım yönetimi, aynı derece de etkin yedek yönetimi ile mümkündür. Günümüzde birçok firma benimsediği stok politikasını tüm yedek parçalar için uygulamaktadır. Ancak kritikliği, belirliliği, talep yapısı ve parçaların değeri gibi ayrı parametre değerleri olan yedeklere aynı politikanın uygulanması maliyet artışı ve üretim kaybı gibi problemlere yol açmaktadır. Bu parçaları ayrı ayrı incelemek, parametreleri belirleyip formülüze etmek ve buna göre düzenlemek maliyetleri büyük ölçüde azaltabilir. Çoğu işletme de yedeklerin belirlenmesi, min. stok miktarlarının tespiti, depolanması gibi konular çok komplike çalışmalardır. Burada da ekipmanların sınıflandırılması size çok etkin kazanımları olacaktır. Hangi yedeklerin bulundurulması, miktarlarının tespiti gibi konularda ekipman sınıflandırmasından rahatlıkla faydalanabilirsiniz. Hatta yedek parçalarınızı da tıpkı ekipmanlarınızı sınıflandırdığınız gibi sınıflandırarak, şirket için önemli olan yedeklerinizi özel statüde takip edebilirsiniz.

Burada bir konuya da açıklık getirmekte fayda var. Çoğunlukla kritik ekipman ile kritik yedek kavramları birbiri ile karıştırılmaktadır. Sadece kritik ekipmanları belirlemek maalesef yeterli değildir. Özellikle hat üretimlerinde, hatta bulunan tüm malzemelerin yedek sınıfının belirlenmesi zorunluluktur. Örneğin, bir makinanın arıza giderme sürelerini dikkate alındığımızda, makina normal ekipman olabilir. Yedek parçaları olmadığında ise işletmeniz için çok kritik bir duruma gelebilir.

2.5. Yayılım ve Geliştirme Çalışmaları

Bakım sürecinin yayılması ve geliştirilmesinde kullanılabilecek diğer önemli başlıklar ise şunlardır;

- Teknolojinin Takibi ve Kullanımı: Bakım teknolojisi yakından takip edilmeli ve fayda görülen uygulamalar ivedilikle sahada kullanıma başlanmalıdır.
- Bakım Çalıştayı Düzenlenmesi: Her yılın sonunda sürecin tüm paydaşlarının katılımı ile değerlendirilmesi.
- Bakım Denetimleri: İşletme içerisinde birimler arası çapraz denetimler organize etme
- Bakım Süreci Değerlendirme Toplantısı
- Arıza Kök Neden Çalışmaları Paylaşım Toplantıları

3. SONUÇ

Bakım yönetimi, çok geniş kapsamda ele alınması gereken önemli bir çalışmalar bütünüdür. Bu nedenle sistematik olarak ele alınmalı ve sürekli geliştirilmelidir. Gelişen teknolojilere aynında ayak uydurmalıdır. Etkin bir bakım yönetim uygulaması ile işletmelerimizin var olma savaşında bir adım önde olmasını kolaylıkla sağlayabiliriz.

Referans

[1] IBM Maximo yazılımı

DİJİTAL BAKIM İLE VERİMLİLİĞİN ARTMASI

Sinan Cem GÜNEY

ÖZET

Fabrikalarda bakım kavramı hızlı bir şekilde arıza sonlarında yaşanan "plansız bakım yöntemlerinden" çıkıp "periyodik bakım yöntemlerine" ve "kestirimce bakım yöntemlerine" doğru gitmekte. Periyodik bakım ve Kestirimce bakım proseslerin sağlıklı işlemesi, Plansız bakım yönteminde ortaya çıkan tehlikeli durumların ve tesis parçaların zarar görmesini de engellemiş olur.

Dijital bakım çözümleri sayesinde Periyodik bakımların doğru planlanması, bakım yöntemlerin ve sistem manuellerine kolay ulaşımı sağladığı gibi, Endüstri 4.0 'ü destekleyen makine performansları konusunda bizlere bilgi veren Dashboard çözümleri sayesinde Kestirimce bakımla birlikte işletmelerimizde verimliliği artırmış olmaktayız. Bununla birlikte arıza durumunda arıza tespit- diagnostic fonksiyonları, arızanın oluşumu ve çözümleri konusunda bizlere bildirim yaparak, MTTR (Arıza tamir süresi) zamanını minimize etmekte önemli avantajlar sağlamaktadır

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Dijitalleşme, Verimlilik,

ABSTRACT

The concept of maintenance in factories is rapidly moving away from "unplanned maintenance methods" experienced at the end of failures and towards "periodic maintenance methods" and "predictable maintenance methods". The healthy operation of the periodic maintenance and predictive maintenance processes also prevents the dangerous situations that arise in the unplanned maintenance method and the damage to the plant parts.

Thanks to digital maintenance solutions, we increase the efficiency in our businesses with Predictive maintenance, thanks to Dashboard solutions that provide us with accurate planning of periodic maintenance, easy access to maintenance methods and system manuals, as well as providing information on machine performances that support Industry 4.0. However, in case of malfunction, diagnostic functions provide important advantages in minimizing MTTR (Failure Repair Time) time by notifying us about the occurrence and solutions of the malfunction.

Keywords: Predictive Maintenance, Digitalization, Efficiency,

1. OEE -TOPLAM EKİPMAN VERİMLİLİĞİ

Genel ekipman etkinliği (OEE), bir üretim operasyonunun (tesisler, zaman ve malzeme), çalışmasının planlandığı dönemlerde tam potansiyeline kıyasla ne kadar iyi kullanıldığının bir ölçüsüdür. Gerçekten verimli olan üretim süresinin yüzdesini belirler. % 100 OEE, maksimum hızda (% 100 performans) ve kesintisiz (% 100 kullanılabilirlik) yalnızca iyi parçaların üretildiği (% 100 kalite) anlamına gelir.

OEE'nin ölçülmesi en iyi üretim yöntemidir. OEE'yi ve temeldeki kayıpları ölçerek, üretim sürecinizi sistematik olarak nasıl geliştireceğiniz konusunda önemli bilgiler edineceksiniz. OEE, kayıpları belirlemek, tezgah işaretleme ilerlemesini ve üretim ekipmanının verimliliğini artırmak için en iyi tek metriktir (yani, atıkları ortadan kaldırmak)

Toplam etkili ekipman performansı (TEEP), OEE'yi yalnızca planlanan çalışma saatlerine göre takvim saatlerine göre ölçen, yakından ilişkili bir önlemdir. % 100'lük bir TEEP, operasyonların günde% 100 OEE ve yılda 365 gün (% 100 yükleme) OEE ile gerçekleştirildiği anlamına gelir.

1.1. OEE ve TEEP için hesaplamalar

Bir üretim biriminin OEE'si üç ayrı bileşenin ürünü olarak hesaplanır:

Kullanılabilirlik: işlemin çalıştırılabileceği planlanan zamanın yüzdesi. Genellikle Uptime olarak adlandırılır.

Performans: İş Merkezi'nin tasarlanan hızının yüzdesi olarak çalışma hızı.

Kalite: Başlatılan Toplam Birimin yüzdesi olarak üretilen İyi Birimler. Genellikle ilk geçiş verimi (FPY) olarak adlandırılır.

TEEP'i hesaplamak için, OEE dördüncü bileşenle çarpılır:

Yükleme: gerçekten çalışması planlanan toplam takvim süresinin yüzdesi.

OEE hesaplamaları özellikle karmaşık değildir, ancak temel olarak kullanılan standartlara dikkat edilmelidir. Ayrıca, bu hesaplamalar iş merkezi veya parça numarası düzeyinde geçerlidir, ancak toplam seviyelere inilirse daha karmaşık hale gelir. [3]

Genel Ekipman Etkinliği

OEE'nin üç bileşeninden her biri, sürecin iyileştirme için hedeflenebilecek bir yönüne işaret eder. OEE, herhangi bir Çalışma Merkezine uygulanabilir veya Departman veya Fabrika seviyelerine kadar toplanabilir. Bu araç ayrıca belirli bir Parça Numarası, Shift veya diğer birkaç parametreden herhangi biri gibi çok spesifik analizler için detaya inmeye izin verir. Herhangi bir üretim işleminin% 100 OEE'de gerçekleşmesi olası değildir. Birçok üretici endüstrilerini zorlu bir hedef belirlemek için karşılaştırıyor; % 85 nadir değildir.

OEE, (Kullanılabilirlik) * (Performans) * (Kalite) formülüyle hesaplanır.

Aşağıda verilen örnekleri kullanarak:

(Kullanılabilirlik =% 86,6) * (Performans =% 93) * (Kalite =% 91,3) = (OEE =% 73,6)

Alternatif olarak ve çoğu zaman daha kolay olan OEE, parçaları optimum koşullar altında üretmek için gereken minimum süreyi, parçaları üretmek için gereken gerçek zamana bölerek hesaplanır. Örneğin:

Toplam Süre: 8 saat vardiya veya 28.800 saniye, 14.400 parça veya 2 saniyede bir parça üretilir.

Mümkün olan en hızlı döngü süresi 1.5 saniyedir, bu nedenle 14.400 parçayı üretmek için sadece 21.600 saniye gerekirdi. Kalan 7.200 saniye veya 2 saat kaybedildi.

OEE şu anda 21.600 saniyenin 28.800 saniyeye bölünmesi (parça başına minimum 1,5 saniyenin bölünmesi ile parça başına 2 gerçek saniyenin aynısı) veya% 75'tir.

Toplam etkili ekipman performansı

OEE etkinliği planlanan saatlere göre ölçerken, TEEP takvim saatlerine göre etkinliği ölçer, yani: günde 24 saat, yılda 365 gün.

TEEP, bu nedenle varlıkların 'kârlılık' kullanımını rapor eder.

TEEP = Yükleme * OEE

Yükleme

TEEP Metriğinin Yükleme bölümü, bir işlemin kullanılabilir toplam Takvim Süresine kıyasla çalışması için planlanan sürenin yüzdesini temsil eder. Yükleme Metriği, Program Etkinliğinin saf bir ölçümüdür ve bu işlemin ne kadar iyi performans gösterebileceğini etkilemek için tasarlanmıştır.

Hesaplama: Yükleniyor = Planlanan Zaman / Takvim Süresi

Örnek:

Belirli bir İş Merkezinin haftada 5 gün, günde 24 saat çalışması planlanmaktadır.

Belirli bir hafta boyunca Toplam Takvim Süresi 24 Saatte 7 Gün.

Yükleme = (5 gün x 24 saat) / (7 gün x 24 saat) =% 71,4

Kullanılabilirlik

OEE Metriğinin Kullanılabilirlik bölümü, işlemin çalıştırılabileceği planlanan sürenin yüzdesini temsil eder. Kullanılabilirlik Metriği, Kalite ve Performansın etkilerini dışlamak için tasarlanmış saf bir Uptime ölçümüdür. Boşa giden kullanılabilirlikten kaynaklanan kayıplara kullanılabilirlik kaybı denir. [4]

Örnek: Belirli bir İş Merkezi›nin 30 saatlik programlı bir mola ile 8 saatlik (480 dakikalık) vardiya çalışması ve mola sırasında hatların durması planlanır ve planlanmamış duruş süresi 60 dakikadır.

Planlanan süre = 480 dakika - 30 dakika = 450 dakika.

Çalışma Süresi = 480 Dakika - 30 Dakika Program Kaybı - 60 Dakika Planlanmamış Kesinti Süresi = 390 Dakika

Hesaplama: Kullanılabilirlik = çalışma süresi / planlanan süre

Kullanılabilirlik = 390 dakika / 450 dakika =% 86,6

1.2. Toplam Üretken Bakım

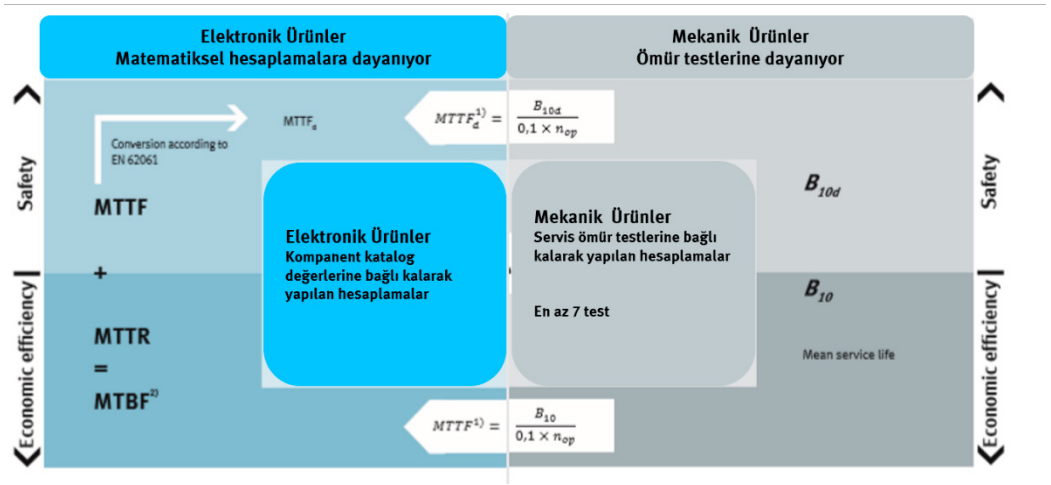
OEE'de sürekli iyileştirme TPM'nin (Toplam Üretken Bakım) hedefidir. Özellikle, Seiichi Nakajima tarafından ortaya konan TPM'nin amacı, "OEE'yi küçük grup etkinliklerinde etkileyen herkese dahil ederek OEE'nin sürekli iyileştirilmesi» dir. Bunu başarmak için, TPM araç kutusu altı tip OEE kaybının her birini azaltmak için Odaklanmış bir iyileştirme taktiği belirler. Örneğin, arıza riskini sistematik olarak azaltmak için Odaklanmış iyileştirme taktiği, varlık durumunu nasıl iyileştireceğini ve insan hatasını ve hızlandırılmış aşınmayı azaltmak için çalışma yöntemlerini nasıl standartlaştıracağını belirler.

OEE'yi Odaklanmış iyileştirme ile birleştirmek, OEE'yi gecikmeden öncü göstergeye dönüştürür. OEE iyileştirmesinin ilk Odaklı iyileştirme aşaması, istikrarlı bir OEE elde etmektir. Temsili bir üretim örneği için ortalamadan yaklaşık% 5 oranında değişen bir. Bir varlık etkinliği sabit olduğunda ve ekipman aşınma oranları ve

çalışma yöntemlerindeki değişkenlikten etkilenmediğinde. Kronik kayıpları gidermek için OEE iyileşmesinin ikinci aşaması (optimizasyon) gerçekleştirilebilir. OEE ve TPM Odaklı iyileştirme taktiklerini birleştirmek, performans yönetimi önceliklerini yönlendirmek için kullanılabilecek öncü bir gösterge oluşturur. TPM süreci bu kazanımları küçük çapraz fonksiyonel iyileştirme ekipleri aracılığıyla sağladıkça, OEE iyileştirme süreci ön hat ekip katılımı / problem sahipliği, iş birliği ve beceri düzeylerini yükseltir. OEE'nin KPI, TPM Odaklı iyileştirme taktikleri ve ön hat ekip katılımı olarak OEE'nin birleşimi, OEE'deki kazançları ve TPM'nin yıllık iyileştirmeyi hedefliyor.

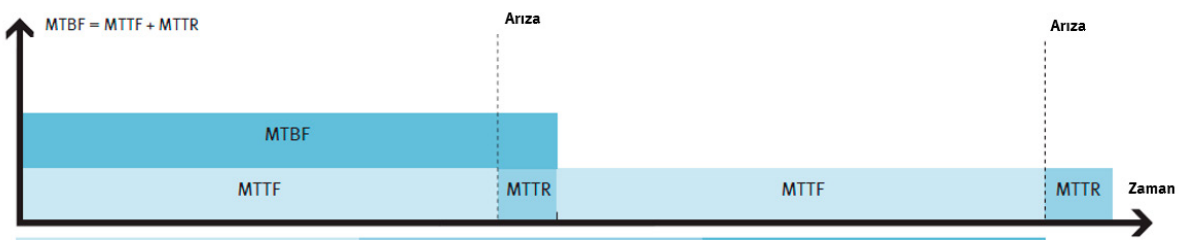
2. ÜRÜN ÖMÜR KARAKTERİSTİK DEĞERLERİ

Bir ürünün hizmet ömrü hemen hemen tüm sektörler için önemlidir. Bununla birlikte, hizmet ömrü özellikleri, imalat teknolojisine dayanmaktadır. Mekanik aşınmaya maruz kalan ürünler için çevrim süreleri veya çalışma performansı (km, strok boyu…) , elektronik ürünler için çalışma saatleri veya yıllar şeklinde belirtilirler.



Şekil 1: Elektronik ve mekanik ürünler için ömür tablosu

2.1 Elektronik kompanetler için servis ömrü



Şekil 2: Ürün servis ömrü

MTTF: (Main Time to Failure) Arızalanmaya kadar gecen süre

MTTF değeri, ortalama başarısızlık süresi, %63 olasılıkla bir başarısızlık meydana gelene kadar ortalama sürenin istatistiksel değeridir. Elektronik ürünler için bu değer genellikle bileşen verilerine dayanarak hesaplanabilir (sabit arıza oranı). Teknik özellikler genellikle yıl olarak belirtilir.

MTTFd: (Main Time to Dangerous Failure) Tehlikeli arızalanmaya kadar gecen süre

MTTFd Ortalama "tehlikeli" arıza süresi, tehlikeli bir arıza oluşana kadar geçen ortalama süredir. Tehlikeli bir arızanın yukarıdaki açıklamasına dayanarak aşağıdakiler varsayılır:

MTTFd = 2 x MTTF

MTTR: (Main Time to Repair) Tamir edilene kadar gecen süre

MTBF: (Main Time Between Failure) Arızalar arası süre

Arızalar arasındaki ortalama süre, onarılabilir ürünler durumunda sabit bir arıza oranında iki arıza arasındaki süreyi tanımlar. MTTF + MTTR = MTBF

MTTF ürün tedarikçisi tarafından sağlanırken MTTR ise uygulamaya bağlı olarak müşteri tarafından değerlendirilmelidir

.

Diode	Example	MTTF for components [years]	$MTTF_d$ for components [years]		Comments
			Typical	Worst case	
General application	–	114 155	228 311	22 831	50% dangerous failures
Suppressor	–	15 981	31 963	3 196	50% dangerous failures
Rectifier diodes	–	114 155	228 311	22 831	50% dangerous failures
Rectifier bridges	–	57 078	114 155	11 416	50% dangerous failures
Thyristors	–	11 415	22 831	2 283	50% dangerous failures
Triacs, diacs	–	1 484	2 968	297	50% dangerous failures
Integrated circuits (programmable and non-programmable)	Use manufacturer's specifications				50% dangerous failures

Şekil -3 Siemens standard SN 29500 göre Diyotlar, güç yarı iletkenleri ve entegre devreler

2.2- Mekanik Ürünler için Servis Ömrü

Ortalama hizmet ömrü, aynı ürün serinin tüm boyutları ve çeşitleri için ayrı ayrı belirtilmeli ve imalatçıya özgü bir değerlerdir. Ortalama hizmet ömrü, tüm uzun süreli testlere dayanarak belirlenir.

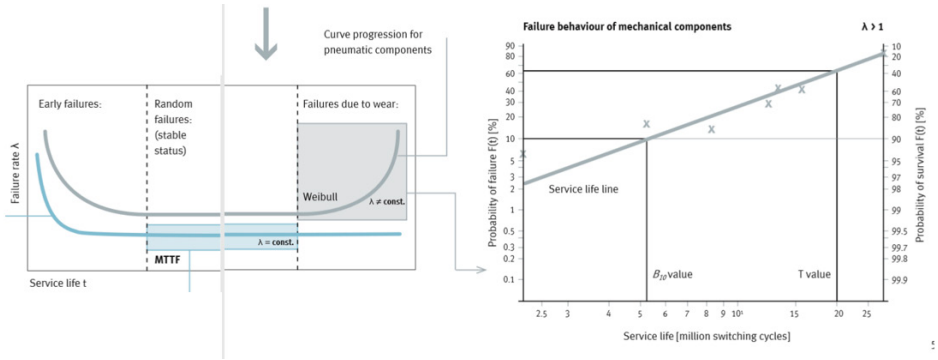
B 10 değeri: Bileşenlerin%10'unun belirli koşullar altında test için belirlenen sınır değerlerini (anahtarlama süresi, sızıntı, anahtarlama basıncı vb.) Aştığı döngü sayısı için istatistiksel olarak beklenen değer. Bunun tersine, test nesnelerinin%90'ının belirtilen hizmet ömrüne B 10 ulaşma olasılığı da vardır.

B 10d değeri ISO 13849-1'e göre, B 10d değeri bileşenlerin% 10'u tehlikeli bir şekilde başarısız olana kadar ortalama döngü sayısını belirtir. Arıza türleri hakkında daha fazla ayrıntı yoksa, standartlar organizasyonu aşağıdaki varsayımı önerir, bu da B 10d = 2 x B 10

b değer / şekil parametresi Weibull dağılım parametresi. B değeri arıza tipini tanımlar. Erken arızalar (b <1), rastgele arızalar (b = 1; üstel dağılıma karşılık gelir) ve aşınma hataları (b> 1) arasında bir ayrım yapılabilir.

Weibull analizi, mekanik aşınmaya maruz kalan ürünler için klasik güvenilirlik analizidir (sabit arıza oranı yoktur). Karakteristik servis ömrü T, B 10 değeri ve servis ömrü hattının gradyanı (şekil parametresi b) gibi karşılık gelen arıza olasılıkları olan servis ömrü özellikleri, Weibull ağından çıkarılabilir.

T değeri / karakteristik kullanım ömrü T karakteristik kullanım ömürde T süresi, test nesnelerinin% 63'ünün arızalanmasına kadar geçen süredir



Şekil -4 Mekanik ürünlerin servis ömrü

B 10 değerini MTTFd değeri içerisinde hesaplama

DIN EN 13849-1 göre Pratik hesaplama:

B 10 değeri 30 milyon cycle olan bir valfe bağlı olarak hesaplama. Bu valf, 220 iş gününde iki vardiya kullanılsın ve ortalama çevrim süresi de 5 sn olsun.

D op = 220 gün /yıl
h op = 16 saat/gün
t cycle = 5 sn /cycle
B 10d = 60 milyon cycle (B 10d = 2 x B 10)

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600\frac{s}{h}}{t_{cycle}} = \frac{220\frac{d}{a}16\frac{h}{d} \times 3600\frac{s}{h}}{5\frac{s}{cycle}} = 2{,}53 \times 10^6 \frac{cycles}{year}$$

$$T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}} = \frac{60 \times 10^6\, cycles}{2{,}53 \times 10^6 \frac{cycles}{year}} = 23{,}7\ years$$

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0{,}1 \times n_{op}} = \frac{60 \times 10^6\, cycles}{2{,}53 \times 10^6 \frac{cycles}{year}} = 237\ years$$

Rating	$MTTF_d$
Low	3 years ≤ $MTTF_d$ < 10 years
Medium	10 years ≤ $MTTF_d$ < 30 years
High	30 years ≤ $MTTF_d$ < 100 years

Source: DIN EN ISO 13849-1 Chapter 4.5.2

3. BAKIM ÇEŞİTLERİ

3.1 Önleyici bakım:

Planlı Önleyici Bakım (PPM) olarak da bilinen bakım planlaması, kaynakların istenen veya gerekli kalitede tutulmasını sağlar ve reaktif bakım ihtiyacını en aza indirir. Önleyici bakım hem zamana bağlı hem de koşul tabanlı bir yaklaşım olabilir. Haftalık, aylık yada yıllık gibi periyodlarda yapılırken herhangi bir arıza oluşumu beklenmeden yapılır.

3.2 Öngörülü bakım-Kestirici Bakım:

Bu yöntem, bakım bilgilerini belirlemek için makinelerden ve sistemlerden gelen ölçüm ve üretim verilerini kullanır. Amaçlardan biri, makineleri ve sistemleri proaktif olarak korumak ve duruş sürelerini en aza indirmektir. En iyi durumda, arızalar bir etkiye sahip olmadan veya arızalara neden olmadan tahmin edilebilir. Diğer bir amaç statik bakım aralıklarını ortadan kaldırmaktır. Öngörülü bakımın pratik avantajları, planlan-

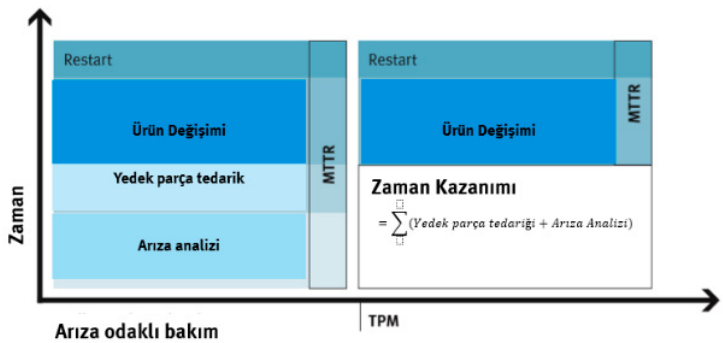
mamış arıza sürelerinden kaçınarak güvenilir üretim planlaması ve maksimum makine kullanılabilirliğidir. Gerçek zamanlı veriler, üretim sürecine dahil olan makinelerin tüm ilgili parametrelerini toplamak ve bunları akış analizi kullanarak anormallikler açısından değerlendirmek için kullanılır. Müteakip makine öğrenme sürecinde, spesifik hata modelleri ve sorunun nedenleri erken bir aşamada belirlenir. Sonuç: üretim hattının tüm yaşam döngüsü boyunca daha az reddetme ve maksimum kullanılabilirlik

3.2.1 Kestirimci Bakımın İşletmelere Faydaları

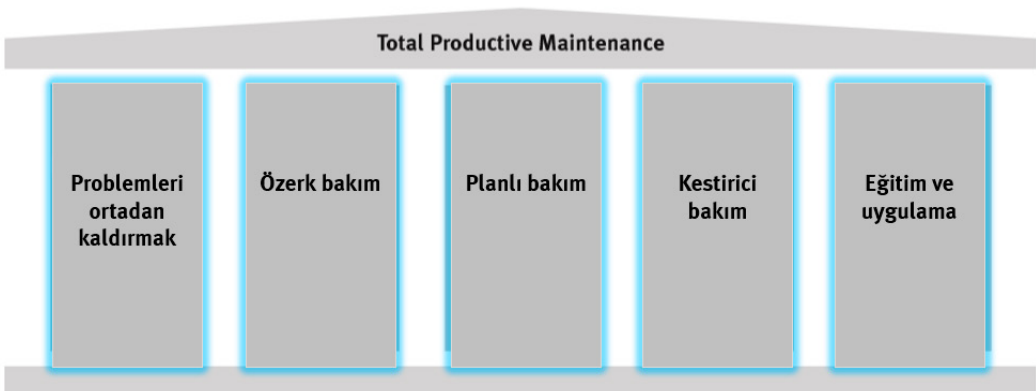
- Arıza ve arıza risklerini minimize edebilirsiniz
- Bakım süreçlerini yalın bir hale getirebilir ve verimlilik artışı sağlayabilirsiniz
- Plansız duruşları en az indirerek maliyet optimizasyonuna önemli katkıda bulunur
- Fire sayısı azalır, düşük performanslı makinelerin üreteceği düşük kaliteli ürünler ortadan kalkar
- İş ve işçi güvenliği artar

3.3 Önleyici bakıma (TPM) karşı arıza odaklı bakım

TPM, geleneksel bakım yöntemlerine kıyasla önemli miktarda zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Arıza odaklı bakım durumunda, sadece sistem arızası bir reaksiyonu tetikler. Bununla birlikte, TPM ile bir yedek kapsamlı bir şekilde hazırlanır ve üretim planına sistem kapalı kalma süresi dahil edilir ya da üretim üzerindeki etkinin asgari düzeyde tutulması için değiştirme planlanır. Güvenlik mühendisliği ve TPM arasındaki önemli fark, TPM ile sistem arıza süresine neden olabilecek tüm bileşenlerin dikkate alınmasıdır. Güvenlik mühendisliği ile ise, sadece bu bileşenlerin hatasında- arızasında, insanlara, makine veya çevreye karşı risk oluşturan faktörler dikkate alınırTasarruf süresi değişebilir. Örneğin, yedek parça temini, parçaların stokta olup olmadığına veya sipariş edilmesi gerekip gerekmediğine bağlıdır. Beklenmedik arızalar nedeniyle üretimde kesinti yaşanması da önemli zaman kayıplarına ve yüksek maliyetlere yol açar.



Şekil 5 -Arıza odaklı bakım süreci



Şekil 6- TPM- Maksimum üretkenliğin 5 sütunu

4. DİJİTALLEŞME İLE BAKIM LİTERATÜRÜNDE YER ALAN TERİMLER

4.1 AI -Yapay Zeka,

Makinelerin, bilgi sistemlerinin ve robotların, insan zekasını tamamen veya kısmen, özellikle karar verme yeteneğini üretebileceğini varsayar. Yapay zekâ, insanların / mühendislerin tanımladığı ve bir makineye entegre ettiği algoritmalara dayanır. Sonuçta, Yapay zekâ karar verme sürecini desteklemektedir. Şimdiye kadar, bu sistemler hala tamamen insanlar tarafından programlamaya bağlı olduğundan, bilgisayar biliminin bir alt bölümüdür. Sistemlerin özerklik derecesi ne kadar artarsa, yapay zekâ ile nasıl sorumlu bir şekilde başa çıkılacağı sorusu o kadar acil olur.

4.2 Yapay Zekâ işletmelerimizde nerede bulunuyor?

Sahada: İşletmelerde makine ve ürünlerde, yani Bulut hesaplamanın aksine, bu ağın kenarında merkezi olmayan veri işlemeyi ifade eder. Programlama zamanı azaltıyor, daha hızlı devreye alma gibi avantajlar sağlıyor. İşletmelerdeki yapay zekâ sayesinde daha az sensör ve makinaya ihtiyaç duyulmakta

Tesis Ana Kontrol: Yapay Zekâ üretim tesisinde veya üretim hattında. Şirketin kendi tesislerinde, sitede veya yerel olarak sunucu tabanlı bilgisayar programları (yazılım) için bir kullanım ve lisans modelini belirtir. Ticari şirket içi yazılım durumunda, lisans sahibi yazılımı kendi sorumluluğunda, muhtemelen kendi bilgisayar merkezinde veya üçüncü taraf bir bilgisayar merkezinin kiralanmış sunucularında, yani her durumda kendi sorumluluğu altında işletir / kiralar ve çalıştırır. Çabuk proses kararlılığı – Hızlı devreye alma, Çabuk hata bulma, Enerji verimliliği, ERP ve MES ile otomatik veri alışverişi gibi avantajlar sunmaktadır.,

Bulut: Büyük miktarda verilerle analiz için buluta ihtiyaç duyarız. Bulut, Endüstri 4.0 ve genel olarak dijitalleşme için çok önemli bir kavramdır. Endüstri 4.0 şu anda İnternet üzerinde merkezi ve küresel olarak bulunan depolama alanının kullanımına ve orada bulunan analiz yazılım araçlarına odaklanmaktadır. Genel olarak, bulut bilişim, İnternet üzerinden bir hizmet olarak IT altyapısının (örneğin depolama alanı, bilgi işlem gücü veya uygulama yazılımı) sağlanmasını açıklar. Birkaç bulut hizmeti sağlayıcısı vardır. Hepsi benzer bir spektrum sunar, veriler için IoT konektörleri ve güvenlik mekanizmaları sağlar ve bir ücrete tabidir. Örneğin: Phoenix mGuard, IBM Watson, Microsoft Azure, SAP HANA, Siemens MindSphere, Rockwell FactoryTalk, AWS (Amazon İnternet Hizmeti)

4.3 Dijitalleşme:

Gerçek ürünlerin ve analog süreçlerin dijital veri ve süreçlere dönüştürülmesini açıklar. Endüstri 4.0'da, insanlar, makineler ve endüstriyel süreçler, son teknoloji bilgi ve iletişim teknolojisi kullanılarak siber-fiziksel sistemler temelinde ağa bağlanır. Akıllı veri alışverişi ve yorumu, bir ürünün tüm ömrünü belirler: fikirden geliştirme, üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüme kadar. Fabrika kapılarının ötesinde, gelecekte malzeme akışını optimize etmek, sapma parametrelerini erken bir aşamada tespit etmek ve değişen müşteri gereksinimlerine ve piyasa koşullarına esnek bir şekilde cevap verebilmek için üretim ve lojistik süreçleri küresel olarak ağa bağlanacak

4.4 Nesnelerin İnterneti IoT (Internet of Things):

Fiziksel ve sanal nesnelerin birbirleriyle iletişim kurmasını, bilgi ve iletişim teknolojileriyle işbirliği yapmalarını sağlayan, küresel bir teknolojilerin altyapısı için ortak bir terimdir. Ayrıca bu kavramı kabaca; çeşitli haberleşme protokolleri sayesinde birbirleri ile haberleşen ve birbirine bağlanarak, bilgi paylaşarak akıllı bir ağ oluşturmuş cihazlar sistemi olarak da tanımlamak mümkündür. Yapılan araştırmalara göre internete bağlı cihazın olduğu tahmin 2020 yılı sonunda 50 milyar cihaz seviyesine çıkması öngörülmektedir. Nesnelerin İnterneti dendiği zaman yalnızca cihazların internete bağlanması olarak anlaşılması yanlıştır. RFID benzeri algılayıcıların ve tanımlayıcıların bazı cihazlar ile bilgi üretmeleri de bu kavramın içerisindedir.

4.5 Makine Öğrenimi – ML (Machine Learning)

Bir makinenin otomatik bilgi üretimini ve bu bilginin genelleştirilmesini açıklar. Akıllı makineler bilgilerini tecrübelerine dayandırır. Bir internet sitesinin, daha önce almış olduğunuz ürünlerden yola çıkarak sizlere ürün önermesi, makine öğrenimine en güzel örnek olabilir. Ağa bağlı makineler söz konusu olduklarından, deneyimin kendileri olup olmadığı ya da deneyimin sürünün zekasından kaynaklanıp kaynaklanmadığı önemsizdir. Yapay bir sistem her zaman amaçlanan hedefi meydana gelen anormalliklerle karşılaştırarak öğrenir. Korelasyonları, kalıpları ve kanunları tanıyabilir, onlardan sonuçlar çıkarabilir ve gelecekteki davranışını değiştirebilir. Bu sentetik sürece makine öğrenimi denir. Özellikle yapılandırılmamış ortamlarda ve Endüstri 4.0 gibi oldukça esnek süreçlerde, bir sürüde veya bulutta makine öğrenimi, üretim süreçlerinin gerçek koşullara, gerçek zamanlı olarak akıllı ve otonom olarak uyarlanması için etkili bir yöntemdir. Makine öğrenimi, deneyime dayalı "yapay" bilgi üretimi için jenerik bir terimdir. Örneğin, güçlendirici öğrenme yoluyla yapay bir sistem tarihsel verilerden veya bir iç ödül sistemi aracılığıyla öğrenir ve öğrenme aşamasını tamamladıktan sonra diğer örnekler için bu "bilgiyi" genelleştirebilir. Bu, örneklerin yürekten öğrenilmediği, ancak verilerdeki kalıpları ve yasaları "tanıdığı" anlamına gelir.

4.6 Akıllı ürünler -SP (Smart Products)

Akıllı ürünler- akıllı bileşenler geleceğin ağa bağlı fabrikasının temelini oluşturdukları gibi gelecekteki üretim sistemlerinin temelini de oluşturacaklar. Bunlar bağımsız, otonom çalışan mekatronik montajlardır. Devreye almadan sürekli çalışmaya kadar artan işlevsellik sayesinde üretim sürecini optimize ederler. Gelecekteki üretim sistemleri özerk olarak çalışan mekatronik modüllere dayanacaktır. Sensör teknolojisi, aktüatör teknolojisi ve veri işleme ile iletişim kombinasyonu nedeniyle, bu modüller akıllı bileşenler olarak da adlandırılır. Daha yüksek kontrol seviyesinden gelen görevleri kabul etmek için kendilerini bağlandıkları ağlar ile organize eder ve yapılandırırlar.

Bir Endüstri 4.0 bileşeni aşağıdaki "4-I özellikleri" ile karakterize edilir:

Sezgisel: süreçler artan oranda değiştiğinde, insanlar teknoloji ile daha sık etkileşime girmelidir. Bu, teknolojinin insanları anlaması ve tam tersi - ve bunu sezgisel olarak yapması gerektiği anlamına gelir.

Akıllı: Günümüzde, fonksiyon entegrasyonu ve artan zeka, örneğin entegre programlanabilir lojik kontrolörlere sahip valf terminallerinde veya teşhis fonksiyonlarına sahip vakum tutucularda otomasyon teknolojisinin bir parçasıdır.

Entegre: Tak ve üret özelliği modüllerin ana bilgisayarda oturum açmasını ve yeteneklerini aktarmasını sağlar. Daha sonra üretim sürecine dahil edilir ve yeni üretim kapasitesi serbest bırakılır.

İnternet uyumlu: Bileşenlerin İnternet özelliği sayesinde, merkezi olmayan otonom sistemler üretim süreci boyunca birbirleriyle aktif olarak iletişim kurabilir. İlerleyen standardizasyon, bunun sistemden ve üreticiden bağımsız olarak yapılabilmesini sağlamaya yardımcı olur.

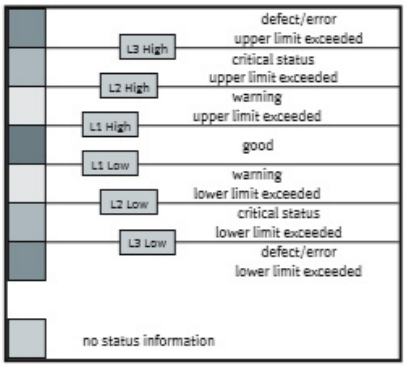
4.7 Standardizasyon,

Standardizasyon güvenilir etkileşim için çerçeve koşuldur. Çerçeve parametrelerinin ve olası arabirimlerin kesin ve bağlayıcı bir tanımı olarak standardizasyon, yeni bir teknolojiye uygun uzantılar, meslektaşlar ve iletişim köprüleri oluşturmayı güvenilir kılar. Endüstri 4.0'ın uygulanması için özellikle insan-makine iş birliği alanındaki yeni güvenlik tanımları ve veri alışverişi alanında birlikte çalışabilirliğin standardizasyonu üzerinde durulmaktadır.

4.8 Eşik Değeri

Eşik değeri, trafik ışığı durumlarının limit / eşik değerlerini ifade eder. Dört trafik ışığı durumunun her biri için 3 kritik limit değeri yukarı ve aşağı (sarı, turuncu, kırmızı) girilebilir. Kritik sınır değerler mutlak değerler olarak ayarlanır. Ayrıca, gri renk için "durum bildirimi yok" ve beyaz renk için "üreticiye özgü ifade" tanımlanmıştır. Bu 6 kritik limit değerinin ayarlanması gerekmez (örneğin bazı uygulamalarda daha düşük bir

basınç limiti yararlı olmayabilir). Yeşil renk için başka bir referans değeri (beklenen değer) belirtilebilir; bu, örneğin, bu referans değeri için göreceli kritik sınır değerlerini belirlemek için kullanılabilir.



Traffic light status (VDMA 24582)

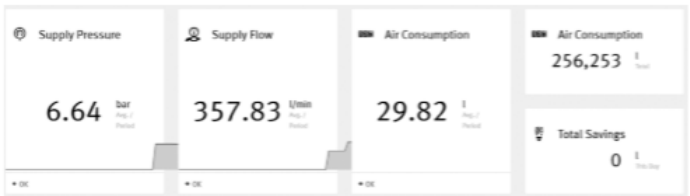
4.9 Trafik ışığı durumu

Trafik ışığı durumu (VDMA 24582), VDMA standardı 24582'yi (öneri / yönerge) temel alan bir cihazın / bileşenin durumunu tanımlar. Durum dört renkte görüntülenebilir:

- Yeşil (iyi)
- Sarı (uyarı)
- Turuncu (kritik durum)
- Kırmızı (kusur / hata)

Widget

Widget, bir gösterge tablosundaki (örneğin, çubuk grafik veya geçerli değerin canlı görüntüsü) gösterge tablosunun etrafında hareket ettirilebilen ve düzenlenebilen bir "kutu" dur. Widget bir yandan pencereden, görünür bir alandan, fare, dokunmatik ekran ve / veya klavye olaylarını alan, diğer yandan da bileşenin durumunu kaydeden ve değiştirilemeyen nesneden oluşur. belirli çizim işlemleri ile görünür alan. Widget'lar her zaman belirli bir bulut / pencere sistemine gömülür ve bu sistemi kullanıcı veya pencere sisteminin diğer widget'larıyla etkileşim kurmak için kullanır.



Şekil 7 Bakımı kolaylaştıran Dijital platformlar Iot ve Dashboard Çözümleri

5. DİJİTAL BAKIM VE AVANTAJLARI

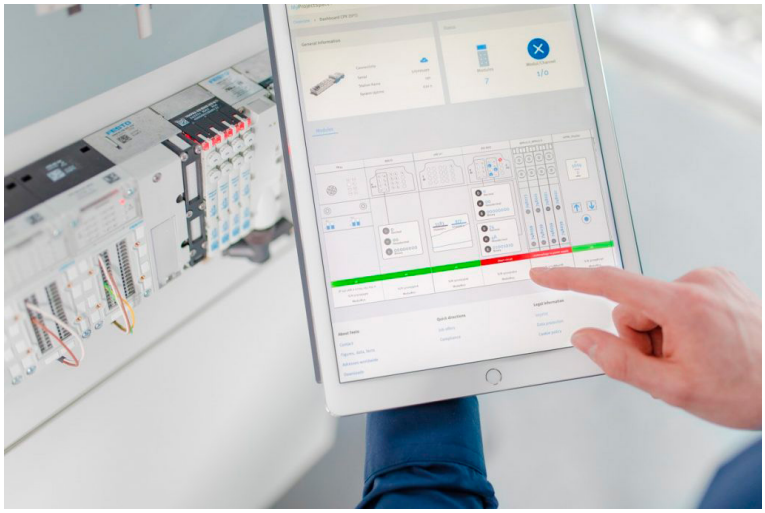
Endüstri 4.0 ile birlikte gelen üretim sistemlerinde optimizasyon ve maksimum verimlilik işletmeler için birçok fırsat sunuyor. Kestirimci Bakım bu fırsatlardan sadece biri. Kestirimci Bakım, makinelerden elde edilen verilerin değerlendirilerek bu veriler ışığında izlenilen ekipmana arızalanmadan müdahale edilmesidir. Bir tesiste meydana gelecek plansız duruşun maliyeti düşünüldüğünde Kestirimci Bakım uygulamalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Ancak Kestirimci Bakım programı uygulayan firma sayısı dünya genelinde %0,4 civarındadır. Ülkemizde de benzer şekilde Kestimci Bakım henüz başlangıç aşamasındadır.

Veri Kestirimci Bakım'da Kilit Rol Oynar

Bakım uzmanlarının en sık karşılaştığı sorunların başında makinelerin tam performanslı çalışmasını sağlamaktır. Bugün geldiğimiz noktada sensör kullanımının artması ve yeni teknolojiler Kestirimci Bakım'ı sadece rulman arızalarının takibinde değil, makine çalışma şartlarını en iyi hale getirecek durumu belirlemede çözümler sunmaktadır. 1990 yıllarda titreşim analizi ile yaygınlık kazanan Kestirimci Bakım, bugün veri toplamanın ve işlemenin kolaylaşması ile daha dijital yöntemlere yönelmiştir. Özellikle Endüstriyel Nesnelerin İnterneti ile birlikte firmalar kendi tabanlarında IIoT çözümleri sunarak daha katmanlı ve güvenilir çözümler sunmayı başardılar.

IT Bilgi Teknolojileri Giderek Daha Önem Kazanıyor

Bugün geldiğimiz noktada IT sistemleri, üretim planlamadan proses veri yönetimine kadar çok önemli bir alanda yer kapsıyor. IT sistemlerinin esnekliğinin artması ve ucuzlaması ile birlikte otomasyon sistemlerine entegrasyonu daha kolay hale geldi. Endüstriyel Bulut ve OPC-UA teknolojisi makineler arasında ve makineler ile IT ve OT arasındaki haberleşmeyi ve veri akışını çok kolaylaştırdı. Tüm bunlara ek olarak IT araçlarının web tarayıcıları üzerinden çalıştığından, bilgisayar, tablet, akıllı telefon kullanılarak bizleri bağımsız hale getirdi

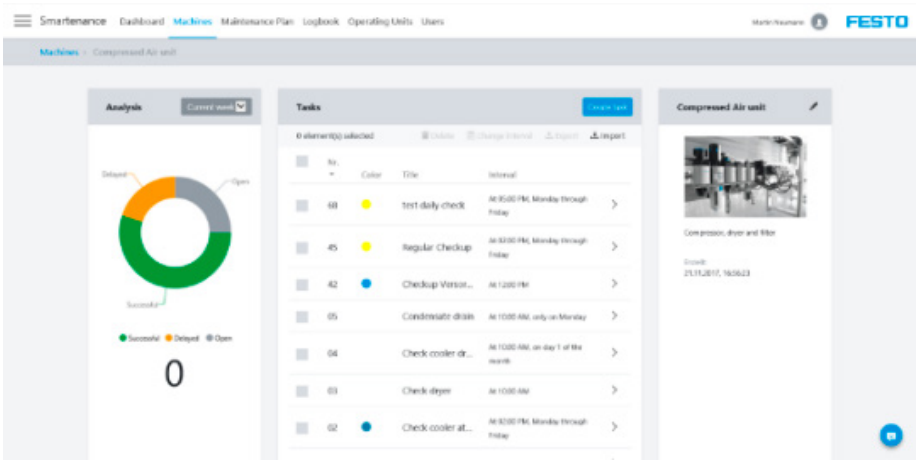


Şekil 8 – Dijital bakım ile tüm arıza bilgilerine ulaşma

5.1 Bakımın tarih içindeki gelişimi

5.1.1. Geçmişte Bakım

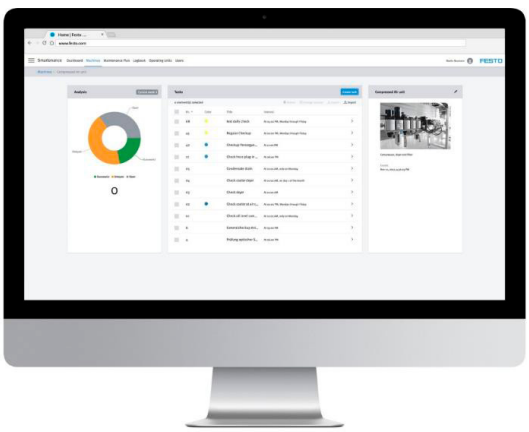
- Bakım programının yazılı dosyalarda olması
- Bakım programlarının güncellenme sıklığının düşük olması
- Bakım Personeli arasındaki iletişimin çok zaman alması
- Bakım detaylarının tam aktarılamaması
- Bakım araçlarının ve manuellerin yetersizliği



Şekil 9 -Fabrikalardaki yazılı bakım programı

5.1.2 Dijital Bakım Bakım

- Bakım proseslerinde iyileştirme
- Rapor kolaylığı
- Doğru planlama
- Kişilerden bağımsız kontrol
- Dokümantasyonlara kolay ulaşım
- Bakımcı ayrı rapor doldurmasına gerek kalmaz
- Yazılı dokümantasyon => SAP=> Rapor
- Yönetici tüm sistemi online olarak görür
- Bakımcı geri bildirimleri Fotoğraflarla ve videolarla destekler
- Yönetici bakım konusunda tüm detaylara doğru şekilde sahip olur
- Bakımcı daha önce yapmadığı bakımlar konusunda bilgi sahibi olur
- Yönetici geçmişe yönelik raporlama yapabilir
- Yönetici makine duruşları konusunda doğru bilgisine sahiptir
- Güncelleme ve yeni makine eklemek çok kolay



Şekil 10 Dijital bakım platformu

5.2 Dijital Bakım Yeni Bir Meslek mi Yaratıyor? Uzaktan İzleme Uzmanı

Endüstri 4.0 ile birlikte sadece endüstriyel ortamların koşulları değil, mesleklerde de ciddi değişiklikler gerçekleşecek. Bu mesleklerden biri de Bakım Mühendisliği. Tahminler ve son 10 yılda yaşanan gelişmeler bakım mühendisliğinin teknolojiye en fazla uyum sağlayacak, dolayısıyla değişim yaşayacak mesleklerin başında geleceğini gösteriyor. İşte tam bu noktada Uzaktan İzleme Uzmanı (RME Remote Monitoring Expert) mesleği ortaya çıkıyor.

5.2.1 Bakım Mühendisliği Nasıl Değişiyor?

Bir üretim tesisinde bakım faaliyetleri kesintisiz ve hatasız üretimin olmazsa olmaz unsurlarından biridir. Üretim, kalite ve bakım çıktılarının güvenilirliği bakım faaliyetlerinde izlenecek metotlarla birebir ilgilidir. Üretim kayıpları, kalite kayıpları ve bakım maliyetleri bakım mühendisinin optimize etmesi en önemli anahtar noktalardan sadece bir kaçıdır. Bunun yanında gittikçe yoğunlaşan dijitalleşme ile birlikte üretim tesislerinde müthiş yoğun bir veri akışına meydana geliyor. Bu yoğunluktaki bir veri akışını yönetmek daha da önemlisi anlamlandırabilmek için yenilikçi bakım araçlarını kullanmak elzem gözüküyor. Oysa araştırmalar bize gösteriyorki; işletmelerin %39'u bakım verilerini kağıt-kalem kullanarak kayıt altına alıyor. Bu geleneksel yöntemlerle sürdürülebilir ve rekabetçi bir üretim olamayacağı oldukça açık.

Uzaktan İzleme Uzmanlığı Ne Gibi Yetenekler Gerektirir?

- Karmaşık problemleri çözebilme
- Analik verileri anlamlandırma
- Kuvvetli iletişime sahip olmak
- Duygusal zeka
- Yönetim beceriler

6. SONUÇ

Dijital gelişimler, sadece üretimde değil, bakım sırasında verimliliği artırmayı planlıyor. Geçmişe dönük, verilerin analiz edilmesi sayesinde, meydana gelecek arızaları tahmin etmek ve bu arızaların oluşmasından önce önlem alarak, problem yaşanmadan çözüm üretmeyi hedeflemektedir.

KAYNAKLAR

[1] Dgitial Maintanance - Smartenance manual EN -FESTO
[2] 2020 Guideline_Functional-safety_EN_2019_135242_L-FESTO
[3] Safety Guidline Pneumatic and Electric Solution
[4] FESTO Blog

ÖZGEÇMİŞ

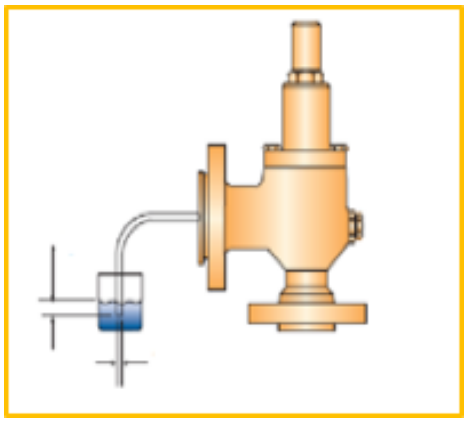
Sinan Cem GÜNEY

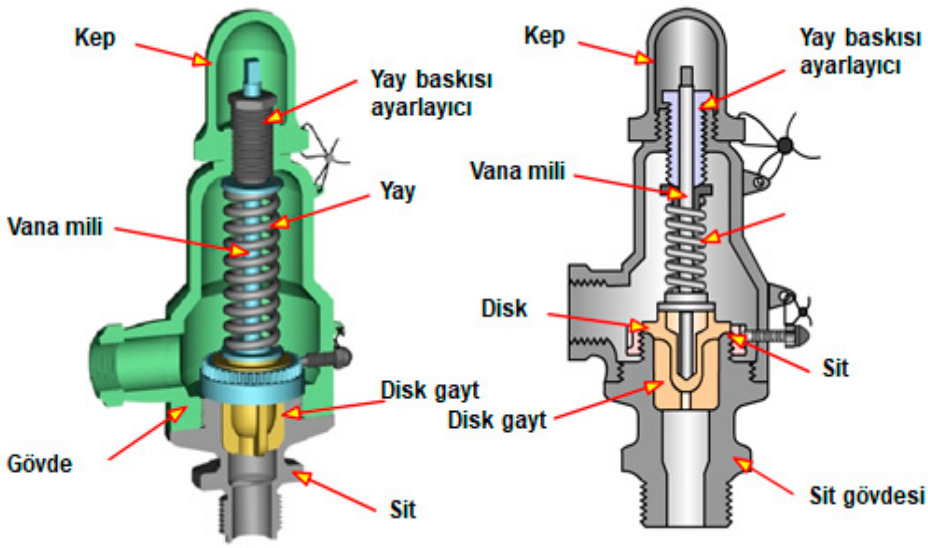
1978 Erzincan Çayırlı doğumludur. Lise eğitimini Keçiören.M.Lisesini tamamladıktan sonra Marmara Üniversitesi Makine Eğitmeni bölümünü bitirmiştir. Marmara Üniversitesinde Mekatronik yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Festo Firmasında 20 yılı aşkın sürede Satış ve Ürün destek pozisyonlarında çalışmış olup, son 8 yıldır Pnömatik ürün pazarlama görevinde bulunmaktadır. Bir kız babası olup İngilizce bilmektedir.

EMNİYET VANA TESTLERİ

Hasan VENEDİKOĞLU

Makine Mühendisi





• Bir basınç emniyet vanası; sistemleri ve ekipmanları yüksek basınç kaynaklı büyük felaketlerden korumak için çalışacak bir güvenlik aygıtıdır.

• Bu düşünceyle, basınç emniyet vanası bakım ve uygulanmaları; kurallara ve yönetim tarafından hazırlanmış standartlara uyum sağlayacak, tamamıyla eğitimli personel tarafından sağlanır.

• Ekipman ve Borulama sistemleri; dizayn edilen basıncın daha yüksek değerlerinden korumak için, Emniyet vanaları dizayn edilmiştir.

• Ekipman ve Borulama sistemleri; Emniyet vanalarından önce pek çok koruma sistemleri ile donatılmış olmaları gereklidir.

• Emniyet vanaları; Ekipman ve Borulama sistemlerimde, Basınç kontrolünden sonra basıncı yükselmeye devam ederse, sistem veya ekipmanları yüksek basınçtan korumak için baş vurulan en son mekanik teçhizattır.

• Yaylı Emniyet vanalarında Diski, Sit yüzeyine oturtan; genellikle Disk üzerine uygulanan yay baskısıdır.

ÇSGB son yönetmeliğine göre:

• Basınçlı sistemlerdeki Emniyet ve Rilif venaların bakım ve testleri 5 yılda bir yapılır.

• Kazanların ve buhar sistemlerindeki Emniyet vanaların bakım ve testleri yılda bir yapılır.

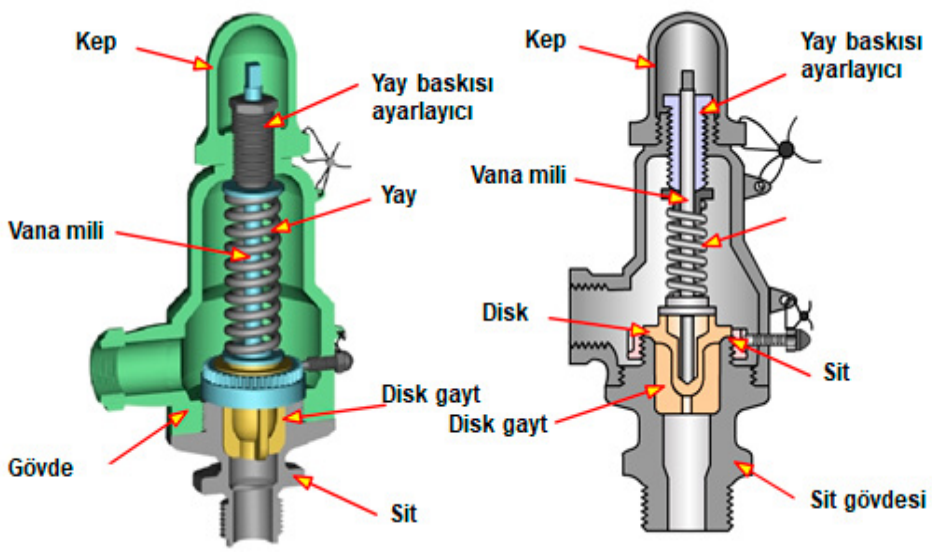
• Tüm işletmelerin bu yönetmeliğe uymak zorunluluğu vardır.

• Yönetmeliğe uyma zorunluluğu; bakım, test ve kontrollerinin yapılması anlamındadır.

• Testlerin işletme halinde yapılması durumunda testten sonra vanalarda kaçakların (passing) olma ihtimali çok yüksektir.

• Ağırlıklı emniyet vanaları
• Yaylı emniyet vanaları
  • Karşı basınçlı olmayan yaylı emniyet vanaları
  • Karşı basınçlı emniyet vanalar
• Patlama diski - Rupture disc
• Pilot kumandalı emniyet vanaları
  • Pop / snap action pilot design – Tam açan pilot dizayn
  • Modulating action pilot design -Oransal çalışan pilot dizayn

NOT: Her biri proses emniyeti için son başvurulan teçhizatlar olup, bu sunumda sadece Yaylı Emniyet Vanalarının testleri kısaca ele alınmıştır.



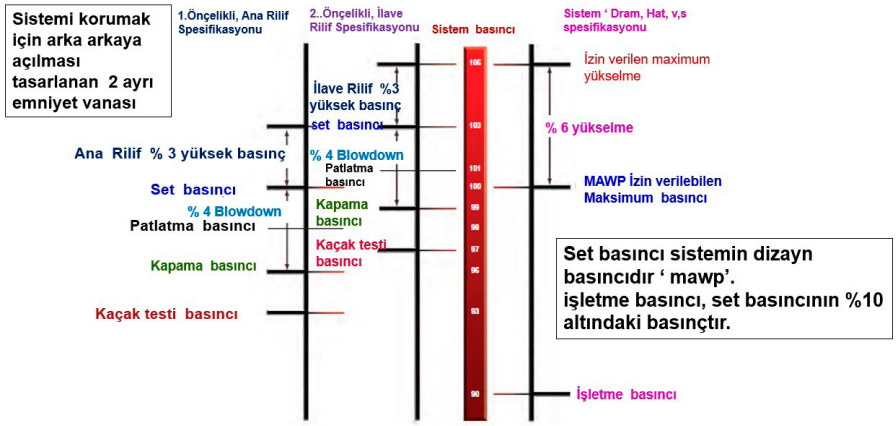
Sistemi korumak için arka arkaya açılması tasarlanan 2 ayrı emniyet vanası söz konusu ise;

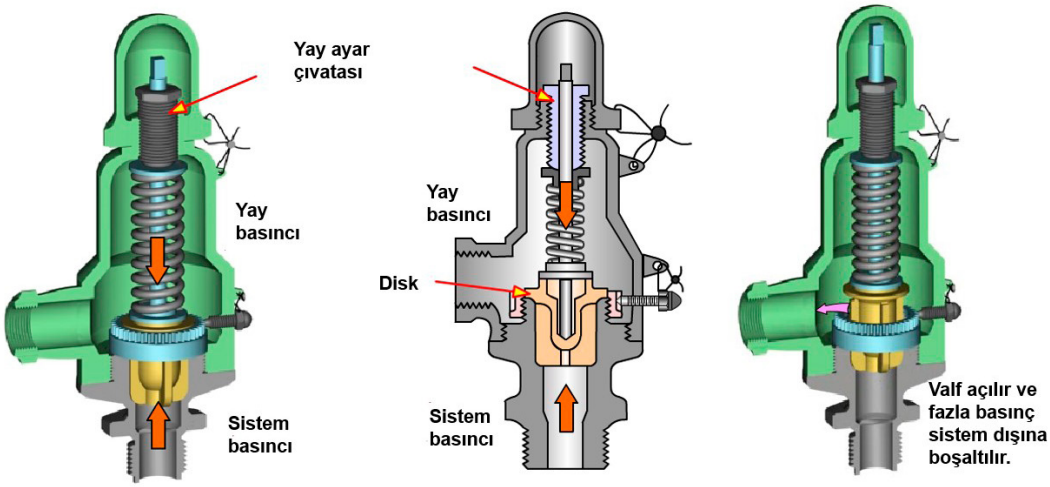
• Önce açacak olan emniyet vanasının set basıncı (MAWP değerinde) ' İzin verilen maksimum çalışma basıncında ' ayarlanır.

• İkinci emniyet vanası ' MAWP'nin ' İzin verilen maksimum çalışma basıncının % 3 üzerine set edilerek ayarlanır.

• Standartlar; Çoklu vana montajlarında; vanaların set basınçları arasındaki fark, en yüksek set basıncının % 3-10 aralığında olup, % 10 u aşmaması gerektiğini belirtmektedir. Bu değer aralığında % 3; en fazla kullanılan açma basıncı farkıdır.

• Alışkan basıncının yükselmesi ile Diske uygulayacağı kaldırma kuvveti, yay baskısından gelen kuvvetten büyük olduğu durumda diski yukarı kaldırarak vanayı otomatik olarak açar.





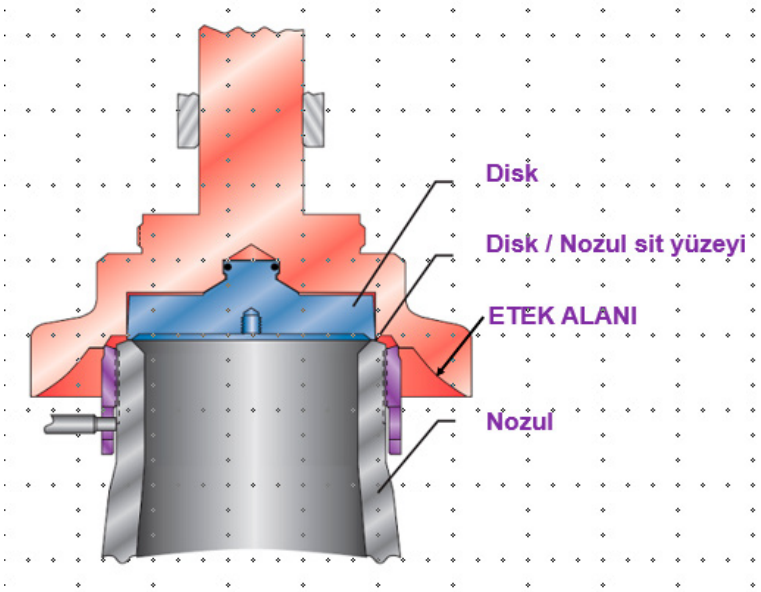
• Huddlng Chamber de akışın yönü ters yönde olması nedeni ile reaksiyon kuvveti, yayın sıkışması nedeni ile oluşan ilave yay baskı kuvvetini yener ve diskin daha fazla ve hızlı açılmasına neden olacaktır.

• İşletme basıncı normal duruma ulaştığında vananın tekrar kapatması beklenir.

• Fakat akışkanın; diskin geniş alanını etki altında tutması nedeni ile vananın kapanması, basıncın set değeri basıncının altına düşmesi ile geçekleşir.

• Diski site oturtan kapatma basıncı ile set basıncı arasındaki fark BLOWDOWN olarak adlandırılır ve set değerinin % oranı olarak tarif edilir.

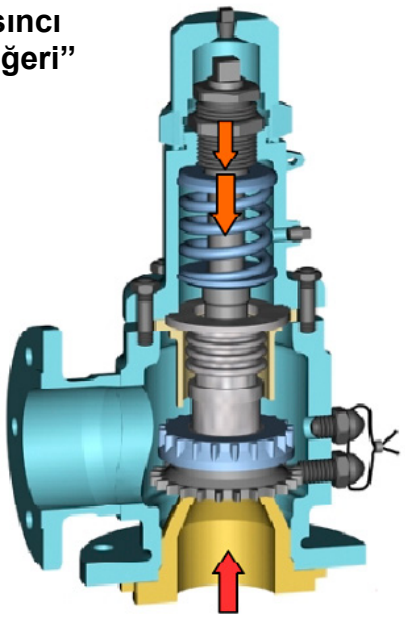
• Vananın açılması esnasında yay basıncının uyguladığı ilave yüksek basınç ve blowdown miktarı; Blowdown ringlerinin ayarı ile sağlanır.

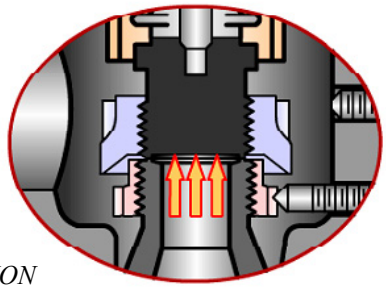


Vananın kapalı pozisyonunda sistem basıncı DİSK'in alt tarafına etki eder

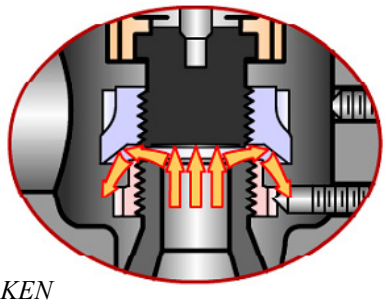
Akışkan Sit ve Disk yüzeyleri arasından çıkarken daha büyük bir alanı etkisi altına alır. Akışın yönü bir reaksiyon kuvveti oluşturur Bu durum vanayı açacak kuvvetin artması yönünde etkili olur.

Yay basıncı ''Set değeri''



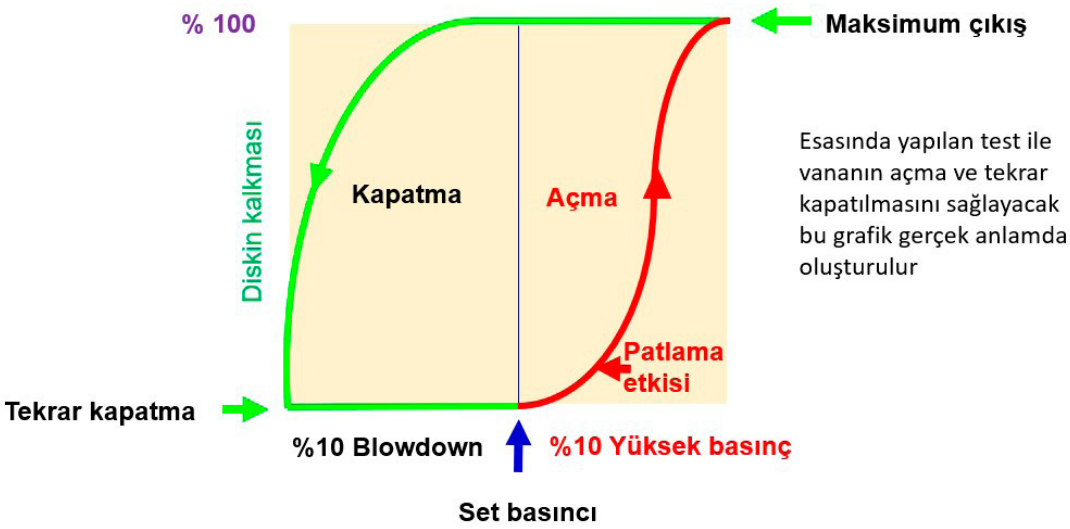


KAPALI POZİSYON



AÇMAYA BAŞLARKEN

Emniyet vanalarında basınç ve Disk kalkması arasındaki ilişki



• DIN standardında üretilmiş emniyet vanalarında alt ve üst blowdown ringler sabittir. Yerleri değiştirilemez.

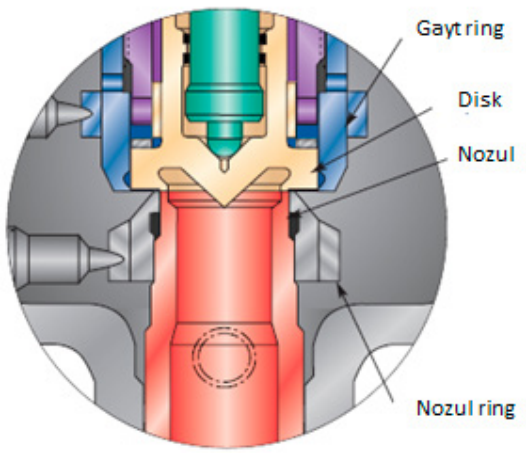
• Disk ve Sit yüzeylerinde yapılacak lapping işlemleri sonucunda ringlerle temas yüzeyleri arasındaki mesafeler değişeceğinden vananın açma hızı ve blowdown sürelerinde değişiklik olacaktır.

• Vana sökülürken bu derinlik mesafeleri çok iyi ölçülerek bir yere kaydedilir. Alıştırma işlemi tamamlandıktan sonra ringleri derinliklerinde orijinal değerler sağlanırsa vana da alıştırma olsa da açma hızı ve blowdown süresi değişmez.

• API standardında üretilen vanalarda blowdown ringleri diske ve nozul ringe dişlidir. Test esnasında bu ringlerin derinlik mesafeleri ayarlanabilir.

• Yerlerinin değişmemesi, nozul ve disk üzerinde dönmelerine engel olmak için vana gövdesinden bu ringlere cıvatalarla kontra yapılır. İmalatçı firmalar, genellikle üst blowdown ringin yer değişimini önermez.

Emniyet vanası testlerinin uzman ve çok tecrübeli kişiler tarafından yapılmasının zorunluluğu bu nedenlerdendir.



• Alt Blowdown Ring aşağı indirilmesi; Disk ile Ring arasındaki klerensi büyütür. Vananın açılmasında gecikme oluşturur ve bu fark arttığında blöf süresi de kısalır.

• Alt blowdown ring pozisyonunun yukarda olması patlama basıncını artırır.

• Kalkma işlemi devam ederken akışkan, üst blowdown ringin içine doğru girer ve daha fazla bir kaldırma kuvveti sağlar.

Bazı üreticiler, Üst blowdown ring; Gayt ring;

Alt Blowdown ring; Nozul ring olarak ta adlandırılmaktadır

Emniyetli bir işletme için İŞLETME BASINCI, set basıncının % 90, BLOWDOWN ‘’kapama basıncı’’ basıncı, set basıncının % 93-95 aralığında olmalıdır

Sit ve Diskte Kaçak

• Emniyet vanaların tasarımındaki diğer önemli nokta Sit ve Disk yüzeylerindeki sızdırmazlıktır.

• Basınç ve sıcaklığın set değerine kadar çok geniş aralıkta değişim arz ettiği sistemlerde dahi vana; problem yaratmadan uzun süre bütünlüğünü korumalıdır.

• Sit ve Disk sızdırmazlık sistemindeki sızıntı, sistemde sürekli sıvı kaybına ve vana oturma yüzeylerinde hasara da neden olabilir.

• Aşırı sızıntı vananın erken açılmasına neden olabilir. Emniyet vanaları için izin verilen Sit-Disk kaçağı sınırları, diğer vanalar için gerekli olandan sayıca çok daha azdır.

• Sızdırmazlığın bu ulaşılması zor olan noktasını elde etmek için Sit-Disk kontrol, Lapping uygulamaları ve malzemelerin dikkatli seçimi ile uygun bir Bakım Programı gereklidir.

• Standartların sıkı takibi ile sahada çok sık problem oluşturan Emniyet vanaların sızdırmazlık problemleri giderilir.

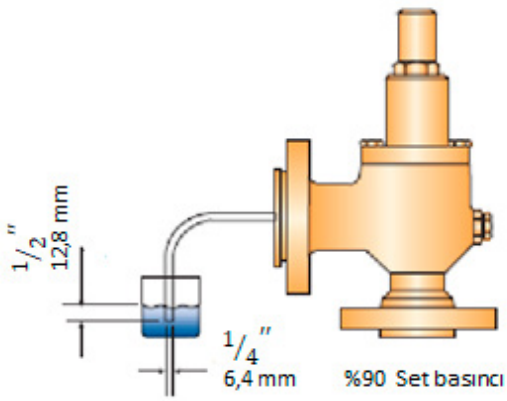
API 527 ye göre metal temas yüzeylerde maksimum kabul edilebilir kaçak miktarı

Efektif orifis alanı 0,307 inch²-198 mm² ve daha küçük alanlar için dakikadaki max. kabarcık miktarı

Efektif orifis alanı 0,307 inch²-198 mm² ve daha büyük alanlar için dakikadaki max. kabarcık miktarı

Up to 1000 psig [70.0 barg]	40	20
1500 psig [103 barg]	60	30
2000 psig [138 barg]	80	40
2500 psig [172 barg]	100	50
3000 psig [207 barg]	100	60
4000 psig [276 barg]	100	80
6000 psig [414 barg]	100	100

Sit kaçak testi maksimum işletme basıncında veya vananın kapatma basıncında yapılması önerilir. İhtiyaç, sızdırmazlık testinde gözle görülür bir şekilde kaçak olmamasıdır.



Metal Disk ve Sit Yüzeylerinde Kaçak Kontrolü

• Uygun bir Sit-Disk sızdırmazlık bütünlüğünü korumak için set basıncının %90'ı aşmayan bir kaçak testi basıncı imalatçıların önerisidir.

• Kabul edilebilir kaçak miktarını her standart farklı miktarlarda belirlese de bu miktarlar birbirlerine çok yakındır. Aşağıdaki tablo API 527 Standardının belirlediği tablodur.

Vanaların Açma ve Kapama Testleri

• Vana kapasiteleri; isim plakasında belirtilirken aynı zamanda da testin Buhar, Gaz veya Su akışkanlarından hangisi ile yapılacağı belirtilir.

• Mevcut işletme koşulları ile servis koşullarının farklı durumlarda dizayna bağlı olarak ortam sıcaklığı ile vananın çalışma sıcaklığı ve geri basıncının da hesaba katılarak test cihazında set edilmelidir

• Vananın kapama basıncı set değerinin %7 ile %10 altındadır. Sistemin dışına atılacak akışkan miktarına bağlı olarak vana lift ve blowdown belirlenir.

• Emniyet Vanaların atölyede sökülmeden önce test standına bağlanarak, set değerine ulaştığında açıp açmadığı kontrol edilmelidir. Pre-Pop Test

• Bir önceki bakım aşamasında yapılmış olan set basıncı değerinden ne kadar saptığının tespit edilmesi gereklidir.

• Yapılacak kontrollerde set basıncına geldiği halde açmayan vanalar oranı %3 ü aşmamalıdır. Sapma miktarı bu oranı geçtiğinde ünitenin işletme şartları ele alınır, incelenir problemler tespit edilerek sorun çözülür.

• API 527 standardı sit ve disk yüzeyleri kaçak testinin set basıncının % 90 nda yapılmasını ön görür.

• İşletme basıncında; yüzeylerde çok az miktarda kabarcık oluşumuna müsaade eder. Ancak bu Kabul edilebilir kaçak; diğer vanalardan çok daha az miktardadır.

• Rilif vanaların, disk ve sit yüzeylerinde sızdırmazlığın sağlanmasının devamlılığı için; işletmedeki bakımlarının çok hassas ve takibinin çok sıkı yapılması gereği vardır.

• Burada metal metale olan temas, kaçak oluşumuna çok yatkındır.

• Emniyet vana ile seri halde giriş kısmına yerleştirilecek Rupture Disc 'Patlama Diski' Emniyet vanalarını, normal operasyon esnasında sıfır kaçak konumuna getirir.

Set basıncı psi (bar g)	Tolerance + / - Set basıncı
70 psi[4.82bar] ve düşük basınçlar için	2 psi [0.137 bar]
70 psi[4.82 bar] ile 300 psi[20.7bar] arası	3% set basıncı
300psi [20,7bar] ile 1000 psi [70.0 bar] arası	10 psi [0.690 bar]
1000 psi[70.0bar] dan fazla	1% set basıncı

Set basıncı Toleransları

Emniyet vanalar sıvı servisler için tasarlanmış ise set basıncı ve kaçak testleri su ile test edilirler.

Ancak sıvı servislerde kullanılan emniyet vanaların hava veya diğer inert gazlarla yapılması çok daha doğru neticeler vermektedir. Gaz veya hava ile yapılan testlerde açma ve kapamadaki duyulan ses nedeni ile daha doğru sonuçlara varılmaktadır.

Buna rağmen;

Sıvı sistemler için kullanılan Emniyet Vanaları su ile test edilirler

Gaz servisleri için kullanılan Emniyet Vanaları; inert gaz (N_2)veya hava ile test edilirler.

Buhar servisinde kullanılan emniyet vanaları buhar ile veya hava ile test edilirler.

Emniyet vanalar sıvı servisler için tasarlanmış ise set basıncı ve kaçak testleri su ile test edilirler.

Ancak sıvı servislerde kullanılan emniyet vanaların hava veya diğer inert gazlarla yapılması çok daha doğru neticeler vermektedir. Gaz veya hava ile yapılan testlerde açma ve kapamadaki duyulan ses nedeni ile daha doğru sonuçlara varılmaktadır.

Buna rağmen;

Sıvı sistemler için kullanılan Emniyet Vanaları su ile test edilirler

Gaz servisleri için kullanılan Emniyet Vanaları; inert gaz (N_2)veya hava ile test edilirler.

Buhar servisinde kullanılan emniyet vanaları buhar ile veya hava ile test edilirler.

- Buhar kazanlarında işletme halinde vanalarda yapılan (in operation) testlerden sonra, istatistiklere göre vanalarda % 20-25 oranında kacak olduğu tespit edilmiştir.
- Transportun özenle yapılmaması durumunda, vana girişinden içeri girecek kirlilikler, yabancı maddeler, vananın ilk açmasında sit ve disk yüzeylerinin hasarlanmasına, sonrasında da kaçak olmasına neden teşkil eder
- Bakımlardan önce ve sonra emniyet vanaları daima dikey konumda taşınmalıdır. Bakımları sonrasında vanaların giriş ve çıkışları kesinlikle kapatılmalıdır. Monte edilecekleri yere geldiklerinde giriş ve çıkışları kapatılmamış olan vanalar yerlerine monte edilmemelidir.
- Emniyet vanaları dikey konumda taşınmalıdır. Bu durum; büyük ve düşük set basınçlı vanalar için çok daha önemlidir. Büyük ve düşük set basıncına sahip vanaları yatırılarak taşınmasında yayın basma etkisi sit yüzeyinin tüm çevresine aynı basma kuvvetini uygulamayacaktır. Yay baskısının oluşturacağı süreklilik bozulacaktır.
- CSGB yayımladığı yönetmeliğin belirlediği periyodlar ülkemizde kolayca uygulanabilir bir yönetmeliktir.
- Belirlenen periyotlarda Emniyet vanaların sökülerek bakım ve testlerinin yapılması gerekli ve şarttır.
- MMO Kocaeli Şubesi; üst limit 6”- 45 bar basıncına kadar Emniyet vanalarının testlerinin yapılmasını sağlayacak bir test tezgahına sahiptir.
- Test Tezgahı seyyar olup ünitelerden sökülen Emniyet Vanaları Şubeye getirilmeden Test Tezgahının ünitelere transportu ile işletmelerde testlerinin yapılmasına ve set edilen basınç değerlerinin mühürlenmesine olanak sağlayabilir.
- MMO Kocaeli Şubesi; Basınçlı kapların kontrol yönetmeliği kapsamında Emniyet vanalarının test sonuçlarını da kontrol etmektedir.
- ÇSG Bakanlığının bu konuda hazırladığı çok net bir yönetmeliği yoktur. Basınçlı kaplar için oluşturulan yönetmelik kapsamında takip edilmektedir.

"EN İYİ BAKIM"A GİDEN YOL

Yasemin ARIKAN

TEI Tusaş Motor
yasemin.Arikan@tei.com.tr

Sanayinin gelişmesi, teknolojik ilerlemeler, küresel rekabetin büyümesiyle imalat firmalarının çalışma biçimlerinde dikkate değer değişiklikler yarattı. Bu değişiklikler bakımı etkiledi ve bakımın rolünü daha da önemli bir hale getirdi. İmalat firmalarının rekabetçi kalabilmeleri için süreçlerinin etkinliğini ve verimliliğini devamlı olarak artırmaları gerekir. Bunu da ancak varlıklarını daha iyi yöneterek ve güvenilirlik tabanlı bakım yönetim sistemine stratejik bir yaklaşımla elde edebilirler.

Anahtar Kelimeler: Bakım, bakım stratejisi, planlı bakım, güvenilirlik

1. BAKIM NEDİR?

Bir bileşenin istenilen görevi yerine getirebileceği bir durumda tutulması veya bu duruma geri getirilmesi amacıyla bir ürünün yaşam döngüsü boyunca tüm teknik, idari ve yönetsel eylemlerin kombinasyonudur. Başka bir ifade ile varlıkların kullanılabilirliği ve performansının işletme hedeflerini karşılayacak şekilde yapılacak faaliyetlerin yönetimi, kontrolü, yürütülmesini ve kalitesini tanımlar. Bakım, bir risk kontrol faaliyetidir. Risk ise sonuç ve olasılığın (fırsat ve şansın) çarpımıdır.

2. BAKIMIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Birkaç yüzyıl önce sanayi devriminden bu yana mühendislikte çok yol alındı ama en belirgin değişiklik son elli yılda meydana geldi. Bu değişiklikler aynı zamanda endüstri tesislerini de etkiledi. İkinci Dünya Savaşından önce makineler genellikle oldukça sağlam ve nispeten yavaş çalışıyordu, enstrümantasyon ve kontrol sistemleri de çok basitti. Üretim talepleri çok olmadığından kesinti süreleri de bir sorun teşkil etmiyordu. O zamanki makineler doğaları gereği güvenilirdi. Bugün bile, o dönemden kalmış hala çalışan makinelerin örneklerini görebiliriz.

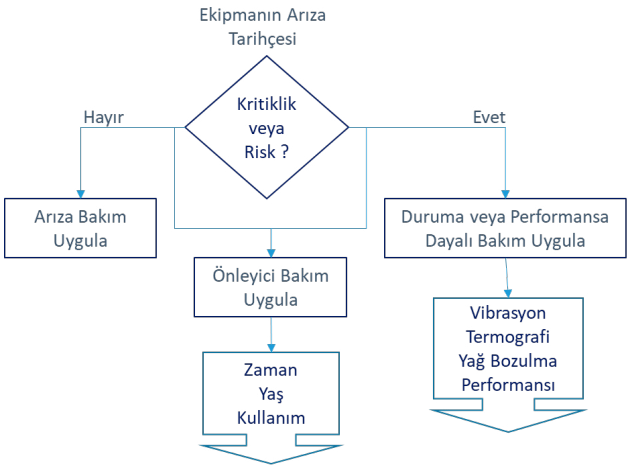
1950'lerde savaştan sonra sanayinin yeniden inşası ile özellikle Japonya ve Almanya'da çok daha rekabetçi bir pazar oluştu ve duruşa karşılık bir tahammülsüzlükte başladı. İşgücü maliyeti giderek daha önemli hale geldi ve bu da daha fazla makineleşmeye ve otomasyona geçmeyi gerektirdi. Makinelerin yapısı hafifti ve yüksek hızlarda çalışıyordu. Daha çabuk yıpranmaya ve daha az güvenilir olmaya başladılar. Üretimin "Planlı Önleyici Bakımın-Planned Preventive Maintenance" gelişmesine yol açan daha iyi bir bakıma ihtiyacı doğdu.

3. GÜVENİLİRLİK VE BAKIM STRATEJİSİ

Havacılık endüstrisinde Boeing 747'nin 1960'larda piyasaya sürülmesiyle gelişmiş güvenilirlik arayışında mevcut bakım stratejilerini ve eski ekipmanın arıza yapma olasılığının yüksek olduğu temel varsayımı sorgulandı. Havacılık kaza oranları milyonda 60 kalkıştı. 20000 saatlik uçuş süresi, 2000000 insan-saat bakım gerektiriyordu. Altı başarısızlık modeli tanımlandı ve bu üçü yaşla artan arıza olasılığının toplam arızada sadece %11 olduğu görüldü. Arıza rastgele bir olay değildir. Uygun ölçüm parametrelerinin seviyelerini değiştirerek ekipmanın durumunda bir değişiklik olduğu anlaşılabilir. Havacılık endüstrisinde bu çalışmanın bir sonucu olarak bakım uygulamalarında büyük değişiklikler oldu. 20000 saatlik uçuş süresi için 2000000 bakım adam saati 66000'e düştü. Eğer insanların bundan haberi olsaydı havacılık sektörüne olan güven muhtemelen düşerdi. Güvenlikte de bu yönde iyi bir gelişme sağlandı. Bu iyileştirmeler tasarımdaki iyileştirmeler ve teknolojiye bağlı idi ama duruma dayalı bakım teknikleri bu gelişmeye yardımcı olacak önemli bilgileri sağladı. Endüstri bir havayolu değildir, ilerleyen yıllarda endüstri bu çalışmayı temel aldı ve bu çalışma Güvenilirlik Merkezli Bakımın temellerini oluşturdu.

Durumdaki değişiklikleri belirlemek için ölçülecek parametreleri seçerken ekipmanın nasıl bir hata yapabileceğini gözönünde bulundurmak gerekir.

Arıza süreci tespit edilebilir ve ölçülebilir midir? Bir ekipmanın arızalanabileceği olası yolları belirledikten sonra, arıza sürecini tespit etmenin ve ölçmenin mümkün olup olmadığını düşünelim. Önceki arıza geçmişini düşünüp geriye dönük bilgiyi kullanalım. Cevap hayır ise ve arıza süreci tespit edilemezse arıza meydana gelmesi halinde kritiklik ve riske bağlı olarak Planlı Önleyici Bakım veya Arıza Bakım uygulayın. Cevap evet ise, arıza süreci gözlemlenebilir ise kritiklik bunu destekler böylece Duruma Dayalı Bakım uygulanır. Eğer cevap evet ama kritiklik bunu desteklemezse Planlı Önleyici Bakım veya Arıza Bakım uygulanır. Bu yaklaşım, tesisin bütün öğelerinin (sistem, makine, bileşen) gözden geçirilmesini ve bu esnada kritikliğin dikkate alınmasını; acil, planlı veya duruma dayalı bakım yapılma kararının alınmasını gerektirir.



Bakım Stratejisi Seçiminde Karar Mantığı

4. ETKİLİ BAKIM

1980'lerin ortalarında DuPont firması çok sayıdaki işletmelerinde bakım işlemlerinin etkinliği ile ilgili bir çalışma yürüttü. Bu işlemlerin karakteristiklerini belirlediler ve aşağıda gösterilen bir modeli buldular. Endüstri ve bakım danışmanları arasında bu modelin evrensel geçerliliği sorgusuz bir şekilde kabul edilmiştir. Ancak

bu modeli uygulayan firmaların deneyimi, bu sadece bir modeldir, en yukarı çıkarken başarılı olabilmeyi etkileyen gösterilmemiş birçok faktör vardır. Gerçek bir etkili bakım ve yüksek güvenilirlik operasyonlara sahip firmaların sayısı çok azdır.

Günümüzde birçok firma planlama aşamasından Güvenilirlik aşamasına geçmektedir. Dupont, Reaktiften Planlıya geçişte bu üç stratejinin tümü birlikte entegre edildiğinde kazanılan değerin, parçaların toplamından daha büyük olduğunu buldu. Başka bir deyişle, kestirimci ve önleyici bakımı yaparken güvenirliği arttırmada planlama ve çizelgeleme ile daha da başarılı olmasını sağlar. Pek çok firmada kestirimci veya duruma dayalı bakım hala tam olarak entegre edilememiştir.

Dupont Kararlı Etki Alanı Modeli

5. REAKTİFTEN STRATEJİK BAKIMA GEÇİŞ

Bakım modelinin değişimi ve geliştirilmesinde yer alan temel unsurlar; daha fazla bilgi, daha yüksek beceriler, geniş bir bakış açısı, mükemmellik arayışı, sistem kalitesini iyileştirme ve sistemin entegrasyonudur.

İçinde bulunduğumuz çağ bilgi çağıdır ve internetin heryerde kullanılabilir olması ve firma içinde de intranet ile bu desteklenmektedir. Çalışanların sadece eğitimli olması yanında yetkin olması standartlar ile zorunlu hale gelmiştir. Operatörlerin kullandıkları ekipmanın bakımı ve bakım stratejileri hakkında bilgi sahibi olması gerekirken bakımcılarında bakım yaptıkları ekipmanın çalıştırılması hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirir.

Yüksek düzeydeki beceriler ve mükemmellik dürtüsü ekipman arızalarının ortadan kaldırılmasında ve MT-BF'nin genişletilmesi ile yüksek kullanılabilirlik sağlanmasıyla güvenilirliğe geçişte kritik bir faktördür. Bakım organizasyonunda iyi mühendislik&bakım tecrübesi, personelin birikmiş işletme bilgisi, kanıtlanmış teknolojiler önemli değerlerdir.

ISO 9001 çerçevesinin kullanımı ile bakım ve operasyonel süreçlerin güvenirliğini etkilediğine dair sürekli gözden geçirme ihtiyacını, ardından uygunsuzluklar için uygun önlemleri almayı ve iyileştirme çalışmalarını başlatmayı sağlar.

6. SONUÇ

Bakım, bir sistemin kullanım ömrü boyunca bozulabilecek karakteristiklerini daha önceden belirlenmiş nitelik veya nicelik seviyelerinde tutmak veya bu seviyeye getirmek için yapılan çalışmaların tümü olarak tanımlanmaktadır. Firmalar üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve rekabette üst sıralarda olmak için bakım faaliyetleri yapılmak zorundadır.

Bakımın daha ucuz ve etkili olmasını amaçlayan işletmeler, günümüzde bakım stratejisi, politikası ve yöntemi üzerine yoğun bir şekilde çalışmaktadır ve bu alanda bilimsel araştırmalar devam etmektedir.

Üretim duruş döngüsünü kırmak için bakım stratejilerinin incelenerek doğru bakım stratejisi ve bakım faaliyetlerinin belirlenmesi önemlidir. Bakım faaliyetleri tamir etmeyle başlayıp koruma, önleme, iyileştirme gibi adımlarla devam edip optimize etme ile son bulacaktır. Ama bu son bulma mükemmel bakıma ulaştığımızı göstermez. Her zaman daha iyiye gidilebilir ve stratejik bakış açıları geliştirilebilir.

7. REFERANSLAR

- *The Evolution of Maintenance Practices, http://www.lifetime-realibility.com*
- *Strategic Maintenance Development Focusing on Use of Condition Based Maintenance in Manufacturing Industry, Malardalen University Press Licentiate Theses, year 2015*
- *"Fundamentals of Asset Management", www.epa.gov*
- *"Maintenance Management: An Overview", www.reliableplant.com*
- *"Strategy to Achieve World Class Production Through Reliability", John Day PE*

8. ÖZGEÇMİŞ

Yasemin ARIKAN
Yaseminarikan@hotmail.com
0 535 5125833

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 yılında Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde doktoraya başlamış olup yeterlilik sınavını geçememiştir. 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.

ENCODER BAĞLANTI KAYNAKLI SORUN VE ÇÖZÜMÜ

Selçuk KARABAY

Endüstri Mühendisi

1. GİRİŞ

Ekipmanların doğru haberleşmesi için kullanılan encoderler bazen istenmedik farklı sonuçlarla karşılaşmamıza neden olabilir. Bu yazımda encoder bağlantısından dolayı karşılaşılabilecek farklı bir arıza türüne değindim.

2. ARIZANIN TESPİTİ

Arızanın tespit şekli; motorlardaki mil akımına SKF TİKED 1 cihazıyla bakarken, encoder bağlantı kablolarından yüksek değer alınmasıyla oldu.

Resim 1: Mil akımlarının tespitinde kullanılan cihaz

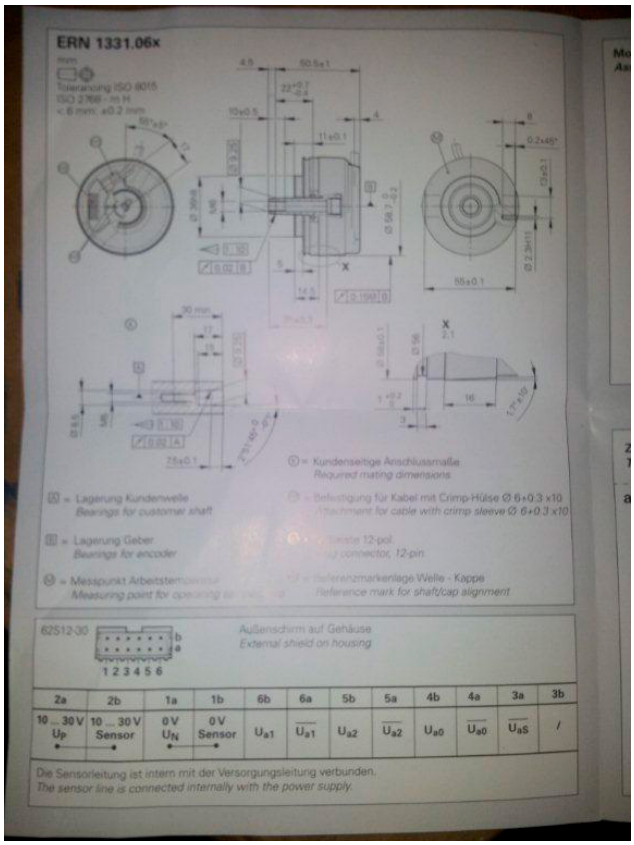
Resim 2: Kablolarında sorun gördüğüm ilk motorlar

3. MOTORLAR, ENCODER VE BAĞLANTI KABLOSU HAKKINDA BİLGİLENDİRME

Resim 2'de görüldüğü üzere iki redüktör ve dört motor vardır. Bir redüktör iki motor ile çalıştırılmaktadır. Her bir redüktördeki bir motor master motor olup (1 ve 4 nolu motorlar Resim 2), diğer motorlarda slave motorlardır (2 ve 3 nolu motorlar Resim 2).

Motorlarda kullanılan encoder HEIDENHAIN ERN 1331061-1024 olup on iki pinlidir.

Resim 3: HEIDENHAIN ERN 1331061-1024 Encoder



Resim 4: HEIDENHAIN ERN 1331061-1024 Encoder bağlantı şeması

Encoder ve sürücü arasında bağlı olan kablo SIEMENS 77751 olup on iki damarlıdır.

Ürün No.	Damar sayısı x Kesit mm²	Aşağıdaki sistemler için	SIEMENS INDRAMAT Ürün No.	Damar renkleri	Kılıf rengi	Yaklaşık dış Ø, mm	CU ağırlığı kg/km	Yaklaşık ağırlık kg/km
700661	(2x 2x 0,18)	Siemens	6FX 8008-1BD71	DIN 47100	yeşil	5,0	24,0	49
700662	(4x 2x 0,18)	Siemens	6FX 8008-1BD61	DIN 47100	yeşil	6,4	35,0	68
700663	(8x 2x 0,18)	Siemens	6FX 8008-1BD11	DIN 47100	yeşil	7,8	54,0	88
77743	(3x (2x 0,14)+2x (0,5))	Siemens	6FX 8008-1BD31	be,kah/ye,sa/gri,pe/ma,kı	yeşil	8,4	73,0	103
75580	(3x (2x 0,14)+4x 0,14+2x 0,5)	Siemens	6FX 8008-1BD41	ye,sa/si,kah/ma,mor/sa,ma,gri,si-be/kı,si	yeşil	9,1	72,0	120
77747	(3x (2x 0,14)+4x 0,14+ 4x 0,25+2x 0,5)	Siemens	6FX 8008-1BD51	kah-kı,kah-ma/ye,sa/si,kah/tu,kı/be-sa,be-si, ma,gri/kah-gri,kah-sa,ye-si,ye-kı	yeşil	10,2	92,0	145
700540**	(3x (2x 0,14)+4x 0,14+ 4x 0,25+2x 0,5)	Siemens	6FX 8008-1BD51	kah-kı,kah-ma/ye,sa/si,kah/tu,kı/be-sa,be-si, ma,gri/kah-gri,kah-sa,ye-si,ye-kı	yeşil	10,2	92,0	145
77751	(4x 2x 0,38+4x 0,5)	Siemens	6FX 8008-1BD21	be-kı,be-sa,be-si,be-ma/tu,kı/mor,ma/kah,si/sa,ye	yeşil	9,6	77,0	120
79619	(5x 2x 0,38+2x 0,5)	Siemens		be,kah/ye,sa/gri,pe/ma,kı/si,mor/be,kah	yeşil	8,6	69,0	95
78079	(12x 0,25)	Siemens	6FX 8008-1BD81	be,kah,ye,sa,gri,ma,kı,si,mor,tu,si-be,be-kah	yeşil	7,5	56,0	90
77748	(4x 2x 0,25+2x 0,5)	Indramat	INK-0448	be,kah/kah,ye/gri,pe/ma,mor/kı,si	yeşil	8,5	64,4	95
77750	(4x (2x 0,25)+2x 1,0)	Indramat	INK-0209	be,kah/kah,ye/gri,pe/ma,mor/kı,si	yeşil	10,5	93,0	130

Resim 5: SIEMENS 77751 kablosunun teknik bilgisi

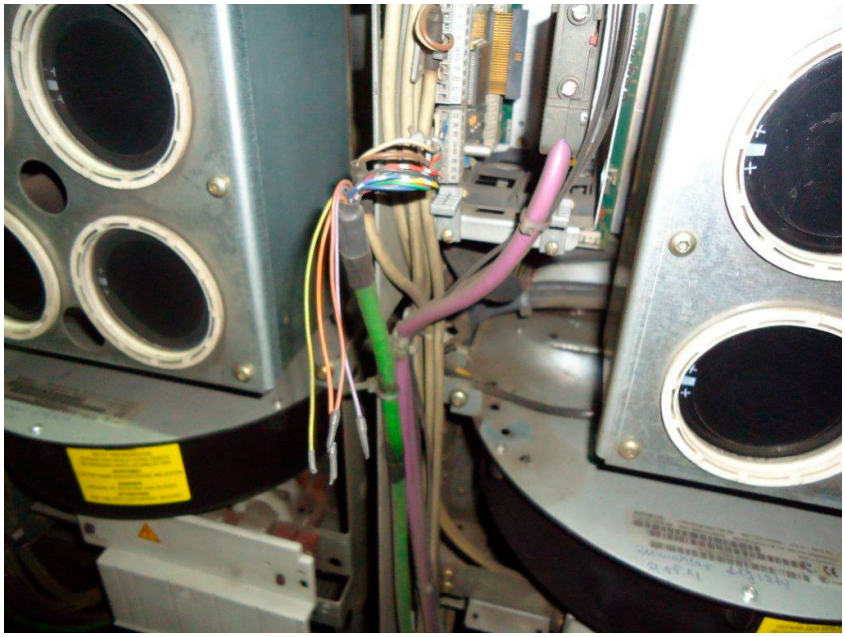
4. ENCODERİN MOTOR VE SÜRÜCÜ TARAFINDAKİ BAĞLANTI ŞEKLİ

Encoder bağlantı şekli incelendiğinde, on iki damarlı olan kablonun motor tarafında 8 damarı bağlı olup sürücü tarafında dört damar boş bırakılmış. Tüm presler incelendiğinde aynı bağlantının yapıldığı görülmüştür.

BAĞLANTI ŞEKLİ				
RENK	BOYUT	YER	RENK	YER
MAVİ	ince (0.38)	VC+	KIRMIZI-BEYAZ	30
YEŞİL	ince (0.38)	CU-	SİYAH-BEYAZ	29
KIRMIZI	ince (0.38)	25	MAVİ-BEYAZ	23
SİYAH	ince (0.38)	24	SARI-BEYAZ	28
KAHVE	kalın (0.5)	BOŞTA	STANDART : 6 FX 8008-1BD21	
TURUNCU	kalın (0.5)		LAPP KABEL STUTTGART SERVO LR SMS-FX5 DESİNA 4x2x0.38+4x0.5 E63634 AWM 80 °c 300 V	
SARI	kalın (0.5)			
MOR	kalın (0.5)			

ENCODER: HEIDENHAIN ERN 1331/061 SERİSİ (12 PIN)

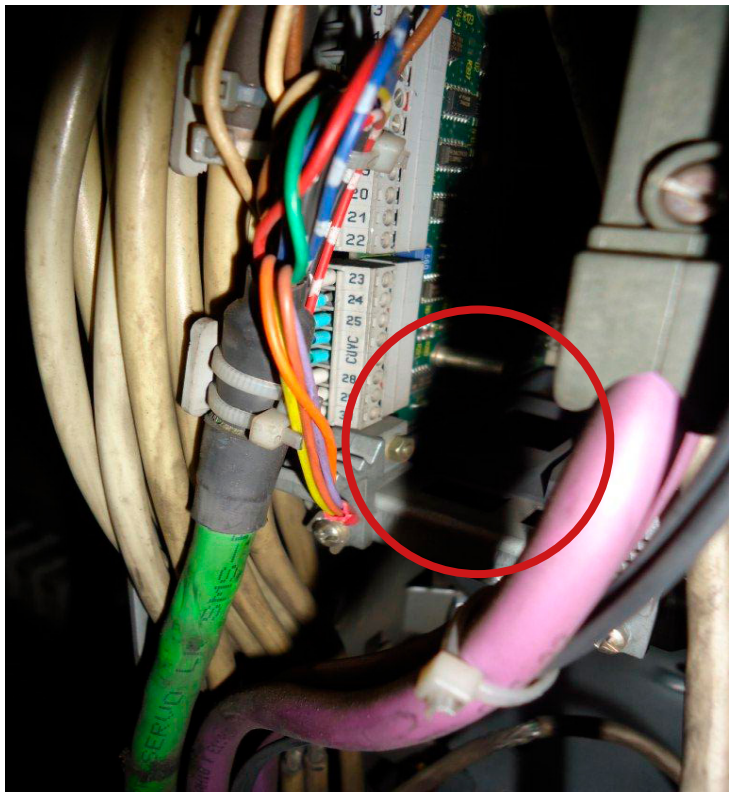
Resim 6: Sürücü tarafında ayrıntılı bağlantının gösterimi



Resim 7: Sürücü tarafındaki bağlantı şekli

5. SİSTEMDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Yapılan inceleme ve alınan ölçümleri değerlendirdikten sonra, bağlantı kablosunun sürücü tarafında kullanılmayan dört damarı sürücünün şasesi üzerinden topraklanıp, encoder tarafındaysa sürücüye bağlanmamış olan dört kablo damarının encoder üzerindeki bağlantıları kesilip izole edilmiştir.



Resim 8: Sürücü tarafında boşta olan damarların topraklanması

6. SONUÇ

Elektriksel parazitlenmenin yüksek olması encoder ve sürücü haberleşmesinde sapmalara neden olabilir. Bu da bağlı olduğu ekipmanda parazitlenmeye bağlı olarak devir farkına neden olabilir. Bu devir farkları istenmeyen arızalara sebep olmaktadır.

Yapılan çalışmada encoder tarafında kullanılmayan kablolar kesilip izole edildikten sonra, sürücü tarafında boşta kalan uçlar şaseye bağlanıp topraklanmıştır. Çalışma öncesi ve sonrasına ait değerler Tablo 1'de verilmiştir. Değerlerde düşme olduğu tespit edilmiştir.

MOTOR NO	KABLO UCU KESİLMEDEN ÖNCE ALINAN ÖLÇÜM	KABLO UCU KESİLİP ŞASEDEN TOPRAKLANIP ALINAN ÖLÇÜM
4521 M01	5432	131
4521 M02	7421	145
4521 M03	3958	3619
4521 M04	4271	110

NOT: 4521 M03 NOLU MOTORUN ENCODER BAĞLANTISNA DOKUNULMAMIŞTIR.
HER İKİ ÖLÇÜMDE PRES HIZI 680 'DİR

Tablo 1: Çalışma öncesi ve sonrası alınan değerler

7. KAYNAKLAR

[1] STARWOOD ORMAN ÜRÜNLERİ A.Ş. İnegöl/ BURSA Encoder Bağlantı Uygulaması (2013)

8. ÖZGEÇMİŞ

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. Ayrıca farklı arıza örneklerini YouTube da açmış olduğu "KESTRİMCİ BAKIM" adlı kanalında aktarmaktadır. Evli ve Beril adında biri kızı var.

ENDÜSTRİDE YÜRÜTÜLEN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ FAALİYETLERİNDE DİJİTALLEŞME ETKİLERİ

Deniz ERGUVAN

İş Güvenliği Uzmanı – Eti Şirketler Grubu - Eskişehir
deniz.erguvan@etigida.com.tr

ÖZET

İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında veri işleme, raporlama, sorgulama ve istatistik oluşturmada işlem yoğunluğu fazla olmasının yanında operasyonel ve yasal boyutta yönetilmesi zor bir konudur. Çalışan sayısının yüksek olduğu işletmelerde çalışanların eğitimleri, kullandıkları kişisel koruyucu donanımların takiplerinin manuel olarak yapılması yönetsel zorlukları ve hataları beraberinde getirebilmektedir. Ayrıca makine-ekipmanların yasal periyodik muayeneleri, kaza-ramak kala iletişimleri, kritik ekipman ve ekranların izlenmesi gibi birçok konunun takibi hata riski yüksek yöntemlerle takip edilmektedir.

Ülkemizde hem bakanlığın yaptığı çalışmalardan sonra, hem de şirketlerin dijitalleşme projeleri ile bu ihtiyaçlara yenilikçi çözümler getirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Çalışanların eğitimlerinin bakanlığa entegre sistemler ile takip edilmeye başlanmasıyla, şirketler, yazılım şirketleri ile iş birliği yapıp, diğer ihtiyaçlarını da kendi süreçleriyle entegre ederek, şirkete has ara yüzlerle çalışmaya başlamıştır. Bu hem iş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimlerinin dokümantasyon yükü ve takip zorluğunu rahatlatırken, hem de diğer birimler ile entegrasyon ve takip kalitesi de arttırmıştır. Teknik birimler kritik süreçlerini entegre ekranlarla anlık olarak takip edebilmektedir. Dijitalleşme çalışmaları kapsamında buhar kazanlarının ve soğutma sistemlerinin anlık takibi ile gerek üretim hatlarında arızaların önüne geçilmesi gerekse kazan takibi ve kontrollerinin anlık takip edilebilir olması sağlanmıştır.

Bu bildiride ETİ Şirketler Grubu'nda yürütülen İş Sağlığı ve Güvenliği faaliyetlerinin dijitalleşme sürecindeki gelişimi aktarılacaktır. Bu gelişim çerçevesinde iş sağlığı ve güvenliği faaliyet raporlarının izlenmesi, ölçülmesi ve ekipman bazlı kritik kontrol verilerinin sistemler üzerinden takibi sağlanmakta ve hata riski minimize edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Güvenliği, izlenebilirlik, dijitalleşme,

ABSTRACT

The high transaction density in data processing, reporting, querying and statistics in occupational health and safety applications, it is a difficult issue to manage in operational and legal dimensions For many years, many subjects such as the training of employees in crowded organizations, the personal protective equipment they use, legal periodic inspections of machinery-equipment, accident-near miss communications, critical equipment and monitoring of screens have been followed up with physical, manual and high-risk methods for many years.

In our country, innovative solutions have started to be brought to these needs, both after the work of the ministry and with the digitalization projects of companies. With the training of employees being tracked with systems integrated with the ministry, companies started to work with company-specific interfaces by cooperating with software companies and integrating other needs with their own processes. This not only alleviated the documentation burden and follow-up difficulties of occupational safety specialists and workplace physicians, but also increased the quality of integration and follow-up with other units. Technical units can monitor their critical processes instantly with integrated screens. Within the scope of digitalization studies, instantaneous monitoring of steam boilers and cooling systems has ensured that failures in production lines are prevented, and boiler monitoring and controls can be monitored instantly.

In this paper, the development of the Occupational Health and Safety activities carried out in the ETİ Group of Companies in the digitalization process will be conveyed. Within the framework of this development, monitoring and measurement of occupational health and safety activity reports and monitoring of equipment-based critical control data through systems are ensured and the risk of error is minimized.

Keywords: Occupational Safety, traceability, digitalization

1. GİRİŞ:

Endüstri 4.0 kavramı; değer parametrelerinin, kendi içlerinde oluşturduğu otomasyon tabanında entegre olması olarak tanımlanmaktadır. Bu entegrasyon, tüm parametrelerin birbiri ile eş zamanlı ve sürekli iletişim içinde olmasını sağlayan bir sanayi surecini ortaya çıkarmıştır. Bu dijitalleşmiş süreç; hızlı, esnek, kalitesi daha yüksek ve daha verimli bir sanayi entegrasyonunu beraberinde getirmektedir. İş sağlığı ve güvenliği gibi tüm çalışanları ilgilendiren, iletişim ve birlikte çalışmayı temel kılan bir sistemde dijitalleşmenin rolünün büyüklüğü ve faydaları yadsınamayacak bir gerçekliktir.

2. ETİ ŞİRKETLER GRUBUNDA DİJİTALLEŞME ETKİLERİ

9 üretim tesisi, 76 üretim hattı, 7000'i aşkın çalışan ve yaklaşık 33000 adet makine kapasitesine sahip Eti Şirketler Grubu'nda, dijitalleşme süreçlerinin, iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine etkileri, 3 ana kategoride incelenebilir;

- Zaman ve enerjiden tasarruf edilmesi, iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri ve paydaşlarının iş yükünün azalması ve takip kolaylığı sağlanması
- Veri güvenliği ve katma değeri yüksek denetim mekanizmaları

• Veriye ulaşılması veya verinin kişiye ulaşması için geçen zamanın oluşturduğu kayıpların minimuma indirilmesi

2.1. Veri güvenliği ve katma değeri yüksek denetim mekanizmaları

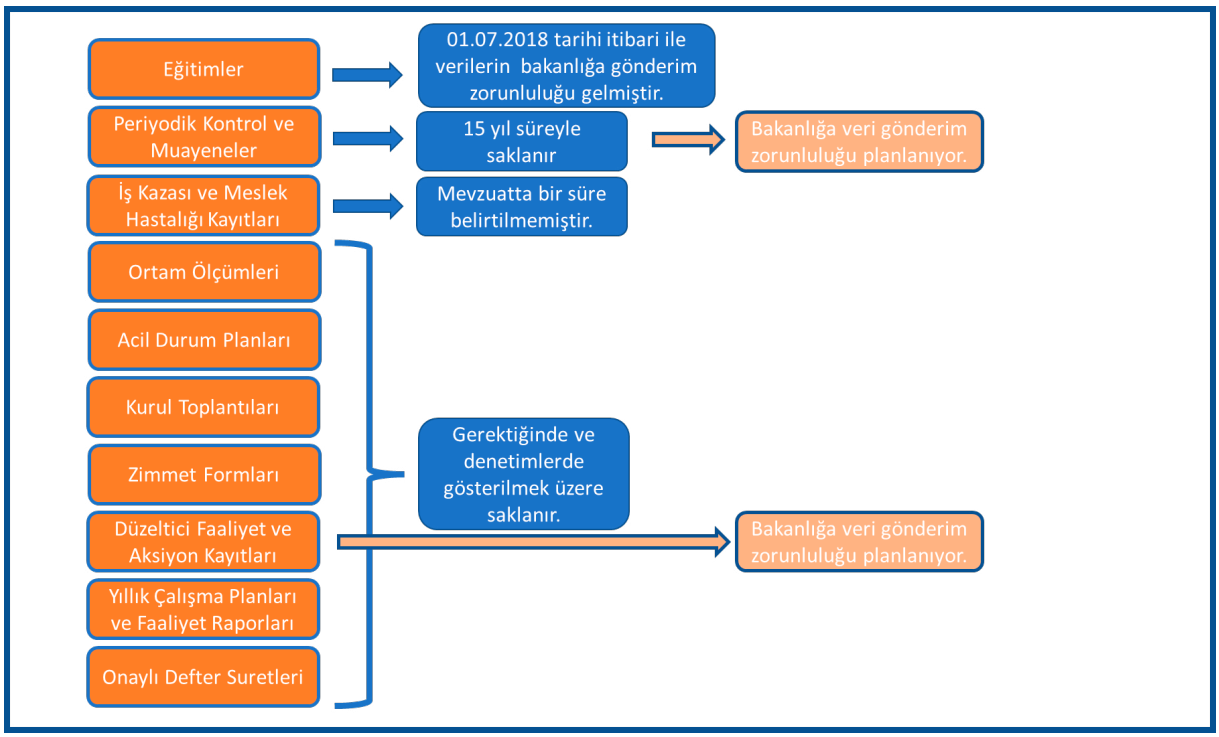
İşyerlerinin faaliyet konusu ve tehlike sınıfına göre, iş sağlığı ve güvenliği konusunda işverenlerin tutmaları ve saklamaları gereken kayıt ve belgeler 6331 sayılı kanun ve ilgili yönetmeliklerde ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Söz konusu madde uyarınca, ilgili mevzuatta belirlenen süreler saklı kalmak kaydıyla işverenin;

– İşyerinde yürütülen iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine ilişkin her türlü kaydı,

– İşten ayrılma tarihinden itibaren en az 15 yıl süreyle çalışanların kişisel sağlık dosyalarını,

saklaması gerekiyor. Özellikle bu kayıt ve belgelerin, çalışanların herhangi bir meslek hastalığına yakalanmaları veya iş kazası geçirmeleri halinde, işverenin mevzuatta belirtilen iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini aldığını belgelemesi, dolayısıyla sorumluluğunu yerine getirdiğini kanıtlayabilmesi açısından büyük önem taşıyor. Ayrıca işverenin onaylı İSG defterini, teftişe yetkili iş müfettişlerinin her istediğinde göstermesi gerekiyor. Aynı şekilde, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'na göre, çalışanın işyerinden ayrılarak başka bir işyerinde çalışmaya başlaması halinde, yeni işveren çalışanın kişisel sağlık dosyasını yazılı olarak önceki işverenden talep ettiğinde, önceki işverenin dosyanın bir örneğini onaylayarak bir ay içerisinde yeni işveren göndermesi gerekiyor.

İş sağlığı ve güvenliği hizmeti almakla yükümlü işyerleri için veri gönderimi yükümlülüğü 01.07.2018 tarihinde başlamıştır. İşyerlerinin bu tarihte başlayan veri gönderim yükümlülüğü doğrultusunda, şirketler, yazılım şirketleri ile iş birliği yapıp, diğer ihtiyaçlarını da kendi süreçleriyle entegre ederek, şirkete has ara yüzlerle çalışmaya başlamıştır. Bu hem iş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimlerinin dokümantasyon yükü ve takip zorluğunu rahatlatırken, hem de diğer birimler ile entegrasyon ve takip kalitesi de arttırmıştır.



Tablo 1: İşyerlerinin yasal olarak saklamak zorunda olduğu dokümanlar

İSG yazılımları aracılığıyla gönderimi yapılan veri setleri çalışanların eğitimidir. Sonraki süreçte İşe Giriş ve Periyodik Muayeneleri ve Tehlike Kaynakları veri setleri gönderilecektir. Veri aktarımında veri kaybı yaşamamak ve verilerin güvenli bir şekilde aktarımını sağlamak için her türlü teknik alt yapının hazırlanması ve tedbirin alınması veri sorumlusu firma sorumluluğundadır. 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu gereğince; veriler İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çerçevesinde öngörülen saklama süreleri kadar saklanabilir, kanunun öngördüğü ölçüde aktarılabilir ve yine kanun tarafından belirlenen sürelerin sonunda silinebilir. İş sağlığı ve güvenliği yazılımı ile, veriye kimlerin erişebileceği ve verinin ne süreyle saklanacağı kolaylıkla yönetilebilmektedir. Ayrıca bakanlık entegrasyonu uzaktan denetim kolaylığı sağlamaktadır.

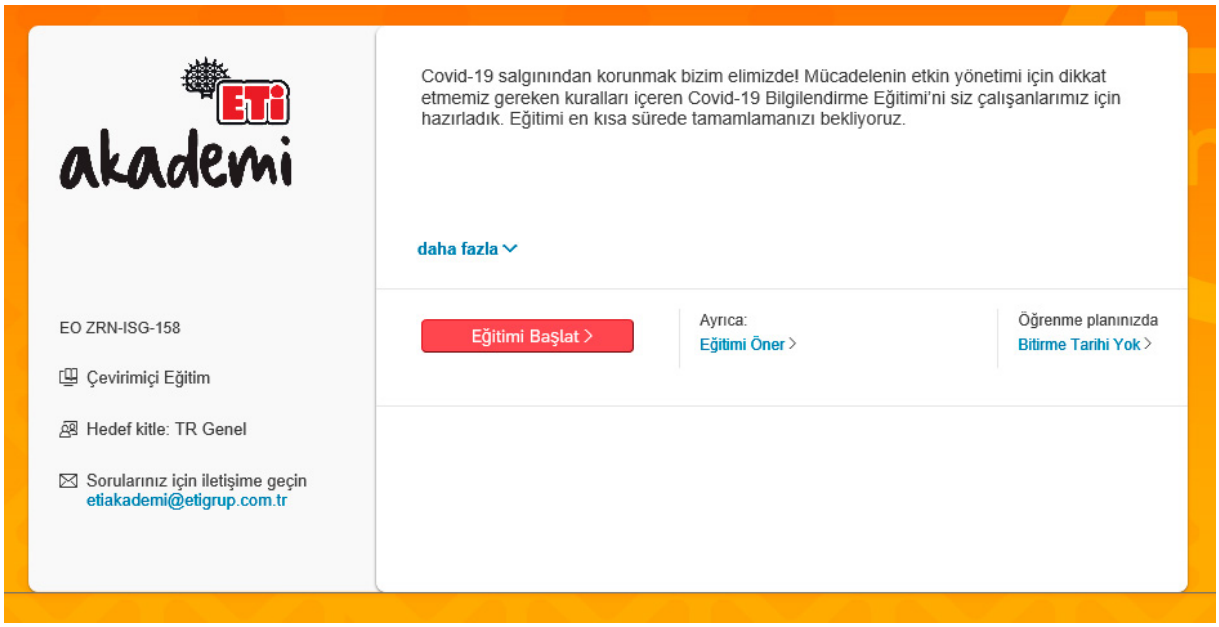
2.2. Zaman ve enerjiden tasarruf edilmesi, iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri ve paydaşlarının iş yükünün azalması ve takip kolaylığı sağlanması

Dijitalleşen dünyada, bireyin iş yerinde geçirdiği zamanı verimli kullanması, altında ezilmeyeceği bir dokümantasyon yükü ve kaliteli bir takip süreci ile gerçekleşebilmektedir. Tüm bu yükten sıyrılabilen çalışan, daha yaratıcı ve daha faydalı bir rol ile toplam faydaya katkıda bulunabilmektedir. Eti şirketler grubunda da, iş sağlığı ve güvenliğinin temellerini oluşturan başlıkların, dijitalleşme süreçleri ile birlikte seyri değişmiştir. Risk değerlendirmeleri, iş kazaları, çalışan eğitimleri, yasal periyodik kontroller ve düzeltici faaliyetler gibi iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin temelini oluşturan konular, bakanlığa entegre bir yazılım ile takip edilmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin, çalışana ve iş yerine değer katması, bilinçli bir çalışan topluluğu ile gerçekleşebilir. Çalışanları bilinçlendirmenin en iyi yolu ise eğitimler düzenlemek, risk ve tehlike algılarını yükseltmekten geçmektedir. Kişinin yaptığı işte ne gibi risklerle karşılaşacağını önceden bilmesi ve gerekli önlemleri alarak çalışması hem kişiyi güvende kılacak hem de çalışma performansını arttıracaktır. Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Yönetmelik hükümlerince de; *"2) İşveren, çalışan fiilen çalışmaya başlamadan önce, çalışanın yapacağı iş ve işyerine özgü riskler ile korunma tedbirlerini içeren konularda öncelikli olarak eğitilmesini sağlar."* maddesiyle de her bir çalışanın, üretim sahasında aktif olmadan önce gerek temel gerek proses bazlı tüm eğitimleri aldığından emin olunmalıdır.

Resim 1: Eti Akademi Zorunlu Regülasyon Eğitimi Giriş Sayfası

Takibi zor bir konu olan eğitim süreçleri, her bir çalışanın aldığı temel eğitimlerinin yazılım içerisine yüklenmesi ve proses bazlı eğitimlerinin Üretim Veri Takip Sistemi'ne (ÜVTS) yüklenmesi ile kolaylıkla takip edilebilmektedir. Pandemi süreci ile birlikte, temel iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri, Eti Akademi eğitim platformunda online olarak yapılmaktadır. Yine Eti Akademi üzerinden temel eğitimlerden farklı olarak çeşitli bilinçlendirme eğitim paketleri yaratılmakta ve çalışanların bu eğitimleri alması sağlanmaktadır. Çalışanların almış oldukları online temel eğitimler, yine yazılıma yüklenerek bakanlığın veri sistemine işlenmektedir. Yazılıma ait kokpit üzerinden tüm veri kolaylıkla takip edilebilmektedir.



Resim 2: Eti Akademi Covid'19 Bilgilendirme Eğitimi Giriş Sayfası

Eğitimlere ait konu başlıkları belirlenip, eğitim programları içine gömülmektedir. Çalışanın, tüm konu başlıklarını sırayla taraması ve sınavdan geçer not almasıyla eğitim sona ermektedir. Görsel zenginliğin ve animasyonun ilgi çekiciliği, eğitim verimini arttırmasının yanında, iş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimleri için ciddi bir zaman kazancı sağlamaktadır.

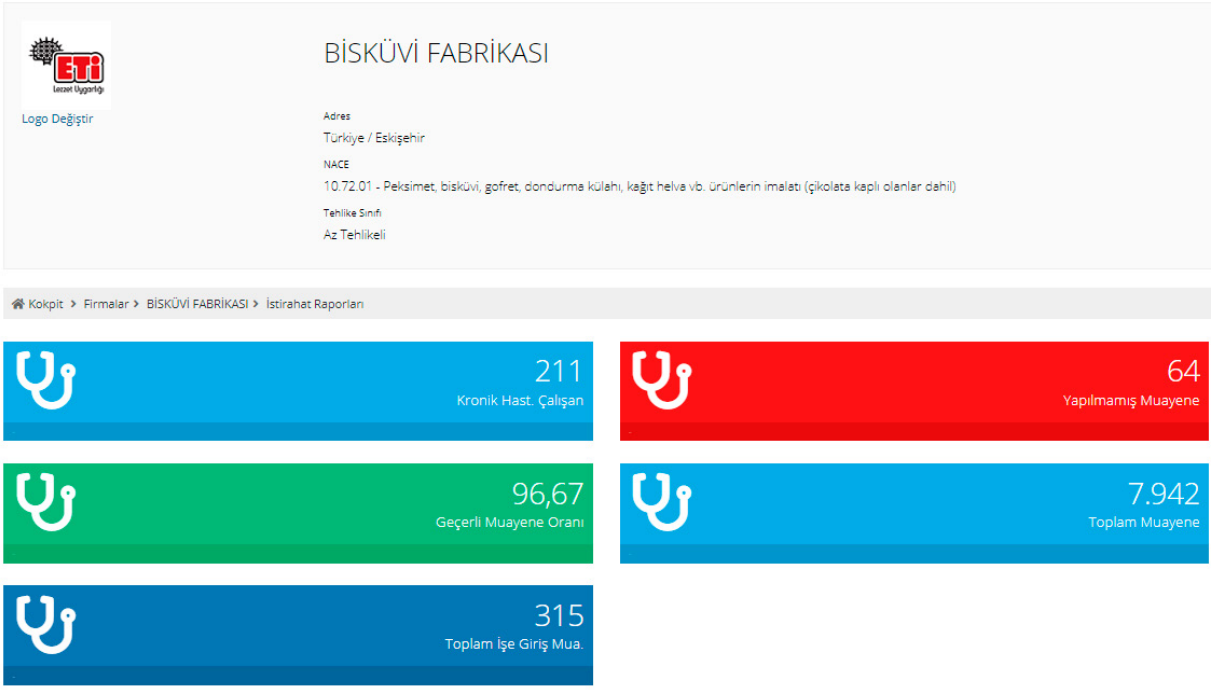
Temel İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Süreleri		
Az Tehlikeli İş Yerleri	Tehlikeli İş Yerleri	Çok Tehlikeli İş Yerleri
• 8 Saat • 3 Yıl geçerli	• 12 Saat • 2 Yıl geçerli	• 16 Saat • 1 Yıl geçerli

3000 kişilik az tehlikeli sınıfta bulunan bir iş yerinde, yılda ortalama 1500 kişinin eğitim alması gerekirse; 30 kişilik gruplar ile, 50 farklı gruba eğitim verilmesi gereklidir. Bu da yılda 400 saat eğitime yani **50** iş gününe tekabül eder.

Online eğitimler ile İSG profesyonellerinin zaman kazancı;

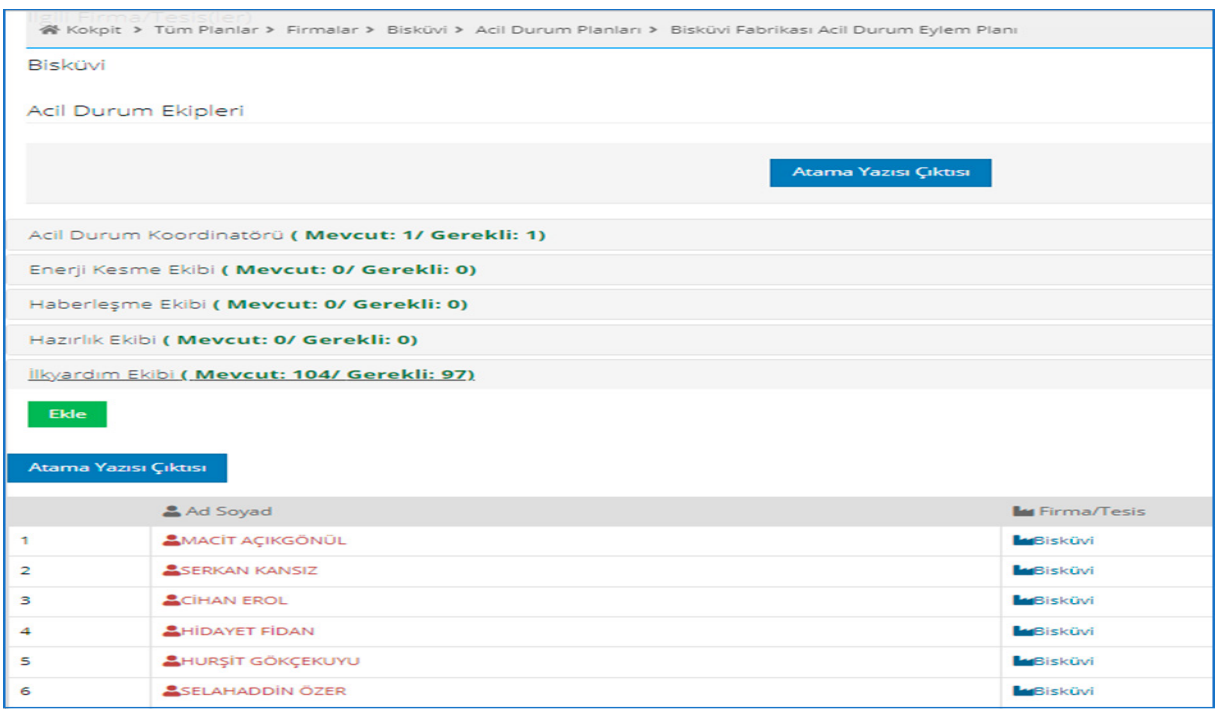
İş güvenliği uzmanı için 300 saat yani 37 iş günü	İş yeri hekimi için 100 saat yani 13 iş günü

Tablo 2: Temel İSG Eğitim Süreleri ve Online Eğitimlerle Kazanılan Zaman



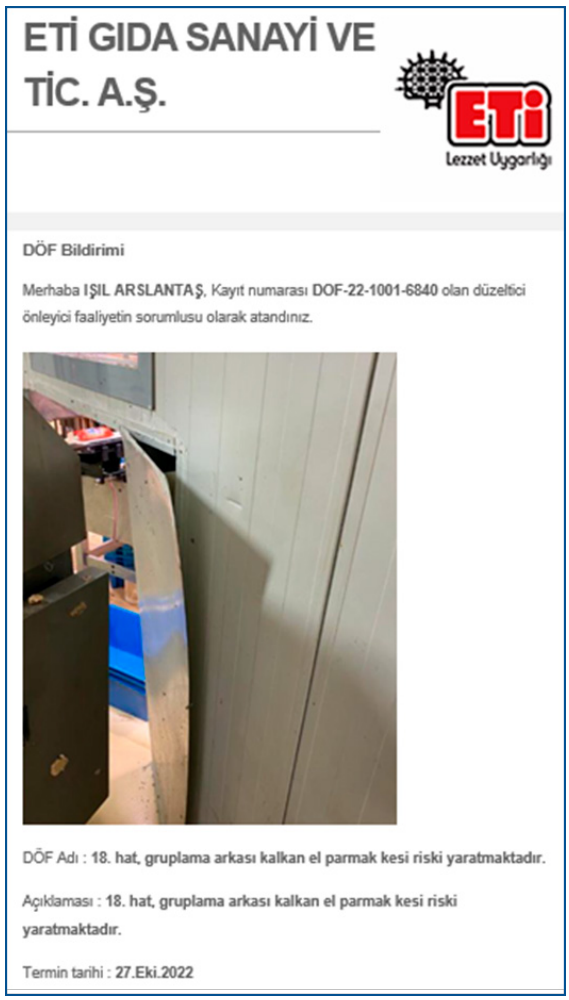
Resim 3: Eti İSG Yazılımı Sağlık Kokpiti

Acil durum ekipleri ve eğitimlerinin takipleri de yine aynı yazılım üzerinden yapılabilmektedir. Lokasyona ait çalışan sayılarına göre yasal parametreleri birleştirip, gerekli acil durum ekip görevlisi sayısı, çalışanın aktif olup olmadığı ve aldığı acil durum eğitimleri, acil durum eylem planı ekranlarından kolaylıkla takip edilebilmektedir.



Resim 4 : İş Sağlığı ve Güvenliği Yazılımı Acil Durum Ekipleri Takip Ekranı

Bir üretim tesisinde, eğitimlerden sonra en kritik adımlar, risklerin değerlendirilmesi, aksiyonların kararlaştırılması ve takibi süreçleriyle devam etmektedir. Risk değerlendirmeleri, ekiplerin süreç incelemelerini ve analizlerini tamamlamasıyla yazılım içerisine gömülerek, her bir risk maddesini, mevcut olan düzeltici faaliyet ekranlarına aktarmakta ve iyileştirme süreçleri başlatılmaktadır. Yazılım, verilen risk puanlarına göre öncelik sırasını oluşturmasının yanında, tüm düzeltici faaliyetleri süreç sorumlusuna mail yoluyla aktarmakta ve termin sürelerini bildirmektedir. Düzeltici faaliyet tamamlandığında sistem üzerinden kapatılıp, performans değerlendirmeleri için arşivlenmektedir.

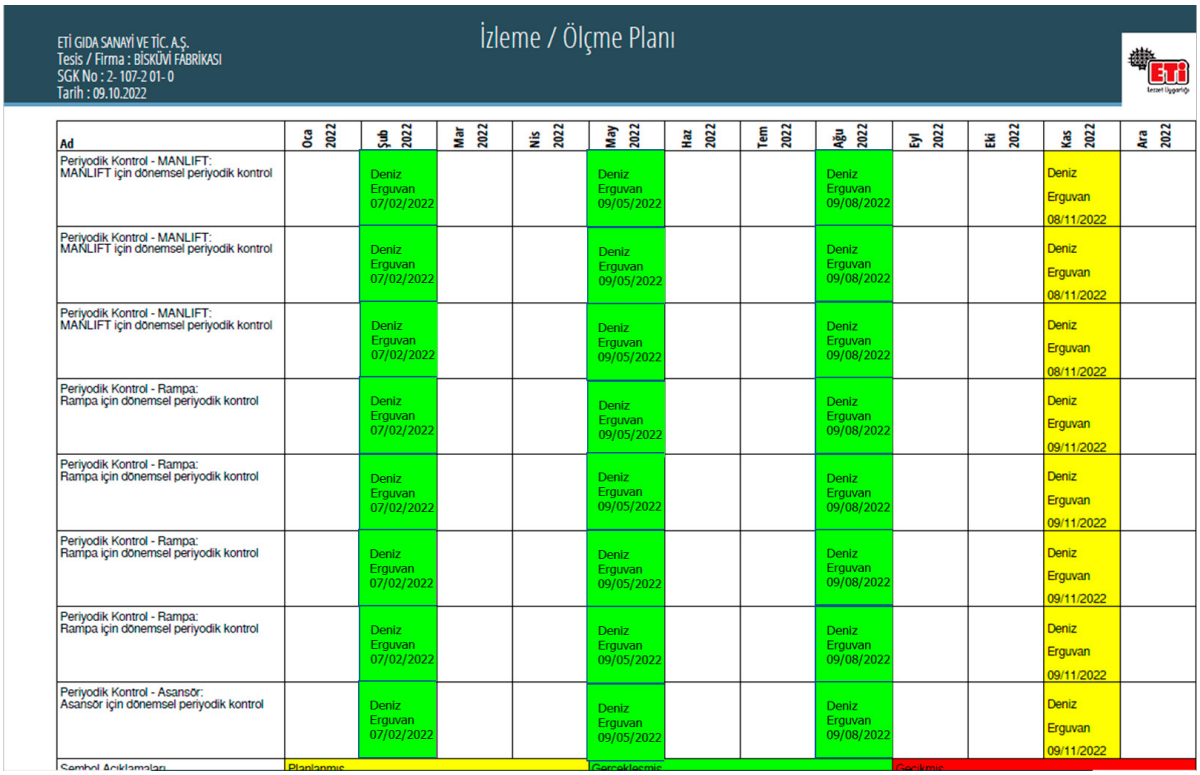


Resim 5: Yazılımın İlettiği Otomatik Düzeltici Faaliyet Maili Ekran Alıntısı

Bir ekipmanın güvenli bir şekilde, hedeflenen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğini tespit edebilmek için yapılan yasal periyodik muayene işlemlerinin takibi de aynı yazılım üzerinden yapılmaktadır. Ekipmanlara ait minör ve majör uygunsuzluklara göre faaliyet planları yapılır. Hepsi ayrı birer düzeltici faaliyet üzerinden takip edilir. 500'den fazla ekipmanın, ekipman seri numaraları, kapasiteleri, bulundukları bölgeler, muayeneye kalan süre ve planlanan muayeneler yine yazılım üzerinden takip edilmektedir.

Tablo 3: Ekipmanların Yasal Kontrol Frekansları

Tablo 4: Yasal Periyodik Kontrol ve Aksiyon Akışı



ETİ GIDA SANAYİ VE TİC. A.Ş.
Tesis / Firma : BİSKÜVİ FABRİKASI
SGK No : 2- 107-2 01- 0
Tarih : 09.10.2022

İzleme / Ölçme Planı

Ad	Oca 2022	Şub 2022	Mar 2022	Nis 2022	May 2022	Haz 2022	Tem 2022	Ağu 2022	Eyl 2022	Eki 2022	Kas 2022	Ara 2022
Periyodik Kontrol - MANLIFT: MANLIFT için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 08/11/2022	
Periyodik Kontrol - MANLIFT: MANLIFT için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 08/11/2022	
Periyodik Kontrol - MANLIFT: MANLIFT için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 08/11/2022	
Periyodik Kontrol - Rampa: Rampa için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 09/11/2022	
Periyodik Kontrol - Rampa: Rampa için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 09/11/2022	
Periyodik Kontrol - Rampa: Rampa için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 09/11/2022	
Periyodik Kontrol - Rampa: Rampa için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 09/11/2022	
Periyodik Kontrol - Asansör: Asansör için dönemsel periyodik kontrol		Deniz Erguvan 07/02/2022			Deniz Erguvan 09/05/2022			Deniz Erguvan 09/08/2022			Deniz Erguvan 09/11/2022	
Sembol Açıklamaları	Planlanmış				Gerçekleşmiş				Gecikmiş			

Resim 6: İş Sağlığı ve Güvenliği Yazılımı Yasal Periyodik Kontrol Takip Ekranı

Çalışanlar, hata kartı bildirimi başlığı altında, 5S, arıza, iş ve ürün güvenliği risk ve ramak kala bildirimlerini, üretim sahası içine konumlandırılan kiosk ekranlarından yapabilmektedirler. Bu bildirimler hem süreç sahiplerinin hem de iş güvenliği uzmanlarının onaylarına düşerek aksiyon ve iyileştirme süreci başlatılmaktadır.

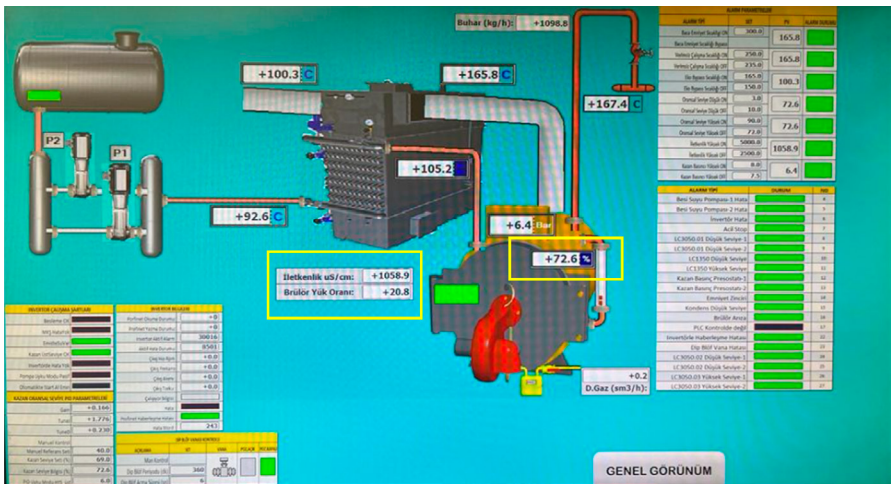
2.3. Veriye ulaşılması veya verinin kişiye ulaşması için geçen zamanın oluşturduğu kayıpların minimuma indirilmesi

Yardımcı tesisler kapsamında yerleşkelerde bulunan buhar kazanları, klima santralleri ve chiller-dry cooler sistemleri gibi kritik ekipmanların, sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Değer aralıklarının dışında gerçekleşebilecek bir durumun farkedilememesi ve geç müdahale edilmesi ciddi felaketlere yol açabilir. Buhar kazanlarının buhar basınçları, alt üst su seviyesi alarmlarını ve buhar iletkenlik değerleri, teknik ekip tarafından, ekranlar üzerinden eş zamanlı olarak yapılabilmektedir. Ayrıca bakım personeline SMS olarak giden arızi durumlar yine müdahale süresini kısaltmaktadır. Sistem değerlerinde bir sapma söz konusu ise sistem alarm vermekte ve ilgili ekipler hızlı bir şekilde müdahale edebilmektedir. Böylelikle patlama riski minimuma indirgenmektedir. Buhar kazanlarında;

- Kazan su yüzde seviyesi,
- Saatlik doğalgaz tüketim verisi,
- Brülör yük oranı,
- Kazan buhar basıncı,
- Ekonomizer giriş/çıkış sıcaklık değerleri,
- Üretim tesislerine gönderilen buhar debisi olmak üzere 6 farklı parametre takip edilmektedir.

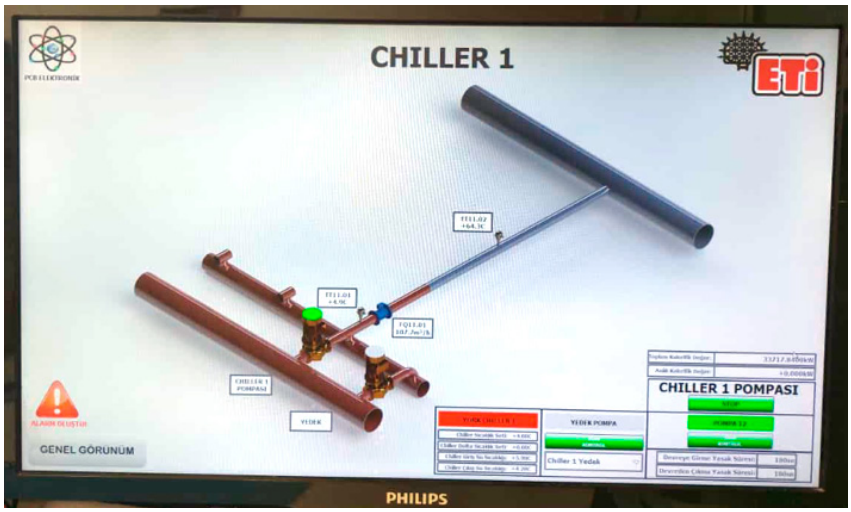
BÖLGE	İŞLEM NOKTASI	Tehlike Tanımı		Risk Değerlendirme					AKSİYON	İyileştirme Sonrası Risk Değerlendirme				
		TEHLİKE/TEHLİKE KAYNAĞI	RİSK	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Puanı	Risk Değerlendirme Sonucu		Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Puanı	Risk Değerlendirme Sonucu
Yardımcı Tesisler	Buhar Kazanları	Kazanlarda su basıncı, debi ve sıcaklık değişimleri	Patlama	3	3	40	360	Yüksek Risk	Buhar kazanlarının takibi anlık olarak kritik ekipman izleme sistemlerinden takip edilmektedir. Parametre dışı değişimlerde sistem alarma geçmektedir. Kazanların yasal periyodik muayeneleri yapılmaktadır.	0,5	3	40	60	Düşük Risk

Tablo 5: Yardımcı Tesisler Risk Maddesi Örneği



Resim 7: Kritik Ekipman Buhar Kazanı Kontrol Ekranı

Soğutma sistemlerinin arızi durumlarını ve anlık debi ve sıcaklık takibi ile üretim performansını arttıracak anlık izleme sistemi oluşturulmuştur. Arıza durumlarında ilgili bölge sorumlusunun telefonuna SMS ile uyarı gitmesi için çalışılmaktadır.



Resim 8: Kritik Ekipman Chiller Kontrol Ekranı

3. SONUÇ

Hızlı değişen dijitalleşme dünyasında, şirketlerin üretim sistemlerini yakalarken en değerli varlığı olan insan kaynağını da bu değişimlere karşı koruyabilmesi, önlemlerini yeni düzene uydurabilmesi kritik öneme sahip. Mevcut iş sağlığı ve güvenliği politikalarının yanı sıra organizasyonun özel ihtiyaçlarının belirlenip bunlara göre çalışmalar yapılmalı ve özelleştirilmiş sistemler kurulmalıdır. Bir adım sonrasında, henüz yaygınlaşmamış olan operatörlerin gerçek zamanlı takibi; çalışma düzenlemeleri, kişisel verilerin korunması ve mahremiyet gibi konularda tartışma yaratsa da çalışan sağlığı ve güvenliğinin her şeyin üzerinde tutulması bu konuda sağlanacak yasal güvenceler ile sistemde büyük gelişmeler yapma potansiyeline sahip olacaktır.

4. KAYNAKLAR

[1] ETİ ŞİRKETLER GRUBU PERFEKTIVE YAZILIMI
[2] ETİ ŞİRKETLER GRUBU VERİ TAKİP SİSTEMİ

ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE YARDIMCI TESİSLERİN DİJİTAL DÖNÜŞÜM ADIMLARI

Özgün Emre GÜNGÖR[1]
Özgün KOŞDERE[2]

[1] Mekanik Bakım Mühendisi - Eti Şirketler Grubu - Eskişehir
egungor@etigida.com.tr
[2] Mekanik Bakım Mühendisi - Eti Şirketler Grubu - Eskişehir
ozgun.kosdere@etigida.com.tr

ÖZET

Yardımcı tesisler, endüstriyel işletmelerin devamlı izlenmesi ve iyi işletilmesi gereken kısımlarıdır. Bu tesislere kapsamlı bir dijital dönüşüm stratejisi belirleyerek ekipman güvenilirliği ve kaynak kullanımı kontrol altına alınabilir. Böylece üretim ve yardımcı tesis ekipmanları daha sürdürülebilir, daha etkin, daha verimli hale getirilir. Enerji ve kaynak kullanımı azaltılması sağlanabilir.

Bu bildiride; yardımcı tesis olarak kabul edilen buhar kazanlarının, su şartlandırma ünitelerinin, sıcak-soğuk su üretim ekipmanlarının (kazan, boyler, chiller), HVAC ekipmanlarının, basınçlı hava sisteminin yangından korunum sistemlerinin izleme parametreleri ile bunların tümünün kontrol ve alarm yönetim yöntemlerinden bahsedilecektir. Ekipmanların hangi strateji ve sıra ile SCADA sistemine dahil edilmesi gerektiğine değinilecektir.

Bildirinin son bölümünde, SCADA sistemine dahil birkaç klima santralinin uzaktan erişim sistemi, kontrolü, alarm ve teknik mesaj bilgileri, otomasyon senaryoları ve bir karışım havalı klima santralinde entalpiye göre damper kontrolünün önemi incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Yardımcı işletmeler izleme sistemi, SCADA, dijital dönüşüm, buhar kazanı izleme, HVAC ekipmanları izleme, basınçlı hava izleme, yangından korunum sistemleri izleme, bina yönetim sistemi, BYS, klima santrali otomasyonu.

ABSTRACT

Support facilities are parts of industrial companies that need to be monitored and operated well. By appointing a comprehensive digital transformation strategy for these facilities, equipment reliability and resource usage can be brought under control. Thus, both production and support facility equipment are made more sustainable, effective and efficient. Energy and resource usage can be reduced.

In this statement; the monitoring parameters of steam boilers, water treatment units, hot-cold water production

equipment (boiler, chiller), HVAC equipment, compressed air systems, fire protection systems, are accepted as support facilities. Their control and alarm management will be mentioned. Also, which strategy and order the equipment should be included in the SCADA system.

In the last part of the paper, the remote access system, control, alarm and technical message information, automation scenarios of several air handling units included in the SCADA system. Also, the importance of damper control according to enthalpy in mixed air AHU will be examined.

Key Words: Support facilities monitoring system, SCADA, digital transformation, steam boiler monitoring, HVAC equipment monitoring, compressed air monitoring, fire protection systems monitoring, building management system, BMS, automatization of air handling unit.

1. DİJİTALLEŞME VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM NEDİR?

Dijitalleşme ve dijital dönüşüm birbirine çok karışan iki kavramdır. Dijital dönüşümün öneminin ve yardımcı tesislere ne şekilde uygulanacağının anlaşılabilmesi için bu iki kavramın farklarının iyi bilinmesi gereklidir.

Bir sistemin dijitalleştirilmesi, analog veya dijital olarak alınabilecek verilerinin farklı ekipmanlarla ölçülüp dijital ortamlarda kaydedilebilir hale getirilmesi ve bu sistemden veri toplanması işidir. Yardımcı tesis ekipmanlarındaki dijitalleşme aşağıdaki faydaları sağlar.

- Ekipman veya sistemlerin takip edilebilirliğini arttırarak işletme kolaylığı,
- Eksik ve aksayan noktaların fark edilmesi,
- Arıza bildirimlerinin anlık alınması,
- Geriye dönük veri tutulması ile çalışma şartlarının düzenlenmesi ve standartlaştırılması,
- Zaman tasarrufu,
- Eskiyen ekipmanların takibi ve yeni ekipman ihtiyaçlarının önceden fark edilmesi ile ileri görüşlülük,
- Sisteme büyük çerçeveden bakarak yaratıcı fikir üretme adımlarının ününün açılmasını sağlar.

Dijital dönüşüm ise dijital ortama aktarılan tüm verilerin kullanılarak bir iş alışı oluşturulması ve sistemlerin bu iş akışına göre otomatik çalışmasının sağlanması olarak tanımlanabilir. Sistemlerin dijital dönüşüme alınması ise aşağıdaki faydaları beraberinde getirir.

- Verimlilik artışı,
- Enerji tasarrufu,
- Arıza oranlarının azalması,
- İşletme maliyetinin azalması,
- Tesislerin her notasının kontrol altında işletilmesi,
- Big data oluşumu,
- Manuel operasyon eksikliklerinin giderilmesi.

2. YARDIMCI TESİSLERDE DİJİTALLEŞME

Yardımcı tesisler bir işletmenin çalışabilmesi için işletmeye altyapı kaynağı sunar. İşletme ancak bu kaynakları kullanarak üretimine devam edebilir. Yardımcı tesislerin bu kaynakları sağlayamaması veya kısmen sağlaması durumunda tesisin birçok bölümü etkilenmektedir. Bir arıza durumunda yardımcı tesisler kendi arıza maliyetleri yanında üretimde de eksik ürün, ıskarta, çöp gibi yüksek maliyetler ortaya çıkartır. Ayrıca yardımcı

tesislerin birçok arızası uzun süren, onarımı zahmetli arızalardır.

Endüstriyel işletmelerde üretimin devamlılığının sağlanması, yardımcı tesislerin güvenli şekilde işletilmesi için yardımcı tesislerdeki ekipmanların dijitalleştirilmesi, bazı verilerin dijital ortama aktarılması ve bu verilerin takibi kritiktir. Veriler bize verimsizlik, ve yaklaşan arızalar konusunda bilgi verir. Biz de bu verileri yorumlayarak karşı önlemler alırız. Bizim veya operatörlerimizin aldığı bu önlemler eksiksiz ve hatasız olmayabilir. Bilgisayar sistemine göre hem yavaş hareket ederiz hem de kendi zamanımızı harcarız. Burada dijital dönüşüm uygulanmış yardımcı tesis ekipmanlarını birçok veriden yararlanarak kendi kendine çalıştırdığımızda ve farklı sistemler ile haberleştirdiğimizde insan hatasından kurtulmuş oluruz. Ayrıca devamlı zaman alan sistem kontrolü, sipariş işlemleri vb. işler yapmak yerine yapılan operasyonun bilgisini alırız.

2.1. Yardımcı Tesislerde Dijital Dönüşüme Tabi Tutulan Ekipmanlar

Yardımcı tesislerde, buhar kazanları, su şartlandırma üniteleri, sıcak-soğuk su üretim ekipmanları (kazan, boyler, chiller, drycooler), HVAC ekipmanları (klima santrali, fancoil, rooftop), basınçlı hava sistemleri, yangından korunum sistemleri dijitalleştirilebilecek ekipmanlar içerisinde sayılabilir. Bu ekipmanların dijitalleşebilmesi için ekipman bilgilerini dijital ortama taşırız. Aşağıda ekipmanlardan bazılarının dijital ortama taşınabilecek datalarına örnekler verilmişti.

Buhar kazanlarında; kazan su seviyesi, iletkenlik değerleri, buhar debisi, buhar sıcaklığı, baca gazı sıcaklığı, varsa ekonomizerlerin çıkış sıcaklıkları, kondens-degazör tanklarının su seviyeleri / sıcaklıkları, yakıt sarfiyatı, sistem pompalarının çalışma verileri takip ve kontrol edilmelidir.

Soğutma gruplarında; sistem su giriş-çıkış suyu sıcaklıkları, giriş suyu debisi, su giriş-çıkış basınçları, chiller alçak basınç-yüksek basınç değerleri, cihazın verdiği arıza bilgileri, sistem pompaları çalışma bilgisi, kompresör çalışma bilgileri, kompresör yük bilgisi, ekipmanın çektiği enerji miktarı, su kulelerinde fan çalışma durumları, sürücü bilgileri takip ve kontrol edilmelidir.

Klima santrallerinde; dış ortam sıcaklık-nem bilgileri, iç ortam sıcaklık-nem bilgileri, filtre kirlilik bilgileri, sürücü bilgileri, fan debileri, iki yollu-üç yollu vanalar, damper motorları, giriş-çıkış su sıcaklıkları, fan motoru arıza bilgisi, santral içi sıcaklığı takip ve kontrol edilmelidir.

Basınçlı hava sistemlerinde; hat basıncı, kullanılan hava debisi, element sıcaklıkları, boşta ve yükte çalışma saatleri, kompresör çalışma ve arıza bilgileri, kompresörün harcadığı enerji takip edilmelidir.

Yangından korunum sistemlerinde; yangın pompalarının çalışma-arıza bilgileri, ıslak-kuru-ön tepkimeli alarm vana bilgileri, flow switch bilgileri, hat üzerindeki vanaların izleme bilgileri, depo seviye bilgisi, algılama sistemi panel bilgileri takip edilmelidir.

Ekipmanların dijitalizasyonu ve dijital dönüşümü daha detaylı şekilde aşağıda incelenmiştir.

2.2.1. Buhar Kazanı

Buhar kazanları kontrol formlarının takibi noktasında üretimi 7/24 devam etmekte olan endüstriyel işletmelerde her vardiyanın verileri kayıt altına alması ile yürütülmektedir. Toplanan verilerin sağlıklı bir şekilde doldurulması ve verilerin gidişatıyla alakalı analizlerin yapılması; gerek ekipman sağlığı, gerek enerji verimliliği açısında kritiktir.

Tablo 1: Kazan Vardiya Takip Çizelgesi

BÖLGE	KONTROL NOKTASI	E/H
BUHAR KAZANI ERALP	**Kazan çalışma basıncı normal mi?** (E/H) (7 bar)	
	Ana buhar kollektörü basıncı normal mi? (E/H) (7 bar)	
	Kazan suyu iletkenlik değeri normal mi? (E/H) (2500-3000 µs/cm)	
BUHAR KAZANI ORTAK	**Kondens su seviye kontrolünü yap!** (Yeşil bölge=E, Kırmızı bölge=H)	
	Kondens tankı su sıcaklığı normal mi? (60 - 80 °C)	
	Degazör tankı su seviye kontrolünü yap! (Yeşil bölge=E, Kırmızı bölge=H)	
	Degazör tankı su sıcaklığı normal mi? (E/H) (102 °C)	
	Degazör tankı buhar basıncı normal mi? (E/H) (0,2 bar)	
	Kazan doğalgaz basıncı normal mi? (E/H) (100 mbar)	

Dijitalleşme öncesi, Tablo 1 de küçük bir örneği bulunan kazanların takip formu kapsamında kayıt altına alınan her bir nokta hem personelin zaman kaybına hem verilerin doğruluğu noktasında sorunlar yaratabilmektedir.

Takip formunda bulunan bütün veri takip noktaları dijital ortama taşınarak dijitalleşme süreci olgunlaştırılmıştır.

Dijitalleşme adımları kapsamında;

- Kazan su yüzde seviyesi,
- Saatlik doğalgaz tüketim verisi,
- Brülör yük oranı,
- Kazan buhar basıncı,
- Ekonomizer giriş/çıkış sıcaklıkları,
- Kazan Besi suyu İletkenlik ve Sıcaklık değerleri,
- Kondens ve Degazör tanklarının sıcaklık değerleri,
- Üretim tesisine gönderilen buhar debisi gibi veriler takip edilmektedir.

Anlık takip edilen verilerin Buhar Kazanı otomasyonu ile istenilen referans değerleri arasında çalışma senaryosu hazırlanarak dijital dönüşüm süreci başlamıştır.

Dijital dönüşüm kapsamında ölçülen verilerin işlenerek istenilen referans değerlerin dışına çıkması durumunda ilgili teknik ekibin anlık arıza takibi için kullandığı firma telefonuna bildirim gelmektedir. Bu sayede anlık arıza müdahalesi yapılabilmektedir.

2.2.2. Chiller, Dry Cooler

Soğutma sistemlerinde mevcut ekipmanların bina yönetim sistemi ile kontrol edilmektedir. Bina yönetim sistemine aktarılan Chiller ve Drycooler sistemleri ile birlikte dijitalleşme sürecinde bir adım daha atılmıştır. Ekipmanların çalışma verilerinin dışında okunan veriler ile arıza anında bakım personellerinin telefonlarına gelen SMS bildirimleri ile müdahale süresi kısaltılmıştır.

Dijital dönüşüm kapsamında Eskişehir ilinin kış ayları sıcaklık değerlerinden enerji kazancı elde edebilmek adına kurulan drycooler sistemi ile, üretim ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu sıcaklık değerlerine bina yönetim sisteminden set edilmektedir. Bu sayede Chiller sistemlerine ihtiyaç, kış aylarında %30 seviyelerine düşürülmüştür. Drycooler sistemine entegre edilen frekans invertörlü pompa seçimleri ve üretim hatlarında 50'den

fazla noktada bulunan balans vanaları sayesinde enerji verimliliği elde edilmektedir.

Tablo 2'de görülen örnek vardiya takip formundaki verilerin bina yönetim sisteminden anlık izlenebilir olması ile dijitalleşme süreci tamamlanmıştır.

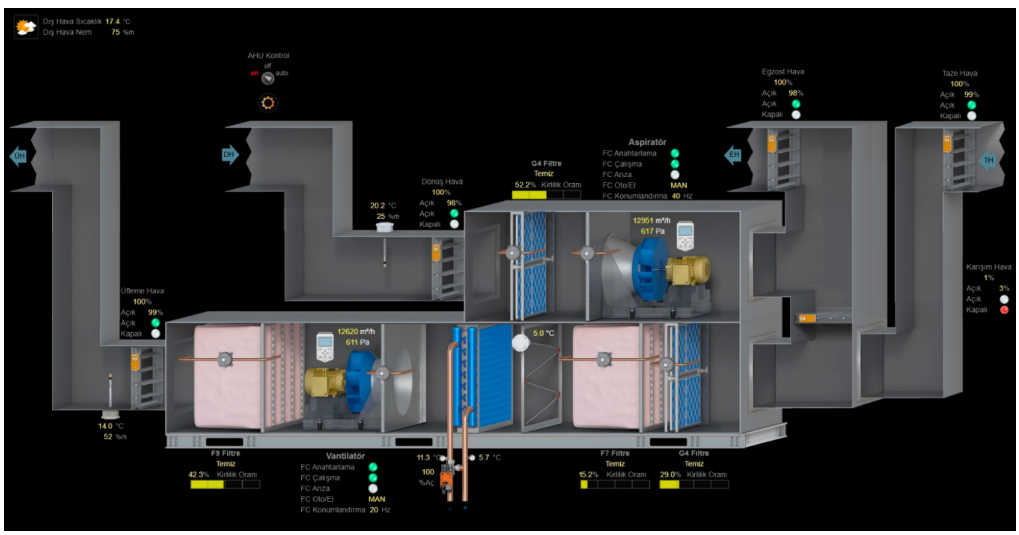
Tablo 2: Chiller Vardiya Takip Çizelgesi

BÖLGE	KONTROL NOKTASI	E/H	BÖLGE	KONTROL NOKTASI	E/H
CHILLER	Chiller su çıkış sıcaklığı normal mi? (E/H) (5 °C)		GENEL	Ana soğuk su tankı su seviyesi normal mi? (E/H)	
	Chiller sirkülasyon pompa çalışma sesleri normal mi? (E/H)			Ana basma kolektörü 1 basıncı normal mi? (E/H) (3 bar)	
	Chiller panelinde arıza/uyarı bilgileri normal mi? (E/H)			Ana basma kolektörü 2 basıncı normal mi? (E/H) (3 bar)	
				Chiller dairesi giriş çıkış kapıları kapalı mı? (E/H)	

2.2.3. Klima Santralleri

Santralin hitap ettiği bölgede tamamen koruyucusuz, raf ömrü çok düşük bir ürün kategorisi üretilmektedir. Burada mikrobiyal yük ürün güvenliği açısından çok önemlidir. Oda içerisinde HEPA filtreler mevcuttur, HEPA filtrelerin korunması ve uzun süre istenen verimde çalışması için santral içerisindeki filtrelerin de kontrol altında tutulması gerekmektedir. Üretim odalarına kontrollü şekilde giriş çıkış olmaktadır. Oda içerisi %5-%10 kadar pozitif basınçta tutulmalıdır. Üretim odalarına giriş çıkışta oda içerisindeki basınç dalgalanır. Oda içerisinde dışarıdan kontrolsüz hava girmesinin engellenmesi için otomasyon fanları istenen debide hava verecek şekilde sürer. Klima santrali dış ortamda bulunmaktadır ve enerji tasarrufu için karışım havalı tasarlanmıştır. Enerji tasarrufu için dışarıdan alınacak havayı otomatik hesaplar. Belli oranlarda havayı karıştırarak içeri alır. Üretim aralarında santral duracağından kış aylarında sulu sistemlerinin donmasını önleyecek senaryolar çalıştırır. Santralin herhangi bir arızadan dolayı kendine zarar vermemesi için kurulmuş koruma senaryoları da mevcuttur. Tüm bu iş süreçlerini gerçekleştirmek için klima santrali bina yönetim sisteminden kontrol edilmektedir.

Santralin dijital dönüşüm serüveni iki adımdan oluşmuştur. Santral verilerinin sisteme alınması ile dijitalleşme gerçekleşmiştir. Santrallerin otomasyon senaryoları yazılıp buna göre otomatik çalıştırılması ile dijital dönüşüm tamamlanmıştır.



Şekil 1: *Bina yönetim sistemine bağlanan karışım havalı bir klima santrali görüntüsü*

Şekil 1'de bina yönetim sistemine bağlı ve buradan kontrol edilen örnek bir klima santrali görülmektedir. Aşağıda bu santralin dijitalleşme ve dijital dönüşüm adımları incelenecektir. Son bölümde ise dijital dönüşümünü tamamlamış bu santralin farklı senaryolarda çalıştırılması ile oluşan soğutma enerjisi ihtiyaçlarının karşılaştırması yapılacaktır.

2.2.4.1. Santralin Dijitalleşme Adımları

Dijitalleşme için Şekil 1'deki klima santralinden aşağıdaki bilgiler toplanıp geriye dönük kaydedilmektedir.

- ***Dış hava:*** Sıcaklık, bağıl nem
- ***İç ortam:*** Sıcaklık, bağıl nem
- ***Santral sıcaklık nem bilgileri:*** Üfleme havası sıcaklık-bağıl nem, serpantin su giriş-çıkış sıcaklığı, eşanjör yüzey sıcaklığı, fan motor sıcaklığı, sürücü sıcaklığı, don bilgisi
- ***Vana:*** 3 yollu vana motoru komut bilgisi, manuel-auto bilgisi, konum feedback bilgisi, manuel-otomatik kontrol
- ***Filtre:*** Oransal kirlilik bilgisi, filtre yırtık-yok bilgisi, fark basınç
- ***Damper:*** komut bilgisi, konum feedback bilgisi, açık-kapalı feedback bilgisi, manuel-otomatik bilgisi ve kontrolü
- ***Fan bilgisi:*** Min-max Hz kontrolü, debi kontrolü ve bilgisi, fark basınç manuel-otomatik kontrol
- ***Sürücü:*** Akım, gerilim, enerji tüketimi, fan devir hızı, voltaj, çalışma süresi, tork, otomatik-manuel durumu

2.2.4.2. Santralin Dijital Dönüşümü ve Otomasyon Senaryoları

Bir santralin kendi kendine bazı işleri yapabiliyor olması dijital dönüşüme girmiş olduğunu gösterir. Dijital dönüşümde santralin iş akışlarını gerçekleştirebilmesi için otomasyon senaryoları ile destekleniyor olması gerekir. Şekil 1'deki santralin senaryolarından bazıları örnek olarak verilmiştir.

Fan Kontrolü:

Şekil 2: *Fan kontrolü için kullanılan pencere*

Fanlar debi kontrolüne göre sürülmektedir. Filtre kirliliğinden ve hitap ettiği ortamdaki hava değişiminden etkilenmeden ortamı istenen debide hava ile besler. Şekil 2'de istenen debi - yakalanan debi değerleri, fanın diğer bilgileri, sürücünün fana gönderdiği bilgiler görülmektedir. Ayrıca santral seçim çıktılarındaki max. hız sınırına göre kısıtlanmışlardır. Böylece fan, santrala ve kendisine zarar verebilecek hıza ulaşamaz.

Don Senaryosu:

Şekil 3: *Don senaryosu için kullanılan ortalama yüzey sıcaklık sensoru ve hat glikol miktarı*

Sistemdeki su rejimi 0/5°C'dir. Eskişehir şartlarında organize sanayi bölgesi kış sıcaklığı -20°C'lere kadar düşmektedir. Bu durumda santrale don termostatı eklemek anlamsızdır. Santral durduğunda veya santralin ilk çalışma anında don termostatı devamlı don alarmı verecektir. Burada Şekil 3'te görülen serpantin üzerine ortalama yüzey sıcaklık sensoru sarılmıştır. Sistemdeki glikol oranı yine Şekil 4'te görülen "Don Sıcaklık Seti" değeri olarak sisteme girilmektedir. Serpantin yüzeyi bu sıcaklığın altına indiğinde sistem; otomatik olarak motorlu vanasını %15 açmakta, serpantin içi su sirkülasyonunu sağlamakta, dış ortam damperlerini kapayarak karışım havası damperini açmakta, fanlar kapalı ise fanları çalıştırmaktadır. Serpantin yüzey sıcaklığı, "Don Sıcaklık Seti"ni 10°C geçene kadar çalıştırmaktadır. İstenen sıcaklık yakalandığında son çalışma şekline geri dönmektedir. Böylece serpantinin donması önlenmektedir.

Damper Kontrolü:

Şekil 4: *Damperlerin kontrolü için kullanılan pencere*

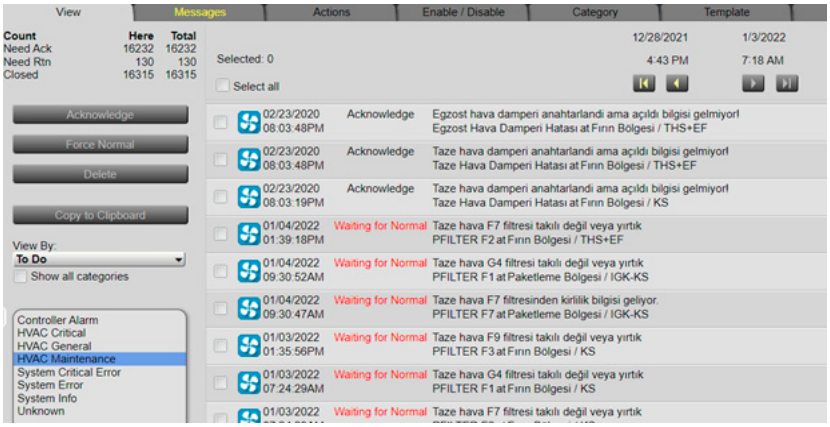
Taze hava, karışım ve egzoz hava damperleri birbirlerine kilitlenmiş ve taze hava ile egzoz damperleri ne kadar açılırsa karışım hava damperi o derece kapanmaktadır. Damperler, havanın entalpisine göre kontrol edildiğinden enerji kazancı sağlanmaktadır. Damperlerin açık, kapalı feedbackleri ile fanların çalışmaları kontrol edilmektedir. On-off çalışan damperler açık pozisyonunu görmeden, oransal çalışan damperler kapalı pozisyonundan kurtulmadan fanlar çalıştırılmamaktadır. Böylece santral hücre deformasyonlarının önüne geçilmektedir. Şekil 4'te üfleme damperinin otomasyondan verilen açılma komutu (%100), damperin fiili açık feedback bilgisi (%98) ve fiili damper on-off feedback bilgileri izlendiği örnek olarak görülmektedir.

Filtre Kirlilikleri:

Şekil 5: *Filtre kirlilik görünümü penceresi*

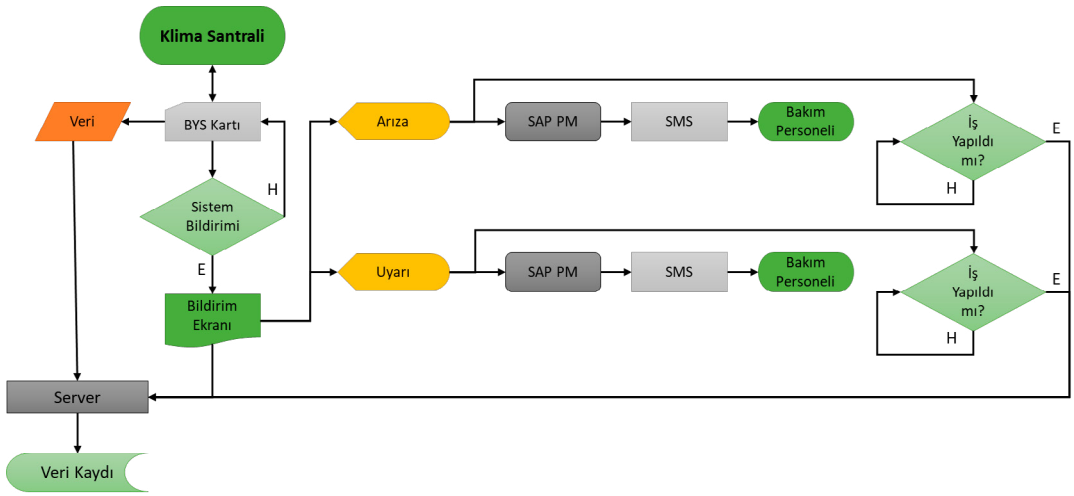
Şekil 5'te görüldüğü üzere filtrelerin kirliliği analog bir şekilde okunmakta, kirlilik miktarı yüzde şeklinde kullanıcıya sunulmuştur. Okunan basınç kaybı, Şekil 5'teki "Alt Değer" basınç kaybı altına düşerse filtrelerin yırtıldığı veya filtrenin olmadığı bildirimi oluşturulur. Filtrelerin kirlilik oranları, Şekil 5'teki "Yakın Değer" basınç kaybı üzerine çıktığında program filtrelerin kirlenmek üzere olduğu bildirimini oluşturur. Sistemde hangi santralde ne tip filtreden ne boyutlarda ve kaç adet olduğu kayıtlıdır. Bildirim oluştuğu anda kirlenmek üzere olan filtrelerin siparişlerini otomatik olarak açar. Böylece işletmede stok maliyeti düşer, filtrelerin stoklanması için gerekli alan en aza indirilmiş olur, filtreler kirlenmeden önce değiştirilmeyeceğinden filtre masrafı düşer, filtreler aşırı kirli çalıştırılmadığından hem üretim kalite riskleri ortadan kaldırılır hem de enerji tasarrufu sağlanmış olur.

Sistem Bildirimleri:



Şekil 6: *Sistem bildirimleri penceresi*

Sistem bildirimleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup, üretimi etkileyen arızalardır. İkinci grup, uyarı şeklinde gelen arızalardır. Her iki arıza grubu da Şekil 6'da görülen sistem bildirimleri ekranına düşer. Bildirim oluştuğu anda Şekil 7'deki iş akışı yürütülür.



Şekil 7: *İş akış şeması*

Bina yönetim sistemi, süreç yönetim programı olan SAP ile haberleşmektedir. Bildirimin arıza olması durumunda SAP PM modülünden bakım personeline SMS ile bildirilir. Böylece arıza müdahale süresi çok kısalır, olası duruşların önüne geçilir. Aşağıda Arıza ve Uyarı bildirimlerine birkaç örnek verelim.

Klima santrali damperi feedback değeri %0 açık geliyor fakat damper on veya off switchinden feedback gelmiyor. Santral çalışıyor. Burada santral damperi kapalı ise kendine zarar verme ve üretimi etkileme riski olacağından doğrudan arıza bildirimi gelir. Bakım personeline SAP PM modülü üzerinden SMS ile bildi verilir. Bakım personeli damper arızasını giderebilirse arıza otomatik olarak ortadan kalkar, arıza kapanma tarihi serverda kayıt altına alınır. Arıza yapılamayıp geçici çözüm uygulanırsa bildirim kapanmayacaktır. Bildirim, arızayı onaylayıp müdahale eden personel kullanıcı adı ile yapılacak işler listesinde kalacaktır. Arıza tamamlandığında, bildirim otomatik kapanır ve müdahale eden personel kullanıcı adı ile kayıt altına alınır.

Santralın periyodik bakım bildirimi bir uyarıdır ve bakım personeline SMS ile bilgi verilir. İlk duruşta santralin bakımı planlanır. Bakımından sorumlu personel kendi kullanıcı adı ile bildirimi kabul eder. İş bitiminde tekrar kendi kullanıcı adı ile bildirimi kapatır. Bakım zamanı başlangıç, bitiş ve personel verileri ile kayıt altına alınmış olur.

2.2.4.3. Dijital Dönüşüm ve Enerji Tasarrufu

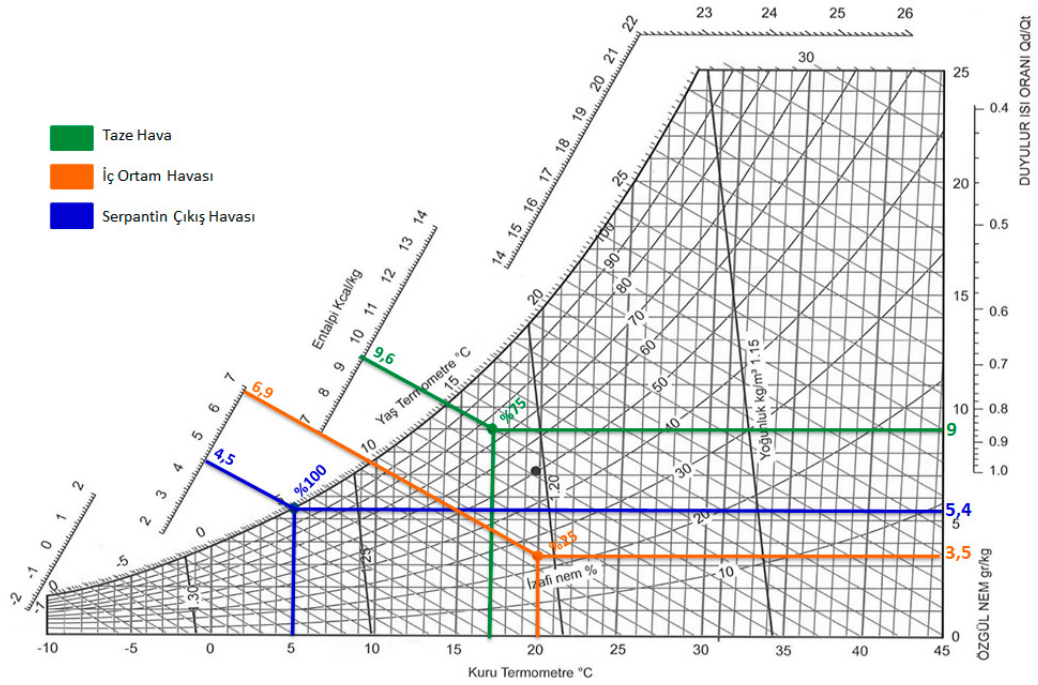
Şekil 1'deki klima santralinde karışım damperlerinin otomasyon ile kontrol edilmediği ve edildiği durumlarının aşağıdaki sıra ile enerji harcama karşılaştırması yapılacaktır.

- Otomasyonun olmadığı ve %100 taze hava ile çalışan bir klima santrali
- Otomasyonun olmadığı ve taze hava, egzoz ve karışım havası damperlerinin tam açık bırakıldığı bir klima santrali
- Karışım havasının otomasyon ile dış hava sıcaklığına göre kontrol edildiği bir klima santrali
- Karışım havasının otomasyon ile dış hava entalpisine göre kontrol edildiği bir klima santrali

Karşılaştırma yapılırken, BMS programına bağlı Şekil 1'deki klima santralinden yılın bahar döneminin herhangi bir günü Tablo 3'teki değerler okunmuş ve bu değerler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3: BMS programından okunan hava değerleri

Taze Hava		İç Ortam Havası		Serpantin Çıkışı
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)
17	%75	20	%25	5



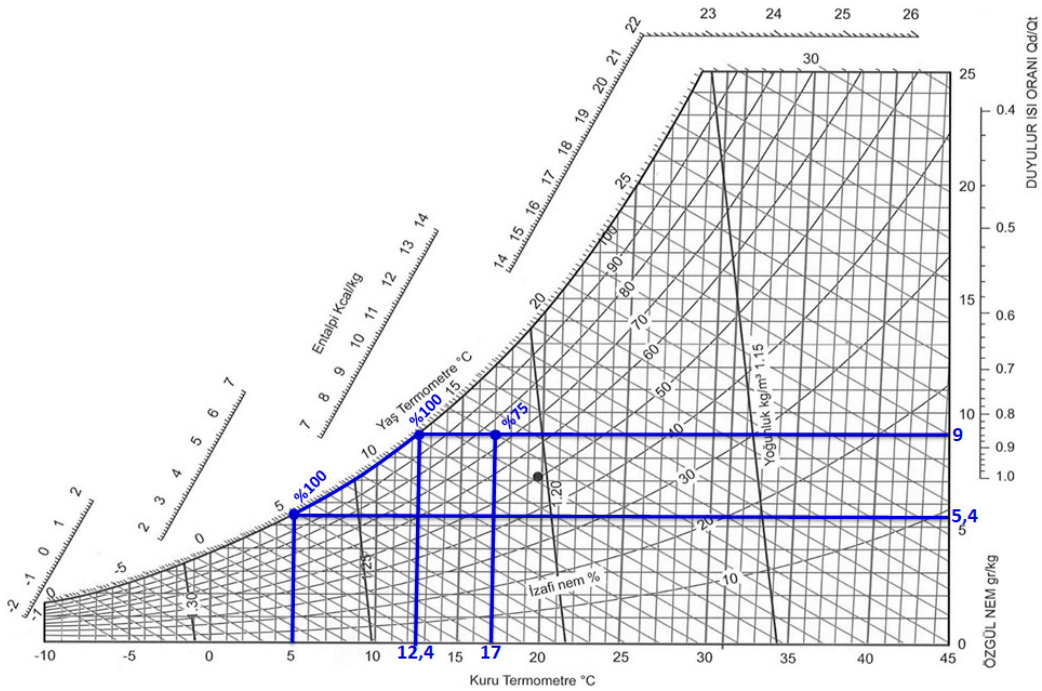
Şekil 8: *Taze hava, iç ortam ve serpantin çıkış havalarının psikrometrik değerleri*

Tablo 3'teki değerlerin Şekil 8'deki psikrometrik diyagram üzerine işaretlendiğinde bulunan hava değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Psikrometrik diyagramdan okunan hava değerleri

Taze Hava			
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Mutlak Nem (gr/kg)	Entalpi (kcal/kg)
17	%75	9	9,6
İç Ortam Havası			
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Mutlak Nem (gr/kg)	Entalpi (kcal/kg)
20	%25	3,5	6,9
Serpantin Çıkışı			
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Mutlak Nem (gr/kg)	Entalpi (kcal/kg)
5	%100	5,4	4,5

Dijital dönüşümü yapılmamış, otomasyonu olmayan %100 taze hava ile çalışan bir klima santralinde hava soğuma eğrisi Şekil 9'daki psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 9: *%100 taze hava ile çalışan klima santrali psikrometrik diyagramı*

Şekil 9'daki psikrometrik diyagramdan bulunan hava değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: %100 taze hava ile çalışan klima santrali için hava değerleri

	Dış	Yoğuşma	Çıkış
Sıcaklık (°C)	17	12,4	5
Mutlak Nem (gr/kg)	9	3,6	5,4

Tablo 5'teki değerler ile havanın soğuma enerji ihtiyacını hesapladığımızda aşağıdaki gibi bir sonuçla karşılaşırız. Burada taze hava ve egzoz damperleri manuel açık, karışım hava damperi tamamen kapalı bırakılmıştır.

$$Q_{duyulur} = m \times c \times \Delta t$$

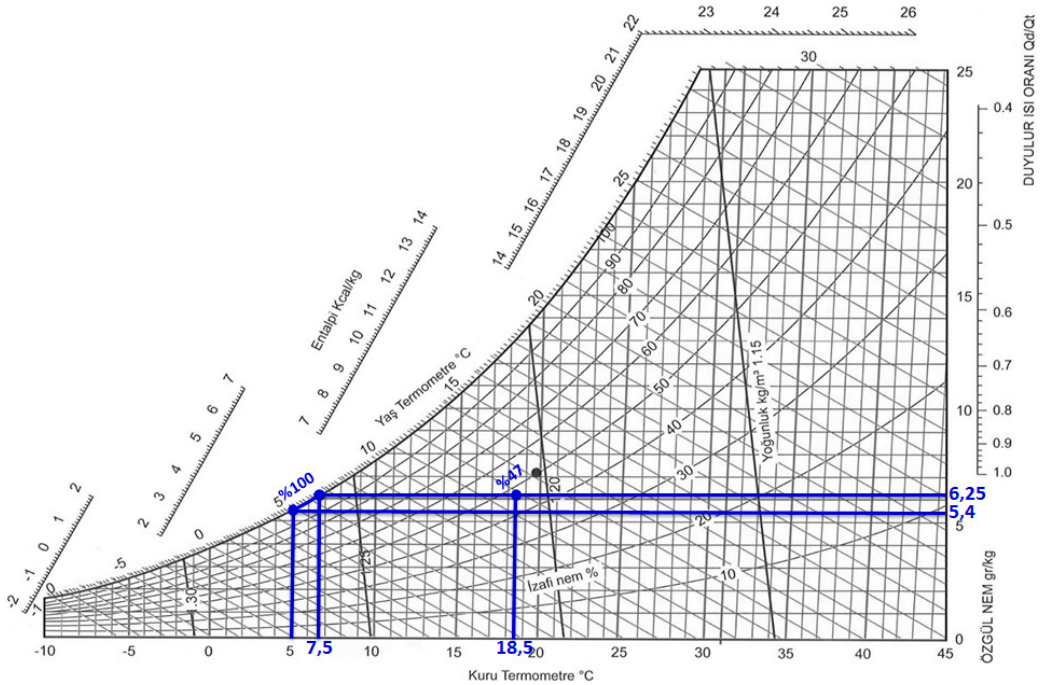
$$Q_d = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 0{,}24\frac{kcal}{kg} \times (17-5)°C \times 860\frac{kW}{kcal} = 80{,}37\ kW/h$$

$$Q_{gizli} = m \times L_{yoğuşma}$$

$$Q_g = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 3{,}6\frac{gr}{kg} \times 2257\frac{kj}{kg} \times \frac{1}{1000}\frac{kg}{gr} \times 3600\frac{kW}{kj} = 54.17\ kWh$$

$$\mathbf{Q_{toplam} = Q_d + Q_g = 134{,}54\ kW/h}$$

Dijital dönüşümü yapılmamış, otomasyonu olmayan fakat taze hava, egzoz ve karışım havası damperleri manuel açık bırakılmış bir santralin hava soğuma eğrisi Şekil 10'daki psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 10: *%50 hava karışımlı çalışan klima santrali psikrometrik diyagramı*

Şekil 10'daki psikrometrik diyagramdan bulunan hava değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Burada, tüm damperlerin açık olduğu ve havanın %50'sinin iç ortamdan, %50'sinin taze havadan geldiği kabul edilmiştir. Tablo 6'daki "Karışım (%50)" değerleri, %50 iç hava, %50 dış hava karışımından gelmektedir.

Tablo 6: %50 taze hava ile çalışan klima santrali için hava değerleri

	Dış	İç	Karışım %50	Yoğuşma	Çıkış
Sıcaklık (°C)	17	20	18,5	7,5	5
Mutlak Nem (gr/kg)	9	3,5	6,25	0,85	5,4

Tablo 6'daki değerler ile havanın soğuma enerji ihtiyacını hesapladığımızda aşağıdaki gibi bir sonuçla karşılaşırız.

$$Q_{duyulur} = m \times c \times \Delta t$$

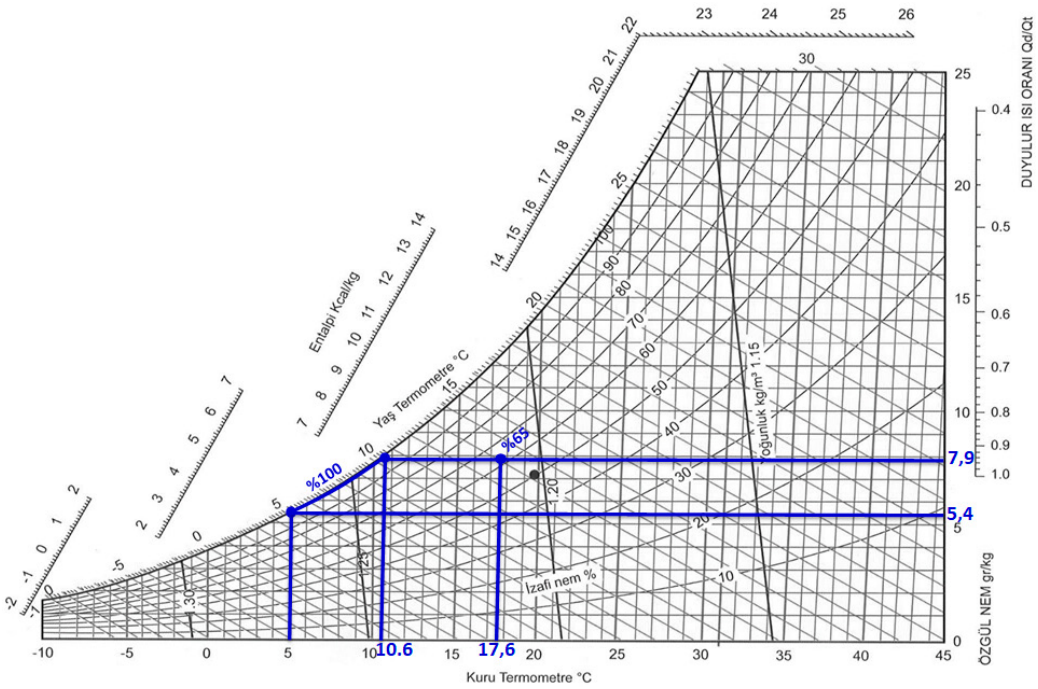
$$Q_d = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 0{,}24\frac{kcal}{kg} \times (18{,}5 - 5)°C \times 860\frac{kW}{kcal} = 90{,}42\ kW/h$$

$$Q_{gizli} = m \times L_{yoğuşma}$$

$$Q_g = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 0{,}85\frac{gr}{kg} \times 2257\frac{kj}{kg} \times \frac{1}{1000}\frac{kg}{gr} \times 3600\frac{kW}{kj} = 12{,}79\ \ kW/h$$

$$Q_{toplam} = Q_d + Q_g = \mathbf{103{,}21\ kW/h}$$

Dijital dönüşümü yapılmış, taze hava, egzoz ve karışım havası damperleri sıcaklık kontrolüne göre otomatik çalışan bir santralin soğutma enerji ihtiyacını inceleyelim. Böyle bir santralin hava soğuma eğrisi Şekil 11'deki psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 11: *%66 taze hava karışımlı çalışan klima santrali psikrometrik diyagramı*

Şekil 11'daki psikrometrik diyagramdan bulunan hava değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Burada, damperler hava sıcaklığına göre kontrol edilmektedir ve iç ortamın hava kalitesinin düşmemesi için sisteme en az %20 taze hava alma zorunluluğu getirilmiştir. Bu durumda santral max. %80 taze hava alabilecektir. Sistemde soğutma ihtiyacı olduğundan santral dış havayı daha düşük sıcaklıkta görecek ve daha çok taze hava alma eğiliminde bulunacaktır. Hesaplamanın daha gerçekçi olması için damperlerin her zaman yüzer kontrol anında olduğu ve taze hava değeri max. olan %80 açıklığa ulaşmadığı, ortalama olarak %66 taze hava aldığı kabul edilmiştir. Tablo 7'deki "Karışım (%66)" değerleri, %33 iç hava, %66 dış hava karışımından gelmektedir.

Tablo 7: %66 taze hava ile çalışan klima santrali için hava değerleri

	Dış	İç	Karışım %66	Yoğuşma	Çıkış
Sıcaklık (°C)	17	20	17,6	10,6	5
Mutlak Nem (gr/kg)	9	3,5	7,9	2,5	5,4

Tablo 7'deki değerler ile havanın soğuma enerji ihtiyacını hesapladığımızda aşağıdaki gibi bir sonuçla karşılaşırız.

$$Q_{duyulur} = m \times c \times \Delta t$$

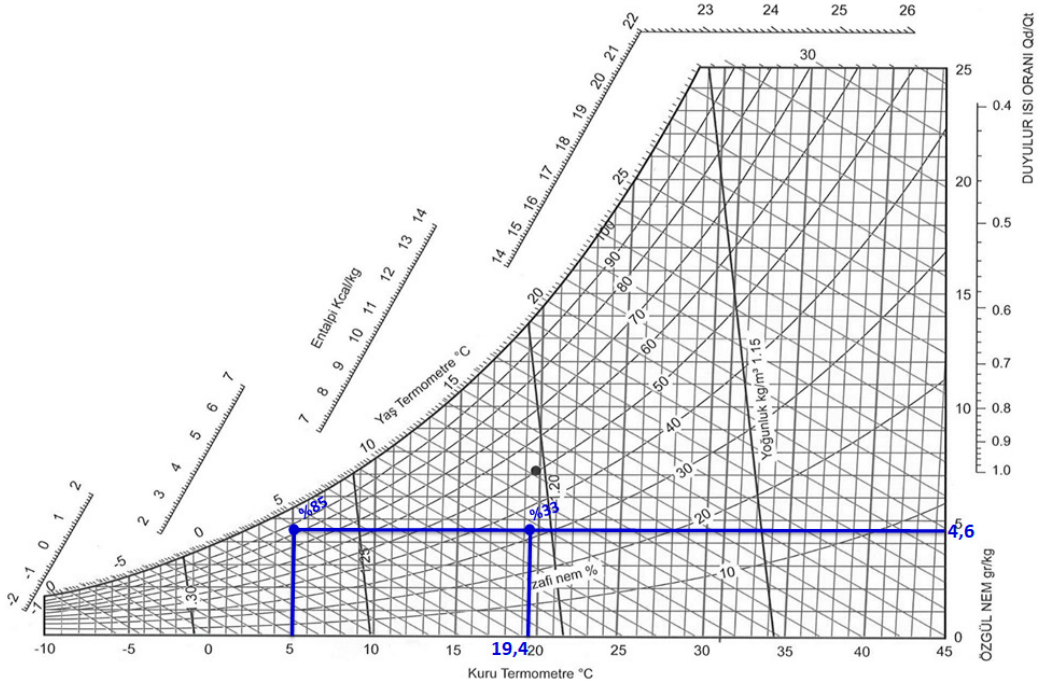
$$Q_d = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 0{,}24\frac{kcal}{kg} \times (17{,}6 - 5)°C \times 860\frac{kW}{kcal} = 84{,}39\ kW/h$$

$$Q_{gizli} = m \times L_{yoğuşma}$$

$$Q_g = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 2{,}5\frac{gr}{kg} \times 2257\frac{kj}{kg} \times \frac{1}{1000}\frac{kg}{gr} \times 3600\frac{kW}{kj} = 37{,}62\ \ kW/h$$

$$Q_{toplam} = Q_d + Q_g = \mathbf{122{,}01\ kW/h}$$

Dijital dönüşümünü tamamlamış, taze hava, egzoz ve karışım havası damperleri otomatik çalışan bir santralin soğutma enerji ihtiyacını inceleyelim. Böyle bir santralin hava soğuma eğrisi Şekil 12'deki psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 12: *%33 taze hava karışımlı çalışan klima santrali psikrometrik diyagramı*

Şekil 12'deki psikrometrik diyagramdan bulunan hava değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Burada, damperler hava sıcaklığına göre değil havanın entalpisine göre kontrol edilmektedir ve yine iç ortamın hava kalitesinin düşmemesi için sisteme en az %20 taze hava alma zorunluluğu getirilmiştir. Entalpi, havanın üzerinde bulundurduğu enerjidir. Sistemde soğutma ihtiyacı olduğundan santral dış hava enerjisini daha düşük gördüğünden daha çok havayı iç ortamdan alma eğiliminde bulunacaktır. Hesaplamanın daha gerçekçi olması için damperlerin her zaman yüzer kontrol anında olduğu ve santralin ortalama olarak %33 taze hava aldığı kabul edilmiştir. Tablo 8'deki "Karışım (%33)" değerleri, %66 iç hava, %33 dış hava karışımından gelmektedir.

Tablo 8: %33 taze hava ile çalışan klima santrali için hava değerleri

	Dış	İç	Karışım %33	Yoğuşma	Çıkış
Sıcaklık (°C)	17	20	19,4	-	5
Mutlak Nem (gr/kg)	9	3,5	4,6	Yok	5,4

Tablo 8'deki değerler ile havanın soğuma enerji ihtiyacını hesapladığımızda aşağıdaki gibi bir sonuçla karşılaşırız.

$$Q_{duyulur} = m \times c \times \Delta t$$

$$Q_d = 20.000\frac{m^3}{h} \times 1{,}2\frac{kg}{m^3} \times 0{,}24\frac{kcal}{kg} \times (19{,}4 - 5)°C \times 860\frac{kW}{kcal} = 96{,}45\ kW/h$$

Psikrometrik diyagrama göre bu şartlar altındaki hava yoğuşma olmadan serpantinden çıkmaktadır. Gizli ısıdan söz edilemez. Toplam soğutma yükü;

$$Q_{toplam} = \mathbf{96{,}45\ kW/h}$$

Psikrometrik diyagrama göre bu şartlar altındaki hava yoğuşma olmadan serpantinden çıkmaktadır. Gizli ısıdan söz edilemez. Toplam soğutma yükü;

Tablo 9: Dijital dönüşümü tamamlanmış ve yapılmamış klima santrali enerji karşılaştırması

	Q_{toplam} (kW)	Dijital Dönüşüm Yapılmamış	Dijital Dönüşümü Tamamlanmış
%100 taze havalı Dijital dönüşüm yapılmamış	134,54	(+) %30	(+) %39
%50 hava karışımlı Dijital dönüşüm yapılmamış	103,21		(+) %7
Sıcaklığa göre damper kontrolü Dijital dönüşümü tamamlanmış	122,01	(+) %10	(+) %27
Entalpiye göre damper kontrolü Dijital dönüşümü tamamlanmış	96,45	(-) %7	

Tablo 9'da da görüldüğü gibi dijital dönüşüme girmemiş tüm damperleri açık kullanılan bir klima santrali, dijital dönüşümünü tamamlamış damperleri entalpiye göre kontrol edilen bir santrale göre %7 daha fazla enerji harcamaktadır.

Dijital dönüşümünü tamamlamış iki santral karşılaştırıldığında damperleri entalpiye göre kontrol edilen bir santral, damperleri sıcaklığa göre kontrol edilen bir santralden %27 daha az enerji harcamaktadır.

Sonuç olarak ekipmanı sadece dijitalleştirmek yetmemekte, dijital dönüşüme de tabi tutmak gerekmektedir. Dijital dönüşüm sırasında da yardımcı tesisler için enerjinin nasıl daha az kullanılacağı konusu ön planda tutularak ekipmanın çalışma senaryosu yazılmalıdır.

ÖZGEÇMİŞLER

Özgün Eme Güngör

1982 yılında Eskişehir'de doğmuştur. 2005 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2005-2006 yıllarında yapı denetim firmasında çalışmıştır. 2007 yılında Eskişehir Espark şantiyesinde ana mekanik yüklenici firmada saha mühendisi olarak görev almıştır. 2007-2009 yılları arasında Kıbrıs otel şantiyesinde saha mühendisi olarak çalıştı. 2009 yılında çalışmaya başladığı ETİ Şirketler Grubu'nda halen görevine devam etmektedir.

Özgün Koşdere

1994 yılında Eskişehir'de doğmuştur. 2017 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2018-2019 yıllarında kiremit üretim tesisinde mekanik bakım mühendisi olarak çalışmıştır. 2019 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği tezli yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2019 yılından itibaren ETİ Şirketler Grubu'nda görevine devam etmektedir.

ENDÜSTRİYEL YAĞLARIN KÖPÜKLENMESİ ARIZALARI, ARIZALARIN TESPİTİ VE ÖNLENMESİ

Cüneyt DEMİR

Adres: Süleymaniye Mah. Organize Sanayi Bölgesi
No:13 Starwood Orman Ürünleri İnegöl/BURSA
cnytdmr@outlook.com

1. GİRİŞ

Yağda köpüklenme hidrokarbonların veya bileşiklerin oksitlenmesine yol açar. Küçük hidrokarbonlar veya yağdaki bileşiklerin oksidasyona uğraması alev alma parlama noktası sıcaklığını düşürecektir. Ayrıca; köpükler metal yüzeylerde patlayarak kavitasyona sebep olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada işletme için kritik olan yerlerde kullanılan yağların köpüklenmesinin ve hava kabarcıklarının önüne geçilmesi için yapılabilecek işlemler, yağ analizleri, köpüklenme eğilim testlerinin yapılması ve köpürme önleyicilerinin eklenmesi önemi ele alınmıştır.

2.1. YAĞLARDA KÖPÜKLENME

Yakıtlar veya bir akışkan çalkalandığında, veya araç tankına pompalanırken içinde hapsolan hava ürünün köpürmesine neden olur ve örneğin, yakıt pompalarında seviye kontrolü olanaksızlaşır. Ayrıca ürüne giren hava bazı hidrokarbonların veya bileşiklerin oksitlenmesine de yolaçar; yakıtın kararsızlaşmasına neden olur. Köpürme, bir sistemin vakum uygulanan tarafında olabilecek hava sızıntılarından da meydana gelebilir. Veya, pas önleyiciler, deterjanlar gibi yüzey aktif maddeler ve bazı solventler de suyla birarada olduklarında köpürmeye neden olurlar.

Yağın çalkalanması sonucunda oluşan hava kabarcıklarının yüzeye çıkarak patlaması gerekir. Aşırı çalkalanma veya yetersiz yağ kalitesi nedeniyle oluşan hava kabarcıklarının yüzeyde birikmesi köpürme olarak adlandırılır.

Resim 1: Yağ İçerisinde Köpük ve Hava kabarcığı

2.2. YAĞLARIN KÖPÜKLENMESİ ARIZASININ TESPİTİ

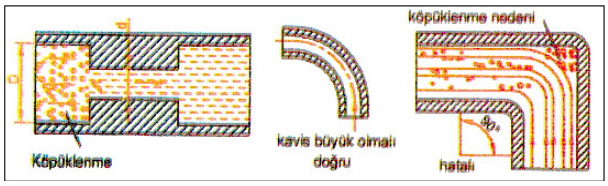
- Yağa su veya partikül karışması
- Yağa temizlik malzemesi ve korozyon önleyici karışması
- Köpük önleyici katık fazlalığı veya azlığı
- Yağ içerisindeki küçük hidrokarbonların büyük hidrokarbonlardan çokluğu
- Mekanik sebepler:

- Aeration; Havalanma, içine hava alma

- Pompanın yanlış konumlanması

- Türbülanslı akışa sebep olan çarpma, çalkantı

- Borulardaki kıvrımların biçimi köpüklenme nedenidir. Bunun için borular 90 derecelik bir dik açıyla değil-de, geniş bir kavisle bükülmelidir. Kesit daralmaları birdenbire olmamalıdır. İç yüzeyler düzgün ve pürüzsüz olmalıdır (Resim 2). Sisteme uygun filtreler seçilmelidir. Boruların ağzı 45 derece eğik kesilmelidir. Yağ de-posuna hava alma elemanları ve depo içerisine dinlendirme levhası konulmalıdır.

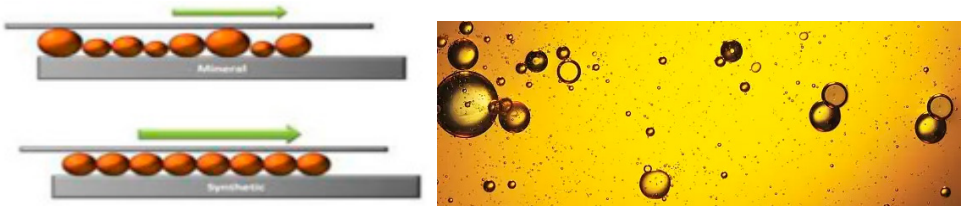


Resim 2: Köpüklenmeye neden olan yanlış bükme ve kesit daralması

2.3. ENDÜSTRİYEL YAĞLAR HAKKINDA BİLGİLENDİRME

Yağlar; madeni(mineral) yağlar, sentetik yağlar ve yarı sentetik yağlar olmak üzere ayrılırlar.

2.3.1 YAĞLAR



Resim 3: Madeni(mineral) Yağlar ve Sentetik Yağlar

2.3.1.1 MADENİ(MİNERAL) YAĞLAR

Madeni Yağların Elde Edilişi: Ham petrolün rafinerilerde işlenmesi ile elde edilen ürünlerinden biri olan mineral(Madeni) yağlar, tekrar özel işlemlerden geçirilerek, madeni yağların ham maddesi olan baz yağlar elde edilir. Bu yağlar, viskozitelerine göre sınıflandırılır. Tüm madeni yağları, doğrudan elde etmek mümkün değildir. Madeni yağlar, değişik viskoziteli baz yağlara, üründen beklenen özelliklere göre se-çilen, çeşitli katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilir. Piyasada çeşitli marka ve cinslerde madeni yağ satılmaktadır. Ancak tüm madeni yağların hammaddesi aynı olduğuna göre, bu yağlar arasındaki fark nedir?

Bunun iki nedeni vardır:

1. Kullanılan baz yağların kimyasal özelliklerinin farklı olması
2. Kullanılan katıkların cinsi ve miktarının farklı olması

2.3.1.1.1 Madeni Yağların Sınıflandırılması

- Mineral baz yağlar, (TS 13369) kimyasal yapıları bakımından üç büyük gruba ayrılırlar:
- Alifatikler: a) Parafinik b) Naftenik
- Aromatikler
- Alifatik ve Aromatikler

2.3.1.2 SENTETİK YAĞLAR

Sentetik yağlar petrol esaslı olmayan kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilir. Kimyasal proseste sentetik yapıyı meydan getirecek hidrokarbon moleküller boyut ve şekil bakımından birbirinin benzeri olacak biçimde tasarlanır. Sentetik yağlar özenle düzenlenmiş bu yapısı sayesinde düşük sürtünme, düşük sıcaklık, en az aşınma, enerji (yakıt) tasarrufu gibi birçok üstün özelliklere sahiptir. Çok düşük sıcaklıkta kolay akar, çok yüksek sıcaklıkta incelmez. Yüksek oksidasyon ve ısıl mukavemeti sayesinde kullanım ömrünü uzatır. Laboratuvar ortamında farklı bir teknoloji ile üretilen sentetik yağlar, mineral yağlara oranla daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklar ile yüksek basınca karşı dayanıklıdır. Sentetik yağlar da, kullanılan sentetik baz yağın tipine göre adlandırılır.

2.3.1.2.1 Sentetik Yağların Sınıflandırılması (TS13369)

· Polialfaolefin (PAO)
· Alkali aromatikler
· Polibutenler
· Alifatik Diester
· Poliesterler
· Polialkenglikol
· Fosfat Esterleri

Sentetik yağların hammaddesi olan sentetik baz yağ, ileri teknoloji ile yoğun işlemlerden geçerek üretildiği için maliyeti yüksektir. Bu nedenle sentetik yağlar mineral yağlara göre daha pahalıdır.

2.3.1.3 YARI SENTETİK YAĞLAR

Mineral yağlar ile sentetik yağların karışımından elde edilen yağlardı

2.3.2 YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ

- %Su oranı; Yağın içeriğindeki su miktarına bakılır.Limit değeri 700 ppm(mg/kg)

- Tan(Parlama) Noktası; TAN değeri yağın yaşlılığını gösterir.Yağ markalarına göre değişmekle birlikte belli bir oranın üzerine çıktığında yağın değiştirilmesi tavsiye edilir.Sıfır yağda TAN değeri de sıfır dır.Yağ kirlendikçe yaşlandıkça TAN değeri artar limit değeri bir dir.

- Viskozite; Yağın akmaya karşı gösterdiği dirençtir.Sıfır yağda 29-31mm2/sn arasındadır.25 değerinin altı pek istenmeyen durumdur.
- Partikül değeri; 100 ml yağın içindeki partikül miktarına bakılır.Limit değeri %1 in altında olacak.

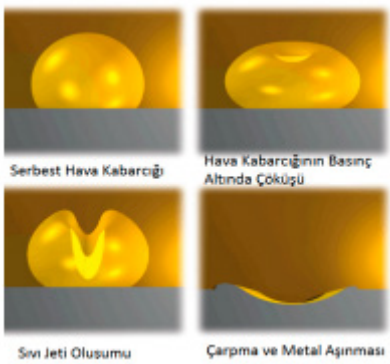
YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ						
	Petrofer Waermeüber traungsöl-R	Mobil Therm32	Mobil Therm605	Opet Fuchs Renolin THERM 320	Petrol Ofisi Heat Transfer Oil 32	Shell Thermia B
Özkütle (15C) (gr/cm3)	0,869	0,871	0,872	0,870	0,872	0,895
Viskozite cSt @ 40C	33	31	29	43,5	32,18	32
Viskozite cSt @ 100C	..	5,3	5,1	6,3	5,4	..
Akma Noktası Sıcaklığı (°C)	-16	-12	-15	-12	-15	-12
Parlama Noktası Sıcaklığı (°C)	220	230	210	220	222	230
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	350	285	320	340	315	320

Tablo 1: Bazı Yağların Özellikleri

2.4. YAĞLARDA KÖPÜKLENME VE HAVA KABARCIK ARIZALARI

Sentetik yağlar (PAO & Hydrocracked Oils) yüzey gerilimlerinin daha yüksek olması sebebiyle Mineral yağlara göre daha az köpürme eğilimi gösterirler.

Kavitasyon: Türbülanslı akım içerisindeki su ve su buharı zerreciklerinin çark kanat yüzeyine vurmasıyla oluşan küçük kabarcıkların yüksek basınç bölge alanına geçiş yaptığında ani olarak ortadan kalkması olayına denir.(Resim5)



Resim 5: Kavitasyon

- Hidrolik sistemlerde sarsıntılı, düzensiz çalışma
- Kontrol hassasiyetinde azalma, titreşim
- Yağda aşırı ısınma
- Yağda oksidasyon ve bozulma

Oksidasyon: Hidrokarbon sıvılar okside oldukça kokuları değişir ve artar. Yanmanın doğal sonucu ortaya çıkan karbondioksit, karbonmonoksit ve su buharı burada da oluşur.Oksidasyon devam ettikçe akışkan içerisinde organik asitler oluşmaya başlar. Akışkan daha yoğun (vizkoz - kalın) bir hal alır ve eskisinden daha zor

akmaya başlar. Akışkanın hızı ve türbülans durumu bozulduğu için, moleküller sıcak yüzeylerle daha fazla süre temas haline kalırlar ve aşırı ısınmaya uğrarlar.

2.4.1 YAĞDA KÖPÜRMEYİ ÖNLEME VE ÖLÇME

Köpürme, bir sistemin vakum uygulanan tarafında olabilecek havasızıntılarından da meydana gelebilir. Veya, pas önleyiciler, deterjanlar gibi yüzey aktif maddeler ve bazı solventler de suyla birarada olduklarında köpürmeye nede olurlar. İstenmeyen köpürmelerin önlenmesi veya en düşük düzeye indirilmesi için köpük önleyici katkı maddeleri kullanılır; Köpük önleyici katkı maddelerinin çoğu organosilikon bileşikleridir ve yakıta veya yağa <10 ppm kadar ilave edilir.

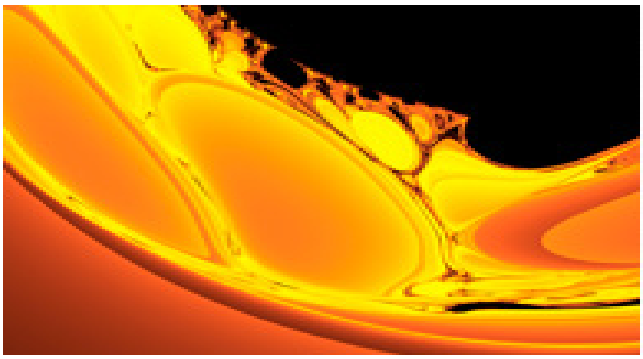
ASTM D892 testi üç sıcaklıkta yürütülmektedir: 24°C'de (75ºF) Seq 1, 93.5°C'de (200°F) Seq 2 ve ardından 24°C'de (75ºF) Seq 3'e geri soğutma. Veriler her Seq için eğilim ve kararlılık olarak ml cinsinden bildirilmektedir. Köpük oluşum eğilimi, yağ örneğine beş dakika hava üflendikten sonra derecelendirilmiş bir silindirde ölçülen köpük hacmidir. Kararlılık, 10 dakikalık bir çökme süresinden sonraki hacmi temsil eder. Sıfır ml'lik bir köpük kararlılığı, köpük kabarcıklarının patladığının ve türbinin normal çalışma sırasında aşırı köpük oluşturmaması gerektiğinin iyi bir göstergesidir. Eğilim ve kararlılık olmak üzere iki ölçüm arasında, kararlılığın korunması eğilime göre daha önemlidir. Bir yağ analizi maliyet tasarrufu önlemi olarak, bazen yalnızca Seq 2 testi yürütülür çünkü 93.5°C (200°F) ekipman çalışma sıcaklıklarına yakındır. ASTM D4378 ASTM D892, Seq 1 için 10 ml'lik bir kararlılık ile 450 ml'lik eğilim uyarı limitleri sunar. ASTM D892 köpük testinin tekrarlanabilirliğinin oldukça düşük olduğu dikkate alınmalıdır. 450 ml'lik bir eğilim ölçümü farklı bir laboratuvarda 600 ml kadar yüksek veya 300 ml kadar düşük bulunabilir.

Özet olarak ;(Resim 6) Köpürme Eğilimi ve Köpük Stabilite Testleri (ASTM D892) ile yağlarda köpük ölçülebilmektedir. Yaklaşık 190 ml hacimdeki yağ numunesi deney mezürüne konur, 5 dk süreyle 94 ml/dk hava akışı gönderildikten sonra yağ numunesinin köpük hacmi ölçülür ve köpük eğilimi olarak raporlanır. Hava kesildikten sonra, 10 dk sonraki köpük hacmi ölçülür ve köpük kararlılığı olarak raporlanır. Bu işlem I. Kademe (24°C), II. Kademe (93,5°C) ve III. Kademe (24°C) olarak uygulanır ve örneğin 10/0 50/0 10/0 olarak raporlanır.

Resim 6: ASTM D892 Köpürme Eğilimi Ölçme

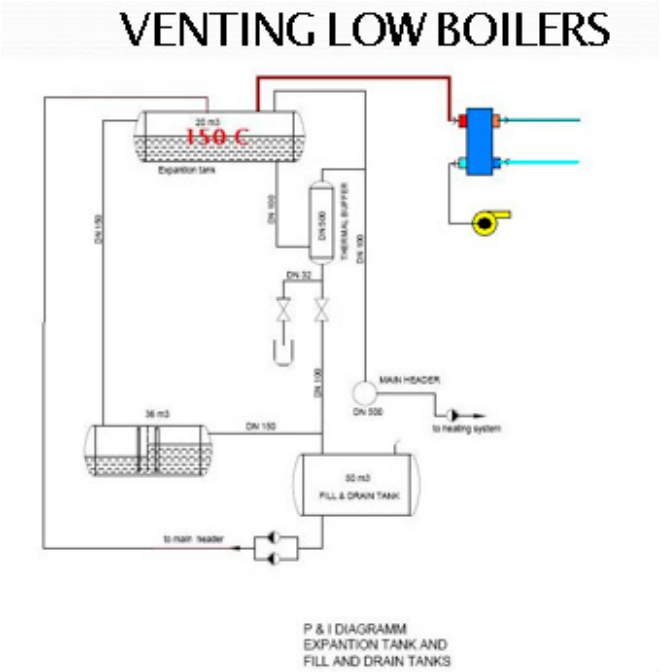
2.5. SİSTEMDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Venting Low Boilers; Yağ içinde bulunan yağın alev almasını kolaylaştıran ve parlama noktası sıcaklığını düşüren küçük hidrokarbon moleküllerini buharlaştırarak yağdan ayırma işlemidir.



Resim 7: Yağdaki Büyük ve Küçük Hidrokarbon molekülleri

Yağ genleşme tankında 150 derece sıcaklıkta tutulacak ve çıkan gazlar fan ile tanktan alınacaktır. Çıkan buhar plakalı ısı eşanjörü kullanılarak soğutma kulesi suyu ile soğutulacak ve sistemden ayrıştırılacaktır.(Resim 8)



Resim 8: Venting Low Boilers P&I Diagram

2.5.1 SİSTEM KURULUM SONRASI FİRMADAN ALINAN SONUÇLAR

PARLAMA NOKTASI SICAKLIĞI – TAN DEĞERİ					
	Visco40C (Cst) (40°C'de ölçülen Yağ Viskozitesi - CentiStokes)	(% Ağırlık, Karbon Parçalanması -	TAN	PM Flash point (°C) (Parlama Noktası Sıcaklığı)	Firma
Sistem Kurulmadan Önce	23,33	0,28	0,08	96	Fragol
Sistem kurulduktan sonra	28	0,33	0,46	162	Fragol

Tablo 2: Çalışma öncesi ve sonrası alınan değerler

Alman Fragol firmasından gelen en son analiz değerleri

Measurement results:	Parameter Method	Unit	Result	Limit
viscosity @ 40°C	DIN 51562-1	mm2/s	25,89	
flash point (closed cup)	DIN EN 22719	°C	132	>100
acid number	DIN 51558-1	mg KOH/g	0,14	<1
carbon residue	DIN 51551-1	%	0,34	<1
water content	DIN 51777-1	ppm (mg/kg)	150	<700

Tablo 3: Firmadan alınan yağ analiz değerler

SONUÇ

Köpük sorunları ele alınırken, çalışma alanını köpükten arındıran işlemler düşünülmeden önce temizlik, bulaşma veya mekanik nedenler araştırılmalıdır. Yeniden katık ilave işlemi hatalı yapılırsa, artan hava karışımı, daha fazla köpük oluşumu veya katık çökelmesiyle çok daha büyük sorunlara neden olabilir. Kirlilik köpük oluşumunun en önemli nedeni olduğundan, ISO Temizlik ve ICP metaller de test edilmelidir. Yağ pompası emişinin rezervuarın altına yakın yerleştirilmesi bir yatakta köpük oluşma ihtimalini asgariye indirir.

KAYNAKLAR

[1] STARWOOD ORMAN ÜRÜNLERİ A.Ş. İnegöl/ BURSA Yağ gençleştirme uygulaması

[2] Türk Standardı TS 13369 YAĞLAMA YAĞLAR,ENDÜSTRİYEL YAĞLAR VE İLGİLİ ÜRÜNLER, (Sınıf L) BAZ YAĞLAR (Türk Standartlar Enstitüsü Necatibey Caddesi No:112 Ankara)

[3] Türk standardı TS 1834 ISO 6247(ASTM D892) Petrol ürünleri - Yağlama yağları - Köpürme özelliği tayini (Türk Standartlar Enstitüsü Necatibey Caddesi No:112 Ankara)

ÖZGEÇMİŞ

Cüneyt DEMİR
Makine Müh.

1988 yılı Bursa doğumlu olup, 2012 yılında T.C. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Resim ve Konstrüksiyon Öğretmenliği bitirmiştir, 2016 T.C. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016-2019 yılları arasında otomotiv firmasında Ar-Ge Proje mühendisi olarak çalıştıktan sonra, 2019 yılından itibaren Starwood Orman Ürünleri A.Ş'de Proje Mühendisi ve Teknik Eğitmen olarak devam etmektedir.

ERDEMİR'DE YASAL EKİPMAN BAKIM SİSTEMATİĞİ

Serkan Keski, Aydın Duman, M. Sinan Konuralp
skeski@erdemir.com.tr
Ereğli Demir ve Çelik A. Ş. Ereğli/Zonguldak

ABSTRACT

In the production facility, there are equipment that must be checked in the criteria determined in the specified periods in accordance with the legal legislations. In Erdemir, all equipment is defined as a tree structure. Defined equipment; criticality (production, safety, environment, quality and cost), whether it is legal and/or within the scope of seveso, is classified according to its technical characteristics. Appropriate maintenance strategies are applied to each equipment according to the classification result . All of the equipment within the scope of the legal are checked according to the technical periodic control criteria in the determined standards. Controls and maintenance of legal equipment are recorded.

Due to the high number of legal equipment in Erdemir, a software infrastructure has been created for the follow-up of all legal equipment. In accordance with the legal legislation, the sub-classification of the equipmentis also carried out separately. Control criteria are defined as periodic preventive maintenance in the maintenance management software used by Erdemir according to these sub-classifications and the same standards are applied in all equipment.

As a result, all equipment is classified in Erdemir, appropriate maintenance strategies are determined and implemented according to the classification result. In this study, planning the technical periodic controls of the equipment determined with the legal legislations, making the controls according to the standard control criteria and taking actions, following up and reporting according to the control results will be shared.

Keywords: Asset management, legal equipments, maintenance management, reliability, sustainability

ÖZET

Üretim tesislerinde yasal mevzuatlar gereği belirlenen periyotlarda, belirlenen kriterlerde, kontrol edilmesi gereken ekipmanlar bulunmaktadır. Erdemir'de tüm ekipmanlar ağaç yapısı şeklinde tanımlanmıştır. Tanımlanan ekipmanlar; kritiklikliğine (üretim, isg, çevre, kalite ve maliyet), yasal ve/veya seveso kapsamında olup

olmamasına, teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Her ekipmana sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri uygulanmaktadır. Yasal kapsamdaki ekipmanların tamamı belirlenen standartlarda teknik periyodik kontrol kriterlerine göre kontrol edilmektedir. Yasal ekipmanların kontrolleri ve bakımları kayıt altına alınmaktadır.

Erdemir'de yasal kapsamdaki ekipmanların sayısının fazla olmasından dolayı tüm yasal ekipmanların takibi için yazılımsal alt yapı oluşturulmuştur. Yasal mevzuat gereği, ekipmanların alt sınıflandırmaları da ayrı ayrı yapılmaktadır. Kontrol kriterleri, bu alt sınıflandırmalara göre Erdemir'in kullandığı bakım yönetim yazılımında periyodik koruyucu bakımlar olarak tanımlanarak, tüm ekipmanlarda aynı standartlarda uygulanması sağlanmaktadır.

Sonuç olarak, Erdemir'de tüm ekipmanlar sınıflandırılmış, sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri belirlenmiş ve uygulanmaktadır. Bu çalışmada, yasal olarak belirlenen ekipmanların teknik periyodik kontrollerinin planlanması, standart kontrol kriterlerine göre kontrollerinin yapılması ve kontrol sonuçlarına göre aksiyonların alınması, takip edilmesi ve raporlanması paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Varlık yönetimi, yasal ekipmanlar, bakım yönetimi, güvenilirlik, sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

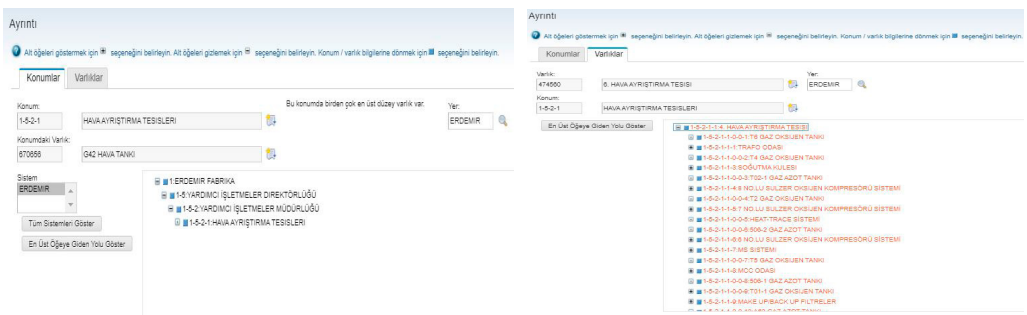
Üretim tesislerinde yasal mevzuatlar gereği, belirlenen periyotlarda ve belirlenen kriterlerde kontrol edilmesi gereken ekipmanlar bulunmaktadır, bu ekipmanlar süreç içinde tanımlanmıştır. Bakımı yapılacak tüm ekipmanların yanında yasal ekipmanların sınıflandırması yapılmıştır. Bakım ve kontrol sistematikleri oluşturulmuştur. Yasal ekipmanlar belirlenen standartlarda teknik periyodik kontrol kriterlerine göre kontrol edilmektedir. Erdemir'de bulunan yasal ekipmanların tüm bakım ve yasal kontrollerinin yapılması için sistematik oluşturulmuş, takibi yapılmaktadır.Tüm bu bakım faaliyetleri ve kontroller Erdemir Bakım ve Atelye Yönetim Sistemi yazılımı ile kayıt altına alınmaktadır.

2. YASAL EKİPMANLARIN BAKIM VE KONTROLLERİNİN YÖNETİMİ

Erdemir bakım prosedüründe, bakım faaliyetlerinin amacı, kapsamı, bakım yaklaşımı, bakım yetkileri, bakım uygulama esasları, varlıkların tanımlaması, sınıflandırması, kaynakların yönetilmesi, uygulanacak bakım türü ve bakım performans göstergeleri belirlenmiştir.

2.1. Erdemir'de Varlıkların Tanımlanması

Varlıkların yönetilmesi için yaşam döngüsü bir bütün olarak kabul edilerek işletmelerimizdeki tüm varlıklarımız kurulmaya karar verilme aşamasından hurdaya ayrılma aşamasına kadar takip edilmektedir. Varlıkların işletmeye alınmasından itibaren performansının sürekliliği için bakım faaliyetleri başlamaktadır. Erdemir'de varlıkların bakımlarının yönetimi için bilgisayar destekli bakım ve atelye yönetim sistemi (BAYS-Maximo) kullanılmaktadır. Varlıklar, BAYS-Maximo yazılımı içinde varlık ağaç yapısı oluşturularak tanımlanmaktadır. Lokasyon ve varlık ağaç yapısı örneği şekil-1'de gösterilmiştir.



Şekil 1:Lokasyon ve varlık ağaç yapısı örneği

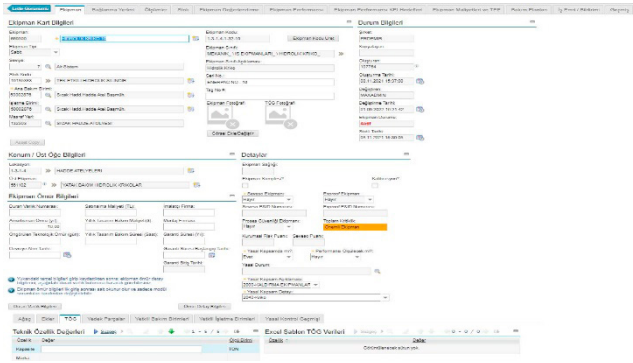
Varlıklar ağaç yapısı mantığı ile kodlanarak kademeli olarak kırınımlar şeklinde takip edilmektedir. Her bir varlık bağlı bulunduğu lokasyona kadar bu yapı içinde görülebilmektedir.

Erdemir'de toplam 239.881 aktif tanımlanmış ekipman bulunmaktadır. Yasal ekipmanlar da süreç içinde ağaç yapısı şeklinde hareketli ekipman olarak tanımlanmıştır. Yasal ekipmanlar özellikle birebir takip edileceği için hareketli olarak tanımlanmaktadır. Yasal ekipmanların zaman içinde bağlı olduğu lokasyonlar değişse dahi tüm bakım ve kontrol geçmişleri üzerinde taşınmaktadır.

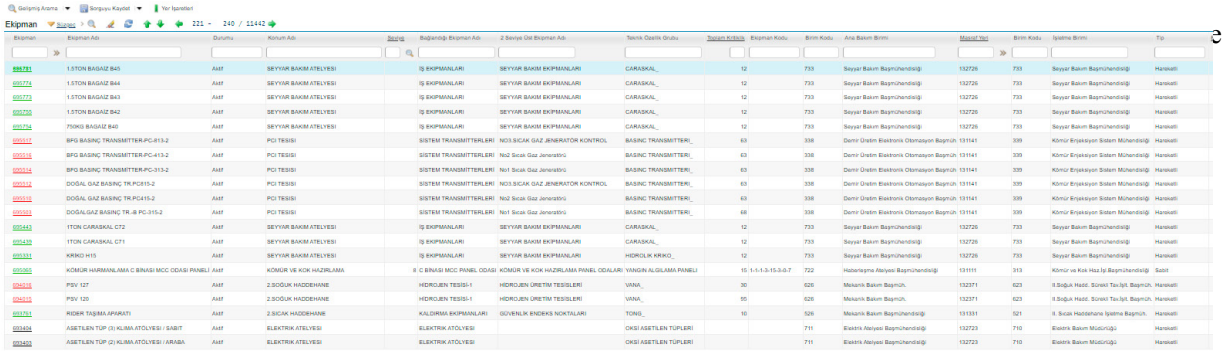
Yasal ekipmanların tanımlamaları;

- Her bir ekipman ağaç yapısı altında çalıştığı üst ekipmana bağlanır,
- Ekipman sınıfı belirlenir, teknik özellikleri, yedek parçaları, görselleri, teknik projeleri gibi bilgiler varlık bilgileri olarak sisteme girilir,
- Süreç bazında ekipman değerlendirmesi yapılır, ekipmanın yasal olduğu bilgisi girilir, bakım planları oluşturulur,
- Performansı ölçülecek ekipmanların belirlemesi yapılır, kalibrasyon ihtiyaçları belirtilir,
- Performansı ölçülecek ekipmanların performans kriterleri belirlenir ve tarih aralıklarında sonuçları raporlanacak şekilde,

yapılmaktadır. Ekipman tanımlama sayfası örneği şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2:Ekipman tanımlama sayfası örneği



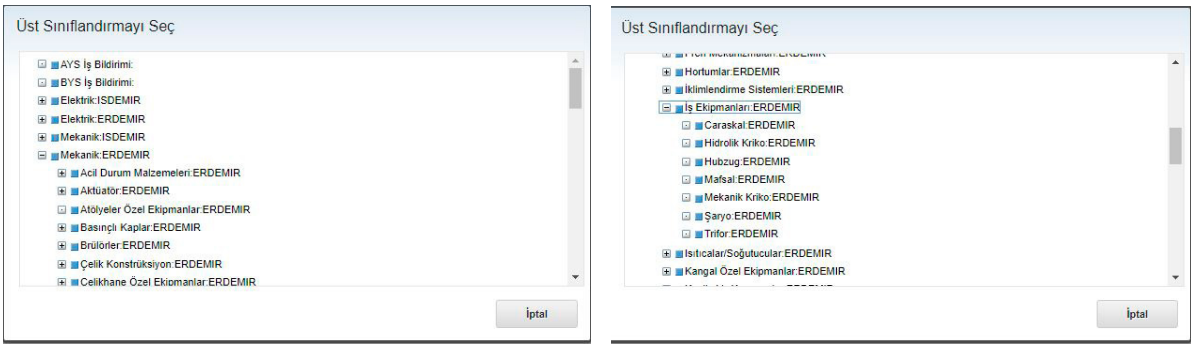
Şekil 3:Yasal ekipmanların liste ekran örneği

2.2. Erdemir'de Varlıkların Sınıflandırılması

Varlıkların bakımlarının, sınırlı kaynaklar ile gerekli ve yeterli kadar yapılmasını sağlayacak şekilde yönetilebilmesi için sınıflandırılması gerekmektedir. Varlıkların sınıflandırması bir çok kriterde yapılmaktadır.

2.2.1. Ekipmanların Teknik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Ekipmanlar varlık bilgisi kapsamında teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Erdemir'de teknik özellik grupları (TOG) 3 kademeli olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Varlık TOG sınıfı, alt sınıflar ve detay sınıf olarak kademeler BAYS-Maximo yazılımında tanımlanmıştır. TOG ağaç yapısı şekil 4'de gösterilmiştir.

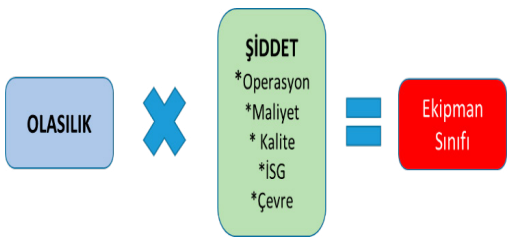


Şekil 4:TOG ağaç yapısı örneği

Örneğin; hidrolik kriko teknik özellik grubuna göre; mekanik üst sınıfı, iş ekipmanı alt sınıfı ve hidrolik kriko olarak tanımlanmıştır. TOG seçimi yapıldıktan sonra her TOG sınıfı için belirlenen örneğin marka, model, güç, strok, tip, kapasite gibi özellikler tanımlanmış, veri girişleri de yapılmaktadır.

2.2.2. Ekipmanların Sürece Göre Sınıflandırılması

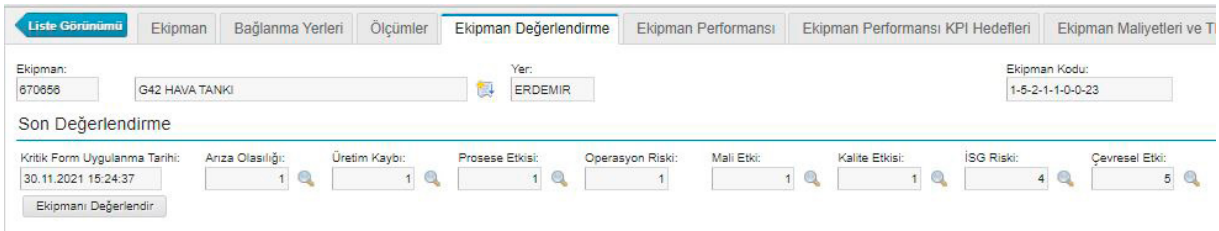
Erdemir'de süreç olarak ekipmanlar; operasyonel, maliyet, kalite, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) ve çevreye etkisi açısından değerlendirilmektedir. Operasyonel değerlendirme işletme ile birlikte yapılmakta ve diğer değerlendirme maddelerinde ise gerekli noktalarda İSG, çevre ve kalite birimlerinden destek alınmaktadır. Süreç sınıflandırması her ekipman için ***olasılık x*** şiddet matrisine göre yapılmaktadır. Tüm değerlendirme BAYS-Maximo yazılımı içinde yapılmakta ve toplam kritiklik puanı hesaplanmaktadır. Risk değerlendirme puanına göre ekipmanlar kritik, önemli veya normal ekipman olarak sınıflandırılmaktadır. Ekipmanlar için oluşturulan olasılıkxşiddet matrisi örneği şekil 5'te gösterilmiştir.



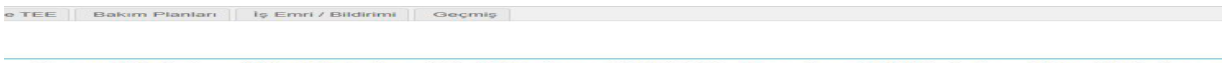
İSG		OLASILIK				
		1	2	3	4	5
ŞİDDET	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	9	10	11
	3	8	12	14	15	16
	4	13	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

Şekil 5:Ekipmanların İSG değerlendirmesi olasılıkxşiddet matrisi

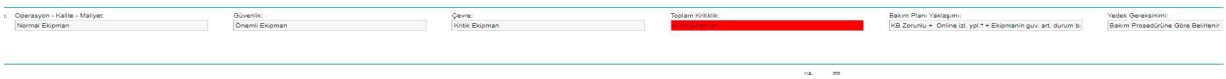
Örneğin; G42 hava tankı yasal bir ekipmandır, süreç olarak değerlendirilirken arıza olasılığı 1 (5 yıl ve üzerinde arıza yapabilir) olarak alınmıştır. Şiddet olarak ise üretim kaybına etkisi 1 (üretim kaybı yok), bakım maliyeti etkisi 1 (tamir ve/veya bakım maliyeti ≤$1000), kalite etkisi 1 (kalite kaybı yok), İSG riski 4 (haftalar veya aylarca sürecek iş günü kaybı olasılığı), çevresel etkisi 5 (uzun süreli, kalıcı, geri dönüşü olmayan insan sağlığı ve güvenliğini tehdit eden) ekipman olarak değerlendirilmiş ve değerlendirme matrisine göre İSG risk değerlendirme puanı 13 çıkmıştır. İSG risk değerlendirme puanına göre güvenlik sınıfı "önemli ekipman"olarak belirlenmiştir. Koruyucu bakım yapılması zorunlu olarak sistemde gösterilmiştir. Bu ekipman çevresel etkiden 21 puan almış ve toplam kritiklikte "kritik ekipman" olarak belirlenmiştir. Ekipman değerlendirme ekran örneği şekil 6'da gösterilmiştir.



Ekran bölüm 1



Ekran bölüm 2



Ekran bölüm 3

Şekil 6: Ekipman değerlendrme ekran örneği (ekran yatay olaraktır, 3 bölümde verilmiştir)

2.2.3. Ekipmanların Kapsamına Göre Sınıflandırılması

Erdemir'de kapsam olarak ekipmanlar; proses güvenliği, yasal, seveso, exproof olarak tanımlanmaktadır.

Ekipman sınıfı, yasal olarak seçilen ekipmanların alt sınıfları 2 kademeli olarak belirlenmiştir. Yasal kapsam ekipmanları ilk olarak 9 ana başlıkta tablo 1'de görüldüğü gibi sınıflandırılmakta sonrasında detay olarak alt sınıflanırılma yapılmaktadır. Ekipmanların yasal sınıf seçimleri BAYS-Maximo yazılımında ana başlıktaki seçimlere göre detayda çıkan menüden yapılmaktadır. Örneğin, ana yasal sınıfı 1000-Basınçlı Ekipmanlar için detay sınıflandırma tablo 2'de verilmiştir. Ekipman tanımlama ekranlarında yasal ekipmanlar için bu seçimler yapılmaktadır.

Örneğin; G42 hava tankı kapsam olarak değerlendirilirken; yasal ekipman mı? "evet" olarak seçilmiş; ana yasal kapsam sınıfı "1000-Basınçlı ekipman" ve yasal kapsam detayı "1050- hava tankı" olarak seçilmiştir.

Bu şekilde tanımlı tüm yasal ekipmanlar sınıflarına göre listelenebilmekte ve raporları alınmaktadır.

Yasal Kapsam — Süzgeç — 1 - 9 / 9

Yasal Kapsam Kodu	Yasal Kapsam Açıklaması	Oluşturan	Oluşturma Tarihi	Şirket
				ERDEMIR
1000	1000-BASINÇLI EKİPMANLAR	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
2000	2000-KALDIRMA EKİPMANLARI	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
3000	3000-TESİSAT	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
4000	4000-TEZGAHLAR (Manuel-NC-CNC)	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
5000	5000-METALURJİ MAKİNALARI	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
6000	6000-EL ALETLERİ	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
7000	7000-KALDIRMA AMAÇLI OLMAYAN İŞ MAI	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
8000	8000-TARIM ve ORMAN MAKİNALARI	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR
9000	9000-ÖLÇÜM ALETLERİ	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:39:44	ERDEMIR

Tablo 1: Yasal ekipman ana sınıfları

1000-BASINÇLI EKİPMANLAR : Yasal Kapsam Detayları Süzgeç > 1 - 20 / 21

Yasal Kapsam Detayı	Oluşturan	Oluşturma Tarihi	Şirket
1000-Buhar Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1010-Kalorifer Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1020-Taşınabilir Gaz Tüpü	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1030-Taşınabilir Asetilen Tüpü	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1040-Sıvılaştırılmış Gaz Tankı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1050-Hava Tankı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1060-Kriyokenik Tank	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1070-Tehlikeli Sıvıların Bulunduğu Depo	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1080-Ütü Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1090-Basınçlı Kap Emniyet Cihazı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1100-Genleşme Tankı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1110-Buhar Jeneratörü	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1120-Endüstriyel Otoklav	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1130-Boyler/Akümülasyon Tankı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1140-Atmosferik Depolama Tankı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1150-Boyama Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1160-Kızgın Su Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1170-Buharlı Pişirme Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1180-Kızgın Yağ Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR
1190-Buhar Kazanı	ERDEMIRADM	06.09.2021 22:34:07	ERDEMIR

Tablo 2: 1000-Basınçlı ekipmanlar detay sınıfları

Erdemir'deki toplam ekipmanların %4,8'i yasal ekipmandır. Yasal ekipmanların dağılımı yüzdesel olarak tablo 3'de verilmiştir. Erdemir'de tüm yangın söndürme cihazları "3000-Tesisat" ana başlığı altında "3080-Yangın Söndürme Cihazı" olarak tanımlanmış ve toplam yasal ekipmanlar içindeki oranı %43 tür.

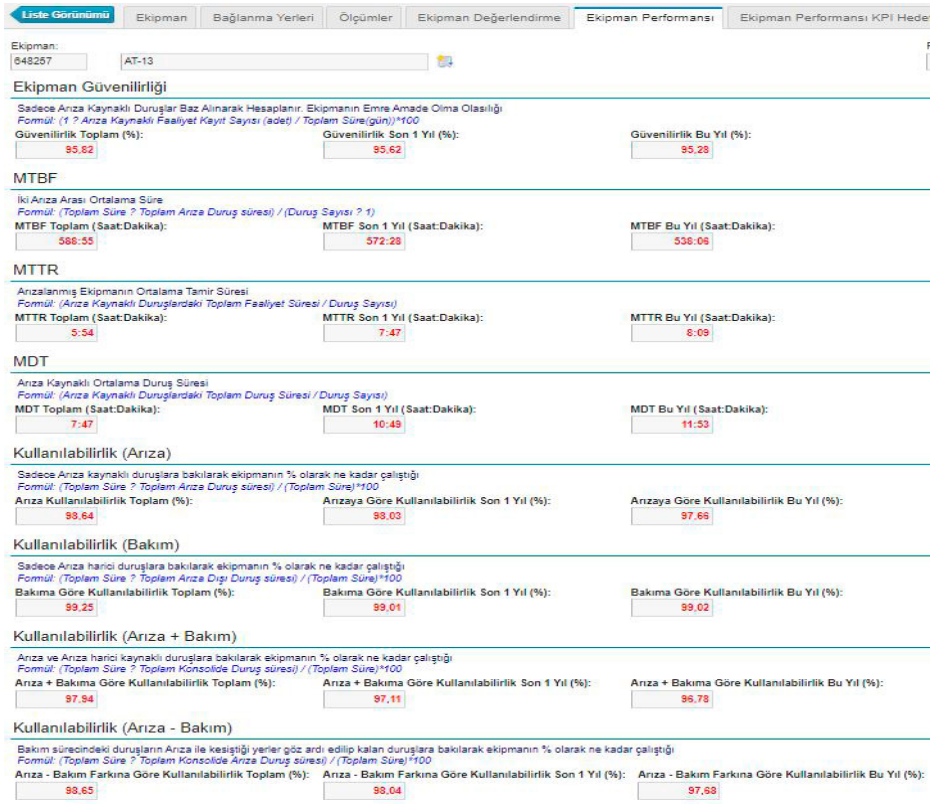
ERDEMİR YASAL KAPSAMLI EKİPMAN AÇIKLAMASI VE DETAYLARI	
YASAL KAPSAM AÇIKLAMASI	YASAL KAPSAMLI EKİPMAN SAYISI(%)
1000-BASINÇLI EKİPMANLAR	8,89
2000-KALDIRMA EKİPMANLARI	14,77
3000-TESİSAT	69,97
4000-TEZGAHLAR (Manuel-NC-CNC)	4,43
6000-EL ALETLERİ	0,58
9000-ÖLÇÜM ALETLERİ	1,36
GENEL TOPLAM	100

Tablo 3: Yasal ekipman dağılımı

Yasal ekipmanların yanında seveso kapsamındaki ekipman sayısının toplam ekipmana oranı %0,43, exproof ekipman sayısının toplam ekipmana oranı %0,59'dur.

2.2.4. Ekipmanların Performans Değerlendirmesine Göre Sınıflandırılması

Ekipman bazında performans takibi yapılabilmektedir. Performans değerlendirmesi yapılacak ekipmanların; kullanılabilirlik, güvenilirlik, iki arıza arası ortalama süre (MTBF) ve arızalanmış ekipmanın ortalama tamir süresi (MTTR) değerleri tarih aralığına göre ekipman sayfasında gösterilmektedir. Performansı takip edilen ekipmana ait performans gösterge sayfası şekil 7'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 7: Ekipma performans gösterge sayfası

Erdemir'de toplam ekipmanların % 59,81'inin performansı değerlendirilmektedir.

2.3. Yasal Ekipmanların Koruyucu Bakım Tanımlaması

Erdemir'de varlıkların sınıflandırılmasına göre yapılacak bakım metodları belirlenmiştir. Özellikle süreç bazlı sınıflandırma sonrasında ekipmanlara yapılması gereken bakım tipi önerisi sisteme tanımlanmış ve ekipman değerlendirme ekranında uygun bakım tipi belirtilmektedir.

Yasal ekipmanlar için belirlenen bakım periyoduna uygun olarak tüm yasal kapsam sınıfları için teknik periyodik kontrol (TPK) formları ilgili standartlara göre oluşturulmuştur. Yasal ekipmanlar için oluşturulan TPK formu şekil 8'de gösterilmiştir. Tüm TPK formlarındaki kontrol kriterleri BAYS-Maximo yazılımında ilgili yasal sınıfa göre şablon olarak oluşturulmuştur. Yasal ekipmanın sınıfına uygun olarak her ekipman için koruyucu bakımlar tanımlanmıştır. Koruyucu bakımlar yasal kapsamda hazırlandığı takirde özellikle seçim yapılarak yasal koruyucu bakım olarak işaretlenmektedir. Koruyucu bakımlarda belirlenen kontrol periyoduna bağlı olarak her ekipman için ayrı ayrı olmak üzere otomatik koruyucu bakım iş emri oluşmaktadır.

ENDÜSTRİYEL KLİMA TEST VE KONTROL RAPORU

OYAK MADEN METALÜRJİ

Form No	: ERD.FRM.0840	Revizyon No :	1
Yürürlük Tarihi	:12.11.2021	Sayfa No :	1/1

TANITIM VE TEKNİK ÖZELLİKLER

Ünitesi :	**Masomer:**
Tesisatın Bulunduğu Yer yada Tanım Numarası yada Adı:	**Üretici Firma:**
	Üretim Tarihi:
	Ekipman Kapasitesi:
Ekipman tipi: ENDÜSTRİYEL KLİMA SİSTEMİ	**İşletme Gerilimi:**
Test/Kontrol Periyodu: BİR YIL	**Test / Rapor Tarihi:**

UYGULANAN TEST METODU:	**AÇIKLAMALAR: (TESPİT VE DEĞERLENDİRME)**
Çalışan Sistemin İzlenmesi:	Sistemde kullanılan soğutma gazı:
(Normal olmayan ses ve vibrasyon kontrolü)	Sistemde bulunan kompresör miktarı(adet) / kapasiteleri(kW):
Tahribatsız Testler	
Gözle Muayene Testi	Sistemin soğuttuğu hacimde izolasyon eksiği var mı? (Camlar ve kapılar tam kapanabiliyor mu? Soğuk havanın hacim dışına kaçmasına neden olacak bir durum var mı?)
Diğer Test Metodları	
Duran ve enerjisi kesilmiş sistemin elektriksel ve mekanik olarak kontrol edilmesi	

KONTROL EDİLECEK HUSUSLAR	**Evet**	**Hayır**
Sistem tanıtım etiketleri mevcut ve okunabilir mi?		
Sistemde bulunan tüm kompresörler çalışıyor mu?		
Kompresör gaz basınçları normal mi?		
Kompresör yağ seviyeleri normal mi?		
(Su soğutmalı kondanser) Su filtreleri temiz mi?		
(Su soğutmalı kondanser) Su kaçağı var mı?		
(Hava soğutmalı kondanser) Kondanserler temiz mi?		
(Hava soğutmalı kondanser) Kondanser fanları çalışıyor mu?		
Sistemde çalışan tüm hareketli ekipmanların herhangi birinde normal olmayan ses / vibrasyon var mı?		
Sistem ekipmanlarının mekanik bağlantı ve sabitleme parçalarında aşınma / gevşeme var mı?		
Sistemi taşıyan bağlantı noktaları sağlam mı?		
Sistem kumanda şalterleri / butonları (ve varsa göstergeleri) çalışıyor mu?		
Elektrik bağlantı noktalarında, klemens ve genel kablo izolasyonlarında hasar var mı?		
Elektrik panleri düzenli ve hasarsız mı?		
Elektrik devre şeması var mı? (varsa güncel mi?)		
Elektrik devre şeması ulaşılabilir mi?		

İKAZ VE TEKLİFLER	**SONUÇ VE KANAAT**
	../../20... tarihinde TPK'ya tabi tutulan ..... yapılan kontrol ve testler sonucu (ikaz ve teklifler hanesindeki maddelerin giderilmesi durumunda) sağlık ve güvenlik açısından uygun bulunmuştur. İşbu rapor Klima Sisteminin bir sonraki periyoda kadar güvenli olarak görev yapabileceği kanaati ile düzenlenmiştir. İşbu form Bilgi Güvenliği Sistemi kapsamında tutulan cihazların kontrolünde kullanılmak üzere oluşturulmuştur.

TEST VE KONTROLÜ UYGULAYAN YETKİLİ ELEMANLAR

ADI SOYADI	**GÖREV ÜNVANI / MESLEĞİ/DİP. NO/ DİP.TAR.**	**PERSONEL NO / EKİPNET NO**	**İMZA**
	Elektrik Bakım Müh./Elektrik Müh..		

* Bu formun oluşturulmasında TS EN 14511 standardı göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 8: Teknik Periyodik Kontrol (TPK) formu örneği

Ünitelerin yetkin personelinin ilgili TPK formuna göre yaptığı kontrollerin sonuçları ekipmanın üstünde açık bulunan iş emrine kriter bazında uygun/uygun değil olarak girilmektedir. TPK formu yaş imzalı olarak taranarak iş emrine eklenmektedir.

Yasal kapsamdaki; basınçlı kaplar, kaldırma ekipmanları, iş makinaları ekipmanlarının kontrolü için TSE firmasından hizmet alınmaktadır. BAYS-Maximo yazılımında TPK için açılan işemirlerine TSE firmasının verdiği raporlar eklenerek kapatılmaktadır.

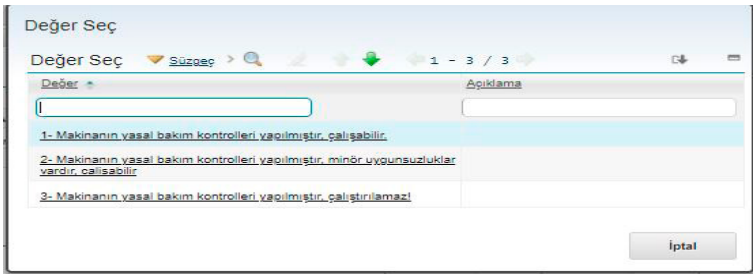
Kontrol sonucuna göre ekipmanların durumu,

1 - Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmış, çalışabilir

2- Makinanın yasal bakım ve kontrolleri yapılmıştır, minör uygunsuzluklar vardır, çalışabilir

3- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmıştır, çalıştırılamaz!

şeklinde işaretlenmektedir. Yasal ekipmanların sonuç seçim ekranı Şekil 9'da gösterilmekedir.



Şekil 9: Yasal ekipmanların sonuç seçim ekranı

Kontrol sonucunda uygunsuzluk tespit edilen kriterler için sistem tarafından iş bildirimi açılmaktadır. İş bildi-

rimi ilgili bakım birimi tarafından iş emrine dönüştürülerek uygunsuzluk giderilerek iş emri kapatılmaktadır. Uygunsuzluk giderildikten sonra tekrar kontrol iş emri açılarak ekipmanın kontrol sonrasındaki son durumu girilmektedir. Dışarıdan alınan kontrol hizmetlerinde de aynı sistematik uygulanmaktadır.

2.4. Yasal Ekipmanların İSG Yönetim Sisteminde Kullanılması

Erdemir'de tanımlanan tüm ekipmanlar İSG yönetim sistemi ODAK yazılımına aktarılmıştır. BAYS-Maximo yazılımı ile ODAK yazılımı enterasyon halinde olup güncellemeleri günlük periyotlarda aktarmaktadır. ODAK yazılımına yapılacak yeni entegrasyon ile BAYS-Maximo yazılımında gerçekleştirilen yasal ekipmanların TPK kontrol iş emirleri bilgilerinin aktarılması sağlanacaktır. ODAK yazılımında iş izni ekranında TPK kontrolü devam eden ekipmanların bakım faaliyetlerinde kullanılmaması için sistem ikaz verecektir. İSG faaliyetleri kayıtlarının Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı sayfasına aktarılmasında ODAK yazılımı yasal ekipmanlar için BAYS-Maximo yazılımından entegrasyon ile aldığı verileri kullanacaktır.

2.5. Raporlar

Tüm ekipmanlar için gerek süreç gerekse performans raporları ihtiyaçlara göre tasarlanmış ve kriterler bazında alınabilmektedir. Özellikle yasal ekipmanlar için liste raporları, yasal sınıflara göre dağılım raporları direk yazılım üstünden kriterleme yapılarak alınabilmektedir. Liste raporları haricinde;

- Bakım başmühendislikleri KPI raporu
- Yasal ekipman tanımlanma raporu
- Yasal ekipman gerçekleştirme raporu
- Yasal kapsamdaki ekipmanların durum raporu
- Yasal kapsam bakım raporu
- Yasal kapsam koruyucu bakım liste raporu

BAYS-Maximo yazılımından alınabilmektedir. Bunlar dışında ekipmanlar için alınan tüm raporlar, kriter ekranından yasal ekipman seçilerek yasal ekipmanlar için de kullanılmaktadır.

3. SONUÇ

Erdemir'de tüm ekipmanlar sınıflandırılmış, sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri belirlenmiş ve uygulanmaktadır. Yasal ekipmanların teknik periyodik kontrolleri belirlenen periyotlarda BAYS-Maximo yazılımı iş emirleri ile yapılmakta ve sonuçlarına göre aksiyonlar alınmakta, tespit edilen uygunsuzluklar varsa giderilmektedir. Tüm faaliyetler BAYS-Maximo yazılımı ile yasal ekipman ve işemri bazında kayıt altına alınmaktadır. Yasal ekipmanlara ait raporlar istenilen kriterlere göre düzenlenmektedir.

Kısaltmalar:

BAYS-Maximo	*: Bakım ve Atelye Yönetim Sistemi*
TOG	*: Teknik Özellik Grubu*
İSG	*: İş Sağlığı ve Güvenliği*
MTBF	*: İki arıza arası ortalama süre - Mean Time Between Failure*
MTTR	*: Arızalanmış ekipmanın ortalama tamir süresi - Mean Time To Repair*
TPK	*: Teknik Periyodik Kontrol*
TSE	*: Türk Standardları Enstitüsü*
KPI	*: Anahtar/Temel Performans Göstergesi – Key Performance Indicator*

Referanslar:

[1] IBM Maximo yazılımı

ETİ KEK FABRİKASI ONLINE CONDITION MONITORING (OCM) UYGULAMASI

Ali Semih YILDIRIM[1]
Reha ULUSŞEN[2]

[1] Elektrik/Elektronik Bakım Mühendisi – Eti Şirketler Grubu - Eskişehir
alisemih.yildirim@etigida.com.tr
[2] Mekanik Bakım Mühendisi – Eti Şirketler Grubu - Eskişehir
reha.ulussen@etigida.com.tr

ÖZET

Şirketlerin arıza kayıplarının azaltılması, üretim verimliliği ve kalite standartlarının arttırılması kapsamında, izleme sistemleri önem taşımaktadır. İzleme sistemleri ile üretim, bakım ve kalite verileri anlık takip edilebilmekte ve alınan verilerle proaktif çözümler uygulanabilmektedir. Bu çalışmada OCM sistemi kullanılarak, bakım maliyetlerinin azaltılması, arıza sayısı ve süresinin minimuma indirilmesi, enerji, ekipman ve zaman tasarrufu amaçlanmıştır.

OCM sistemi ile, makine ve ekipmanlarındaki oluşabilecek arızaların önlenmesi için titreşim, sıcaklık ve akım gibi durum parametreleri takip edilmektedir. Alınan verilere dayalı olarak gerekli bakım faaliyetleri planlanmakta, iyileştirme noktaları tespit edilmektedir. Yapılan iyileştirmelerle arızaların tekrarlanmasının önüne geçilmekte, bakım maliyetleri azaltılmakta, zaman ve iş gücü tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu bildiride ETİ Şirketler Grubu'nda kullanılan OCM sistemi ile bakım, üretim ve kalite standartlarının arttırılmasına yardımcı olacak çalışmalar ve uygulamalar aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: OCM, SCADA, PLC, izlenebilirlik, verimlilik, dijitalleşme

ABSTRACT

For companies, monitoring systems are very important for reducing breakdown losses, increasing production efficiency and quality standards. By using monitoring systems, production, maintenance and quality information can be followed instantly and with this information, proactive solutions can be applied. This study, it is aimed to reduce maintenance costs, minimize the number and duration of breakdowns, save energy, equipment and time by using the OCM system.

By using the OCM system, status parameters such as vibration, temperature and current are monitored to prevent breakdowns that may occur in machinery and equipment. According to the data received, necessary maintenance activities are planned and improvement points are determined. With the improvements made, the repeat of breakdowns is prevented, maintenance costs are reduced, and time and labor are saved.

In this study, studies and practices will help increase maintenance, production and quality standards with the OCM system which is used in the ETİ Group.

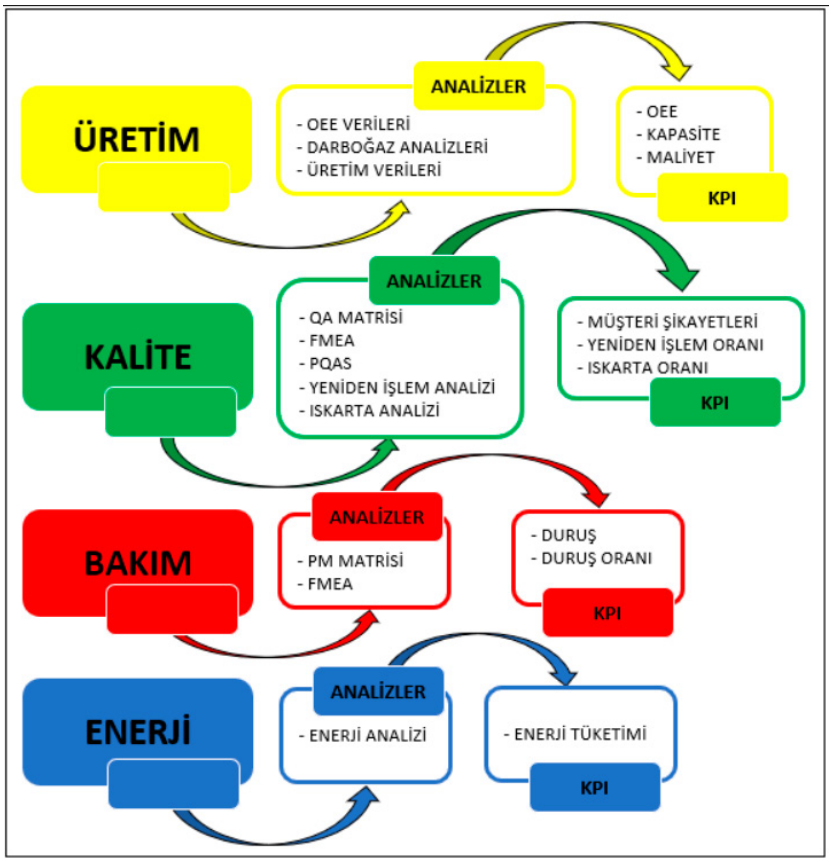
Keywords: OCM, SCADA, PLC, traceability, efficiency, digitalization

ÜRETİM HATLARINDA ONLINE CONDITION MONITORING (OCM) UYGULAMASI

1. ÜRETİM HATLARINDA ONLINE CONDITION MONITORING NEDİR ?

Online Condition Monitoring (durum izleme), çok yüksek kapasiteli üretim hatlarında, tüm proses sürecinin, kalite, bakım, enerji ve üretim planlama verilerinin izlenmesi amacıyla kurulan, tamamen dijital altyapı ile oluşturulan, anlık veri takibinin yapılabildiği, geçmişe yönelik verilerin saklanabildiği bir otomasyon ve yazılım sistemidir. OCM, yüksek kapasiteli üretim hatlarında kadro planı oluşturmak, üretim, kalite, enerji ve bakım dallarında dar boğazların analizi, hijyen, temizlik gibi konularda da veriler sunarak, Endüstri 4.0'ın amaçlarına hizmet etmektedir.

Şekil 1.1' de OCM sistemlerinin akış şeması gösterilmektedir.

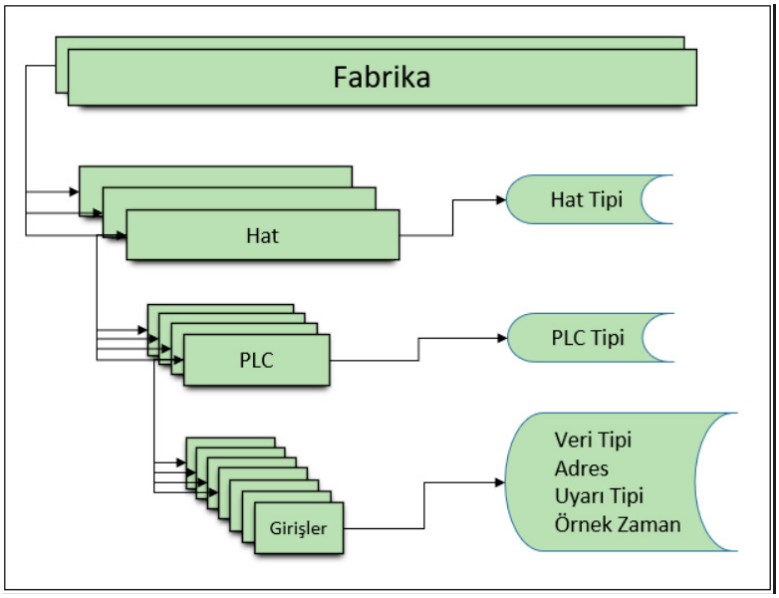


Şekil 1.1

2. OCM SİSTEMLERİNİN ALTYAPISI

Öncelikle makinenin izlenen tüm parametreleri ve proses değerleri PLC üzerinden SCADA sunucusuna alınır ve SCADA sunucusu verileri işler.

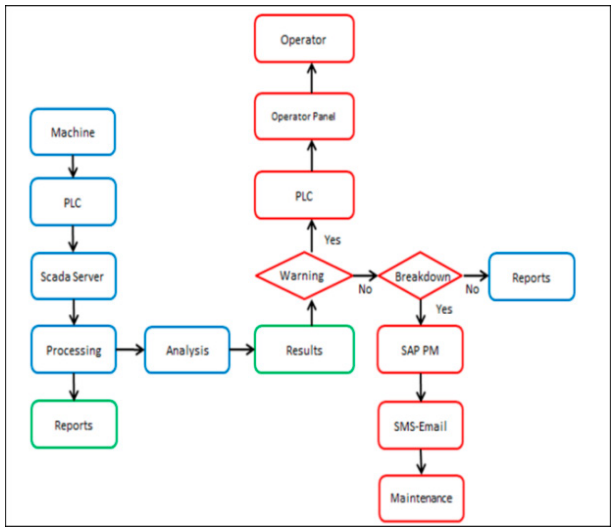
Şekil 2.1' de, OCM sistemlerinin dizaynı gösterilmektedir.



Şekil 2.1

Tüm parametreler ve proses değerleri gerçek zamanlı olarak işlendikten sonra, SCADA sunucusu proses verilerinin analizini yapar, beklenmedik bir durum oluşması durumunda SCADA sunucusu sonuçları görsel ve sesli ikaz vasıtasıyla operatöre aktarır. Ancak makinede herhangi bir arıza olması durumunda, SCADA sunucusu SAP PM modülü ile haberleşerek bakım personeline SMS gönderir. Tüm veriler SCADA sunucusunda veri tabanına kaydedilir.

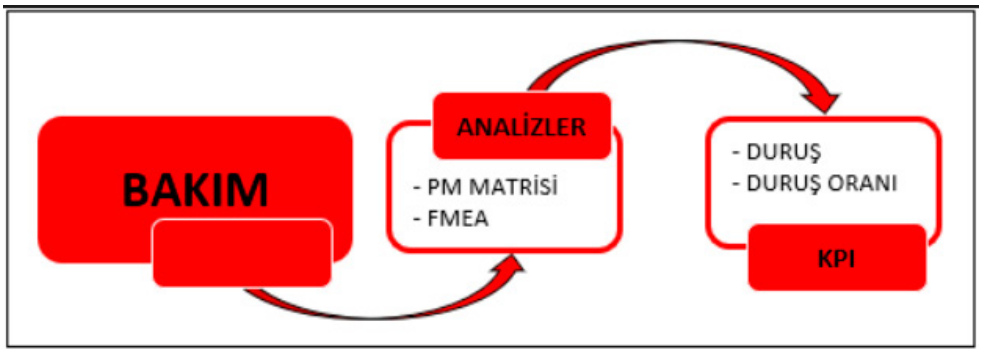
Şekil 2.2' de OCM sistemlerinin proses akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.2

3. BAKIMDA OCM UYGULAMALARI

OCM üzerinden takibi yapılan makinelerde kritik öneme sahip elektrik motorları, pompalar, blowerlar, fanlar, ısıtıcı grupları, akışkan sistemler ve bunun gibi diğer kritik ekipmanların verileri analiz edilerek bakım süreçleri yürütülmektedir.



Şekil 3.1

3.1. MOTOR VERİLERİNİN İZLENMESİ

Elektrik motorları, endüstride en yaygın şekilde kullanılan ekipmanlardan birisidir. İşletmelerde yüksek sayıda elektrik motoru kullanımı, motorların aynı zamanda arıza noktalarından birisi olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle elektrik motorlarının OCM üzerinden izlenmesi, arıza sayısı ve süresinin azaltılmasında önemli bir etkendir.

Şekil 3.2' de, izlenen motorların kritik parametrelerine ait bir tablo gösterilmektedir.

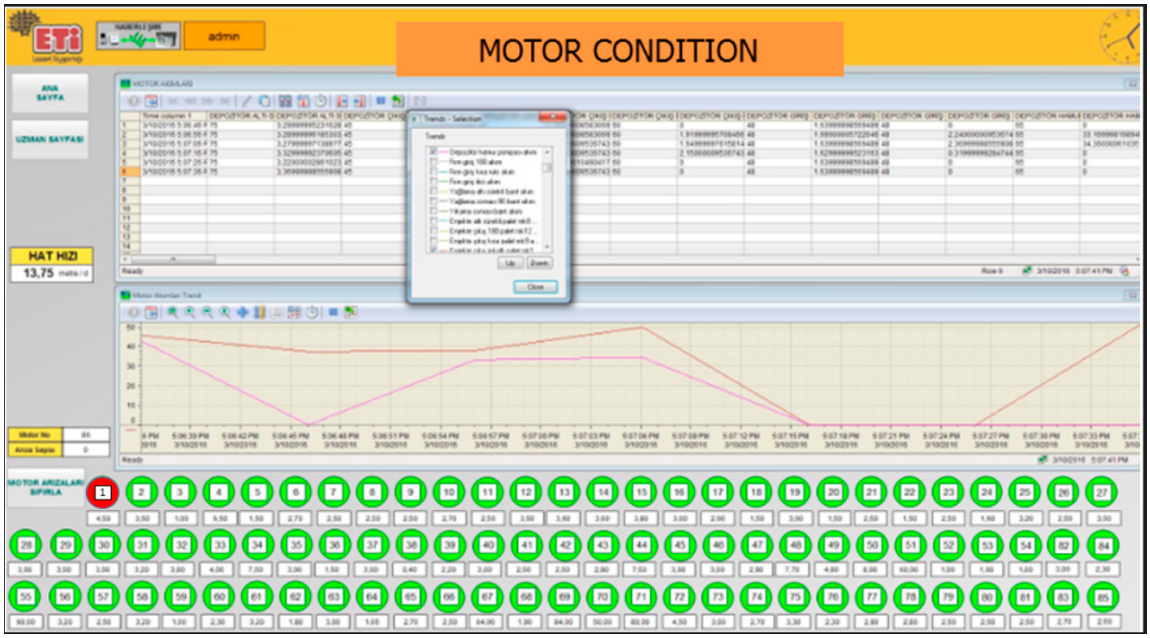
OCM	Ölçülen Veri Tipi	Parametre
Bakım	Akım	158
	Frekans	158
	Basınç	3
	Vibrasyon	16
	Dur-Çalış Hatası	245
Toplam	**5**	**580**

Şekil 3.2

3.1.1 MOTOR AKIM VERİLERİNİN İZLENMESİ

Elektrik motorlarında yüksek akım en önemli arıza nedeni olarak ortaya çıkmaktadır. Makinelerdeki kritik öneme sahip elektrik motorlarının çektiği akımlar, OCM üzerinden izlenebilmektedir. Veriler trend halinde anlık olarak takip edilebilmektedir. Motorların çektiği akımlar baz alınarak limit değerleri belirlenebilir. Limit değerlerin dışına çıkması durumunda; SMS yoluyla bakım ekibine, sesli ve görsel ikaz ile de operatöre bilgilendirme yapılmaktadır.

Şekil 3.3' de izlenen motor akımlarına ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 3.3

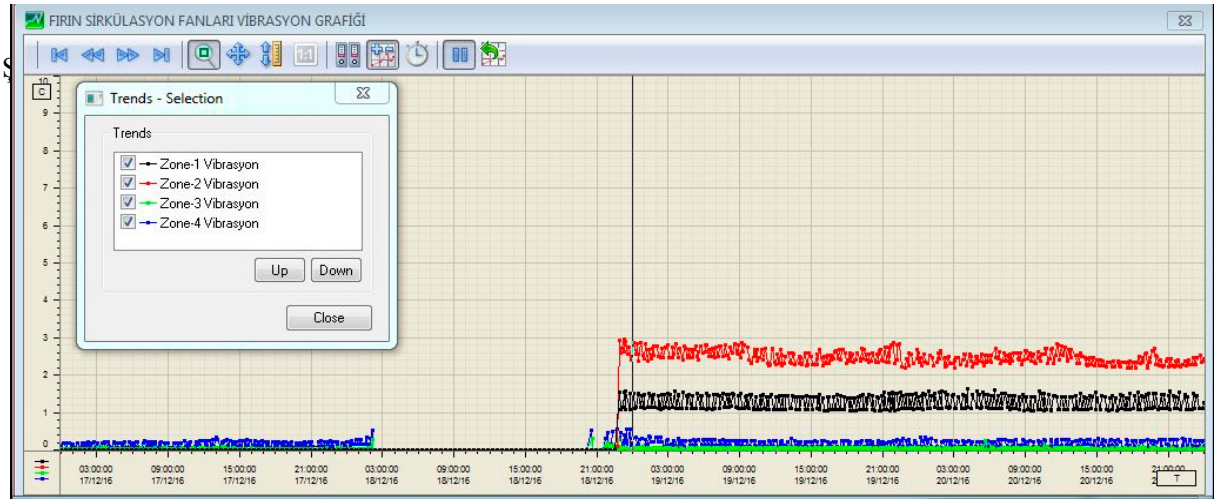
Şekil 3.4' de, OCM sistemin gönderdiği bir SMS gösterilmektedir.

Şekil 3.4

Motorların çektiği akımlarının izlenmesi ve bakım ekibine SMS yoluyla bilgi verilmesi, ekipmanın güvenirliği için son derece kritik bir öneme sahiptir. Beklenmeyen durumların arıza oluşturmasına izin vermeden fark edilmesi ve müdahale edilmesi imkanı sağlamaktadır. Bu da arıza sayısı ve süresinin kısaltılarak bakım KPI değerlerinin olumlu yönde gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır.

3.1.2 MOTOR VİBRASYON VERİLERİNİN İZLENMESİ

Makinelerdeki belirlenen bölgelere yerleştirilen vibrasyon analiz sensörleri ile OCM de vibrasyon değerleri izlenebilmektedir. Ayarlanan limit değerlerinin dışına çıkılması durumunda; OCM makinayı durdurabilir, sesli ve görsel ikaz ile operatörü uyarabilir, bakım ekibine SMS gönderebilir.



Şekil 3.5

3.1.3 SICAKLIK ve NEM VERİLERİNİN İZLENMESİ

Gıda üretiminde pişirme fırını, soğutma tüneli ve stoklama bölgelerinde sıcaklık ve nem verilerinin takibi önem arz etmektedir. Yaşanabilecek herhangi bir olumsuz durumda üretim kaybı oluşmaktadır. Bu sebeple sıcaklık ve nem verileri OCM üzerinden takip edilmektedir. Sıcaklık ve nem verilerinde belirlenen limitlerin dışına çıkılması durumunda OCM, operatöre sesli ve görsel ikaz vermektedir.

Şekil 3.6' da sıcaklık ve nem verilerinin izlenmesine ait bir görsel paylaşılmıştır.

Şekil 3.6

3.2. BAKIM PLANLAMADA OCM

OCM, planlı bakım aktivitelerinde makinelerin çalışma zamanlarını izleyerek bakım takviminin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Çalışma saatlerine göre bakım planı hazırlanarak aşırı bakımın önüne geçilebilir. Böylelikle bakım maliyetleri de kontrol altında tutulabilir.

3.2.1 BAKIM PLANLAMADA OCM ÖRNEKLERİ

Şekil 3.7' de, paketleme makinelerinde paketlenen toplam ürün adetlerinin OCM' de kayıt altına alındığı gösterilmektedir. OCM' de alınan kayıt sayesinde her bir makinenin kaç adet iş yaptığı ve bakım ihtiyaçlarının takibi yapılabilmektedir.

TOPLAM ÜRÜN ADEDİ		MAKİNE HIZI
PAKETLEME-1	2524758	156
PAKETLEME-2	2460654	158
PAKETLEME-3	2358126	152
PAKETLEME-4	2647065	153
PAKETLEME-5	734986	0

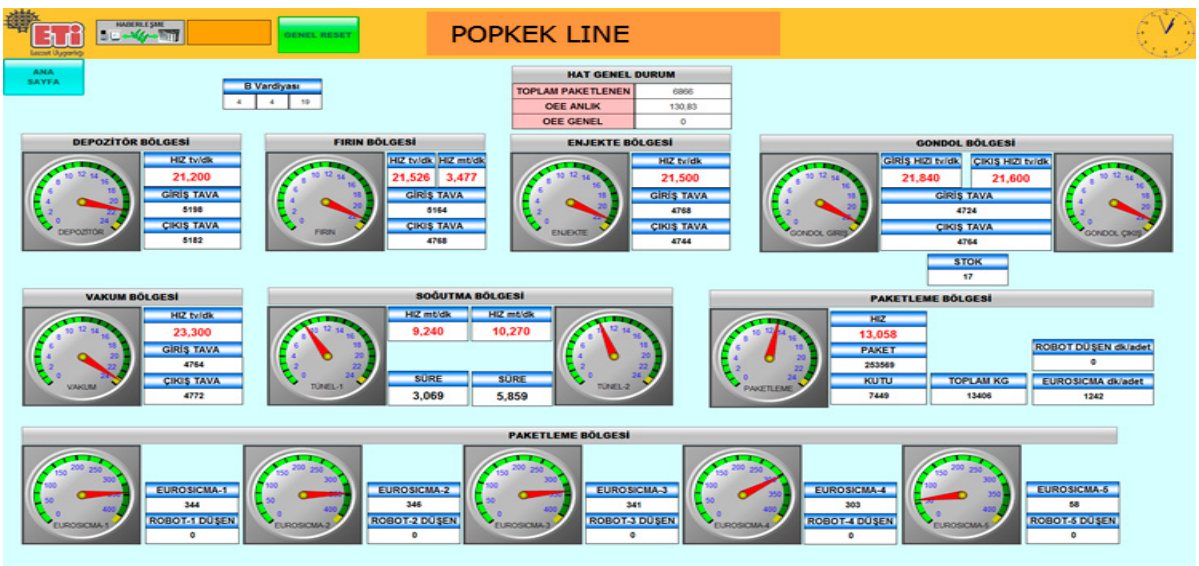
Şekil 3.7

Şekil 3.7' de, paketleme makinelerinin ürettiği ürün adetlerine baktığımızda 5. makinenin diğer makinelere oranla daha az çalıştığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle bakım planı oluşturulurken 5. makine diğer makinelerden ayrı tutularak aşırı bakımın önüne geçilmektedir.

4. ÜRETİMDE OCM UYGULAMALARI

Yüksek kapasiteli üretim hatlarında, hattın verimli çalışılabilmesi için tüm proses adımları, planlanan ve üretilen ürün miktarları, enerji tüketimleri, kaliteli ürün oranı anlık olarak takip edilmelidir. Bu verilerin takip edilmemesi durumunda hattın verimliliği olumsuz yönde etkilenir. Bu noktada planlanan ve üretilen ürün miktarları, enerji tüketimleri, kaliteli ürün oranı anlık olarak OCM üzerinden izlenebilmektedir. Alınan verilerin işlenmesi ile sistem kullanıcıya OEE raporu sunabilir.

Şekil 4.1' de anlık OEE analizi gösterilmektedir.



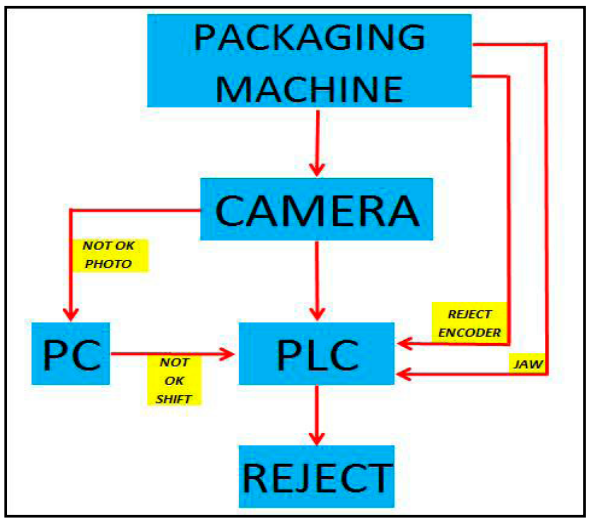
Şekil 4.1

5. KALİTEDE OCM UYGULAMALARI

Üretim hatlarında kaliteli ürün miktarı hattın verimliliğinin artırılması ve müşteri şikayetlerinin azaltılmasında en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. Bu amaçla üretim hatlarında, proses sürecinde kalite kontrol ekipmanları kullanılmaktadır.

Gıda sektöründe; hassas tartım sistemleri, kamera uygulamaları, metal dedektörler ve X-RAY'ler, prosesteki kalitesiz ürünlerin tespiti ve ayrıştırılmasında rol oynayan önemli ekipmanlardır.

Şekil 5.1' de kamera ile yapılan kontrolün akışın şeması gösterilmiştir.



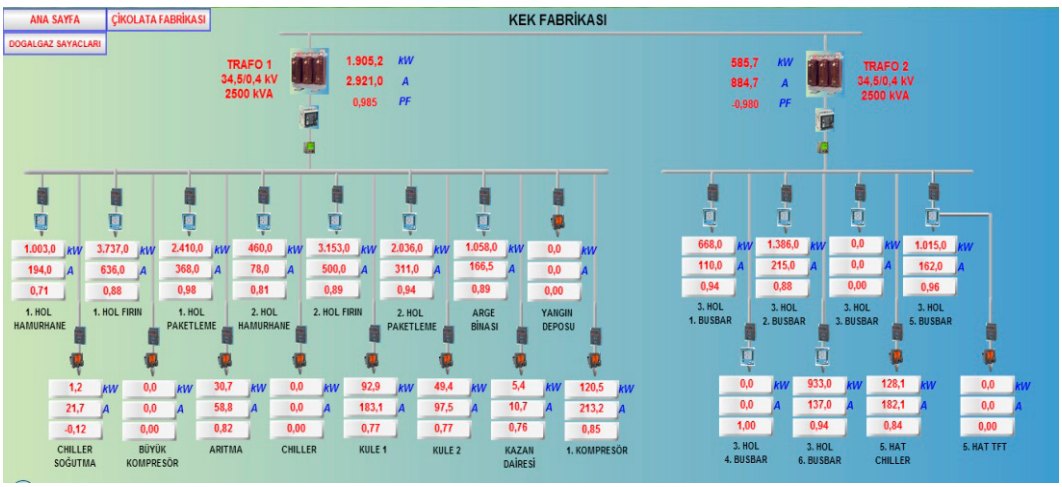
Şekil 5.1

6. ENERJİ TÜKETİMİNDE OCM UYGULAMALARI

Günümüzde artan enerji maliyetleri, üretilen ürün maliyetlerini arttıran bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda, enerji tüketimlerinin takip edilmesi ve tüketimleri düşürmeye yönelik uygulamalar yapılması her geçen gün önem kazanmaktadır.

OCM uygulaması ile üretim hatlarının enerji tüketimleri izlenebilmektedir.

Şekil 6.1' de üretim hattındaki takip edilen enerji tüketim noktalarının tablosu verilmiştir.



Şekil 6.1

7. SONUÇ

İşletmelerde bakım ekibinin birinci önceliği ekipmanların güvenirliliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Gelişen teknoloji ve endüstri sayesinde bakım yöntemleri de değişmekte ve gelişmektedir. Bu noktada, planlı bakım ve kestirimci bakım günümüz bakım metotlarının en verimli olanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Verimli bakım faaliyetleri, makine ve ekipmanların güvenirliğini artırmakta, bakım masraflarını azaltmakta, zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu noktada, online izleme sistemleri ve diğer dijitalleşme uygulamaları bakım faaliyetlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Makine ve ekipmanların izlenebilir olması, 7/24 çalışan üretim hatlarında sıfır arıza hedefine ulaşmak için önemli bir

parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 7.1' de, OCM uygulaması ile izlenen parametrelere ait bir görsel gösterilmektedir.

OCM	ÖLÇÜLEN VERİ TİPİ	PARAMETRE	ALARM
ÜRETİM	Akım	28	110
	Frekans	28	40
	Sıcaklık	24	120
	Basınç	7	10
	Dur-Çalış Hatası	95	10
	Enerji tüketimi	22	0
KALİTE	Sıcaklık	10	10
	Nem oranı	6	4
	Dur-Çalış Hatası	25	0
ENERJİ	Frekans	158	0
	Sıcaklık	24	2
	Enerji tüketimi	20	0
BAKIM	Akım	158	30
	Frekans	158	15
	Basınç	3	25
	Vibrasyon	16	10
	Dur-Çalış Hatası	245	20
TOPLAM	**17**	**1027**	**406**

Şekil 7.1

ÖZGEÇMİŞLER

Ali Semih Yıldırım

1988 yılında Malatya'da doğdu. 2012 yılında Anadolu Üniversitesi Elektrik/Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetten sonra 4 yıl süreyle farklı şirketlerde saha mühendisi ve bakım mühendisi pozisyonlarında çalıştı. 2017 yılında Eti Şirketler Grubunda Teknik İşler Mühendisi olarak başlayan kariyerine Kıdemli Elektrik Elektronik Bakım Mühendisi olarak devam etmektedir.

Reha Ulusşen

1986 yılında Eskişehir' de doğdu. 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetten sonra 4 yıl süreyle farklı şirketlerde Tasarım ve Montaj Mühendisi pozisyonlarında çalıştı. 2015 yılında Eti Şirketler Grubunda, Garanti Yedek Parça Mühendisi olarak başlayan kariyerine Kıdemli Mekanik Bakım Mühendisi olarak devam etmektedir.

FABRİKA ORGANİZASYONLARINDAKİ SİPARİŞ DÖNGÜSÜ İÇİN GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ MODELLEMESİ VE ANALİZİ

İskender ERBİL
Endüstri Mühendisi, Pivot Yönetim Danışmanlığı,
www.pivotdanismanlik.com, info@pivotdanismanlik.com

Bir sistemin amaçlanan çıktıları üretmesi, bu sistemin tek tek bileşenlerinin ve bu bileşenlerin oluşturduğu bütünün(sistemin); yeterliliği, uygunluğu, tutarlılığı ile mümkündür.

Güvenilirlik mühendisliği, sistemleri ve sistemlere ait bileşenleri birbirlerine bağlı üst ve alt bileşenler olarak görür. Her bileşenin performansının, bileşenleri oluşturan sistemin performansına etkisi farklıdır. Bileşenlerin bağlantı tipleri, tasarım ve bakım durumları farklılığın kaynaklarıdır.

Güvenilirlik mühendisliği ile ilgili bir modelleme, bir sistemin güvenilirlik ve iş sürekliliği bakımından tüm senaryolar için tepkilere ne derece hazır olduğunu analiz etmek için gerçekleştirilir. Bu analizlerde her bileşen için senaryolar oluşturulur ve bu senaryolar için sistemde mevcut ve olması gereken faaliyetler belirlenir. Zayıf bileşenlerin bir bölümü kritiktir ve sistemde zayıf halkaları oluştururlar. Bu halkalara ait açıklıkların, problem üretmemeleri için yapısal olarak iyileştirilmeleri gereklidir.

Bu çalışmamızda; yönetim danışmanlığı çalışmalarımıza dayanarak, tipik bir fabrika organizasyonunun sipariş döngüsünün güvenilirlik modellemesi yapılmakta ve bu model çalıştırılarak elde edilen sonuçlar paylaşılmaktadır.

1. Amaç, kapsam, yöntem ve ulaşılan sonuçlar

Güvenilirlik, bir ürün veya sistemin tasarım hedeflerine ulaşabilme seviyesidir. Güvenilirlik mühendisliği; tasarım hedeflerinin başarılı olabilmesi için ürünlere veya sistemlere bilimsel yaklaşımın uygulanmasıdır. Güvenilirlik mühendisliğinin öneminin kaynağı, ürünlere veya sistemlere karşı duyulan sorumluluktur. Bu sorumluluğun yerine getirilmesi güvenilirlik mühendisliği ve bağlantılı önemli konuların anlaşılması ve uygulanmasına bağlıdır.

Güvenilirlik mühendisliğinin, süreç yönetimi ve risk analizleri ile bağlantılarını göstermek, bu çalışmanın amacıdır. Çünkü iş modelleri güvenilirlik mühendisliği bağlantılı olarak değişmekte ve gelişmektedir:

Gelişim seviyesi 1: Süreç bazlı iş sistemleri

Gelişim seviyesi 2: Süreç ve risk bazlı iş sistemleri [1]

Gelişim seviyesi 3: Süreç, risk bazlı ve güvenilirlik temelli iş sistemleri

Yukarıda ifade edilen değişimin nedeni, iş sürekliliğinin kesintiye uğramasının mevcut/olası yüksek maliyetleridir. Bu maliyetlerin öngörülebilir ve kontrol edilebilir olması kuruluşların güvenilirlik mühendisliği çalışmalarındaki başarısına bağlı olacaktır.

Bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlara nasıl neden ulaşıldığı aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır:

Güvenilirlik mühendisliği referanslarını kullanmadan; şimdi ve gelecekte etkin yönetim sistemi çalışmaları yürütmek mümkün olmayacaktır.

Ürün veya sistem bileşenleri arasındaki, bağlılık ve bağlantı biçimlerini doğru belirlemeden, "neleri yapmanın doğru olacağını belirlemek" zor veya hatalı olacaktır.

Bir organizasyonda iş geliştirme çalışmalarında ilk aşama, çekirdek iş çevrimi durumundaki sipariş döngüsünde operasyonel mükemmelliği sağlamaktır. Güvenilirlik mühendisliği kavramlarıyla sipariş döngüsünü modellemeden ve analiz etmeden operasyonel mükemmellik yoluna girilemez.

Güvenilirlik; iş modeli, süreçler ve işlemler olmak üzere tüm yönetim katmanlarında sağlanmalıdır.

2. Güvenilirlik mühendisliği, süreç yönetimi, risk analizi kavramları ve birbirleriyle ilişkileri

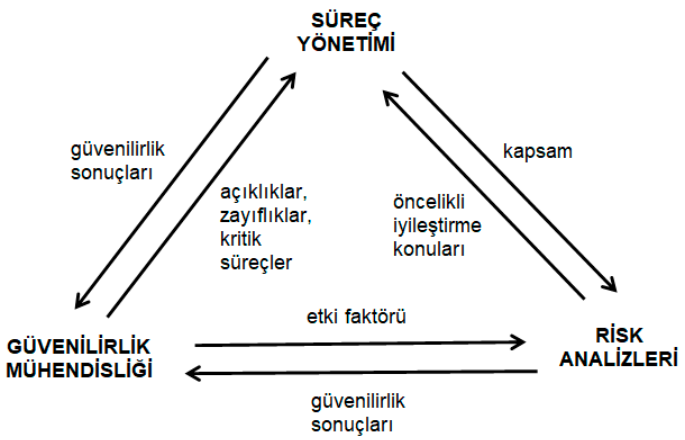
Süreç yönetimi; girdileri çıktılara dönüştüren, birbirleriyle bağlantılı faaliyetlerin yönetilmesidir. Süreç yönetimi, bir ürün veya sistemin; bütünden detaya, detaydan bütüne kapsamının anlaşılmasını ve bu kapsamın yönetilmesini sağlar.

Risk analizleri, tüm faaliyetlere yetecek kaynaklara sürekli sahip olunamayacağı için öncelikli faaliyetleri belirlemek için gerçekleştirilir.

Kontrol listesi, hata türü ve etkileri analizi (FMEA), matris tipi risk analizi, Fine-Kinney risk analizi yaklaşımı, tehlike ve uygulanabilirlik analizi (HAZOP) kullanımı yaygın risk analizi yöntemleridir.

Tüm risk analizi yöntemleri [2], risklerin tanımlanması, risklerin değerlendirilmesi ve risklerin işlenmesi etaplarından oluşur (oluşmalıdır).

Güvenilirlik mühendisliği, süreç yönetimi ve risk analizleri aynı anda kullanıldığında etkili olabilir. (Şekil 1)



Şekil 1: *Süreç Yönetimi - Risk Analizleri - Güvenilirlik Mühendisliği İlişkileri*

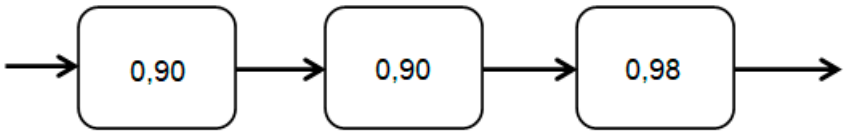
Süreç yönetiminin sunduğu kapsam olmadan risk analizleri eksik bir kapsam için gerçekleştirilecektir. Süreç bazlı risk analizlerinde temel nokta, analizlerin kapsamının eksiksiz olmasını sağlamaktır. Güvenilirlik mühendisliğinin tanımladığı bağlılık ilişkileri, risk analizlerindeki etki faktörüne karşılık gelmektedir.

3. Bağlılık, etkileşim

Bağlılık(dependence); ürün, süreç, süreç bileşenlerinin birbirleriyle bağlı olup olmaması, bağlantı varsa bu bağlantının tipini ifade eder. Bağlantı tipleri; seri (Şekil 2a), paralel (Şekil 2b) veya hem paralel hem seri (karma) bağlantılardır.(Şekil 2c) [3]

Etkileşim (interaction) ise fiziki olarak bağlı olmayan ürün, süreç, süreç bileşenleri arasındaki girdi veya çıktı ilişkilerini tarif etmek için kullanılır. Girdi veya çıktılar; fiziksel veya bilgi hareketleridir.

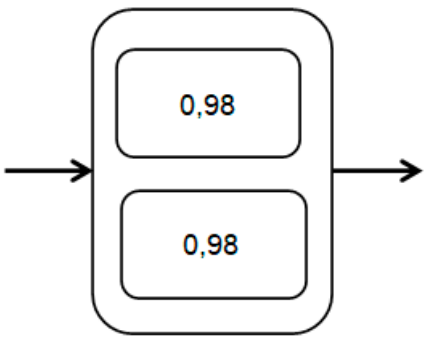
Güvenilirlik mühendisliği ve iş sürekliliği yönetimi [4] çalışmalarında, bağlılık ve etkileşim önemli kavramlardır.



$$R_S = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \ldots \times R_n$$

$$R_S = 0{,}90 \times 0{,}90 \times 0{,}98 = 0{,}7938\ (\%\ 79{,}38)$$

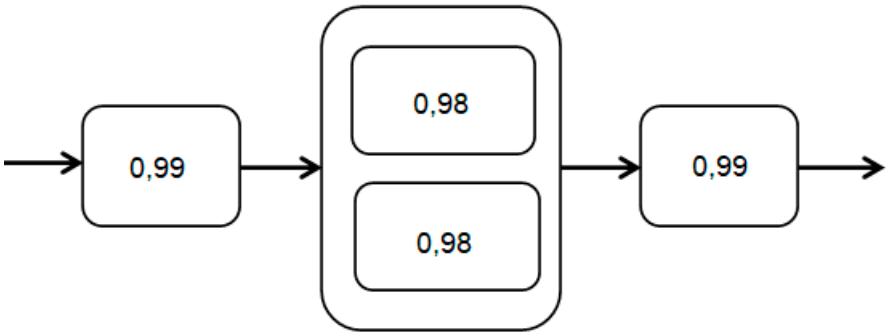
Şekil 2a: *Seri bağlı bileşenlerin güvenilirliği*



$$R_S = 1 - ((1-R_1) \times (1-R_2) \times (1-R_3) \times \ldots \times (1-R_n))$$

$$R_S = 1 - ((1-0{,}98) \times (1-0{,}98)) = 0{,}9996\ (\%\ 99{,}96)$$

Şekil 2b: *Paralel bağlı bileşenlerin güvenilirliği*



R_S= 0,99 x 1- ((1-0,98) x (1-0,98)) x 0,99= 0,9797 (% 97,97)

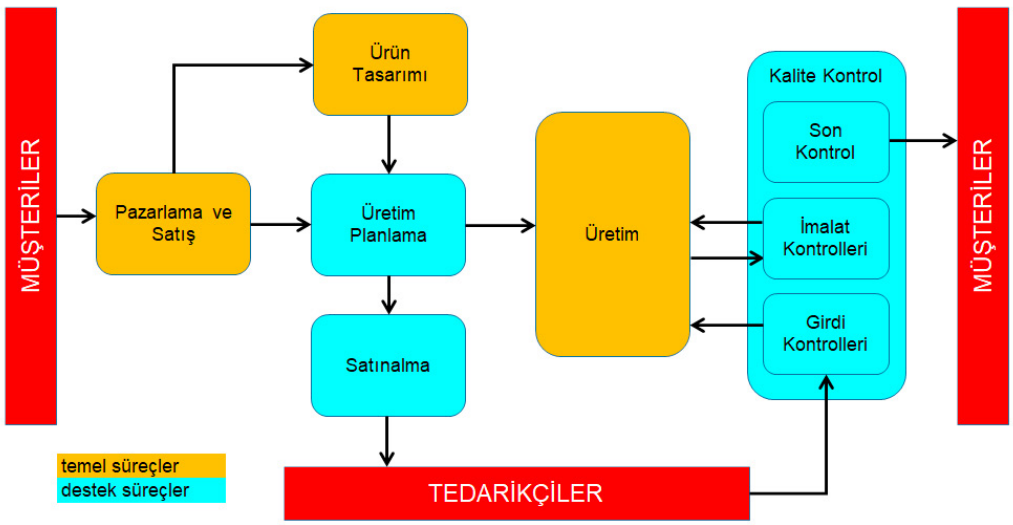
Şekil 2c: *Seri ve paralel (karma) bağlı bileşenlerin güvenilirliği*

4. Sipariş döngüsünün güvenilirliği

Bir üretim/hizmet organizasyonunun operasyonel olarak öncelikli odağı, sipariş çevrimini gerçekleştiren süreçleri belirlemek ve bu süreçlerin doğru çalıştırılmalarını sağlamaktır.

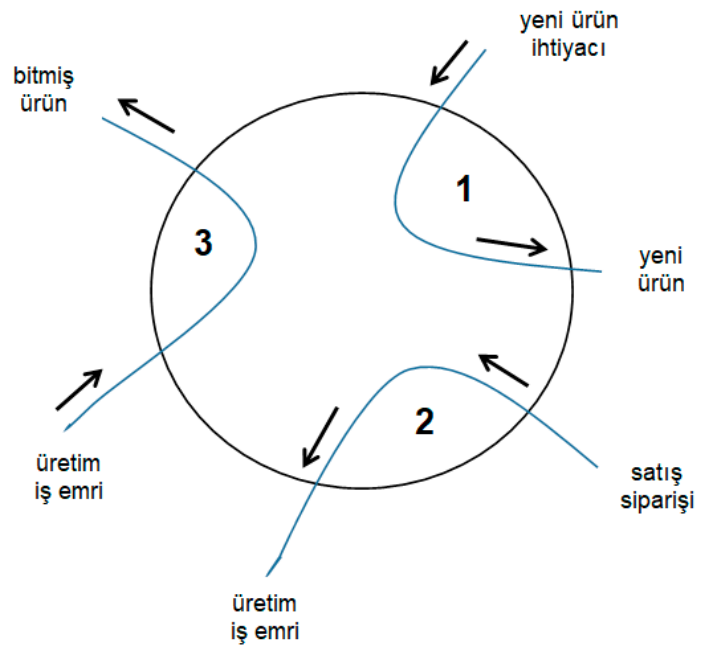
Sipariş çevrimi (Şekil 3), seri ve paralel bağlı süreçlerden oluşur. Burada önemli nokta, bağlantıların tiplerini belirleyebilmektir.

Süreç yönetimi uygulamalarında, sipariş çevrimindeki süreçler; temel ve destek süreçleri olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır. Temel süreçler, müşteri için değer üretirler. Destek süreçleri, temel süreçlerin performansını olumlu/olumsuz yönde etkileme kapasitesine sahiptirler. Temel süreçler ve destek süreçlerinin başarısız olmalarının etkileri aynı değildir. Süreçlerdeki başarısızlığın etkileri; süreçlerin tipi, yeri, sırası ve etkileşimlerine bağlıdır.



Şekil 3: *Fabrika organizasyonlarındaki tipik sipariş döngüsü*

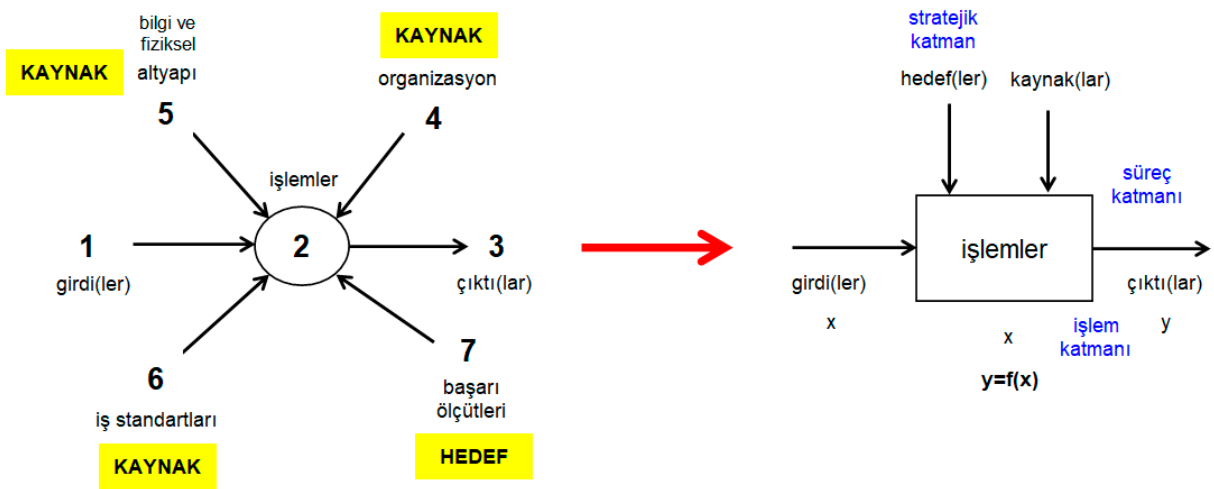
Temel süreçler birbirine seri bağlıdır. Ahtapot diyagramı (Şekil 4) 'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4: *Temel süreçler arasındaki ilişkileri gösteren ahtapot (octopus) diyagramı*

5. Süreç yapısının güvenilirliği

Süreçler; kendi içlerinde ve birbirleriyle, sürekli olarak aynı performans düzeyinde çalışamazlar. Bunun iki temel nedeni vardır: Süreç tasarımları başlangıçta yetersizdir veya mevcut süreç tasarımlarına değişiklikler yansıtılmamıştır. Yetersiz ve geçerli olmayan süreç tasarımları başarısız iş sonuçları demektir. Tek bir sürecin tasarımını "kaplumbağa diyagramı" modeller. (Şekil 5) Kaplumbağa diyagramı bir sürecin stratejik katman ile bağlantılarına da referanslar içerir:

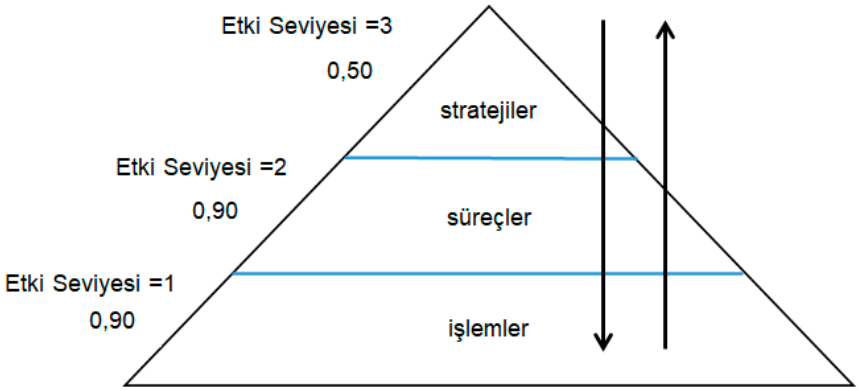


Şekil 5: *Süreç bileşenleri arasındaki ilişkiler*

Süreç bileşenlerinin başarısız olmalarının etkileri de aynı değildir. Süreçlerin ve süreç bileşenlerinin güvenilirliği toplam sistem güvenilirliğini farklı şekillerde etkiler.

6. Doğru stratejileri uygulamanın güvenilirlik mühendisliğindeki karşılığı

Doğru faaliyetleri uygulamak, faaliyetleri doğru uygulamaktan daha önemlidir. En zoru neleri yapacağını bilmektir. Doğru olan nelerin, nasıl yapılacağını tespit etmek daha kolaydır. Doğru stratejiler olmadan, süreçleri ve süreçleri oluşturan işlemleri doğru çalıştırmak başarı getirmez. İş modeli tasarımı doğru olmalı (Şekil 6) ve doğru kalması sağlanmalıdır. (change management)



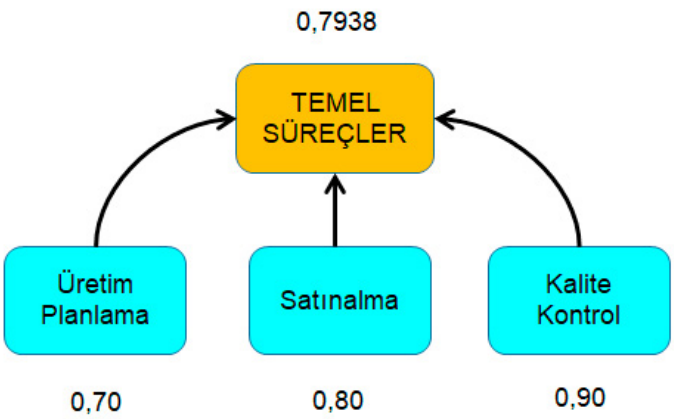
Şekil 6: *Kurumsal başarı için yönetim katmanları*

Kurumsal başarı faktörleri, stratejiler, süreçler ve işlemler birbirine seri bağlıdır. Etki sıralaması; stratejiler, süreçler ve işlemler olduğu için güvenilirliği sağlamak için stratejileri doğru belirlemek her zaman daha önceliklidir.

7. Temel süreçlerin güvenilirliği

Temel süreçleri destekleyen süreçler destek süreçleridir. Temel süreçler ile destek süreçleri "paralel bağlı" olarak çalışır.

Temel süreçlerin ve destek süreçlerin birlikte çalıştığı bir iş modelinde güvenilirlik artar: (Şekil 7)



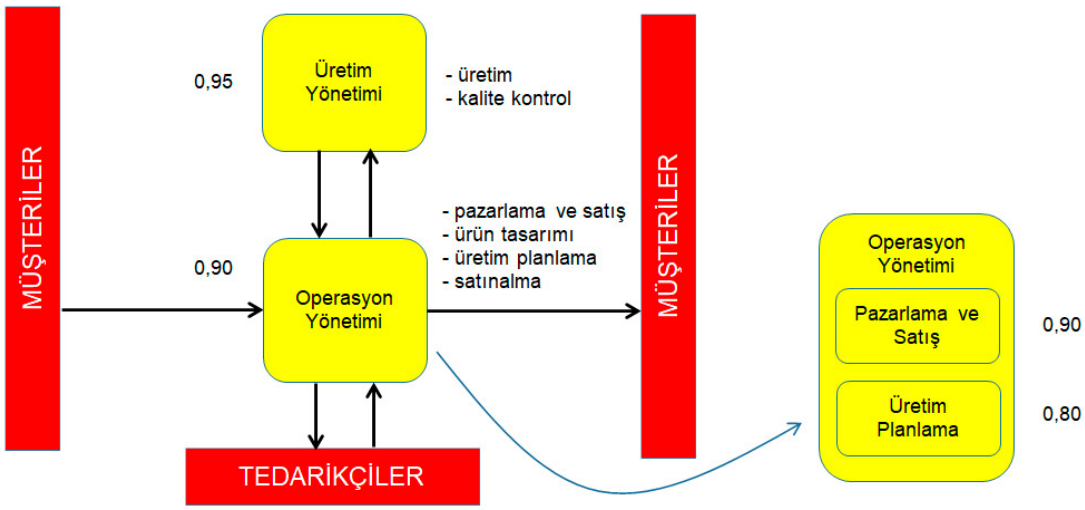
Şekil 7: *Destek süreçlerinin güvenilirliğe katkısı*

R_S= 1- ((1-0,7938) x (1-0,70) x (1-0,80) x (1-0,90)) = 0,9987 (% 99,87)

Birden fazla sipariş almak, birden fazla tasarım yapmak, birden fazla stratejiye sahip olmak gibi paralel bağlantılı faaliyetler güvenilirliği artırmak içindir.

8. Katmanlara bölmek ve yedeklemenin güvenilirliğe etkisi

Katmanlara bölündüğünde ve yedekleme yapıldığında, her bir katman ve yedek birbirine göre paralel bağlantılıdır. Katmanlara bölmek ve yedeklemek güvenilirliği artırmaktadır: (Şekil 8)



Şekil 8: *Süreçleri alt süreçlere bölmenin güvenilirliğe etkisi*

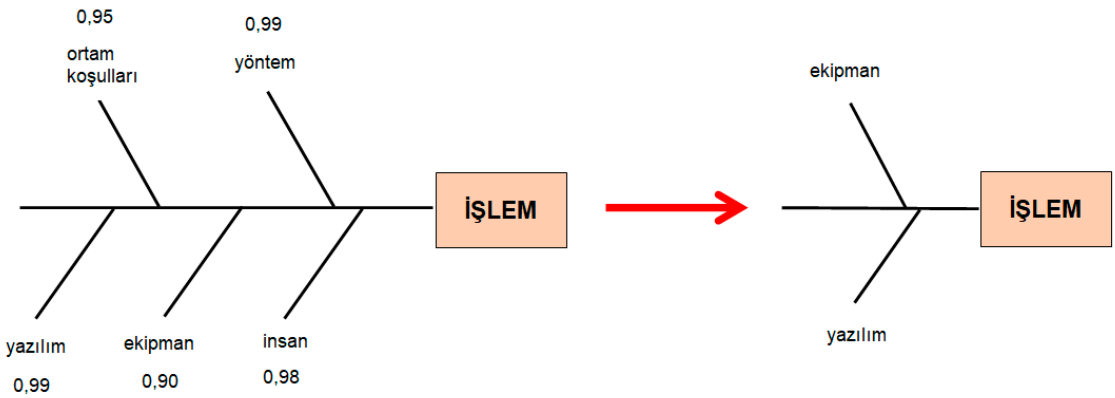
İki temel süreç senaryosunun güvenilirliği: R_S= 0,95 x 0,90 = 0,855 (% 85,50)

Operasyon yönetiminin iki alt sürece bölündüğü senaryonun güvenilirliği: R_S= 1- ((1-0,90) x(1- 0,90)) = 0,98 (% 98)

9. İşlemlerin güvenilirliği

İşlem faktörleri, her işlemde birbirine seri bağlıdır. Her işlemde, farklı bileşen(ler) dominanttır. Operatör ağırlıklı, yazılım ağırlıklı işlem gibi.

4. sanayi devriminde her işlem, ekipman ve yazılım seviyesine indirgenmeye çalışılmaktadır. (Şekil 9)



Şekil 9: *İşlem güvenilirliği ve Endüstri 4.0›un güvenilirlik anlayışı*

Mevcut durum senaryosunun güvenilirliği: R_S= 0,95 x 0,99 x 0,99 x 0,90 x 0,98 = 0,8212 (% 82,12)

4. sanayi devrimi senaryosunun güvenilirliği: R_S= 0,99 x 0,99 = 0,9801 (% 98,01)

Kaynaklar

1. *ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi Standardı*
2. *ISO 31000:2018 Risk Yönetimi Kılavuzu*
3. *Drew Troyer, Noria Corporation, https://www.reliableplant.com/Read/18693/reliability-engineering-plant*
4. *ISO 22301:2019 İş Sürekliliği Yönetim Sistemi Standardı*

FARKLI SEKTÖRLERDE KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR İÇİN MALZEME SEÇİMİNİN BAKIM VE ONARIM SÜRECİNDEKİ ETKİLERİ

Sidem Kaner
Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

ÖZET

Makine ve teçhizat imalatında malzeme seçimi bir sistemin imal edilebilmesi için temeli oluşturmaktadır. Bir malzemenin üretilebilmesi, nihai bir makine ve ekipmana dönüşebilmesi için her şartın özenle gözden geçirilmesi gerekir. Endüstride sürekli çalışan entegre sistemler önemli bir yere sahiptir. Bu amaçla kullanılan makineler için, doğru malzeme seçimi yapılarak elde edilmiş ekipmanların kullanıma alındığı ilk günden itibaren çalışma koşullarına uygun bakım ve onarım planlarının oluşturulması önem arz etmektedir. Bir sistemin bütün olarak çalışabilmesi için en basit parçadan en kompleks parçaya kadar güvenli bir çalışma sürecine dahil edilmesi gereklidir. Kullanılan makine ve teçhizatlar için farklı beklentiler oluşur. Dayanım, hafiflik, tokluk, ekonomiklik, güvenlik vb. gibi kavramların farklı şekillerde beklenildiği ekipmanların sürekliliklerini koruyabilmeleri ve ekonomik ömürlerini sağlayabilmeleri için bakım süreçlerinin planlı ve periyodik koşullar altında yapılmasına önem verilmelidir. Bu çalışma kapsamında farklı sektörlerde kullanılan makine ve ekipmanları oluşturan parçalar için yapılan seçimlerde elde edilen farklılıklar kıyaslanarak doğru malzeme seçimine yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler; Malzeme seçimi, bakım uygulamaları, makine, üretim

GİRİŞ

Malzeme, evrenin varoluşuyla beraber günümüze kadar varlığını sürdüren en önemli yapı taşlarından biridir. Taş, kum, toprak ile başlayan malzemeden ürün elde etme süreçleri birçok devri arkasında bırakarak günümüze kadar farklı amaçlara hitap edecek şekilde geliştirilen ve her geçen gün gelişimine katkıda sunulan bir çalışma alanı, bir bilim dalıdır. Malzeme bilimi geçmişten günümüze şekillenmiş bir çalışma dalıdır. Her mühendisliğin, her teknik birimin kullandığı farklı içerikte malzemeler vardır. Makine mühendisi metali, inşaat mühendisi toprak ve taştan elde ettiği çimentoyu, tekstil mühendisi pamuktan üretilen ipi kullanarak temel malzeme ihtiyaçlarını üreteceği ürünler için kullanabilir. Dolayısıyla etrafımızda yaşam sürecimizi devam ettirdiğimiz sürece kullandığımız her nihai ürün bir malzemeden üretilmiştir.

Mühendislik malzemeleri için özellikle demir, demir dışı metaller, polimerler, seramikler gibi endüstriyel alan için kullanım alanları fazla olan malzemelerde süre gelen bilimsel araştırmalar vardır. Yapılan her çalışmanın teknolojik gelişimlere olan katkısının özellikle, endüstriye yeni içerikli malzemeler kazandırdığı da kabul edilmesi gereken bir gerçektir.

Makine ve metal sanayi birçok farklı ürün içeriğine sahip bir üretim sektörüdür. Bir uçağı, bir otomobili ya da üretim yapacak entegre bir sistemi oluşturmak için her zaman doğru tasarım ve malzeme seçimi sistemin ilk basamağını oluşturur. Malzeme seçimi sürecinde iyi veya kötü malzemeden bahsetmek mümkün değildir. Önemli olan beklentiyi karşılayabilecek optimum özelliğe sahip malzemeyi seçebilmektir. Bir sistemi üretirken makine veya ekipmanın hangi mekanik özelliklere ihtiyacı olduğunu iyi analiz etmek gerekir. Üretilen bir makineden beklentiniz mukavemet, korozyon dayanımı, aşınma direnci veya yeterli emniyete sahip olması gibi kavramlar olabilir. Bunun yanında maliyet, ekonomiklik, arz talep ihtiyaçlarının doğru şekilde karşılanabileceği üretimler gerçekleştirmek de işin ekonomik boyutuna katkı sunar. Dolayısıyla malzeme seçimi ilk aşamadan başlayarak sistemin doğru işleyişi açısından önem arz etmektedir.

Malzeme seçiminde ilk adım çalışma koşullarının durumudur. İhtiyacı karşılayacak malzeme seçimi için malzemelerin karakteristikleri geliştirilerek en iyi performansı elde edilmesi için çalışmalar yürütülür. Yeni kullanıma alınacak ürünlerin numuneler üzerinde çalışmaları tamamlanmış olsa da en iyi karar süreci ürünün üretim koşullarındaki tavrı olacaktır. Çalışma sürecinde ürünlerin kullanıldığı fiziksel ortamın getirdiği sıcaklık, nem, basınç vb. çevre koşulların uzun çalışma sürelerinde oluşturacakları değişimlerin iyi takip edilmesi gerekir [1].

Bakım ve onarım bir sistemin ekonomik ömrü boyunca vereceği hizmete uygun şekilde çalışabilmesi için yapılan bir uygulamadır. Çalışan sistemlerin öncelikle güvenli ve uygun işeyiş içerisinde sistemdeki görevini yerine getirmesi istenir. Bu süreçte doğru bakım tekniğinin kullanılması büyük önem arz eder. Sistem üzerindeki kullanıma bağlı olumlu ve olumsuz verilerin kayıt altına alınması ve bakım süreçlerinde bu veriler doğrultusunda gerçekleştirilen işlemler ile sistemin ekonomik ömrü boyunca en verimli şekilde çalışması sağlanabilir. Ayrıca kullanılan sistemin üreticisi tarafından öngörülen bakım süreçlerinin de bakım tekniğinin oluşturulması ve düzenlenmesi konusunda önemli olduğu unutulmamalıdır.

Bakım sistematik yapıya sahip bir işleyiştir. Dolayısıyla sistemi oluşturan teknik departmanların; üretim departmanı, planlama ve bakım departmanlarının sistematik bir yapı içerisinde çalışabilmeleri doğru süreç takibi açısından önemlidir. Özellikle üretim ile bakım arasında kurulacak doğru iletişim, iyi bir takip ile oluşabilecek arızaların önceden tespiti ve kullanılan modern bakım teknikleri ile sistematik bir düzen kurularak maksimum verimlilikte bir çalışma sürdürülebilmesini sağlar.

1. BAKIM TEKNİKLERİ VE YÖNTEMLERİ

Bakım uygulamaları işletmelerin üretim yöntemleri, çalışma alanları ve işleyiş şekillerine göre sınıflandırılmaktadır. Bakım uygulamaları, işletmenin ihtiyacına ve çalışma şekline göre seçilmesi gereken bir süreçtir. Farklı bakım uygulamaları yine değişen bakış açılarıyla sınıflandırılmaktadır. Örneğin birçok kontrollü bakım yöntemi yanında bakım teknolojileri incelenirken belirtilen arızi bakım aslında arıza sonrası makine ve sistem için gerçekleştirilen bir düzeltme yöntemi iken bakım yöntemleri içerisinde de yerini alabilmektedir. Bu aşamada bakım sürecini temelde sınıflandırdığımızda [2].;

1. **Plansız Bakım**; Bu sistemde makina arıza yaptığında müdahale edilir. Bakım-onarım maliyetleri düşüktür ve bakım onarım için daha az elemana ihtiyaç duyulur. Bu yöntem; çok sayıda yedekleri bulunan, kolay tamir edilebilen ve fazla pahalı olmayan makinelerle üretim yapan tesislerde ve atölyelerde uygulanmaktadır. İşletmede arıza zamanı bakım yapıldığından, onarım esnasında üretim kaybı oldukça fazla olmaktadır.

2. Planlı Bakım: Birçok problem ve arıza planlı bakımlar esnasında belirlenir ve planlı bakım ile bunların iyileştirilmesi hızlı ve maliyeti düşüktür. Planlı bakım sürecinde bir makine ve sistemdeki tüm parçaların incelemeye alınması gerekir. Parça ömürleri arttırıldıktan ve parça ömürleri konusunda hassasiyet yakalandıktan

sonra planlı bakım faaliyetleri daha iyi sonuç vermeye başlar. Planlı bakım kendi içerisinde; periyodik bakım, önleyici bakım ve kestirimci bakım şeklinde sınıflandırılabilir.

Periyodik Bakım: Periyodik bakım ekipman ömrünün uzatılması ve plansız duruşların azaltılmasını hedefleyen, fabrika ve ekipman için yapılan planlı bir bakım türüdür. Bu yöntemde, arızaların çıkması beklenmemekte, sisteme daha önceden periyodik olarak yapılan bakım neticesinde olası arızaların önüne geçilmektedir. Bakım ekibinin deneyimi ve makinelerin geçmişteki performans ve çalışma şartları göz önünde bulundurularak, makinenin hangi zaman aralıklarında durdurularak bakıma alınacağı belirlenmiştir. Aynı şekilde, denetime dayalı olarak bakıma alınan makinede hangi parçaların değiştirileceği belirlenir ve bu parçalar stokta hazır bulundurulur.

Önleyici Bakım: Önleyici bakımda amaç makinaların arızalarını ortaya çıkarmak değil, başlangıçta arızanın ortaya çıkmasını önlemektir. Burada, tasarımda, yağlama sisteminde ve işletme şartlarında yapılacak değişiklikler ile arıza sebepleri ortadan kaldırılabilir. Bu yöntem, arıza olmaması için yağlama, tasarım ve mühendislik hizmetlerinde yoğun bir araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yapılmasını gerektirir. Bu gibi nedenlerden ötürü, bu yöntemin küçük işletmelerde kullanımı sınırlı olmakta; ancak ARGE bölümlerinin bulunduğu büyük işletmelerde daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kestirimci Bakım: Malzemelerin veya hareketli sistemlerin fiziksel özellikleri ile işlevlerinin gerektirdiği durumlara göre, belirli ölçme ve değerlendirme tekniklerine göre yapılan, arıza oluşumunu engelleyen öngörmeli bir bakım uygulamasıdır. Kestirimci bakımda, işletmelerdeki makinalar belli noktalardan izlemeye alınır. Bunun için, bir takım ölçüm cihazları kullanılır. Belli bir zaman aralığında alınan ölçüm sonuçları değerlendirilir. Elde edilen ölçüm değerlerinin eğilimi incelenerek, sistemde oluşabilecek arızalar makine iyi durumda iken bile önceden tespit edilir. Kestirimci Bakım bir cihazın arıza yapmak üzere mi olduğunu ya da durumunun genel olarak hangi safhada olduğunu belirtmek amacıyla teknik bilgilerin analizini sağlar. Problemler daha pahalı ve büyük arızalara dönüşmeden düzeltilirler. Bu yöntem, çalışan sistemi takip ederek olası arızaları tespit ettiği için sistemin gereksiz durmasına ve gereksiz parça değişimlerine engel olmaktadır. Ölçüm değerlerinin eğilimleri analiz edilerek bir planlı bakım programı hazırlanır ve sistem bakıma alınır.

Bakımın doğru şekilde ilerleyişinin sağlanabilmesi için bir politika çerçevesinde sistematik bir uygulama alt yapısı oluşturulmalıdır. Bu aşamada, bakım onarım ekibinin geniş, kullanılan araç sayısının yüksek tutulması gerekir ki, bu şekilde takip edilen bir plan, arızayı yapan bir makinayı o anda tamir edecek ekibin arızaya derhal müdahale etme olasılığının yüksek olması sağlanır. Makinaların boş bekleme süresi kısalır. Buna karşılık bakım onarım ekibinin ve araçlarının boş kalma oranı yüksektir.

Koruyucu bakımla beklenmeyen arızaların oluşumuna bağlı olarak üretimin aksaması yüksek bir oranla önlenebilir. Fakat koruyucu bakım ile zamanından önce değiştirilen parçaların maliyetlerini sağlayacak yararlarla kıyaslama yaparak bir karar verilmesi gerekir. Koruyucu bakım ile sistemde önemli makine ve parçalarının yedeklenerek bulundurulması zaman kaybını önler fakat firmada bulundurulan fazla yedek parça da sisteme ek bir maliyet getirecektir. Bu süreçte, üretimin durması ile ortaya çıkan kayıplarla yedek makinaların maliyetleri kıyaslandıktan sonra karar verilmelidir. Makinaların güvenilirlik derecesini arttırmak da koyucu bakım sayesinde sağlanan avantajlardan biridir. Üretimde kullanılacak makinaların fiyatlarının yüksek, fakat ekonomik ömürlerinin fazla olması bu süreçlerde arıza olma durumunu azaltacak etki yaratacağından sisteme avantaj yaratır [3]. Ekonomik ömrü uzun olan parça tiplerini seçmek ve böylece arıza olasılığını azaltmak mümkündür. Değişecek yedek parçalar için de aynı yol izlenebilir. Daha pahalı ve dolayısıyla güvenilir makine kullanarak arıza kayıplarını azaltmada da bir maliyet kıyaslaması söz konusudur.

2. BAKIM SÜRECİNDE MALZEME SEÇİMİ VE TASARIMININ ÖNEMİ

Makine ve ekipmanın çalışma süresince kullanım amacı, bir tasarım sürecinde belirlenmesi gereken önemli bir ayrıntıdır. Makinenin amacına uygun kullanımı ve ekonomik ömrü boyunca ihtiyacı karşılayacak şekilde hizmet vermesi önemli bir beklentidir. Tasarım aşamasında malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken kavramlar içerisinde mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon dayanımı vb. birçok mekanik

özellik dikkate alınarak malzeme seçimi yapılmalıdır. Fakat öncelikli beklenti olan dayanımın yanında kullanılan ekipmanın ömrünün belirlenme sürecinde, bakım da önemli bir yer tutmaktadır. Ürünün kullanımı boyunca güvenli ve ihtiyacı karşılayacak şekilde kullanılabilmesi için bakım süreçlerinin makine ve ekipmanın üreticisi tarafından öngörülen şekilde yapılması, sistemin çalışma bütünlüğü için gereklidir. Sürecin doğru şekilde belirlenebilmesi için makine imalatı başlamadan tasarım sürecinde yapılan mekanik ve güvenirlilik hesaplarına göre doğru malzeme seçimi önemlidir. Bu süreçte uygulanacak imalat yöntemi de özellikle parçaların üretim yöntemleri, kullanılması planlanan bağlantı şekilleri gibi süreçler makinenin kullanıma alındıktan sonraki bakım ve onarım süreçlerinde, uygun ve optimum süre içerisinde sisteme ihtiyacı olan müdahale için önem arz etmektedir. Bağlantı elemanlarının, sistemi bütün haline getirmek için kullanılan ve sistemle ergonomik anlamda bir bütün oluşturması gereken parçalardır. Dolayısıyla sistem üzerine yerleştirilen bu elemanların rahat montaj ve demontaj şekilleri, sistemin ekonomik ömrünün de artmasına katkı sunan diğer bir noktadır [3].

Makine ve ekipmanların kullanım süreleri içerisinde günlük, haftalık, aylık, yıllık vb bakım ve onarım süreçlerinin yanında bir de özellikle daha güvenli çalışabilmeleri için üreticinin öngördüğü şartlarda sağlanan teknik periyodik kontrol süreçleri mevcuttur. Sistemde uygulanan montaj ve demontaj sürelerinin minimize edilmesi, üretim sürekliliği ve maliyet kayıplarının önlenmesi dikkat edilmesi gereken bir başka noktadır [4].

Makine ve ekipmanın üretildiği malzemeden üretim tekniğine kadar birçok konu bakım sürecine etki eder. Sistemin yüksek sıcaklıkta, basınç altında çalışması, yüksek devirde çalışıyor olması, makine ve ekipmanın üzerine gelen mekanik yükler, çalışma şartlarına bağlı olarak sistemde meydana gelen aşınma ve yaşlanma süreçleri gibi birçok faktörün mutlaka göz önünde tutulması gerekir.

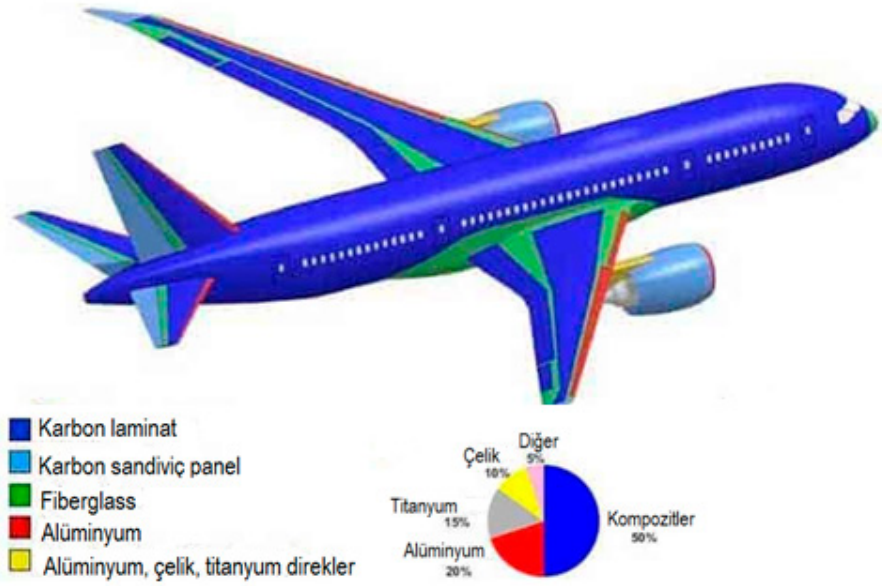
Ekipmanların sahip olduğu işlem ve hareket mekanizmasına göre doğru seçim yapabilmek için malzemelerin de seçim süreci önemlidir. Piyasada birçok mühendislik malzemesi kullanılmaktadır. Genel olarak metaller ve metal olmayan malzemeler şeklinde yapılan genel ayrımda, metal malzeme olarak karşımıza çıkan demir ve demir esaslı malzemeler ile demir dışı metaller olarak kullanılan (ağır ve hafif metaller; bakır, alüminyum, pirinç, nikel, titanyum vb.) mühendislik malzemeleri geniş bir seçim aralığı sunabilmektedir. Tabi ki tasarım ve üretim süreçlerinde malzeme seçimi süreğen ürünler için oturmuş bir kalıp içerindedir. Fakat özellikle günümüzdeki Ar-ge çalışmaları tabanında yeni malzemeler elde edilmesi, özellikle daha önemli ve güvenilirliğin ön planda tutulduğu havacılık, uzay, otomotiv, gemicilik vb birçok sektörde çalışma alanları yaratmaktadır. Bu süreçlerde malzemeden beklentinin tam olarak karşılanması için tek bir malzemeden değil de birden fazla malzemeyi bir araya getirerek elde edilen yeni malzemeler (kompozitler gibi) kullanım açısından oldukça önemli bir yer kaplamaya başlamıştır. Malzeme seçiminde malzemenin uzun süre amacına uygun şekilde kullanılabilmesi ve ekonomik ömür boyunca doğru şekilde sisteme hizmet etmesi gerekir. Bir parça üzerine bakım sürecinde uygulanan montaj ve demontaj süreçleri, o parçaların bu süreçte hasar görmeden bakım sürecinin tamamlanması için avantaj sağlamalıdır. Ayrıca ürünlerin kullanım süreçlerinde bakımdan kaynaklı bir hata oluşmaması açısından da önemlidir.

3. MALZEME SEÇİMİNDE BAKIM SÜREÇLERİNİN ÖNEMİ VE ÖRNEK UYGULAMALAR

Malzeme seçimi sürecinde o malzemeden ve malzemenin oluşturacağı ekipman ürününden beklentinin net olarak belirlenmesi gerekir. Korozyon dayanımı, mukavemet, aşınma direnci, yorulma direnci, yaşlanma süreci gibi birçok konu temel seçim sürecindeki en belirleyici birkaç özellik için örnek verilebilir. Çalışma ortamında malzemenin maruz kalacağı fiziksel, kimyasal ve çevresel faktörleri de göz önünde tutmak gerekir [5]. Bir malzeme seçiminde bir öncelik sırası belirlenmelidir. Mevcut ürünün değerlendirilmesi, konsept geliştirme süreci, planlama ve zamanlama, pazar araştırması, geniş kapsamlı üretim, ürün yaşam döngüsü ve geri dönüşüm gibi her sürecin önemi, yapılacak ürün ve seçimler için farklılıklar ortaya koyar. Bu aşamada özellikle, fizibilite çalışması ve çeşitli tasarım konseptlerinin karşılaştırılması sonucunda nihai bir konsept seçilir. Tasarım, yeni ekipman maliyetinden kaçınmak ve uzmanlıktan yararlanmak için büyük bir çalışma gerektirmez. Mevcut malzeme ve süreçlerle sistem için bir ilerleme sağlanabilir. Uygulanabilir bir tasarım

geliştirilir ve daha doğru tahmin için bir temel olarak geliştirme maliyetleri optimize edilir [6].

Bir uçak imalatı boyunca en önemli etkenler o uçağın güvenli şekilde uzun yıllar amacına hizmet etmesidir. Uçak endüstrisinde kullanılan kompozit malzemelerde yaygın olarak cam, karbon, bor ve polimerik fiberler kullanılmaktadır. Bir uçağı oluşturan farklı içerikteki malzemelerin dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bir uçağın üzerinde farklı malzemelerin kullanım alanları [7]

Bir uçağın temel gövdesini detaylandırdığımızda; kapılar (karbon fiber), kanatçık (karbon fiber), motor (karbon fiber), iniş takımı (karbon fiber), yer panelleri (cam fiber), burun (aramid fiber), iç hava frenleri (karbon fiber), yatay kuyruk (karbon fiber) ve dikey kuyruk (cam fiber) olmak üzere temel 9 ayrı bölümden oluşan bir yapı olduğunu söyleyebiliriz. Tabi ki bir uçağın temel gövdesi kompozitlerden oluşsa da genel olarak iç mekanizmayı oluşturan demir ve demir dışı metaller de mevcuttur. Bu aşamada detaylandırma yapılacak olursa aşağıda bir uçağı oluşturan parçalar için kullanılan faklı malzemeler verilmiştir.

Ultra yüksek mukavemetli çelikler: Dişli takımlar, iniş takımları, küçük dişli çarklar ve civatalar.

Östenitik paslanmaz çelikler: Jet motorlarında az gelişmiş gövde yapı elemanlarında.

Martenzitik paslanmaz çelikler: Döküm veya dövme ile şekillendirilmiş olarak motorlarda.

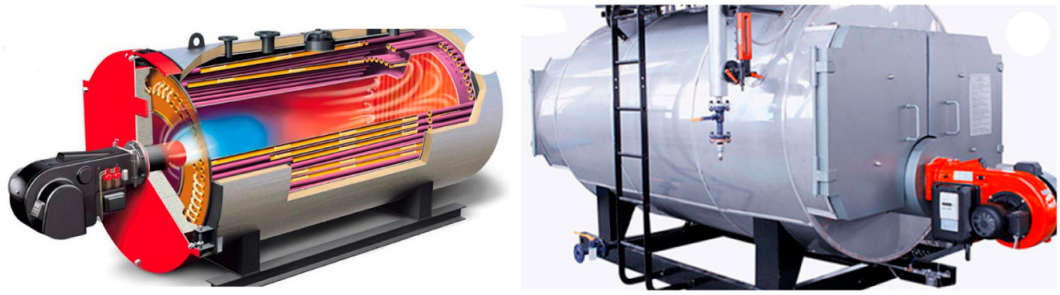
Yaşlandırmayla sertleştirilmiş çelikler: Yüksek mukavemetli bağlayıcılar ve dövme ürünlerinde soğuk çekilmiş ince kesitli basınçlı kaplarda.

Ni- Cr çelikleri: Türbin disklerinde, egzoz elemanlarında, az sayıda uçak yapısında.

Görüldüğü gibi bir uçak üzerinde farklı içerikte birçok malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerin yerleşim durumlarına göre bazı malzeme sonsuz ömürde çalışma kabiliyetine sahipken bazı malzemelerin zamanla değiştirilme ihtiyacı olacaktır. Bakım sürecinde bu sistemlere uygulanacak kontrol süreçlerinde özellikle demontaj kolaylığı olmayan ürünler için tahribatsız malzeme muayene yöntemleri kullanılarak doğru değişim süreleri ya da ekonomik ömürleri hakkındaki verilere göre bakım ve onarım süreçleri devam edecektir. Sistemde kolay demontaj süreçleri, malzemelerin yedekleri ile değiştirilebilme kolaylıkları, istenilen parçalara rahat ulaşılabilirlik gibi durumlar bakım sürecine her durumda olumlu katkı sunacaktır. Burada kullanılan dişli takımlar baz alındığında sürtünmeye, yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalacağı düşünülerek ultra yüksek

mukavemetli çelikler seçilmiştir. Buradaki temel amaç, uzun ömürlü ve güvenilir malzeme seçimi olmuştur. Basınçlı bir sistem altında çalışan parçalar için yaşlandırılarak sertleştirilmiş çelikler seçilmiştir. Burada ısıl işlem uygulamasıyla uzun süre dayanım değerlerini koruyabilen parçalar kullanılmıştır. Bu parçaların ekonomik ömürlerinin yüksek olması sistemsel anlamda bakım sürecine olumlu etki oluşturacaktır. Detaylardan anlaşılacağı gibi her parça için tasarım aşamasından kullanım ve bakım süresi boyunca doğru malzeme seçimi sistemin bütünlüğünü uzun süre koruyabilmesi için önem arz eder.

Endüstride birçok makine ve ekipmanlar ile beraber çalışan basınçlı kaplar mevcuttur. Kazanlar, basınçlı kaplar, kompresörler vb. birçok sistem atmosfer basıncının üzerinde bir basınç ile çalışmaktadır. Özellikle bir çok işletmede makine ve ekipmanlara entegre edilerek çalıştırılan kazan sistemleri önemli bir çalışma basmağını yönetmektedir. Bir kazan sistemi üzerinde o sistemi kontrol etmemizi ve güvenli şekilde çalışma sürecini takip etmemizi sağlayan emniyet mekanizmaları da mevcuttur. Şekil 2'de buhar kazanı gösterilmiştir.



Şekil 2. Buhar Kazanı [8]

Bir buhar kazanını oluşturan genel parçalar [9];

1. ***Ocak:*** Yakacakların yakılarak ısı enerjisinin elde edildiği kısımdır.
2. ***Asıl Isıtma Yüzeyleri:*** Sıcak duman gazları ile buharlaşmakta olan suyun temasta olduğu yüzeyler.
3. ***Kızdırıcı:*** Doymuş ıslak buharın, sabit basınçta ısıtılarak sıcaklığının artırıldığı yüzeyler.
4. ***Buhar Domu:*** Besi suyunun ısı ile buhara dönüştürüldüğü tank.
5. Su Isıtıcıları: Besleme suyunun asıl ısıtma yüzeyine girmeden önce bir miktar ısıtıldığı yüzeyler.
6. ***Hava Isıtıcıları:*** Yakma havasının duman gazları ile ısıtıldığı yüzeyler.
7. ***Baca:*** Duman gazlarını kazandan uzaklaştıran ve çekmeyi sağlayan elemandır.

Bir buhar kazanının güvenli bir işleyiş ile çalışmaya devam edebilmesi birçok parçanın uygun standartlara göre çalışıyor olması ile mümkündür. Hem yüksek basınç hem de yüksek sıcaklığa direnç göstermesi gereken ve korozyon dayanımının da önemli olduğu buhar kazanları için çoğunlukla östenitik paslanmaz çelik malzemeler kullanılarak kazan konstrüksiyonu imal edilebilir. Burada seçilen malzemenin kazandan beklenen ekonomik ömür boyunca hatasız şekilde çalışması beklenir. Fakat bu aşamada kazana uygulanan kaynaklı imalat yöntemi, kaynak dikişlerinin yeterli kalitede yapılmış olması kazan bütünlüğünün sağlanabilmesi için önem arz eder. Burada seçilecek sac malzemenin et kalınlığı bile tasarım sürecinde doğru belirlenmelidir ki zamanla kullanım sürecinde oluşan basınç ve sıcaklıktan dolayı malzemede hasar (çatlak, aşınma, boşluk, korozyon vb.) oluşmasın. Burada seçilecek sacın et kalınlığı çelik içerikli malzemeden üretilen kazanlar için en az 2 mm, farklı alaşımlarla üretilen (demir dışı metal malzemeler) kazanlar için kullanılan metal sacın et kalınlığı en az 3 mm olmalıdır. Tüm bu detayların bu sistemlerin güvenli çalışabilmeleri için tasarım sırasında uygun standartlar (TS EN 12952-12) çerçevesinde seçildiğinden emin olunmalıdır [10].

Bir buhar kazanı üzerinde bulunan manometre, emniyet valfi, su seviye göstergeleri o sistemin güvenli şekilde çalışmaya devam ettiğini anlayabilmemiz için gerekli kontrollerin yapılmasını sağlayan parçalardır. Buhar kazanı üzerindeki mekanik parçaların, ölçü ve kontrol cihazlarının periyodik kontrol ve süreçleri 6331 sayılı İSG kanunu çerçevesinde hazırlanmış olan İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğine [11] göre yılda 1 kere olacak şekilde yetkili personeller tarafından sistemin tümüyle kontrolleri gerçekleştirilerek gerekli sistem bakımları tamamlanır. Bu süreçte ihtiyaç duyulan parçaların değişimleri yapılarak güvenli çalışma süreci kontrolleri sağlanmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makine, imalat, üretim sektörleri endüstri açıdan önem arz eden çalışma alanlarıdır. Her malzemenin üretim koşulları, malzemeden üretimi ve kullanımı süresince beklenilen çalışma performansı, o malzemeden üretilen ürünler için önemlidir. Malzemenin hangi koşullar altında çalışacağı netleşmeden bir tasarım malzemesi seçmek doğru olamaz. Dolayısıyla tasarım sürecinde yüz binlerce farklı malzeme içerisinden ihtiyacı tam olarak karşılayacak malzemeyi seçmek için sistemin çalışma prensip ve koşullarının bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekir. Günümüzde mevcut birçok tasarım programı, tasarım sürecinde doğru malzeme seçimi açısından etkili ve başarılı seçimler yapılmasını sağlamaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki işleyen bir sistemde kullanılacak bir makine parçasının veya bir ekipmanın özellikle kullanıcısına bağlı olarak öngörülemeyen birçok hata ile karşı karşıya kalması, beklenmedik arızalar oluşması da söz konusu olacaktır. Dolayısıyla bir insan faktörünün bulunduğu her aşamada, hata payının mutlaka göz önünde bulundurulması gereklidir. Bir sistemin ekonomik ömrü boyunca doğru ve güvenilir bir çalışma sürdürebilmesi için bakım, bu aşamadaki en önemli basamaklardan biridir. Dolayısıyla malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken sadece çalışma koşulları değil aynı zamanda sistemin sürekliliğini sağlayan planlı bakım ve kontrol süreçleri olacaktır. Malzemenin ömrü boyunca etkili ve yetkin bir ürüne dönüşüp kullanımını sağlaması ve hizmet edebilmesi için çalışma süresi ve bakım sürelerinin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekir. Bir sistem üzerindeki bakım süreçleri en az kullanımı sırasında gösterilen özen kadar olmalıdır ki çalışma süresi boyunca istenilen sürdürülebilirlik sağlanabilsin. Bakım süresinde malzemenin herhangi bir hasara uğramaması için uygun bağlantı yöntemleri ile montaj ve demontaj kolaylığının da sağlanacağı şekilde tasarlanmış olması gerekir. Malzeme üzerine yalnızca çalışma süresince gelecek mekanik yüklerin dışında malzeme seçimi süresince fiziksel ortam şartlarının dikkate alınması gerekir. Bu aşamada dayanım değerleri yüksek bir ürünün korozif bir ortamda bulunması veya makine ekipmanın oluşturduğu yüksek titreşime maruz kalması başta belirlenen mukavemet değerlerinin ciddi oranlarda düşmesine sebep olabilir.

Kaynaklar

- *Fındık, F, Okumuş S.C, Çolak M., Malzeme seçimi ve uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, 2018.*
- *Babacan, U. C., & Meran, C. (2019). Bakıma Yönelik Tasarım ve Uygulamaları. Mühendis ve Makina, 60(695), 119-131.*
- *Küçükodacı S., Meran, C., Güngör, A.,"Bağlantı Elemanı Özelliklerinin Makinelerin Montaj ve Demontaj Edilebilirliği Üzerine Etkisinin Analizi", . Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 22-25 Kasım 2007 Denizli-Türkiye*
- *Güngör, A., Meran, C., "Bağlantı Eleman Seçiminin Bakım Uygulamalarına Etkisi", II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 11-14 Mayıs 2005, Denizli, s 291-303*
- *TEVRÜZ, T. BAKIM TEKNİĞİNE UYGUN TASARIM, Mühendis ve Makina - Cilt: 45 Sayı: 538*
- *Maleque, M. A., & Salit, M. S. (2013). Materials selection and design. Springer Singapore.*
- *https://ucaklar.org/ucak-parcalari/*
- *https://www.stgrupenerji.com.tr/buhar-kazani/*
- *Yeşilyurt, H. (2011). Buhar Kazanı Kontrol Yapıları ve Uygulamaları (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).*
- *Kendir D. (2013). Basınçlı Gaz Tüpleri ile Güvenli Çalışma, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, ÇSGB İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara*
- *https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220218-1.htm*

Özgeçmiş

Dr. Öğr. Üyesi Sidem KANER, 1982 doğumludur. Lise öğrenimini Konya'da tamamlamıştır. 2000-2004 yıllarında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini, 2008 yılında Pamukkale Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini ve 2017 yılında aynı bölümde doktora eğitimini tamamlamıştır. 2004-2009 yıllarında özel şirketlerde makine mühendisi olarak görev almıştır. 2009-2017 yıllarında PAU Honaz Meslek Yüksekokulu İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. 2018 yılından bu yana Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görevine devam etmektedir. Çalışma alanları içerinde; Malzeme Seçimi, Polimer Malzemeler, Toz Metalurjisi ve İş Sağlığı ve Güvenliği konuları vardır. Sidem Kaner evli ve iki erkek çocuk annesidir.

GRUP KOBİLERDE BAKIM OPERASYONLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ, KALİTE ENTEGRASYONU

Vedat BOZKAN
Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi San. ve Tic. A.S.
Kalite Müdürü
Makine Yüksek Mühendisi/A Sınıfı ISG Uzmanı
vedat.bozkan@hktm.com.tr

ÖZET

Küçük ve Orta Büyüklükteki (KOBİ) Endüstri işletmelerinde, bakım operasyonlarının işletmenin kendi insan kaynaklarından faydalanılarak kurulmuş bir standart organizasyon tarafından yürütülmesi güçlükler içermektedir. Özellikle, grup şirketler olarak organizasyon yapısında kurumsallaşan, KOBİ'lerde bakım operasyonlarının üçüncü taraf dar alanda profesyonelleşen taahhüt bazlı çalışan işletmeler tarafından yürütülmesi hemen hemen gelenek haline gelmiş bir yöntemdir.

Bakım operasyonlarının, dış kaynaklardan sağlanması, KOBİ'lerde iki önemli unsurun gözetimini önemli kılmaktadır. Bunlar;

Dış Kaynaklı çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği sürecinin yönetilmesi

Hizmet talep eden KOBİ grup işletmesinin, hizmeti sunan dış işletme arasında Kalite Yönetim sistemlerinin entegrasyonu

Yukarıda anılan iki önemli argümanın, PUKÖ döngüsü esas alınarak süreç planlamasının yapılması, sürecin kontrol ve performans kriterlerinin oluşturulması ve nihai olarak, çalışanların İSG önlemelerinin sağlanması, Kalite Yönetim sistemi argümanların etkin olarak yönetimi için talep eden ve hizmet sunan iletmelerin Kalite Çatısı altında entegrasyonun sağlanması bu çalışmamızla açıklanmaya çalışılmıştır.

Sunumuzda, KOBİ İşletmeler grubu olarak Hidropar işletmelerinde (özgün bakım servis merkezi işletmesi faaliyetleri de dahil), hizmet aldığımız ve/veya hizmet sunduğumuz bakım operasyonlarını İSG ve Kalite Entegrasyonu sağlanarak nasıl yönlendirdiğimiz açıklamak istiyoruz.

Anahtar Kelimeler: Bakım Operasyonları; İş Güvenliği, İş Güvenliği Kültürü, PUKÖ, Kalite Yönetim Sistemleri Entegrasyonu, KOBİ'lerde Bakım Planlaması

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Enerji, endüstri işletmelerinde yüksek maliyet içerikli bir kaynaktır. Bakım operasyonları da, işletmenin ürün sunumuna doğrudan katma değer sağlayan operasyonlar dışında, maliyet merkezli destek operasyonları arasında yer almaktadır. Enerji kullanımı, bakım operasyonlarının girdisi ve maliyet unsuru olarak, minimize edilmesi gerekli bir unsurdur.

Planla – Uygula – Kontrol Et – Önlem Al (PUKÖ) [1] döngüsü ile sürekli gelişimi hedefleyen işletmeler, başarı grafiklerini gün gün yükseltmektedirler. Bu döngü bağlamında planlama kurgusu iyi yapılandırılan süreçlerin hedeflerine ulaşmadaki başarıları da ortadadır. Bakım süreçlerinin planlamasının da doğru bir yöntem içeriğiyle kurgulanması, gerek süreç girdilerinin sürece katma değeri yüksek girdiler olarak katılmasını, gerekse çıktı olarak verimli bir ürün üretilmesine sağlayacağı destek ile, işletme verimliliğine olumlu etki edecektir.

Bakım planlama kurgusunun verimli olarak yapılandırılması, yüksek maliyet girdisi olarak enerji kaynağının da verimli kullanımı ve dolayısıyla enerji tasarrufu konusunda güçlü bir araç olacaktır.

2. TERİMLER

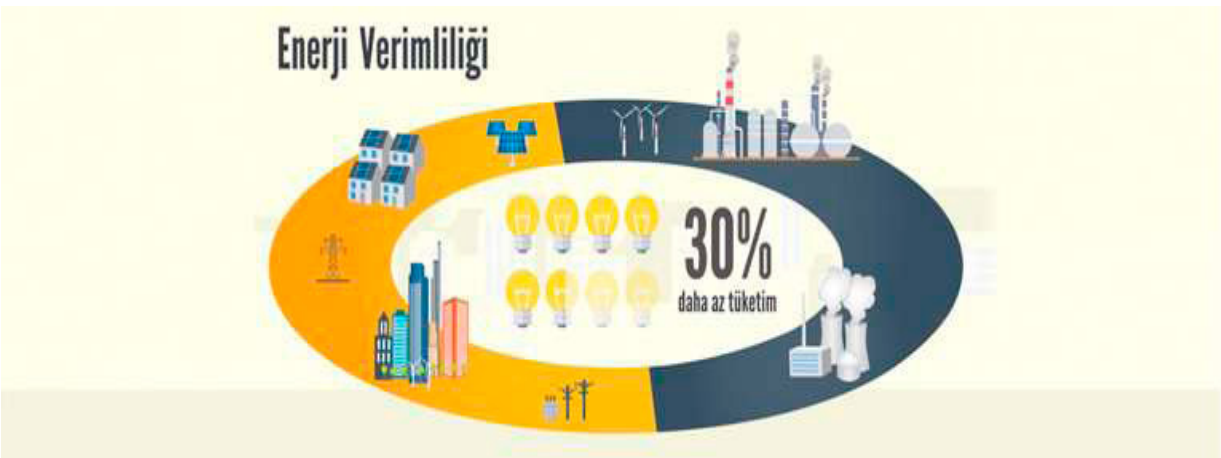
Bakım: Avrupa Standardı EN 13306'ya göre bakım, bir nesneyi kullanım ömrü boyunca kullanılır durumda tutmak veya gerekli işlevi gerçekleştirecek duruma getirmek veya yenilemek için tüm teknik, idari ve yönetsel eylemlerin birleşimidir [2].

Bakım Planlaması: Bakım planlaması, bakım mühendisliği aracılığıyla yapılır. Bakım mühendisliği çalışmaları, temel ve yardımcı fonksiyon çalışmaları olmak üzere iki gruba ayrılır.

Enerji: Fizikte, enerji doğrudan doğruya gözlemlenemeyen fakat kendi konumundan hesaplanabilen fiziksel sistemin geniş ve korunmuş bir özelliğidir [3].

Enerji Verimliliği: Enerji verimliliği, temelde enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek, gereksiz harcamayı en alt düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar olup, enerji arzının azaltılması veya kısıtlanması değildir. Kullanılan enerji miktarının değil, ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır [4].

Enerji Analizörü: Gereksiz enerji tüketimlerini ölçmek için, patentli algoritma kullanarak maliyet hesaplayan güç analizörüdür.



Şekil **1**.*: Enerji Verimliliği [4]*

3. BAKIM MÜHENDİSLİĞİ

Bakım mühendisliği çalışmaları, temel ve yardımcı fonksiyon çalışmaları olmak üzere iki gruba ayrılır.

3.1. Bakım Mühendisliğinin Temel Fonksiyonları

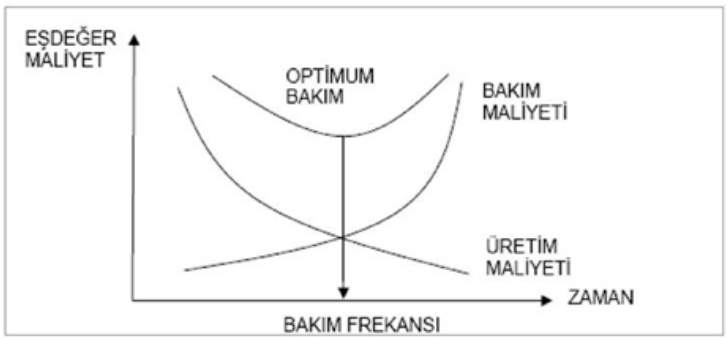
- Mevcut fabrika, makina, araç ve gereçlerin bakımı, korunması ve kontrolü,
- Mevcut makina, araç, gereçlerin ve binaların değiştirilmesi,
- Yeni makina, araç ve gereçlerin yerleştirilmesi ve yeni binaların inşaatı,
- Enerji üretim ve nakil gibi tesisatın kontrolü ve bakımı,
- Bakım hizmetlerinden yararlanma düzeyinin artırılması,

3.2. Bakım Mühendisliğinin Yardımcı Fonksiyonları

- Ambarların korunması ve bakımı,
- Fabrika binasının yangın, patlama gibi tahribata yol açan tehlikelere karşı korunması. Bunun için gerekli olan koruyucu malzeme ve tesislerin bakımı,
- Hurda makina ve araç gereçlerin bakımı ve değerlendirilmesi,
- Çevre kirliliğinin önlenmesi amacı ile atık maddelerin ortadan kaldırılarak değerlendirilmesi,
- Bina, makina, araç ve gereçlerin sigorta ettirilmesi,

3.3. Bakım Faaliyetlerinin Amacı

- Üretim maliyetini düşürmek, verimi ve ürün kalitesini arttırmak,
- Makina duruşlarını azaltarak üretim sürekliliğini sağlamak,
- Önceden hazırlanacak üretim programlarının gerçekleşmesini sağlamak,
- Kapasite kullanım oranının artırılmasını sağlamak,
- Her türlü tesis, makina ve ekipmanın faydalı ömrünü uzatmak ve böylece bu yatırımlar için harcanan sermayeden daha fazla verim elde edilmesini sağlamak, (Enerji Verimliliği/Enerji Tasarrufu)
- Her türlü makina ve ekipmanı kullanan personelin güvenliğini sağlamak,
- Bakım, onarım masraflarını azaltmak,



Şekil **2**. *Optimum Bakım Maliyeti Grafiği [3]*

4. BAKIM OPERASYONLARINDA İŞ(Çİ) SAĞLIĞI VE GÜVNLİĞİ

4.1. Bakım Çalışmalarındaki Kazaların Sebepleri

- Dolaysız nedenler (birinci basamak personele bağlı):
- Arızalı donanım
- Makine veya ekipmanın beklenmeyen hareketi
- Temizlik eksikliği
- Güvenlik kuralları ihlali

Doğrudan ilişkili nedenler (denetleyici personele bağlı):
- Acelecilik
- Yorgunluk
- Dikkat ve odaklanma
- Tehlikeye alışkanlık
- Yetersiz iş özellikleri

Yönetimden Kaynaklanan Sebepler:Acelecilik
- Güvenli bir çalışma sisteminin eksikliği
- Etkili iletişim eksikliği (ör; eğitim, toplantı)
- Etkin uygulama eksikliği

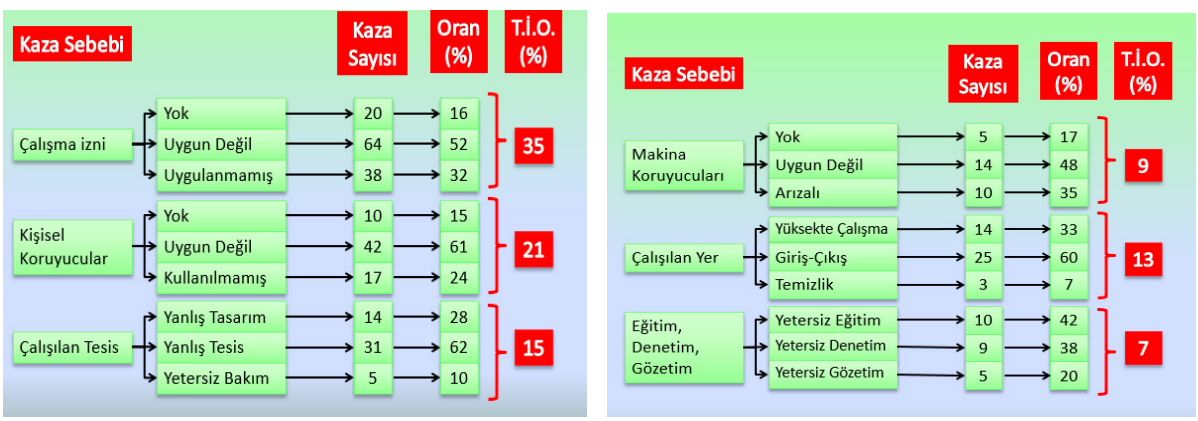
Karmaşıklık ve Beraberinde Getirdiği Risk

Genellikle bakım işi açık olmayıp, önceden belirlenmiş bir talimat ile birlikte karmaşık işlemler içermektedir.

Güvenlik prosedürleri, çalışanların tehlikelere maruziyeti en aza indirmek için adım adım tamamlanmalıdır.

Örneğin; bir ekipmanın bir kısmının kapatılması ya da bir boru hattının vanalarının kapatılması ekipman ya da tesisatın sıfır enerji durumunda olduğunu anlamına gelmez.

Enerji yanlışlıkla serbest kalabilir ve ciddi yaralanmalara neden olabilir.



Şekil **3**. *Bakim Onarim İşlerinde Kaza İstatistikleri*

Tüm kategorideki nedenlerin kombinasyonunun %35 oranında, çalışma izininin ve %21 oranında, KKD'lerin kazalara etki ettiğini ortaya koymuştur.

Eğitim, gözetim ve denetim kaza zinciri mekanizmasında önemli ölçüde etkili olmamıştır.

4.2. Güvenli Bakım İçin Beş Temel Kural:

1-Planlama
2-Çalışma alanını güvenli hale getirme
3-Uygun ekipman kullanma
4-Planlandığı gibi çalışma
5-Son Kontrol

5. BAKIM PLANLAMASI

5.1. Plansız Bakım

Bu sistemde makina arıza yaptığında müdahale edilir. Bakım-onarım maliyetleri düşüktür ve bakım onarım için daha az elemana gereksinim duyulur. Bu yöntem, çok sayıda yedekleri bulunan, kolay tamir edilebilen ve fazla pahalı olmayan makinalarla üretim yapan tesislerde ve atölyelerde uygulanmaktadır [5].

İşletmede arıza zamanı bakım yapıldığından, onarım sırasında üretim, verimlilik ve enerji kaybı oldukça fazla olmaktadır.

Plansız Bakımın Olumsuz Yönleri:

- Arıza her an olabilir.
- Güvenlik riski bulunmaktadır.
- Makina, plan dışı kontrolden çıkarak arızalanabilmektedir.
- Eğer arızanın meydana geleceği kestirilemez ise, üretim planlamasına ters düşecek şekilde elde olmayan nedenlerden dolayı ansızın makina arızası görülebilmektedir.
- Üretim kaybı ve üretim gecikmesi olur.
- Yedek makina bulunmuyor ise, ya üretim geciktirilir ya da üretim tamamen durdurulur.

5.2. Planlı Bakım:

Birçok problem ve arıza, planlı bakımlar sırasında belirlenir ve planlı bakım ile bunların iyileştirilmesi hızlı olur ve maliyeti düşüktür. Planlı bakım çalışmalarının yapılabilmesi ve sonuçların istenen düzeyde iyi olabilmesi için mutlaka makinanın her bir parçasının kontrol altında olması gerekir. Parça ömürleri arttırıldıktan ve parça ömürleri konusunda duyarlılık yakalandıktan sonra planlı bakım çalışmaları daha iyi sonuç vermeye başlar [5].

Planlı bakımın sağladığı avantajlar:

- Güvenli bir çalışma sağlar,
- Makina ömrünün uzamasına yardımcı olur,
- Malzeme ve yedek parça stoklarını en aza indirir,
- Eleman gereksinimini düşürür,
- Kaliteyi arttırır.

Planlı bakım çalışmaları sonucu, bakım sürecinde harcanması olası enerji girdileri de planlanabilir. Enerji girdilerinin önceden kestirilebilmesi, enerji harcamasının da kontrol altında tutulmasını, bu bağlamda verimli enerji kullanımını ve enerji tasarrufunu da beraberinde getirecektir.

Planlı Bakım Programının Hazırlanmasında İzlenecek **Yollar:**

1. Arızaların giderilmesi ve zayıf noktaların iyileştirilmesi,
2. Ekipmanın teknik özellikleri ve geçmişi hakkında bilgi toplanması,
3. Bakım sıralamasının hazırlanması,
4. Yapılabilirlik araştırması,
5. Bilgi yönetim sisteminin kurulması.

6. BAKIM KALİTE YÖNETİM SİSTEMLERİ ENTEGRASYONU

Proje : Enerji Verimliliğinde İzlenebilirlik Kurgusu ve Enerji Tasarrufu Sağlanması

HKTM (Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi A.Ş.)'nde ISO5001 Enerji Yönetim Sistemi bağlamında enerji verimliliğini arttıracak birçok proje kurgulanmış ve uygulamaya alınmıştır. Aşağıda, örnek bir proje paylaşılmaktadır.

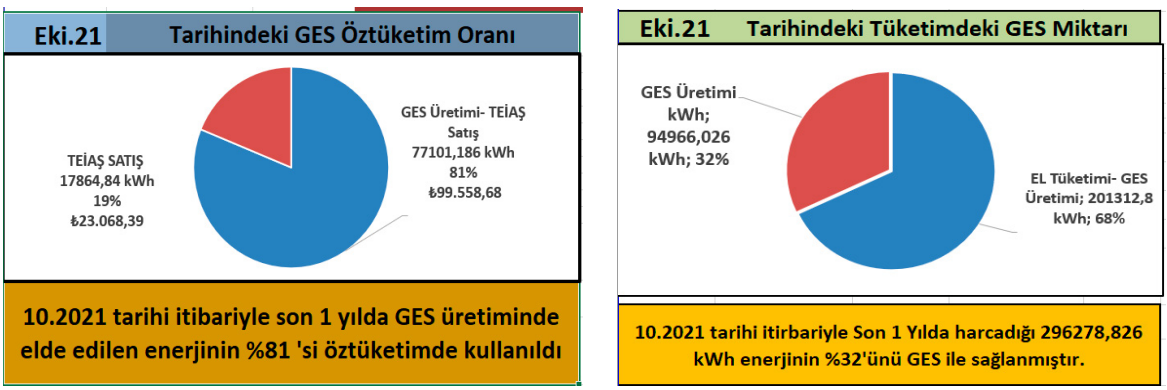
6.1. Enerji Analizörleri ile Enerji Tüketim Merkezleri Belirleme ve Enerji Tasarrufu Sağlama

Çalışmaları:

Enerji tüketim alanları belirlendikten sonra, her bir yüksek enerji tüketim merkezi, Enerji Analizörü ile izleme ve denetim altına alındı.

6.1.1. Mevcut Sistemin İncelenmesi

Güneş enerjisi kullanımıyla elde edilmiş olan g**üneş** enerjisi sistemi kazanım ve elektrik t**üketim** verileri, **Şekil** 3'te verilmiştir.



Şekil **3.** *Güneş Enerji Sistemi Kullanımı Sonucu Enerji Tasarrufu Verileri*

6.1.2. Atanmış Enerji Merkezlerini Tanıma ve Projelendirme

Enerji Tüketim Merkezleri belirlenerek, enerji analizörleri aracılığıyla enerji tüketim verileri toplanmaya başlanmıştır (Tablo 1).

2021 Yılı Verilerinin Detaylı İncelemesi

Tablo 1. *Enerji Tüketim Merkezleri Veri Takip Tablosu*

ENERJİ TAKİP TABLOSU - 2021

KWH	SAYAÇ (192.168.2.xx)	Ocak 21		Şubat 21		Mart 21		Nisan 21		Mayıs 21		Haziran 21		Temmuz 21		Ağustos 21		Eylül 21		Ekim 21		Kasım 21		Aralık 21		TOPLAM	
1	DİĞER	10.156	38%	5.690	24%	12.280	21%	12.316	15%	7.427	48%	9.485	46%	8.428	32%	13.621	34%	12.161	43%	14.071	37%	0	100%	0	100%	105.636	45%
2	ISI MERKEZİ (80)	11.079	41%	11.014	47%	13.300	48%	9.961	49%	1.763	12%	3.191	18%	4.000	28%	5.228	29%	3.551	19%	4.507	25%		0%		0%	67.586	26%
3	KOMPRESÖR (85)	1.832	7%	1.660	7%	2.299	8%	2.098	10%	1.696	12%	1.651	9%	1.515	11%	1.935	11%	2.271	12%	2.337	13%		0%		0%	19.312	8%
7	TALAŞLI İMALAT 1 (84)	379	1%	556	2%	826	3%	553	3%	399	3%	1.194	7%	416	3%	601	3%	545	3%	664	4%		0%		0%	6.133	3%
12	BOYAHANE (91)	914	3%	1.010	4%	1.593	6%	995	5%	541	4%	219	1%	432	3%	891	5%	1.418	8%	1.276	7%		0%		0%	9.289	4%
8	TALAŞLI İMALAT 2 (87)	348	1%	444	2%	593	2%	466	2%	227	2%	634	4%	497	4%	598	3%	576	3%	562	3%		0%		0%	4.944	2%
5	CNC TORNA (83)	163	1%	326	1%	516	2%	227	1%	172	1%	484	3%	237	2%	276	2%	296	2%	323	2%		0%		0%	3.018	1%
6	CNC İŞLEME MERKEZİ (86)	229	1%	184	1%	280	1%	215	1%	219	1%	195	1%	172	1%	363	2%	290	2%	295	2%		0%		0%	2.442	1%
10	ALT KAT SERVER ODASI VE ELEKTRİK ODASI (89)	663	2%	1.232	5%	1.565	6%	2.054	10%	1.897	13%	1.233	7%	1.435	10%	1.082	6%	700	4%	542	3%		0%		0%	12.603	6%
9	GÜVENLİK (88)	675	3%	582	3%	699	3%	459	2%	290	2%	361	2%	552	4%	556	3%	342	2%	542	3%		0%		0%	5.059	2%
4	GRİ SU ARITMA (81)	296	1%	331	1%	344	1%	277	1%	258	2%	289	2%	298	2%	306	2%	300	2%	199	1%		0%		0%	2.897	1%
11	HİDROLİK TEST (90KW A KADAR) (90)	48	0%	188	1%	53	0%	104	1%	83	1%	13	0%	53	0%	126	1%	161	1%	165	1%		0%		0%	993	0%

Sayfa 2

Bulgular

1- Mevcut sistem ile, 12 ana katmana ayrıştırılmış durumdadır ve 11 sayaç üzerinden anlık veri izlemesi yapılmaktadır.

2- Isı merkezi, en yüksek enerji tüketen birim olarak ayrı bir sayaçla izlenmektedir. (Oran: %41)

3- Boyahane, gri su arıtma, kompresör, üç ayrı sayaçla izlenmektedir. (Oran: %11)

4- Güvenlik, server odası ve hidrolik test ünitesi, üç ayrı sayaçla izlenmektedir . (Oran: %9)

5- CNC talaşlı imalat ve hidrolik sistemler üretim üniteleri, dört sayaçla izlenmektedir. (Oran: %4)

Planlanan ve uygulamaya alınan projelerin sonucunda;

• Yeşil fabrikasındaki fotovoltaik paneller ile güneş enerjisinden yılda 100.000 kWh elektrik üretilerek, yılda 92 yetişkin ağacın kurtarılması sağlanmıştır.

• Toprak kaynaklı ısı pompası ile, toprağın altındaki sabit sıcaklıktan yararlanılarak ofis ısıtmasında %40 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

• Hibrid çalışan hava kaynaklı ısı pompasıyla, soğutmada enerjiden %10 tasarruf sağlanmıştır.

• Solarwall sistemiyle, güneş enerjisinden yararlanarak, doğalgazdan %40 tasarruf sağlanmıştır.

• Elektrikli araçlar için şarj sistemi ile, çevreci araçlara öncelik verilmiştir.

• LED aydınlatma, yerden ısıtma, argon gazı ileısı yalıtımı sağlanmış pencereler ve 10 cm taş yünü izolasyon ile enerjin tasarrufu ve çevrenin korunması sağlanmıştır.

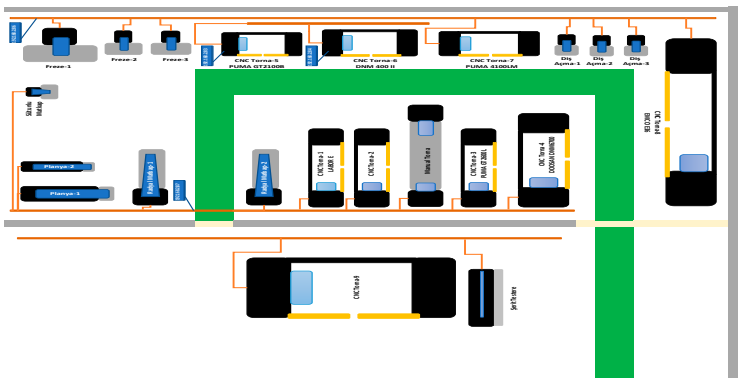
İzlenimler

• Sayaç okunarak veri elde edilemeyen %35 oranında bir tüketim, detaylı olarak veri takibine alınamamaktadır.

• Güvenlik ve server odası, CNC üretim merkezi ile yakın oranda enerji tüketmektedir.

• Yeni alınan ünitelerin tüketim verilerinin, hangi sayaçtan izlendiği net olarak belirlenememiştir.

Yüksek enerji tüketimi olan üretim alanlar, projelendirme alanları olarak belirlenmiştir. Tüketim değerleri elektrik bakım süreçleri içerisinde incelemeye alınarak proje için verilerin toplanması sağlanmıştır. Yerleşim planı üzerinde enerji tüketiminin gerçekleştiği üretim ekipman/tezgâhlarından enerji analizörleri ile elde edilen verilerin analizleri sağlanmıştır. Verilerin yorumlanması sonrasında bakım çalışmalarının planlaması dikkatlice yapılarak, enerji tasarrufu çalışmaları başlatılmıştır.



Şekil **4.** *Enerji Tüketim Merkezi Talaşlı* **İmalat** *(CNC) Alanı Krokisi*

Önümüzdeki süreçte özellikle üretim birimlerinde (CNC Talaşlı İmalat-Hidrolik Sistemler-Mekanik Otomasyon ve Robotik Sistemler) enerji analizörleri yeniden gruplandırılarak %35 mertebesinde izlenemeyen enerji tüketimi verileri yakından izlenebilecektir. Veri analizleri sonrasında enerji yoğun alanlarda ‘’Kök Neden Analizlerinin’’ sonuçları değerlendirilerek, saptanamayan enerji tüketim oranının sıfırlanması planlanmaktadır.

7. SONUÇ

Günümüz endüstri işletmelerinin yüksek maliyetli girdisi olan enerjinin verimli kullanımı, işletmelerin çalışmalarını verimli ve ekonomik olarak sürdürebilmeleri için önemli bir araçtır. Finans yönetiminde, kullanılmakta olan maliyet merkezleri mantığı, enerji tüketim merkezlerini belirleyerek, enerji tüketimini kontrol altına almada önemli bir süreç yönetimi olmaktadır.

Bakım çalışmalarının plansız bakım süreçlerinden, planlı bakım süreçlerine dönüşüm hızına bağlı olarak, enerji verimliliğinin yanı sıra enerji tasarrufu da yüksek oranda sağlanacaktır. Enerji tasarrufunun sağlanması ile beraber, işletme mali kaynaklarının sürdürülebilir işletme çalışmalarına harcanması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKÇA

1. *PUKÖ - Vikipedi (https://tr.wikipedia.org/wiki/PUKÖ), son erişim tarihi: 2022-09-30*
2. *Enerji - Vikipedi (https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji) , son erişim tarihi: 2022-09-30*
3. *BS EN 13306:2017 Maintenance. Maintenance Terminology - European Standards (en-standard.eu)*
4. *Kuloğlu, H. ve Tüfekçier, H., http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Verimliligi, son erişim tarihi: 2022-10-01*
5. *www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/03/bakim-planlamasi.pdf, son erişim tarihi: 2022-10-02*

GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİNDE DEMODELİK YÖNETİMİ

Cihan Polat
Kıdemli RMT Mühendisi, TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. (TEI), Eskişehir, Türkiye
cihan.polat@tei.com.tr

ÖZET

Günümüzde hızla gelişen teknoloji, artan rekabet ve maliyetler, yerel ve/veya global belirsizlikler işletmelerin varlıklarını yönetirken yaşam döngüsü bakış açısını gözetmelerini ve buna bağlı olarak güvenilirlik odaklı mühendislik faaliyetleri yürütmelerini gerekli kılmaktadır. Sistem mühendisliği disiplininin bir alt disiplini olarak tanımlanan güvenilirlik mühendisliği çatısı altında yaşam döngüsü perspektifinin en önemli alt başlıklarından biri de kuşkusuz "Demodelik Yönetimi" dir.

Demodelik yönetimi genel hatları ile ürün, hammadde veya yazılım kaynaklarının ürün yaşam döngüsü süresince kaybı ve/veya kısmi kaybının yönetilmesi olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel sistemlerde gerek üretici, gerek ise kullanıcı tarafında gerekli parçaların, hammaddelerin veya yazılımın üretimi ve/veya desteği durdurduğunda veya hammadde tedariği artık mevcut olmadığında ekipmanın emre amadeliği olumsuz yönde etkilenmektedir. Geleneksel olarak demodelik yönetiminin elektronik öğeler için geçerli olduğu düşünülse de, yazılım ve elektronik olmayan bileşenler (malzemeler ve yapısal, mekanik ve elektromekanik öğeler) dahil olmak üzere bir sistemdeki herhangi bir öğeyle ilgili olarak bir demodelik sorununun ortaya çıkabileceğinin farkında olmak önemlidir.

Bu çalışmada genel hatları ile demodelik yönetimi süreci incelenecek olup bir havacılık firması özelinde değerlendirmeler gerçekleştirilecektir.

1. GİRİŞ

Demodelik; bir ürün, hammadde veya yazılımın orijinal spesifikasyonuna uygun olarak üretici tarafından tedarik edilememesi durumu olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda Demodelik Yönetimi ise kullanıcı tarafında genel hatları ile ürün, hammadde veya yazılım kaynaklarının ürün yaşam döngüsü süresince kaybı ve/veya kısmi kaybının yönetilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Endüstriyel tesislerde demodelik yönetimi, güvenilirlik yönetiminin ve dolayısı ile varlık yönetiminin önemli bir parçası olarak tanımlanabilir. Demodelik kavramı hemen hemen tüm varlıklar için kaçınılmaz olmasına

karşın ne zaman olacağı ve yaratacağı maliyet ve etkileri açısından sonuçlarının ne olacağı belirsizlikler içerir. Bu belirsizlikler sebebiyle, risk düzeyini belirleyerek ve riskleri minimize etmek için gerekli faaliyetleri uygulayarak demodeliğin risk yönetimi bağlamında ele alınması demodelik yönetiminin ana çerçevesini oluşturmaktadır.

2. DEMODELİK YÖNETİM SÜRECİ

Demodelik yönetimi; ürünün yaşam döngüsünün tüm aşamalarında (konsept, geliştirme, üretim, kullanım, revizyon, devreden çıkarma) yönetilmesi gereken bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylelikle demodelik kaynaklı problemlerin sıklığını azaltmak, ve olası demodelik durumlarında önceden belirlenmiş ve hali hazırda uygulanan faaliyetleri uygulayarak riski azaltmak amaçlanmaktadır.

Demodeliğin etkileri ana hatları ile aşağıdaki şekilde kategorize edilebilir. [1]

- Finansal etki açısından; demodelik yönetiminin uygulanmaması işletmeler için beklenmeyen ciddi maliyetler yaratabilir. Bu maliyetler tedarik zinciri aktivitelerinin değişimi, ürünün yeniden tasarlanması, ve/veya test faaliyetlerinin yeniden gerçekleştirilmesi, ürün kullanılarak gerçekleştirilen aktivitelerde spesifikasyonunun ve proseslerin değişimi veya arzın kısıtlanması sonucu ürün sahip olma maliyetinin yükselmesi, vb. şekillerde gerçekleşebilir.
- Operasyonel etki açısından; ürünün kullanılamadığı durumda işletmeler gerçekleştirdiği faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir, üretim yapılan işletmeler ürün üretemeyebilir, ya da köklü değişiklikler yapmak zorunda kalabilirler.
- Regülatif etki açısından; ürünün amacı veya alternatif ürünler çevre, güvenlik vb. açılarından ötürü olarak kısıtlanmış veya belirli regülasyonlara tabi olabilir. Bu durum dolaylı olarak finansal, operasyonel ve itibar açısından etkiler doğurabilir.
- İşletme itibarına etkisi açısından; bir işletmenin ürettiği ürün veya sağladığı hizmetler demode olan bir ürüne bağlı olabilir, veya demode olan ürün kaynaklı ürün veya hizmet sağlayan işletmeler tedarik kaynaklı itibar kaybı yaşayabilirler.

Demodelik yönetimi sürecinin aşamaları genel hatları ile aşağıdaki ilerleyen başlıklarda belirtilmektedir. [1]

2.1. Demodelik politikasının oluşturulması

Demodelik yönetiminin ilk aşaması demodelik planının oluşturulmasıdır. Bu aşamada işletme genelinde demodelik yönetimine katkı sağlayacak tüm rollerin, sorumlulukların ve altyapının oluşturulması amaçlanmalıdır. Buna bağlı olarak yetkinliklerin ve eğitim faaliyetlerinin de belirlenmesi gereklidir. Ayrıca demodelik politikasının işletmenin ürün yaşam döngüsü ve varlık yönetimi politikaları ile uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.2. Demodelik altyapısını ve organizasyonu oluşturmak

Demodelik politikasını hayata geçirebilmek için altyapı ve organizasyonu oluşturmak şarttır. Bu aşamada üst yönetimin atadığı demodelik baş temsilcisi yönetim, izleme, değerlendirme ve koordinasyon faaliyetlerinden sorumludur. Demodelik yönetim organizasyonu bu paralelde baş temsilci liderliğinde oluşturulmalıdır. Demodelik yönetim organizasyonunda görevlerin bazıları tek bir kişi veya sorumlu tarafından gerçekleştirilebileceği gibi kişiler arası / üst yönetim ile, müşteriler ve kullanıcılar ile, üreticiler ve alt yükleniciler ile veya mühendislik, kalite ve finans gibi farklı disiplinler arasında koordinasyonun sağlanması şeklinde de olabilir. Bu altyapı oluşturulurken müşteri ve tedarikçi ilişkileri için devaltyapı oluşturulmalı, ayrıca organizasyonel işbirlikleri de dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

2.3. Demodelik yönetim planının oluşturulması

Bu aşamada demodelik yönetim planı demodelik yönetim organizasyonu paydaşları ile birlikte, dizayn aşa-

masından başlayarak ürün yaşam döngüsü boyunca reaktif ve proaktif yaklaşımları içerecek şekilde aşağıdaki başlıklar kapsamında oluşturulur.

• ***Kapsam:*** Demodelik yönetim planının kapsamı belirlenirken ana üründe bulunan komponentlerin hangilerinin değerlendirileceği, komponent ömür döngüleri, demodelik politikası ve müşteri/tedarikçi gereksinimleri dikkate alınır.

• ***Amaç:*** Demodelik yönetim planının verilerin toplanması, stratejilerin tanımlanması (reaktif/proaktif), izleme, statejik yaklaşım seçimi vb. açılardan amaçlarının belirlenmesi gereklidir.

• ***Veri toplama:*** Verilerin toplama yönetminin belirlenmesi gereklidir. (kalitatif/kantitatif)

• ***Stratejiler:*** Reaktif ve proaktif yaklaşım stratejileri belirlenmelidir.

• ***Planın paylaşımı:*** Demodelik yönetim planı organizasyonda bulunan ilgili tüm paydaşlar ile paylaşılmalı ve kapsam ve amacı açıkca ifade edilmelidir.

• ***İzleme ve takvimleme:*** Demodelik yönetim planı kapsamında izlenecek parçalar için izleme planı oluşturulmalı ve belirli bir takvim dahilinde izlenmelidir.

• ***Çözümleme ve geliştirme:*** Plan dahilinde yapılacak aksiyonlar demodeliği ve maliyeti minimize edecek şekilde uygulanmalıdır.

• ***Planın revize edilmesi:*** Demodelik yönetim planının geliştirilmesi için doğru metrikler ve ölçümler ile raporlanması gerekmektedir.

2.4. Dizayn / Proje aşamasında demodeliği minimize edecek stratejilerin geliştirilmesi

Demodelik yönetim planı iki ana başlıkta izlenmekle beraber (proaktif/reaktif) dizayn veya proje aşamasında dikkate alınacak bazı parametreler ile henüz yaşam döngüsünün başındayken demodelik riski düşürülebilir. Bu aşamada bazı başlıklar dikkate alınabilir.

• ***Kaynak kodları:*** Yazılımlar için dizayn aşamasında lisans, kaynak kodları vb. başlıklar bakım ve gelecek geliştirmeler için saklanabilir.

• ***Malzeme karakterizasyonu:*** Üründe kullanılacak hammaddeler ve işlenmiş malzeler sınıflandırılarak (ham, üretilmiş, veya üretilecek gibi) alternatif tedarikçi, üretici vb. gibi açılardan avantaj sağlanmış olur.

• ***Modülarite:*** Modüler tasarım sayesinde bakım veya tamir işlemleri ortaklaştırılmış olur.

• ***Şeffaflık:*** Bir tasarım pratiği olarak ortak arayüz kullanımı demodelik açısından olumlu olacaktır.

• ***Sürdürülebilirlik:*** Gerek teknoloji, gerek ise hammadde ve proses açısından uzun yaşam döngülerine sahip komponentlerin seçimi demodelik açısından olumlu olacaktır.

• ***Açık kaynak kullanımı:*** Özellikle elektronik komponentlerde açık kaynak temelli komponentlerin seçimi demodelik açısından olumlu olacaktır.

2.5. Demodelik yönetimi yaklaşımının oluşturulması

2.5.1. Risk değerlendirmesi

Demodelik yönetimi yaklaşımı oluşturulurken ilk etapta risk değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Burada amaç, demodeliğin gerçekleşmesinin beklendiği durumu ve bu durumda olası etkilerini birlikte değerlendirmektir. Böylelikle demodelik risk seviyeleri değerlendirilebilir ve reaktif veya proaktif yaklaşım uygulanması kararı verilebilir. Bu kapsamda risk değerlendirmesi yapılırken parça ihtiyaç talepleri, teknolojik değişimler, gereksinimler veya mevzuatta yaşanabilecek değişimler dikkate alınmalıdır. Örneğin periyodik olarak takip edilen ve üretim veya işletme fazında olan parçalar için reaktif strateji tercih edilebilir. Veya civata- somun gibi belirli bir standart ve teknoloji ile üretilen parçalarda reaktif stratejinin tercih edilmesi düşünülebilir.

2.5.2. Demodelik izleme

Demodelik izleme parçanın mevcut stok durumu, ne zaman demode olacağı vb. bilgilerin izlenmesini içermektedir. Etkin bir demodelik izleme, doğru ve detaylı bilgiler içermelidir. Detaylı bilgi edinilemeyen durumlarda veya standart dışı parçalarda belirli piyasa araştırmaları, piyasa trendlerinin takibi yapılması gerekir. Demodelik izleme online (özellikle elektronik parçalar için online çözümler mevcuttur) olabileceği gibi, firma tarafından belirlenen periyotlarda gerçekleştirilebilir.

2.5.3. Seçilen demodelik yaklaşımı için risk değerlendirmesi

Risk değerlendirmesi yapılmadan önce demodelik kapsamında değerlendirilecek tüm komponentlerin listesi yapılmalı ve risk değerlendirme kriterleri oluşturulması gerekir. Bunları takiben değerlendirme için verilerin toplanması ve nihai olarak demodelik olasılığı ve etkileri ortaya konmalıdır. Risk değerlendirmesinin sonucu olarak komponentlerin demodelik yönetimi kapsamında hangi yaklaşım ile değerlendirilecekleri ortaya çıkacaktır. Demodelik yöntemi ana hatları ile iki yaklaşım ile, veya iki yaklaşımın kombinasyonu ile yürütülmektedir. Bunlar Reaktif ve Proaktif yaklaşımdır.

2.5.4. Proaktif demodelik yönetimi yaklaşımı

Proaktif demodelik yaklaşımında bir komponentin demode duruma düşmeden ve demodelik kaynaklı etkiler oluşmadan alınan aksiyonlar ifade edilmektedir. Proaktif yaklaşımda uygulanabilecek aksiyonlar (tasarım değişim, component değişim, ürün yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulacak sayıda tedarik, alternative tedarikçi/component seçimi vb.) risk seviyesi ile orantılı olmalıdır. Bir sonraki bölümde çözüm alteranatifleri ve geliştirmeler detaylı açıklanmaktadır.

2.5.5. Reaktif demodelik yönetimi yaklaşımı

Reaktif demodelik yönetimi yaklaşımında bir komponent demode olana kadar herhangi bir aksiyonda bulunulmaz. Bu yaklaşım demodelik etkisi düşük olan, yaygın ve belirli standartlara göre var olan ürünler için geçerli olabilir.

2.6. Demodelik çözümünün ve geliştirmelerin seçimi

Demodelik yönetiminde ister proaktif, isterse reaktif yöntem tercih edilmiş olsun, alınacak aksiyonlar için bir takım faktörlerin değerlendirilmesi gerekir. Bunlar; demodeliğin nedeni, alınacak aksiyon için fizibilite ve potansiyel maliyetler, tedariğin sürekliliği ve potansiyel gereksinimler, tedarik zamanlaması olarak değerlendirilebilir.

Tüm faktörlerin değerlendirilmesi sonucu demodelik çözümü için alınabilecek aksiyonlar genellikle aşağıda belirtilen başlıklarda olacaktır.

• ***Aynı ürünün tedarik edilmesi:*** Bu noktada mevcut stok, ürünün üreticide üretiminin devamı, yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulacak miktarın tedariği, olası tedarikçi değişikliği (tedarikçi değişebileceği gibi, tedarik edilen firma sahipliği değişmesi vb. durumlar yaşanabilir), tamir edilecek ürünler ve bunlar için anlaşmalar vb. konular, kullanım ömrü sınırlanmış malzemelerin tedariği, bunların muhafazası vb. durumlar ön plana çıkmaktadır.

• ***Yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulacak miktarda tedarik edilmesi:*** Herhangi bir sebeple (ana ürünün yaşam döngüsü boyunca teknolojik ve fonksiyonalite olarak sabit kalacak olması, üründe yaşanabilecek kısıtlamalar, nadir malzemelerin kullanımı, ana üründeki kullanımının az olması kaynaklı üretici zorluklar, vb.) bazı ürünlerden, yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulacak miktarda tedarik edilmesi mümkün olabilir.

• ***Alternatif ürünün tedarik edilmesi:*** Bu kapsamda fonksiyonel ve teknik anlamda muadil ürün tedarik edilmesi dikkate alınacağı gibi alternatif ürün tedariği (minor donanım veya yazılım değişikliklerine veya major değişikliğe ihtiyaç duyulabilir) değerlendirilebilir. (Elektronik parçalar için online veritabanlarında alternatif parçalar için bilgi ve yönlendirmeler bulunmaktadır)

• ***Ürün benzetimi ve tersine mühendislik faaliyetleri:*** Benzetim için orijinal özellikte çalışan bir parça üzerinden çalışma yapılarak mevcut veya tasarım aşamasındaki ürünün benzetimi yapılarak demode ürün ikame edilebilir. Tersine mühendislikte ise mevcut üründen hareketle ve iyileştirmeler yapılarak yeni muadil ürün elde edilmektedir. Her iki yöntem demodelik çözümü olarak değerlendirilebilir.

• ***Dizayn değişikliği faaliyetleri:*** Demodelik çözümü için dizayn değişikliği, genellikle diğer alternatiflerin uygulanabilir olmadığı durumlarda dikkate alınır. Dizayn değişikliği ana üründeki alt bileşenlerde minor modifikasyona sebep olabileceği gibi ana ürünün kendisinde major değişikliğe sebep olabilecek aksiyonları içerebilir.

2.7. Demodelik yönetimi aktivitelerinin performansının ölçümü ve geliştirmeler

Demodelik yönetim planı içerisinde demodelik takibinde kullanılacak performans göstergelerinin de bulunması gereklidir. Böylelikle demodelik yönetim planı ve bu plan kapsamında gerçekleştirilecek aktivitelerin etkinliği ölçülebilir. Bu metrikler şirketlere ve operasyonlara göre değişebilir ve çeşitlendirilebilir. Örnek metrikler aşağıda iletilmektedir.

- Ana ürünün çalışmaması/devrede olmaması kaynaklı maliyetler
- Demodelik yönetimi için kullanılan kaynak (yönetim aktiviteleri, program ve personel maliyetleri vb.)
- Demode duruma düşen parça sayısı
- Proaktif / reaktif yaklaşım sayısı
- Proaktif ve reaktif faaliyetlerin maliyetleri
- Demodeliğin sürdürülebilirlik, desteklenebilirlik, ve emre amadelik üzerindeki etkileri vb.

3. BİR HAVACILIK FİRMASINDA ÖRNEK UYGULAMA

Havacılık endüstrisinde demodelik yönetimi diğer tüm endüstrilerden daha büyük önem taşımaktadır. Havacılık, uzay ve uçak sistemleri, doğaları gereği teknolojik ilerlemelerin ve güvenlik iyileştirmelerinin ön planda olduğu ve talep edildiği sistemlerdir. Buna karşın teknolojinin tedarik edilebilirlik anlamında hızı çoğu zaman birkaç adım geriden gelmektedir. Böyle bir durumda havacılık sektöründe demodelik ve buna bağlı olarak demodelik yönetimi kaçınılmaz bir durum ve gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Demodeliğin komponent veya ürün bazında yönetimi, havacılıkta sürekli uçuşa elverişlilik ve mevzuata uygunluğu sağlamakla birlikte tekrarlı maliyetleri en aza indirmekte ve emre amadeliği en üst seviyeye taşımaktadır.

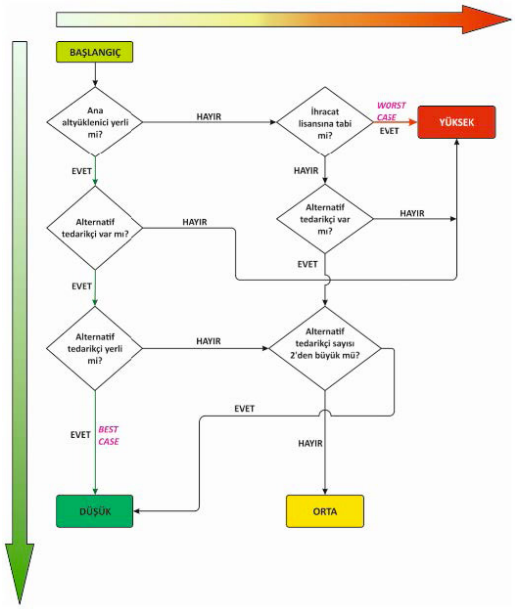
Havacılık endüstrisinde gerek askeri, gerek ise sivil sistemler, ekipmanlar üreten tüm firmalarda demodelik yönetimi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda örnek olarak incelenen firmada da demodelik yönetiminde çalışmalar gerçekleştirilmekte, ve ürünlerin yaşam döngüleri boyunca demodelik yönetim sürecine yönelik gerçekleştirilen faaliyetler, analizler ve sorumluluklar tanımlanmaktır.

Bu bağlamda demodelik politikası tüm paydaşları ve sorumlulukları tanımlanacak şekilde oluşturulmuştur. Şirket içi standart operasyon prosedürleri demodelik yönetiminin amacını, tanımlamaları, görev alacak tüm personeli ve bu personellerin görev ve sorumluluklarını tanımlamaktadır. Ayrıca bu bağlamda gerçekleştirilecek olan raporlamaların da şirket özelinde raporlama prosedürüne uygun olacak şekilde hazırlanacağı belirtilmektedir. Benzer şekilde demodelik prosedürü askeri ve sivil standartlara atıfta bulunmaktadır. Şirket demodelik prosedüründe benzer şekilde yönetim planı da ifade edilmektedir. Bu kapsamda kapsam, risk matrisi, izleme ve raporlama detayları ayrıntıları ile belirtilmektedir.

3.1. Elektronik olmayan parçalar (mekanik, polimer vb.) için demodelik yönetimi

Firmanın demodelik yaklaşımında mekanik parçalar için oluşturduğu üç seviyeli risk matrisi Şekil-1'de gösterilmektedir. Risk matrisi mekanik tüm parçalar için ürün bazında yapılmış olup ürünün veya ürünü oluşturan

komponentlerin parça, malzeme ve proses girdilerini dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Her bir mekanik parça için bu üç başlıkta risk değerlendimesi gerçekleştirilmektedir. Tüm başlıkları içeren ve demodelik analizinde kullanılan tablo ise Şekil-2'de gösterilmektedir.



Şekil-1 Mekanik Parçalar için Risk Matrisi

PARÇA												
Ana Tedarikçi Firma Adı	Ana Tedarikçi Yerli/Yabancı m	Ana Tedarikçi Ülke	Alternatif Tedarikçi var m	Alternatif Tedarikçi Firma Sayı	Alternatif Tedarikçi Yerli/Y	İhracat lisansına tabii mi?	Parça Risk Seviyesi	Alınacak Aksiyon	Alınacak Aksiyon Hedef Tarih	Aksiyon Sorumlusu	Alınan Aksiyon	Alınan Aksiyon Tarihi

MALZEME												
Hammadde Tanımı	Ana Tedarikçi Firma Adı	Ana Tedarikçi Yerli/Yabancı m	Ana Tedarikçi Ülke	Alternatif Tedarikçi var mı?	Alternatif Tedarikçi Firma Sayısı	Alternatif Tedarikçi Yurtdışı mı?	İhracat lisansına tabii mi?	Malzeme Risk Seviyesi	Alınacak Aksiyon	Alınacak Aksiyon Hedef Tarihi	Aksiyon Sorumlusu	Alınan Aksiyon	Alınan Aksiyon Tarihi

PROSES														
Proses Ref No.	Parça Tanımı	Proses Adımları	Ana Tedarikçi Firma Adı	Ana Tedarikçi Yerli/Yabancı mı?	Ana Tedarikçi Ülke	Alternatif Tedarikçi var mı?	Alternatif Tedarikçi Firma Sayısı	Alternatif Tedarikçi Yerli/Yab	İhracat lisansına tabii mi?	Proses Risk Seviyesi	Alınacak Aksiyon	Alınacak Aksiyon Hedef Tarihi	Aksiyon Sorumlusu	Alınan Aksiyon	Alınan Aksiyon Tarihi

Şekil-2 Mekanik Parçalar için Analiz Tablosu

Risk değerlendirmesine göre yüksek risk seviyesinde olan parçalar için proaktif, düşük ve orta seviyede olanlar için ise reaktif strateji izlenmektedir. Bu durumu birkaç örnek ile açıklamak gerekir ise;

• COTS ürün olarak tanımlanan, bir üretici tarafından ticari satışa hazır veya ticari olarak satılan hazır ürünler için tabloda parça kısmı değerlendirilmektedir. Demodelik yönetim planında belirtilen şekilde sorumlular tarafından tabloda sarı ile işaretli kısımlar doldurulmakta ve Şekil-1 de belirtilen matrise göre risk seviyesi ortaya çıkmaktadır. Standart olan tüm parçalar için bu tablo geçerli olacaktır.

• Tasarlanan ve üretim sürecine dahil olan tüm parçalar için malzeme ve proses tabloları kullanılmaktadır. Tablodan anlaşılabileceği üzere bir parça üretim prosesi ya da malzeme açısından, veya her ikisi açısından demode olabilmektedir. Örneğin nadir bulunan, üretim kaynağı azalan veya kıtlığı bulunan malzemeler (detaylı bilgi için DMSMS kavramı incelenebilir) için demodelik yaklaşımı çalışması sonucu parçanın hammaddesi veya prosesi demodelik açısından riskli olabilmektedir. [3]

• Benzer şekilde imalat prosesini gerçekleştiren bir altyüklenicinin iflası, kapanması sonucu proseste demodelik durumu görülebilir. Proses iç kaynaklar ile gerçekleştirilse bile özellikle hassas ve kritik proseslerde

demodelik riskinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple COTS olarak tedarik edilemeyen mekanik parçalar için her iki açıdan değerlendirme yapmak gerekmektedir.

• Tüm bu yaklaşımların altyükleniciler tarafından da gerçekleştirilmesi önemlidir. Büyük projeler veya komplike ürünlerde çok sayıda altyüklenici bulunabilir. Tüm altyüklenicilerin aynı politika kapsamında benzer seviyede analizler gerçekleştirmesi bütünsel yaklaşım açısından önemlidir.

3.2. Elektronik parçalar için demodelik yönetimi

Firma demodelik yaklaşımında elektronik parçalar için online olarak demodelik takibi hizmeti sağlayan firmalar ile çalışmaktadır. Online olarak hizmet veren bu firmalar kullanıcı tarafından belirli risk başlıklarının ağırlıklandırması sonucu Ek-1deki risk seviyesine benzer bir risk değerlendirmesi gerçekleştirmektedir. İlave olarak bu sistemler kullanıcıların elektronik komponenti sipariş verebileceği son tarih (LTB: Last Time Buy), tasarım değişikliği gerekmediğine yönelik bilgi (NRND: Not Recommended for New Design), öngörülen demodelik süresi (Y-TO-EOL: Estimated Number of Years till Obsolescence) gibi bilgileri de sağlayabilmektedir. [4]

Örnek risk başlıkları ve ağırlıklandırma tablosu Şekil-3'de gösterilmektedir. Her risk başlığı için mekanik parçalara benzer şekilde risk değerlendirmesi yapılımakta olup risk başlıkları ile ilgili örnek tablolar Şekil-4'de gösterilmektedir. [4]

LIFECYCLE	5	50.00%
MULTISOURCING	2	20.00%
COMPLIANCE	1	10.00%
INVENTORY	2	20.00%
OVERALL	10	100%

Şekil-3 Elektronik Parçalar için Örnek Risk Başlıkları ve Ağırlıklandırması

LC			MS		COMP	INV		MPN Risk	Options	Crosses
Risk	Status	Y-TO-EOL	Risk	Sources	Risk	Risk	Sources			
Low	Active	8.5 years	High	0	Low	Low	1	Low	3	3

Şekil-4 Elektronik Parçalar için Risk Başlıkları Tablosu

Elektronik olmayan parçalara benzer şekilde; risk değerlendirmesine göre yüksek risk seviyesinde olan parçalar için proaktif, düşük ve orta seviyede olanlar için ise reaktif strateji izlenmektedir. Bu durumu birkaç örnek ile aşağıda açıklanmaktadır. [2]

• Lifecycle (yaşam döngüsü) açısından öngörülen demode olmasına kalan süre (yıl) olarak 2 yıldan az kalan ürünler yüksek, 2-5 yıl arasında kalan ürünler orta, +5 yıl kalanlar düşük riskli olarak tanımlanabilir. Fakat aktif statüde olmayan, veya ürün hakkında üreticiden bilgi edinilemeyen durumlarda risk seviyesi yükselebilmektedir.

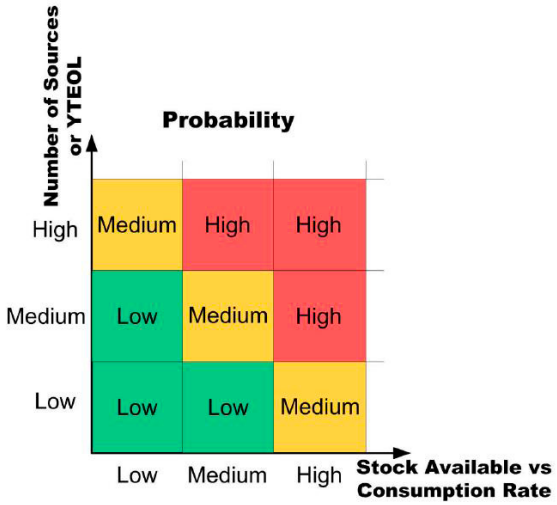
• Multisouce (tedarik kaynağı) başlığı altında üretim açısından tek kaynağa sahip parçalar yüksek, iki kaynağa sahip olanlar orta, ikiden fazla kaynağa sahip olanlar ise düşük riskli olarak tanımlanmaktadır.

• Compliance (uyum) başlığı altında ise standartlara uyumluluk değerlendirilmektedir. Örneğin kullanımı veya ticareti kısıtlanan malzemeler kullanılarak üretilen ürünler (Rohs, Pb içeren ürünler, vb.) uyum bağlığı

altında değerlendirilmekte olup, bu malzemeleri içeren ve standartları karşılamayan ürünler yüksek riskli olarak tanımlanmaktadır.

• Inventory (envanter) başlığı altında ise stoklarında ürün bulunan tedarikçiler açısından değerlendirme yapılmakta olup genellikle multisource ve inventory başlığı paralel değerlendirilmektedir. Örneğin üretici açısından birden

çok kaynağı olan bir parça stoklarda tutulmasa bile inventory başlığında düşük riskli olarak tanımlanabilir. Burada aşağıdakine benzer bir yaklaşım dikkate alınabilir. [2]



Şekil-5 Üretici Kaynağı, Stok ve Tüketim Açısından Risk Seviyesi

4. SONUÇLAR

Demodelik yönetimi; ürün yaşam döngüsünde güvenilirlik mühendisliği dalının önemli bir başlığı olarak öne çıkmaktadır. İster komplike ve karmaşık ekipman üreten firmalar olsun, ister ise geniş makina parkuruna sahip işletmeler olsun demodelik yönetimi yaklaşımı ile varlıkları ve ürünleri yönetmek büyük öneme sahiptir. Makalede demodelik yönetimi metodolojisi hakkında bilgi verilmiş olup, bir havacılık firması özelinde uygulamalar örnekler ile açıklanmıştır.

Demodelik yönetimi gerçekleştiren ve ekipman üreten firmalar ürünlerine daha uzun yaşam döngüsü desteği sağlayacağından rekabet avantjına sahip olmaları kaçınılmazdır. Ayrıca daha iyi, optimum konfigürasyon yönetimi sağlanacağından üretim maliyetleri ve parelel mühendisliği faaliyetlerinde de düşüş beklenmektedir.

Benzer şekilde geniş makina parkuruna sahip firmaların ekipmanlarını kullandıkları süre boyunca demodelik yönetimi bakış açısını geliştirmeleri daha uzun ve ekonomik yaşam döngüsüne sahip olmalarını sağlayacaktır. Ayrıca bakım operasyonlarında daha uygun maliyetler, daha kısa bakım ve onarım süreleri, devreye alma sürelerinde avantajlar ve nihai olarak bakım ile proje maliyetlerinde avantajlar sağlanması beklenmektedir.

Referanslar

[1] IEC 62402 - Obsolescence Management, Edition 2.0 2019-05, International Electrotechnical Commission.

[2] F J Romero Rojo., R Roy, S Kelly. 2012. "Obsolescence Risk Assessment Process Best Practice", Journal of Physics: Conference Series, Volume 364, 012095, 2012.

[3] SD-22 – Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages (DMSMS) A Guidebook of Best Practices for Implementing a Robust DMSMS Management Program, Defense Standardization Program Office – January 2016.

[4] Silicon Expert, "Product Lifecycle Risk Management Platform & Support Services". Erişim: 21.09.2022. https://www.siliconexpert.com/.

U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration. 2015. Obsolesence and Life Cycle Management for Avionics. DOT/FAA/TC-15/33.

HAVACILIK MOTORLARININ BAKIMINA YÖNELİK PALE HASAR TESPİTİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Özgür POYRAZ[1], Oğuz ÇOLAK[2]

[1]Dr. Öğr. Üyesi Özgür Poyraz, Makine Mühendisliği Bölümü,
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye
ozgurpoyraz@eskisehir.edu.tr

[2]Prof. Dr. Oğuz Çolak, Makine Mühendisliği Bölümü,
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye
oguzcolak@eskisehir.edu.tr

ÖZET

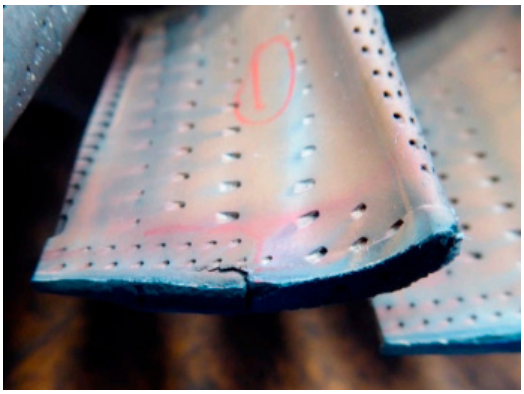
Havacılık motorlarının kompresör ve türbinlerinde yüksek adetlerde kullanılan ve maruz kaldıkları sıcaklık, basınç ve merkezkaç kuvvetleri sebebiyle hasara uğrayan palelere belirli aralıklarla bakım uygulanır. Uçuş güvenirliği ve uçuşa elverişlilik adına kritik olan bakımın ilk aşamalardan birisi hasar tespitidir ve bu işlem rutin bakımlarda boroskop yardımı ile görsel olarak gerçekleştirilir. Bakım talimatlarında belirtilen aşınma limitlerinin tespiti ise ancak paleler söküldüğünde ölçülerek yapılabilmektedir. Bu bildiride söz konusu adımın boroskop görüntülerinin işlenmesi ile yapılabilirliği incelenmektedir. Bildiri kapsamında örnek bir pale üç boyutlu olarak tasarlanmış ve pale modelinin farklı bölgelerinde sanal hasar oluşturulmuştur. Buna ek olarak, farklı boroskop görüntü alma koşullarını tespit etmek adına pale görüntüsü değişken açılarda çoğaltılmıştır. Mevcut görüntüler Matlab yazılımı içinde görüntü işleme algoritmaları ile işlenmiştir. İlk olarak nominal görüntüye farklı açıdaki görüntülerin hizalanması için kullanılan teknikler karşılaştırılmış, kullanıcı müdahalesi, ön işlem süresi ve hizalama kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Sonrasında hizalanmış görüntüler palenin farklı bölgelerini temsil edecek şekilde parçalara ayrılmıştır. Ayrım, yönetimin sonuca etkisinin hassasiyetinin anlaşılması için dokuz, on altı ve yirmi beş adet olmak üzere farklı adetlerle denenmiştir. Son aşamada hizalama ve ayrımı tamamlanan görüntüler eşikleme tekniği kullanılarak nominal geometri ile karşılaştırılmış ve hasarlı bölgenin hasarsız bölgeye oranı üç boyutlu tasarım verileri ile kıyaslanarak süreç akışının iyileştirilebilecek yönleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakım, Havacılık, Türbin Paleleri, Hasar Tespiti, Görüntü İşleme.

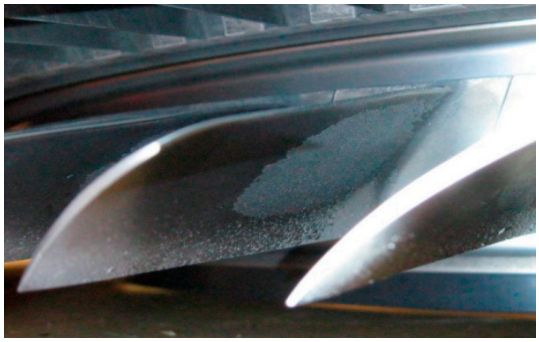
1. GİRİŞ

Çoğunlukla havacılık, enerji ve deniz taşıtları gibi uygulamalara güç vermek için kullanılan türbinli motorlarda gerçekleşen çevrime göre motor içine alınan hava kompresör modülünde sıkıştırılarak basıncı artırılır, yanma odasında yakılır ve türbinde genişletilerek iş elde edilir [1]. Gerek sıkıştırmanın gerçekleştiği kompresör gerekse genişlemenin gerçekleştiği türbinde, söz konusu işlemler için gövdesi dönmeyi sağlayan ve kanatçık geometrileri de hava-gaz akışını yönlendiren çok sayıda parça kullanılır. Özellikle türbin modülünde kullanılan parçalar çok yüksek dönme hızı, sıcaklık ve basınç altında çalıştıkları için servis ömürleri boyunca aşınma, korozyon, sürünme ve yorulma gibi farklı hasarlara maruz kalırlar [2]. Aktarılan hasar türlerine maruz kalan parçalar gerektiğinde bakım-onarım gerektiğinde ise değişime tabi tutulurlar. Hammaddelerinde nikel ve titanyum gibi yüksek dayanımlı alaşım elementlerine sahip olan ve imalatları da ileri düzey yöntemlerle yapılan parçaların büyük hacimlilerinin kal edilmesi yüksek maliyetler sebebi ile tercih edilmez [3]. Bu durumu engellemek adına dönmeyi sağlayan gövde ve kanatçık geometrileri ayrık olarak tasarlanır ve imal edilir. Dönen gövdeler çoğunlukla disk (İng. Disc) olarak adlandırılırken gövdeler üzerine takılarak akışı yönlendiren parçalar pale (İng. Blade) olarak adlandırılır. Genelde yüksek basınç türbini ve alçak basınç türbininde kullanılan paleler tek kristalli veya yönlendirilmiş katılaşmalı döküm ile üretilirken, yüksek basınç kompresöründe kullanılan palelerde nihai şekle yakın dövme tercih edilebilir. Sonraki işlemleri arasında sürünme ilerlemeli taşlama, elektro erozyon veya lazerle delik delme ve kaplama gibi adımlar olan palelerin ölçüsel hassasiyetlerinin yüksek olması beklenir [4].

Paleler kök kısımlarından diskle bağlantılı olduğu ve bu kısımlar diskin içinde kaldığı için, hasar çoğunlukla diskin dışına doğru uzanan akış yüzeyinde gerçekleşir. Pale akış yüzeyleri altı bölgede değerlendirilebilir. Bunlar sırası ile akış halindeki gazla karşılaşan hücum kenarı, paleden çıkan gazın temas ettiği firar kenarı, gazın sıkıştırılma veya genişletme işlemlerinin gerçekleştiği konkav veya konveks yüzeyler, akış yüzeyinin tepesi ve akış yüzeyinin köke bağlandığı köşe radyus yüzeyidir. Palelerde oluşan hasarlar söz konusu bölgelerin her birinde görülebilir ve yaygın hasar tipleri arasında çatlak-kırık (İng. Crack), çentik (İng. Dent), tortu-birikme (İng. Deposition) ve yanma (İng. Burn through) bulunmaktadır [5,6]. Şekil 1'de yaygın hasar tipleri için örnek görseller sunulmaktadır [5].


a)

b)


c)

d)

Şekil 1. a) Yüksek basınç türbin pale tepesinde çatlak, b) Yüksek basınç kompresör pale firar kenarında çentik, c) Alçak basınç kompresör pale yüzeyinde tortu, d) Yüksek basınç türbin pale hücum kenarında yanma [5] (Creative Commons 4.0 Lisansı altında kullanılmıştır)

Servis ömürleri boyunca periyodik bakım ve gözleme tabi tutulan paleler gereksinimleri sağlayamadıklarında motordan sökülür, mümkünse onarılır ve tamir edilir, mümkün değilse yenileri ile değiştirilir. Sökülen palelerin onarımı için optik ölçüm yöntemlerine ve sonrasında kaynak veya eklemeli imalata başvurulabilir [7, 8]. Günümüzde sökülen palelerin onarımı için her ne kadar farklı teknikler mümkün olsa da palelerin sökülmesi ve takılması hava aracının depo seviyesi bakım aşamasında mümkündür, ve günlük bakımlarda palenin gerçekten söküme ihtiyacı olup olmadığının farklı yöntemlerle tespit edilmesi gerekmektedir.

Günlük bakımında kanat üstündeyken gerçekleştirilen en yaygın yöntem yerinde boroskop ile muayene (İng. In-situ borescope inspection) yöntemidir [9]. Boroskop muayenesi, parçaların sağlığını ve durumunu belirlemek ve daha sonra daha fazla sökme ve detaylı muayenenin gerekli olup olmadığına karar vermek için temel bir ilk muayene aracı olmakla birlikte, aynı zamanda nispeten düşük görüntü kalitesi ve motor içindeki zayıf aydınlatma koşulları gibi sınırlamalara da sahiptir [10]. Ayrıca, farklı boroskop uçlarını kullanma ihtiyacını yaratan sınırlı erişilebilirlik vardır ve bu da yüksek bir görüntü çeşitliliğine yol açar [11]. Zorlu boroskop inceleme ortamı nedeniyle, uygulamalar, bu koşulların daha iyi kontrol edilebileceği teker teker incelemelere odaklanmaktadır. Pratikte, inceleme yerinden bağımsız olarak teknisyenler parçaların görüntülerini kaydederler, belirli durumlarda tespit ettikleri hasarların yaklaşık ölçülerini tespit ederler ve sonrasında gerek bakım kılavuzları gerekse kendi tecrübelerine göre karar verirler. Burada verilen karar maliyet odaklı olduğu takdirde aslında uçuş ömrünü doldurmuş ve kullanımı güvensiz bir palenin motorda kalmasını sağlarken, uçuş güvenliği odaklı olduğu takdirde ise ömrünü doldurmamış bir palenin kal edilmesi ve israf ile sonuçlanabilir [12].

Söz konusu güvensizlik veya israfın engellenmesine yönelik bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Bunlar arasında görüntü almanın nispeten daha kolay olduğu uçak gövdesi üzerine yapılan çalışmalar yaygındır [13-15]. Bununla beraber söz konusu çalışmaların yapay sinir ağları ve derin öğrenme gibi teknikleri kullanması çok sayıda hasar verisi gerektirir ki havacılık gibi az adetli üretimlerin gerçekleştirildiği bir sektörde bu kadar veriye ulaşmak mümkün değildir. Buna alternatif olarak salt görüntü işleme ve ölçüm teknikleri kullanılabilir ve fakat bunlarda da hasarların düzensiz ve öngörülemez şekilleri ölçümlerin belirli eksenlere göre konumlandırılma ihtiyacı açısından zorlayıcı bir durum ortaya çıkarmaktadır.

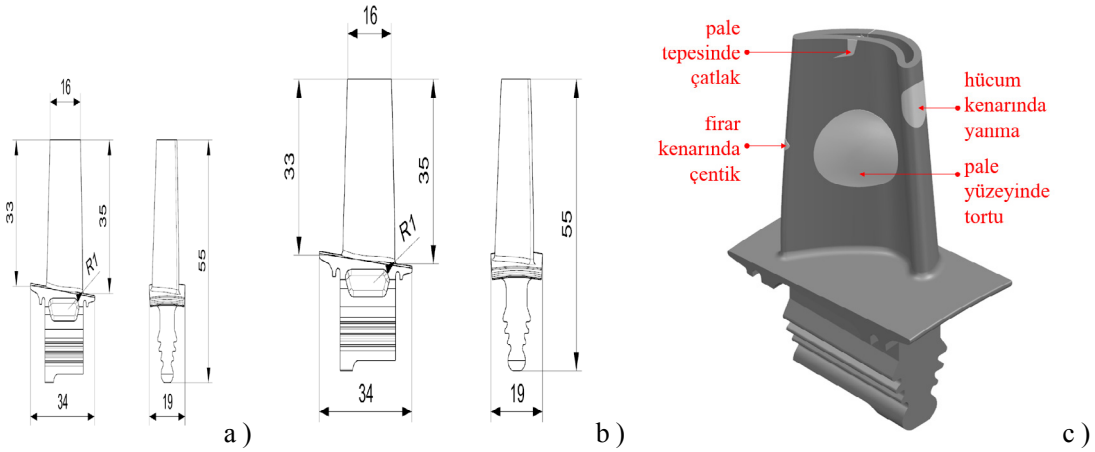
Bu yayında görüntü işlemenin zorlayıcı yönlerine odaklanılmıştır. Öncelikle örnek bir pale üç boyutlu olarak tasarlanmış ve pale modelinin farklı bölgelerinde sanal hasar oluşturulmuştur. Farklı boroskop görüntü alma koşullarını tespit etmek adına pale görüntüsü değişken açılarda çoğaltılmıştır. Matlab yazılımı içinde görüntü işleme algoritmaları ile öncelikle nominal görüntüye farklı açıdaki görüntülerin hizalanması incelenmiş ve farklı algoritmalar karşılaştırılmıştır. Sonrasında aynı işlem hasarlı geometriler için yürütülmüştür. Daha sonra eşikleme tekniği kullanılarak nominal geometri ile karşılaştırma yapılmış ve hasarlı bölgenin hasarsız bölgeye oranı üç boyutlu tasarım verileri ile kıyaslanmıştır. Bu sayede hasarların düzensiz ve öngörülemez şekillerinin değerlendirilmesi sağlanmış ve onları belirli eksenel yönlerde ölçmek yerine hasarın toplam parçaya oranının elde edilmesinin esas alındığı yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Pale ve Suni Hasarların Tasarımı

Örnek pale tasarımında güncel olarak kullanılmakta olan ticari turbo-fan uçak motorlarının verileri dikkate alınmıştır. Bu kapsamda tek koridorlu orta gövdeli yolcu uçaklarında kullanılan turbo-fan motorların yüksek basınç türbini gibi seçili modüllerine ait akış yollarının alt ve üst yarıçaplarının farkı ile pale yüksekliği elde edilmiş ve farklı kademelerdeki ortalama pale sayılarının sığabileceği ölçü tespit edilerek pale genişliği bu ölçüye göre düzenlenmiştir. Pale kalınlığı ile hücum ve firar kenarı özellikleri gizlilik sebebi ile adı burada anılamayan kullanılmış bir motordaki paleden tersine mühendislik yapılarak elde edilmiştir. Yine hata bölge-

leri olarak, tipleri ve büyüklükleri hem literatürden hem de söz konusu motora ait bakım kılavuzundan belirlenmiştir. Ansys Space Claim bilgisayar destekli yazılımında (İng. Computer Aided Design – CAD) 3-Boyutlu (3B) modellemesi yapılan pale ve hasar bölgelerine ait yüzey alanı ve hacim verileri de yazılım ortamında elde edilmiştir. Şekil 2'de 3B olarak tasarlanan pale ölçüleri ve suni hasarlar görülmektedir.



Şekil 2. a) Pale ön görünümü, b) Pale yan görünümü, c) Pale ve hasarların izometrik görünümü

Pale ve suni hasarların tasarlanması sonrasında hem hasarlı hem de hasarsız pale görüntüleri 0° açıdan başlayarak 180° açıya ulaşana kadar 45° artım değerleri ile kaydedilmiş ve özellikle motor içi boroskop kullanımı kaynaklı oluşabilecek görüş açısı problemlerini temsil etmek adına hizalama denemelerinde kullanılmıştır. Sonraki alt bölümde anlatılacak olan farklı algoritmaların karşılaştırıldığı hizalama denemelerine ait her açı için sonuçlar elde edilmiş ve bu yayında sonuçların ortalama değerleri raporlanmıştır.

2.2. Hizalama Algoritmalarının Seçimi ve Uygulanması

Görüntülerin işlenmesi için Matlab yazılımı görüntü işleme modülü kullanılmıştır. Matlab yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen hizalama işleminin ortak adımlarından bir tanesi koordinat dönüşümü adımıdır. Literatürde "ileri" ve "geri" dönüşüm olarak iki çeşidi bulunan yöntemde, ileri dönüşümün pazı pikselleri izin verilen aralığın dışına taşırma riski ortaya çıkarması sebebi ile geri dönüşüm tercih edilmiştir. Geri dönüşüm yönteminde dönüştürülmüş görüntüdeki pikseller tek tek taranır ve "T" olarak adlandırılan bir matrisin tersi kullanılarak orijinal görüntüye karşılık gelen pikseller belirlenir. Söz konusu dönüşümün genel ifadesi Eşitlik (1)'de verilmektedir.

$$[x\ y\ 1] = [v\ w\ 1]T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

T matrisi ile açıklanan koordinat dönüşümü elde edildikten sonra iki farklı açı ve/veya konuma sahip görüntü hizalanabilir. Bu amaçla geliştirilen ilk yaklaşımlarda iki görüntüde belirli sayıda kontrol noktaları seçilir ve hizalama sonucunda her noktanın aynı durumu sağlayacağı kabulü ile elde edilen denklem sistemi çözülerek işlem gerçekleştirilir. Zaman içinde ilerleyen teknoloji ve yeni ihtiyaçlara göre geliştirilen farklı hizalama teknikleri bulunmaktadır ve bu yayında kullanılan teknikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Unsur algılama ve tanımlama, unsur eşleştirme, aykırı değer ayıklama, hizalama fonksiyonlarının türetilmesi ve görüntünün yeniden yapılandırılması olarak adlandırılan beş adıma sahip ileri düzey hizalama sürecinde ilk adım olan unsur algılama ve tanıma (İng. Feature detection) adımı ayırt edicidir. Unsur algılama adımında unsur noktaları veya diğer isimleri ile ilgi noktaları, kilit noktalar belirlenir [16]. Bu noktalar belirlenirken görüntüdeki sınır hatları, kenarlar, birleşim bölgeleri, köşeler ve lekeler (İng. Blob) dikkate alınır. Unsurların algılanması sonrasında çevrelerindeki pikseller ve oluşturdukları seriler dikkate alınarak unsurlar tanımlanır

ve etiketlenir. Algılanan ve tanımlanan unsurların eşleştirilmesi adımında iki farklı görüntüdeki hangi iki unsurun hizalanacağı belirlenir. Bu belirleme yapılırken eşik bazlı eşleştirme, en yakın komşu, en yakın komşu ve mesafe oranı gibi farklı teknikler kullanılabilir [17]. Her bir tekniğin avantajı kadar dezavantajı da bulunduğu için aykırı değer ayıklama işlemi zorunlu hale gelir. Eşleşen özelliklerden aykırı değerleri ayıklamak ve dönüşüm fonksiyonunu uydurmak için kullanılan güvenilir olasılık yöntemlerinden bazıları rastgele örnek uzlaşısı ve aşamalı örnek uzlaşısı yöntemleridir [18]. Aykırı değerleri ayıklanarak eşleşen unsurlar önceki paragraflarda teorik bilgide aktarıldığı dönüşüm matrisi ile hizalanır ve en son aşamada da görüntü gerekli ise yeniden yapılandırılarak süreç tamamlanmış olur.

Bu yayında unsur algılama ve tanımlama ile unsur eşleştirme aşamalarının hasarlı ve hasarsız pale geometrileri açısından performansını karşılaştırma amacı ile toplam altı farklı yöntem irdelenmiştir. Yöntem isimleri, kısaltmaları ve açıklamaları aşağıda alfabetik olarak sıralanmaktadır [19-21].

BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints): İkili güvenilir değişmez ve ölçeklenebilir unsur noktalarını bulmayı hedefleyen yöntemde köşeler algılanarak FAST yöntemindeki filtre uygulanmaktadır. Aydınlatma kaynaklı değişkenlikleri tespit etmek için arka planda parlaklık değerlerini karşılaştıran yöntemde unsurların karakteristik yönleri belirlenmektedir.

FAST (Features-From-Accelerated-Segment Test): Hızlandırılmış segment testinden unsurların algılanması algoritması, köşenin potansiyel merkezi etrafındaki dairesel bir alanı test ederek bir köşenin mevcut olup olmadığını belirler. Bitişik bir piksel bölümü, merkez artı bir eşikten daha parlaksa veya merkez eksi bir eşikten daha koyuysa, test bir köşeyi algılar.

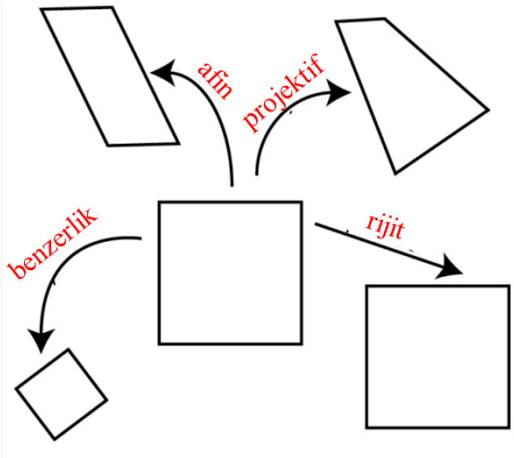
KAZE (Japonca rüzgar): Bu algoritma daha iyi bir yerelleştirme doğruluğu ve ayırt ediciliği elde etmek için doğrusal olmayan bir ölçek-uzay ekstremindeki unsurları algılamaya yardımcı olur. Difüzyon filtrelemesi uygulayan bu yöntem, görüntülerdeki bulanıklığı, unsur noktalarına yerel olarak uyarlanabilir hale getirir, böylece gürültüyü azaltır ve eş zamanlı olarak özne görüntülerinde bölgelerin sınırlarını korur.

MSER (Maximally Stable Extremal Regions): Görüntü işlemede, görüntülerde leke saptama yöntemi olarak maksimum kararlı uç bölgeler kullanılır. Bu algılama yöntemleri, dijital bir görüntüde komşu bölgelere kıyasla parlaklık veya renk gibi özelliklerde farklılık gösteren bölgeleri tespit etmeyi amaçlar.

ORB (Oriented FAST and Rotated Brief): Bu algoritma köşeleri FAST algoritmasını kullanarak algılayan ve ikili etiketleme sayesinde tanımlama işlemini gerçekleştiren bir algoritmadır. Farklı açılara ve dönmeye göre değişmeyen bir hesaplama mantığı sayesinde gürültüden etkilenmediği varsayılmaktadır.

SURF (Speeded-Up Robust Features): Bu algoritma, Hessian matrisin determinantına dayanır ve özellik algılama hızını iyileştirmek için integral görüntülerden yararlanır. Bunun 64 bitlik tanımlayıcısı algılanan her özelliği bir dağılımla açıklar. Komşu bölgeler arasındaki dalgalanmalar ve ortaya çıkan tepkiler bu yöntemin algılama prensibini oluşturan ek özelliklerdir.

Bu yayında söz konusu algoritmalarla unsurlar algılandıktan, tanımlandıktan ve eşleştirildikten sonra dört farklı hizalama seçeneği de karşılaştırılmıştır. Hizalama seçenekleri sırası ile projektif (İng. Projective), benzerlik (İng. Similarity), rijit (İng. Rigid) ve afin (İng. Affine) seçenekleri bulunmaktadır. Şekil 3'te bu seçeneklerin nasıl hizalama yaptığı şematik olarak görülmektedir [22]. Sonuç olarak altı farklı unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme seçeneği, dört tane hizalama seçeneği, hasarlı ve hasarsız olmak üzere iki tane geometri, ve beş tane farklı açı kullanılması ile 240 tane seçenek karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Farklı hizalama seçenekleri [22].

2.3 Eşikleme İle Hasar Oranının Belirlenmesi

Farklı açılardaki hasarlı pale geometrilerinin hasarsız paleye en iyi şekilde hizalanmasından sonra siyah-beyaz ölçekleme ve ikili eşikleme (İng. Binary thresholding) uygulanmıştır. İkili formata dönüştürülen görüntülerde palenin olduğu bölgeler için 1 (beyaz), malzemenin boş veya hasarlı olduğu bölgeler için ise 0 (siyah) içeren ikili bir haritanın elde edilmiştir. Bu sayede ikili görüntüden ikili sayı (İng. Binary Digit – Bit) dizisine geçilebilmiş ve 1 ve 0 değerlerinin toplamlarının birbirine orantılanması ile paledeki hasarlı bölgenin toplam geometrinin kaçta kaçı olduğu hesaplanabilmiştir.

Farklı bölgelerdeki yapılan hesaplar CAD geometrisi üzerinden yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak tüm süreçte kullanılan görüntü işleme algoritmaları pale ve hasar geometrilerine göre sergiledikleri yakınsama performansı açısından karşılaştırılmıştır.

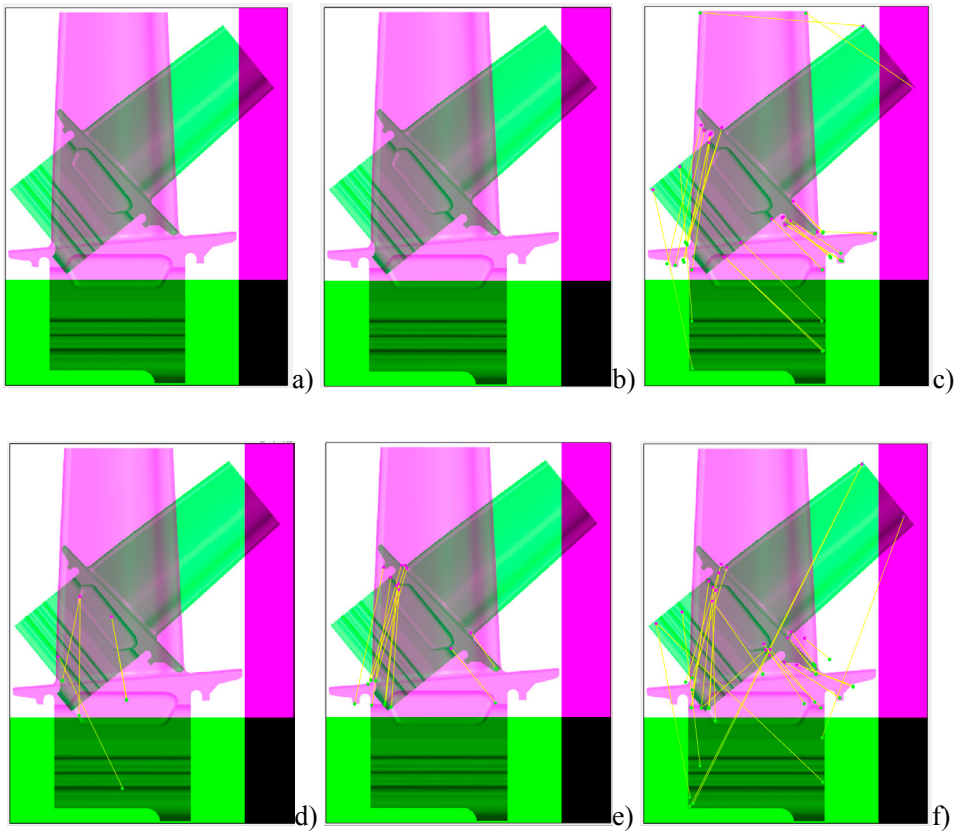
Tüm işlemlerde 64 bit Windows 10 işletim sistemine sahip 8 çekirdekli, bunlara ek olarak 8 mantıksal işlemcili, 96 GB RAM ve 1.5 TB sabit diske sahip bir iş istasyonu kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

İlk aşamada gerçekleştirilen ve yataya göre 90° açı ile duran hasarsız paleye sırasıyla 0°, 45°, 135° ve 180° açılarla duran hasarsız palelerin eşleştirilmesinde algılanan unsur sayısı ve eşleştirilen unsur adetlerinin ortalaması Tablo 1'de verilmektedir. Şekil 4'te de örnek olarak seçilen 45° açıyla duran hasarsız pale geometrisi kullanıldığında algılanan unsurlar görülmektedir. Görünürlüğü kolaylaştırmak amacı ile sabi duran pale için pembe ve ona eşleştirilmeye çalışılan pale geometrisi için yeşil renk kullanılmıştır.

Tablo 1. Farklı açılara sahip hasarsız geometriler için unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme

		BRISK	FAST	KAZE	MSER	ORB	SURF
Farklı Açıların Sonuç Ortalaması	Algılanan ve Tanımlanan	2	2	68	60	222	91
	Eşleşen	0	0	26	17	11	32



Şekil 4. Farklı açılara sahip hasarsız geometriler için unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme: a) BRISK, b) FAST, c) KAZE, d) MSER, e) ORB, f) SURF

Hasarsız pale olduğu durumda Tablo 1'den görüleceği üzere BRISK ve FAST algoritmaları en düşük unsur algılama ve tanımlamayı yaparken ORB ve SURF algoritmaları ise en yüksek unsur adedine ulaşmıştır. Bununla beraber ORB algoritmasının unsur sayısı çok olsa bile yakın bölgede bulduğu görülmektedir. Burada tanımlanan ve eşleştirilen unsurların hizalama işlemleri de malzeme ve yöntemde anlatılan tekniklerle gerçekleştirilmiştir. Hizalama işlemlerinin sonuçları Tablo 2'de görülmektedir. Tabloda belirtilen hizalama kalitesi 1 değerine ulaşabilirse tam hizalanmış olma durumunu temsil eder. Bu sebeple 1 değerine yakın olan değerler daha yüksek performanslı bir hizalamayı gösterir. Unsur tanımlama ve eşleştirmenin sağlanamadığı algoritmalar sonucunda bekleneceği üzere hizalama da yapılamamıştır.

Tablo 2. Farklı açılara sahip hasarsız palelerin hizalanması

		Projektif	Benzerlik	Rijit	Afin
BRISK	Hizalama kalitesi	Başarısız	Başarısız	Başarısız	Başarısız
	Hizalama süresi (s)	Başarısız	Başarısız	Başarısız	Başarısız
FAST	Hizalama kalitesi	Başarısız	Başarısız	Başarısız	Başarısız
	Hizalama süresi (s)	Başarısız	Başarısız	Başarısız	Başarısız
KAZE	Hizalama kalitesi	0.93489	0.93712	0.49248	0.93512
	Hizalama süresi (s)	0.01923	0.00772	0.03292	0.00824
MSER	Hizalama kalitesi	Başarısız	0.90757	0.43964	0.89068
	Hizalama süresi (s)	Başarısız	0.02593	0.07176	0.01155
ORB	Hizalama kalitesi	0.71145	0.92544	0.49101	0.86043
	Hizalama süresi (s)	0.01468	0.00764	0.02040	0.00815
SURF	Hizalama kalitesi	0.84648	0.92078	Başarısız	0.81661
	Hizalama süresi (s)	0.03959	0.01641	Başarısız	0.02150

Tablo 2'den de görüleceği üzere unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme yapılabilen KAZE, MSER, ORB ve SURF algoritmaları arasında hizalama MSER algoritması için Projektif hizalama tekniği ile SURF algoritması için Rijit hizalama tekniği başarısız olmuştur. Algılama, tanımlama ve eşleştirmesi yapılabilen 4 algoritmanın tamamında başarılı olmuş hizalama teknikleri ise Benzerlik ve Afin hizalama teknikleridir. Bu ikisi arasından da Benzerlik tekniği tüm algoritmalarda 0.9 değeri üzerinde bir sonuç elde etmiştir ki 1 değerine en yakın sonuçların bunlar olması sebebi ile sonraki işlemlerde Benzerlik tekniği ile hizalamaya odaklanılmıştır.

Çalışmanın sonraki adımında gerçekleştirilen farklı açılardaki hasarlı pale görüntülerinin unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme sonuçları Tablo 3'te verilmektedir. Tablo 3'ten görüleceği üzere tüm algoritmalarda hem algılanan hem tanımlanan hem de eşleşen unsur adetleri azalmıştır. Bu durumun temel sebebi beklenece-ği üzere hasarlı kısımların görüntülerindeki farklılığın ilgili bölgelerde tanımlama ve eşleştirmeyi azaltmasıdır. Yine Tablo 3'ten görüleceği üzere ORB algoritması ile elde edilen eşleşme sayısı oldukça düşüktür ve bu Benzerlik tekniği ile hizalama için yetersizdir.

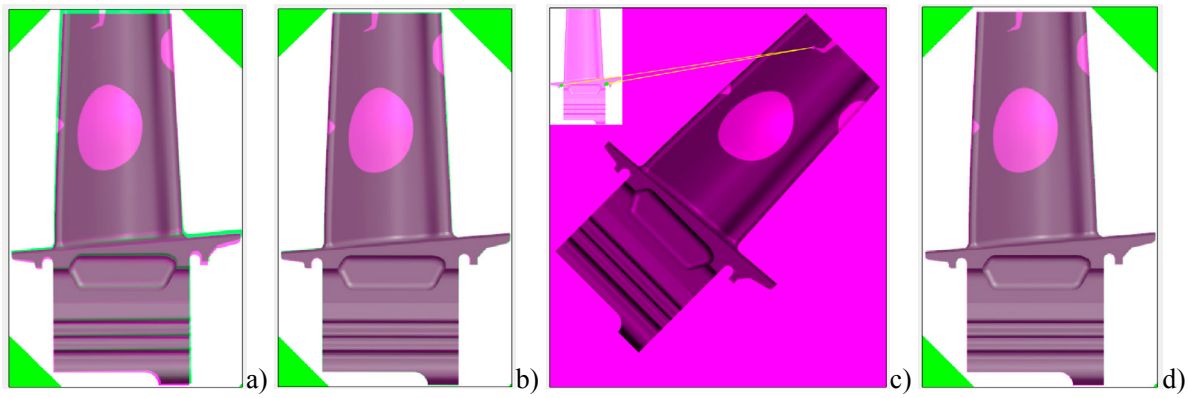
Tablo 3. Farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal paleye eşleştirilmesi

KAZE		MSER		ORB		SURF	
Algılanan tanımlanan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen
51	6	55	13	112	4	83	26

Benzerlik tekniği ile hizalama işlemine ait karşılaştırma sonuçları Tablo 4'te ve hizalanmış görüntüler Şekil 5'te sunulmaktadır. Eşleşme adedi yetersiz olan ORB algoritması ile hizalama başarısız olmuştur. Diğer hizalama işlemleri arasında MSER ve SURF algoritmaları ile unsurları eşleştirilen görüntülerin Benzerlik tekniği ile hizalanmasında 0.9 değeri yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Bunlara kıyasla KAZE algoritmaları ile eşleşen unsur sayısı 6 olduğu için Benzerlik tekniği ile hizalama sonucu da 0.8 değerinin altında kalmıştır.

Tablo 4. Farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal paleye hizalanması

	KAZE		MSER		ORB		SURF	
	Hizalama kalitesi	Hizalama süresi (s)	Hizalama kalitesi	Hizalama süresi (s)	Hizalama kalitesi	Hizalama süresi (s)	Hizalama kalitesi	Hizalama süresi (s)
Benzerlik	0.77669	0.03168	0.89203	0.06884	Başarısız	Başarısız	0.89962	0.03196



Şekil 5. Farklı açılara sahip hasarlı geometrilerin hasarsız nominal paleye hizalanması: a) KAZE, b) MSER, c) ORB, d) SURF

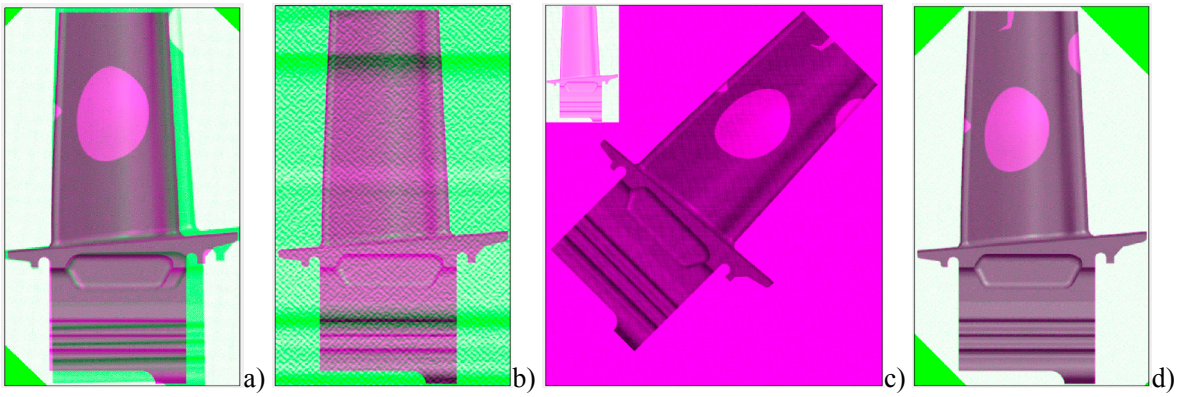
Palelerin gerçek servis koşullarında büyük hasarlar dışında küçük yüzey kusurları geliştirdikleri de unutulmamalıdır. Bu kusurlar genelde çukurlaşma (İng. Pitting) şeklinde gerçekleşir ve gerek yabancı madde gerekse yanmış gazın kimyasal etkisi ile tetiklenen bu durum, kısa bakım periyotları dikkate alındığında pale yüze-

yinde mikron mertebesinde pütürler olarak gözlemlenebilir. Bu yayında söz konusu durumu da dikkate almak adına hasarlı pale görüntülerine %100 oranında mozaik filtresi uygulanmış ve her piksel içine en az 1 tane çukur gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu görüntüler de öncekilerle aynı adımlara tabi tutulmuştur. Tablo 5'te filtre uygulanmış hasarlı pale görüntülerinin unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme sonuçları görülmektedir.

Tablo 5. Çukurlaşma filtresi uygulanmış, farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal paleye eşleştirilmesi

KAZE		MSER		ORB		SURF	
Algılanan tanımlanan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen	Algılanan tanımla-nan	Eşleşen
55	6	7912	6	354639	0	416	26

Tablo 5'ten görüleceği üzere ORB ve MSER algoritmalarında çok yüksek olmak kaydıyla, tüm algoritmalarda algılanan ve tanımlanan unsur sayısı artmıştır. Bu durumun temel sebebi filtre uygulanarak piksellere eklenen çukurların köşe ve/veya unsur olarak algılanmasıdır. KAZE ve SURF algoritmalarında bu durum daha düşüktür. Algılanan ve tanımlanan unsurlarla yapılan eşleşmelere bakıldığında ise ORB için 0 ile en düşük, SURF için de 26 ile en yüksek değere ulaşıldığı görülmektedir. Eşleşme adedi yüksek algoritmalarda bekleneceği üzere hizalamalar da başarı ile sonuçlanmıştır. Şekil 6'da hizalama sonuçları görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere kabul edilebilir seviyedeki hizalamalar, MSER ve SURF algoritmaları ile algılanan, tanımlanan ve eşleştirilen unsurların Benzerlik tekniği ile hizalanması sonucu elde edilmiştir.

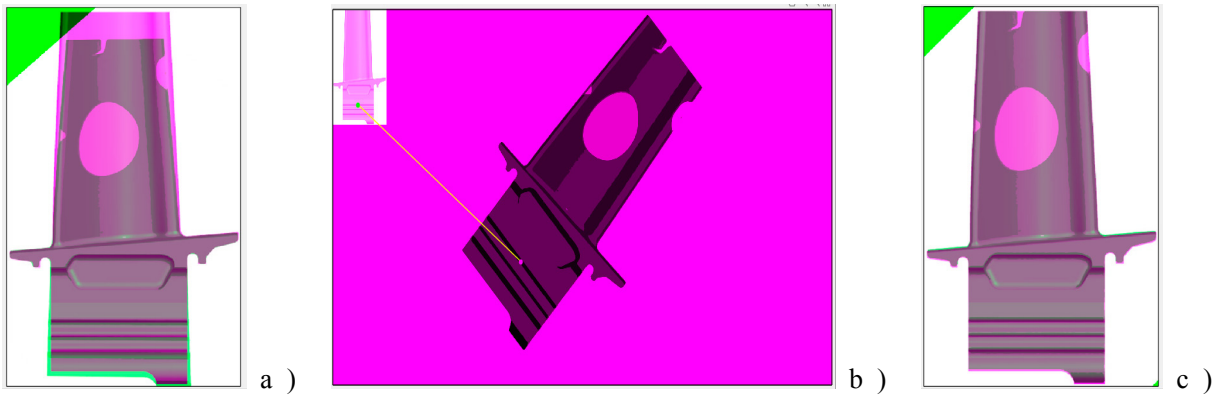


Şekil 6. Farklı açılara sahip çukurlaşma filtresi uygulanmış hasarlı geometrilerin hasarsız nominal paleye hizalanması: a) KAZE, b) MSER, c) ORB, d) SURF

Bu yayında dikkate alınan son durum, palelerde oksitlenme sebebi ile oluşabilecek renk bozuklukları ve boroskopla farklı açılardan alınacak görüntülerde, arka planın ayırt edilememe riskidir. Bu durumu temsil etmek üzere hasarlı pale görüntülerine hem siluet hem de parlama filtreleri uygulanmış ve bunlar üzerinden unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme gerçekleştirilmiştir. Tablo 6'da siluet ve parlama filtresi uygulanmış, farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal pale görüntülerinin unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme sonuçları görülmektedir. Şekil 7'de siluet ve parlama filtresi uygulanmış, farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal paleye eşleştirilmesi ve hizalanması sonucu görülmektedir.

Tablo 6. Siluet ve parlama filtresi uygulanmış, farklı açılara sahip hasarlı palelerin nominal paleye eşleştirilmesi

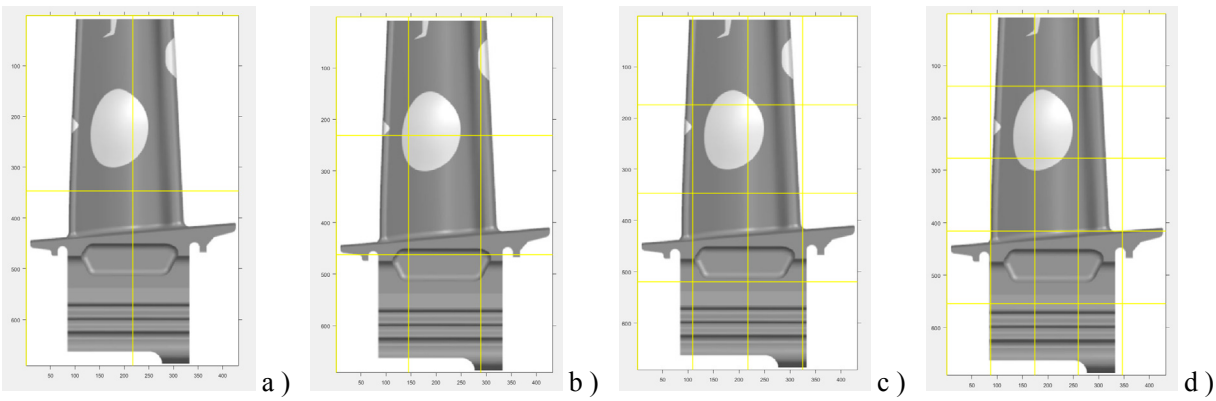
KAZE		MSER		ORB		SURF	
Algılanan ta-nımlanan	Eşleşen	Algılanan tanımlanan	Eşleşen	Algılanan tanımlanan	Eşleşen	Algılanan tanımlanan	Eşleşen
47	7	46	4	306	0	130	15



Şekil 7. Farklı açılara sahip siluet ve parlama filtresi uygulanmış hasarlı geometrilerin hasarsız nominal paleye hizalanması: a) KAZE, b) MSER, c) SURF

ORB algoritmasının kullanıldığı durumda eşleşme başarısız olmuştur ve eşleşen toplam unsur sayısı 0 değerindedir. Buna ek olarak MSER algoritmasının kullanıldığı durumda ise eşleşme sayısı 0 olmasa dahi hizalamaya yönelik yetersizdir. Bunlar dışındaki iki algoritma olan KAZE ve SURF ile eşleşme ve hizalama adımları tamamlanabilmiştir. SURF algoritmasının daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Hizalama işleminden sonra suni aşınma geometrilerinin olduğu bölgelerin genişliğinin tespitine yönelik ayrılmaları araştırılmıştır. Ayrım için sabit mesafe artımları ve/veya sabit adetler ile denemeler gerçekleştirilmiş olsa dahi, aşınmış yerleri tek ayrım bölgesi içine dahil etmenin mümkün olmadığı görülmüştür. Şekil 8'den görüleceği üzere bölünmüş bölge adedinin artırımı bazı bölgelerde faydalı olsa dahi diğer bölgelerin aynı bölüm içinde kalmasına sebep olabilmektedir. Örneğin 16 adede bölünmüş pale geometrisinde firar kenarı çentiği tek bir bölme içinde kalmışken ve uygun ayrılmışken, hücum kenarı yanması ile yüzey tortusu aynı yerde kalmaktadır. Bölme adedi 16'dan 25'e çıkarıldığında ise hücum kenarı yanması tek bölmeye sığsa da bu sefer çentik ve tortu aynı bölme içinde kalmıştır.



Şekil 8. Sabit bir adede bölme: a)4 , b)9, c)16, d)25

Bu duruma alternatif olarak görüntüdeki farklı renkli/ışıklı bölgelerin kenarlarının otomatik algılanması ve buralardan bölme işlemi test edilmiştir. Test edilen bu işlemin sınır tabakasındaki pikseller haricinde uygun sonuç verdiği görülmüştür. Otomatik algılanan sınırlarla beraber en son aşamada ikili eşikleme (siyah-beyaz) yapılarak aşınma bölgesinin toplam yüzeye oranı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları CAD ile yapılan modelleme ile karşılaştırılmıştır. Tablo 7'de karşılaştırma sonuçları görülmektedir.

Tablo 7. Nominal hasar verileri ile görüntü işleme karşılaştırması

	CAD yüzey alanı (mm^2)	CAD tasarımında aşınmış bölgenin nominal paleye oranı	Görüntü işleme ile hesaplanan aşınmış bölgenin nominal paleye oranı	CAD ve görüntü işleme farkı (%)
Pale yüzey alanı	1590.9	-	-	-
Yüzeyde tortu	112.8	0.071	0.073	97
Hücum kenarında yanma	8.7	0.020	0.021	95
Firar kenarında çentik	3.1	0.005	0.005	100
Tepede çatlak	2.9	0.004	0.004	100

Tablo 7'den görüleceği üzere ondalık hassasiyetin 3 basamaklı olduğu hesaplamalar sonucunda görüntü işleme ile elde edilen hasar oranlarının gerçekte CAD ile modellenen suni hasarlara %95 seviyesi ve üzerinde yakınsadığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu yayında sıklıkla hasara uğrayan ve uçuş güvenirliği açısından belirli bakım aralıkları ile kontrol edilerek tamir edilmesi veya değiştirilmesi gereken türbinli motor palelerinin hasar tespitine yönelik görüntü işleme teknikleri araştırılmıştır. Öncelikle örnek bir pale üç boyutlu olarak tasarlanmış ve pale modelinin farklı bölgelerinde sanal hasar oluşturulmuştur. Farklı boroskop görüntü alma koşullarını tespit etmek adına pale görüntüsü değişken açılarda çoğaltılmıştır. Matlab yazılımı içinde görüntü işleme algoritmaları ile öncelikle nominal görüntüye farklı açıdaki görüntülerin hizalanması incelenmiş ve farklı algoritmalar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan unsur algılama, tanımlama ve eşleştirme algoritmaları arasından SURF (Speeded-Up Robust Features) algoritmasının hem farklı açıdaki iki hasarsız paleyi, hem farklı açıdaki biri hasarsız biri hasarlı paleyi, hem de bunlara çukurlaştırma, siluet veya parlama filtreleri uygulanmış görüntüleri eşleştirmesi açısından iyi seviyede sonuç verdiği görülmüştür. Bunun akabinde karşılaştırılan hizalama tekniklerinde ise farklı senaryoların tamamında kabul edilebilir sonuç veren tekniğin Benzerlik ile hizalama tekniği olduğu tespit edilmiştir. Eşleştirmesi ve hizalanması tamamlanan görüntülerde farklı hasar bölgelerinin ayrı ayrı değerlendirmesi için sabit mesafe veya sayı ile yapılan bölme işleminden ziyade hasar sınırlarından yapılan bölme iyi sonuç vermiştir. Önerilen tüm süreç sonucunda görüntü işleme ile elde edilen hasar oranları nominal değerlere %95 üzerinde yakınsamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje destekleri kapsamında 102 programı altında 20ADP213 proje numarası ve "Optik ölçüm yöntemlerinin araştırılması ve karmaşık geometrili havacılık parçalarına uygulanması" adı ile desteklenen proje dahilinde yapılmıştır.

KAYNAKÇA

[1] Saraçyakupoğlu, T. 2021. "Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması," Mühendis ve Makina, cilt 62, sayı 702, s. 151-179.

[2] Poyraz, Ö., Yılmaz, O., Yasa, E. 2014. "Investigation of Free-Form Surface Reconstruction Techniques for Reverse Engineering of Worn-Out Gas Turbine Blades: A CaseStudy," The 16th International Conference on Machine Design and Production, İzmir, Türkiye.

[3] Mevissen, F., Meo, M. 2019. "A review of NDT/structural health monitoring techniques for hot gas components in gas turbines," Sensors, vol. 19, no. 3, p. 711.

[4] Moneta, G., Jachimowicz, J., Osiński, J. 2015. "Influence of Manufacturing Tolerances on Vibration Frequencies of Turbine Blade," Machine Dynamics Research, vol. 38, no. 16292, p. 1-26.

[5] Aust, J., Pons, D. 2019. "Taxonomy of gas turbine blade defects," Aerospace, vol. 6, no. 58, p. 1-35.

[6] Verma, A. S., Noi, S. D., Ren, Z., Jiang, Z., Teuwen, J. J. 2021. "Minimum leading edge protection application length to combat rain-induced erosion of wind turbine blades," Energies, vol. 14, 1629.

[7] Ören, S., Yasa, E., Uğur, E., Poyraz, Ö., Akbulut, G., Pilatin, S., 2014. "Havacılık Sektöründe Optik Ölçüm Yöntemlerinin Yeri ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 654, s. 35-60.

[8] Poyraz, Ö., Kuşhan, M.C. 2019. "Design for additive manufacturing with case studies on aircrafts and propulsion systems,".Scientific Research and Education in the Air Force-AFASES, p. 166-175.

[9] Aust, J., Shankland, S., Pons, D., Mukundan, R., Mitrovic, A. 2021. "Automated defect detection and decision-support in gas turbine blade inspection," Aerospace, vol. 8, no. 30, p. 1-27.

[10] Qin, Y. F., Cao, J. B., Cao, J. Q. 2013. "Application of Wavelet Transform in Image Processing in Aviation Engine Damage," In Applied Mechanics and Materials, vol. 347, p. 3576-3580.

[11] Shen, Z., Wan, X., Ye, F., Guan, X., Liu, S. 2019. "Deep Learning based Framework for Automatic Damage Detection in Aircraft Engine Borescope Inspection," ICNC Conference, p. 1005–1010, Honolulu, HI, USA.

[12] Campbell, G.S., Lahey, R. 1984. "A survey of serious aircraft accidents involving fatigue fracture," International Journal of Fatigue, vol. 6, p. 25–30.

[13] Rice, M., Li, L., Ying, G., Wan, M., Lim, E.T., Feng, G., Ng, J., Teoh Jin-Li, M., Babu, V.S. 2018. "Automating the Visual Inspection of Aircraft," SATEC Conference, Singapore.

[14] Dogru, A., Bouarfa, S., Arizar, R., Aydogan, R. 2020. "Using Convolutional Neural Networks to Automate Aircraft Maintenance Visual Inspection," Aerospace, vol. 7, no. 171.

[15] Jovan˘cevi´c, I., Orteu, J.-J., Sentenac, T., Gilblas, R. 2015. "Automated visual inspection of an airplane exterior," QCAV Conference, Le Creusot, France.

[16] Hassaballah, M., Abdelmgeid, A. A., Alshazly, H. A. 2016. "Image features detection, description and matching," Image Feature Detectors and Descriptors, p 11-45, Springer, Cham.

[17] Mikolajczyk, K., Schmid, C. 2005. "A performance evaluation of local descriptors," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 27, no. 10, p. 1615-1630.

[18] Chum, o., Matas, J. 2005. "Matching with PROSAC-progressive sample consensus," in Computer Vision and Pattern Recognition, p. 220-226, San Diego, USA.

[19] Tareen, S. A. K., & Saleem, Z. 2018. "A comparative analysis of sift, surf, kaze, akaze, orb, and brisk," IEEE iCoMET Conference, pp. 1-10, Sukkur, Pakistan.

[20] Ha, Y. S., Lee, J., Kim, Y. T. 2022. "Performance Evaluation of Feature Matching Techniques for Detecting Reinforced Soil Retaining Wall Displacement," Remote Sensing, vol. 14, no. 1697, p. 1-17.

[21] Oliveira, A. J., Ferreira, B. M., Cruz, N. A. 2021. "A Performance Analysis of Feature Extraction Algorithms for Acoustic Image-Based Underwater Navigation," Journal of Marine Science and Engineering, vol. 9, no. 361, p. 1-26.

[22] Köser, K. 2009. "Geometric estimation with local affine frames and free-form surfaces," Doktora Tezi, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Almanya.

HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLARDA YATAK KANAL TASARIMLARININ YAĞLAYICI PERFORMANSINA ETKİLERİ

Merve SAYAR[1]

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü YL, Meşelik/Eskişehir
mervesayar895@gmail.com

Doç. Dr. Mustafa Ertunç TAT[2]

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Meşelik/Eskişehir
metat@ogu.edu.tr

Bu çalışmada, mil ve yatak üzerinde oluşturulan kare kesitli yağ kanalı tasarımlarının ANSYS programı kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiş ve yağlayıcı akışkanın mil hareketi ile birlikte oluşan basınç dağılımları incelenmiştir. Mile 1000-3000 rpm aralığında hız verilmiş ve diğer etkenler sabitken analizler sonucunda elde edilen basınç dağılımları karşılaştırıldığında yatak iç yüzeyi ve mil yüzeyinde oluşturulan kanalların yağlayıcı basınç dağılımını kontrol altına almaya yardımcı olabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelime: *Hidrodinamik Kaymalı Yatak, ANSYS, Yağ Kanalı, Basınç Dağılımı*

1. GİRİŞ

Hidrodinamik kaymalı yataklar; araç motorları, türbinler, jeneratörler ve pompalar gibi tüm motor ve makinelerde mekanik yük destekleme ve yük taşıyıcı (kaymalı yatak ve mil) ana elemanı olarak kullanılırlar. Hidrodinamik kaymalı yataklar, bu makinalardaki kritik elemanlar olmaları nedeniyle önleyici ve kestirimci bakımda önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir. Özellikle basit olmaları, yüksek hızlarda ve büyük yükler altında çalışabilmeleri de bu makine elemanlarının kullanımını arttırmaktadır.

Kaymalı yatakların çalışma şartlarının optimize edilmesi, performans ve verimliliğinin yükseltilebilmesi; bakım onarım açışından büyük önem taşımaktadır. Bu yatakların geliştirilmesindeki hedef, bakım periyotlarını uzatarak aşınma mekanizmaları ile oluşabilecek tanımsız arıza oluşumunu önlemek, dolayısıyla gerek can kaybı ihtimalini önlemek gerekse mal ve zaman tasarrufu sağlamaktır.

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz teknikleriyle makine ve ekipmanların daha tasarım aşamasındayken, yağlama sistemleriyle beraber çalışma şartlarında otaya çıkabilecek değişiklikler modellenebilir ve arızanın sebepleri ortadan kaldırılabilir veya verdiği hasar kontrol altına alınabilir. Araştırmacılar çalışmalarını mil ve yatak yüzeyleri üzerine doku veya kanal oluşturmanın yağlayıcı ve yatak sistemi üzerine olan etkilerine yoğunlaştırmışlardır. Mil ve yatak üzerinde oluşturulan dokuların, kanalların, desenlerin deney düzenekleri ve çeşitli bilgisayar programları kullanılarak basınç oluşumu, güç kaybı, kavitasyon vb. etkileri incelenmektedir.

Shinde ve arkadaşları yaptıkları çalışmada mil üzerine eksene dik radyal yönde verdikleri dikdörtgen, üçgen ve daire kesitli oluk ve nervürler ile düz yatak arasında oluşan yağ filmlerinin analizleri ile performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca düz yatak üzerinde sayısal ve analitik sonuçların karşılaştırılmaları yapılmıştır. Analizler farklı hız, eksantriklik oranı, yağ viskozitesi ve radyal boşluklar ile tekrarlanmıştır. Analizler göstermiştir ki oluşan maksimum basınç en az dikdörtgen olukta en fazla ise dikdörtgen nervürde oluşmuştur. Sırasıyla dikdörtgen, daire, üçgen nervürlerde en fazla basınçlar oluşurken düz yatak/mil konfigürasyonu bu iki sistemin arasında kalmaktadır. [1]

Shinde ve arkadaşlarının yaptıkları bir diğer çalışmada ise 90-165/175/185° aralığında yatak iç yüzeyinde çap yönünde dikdörtgen oluklar ile oluşan yatak performansı incelenmiştir. Oluk genişliği, yüksekliği, sayısı ve oluklar arası mesafeler değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Yük taşıma kapasitesinde artış yatak üzerinde en fazla 90-175 derece dağılım aralığında oluşmuştur. Yük taşıma kapasitesini en çok etkileyen faktörler yiv yüksekliği ve konumu olurken diğer tasarım parametreleri daha az etkilemiştir. [2]

Yapılan bir başka çalışmada ise küresel, silindirik ve dikdörtgen kanallar yatak yüzeyinde oluşturulmuş ve sayısal olarak analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler oluşturulan silindirik doku yüzeylerinin; seçilen boyut, derinlik, doku geometrisinin yatağın taşıma özelliklerini etkilediğini ve muylu performansını geliştirerek sistemin en önemli özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. [3]

Bhasker ve arkadaşları, yüzey dokusunun etkisini araştırmak için bir test düzeneği hazırlayarak deneysel çalışmışlardır. Doku verdikleri yatak iç yüzeyinde yağ film basıncını ve sıcaklığını ölçmek için eşit aralıklarla kılavuzlar yerleştirmişlerdir. Farklı hız ve dinamik yükler altında yapılan deneylerde yağ basıncının ve sıcaklık dağılımının verilen yük ve hızlardan büyük ölçüde etkilendiği görülmüştür. Yük ve hız artışı; yağ basıncı ve sıcaklığı da arttırmıştır ancak, verilen yatak iç yüzey dokusunun da yatak performansını arttırdığı görülmüştür. [4]

Dokulama üzerine yapılan farklı çalışmalar göstermiştir ki; yatak/mil yüzeylerinde doku oluşturulması yatağın yük taşıma kapasitesinde artış sağlarken sürtünme katsayısının azalmasını sağlamıştır. [5], [6], [7].

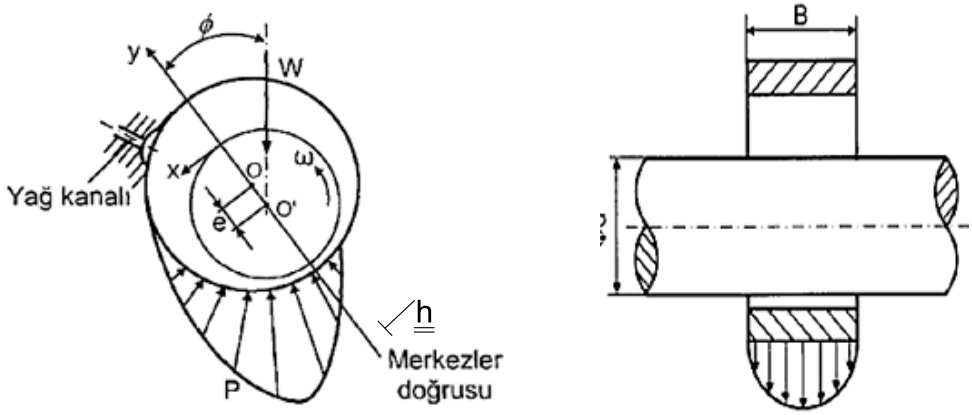
Panthi ve arkadaşları ise, yaptıkları çalışmada Raimondi ve Boyd yaklaşımını kullanarak Reynolds denklem çözümlemesini yaparak kaymalı yataklara ait basınç profili ve yağ filmi kalınlığının saptanması üzerine çalışmışlardır. [8]

Kaymalı yatakların büyük yük ve yüksek hızlarda kullanılması ve çeşitli kullanım alanıyla birlikte, yapılan çalışmalar göstermiştir ki yağlayıcı alanının arttırılması ile yatak sisteminin performansı arttırılabilmekte ve bu sonuçlar yatak tasarımının geliştirilmesi ile birlikte yük taşıma kapasitesinin, basınç oluşumu gibi özelliklerinin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak yatak iç yüzeyinde ve mil yüzeyinde boyuna/ kesikli kanallar oluşturulmuş, 1000/2000/3000 rpm'de mil ve yatak arasındaki yağ filminde oluşan basınçlar Fluent programı ile modellenmiş ve kanalsız yatak-mil sistemi ile karşılaştırılmıştır. Yağ filmi üzerinde oluşan basınç dağılımları, maksimum ve minimum basınçlar incelendiğinde yatak ve mil yüzeylerinde oluşturulan kanalların literatürde de incelendiği gibi maksimum basınçlarda düşüş sağladığı görülmüştür.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 2500 N yük altında 1000-3000 dev/dk aralığında çalışan bir mil yatak sistemi modellenmiş ve yatak üzerinde yağ kanalları oluşturularak yağlayıcının basınç dağılım analizleri yapılmıştır.

Mil aldığı tahrik ile dönüşüne başladıktan sonra, yatak ve mil merkezleri arasındaki eksantriklik ile birlikte, milin dönüşü bir yağ filmi oluşturmaktadır. Mil ve yatak arasındaki boşlukta yağlayıcı yakınsak ve uzaksak bölgeleri oluşur. Yakınsak bölgede oluşan yağ filmine minimum yağ filmi kalınlığı denilmektedir. Yağ dağılımı ile birlikte yakınsak bölgede oluşan hidrodinamik basınç ve minimum yağ filmi, temelde mil ve yatağı birbirinden ayırmakta ve yatağa gelen yüke karşı koymaktadır. Böylece aşınma oluşmadan sistemin çalışabilmesi için gerekli şartlar sağlanabilmektedir. Şekil 2.1, standart bir kaymalı yatak sistemini göstermektedir. Burada h ile gösterilen alan minimum yağ filmini göstermektedir. e, mil ve yatak merkezleri arasındaki eksantrikliği, b yatak uzunluğunu, P ise oluşan basınç dağılımını ifade eder.



Şekil 2.1. Kaymalı yatak terminolojisi

Hidrodinamik kaymalı yatakların çalışma prensibi Reynolds denklemlerini temel alan yağlama teorisi ile açıklanmaktadır. Reynolds denklemlerinin analitik çözümü olmamakla birlikte, sonlu elemanlar yöntemi gibi nümerik çözümler kullanılarak sonuçlar elde edilebilmektedir. [9]

Bu çalışmada yatak tasarımı yapılırken Raimondi ve Boyd grafikleri kullanılarak tasarlanan sistem için hesaplamalar yapılmıştır. Bu grafikler Reynolds Denkleminin çözümünden elde edilen tasarım eğrileridir. Hesaplamalar için b/d (yatak uzunluğu/yatak iç çapı) oranı 1 seçilmiştir.

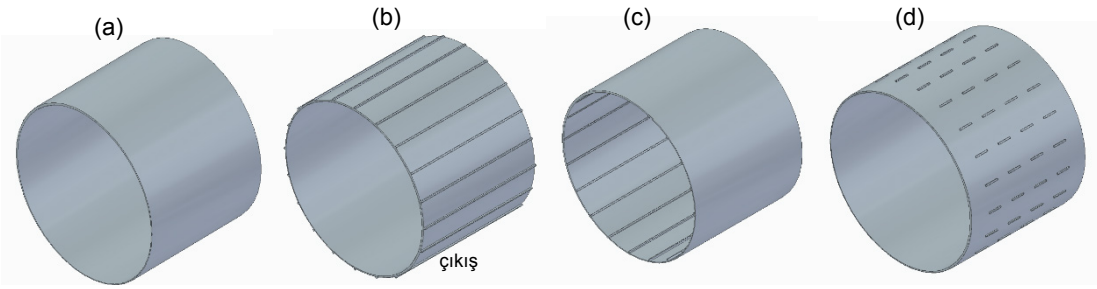
Minimum yağ filmi kalınlığının tayini için grafikler kullanılarak yapılan hesaplamalar ile izafi yatak boşluğu (Ψ), sürtünme katsayısı (μ), sürtünme faktörü (K_s), sommerfeld sayısı (S_o), dinamik viskozite (η), izafi minimum yağ filmi kalınlığı (δ) değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen değerler, minimum yağ filmi kalınlığı h_0 'ın hesaplanmasında (Formül 4) kullanılır.

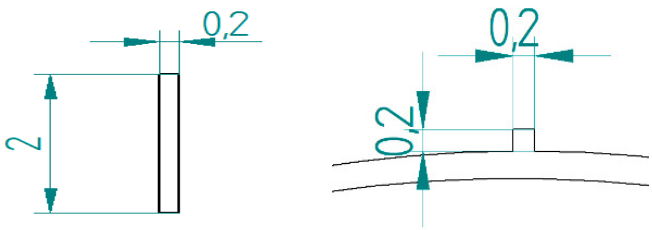
$$h_0 = \delta \text{ x } \Delta r \qquad (4)$$

Yağ filmleri çizim programında modellenmiş ve ANSYS programına aktarılmıştır. Ansys Fluent programı ile akışkan analizi yapılarak yağ akışının oluşturduğu basınç dağılımı incelenmiştir. Analizler sırasında b/d oranı sabit 1 alınarak farklı mil dönüş hızları kullanılarak oluşan basınç değişimi incelenmiştir.

Desenler oluşturulurken 0.2 mm yükseklikte ve 0.2 mm genişlikte kare profil şekli kullanılmıştır. Yatak ve mil çevresince 20 sıra kanal olduğu varsayılmıştır. Analizler 4 farklı tasarım üzerinde 1000, 2000 ve 3000 devirde tekrarlanmıştır. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te analizde kullanılan yataklara ait yağ filmi tasarımlar gösterilmiştir.

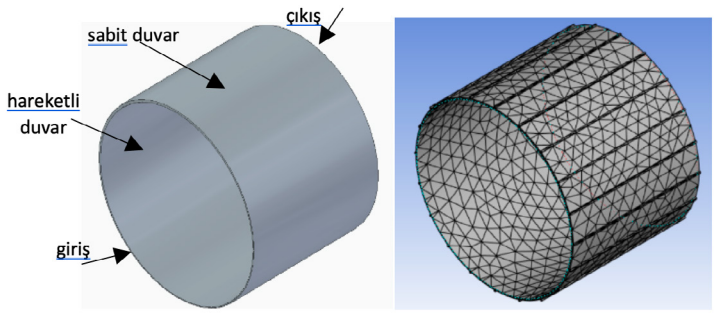


Şekil 2.2. (a) Düz yatak. (b)Kanal yatak iç yüzeyinde. (c) Kanal mil yüzeyinde (d) İç- kesik kanallar yatak iç yüzeyinde.



Şekil 2.3. Kanal tasarımında kullanılan ölçüler

Ansys programı analizler sırasında sonlu elemanlar yöntemini kullanmaktadır ve analizi yapılan parça "mesh" adı verilen küçük birimlere ayrılmakta ve analiz yönetilmektedir. Analizler için gerekli olan mesh boyutu (1.8e-3m) "fine" mesh olarak seçilmiştir. Mesh işlemi sonucunda yağ filminde 2125 node ve 6139 element elde edilmiştir. Hedef skewness değeri 1'in altında elde edilmiştir. Elde edilen mesh ve programda kullanılan alan tanımlamaları Şekil 2.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4. Analiz tanımlamaları ve elde edilen mesh

Yağlayıcı girişi programda "pressure inlet" ve çıkış alanı "pressure outlet" olarak tanımlanmış ve gösterge basıncı (gauge pressure) 0 Pa verilmiştir. Akışkanın yatak ile temas ettiği kısım sabit duvar (stationary wall), mil ile temas ettiği kısım ise hareketli duvar (moving wall) olarak tanımlanmış ve burada mil devir hızları sabit 1000, 2000, 3000 olarak verilmiştir. Yakınsama toleransı 10e-6 ve iterasyon 100 seçilerek analizler yapılmıştır.

Ayrıca analizler sırasında; yoğunluk ve viskozitenin hareket süresince sabit, uygulanan yükün sabit ve dikey yönde olduğu ve akışın laminer olduğu kabulü yapılmıştır. Yatak çapı ve yatak uzunluğu b/d oranı 1 alınarak her ikisi de 25mm seçilmiştir.

Yağlayıcı akışkan olarak SAE-40 ağır hizmet dizel motor yağı kullanılmıştır. SAE-40 yağ özellikleri ve hesaplama ve analizde kullanılan değerler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tasarım Parametreleri

Yağlayıcı		Tasarım	
Yoğunluk (kg/m3)	892	Yatak Çapı (mm)	25
Özgül ısı (j/Kg-K)	1717	Eksantriklik (µm)	0.1
Isıl iletkenlik (W/m-K)	0.132	Yatak Uzunluğu (mm)	25
Viskozite (kg/m.s)	0.0125	Hız (rpm)	1000, 2000, 3000

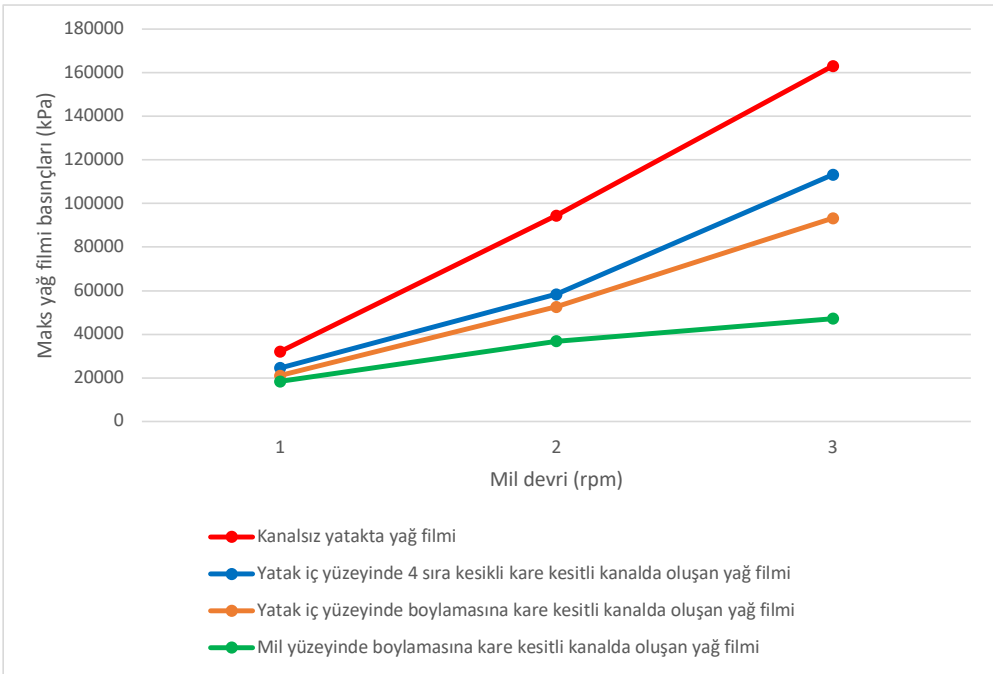
3. BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu çalışmada b/d oranı 1/1 yatak-mil sistemine ait yağ kanallarının analizleri 1000-2000-3000 RPM mil devir hızlarında incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen maksimum yağ basınç değerleri Pa cinsinde Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.2'de ise bu sonuçların grafiksel olarak karşılaştırılmaları yer almaktadır.

Tablo 3.1. Analizler sonucunda elde edilen maksimum basınçlar (kPa).

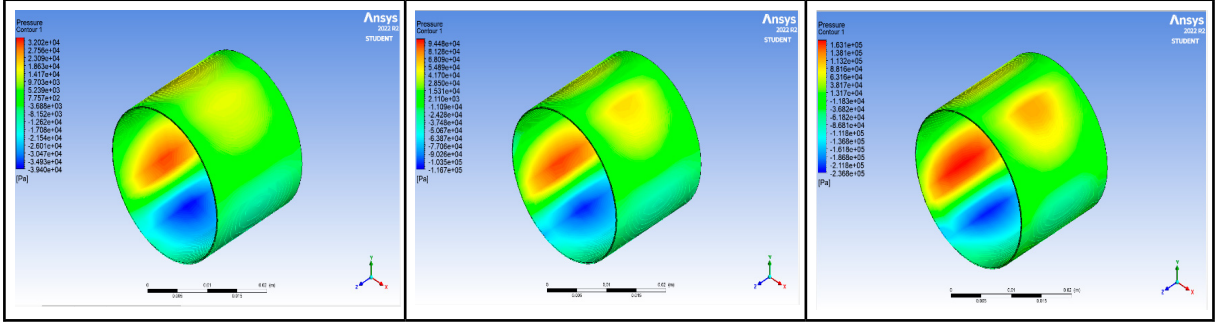
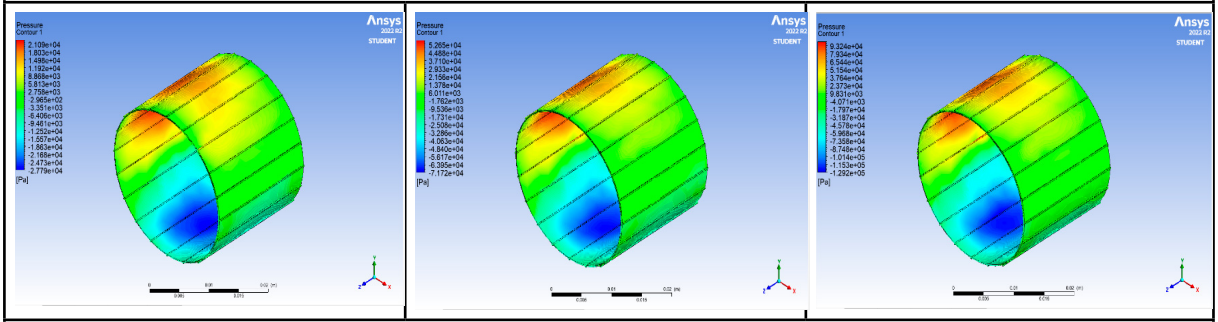
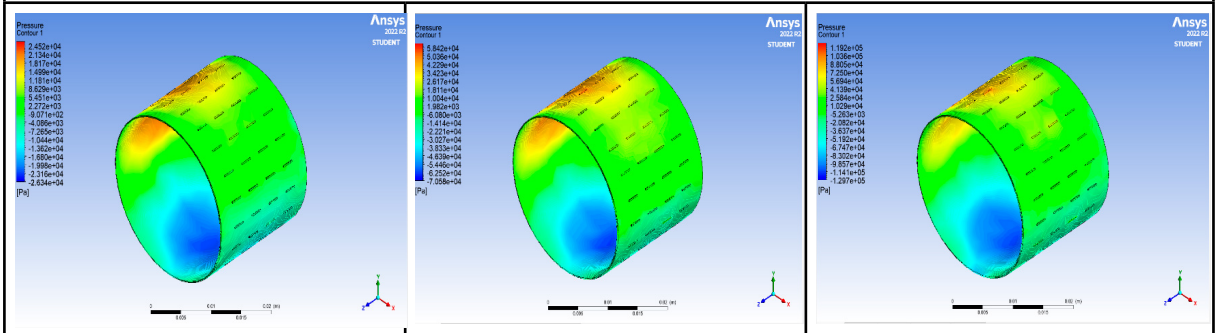
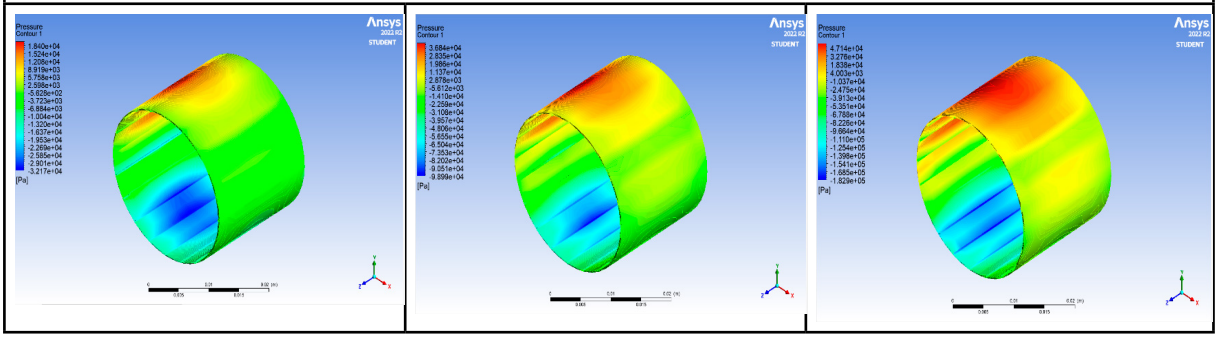
MODELLER	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm
Kanalsız yatakta yağ filmi	32020	94480	163100
Yatak iç yüzeyinde 4 sıra kesikli kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi	24520	58420	113200
Yatak iç yüzeyinde boylamasına kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi	21090	52650	93240
Mil yüzeyinde boylamasına kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi	18400	36840	47140

Tablo 3.2. Analizler sonucu basınçların karşılaştırılması



Tablo 3.3, Fluent programı ile elde edilen yağ basınç analizinin sonuçlarını göstermektedir. Kanalsız yatak, yatak iç yüzeyinde boylamasına ve kesikli kanal ve mil yüzeyinde kanallı tasarımların 1000, 2000, 3000 RPM' de aynı yağlayıcı ve aynı analiz girdileri kullanılarak yapılan sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Bölüm 4'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Fluent analizi sonuçları

Kanalsız yatakta yağ filmi (a) 1000 rpm b) 2000 rpm c)3000 rpm

Yatak iç yüzeyinde boylamasına kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi d) 1000 rpm e) 2000 rpm f) 3000 rpm

Yatak iç yüzeyinde 4 sıra kesikli kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi g) 1000 rpm h) 2000 rpm i) 3000 rpm

Mil yüzeyinde boylamasına kare kesitli kanalda oluşan yağ filmi j) 1000 rpm k) 2000 rpm l) 3000 rpm


4. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara göre;

-Hızın artması ile birlikte 4 yatak-mil tasarımında da düzenli basınç artışı görülmüştür. Basınç artışı en fazla kanal ya da oluk olmayan düz yatak/mil tasarımında oluşurken, en düşük yükseliş mil yüzeyinde boylamasına kare kesitli kanal tasarımında oluşmuştur. 1000 RPM' de oluşan yağ basınçları birbirlerine yakınken hız arttıkça basınç farkları daha da artmaktadır.

-Oluşan maksimum yağ basınçları sırasıyla (kanalsız yatak)> (yatak-kesikli kanallı)> (yatak- boydan kanallı) > (mil- boydan kanallı) şeklindedir. Oluşan en küçük yağ basınçları ise (düz yatak-mil)<(mil- boydan kanallı) < (yatak- boydan kanallı) < (yatak-kesikli kanallı). Her iki durumda da en büyük ve en küçük basınçlar kanalsız mil-yatak tasarımında oluşmaktadır. En düşük basınçların oluştuğu mil yüzeyinde kanallı tasarım ve kanalsız yatak/mil tasarımı karşılaştırıldığında; 1000 rpm'de kanalsız tasarımda mil yüzeyinde kanal tasarımının yaklaşık 2 katı, 2000 rpm'de 3 katı ve 3000 rpm'd 4 katı daha fazla yağ basıncı oluşmaktadır.

-Analiz sonuçları incelendiğinde maksimum ve minimum basınç bölgeleri düz yatak-mil tasarımında birbirine yakın alanlar oluşturmaktadır. Yatak ve mil kanal tasarımlarında ise bu bölgeler birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Yatakta oluşturulan kanal tasarımlarında aynı bölgelerde farklı basınç değerleri ile bu min-max basınç alanları oluşurken, mil tasarımında maksimum basınç alanı çok daha geniş bir alana yayılmaktadır. Hızın artışı ile yatağa yayılan maksimum basınç bölgesinin genişlediği 3000RPM'de mil tasarımında net bir şekilde görülmektedir.

SEMBOLLER

b/d	Yatak uzunluğu (mm)/ Yatak iç çapı (mm)
e	Mil ve yatak merkezleri arasındaki eksantriklik
h_0	Minimum yağ filmi kalınlığı (mm)
P	Basınç (Pa)
r	Yarıçap (mm)
S	Yatak boşluğu (mm)
S_0	Sommerfeld Sayısı
u	Çevresel hız (m/s)
Ψ	İzafi yatak boşluğu
η	Yağ dinamik viskozitesi (Pa.s)

KAYNAKÇA

[1] Shinde, A., Pavar, P., 2018, "Numerical Analysis of Deterministic Micro-Textures on the Performance of Hydrodynamic Journal Bearing", Materials Today: Proceedings, vol 5, p. 5999-6008.

[2] Shinde, A., Pavar, P., 2017, "Multi-Objective Optimization Of Surface Textured Journal Bearing By Taguchi Based Grey Relational Analysis", Tribology International, vol 114, p. 349-357.

[3] Tala-Ighıl. N., Maspeyrot, P., 2008, "Hydrodynamic Effects Of Texture Geometries On Journal Bearing Surfaces", 10th International Conference on Tribology, 2007, Romania.

[4] Bhasker, B., Seetharamaiah, N., Babu, P., 2020, "Experimental Investigation Of Hydrodynamic Pressure And Oil Film Temperature Of Surface Textured Offset Halves Journal Bearing", Materials Today: Proceedings.

[5] Rao, T.V.V.L.N., 2012, "Analysis of slider and journal bearing using partially textured slip surface", Tribology International, Vol 56, p. 121-128.

[6] Hu, D., Guo, Z., 2019, "Effect of spherical-convex surface texture on tribological performance of water-lubricated bearing", Tribology International, Vol 134, p. 341-351.

[7] Ye, S., Tang, H., Ren, H., Xiang, J., 2019, "Study on the load-carrying capacity of surface textured slipper bearing of axial piston pump", Applied Mathematical Modelling, Vol 77, p. 554-584.

[8] Panti, A., 2015, "Design And Analysis Of Hydrodynamic Journal Bearing Using Raimondi And Boyd Chart", International Journal Of Core Engineering & Management, Vol 2, p. 109-120.

[9] Güllü, E., Yılmaz, T.G., 2018, Hidrodinamik radial kaymalı yatak performasının farklı sınır şartları için incelenmesi", Uludağ üniversitesi mühendislik fakültesi dergisi, cilt 2018, sayı 3, s. 37-48.

INTERNET OF THINGS IN MAINTENANCE AND VIRTUAL REALITY/AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN AIRCRAFT MAINTENANCE

Mehmet Cemal DEĞERLİ
Turkish Air Force, Ankara, *mehmet_cemal42@hotmail.com*

Doç. Dr. Özlem ŞAHİN
Eskişehir Technical University, Aerospace Engineering Department, Eskişehir,
ozlemsahin@eskisehir.edu.tr

Doç. Dr. Işıl YAZAR,
ESOGÜ Aircraft Engineering Department, Eskişehir, *iyazar@ogu.edu.tr*

Prof. Dr. Melih Cemal KUŞHAN
ESOGÜ Aircraft Engineering Department, Eskişehir, *erzesk@gmail.com*

ABSTRACT

The Virtual Reality/Augmented Reality (VR/AR) process is a strong candidate for remote-maintenance. For an aircraft-on-the-ground (AOG) situation VR/AR can be used to figuring-out the malfunction and the whole maintenance activity can be performed by the centralized maintenance centers. The additive manufacturing machines may be integrated into VR/AR remote maintenance operations. Inspired by the Da Vinci surgery operations, the remote-maintenance attracts great attention. With the integration of VR/AR and additive manufacturing machines, the establishment of centralized maintenance centers is ineluctable. Another beneficial factor of the usage of industry 4.0 in aviation is the ability to keep the maintenance history of an aircraft during its lifespan. The collected data will be used for the diagnosis of the failures. When dealing with a modern commercial aircraft that consists of approximately four million parts, it is noteworthy that implementing the VR/AR for each of the maintenance activities and additive manufacturing operations with remote protocols that are channeled by the centralized maintenance centers would conclude in time and man-hour savings.

Keywords: Aviation Industry, Industry 4.0, Aircraft Maintenance, Virtual Reality/Augmented Reality (VR/AR)

1. INTRODUCTION

In the 18th century, the use of simple and basic mechanisms such as steam machines and weaving looms in production after the process started in 1784 is the industry 1.0 transformation process. Industry 2.0, on the other hand, is the transformation process in 1870 and later, with mechanisms driven by electric motors in production lines, mass production processes, and assembly lines. Automation in production and the creation of computer-controlled production cells are considered to be included in the industry 3.0 phase in 1969 and later [1].

The concept of Industry 4.0 was first used at an industry fair held in Hannover, Germany in 2011. The approach of multiple production cells in which digitalized, and computer numerically controlled machines are used, and digital platforms are in communication with each other constitutes the content of the concept of Industry 4.0. Thanks to Industry 4.0, it is predicted that it will provide greater flexibility and durability with the highest quality standards in engineering, production planning, manufacturing, operational activities, logistics, and after-sales support processes [2].

Augmented Reality Technology, which is one of the main topics of Industry 4.0, was introduced to the entertainment world through electronic games, but later found itself in important industries such as medicine, engineering, automation, and aviation. Augmented and virtual reality technologies have developed significantly. Due to its nature, the aviation industry has not stayed away from this industry with its working principle integrated with the latest technology.

Virtual/Augmented Reality Applications in aircraft maintenance mainly aim to reduce errors based on the human factor [3]. It includes the use of digital objects that help people with the help of smart tablets, glasses, and various tools, which are the return of the digital world, instead of the aircraft maintenance done on paper with traditional methods until today, and these types of equipment help people [4].

Studies on this subject are mostly in the testing phase and can be adapted to all air vehicles. For example, thanks to the augmented reality application related to the cable equipment, which we call wiring on the aircraft, the technician can distinguish complex cable bundles. Similarly, when a part is to be disassembled on the aircraft engine, the tools required for the removal of that material can be highlighted in the image for the convenience of the technician, thanks to the maintenance assistant glasses.

2. MATERIALS AND METHODS

There are some governing bodies in the aviation sector, including the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the International Air Transport Association (IATA). These organizations publish reports on a regular basis to inform academics, technical teams, and aviators. In the 15 years since 1977, air traffic has doubled, and it will continue to do so, according to the IATA's 2016 Capacity Report. [5]. Also, the International Air Transport Association (IATA) declares that almost 8 Billion people will fly in 2037 [6] which means that there's an increasing demand from customers to fly more frequently on a global level [7].

The need for mobility is rising sharply, and this need is driving the aviation sector's adoption of new technology. With the help of the most cutting-edge and innovative technologies, the aviation sector has been expanding its horizons. This demand for mobility is driving the aviation industry, which is the main reason it is referred to as a booming sector in the face of global economic downturns. Because the return on investment is so quick in comparison to other industries. According to National Academies Press (NAP) reports, a commercial aircraft's finished value is 60 times greater than that of the auto industry. The price per pound in the automotive sector is $5, while that of the commercial aircraft manufacturing sector is $300, according to the aforementioned report [8]. Therefore, it is simple to assert that there is a loop-cycle in the aviation industry; revenue drives R&D activities, and R&D fuels sales.

It is essential to carry out tasks such as overhaul, inspection, replacement, defect rectification, the perfectibility of modifications, compliance with airworthiness directives (ADs), and service bulletins (SBs) compliance in order to confirm that an aircraft or aircraft part always has been airworthy. The maintenance capability also requires meticulously described staff features. Validation of the maintenance personnel based on detailed proficiency such as avionics (B.2), airframe, and engine (B.12) for each type of air vehicle [9]. It should be underlined that, in order to increase the competitiveness of airline companies, it is necessary to reduce operating costs and maintenance costs, which are one of the main reasons for these costs. In terms of maintenance costs, engine and component maintenance constitutes the ratio of the two highest values [10].

The fact that each part and component has different maintenance intervals [11]. Within the concept of maintenance approach, these intervals are described in detail by the manufacturers. The stated intervals should be prepared to meet the requirements of the airworthiness authorities' namely regulation-makers stiff rules. It is the obligation of the aircraft and assembly manufacturers, maintenance organizations, and users of aircraft, engines, and other components' organizational structure must comply with the stated rules [12]. The concept of airworthiness is created by these rules. Airworthiness can be mainly described as being fit to fly. As defined by the certification authority, it is "a documented and accurate method demonstrated for the competency that an aircraft is airworthy under specific operating conditions." [13]. In some cases, not obeying the airworthiness rules which are dictated by the authorities can conclude with fatal accidents.

2.1. The Implementation of Industry 4.0. Techniques in Aviation Industry

Flying an aircraft is a challenging activity and it requires the highest technology. In this regard, the occurrence of accidents should be underlined. With this regard, it should be highlighted that 60% of the total controlled flight into terrain (CFIT) accidents occur in a period of 5% of the total flight time [14].

The percentages of the accidents are given as follows;

a. %27 at the final approach (approximately %3 of the total flight time)
b. %20 at the landing (approximately %1 of the total flight time)
c. %13 at the take-off and climb (approximately %1 of the total flight time) [15].

As can be seen, CFIT accidents primarily happen during the approach and landing phases of flights due to the lack of precise approaches [16]. The take-off and climb stage takes third place. On October 29, 2018, and on March 10, 2019, two Boeing 737-Max commercial passengers crashed and 346 people lost their lives [17]. With this regard, it can be easily claimed that the take-off & climb and final approach & landing phases are the most critical stages of a regular flight.

Aviation is known for its "pioneering feature" for the integration of novel and disruptive technologies. Mainly, it is because of the necessity of ensuring flight safety. For example, in aviation history, CAD-CAM and composites were first adopted by the aviation industry. In this regard, it can be seen that the aviation industry will adapt the digital transformation before other sectors. The fast implementation of industry 4.0, gives clues about the digital transformation in the aviation industry.

Following PWC's 2016 Global Industry 4.0 survey, with the digitalization in the aviation industry, the expectation in the costs is -%3,7 and revenues + 2,7 [18]. The competition is fierce in the aviation industry, so naturally, costs will be decreased and revenues will be increased with the help of digital transformation. For this purpose, every technology of industry 4.0 will be used. On the other hand, the ICAO issues a warning in its global aviation safety plan for 2020–2022, saying that unless new concepts and technology are sufficiently developed, they may harm flight Safety [19]. It is crucial to note that the technology used to prevent accidents brought on by human error may also cause new, possibly unpredictable, concealed, and potentially even more dangerous patterns of accidents that are directed at or made worse by the use of novel technology [20].

Per the Boston Consulting Group, industry 4.0 has 9 pillars. These are autonomous robots, simulation, horizontal and vertical system integration, the industrial internet of things, cybersecurity, the cloud, additive manufacturing, VR/AR, and big data and analytics. Although there are still some questions regarding its

suitability for mass production, the industry is increasingly using additive manufacturing as a result of recent technological developments. It may provide a way to replace traditional manufacturing methods soon because it is a developing technology that produces accurate and strengthened intricate objects at a faster rate [21]. So far it has been observed that these technologies were used in the aviation industry meticulously.

2.2. The VR/AR Applications in the Aviation Industry

The usage of industry 4.0 in aircraft maintenance training facilities also has a great interest in Approved Maintenance Organizations (AMO- Part 145), Approved Maintenance Training Organizations (AMTO-Part 147), and other training organizations such as universities. The VR/AR applications are the main components of this training system. On-the-job training is essential for flight-critical parts and components of an aircraft. But especially for the non-critical systems, the VR/AR applications have rapidly been implemented in maintenance training activities thanks to industry 4.0. In the legacy aircraft maintenance approach the Aircraft Maintenance Manual (AMM), Component Maintenance Manual (CMM), Illustrated Part Catalog (IPC), and Structural Repair Manual (SRM) are the key documents for performing the maintenance activities. The task cards are generated on those mentioned documents. But for VR/AR applications, digital 3D data is the sole input for the visual and sound environment. The aircraft maintenance VR/AR training doesn't require a real aircraft and almost all the interval performances such as removing, installation, replacement, and inspection activities such as removing, installation, and replacement and inspection performances as shown in Figure 1.a. The 3D digital aircraft is loaded and rendered with all details up to screw-nut fasteners. So the trainees have a chance to make practice pretending she/he is performing a maintenance activity. Approach-based scenarios are used instead of real situations. Thus, the man-hour has dramatically reduced compared with the real aircraft, on-the-floor training system. A representative working environment based on the VR/AR integrated maintenance activities is shown in Figure 1.b.

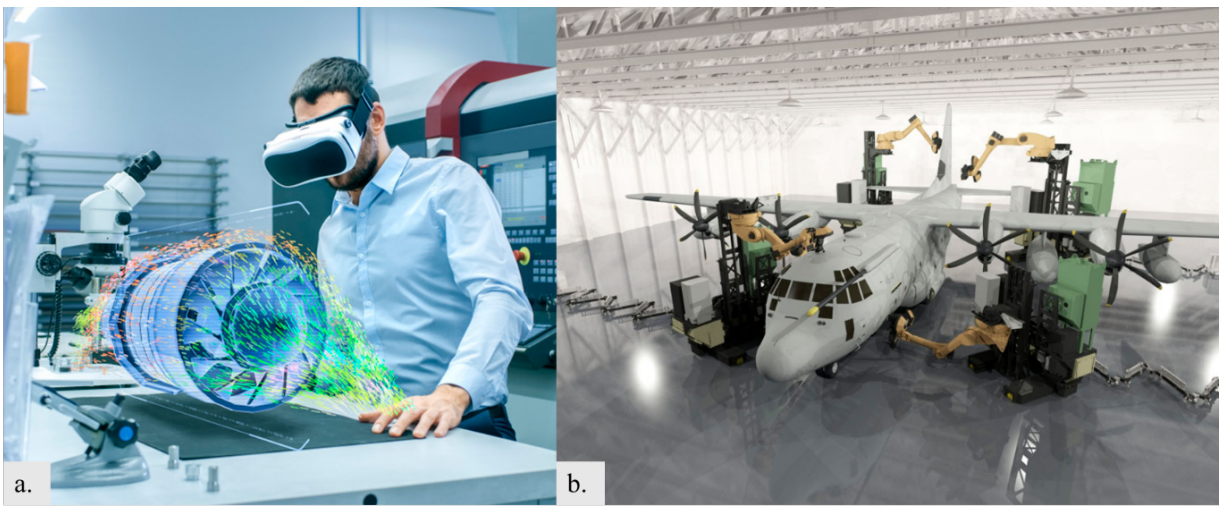


Figure 1.a. A VR/AR Application in the Classroom, 1.b. Maintenance Activities Based on VR/AR Integrated Aircraft Maintenance Activities (The figures were re-illustrated based on the authors' field experience and knowledge)

2.3. Prognostics and Health Management (PHM)

Prognostics and Health Management (PHM) is also a part of VR/AR. One of the cutting-edge techniques that can increase the effectiveness of aircraft operations and optimize aircraft maintenance is prognostics. It is a novel process to estimate the remaining useful life of systems and/or components suffering from aging or degradation. Thanks to PHM, the troubleshooting time and logistics flow will be sped up, and the time an aircraft must wait to take off will be reduced, by sending a message to the ground crew when it experiences an issue in the air while it is still in flight. Additionally, by using autonomous robots that can bring the necessary part

from supply depots untouchable by robots to the aircraft and replace parts without human touch. As shown in Figure 2, early detection, remaining Useful Life (RUL) prediction and decision of the precautions are the main steps of the PHM.

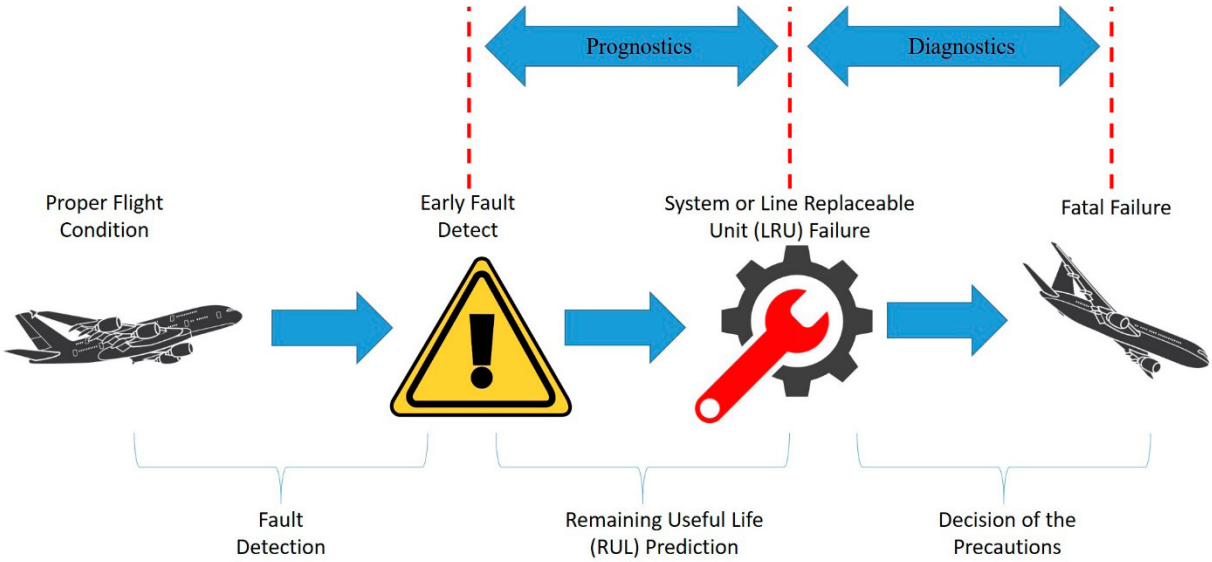


Figure 2. The Steps of the PHM (Adapted from [22].)

3. CONCLUSIONS

Conclusionally, the aviation industry is rapidly adapting VR/AR technologies to streamline their highly expensive operations, improve their state-of-art capabilities and train the staff more cost-effectively. Using VR/AR technology as remote-maintenance via video calls with professionals resolves any issues as quickly as possible and lessens the number of errors brought on by a lack of experience or understanding. It allows maintenance staff to gain the opportunity to practice making more intelligent choices and engaging in dangerous circumstances without being at imminent risk. VR/AR will also be very time and money-saving for safety training subjects such as real fire, and real damage scenarios. In the future, VR/AR will be used more frequently since it enables training on various conditions of aircraft maintenance on all types of air vehicles so as to eliminate any failures.

CONFLICTS

All authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

1. *Kuşhan, M.C., Tat, Tat. 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*
2. *Saraçyakupoğlu, T. 2020. "Emniyet İrtifasından Bilgiler: Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri". ISBN: 978-625-402-030-8, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.*
3. *Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, R., Harnisch, M., Schüppstuhl, T. 2018, "Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry", Procedia Manufacturing, Volume 19, Pages 156-163, https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022*
4. *Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., Bil,C. 2019, "Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing", Journal of Computational Design and Engineering, Volume 6, Issue 4, Pages 516-526, https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001*
5. *ICAO. 2016. "Capacity and Efficiency Report, 2016–2030", Global Air Navigation Plan. International Civil Aviation Organization.*
6. *IATA. 2019. "Forecast Predicts 8.2 billion Air Travelers in 2037". Retrieved from IATA.org: https://airlines.iata.org/content/iata-forecast-predicts-82-billion-air-travelers-in-2037. (Last Entered: 12 November 2022)*
7. *Bagamanova, M., & Mota, M. M. 2020. "Reducing airport environmental footprint using a disruption-aware stand assignment approach", Transportation Research Part D, 1-15. doi:10.1016/j.trd.2020.102634*
8. *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 1993. "Materials Research Agenda for the Automobile and Aircraft Industries", Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/2244.*
9. *Saraçyakupoğlu, T. 2016. "Türkiye'de Havacılık Endüstrisinde Bakım Teknisyeni Yetiştirme Patikası", Mühendis ve Makina, 57(678), 60-64.*
10. *Poyraz, Ö., Kuşhan M.C. 2018. "Havacılık Komponentlerinin Bakım Uygulamalarında Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Kullanımı.", Mühendis ve Makina, Vol. 59 (691), p. 59-69*
11. *Degerli, M.C. 2022. "Industry 4.0 in Aircraft Maintenance", M.Sc. Thesis, Osmangazi University Aviation Science and Technology, Eskişehir. 121*
12. *Saraçyakupoğlu, T. 2021. "Failure analysis of J85-CAN-15 turbojet engine compressor disc". Engineering Failure Analysis, 119, 104975, doi:10.1016/j.engfailanal.2020.104975*
13. *Kenaroğlu, Y. 2010. "Hava Araçlarının Uçuşa Elverişlilik Sertifikasyonu". Mühendis ve Makina. 52, 614, 16-28.*
14. *Saraçyakupoğlu, T., 2020. "Havacılıkta Organizasyonel Kazalar: B-737 Max Uçak Kazalarının Mühendislik Perspektifinden İncelenmesi". Mühendis ve Makina, 61, 701, 241-261.DOI: 10.46399/muhendismakina.741842*
15. *Çetingüç, M. 2018. "Havacılık ve Uzay Psikolojisi". ISBN: 978-605-320-495-4, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.*
16. *Savaş, T., Şahin Ö., 2017, "Safety assessment of RNP AR approach procedures", International Journal of Sustainable Aviation, Vol. 3, No. 1, pages 29-42, https://doi.org/10.1504/IJSA.2017.085326*
17. *Saraçyakupoğlu, T., 2020. "The Adverse Effects of Implementation of the Novel Systems in the Aviation Industry in Pursuit of Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS)". Journal of Critical Reviews*
18. *European Commission (EC). 2017. "Digital Transformation Monitor, Industry 4.0 in Aeronautics: IoT Applications". EC; page 3.*
19. *International Civil Aviation Organization (ICAO). 2019. "Global Safety Plan 2020-2022". Montréal, (Canada): ICAO; 2019, page 24.*
20. *Wendel W. B., 2019. "Technological Solutions to Human Error and How They Can Kill You: Understanding the Boeing 737-Max Products Liability Litigation". New-York (USA). Cornell Law School; Report No.: 19-47, Volume 7, Issue 11, Pages 2530-2538, https://doi.org/10.31838/jcr.07.19.374.*
21. *Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., Dolen, M., 2017, "The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0", Procedia Manufacturing, Volume 11, Pages 545-554, https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148.*
22. *Ranasinghe, K., Sabatini, R., Gardi, A., Bijjahalli, S., Kapoor, R., Fahey, T., Thangavel, K., 2022, "Advances in Integrated System Health Management for mission-essential and safety-critical aerospace applications", Progress in Aerospace Sciences, Volume 128,100758,https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2021.100758*

İŞ MAKİNELERİNDE PERİYODİK KONTROL ÇİZELGELERİ

Utku USLU[1], Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU[1]

[1]Makina Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye,
utkuuslu@ktu.edu.tr, tkomer@ktu.edu.tr

Bu çalışmada, iş makinelerinin periyodik kontrollerinde kullanılan bakım çizelgelerinin oluşturulma mantığı ve hazırlanması aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar anlatıldı.

Periyodik kontroller iş makinelerinin servis ömürlerini güvenli, verimli iş yapabilme kapasiteleri içinde tamamlamaları ve maksimum ömre erişebilmek için ihtiyaç duyulan bakım onarım adımlarındandır. Söz konusu kontroller araçları, kullanıldıkları operasyonlar esnasında meydana gelebilecek olası ve beklenilmeyen hasarlara karşı koruyarak, üreticilerin belirlediği servis ömürlerini, kullanıcıların belirlediği hedef verimlilik ve emre amadelik oranlarında tamamlamalarını sağlarlar. Dolayısıyla vaktinde ve doğru adımlarla gerçekleştirilen efektif ve etkin periyodik kontroller hem iş güvenliği hem de operasyon verimliliği açısından çok büyük önem teşkil eder. Söz konusu kontrol adımları araçların üretici firmalarının tavsiyeleri ve kullanıcıların operasyon koşulları göz önüne alınarak hazırlanır ve zaman içerisinde kullanıldıkları operasyon koşullarındaki değişimlerin neticesinde ortaya çıkabilecek yeni ihtiyaçlar doğrultusunda revize edilirler. Gerçekleştirilen uygun bakım onarım çalışmaları neticesinde iş makinelerinin kullanım ömürleri anlamlı oranda artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağır İş Makineleri, Periyodik Kontrol Çizelgesi, Muayene

ABSTRACT

In this study, the logic of creating maintenance charts used in periodic controls of heavy duty machines and the points to be considered in the preparation phase are explained.

Periodic controls are one of the maintenance and repair steps needed to complete the service life of construction machines within their safe and efficient working capacity and to reach maximum life. These controls protect the vehicles against possible and unexpected damages that may occur during the operations in which they are used, and ensure that they complete the service life determined by the manufacturers at the target efficiency and availability rates determined by the users. Therefore, effective and effective periodic controls performed on time and with the right steps are of great importance in terms of both occupational safety and operational efficiency. These control steps are prepared taking into account the recommendations of the ma-

nufacturers of the vehicles and the operating conditions of the users, and they are revised over time in line with the new needs that may arise as a result of the changes in the operating conditions in which they are used. As a result of appropriate maintenance repair studies, the service life of construction equipment increases significantly.

Keywords: Heavy Duty Machines, Periodic Control Chart, Inspection

1. GİRİŞ

İş makineleri gerek inşaat gerek madencilik gibi ağır sanayi uygulamalarında ihtiyaç duyulan en önemli ekipmanların başında gelmektedir. İş makinalarının kullanıldıkları operasyonların emniyetli ve verimli şekilde gerçekleştirilmesine katkıları son derece büyüktür. Bu ekipmanlar ülkemize genellikle ithalat yoluyla kazandırıldıkları için önemli oranda döviz kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple söz konusu ekipmanların maksimum ömürle kullanılmaları, döviz kaybının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır [1, 2].

Söz konusu araçların kullanıldıkları operasyonda maksimum ömre ulaşmaları, araçlara uygulanacak etkin ve efektif bakım onarım faaliyetlerine bağlıdır. Söz konusu faaliyetler ISO 9001 kapsamında yer alan EN 474 ve TS EN 474 standart serileri ile belirlenmiştir. TS EN 474 standart serisi, TS EN ISO 6165 standardında mobil ağır iş makineleri güvenlik gerekliliklerini tanımlamaktadır. Bu araçları üreten firmalar EN 474 standardı kılavuzluğunda ekipmanlarının servis manuellerini oluştururlar. Söz konusu araçları kullanan firmalar operasyon koşullarını göz önüne alıp, kendi bakım onarım planlarını oluşturarak uygulamaya koyarlar [1, 2, 3, 4, 5].

Bu çalışmada ilgili standartlar kılavuzluğunda iş makinelerinin periyodik kontrol çizelgelerinin oluşturulması incelenmiştir. İş makinelerinin verimleri dâhil oldukları operasyonların verimlerini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple söz konusu araçların faal tutulması ancak onlara uygulanacak bakım faaliyetleri ile mümkün olur. Bu durum söz konusu araçlar için, her araca özel olarak hazırlanmış periyodik bakım çizelgelerini ön plana çıkarmaktadır [1, 2].

2. YÖNTEM

Bu çalışmada iş makinelerinin periyodik kontrol çizelgelerine uygulama örneği olarak, Şekil 1'de görülen yer altı madenciliğinde kullanılan yatay mikser seçilmiştir. Söz konusu mikser yüksek manevra kabiliyetine sahip belden kırmalı yapıya sahiptir. Yer altı galerilerinin alçak tavanlı olmasından dolayı üzerindeki beton kazanı araç yüksekliğini azaltmak amacıyla yatay vaziyette bulunduklarından yatay mikser olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 1. Yer altı yatay mikser [6].

Bu araç oldukça zor çalışma koşullarında kullanılmakta olduğundan öngörülemeyen gerilme ve korozyon etkilerine maruz kalmaktadır. Bu tür araçların kullanım süreleri içerisinde kontrol edilme ihtiyacı önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda söz konusu iş makineleri için üretici firmalar tarafından tavsiye niteliği taşıyan özel bakım onarım kılavuzları hazırlanmaktadır. Söz konusu bakım onarım çalışmaları, üretici firmaların servis kılavuzları dikkate alınarak, araçları kullanan firmalar tarafından çalışma koşulları göz önüne alınıp özgün olarak hazırlanmaktadır.

İş makinelerinin periyodik kontrol planları belirli adımlarla gerçekleştirilir. Her bir araca ait bakım planları, araçların birbirlerinden farklı yapı ve çalışma koşullarına sahip olması nedeniyle önemli farklılıklar içermektedir.

Bakım, faaliyetlerin planlaması ve belirlenmesi olarak 2 ana adımda gerçekleştirilir. Araç bakım amaçlı servisten çekildiğinde, aracın operasyonları aksatmayacak aralıklarla belirlenmesi planlanır ve periyodik olarak uygulanır. Bu aşamada işletmenin vardiya düzeni, operasyon hedefleri, ilgili araç sayısı, bakım personel sayısı, aracın bakımda kalacağı süre vb. detaylar göz önüne alınarak, ilgili araca özel periyodik bakım aralığı belirlenir ve bu aralığın ölçü birimi iş makinalarında genel olarak motor çalışma saatleri üzerinden ifade edilir. Bakım faaliyetlerinin yani bakımda yapılacak işlemlerin belirlenmesi ilgili aracın servis kılavuzu ve operasyon koşulları göz önüne alarak hazırlanır.

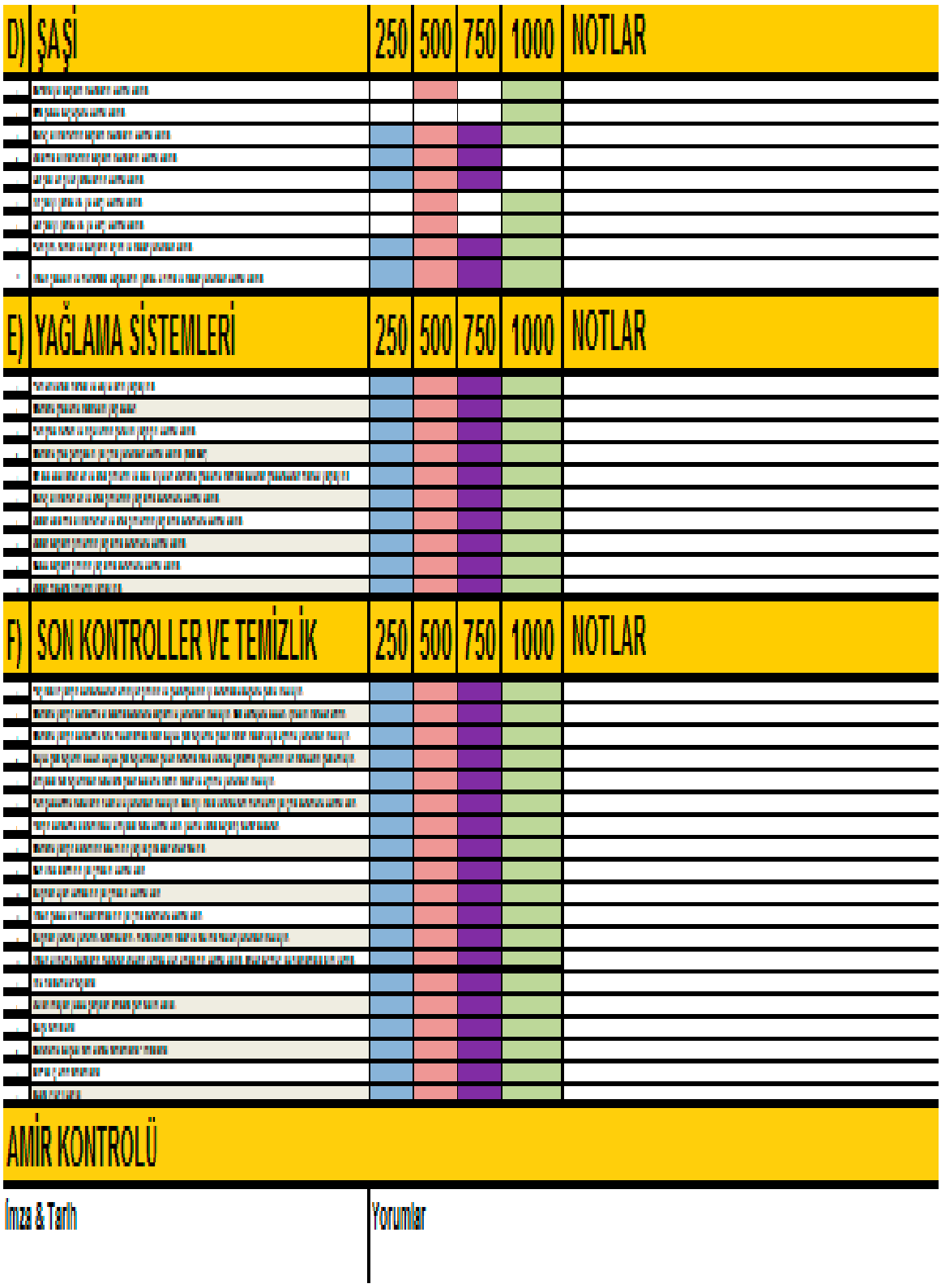
Tüm bu aşamalar belirlendikten sonra araç için uygulanacak periyodik bakım işlem kontrol çizelgeleri oluşturulur. Söz konusu çizelgenin başlangıç kısmında, bakım onarım çalışmalarının firma bünyesinde planlanıp kontrol edilebilmesi için, bakım iş emri numarası, bakım tarihi ve aracın bakım başlangıcındaki motor saati mutlaka yer alması gereken 3 önemli bilgidir. Çizelgenin gerçekçi bilgiler kullanılarak doldurulması, bakımın en kritik aşamalarından biridir. Bu sebeple çizelgeler oluşturulduktan sonra nasıl doldurulacağı konusunda teknik elemanlara gerekli eğitimler verilmelidir.

Aracın periyodik kontrolü bir vardiyadan daha fazla sürebilir. Bu durum, kontrole devam edecek ekibe bir önceki vardiyadaki ekibin işi devretmesi ve aralarındaki iletişim sürecinin sağlıklı ve eksiksiz yürütülmesi açısından çok büyük önem teşkil eder. Bunun için her bir kontrol adımının karşısına, kontrol esnasında karşılan standart dışı durumlar ve/veya göze çarpan eksikliklerin not edilebileceği alanlar çizelge oluşturulurken bırakılmalıdır. Ayrıca hangi vardiyada hangi ekibin çalıştığı ve hangi kontrolleri yaptığını da belirlemek için kontrol maddelerinin karşısına çalışanın kimlik bilgisini yazacağı alanlar dâhil edilmelidir. Bunlara ek olarak vardiya devrinde, vardiyaya gelecek ekip ile vardiyadan ayrılan ekibin işi sözlü olarak da devretmesi için gerekli zaman planlanıp kontrol sürecine dâhil edilmelidir.

Tüm bu adımlar ve iş makineleri hasar oluşma istatistik sonuçları da dikkate alınarak 250, 500, 750 ve 1000 motor saatlerine denk gelen sürelerde kontrol yapılacak şekilde planlanır. Belirlenen bu kontrollerin mekanik kısımlarını içeren kontrol adımları Şekil 2'de verilmiştir. Bu mekanik kontrol adımlarının bir kısmı olan şasi kontrolleri ise detaylı olarak Şekil 3'te verilmiştir. Tanımlanmış olan 4 farklı motor çalışma süresinde yapılacak işlemler aynı çizelge üzerinde, hangi işlemlerin hangi motor saatinde yapılacağını belirten farklı renkler kullanılarak belirtilmiştir.

... NOLU İŞ MAKİNESİ MEKANİK PERİYODİK KONTROL ÇİZELGESİ

İş Emri No :					Ekipman Motor Saati :
Kontrol Başlangıç Tarihi :					Kontrol Bitiş Tarihi :
A) MOTOR	250	500	750	1000	NOTLAR
B) AKTARMA ORGANLARI	250	500	750	1000	NOTLAR
C) HİDROLİK SİSTEM	250	500	750	1000	NOTLAR



Şekil 2. İş makinesinin mekanik periyodik kontrol çizelgesi.

D)	ŞAŞİ	250	500	750	1000	NOTLAR
1	Defransiyel bağlantı noktalarını kontrol ediniz.					
2	Orta göbek boşluğunu kontrol ediniz.					
3	Dönüş silindirlerinin bağlantı noktalarını kontrol ediniz.					
4	Kaldırma silindirlerinin bağlantı noktalarını kontrol ediniz.					
5	Üst şasi ön pivot yataklarını kontrol ediniz.					
6	Alt şasiyi çatlak ve hasar yönünden kontrol ediniz.					
7	Üst şasiyi çatlak çatlak ve hasar yönünden kontrol ediniz.					
8	Tüm pim, rulman ve burçlarını aşıntı ve hasar yönünden kontrol ediniz.					

Şekil 3. İş makinesi periyodik kontrol çizelgesinin şasi kısmı.

İş makinesinin periyodik kontrollerinin şasi kısmına ait kontrolleri gösteren Şekil 3'teki çizelgede en erken çalışma saati olan 250 motor saatinde kontrol edilmesi gereken dönüş silindiri bağlantı noktaları, kaldırma silindirleri bağlantı noktaları, üst şasi ön pivot yatakları ve tüm pim, rulman ve burçların aşıntı ve hasar yönünden kontrolleri yapılır. Bu kontroller devam eden çalışma süresi içerisinde 250 saatin katları sürelerinde periyodik olarak tekrar edilir. Hasar oluşma ihtimali istatistiki olarak 500 motor saatine kadar uzayan kısımlarda ise 250 motor saatindeki kontrollere ek olarak 500. çalışma saatinde gerçekleştirilir. 500. saatte ek olarak diferansiyel bağlantı noktaları ile alt şasi ve üst şasinin kaynak içeren kısımları çatlak ve hasar yönünden kontrol edilir. 500. saatte gerçekleştirilen kontroller periyodik olarak 500 saatin katlarında da tekrar edilir. 750. motor saatinde, istatistiki olarak ek bir hasar oluşma ihtimalinin belirlenememiş olması nedeniyle, sadece 250. motor saatinde gerçekleştirilen kontroller aynı şekilde tekrar edilir. 1000. motor saatinde ise önceki sürelerde yapılan kontrollerin tümüne ek olarak orta göbek boşluğunun kontrolü gerçekleştirilir. Bu kontrollere ek bir ilaveye gerek kalmadan periyodik sürelerde kontroller sürdürülür.

Şekil 3'te verilen şasi kısmına ait kontrollerin işleyişine örnek olarak orta göbek boşluğunun kontrol edilmesi (2 nolu adım) 1000. saatte gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen kontrolde işlemi yapan çalışan kimlik bilgisini renklendirilmiş bölgeye kaydederek tespit ettiği hasar ya da durumu çizelgenin devamındaki notlar bölgesine kaydeder. Teknik eleman, söz konusu kontroller esnasında herhangi bir olumsuzluk tespit edemez ise notlar kısmını boş bırakır. Böylece ilgili kontrolün kimin tarafından yapıldığı ve kontrolde tespit edilen durum kayıt altına alınmış olur.

Çizelge doldurulup aracın bakımı tamamlandığında bakımın tamamlanma onayı için amir çizelgeyi ve aracı kontrol ederek çizelgenin en sonundaki amir kontrol kısmını doldurarak, aracın bakımının tamamlanmış olduğuna karar verir.

Araç tekrar bakıma alındığında daha önceki bakımlarda açılan iş emirleri de bakım yönetim sistemi üzerinden amirin önüne geleceğinden yapılacak işlemlerin takibi neticesinde efektif ve etkin bir planlı bakım onarım gerçekleştirilmiş olur.

Araca uygulanan her bir bakım işleminde doldurulan bakım çizelgeleri saklanır ayrıca çizelgelerdeki bilgiler bakım yönetim sistemini de işlenerek bakım onarıma dair tüm veriler toplanır. Zaman içerinse toplanan veriler üzerinden bakım yönetim sistemi işletmenin ihtiyaçları doğrultusunda sorgulanarak revize edilir. Örneğin kontrol edilip onarılan maddelerde hasar mertebesinin beklenilen değerin üzerinde tespit edilmesi durumunda

bu maddelerle ilgili kontroller bir alt seviyedeki çalışma saatlerine indirilir aksi durumda ise bir üst kontrol süresine yükseltilir. Böylece bakım sistemi güncellenir ve ihtiyaca daha etkin cevap vererek, bakım kalitesi iyileşir verim artar, bakım maliyetleri düşer tüm bunlara araçları doğrudan etkilediğinden operasyon verimi ve maliyetleri düşerek işletmede etkin ve izlenebilir bir bakım yönetim sistemi işletilmiş olur.

3. SONUÇLAR

İş makineleri periyodik kontrollere ihtiyaç duyarlar.

Periyodik kontroller araç yapısı ve kullanım koşullarına bağlı olarak belirlenir.

Araç kontrol adımları kazanılan tecrübeler ışığında planlanırlar.

Kontrol çizelgelerinin kayıt altına alınması ve periyodik arşivlenmesi aracın bakım onarım hafızasını oluşturur.

Kontrol çizelgeleri her araca özel olarak üreticinin servis el kitabı kılavuzluğunda ve işletmenin operasyon koşulları göz önüne alınarak oluşturulur.

Efektif ve etkin periyodik kontroller araçları beklenilmeyen hasarlara karşı korur, aracın verimini artırıp, bakım ve kullanım maliyetlerini düşürür.

Kaynaklar

- *Uslu, U., Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021, Trabzon*
- *Uslu, U. ve Küçükömeroğlu, T., 2019. Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi, 11. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Kasım 2019, Ankara*
- *EN 474, Construction Equipment Standards Series, E.N., 01.04.2018*
- *TS EN 474, İş Makineleri Standartlar Serisi, T.S.E., 28.04.2022*
- *TS EN ISO 6165, İnşaat ve kazı makinaları - Temel tipler - Tanımlama, terimler ve tarifler, T.S.E., 13.07.2010*
- *https://www.ritchielist.com/mining/mining-equipment-remix-truck/normet-utimec-1500-transmixer/85c55358-d3ef-494b-a69f-5e97f7c79806.html, 02 Ağustos 2022*

KABLO ZIRH-BÜKÜM MAKİNESİNDE OTONOM BAKIM UYGULAMASI

Cemal Meran[1]*, Köksal İlhan[2], Uğurcan Avcı[3], Yasin Susar[3], Gülsüm Güler[3], Burak Çalhan[2]

[1]Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

[2]Nexans Türkiye Endüstri ve Ticaret A.Ş. Bakım Onarım Müdürlüğü

* İletişim yazarı; *cmeran@pau.edu.tr*

ÖZET

Makinelerin tam kapasite ve sorunsuz çalışabilmesi için makinelerin bakımının düzenli, eksiksiz ve tam yapılması önem arz etmektedir. Otonom bakım ile bakım maliyetlerinin düşürülmesi, arızaların önceden tespiti, duruş oranının düşürülmesi, makine etkinliğinin arttırılması, sıfır hatalı ürün üretilmesi, birim zamanda daha çok üretim yapılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, kablo zırh-büküm makinesi üzerinde, TPM felsefesinin 8 adımından biri olan otonom bakım uygulaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otonom bakım, Toplam üretken bakım, OEE, BDT, Zırh büküm makinesi

1. GİRİŞ

Dünyada müşterilerin ürün üzerindeki beklentisi sürekli arttığından, bu durum işletmelerin üretim sistemlerinin giderek karmaşık bir hal almasını sağlamaktadır. Üretim sistemlerinin giderek karmaşıklaşması, belirli bir verimlilik standardının korunmasını zorlaştıran etmenler arasındadır. Bir işletmede, planlanan üretimin yapılması beklenirken ortaya çıkan arızalar ve diğer problemler üretim planlarını altüst edebilmektedir. Bu durum bir işletme için kabus niteliği taşır, bu yüzden işletmelerdeki bakım faaliyetleri kritik öneme sahiptirler. Bakım faaliyetlerinin belirli amaçlara yönelik olarak bilinçli ve planlı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir (Genç, 2007).

Otonom bakımı daha iyi anlayabilmek için ilk önce TÜB (Toplam üretken bakım) felsefesinden bahsetmek gerekir. TÜB günlük üretim faaliyetleri içerisinde, çalışanların tamamının katılımını gerektiren, otonom bakımı öngören, arızaları önleyen, ekipman etkinliğini en üst düzeye getiren bir bakım yaklaşımıdır (Meran, 2021). TÜB, iyi planlanmış küçük grup aktiviteleri ile tüm çalışanlar tarafından yapılan üretken bakımdır.

TÜB, verimliliği ve kaliteyi belirgin bir şekilde geliştirir ve maliyetleri azaltır. (Akyürek, 2006). TÜB'ın 8 adet ana temeli vardır. Otonom bakım bu ana temellerden birisidir.

Otonom Bakım her operatörün günlük yapmakla yükümlü olduğu bakım, yağlama, parça değiştirme, arıza arama, tamir, hassasiyet kontrolü vb. işlerin toplamıdır şeklinde tanımlamıştır. Ayrıca günümüzde ekipmanlar oldukça karmaşık bir hal almakta, ''Operatör çalıştırır, bakımcı tamir eder ve bakımını yapar '' kavramı artık yok olmakta ve ekipman üzerinde yapılacak işler operatör ve bakımcı tarafından paylaşılmaktadır. Bazı bakım aktiviteleri ve yağlamalar operatör tarafından yapılmakta, sadece büyük bakım işleri bakımcıya bırakılır. (Hitoshi Iwashita, 1983)

İşçilerin otonom bakım uygulamaları ve operasyon bakım yeteneklerinin geliştirilmesi konularında eğitilmeleri gerekmektedir. İşçilerin de donanımların etkin kullanımı ve otonom bakım konularındaki hedeflere inanmış olmaları çok önemlidir. Üst yönetim tarafından oluşturulan uygun bir iş ortamı ve eğitilerek motive edilmiş işgücü bir araya geldiğinde otonom bakım ve diğer hedeflere ulaşmak daha kolay olacaktır. (Nakajima ve Shiroze, 1996)

2. OTONOM BAKIM NEDİR?

Toplam üretken bakımın 8 adımından biri olan Otonom bakım, üretim çalışanlarının ekipman bakımına katılımını, ekipmanların mevcut durumunun korunmasını veya kötüye gidişatının engellenmesini sağlayan tekniklerden oluşur. Otonom Bakım, temel olarak makine operatörünün 5 duyu organı ve düzenli kontroller ile kestirimci ve önleyici bakım faaliyetlerine doğrudan dahil olmasıdır. Örneğin makinenin aşırı ısınması veya düzenli yağlama işlemleri. Operatörün makinasını sahiplenerek belirli bakım faaliyetlerini bakımcıların üzerinden alarak operatöre aktarılmasını sağlar. Operatör önce birtakım basit işler ile hataların farkında olmaya başlar, sonrasında ise eğitimler ile daha ileri seviyedeki işleri devralarak bakım ekibinin daha teknik işlere odaklanmasını sağlar. Otonom bakım sadece operatörün görevidir. Bakım ekibinin görevi daha büyük sorunlar olursa başlar. Temizlik, yağlama ve sıkma gibi ön işlemler operatörün alanına girer.

Otonom bakımda temel hedef sıfır yaklaşımıdır. Sıfır iş kazası. Sıfır makine arızası, Sıfır kalite hatası. Makinedeki tüm riskli alanlar otonom bakımla gözden geçirilir, listelenir ve gerekli önlemlerin alınması sağlanabilir. Zamanında üretimin gerçekleşmesi için çok önemlidir. Müşteriye yeterli sayıda ve kalitede ürün gitmesi için çok önemlidir. Üretilen ürün doğrudan müşteriye ulaşması, hatalı ürün üretilmemesi, kalitesiz ürünler yüzünden kayıpların artmaması verimliliğin artması ile doğrudan ilgilidir.

3. KABLO ZIRH BÜKÜM MAKİNESİNDE UYGULAMA

Çalışmalarımız 2 aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada konuyla ilgili araştırma ve veri temini sağlanmıştır. İkinci aşamada ise topladığımız tüm verileri değerlendirerek, otonom bakım uygulamasının nasıl yapılacağına dair değerlendirmeler yapılmıştır.

Projenin ilk aşamasında:

- Hattaki tüm makineler listelenerek, makinelerin nasıl çalıştığına dair incelemeler yapıldı.
- Makinelerdeki arıza kayıtları firmadan temin edildi ve grafiğe dökülerek incelendi.
- Bu incelemelere göre makineler, öncelik sırası oluşturularak sıralandı.
- Makineler bu sıraya göre incelenerek, otonom bakım kapsamına alınamayacak makineler ve arıza kaynakları listeden ayıklandı.
- Son listeye göre operatörün yapabileceği bakım maddeleri oluşturuldu.
- Bakım maddelerinin periyotları ve yöntemi belirlendi.

İkinci aşamada:

- Yapılan araştırmalar ve firma yetkilileri ile görüşmelerimiz sonucu otonom bakım uygulamasının, makine hattına yerleştirilecek bir pano üzerinde takip edilmesi kararlaştırıldı.

- Pano operatörün kolayca kullanabileceği ve ihtiyaç durumunda gerekli bilgileri içerecek şekilde tasarlandı.

- Periyotlara ayrılan bakım maddeleri (günlük, haftalık ve aylık olarak) panonun merkezi ve büyük bölümünü içerecek şekilde panoya yerleştirildi.

- Pano üzerine A4 boyutunda cepler hazırlandı ve gerekli materyallerle dolduruldu.

- Operatörlerin ihtiyaç halinde kullanabileceği otonom bakım dosyası ve bakım maddelerinin detaylandırıldığı prosedür dosyası panoya eklendi.

- Bu hatta çalışan operatörlerin listesi ve imzaladıkları taahhütname panoya eklendi.

- Otonom bakımın sonuçlarını görmek adına, firmanın kullandığı performans göstergeleri (OEE ve arıza oranı) grafik halinde panoya eklendi.

- Bakım ekibine geri bildirim vermesi için sık tekrar eden arızaların takip edileceği grafik ve tablo panoya eklendi.

- Panonun denetimini yapacak ekip lideri için denetim tablosu panoya eklendi.

3.1 Otonom Bakım Tabloları

Otonom bakım tabloları, operatörün yapacağı bakım maddelerinin bulunduğu tablodur. Bu tablolar sayesinde otonom bakım süreci takip edilir ve denetlenir. Operatör kontrol ettiği her maddeyi tabloda işaretler. Eğer operatör herhangi bir arıza ya da uygunsuzluk tespit ederse, bunu bakım bölümüne de bildirmelidir. Otonom bakım panosunda günlük bakım, haftalık bakım, aylık bakım tablosu bulunmaktadır.

Günlük otonom bakım tablosunda 7 bakım maddesi vardır. Çizelge 1'de verilen bakım maddeleri, yıl boyunca her gün düzenli bir şekilde uygulanacaktır.

Çizelge 1: Günlük kontrol listesi

ZIRH BÜKÜM MAKİNASI GÜNLÜK OTONOM BAKIM TABLOSU												
YÖNTEM	NO	YAPILACAK BAKIM	1	2	3	...	...	...	...	...	30	31
	G1	SPARKTESTER TEMİZLİĞİ										
	G2	DÖNER RULO ÇALIŞMA KONTROLÜ										
	G3	ASANSÖR YAĞ KAÇAK VE SEVİYE KONTROLÜ										
	G4	HAVA BASINÇ GÖSTERGE KONTROLÜ										
	G5	PNÖMATİK SİSTEM HAVA KAÇAK KONTROLÜ										
	G6	MAKİNADA ANORMAL SES KONTROLÜ										
	G7	TEL VERİCİ SİSTEMİ HAVA KAÇAK KONTROLÜ										

Haftalık otonom bakımda ise Çizelge 2'de verilen 12 bakım maddesi vardır. Bu maddeler, yıl boyunca haftada 1 kez uygulanacaktır.

Çizelge 2: Haftalık kontrol listesi

ZIRH BÜKÜM MAKİNASI HAFTALIK OTONOM BAKIM TABLOSU												
YÖNTEM	NO	YAPILACAK BAKIM	1	2	3	...	...	...	...	50	51	52
	H1	TOPLAYICI KAYIŞLARI AŞINMA KONTROLÜ										
	H2	KATERPİL KAYIŞI AŞINMA KONTROLÜ										
	H3	1. VERİCİ KAYIŞLARI AŞINMA KONTROLÜ										
	H4	2. VERİCİ KAYIŞLARI AŞINMA KONTROLÜ										
	H5	3. VERİCİ KAYIŞLARI AŞINMA KONTROLÜ										
	H6	4. VERİCİ KAYIŞLARI AŞINMA KONTROLÜ										
	H7	1. VERİCİ KAYIŞ EKSEN KONTROLÜ										
	H8	2. VERİCİ KAYIŞ EKSEN KONTROLÜ										
	H9	3. VERİCİ KAYIŞ EKSEN KONTROLÜ										
	H10	4. VERİCİ KAYIŞ EKSEN KONTROLÜ										
	H11	TOPLAYICI TEKERLEK ÇALIŞMA KONTROLÜ										
	H12	1. VERİCİ TEKERLEK ÇALIŞMA KONTROLÜ										

Aylık otonom bakımda ise Çizelge 3'de verilen 9 bakım maddesi vardır. Bu maddeler, yıl boyunca ayda 1 kez uygulanacaktır.

Çizelge 3: Aylık kontrol listesi

ZIRH BÜKÜM MAKİNASI GÜNLÜK OTONOM BAKIM TABLOSU												
YÖNTEM	NO	YAPILACAK BAKIM	1	2	3	...	...	...	...	...	30	31
	G1	SPARKTESTER TEMİZLİĞİ										
	G2	DÖNER RULO ÇALIŞMA KONTROLÜ										
	G3	ASANSÖR YAĞ KAÇAK VE SEVİYE KONTROLÜ										
	G4	HAVA BASINÇ GÖSTERGE KONTROLÜ										
	G5	PNÖMATİK SİSTEM HAVA KAÇAK KONTROLÜ										
	G6	MAKİNADA ANORMAL SES KONTROLÜ										
	G7	TEL VERİCİ SİSTEMİ HAVA KAÇAK KONTROLÜ										

Otonom bakım yapılmadan önce sadece bakım ekibinin kontrol ettiği veya sadece arıza durumunda müdahale edilen birçok nokta, operatörlerin bakım yönetimine dahil edilmesi sayesinde gerekli görülen aralıklarda takip edilmiş olur. Bu sayede arızaların erken tespiti, üretimde meydana gelen hataların önüne geçilmesi, makine ömrünün uzaması, bakım onarım maliyetlerinin düşmesi gibi pek çok fayda sağlanmış olur.

3.2 Bakım Prosedürleri

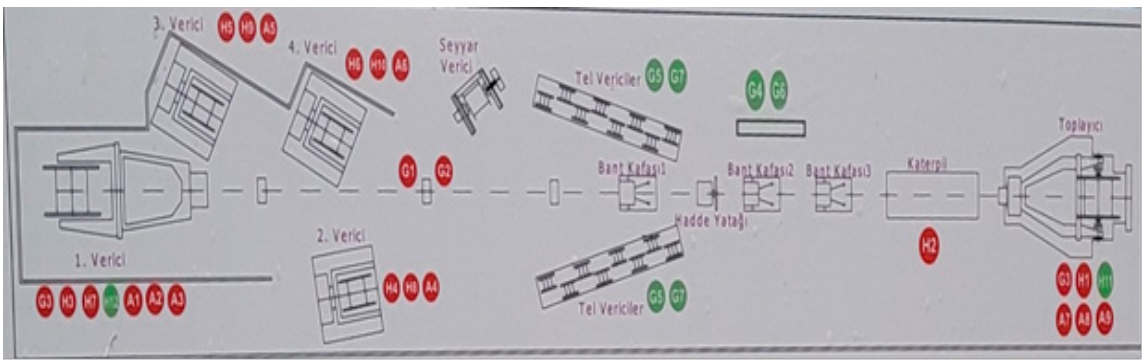
Operatörlerin otonom bakımı sorunsuz uygulayabilmesi için bakım maddelerini nasıl yapmaları gerektiğini anlatan, bakım hakkında bilgi veren, ekipmanı, tahmini bakım süresini, bakım periyodunu ve yöntemini gösteren bakım prosedürleri hazırlanmıştır. Bakım prosedürlerinin hazırlanmasındaki amaç operatörlerin bakım ekibinden bağımsız bir şekilde bakımı kolaylıkla uygulayabilmesidir. Çizelge 4'te bir bakım prosedürü örneği gösterilmiştir.

Çizelge 4: Bakım prosedürü

KB 55-1 BAKIM PROSEDÜRÜ			
EKİPMAN İSMİ:	YÖNLENDİRİCİ RULO	**BAKIM SÜRESİ:**	1 min
G2	DÖNER RULO ÇALIŞMA KONTROLÜ		
İŞLEM SIRASI			
1) Döner rulo dönme kontrolü yapılır. 2) Döner rulo yüzey aşınma kontrolü yapılır. 3) Döner rulo yüzeyinde toz , yağ vb. maddeler varsa bez ile temizlenir.			

3.3 Bakım Haritası

Otonom bakım panosu, mümkün olduğu kadar daha kolay anlaşılır ve operatöre yardımcı olacak şekilde tasarlanmaya çalışıldı. Bunun bir adımı olarak panoya Şekil 1'te görülen zırh-büküm hattının krokisi eklendi. Kroki üzerine ise otonom bakım maddelerinin sembolleri yerleştirildi. Bu sayede bakımı yapacak operatörün, çok kolay bir şekilde hangi makineye hangi bakımı yapacağını tespit edebilmesi sağlanmış oldu.



Şekil 1: *Otonom bakım haritası*

3.4 Çıkartmalar

Otonom bakım kapsamına alınan makinelerin üzerine Şekil 2'de örnekleri gösterildiği gibi bakım maddelerinin ve bakım yöntemlerinin sembolleri çıkartma yapılarak yapıştırıldı. Bu sayede operatör otonom bakım maddelerini ve yöntemlerini sık sık makine üzerinde de göreceği için, bakım esnasında hata yapma, farkında olmadan bakım yapılacak makineyi es geçme ya da yapılacak bakımı unutma gibi kısa süreli de olsa zaman kaybına yol açacak sorunları minimize etmek ve hattın başından sonuna kadar operatöre yön göstermesi amaçlandı.

Şekil 2: *Çıkartmalar*

3.5 Semboller

Çizelge 5'de görüldüğü üzere, otonom bakım panosunda farklı anlamları olan semboller kullanıldı. Bu semboller operatörün yapacağı bakımları daha kolay öğrenmesi, panoda karmaşıklığın önüne geçilmesi ve operatörün işlerini kolaylaştırması için oldukça önemlidir.

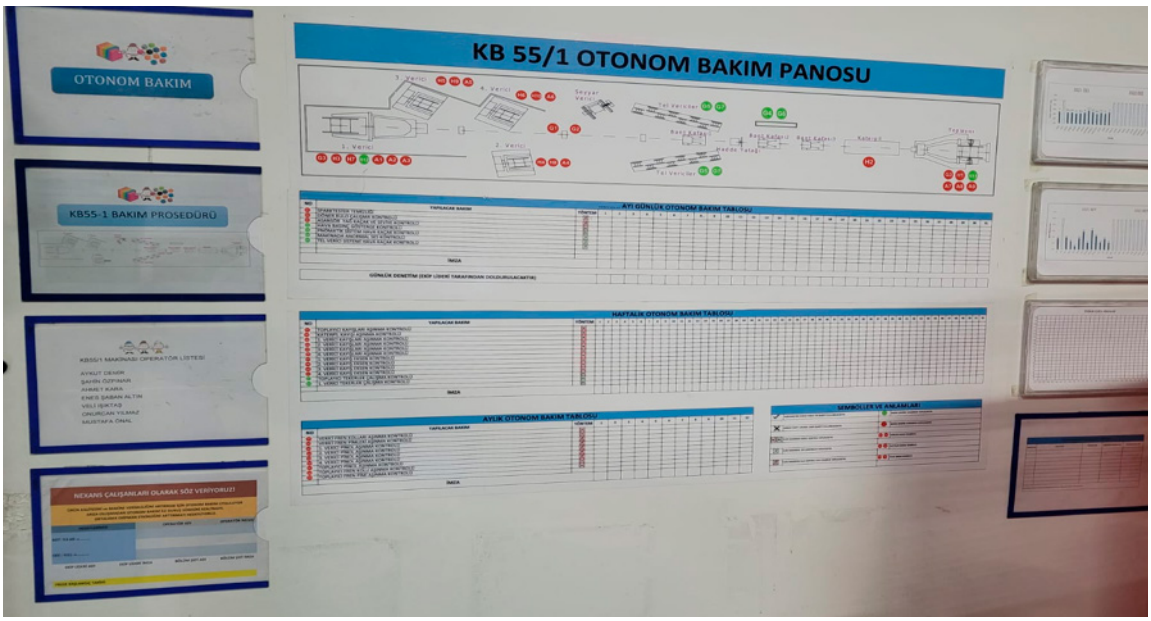
Çizelge 5: Semboller tablosu

SEMBOLLER VE ANLAMLARI	
✓ HERHANGİ BİR SORUN YOKSA TİK İŞARETİ KULLANILACAKTIR.	BAKIM MAKİNE ÇALIŞIRKEN YAPILACAKTIR.
✗ SORUN TESPİT EDİLİRSE ÇARPI İŞARETİ KULLANILACAKTIR.	BAKIM MAKİNE DURURKEN YAPILACAKTIR.
İLGİLİ MADDEDE GÖZLE KONTROL YAPILACAKTIR.	G1 G2 GÜNLÜK BAKIM SEMBOLÜ.
İLGİLİ MADDEDE SES KONTROLÜY APILACAKTIR.	H1 H2 HAFTALIK BAKIM SEMBOLÜ.
İLGİLİ MADDEDE ELLE KONTROL VEYA TEMİZLİK YAPILACAKTIR.	A1 A2 AYLIK BAKIM SEMBOLÜ.

3.6 Otonom Bakım Panosu

Hazırlanan otonom bakım panosu, herkesin kolaylıkla kavrayabileceği, kullanabileceği ve ihtiyaç duyulabilecek gerekli bilgileri en sade biçimde açıklaması için belli bir düzene göre tasarlanmıştır. Panonun sol tarafı operatörlere ve firmaya yetkililerine yardımcı olacak dosyalarla doldurularak hazırlanmıştır. Panonun orta

bölümü operatörlerin kullanacağı alan olarak seçilmiş, otonom bakım maddelerinin takip edilmesi ve denetleme işlemlerinin kolaylıkla yapılması için ayrılmıştır. Panonun sağ kısmı ise otonom bakım sonucunda elde etmek istediğimiz kazanımlar ve firmanın bakım ekibine geri bildirim sağlayacak şekilde tablo ve grafiklere ayrılmıştır. Yapılan bütün çalışmalar sonucunda Şekil 3'de gösterilen otonom bakım panosu kullanıma hazır hale gelmiştir. Yukarıda bahsedilen bütün çalışmalar panoda birleştirilmiş ve operatörün kullanımı için hazırlanmıştır. Şirketin kullandığı anahtar performans göstergelerini düzenli takip etmek için grafikler ve geri bildirim yapmak için tablolar panonun sağ tarafına, prosedürler ve operatör listesi panonun sol tarafına yerleştirilmiştir.



Şekil 3: *Otonom Bakım Panosu*

4. GENEL DEĞERLENDİRMELER

Genel olarak yapılan çalışmalar ve hazırlanan tüm materyaller otonom bakım kapsamına uygun olacak şekilde hazırlanmış ve uygulamaya konmuştur. Bu çalışmalar neticesinde otonom bakım aşamaları zamanla geçildikçe, uygulama yapılan makinede arıza oluşmadan müdahale edilmesi, OEE değerinin arttırılması, BDT değerinin azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, karlılığın arttırılması amaçlanmaktadır. Gerekli eğitimlerin verilmesiyle daha yetkin operatörler yetiştirilmesi, operatörlerin makinelerini sahiplenmeleri, kaizen çalışmalarıyla zaman kayıplarının azaltılması, fabrika içerisinde otonom bakım uygulamalarının mümkün olduğunca yaygınlaşması, çok daha verimli ve sağlıklı bir çalışma ortamı oluşması beklenmektedir.

Kaynaklar

- *Genç, A., Toplam Verimli Bakım ve Uygulaması, Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstisüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, s 14, 2007*
- *Meran, C., Bakım Tekniği ve Uygulamaları ders notları, Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, s 39, 2021*
- *Akyürek, E., Toplam Üretken Bakım Uygulamalarıyla Maliyet Düşürülmesinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Müh. Programı, s10, 2006.*
- *Nakajima, S., Shiroze, K., Total Productive Maintenance New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries, USA, S 22, 1996*
- *Iwashita, H., Japon Yönetimi Uluslararası Bakış Açıları, cilt 4, S :1, 1983.*

LİTYUM İYON PİL FABRİKASINDA İKLİMLENDİRME VE KURU ODA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON

Mehmet Akif ÇAVDARCI

Yardımcı Tesisler Bakım Onarım Kısım Amiri– ASPİLSAN Enerji
Sanayi ve Ticaret A.Ş. Mimarsinan OSB Mahallesi 1. Cad. No:43 38165 Kayseri/TÜRKİYE
mehmetakif.cavdarci@aspilsan.com

Emre ARSLAN

Sistem İzleme ve Müdahale Merkezi Sorumlusu– ASPİLSAN Enerji
Sanayi ve Ticaret A.Ş. Mimarsinan OSB Mahallesi 1. Cad. No:43 38165 Kayseri/TÜRKİYE
emre.arslan@aspilsan.com

ÖZET

Otomasyon kontrol sistemleri insan gücü ve makinelerin yaptığı tüm işleri birleştiren sistemdir. Lityum iyon pil fabrikası üretim prosesinde kuru oda, temiz oda gibi özel teknik isterler (nem ve sıcaklık değerleri) bulunmaktadır. Bu teknik isterleri sürekli takip etmek ve kontrol etmek için otomasyon tek bir nokta üzerinden bütün sistemi kontrol etmenizi sağlar. Otomasyon sistemi daha tasarruflu ve verimli çalışma imkanı sunar.

Aspilsan projesinde yaptığımız sistemlerden kısaca aşağıda bahsederek örnekleme yapmak isterim.

Klima santralleri ortamların istenilen hava koşullarını sağlamak ve hava kalitesini kontrol etmek için kullanılır. Ortamda istenilen sıcaklık kontrolleri için dış hava sıcaklığı ve ortam sıcaklığı karşılaştırılarak ve sıcak veya soğuk su hatları kullanılarak istenilen değerler daha az enerji harcayarak sağlanmış olur. Ayrıca havalandırma sistemleri hatları üzerindeki sensörler aracılığı ile istenen basınç değerleri kontrol edilebilmektedir. Kuru oda nem değerlerini sağlamak içinse ön ısıtıcı,rotor gibi ekipmanlar kullanılmaktadır.

Sıcak su sisteminde kazanların giriş-çıkış sıcaklık Delta T oranına göre çalışması harcadığı enerjiyi daha az kullanmasında büyük önem taşır.

Su soğutma gruplarından olan hava soğutmalı chillerler çıkış suyu sıcaklığını dengelemek için otomasyon tarafından start verilmiş olsa bile otomatik devreye girip çıkarak gereksiz su soğutmanın önüne geçmiş olurlar. Böylelikle verimliliği arttırarak enerji tasarrufu sağlanmış olur.

1. GİRİŞ

ASPİLSAN Enerji, Türkiye'de pil ve batarya teknolojisinde milli bir teknolojinin oluşturulması ve sektöre yön veren bir konuma gelme amacı ile 2017 yılından itibaren Ar-Ge faaliyetlerine başlamıştır. Özellikle henüz ülkemizde üretimi yapılmayan Li-iyon silindirik pil hücresi üretimi konusunda öncü olmak, pil hücresi malzemesi geliştirmek, pil tasarımı ve hammaddelerin yerlileştirilmesi konusunda ülke içi bir ekosistem oluşturmak için Lityum İyon Silindirik Pil Üretim Tesisi'ni kurma çalışmalarına başlamıştır. Üretilecek hücre; Li-NMC/grafit kimyasında, 18650 tipinde, 2800 mAh kapasitede, 3,6V gerilime sahip olacak şekilde üretilmektedir. Tesisin üretim kapasitesi yıllık 220 MWh'dir.

Kayseri Mimarsinan OSB'nde 25.000 m2 kapalı alana sahip olan tesis, idare binası olan A-Blok, pil ve batarya üretim hatlarının bulunduğunu B-Blok ve 7600 m2 rezerv alana sahip olan C-Blok olmak üzere üç binadan oluşmaktadır. Rezerv alanın müteakip yatırımlar için kullanılması planlanmıştır. 02 Ekim 2020 tarihinde temeli atılan tesisin Aralık 2021 ayı sonu itibari ile inşaatı tamamlanmıştır.

Makine, ekipman ve yardımcı sistemlerinin kurulum, devreye alma, saha kabul testleri tamamlanmış ve deneme üretimine geçilmiştir. Haziran 2022 ayı içerisinde optimizasyonun gerçekleştirilip seri üretime başlanmıştır. [1]

2. KURU ODA& TEMİZ ODA

Askeri ve sivil amaçlı pil teknolojilerinin (rezerv piller, lityum pilleri, vb.) tasarımı, geliştirilmesi, üretimleri, nem seviyesinin en fazla % 1 olduğu Kuru (Nemsiz) Odalarda yapılmaktadır.

Kuru odalara malzeme işleme ve depolama için düşük çiğ noktası ihtiyacı olan ilaç, otomotiv ve farklı endüstrilerde ihtiyaç duyulur. Günümüzde nem konusunda en hassas olan lityum ve alternatif batarya üreticileri kuru odaların kuru odalarla ilgili gereksinimleri devamlı olarak yükseltmektedir. Kuru oda tasarımı ısı ve nem yükü hesaplamaları gibi çok fazla detay ve özel gereksinim içerir. Tasarımda yapılan çok küçük bir hata büyük zarara ve hasara neden olabilir.

Kuru Oda Tasarımı Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler;

- Çiğ noktası, sıcaklık, egzoz, kimyasallar, partiküller ve tesisin gelecekte genişleme ihtimali gibi proses gereksinimleri
- Vardiya zamanlaması, insanlardan, hareketten kaynaklanan yükler
- Makine yükleri; ısı, ses seviyeleri, otomasyon
- Enerji sarfiyatı; oda içinde kullanılacak ekipman, HVAC, aydınlatma
- Yedekleme; yedek güç ünitesi, jeneratör vs, soğutulmuş su
- Arıza ya da duruş maliyetleri; saha hizmeti, eğitim, önleyici bakım
- Dış çevre; üreticileri erişim, iklim, sismik bölge, yerel koşullar
- Bina bütünlüğü [2]

Temiz Oda Sisteminde Stabilirliliği Sağlayan Şartlar

- Oda içi basınç değeri
- Oda içi ısı değeri
- Sızdırmazlık
- Oda İçi Davranış

Pil Üretim Tesisi prosesleri için gerekli olan kuru ve temiz oda ihtiyaçlarının belirlenmesinin ardından yurt dışı firmaları da dahil olmak üzere alanında yetkin firmalar ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve ihale sürecine

başlanmıştır. İhale kapsamında Türkiye'de daha önce kurulumu tamamlanan yüzde 1 ve altı nem oranına sahip TÜBİTAK SAGE ve TÜBİTAK MAM'da yer alan kuru odalara teknik ziyaret düzenlenmiş ve kuru oda ihale ve kurulum süreçlerindeki tecrübeleri hakkında bilgi alınmıştır. Tasarım neticesinde 970 m² 'si yüzde 1 nem oranı ve ISO 7 temizlik sınıfında; 520 m² 'si yüzde 10 nem oranı ve ISO 8 temizlik sınıfında; 520 m² 'si yüzde 30 nem oranı ve ISO 8 temizlik sınıfında olmak üzere toplam 2010 m² kuru ve temiz oda planlanmıştır. Proje gereksinimlerine göre hazırlanan ihale paketinin ardından Türkiye'den üç firma, Güney Kore'den iki firma olmak üzere toplam beş firma ile yapılan teknik görüşmelerin ardından finansal teklifleri alınmıştır. Firmalardan alınan ilk tekliflerin arasından en uygun teklifi veren üç firma ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiş ve firmaların teknik, idari ve finansal yeterlilikleri değerlendirilmiştir. Yapılan nihai görüşmelerin ardından üç firmanın katıldığı ortak oturumla açık eksiltme usulü ihale gerçekleştirilmiştir. İhale sonucunda daha önce tamamladıkları projeler ve finansal teklifi dikkate alınarak HTL - Tekno Elektromekanik Müh. San. ve Tic. A. Ş. ile sözleşme imzalanmıştır. 2021 yılı sonu itibari ile kurulumu tamamlanan kuru oda, alan itibari ile Türkiye'nin en büyük kuru odası olma niteliğini kazanmıştır. Aynı zamanda Türkiye'nin yüzde 1 nem oranına sahip kuru oda alanlarının toplamından daha büyük kuru oda kurulumu gerçekleşmiştir.

2.1.Kuru oda elemanları;

2.1.1.Paneller

Oda metal panellerden oluşturulmalıdır. Paslanmaz çelik ya da galvaniz yüzeyler odanın verimli çalışmasını sağlar. Panellerin ayrıca izolasyonlu ve yangın dayanımlı olması beklenir.

Resim 1 Kuru oda panelleri

Basınç; Oda içi şartlarını sağlaya bilmek için oda basıncı 49.9 pascal değerinde olmalıdır.

Isı değeri; Oda içi şartlarını sağlamak için oda içi istenen değerler belirlenen şartlarda olmalıdır set edilen sıcaklık set değeri program senaryosunda yavaş bir şekilde sağlanmaktadır.

Sızdırmazlık;Oda içindeki sızdırmazlık üretilen kuru havanın atmosfere kaçmaması hem ekonomi için hem de oda değerlerinin korunması ve sağlanması açısından önem taşımaktadır.

Oda İçi Davranış; Oda içinde üretim esnasında kullanılan kıyafetler özeldir oda içine giriş Airshower lardan yapılmakta, insan ve malzeme girişinde yüksek basınçlı ve şartlı hava duşundan geçirilerek üzerinde bulunan nemler alınmaktadır. Temizlik bakım gibi faaliyetler de özel solüsyon ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Üretim alanında su kullanmak yasaktır. [3]

2.1.2.Hepa Filtre

Temiz oda teknolojisi ve ilaç sektöründe sistemin can damarı klima sistemi ve dolayısıyla hava kalitesidir. Havanın odaya dağılımı ise genellikle HEPA filtre kutuları üzerinden yapılır. Bunların seçiminin doğru yapılması, sızdırmaz olarak montajı çok önemlidir.

2.1.3.Zemin

Kuru odalarda diğer bir gereksinim ise antistatik zemindir. Zemin serbest statik yükleri çekerek çalışanlara ve oda içindeki ekipmana zarar gelmesini engeller.

2.1.4.Kapı&Hava Duşları

Standard kapılar ve acil çıkış kapıların panel ile aynı malzemeden üretilmesi ve kaçak noktası yaratmayacak şekilde monte edilmesi gereklidir. Düşük Yoğuşmalı İklimlendirme ve Test Kabini içerisinde ki şartlandırılmış havayı muhafaza etmek için kullanılır. Tam kapalı haldeyken contası şişer. Kırmızı lamba diğer kapılardan birinin açık olduğunu ya da interlock süresinin devam ettiğini gösterir. Bitişik kapı açılıp kapandığında 20 saniyelik bir interlock süresi başlar ve kapı acil durum dışında açılmaz.

Yeşil lamba kapının açılabileceğini gösterir. Yaklaşım sensörü ile kapı açılır. Bakım gerektirmez. Senede 1 conta aşınma kontrolü yapılır.Periyodik olarak değişimi söz konusu olabilir.Hava duşları ise ; Oda içerisine girişlerde bulunur basınçlı ve şartlandırılmış olan hızlı kurutma ve temizlik ünitelerindir.

Resim 2: *Gaz Sızdırmaz Kapılar*

2.1.5.Kontrol ve ölçüm elemanları

Kuru oda içerisinde çiğ noktasını tespit etmek, ölçmek ve kontrol etmek için kontrol ve ölçüm elemanları bulunmalıdır. Bu cihazlar sayesinde oda içerisinde nem durumu büyük sapmalar olmadan kontrol edilebilir.Bu kontrolleri sahadaki bazı otomasyon enstrümanları ile yaparız .Bunlar genelde aşağıdaki gibidir.

PART NUMBER	PRODUCT CODE	PART DESCRIPTION	BRAND	PART NO	INSTALLED EQUIP. QTY.	RECOMMENDED QTY.
		OTOMASYON YEDEK PARÇA				
1	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-001	DIŞ HAVA SICAKLIK SENSÖRÜ	SIEMENS	QFM3171	1	1
2	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-002	DAMPER MOTORU	SIEMENS	GCA161.1E	14	2
3	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-003	DAMPER MOTORU	SIEMENS	GMA161.1E	4	1
4	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-004	KANAL FARK BASINÇ SENSÖRÜ	BECK	984M.553	14	2
5	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-005	TAZE HAVA DEBİSİ	BECK	984M.523	2	1
6	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-006	FILTRE KIRLI SENSORU	BECK	911.82	29	3
7	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-007	ODA FARK BASINC SENSORU	BECK	984M.5x3	21	2
8	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-008	SICAKLIK SENSÖRÜ	SIEMENS	QAE2174.15	15	2
9	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-009	SICAKLIK SENSÖRÜ	SIEMENS	QAE2112.10	26	3
10	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-010	SICAKLIK VE NEM SENSÖRÜ	SIEMENS	QFM2171	4	1
11	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-011	DONMA TERMOSTADI	SIEMENS	QFA81.6	8	1
12	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-012	VALF AKTUATOR	SIEMENS	SAS61.03	16	2
13	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-013	PLC	AUTOMATED LOGIC	SE6166SP	21	2
14	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-014	ROUTER	AUTOMATED LOGIC	LGR250	2	1
15	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-015	FREKANS İNVERTERİ	ABB	ACH580-18,5 ACH580-01-039A-4	4	1
16	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-016	FREKANS İNVERTERİ	ABB	ACH580-15 ACH580-01-033A-4	5	1
17	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-017	FREKANS İNVERTERİ	ABB	ACH580-2,2 ACH580-01-05A7-4	2	1
18	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-018	FREKANS İNVERTERİ	ABB	ACH580-3 ACH580-01-07A3-4	3	1
19	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-019	FREKANS İNVERTERİ	LENZE	16129217 i500 hız kontrol cihazı I51AE137F10V10000S	3	1
20	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-020	KAPI KAPATICI	GEZE	TS3000	25	2
21	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-021	KAPI KAPATICI	GEZE	TS5000	13	1
22	ASP_KYS_KTO_YP_OTM-022	ELEKTRİKLİ KAPI KİLİDİ	HTL		24	3

Liste1 Kuru odada kullanılan kontrol elemanlar

2.2.İklimlendirme Sistemi Elemanları

2.2.1.Nem Alma Ünitesi

Nem alma ünitesi rotoru pH nötr ve kimyasal dayanımlı malzemeden imal edilmiş olmalıdır.Eğer ünite batarya üretim tesisinde kullanılacak ise rotorun üretim sırasında ortaya çıkan gazlar ile tepkimeye girmemesi gereklidir.Havadaki nemi kimyasal olarak almaya yarayan içinde silika jel bulunan rotordur. Bakım gerektirmez. Yaklaşık ömrü 10 yıldır. Reaktivasyon ısıtıcısı nem yüklü silika jelleri kurutarak reaktive olmalarını sağlar. Çalışma sıcaklığı 135-145 oC'dir.

Resim 3: *Nem Alma Ünitesi(ROTOR)*

2.2.2.Fan

Proses kurutucu fanlar ve reaktivasyon fanları santrifüj fan olarak seçilmelidir.Titreşim ve gürültüyü azaltmak için fanların titreşim sönümleyici malzemelerle monte edilmesi gereklidir.

2.2.3.Yoğuşturma Ünitesi

Yoğuşturma üniteleri hava ya da su soğutmalı yarı hermetik kompresörlere sahip olmalıdır. Ünitelerin nem durumunu gösteren gözetleme camları, manyetik kontaktörleri, su ayarı valfleri, emiş hattı filtreleri ve kontrol üniteleri olmalıdır.

2.2.4.Elektrik Panoları

DDC: Direct Digital Control

Otomasyon sistemini kontrol eden PLC ve Bileşenlerinin bulunduğu panodur. UPS ile beslenir.

MCC: Motor Control Center

Sistemde bulunan motorların kontrol edildiği içinde inverterler bulunan kumanda panosudur.

ADP: Ana Dağıtım Panosu

Ana gücün girip dağıtımının yapıldığı ve içinde kesicinin olduğu panodur.

ISITICI PANOSU

Reaktivasyon ve Kanal Tipi Isıtıcının kumanda edildiği içinde kontaktör ve tristörlerin bulunduğu panodur.

Resim 4 : *Sistem elektrik panoları*

2.2.5.Isıtma Kazanı

Ahu klima santrallerine ısıtılmış sıvı üretmektedir Oda içi ısı şartlandırılmasında kullanılır.

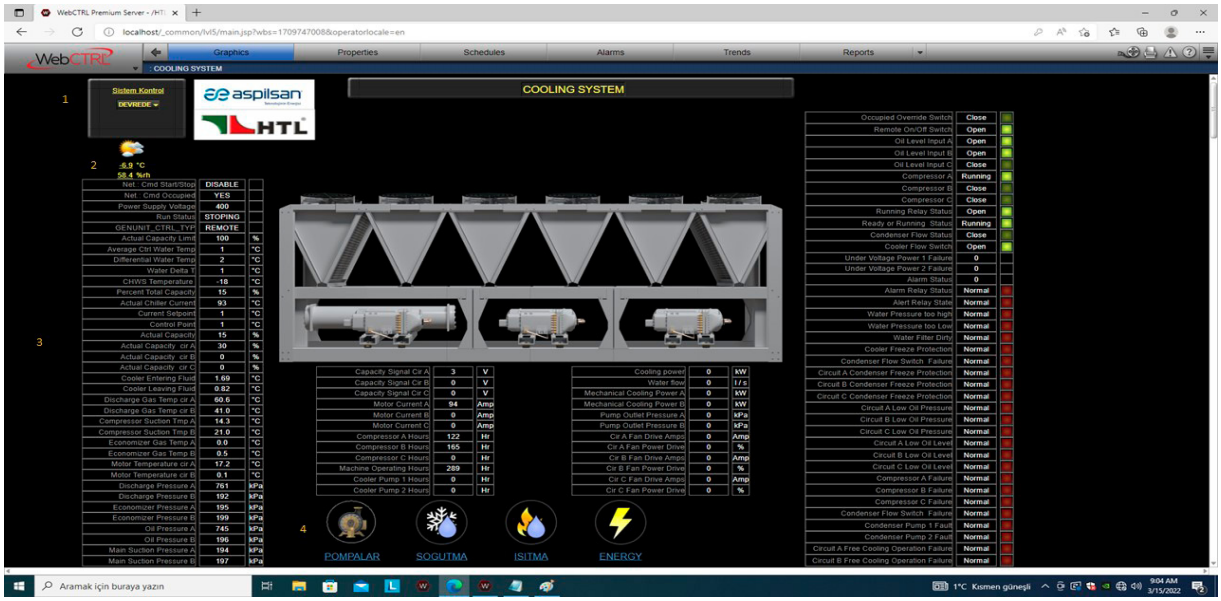
2.2.6.Soğutma Grubu

Soğutma grubu ön soğutucudan geçen havayı 1oC ye kadar soğutmak için gerekli şartlandırılmış suyu sağlar. %25 oranında antifiriz ilave edilmiştir. Set değeri 1-5oC olarak ayarlanmıştır.

Primer devrelerine entegre edilen klima santrallerindeki radyatörlere soğutma sıvısı üretmektedir. Aynı zamanda mahal ısı şartlandırılmasındaki Ahu klima santrallerine de soğutulmuş sıvı gönderir.

Bakımları yetkili servis tarafından yapılmalıdır. Yaz ayları sonlarında antifiriz seviyesi kontrol edilmeli gerekiyorsa ilave edilmelidir.

Resim 5 : *Soğutma Grubu (Chiller)*



Resim 6 : *Chiller Scade Kontrol Ekranı*

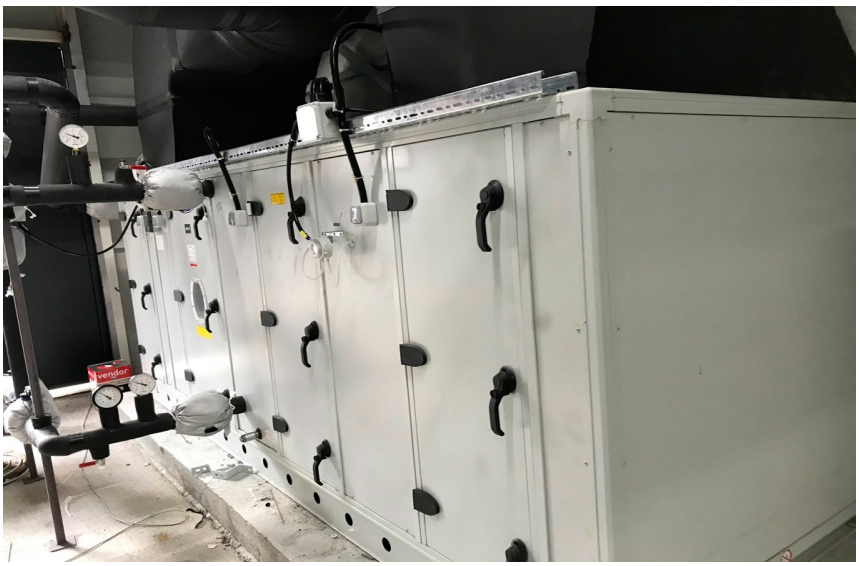
2.2.7.Primer Devre (Ön Şartlandırma Ünitesi)

Sırasıyla M6 ve F7 kompak filtrelerden havayı geçirir. Soğutma bataryası ile geçen havayı 1oC ye kadar soğutup nem alıcı rotora gönderir. Filtre kirlilik sensörleri otomasyon sisteminden takip edilerek kirlendiğinde değiştirilmesi gerekir. Fan motoru bakım gerektirmez.Motor periyodik yağlaması yapılmalıdır. Ön şartlandırma santrallerinde sıcak batarya bulunmamaktadır.

Resim 7: *Primer Devre Santrali*

2.2.8 Seconder Devre(Son Şartlandırma Ünitesi)

İhtiyaç varsa havayı konfor şartlarına soğutup F9 filtreden geçirerek Temiz odaya şartlandırılmış hava beslemesi yapar.Filtre kirlilik sensörleri otomasyon sisteminden takip edilerek kirlendiğinde değiştirilmesi gerekir. Fan motoru bakım gerektirmez.



Resim 8: *Seconder devre Klima Santrali*

Primer devresinde nemi alınan kuru hava üretim alanına ısı şartlandırılması yapılarak senaryoya bağlı kalınarak oda ısısı korunur.

2.2.8.Gaz Sızdırmaz Damper

Sızdırmaz damper, içindeki contanın basınçlı hava ile şişerek hava geçişini engellemektedir.

Klima santrallerine bağlı şartlandırılmış havanın üretim alanına geçmesine ve sistemin arıza yada durdurulma

durma durumlarında hava kanallarının hızlı bir şekilde kapatarak üretilmiş ve üretim alanına basılmış olan kuru havanın basınçlı kalması ve sızdırılmamasını sağlar.

Basınçlı hava ile çalışmaktadır. Sızdırmaz damperler içindeki contanın basınçlı hava ile şişerek hava geçişini engellemektedir. Arıza ve açık kapalı pozisyon bilgileri SCADA üzerinden izlenmektedir. Ayrıca aktuatör üzerinde bulunan indikatörlerden açık kapalı bilgisi gözlemlenebilir. Sarı renk açık, kırmızı renk kapalı olduğunu göstermektedir.

Resim 9: *Gaz sızdırmaz damperler*

3. KURU ODA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON

Otomasyon sistemi pil üretimi gibi sıcak ve nem değerlerinin çok hassas olduğu bir tesisin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu tip tesislerde web-tabanlı izleme kayıt sistemleri kullanılmalıdır. Böylece tüm değişkenleri anında izleyebilme ve kumanda edebilme dışında izlenebilirlik de sağlanmaktadır. Yani herhangi bir problem durumunda geriye dönük olarak tüm arızaları, bir odanın o andaki basınç, sıcaklık, nem, hava besleme ve emiş debileri, klima santralarininçalışma, filtrelerin kirlilik durumları, vb. tüm bilgilere ulaşılabilir. Otomasyon sistemi;

- Laboratuvar ve klima santrali, soğutma grubu, vb. ekipmanlarının nem,sıcaklık, basınç, gibi tüm parametrelerinin otomatik kontrolünü sağlamalıdır.
- Kullanıcılar yetki seviyelerine göre; sistemin grafik ara yüz aracılığı ile proses şartlarını izleyebilmeli ya da değiştirebilmelidir.
- Tüm kritik parametreler ve arızalar, müdahaleler izlenebilirliği sağlamak üzere kayıt altına alınmalıdır.
- Otomatik Kontrol Sistemi GAMP 4.0(Good Automated Manufacturing Practice) esaslarına göre yapılmalıdır.
- Prosesin kontrolü otomasyon server bilgisayarı üzerinden yapılmalıdır.
- Sistemdeki tüm fan motorları frekans inverteri kumandalı olmalı ve izin verilen sınırlar içinde filtre kirlenmesinden bağımsız hava debisi ve basınç sağlamalıdır.
- Egzost fanları ve klima santrali fanları interlockli olmalı sitemin hiçbir zaman pozitif basınca geçmemesi garanti altına alınmalıdır.
- Yedek sistemlerin devreye alınışı sırasında basınç dalgalanmaları olmaması için fanların rampa

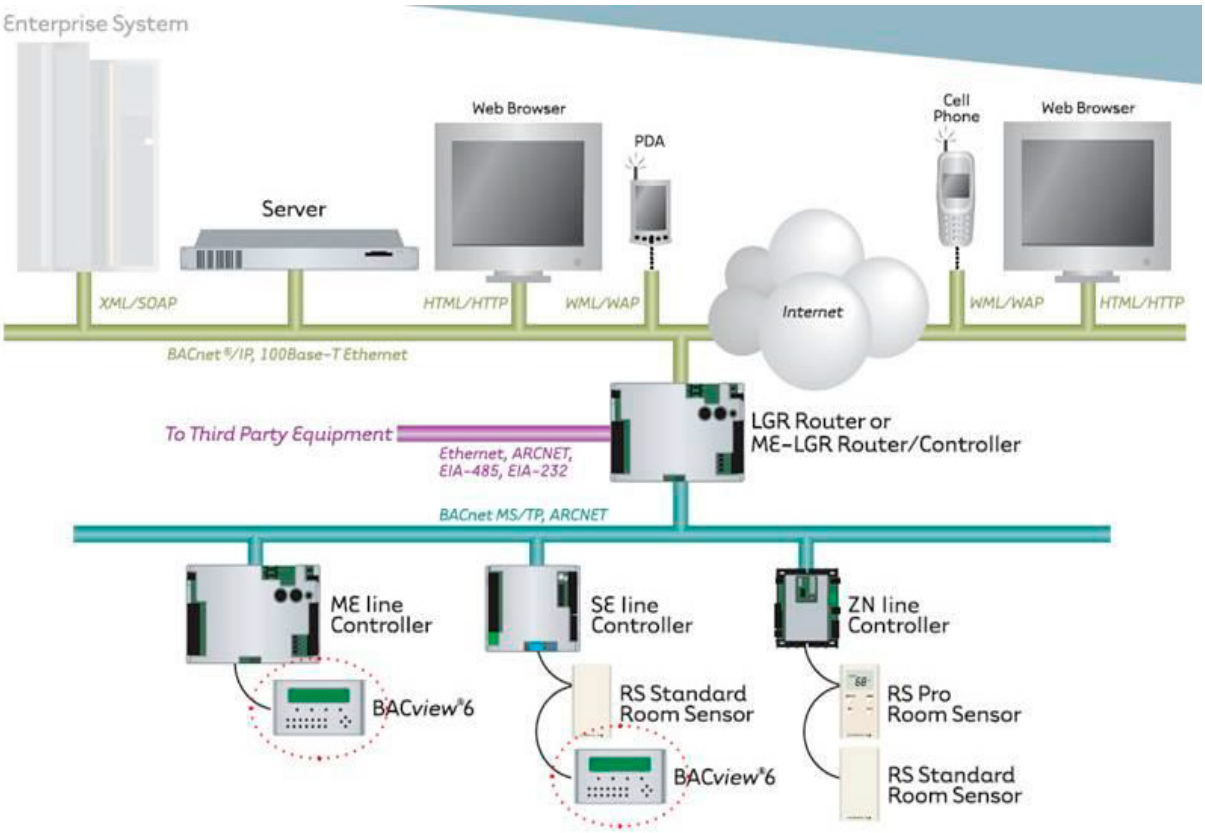
zamanları çok titizlikle tekrar tekrar test edilerek ayarlanmalıdır.

• Fanların otomasyonunda PID ayarları titizlikle yapılmalı, PID ayarında diferansiyel fonksiyon ihmal edilmemelidir. Ziegler-Nichols yöntemiyle ayar yapılmasını önerilir.

• Gereğinde uzaktan erişim ve kontrol imkanı sağlamak için modem bulunmalıdır. Ancak uzaktan erişim şifresi tek kullanımlık olarak düzenlenmeli ve sadece servis ihtiyacında ve kontrollu olarak kullanılmalıdır.

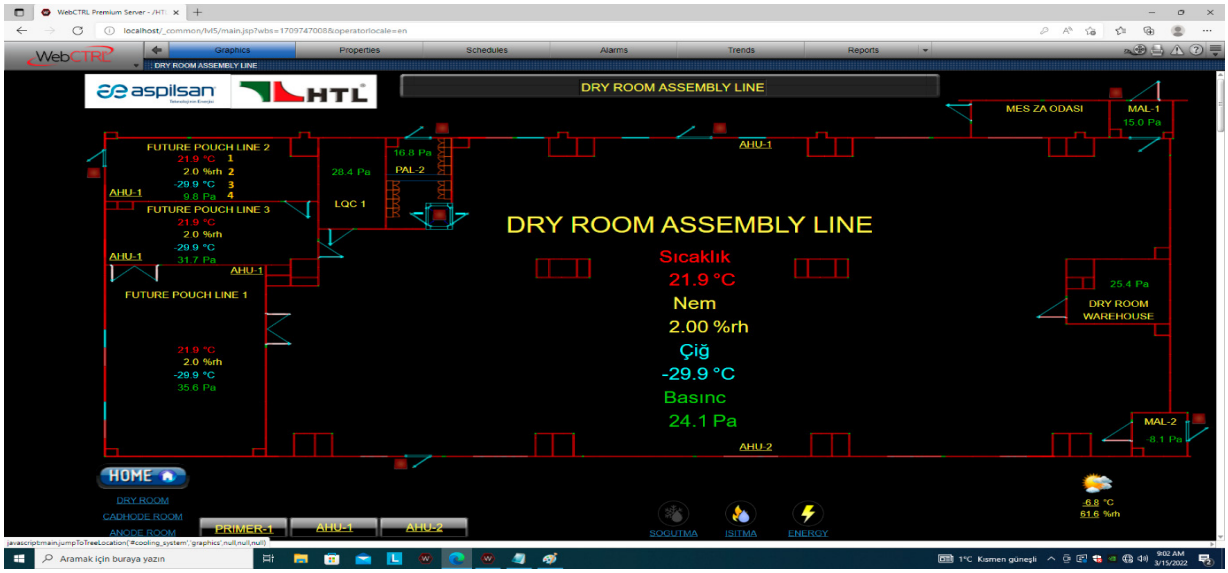
• Enerji tasarrufu sağlamak için gece ve hafta sonları fan devirlerinin düşürülmesini önermiyorum.
• Ancak ısıtma ve soğutma değerleri ekonomi değerlerine getirilebilir.

• Kamera, yangın algılama, erişim kontrol sistemleri ile bina otomasyon sistemi aynı bilgisayarlarda bulunmalıdır. [4]



Resim 10: *Haberleşme Protokolleri ve Bağlantı Devreleri*

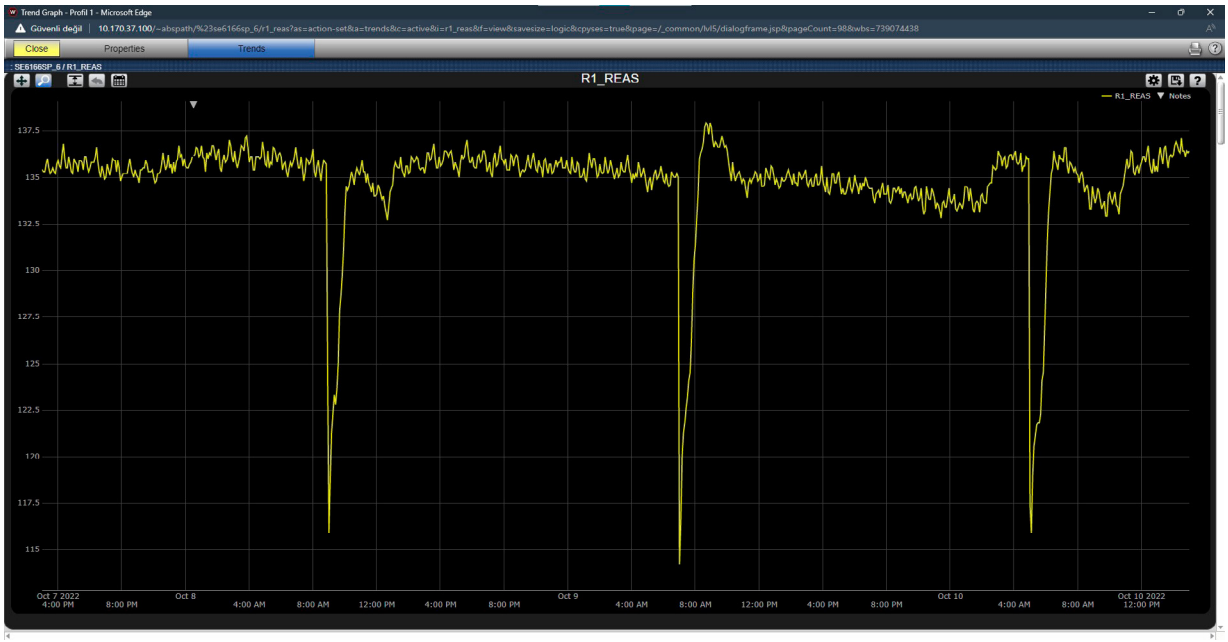
Kontrol edilecek ya da okuma yapılacak cihazın özelliğine göre bazı ekipmanlar, örneğin çiğ sensörleri Modbus olarak, chiller BacNET olarak, bazı elemanlar kontrol PLC'lerine direkt olarak (on/odd, 0-10 V, 4-20 mA gibi) bağlanırlar ve LGR ünitesi üzerinden web, eternet çıkışı sağlanır. Ethernet ya da internet üzerinden bilgisayar, tablet, vb. herhangi bir cihazla; size verilen kullanıcı adı ve şifre ile sahip olduğunuz yetki seviyesine göre işlem yapılabilir.İzleyici yetki seviyesinde sadece alttaki örnekteki gibi ana değerleri görebilir.Kullanıcı yetki seviyesinde ilaveten sıcaklık, nem, basınç gibi ayarları (Birlikte karar veririz) yapabilirsiniz. Santral, chiller, vb. ekranları görebilirsiniz. Trend analizi, geçmişe dönük rapor alabiliriz.



Resim 11: *ASPİLSAN Kuru oda Scada Mimari Görüntü*

Admin seviyesinde PID vb. kritik ayarlara erişebilmemiz gerekmektedir.. Bu ayarların yanlış yapılması sisteme hasar verme riski taşır. Mesela yanlış ayarlanmış reaktivasyon ısıtıcısı rotorun hasar görmesine neden olabilir. Rotorlar sistemin kalbi durumunda, pahalı ve teslim süreleri uzun elemanlardır. Dolayısıyla bu seviyenin şifreleri, vb. sizde olsa bile kullanılmamasını öneririz.

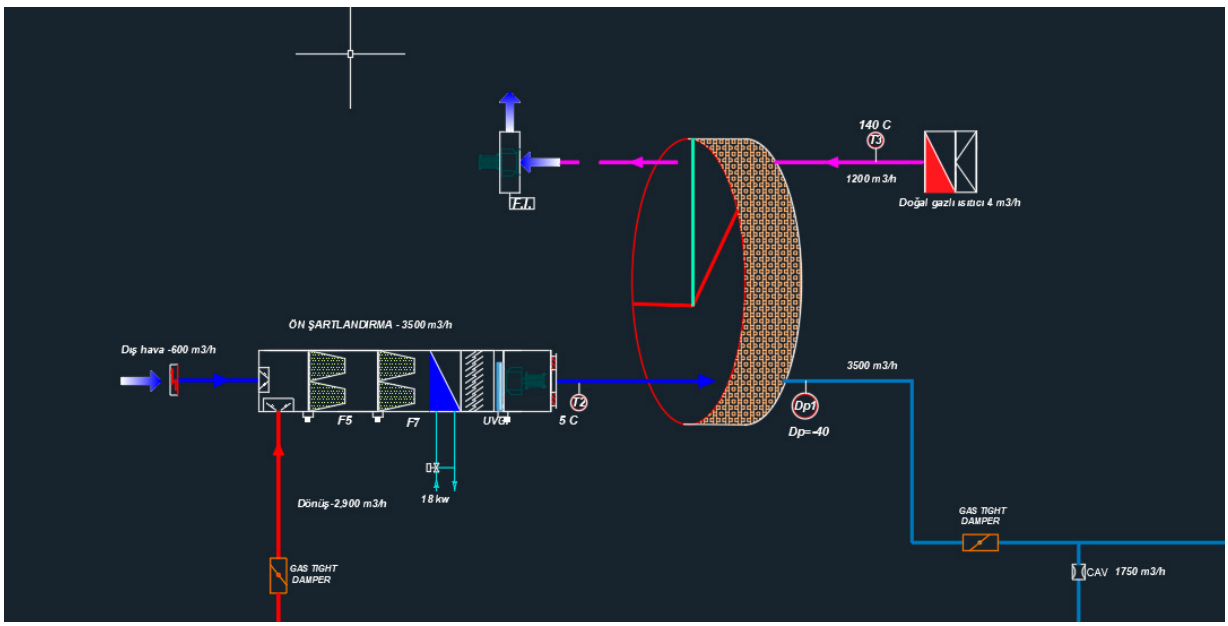
Bu sisteme gerek ethernet, intranet, BacNET veya internet üzerinden herhangi bir bilgisayarla erişebiliriz. Bu bilgisayar diğer otomasyon işleri için kullandığınız bir bilgisayar da olabilir.



4. SİSTEM ARIZA ANALİZLERİ/ VAKA ÇALIŞMALARI

Primer Devresi;

Klima santrali girişine entegre edilmiş bir cihazdır şartlandırılacak havayı alarak chiller sistemine bağlı olan 0 derecede üretilen soğutma sıvısının radyatör ile içinden geçirilerek soğutulan hava ROTOR adı verilen özel tambur içerisinden geçirilerek santral içine basılmaktadır. Nemi alan ROTOR minimum 120 derece maksimum 140 dereceyle çalışan BRÜLÖR vasıtasıyla kurutulur. ROTOR saatte 2 tur atacak şekilde servo motor ile döndürülmektedir.



Resim 12: *Primer Devre Akış Şeması*

Olası Arızalar

• Mahal basıncının düşmesi

Yaklaşım;

1- Oda kapıları kontrol edilir

2- Ahu klima santralleri fan devirleri kontrol edilir.

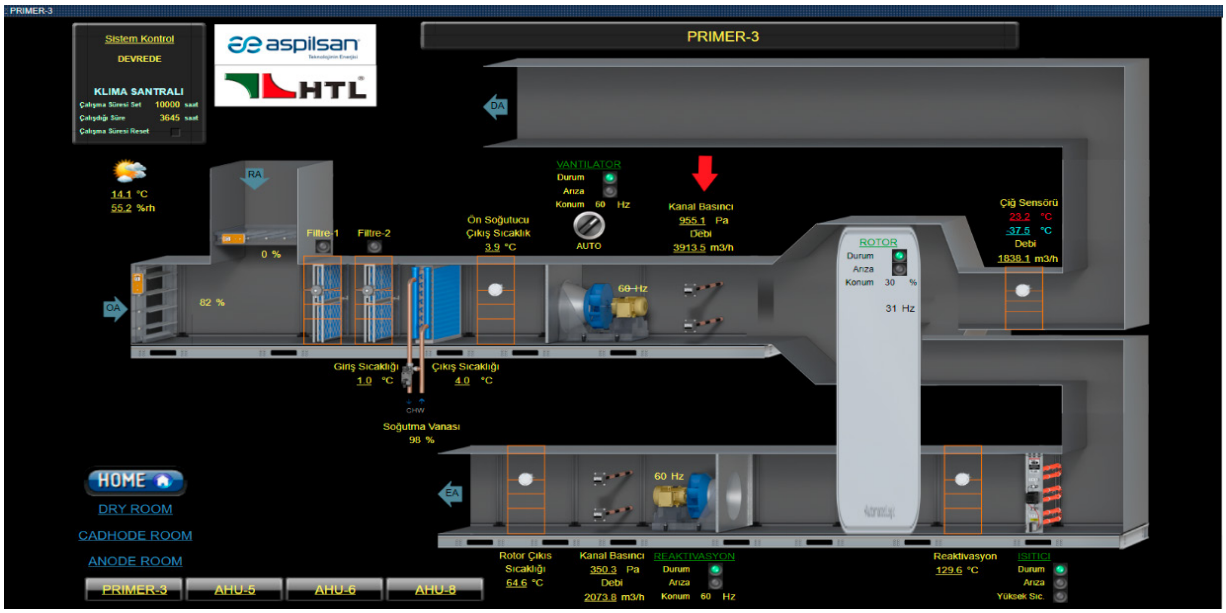
3- Ahu klima santral basınçları kontrol edilir.

4- Ahu klima santralleri damperleri kontrol edilir.

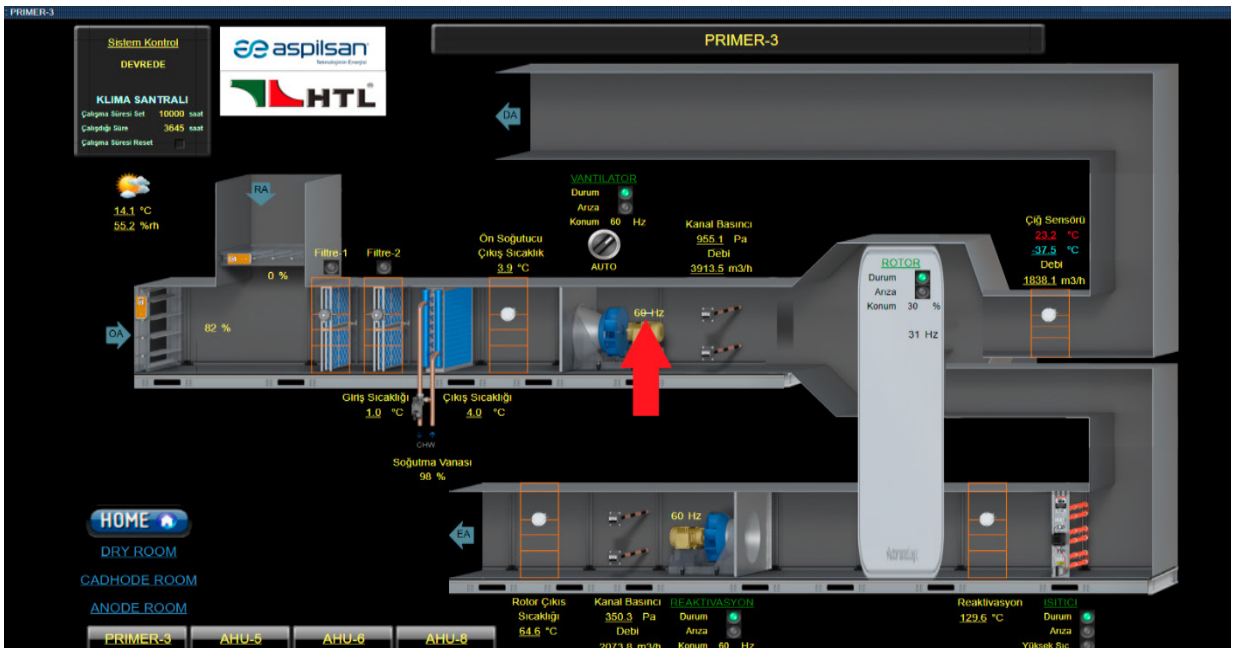
5- Otomasyon üzerinden Primer devresi fan devri, kanal basınçları ve damperler kontrol edilir

6- Mahal içerisinde sızdırmazlığı bozan etkenler araştırılır.

7- Acil müdahale için fan devri, kanal basıncını artırıla bilmesi için değiştirilir damper ayarlarıyla kontrol altına alınır.



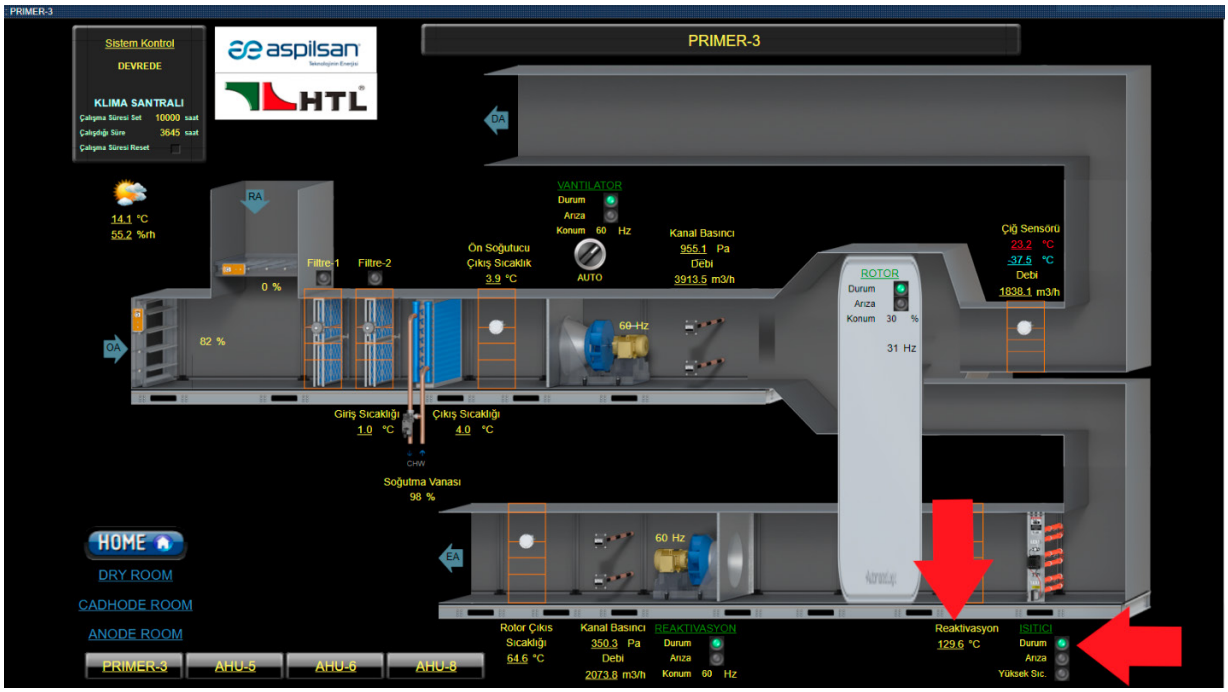
Resim 13: *Kanal basıncı kontrol noktası*



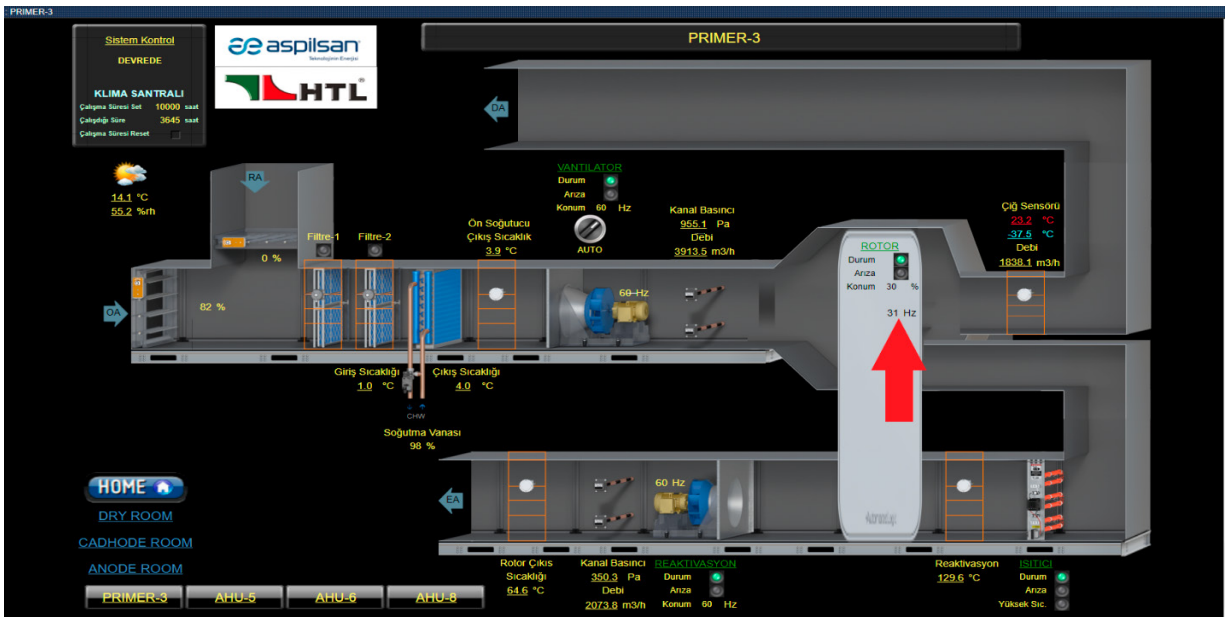
Resim 14 : *Fan Devri Kontrol Noktası*

• ***Reaktivasiyon ısının düşmesi,***

1- Primer devresi ekipmanlarından olan ısıtıcı brülör kontrol edilir.

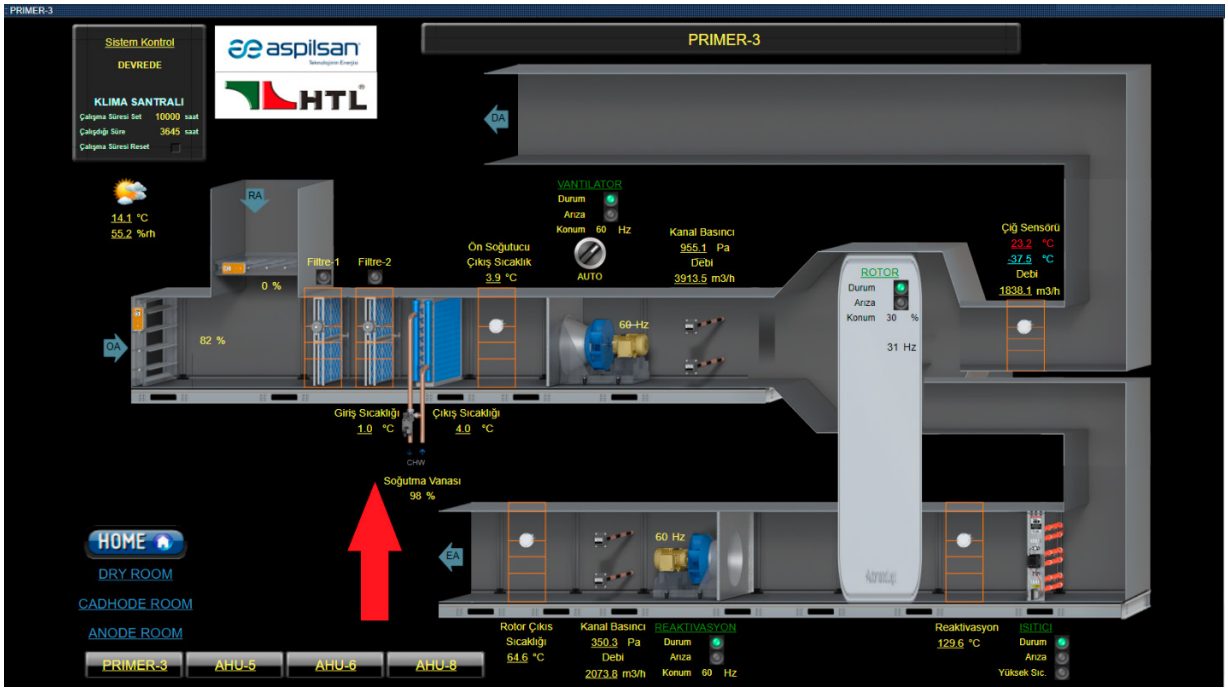


2- Rotor dönme hızı kontrol edilir

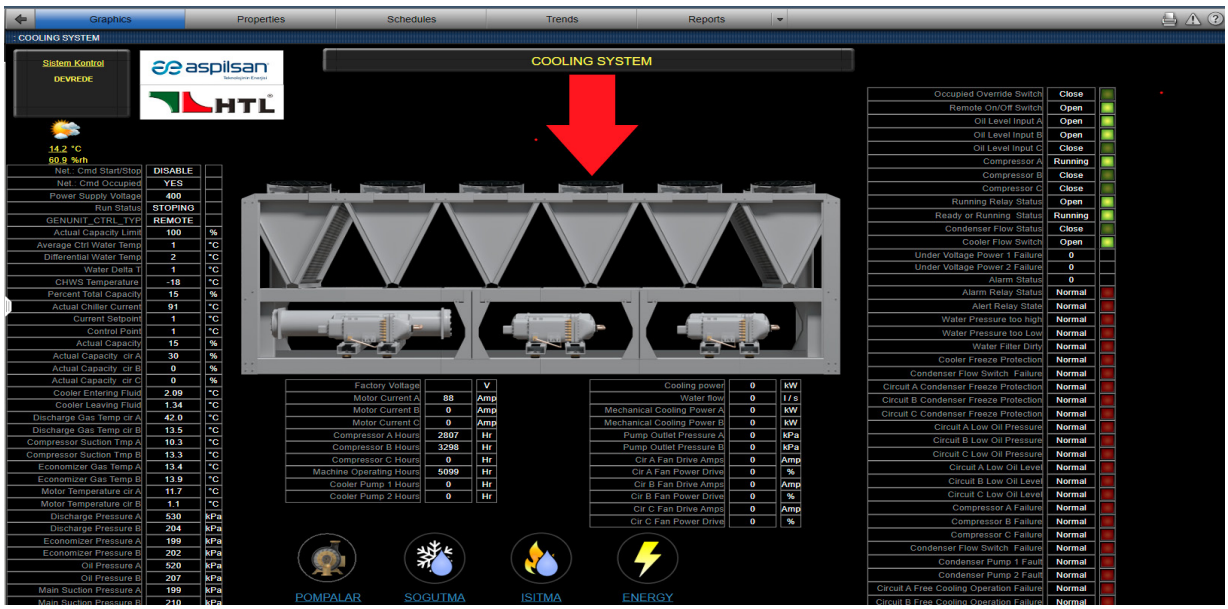


• ***Primer devresi çıkış çiğ değerinin düşmesi***

1)Primer devresine entegre olan santral soğutma radyatörü giriş çıkış soğutma sıvısı ısısı kontrol edilir



2) Chiller kontrol edilir



3) Brülör kontrol edilir

4) Rotor hızı kontrol edilir.

5. SONUÇLAR

Enerji tüketimin hızla artmakta olduğu günümüz koşullarında başlıca amaç merkezi denetim ve izlemeyi ,enerji tasarrufunu sağlan olan Bina otomasyon sistemleri uygulanan projelerde büyük fayda sağlamaktadır.

Otomasyon ile birlikte bazı yetenekler kazanılır.Birden fazla alan kontrolü,birden fazla kontrol merkezi oluşturulabilme,birden fazla operatör kullanıcısı ile kontrol edilebilme, olayları ve alarmları öncelik ve zamana göre derlenip rapor alınabilme,arızaların hızlı tespiti ve kesin analizi, insan hatalarını minimuma indirmesidir.

Düşük işletme maliyeti amaçlanarak çok daha az enerji tüketilmesini sağlaması sağlanabilir.Bakım gider maliyetleri azaltılabilir. İleriye yönelik esneklik sağlanarak bütçeler yapılıp,iş gücü planlanıp etkin kaynak kontrolü sağlanır.

Bunlarla beraber proses kalite kontrolleri burdan takip edilerek sürdürülebilirlik amacına ulaşılmış olur.İstenilen teknik parametreler otomasyondan kontrol edilip ayarlanarak kesintisiz hizmet sağlanmış olur ve en önemlisi bazı kontrollerin uzaktan yapılmasıyla can ve mal güvenliği de sağlanmış olur.

Referanslar

[1] https://www.aspilsan.com/lityum-iyon-silindirik-pil-uretim-tesisi/

[2] https://www.analiztemizoda.com/kuru-odalar/

[3]Mustafa Bilge;Dr., Mak.Yük. Müh. TTMD Üyesi Dürriye Bilge;Doç. Dr., Mak. Yük. Müh "Temiz Oda Tasar›m Kriterleri ve Testleri "TTMD-Dergisi-Sayı 13-.pdf

[4] Naci Sivri. 2012. "Yüksek Patojen Virüs Laboratuvarları (BSL-3) Dizayn ve Yapım Kılavuzu" 2016.

MAKİNE ÖĞRENMESİNE DAYALI BÜYÜK VERİ DESTEKLİ ERKEN ANOMALİ TESPİTİ

[1] Y. Müh. Taha AKKURT, [2] Dr. İ. Serdar ÖZKÜTÜK, [3] Nagihan AKKURT

[1] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, Eskişehir/ Türkiye *t.akkurt@korlog.com*
[2] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Rektörlük, Eskişehir/ Türkiye *serdar@ogu.edu.tr*
[3] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, Eskişehir/ Türkiye *n.akkurt@korlog.com*

ÖZET

Endüstri 4.0 ile giderek insan işgücünden uzaklaşmaya başlayan sanayi-teknoloji bütünleşmesi, üretimde yapay zeka kavramı ile hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle Internet of Things (IoT) teknolojisinin gelişmesiyle tüm üretim sahasına yayılan sensörler vasıtasıyla üretimden toplanan veriler anlık olarak analiz edilerek anlamlı hale getirilmekte ve işletmeler için yüksek profilli bilgilere dönüştürülmektedir. Oluşturulan bilgiler birçok alanda kullanılabildiği gibi üretim ve bakım planlaması gibi alanlarda da kullanılabilmektedir. Bakım planlaması özelinde, sensör verilerinin kullanımı, makine durumu izleme ve kestirimci analiz gibi çalışmalar ile ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, çoğu işletmede bulunan elektrik motorları için sensör izleme sistemi kurulmuş ve toplanan veriler makine öğrenmesi algoritmalarıyla analiz edilerek Durum Bazlı Bakım (CBM-Condition Based Maintenance) kararları alınması için çalışılmıştır. Bakımın gerekliliği kararının ekipmanın sahadaki durumuna bakılarak verilmesini sağlayan Durum Bazlı Bakım, bu çalışmada yazılımsal bir karar sonucu gerçekleşmektedir. Bu sayede ekipman arızaları, plansız duruşları önleyecek şekilde önceden tahmin edilmektedir. Tasarlanan yazılım ile canlı durum izlemesi yapabilmek için IoT sistemlerinden gelen yoğun veri Büyük Veri (Big Data) teknolojileri kullanarak aktarılmış ve depolanmıştır. Böylece ekipmanlar hem anlık veri akışı üzerinden hem de sonrasında veri tabanı kayıtları üzerinden makine öğrenmesi algoritmaları ile analiz edilmekte, herhangi bir arızaya işaret eden anormallik olması durumunda erkenden tespit edilerek ilgili kullanıcıların çeşitli kanallar üzerinden bilgilendirilmesi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Durum Bazlı Bakım, Erken Anomali Tespiti, Büyük Veri, Makine Öğrenmesi, Endüstri 4.0

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 yaklaşımının temel bir ilkesi, gelecekteki davranışları tahmin etmek ve olası sorunlara en uygun çözümleri takip etmek adına verilerin toplanması ve analizi için süreçlerin ve makinelerin iş birliği yapan bir topluluk olarak ağa bağlanması gerektiğidir [1]. Bu yaklaşım fiziksel süreçlerde neler olup bittiğine dair daha iyi anlayışlar elde etmek için öncelikle fiziksel süreçlerin dijital bir temsilini oluşturmaya odaklanır. Örneğin, üretim ekipmanlarında bir şeylerin ters gittiğine ve yakında bir arıza olabileceğine dair bazı erken işaretler olabilir. Bu işaretler, normal çalışma koşullarından sapmayı gösteren tahmine dayalı modeller tarafından tespit edilebilir. Böylece dijital model, ekipmanın durumu hakkında erken bilgiler sağlayabilir [2].

Bakım, bir sistemi veya bir birimi, amaçlanan işlevini yerine getirmek için gerekli olan tüm eylemler olarak tanımlanabilir. Bakımın temel amacı, bakım faaliyetlerinden kaynaklanan maliyeti ve olası üretim kaybını kontrol ederken, sistemin kabiliyetini ve işlevselliğini korumaktır.

Bakım faaliyetleri, düzeltici (plansız) bakım, önleyici (periyodik) bakım ve kestirimci bakım olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Düzeltici bakım, bir ekipman kesintisi meydana geldikten sonra onarım ve/veya değiştirme işi olan bakım faaliyetidir. Beklenmedik ekipman arızası üretim gecikmesine neden olabilir ve üretim etkinlik oranını düşürebilir. Önleyici bakım, bir sistemin gerçek sağlık durumu dikkate alınmaksızın, arızalanmadan önce sorunları önlemek ve düzeltmek için belirli bir periyodik aralıklarda gerçekleştirilen bakım faaliyetidir. Kestirimci bakım, ekipmandaki her bir bileşenin durumlarının belirlenmesiyle başlayan, trend odaklı bakım faaliyetidir. Kestirimci bakım verileri işleyerek bozulma izleme ve arıza tahmini yoluyla bakım faaliyetlerinin belirsizliğini azaltır ve olası hasarlardan önce sorunları belirleyip çözmeyi sağlar. Kestirimci bakım için alternatif bir terim olan Durum Bazlı Bakım, gerçek zamanlı denetimlere daha fazla vurgu yapar. CBM'in üç temel adımı izleme, işleme ve bakımla ilgili karar vermedir [3].

Günümüzde sensör ve veri toplama cihazlarının ucuzlaması ve yaygınlaşması daha çok ve ayrıntılı veri akışı sağlamakla birlikte, depolanan bu veriler 7/24 çalışacak ve bakım süreçlerine anlık olarak destek sağlayabilecek yazılımların yokluğunda, geri dönüp değerlendirilmeye muhtaç atıl veri yığınları olarak kalmaktadır. Bir üretim sisteminde arıza sebepli duruşlarda, insan iş gücü başka yan faaliyetlere (eğitim, temizlik, izin kullandırma) kaydırılabiliyorken, otonom robotlar ve diğer otonom sistemlerin kullanımında bu iş gücünün arıza süresince başka yan faaliyetlere yönlendirilememesi arıza sebepli duruşlara olan toleransı giderek düşürmektedir.

Hem makineler hem de yöneticiler, üretim sürecinde büyük miktarda veri girişi ve özelleştirmeyi içeren karar verme ile günlük olarak karşı karşıya kalmaktadır. Ekipmanların belirli bir gelecekte bakım ihtiyacını tahmin etme yeteneği, bu kapsamdaki ana zorluklardan biridir. Kestirimci bakım, makine duruş süresinin, maliyetlerin, kontrolün ve üretim kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunur [4].

Gerçekleştirilen çalışmada yapay zeka ve büyük veri teknolojilerinden yararlanılarak, yoğun veri trafiği altındaki üretim süreçlerin kullanılmak üzere bir durum bazlı bakım programı hazırlanmıştır. İlk olarak endüstriyel ortamdaki elektrik motorları için sensörlerle veri toplama, saklama ve analiz çalışmaları modellenmiştir. Ardından oluşturulan laboratuvar ortamında üretim sistemlerindeki fiziksel varlıklara ait toplanan veriler makine öğrenmesi algoritmaları ile analiz edilmiş ve anormal davranışlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda motor verilerindeki anomalileri yakalayabilen bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bakım planlaması ile makinelerin anlık olarak izlenebilmesi, acil durumlar için erken önlem alınması ve dolayısıyla maddi kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEMLER

2.1 Durum Bazlı Bakım

Durum bazlı bakım, ekipmanların insanlar tarafından takip edilmesi ile başlayan en eski bakım yöntemlerinden biridir. Makinaların ilk kullanımından itibaren insanlar duyu organlarını kullanıp ekipmanların bakım ihtiyacını fark ederek gerekli çalışmaları yapmıştır. Ancak bu takip insan doğası gereği yorucu ve dolayısı ile hata yapmaya müsait bir çalışmadır. Bu noktada teknolojinin gelişmesi ile duyu organlarının yerine geçen ve durmaksızın çalışan elektronik sensörler durum bazlı bakım çalışmalarının üst seviyelere çıkmasını sağlamıştır.

CBM'de ekipmanın kullanım ömrü titreşim, sıcaklık, yağlama yağı, kirleticiler ve gürültü seviyeleri gibi çeşitli izleme parametrelerine dayalı olarak ölçülebilen çalışma koşulu aracılığıyla izlenir [5]. CBM, varlıkların herhangi bir arızasının sonuçlarından kaçınmak, makinelerin arızalanmasını önlemek ve gereksiz planlanmış arıza önleyici işlemleri ortadan kaldırarak bakım maliyetlerini azaltmak için mevcut koşullar temelinde önleyici eylemleri belirlemenin daha verimli olduğu fikrini takip eder [6].

CBM'in motivasyonu, ekipman arızalarının yüzde 99'unun öncesinde bir arıza olacağına dair belirli işaretler, koşullar veya göstergeler olmasıdır. Buradaki en önemli nokta, sinyallerin belirli tipte sensörler veya diğer uygun göstergeler kullanılarak sürekli olarak izlendiği durum izleme sürecidir. Bu nedenle bakım faaliyetleri (örneğin onarımlar veya değiştirmeler) yalnızca 'gerektiğinde' veya arızadan hemen önce gerçekleştirilir. Genel olarak, CBM'nin temel amacı, bakım kararları vermek için ekipman koşullarının gerçek zamanlı bir değerlendirmesini yapmak ve sonuç olarak gereksiz bakım ve ilgili maliyetleri azaltmaktır [5].

2.2. Nesnelerin İnterneti

Üretim alanındaki IoT teknolojisi, durum bazlı bakım için çok önemli bir yardımcıdır. IoT, makinelerin ve cihazların internet üzerinden birbirine bağlanması, analitik öngörüler sağlayabilecek ve yeni operasyonları destekleyebilecek verilerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır [7].

Durum bazlı bakım sistemini etkin bir şekilde uygulamak için, üreticilerin makinelerin arıza parametrelerini eşleştirmeleri ve bağlı oldukları sistem için bir sensör sistemi oluşturmaları gerekir. Makine ve ekipmanların sensörler ile donatılması, gerçek zamanlı veri toplama, geçmiş verilerin saklanması, veri analizi ve farklı yöntemlerin başarı ile uygulanmasını sağlar.

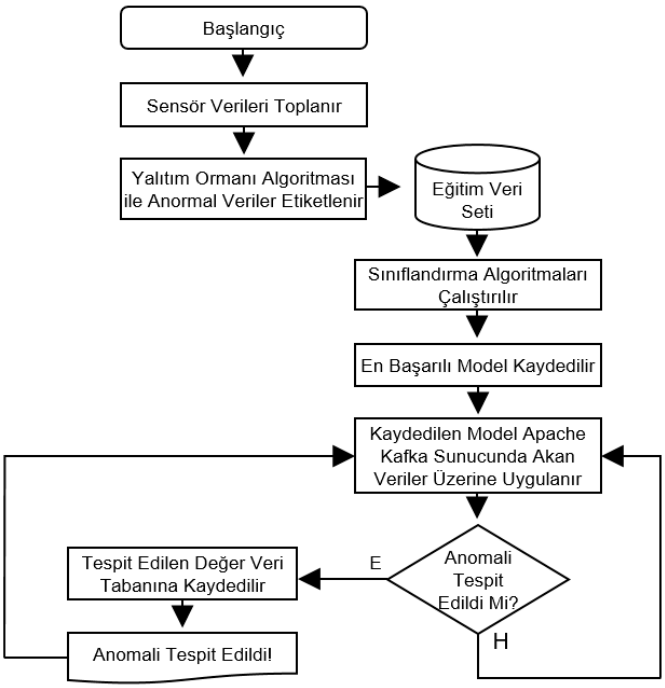
2.3. Kestirimci Analiz

Yaklaşan hata koşullarını tahmin etmek için makine verilerine kestirimci analizler uygulanır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi teknolojiler sayesinde, insan gözü ile tespit edilemeyen değişiklikler ve hatalar yakalanabilir. Bu amaç doğrultusunda birçok farklı yöntem ile tahminleme, arıza ve anomali tespiti gibi çalışmalar literatürde yer almaktadır. Kestirimci analizlerin kullanımı bakım departmanının proaktif çalışmasına olanak vererek para ve işgücü bakımından şirketlerin kaynaklarını verimli kullanmasına katkıda bulunur. Yapılan çalışmada elektrik motorlarının bakımı için sensör verileri toplanmış, ardından toplanan veriler makine öğrenmesi algoritmalarıyla analiz edilerek erken anomali tespit yazılımı oluşturulmuştur.

3. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Önerilen sistemde, elektrik motorlarında bulunan sensörler ile veriler toplanarak öncelikle MongoDB veri tabanında saklanmıştır. Toplanan veriler içerisindeki anormal davranışlar Yalıtım Ormanı (Isolation Forest) algoritması ile tespit edilerek etiketleme işlemi yapılmış ve eğitim veri seti oluşturulmuştur. Etiketlenmiş veriler üzerinde altı farklı denetimli makine öğrenmesi algoritması ile sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir ve en başarılı sınıflandırma modeli kaydedilerek anomali tespiti için kullanılmıştır. Ardından Apache

Kafka veri iletim sunucusu üzerinden yayınlanan ilgili konu (topic) veri akışlarına bağlanılarak önceki adımda seçilen sınıflandırma modeli ile gerçek zamana yakın olarak (near realtime) akan veriler üzerinde analizler uygulanmıştır. Böylece önerilen model ile veriler henüz veri tabanına (MongoDB) yazılmadan veri akışı (Kafka stream) üzerinden analiz edilerek herhangi bir anormallik durumunda kullanıcılar çok hızlı bir şekilde bilgilendirilmektedir. Oluşturulan erken anomali tespit modülü birden çok veri kanalına abone olarak çoklu analiz yapmaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1'de anomali tespit modülün içerisinde gerçekleştirilen çalışmaların iş akış şeması yer almaktadır.

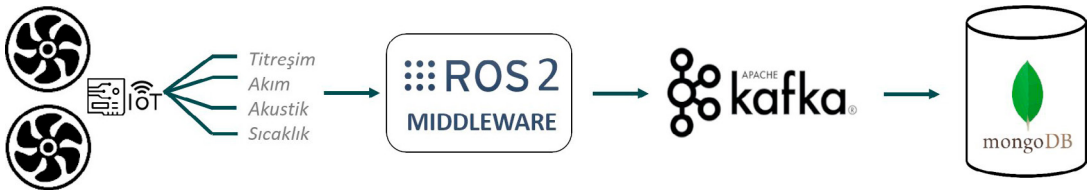


Şekil 1. *Önerilen sistemin iş akış şeması*

3.1. Veri Setinin Oluşturulması

Çalışmanın yapıldığı proje kapsamında oluşturulan laboratuvar ortamında iki özdeş test motoru üzerine titreşim, akım, akustik ve sıcaklık sensörleri takılarak eş zamanlı veriler toplanmıştır. Elektrik motorlardan biri normal şartlarda ve sürekli olarak çalışırken, diğer motorun fan kanatlarında farklı zaman periyotlarında yapılan müdahaleler ile denge ve sürtünme değerleri değiştirilmiş ve oluşturulan zorlu şartlar altında hızlandırılmış bir şekilde arızalanması sağlanmıştır. Bu farklılık sayesinde aynı ortam koşullarında çalışan iki motor arasındaki oluşabilecek anormal veri farklılıklarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 2'de gösterilen veri akış hiyerarşisinde öncelikle motorlara bağlı sensörlerden gelen verilerin IoT veri toplama ünitesi üzerinde veri füzyonu sağlanmaktadır. IoT ünitelerinin göreceli olarak daha düşük hesaplama gücüne sahip olmaları sebebiyle üniteler öncelikle ROS2 ara katman (middleware) sunucusuna bağlanmaktadır. Bu noktada ROS2 middleware'de toplanan veriler Apache Kafka veri akış (streaming) sunucusuna aktarılmakta ve ardından bağlantı modülü (Sink Connector) üzerinden MongoDB büyük veri tabanı sunucusuna aktarılarak depolanmaktadır.



Şekil 2. *Motor verileri akış hiyerarşisi*

Büyük Veri teknolojileri kullanılarak oluşturulan sistem, işletmelerde sayıları giderek artan IoT cihazlarının oluşturduğu büyük miktardaki verinin değerlendirilmesi için Endüstri 4.0 ekosistemine uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Apache Kafka ve MongoDB veri yazılımları yüksek performans ve yüksek ölçeklenebilirlik özellikleri ile yeni nesil üretim tesisleri için uygun veri işleme kapasitesi sağlamaktadır.

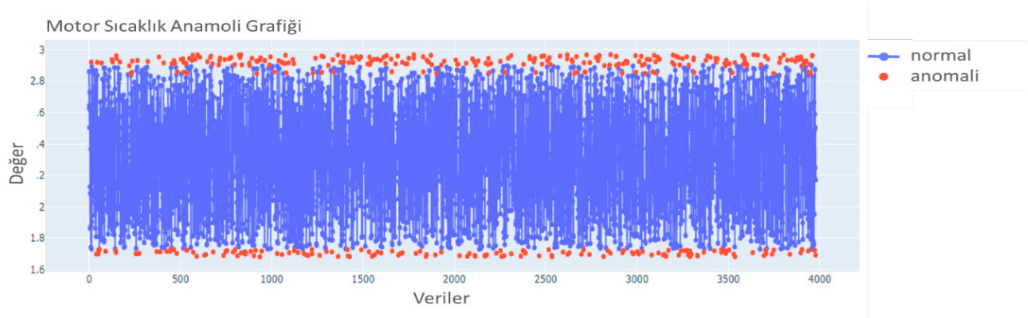
3.2. Anormal Verilerin Tespit Edilmesi

Gerçek dünyaya ait büyük veri setleri karmaşık bir yapıya sahip olduklarından analiz edilmesi kolay değildir, bu sebeple de makine öğrenmesi algoritmaları anomali tespitinde önemli rol oynamaktadır. Söz konusu çalışma doğrultusunda eğitim veri seti oluşturmak için sensör verilerine etiketleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Yalıtım Ormanı Algoritması uygulanarak tespit edilen anomaliler 1, normal veriler ise 0 olarak etiketlenmiştir.

Yalıtım Ormanı Algoritması, sınıflandırma ya da kümeleme için değil, sadece anomali tespiti için tasarlanmıştır. Algoritmanın bakış açısı, onu diğer yaklaşımlardan ayırır; anomaliler farklı veri özelliklerine sahiptir, çok az sayıda ve farklıdırlar. Anomaliler, diğer anomalilerden de farklıdır; eğer kümelenmiş olsalar bile, yeni gelen bir anomalinin o kümeye dahil olup olmayacağı belirsizdir. Diğer yandan saçılmış durumda olabilirler. Tüm bu özelliklerinden dolayı tespit edilmeleri kolay olmaktadır. Algoritma, bir örneğin ne kadar anomali olduğunu hesaplayan, denetimsiz (unsupervised) bir yöntemdir [8].

Birden fazla karar ağaçlarından oluşan algoritma, rastgele gözlemler ve rastgele öznitelikler seçer daha sonrasında seçilen özniteliğin minimum ve maksimum değerleri arasında bir değer belirleyip gözlemleri bu değerin altında veya üstünde olma durumuna göre dallara ayırır. Anomali durumda olan gözlemler veri setinden en yakın dallarda ayrılarak diğer gözlemlerden izole olurlar. Anomaliye sebep olan örneklemleri ayırmak nispeten daha az aralık belirleme işlemi gerektirmekte ve dolayısıyla daha kısa sürmektedir. Bu sebeple, izole etmesi kolay noktalar anomali olarak sınıflandırılmaktadır [9].

Her bir sensör özelinde farklı periyotlarda ve belirli büyüklüklerde toplanan veriler Yalıtım Ormanı Algoritmasının sonucuna göre etiketlenerek yaklaşık 450.000 satır büyüklüğünde eğitim veri seti oluşturulmuştur. Bu veriler üzerinde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sınıflandırma çalışması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te motor sıcaklık sensöründen elde edilen verilerdeki Yalıtım Ormanı Algoritması kullanılarak tespit edilen anomali değerlerin grafik üzerinde görünümü verilmiştir.



Şekil **3.** *Motor sıcaklık verilerindeki örnek anomali tespiti*

3.3. **Anomali** Sınıflandırma

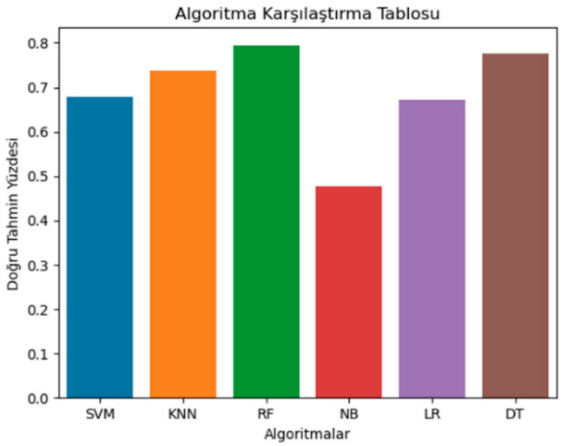
Makine öğrenmesi insanın öğrenme şeklini taklit ederek veri ve algoritmaları kullanımı ile doğruluğunu kademeli olarak artıran bir yapay zeka ve bilgisayar bilimi dalıdır. Makine öğrenmesinin bir yöntemi olan denetimli (supervised) öğrenme ise verileri sınıflandırmak için etiketli eğitim verilerine ihtiyaç duymaktadır.

Bu aşamadaki amaç ise etiketlenmiş veriler üzerinden normal-anomali ayrımını öğrenebilen bir sınıflandırma modeli oluşturmaktır. Bu kapsamda 6 farklı denetimli makine öğrenme algoritması ile sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır.

Anomali sınıflandırma çalışmasında kullanılan algoritmalar şu şekildedir;

- Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines-SVM)
- En Yakın Komşu (k-Nearest Neigbours-KNN)
- Rassal Orman (Random Forest-RF)
- Naive Bayes (NB)
- Lojistik Regresyon (Logistic Regression-LR)
- Karar Ağaçları (Decision Trees-DT)

Kodlama çalışmaları Python programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma çalışmalarında açık kaynak kodlu Scikit-learn kütüphanesi kullanılmıştır. Her bir algoritma için hiperparametrelerin varsayılan değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Veri seti üzerinde min-max normalizasyonu yapılmıştır ve veri seti %70 eğitim ve %30 test boyutlarında olmak üzere ikiye bölünmüştür. Ardından eğitim, değerlendirme ve test verilerindeki tahminleme sonucu en başarılı sonucu veren algoritma kaydedilmiştir. Rassal Orman algoritması en doğru sonuçları vererek her bir sensör verisinde mevcut eğitim verilerine göre %80 oranında sınıflandırma başarısı göstermiştir. Şekil 4'te kullanılan algoritmaların doğru tahmin yüzdelerinin grafiği yer almaktadır.

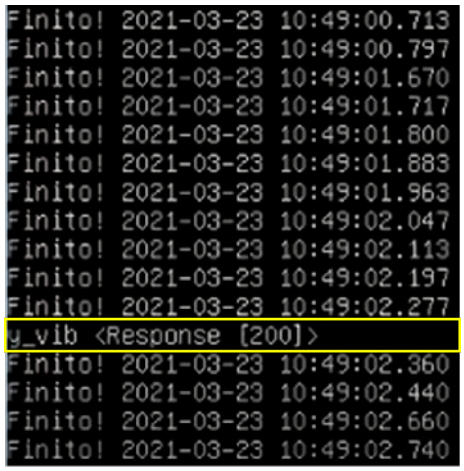


Şekil **4.** *Sınıflandırma algoritmalarının başarıları*

Rassal Orman Algoritması, Rassal Orman algoritması isminden de anlaşılacağı üzere basit olarak rastgele olarak bir orman yaratmaktadır. Algoritmadaki ağaç sayısı ve elde edebileceği sonuç arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ağaç sayısı arttıkça kesin bir sonuç elde edilir. Rassal Orman algoritması ile Karar Ağacı algoritması arasındaki fark, Rassal Orman'da kök düğümü bulma ve düğümleri bölme işlemlerinin rastgele çalışıyor olmasıdır.

Rassal Orman algoritmasının işlem adımları şu şekilde sıralanabilir; ilk olarak analiz edilecek veri seti hazırlanır. Algoritma her bir örnek için karar ağacı oluşturur ve her bir karar ağacının tahmini değer sonucu oluşur. Tahmin sonucu oluşan her değer için oylama gerçekleştirilir. Son olarak algoritma son tahmin için en çok oylanan değeri seçerek sonuç oluşturur [10].

Kaydedilen anomali sınıflandırma modeli, akan sensör verilerine gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Anlık olarak toplanan veriler Apache Kafka üzerinden veri tabanına yazılırken diğer bir taraftan arka planda Rassal Orman modeli ile analiz edilmiş ve meydana gelen anomaliler bu aşamada tespit edilmiştir. Şekil 5'te titreşim sensöründe tespit edilen anomalinin yazılım üzerinden alınan ekran görüntüsü yer almaktadır.

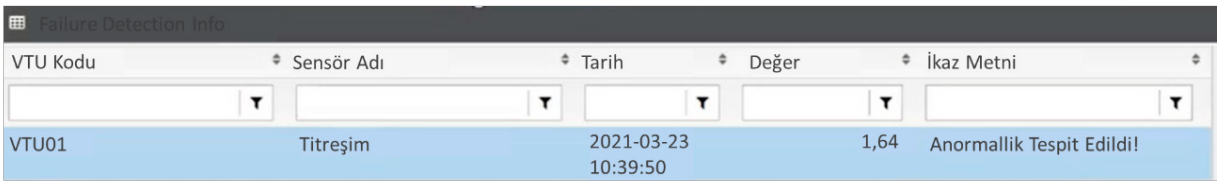


Şekil **5.** *Apache Kafka üzerinden anlık anomali tespiti*

Apache Kafka sunucusu içerisinde sürekli gerçek zamanlı olarak analizler gerçekleştirilmektedir. Bu analizler sonucu sensör verileri üzerinde anormal davranışlar tespit edilirse oluşturulan Uygulama Programlama Arabirimi (Application Programming Interface, API) üzerinden veri tabanındaki ilgili tablolara kayıt yapılmaktadır. Örnek olarak Şekil 5'te ***y_vib <Response [200]>*** yazan satırda titreşim sensöründe bir anomali tespit edilmiş ve anlık kullanıcı bilgilendirmesi yapılmıştır.

3.4. Kullanıcı Bilgilendirme

Tasarlanan modülle birlikte sensörlere ait canlı akan verilerde herhangi bir arızaya işaret eden anomali olması durumunda erkenden tespit edilerek çeşitli kanallar üzerinden anomali tespit edilen sensör ve zaman bilgisi gibi değerler ile ilgili kullanıcıların bilgilendirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 6'da kullanıcı bilgilendirme sayfasındaki anomali tespit ekranı görülmektedir.



Şekil 6. *Erken anomali tespit bildirim ekranı*

Bu sistem ile makine motor koşullarının sürekli analiz edilmesi sayesinde kestirimci bakım çalışmaları için erken uyarı sistemi yazılımı oluşturulmuş olup birçok endüstri için kullanılabilecek esneklikte tasarlanmıştır.

4. SONUÇLAR

Klasik durum bazlı bakım yöntemleri, ekipmanın incelenen sensör değerleri için eşik değerleri belirleyerek bu değerin aşılması durumunda uyarı vermektedir. Tasarlanan modülde ilk olarak Isolation Forest algoritması ile anormal davranışlar etiketlenmiştir. Ardından makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak etiketlenmiş veriler üzerinden sınıflandırma (normal-anomali) çalışması gerçekleştirilmiştir. En başarılı sonuçları sağlayan Rassal Orman algoritması kaydedilerek, Apache Kafka sunucusu üzerinde canlı analizler uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda sensör verilerindeki anormal durumlar otomatik olarak tespit edilmektedir. Böylelikle bakım planlamasında makine öğrenmesi yaklaşımı uygulanmış ve durum bazlı bakım yaklaşımı geliştirilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda açık kaynak kodlu yazılımlar, veri toplama üniteleri, büyük

veri sistemleri ve diğer teknolojilerle entegre olan, anlık (near realtime) sensör izleme özelliği ve veriler henüz veri tabanına yazılmadan veri akışı üzerinden erken ve hızlı analiz yapabilen anomali tespit modülü oluşturulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen "Otomotiv Endüstrisi İçin Akıllı Üretim Yönetim Sistemi – IOTOPRO" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın 3. Yazarı TÜBİTAK 2211-A Yurt İçi Doktora Burs Programı tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Ruiz-Sarmiento, J.R., Monroy, J., Moreno, F.A., Galindo, C., Bonelo, J.M., Gonzalez-Jimenez, J. 2020. "A Predictive Model for the Maintenance of Industrial Machinery in the Context of Industry 4.0," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 87, no. 103289.

[2] Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., Barbosa, J. 2020. "Machine Learning and Reasoning for Predictive Maintenance in Industry 4.0: Current Status and Challenges," Computers in Industry, vol. 123, no. 103298.

[3] Lee, C.K.M., Cao, Y., Ng, K.H. 2017. "Big Data Analytics for Predictive Maintenance Strategies," In Supply Chain Management in the Big Data Era, p. 50-74.

[4] Zonta, T., da Costa, C.A., da Rosa Righi, R., de Lima, M.J., da Trindade, E.S., Li, G.P. 2020. "Predictive Maintenance in the Industry 4.0: A Systematic Literature Review," Computers & Industrial Engineering, vol. 150, no. 106889.

[5] Ahmad, R., Kamaruddin, S. 2012. "An Overview of Time-Based and Condition-Based Maintenance in Industrial Application," Computers & Industrial Engineering, vol. 63, no. 1, p. 135-149.

[6] Sezer, E., Romero, D., Guedea, F., Macchi, M., Emmanouilidis, C. 2018. "An Industry 4.0-Enabled Low Cost Predictive Maintenance Approach for Smes," In 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), p. 1-8.

[7] Nord, J.H., Koohang, A., Paliszkiewicz, J. 2019. "The Internet of Things: Review and Theoretical Framework," Expert Systems with Applications, vol.133, p.97-108.

[8] Kamit, P. 2019. "Servis Anomali Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[9] Sarı, S., Bostan, S. Bostancı, Ü., Söylemez, C.N., Bozyiğit, F. 2021. "S-30 Kargo Teslimat Verileri Üzerinde Anomali Tespiti", 1. Uluslararası Yapay Zeka ve Veri Bilimi Kongresi, Kasım 2021, İzmir.

[10] Öztürk, M. 2022. "Python ile Sınıflandırma Analizleri – Rastgele Orman (Random Forest) Algoritması", https://miracozturk.com/python-ile-siniflandirma-analizleri-rastgele-orman-random-forest-algoritmasi/, 20.09.2022.

MAKİNE MODU BENZERLİĞİNİ KULLANARAK TİTREŞİM TABANLI REZONANS TEŞHİSİ

Mehmet Ozan Şerifoğlu[1], Fikret Başar Gencer[2], Ahmet Özler Aktaş[3], Anıl Erkut Ulusoy[4]

[1]ozanserifoglu@sensemore.io, [2]basargencer@sensemore.io, [3]ahmetaktas@sensemore.io, [4]anilulusoy@sensemore.io

[1,2,3,4]Sensemore Teknoloji A.Ş Reşitpaşa Mah. Katar Cad. Teknokent ARI 4 Binası No: 2 / 50 / 6 Maslak Sarıyer/İstanbul

ÖZET

Çevrimiçi ölçüm sistemleri kullanılarak makinelerde durum analizi giderek yaygınlaşmaktadır. Bu teknik kullanılarak makinelerin durum kontrolleri anlık olarak izlenebilmektedir. Bu durum makine durum kontrollerini otomatik olarak gerçekleştirebilecek tekniklerin geliştirilmesinin de önünü açmaktadır. Çalışma kapsamında, geliştirilen yarı denetimli titreşim tabanlı durum izleme ve teşhis tekniği öncelikli olarak çalışma karakteristiği bilinen santrifüj pompasına uygulanmış ardından oradan öğrenilen bilgiler farklı bir makine olarak gaz sirkülasyon fanına benzerlik yoluyla aktarılarak ikinci makinenin durum teşhisi yapılmıştır. Teşhis edilmesi gereken arıza modu olarak rezonans durumu seçilmiştir. Yöntem, önceki sınıf tanımlarının genellikle mevcut olmadığı veya yerel uzmanlardan elde edilmesinin zor olduğu endüstriyel durum izleme sorununu ele alır. Önerilen yöntem öznitelik çıkarma, temel bileşen analizi, istatistiksel analiz, kümeleme ve benzerlik analiz metotlarını birleştirmektedir. Çalışma sonucunda tanımlı bir makinenin çalışma modlarının makine öğrenmesi uygulaması ile belirlenebildiği ve benzerlik yolu ile bir arıza modunun başka makineye başarı ile aktarılabildiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Günümüzde makine hatalarının analizleri yoğunlukla, alanında uzman kişilerin bilgi ve tecrübeleri çerçevesinde, makine titreşim karakteristikleri incelenerek gerçekleştirilmektedir. Bu tür analizlerin başarısında uzmanın bilgi birikiminin yanında, makine tipi, kullanım amacı, üretildiği malzeme ve sürücülerinin özellikleri gibi farklı bilgiler de önemli rol oynamaktadır. Bu detaylardan bir ya da birkaçının eksikliği hata tespitini zorlaştırabilmektedir. Tüm gerekli bilgilerin olması durumunda bile, hataların sürekli ve anlık olarak izlenmesi gerekliliği bu sürecin tamamen insan gücü ile yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bu noktada IoT (internet of things – nesnelerin interneti) izleme ve bakım teknikleri ön plana ön plana çıkmakta ve makine hatalarının

sürekli izlenebilmesine olanak getirmektedir [1-2-3]. IoT sensörler ölçüm sonuçlarını anlık olarak alarak bir bulut ortamına iletebilmekte ve kendi arayüzleri üzerinden hem ölçüm sonuçlarına hem de ölçümlerin analizleri ile ortaya çıkabilecek veriye hızlı ulaşım imkânı sunmaktadırlar. Tüm bunlara rağmen verilerin ölçüm bazında birer birer incelenmesi hem verim kaybına hem de bazı hata gruplarının gözden kaçırılmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden ölçümlerin topluca, karşılaştırmalı olarak ve doğru parametreler kullanılarak incelenmesi gerekmektedir.

Makine hataları genellikle periyodik hareketler oluşturduklarından titreşimin spektral karakteristiklerinin incelenmesi zaman eksenindeki karakteristiklerinin incelenmesine göre daha başarılı sonuçlar doğurabilmektedir [4]. Bu spektral karakteristikler kullanılarak, makinenin sağlıklı olduğu ve normal çalıştığı durumun yanında, farklı nedenler ile oluşan arızalar da ayrıştırılarak makinenin çalışma hayatında sahip olduğu farklı modlar (durumlar) belirlenebilmektedir. Spektral özellikler, zaman uzayındaki özellikler ile zenginleştirilerek kullanıldıklarında, aynı karakteristiğe sahip ölçümler "Makine Mod Analizi" kullanılarak gruplara ayrılabilmektedir. Buradaki mod grupları bir makinenin çalışma döngüsü içerisinde karşılaşılan durumlara işaret etmekte ve makinenin durduğu, sağlıklı bir şekilde çalıştığı ya da bir arıza gösterdiği gibi alt kategorilere ayrılabilmektedir. Bu analiz sonucu ortaya çıkarılan modlar endüstride kullanılan benzer makine tipleri ve alt parçaları için benzer sonuçlar doğuracağı için modları iyi bilinen bir makine, özellikleri hakkında az veya eksik bilgi bulunan yeni bir makine ile karşılaştırılarak yeni makinenin arıza durumlarının saptanabilmesi söz konusu olabilmektedir. Normal şartlar altında hakkında az bilgi bulunan veya yeterli sayıda ölçüme sahip olmayan makinelerin arızalarını saptamak ve yorumlamak çok daha zor olmasına rağmen, makine mod benzerlik analizi ile bu işlem kolay, hızlı ve anlaşılır bir hale getirilebilmektedir.

Mod analizleri yapılırken sensör ölçümlerinden gelen ham titreşim verisi kullanılabilir. Ancak bu ham veriyi kullanarak anlamlı sonuçlar çıkarmak hem zor hem de yüksek vakit alan bir çalışma gerektirdiği için, ham veri veriyi temsil edecek daha basit ve anlamlı alt değişkenler oluşturulması analizlerin başarılı sonuçlar elde etme ihtimalini arttırmaktadır. Ham veri kullanılarak ortaya çıkarılan yeni değişkenlere öznitelikler, bu ortaya çıkarma işlemine ise öznitelik çıkarımı denilmektedir. Öznitelik çıkarım işlemi sonucunda büyük boyutlu ham data, işlenmeye hazır, anlamlı ve küçük parçalar bölünmüş olur. Zaman uzayındaki titreşim verisi incelenerek verinin anlamlandırılmasında fayda sağlayabilecek birçok öznitelik elde edilebilmektedir. Bu özniteliklerin bir bölümü zaman uzayındayken bir bölümü de frekans uzayında yer almaktadır ve bunların kombinasyonları farklı makine modlarının ayrıştırılmasına olanak tanıyan eşsiz bir öznitelik vektörü meydana getirmektedir. Özniteliklerine ayrıştırılmış veri, bu öznitelik vektörleri kullanılarak, birbirleriyle benzer özellik gösteren gruplara ayrılabilirler. Belirli bir grup veriyi özelliklerinin birbirine yakınlığına bakarak ayırma işlemine kümeleme denilmektedir. Kümeleme işleminde amaç her birinin kendi içinde benzer ve diğerlerinden farklı olduğu setler oluşturmaktır [5]. Kümeleme bir gözetimsiz öğrenme grubundan bir makine öğrenmesi metodudur. Bu işlem ile belli başlı veriler bir araya getirilerek anlamlı yapılar oluşturulur. Oluşturulan kümelerin belirli bir etiketi bulunmaz, bu nedenle belirli bir kümenin elemanlarının hangi özellikleri nedeniyle o kümede bulunduğu ya da bir kümenin hangi anlamı taşıdığı (makine modları kapsamında hangi moda ait olduğu) bilinememektedir. Bu anlamlandırma ve etiketleme işlemi ilgili alandaki uzmanlar (hata analizleri kapsamında bakım mühendisleri gibi) tarafından gerçekleştirilebilir. Etiketleme işlemi bir kez gerçekleştirildikten sonra etiketli veriler kullanılarak yeni ölçümlerin sınıflandırılma işlemi gerçekleştirilebilir. Sınıflandırma yöntemi kullanılarak yeni veriler üzerinde otonom bir şekilde bilgi sahibi olmak olanaklı hale gelmektedir. Makine sağlığını tespit etme çalışmaları gelişmekte olan bir alan olup alanda farklı metotlar ile uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamalar temelde gözetimli öğrenme uygulamaları [6-7], gözetimsiz öğrenme uygulamaları [8-9] ve yarı gözetimli öğrenme uygulamaları [10-11-12] alt gruplarında toplanabilirler. Gözetimli öğrenme metotları etiketli veri kullanımı gerektirmektedir. Ancak etiketli verilere ulaşmak zor olabildiği için gözetimsiz öğrenme metotları özellikle makine hata analizleri ve bakım çalışmaları kapsamında daha geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Makine kapsamında bakıldığında bir makinenin çalışma döngüsü birçok farklı gruba ayrılabilir. Makinenin çalışmıyor olma durumu bir "makine modu" iken sağlıklı bir şekilde çalıştığı koşullar farklı iş türleri için (farklı hızlarda çalışma, farklı malzemeler ile çalışma vb.) farklı modlar oluşturabilir. Sağlıklı çalışma koşulları haricinde, istenmeyen ve arızalı çalışma durumları da kendi içlerinde farklı makine modları olarak karşımıza çıkmaktadır. Makinenin rezonans durumu da bu istenmeyen modlardan biridir. Özellikle

değişken devirli makinelerde makinelerin çalışma parametrelerindeki değişimler rezonans durumunu tetikleyebilmekte ve bu durum da makinenin çalışma performansını ve bakım ömrünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle rezonans durumunun IoT bir sensör verisini inceleyerek uzaktan hızlı bir teşhis ile belirlenebilmesi önem arz etmektedir. Uzaktan, otomatik analiz, ayrıştırma ve teşhis işlemi de sistem için uygun bir yapay zekâ uygulaması tasarlayarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada da iki farklı makineden elde edilen titreşim sensörü verisinin makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak ile analiz edilmesi, analizler kullanılarak makinelerin farklı çalışma modlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ardından, tanınan (donör) makine üzerinden rezonans durumu işaretlenerek, modları hakkında bilgi bulunmayan ikinci makinenin (akseptör) modlarıyla benzerlik gösterdiği alanlar işaretlenmiş ve buradan da akseptör makine için rezonans durumu tahmin edilmiştir.

2. VAKA ÇALIŞMASI

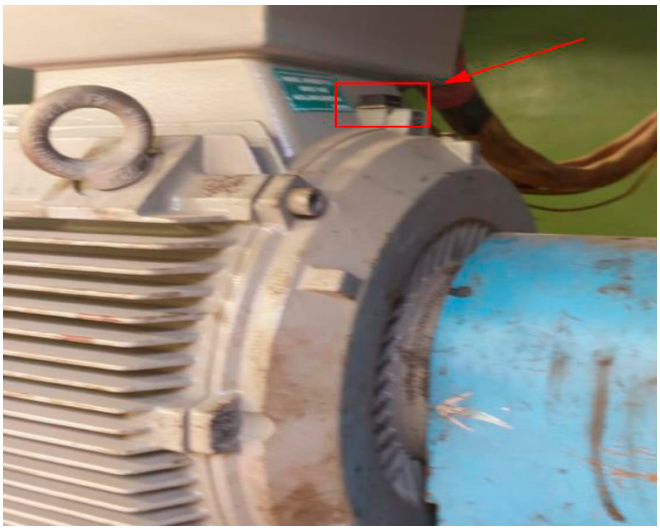
Çalışma kapsamında donör ve akseptör olarak kullanılacak iki makineye titreşim sensörleri yerleştirilmiş ve ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümler Sensemore bulut ortamında toplanmış ardından makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemin temelinin anlaşılır olması açısından bu bölümde veri toplama sistemi ile sistemin yapı taşı blokları olarak tasarlanan algoritmalar alt başlıklarda aktarılmıştır.

2.1 Makine Bilgisi ve Veri Toplama Sistemi

Donör makine olarak 250 kW elektrik motoru ile sürülen, kaplin ile güç aktarımına sahip bir santrifüj pompa seçilmiştir. Akseptör makine olarak da 200 kW kapasitesinde elektrik motor ile sürülen bir fan kullanılmıştır.

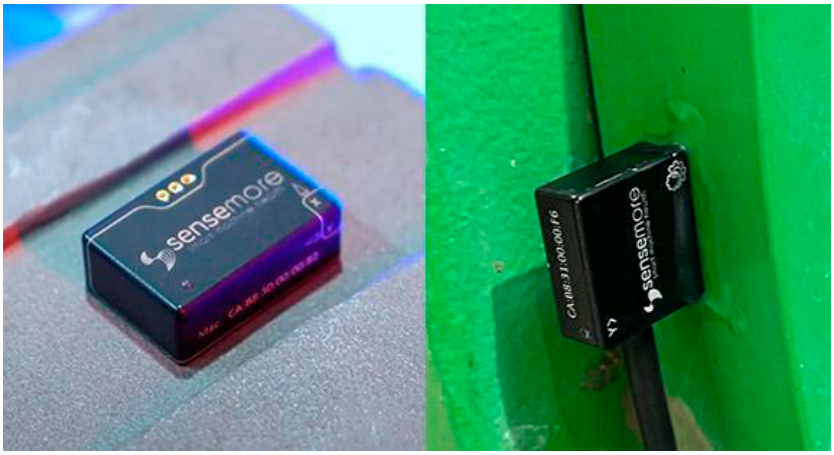
Titreşim sensörleri iki makinede de motor ön rulman yatağı üzerine konumlandırılmıştır. İlgili makinelere ait görseller Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 1: Santrifüj pompa motoru ve sensörlerin yerleşimi.



Şekil 2: Fan motoru ve sensör yerleşimi.

Pompa üzerine Sensemore Infinity kablosuz titreşim sensörü ile veri alınmıştır. Fan üzerinde ise ortam şartlarından ötürü kablolu veri kaydı alacak Sensemore Wired titreşim sensörü kullanılmıştır. Kullanılan Sensemore Infinity ve Wired titreşim sensörleri 26 kHz örnekleme frekansı, 16G ölçüm aralığına sahiptir. Şekil 3'te kullanılan sensörler verilmiştir. Sensörlerden gelen veriler yine Sensemore tarafından sağlanan portal üzerinden bulut ortamına aktarılmış ve analiz edilmiştir.



Şekil 3: Sensemore Infinity (sol) ve Sensemore Wired (sağ) titreşim sensörleri [13]

2.2 Makine Öğrenmesi Uygulaması

Makine mod tespiti için ölçümlerin öznitelikleri çıkarılarak kümeleme çalışmasına tabii tutulmaları gerekmektedir. Modlara ayrıştırma işleminin güvenilir sonuç vermesi için kullanılan öznitelikler en önemli rolü üstlenmektedir. Öznitelikler, ölçülmüş verinin belirli karakteristik özelliklerini barındıracak şekilde oluşturulmaya çalışılır. Herhangi bir veri tipine sınırlı olmayan bu yaklaşım bazı veri tipleri için özel algoritmalar gerektirmektedir. Endüstride kullanım bulan bazı çevresel parametrelerin verileri (sıcaklık, basınç vb.) doğrudan makine öğrenmesi algoritmalarında analiz edilebilir. Özellikle titreşim, akım, manyetik alan verisi gibi veri çeşitleri görece yüksek frekanslı bir davranış gösterdikleri için belirli bir süre aralığında ölçülmesi gerekir. Bu tarz veriler boyutları örnekleme frekanslarına bağlı olduğu için doğrudan yapay zekâ algoritmaları için uygun olmazlar. Bir yaklaşım olarak bu veri setlerinden öznitelikler bulup bunlar algoritmalarca kullanılabilir. Titreşim verisini kullanıp bilinen istatistiki metotlardan yararlanarak ilk olarak ivme spektrumu RMS (Root mean

square-karelerinin ortalamasının karekökü) değeri, hız spektrumu RMS değeri, tepe/çukur bilgisi, çarpıklık ve basıklık gibi ölçülen sinyalin belirli özelliklerini barındıran değerler elde edilebilir. Hali hazırda kullanılan endüstriyel ölçüm çözümleri bu bilgileri kullanıcıya herhangi bir ek işlem gerektirmeden aktarmaktadır. Çıkarılan bu özniteliklerin yanı sıra ivme ve hız spektrumunun karakteristik kimliğini yansıtacak farklı özniteliklere ulaşılabilir. Bu öznitelikler sinyalin davranışını basit bir şekilde modellemek üzerine oluşturulmuş verilerdir. Bu gibi öznitelik verileri sayesinde binlerce örneklemeden oluşan hızlı değişim karakteristiği gösteren veriler makine öğrenmesi algoritmalarına beslenebilecek hale dönüştürülmüş olur.

Çalışma kapsamında başlıca öznitelikler olarak titreşim sinyali dağılımın istatistiki özellikleri (basıklık, çarpıklık, tepe/çukur verisi vb.), ivme spektrumu RMS değeri ve hız spektrumu RMS değeri seçilmiştir. Bu özniteliklere ek ve yardımcı olarak sinyalin frekans spektrumundan elde edilen spektral öznitelikler de öznitelik havuzuna dahil edilmiştir. Her bir ölçüm için öznitelik çıkarma işlemi tamamlandıktan sonra ölçümlere ait öznitelik vektörü elde edilir. Bu öznitelik vektörleri kümeleme algoritması için ilk girdileri oluşturur. Çalışma için tasarlanan kümeleme algoritması da elimizde bulunan M adet ölçüm ve her bir ölçüme ait N adet öznitelik için MxN şekline sahip bir matrisi girdi alarak çalıştırılmıştır.

Kümeleme işlemi sonucunda bir makinenin çalışma süreci içerisinde karşılaşılabilecek farklı dönüş hızları, farklı malzemeler ile çalışma, farklı yüklerde faaliyet gösterme gibi yapılan titreşim ölçümlerini etkileyebilecek her işlem ayrışık birer küme olarak karşımıza çıkmakta ve makinenin çalışmasının karakterize edilebilmesini sağlamaktadır. Verinin ayrışmasıyla oluşan kümeler makine modları olarak adlandırılmaktadır. Çıkan küme sayısı ise sonradan geliştirilen bir başarı algoritması ile analiz edilerek uygun sayıda mod bulunmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışma kapsamındaki iki makine için seçilen uygun mod sayısı 6 olarak saptanmıştır. Kümeleme çalışması Şekil 4' özetlenmiştir.

Şekil 4: Kümeleme algoritması kullanılarak makine modlarının çıkarılması.

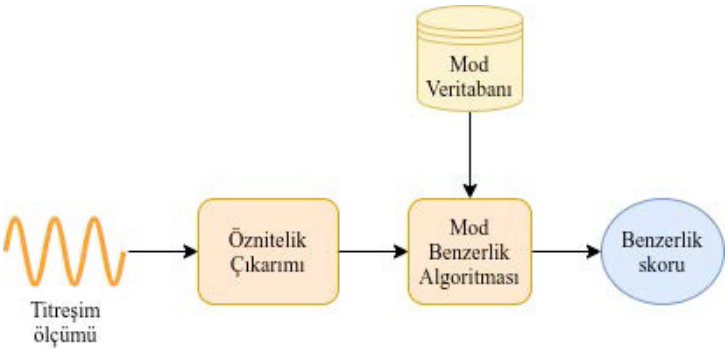
2.3 Makine Modu Benzerlik Analizi

Makine öğrenmesinde veriler arasında benzerlik bulmak veri etiketleme ve analiz açısından büyük önem taşır. Bu benzerliği nicel bir temele döken algoritmalar bazen etiketli veri üretme, hızlı öngörü veya sadece performans kaygılarıyla faydalı olabilir. Öznitelikler ve sonrasında bulunmuş makine çalışma modları o makineye ve barındırdığı arızalara dair detaylı bilgiler taşır. Ancak mod bulan algoritma eğitimi sırasında uzun sürelere ihtiyaç

duyar. Bu süreler her açıdan uygulanabilir olamayacakları ve bu tarz algoritmaların barındığı sistemlerin anlık tepkilerinin hızlı olması beklendiği için görece daha hızlı sonuç veren bir yapı kullanmak gerekir. Burada yaklaşım, çıkarılmış makine modlarıyla elde toplanan veri seti küçük karakteristik mod yapılarına dönüştürülerek küçültülmüş bir hâle gelir. Bu modların içinde o modu en iyi şekilde temsil eden ölçümler de veri olarak tutulmaktadır. Bu temsil sayesinde artık modları çıkarılan makine belirli çalışma karakteristikleriyle özetlenebilir. Elde edilen modlar ve makine modlarını en iyi temsil eden ölçümler farklı makinelerde ortaya çıkmış modlara ve bunların arasında nicel bir karşılaştırmaya olanak tanır. Temsili modlar sayesinde hızlı bir benzerlik algo-

ritmasıyla ilgili mod başka bir makinede ortaya çıkmış mı analiz edilebilir.

Burada modları en iyi temsil eden ölçümlerden üretilmiş öznitelik verileri giriş vektörleri olarak kullanılmıştır. Bilindiği üzere uzaydaki iki vektörün karşılaştırılması sonucu farklı algoritmalarla benzerliklere bakılabilir [14-15]. Burada veri tipine göre benzerlik yapılacak algoritma değişkenlik göstermektedir. Geliştirilen mod benzerliği algoritması farklı metrikleri göz önünde bulundurarak mod benzerliğini 0 ve 1 arası bir puanlama sistemine atama yapar. Böylece 0 benzemeyen modları temsil ederken, ideal koşulda 1 ise aynı modları temsil etmektedir. Benzerlik skorunun oluşturulması işlemi Şekil 5'te özetlenmiştir.

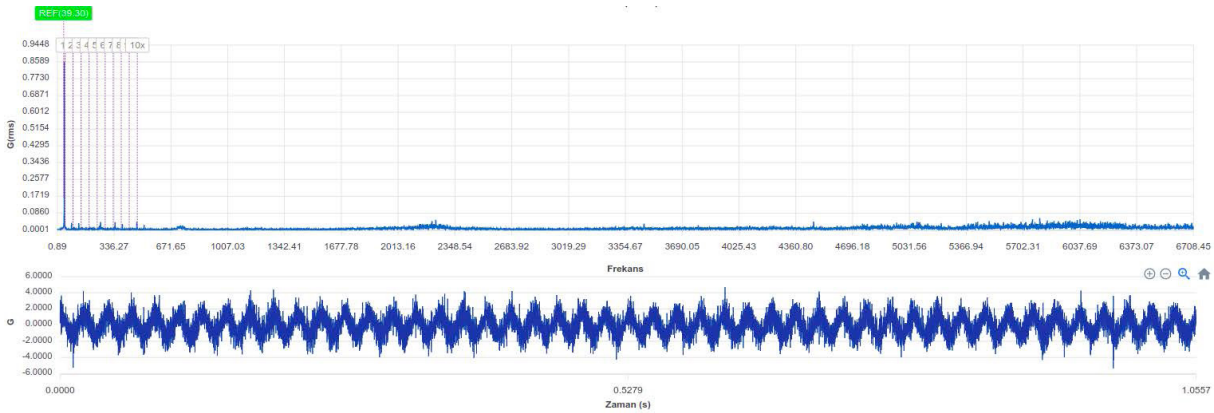


Şekil 5: Benzerlik skorunun oluşturulması.

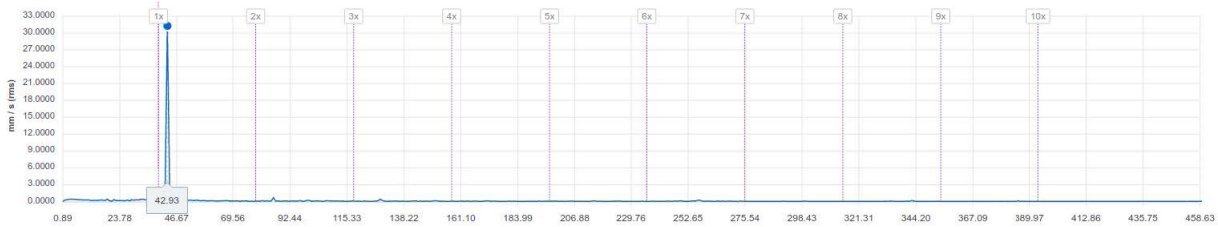
Çalışma kapsamında donör makinenin çalışma modları kümeleme algoritması ile ayrıldıktan sonra özniteliklerinin benzerlik skoruna bakarak akseptör makine ile karşılaştırılmıştır. Donör makinede rezonans durumunun hangi moda denk geldiği bilgisi bilindiği için mod benzerliğinde en yüksek sonucu veren nokta akseptör makinenin rezonans karakteristiği gösterdiği durum olarak işaretlenmiş ve daha sonra akseptör makinenin çalışma hızı bilgisi ile karşılaştırılarak rezonans durumunun doğruluğu kontrol edilmiştir.

3. ÇIKTILAR

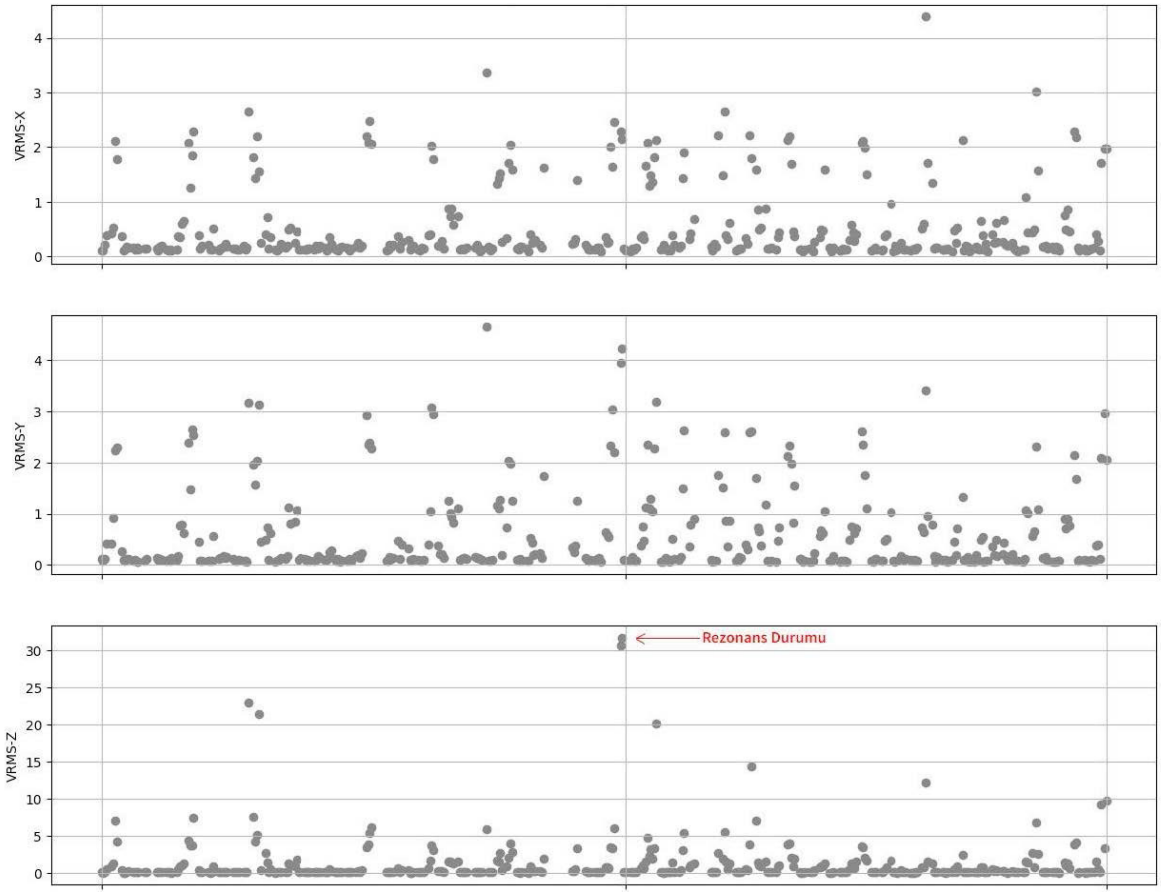
Donör makineye rezonans durumundaki GRMS (root mean square acceleration) ve VRMS (root mean square velocity) değerlerinin FFT'si (Fast Fourier Transform-Hızlı Fourier Dönüşümü) alınarak ortaya çıkarılan baskın frekans karakteristiği Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Alınan ölçümlerin VRMS şeması ise rezonans durumu işaretlenmiş olarak Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 6: Donör makine için rezonans durumuna ait titreşim sinyali ve frekans spektrumu.

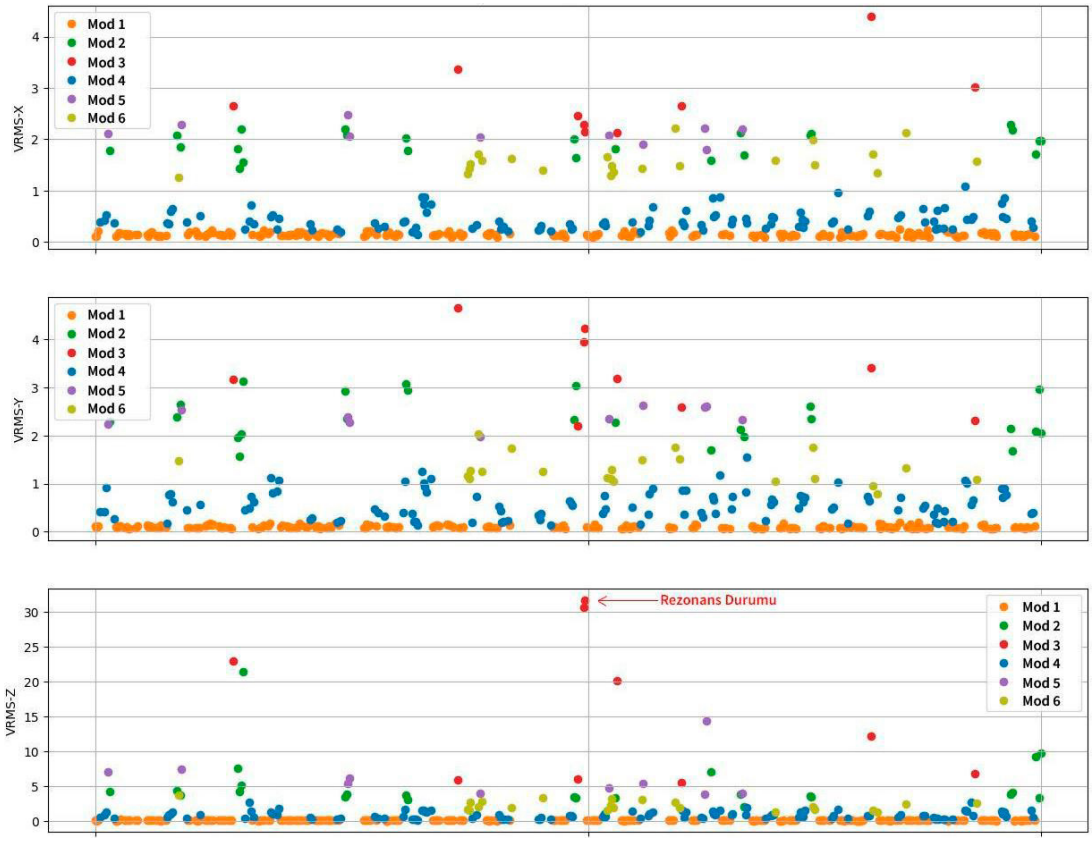


Şekil 7: Donör makine için spektrumdaki baskın frekans.



Şekil 8: Donör makine için 3 eksende VRMS karakteristiği.

Donör makine için ilgili sinyalde ve baskın frekans karakteristiğinde rezonans durumu açıkça görülebilmektedir. VRMS karakteristiği olarak ise değer bakımında bakıldığında, X ve Y eksenlerinde bir gösterge bulunmamasına rağmen rezonans ölçümü Z ekseninde oldukça yüksek bir değer göstererek kendini belli etmektedir. Kümeleme uygulamasından sonra Şekil 9'da görülebildiği gibi makine 6 adet moda ayrılmıştır. Buradaki modların her biri makinenin farklı çalışma karakteristiği gösterdiği durumlara işaret etmektedir. Rezonans karakteristiği gösteren ölçüm az sayıda diğer birkaç ölçüm ile 3 numaralı mod içinde yer almıştır. Kümeleme çalışmasındaki mod miktarı arttırılarak her bir ölçümün daha da ayrışması sağlanabilir, fakat bu durum pratikte farklı modların anlamlandırılmasını zorlaştıracağı için burada tercih edilmemiştir. 3 numaralı mod içine giren ve rezonans karakteristiği göstermeyen diğer ölçümlerin yapısı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.



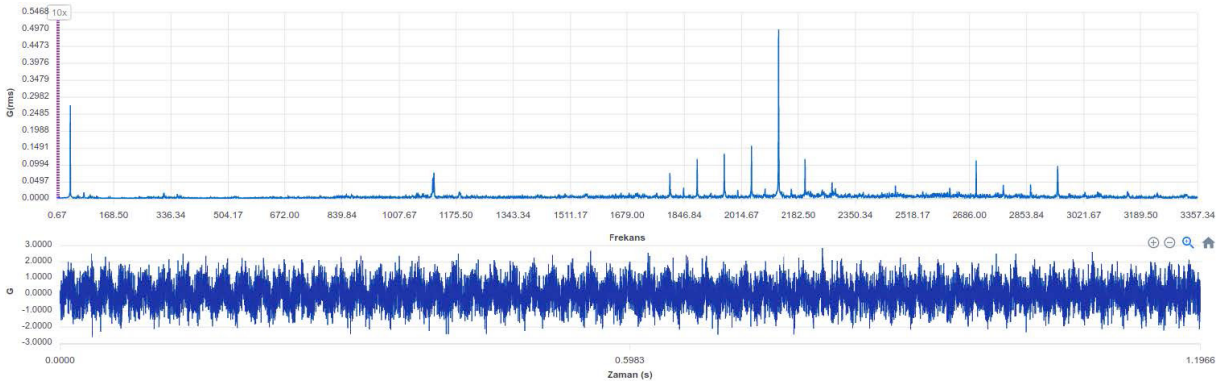
Şekil 9: Donör makine için modlarına ayrılmış VRMS grafiği.

Donör makinenin 3 numaralı moduna ait ölçümlerin öznitelik vektörleri ile akseptör makineler ölçümlerinin öznitelik vektörleri mod benzerlik algoritması kullanılarak karşılaştırılmış ve puanlanmıştır. Puanlama sonucunda en yüksek puana sahip ölçümler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

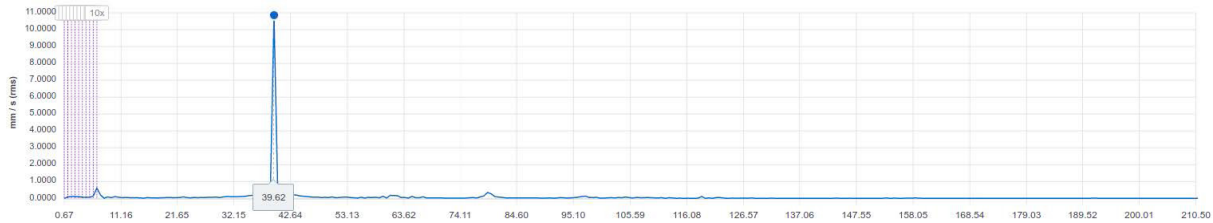
Tablo 1: Akseptör makine ölçüm benzerlik skorları.

Ölçüm İndeksi	Benzerlik Puanı
341	0.73
120	0.65
346	0.63
812	0.59

Bu sonuçlara bakılarak ölçüm 341 için en benzer durum olduğu ve rezonans karakteristiği gösterebileceği söylenebilir. Sonuçlar teyit edilmek amacı ile akseptör makinenin rezonans ölçüme ile karşılaştırılmıştır. Akseptör makineye ait GRMS ve VRMS değerleri ve ölçümlerin FFT'si alınarak ortaya çıkarılan baskın frekans karakteristiği Şekil 10 ve 11'de görülebilir. Sonuçlar karşılaştırıldığında 341 numaralı ölçümün 39 Hz ile akseptör makinenin rezonans durumuna denk geldiği doğrulanmıştır.



Şekil 10: Akseptör makine için rezonans durumuna ait titreşim sinyali ve frekans spektrumu.



Şekil 11: Akseptör makine için spektrumdaki baskın frekans.

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, çalışma karakteristiği bilinen bir makinenin titreşim verisi toplanılmış, toplanılan verilerin öncelikle öznitelikleri çıkarılmış, ardından bu öznitelikler üzerinden yapılan makine öğrenmesi uygulaması ile makinenin çalışma modları belirlenmiştir. Bu çalışma modları üzerinden rezonans karakteristiği gösteren çalışma modu saptanarak işaretlenmiş ve daha sonra bu makine modu, mod benzerliği vasıtası ile hakkında daha az bilgi bulunan makineye aktarılmıştır. Aktarım ve hesaplama sonucunda ikinci makinenin rezonans karakteristiği gösteren ölçümün tespit edilebildiği gözlenmiştir. Tabii ki rezonans durumu, bir makinenin çalışma hayatında karşılaşabileceği istenmeyen durumlardan sadece bir tanesidir. Ancak bu uygulama temel alınarak gelecek çalışmalarda farklı makine modlar için de tahmin algoritmaları geliştirilebilir. Bu sayede arıza tespiti için doğrudan sınıflandırıcı eğitimi ile gözetimli öğrenme yönünde toplanan veri sayısı da arttırılmış olacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Lee, J., 1997. "Strategy and challenges on remote diagnostics and maintenance for manufacturing equipment". In Annual Reliability and Maintainability Symposium (pp. 368-370). IEEE.

[2] Muller, A., Marquez, A.C. and Iung, B., 2008. "On the concept of e-maintenance: Review and current research". Reliability Engineering & System Safety, 93(8), pp.1165-1187.

[3] Campos, J., 2009. "Development in the application of ICT in condition monitoring and maintenance". Computers in industry, 60(1), pp.1-20. [4] Ulusoy, A., 2022. "AI Tabanlı Kestirimci Bakım". www.sensemore.io. [5] Ruspini, E.H., 1969. "A new approach to clustering. Information and control", 15(1), pp.22-32. [6] Widodo, A. and Yang, B.S., 2007. "Support vector machine in machine condition monitoring and fault diagnosis". Mechanical systems and signal processing, 21(6), pp.2560-2574. [7] Bunks, C., McCarthy, D. and Al-Ani, T., 2000. "Condition-based maintenance of machines using hidden Markov models". Mechanical Systems and Signal Processing, 14(4), pp.597-612. [8] Wang, C.C. and James Too, G.P., 2002. "Rotating machine fault detection based on HOS and artificial neural networks". Journal of intelligent manufacturing, 13(4), pp.283-293.

[9] Lei, Y., He, Z., Zi, Y. and Chen, X., 2008. "New clustering algorithm-based fault diagnosis using compensation distance evaluation technique". Mechanical Systems and Signal Processing, 22(2), pp.419-435.

[10] Zhu, X.J., 2005. "Semi-supervised learning literature survey".

[11] Yuan, J. and Liu, X., 2013. "Semi-supervised learning and condition fusion for fault diagnosis". Mechanical Systems and Signal Processing, 38(2), pp.615-627.

[12] Xueyi, L.I., Jialin, L.I., Yongzhi, Q.U. and David, H.E., 2020. "Semi-supervised gear fault diagnosis using raw vibration signal based on deep learning". Chinese Journal of Aeronautics, 33(2), pp.418-426.

[13] Sensemore, (t.y.). www.sensemore.io/solutions/

[14] Qian, G., Sural, S., Gu, Y. and Pramanik, S., 2004, March. "Similarity between Euclidean and cosine angle distance for nearest neighbor queries". In Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing (pp. 1232-1237).

[15] France, S.L., Carroll, J.D. and Xiong, H., 2012. "Distance metrics for high dimensional nearest neighborhood recovery: Compression and normalization". Information Sciences, 184(1), pp.92-110.

PLM SİSTEMLERİNDEKİ DOKÜMAN YÖNETİMİ MODÜLÜNÜN ŞİRKETLERE UYGULANMASI

Implementation of the Document Management Module in PLM Systems to Companies

Emrecan MAKARAÇ[1] Nedim Ozan TEKİN[2], Mehmet Musa ÖZCAN[3] ve Nusret KİBAR[4]

Mehmet Akif Ersoy Mahallesi İstiklal Marşı Caddesi No: 16 Yenimahalle/Ankara

[1]PLM Proje Yöneticisi, ASELSAN, *emakarac@aselsan.com.tr*

[2]Dijital Dönüşüm Müdürü, ASELSAN. *notekin@aselsan.com.tr*

[3]PLM Mühendisi, ASELSAN. *mehmetmusa@aselsan.com.tr*

[4]PLM Mühendisi, ASELSAN *nkibar@aselsan.com.tr*

ÖZET

Firmalarda pek çok farklı doküman yönetim sistemi bulunmaktadır. Genel olarak dokümanlar işletim sistemi seviyesinde dizinlerde, ERP sistemlerinde veya farklı doküman yönetim sistemlerinde tutulmaktadır. Aslında aynı ürünün farklı süreçlerine (tasarım, üretim, kalite, bakım vb.) ait olan bu dokümanların farklı ortamlarda tutulması, dokümanların merkezi yönetimini, ürüne ait tarihçenin sistematik bir yapıda tutulmasını ve veri güvenliğini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu olumsuzluklar PLM sistemi içerisindeki doküman yönetim modülünün kullanılması ile ortadan kalkmaktadır. PLM sistemlerinde ürüne ait tüm süreçleri kapsayan dokümanlar tek bir platform üzerinden oluşturulabilir, değiştirilebilir ve merkezi olarak yönetilebilir. Ayrıca tüm dokümanlar ürün ve bağlı olduğu süreçler ile ilişkilendirilebilir. Dokümanların gizlilik derecesine göre rol bazlı detaylı yetkilendirmeler yapılabilir. Dokümanlara özel numaralandırma ve isimlendirme kuralları koyularak standartlaşma sağlanabilir. Dokümanlar belirli onay akışlarına tabi tutularak kalitesi arttırılabilir. Değişikliğe uğrayan dokümanların belirli bir revizyon kuralına göre tutulması sağlanarak bilgi birikiminin takip edilebilirlik ve ulaşılabilirlik seviyesi arttırılabilir. Bu bilgiler ışığında firmalar geleneksel doküman yönetim sistemlerinden uzaklaşarak PLM sistemlerinin sunmuş olduğu doküman yönetim modüllerini kullanmaya başlamışlardır. Bu çalışma kapsamında Windchill PLM sisteminde doküman yönetiminin devreye alınması için dikkat edilecek hususlar ve uygulama metodolojisi paylaşılmıştır. Paylaşılan uygulama metodolojisi otomotiv sektöründe bir firma üzerinden örneklenerek açıklanmıştır. Yapılan bu uygulama sonucunda Windchill PLM sisteminde ideal bir doküman yönetim sistemi kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CAD Harici Dokümanların Yönetimi, Doküman Yönetimi, PLM Doküman Yönetimi.

ABSTRACT

There are many different document management systems in companies. In general, documents are kept in operating system level directories, ERP systems or different document management systems. In fact, keeping these documents belonging to different processes (design, production, quality, maintenance, etc.) of the same product in different environments adversely affects the central management of documents, keeping the history of the product in a systematic structure and data security. These disadvantages are eliminated by using the document management module in the PLM system. In PLM systems, documents covering all product processes can be created, modified and centrally managed on a single platform In addition, all documents can be associated with the related products and the processes. Role-based detailed authorizations can be made according to the confidentiality level of the documents. Standardization can be achieved by setting special numbering and naming rules for documents. The accuracy of documents can be checked by workflows.. By keeping the historical changes of revisions with respect to the pre-defined rules, the traceability and accessibility of the revision detailed information can be increased. In the light of this information, companies have moved away from traditional document management systems and started to use document management modules offered by PLM systems. Within the scope of this study, the points to be considered for the implementation of document management in the Windchill PLM system and the application methodology are shared. The shared application methodology is illustrated by a company in the automotive industry. As a result of this application, an ideal document management system was established in the Windchill PLM system.

Keywords: *Document Management, Non CAD Files Management, PLM Document Management*

1. GİRİŞ

Ürün yaşam döngüsü (PLM) yazılımlarının temelini Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları oluşturmaktadır. 1970'li yıllarda ürün geliştirme süreçlerinin hızlandırılması amacıyla kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımları 1980'li yılların başında kişisel bilgisayarların uygun fiyatlı bir şekilde piyasaya sunulmasıyla birlikte çok daha aktif bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [1].

Tasarımların bilgisayar ortamına taşınmasıyla birlikte yapılan tüm çizimlerin ve dokümanların yönetilmesi gittikçe daha zor bir hale gelmiştir. Bu durum günümüzde PLM sisteminin temelini oluşturacak olan Ürün veri yönetimi (PDM) sisteminin geliştirilmesine sebep olmuştur. CAD verileri, modeller, üretim detayları ve diğer dokümanlar olmak üzere, ürün ile ilgili olan tüm bilgilerin yönetilmesi için PDM sistemi kullanılmaya başlanmıştır. Ürün veri yönetimi (PDM) sayesinde tasarımlar üzerindeki fikir çatışmaları ve mühendislik değişiklikleri azalmıştır. Bu sayede mühendisler müşterilerin talep ettikleri yeni ürünleri tasarlamak için daha fazla zaman bulabilmişlerdir [2].

1990'lı yılların sonuna doğru yönetilen verilerin kapsamı genişletilerek ürün ile ilgili tüm süreçleri kapsayacak şekilde olan PLM sistemleri geliştirilmiştir. PLM sisteminde bir ürünün fikir aşamasından hurdaya ayrılıncaya kadar olan; Gereksinim Yönetimi, Üretim Yönetimi, Proje Yönetimi, Kalite Yönetimi, Servis Yönetimi süreçleri yönetilmektedir [3].

PLM sisteminde yönetilen süreçlerin artmasıyla birlikte, bu süreçlerin birer çıktısı olan dokümanların yönetimi çok daha önemli bir fonksiyon haline gelmiştir. PLM sistemi içerisindeki doküman yönetimi bir ürün ile ilgili tüm dokümanların yönetimini kapsadığı için şirkete sağladığı en büyük fayda bilgiye tek ve doğru kaynaktan ulaşılmasıdır. Aynı zamanda bu dokümanların ürünle, ilgili süreçlerle veya objelerle ilişkilendirilebiliyor olması diğer doküman yönetimi sistemlerinden farklı olarak sağladığı en önemli fonksiyondur [4].

- Doküman yönetiminin PLM sisteminde yapılması ile sağlayacağı diğer faydalar şu şekildedir [5] [6]:
- Dokümana özel yetkilendirme ile bilgi güvenliğini arttırır.

- Gelişmiş doküman arama fonksiyonları ile bilgiye ulaşılmasını hızlandırır.
- Dokümanın tarihçesi kayıt altına alınır ve geçmişe dönük olarak incelenebilir.
- Farklı departmanların aynı doküman üzerinde çalışmasına imkân sağlar.
- Tekrarlayan görevler otomatikleştirilerek zamandan tasarruf sağlanabilir. Örneğin; Office dokümanları otomatik olarak PDF'e dönüştürülebilir. Bir başka örnek; Yayınlanan dokümanlar alt yükleniciler ile otomatik olarak paylaşılabilir.
- Dokümanlar hem iç paydaşlar hem de dış paydaşlar ile aynı sistem üzerinden paylaşılabilir.
- Dokümanlara özel iş akışları yapılarak dokümanların kalitesi artar.
- Dokümanlar, parça, Malzeme listesi, proje vb. objeler ile ilişkilendirilebilir.

Bu faydalar tüm PLM sistemlerinde standart fonksiyon olarak sağlanmaktadır. Ancak bu fonksiyonların etkin bir biçimde kullanılmasını sağlayabilmek için şirkete özel olarak yapılandırılması gereklidir. Bunun için öncelikli olarak seçilen PLM sistemine uygun doküman yönetim metodolojisi oluşturulmalıdır. Daha sonra bu metodoloji PLM sistemine uyarlanarak kullanıma sunulur. Bu makale kapsamında Windchill PLM sisteminde doküman yönetimi metodolojisinin hazırlanması ve PLM sistemine uygulanması hakkında bilgi içermektedir.

2. WİNDCHİLL DOKÜMAN YÖNETİMİ

Windchill Doküman Yönetimi; dosyaların (MS Office dokümanları, görseller, videolar vb.), URL bağlantılarının veya farklı bir ortamda bulunan içeriklerin sistemde saklanması ve yönetilmesi için kullanılmaktadır. Doküman denildiği zaman sadece Word, Excell, Powerpoint, PDF dosyaları aklımıza gelmektedir. Ancak PLM sisteminde doküman yönetimi kapsamında farklı dosya türündeki dokümanlar da yönetilebilir. Bunlara, test verisi, analiz verisi vb. farklı formatlarda olabilecek her türlü dosya türü örnek olarak verilebilir.

Bir ürüne ait dokümanlar tasarım, kalite, satın alma, üretim vb. alanlarda kategorize edilebilir. Ayrıca buna ek olarak bu kırılımın bir altında dokümanlar tiplerine göre sınıflandırılarak Windchill PLM sisteminde daha etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanır. Kalite dokümanları içerisindeki 8D raporu doküman tipine örnek olarak gösterilebilir.

Windchill PLM sisteminde doküman tipine özel olarak;

- Parametreler belirlenebilir.
- Numaralandırma formatı oluşturulabilir.
- İsimlendirme kuralları yazılabilir.
- Dokümanın oluşturulduktan sonra depolanacağı klasör adreslemesi yapılabilir.
- Şablon dokümanlar tanımlanarak her seferin aynı şablonların kullanılması sağlanabilir.
- Yaşam Döngüsü Durumları tanımlanabilir.
- Yetkilendirme kuralları tanımlanabilir.
- Son kullanıcı ekranları talebe göre düzenlenebilir.

2.1 Metot

Doküman yönetimi PLM sistemi içerisindeki en önemli ve zor konulardan biridir. Geçmişte kullanılan doküman yönetim sisteminde veya Windows işletim sisteminde klasörlerde saklanan verilerin PLM sistemine aktarılması ve PLM sisteminde yapılan tanımlamaların bu dokümanlara işlenmesi çok zor ve zaman alan bir operasyondur. Bu durum şirket büyüklüğü, şirketin ürettiği doküman miktarı arttıkça geçmiş veri yüküne bağlı olarak daha da zor bir hale gelmektedir.

Bunun için Doküman yönetiminin PLM sisteminde devreye alınması bir geçiş projesi olarak yürütülmelidir. Bu geçiş projesi için şirket içerisinde tecrübeli ve ilgili tüm ekipleri (tasarım, kalite, üretim, test, üretim, satış

sonrası hizmet) temsil edecek kişilerden bir proje ekibi kurulmalıdır. Proje ekibi ürünlere ait olan tüm dokümanları ve süreçlerini inceleyerek analiz eder. Bu analiz ve değerlendirme çalışmaları sonucunda Doküman Yönetiminin PLM sistemine aktarılması için bir yol haritası oluşturulur. Tüm çalışmalar bu yol haritasına uygun olarak yürütülür.

2.2 Doküman Yönetimi Uygulama Metodolojisi

Doküman Yönetiminin PLM sistemine aktarılması aşamasında Şekil 1'de detayları paylaşılan 5 adımdan oluşan bir metodoloji kullanılacaktır. Bu metodoloji sırasıyla Olgunluk taraması, Çözüm oluşturma, Çözüm Onayı, Teslimat & Doğrulama ve Teknik Servis Hizmeti adımlarından oluşmaktadır.

Şekil 1: Doküman Yönetimi Uygulama Metodolojisi

2.2.1 Olgunluk Taraması

Bu adımda Doküman Yönetimi Proje ekibi ilk olarak şirket içerisinde bir olgunluk taraması yaparak mevcut durumda sistemin güçlü yanları ve zayıf yanlarını analiz edecek. PLM sistemine aktarıldıktan sonra sağlanması amaçlanan kazanımlar belirlenecek, Proje risk analizi yapılarak projedeki riskler tanımlanacaktır. Tüm bu çalışmalar olgunluk tarama dokümanında bir araya getirilerek kayıt altına alınmalıdır.

2.2.2 Çözüm Oluşturma

Bu adımda ilk olarak şirkette üretilen tüm dokümanlar analiz edilerek incelenir. PLM uzmanları ile birlikte PLM sisteminde yapılandırılacak yeni doküman yönetimi sisteminin gereksinimleri belirlenir. Gereksinimlerin PLM sistemine uygun olması ilave geliştirme gerektirmemesi en önemli noktalardan biridir. Ancak şirkete özel veya iş birimlerine özel olarak yapılmasına kesinlikle ihtiyaç duyulan özellikler PLM sistemi standart fonksiyonları içerisinde değilse geliştirme yapılabilir.

Şekil 2: Doküman Tipine Özel Uygulama Adımları

PLM sisteminde doküman yönetim metodolojisi bu aşamada belirlenir. Bu metodoloji kapsamında ilk olarak dokümanlar yönetildiği iş birimlerine göre (kalite, üretim, tasarım vb.) kategorize edilir. Bu kategorinin bir alt kırılımı olarak doküman tipleri tanımlanır. Doküman tipleri doküman sahibi birimler tarafından tek tek incelenerek PLM'e uygun hale getirilir. Bunun için sırasıyla Şekil 2'de belirtilen adımlar uygulanmalıdır.

2.2.3 Çözüm Onayı

Hazırlanan kavramsal dokümanın PLM'e uyarlanmasını sağlayacak teknik ekip ile bir araya gelerek değerlendirilir. Bu değerlendirme sonucunda doküman yönetimi proje ekibi ve teknik ekip hem fikir olarak yapılan çalışmayı onaylar. Bu aşamadan sonra kavramsal doküman üzerinde bir değişiklik yapılamaz. Eğer değişiklik zorunlu ise proje değişiklik yönetimi süreci yürütülmesi gereklidir. Bu adım sonucunda teknik ekip PLM sistemi üzerindeki çalışmalarına başlar.

2.2.4 Teslimat ve Doğrulama

Bu aşamada teslimat, onaylanan kavramsal dokümanlarına göre teknik ekip tarafından yürütülür. Teknik ekip öncelikli olarak geliştirme ortamında uyarlama çalışmalarına başlar. Kavramsal dokümanda yer alan tüm tanımlamalar PLM sistemine uyarlanır. Teknik ekip test ortamında onaylanan test tanım dokümanına göre kendi testlerini yaptıktan sonra test sonuç raporunu hazırlayarak PLM doküman yönetimi proje ekibine sunar. Bu doküman proje yönetim ekibi tarafından onaylandıktan sonra çalışmalarını canlı öncesi ortama taşır. Bu aşamadan sonra son kullanıcılar test tanım dokümanlarına göre testlerini uygulayarak yapılan çalışmayı doğ-

rular ve test sonuç raporunu hazırlar. Hazırlanan sonuç raporu PLM doküman yönetimi proje ekibi tarafından onaylanırsa yapılan çalışma canlı ortama aktarılır. Eğer test raporunda ilave bir test ihtiyacı veya olumsuz bir durum tespit edilirse bu durum teknik ekibe bildirilerek çözümü sağlanır. Uygulanan çözümler de doğrulandıktan sonra sistem canlı ortama aktarılır. Daha sonra PLM sisteminde doğrulanan çözüm eğitim ortamına da aktarılır. Eğitim ortamında onaylanan eğitim planına uygun olarak son kullanıcı eğitimleri verilir. Son kullanıcı eğitimleri bittikten sonra eski sistemler kapatılarak yeni PLM sisteminde canlı kullanıma başlanır.

2.2.5 Teknik Servis

Doküman yönetimi yeni PLM sisteminde devreye alındıktan sonraki ilk 6 ay teknik ekip sistemde yaşanacak problemleri yakından takip eder. Kullanıcıların sistemi kullanamamasına neden olan (herhangi bir arıza veya düşük performans sorunu dahil) son kullanıcılar veya proje ekibi tarafından belirlenen tüm hatalar teknik ekip tarafından düzeltilmelidir. Sistem performansı belirli aralıklarla takip edilerek raporlanır. Performans düşüklüğü yaşanması durumunda ilgili ekibi uyararak geliştirmelerin yapılmasını sağlar. Aynı zamanda eğitim ihtiyaçlarını tespit ederek kullanıcılara eğitim verilmesini sağlar. Herhangi bir güvenlik problemi yaşanmaması için şirketin siber güvenlik ekibi ile koordineli bir şekilde çalışır.

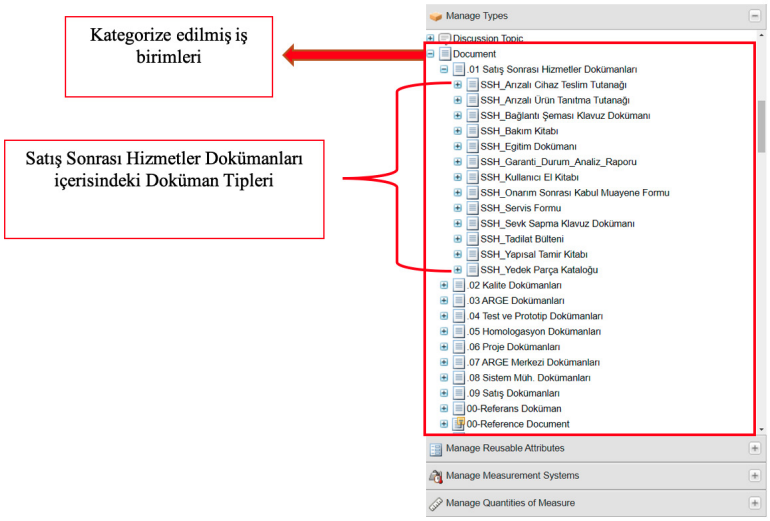
PLM sisteminde doküman yönetiminin sürdürülebilirliğinin sağlanması için en önemli hususlardan biri de şirket içerisinde bir PLM teknik ekibin olmasıdır. Kurulan sistem şirketin teknik PLM ekibi tarafından yönetilmelidir. Ancak bu şekilde sağlıklı bir PLM sisteminin yönetilmesi sağlanabilir.

3. WİNDCHİLL PLM SİSTEMİNDE ÖRNEK UYGULAMA

Örnek uygulama otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firma üzerinden yapılmıştır. Bu firma ürünleriyle ilgili tüm dokümanlarını Windchill PLM sistemi üzerinden yönetmektedir.

3.1 Doküman Tipleri ve Kategorileri

Şekil 3'te görüldüğü üzere şirket içerisinde yönetilen dokümanlar; Satış Sonrası Hizmetler Dokümanları, Kalite Dokümanları, Ar-Ge Dokümanları, Test ve Prototip Dokümanları, Homologasyon Dokümanları, Proje Dokümanları, Ar-GE Merkezi Dokümanları, Sistem Mühendisliği Dokümanları ve Satış Dokümanları olmak üzere kategorize edilmiştir. Bu kategorilerin altında doküman tipleri yer almaktadır. Her doküman tipi için Şekil 2 de belirtilen adımlar uygulanmıştır. Örnek uygulama kapsamında bir doküman tipi seçilerek yapılan tanımlamalar ve Windchill ara vüzleri anlatılmıstır.



Şekil 3: Windchill PLM Sisteminde Yönetilen Doküman Tipleri ve Kategorileri

3.1.1 Satış Sonrası Hizmetler Dokümanları

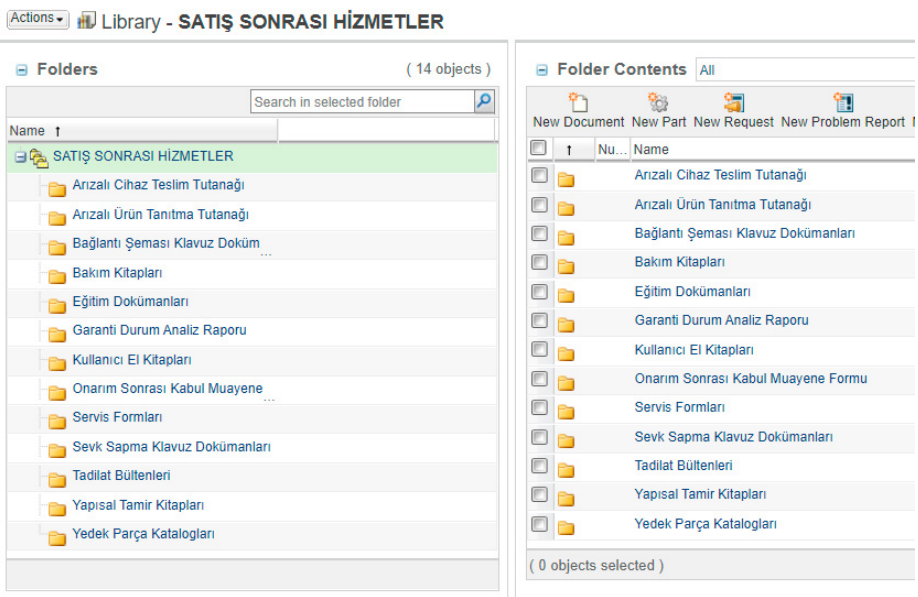
Örnek uygulama için Satış Sonrası Hizmetler Dokümanları kategorisi seçilmiştir. Bu kategori içerisinde toplam 13 adet doküman tipi bulunmaktadır. Bu doküman tipleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Arızalı Cihaz Teslim Tutanağı
- Arızalı Ürün Tanıtma Tutanağı

Bağlantı Şeması Kılavuz Dokümanı

- Bakım Kitabı
- Eğitim Dokümanı
- Garanti Durum Analiz Dokümanı
- Kullanıcı El Kitabı
- Onarım Sonrası Kabul Muayene Formu
- Servis Formu
- Sevk Sapma Kılavuz Dokümanı
- Tadilat Bülteni
- Yapısal Tamir Kitabı
- Yedek Parça Kataloğu

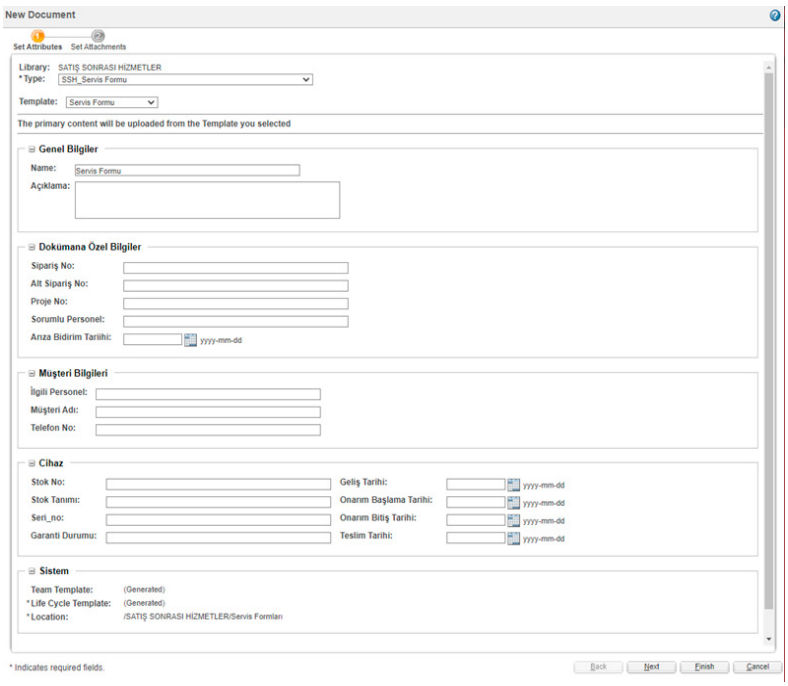
Satış Sonrası Hizmetler Dokümanlarına ait klasör yapısı Şekil 4' teki gibidir. Dokümanlar oluşturulduktan sonra tiplerine göre ilgili klasörlere otomatik gidecek şekilde tanımlama yapılmıştır.



Şekil 4: Satış Sonrası Hizmetler Dokümanları Klasör Yapısı

3.1.1.1 Servis Formu

Servis Formu sistemde bir doküman tipi olarak tanımlanmıştır. Bu doküman tipine özel olarak Şekil 2' de belirtilen tüm adımlar uygulanmıştır. Şekil 5'te dokümanın oluşturulma aşamasındaki ekranı görülmektedir.



Şekil 5: Servis Formu Oluşturma Ekranı

İlgili kütüphane içerisinde yeni doküman oluştur komutuna tıklandıktan sonra doküman tipi sekmesinden Servis Formu seçildiğinde yukarıdaki ekran açılmaktadır.

Şekil 2'de belirtilen uygulama adımların sırasıyla Servis Formu doküman tipi için incelenmiştir.

Servis Formu doküman tipine özel bilgiler şu şekildedir;

Dokümana Özel Bilgiler başlığı altında,

- Sipariş No
- Alt Sipariş No
- Proje No
- Sorumlu Personel
- Arıza Bildirim Tarihi

Müşteri Bilgileri başlığı altında,

- İlgili Personel
- Müşteri Adı
- Telefon No

Cihaz başlığı altında,

- Stok No
- Stok Tanımı
- Seri No
- Garanti Durumu

- Geliş Tarihi
- Onarım Başlama Tarihi
- Onarım Bitiş Tarihi
- Teslim Tarihi

Servis Formu doküman tipine özel numaralandırma kuralı şu şekildedir;

9 haneli olarak belirlenen doküman numarasının ilk 3 hanesi "SEF" sonraki 6 hanesi ise sırayla numara alacaktır. Örneğin ilk doküman: "SEF000001"

Servis Formu doküman tipine özel isimlendirme kuralı şu şekildedir;

Doküman isimlendirmesi için 40 karakter sınırı koyulmuştur. Bunun haricinde herhangi bir kural tanımlanmamıştır.

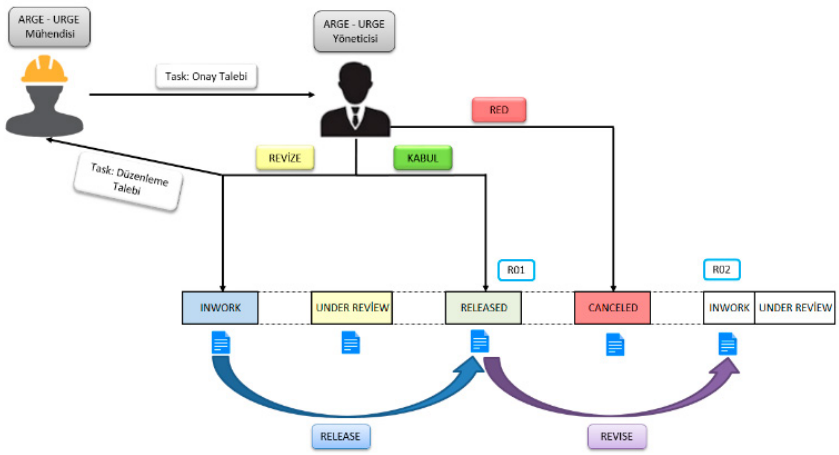
Servis Formu doküman tipine özel Şablonların düzenlenmesi;

Servis Formu dokümanına ait şablon doküman Windchill PLM sistemi içerisine tanıtılmıştır. Bu sayede doküman oluşturma ekranında servis formu doküman tipi seçildiğinde ilgili şablonun en güncel hali otomatik olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca Windchill PLM sisteminde doldurulan verilerin şablon doküman içerisine otomatik olarak ilgili boşluklara adreslenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda Excell ortamında doldurulan şablon dokümanın Windchill PLM sistemindeki karşılıklarını da otomatik olarak doldurabilmesi sağlanmıştır. Şablon dokümanda yapılacak değişiklikler değişiklik yönetimi sistemi ile yapılmaktadır. Windchill PLM sisteminde şablon dokümanlarının değiştirilmesi sadece PLM sistem yöneticileri tarafından sağlanmaktadır.

Servis Formu doküman tipine özel Yaşam Döngüsü Durumları şu şekildedir;

Şekil 6: *Servis Formu Yaşam Döngüsü Durumları*

Servis Formu doküman tipine özel onay akışı şekildedir;



Şekil 7: Servis Formu Doküman Onay Akışı

Servis Formu dokümanlarının oluşturulduktan sonra depolanacağı klasör adreslemesi şu şekildedir;

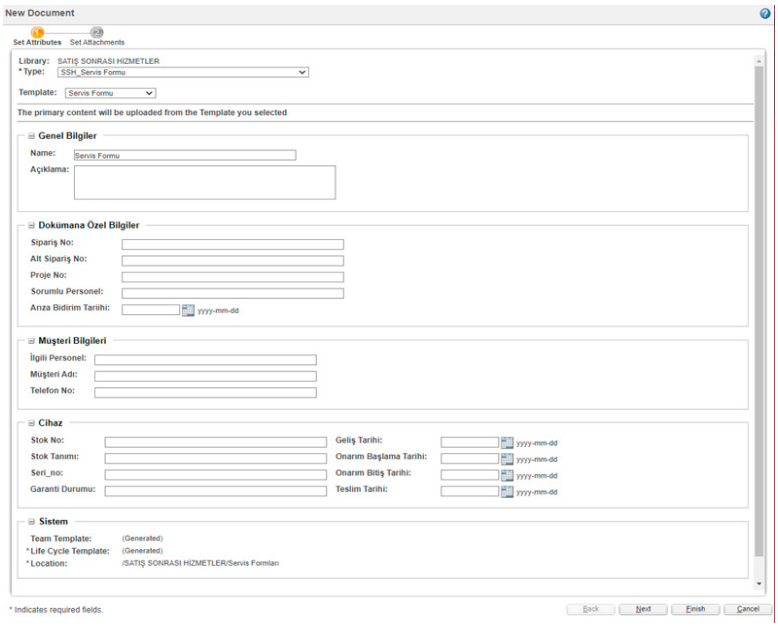
- <İlgili Library>/SATIŞ SONRASI HİZMETLER/SERVİS FORMLARI

Servis Formu dokümanlarının yetkilendirmesi şu şekildedir;

- Dokümanı Oluşturma Yetkisi: Sadece ELD/Servis Müh. kullanıcılarında olacaktır.
- Doküman Düzenleme Yetkisi: Sadece ELD/Servis Müh. kullanıcılarında olacaktır.
- Doküman Görüntüleme Yetkisi: Tasarım Mühendisi, Sistem Mühendisi, Kalite Mühendisi, ELD/Servis Mühendisi kullanıcılarında olacaktır.

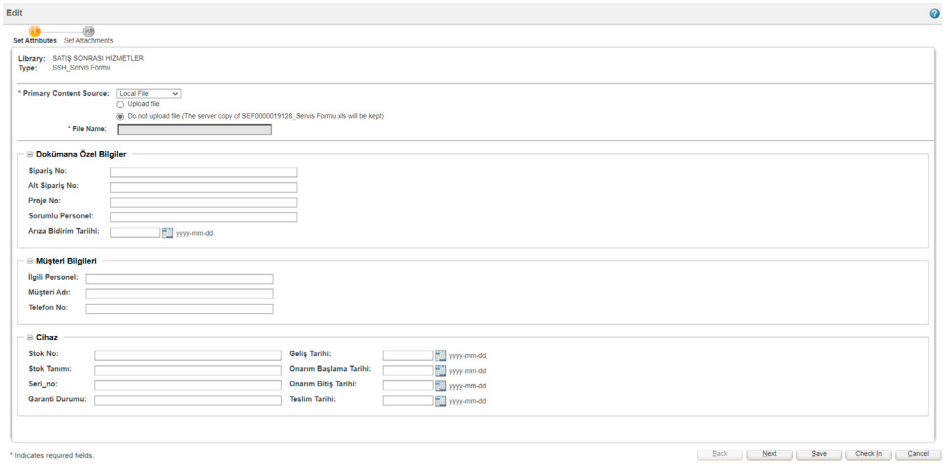
Servis Formu dokümanlarının son kullanıcı ekranları aşağıdaki gibidir;

Dokümanı Oluşturma Ekranı



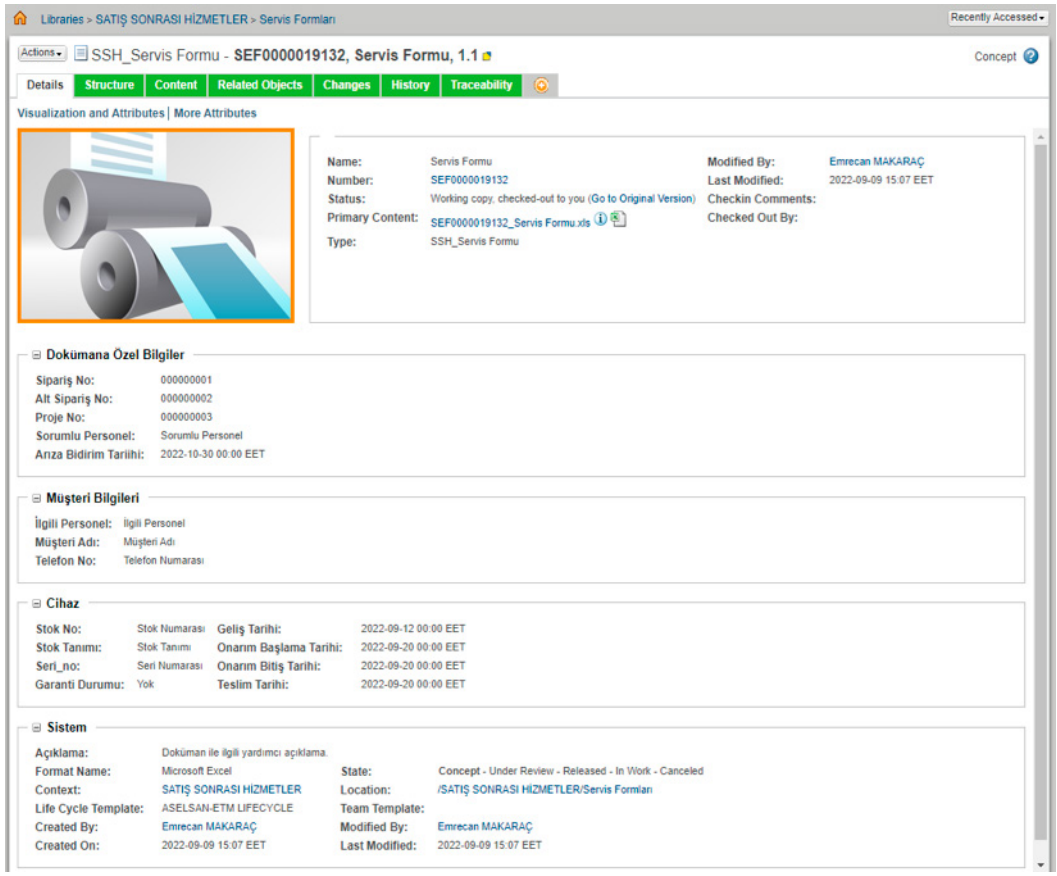
Şekil 8: Windchill Doküman Oluşturma Ekranı

Doküman Düzenleme Ekranı



Şekil 9: Windchill Doküman Düzenleme Ekranı

Doküman Bilgi Ekranı



Şekil 10: Windchill Doküman Bilgi Ekranı

Servis Formu dokümanlarının performans kriterleri ve talep edilen raporlardan bazıları şu şekildedir;

Servis Formu dokümanlarında doldurulan bilgilere göre;

- Aylık, Çeyreklik veya Yıllık bazda Servise gelen cihazların onarım süresi raporu
- Aylık, Çeyreklik veya Yıllık bazda Garanti dahilinde servise gelen cihaz raporu
- Aylık, Çeyreklik veya Yıllık bazda Geciken Servis Formu raporu
- Aylık, Çeyreklik veya Yıllık bazda Kişi bazlı Servis Formu oluşturma raporu

Servis Formu dokümanlarının eski sistemlerden PLM sistemine aktarılması için veri göçü stratejisi şu şekildedir;

- PLM öncesinde herhangi bir doküman yönetim sistemi kullanılmadığından Servis Formları Windows ortamında yönetilmekteydi. Windows ortamında revizyon ve versiyon yönetimi yapılamadığından dokümanların sadece son revizyonları saklanmaktaydı. Bu sebeple dokümanların son revizyonları PLM teknik ekibi tarafından sisteme toplu bir şekilde aktarılmıştır. Servis formu tamamlanmayan dokümanların PLM sisteminde yeni kurallara göre güncellenerek sürecin PLM sisteminde devam ettirilmesi kararlaştırılmıştır.

Servis Formu dokümanları canlı sisteme aktarıldıktan sonra test senaryoları ve test kriterleri kısaca şu şekilde belirtilebilir;

- Yukarıda belirtilen tüm tanımlamaların PLM sisteminde doğruluğu
- Onay akışının tüm ihtimallerinde çalışır olduğunun doğrulanması
- Dokümanlar oluşturulduktan sonra belirtilen klasörlere gidip gitmediğinin kontrolü
- Doküman numaralandırma ve isimlendirme kurallarının doğrulanması
- Belirtilen parametrelerin ve açılır menülerin doğrulanması
- Şablon dokümanın güncel versiyon olup olmadığının kontrolü

4. SONUÇ

Dokümanların merkezi bir doküman yönetim sisteminde yönetilmesi şirket bilgi birikiminin oluşturulması ve korunması için çok önemlidir. Ancak genel olarak doküman yönetim sistemleri kalite birimlerinin aktif olarak kullandığı ve onun haricindeki, test, üretim, tasarım gibi birimlerin kullanmayı çok tercih etmediği sistemlerdir. Doküman yönetim sistemleri genel olarak dokümanların onay akışlarını, içereceği bilgileri, saklanma koşullarını, vb. yetkinlikleri sağlayan sistemlerdir. Ancak bu sistemlerde dokümanın tarihçesinin takip edilememesi, ürünle ve tasarım çıktıları ile ilişkilendirilememesi gibi olumsuzluklar mevcuttur. PLM sistemi içerisindeki doküman yönetim sisteminin kullanılması diğer doküman sistemlerinde ortaya çıkan bu olumsuzlukları ortandan kaldırdığı gibi pek çok yeni avantajı da sağlamaktadır. Bu avantajlar; dokümana özel yetkilendirme ile bilgi güvenliğinin arttırılması, gelişmiş doküman fonksiyonları ile bilgiye ulaşmanın hızlandırılması, doküman tarihçesinin kayıt altına alınması ve geçmişe dönük olarak izlenebilir olması, farklı departmanların aynı doküman üzerinde çalışmasına imkân sağlaması, tekrarlayan görevlerin otomatikleştirilmesi ile zamandan tasarruf edilmesinin sağlanması (örneğin; Office dokümanları otomatik olarak PDF'e dönüştürülebilir.), dokümanların hem iç paydaşlar hem de dış paydaşlar ile aynı sistem üzerinden paylaşılabilmesi, dokümanlara özel iş akışları ile dokümanların kalitesinin arttırılması, dokümanların, parça, malzeme listesi, proje vb. objeler ile ilişkilendirilerek uçtan uca veri yönetiminin sağlanmasıdır.

Ancak dokümanların PLM sisteminde yönetilebilmesi için PLM sisteminde bazı düzenlemelerin yapılması gereklidir. Bu düzenlemeler şirkete ve yönettiği dokümanlara özel olarak öncelikle kâğıt üzerinde tasarlanmalıdır. Bunun için şirket içerisinde doküman sahibi birimlerden oluşan bir proje ekibi kurulması gereklidir. Bu proje ekibi öncelikle, dokümanları kullanıldığı birimlere göre kategorize etmeli ve daha sonra her birim kendi doküman tiplerini oluşturmalıdır. PLM sisteminde doküman tiplerine özel olarak yapılacak tanımlamaların belirlenen tüm doküman tiplerine yapılması gereklidir. Bu tanımlamaların tümü bir araya getirilerek dokümante edilmelidir. Bu dokümantasyon sonucunda Doküman Yönetim Kavramsalı kâğıt üzerinde hazırlanmış olur. Bu tanımlamaların PLM sisteminde yapılmadan önce kâğıt üzerinde tanımlanması PLM sistemindeki doküman yönetimi için kritik öneme sahiptir. Bu sayede PLM sisteminde yapılacak tanımlama işlemlerinin ve test işlemlerinin daha kısa sürmesi sağlanır. Ayrıca kurulan sistemin kalitesini de arttırır.

Bu makale kapsamında Windchill doküman yönetiminde kâğıt üzerinde yapılacak tanımlamalar için bir metodoloji paylaşılmıştır. Bu metodoloji yardımıyla doküman yönetiminin kavramsal dokümanı hazırlanır. Doküman yönetimi kavramsalında PLM sisteminde yapılacak düzenlemelerin tanımlamaları yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu kavramsal dokümanı hazırlanırken sadece şirketin talepleri değil PLM sisteminin yeteneklerinin de göz önünde bulundurulmasıdır. Eğer bu konuya dikkat edilmezse PLM sisteminde olmayan yetenekler sonradan ek geliştirmeler ile kazandırılmaya çalışılır ve bu durum daha sonraki süreçlerde şirketin aleyhine bir sonuç ortaya çıkarabilir. Bu sebeple mümkün olduğunca PLM sistemi içerisindeki yetenekler ve şirketin bilgi birikimi ortak paydada birleştirilmelidir. Bu şekilde hazırlanacak bir kavramsal dokümanı ve kurulacak bir PLM sistemi şirket için en verimli sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Bu durum otomotiv sanayinde faaliyet gösteren bir şirket üzerinde yapılan örnek uygulama ile ortaya konmuştur. Bu şirket tüm dokümanlarını Windchill PLM sistemine aktararak doküman yönetim sistemini tamamen PLM

sistemine taşımıştır. Bu süreçte bir proje ekibi kurulmuş ve şirket içerisinde bulunan PLM ekibinden biri proje lideri olarak atanmıştır. Tüm çalışmalar PLM ekibinin liderliğinde proje kapsamında ve proje takvimine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak makalede bahsedilen metodoloji ve dikkat edilecek hususların tümüne uygun bir şekilde hazırlanmış bir kavramsal dokümanı ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu kavramsal dokümanı PLM ekibi tarafından PLM sistemine aktarılmıştır. Şirket genelinde kullanıcıların aktif bir şekilde PLM sistemindeki doküman yönetimini kullanabilmelerini sağlamak amacıyla kullanıcı eğitimleri verilmiştir. Tüm bu çalışmalar sonucunca başarılı bir doküman yönetimi PLM sistemi içerisinde kurulabilir ve yönetilebilir. Doküman yönetim sisteminin başarılı bir şekilde PLM sistemine taşınması ve şirket içerisinde aktif olarak kullanılmasında izlenen bu metodolojinin ve makalede bahsi geçen diğer konuların etkisinin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamızın her aşamasında bize destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ASELSAN Dijital Dönüşüm Müdürlüğü çalışanlarına, bilgi ve tecrübesiyle tüm zorlu aşamalarda bizi aydınlatan ASELSAN PLM Proje Yönetim Ekibine çalışmalarımızdaki yardım ve kolaylaştırıcı yaklaşımları nedeniyle yürekten bir teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKÇA

- *Anwary, M. (2005). An Open Lifecycle Management System. Bachelor Thesis. Ryerson University, Toronto.*
- *Hill, S. J. (2003). How to be a trendsetter: Dassault and ibm plm customers swap tales from the plm front. COE Newsnet.*
- *Stark, J. (2016). Product Lifecycle Management (Volume 2) The Devil is in the Details (Vol. 2, pp. 1–35). Cham Springer International Publishing.*
- *Savino, M., Campanaro, A., & Bouras, A. (2009). A Document Management tool for Traceability information in Product Lifecycle Management. In SKIMA 2009 (Vol. 1, No. 1, pp. 258-265). Royal University of Morocco.*
- *Siemens PLM Sofware. (2014). Document management Solving the document dilemma with PLM. https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/Siemens-PLM-Teamcenter-Document-Management-fs_tcm1023-79821.pdf (accessed 2022)*
- *Informatik PLM. (2020). Doküman Yönetimi Çözümleri. https://informatikplm.com/cozumler/plm/dokuman-yonetimi (accessed 2022)*

SAP BAKIM MODÜL SİSTEMİNİN ÖZETİ VE ARIZA HATASIZLAŞTIRMA ÖRNEĞİ

G. Yücel[1,*], M. Kılıç[2], S. Öztaş[3], A. Ozansoy[4], O. Akyüz[5]

[1]*Er-Bakır A.Ş., Makine Enerji Müdürlüğü, Makine Mühendisi, Denizli, Türkiye
gyucel@erbakir.com.tr
[2] Er-Bakır A.Ş., Makine Enerji Müdürlüğü, Makine Mühendisi, Denizli, Türkiye
mkilic@erbakir.com.tr
[3] Er-Bakır A.Ş., Makine Enerji Müdürlüğü, Makine Mühendisi, Denizli, Türkiye
soztas@erbakir.com.tr
[4] Er-bakır A.Ş., Makine Enerji Müdürlüğü, Mekanik Bakım Operatörü, Denizli, Türkiye
[5] Dr., Er-Bakır A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Ar-Ge Müdürü, Denizli, Türkiye
oakyuz@erbakir.com.tr

1. GİRİŞ

1.1. AMAÇ

Firmamızda uygulanan SAP bakım modülünü kullanarak toplanılan veriler ile arıza hatasızlaştırma çalışmalarından herhangi birisi örnek olarak sunulmuştur.

Bu sistemin kuruluş amacı ise aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

Makinelerin arıza-bakım (MTBF, MTTR, MDT) sürelerinin takibi ile arıza-bakım ve iyileştirme projelerinin belirlenmesi,

Makinelerin ve/veya arıza-bakımların maliyetlerinin oluşturulması, bu sayede ürün maliyetinde bakım etkisi

Personel takip sistemi ile arıza müdahale süresinde azalma ve personelin verimli kullanılması,

Yedek parça, sarf malzemesi, stok takibi ve ömür bilgilerinin çıkarılması

Sistem hatasızlaştırma örneği olarak firma makine parkurundan bir makine seçilmiştir. Bu makinede arıza-bakım duruşları analiz edilerek makinenin hedef duruşunda sapmasına sebep olan bir arızada kök neden analizi (balık kılçığı) yapılmıştır. Kök neden sonrasında ihtiyaç duyulan tasarım değişiklerini yapılmıştır.

Hatasızlaştırma projelerinin yapılmasının amacı ise arıza-bakım maliyetlerinin düşürülmesi, makine duruş süresinin hedeflenen değere ulaştırmak ve hedefleri güncelleyerek daha iyiye ulaşmaya çalışmaktır.

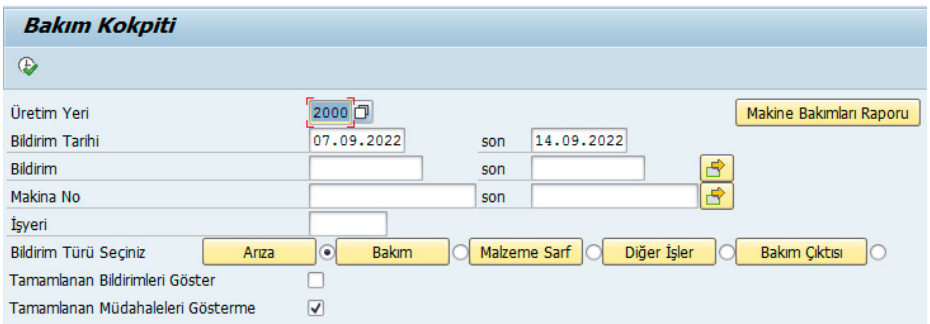
1.2. KAPSAM

Sap bakım modülü bakım yönetim sürecinin güçlü bir destekçisi olup izlenebilirlik vb. alanlar açısından firma bilgi birikimi açısından ciddi bir öneme sahiptir.

Arıza hatasızlaştırma örneği ise arıza yaklaşımı, yorulma, rulman arızası, rulman yatak tasarımı gibi faaliyetleri kapsamaktadır.

1.3. YÖNTEM

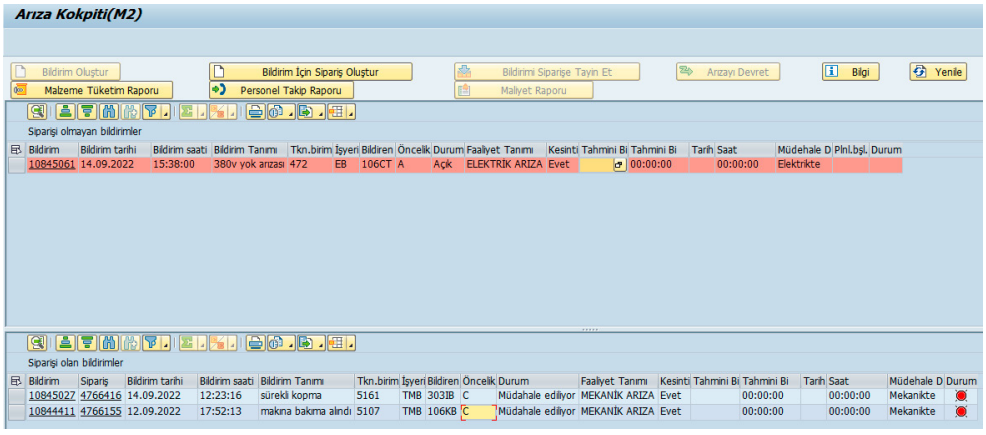
SAP bakım modül sistemi kısaca özetlenmiştir. Şekil 1.3.1' de görüleceği gibi modül 5 ana başlıktan oluşmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak arıza-bakım ve iyileştirme projeleri oluşturulmaktadır.



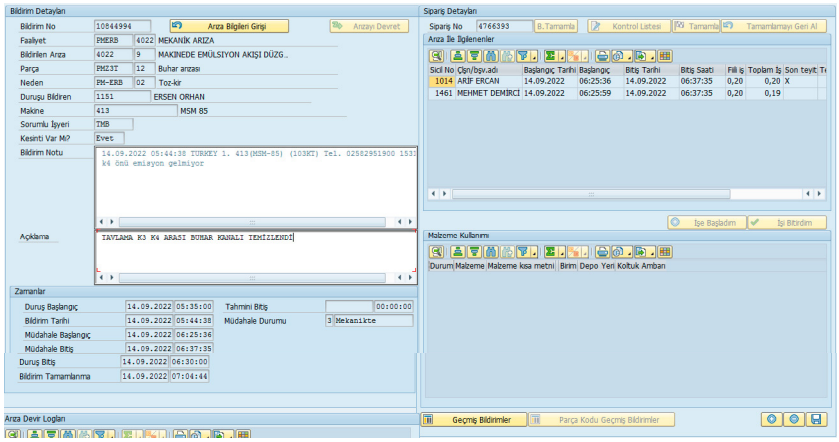
Şekil 1.3.1: *SAP Modül Sistemi-Bakım Kokpit Ekranı*

Aşağıdaki modül ekranında (bkz. Şekil 1.3.2) görüldüğü gibi bildirimler ilk olarak üst sekmeye düşmektedir. Bakım operatörünün arızayı kabul etmesi ile bildirim alt sekmeye inerek sipariş oluşmaktadır.

Bildirim içerisinde (bkz. Şekil 1.3.3) personel çalışma bilgileri, makine duruş bilgileri, kullanılan malzemeler, geçmiş arıza bildirimleri, arızalanan parçaya ait seçim kodları ve arıza neden kodları bulunmaktadır.

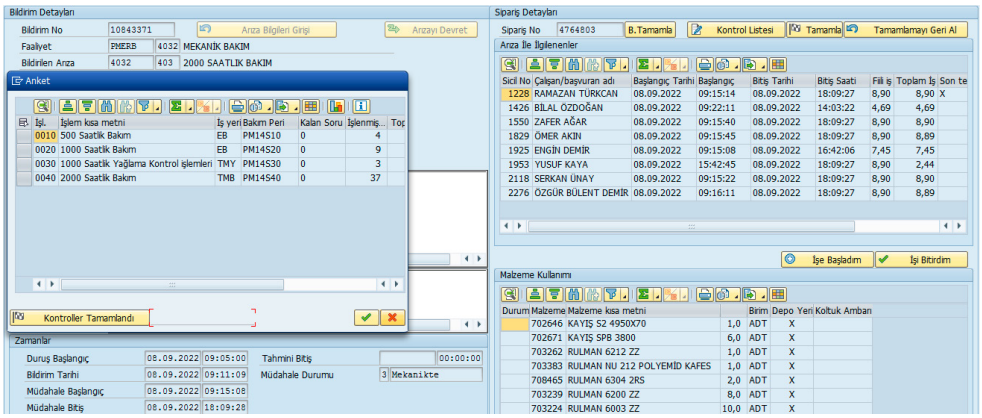


Şekil 1.3.2: *SAP Modül Sistemi-Arıza Ekranı (M2)*



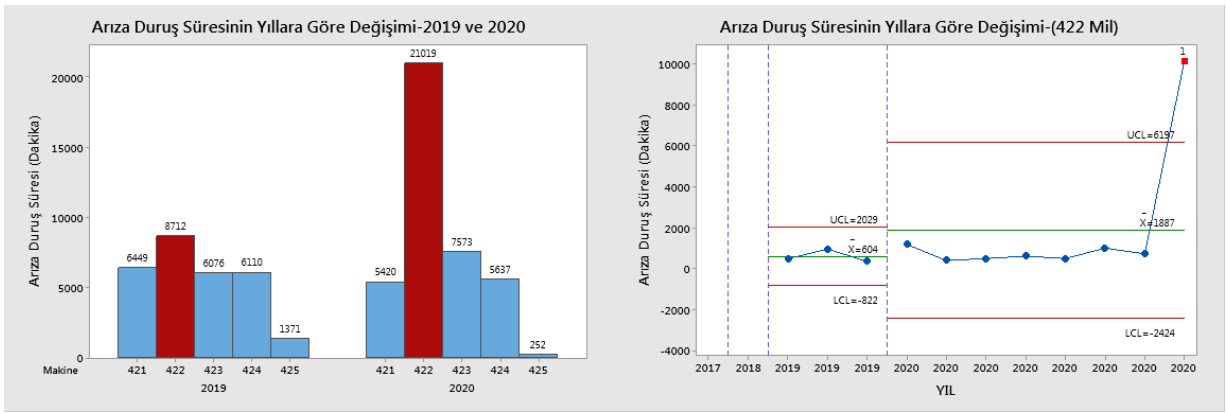
Şekil 1.3.3: *SAP Modül Sistemi-Örnek Arıza Ekranı*

Aşağıda bakım modülünün örneği gösterilmiştir. Sayaca bağlı bakımlar SAP sistemi tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır.



Şekil 1.3.4: *SAP Modül Sistemi-Örnek Bakım Ekranı*

Arıza bakım modülünden toplanan veriler düzenli olarak analiz edilerek projeler oluşturulmaktadır. Örnek proje çıktısının veri grafikleri Şekil 1.3.5'te verilmiştir. Bu grafiklere göre belirli bir grup makine içerisinde ortalama üstü duruşa sahip arıza kaynakları incelenmiş ve bu incelemeler sonucunda 422 numaralı makinede arıza kök nedeni araştırılmıştır.

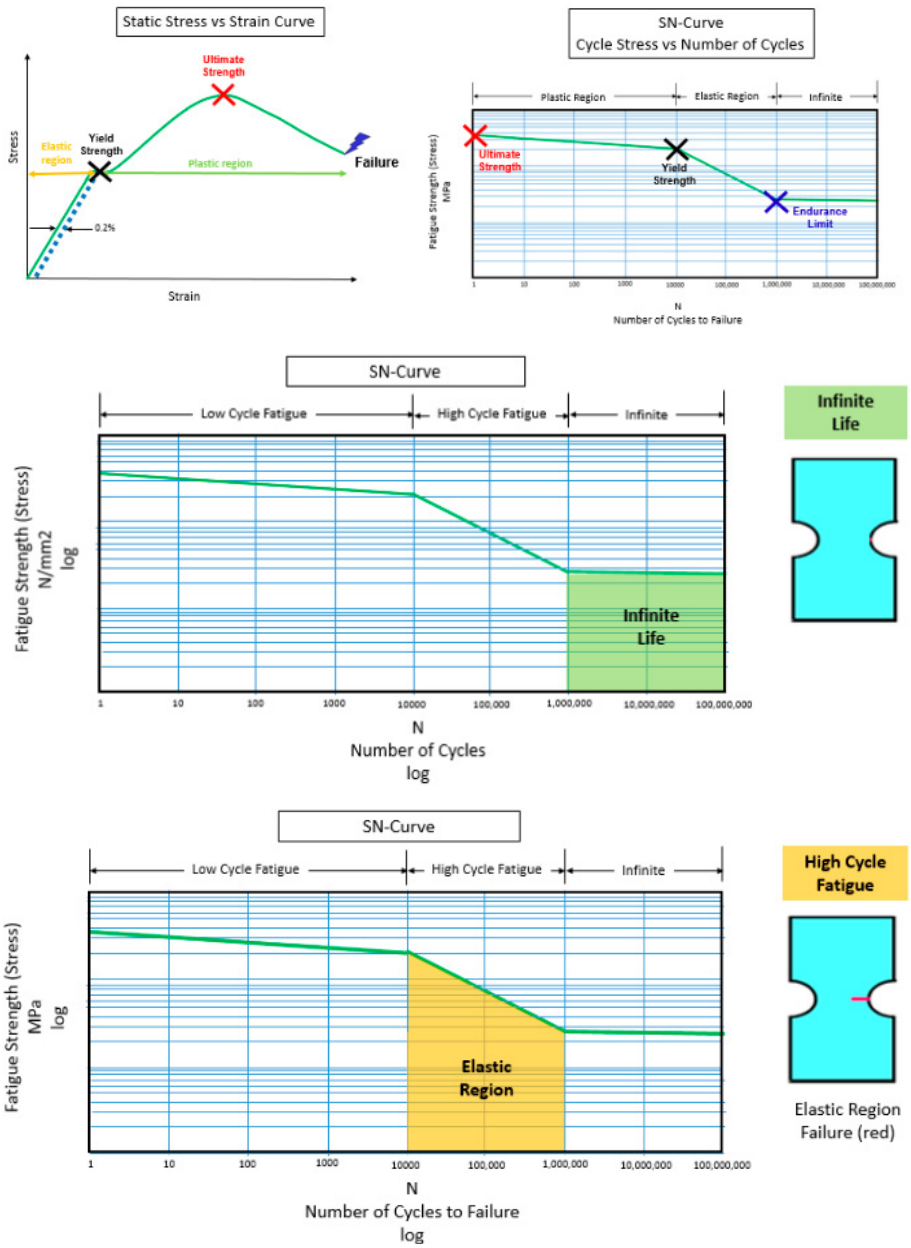


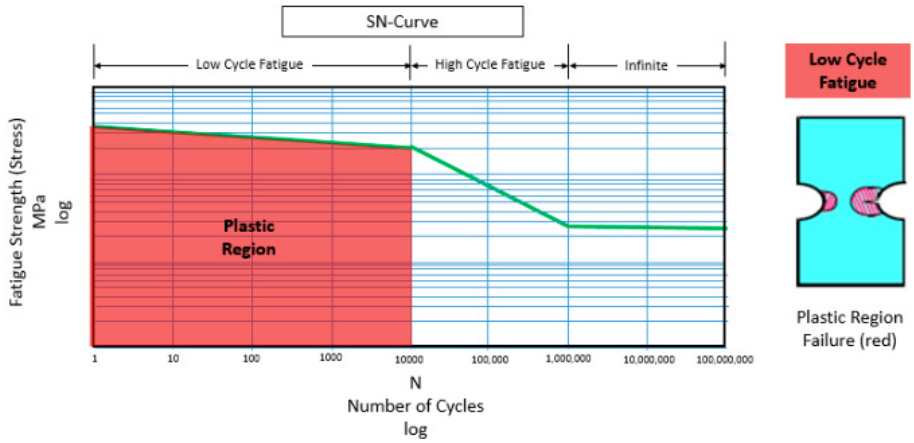
Şekil 1.3.5: *Arıza Hatasızlaştırma Örneği-Veri Analizi*

Yapılan kök neden araştırmalarında;

- Rulman arıza kaynağının aşırı yük, asit girişi ve yağsızlık olduğu,
- Mil aşınmaların ve kesme sorunun aşırı yük kaynaklı yorulma olduğu,
- Oluşabilecek montaj hatalarının, montaj ve de-montaj sürelerinin uzun olmasının da tasarımsal kaynaklı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Rulman kaynaklı arızaları çözmek için rulman tipleri değiştirilerek büyütülmüştür. Yağsız kalma sorunun önlemek için kapaklı rulman sistemine geçilmiş ve asit girişini engellemek için özel bir savurucu tasarlanmıştır. Mildeki yorulma kaynaklı arızaları önlemek için milde ve yataklamada tasarım değişikliği yapılmıştır. Aşağıda yorulma eğrileri verilmiştir. Bu oluşumları incelediğimizde orijinal milin Şekil 1.3.6' ya göre plastik şekil değişim bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgeyi sonsuz çevrime sahip elastik şekilde değişim bölgesine getirebilmek için tasarımda değişimler yapılmıştır.





Şekil 1.3.6: *Wöhler SN Eğrisinin Yaşam Bölgeleri [1]*

2. GELİŞME

Tasarım öncesi ilk olarak mevcut durum analizi yapılmıştır. Bu analizler ile ilgili Tablo 2.1' de değerler gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Mil Çalışma Koşulları

Mil çalışma koşulları	
Max Devir:	580 RPM
Hesapladığımız yük:	10000N kasnağa Radyal yönde
Sıcaklık:	Bronz bölge 80°C / Mil 60°C
Çalışma Konumu:	Dik

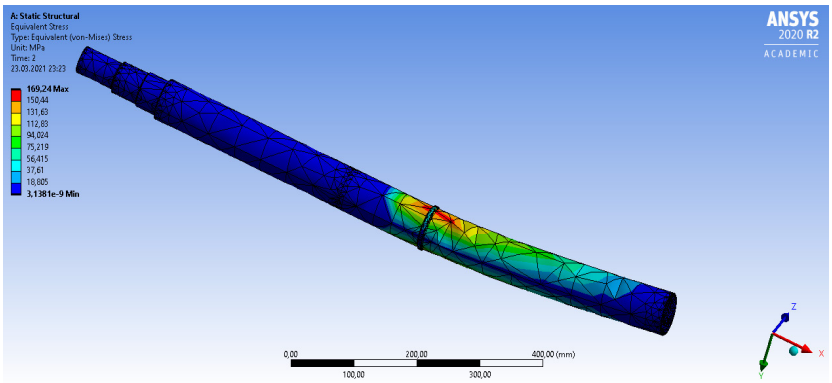
Milde de germe manşonunun olduğu bölgeden (Şekil 2.1'de kırmızı ile gösterilmiştir) kırılma olduğu tespit edilmiştir.

Mil kırılma sebepleri (Şekil 2.1: a) Proje Üzerinde Mil Kırılma Bölgesinin Gösterimi b) Kırılan Mil Yüzeyleri c) Tek Tel Gerginliği) ile ilgili olarak toplanan veriler sonucunda millerde yorulma kırılması olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

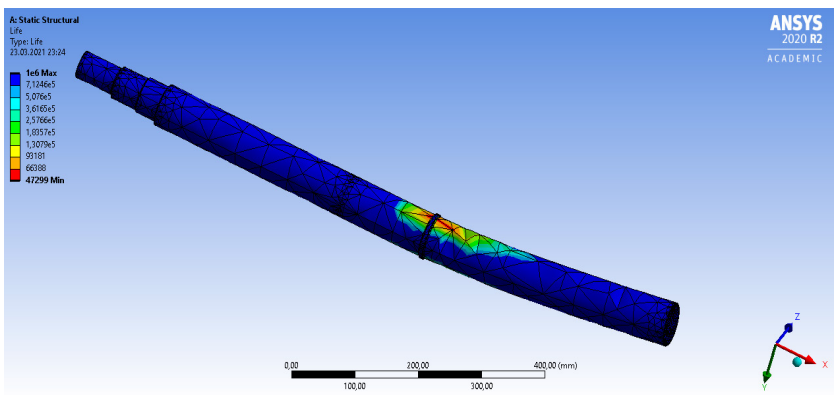
Şekil 2.1: *a) Proje Üzerinde Mil Kırılma Bölgesinin Gösterimi b) Kırılan Mil Yüzeyleri c) Tek Tel Gerginliği*

Yorulmaya sebep olabilecek sorunlar için kök neden analizi yapılmış ve analiz sonucunda problemin kaynağı olarak hız ve verimlilik artışı için yapılan değişimlerden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

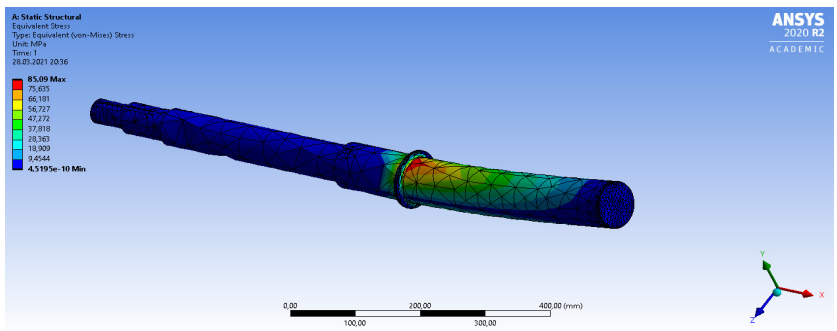
Yapılan ölçümler (bkz. Şekil 2.1: c)) sonucunda tek tele gelen yük yaklaşık olarak 200N alınarak bilgisayar destekli analizler yapılmış, mile gelen toplam yük olarak 10000N belirlenmiştir. Belirlenen yükler Ansys programı kullanılarak orijinal mil tasarımı üzerine uygulanarak analizler yorumlanmıştır.



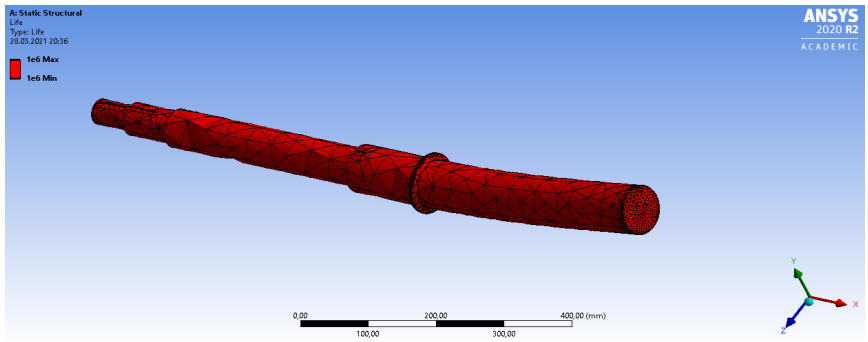
Şekil 2.3: *Orijinal Mil – Analiz Sonucu*



Şekil 2.4: *Orijinal Mil - Analiz Sonucu (Yorulma)*



Şekil 2.5: *Yeni Tasarım - Analiz Sonucu*



Şekil 2.6: *Yeni Tasarım - Analiz Sonucu (Yorulma)*

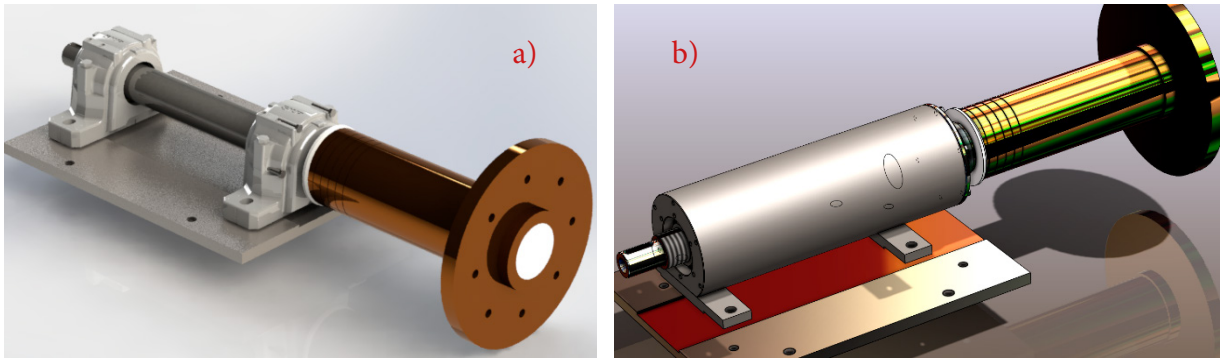
Yapılan analizler orijinal milin elastik şekil değişimi bölgesinde olduğunu doğrulamaktadır. Buna göre ortaya çıkan ihtiyaç dahilinde yeni sistem tasarımı yapılmış ve bu tasarım ile en fazla yükün geldiği çap 1,35 kat büyütülerek, malzeme ve ısıl işlem seçimleri ile de yorulmada (bkz. Şekil 1.3.6) sonsuz ömür bölgesine geçilmesi sağlanmıştır.

3. SONUÇ

Oluşan ilave yükleri karşılayabilecek mil, rulman, yatak tasarımının yanı sıra montaj, de-montajı hızlandıracak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Bu sayede bakım operatörü kaynaklı montaj sırasında oluşabilecek merkezleme problemlerinin önüne geçilmiştir.

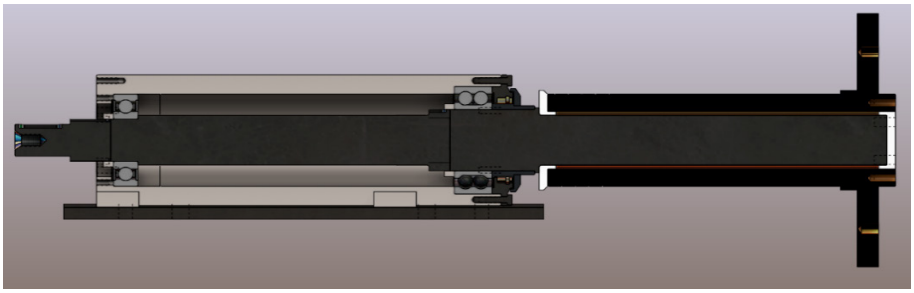
İlave olarak oluşacak yüklerde bile kasnaklardaki yer değiştirme ve salgının 0,05 mm< ölçülmektedir.

Çentik etkisini azaltmak amacı ile de bütün keskin köşelerde minimum R5 olacak şekilde radiuslar verilmiş ve en fazla yükün geldiği bölgelere ezme işlemi uygulayarak yorulma mekanizmasının oluşum olasılıkları minimum seviyeye çekilmiştir.



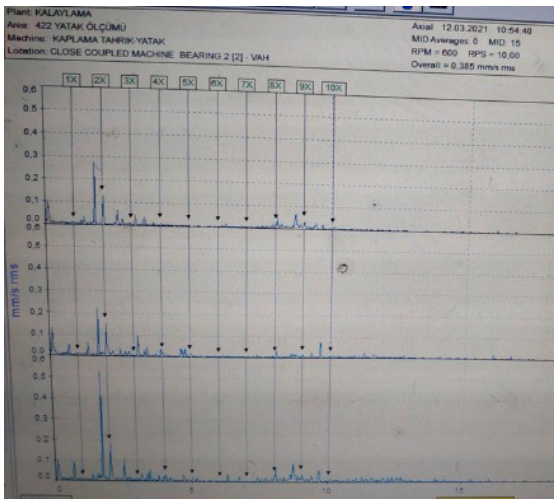
Şekil 3.1: *a) Orijinal Tasarım b) Yeni Tasarım*

Şekil 3.1: b)' de kırmızı ile boyalı yüzeyde freze işlemi ve geçmeli iki parça tasarım yapılması sayesinde merkezleme problemleri çözülmüştür.



Şekil 3.2: *Yeni Tasarım-1-Kesit*

Yukarıda yapılan analizler ile tasarlanan yeni mil makineye takılarak salgı, eğilme, vibrasyon ölçümleri ve spektrum analizleri yapılmış, yapılan ölçümlerde olumsuz değerler tespit edilmemiştir.



Şekil 3.3: *Vibrasyon Ölçümü ile Kontrol*

Çalışmakta olan mil grubu vibrasyon ölçümleri ile düzenli olarak takip edilmektedir. Spektrum analizine göre vibrasyon seviyeleri gözlenmiş ve bu metot ile herhangi bir problem tespit edilmemiştir.

Bu çalışmada, 4140 ıslah çeliğinden 40 HRC sertlikte imal edilen milin yorulma analizleri Ansys programında yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yorulma ömür analizleri Ansys programı ile doğru bir şekilde modellenebilmekte ayrıca çap ve radius değişimindeki etkileşimin yorulma ömrü ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

KAYNAK LİSTESİ

[1] Siemens, [What is a SN-Curve?], (Temmuz, 2022) https://community.sw.siemens.com/s/article/what-is-a-sn-curve, (2022)

SU TEMİNİ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMİŞ GÜVENİLİRLİĞİ İÇİN KAMU HİZMETLERİ KURULU'NDA SÜRDÜRÜLEBİLİR KESTİRİMCİ BAKIM

E.S. Tan[1], V. Goh[1], N. Kang[2], A. Duyar[3]

[1] KHK / EICA Departmanı, Singapur *tan_ee_sin@pub.gov.sg*
[1] KHK / C&W Departmanı, Singapur *vincent_goh@pub.gov.sg*
[2] Vibro Technologies & Engineering Pte Ltd., Singapur *nkang@vib-tech.com*
[3] Artesis, Gebze, Kocaeli, Türküye *ahmet.duyar@artesis.com*

ÖZET

Bu çalışma, Singapur'daki Kamu Hizmetleri Kurulu (KHK)'daki çeşitli su tesisatlarında dönen ekipmanların olası arızalarına ilişkin erken uyarı sistemini inceler. Amaç, su tedarik hizmetlerinin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini artırmak için sürdürülebilir bir kestirimci bakım (PdM) sistemi elde etmektir. İki yılı aşkın kullanım neticesindeki sonuçlar erken uyarı sisteminin kurulumunun basit, kullanımın kolay ve etkili olduğunu göstermektedir. Erken uyarı sistemi KHK'nın kesintisiz süreç ve hizmetlere sahip olmasına yardımcı olan pompa, santrifüj fan vb. döner ekipmanlarla verimli bir şekilde çalışır. Endüstriyel İnternet'in (IIoT) gelişmesiyle birlikte, büyük verilerin dijital dönüşümleri ile süreç optimizasyonunu ve operasyon verimliliğini artırmak artık mümkün. Erken uyarı sistemine sahip PdM, bunu başarmanın en önemli itici güçlerinden biridir.

Anahtar Sözcükler: Kestirimci Bakım, Sürdürülebilirlik, Teşhis, Makina Öğrenimi, IIoT, Büyük Veri

1. GİRİŞ

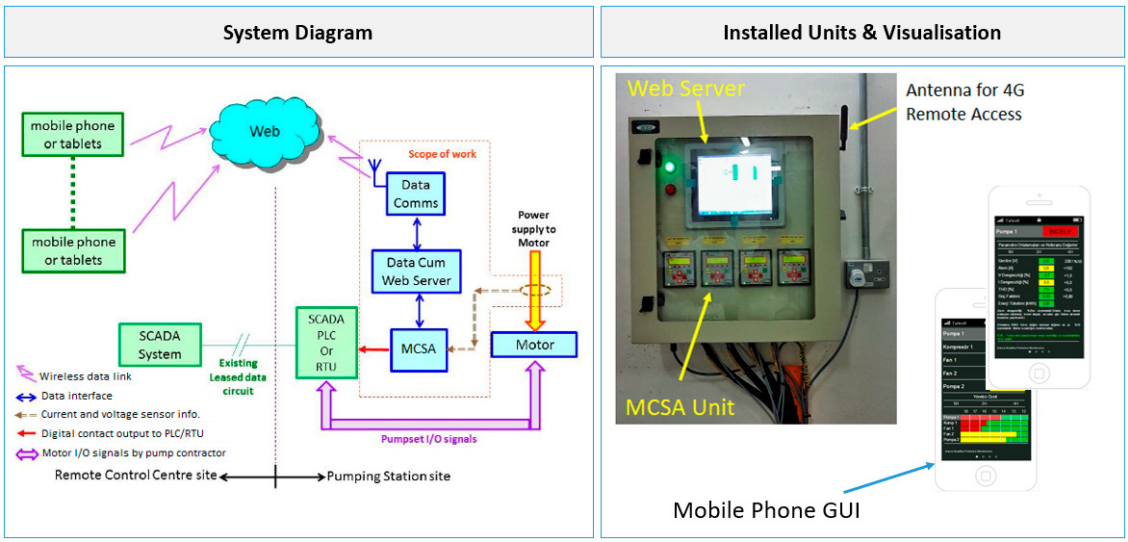
Sensör verilerinin çevrimiçi olarak izlenmesi ve iletilmesiyle akıllı makineler kestirimci bakıma (PdM) olanak sağlar ve "plansız duruşların olmaması" hedefine daha da yaklaştırır. Varlıkları proaktif olarak yönetme yeteneği, durum izlemenin işletme verimliliği üzerinde doğrudan bir etkisi olmasını sağlar. Varlıklardan en iyi şekilde yararlanmak hem verimlilikte hem de kullanılabilirlikte paralel iyileştirmeler içerir. ABD Enerji Bakanlığı'na göre [6] İyi yürütülen operasyonlar ve bakım (O&M) programları, enerji verimliliğini ve yaşam döngüsü performansını teşvik eder, bu da Federal kurumlara önemli sermaye yatırımları olmaksızın yıllık enerji faturalarında %5 ila %20 tasarruf sağlayabilir".

PdM'nin faydaları yaygın olarak kabul edilse de sürdürülebilir PdM'ye ulaşma yaklaşımından tam olarak yararlanan işletmeler oldukça az sayıdadır. Birçok kullanıcı için geleneksel durum izleme sistemlerinin karmaşıklığı önemli bir engel olmaya devam etmektedir. Burada sunulan yaklaşım, sürdürülebilir bir PdM programının uygulanmasını mümkün kılan basit, ucuz ve kurulumu kolay bir çözüm sunar. Ayrıca, halihazırda iş yoğunluğu olan bakım personeline ağır bir kurulum ve analiz yükü yüklemekten de kaçınır. Bu çözüm, makine öğrenimi algoritmalarına arıza etiketleri sağlayan IIoT platformlarıyla da entegre edilebilir. Bu özellik, platformun öğrenme sürecini hızlandırmanın yanı sıra işletmelerin daha verimli sensörler ve uygulamalar seçmesini destekler.

2. YÖNTEMLER

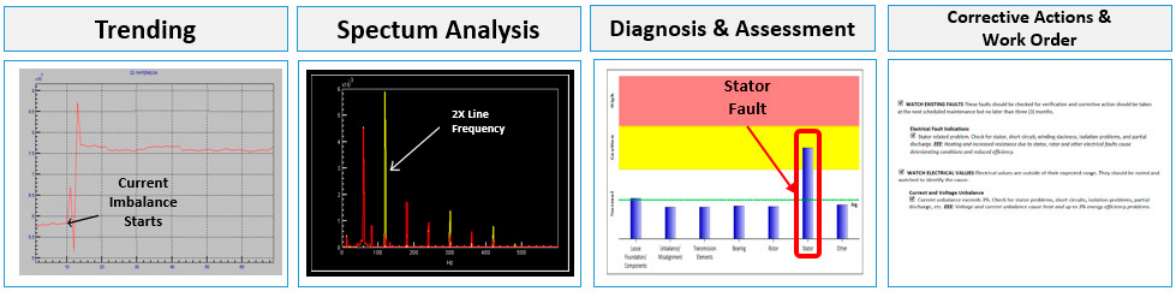
Bu bölüm, Pompa Setlerinin gerçek zamanlı durum izlemesi için bir Motor Akım İmza Analizi (MCSA) metodolojisinin [3] kullanımını ve Derinlemesine Koruma elde etmek için Pompa Setlerinin uç nokta koruması ile birlikte olacak şekilde nasıl tasarlandığını detaylandırır. İlk dış katman, Pompa Setlerinin uç nokta koruması olarak hizmet eder. Bu, sadece ayrı sensörler ve röleler içeren ancak döngüde herhangi bir aygıt yazılımına bağlı bileşen olmadan bir "Kablolama Sistemi" aracılığıyla uygulanır İkinci katman (yani MCSA) iç koruma katmanını sağlar ve bakım personeline temel neden ve olası arıza hakkında erken uyarı ve alarm verir. Erken uyarı sistemi "Arıza Sebebiyle Durma" durumunu önlemek için bakım personelinin zamanında müdahalesine izin verir. MCSA sistemi ayrıca, herhangi bir Varlık Yönetim Sisteminde (VYS) iş emirlerinin verilmesi için tetikleyici uyarı verir ve ayrıca enerji verimliliği bilgisi sağlar Şekil 1›de görüldüğü gibi, MCSA erken uyarı sistemi web sunucusu ile haberleşir ve sonuçlarına OPC server (SCADA, ERP, PC, tablet, cep telefonu vb.) üzerinden her yerden ulaşılabilir ve proaktif aksiyon alınabilir. Uyarılar ayrıca e-posta bildirimi ile de verilmektedir.

SCADA sistemi, siber güvenlik amacıyla Web Sunucusundan izole edilmiştir. MCSA röle çıkışı, SCADA'nın tespit edilen bir anormallik durumunda kaydolarak yakalaması için opto-izole Dijital Giriş kartı aracılığıyla SCADA sistemine aktarılır. Operatörün bu bilgilere göre işlem yapması beklenmez, bunun yerine bakım departmanı ile iletişime geçerek bakım planlaması yapması beklenir MCSA sistemi ayrıca, anormallik tespit edildiğinde ayrı bir 4G hücresel servisler aracılığıyla seçilen İşletme ve Bakım personeline Kısa Mesaj Servisleri (SMS) uyarısı oluşturur. Bu ayrılmış uyarı raporlama prosedürü, hiç kimsenin MCSA sisteminden oluşturulan herhangi bir uyarıyı kaçırmamasını sağlar.



Şekil **1** *Marina Ham Su Pompalama İstasyonu (MHSPİ) sahasında erken uyarı mekanizmasının (solda) ve kurulu ünitelerin sistem şeması*

Çevrimiçi MCSA yaklaşımı, orijinal olarak birkaç NASA sözleşmesi [1, 2, 4, 5] kapsamında geliştirilen model bazlı durum izleme ve arıza tespiti için gelişmiş sistem tanımlama algoritmaları kullanır. Sistem yalnızca voltaj ve akım dalga biçimlerinin (2,5 kHz'de örneklenmiş) ölçümlerini kullanır ve otomatik olarak bir referans matematiksel model oluşturarak kendi kendine öğrenme aşamasını başlatır [3]. Bu model tabanlı yaklaşım, motorun ve tahrik edilen ekipmanın (örn. pompa, kompresör, fan vb.) elektro-mekanik özellikleri hakkında bilgi sağlayan ISO 20958:2013'e dahil edilmiştir. Sistem, öğrenme aşaması süresince farklı hız ve yükler gibi tüm operasyonel profilleri öğrenebilmektedir. Mekanik (örn. balanssızlık, rulman), elektriksel (örn. stator) ve prosesle ilgili arızalar (örn. tıkalı filtreler, kaçak) ekipmanlar belirtilir ve düzeltici eylemler önerilir.



Şekil **2** *Bir dalgıç pompanın stator arıza teşhisi ve iş emri önerisi.*

MCSA sistemi, teşhis bilgilerini çubuk grafikler gibi kullanıcı dostu bir formatta verir. Şekil 2, bir dalgıç pompanın stator sargı arızasının spektrum analizini ve arıza eğilimini gösterir. Spektrum grafiği daha da basitleştirilir ve bir teknisyen veya mühendisin zahmetsizce kullanabilmesi için bir çubuk grafiğe dönüştürülür. Arızanın ne olduğu, ne yapılması gerektiği ve ne zamana kadar yapılması gerektiği ile ilgili düzeltici faaliyetler ve iş emri önerileri ile bu arızaların enerji verimliliği üzerindeki etkileri de verilmektedir. İzlenen ekipmanın akım ve gerilim dengesizlikleri, aktif ve reaktif güçler, toplam harmonik bozulma gibi elektriksell parametreleri de sonuç göstergelerinde sürekli olarak hesaplanır ve güncellenir.

3. BULGULAR

KHK sitelerinde izlenen ekipmanlar değişiklik gösterir; derin kuyu dalgıç pompalar, kanalizasyon arıtma dikey emme pompaları, drenaj pompaları, su transfer pompaları ve daha fazlası. Marina Ham Su Pompa İstasyonunda (MHSPİ) başarılı bir pilot izlemenin ardından, erken uyarı sistemi; Deniz Barajı, Ulu Pandan Su Arıtma İstasyonu, Ulu Pandan Yeni Su Pompa İstasyonu, Jurong Su Tesisi, Johor Nehri Su İşleri, Bedok Pompa İstasyonu, Aşağı Seletar I ve II Pompa istasyonu, Yukarı ve Alt Peirce Pompa İstasyonu, Kranji Pompa İstasyonu, Pandan II Pompa İstasyonu, Tengeh Pompa İstasyonu, MacRitchie Pompa İstasyonu gibi farklı alanlara da kuruldu. Aşağıdaki alt bölümde, bir derin kuyu dalgıç pompa için örnek olay incelemesi vermektedir.

Vaka Analizi

MHSPİ sahasında 3.3kV derin kuyu dalgıç pompayı izleyen MCSA ünitelerinden biri pompaların durumu hakkında uyarı veriyordu. Mevcut SCADA sistemi tarafından doğrulanan uyarı, sistemdeki yüksek dengesizlikti. SCADA ekranı, Şekil 3'te görüldüğü gibi, tahrik edilmeyen z ekseninde pompa üzerinde yüksek bir titreşim tetiklemesinin olduğunu gösteriyor. Bakım ekibi, dengesizlik sorununun bazı büyük döküntülerden kaynaklandığını, bant ekranına zarar verdiğini ve pervanelerden geçtiğini doğruladı.

Şekil **3** *Hem SCADA hem de MCSA ekranlarında dengesizlik arıza tespiti*

4. SONUÇ

KHK tarafından işletilen çeşitli su temin tesisleri, su arıtma tesisleri, barajlar ve pompa istasyonlarında etkin olarak kullanılan, kullanımı kolay model tabanlı arıza tespit ve erken uyarı yaklaşımı bulunmaktadır. KHK'daki genel operasyonda su temininde güvenilirliğin yanı sıra verimliliği ve üretkenliği artırmak için beş AKILLI KHK İlkesinin dördünde MCSA sisteminden yararlanılmıştır. Bunlar; Otonom, Makine Öğrenimi, Veri Analitiği ve IoTdir. Bu akıllı girişim, KHK'daki gelecekteki tüm projeler için kullanıma sunuldu ve standart hale getirildi.

Koruma rölelerinden gelen voltaj ve akım verilerinin dalga biçimlerinin yakalanması ve kullanılması da gelecekteki çalışmalar için araştırılacaktır. Bu, cihaz kurulumunun yanı sıra herhangi bir donanım ve sensör kullanımını ortadan kaldıracaktır.

KAYNAKÇA

Duyar, A. ve Merrill, W. C. (1992) Fault Diagnosis for the Space Shuttle Main Engine, AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics cilt. 15, no. 2, s. 384-389..

Duyar, A., Eldem, V. Merrill, W. C., and Guo, T. (1994) Fault Detection and Diagnosis in Propulsion Systems: A Fault Parameter Estimation Approach, AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, cilt. 17, no. 1, s. 104-108.

Duyar, A. (2011) Simplifying Predictive Maintenance, Orbit Magazine, Cilt. 31, No.1, s. 38-45.

Litt, J., Kurtkaya, M., and Duyar, A. (1994) Sensor Fault Detection and Diagnosis of the T700 Turboshaft Engine, NASA Technical Memorandum 106784.

Musgrave, J. L., Guo, T., Wong, E., and Duyar, A. (1997) Real-Time Accommodation of Actuator Faults on a Reusable Rocket Engine, IEEE Trans. Cont. Syst. Technol., Cilt. 5, no. 1, s. 100-109.

US Department of Energy Web Page (2019), https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19634.pdf

TEL ÇEKME MAKİNESİNDE OTONOM BAKIM

Cemal Meran[1]*, Ömer Eren[2], Baki Can Tüfekçi[3], Veysel Kaya[3], Yusuf Şenyıldız[3]

[1,*]Prof.Dr., Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye, *cmeran@pau.edu.tr*, Sorumlu Yazar

[2]Nexans Türkiye Sanayi, Ar-Ge Merkezi, Denizli, Türkiye

[3]Öğrenci, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada tel çekme makinesinin Otonom Bakım panosu yapılmıştır. Pano hazırlanırken arıza kayıtları incelenmiş, sıkça karşılaşılan arızaların nedenleri araştırılmış, makine üzerindeki sorunlu parçalar uygun iyileştirme çalışmaları ile düzeltildikten sonra otonom bakım ile ne kadar daha fazla arızanın önlenebileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Panoya eklenen sembol ve logolar ile operatörlere daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanması, makine üzerinde kontrol edilecek konumların kolayca görülmesi, operatörlerin kullandıkları makineyi tanımaları ve daha kolay müdahale edebilmeleri için çaba sarf edilmiştir. Makine üzerinde uygulanan otonom bakımın efektifliği otonom bakım uygulanmadan önceki OEE ve BDT değerlerinin uygulandıktan sonraki değerlerle karşılaştırılarak görülmüştür

Anahtar Kelimeler: Otonom bakım, TPM, Bakım, Tel çekme makinesi, OEE, BDT

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, üretim alanında bulunan ve sık arızalanan bir makine için otonom bakım uygulamaktır. Otonom bakım için pano hazırlanarak, operatörlerin makine üzerinde otonom bakım yapabilmeleri hedeflenir. TPM'nin 7 ayağından biri olan Otonom Bakım ile rekabetçi piyasada rakip firmalardan bir adım önde olması hedeflenmiştir. Ayrıca fabrikayı maddi olarak rahatlatmayı ve fabrikanın üretimindeki zaman kaybını azaltmayı hedeflemektedir. Basit adımlarla sahada uygulanmaya başlanan otonom bakım, operatörlerin zaman içerisinde bilgi ve deneyimlerini artırarak alanlarında daha eğitimli ve uzman olmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir. Operatörlerin kullandıkları makineyi benimsemelerine ve daha iyi tanımalarına olanak tanıya-

rak küçük arızalara müdahale etmelerini, yeni operatörlerin işlerine daha kolay adapte olmalarını ve daha kısa sürede yetişmelerini amaçlayarak operatörlerin eğitimleri için harcanan zamandan ve maliyetlerden tasarruf sağlar. Makinenin kolayca bozulmaması ve çalışma alanındaki iş güvenliği seviyesini artırarak çalışanlara daha güvenli bir çalışma alanı sağlaması da otonom bakımın hedefleri arasındadır.

Azizi (2015), pazarın yüksek talebi nedeniyle, endüstrinin yeni üretim teknolojilerini geliştirmeye ve benimsemeye zorlandığını açıklamıştır. Ayrıca teknikler ve yönetim prosedürleri başarısızlığa veya israfa izin vermediğini de eklemiştir. Bu senaryo karşısında şirketler bu rekabet ortamında ayakta kalabilmek için faaliyetlerini sürekli olarak geliştirmek zorunda olduğunu anlatmaktadır. Wheelwright (1992) ve Clark' a göre bu amaçla bakım stratejileri ekipmandaki olası arızaları en aza indirecek şekilde düzenlenmesinin önemini işaret etmiştir. Böylece amaç, güvenilir, kesintisiz üretim sağlamak için toplam verimlilik seviyesine ulaşmak olduğunu anlamışlardır. Kiran (2016) ise belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi için operatörlere daha fazla sorumluluk verilmesi gerektiğini göstermiştir. Hem nihai ürünün kalitesinin hem de ürünlerin verimli bir şekilde üretimin sağlanmasındaki önemin tam olarak farkında olunması gerektiği gözlemlemiştir. Alsyouf (2007) araştırmasında operatörlere ekipmanları hakkında bilgi kazandırmak verimliliklerini en üst düzeye çıkarmanın bir yolu olduğunu göstermiştir. İyi yönetim ve etkili bakım politikası bir üretimin üretkenliğini ve karlılığını etkilediğini de işaret etmiştir. Gajdzik (2014)'e göre otonom bakımın temel amacı ekipman arızalarının sayısını azaltmak ve çalışan makinelerdeki anormallikleri ortadan kaldırmak olduğunu söylemiştir. Bu tür anormalliklerin küçük kusurlar olarak görüldüğünü, hatalı bir teçhizatın ya da küçük hataların bile makinelerde olabileceğini de eklemiştir.

2. OTONOM BAKIM [Url1]

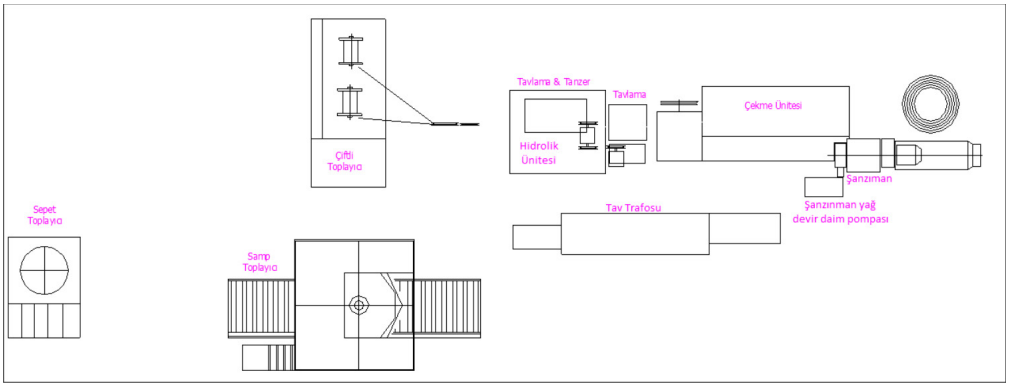
Otonom Bakım, küçük bakım görevlerini yerine getirebilen operatörler geliştirmeye yöneliktir, böylece yetenekli bakım personelinin daha katma değerli faaliyetlere ve teknik onarımlara zaman harcamasını sağlar. Operatörler, arızalanmasını önlemek için ekipmanlarının bakımından sorumludur.

TPM'nin kökeni, Japonya›da önleyici bakımın tanıtıldığı 1951 yılına kadar izlenebilir. Ancak önleyici bakım kavramı ABD›den alındı. Nippondenso, 1960 yılında tesis genelinde önleyici bakım uygulayan ilk şirkettir. Önleyici bakım, operatörlerin makineleri kullanarak mal ürettiği ve bakım grubunun bu makinelerin bakımıyla görevlendirildiği kavramdır, ancak Nippondenso'nun otomasyonu ile bakım bir sorun haline gelmiştir. Çünkü daha fazla bakım personeline ihtiyaç vardı. Bu nedenle yönetim, ekipmanın rutin bakımının operatörler tarafından yapılması gerektiğine karar verdi. Bakım grubu sadece temel bakım işlerini devralmıştır.

3. TEL ÇEKME MAKİNESİ

Şekil 1'de görüldüğü gibi tel çekme makinesi 6 ana istasyondan oluşmaktadır;

- Çekme Ünitesi, Tavlama Bölümü, Tanzer Bölümü, Çift Toplayıcı, Samp Toplayıcı, Sepet Toplayıcı



Şekil **1:** *Tel çekme makinesinin çizimi*

Makinenin çalışma prensibi şu şekildedir;

İlk olarak çekme ünitesine gelen filmaşin istenilen kalınlık elde edilene kadar çekme ünitesinde bulunan farklı hızda dönen kasnaklar tarafından inceltilir. Daha sonra çekilen telin yüzeyindeki deformasyondan kurtulmak için tel tavlama bölümüne gider ve tavlanır. Tavlanan tel sıcak iken Tanzer bölümünde genleşme ve sıcaklık kaynaklı yumuşamadan dolayı olabilecek farklı yerlerdeki incelme ve kalınlaşmayı önlemek için belirli gerginlikte tutulur. Belirli gerginlikte kalınlığı korunan sıcak tel soğutularak toplayıcılarda istenen şekle göre toplanarak ürün haline getirilir.

4. ARIZA KAYITLARININ İNCELENMESİ

Tel çekme makinesi için son 1 yılın arıza kayıtları fabrikadan talep edilmiştir. Sık karşılaşılan arızalar bu arıza kayıtları aracılığıyla tespit edilmiştir. Operatörlere tespit edilen arızalardan hangilerine ve nasıl müdahale edilebileceği sorularak çıkarılan arızalardan bir kontrol listesi oluşturulmuş ve sorumlu mühendise gösterilmiştir. Mühendisin birkaç kontrol eklemesiyle, otonom bakım panosu için gerekli kontrol listesi ortaya çıkmıştır. Fabrikadan alınan arıza kayıtlarına dayanarak ve arızalar arasında geçen süre göz önünde bulundurularak her biri için kontrol periyodu belirlenmiştir. Daha sonra günlük, haftalık ve aylık olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılmıştır.

Ortaya çıkan kontrol listesi aşağıdaki gibidir;

Günlük Kontroller:

- Haddelerin aşınım kontrolü
- Çekme kasnakları emülsiyon suyu kontrolü
- Ana motor - şanzıman yağı ve ses kontrolü
- Tav göstergelerinin kontrolü
- Toplayıcı makara pinol cıvata kontrolü
- Buhar boruları sızdırma kontrolü
- Makine genel hava kontrolü

Haftalık Kontroller:

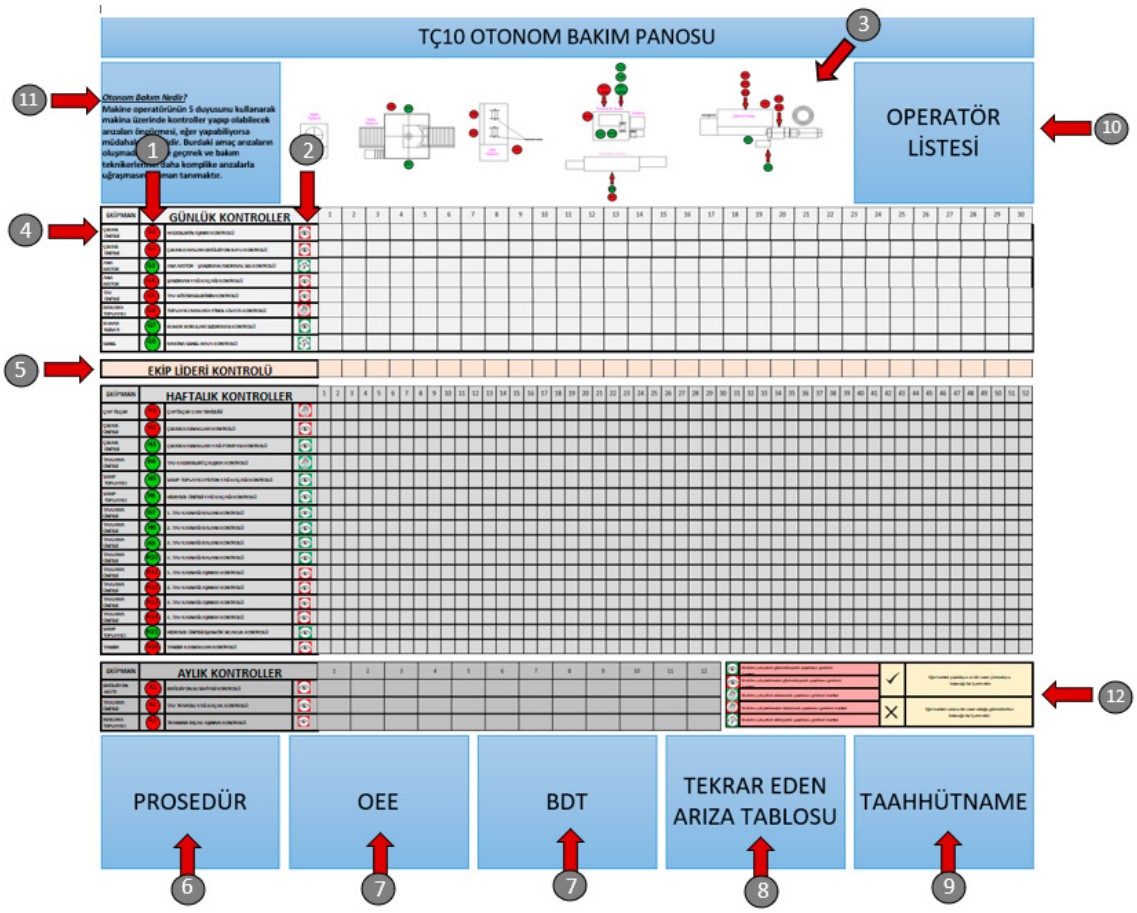
- Çap ölçer cam temizliği
- Çekme kasnakları kontrolü
- Tav kademeleri çalışma kontrolü
- Samp toplayıcı piston yağı kaçak kontrolü
- Hidrolik ünitesi yağ kaçağı ve eşanjör sıcaklık kontrolü
- Tav kasnakları balans ve aşınım kontrolü
- Tanzer kasnakları kontrolü

Aylık kontroller:

- Emülsiyon suyu kontrolü
- Tav trafosu yağ kaçak kontrolü
- Transfer bıçakları aşınma kontrolü

5. OTONOM BAKIM PANOSUNUN ÇİZİLMESİ

Makina tanındığına ve kontrol listesi hazır olduğuna göre panonun çizimine geçilebilir **Şekil 2.**



Şekil 2: Otonom bakım panosu

Her şeyden önce, panoyu mümkün olduğunca basit ve anlaşılır hale getirmeye özen gösterilmiştir. (1) Yapılacak bir sonraki şey, belirlenen kontrolleri numaralandırmaktır. (2) Ayrıca logolar, kontrollerde kullanılacak duyu organını gösterecek şekilde ayarlanmıştır. Bu kontrollerin makine çalışırken veya dururken yapılması gerektiğini göstermek için bir renklendirme sistemi kullanılmıştır. (3) Panoda kolayca kontrol edilecek yerin bulunmasına yardımcı olmak için bir kroki eklenmiştir. (4) Makine üzerinde kontrol edilecek ekipmanın adı eklenir. (5) Bu kontroller kadar denetimleri de önemlidir. Fabrikadaki sorumlu ekip liderinin günlük olarak dolaştığı bilindiğinden, denetim işi ekip liderine verilebilir. Bunun için tabloda ekip lideri için bir bölüm ayrılmıştır. (6) Kontrollerin daha iyi anlaşılması için, her kontrolün ayrıntılı olarak açıklandığı panoya bir bakım prosedürü konulmuştur. (7) Ayrıca otonom bakımın faydalarını istatistiksel olarak görmek için OEE ve BDT grafikleri tabloya eklenerek uygulama öncesi OEE ve BDT değerleri ile karşılaştırılıp fark gözlemlenebilir hale getirilmiştir. (8) Bazı arızalar tekrarlanırsa, kontrol altına almak için tekrar eden bir hata tablosu oluşturulmuştur. (9) Operatörlerin otonom bakım konusundaki sorumluluklarının farkında olmaları için bir taahhütname hazırlanır ve panoya eklenir. (10) Operatör listesi eklenir. (11) Kısaca otonom bakımdan bahsedilir. (12) Son olarak, kontrolün yapılıp yapılmadığı panoda belirtilmelidir.

6. BAKIM PROSEDÜRÜNÜN HAZIRLANMASI

Bakım prosedürü, belirlenen bakımların ayrıntılı açıklandığı bir dosyadır. Amaç operatörlerin bakım yerlerini daha kolay bulmasını sağlamak, bakımın nasıl yapılacağını açıkça göstermektir.

Şekil **3:** *Bakım prosedürü*

Yukarıda da görüldüğü üzere bakımın yapılacağı yerin görüntüsü, yapması gereken bakım, bakımın numarası ve ismi, son olarak da kullanması gereken duyu gösterilmiştir.

7. MAKİNE ÜZERİNE YAPIŞTIRILAN SEMBOLLER

Pano üzerinde bulunun kontrollerin numaraları ve duyu logoları sticker olarak çıkartılıp makine üzerine yapıştırılır. Bu sayede operatörlerin kontrollerin konumlarını daha rahat bulmalarını ya da gözden kaçan bir durum söz konusu olursa daha rahat görmelerini sağlar.

Şekil **4:** *Sembollerin Makina Üzerinde Konumları*

8. SONUÇ

Günümüzde fabrikalarda kullanılan otonom bakım, operatörlerin makinenin sahipliğini almasını, makinenin arızalarını anlamasını ve müdahale etmesini veya sorunları daha güvenli ve büyük kayıplar olmadan çözmek için bakım departmanına bildirimde bulunmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Çoğu sektörde uygulanan otonom bakım ile yapılan iyileştirmelerin, ekipman ve makinelerin verimli kullanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada arıza miktarı üretim sahasındaki diğer makinalardan daha fazla olan tel çekme makinasına ait bir Otonom Bakım panosu yapılmıştır. Pano hazırlanırken arıza kayıtları incelenerek sık karşılaşılan arızalar üzerinde durulup sebepleri araştırılmış, uygun iyileştirme çalışması ile makine üzerinde görülen problemli bölümler düzeltildikten sonra otonom bakım ile arızaların ne kadar daha önüne geçilebileceğini göstermek hedeflenmiştir. Pano üzerine eklenen sembol ve logolarla operatörlere daha güvenli çalışma ortamı sunmak, makine üzerinde kontrol edilecek konumların kolay görülmesi ve operatörlerin kullandıkları makinayı benimseyerek daha fazla tanıyıp kolay müdahale edebilmeleri sağlamak üzerinde çalışılmıştır. Hazırlanan bakım prosedürü ile yeni operatörlerin makinayı tanıma süreleri kısaltılarak alışma süreçleri kısaltılmıştır.

REFERANSLAR

A. Azizi, Evaluation Improvement of Production Productivity Performance using Statistical Process Control, Overall Equipment Efficiency, and Autonomous Maintenance. Second International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, (2015).

S.C.Wheelwright,K.B.Clark Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency and Quality,Free Press,New York(1992)

M.WorknehWakjira,I.Ananth Bonfring Int. J. Ind. Eng. Manag. Sci.(2014)

D.R.Kiran Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies,Elsevier,Butterworth Heinemann(2016)

Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. International Journal of Production Economics, 105(1), 70-78.

Gajdzik, B. (2014). Autonomous and professional maintenance in metallurgical enterprise as activities within total productive maintenance. Metalurgija, 53(2), 269-272.

Venkatesh J. (1996). "An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)", http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml [Url1] , Revised: Thursday, 08-Oct-2015 11:54:54

TRİJENERASYON SİSTEMİNİN TPM VE ANDON SISTEMI UYGULAMASI ILE VERIM ARTTIRILMASI

Uğur ÇETİN

[1] Uğur ÇETİN, Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Mühendislik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, *uguurcetin@gmail.com*

ÖZET

Toplam Üretken Bakım ve Andon Tekniğinin beraber kullanılması ile verimliliğin arttırılması ve Toplam Üretken Bakımda olan yönetiminden işçiye kadar tüm çalışanların katılımı ile bütün personellerin bakımın bir parçası olması amaçlanmıştır. Toplam Üretken Bakım temel unsurları yanında, özellikle Japon üretim metodolojisini benimsemiş fabrikalarda hata giderme ve raporlama sistemi olan Andon Tekniği ile verimlilik arttırılması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında birleşik ısı-güç sistemleri olan Trijenerasyon Sisteminde kullanılacak olan Andon Tekniğinin sağlayacağı yararların en başında, sistemde arızalı, arızaya düşme durumu veya çalışmayan teçhizattan daha hızlı haberdar olmayı ve normalden daha hızlı aksiyon alarak arızaya düşmesini önlemeyi ve belki de arızadan dolayı oluşabilecek daha büyük problemlerin oluşmasını engellenmesi düşünülmektedir. Böylece parça maliyetleri çok yüksek olan Trijenerasyon Sisteminde bulunan ekipmaların(Gaz motoru, atık ısı kazanı ve Absorbtion Chiller) parça maliyetlerinün düşmesi sağlanacaktır. Bu sistem yardımıyla arıza ve maliyetlerin düşmesi ile verimin artması ve ayrıca Toplam Üretken Bakım ile de bütün personellerin bakımın bir parçası olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Andon, Toplam Üretken Bakım, Trijenerasyon, Verim,.Gaz Motoru, Absorbsiyonlu Chiller

1. GİRİŞ

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yakıt kaynağı olarak doğalgaz, biyogaz, kömür gazı, metan gazı vb. kullanılmaktadır. Söz konusu bu sistemler birleşik ısı- güç sistemleridir. Kojenerasyon sisteminde hem elektrik hem de ısı üretimi yapılmaktadır. Trijenerasyon sisteminde ise elektrik, ısı ve bunların yanında soğutma üretimi de yapılmaktadır. (Othan, 2021)

Trijenerasyon Sistemleri kendi aralarında komplike çalışan sistemler olduğundan dolayı bu sisteme Kombine Isı- Güç Sistemleri de denilmektedir. (Othan, 2021) Sistemde oluşabilecek ufak bir arıza bütün sistemin dur-

masına neden olmaktadır. Bu yüzden söz konusu bu sistemlerin bakımları, sistemlerin devamlılığını sağlaması ve verimi açısından çok önemlidir. Verimliliği fazla olan bu sistemlerin olası sorunların önceden tespiti ve bakımlarının yapılması da verimlilik açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Günümüz koşullarında artan maliyetlerden dolayı işletmelerde verimliliğin arttırılması amacıyla birçok açıdan, yöntem ve yenilik yapılmaktadır. İşletmelerde maliyet analizleri yapıldığında teçhizatlara harcanan giderlerin hiç de azımsanmayacak düzeyde olduğu bilinmektedir. (Emir , Karagöz, & Işık, 2012) Bu yüzden teçhizatlara yapılan harcamaların ya da giderlerin azaltılması, bakımların daha düzenli ve kaliteli yapılmasıyla sağlanmaktadır. Teçhizatlara yapılan harcamaların haricinde özellikle trijenerasyon gibi yatırımı da fazla olan sistemlerin durması sonucu oluşan kayıplar çok önemli seviyeler çıkmaktadır. Tüm bu faktörler göz önüne alınarak işletmelerde Toplam Üretken Bakım işletme yönetim sisteminin benimsenmesinin sağlanması ile verimliliğin arttırılması ve ayrıca görsel kontrol sistemi olan andon sistemi ile de TPM(Toplam Üretken Bakım)'ın ana unsuru olan bütün personellerin bakıma katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada bir üniversitenin Trijenerasyon sistemindeki ekipmanların Toplam Üretken Bakım ile Andon sistemi beraber uygulanarak bütün çalışanların bakım içerisinde olması ve bununla verimin arttırılması amaçlanarak Önleyici ve Kestirimci Bakım türleri ile örnek bir Andon sisteminin tasarlanması hedeflenmektedir.

2. TOPLAM ÜRETKEN BAKIM VE ANDON SİSTEMİ

Toplam Üretken Bakım, bütün çalışanların katılımı ile yapılan, arızaları önlemek ile beraber otonom bakımı öngören ve bunlarla beraber ekipman verimliliğini en üst düzeyde kullanmayı amaçlayan bakımdır.

Andon Sistemi, bir üretim kontrol ve yönetim sistemi olan "ışıklı sinyal" yada "Güvenlik Işıkları" olarak da adlandırılır. İlk Andon sistemi, Toyota otomobil üretim hattında kullanılan bir izleme sistemi olan Andon sistemi, üretim hattındaki ekipmanın çalışmasından, ürün kalitesinden, malzeme ihtiyacından vb. üretim bilgilerini toplar. Daha sonra bu bilgileri işler ve atölye arasında dağıtılan sesli ve ışıklı alarm sistemini kontrol eder ve bu sayede ürün kalitesi ve zamanında malzeme temini sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca, bilgi teknolojisi, otomasyon teknolojisi ve bilgisayar teknolojisinin kapsamlı kullanımı yoluyla, Andon sistemi tüm üretim sürecine entegre edilerek ve akıllı üretim sistemi ile üretimi verimli hale getirmek ve böylece verimliliği arttırmaktır. (Lei, Lu, & Song, 2015) Andon Sistemi ile üretim hattının kapasitesini artırılması ve manuel yönlendirmenin istikrarsızlığını ortadan kaldırması için net bir istasyon ritmi aracılığıyla, hızlı ve şeffaf üretim yönetim modelinin kurulması, etkili bir şekilde iyileştirebilir üretim verimliliğinin sağlanması ve üretimin arttırılması amaçlanmaktadır.

Kullanılan Andon Sistemi ile yapılan çalışmalar içerisinde Koruyucu ve Önleyici Bakımında yapılması sağlanmaktadır. Koruyucu Bakım, belirli zaman aralıklarında teçhizatlara yapılan bakımlardır. Andon Sistemi ile Koruyucu Bakımın beraber kullanımının sağlanması için Andon ekranında yazılmış olan kontrol parametrelerine ait bakım saatleri ya da periyot aralıkları belirlenerek, bir bakım planının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu yöntem ile Andon ekranında Koruyucu Bakımın gerekliliği sağlanarak bakım çalışması düzenli olarak yapılacaktır.

3. TRİJENERASYON SİSTEMİNİN ANDON SİSTEMİNE HAZIRLANMASI

Trijenerasyon sisteminde Gaz Motoru, Absorbsiyonlu Chiller ve Isı kazanı olmak üzere 3 ana ekipman bulunmaktadır. Öncelikle bu ekipmanların andon sistemine hazırlanması için önemli kontrol noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu noktalara andon ikaz ışıkları entegre edilmesi ve Andon ikaz ışığının verileri alması için de sensörlerin entegre olduğu otomasyona bağlanması gerekmektedir. Bunu yaparak sensörün normal, uyarı ve alarm aralıklarını kontrol ederek duruma göre andon ışığında sarı, turuncu ve kırmızı renk yanması düşünülmektedir. Bununla beraber binada önemli noktalara konulacak olan Andon Panolarına(LCD ekran) ile sistemin bütün personeller tarafından anlık olarak izlenilmesini sağlamaktır.

Trijenerasyon sisteminde her bir kontrol noktamızın gözüktüğü ve haberleştiği bir Andon Ekranımız bulunmaktadır. Bu ekran bizlere sistemin anlık durumu hakkında bilgi vermesi ile beraber sistemde oluşan ya da muhtemel oluşabilecek arızalara önceden müdahale olanağı sağlamaktadır.

Şekil 1.Trijenerasyon Sistemi Andon Ekranı ile İzlenimi

Hazırlanan Trijenerasyon Sisteminin Andon Ekranı görünütüsünün izleniminin nasıl olacağı hakkında bilgi vermektedir. Trijenerasyon sisteminde belirlenmiş olan kontrol noktalarına gerekli sensörlerin konulması ve buradan gelecek bilgiler doğrultusunda sahada bulunan teknisyenlerin ve bütün personellerin bakıma katkı sağlanması amaçlanmıştır. Böylelikle sahadan alınacak makinalara ait gerçek ölçülen veriler toplanarak kestirimci bakım yapılması sağlanacaktır. Aynı şekilde Andon ekranda sarı ışık yandığında makinede bir sorun olduğu anlaşılacaktır. Yanan sarı ışık ile de Önleyici Bakımın yapılması sağlanacaktır.

Şekil 1'deki gibi bir Andon Sisteminin oluşturulması ile herhangi bir arıza ya da acil durumda ilgili vardiya saatindeki sorumlu teknisyenin çağrı cihazına bildirim gönderilmesi sağlanır. Hazırlanan ekran görüntüsünde her bir kontrol noktasına ait yeşil, sarı ve kırmızı lambalar bulunmaktadır. Bunların yanında idari personellerin ekranda görünen herhangi bir olumsuzluğu ilgili personellere aktarması için yetkili kişinin "isim, soyisim ve tel no" bulunmaktadır. Ayrıca Gaz motorunun her 2000 saatte 1 bakımı olduğundan dolayı, çalışma saatinden yararlanılarak bakıma kaç saatin kaldığı gösterilmiştir. Tüm bu bilgilere ek olarak da aylık olarak ortalama elektrik ve ısıl verim gösterilmiştir. Bunun gösterilme amacı ise bütün personellerin bunu gözlemlemesini sağlayarak bakımda katkı sağladıklarını bilmesi ve bu konuda motivasyon arttırılmasının sağlanması amaçlanmıştır.

4. TRİJENERASYON SİSTEMİ İÇİN OEE ÇALIŞMASI

Genel ekipman etkinliği (OEE), ana TPM ölçüsüdür ve bir makinenin ne kadar verimli çalıştığını belirlemek için kullanılır. Ayrıca OEE, onaylanmış kaliteli ürün üretimine harcanan süre ile planlanan süre arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır.

OEE = %Kullanılabilirlik x %Performans x %Kalite

Çalışması yapılan Trijenerasyon Sistemindeki Gaz motorlarının, 2020 ve 2021 yıllarında oluşan duruş süreleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda oluşan motor arızalarında ve bakımda yetkili servisi bekleme süresinin uzun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hafta sonu, resmi tatiller gibi işletmenin kapalı olduğu günlerde de elektrik tüketimi normal günlere göre daha az olacağından dolayı motor verimliliğinin korunması amacıyla sistem planlı olarak kapatılmıştır.

Tablo 1. 2020 Yılı Gaz Motorları Duruş Süreleri

	Gaz Motoru	Tarih	Onarım Süresi	Servis Bekleme Süresi	Bakım	Arıza	Planlı Duruş
2020	M2	Ocak 20	8 saat	13 saat		X	
	M1	Ocak 20	7 saat	48 saat	X		
	M2	Şubat 20	9 saat	41 saat	X		
	M1	Şubat 20	4 saat	13 saat		X	
	M2	Mart 20	6 saat	12 saat		X	
	M1	Mart 20	3 saat	12 saat	X		
	M2	Mart 20	3 saat	12 saat	X		
	M2	Temmuz 20	4 saat	18 saat		X	
	M1	Ağustos 20	11 saat	14 saat		X	
	M1	Eylül 20	13 saat	25 saat		X	
	M2	Eylül 20	5 saat	13 saat		X	
	M1	Kasım 20	5 saat	14 saat	X		
	M2	Kasım 20	7 saat	51 saat	X		
	M2	Aralık 20	8 saat	23 saat		X	
	M2	Aralık 20	10 saat	24 saat		X	
	M1						714 saat
	M2						714 saat
	TOPLAM		103 saat	333 saat			1427 saat

Tablo 2.2021 Yılı Gaz Motorları Duruş Süreleri

	Gaz Motoru	Tarih	Onarım Süresi	Servis Bekleme Süresi	Bakım	Arıza	Planlı Duruş
2021	M2	Ocak 21	8 saat	72 saat		X	
	M2	Ocak 21	3 saat	4 saat		X	
	M1	Ocak 21	16 saat	59 saat	X		
	M1	Ocak 21	3 saat	8 saat	X		
	M2	Ocak 21	14 saat	21 saat		X	
	M2	Şubat 21	7 saat	15 saat		X	
	M2	Mart 21	7 saat	16 saat		X	
	M2	Nisan 21	6 saat	17 saat		X	
	M2	Nisan 21	3 saat	5 saat		X	
	M2	Nisan 21	3 saat	9 saat			
	M1	Nisan 21	7 saat	7 saat		X	
	M1	Haziran 21	9 saat	32 saat		X	
	M1	Haziran 21	9 saat	19 saat		X	
	M1	Haziran 21	3 saat	45 saat		X	
	M2	Haziran 21	2 saat	59 saat		X	
	M2	Haziran 21	9 saat	45 saat	X		
	M2	Temmuz 21	7 saat	14 saat		X	
	M2	Temmuz 21	8 saat	12 saat		X	
	M2	Aralık 21	17 saat	33 saat	X		
	M1	Aralık 21	9 saat	54 saat	X		
	M1						679 saat
	M2						679 saat
	TOPLAM		150 saat	546 saat			1357 saat

2020 yılı OEE hesaplaması;

- **% Kullanılabilirlik**

Planlanan Çalışma Süresi =4000 saat
Kapalı Kalma Süresi = 1890 saat
% Kullanılabilirlik = ((4000 – 1890) / 4000) x 100 = %52

- **% Performans**

Gerçekleşen Elektrik Üretimi = 2.852.437 kWh
Planlanan Elektrik Üretimi = 4.000.000 kWh
% Performans = 2.852.432 /4.000.000 kWh = %71

- **% Kalite**

Gerçekleşen Elektrik Üretimi = 2.852.437 kWh
Kaliteli Elektrik Üretimi = 2.820.147 kWh
%Kalite = 2.820.147 / 2.852.147 kWh = %98
OEE = 0,52 x 0,71 x 0,98
= % 36

2021 yılı OEE hesaplaması;

- **% Kullanılabilirlik**

Planlanan Çalışma Süresi = 4000 saat
Kapalı Kalma Süresi = 2187 saat
% Kullanılabilirlik = ((4000 – 2187)/ 4000)x100 = %45

- **% Performans**

Gerçekleşen Elektrik Üretimi = 3.250.000kWh
Planlanan Elektrik Üretimi = 4.000.000 kWh
% Performans = 3.250.000 /4.000.000 kWh = %81

- **% Kalite**

Gerçekleşen Elektrik Üretimi = 2.852.437 kWh
Kaliteli Elektrik Üretimi = 2.820.147 kWh
%Kalite = 2.820.147 / 2.852.147 kWh = %98
OEE = 0,45 x 0,81 x 0,98 = %36

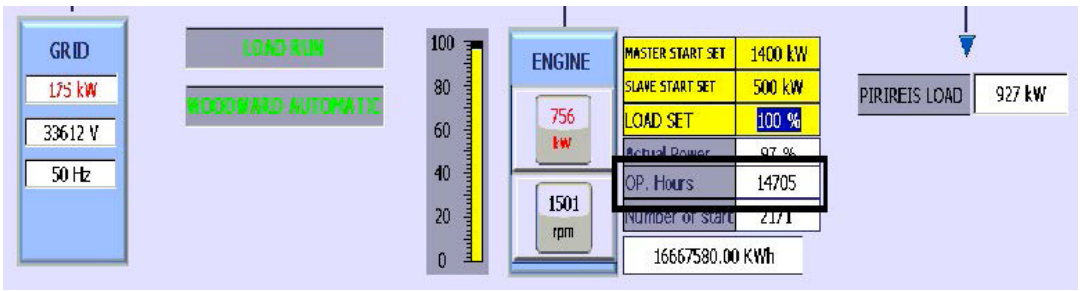
Eğer işletmede 2020 ve 2021 yıllarında TPM ve Andon Sistemi kullanımı yapılmasaydı Trijenerasyon sistemindeki Gaz motorlarının duruş sürelerinde azalma meydana geleceği düşünülmektedir. Bu bakımdan Kullanılabilirlik açısından yapılan hesaplama ile sistemin normal çalışması ile olası bir TPM ve Andon sistemindeki kullanımı sonrasındaki verim değişimi hesaplanmaya çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar ile Tablo 7 oluşturulmuştur.

5. KULLANILABİLİRLİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Trijenerasyon Sistemindeki Gaz motorlarının bakım, arıza ve planlı duruş kaynaklı olarak 3 çeşit duruş şekli bulunmaktadır. Ayrıca çalışanların sistem duruşlarından sonra bazı zamanlarda sistemin durduğundan belirli bir zaman sonra haberdar oldukları tespiti yapılmıştır. Bu da sistemin boşa durmasına ve yeniden çalıştığında da normal değerlerin rejime girmesi(motorun yeniden %100 yüke ulaşması, sıcak su derecesinin 90°C'ye

ulaşması) yakalamasına zaman alacaktır. Söz konusu bu duruşların Andon ve TPM etkisiyle arıza kaynaklı duruş sürelerinin azalacağı ve bu azalma ile de verimin arttırılacağı düşünülmektedir.

Gaz motorlarının duruş sürelerine bakıldığında 2000 saatte 1 yapılan Periyodik Bakımlarında, servis bekleme sürelerinin uzun olduğu gözlemlenmiştir. Her motorun kontrol panelinde anlık olarak kaçıncı saatte çalıştığını gösteren bir bilgi paneli bulunmaktadır. Ancak bir önceki bakım saatinin hangi saatte yapıldığı ve bir sonraki bakım saatinin ne zaman yapılacağı belirtilmemektedir. Böyle bir durumda da rastgele bir zamanda motorunun anlık saatine bakılıp, önceki periyodik bakım saatinden çıkarıldıktan sonra bakıma ne kadar süre kaldığı görülmektedir. Bu şekilde manuel olarak yapılan çalışma ile bakım saatinin tam gününde ya da bakım saatini geçmiş bir saatte yetkili firmaya haber verilmektedir. Bakım saatinin gelmesi ile Gaz motoru kapatılarak sistemin durması ve motorun sağlam şekilde kalması sağlanmaktadır. Ancak kullanılacak olan Andon Sistemi ile son bakım saatinin panele girişi yapılarak, güncel çalışma saati ile kıyaslama yapılarak bakım saatine ne kadar süre kaldığı anlık olarak izlenebilinecek ve bakıma belirlenen saate kalan süre Andon ekranında uyarı verecektir. Böylece motor bakım saati geçirilmemiş olacak ve bu durum teknisyenlerin sorumluluğundan çıkarılarak otomatik kontrol durumuna gelecektir.



Şekil 2. Gaz Motoru Kontrol Ekranı Kesiti(Çalışma Saati)

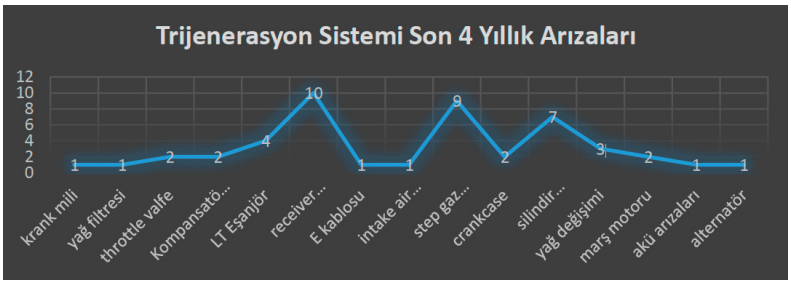
Bununla birlikte, TPM ve Andon Sistemi ile anlık olarak izlenilen sistemin arıza olmadan müdahale edilmesi ile duruş sürelerin minimuma indirilmesidir. Gaz motorlarının, 2020 ve 2021 yıllarında incelenen duruş süreleri için TPM ve Andon sistemi uygulamaları ile sağlanacak faydalar hakkında çalışma yapılmıştır.

6. TRİJENERASYON SİSTEMİNDEKİ SON 4 YILLIK VERİLER

Gaz motorlarının son 4 yıldaki arızalarının incelenmesi yapılmış, Şekil 4 yılda hangi kısmı kaç kere arıza verdiği grafiğe yansıtılmıştır.

Gaz motorlarının son 4 yıldaki arızalarının incelenmesinde diğer noktalara göre 3 kısımda daha çok arıza verdiği görülmüştür. Daha çok arıza veren kısımlar;

- Receiver sıcaklığı,
- Step Gaz motoru,
- Silindir Arızalarıdır.

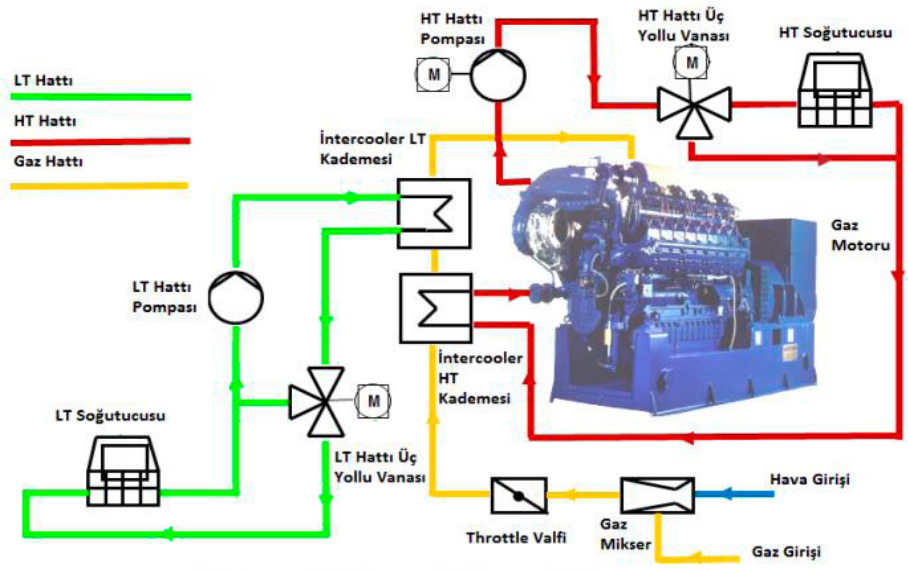


Şekil 3. Gaz Motorları son 4 Yıldaki Arızaları Gaz Motorları son 4 yıldaki arızaları

Tez çalışmasında, Trijenerasyon sistemlerindeki arızalar hakkında veriler toplanmış ve arıza grafiği oluşturulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda en çok arızanın meydana geldiği motor gömlek suyu sıcaklığını ölçen receiver sıcaklığı gözükmektedir. Bu sistemlerde gaz motorlarında motoru koruma amaçlı birçok sensör bulunmaktadır. Bu sensörlerin aldığı değerler anlık olarak kontrol panelinden izlenmektedir ve sınır değerlere yaklaştığında ikaz vermektedir. İkaza rağmen Andon sistemi kullanmamızın sebebi ikaz sadece Makina dairesindeki kontrol panelinde gözükmektedir. Oysaki kontrol paneli başında her zaman bir personel bulundurulmamaktadır. Ancak Andon ve TPM sistemi ile işletmedeki bütün personeller Trijenerasyon sisteminin anlık gerçek verileri görebileceği için erken müdahale ile sistem kapatılmadan gerekli müdahalelerle çalışmaya devam edebilecektir.

Bu ikazlara zamanında müdahale edildiğinde motor çökmeden(kapatmadan) çalışmaya devam edebilir; fakat müdahale edilmediği takdirde motor kendini korumaya alarak kapatır.

Receiver sıcaklığı, genel olarak gaz motorunu soğutma görevini yapan LT(Low Temparature) hattında sorun olduğundan çıkan arızalardır. Oluşan arıza sonucunda gaz motoru kontrol ekranına T201 arızası düşmektedir. T201 Sıcaklığı normal koşullarda 50°C -54°C arasında çalışmakta olup, 54,6 °C'yi geçtiğinde ise motor kendini soğutamadığı için ya yük düşümüne gidecek ya da korumaya alarak kapatacaktır. Çünkü motorda soğutulamayan sıcaklık artışı silindirlere de zarar verebilmektedir. Receiver sıcaklığının diğer bir sebebi ise sistemde soğutma suyu olarak deniz suyu kullanıldığı için LT Eşanjörlerine gelen yosun vb. maddelerden dolayı tıkanıklık meydana gelebilmektedir. Ayrıca diğer sorun ise LT pompalarında oluşan arızalardan dolayı T201 arızası gelebilmektedir.

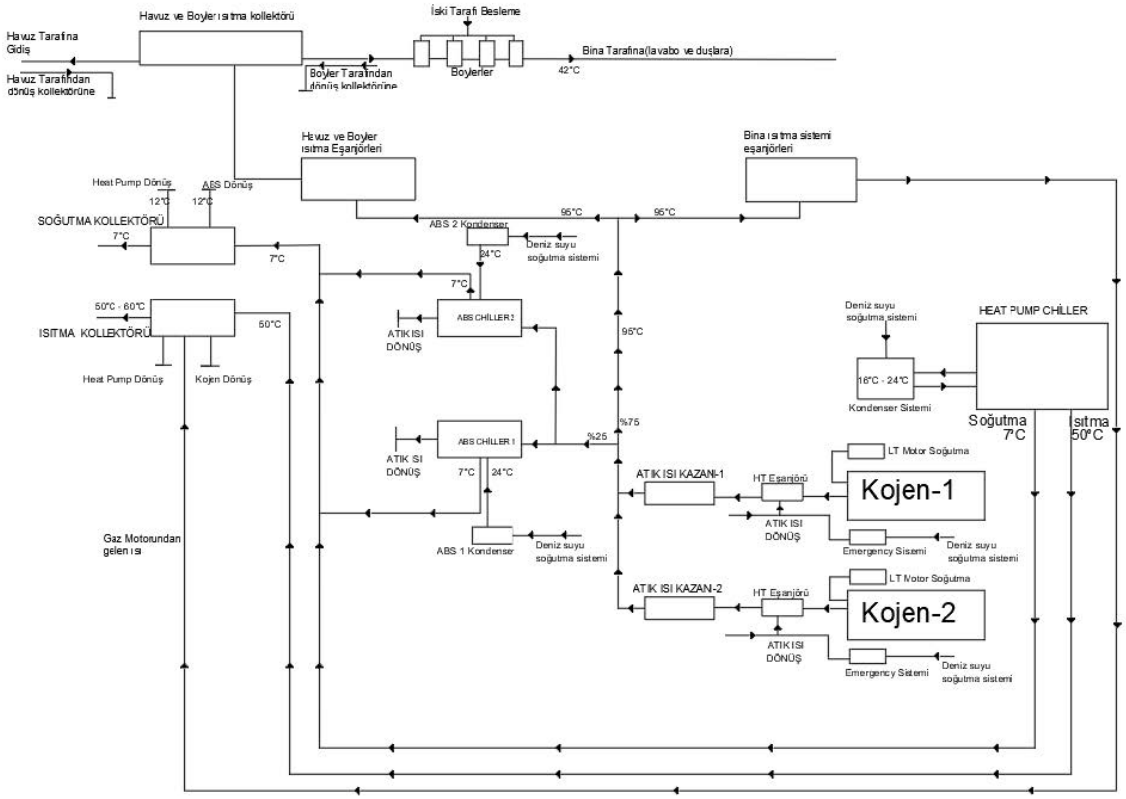


Şekil 4. LT, HT ve Gaz Akış Şeması (Derinpınar, 2018)

Step – gaz motorlarında oluşan arızalar incelendiğinde step motorun içindeki rulmanın yapısının bozulmasından dolayı takılmalar meydana gelebilmektedir. Gaz motorunda oluşan bir arızada throttle valf(gaz kelebeği) direk etkilenmektedir. Step motorda oluşan başka bir arıza ise sensör kablolarındaki arızalardır.

Silindirlerde oluşan arızaların sebebi incelendiğinde, silindir sıcaklıklarından kaynaklı arızalar meydana geldiği görülmektedir. Silindirlerde oluşan arızalarda motorun hemen durması ya da durdurulması çok önemlidir. Çünkü aşırı ısınmadan dolayı kopacak ufak bir parça bütün motorun bakıma girmesine neden olabilmektedir ve bu durumun da maliyeti çok yüksektir.

Planlamış olduğumuz Andon görsel uyarı sistemi ile bu sorunların motor arızaya geçmeden bildirilmesi ve hızlı şekilde aksiyon alınması amaçlanmıştır. Böylelikle Toplam Üretken Bakım işletme yönetim sistemi ile Önleyici ve Kestirimci Bakımların yapılması da sağlanmaktadır.



Şekil 5. Trijenerasyon Sistemi Akış Şeması

	Gaz Motoru	Tarih	Onarım Süresi	Servis Bekleme Süresi	Bakım	Arıza	Farkındalık Süresi	Sistemin Rejime Girme Süresi	Planlı Duruş	Arıza	Arıza Nedeni	Kontrol Sensörü	TPM ve Andon ile Kazanılan Zaman	Fayda
2020	M2	Ocak 20	8 saat	13 saat		X	6 saat	15 saat		Critical fault arızası	ön yağlama pompası	Vibrasyon ya da Akış Sensörü	34 saat	Erken uyarı sistemi ile Yağsız çalışan pompanın çalışma trendindeki farklılık ile erken uyarı verilerek yağsız çalışma engellenecektir.
	M1	Ocak 20	7 saat	48 saat	X								48 saat	Servis bekleme süresi azalacaktır.
	M1	Ocak 20					4 saat	15 saat			Şebeke dalgalanması		19 saat	
	M2	Şubat 20	9 saat	41 saat	X					E30 Bakımı			41 saat	Bakım için beklenen süre düşecektir.
	M1	Şubat 20	4 saat	13 saat		X	3 saat	15 saat		Üfleme sürücü arızası	Üfleme Havasının durması ile sıcaklık yükselmiye bu durumda Step motor gaz-hava karıştırıcısının düzgün çalışmama sorunu oluşmuştur.	Sıcaklık Sensörü	31 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır.
	M2	Mart 20	6 saat	12 saat		X	3 saat	15 saat		Gaz mikser arızası	Gaz mikserinin rulman sarması ile bozulma meydana gelmiştir.	Vibrasyon Sensörü	30 saat	Fakir hava gaz karışımı ile motor ısınması ve motorun ani duruşu engellenecektir.
	M1	Mart 20	3 saat	12 saat	X					Yağ değişikliği	-		12 saat	Yapılan yağ analiz sonucuna göre değiştiriliyor.
	M1	Mart 20					5 saat	15 saat			Şebeke dalgalanması		20 saat	Şebeke dalgalanmasında kapanan gaz motorunun yeniden devreye alınması gerekecektir.
	M2	Mart 20	3 saat	12 saat	X		7 saat	15 saat		Yağ değişikliği	-		19 saat	Analiz sonucuna göre değişiyor.
	M2	Mart 20	6 saat	12 saat		X	3 saat	15 saat		Sirkülasyon Pompası arızası	Pompa rulman sarması	Vibrasyon Sensörü	30 saat	Pompa rulman sarmasından dolayı vibrasyon oluşacaktır.

	M2	Temmuz 20	4 saat	18 saat		X				Senkron olmama sorunu	Programsal sorun	-	-	Oluşan arızanın herhangi bir kontrol sensörü olmadığı için öncesinde alarm düşmeyecektir.
	M1	Ağustos 20	11 saat	14 saat		X	3 saat	15 saat		Critical fault arızası - Valf yüzeylerinde çizikler	her silindir için bir sensör	Sıcaklık Sensörü	32 saat	Silindirlerin ve bloğun hasar alması engellenir
	M1	Eylül 20	13 saat	25 saat		X	5 saat	15 saat		Throttel Valfe arızası	Üfleme Havasının durması ile sıcaklık yükselmiş ve gaz kelebeğinin trend çizgisinden çıktığı görülmüştür.	Sıcaklık Sensörü	45 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır.
	M2	Eylül 20	5 saat	13 saat		X	3 saat	15 saat		Üfleme ve Emiş sürücüleri arızası	Üfleme ve Emiş havasının durması ile sıcaklık yükselmive bu durumda Step motor gaz-hava karıştırıcısının düzgün çalışmama sorunu oluşmuştur.	Sıcaklık Sensörü	31 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır.
	M1	Ekim 20					4 saat	15 saat			Şebeke dalgalanması		19 saat	Şebeke dalgalanmasında kapanan gaz motorunun yeniden devreye alınması gerekecektir.
	M1	Kasım 20	5 saat	14 saat	X					Yağ değişikliği	-		14 saat	Analiz sonucuna göre değişiyor.
	M2	Kasım 20	7 saat	51 saat	X					E30 Bakımı	-		51 saat	Servis bekleme süresi azalacaktır.
	M2	Kasım 20	1 saat	8 saat			3 saat	15 saat			Pompa Sürücüsü Arızası		26 saat	Uyarı sisteminde kapandığı görülecek olan pomparın anında kontrolü ile
												Akış Kontrol sensörü		sürücünün tekrar devreye alınması sağlanacaktır.
	M2	Aralık 20	8 saat	23 saat		X	2 saat	15 saat		receiver sıcaklığı artışı	Soğutucu sıcaklık sensörü	Sıcaklık Sensörü	40 saat	Erken uyarı sistemi ile
	M2	Aralık 20	10 saat	24 saat		X	2 saat	15 saat		receiver sıcaklığı artışı	LT Eşanjörü Sirkülasyon Pompası	Sıcaklık Sensörü	41 saat	Gaz motorunun, motor ısınması ve buna bağlı olarak hararet yapması engellenecektir.
	M1								714 saat					
	M2								714 saat					
	TOPLAM		110 saat	353 saat			53 saat		1427 saat				583 saat	

Tablo 3. 2020 Yılı Gaz Motoru Duruş süreleri ile TPM ve Andon Sistemi Faydaları

	Gaz Motoru	Tarih	Onarım Süresi	Servis Bekleme Süresi	Bakım	Arıza	Farkındalık (Arızanın ne kadar süre sonra farkedildiği)	Sistemin rejime girme süresi	Planlı Duruş	Arıza	Arıza Nedeni	Kontrol Sensörü	TPM ve Andon ile Kazanılan Zaman	Fayda
2021	M2	Ocak 21	8 saat	72 saat		X	4 saat	15 saat		Gaz mikser arızası	Gaz mikserinin rulman sarması ile bozulma meydana gelmiştir.	Vibrasyon Sensörü	95 saat	Fakir hava gaz karışımı ile motor ısınması ve motorun ani duruşu engellenecektir.
	M2	Ocak 21	3 saat	-		X	3 saat			Üfleme sürücü arızası	Üfleme Havasının durması ile sıcaklık yükselmive bu durumda Step motor gaz-hava karıştırıcısının düzgün çalışmama sorunu oluşmuştur.	Sıcaklık Sensörü	3 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır.
	M1	Ocak 21	16 saat	59 saat	X					E45 Bakımı			59 saat	
	M1	Ocak 21	3 saat	8 saat	X		8 saat			Yağ değişimi			16 saat	Analiz sonucuna göre değişiyor.
	M2	Ocak 21	14 saat	21 saat		X	5 saat	15 saat		Sirkülasyon Pompasının salmastra yanması	Pompanın susuz çalışması sonucu ısınması	Akış kontrol Sensörü	41 saat	Uyarı sistemi ile pompanın susuz çalışması engellenerek salmastra yanması engellenecektir.
	M2	Şubat 21	7 saat	-		X	3 saat	15 saat		receiver sıcaklığı artışı	LT Eşanjörünün tıkanması	Akış debi sensörü	18 saat	Motorun aşırı ısınması ve hararet yapması engellenir
	M2	Mart 21	7 saat	16 saat		X	3 saat	15 saat		receiver sıcaklığı artışı	LT Eşanjörü Sirkülasyon Pompası rulman sarması	Vibrasyon Sensörü	34 saat	Motorun aşırı ısınması engellenerek, erken uyarı sistemi ile pompa bakıma alınır.

M2	Nisan 21	6 saat	17 saat		X	7 saat	15 saat		Sirkülasyon Pompasının sesli çalışması	Pompanın susuz çalışması sonucu ısınması	Vibrasyon Sensörü	39 saat	Meydana gelen titreşim ile uyarılarak motorun salmastra yanması ya da rulman sarması engellenecektir.
M2	Nisan 21	12 saat	144 saat	X					E45 Bakımı			144 saat	
M2	Nisan 21	3 saat	9 saat		X	4 saat	15 saat		receiver sıcaklığı artışı	LT Eşanjörünün tıkanması	Akış debi sensörü	28 saat	Motorun aşırı ısınması ve harareт yapması engellenir
M1	Nisan 21	7 saat	7 saat		X	2 saat	15 saat		Silindir sıcaklığı arızası	Silindir sıcaklığının trend değerin üzerine çıkması	Sıcaklık sensörü – her silindir için bir sensör	24 saat	Silindirlerin zarar görmesi engellenir
M1	Haziran 21	21 saat	96 saat		X	5 saat	15 saat		Silindir sıcaklığı arızası	Silindir sıcaklığının trend değerin üzerine çıkması	Sıcaklık sensörü	116 saat	Silindirlerin zarar görmemesi için erken uyarı sistemi ile belirli sıcaklık yüksekliğinde alarm düşmesi sağlanacaktır.
M1	Haziran 21					5 saat	15 saat		Pompa sürücü arızası	Pompanın susuz çalışması sonucu , pompa salmastrasının hasar görmesi	Akış debi sensörü	20 saat	Pompa sürücüsündeki arızadan dolayı su akışı oluşmuyor ve alarm düşmesi sağlanıyor.
M2	Haziran 21	2 saat	59 saat		X	3 saat	15 saat		Üfleme sürücü arızası	Üfleme Havasının durması ile sıcaklık yükselmi ve bu durumda Step motor gaz-hava karıştırıcısının düzgün çalışmama sorunu oluşmuştur.	Sıcaklık Sensörü	77 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır.
M2	Haziran 21	5 saat	21 saat			5 saat	15 saat		Sirkülasyon Pompasının salmastra yanması	Pompanın susuz çalışması sonucu ısınması	Akış kontrol Sensörü	41 saat	Uyarı sistemi ile pompanın susuz çalışması engellenerek salmastra yanması engellenecektir.
M2	Haziran 21	9 saat	45 saat	X					E30 Bakımı			45 saat	Bakım için beklenen süre düşecektir.
M2	Temmuz 21	8 saat	12 saat		X	2 saat	15 saat		Üfleme sürücü arızası	Üfleme Havasının durması ile sıcaklık yükselir ve bu durumda Step motor gaz-hava karıştırıcısının düzgün çalışmama sorunu oluşmuştur.	Sıcaklık Sensörü	29 saat	Kabin içinde ve motorda meydana gelecek olan ısı artışı ile erken uyarı sağlanacaktır
M2	Aralık 21	17 saat	33 saat	X					E45 Bakımı		-	33 saat	Bakım için beklenen süre düşecektir.
M1	Aralık 21	9 saat	54 saat	X					E30 Bakımı		-	54 saat	-
M1								679 saat					
M2								679 saat					
TOPLAM		157 saat	673 saat			59 saat		1357 saat				916 saat	

Tablo 4. 2021 Yılı Gaz Motoru Duruş süreleri ile TPM ve Andon Sistemi Fayda

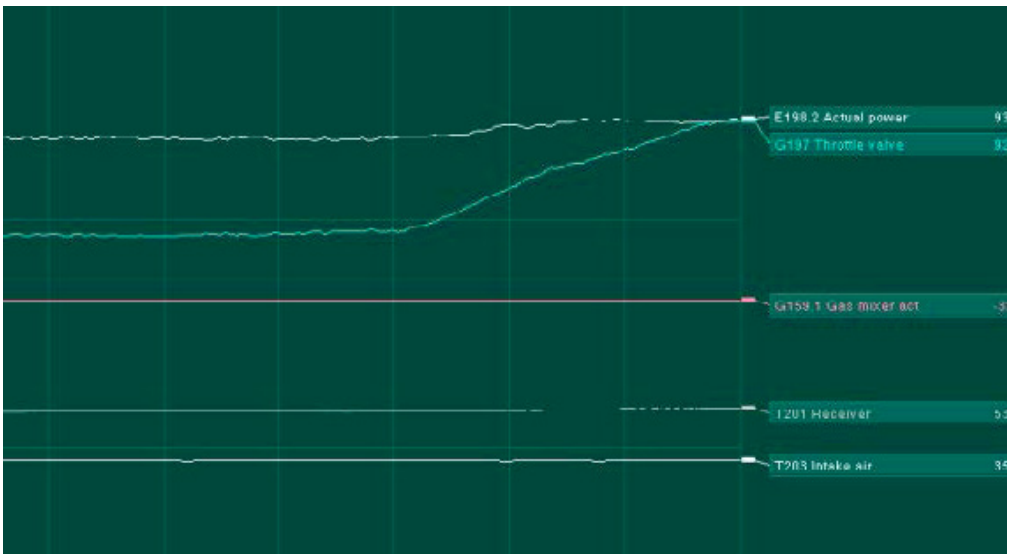
Teorik olarak Toplam Üretken Bakım ile 2020 ve 2021 yılları için Tablo 11 ve Tablo 12'de belirtilen farkındalık, servis bekleme süreleri ve sistemin rejime girme sürelerinin sıfırlanması öngörülmektedir.

Kullanılması planlanan bu sistemde herkesin bakım içerisinde olması amaçlanmaktadır. Örneğin işletmede çalışan ve asıl görevi temizlik personeli, Andon ekranında gaz motorunun hava filtre değişimi gibi kolay bir işi yapabilecek kapasitede olması öngürülmektedir. Personellerdeki bu kapasiteyi arttıracak olan da personellere bakım konusunda ciddi eğitimlerin verilmesidir.

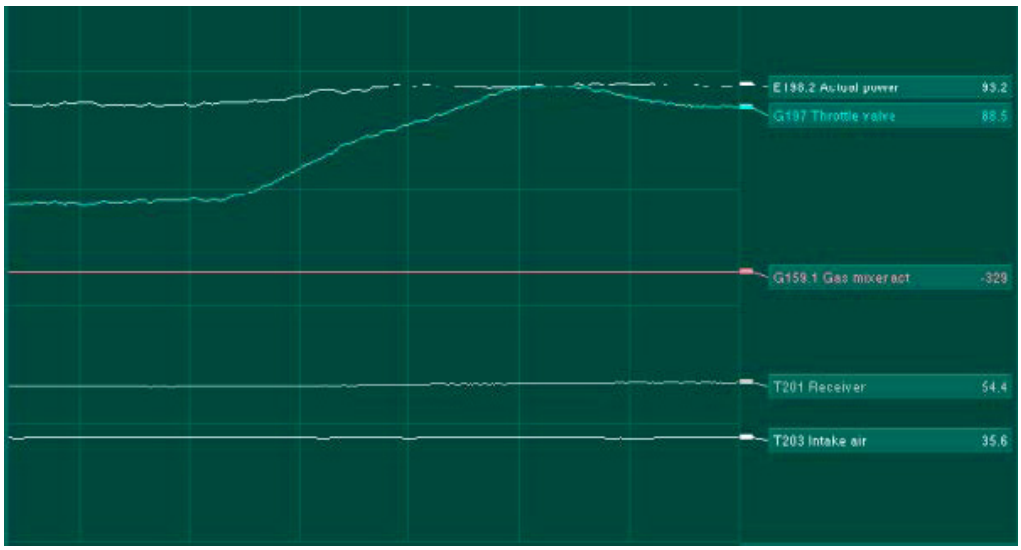
Tablo 11 ve Tablo 12'de 2020 ve 2021 yıllları için incelemesi yapılan gaz motorlarında, throttle valfin çok açması, receiver sıcaklığı yükselmesi, gaz mikseri düzgün çalışmaması ve pompa salmastra hasarı gibi arızalar oluşmuştur. Oluşan arızaları sisteme eklenilecek olan kontrol sensörleri ile Andon Sisteminin çalışması sağlanarak arızalar oluşmadan önce Teknik ekibe ve çalışanlara bildirilmesi düşünülmektedir.

Throttle valve, hava-gaz karışımının debisini ayarlamak için kullanılır. Motorun ürettiği anlık yüke ve performansa göre karışım debisini arttırır ya da azaltır. Yani motorun ürettiği yüke doğrudan etki sağlar.

Oluşan arızalara ait anlık grafikler Şekil 28,29 ve 30'da gösterilmiştir. Arızaların oluşma sebebi incelendiğinde gaz motorunun kabin içerisinde üfleme havasının yüksek seyretmesi sonucu arızaya girdiği görülmüştür. Sisteme eklenilecek olan sıcaklık sensörü ile Andon uyarı sistemine bilgi gönderilecek ve gaz kelebi normal trendinden ayrılmadan önce müdaha edilebilinecektir.

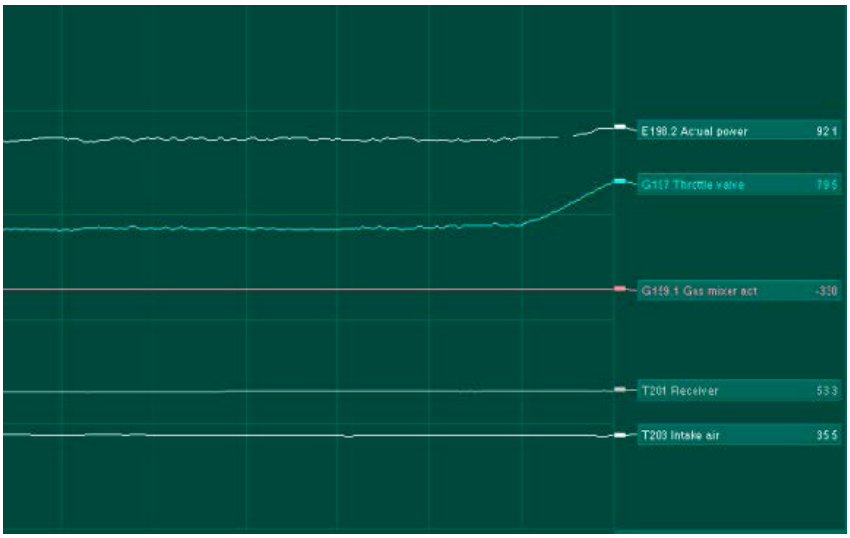


Şekil 3.Gaz Motorundaki Egzoz Kaçağından dolayı Ürettiği Yük Artışı ile Throttle Valve Artış Gösterimi



Şekil 4. Gaz Motorunun Throttle Valve Artışından dolayı Yük Düşümü

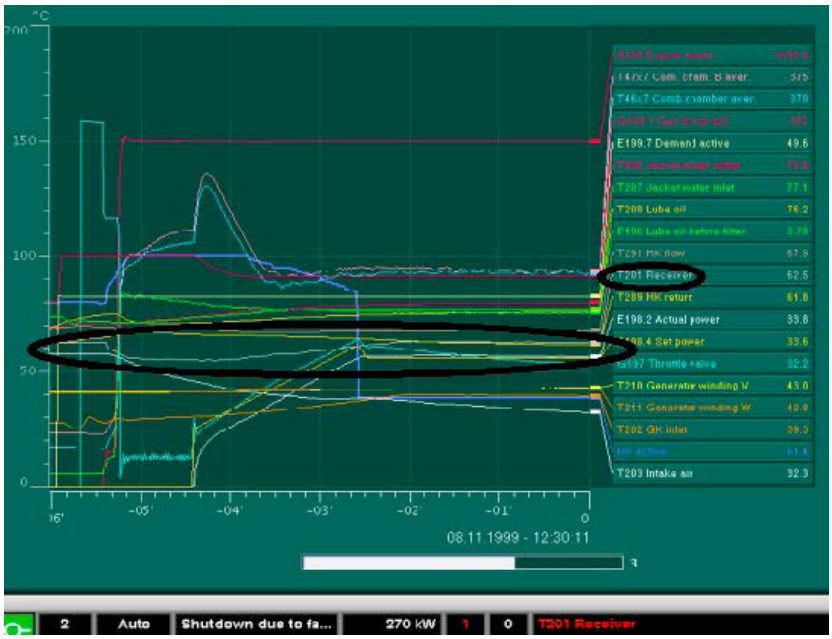
Throttle Valve, motorun normal çalışmasında belirli bir trendi izlemektedir. Ancak kabin içerisindeki sıcaklığın yüksekliğine bağlı olarak gaz mikserinin trend dışında çalışması gibi nedenlerden dolayı Zengin – Hava gaz karışımı oluşmaktadır. Sisteme ek kullanılması düşünülen sıcaklık sensör ile belirli bir dereceye ulaşan sıcaklıktan sonra uyarı verilerek motorun aşırı ısınması engellenecek ve sisteme arıza oluşmadan müdahale edilmesi öngörülmektedir.



Şekil 5.Throttle Valve'ın trend çizgisinden ayrılması

Throttle Valve, motorun tam yükte arızasız çalışması durumunda %48 ile %53 arasında açmaktadır. Eğer motorda hava ve gaz karışımı ile ilgili bir sorun oluşursa bu değer %90'lara kadar çıkarken motorun sıcaklığı da bu oranda artmaktadır.Üfleme havasıdan oluşan bu arıza için Andon sistemine eklenilecek olan sıcaklık sensörü ile zengin-hava gaz karışımının engellenmesi amaçlanmaktadır. Erken uyarı ile Andon trend çizgisinden ayrılan throttle valve için ekranda uyarı ışığı yanacaktır. Yanan ışık ile motora müdahale edilerek, motor yükü düşürülerek motorun aşırı ısınması engellenecektir. Daha sonra üfleme havasını sağlayana sürücünün arızası giderilmeye çalışılacaktır. Böylelikle, motorun aşırı ısınması önlenerek silindir gömleklerinde, segmanlarda ve pistonlarda aşınmaya engel olunması düşünülmektedir.

Receiver Arızası ise motor gömlek suyu sıcaklığı artışından meydana gelen arızalardır. Gömlek suyundaki ısı artışından dolayı motorun hararet yapma olasılığı bulunmaktadır. Bu yüzden bu sıcaklığın izlenimi ve hasar oluşmadan müdahale edilmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 6. Receiver Arızası Gösterimi

Motorda oluşan receiver arızasının grafiksel gösterimi Şekil 31'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, motorda oluşan receiver arızasından dolayı diğer kontrol noktaları da etkilendiği görülmektedir.

Receiver sıcaklığının trend çizgisinden ayrıldığı durumda, normal değerinin (50°C ile 54°C arasında) üstüne çıktığında motor arıza vermektedir.

Receiver sıcaklığı arızaları;

- LT Eşanjör tıkanıklığı,
- Sirkülasyon pompasının sesli çalışması,
- Pompa rulman sarması
- Pompa salmastra yapısının bozulması
- Pompa sürücü arızası gibi nedenlerden oluşmaktadır.

Bu kapsamda erken uyarı sistemi için sisteme eklenilecek olan Akış, debi ve vibrasyon sensörleri ile Receiver sıcaklığı 54,2°C'lere geldiğinde Andon ekranında Receiver sıcaklığına ait uyarı ışığının yanması ile motor aşırı ısınmadan teknik ekip erken müdahale edebilecektir.

Müdahale seçeneklerinde ise motor yükünü azaltarak motorun çalışmasını sağlamak, LT Sirkülasyon pompalarını kontrol etmek gibi seçeneklerin oluşacağı düşünülmektedir. Sistemde çalışan pompaların susuz çalışması sonucunda salmastra yapısının bozulduğu görülmektedir.

Şekil 7. Pompa Salmastrasında Oluşan Hasar

Salmastra arızalarının önüne geçebilmek adına erken uyarı sistemine eklenilecek olan akış, debi kontrol sensörleri ile pompanın susuz çalışması engellenebileceği öngörülmektedir.

Trijenerasyon sistemi ekipmanlarından olan Absorpsiyonlu Chiller için de erken uyarı sistemi için ek sensörler konulması düşünülmektedir. Absorpsiyonlu Chillerin için bir izleme sisteminin olmamasından dolayı söz konusu ekipman bir arızaya düştüğünde anından reaksiyon alınamamaktadır. Bu duruş süresi ne kadar uzun olursa chillerin yeniden rejime girmesi de o kadar uzun olacaktır. Söz konusu konulacak olan ek sensörlere örnek olarak vakum pompası ya da genleşme tankı hava basıncı olabilir. Genleşme tankındaki hava basıncı normal şartlarda 2,3 – 2,6 bar arasında görülmektedir. Fakat genleşme tankı içerisindeki membran patlaması ya da tank delinmesi gibi nedenlerden dolayı hava basıncı düşmeye başlamaktadır. Andon Uyarı sistemi ile basınç değeri 2,3 barın altına düştüğünde ekranda uyarı ışığının yanması ile zamanında müdahale yapılacaktır ve chillerin arızaya geçmesi engellenecektir. Böylelikle sistemin devamlılığı sağlanarak sistem rejiminin normala geçme süresinin önüne geçilecektir.

2020 yılı OEE hesaplaması

Azalan Duruş Süresi = 1890 saat – 583 saat = 1307 saat

- **% Kullanılabilirlik**

  Planlanan Çalışma Süresi = 4000 saat

  Kapalı Kalma Süresi = 1307 saat

  % Kullanılabilirlik = ((4000 – 1307) / 4000) x 100 = %67,3

2021 yılı OEE hesaplaması;

Azalan Duruş Süresi = 2187 saat – 583 saat = 1604 saat

- **% Kullanılabilirlik**

  Planlanan Çalışma Süresi = 4000 saat

  Kapalı Kalma Süresi = 1604 saat

  % Kullanılabilirlik = ((4000 – 1604)/ 4000)x100 = %59

Eğer işletmede 2020 ve 2021 yıllarında TPM ve Andon Sistemi kullanımı yapılmasaydı Trijenerasyon sistemindeki Gaz motorlarının duruş sürelerinde azalma meydana geleceği düşünülmektedir. Bu bakımdan Kullanılabilirlik açısından yapılan hesaplama ile sistemin normal çalışması ile olası bir TPM ve Andon sistemindeki kullanımı sonrasındaki verim değişimi hesaplanmaya çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar ile Tablo 12 oluşturulmuştur.

Tablo 5. Kullanılabilirlik Kıyaslaması

Kullanılabilirlik / Yıl	2020	2021
Normal Kullanılabilirlik	52%	45%
İyileştirilmiş Kullanılabilirlik	67,3%	59%

Oluşturulan Tablo 6 için yapılan analiz sonucunda;

• Teorik olarak, 2020 yılında yapılan iyileştirmeler(TPM ve Andon Kullanımı) ile kullanılabilirlik oranı %52'den %67,5'a çıkacağı ve bu artış ile % 29,8 'lik bir kullanılabilirlik artışının olacağı öngörülmektedir.

• Teorik olarak, 2021 yılında yapılan iyileştirmeler(TPM ve Andon Kullanımı) ile kullanılabilirlik oranı %45'den %59'a çıkacağı ve bu artış ile % 31,1'lik bir kullanılabilirlik artışının olacağı öngörülmektedir.

Grafik 1.2020 ve 2021 Yılı Kullanılabilirlik Kıyaslaması

Eğer, 2020 ve 2021 yıllarında Trijenerasyon Sisteminde TPM ve Andon Sistemi kullanımı yapılsaydı, motor durma sürelerinde azalma ve buna bağlı olarak kullanılabilirlik bazında %11,9'luk bir artış meydana geleceği düşünülmektedir. Ayrıca erken uyarı sistemi ile motorda oluşabilecek büyük hasarlar önlenecektir.

7. ANDON SİSTEMİ KURULUMUN MALİYET ANALİZİ

Kurulması düşünülen Andon sistemi için maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi için öncelik olarak sistem için gerekli malzemelerin tedarik edilmesi gerektiği görülmüştür. Hazırlanan liste ve tahmini bütçe fiyatları Tablo. gösterilmiştir.

Tablo 6. Andon Ekranı Kurulumu için Maliyetler

ANDON EKRANI MALİYETLERİ				
İHTİYAÇLAR	**Adet**	**Birim**	**Birim Fiyat**	**Toplam**
42" LCD Ekran(Andon Ekranı)	10	adet	5.000,00 TL	50.000,00 TL
Server üzerinden Ekranlara yansıtılması	1	adet	20.000,00 TL	20.000,00 TL
Masaüstü PC	1	adet	18.000,00 TL	15.000,00 TL
Altyapı Hazırlıkları(kablolalama vb)	1	adet	10.000,00 TL	10.000,00 TL
Yazılım, PLC ve arayüz	1	adet	75.000,00 TL	75.000,00 TL
Sıcaklık Sensörleri	4	adet	5.000,00 TL	20.000,00 TL
Debi ölçümü	2	adet	15.000,00 TL	30.000,00 TL
Kontrol Panosu ve Malzemeleri	1	adet	15.000,00 TL	15.000,00 TL
			TOPLAM	**235.000,00 TL**

Andon Ekranı kurulumu için yapılan maliyet çalışması sonucunda 235.000 TL'lik bir yatırım maliyetinin çıktığı görülmüştür.

Maliyet çalışması ile beraber yapılacak olan yatırımın işletmeye kaç yıl içerisinde geri dönüş sağlayacağının da hesaplanması, işletmenin Andon Ekranlarını kurması yönünden karar verme sürecini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu yüzden yapılması gerekli olan fizibilite analizi için yapılacak adımlar;

- Andon Ekranı kullanıldığında kazanılacak olan fayda veya zaman,

2020 (Tablo 10) ve 2021 (Tablo 11) yıllarında yapılan analize göre 2020 yılında 583 saat, 2021 yılında ise 916 saat fayda sağlanmıştır.

Tablo 7. Andon İle Kazanılan Zaman

Fayda / Yıl	**2020**	**2021**	**Toplam**
Kazanılan Zaman	583 saat	916 saat	1499 saat

- Trijenerasyon Sisteminin 1 saatlik çalışmasındaki üretimler ve tüketimlerin(kWh cinsinden) belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 8. Trijenerasyon Üretimler ve Tüketimler

Tüketimler-Üretimler	
Doğalgaz(Tüketim)	2.054 kWh
Gaz Motoru(Isıl Üretim)	750 kWh
Gaz Motoru(Elektrik Üretim)	705 kWh

• Güncel olarak Elektrik birim fiyatı, Doğalgaz birim fiyatının , Gaz motorunun 1 saatlik çalışmasındaki maliyetin ve döviz kurunun belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 9. Tüketim Birim Fiyatları

Birim Maliyetler	Birim Fiyat	KDV ve Vergiler Dahil
EURO Kuru	18,00 TL	18,00 TL
Elektrik Birim Fiyatı	2,35 TL	3,24 TL
Doğalgaz Birim Fiyatı	1,08 TL	1,27 TL
Kojen Birim Maliyeti (7,15 €)	128,70 TL	151,87 TL

Elektrik Birim fiyatı EPDK tarafından Haziran 2022 ayı için belirlenmiş olan Ulusal tarifeden alınmıştır.

Fizibilite Hesabı;

Tablo 10. Gaz Motorunun 1 saatlik Tüketim ve Üretim Hesabı

Tüketim ve Üretimler	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Doğalgaz(Tüketim)	2.054 kWh	1,27 TL	2.608,58 TL
Gaz Motoru(Isıl Üretim)	750 kWh	1,27 TL	952,50 TL
Gaz Motoru(Elektrik Üretim)	705 kWh	3,24 TL	2.284,20 TL

Tablo 17'de verilen türketim değerleri gaz motorunun herhangi 1 saat çalışması sonucunda alınan gerçek değerlerdir. Bu değerlere göre trijenerasyon sisteminin 1 saatlik çalışmasındaki kârı;

= Elektrik Üretimi + Isı Üretimi - (Doğalgaz Tüketimi+Gaz Motorunun 1 Saatlik Maliyeti)

= (2.284,20 TL+ 952,50 TL) - (2.608,58 TL + 151,87 TL)

= 476,25 TL

2020 yılı için;

Andon Sistemi kullanımında kazanılan zaman faydamız = 583 saattir.

Trijenarasyon ve Andon Sistemi İle Sağlanan Kazanç =476,25 TLx 583 saat =277.653,75 TL

2021 yılı için;

Andon Sistemi kullanımında kazanılan zaman faydamız = 916 saattir.

Trijenarasyon ve Andon Sistemi İle Sağlanan Kazanç ==476,25 TL x 916 saat =436.245 TL

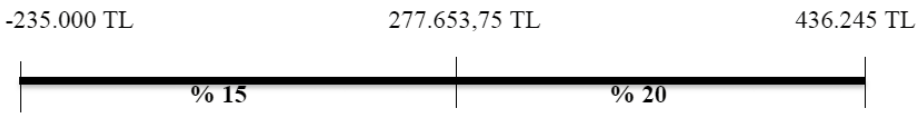
Nakit Akışın Bugünki Değeri için;

Sistemin maliyet analizinin yapılmasında doğalgaz ve elektrik birim fiyatlarının 2020 ve 2021 yılları içerisindeki artış oranları baz alınarak net bugünkü değer hesabı yapılmaya çalışılmıştır.

Tablo 11. 2020 ve 2021 yılı Elektrik Birim Fiyatları

2020	Oca.20	0,2483	2021	Oca.21	0,2887
	Şub.20	0,2483		Şub.21	0,2887
	Mar.20	0,2483		Mar.21	0,2887
	Nis.20	0,252		Nis.21	0,2879
	May.20	0,252		May.21	0,2879
	Haz.20	0,252		Haz.21	0,2879
	Tem.20	0,2645		Tem.21	0,3465
	Ağu.20	0,2645		Ağu.21	0,3465
	Eyl.20	0,2645		Eyl.21	0,3465
	Eki.20	0,2875		Eki.21	0,3465
	Kas.20	0,2875		Kas.21	0,3465
	Ara.20	0,2875		Ara.21	0,3465

Tez çalışmasında yapılması düşünülen sistemin faydasını etkileyen en büyük unsur birim fiyatlardır. Bu yüzden Net bugünkü değer hesabında birim fiyatlardaki artış oranlarının kullanılması düşünülmüştür. Tablo 19'da oluşturulan elektrik birim fiyatları incelendiğinde 2020 yılında %15, 2021 yılında ise %20'lik bir artış meydana gelmiştir.



Net Bugünki Değer(NBD);

$$NBD = -235.000 + \frac{277.655,75}{(1+0,15)} + \frac{436.245}{(1+0,15)(1+0,20)}$$

$$= -235.000 + 241.439 + 316.119$$

$$= 322.558 \text{ TL}$$

Yapılan çalışma sonucunda oluşan NBD değerinin pozitif olması, yatırımın doğru ve yapılabilir bir yatırım olduğunu göstermektedir.

8. SONUÇ

Bu tez çalışmasında karmaşık yapılardaki Trijenerasyon Sistemlerinin bakım ve işletme yönetim sistemi ile nasıl verimliliğinin arttırılabileceği araştırılmıştır. Bu amaçla Toplam Üretken Bakım ile Andon Tekniğini beraber kullanılması ile verimliliğin arttırılması sağlanarak, yönetiminden işçiye kadar tüm çalışanların katılımının sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla makine dairesinde kurulması planlanan Andon Sistemi için var olan kontrol noktaları ve ek kontrol noktaları belirlenmiştir. Sistemin tam verimli çalışması için ek kontrol noktalarına ek sensörler konulması düşünülmüştür. Sistemin çalışması ile ilgili bir örnek verilmiştir. TPM ve Andon Sisteminin beraber kullanılması ile duruş kayıpları (genel arızalar, ekipman arızaları ve plansız bakım)'nın önüne geçilmesi sağlanarak, sistem çalışma sürelerinin arttırılması sağlanacaktır. Ayrıca önceki sistemde motorun başında her zaman bir personel olmadığından dolayı motor herhangi bir arızadan dolayı kendini kapattığında personeller bundan haberdar olmayacaktır. Bu duruşun farkedilip tekrardan sistemin devreye alınması zaman kaybına neden olacaktır. Ancak kullanılacak yeni sistemle anlık veriler ekranda görünecek ve zaman kaybı önlenmiş olacaktır. Böylece sistemin Genel Ekipman Verimliliği (OEE) arttrılmasını sağlanacaktır.

Andon Tekniğinin sağlayacağı düşünülen yararların en başında, sistemde arızalı, arızaya düşmesi veya çalışmayan teçhizattan daha hızlı haberdar olmayı ve normalden daha hızlı aksiyon alarak arızaya düşmesini önlemeyi ve arızadan dolayı daha büyük problemlerin oluşmasını engellenmesi düşünülmektedir. Kurulacak bu sistem yardımıyla arıza ve maliyetlerin düşmesi ile verimin artması amaçlanmış, aynı zamanda Toplam Üretken Bakım ile de bütün personellerin bakımın bir parçası olması amaçlanmıştır.

Kaynakça

Derinpınar, A. (2018). Gaz Motorlarında Kojenerasyon Sisteminin Bir Boyutlu Similasyonu. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi.

Emir , T., Karagöz, M., & Işık, M. (2012). Endüstriyel İşletmlerde Bakım Kültürünün Değişimi. Batman University International participated Science and Culture Symposium.

Görener, A., & Yenen, V. Z. (2007). İşletmelerde Toplam Verimli Bakım Çalışmaları Kapsamında Yapılan Faaliyetler ve Verimliliğe Katkıları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 47-63.

Lei, G., Lu, G., & Song, Y. (2015). Design of Wireless Andon System based on ZigBee. International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (s. 821-825). Chine: Nantong University .

Othan, O. (2021). Kafkas Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Hastanesi Enerji İhtiyacının Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemi ile Kaşılaştırmanın İncelenmesi. Kars: Yüksek Lisans Tezi.

UÇAK BAKIMINDA YENİ TRENDLER

Necmi KARA

TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
Fethiye Mahallesi, Havacılık Bulvarı No:17
06980 Kazan-ANKARA / TÜRKİYE
nkara@tai.com.tr

ÖZET

Bu bildiriede, uçak bakımının hava yolu şirketlerinin faaliyetlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi olduğu ve Endüstri 4.0 çağında bir çok alanda olduğu gibi uçak bakım ve onarımında da önemli yenilikler yaşandığı vurgulanmıştır. Bu yeniliklerden bazıları incelenmiş; geleceğin hangar konsepti, büyük verinin kullanımı, dron ve robotlar, artırılmış gerçeklik ve eklemeli imalatın uçak bakım ve onarımında fark yaratarak havayollarının maliyetlerini düşürüp plansız bakım ve onarımları azaltırken, uçakların kullanım verimini de artıracağı dile getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geleceğin Hangarı, Dron, Robot, Büyük Veri, Artırılmış Gerçeklik, Eklemeli İmalat

ABSTRACT

It is ephasized that aircraft maintenance, repair and overhaul is one of the factors most affecting airlines activities and like many other areas, aircraft maintenance and repair is subject to many innovations on the industry 4.0 era. Some of these innovations are reviewed. It is evaluated that hangar of the future concept, use of big data, drones, robots, augmented reality and additive manufacturing would make a difference for maintenance and repair processes and enhance effective use of the aircraft while reducing unscheduled maintenance and dropping expenses of airlines.

Key Words: Hangar of the Future, Drone, Robot, Big Data, Augmented Reality, Additive Manufacturing

1. GİRİŞ

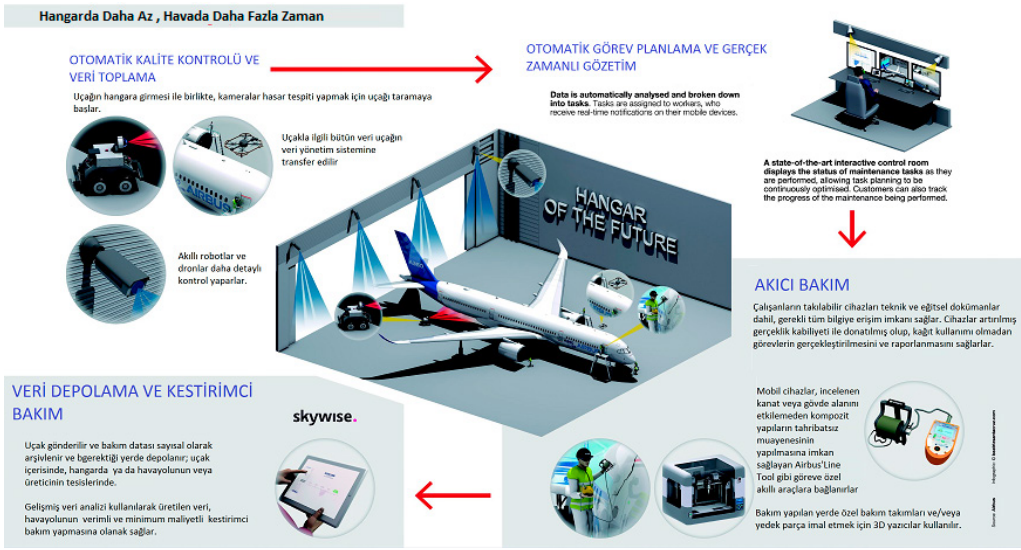
Bakım, bir sistemin kullanım ömrü boyunca bozulabilecek karakteristiklerini daha önceden belirlenmiş nitelik veya nicelik seviyelerinde tutmak veya bu seviyeye getirmek, bir ürünü restore etmek veya çalışılabilir durumda tutmak için servis, tamir, modifikasyon, revizyon,kontrol ve durum tespiti yaparak gerçekleştirilen işlemlerin tümü olarak tanımlanmaktadır. Bakımın karakteristikleri emniyet, güvenirlik, uçuşa hazır durumda bulunma şeklinde sıralanabilir[1]. Günümüzde değişen global dinamiklere ve rekabetçi güçlere de bağlı olarak Ana Üretici firmalar (OEM) ve Bakım Tamir ve Onarım (MRO) şirketleri bu karaktersistikleri sağlamak ve bakım maliyetini düşürmek için parça sayısını ve çeşitliliğini azaltmak, müşteriye yakın yerde parça imalatı yapmak gibi birçok değişik konu üzerinde çalışmaktadırlar[2]. Bu sebeple OEM ve MRO organizasyonlarının operasyon ve ticari modelleri hızla değişmektedir [3]. Bunun sonucu olarak günümüzde bakım bilimi bir dönüm noktasina gelmiştir. Örneğin, standart bakımın ötesini isaret etmekte olup, belirli bir durumdaki muhtemel çıktıları sağamanın dışında, bu çıktıları analiz ederek izlenmesi gereken en iyi yolu gösteren yaklaşımlar benimsenmeye başlanmıştır[4].

2. GELECEĞİN HANGARI

Uygun boyut ve yerleşim alanlarına, sağlam, düzgün seviyede zemine ve gerekli ekipmana sahip bir hangar, uçak bakımında kilit rol oynar ve hali hazırda uçak bakımında kullanılan tesis, ekipman ve yöntemler son derece gelişmiştir(Şekil 1). [5].

Şekil 1: Standart Bir Bakım Hangarı

Ancak Airbus firmasının, yenilikçi teknolojilerle metodların yaratıcı kullanımlarını içeren, MRO sektörünü yeniden şekillendirmeyi hedeflediği geleceğin hangarı (Hangar of the Future - HoF) bunların çok ötesinde özelliklere sahiptir [6] Airbus'un projesi, çeşitli teknolojileri birleştirerek bakım faaliyetlerini sayısallaştırma ve otomatikleştirme yolu ile toplam bakım prosesinin verimini artırma amacı taşımaktadır. HoF, yenilikçi teknolojilerin ve nesnelerin interneti ile bağlantılı durumdaki akıllı ekipmanların, uçak teknik dokümantasyonu ile uyumlu bir biçimde çalışmasını sağlayacaktır (Şekil 2).



Şekil 2: Geleceğin Hangarı

3. BÜYÜK VERİ ANALİTİĞİ

Günümüzde havayollarının kullandığı uçaklardaki algılayıcılar tarafından kaydedilen gerçek zamanlı bilgi, operasyonel ve geçmişe dönük bakım durumu ile birlikte kullanılabilecek seviyededir[7]. Değişik kaynaklardan toplanan tüm verinin anlamlı ve işlenebilir biçime dönüşmüş hali olarak tanımlanan büyük veri sayesinde bakım kavramı, izlenen ekipmanlardan veri alınarak, arıza gerçekleşmeden bakımın doğru ve yeterli bir biçimde yapılmasını sağlamak ve belirli bir durumdaki muhtemel çıktıları sağlamanın dışında bu çıktıları analiz ederek izlenmesi gereken en iyi yolu göstermek yönünde evrilmektedir. Analiz yöntemleri bilgi yığınını küçük, faydalı bilgiye dönüştürüp bir problem oluşabileceği bilgisini verirken, bu problemin çözümü için seçebilecek çok sayıda cevap ve aksiyon da vermektedir. [8]. Uçaklarının durumuna şeffaflık getirebilir, motor ve diğer komponentlerin durumu daha iyi görülebilir. Ayrıca büyük verinin doğru kullanımı sayesinde uçak üzerinde parçanın fiziksel değişim anına kadar insan faktörü ortadan kaldırılmış olur.

4. KALİTE KONTROL ROBOTLARI VE DRONLAR

Büyük bir yolcu uçağının motor, gövde ve sistemlerinin kapsamlı bir kontrolü günler alabilir; ancak dronların farklı kullanımı bu prosesi oldukça hızlandırabilmektedir Kalite kontrol robotları ve dronlar tipik bir görsel kontol zamanını önemli ölçüde azaltırken, çok daha hassas kontrol yapma, bakım maliyetini azaltma ve emniyeti artırma potansiyeline sahiptir. Rolls –Royce firmasının motor-kontrol robotu bunlara bir örnektir. Firmanın 2018 yılında açıkladığı Akıllı Motor (IntelligentEngine) vizyonunun bileşenlerinden birisi de robotiklerin kullanımıdır[9].

Easyjet, her gün en az bir yolcu uçağına yıldırım düştüğünü bildirmiştir. Bu gibi olaylarda uçak sertifikalı teknisyenler tarafından kapsamlı bir kontrolden geçirilir. Bir çok şirket artık bu gibi periyodik olmayan kontrollerde dronları ve robotları kullanmaya başlamıştır [10]. Airbus uçağın kontrolünde kalite kontrol dronlarını kullanmaktadır (Şekil 3). Gelecekte dron uygulamalarının ve robotiklerin bu kontrolü dakikalar içerisinde yapabilecek duruma gelecek gibi görünmektedir. Önceden belirlenen bir rotada uçağın etrafında uçan dronlar yerde bilgisayarın başındaki kişilere veri gönderebilmektedir. Benzer şekilde yüksek çözünürlüklü kameraya sahip kontrol robotları uçağın durumunu kontrol ederek uzaktaki kontrol merkezine aktarabilmektedir [11]

Uçağın boyanmasında ya da motorun parçalarının temizlenmesi gibi zaman alıcı ve sağlık açısından tehlikeli görevlerde robotlar ve dronlar oldukça avantajlıdır. Amerikan Hava Kuvvetlerinin geliştirdiği LARPS (Large Aircraft Robotic Paint Stripping) sistemi boya işlemini yapmaktadır. Benzer şekilde ARMS (Automated Robotic Maintenance System), bir motorun normalde 16 saatte yapılan ön montaj kısmını temizleme işlemini 90 dakikada tamamlamaktadır. Her iki örnekte de robotik uygulamalar bakım zamanını kısaltmış ve işlemi daha güvenli hale getirmiştir.

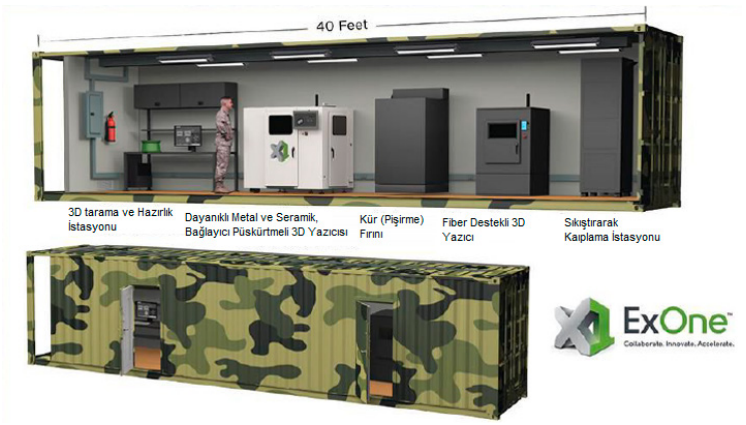
Şekil 3: Airbus Kalite Kontrol Dronu

5. EKLEMELİ İMALAT

Tabaka tabaka malzeme ekleyerek parça oluşturma işlemine ise eklemeli imalat (additive manufacturing) denilmektedir [12].

Yönlendirilmiş enerji yayılımı (DED) başta olmak üzere eklemeli imalat prosesleri; yönetilmesi karmaşık, zaman alıcı ve pahalı olan, ihtiyaç duyulduğunda üretimden kalkmış ve klasik yöntemlerle yeniden imal edilmeleri uzun sürebildiği için hava araçlarının yerde kalmasına da neden olabilen yedek parçalar açısından potansiyel bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Büyük parçaların atılmak yerine tamir edilerek kullanılmaya devam etmesi ekonomik kazanımları, çevre kirliliğine daha az etkisi olması ve yeni parça beklemekle kaybedilecek zamanı azaltma gibi bir çok faydalar sağlamaktadır.

ExOne Co., eklemeli imalat şirketi endüstriyel standard bir yük konteynırı içerisinde oluşturduğu 3D baskı fabrikasında kum ve metal 3D yazıcıları ile bağlayıcı (yapıştırıcı) püskürtme tekniğini kullanarak bakım parçası üretmek üzere Amerikan Savunma Bakanlığının açtığı ihaleyi kazanmıştır [13]. Yazılım ve eğitim desteği ile teknolojinin sahada kullanımı basitleştirilerek parça imalatının minimum teknik bilgi ile yapılması sağlanacaktır(Şekil 4).



Şekil 4: ExOne Firmasının Seyyar Fabrikası

Parçalar dışında bakımda kullanılan ekipman ve takımların imalatında da eklemeli imalat kullanılmaktadır. Örneğin Royal Netherlands Air Force, bakımda özel uygulamalar için 3D baskı takımları kullanmaktadır (Şekil 5). Advanced Composite Structures (ACS) firması ise, talaşlı imalat yöntemi ile haftalarca süren ve 2000 $ maliyeti olan kompozit fairing kalıbını FDM yöntemi ile 1 gün sürede üreterek 400 $'a mal etmiştir(Şekil 6) [14].

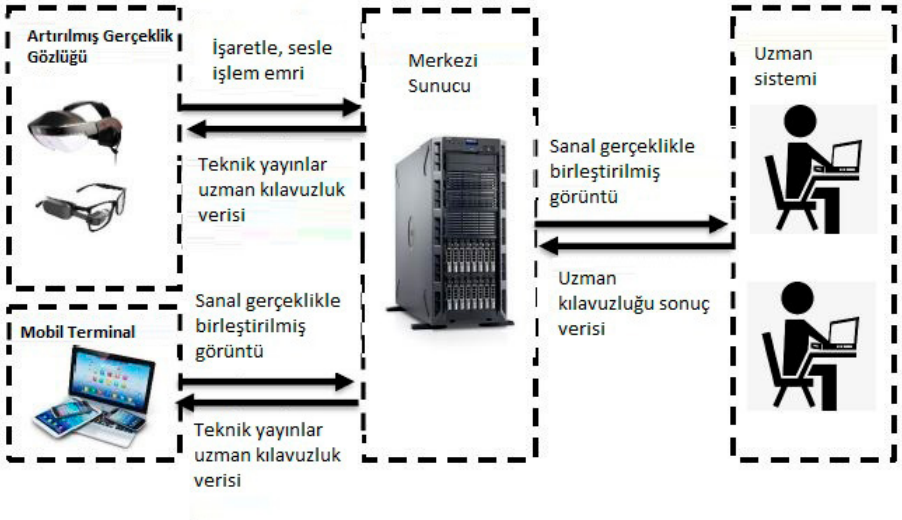
Şekil 5: Bakımda eklemeli imalat takımının kullanılması

Şekil 6: Uçak kamera fairingini üretmek için kullanılan kompozit kalıp

Takım imalatında eklemeli İmalat proseslerinin kullanılması, sertifikasyon sıkıntısı olmadan bu teknolojinin bütün avantajlarını sağlamakta, hafif ve ergonomik takımlar yapmak mümkün olmaktadır.

6. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK

Sanal ortam ile gerçekliğin üst üste bindirildiği artırılmış gerçeklik(Augmented Reality-AR) hem teknisyenlein eğitiminde, hem de imalat ve bakımda kullanılmaya başlanmıştır[15]. Artırılmış Gerçeklik akıllı bakım sistemi çalışan verimini önemli ölçüde artırabilmektedir. Sesli olarak hızlı navigasyon ve sarf malzeme sorgusunu desteklemekte, gerekli malzeme bilgisini sesli olarak sorgulayabilmekte ve bakım takımları tavsiye etmektedir. Bakım teknisyeni işaretlerle (sadece artırılmış gerçeklik gözlükleri ile desteklenir), sesle ve girişim etkileşimi ya da sanal obje etkileşimi gibi diğer yöntemlerle etkileşim sağlayabilmektedir. Talimatı aldıktan sonra uçak standart teknik dokümanlarının veri edinimi metin, resim, ses, videogibi farklı tipte veri yi içeren XML dosyasının analizi ile gerçekleştirilnektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Sistem Donanım Topolojisi

7. SONUÇ

Endüstri 4.0 çağında her alanda olduğu gibi havacılık alanında da teknoloji bütyük bir hızla gelişirken, yakın gelecekte uçak bakım onarımının çok farklı bir biçime bürüneceği öngörülebilir. Büyük fırsatları da işaret eden bu gelişmelerin ışığında havacılık alanındaki bakım firmalarımızın bu teknolojilerin önemini kavrayarak yakından takip etmeleri, gerekli yatırımları yapıp, bakım proseslerine bu yöntemleri entegre etmeleri önemlidir.

Kaynaklar

[1] http://genelhavacilik.blogspot.com/2011 08 01, [04/03/2015]

[2] Aviation Week, December 9, 2013, p.12

[3] MRO 2025,Thorndyke, A., Leikin, G., Frost &Sullivan Brochure, Identifying

Opportunities to Accelerate Growth, 2018, Sheet 1

[5] https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/maintenance-evolution-prescriptive/, 20/09/2022 tarihinde girildi.

[6] https://www.tronair.com/resources/aircraft-maintenance-hangar-checklist/, 23/09/2022 tarihinde girildi.

[7] Khattak, E.T., Buhler, P., (2016), Big Data Fundamentals, ISBN-13: 978-0-13-429107-9, Prentice Hall, Indiana

[8] https://opsveda.com/enabling-decision-automation-with-prescriptive-analytics- 2/, 20/8/2022 tarihinde girildi.

[9] https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/17-07-2018-rr-demonstrates-the-future-%20of-engine-maintenance-with-robots.aspx, 20/09/2022 tarihinde girildi.

[10] https://www.spartan.edu/news/aircraft-inspection-robots-and-drones-some-can- fit-in-your-hand/, 30/9/2022 tarihinde girildi.

[11] https://www.prescouter.com/2019/12/emerging-technologies-in-aircraft-maintenance-robots-and-drones/, 02/10/2022 tarihinde girildi.

[12] Dewhirst, J., Wieland, T., Cook, D., Robles, J.C., Technology Business Case: Additive Manufacturing, MERA-Golisano Conference, 2015, Troy, MI, USA

[13] Manufacturing Engineering, April 2021, ExOne Gets U.S. DoD Contract for 3D Printing Pod, Sht 23

[14]D. Wimpenny, P. M. Pandey, L. J. Kumar, Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies, 2017, Springer ISBN 978-981-10-0811-5

[15] Hongli, S.,Qingmiao, W., Weixuan, Y., Yuan, L., Application of AR Technology in Aircraft Maintenance Manual, Journal of Physics: Conference Series,2021

UÇAK MOTOR BAKIMINDA YAĞ SİSTEM ELEMANLARINDAKİ HASARLARIN ERKEN TESPİTİ AMACIYLA KULLANILAN MANYETİK ÇİP DEDEKTÖRLER

Seyid Fehmi DİLTEMİZ[1], Özge ALTUN[2]

[1]Dr.Öğr.Üy., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü
fdiltemiz@ogu.edu.tr

[2]Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
okutlu@ogu.edu.tr

ÖZET

Uçak motorlarında, meydana gelebilecek arıza ve hasarlanmaların önceden tespit edilmesi, uçuş emniyetini etkileyebilecek düzeydeki problemlerin büyümeden önlenmesi için farklı birçok sistem kullanılmaktadır. Motorların kullanımları esnasında yağlama sistemi içerisinde çalışan parçalarında meydana gelen aşınmayı kontrol edebilmek amacı ile periyodik olarak yağ analiz ve manyetik çip detektör incelemeleri yapılmaktadır. Motorların yağlama sisteminde bulunan manyetik çip detektörler, özellikle motor açısından kritik öneme sahip yataklar başta olmak üzere, çeşitli motor parça hasarlarının ve uçuş emniyetini etkileyebilecek katastrofik boyutta olayların erken tespiti amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, uçak motorlarında önleyici bakım işlemleri kapsamında kullanılan Manyetik Çip Detektörlerin, kullanım amaçları, çalışma prensibi ve örnek hasar mekanizmaları hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak, manyetik çip dedektör erken uyarı sisteminin bir uçak kazasını nasıl önlediği gerçek bir örnek üzerinden açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçak Motorları, Manyetik Çip Detektör, Uçak Bakım, Uçuş Emniyeti

1. GİRİŞ

Gaz türbinleri, günümüzde farklı ülkelerde bulunan az sayıdaki üretici tarafından sivil ve askeri amaçlarla üretilmektedir. Gaz türbinleri üretim teknikleri, kullanılan malzemeler, çalışma koşulları açısından karmaşık ve ileri seviyede teknolojik gereksinime sahip ünitelerdir. Dünyada üretilen gaz türbinlerinin yaklaşık dörtte üçü havacılık endüstrisinde, kalan kısmı ise enerji üretimi, deniz taşımacılığında kullanılmaktadır.

Havacılık endüstrisinde emniyet en önde gelen gerekliliklerden birisi olarak öne çıkmaktadır. Motor sistemlerinde de farklı üreticiler bulunmakla birlikte, bu üreticilerin tamamında göz önünde bulundurulan başlıca

faktör uçuş emniyetidir. Havacılık endüstrisi kadar yüksek olmasa da diğer kullanım alanlarında da gaz türbinlerinin emniyetli çalışması çok önemlidir. Bu gruptaki türbinlerin emniyetli çalışma ihtiyacı, ilk yatırım ve hasar onarım maliyetlerinin çok yüksek olması, enerji üretiminde veya deniz ulaşımında duraklamaların istenmemesi gibi nedenlerden dolayıdır.

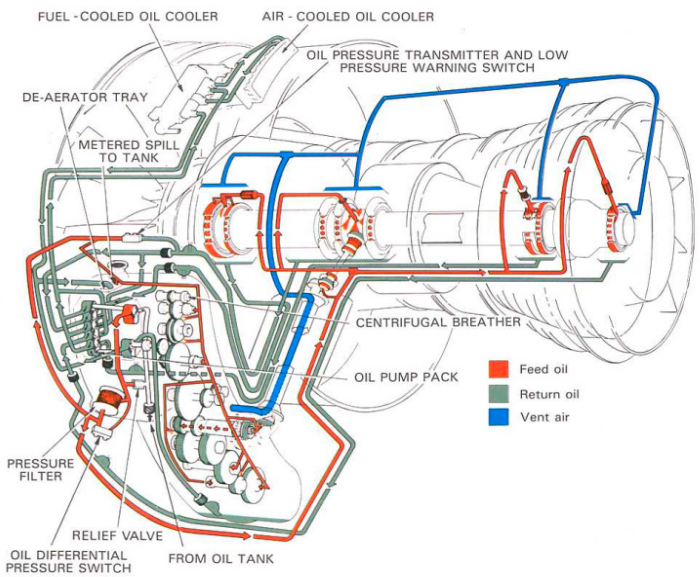
Gaz türbinlerinin servis ömrü boyunca, uçuş emniyetinin korunması, güvenli ve sağlıklı bir şekilde çalışması ve motor sağlığının izlenmesi amacıyla kullanılan birçok araçtan birisi de yağ sisteminde kullanılan manyetik çip detektörlerdir. Havacılık endüstrisinde, hasar veya arıza henüz oluşmadan proaktif bir yaklaşımla sistemlerin düzenli olarak kontrol edildiği koruyucu önleyici bakım konsepti büyük önem taşımaktadır [1,2]. Bu çalışmada, motorların bakım işlemlerinin önemli bir parçası olarak, önleyici bakım ve erken uyarı amacıyla kullanılan Manyetik Çip Detektörler hakkında bilgi verilmiştir.

2. MOTOR YAĞ SİSTEMİ

Motorlarda yağlama sistemi, birbirleri ile karşılıklı çalışan dişliler, dişli grupları ve yatak vb. sistem elemanlarının yağlanması ve soğutulması için gereklidir. Sistemdeki elemanların sürekli olarak yağlanması yoluyla parçalar arasında sürekli bir yağ filmi oluşturulmakta ve metal metal teması önlenerek çalışma esnasında aşınma oluşumu engellenmekte veya büyük ölçüde yavaşlatılmaktadır. Ayrıca parçaların üzerinde oluşan yağ filmi sayesinde ortam atmosferi ile olan etkileşimleri engellenerek korozyondan korunmaları sağlanmaktadır.

Uçak motorlarında bulunan yağ sisteminde; yağ tankında bulunan yağ, pompalar vasıtasıyla basınçlandırılarak yatak bölgelerine, dişli kutularına ve yağ ile çalışan diğer sistem ünitelerine gönderilir. Sistem ünitelerinin yağlanması ve gelen yağ ile soğutulması sağlandıktan sonra dönüş hatlarından yağ tankına tekrar dönüş yapılarak devri daim sağlanır. Sistem içerisindeki ünitelerde, yatakların, dişlilerin ve diğer ünitelerin yağlanması esnasında sıcaklığı artan yağ, ısı değiştiricilerden geçirilerek sıcaklığı düşürülür. Örnek bir motor yağ sistemi ve elemanlarının genel görünümü Şekil 1.'de verilmiştir.

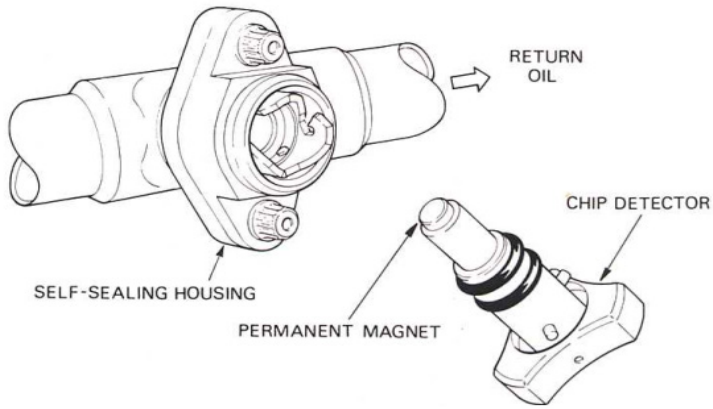
Yağ sisteminde, yatak, dişli ve dişli gruplarının çalışması esnasında ortaya çıkan kirlilik, parça kopmaları, aşınmalar vb. parçacıklar da ilgili bölgeden toplanarak dönüş hattı vasıtasıyla yağ tankına iletilir. Aşınma sonucu ortaya çıkan bu parçacıklar sistemden ayrılmalı ve böylelikle yağlanan parçaların daha fazla aşınmasının önüne geçilmelidir. Bu parçacıkların olumsuz etkisi yağ filminin kırılması ve parçaların direkt aşındırıcı etkisi şeklinde iki yolla gerçekleşmektedir. Aşınan serbest parçacıkların, sistemde bulunan manyetik çip detektör ve filtreler tarafından tutularak, yağ tankından tekrar besleme hattına girmesi önlenmektedir.



Şekil. 1 Bir Uçak Motorunda Yağ Sistemi Hatlarının Görünümü [3]

3. ÇİP DEDEKTÖRLERİN ÇALIŞMA ŞEKLİ VE KULLANIM AMAÇLARI

Manyetik Çip Detektör, motor üzerinde yağ dönüş hattında bulunmaktadır, manyetik özellik gösteren ve yağ akış hattı içerisinde kalan uç kısmı, parçacıkları kendine çekerek tutar ve bu sırada yağ akışına engel teşkil etmez. Mıknatıslanma özelliğine sahip metalleri uç kısmında biriktirir. Uç kısımda genellikle kalıcı mıknatıs malzemeler seçilmekle beraber, elektro mıknatıs kullanılan bazı uygulamalarda mevcuttur. Üzerinde biriken parçacıkların düzenli aralıklarla kontrol edilebilmesi amacıyla ulaşılabilir bir yere konumlandırılır ve kolaylıkla sökülüp takılabilen bir şekilde tasarlanır. Ayrıca bazı çip dedektör tiplerinde, üzerlerinde biriken talaş miktarı belirli seviyenin üzerine çıktığında uyarı verecek donanım mevcuttur. Bu tip dedektörler üzerinden kullanım sırasında sabit bir akım geçirilmekte, üzerinde biriken talaş miktarına göre elektriksel dirençte meydana gelen değişim sayesinde uyarı vermektedir. Şekil 2'de örnek bir manyetik çip detektör şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil. 2 Manyetik Çip Dedektör [3]

Motorlarda uçuş emniyeti ve güvenilirliğin artırılması amacıyla yağın tanka ulaşmasından önce dönüş hattı üzerinde motor üretici firmalara göre çip dedektör, manyetik çip dedektör, yağ kirlilik dedektörü vb. farklı şekillerde isimlendirilen sistem elemanları kullanılmaktadır. Çip dedektörlerde uç kısımları mıknatıs özelliğine sahip olup, bu özelliği sayesinde başta yatak ve dişli grupları olmak üzere ünitelerden kopan demir esaslı parçacıklar tutulmaktadır.

Çip dedektör sayesinde motorlarda meydana gelebilecek ciddi düzeydeki arızaların, başlangıç aşamasında tespit edilerek arızaların büyümeden önlenmesi, muhtemel uçuş emniyetini etkileyebilecek düzeydeki olayların ve potansiyel kazaların önüne geçilmektedir. Erken aşamalarda tespit edilen hasarların tespiti, önemli olayların önlenmesinin yanında, oluşan hasarların başlangıç aşamalarında tespit edilmesinden dolayı, parçaların ileri seviyede hasarlanmadan tekrar kullanımına olanak sağlayarak ekonomik olarak da önemli katkı sağlamaktadır.

4. ÇİP DEDEKTÖRDE TESPİT EDİLEN TALAŞ TİPLERİ

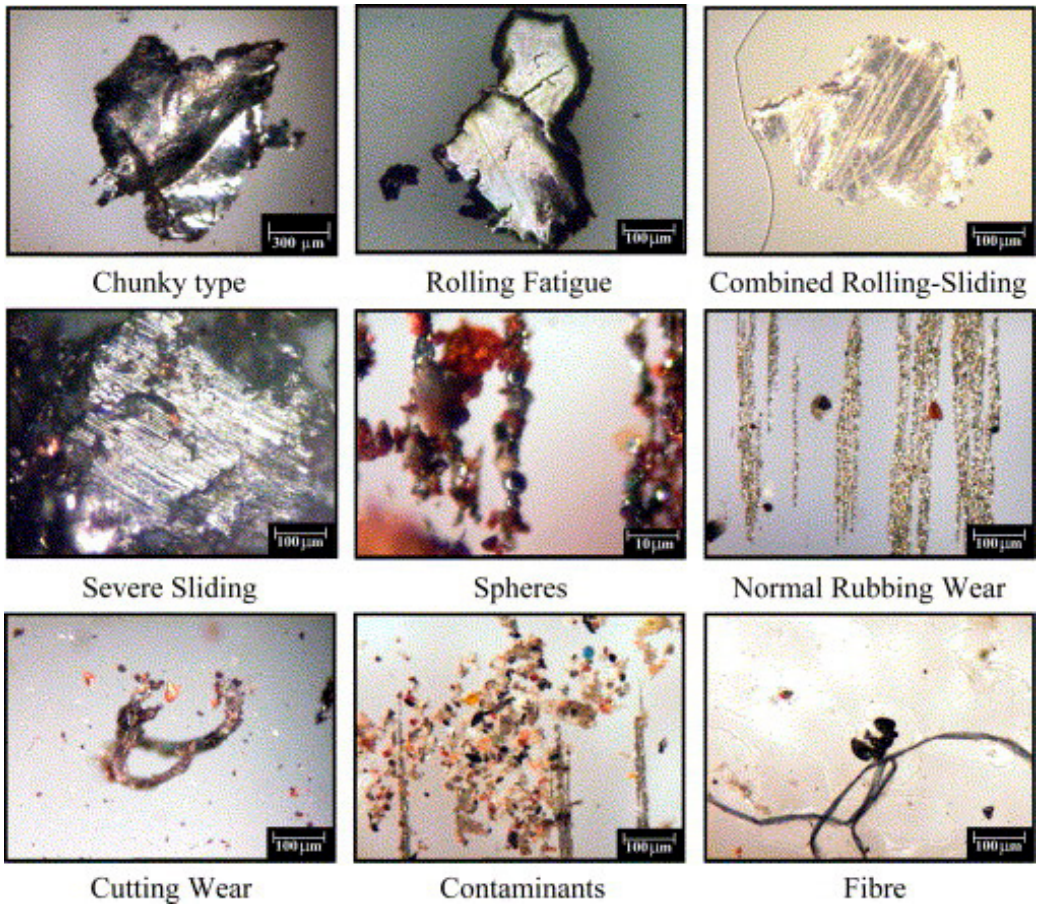
Çip detektörlerde çeşitli boyut ve formlarda partiküller toplanır. Bu partiküllerin morfolojisi, malzemesi ve boyutları yağ sistemi içerisinde çalışan parçalar üzerinde meydana gelen hasarların türleri ile yakından ilgilidir. Hasarlanan parçaların konumları ve hasarlanma derecelerinin şiddetlerinin belirlenmesi, gerekli düzeltici işlemlerin yapılmasına ve tedbirlerin alınmasına olanak sağlar. Şekil 3'de üzerine tutunmuş yüksek miktarda metalik talaşlarla birlikte çalışan bir motor üzerinden manyetik çip dedektör görülmektedir.

Şekil 3. Üzerine tutunmuş yüksek miktarda metalik talaşlarla birlikte manyetik çip dedektör [4].

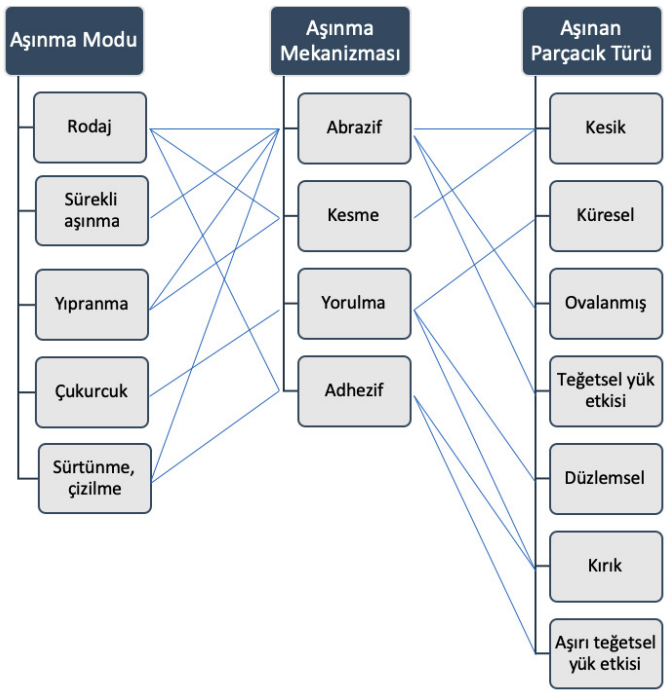
Çip dedektörlerde tespit edilen parçacıkların metalurjik olarak analizi yapılarak motorun bakım el kitaplarında ve teknik dokümanlarda belirtilen bilgilerine göre bakım ekibi tarafından düzeltici işlemler uygulanır. Bu işlemler hasarın seviyesine göre; parçaların sökümü, kontrolü, değişimi, yağın veya filtrelerin yenilenmesi şeklinde olabilmektedir.

Çip dedektör kontrollerinde tespit edilen çeşitli parçacık örnekleri şekil 4'de gösterilmiştir. Bu parçacıklar şekil 4'de de görüldüğü gibi türlerine göre sınıflandırılmakta, Elektron Mikroskobu ile birlikte çalışan EDX dedektörleri ile veya yağın yakılması ile spektrometrik analizlere tabi tutularak, hangi elementlerden meydana geldiği belirlenmektedir [5,6]. Bu analizlerin temel amacı, aşınmanın konumunu ve şiddetini belirleyerek gerekli düzeltici işlemin ne olacağına karar vermektir.

Birlikte karşılıklı sürtünmeyle çalışan, yataklar, dişliler vb. parçaların bulunduğu her sistem de bir miktar aşınma ve buna bağlı yağda gezen parçacıklar doğal olarak bulunacaktır. Çip dedektörlerden biriken talaş ve yağın kendisinden alınan örnekler ile yapılan analizler; bu aşınmanın normal ve beklenen seviyede mi, yoksa ilave bakım ihtiyacına gereksinim duyulacak seviyede mi olduğuna karar vermemizi sağlar. Şekil 5'de analizlerde yararlanılan, aşınmış parçacıklar ve aşınma mekanizmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Bu analizler ağırlıklı olarak bakım personelinin deneyimine ve sistemin daha önce tectübe edilmiş aşınma hasar bilgisine dayanmaktadır. Örneğin rodaj aşamasında ince uzun saç teli formunda talaş, normal kabul edilmektedir.



Şekil 4. Motorlarda aşınmaya bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli parçacık tipleri [7]



Şekil 5. Aşınmış parçacıklar ve aşınma mekanizmaları arasındaki ilişki [7]

5. MANYETİK ÇİP DEDEKTÖR ERKEN UYARI SİSTEM VAKA ÖRNEĞİ

Havacılık endüstrisinde uçuş güvenliğinin ne kadar öncelikli bir konu olduğuna daha önce değinilmişti. Bu kısımda, Avustralyada gerçekleşen bir uçak olayının, can kaybı yaşanmadan sınırlı maddi hasarla atlatılmasında, manyetik çip dedektör erken uyarı sisteminin katkısı açıklanmıştır [8].

Uçak olayı, 2006 yılında amfibik Cessna 208 uçakta meydana gelmiştir. Uçuş esnasında, 4500 feet irtifada, uçak dişli kutusunda bulunan manyetik çip dedektörden pilota, anormal aşınma sonucu tetiklenen kritik uyarı ikazı gelmiştir. Bunun üzerine pilot normal rotasını terk ederek güvenli acil iniş yapabileceği en yakın yere doğru yönlenmiştir. Kritik ikazdan yaklaşık 5 dakika sonra patlama tarzı bir gürültünün ardından motor üzerindeki kontrolünü kısmen kaybetmiş ancak uçağı su üzerine yapısal bütünlüğünü kaybetmeden hafif hasarla güvenli bir şekilde indirmeyi başarmıştır. Şekil 6'da iniş sonrası uçak ve şekil 7'de bu uçağa ait üzerinde talaş birikmiş ve örnek temiz bir çip dedektör görülmektedir. Olay sonrası yapılan incelemede; motorun kompresör kısmını destekleyen 1 numaralı yatağın tamamen hasarlanarak fonksiyon göremez hale geldiği ve çip üzerinde biriken talaşın bu yataktan geldiği tespit edilmiştir.

Şekil 6: İniş sonrası hafif hasarlı Cessna 208 uçağı

Şekil 7: Hasarlı uçağa ait ikaz veren dişli kutusu çip dedektör (sol) ve aynı yerde kullanılan üzerinde talaş bulunmayan örnek dedektör.

Bu olay analiz edildiğinde; kara üzerinde ve yüksek irtifada bulunan uçak, manyetik çip dedektör erken uyarı sistemi sayesinde, yatak ve dolayısı ile motor, tamamen fonksiyon göremez hale gelmeden yaklaşık 5 dakika önce pilot uyarılmış ve uygun önlemlerin pilot tarafından alınması sayesinde can kaybı veya yaralanma olmadan en yakın su kaynağı üzerine iniş yapılarak mürettebat ve yolcular uçağı tahliye edebilmişlerdir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada uçak motor bakımında kullanılan manyetik çip dedektör sisteminin çalışma prensibi, kullanım metodu ve önemi, örnek bir vaka ile birlikte özetlenmiştir.

Çip dedektörler uçak motorlarında motor sağlığının izlenmesi açısından kullanılan en etkin araçlardan birisidir. Motorda meydana gelen bir aksaklığın, arızanın, kötüye gidişin büyümeden bakım personeli tarafından tespit edilerek ilgili bölgeye müdahale edilmesine olanak sağlanmakta, uçuş emniyet ve güvenilirliği artırılmaktadır.

Motorların yağ sistemine ait parçalarda meydana gelebilecek ve hava aracının uçuş emniyetini doğrudan etkileyebilecek hasarlanmaların başlangıç aşamalarında tespiti açısından manyetik çip dedektörler örnek vakada da görüldüğü gibi kritik öneme sahiptir. Uçuş sonrasında yapılan ilk aşamadaki görsel kontroller çok önemlidir. Bakım personeline bu konunun önemi ve hassasiyeti konusunda gerekli bilgilendirmeler yapılmalıdır. Ayrıca geçmişte tespit edilen problemler ve Dünyadaki farklı örnekler konusunda da bilgiler verilerek farkındalıkları artırılmalıdır.

Günümüzde sivil ve askeri olarak kullanılan gelişmiş motor sistemlerinde, eski tip manyetik çip detektörlerden farklı olarak MCD'ler elektronik uyarı özelliklerine sahip olmaya başlamıştır. Bu özellik sayesinde kişisel tespite ilave olarak sistem tarafından problemlerin tespitine yönelik sistemin etkinliği artırılmaktadır. Yeni tasarımı yapılacak sistemlerde bu özelliğin dahil edilmesi avantajlar sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Chandrasekhara Murthy C.S., Failure Analysis of Liquid-Nitrided Low Carbon Steel Gears, Wear, 95, 131-141, (1984)

[2] Sun J., Wang L., Li J., Li F., Lu H., Online oil debris monitoring of rotating machinery: A detailed review of more than three decades, , Mechanical Systems and Signal Processing, 149 (2021)

[3] Rolls Royce, The Jet Engine, (Fifth ed.), ISBN 978-1119065999, Rolls-Royce plc, Derby, England (1996)

[4] Sradecky H., 2013, Incident: Icelandair B752 near London on Jun 4th 2009, engine problem, https://avherald.com/h?article=41aaa9d3/0000, (Son Erişim: 10.06.2022)

[5] Early wear detection and its significance for condition monitoring, P.Lu, H. E. Powrie, R. J.K. Wood, T. J. Harvey, N. R. Harris, Tribology International 159 (2021)

[6] Lukas M. and Anderson D.P., Lubricant Analysis for Gas Turbine Condition Monitoring, J. Eng. Gas Turbines Power, 119(4): 863-869, (1997)

[7] Raaudni S., Wear particle analysis—utilization of quantitative computer image analysis: A review, Tribology International, 38, (2005)

[8] Australian Transport Safety Bureau, ATSB TRANSPORT SAFETY INVESTIGATION REPORT, Aviation Occurrence Report – 200600563 Final

ÖZGEÇMİŞ

Fehmi DİLTEMİZ

1973 yılında Malatya'da doğmuştur. 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2011 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümünde Termal Bariyer Kaplamalar konusunda doktora çalışmasını tamamlamıştır. Halen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Uçak Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Görevlisi olarak çalışmalarını yürütmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

He was born in Malatya in 1973. He graduated from Yıldız Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering in 1994. In 2011, he completed his doctoral study on Thermal Barrier Coatings at Eskişehir Osmangazi University, Department of Metallurgical Engineering. He is still working as an Assistant Professor in the Department of Aeronautical Engineering at Eskişehir Osmangazi University. He is married and has two children.

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 RealAlternatives 4 Life projesi kapsamında "Yanıcı Gazlar ve CO_2 içeren Soğutma Çevrimleri Eğitmeni" dir. Evli ve iki çocuk annesidir.

She was born in Eskişehir in 1977. He graduated from Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering in 1998. He completed his master's degree in 2001 and doctorate in 2007 at the same university. She is still an Associate Professor of Mechanical Engineering in the Department of Energy at the same university. She has national and international articles and papers on Cooling, Thermal Barrier Coatings, Gas Turbines, and Heat Transfer. She is also a trainer in "Cooling Cycles with Combustible Gases and CO2" within the scope of the Real Alternatives 4 Life project supported by the European Union. She is married and has two children.

VİBRASYON İZLEME SİSTEMİ SEÇİM KRİTERLERİ

B. Emre ORHON[1], F. Kerem AK[2]

[1]Makina Y. Mühendisi, Pro-Plan Ltd. Şti., *emre@proplan.com.tr*

[2]Makina Mühendisi, Pro-Plan Ltd. Şti., *kerem@proplan.com.tr*

ÖZET

Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte, makina bakımına yönelik sürekli durum izleme sistemleri eskiye nazaran daha fazla sayıda üretici firma tarafından, çok daha fazla sayıda fonksiyonel özelliğe sahip olarak ve daha erişilebilir fiyatlarla sunulmaktadır. Bu sayede, sürekli durum izleme sistemlerine yönelik sanayideki talepte artış yaşanmaktadır. Vibrasyon ölçüm ve izleme sistemlerinin seçiminde değerlendirilmesi gereken "koruyucu" ve "diyagnostik" kriterler izlenecek makinaların kritiklik seviyeleri ile ilişkilidir. Bunun yanısıra makinanın bileşenleri, çalışma rejimleri, zemine bağlantı şekli gibi unsurlar ölçüm noktası ve ölçüm metodu seçimi ile birlikte analiz yöntemlerinin belirlenmesinde belirleyici rol oynamaktadir. Vibrasyon izleme programından verim alınabilmesi için her uygulamaya özel olarak bu seçim kriterleri değerlendirilip izleme sistemi yatırımı buna göre yapılmalıdır. Aksi takdirde elde edilen veri makinanın durumunu doğru şekilde yansıtmayacaktır ve erken arıza teşhisinde kullanılamayacaktır. Bu çalışma kapsamında sanayide yaygın olan çeşitli uygulamalarda doğru vibrasyon izleme sistemi özelliklerinin seçimi için hangi kriterlerin dikkate alınması gerektiği incelenecektir.

Anahtar kelimeler: Durum izleme, titreşim, vibrasyon, koruyucu, diyagnostik, makina bakım

1. GİRİŞ

Durum izleme sistemleri, sanayi tesislerinde üretim sürekliliğinin arttırılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesinde kritik öneme sahiptir. Durum izleme sistemlerinde yer alan ölçüm parametrelerinden en öne çıkanı makina arızaları hakkında erken uyarı verme özelliğine sahip olan titreşim (vibrasyon) parametresidir. Piyasada bulunan birçok farklı marka ve model vibrasyon izleme sistemi pek çok özelliği bünyelerinde barındırmaktadırlar, dolayısıyla hangi uygulama için hangi sistemin seçilmesi gerektiğine karar vermek için bazı seçim kritlerlerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

2. VİBRASYON İZLEME SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Vibrasyon izleme sistemleri "koruyucu" ve/veya "diyagnostik" ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanırlar. Koruyucu izlemede amaç makinayı yüksek titreşimlerin verebileceği hasardan korumak, diyagnostik izlemede ise amaç titreşim karakteristiklerini analiz ederek olası arızaları hasar oluşmadan önce erkenden belirleyebilmektedir.

Koruyucu İzleme:

Amaç – Büyük bir hasar oluşmadan önce makinayı durdurmak

Fayda – Makinayı, personeli, diğer makinaları ve çevreyi korumak

Sistem – Kalıcı olarak kurulu donanım, sürekli ölçümler, kontak (röle) çıkışları

Ölçümler – Standartlara uygun geniş bant titreşim ölçümleri

Diyagnostik İzleme:

Amaç – Arıza başlangıçlarını erkenden teşhis etmek

Fayda - Erken bakım planlaması sayesinde sürekli çalışma süresinde artış ve bakım maliyetlerinde azalma

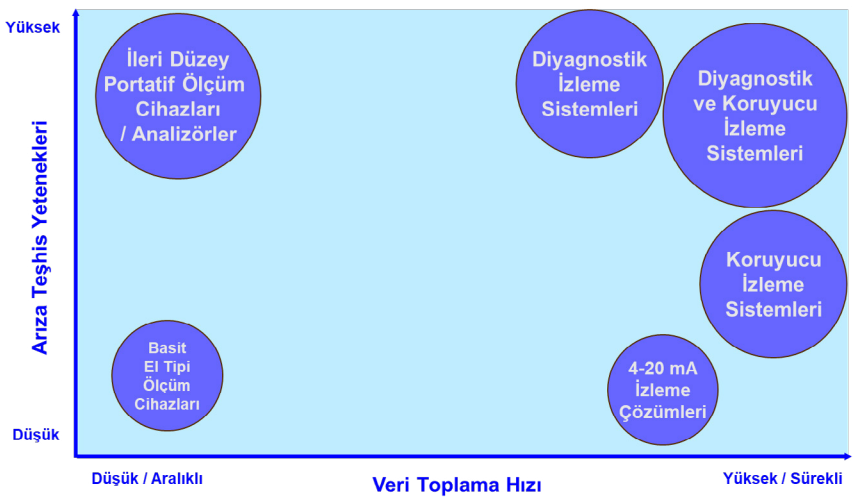
Sistem - Kalıcı olarak kurulu donanım, arıza teşhis grafikleri ve bir veritabanı

Ölçümler - Özelleştirilmiş dar bant analizleri ve diğer proses değerleri ile ilişkilendirme

Piyasada yer alan vibrasyon izleme sistemlerinden bazıları sadece koruyucu, bazıları ise sadece diyagnostik özelliklere sahip iken, bazıları da her iki özelliği de bünyesinde barındırmaktadır. Birçok farklı marka ve model içerisinden fabrikadaki ihtiyaçlara yönelik en uygun olacak sistem seçilirken dikkate alınması gereken kriterlerden en temel olanları sistemin arıza teşhis yetenekleri ve veri toplama hızıdır.

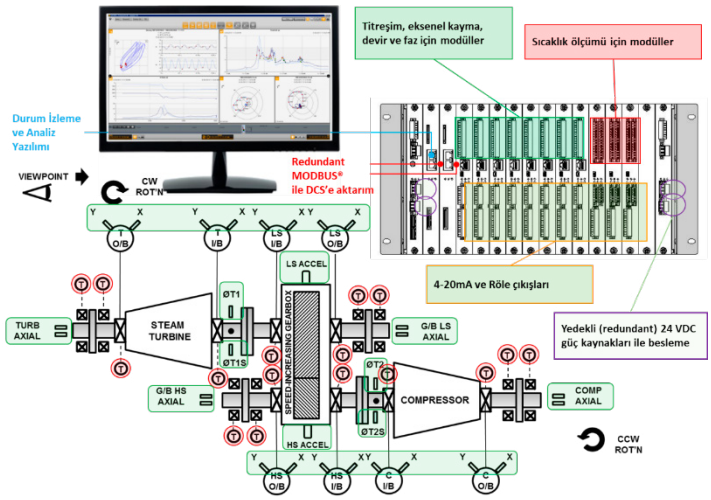
Diyagnostik ihtiyaçlar arttığında kulanılacak sistemin arıza teşhis yeteneklerinin yüksek olması istenir, böylece detaylı analizler sayesinde erken arıza teşhisine imkan sağlanacaktır. Makinanın kritiklik seviyesi arttığında da veri toplama hızının yüksek olması istenir, böylece anlık değişimler gözlemlenebilecek ve titreşim düzeyindeki ani artışlara müdahale edilebilecektir.

Vibrasyon izleme sistemlerinin arıza teşhis yetenekleri ve veri toplama hızına göre sınıflandırılması Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. *Vibrasyon izleme çözümlerinin arıza teşhis yetenekleri ve veri toplama hızına göre sınıflandırılması.*

Seyyar (portatif) titreşim ölçüm cihazları düşük veri toplama hızları ile grafiğin sol tarafında yer almaktadır. Bu cihazlarla en fazla günde bir, haftada bir sıklıkla ölçüm alınabilmektedir. Arıza teşhis yetenekleri düşük olan basit el tipi ölçüm cihazları olabildiği gibi, birçok analiz yetenekleri ile donatılmış ileri düzey analizörler de mevcuttur. Grafiğin sağ tarafında ise veri toplama hızı yüksek olan koruyucu izleme sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde ölçüm sıklığı saniye mertebesindedir. Arıza teşhis yetenekleri bulunmayan transmitter cihazları (4-20 mA) grafiğin alt kısmında, diyagnostik özelliğe sahip ileri düzey izleme sistemleri (Şekil 2) ise grafiğin üst kısmında yer almaktadır [1].

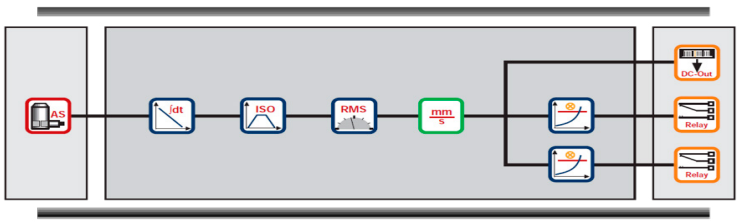


Şekil 2. *Hem koruyucu hem diyagnostik özelliklere sahip üst düzey bir vibrasyon izleme sisteminin şematik gösterimi.*

Şunu da belirtmek gerekir ki; titreşim izleme sistemi ile doğru arıza teşhisi yapılabilmesi için ilk önce uygulamaya yönelik doğru sensörün seçilmesi ve doğru ölçüm ayarlarının yapılması gereklidir. Bu ayrıca tartışılması gereken geniş ve detaylı bir konu olduğu için bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

2.1. Koruyucu İzleme Sistemlerinin Özellikleri

Bir koruyucu titreşim izleme sisteminin en basit haline ait şematik gösterim Şekil **3**'te yer almaktadır [1].



Şekil 3. *Basit bir koruyucu izleme sisteminin akış şeması.*

Sensörden gelen dinamik sinyal ihtiyaç duyulan integrasyona uğrayıp, frekans filtrelerine tabi tutulup genlik detektöründen geçer ve ölçüm değeri elde edilir. Bu değer uyarı ve tehlike eşik değerleri ile kıyaslanır. Eşik değeri aşıldığında ilgili alarm rölesi etkinleştirilir. Bunun yanısıra, PLC / DCS / SCADA gibi sistemlere veri aktarımı için bu ölçüm değeri ile doğru orantılı 4-20 mA analog çıkış sağlanır. Analog yerine dijital haberleşme (MODBUS, Profibus, OPC, vs.) de mümkündür.

Makinayı yüksek düzeyli titreşimlerin neden olabileceği hasarlardan etkin şekilde koruyabilmek için "koruyucu" izleme sistemlerinin karşılaması istenen özelliklerin başlıcaları aşağıda belirtilmiştir.

2.1.1. Sürekli Ölçüm Yapma

İzleme cihazının ölçüm sıklığı, makinanın kalkış duruşlarında ve yük değişimlerinde yaşanabilecek titreşim düzeyi değişimlerini yakalayabilecek çabuklukta olmalıdır. Özellikle türbinler gibi kritik ekipmanlarda bu husus önem arz etmekte, bu tip makinalarda "saniyede bir" mertebesinde ölçüm sıklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Batarya kapasitesi kısıtları nedeniyle günde bir defa sıklıkla ölçüm alan kablosuz sistemler bu tip kritik ekipmanların izleme ihityaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadırlar.

2.1.2. Röle (Kuru Kontak) Çıkışları

Makinayı yüksek titreşimlerin neden olabileceği hasardan korumak amacıyla izleme donanımına entegre halde olan kontak çıkışlarına ihtiyaç vardır. Genellikle "uyarı" ve "tehlike" olarak iki adet eşik seviyesinde alarm alınmaktadır. Uyarı eşik seviyesi geçildiğinde makina kısa süreli olarak çalıştırılabilmekte, bu süre zarfında yapılacak olan analizler ile arıza teşhis edilmekte ve gerekli bakım planlaması yapılmaktadır. Tehlike eşik seviyesi geçildiğinde ise titreşim seviyelerinin makinada kalıcı hasara sebebiyet vermemesi için makina sistem tarafından otomatik olarak durdurulmaktadır. Bu rölelerin güvenilir olabilmesi için yazılımsal olarak değil, donanımsal olarak kontrol edilmeleri gereklidir.

Kontak çıkışları "normalde enerjili" veya "normalde enerjisiz" olarak ayarlanabilmektedir. Bazı kritik ekipmanlarda vibrasyon izleme sisteminin enerjisi kesildiğinde makinanın devre dışı olması istenir, bu durumda "tehlike" eşiğine ait kontak çıkışları "normalde enerjili" olarak ayarlanmalıdır. Aynı şekilde sistemin doğru çalıştığına dair bilgi veren "OK rölesi" olarak adlandırılan kontak çıkışı da normalde enerjili olarak ayarlanır. Oluşan bir alarm durumunun ortadan kalkması sonrasında operatörlerin alarmla ilgili bilgi sahibi olabilmeleri ve aksiyon alabilmeleri için "alarm kilitleme" (latching) ayarı bulunmaktadır. Kontakların alarm durumu geçtikten sonra otomatik olarak resetlenmesi için "non-latching", kullanıcı tarafından manuel olarak resetlenmesi için ise "latching" ayarı kullanılmaktadır. Bunların yanısıra, ölçüm zincirinde kablo kopması gibi bir sistem hatası meydana geldiğinde tehlike rölesinin çekilip çekilmeyeceği ile ilgli ayar "Fail-Safe" olarak adlandırılır.

2.1.3. Hızlı Röle Tepkisi

Ani arızalar nedeniyle oluşan yüksek titreşimler makinayı çok kısa sürede hasara sürükleyebilmektedir. Bu gibi durumlarda ölçüm sisteminin tepkisi çok hızlı olmalıdır. Makina koruma sistemlerinin sağlaması gereken özelliklerle ilgili olarak American Petrolleum Institute tarafından hazırlanan ve dünya çapında kabul gören API 670 standardına göre, koruyucu izleme sisteminin bir alarmı algılaması ve başlatması için gereken süre 100 ms'yi geçmemelidir [2]. Diyagnostik amaçlı üretilmiş bazı izleme sistemleri birkaç ölçüm prametresini birden ölçtükleri için hesaplama süresi uzun sürebilmekte ve alarm durumunda geç tepki verebilmektedirler. İzleme sistemi seçilirken, makinanın kritiklik düzeyine uygun bir alarm tepki süresine sahip olmasına dikkat edilmelidir.

2.1.4. Gecikme (Delay) / Hysteresis Ayarları

Kısa süreli olarak meydana gelen titreşim artışlarının makinayı gereksiz yere devreden çıkarmasını engellemek için alarmlara gecikme (delay) konmaktadır. Bu gecikme süresi optimum şekilde ayarlanmalıdır. Çok kısa seçildiğinde kısa süreli titreşim artışlarından alarm gelme olasılığı artar, çok uzun seçildiğinde ise alarm gelmesi gecikeceğinden ötürü makinanın yüksek titreşim nedeniyle hasar alması olasılığı artar. Genellikle "uyarı" gecikme süreleri 3-5 saniye aralığında, "tehlike" gecikme süreleri ise 1-3 saniye aralığında seçilmektedir.

2.1.5. Röle Mantığı (Logic) Ayarları

Her bir ölçümden ayrı ayrı alarm alınabileceği gibi, bazı ölçümlere ait alarmların birlikte aynı anda gerçekleşmesi halinde sistemin alarm vermesi istenebilir. Örneğin buhar türbinlerinde eksenel pozisyon ölçümleri genellikle 3 adet sensör kullanılarak yapılmaktadır. Bu 3 sensörden en az ikisine ait ölçümün eşik seviyelerini aşması halinde ilgili alarm rölesi devreye girmektedir. Bir yataktaki hem yatay hem de düşey yönlü sensörlere ait ölçümlerin eşik seviyesini aşması halinde alarm üretilmesi gibi uygulamalar da mümkündür. Bu tip ayarları

yapabilmek için izleme sistemine ait rölelerin mantık (logic) ayarlarına sahip olması gerekir.

2.1.6. Trip Multiplier / Trip Override

Makinanın devreye girmesi sırasında meydana gelen akış düzensizliği, kritik hızdan geçiş, sıcaklık kararsızlığı gibi sebeplerden ötürü oluşan titreşim artışlarının makinayı devreden çıkarmasını engellemek için makinaya kalkış emri verildiği andan makina rejim haline gelinceye kadarki süre boyunca "tehlike" (trip) seviyelerinin belirli bir katsayıyla çarpılmasına "Trip Multiplier", bu süre boyunca tehlike rölelerinin devreden çıkarılmasına ise "Trip Override" denmektedir. Türbinler gibi kritik ve büyük ebatlı endüstriyel makinalarda bu fonksiyona ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1.7. Makina Çalışma Koşullarına Uyum Sağlama

Bazı makinalar birden fazla çalışma koşuluna sahiptir. Devir hızı, yük, sıcaklık, basınç gibi çalışma koşullarında değişikler makinanın titreşim karakteristiğini etkileyebilir. Örneğin bir hidroelektrik santraldaki Francis türbin-generatör ünitesinin kısmî yüklerde çalışması sırasında yaşanan akış düzensizlikleri titreşim düzeylerini arttırabilir. Bazı koruyucu izleme sistemlerinde farklı çalışma koşulları için farklı alarm setleri belirlenebilmektedir. Cihaza makinanın çalışma koşulu bilgisi bir analog sinyal veya kontak girişi olarak verilmekte ve cihaz otomatik olarak ilgili çalışma koşuluna ait alarm ayarlarına geçiş yapmaktadır. Böylece her çalışma koşuluna özgü farklı alarm stratejileri belirlenebilmekte ve çalışma koşulu değişikliklerinde makinanın gereksiz yere alarm vermesi önlenmektedir.

2.1.8. Yedekli Besleme

Koruyucu izleme sisteminin her an emre amade olarak çalışması istenir. Güç kaynağında bir sorun olduğunda sistemin servis harici kalmaması için güç beslemesi yedekli (redundant) olarak yapılmalıdır. Basit koruyucu sistemlerde bu özelliğe gerek duyulmamakla birlikte API 670 standardını sağlaması istenen üst seviye izleme sistemlerinde bu özellik talep edilmektedir.

2.1.9. Analog ve Dijital Haberleşme

Vibrasyon izleme sistemlerinin PLC / DCS / SCADA gibi sistemlere veri aktarımı için 4-20 mA analog çıkışlar kullanılabileceği gibi MODBUS / Profibus / OPC gibi dijital haberleşme protokolleri de kullanılabilmektedir. Bazı tesislerde veri güvenliği açısından donanımsal olarak aktarım seçeneği tercih edilmektedir, bu nedenle 4-20 mA analog çıkışlar kullanılmaktadır. Dijital haberleşme gün geçtikte daha çok tercih edilmekte olup analog haberleşmeye göre temel avantajları şu şekilde sayılabilir: Düşük kablo maliyetleri, tek sensöre ait birden fazla ölçüm parametresinin aktarılabilmesi, veri aktarımında hata oranı bulunmaması, veriye ağ üzerindeki birkaç istemciden erişilebilmesi, dijital olarak veri depolamaya imkan sağlaması.

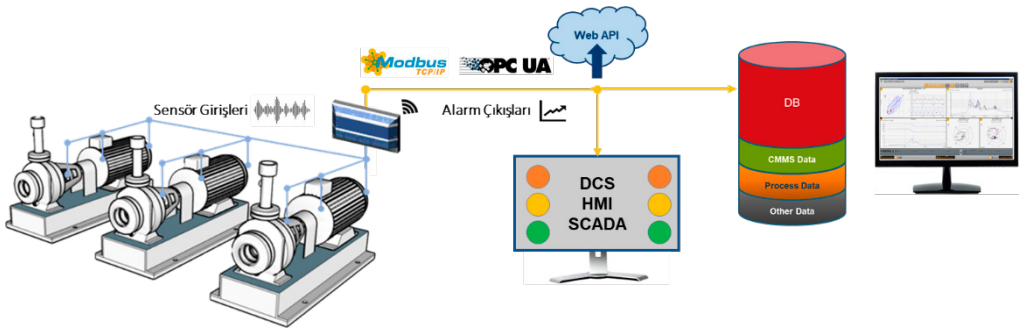
2.1.10. Uluslararası Standartları Sağlama

Makinamız için seçecek olduğumuz izleme sistemi donanımının API 670 gibi belirli uluslararası standartları sağlaması istenebilir. Yukarıdaki bazı maddelerde de belirtildiği gibi alarm tepki süresi, yedekli besleme, kablolama, topraklama, veri iletişimi gibi özelliklerin işletmemizin tabi olduğu standartları sağladığından emin olmamız gerekmektedir. Bu standartlar, satınalma aşamasında yazacak olduğumuz şartnameler için referans teşkil edecektir.

2.2. Diyagnostik İzleme Sistemlerine Ait Özellikler

Bir diyagnostik titreşim izleme sisteminin genel şeması Şekil **4**'te görülmektedir [2]. Makina yataklarına sürekli olarak bağlı bulunan sensörlerin sinyal çıkışları diyagnostik izleme cihazına gelir ve yüksek frekanslı örnekleme ile dijital formata çevrilir. Elde edilen bu zaman dalga formu arıza teşhisine yönelik çeşitli analizlere tabi tutulur. Genellikle zaman dalga formunun ham hali yerine analiz edilen skaler ve vektörel veriler veritabanına aktarılarak saklanır. Doğrudan zaman dalga formunu veritabanına aktaran ve gerektiğinde veritabanından çekerek analize tabi tutan sistemler de bulunmaktadır. Zaman dalga formu saklandığında sonradan üzerinde istenilen analizlerin yapılması mümkündür (post processing). Analiz edilmiş veriler saklandığında

ise ilave analiz (örneğin frekans çözünürlüğünü arttırma, vs.) imkanı bulunmamaktadır. Zaman dalga formunu saklamanın dezavantajı ise veritabanında daha fazla yer kaplamasıdır.



Şekil 4. *Diyagnostik izleme sistemi şematik görünümü.*

Titreşim karakteristiğini analiz ederek makina arızalarını erkenden belirleyebilmek için "diyagnostik" izleme sistemlerinin karşılaması istenen özelliklerin başlıcaları aşağıda belirtilmiştir.

2.2.1. Bilgisayar Yazılımı

Erken arıza teşhisi için kullanılmakta olan skaler ve vektörel ölçümleri görüntülemek ve veritabanında saklamak için bir bilgisayar programına ihtiyaç duyulmaktadır. (Bazı sistemlerde diyagnostik fonksiyonlara cihazın kendi arayüzünden de ulaşılabilmektedir.)

2.2.2. İleri Analiz Yetenekleri

Bilgisayar programında yer alabilecek analiz yeteneklerinden başlıcaları aşağıda listelenmiştir.

Zaman Dalga Formu Analizi: Titreşim sinyalinin dijital olarak örneklenmiş halinin grafik gösterimidir. Anlık darbesel titreşimleri ve genlik modülasyonlarının rahatlıkla görülebilmesi dolayısıyla özellikle dişli kutularının analizinde zaman dalga formundan yararlanılmaktadır.

Spektrum Analizi: Zaman dalga formunun Fast Fourier Analizi (FFT) algoritmasına tabi tutulması yoluyla titreşim sinyalinin frekans ayrıştırmasının yapılması işleminden elde edilen grafiktir. Makinada arızalarının ayrıştırılması için kullanılır.

Envelope Analizi: Yüksek frekans demodülasyon metodu ile rulman karakteristik arıza frekanslarının belirlenmesi için kullanılır. Dişli çarklarda da uygulamaları mevcuttur.

Faz Analizi: Makina parçalarının birbirlerine göre ne şekilde hareket ettikleri hakkında fikir verir. Ayrıca faz bilgisi kullanılarak rotorda dengeleme (balans) çalışması yapılabilir. İleri seviye diyagnostik bir sistemin olmazsa olmazıdır.

Orbit Analizi: Kaymalı yataklı makinalarda izafi şaft titreşimi sensörlerinin sinyallerinden şaft kinetik yörüngesinin tayini için kullanılır. Bu sayede şaftın yatak içerisinde nasıl hareket ettiği belirlenebilir. Balanssızlık, hizasızlık, yağlama sorunları (yağ girdabı vs.), yıpranma, sürtme gibi arızalar orbit analizi ile teşhis edilebilir.

Mertebe Analizi (Order Tracking): Makinanın kalkış duruşu sırasında alınan genlik ve faz ölçümleri değerlendirilerek rezonans, kırık/çatlak mil gibi sorunlar belirlenebilir. Buhar/Gaz türbini gibi kritik üstü devirde çalışan makinalar için online vibrasyon izleme sisteminde bu ölçümün bulunması faydalıdır. Mil bütünlüğündeki değişimler makinanın kalkış-duruşu sırasında alınan "Titreşim vs. Devir Hızı" grafiğinde değişikliğe yol açacaktır. Bu grafiğe konabilen maske alarmları sayesinde kırık/çatlak durumlarında sistemden alarm alınabilecektir.

Arıza Tanımlayıcı Parametreler: Belirli frekans bantlarındaki titreşim enerjisi zamana göre takip edilerek o arıza için erken uyarı almak mümkün olur. Böylece analiz için harcanan süre azalır. Analiz bilgi ve tecrübesi kısıtlı olan personel için yol göstericidir.

2.2.3. Bant Alarmları

Makinada karşılaşılabilecek arızaların belirti (semptom) frekanslarındaki titreşim bileşenlerine alarm tanımlaması yapılabilir. Böylece sistemden "balanssızlık", "kanat geçiş frekansı", "rulman durumu" gibi alarmlar alınabilir. Aksiyon almak için kararı yine bir titreşim uzmanının vermesi gerekir ancak bu tip bir alarm tanımlaması yapmak analiz için harcanan süreyi azalttığı için verimliliği arttırmaktadır.

2.2.4. Dijital Veri Aktarımı

Günümüzde gelişmiş diyagnostik izleme sistemleri birçok dijital formatta veri aktarımını desteklemektedir. Genelikle ethernet ile veri iletişimi tercih edilmekte, kablolu veya kablosuz teknolojiler kulanılabilmektedir. Sensör ile cihaz arası kablosuz veri iletişimi olduğunda yukarıda belirtildiği gibi batarya dayanım süresi kısıtları bulunmaktadır. Bu nedenle sensör ile cihaz arası kablolu, cihaz ile bilgisayar (veya DCS) arası ise kablosuz olacak şekilde çözümler daha avantajlı olabilmektedir. Sanayi tesislerinde kablosuz kurulum düşünüldüğünde, kablosuz veri iletişimini aksatabilecek elektromanyetik gürültü unsurlarına dikkat edilerek uygun altyapı kurulumu yapılmalıdır.

2.2.5. Karar Desteği

Bazı vibrasyon izleme yazılımlarında kural bazlı veya yapay zeka tabanlı karar desteği algoritmaları bulunmaktadır. Bazı temel arıza tiplerinin teşhisinde bu algoritmalar faydalı olmakla birlikte, karmaşık ve ilerlemiş arızaların belirlenmesinde yetersiz kalmaktadırlar. Dolayısıyla tesisteki bakım mühendislerinin titreşim analizi hakkında yeterli eğitim ve tecrübeye sahip olmaları önem arz etmektedir. Analiz ve teşhis görevlerini sadece bilgisayar algoritmalarına bırakmak durum izleme programının başarısızlıkla sonuçlanmasına ve tesiste titreşim analizine yönelik inanç ve güvenin yok yere yitirilmesine neden olabilir. Bilgisayar işlem gücü ve yapa zeka algoritmalarının gelişmesi ile birlikte karar desteği algoritmalarından gelecekte daha yüksek verim alınacağı umulmaktadır ancak bakım mühendisinin görevini ne zaman tamamen devralacakları bilinmemektedir.

3. SEÇİM KRİTERLERİNE AİT GENEL DEĞERLENDİRME

Farklı tip titreşim izleme sistemlerine ait özellikler karşılaştırmalı olarak **Tablo 1**'de yer almaktadır.

Tesisteki uygulama için satın alınacak olan vibrasyon izleme sisteminde koruyucu ve diyagnostik izleme özelliklerinden hangilerinin seçileceğine karar verirken maliyet unsuru önem kazanmaktadır.

Sensöre entegre halde olan 4-20 mA transmitter çözümleri yatırım bütçesinin kısıtlı olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Bu transmitter tipi sensörler DCS/SCADA sistemlerine titreşim düzeyi ile doğru orantılı olarak analog veri aktarmaktadır. Bu çözümlerde anlık görüntüleme, trend analizi, alarm gibi fonksiyonlar transmitter üzerinden değil, verilerin aktarıldığı sistem üzerinden yapılmaktadır. Transmitter ayarları fabrikada yapılarak müşteriye teslim edilmektedir, sahada sensör ayarlarını değiştirmek mümkün değildir. Sensörden dinamik sinyal çıkışı alınamadığı için farklı parametrelerin elde edilmesi mümkün değildir. Örneğin transmitter 10-1000 Hz aralığında mm/s RMS cinsinden hız ölçümüne ayarlanmışsa, bu sensörden yüksek frekans bandında ivme ölçüm parametresini de ilave olarak almak mümkün değildir.

Portatif cihazların yatırım maliyetleri düşük-orta seviyededir. Düşük veri toplama hızına sahip olan bu cihazlarda Mertebe Analizi, ODS, Modal Analiz gibi ileri düzey analiz yetenekleri bulunabilmektedir. Ayrıca portatif cihazları yerinde dengeleme (balans) işleminde de kullanmak mümkündür. Fabrikada orta-düşük kritikliğe sahip makinalar için portatif cihazlarla durum izleme yöntemi kullanılabilir. Maliyet optimizasyonu için şu şekilde bir hibrit çözüm de uygulanabilmektedir: Kritik makinaları düşük arıza teşhis yeteneklerine sahip koruyucu cihazlar ile izlemek ve yüksek arıza teşhis yeteneğine sahip bir portatif cihaz ile bu koruyucu sistemlerin "buffer" olarak adlandırılan paralel sinyal çıkışlarından periyodik ölçümler alıp analiz etmek.

En yüksek yatırım maliyetine sahip cihazlar ise hem koruyucu hem de diyagnostik özelliklere sahip olan rack

tipi vibrasyon izleme sistemleridir. Türbinler gibi kritik makinalarda bu sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Bu tip kritik makinalarda koruyucu özelliklerden feragat edilirse, hızlı ve güvenilir bir alarm yönetimi sağlanamayacağından ötürü beklenmeyen duruşlar ve kalıcı hasarlar yaşanabilir. Diyagnostik özelliklerden feragat edilmesi durumunda ise; analiz imkanları yetersiz olduğu için erken arıza teşhisi imkanı olamayacağından ötürü bakım planlaması yapılamayacak, makina yüksek titreşimlerden otomatik olarak durdurulduğunda neye müdahale edileceği belirlenemeyecektir.

Tüm bu bilgiler ışığında çeşitli tesislerde hangi titreşim izleme sisteminin seçilebileceğine ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

- Orta ölçekli bir tesiste kritik olmayan yüksek maliyetli makinalar için "Diyagnostik" izleme sistemi.
- Buhar türbini gibi yüksek maliyetli kritik makinalar için "Üst Seviye Koruyucu + Diyagnostik" izleme sistemi.
- Büyük ölçekli bir tesiste yer alan yüksek maliyetli yardımcı makinalar için "Koruyucu" izleme sistemi + ileri düzey analiz yeteneklerine sahip portatif cihaz ile periyodik ölçüm ve analizler. Veya diyagnostik izleme sistemi ile sürekli ölçümler alınması ve alarm durumuna göre analiz yapılarak müdahale kararı alınması.
- Çok kısıtlı bütçeye sahip küçük ölçekli bir tesiste kritik olmayan makinalar için temel seviye portatif cihaz.
- Yatırım bütçesi kısıtlı olan orta ölçekli bir tesisteki kritik olmayan çok sayıda yüksek maliyetli makina için ileri düzey analiz yeteneklerine sahip portatif cihaz ile periyodik ölçüm ve analizler.
- Orta kritik seviyede makinaları olan ve yatırım bütçesi çok kısıtlı olan bir tesis için 4-20 mA transmitter çözümleri.
- Arızalanması halinde üretimi etkilemeyen, yedekli çalışan çok sayıda küçük ve ucuz pompaları bulunan bir tesis için ise herhangi bir durum izleme yöntemi kullanmaksızın "arıza odaklı bakım" stratejisi ile ilerlemek maliyet açısından en uygun çözüm olacaktır, çünkü arızalanan makinayı yedeği ile değiştirmek bu makinalarda durum izleme için yatırım yapıp emek sarfetmeye kıyasla daha ucuza mâl olacaktır.

Vibrasyon izleme sistemi yatırımı yapılmadan önce tesisteki makinaların kritiklik analizi yapılmalı, bu doğrultuda hangi makina gruplarının koruma ve diyagnostik açıdan hangi ihtiyaçlara sahip olduğu belirlenmeli ve buna göre bir şartname hazırlanmalıdır. Hazırlanacak olan şartnamedeki teknik özelliklerin gerçeklikten uzak olmaması için piyasada sunulan farklı marka ve model çözümler hakkında genel bilgi sahibi olunmalıdır. Şartname çok basit yazılırsa satın alınan sistem ihtiyaçları karşılamayabilir, çok detaylı olarak tüm koruyucu ve diyagnostik özellikleri ileri düzeyde kapsayacak şekilde yazılırsa da maliyet olarak çok yüksek tekliflerle karşılaşma durumu doğabilir. Eğer fabrikada titreşim ölçüm ve analizi konularında eğitimli bir uzman bulunmuyorsa bu konuda danışmanlık alınabilir.

Tablo 1. Vibrasyon izleme çözümlerine ait özelliklerin karşılaştırmalı çizelgesi.

	PORTATİF CİHAZLAR	KORUYUCU + DİYAGNOSTİK SİSTEMLER	DİYAGNOSTİK SİSTEMLER	KORUYUCU SİSTEMLER	4-20 mA Transmitter Çözümleri
Mutlak Yatak Titreşimleri	✓	✓	✓	✓	✓
İzafi Şaft Titreşimleri	✗	✓	✓	✓	✓
Sürekli Ölçümler	✗	✓	✓	✓	✓
Alarmlar (Uyarı / Tehlike / OK)	✓	✓	✓	✓	✗
Dijital Veri Aktarımı	✓	✓	✓	✗	✗
Veritabanına Aktarım	✓	✓	✓	✗	✗
Cihaz Üzerinde SD Karta Kayıt Alma	✓	✓	✓	✗	✗
Yazılım	✓	✓	✓	✗	✗
Zaman Dalga Formu	✓	✓	✓	✗	✗
FFT	✓	✓	✓	✗	✗
Orbit	✓	✓	✓	✗	✗
FAZ Ölçümü	✓	✓	✓	✗	✗
Arıza Tanımlayıcı Ölçüm Parametreleri (Descriptor)	✓	✓	✓	✗	✗
Trend Analizi	✓	✓	✓	✓	✓
Modal Analiz	✓	✗	✗	✗	✗
Darbe Testi (Bump Test)	✓	✗	✗	✗	✗
ODS	✓	✗	✗	✗	✗
Motor Akım Analizi	✓	✗	✗	✗	✗
Yerinde Balans	✓	✗	✗	✗	✗
TRIP MULTIPLIER Fonksiyonu	✗	✓	✗	✓	✗
Röle Çıkışları (Alarm / Trip)	✗	✓	✗	✓	✗
4-20 mA Analog Çıkışları	✗	✓	✗	✓	✓
Yatırım Maliyeti Mertebesi	□□	□□□□	□□□	□□	□

4. SONUÇ

Vibrasyon izleme sisteminden elde edilen verilerin makinanın durumunu doğru şekilde yansıtabilmesi ve eyleme geçirilebilir sonuçlar üretmesi için her uygulamaya özel olarak seçim kriterleri değerlendirilip izleme sistemi yatırımı buna göre yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Brüel & Kjær Vibro GmbH. Web Sitesi. https://www.bkvibro.com/. 10.10.2022.

[2] American Petrolleum Institute. 2014. API Standard 670 Machinery Protection Systems. 5'inci Baskı.

YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM (KTB) SÜREÇLERİNİN DİJİTALLEŞTİRİLMESİ

Mak. Yük. Müh. Duhan Portakal

Adres: Reşitpaşa Mah. Katar Cad. No:2/5/25 İTÜ Ayazağa Kampüsü ARI-1
Teknokent Binası D:25 Sarıyer / İstanbul
duhanportakal@etikyangin.com

ÖZET

Dijitalleşme kavramı ile yakın zamanda tanışmış olmamıza rağmen, günümüzde hayatımızın her alanında kullandığımız bir kavram olmuştur. Dijitalleşme ile birlikte büyük veri, veri analizi, veri yorumlaması, veri güvenliği vb. kavramlar da hayatımıza girmiş ve verinin önemi daha iyi anlaşılmıştır. Dijitalleşmenin, binalarda yangın güvenliği konusundaki kazanımlarına bakıldığında ise, yangın güvenliğinin temel dinamiklerinden biri olan sistemlerin sürdürülebilirliği konusunda sağladığı faydalar açıkça görülmektedir. Bu kapsamda, binada yer alan yangın güvenliğine yönelik ekipmanların performans sürekliliğinin takibini ve bakım yönetimini daha pratik hale getirecek yazılım tabanlı çözümler sektöre kazandırılmaktadır.

Binalarda tesis edilen yangın korunum sistemleri, konfor ile ilgili sistemlerin aksine yalnızca ihtiyaç halinde muhtemel bir yangın durumunda kullanılacak olup, binada bulunabilecek kişilerin can güvenliğinin ve binanın mal güvenliğinin sağlanması adına sistemlerin sürdürülebilirliği oldukça önemlidir. Yangın korunum sistemleri devreye alındıktan sonra sürdürülebilir olmasının temel yolu ise ekipmanların periyodik olarak denetlenmesi, denetimler sırasında elde edilen verilerin doğru yorumlanması ve kullanılmasıdır. Sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde ekipmanlardan hangi verilerin alınması ve verilerin nasıl yorumlanması gerektiği ve bu veriler kullanılarak oluşturulacak ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürlerinin belirlenmesi konusu uzmanlık gerektiren bir konudur. Bu amaçla, bina/tesis yönetimleri, malzeme tedarikçileri ve yangın güvenliği uzmanlarının ortak çalışmalar yürütmesi gerekir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Sürdürülebilirlik, Yangın ve Can Güvenliği, Periyodik Bakım, Kestirimci Bakım

SUMMARY

Digitalization is a phenomenon that is being used in each part of our lives even we have recently met it. On the other hand, we have also met the terms such as big data, data analysis, data interpretation, data security, etc. thanks to digitalization and we have noticed the importance of data. The main benefit of digitalization in terms of fire and life safety in buildings is to provide the sustainability of systems in buildings. Within this scope, the software based solutions are brought to the facility management sector to achieve the tracking of the sustainability of the equipment which are being used in fire protection systems and handle the maintenance management of these assets more practically.

Unlike the mechanical and electrical systems, the fire protection systems are only used in case of an emergency, so that the sustainability of the fire protection systems is highly important to provide life and property safety within the buildings. The only way to provide the sustainability of the fire protection systems is to inspect periodically and to interpret correctly and to use the data which are taken during the inspection period. The gathering and the interpretation of the data, and the determination of the predictive maintenance procedures by using the data which are taken from the planned maintenance procedures is an important issue that requires knowledge. For this purpose, facility managers, suppliers, and fire and life safety experts should work together.

Keywords: Digitalization, Sustainability, Fire and Life Safety, Periodic Maintenance, Predictive Maintenance

1. GİRİŞ

Tesislerde yangın ve can güvenliğine yönelik alınan tedbirler kapsamında kurulan yangın korunum sistemlerinin zamanla işlerliğini yitirmesine sebep olabilecek olası arızaların önüne geçebilmek ve/veya sistemlerin arızaya düşme oranlarını azaltmak için düzenli olarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmelidir. Kontrol işlemleri dört ana başlık altında toplanabilir. Gözle kontrol esasına dayalı "periyodik kontroller" ("denetim" veya "muayene" olarak da ifade edilebilir) sık periyotta ve diğer kontrol işlemlerine nazaran daha kısa sürede ve daha kolay gerçekleştirilir. Sistemlerin ihtiyaç duyulduğu zaman tasarım kriterlerini karşılayacak şekilde performans gösterdiğinden emin olmak için "fonksiyon testleri" yapılır. Bu testler yalnızca sistemler devreye alınırken değil, devreye alındıktan sonra da belirli aralıklarla ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda veya üretici tarafından hazırlanan teknik kılavuzlarda tarif edilen şekilde yapılmalıdır. Sistemlerin arızaya düşme oranını azaltmak veya arızalanma ihtimali yüksek sistemlere müdahale etmek için "periyodik kontrol" işlemlerine nazaran daha uzun aralıklarla gerçekleştirilen ancak işlem süresi olarak daha uzun süreye sahip olan "periyodik bakım" işlemleri de yine kontrol işlemlerinde büyük öneme sahiptir. Sistemlerin bakımları da yine ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda veya üretici teknik kılavuzlarında tarif edildiği şekilde yapılmalıdır. Kontrol işlemleri sınıflandırması kapsamında yer alan "kestirimci bakım" işlemleri ise periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinden elde edilen verilerin doğru şekilde yorumlanıp kullanılmasına bağlı olarak belirlenen ve sistemlerin henüz arızaya düşmeden önce müdahalesine dayanan işlemlerdir. "Kestirimci bakım" işlemlerinde bir periyot bulunmamakta olup, sistemlerin ömrünü arttırmak ve arızaya düşme ihtimalini azaltmak için takip edilen bir bakım yöntemidir.

Periyodik kontrol, test ve bakım işlemlerinin yalnızca mekanik ve elektrik yangın korunum sistemleri için değil aynı zamanda mimari ve inşai yangın önlemleri için de geçerli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji beslemesi gerektiren ekipmanlar kullanılması sebebiyle aktif yangın korunum sistemi olarak sınıflandırılan yangın algılama ve alarm sistemi, otomatik söndürme sistemi, duman kontrol sistemi vb. sistemler için ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanan periyodik kontrol, test ve bakım yöntemleri takip edilmekte olup, benzer şekilde kaçış yollarının boş tutulması, yangın zon bütünlüğünün korunması, yangın ve kaçış kapılarının kontrolü vb. yangın güvenlik önlemleri için de ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanan periyodik kontrol yöntemleri takip edilmelidir. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te (BYKHY) sistem ihtiyaçlarının anlatıldığı ilgili başlıkların altında, sistemlerin periyodik kontrol ve bakım

işlemlerinin de yapılması ile ilgili zorunluluklardan ve bu işlemlerin yapılmasında sorumlu olan kurum ve kişilerden de bahsedilir. BYKHY'ye göre, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol ve bakımlarından bina veya işyeri sahibi ve yöneticileri veya bu kişilerin yazılı olarak sorumluluklarını devrettiği bina yetkilileri sorumlu tutulmakta olup, sistemlerin işler halde tutulması ve ihtiyaç halinde çalışır durumda olacaklarından emin olunması elzemdir. Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarının nasıl yapılacağı ile ilgili olarak ise BYKHY'de yeterli hüküm bulunmamakta olup, bu tür durumlarda yönetmeliğin ilkelerle ilgili 5.maddesinin 2.fıkrası gereği sırasıyla Türk standartlarına, Avrupa standartlarına, burada da yeterli hüküm yok ise, uluslararası geçerliliği kabul edilen uluslararası standartlara başvurulması ve ilgili standartlarda ayrıntılı şekilde tarif edilen periyodik kontrol, test ve bakım işlemlerinin takip edilmesi gerekir.

Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinin dijitalleştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar henüz yeterli seviyeye ulaşmamış olup, özellikle akıllı bakım takip ve yönetim programları aracılığıyla bakım sürecinin dijitalleştirilmesi mümkün olacaktır. Bakım süreçlerinin dijitalleştirilmesi için ilk adım tesis envanterinin uluslararası sınıflandırma standartlarına uygun şekilde dijital ortama taşınması ve envanter yönetiminin dijital ortamda yapılmasıdır. Envanter yönetimi ile birlikte periyodik kontrol, test ve bakım yöntemlerinin tarif edildiği kontrol formlarının dijital ortama taşınması ve kontrol işlemlerinin dijital ortamda gerçekleştirilerek kontrol işlemleri sürecinden değerli veriler elde edilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, süreçlerin dijital ortama taşınması sayesinde kontrol formları dijital olarak arşivlenebilecek ve istenildiği zaman kolaylıkla ulaşılabilir hale gelecektir. Bunun yanı sıra, dijital bakım süreçlerinden elde edilen verilerin doğru şekilde yorumlanıp kullanılması durumunda bakım süreçlerinin iyileştirilmesi ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi kaçınılmaz olacaktır.

2. YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİNDE DİJİTAL BAKIM

Yangın korunum sistemlerinin doğru şekilde işletilmesi ve periyodik olarak kontrol edilmesi, tasarım aşamasında tasarım kriterlerinin standartlara uygun şekilde belirlenmesi ve sistemlerin uygun şekilde tesis edilmesi kadar önemlidir. Yangın korunum sistemleri için doğru bir bakım yönetimi uygulanmadığı durumda, sistemlerin doğru şekilde tasarlanmasının ve tesis edilmesinin hiçbir hükmü kalmamış olacak, ihtiyaç halinde sistemlerden beklenen performans alınamayacaktır. Yangın korunum sistemleri bebekler gibi her daim bakıma ihtiyaç duyarlar, üzerlerinden ilginin eksik edilmesi vahim sonuçlara sebep olabilir. Ancak, tesislerin birçoğunda, yangın korunum sistemlerinin bakımlarına yeterli özen gösterilmemekte ve sistem bakımları ihmal edilmektedir.

Bakımın dijital ortamda yönetilmesi ile yangın korunum sistemlerine düzenli şekilde bakım yapılabilmesi, sistem performansının ölçülebilmesi ve bakım takibinin yapılabilmesi gibi işlemlerin kolay bir şekilde yürütülmesi mümkün olabilecektir. Yangın korunum sistemlerinde dijital bakım sürecini dört ana başlık altında toplamak sağlıklı bir değerlendirme olacaktır. Dijital bakım sürecinin ilk ayağı olan envanter yönetiminden başlayarak dijital bakım formlarının hazırlanması ve raporlandırılması, sahadan toplanan verilerin analiz edilmesi ve bu veriler kullanılarak kestirimci bakım yöntemlerinin belirlenmesi dijital bakımın temel yapı taşlarıdır.

2.1 Envanter Yönetimi

Dijital bakım sürecinin temeli envanter yönetimidir. Envanter yönetimi doğru yapılmadığı müddetçe bakım süreçlerinin dijitalleştirilmesi ve buna bağlı olarak iyileştirilmesi mümkün olmayacaktır. Envanter yönetimi yaparken sistemde kullanılan her bir ekipmanın ve/veya alt ekipmanın çok iyi şekilde tarif edilmesi ve uluslararası sınıflandırma standartlarına uygun şekilde sınıflandırılması elzemdir. Özellikle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan "Masterformat" ve "Uniclass" sınıflandırma formatları envanter yönetimi için oldukça kullanışlı ve kolay anlaşılabilir formatlardır. Uluslararası kabul görmüş bu iki sınıflandırma formatının yanı sıra, "Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı" tarafından yayınlanan birim fiyat pozları da yine Türkiye'deki uygulamalarda kullanılan bir diğer sınıflandırma formatıdır. Yangın korunum sistemlerinde kullanılan ekipmanlar göz önüne alındığında "Masterformat" ve "Uniclass" formatları, ihtiyaçları fazlasıyla

karşılayabilecek bir altyapıya sahiptir. Sınıflandırma formatlarının genel yapısının daha iyi anlaşılabilmesi adına, yangın korunum sisteminde kullanılan taşınabilir söndürme cihazı için her iki sınıflandırma formatına göre kategori kodları örneği şu şekildedir:

Masterformat (2020): 10 44 16.13, Uniclass (2015): Pr_40.40.28.64

Envanter yönetiminde sınıflandırmanın yanı sıra, envanter ile ilgili değerli veri kabul edilebilecek bilgilerin de dijital ortama kaydedilmesi oldukça önemlidir. Envanter adı, markası, modeli, kullanım yeri, kullanım amacı, teknik özellikleri, devreye alınma tarihi, ömrü, geçmiş bakım verileri, gelecek bakım tarihleri vb. bilgiler de kaydedilerek istenen envanter markası ve modeli için veri analizi uygulanabilir hale gelecek ve sağlıklı veri analizi yapılabilecektir. Envanter yönetiminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer özellik ise envanter özelinde QR kod oluşturulması ve envantere ait benzersiz bilgilerin QR koda işlenmesidir. Bu sayede envantere ait bilgilerin tamamına sahadan da ulaşılabilmesi mümkün olacak ve özellikle dijital bakım süreçleri QR kod aracılığıyla çok daha pratik hale gelecektir. Envanter yönetimi tarifinin daha anlaşılabilir olması adına sektörde kullanılan dijital bakım takip ve yönetim programına ait envanter detay sayfasına ait bir görsel aşağıda paylaşılmıştır:

Şekil 1. *Bakım Takip ve Yönetim Programı Envanter Detay Sayfası*

Şekil 1'de paylaşılan dijital bakım takip ve yönetim programı envanter detay sayfasında da görülebileceği üzere, envantere ait değerli kabul edilebilecek benzersiz bilgiler tek bir sayfa altında toplanmaktadır. Bu programın da hali hazırda imkan verdiği envanterin uluslararası sınıflandırma standardına uygun şekilde sınıflandırılması ve dijital bakım süreçlerini kolaylaştıracak QR koda sahip olması envanter yönetimi için olmazsa olmazdır.

2.2 Dijital Bakım Formu ve Arşivi

Envanter yönetiminin dijital ortama taşınmasını müteakip bakım süreçlerinin tam anlamıyla dijitalleştirilebilmesi adına periyodik kontrol, test ve bakım formları da dijital ortama aktarılmalıdır. Tipik bir dijital bakım takip ve yönetim programında kolaylıkla dijital form oluşturulması mümkün olup, dijital form ile envanter ilişkilendirilerek ilgili envantere ait formların envantere atanması ile birlikte periyodik bakım süreçleri başlatılabilecektir. Dijital form özelliği, veri analizi işleminde verinin alınabileceği doküman olup, formun yapısının doğru kurulması envanter yönetim yapısının doğru kurulması kadar önemlidir. Sağlıklı ve kullanılabilir bir veri elde edilebilmesi için form yapısının veri analizine imkan verecek şekilde tasarlanması ve kolay doldurulabilir bir ara yüze sahip olması gerekir.

Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımları ile ilgili olarak gerek Avrupa Standartları gerekse NFPA ("National Fire Protection Association") standartlarında her bir sistem için takip edilmesi gereken kontrol, test ve bakım yöntemleri ayrıntılı şekilde anlatılmaktadır. TSE ISO/TS 11602-2 standardına göre taşınabilir söndürme cihazının aylık kontrol formu Tablo 1'deki gibidir:

Tablo 1. Taşınabilir Söndürme Cihazı Aylık Kontrol Formu

TAŞINABİLİR SÖNDÜRME CİHAZI AYLIK MUAYENE FORMU			
Konum: Tarih:			
No:		Evet	Hayır
1.7.M	**TAŞINABİLİR SÖNDÜRME CİHAZI**		
1.7.M.1001	**Cihaz No:1**		
1.7.M.1001.A.1	Taşınabilir söndürme cihazının konumu değiştirilmemiş.		
1.7.M.1001.A.2	Taşınabilir söndürme cihazının kullanım talimatları kolay okunabiliyor.		
1.7.M.1001.A.3	Taşınabilir söndürme cihazının mühür ve basınç göstergesinde fiziksel hasar yok.		
1.7.M.1001.A.4	Taşınabilir söndürme cihazında söndürücü madde bulunmakta (el ile tartarak kontrol edilmesi).		
1.7.M.1001.A.5	Taşınabilir söndürme cihazı paslanmamış ve nozulunda tıkanıklık veya sızdırma yok.		
1.7.M.1001.A.6	Taşınabilir söndürme cihazı manometresinden okunan basınç kabul edilebilir aralıkta.		
AYLIK KONTROL TABLOSU			

Aynı standartta taşınabilir söndürme cihazının yıllık kontrol, test ve bakım maddeleri de yer almakta olup, yıllık denetimlerde takip edilebilecek kontrol formu örneği de Tablo 2'de paylaşılmıştır:

Tablo 2. Taşınabilir Söndürme Cihazı Yıllık Kontrol, Test ve Bakım Formu

TAŞINABİLİR SÖNDÜRME CİHAZI YILLIK MUAYENE, TEST ve BAKIM FORMU			
Konum: Tarih:			
	ÇALIŞMAYI GERÇEKLEŞTİREN TEKNİK PERSONEL ADI SOYADI - SİCİL NO - İMZA		
		Evet	Hayır
1.7.M/T/B	**TAŞINABİLİR SÖNDÜRME CİHAZI**		
1.7.M/T/B.1001	**Cihaz No: 1**		
1.7.M.1001.Y.1	Taşınabilir söndürme cihazı üzerindeki mühür kontrol edildi.		
1.7.M.1001.Y.2	Taşınabilir söndürme cihazı üzerindeki devreye alma ve bakım etiketleri kontrol edildi.		
1.7.M.1001.Y.3	Taşınabilir söndürme cihazında fiziksel hasar ve korozyon olmadığı kontrol edildi.		
1.7.M.1001.Y.4	Taşınabilir söndürme cihazının ağırlığı kontrol edildi ve not edildi.	----------	kg
1.7.M.1001.Y.5	Taşınabilir söndürme cihazının hortumu ve nozulunda fiziksel hasar olmadığı kontrol edildi.		
Gaz kartuşu olmayan taşınabilir söndürme cihazları			
1.7.M.1001.Y.6	Taşınabilir söndürme cihazı üzerindeki manometrenin doğru basıncı gösterdiği kontrol edildi.		
Gaz kartuşu olan taşınabilir söndürme cihazları			
1.7.B.1001.Y.7	Taşınabilir söndürme cihazının kafa ünitesi söküldü ve gaz kartuşu ile söndürücü madde kontrol edildi.		
1.7.B.1001.Y.8	Taşınabilir söndürme cihazının gaz kartuşunda hasar veya korozyon olmadığından emin olunmalıdır.		
1.7.B.1001.Y.9	Taşınabilir söndürme cihazının sızdırmazlık contaları, diyaframlar ve hortum gözle kontrol edildi.		
1.7.B.1001.Y.10	Taşınabilir söndürme cihazının dahili tahliye borusu kontrol edildi ve gerekli durumlarda temizliği yapıldı.		
1.7.B.1001.Y.11	Su veya köpük söndürme maddesi bulunan söndürme cihazlarının içi ve dışı temizlenir, gerekli durumlarda söndürücü madde yenilenir.		
1.7.B.1001.Y.12	Toz söndürme maddesi bulunan söndürme cihazlarında yapışkanlaşma, topaklanma veya yabancı cisim olmadığı kontrol edilmelidir.		
1.7.B.1001.Y.13	Bakımı yapılan taşınabilir söndürme cihazının emniyetin cihazı ve mührü değiştirildi.		
1.7.B.1001.Y.14	Bakımı yapılan taşınabilir söndürme cihazına bakım etiketi eklendi.		

Taşınabilir söndürme cihazı için paylaşılan örnek kontrol, test ve bakım formları TSE ISO/TS 1160202 standardında yazılı olan hususlar göz önüne alınarak hazırlanmış olup, formlarda yer alan her bir kontrol maddesi veri analizi için kullanılabilecek veri kaynağını temsil etmektedir. Envanter yönetiminde uygulanan sınıflandırma yöntemine benzer şekilde formlardaki kontrol maddelerinin ve formların da sınıflandırılması gerekir. Bu sayede, formdaki kontrol maddelerine verilen cevaplar değerlendirilerek kontrol formlarının düzenlenmesi ve buna bağlı olarak bakım süreçlerinin iyileştirilmesi mümkün olacaktır.

Dijital form yapısı kurulduktan sonra, dijital bakım takip ve yönetim programı üzerinden doldurulan formların dijital olarak arşivleneceği dijital arşiv altyapısının da oluşturulması önemlidir. Dijital arşivleme özellikle periyodik olarak denetime tabi olan işletmeler için oldukça önemli bir konu olup, denetimler sırasında raporlara kolay erişim ve raporların dijital ortamda denetçilere teslim edilmesi, işletmelerin denetim sürecini hızlı ve güvenilir geçirmelerine imkan verecektir.

2.3 Veri Analizi

Günümüz iş yaşamındaki en popüler terimlerden biri olan veriyi kullanarak yapılabileceklerin bir sınırı yoktur. Her alanda kullanılabilen verinin, doğru yorumlandığı takdirde insanlığa çok faydalı olacağını söylemek

yanlış olmaz. Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde de verinin önemi büyük olup, envanterlerden elde edilecek veri doğru yorumlandığı takdirde, envanter ömrünün uzatılması, arıza sürelerinin azaltılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi sağlanacaktır.

Veri analizine yönelik altyapıyı kurmadan önce envanterden hangi verilerin alınacağı, periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde değerli olabilecek verilerin ne olduğu ve verilerin hangi yöntemle alınacağı gibi temel soruların cevaplanması gerekir. Veri analizine yönelik ihtiyaçlar ve yöntemler belirlendikten sonra verilerin sınıflandırılması ve yorumlanması aşamaları gelmektedir. Özellikle bu aşamalar uzmanlık gerektirdiği için yangın korunum sistemleri konusunda tesis işletmelerinin ilgili envanterlerin tedarikçileri ve yangın güvenliği uzmanları ile ortak çalışma yürütmesi oldukça önemlidir. Verilerin uygun şekilde sınıflandırılıp doğru şekilde yorumlanması sayesinde bakım yönetiminde zaman ve para tasarrufu sağlanacaktır.

Günümüzde periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde veriler farklı formatlarda toplanabilmektedir. Bina işletmesinin planlamasına bağlı olarak veriler; çıktı olarak alınan formlar, bilgisayar ortamında kayıtlı tutulan dokümanlar veya yakın zamanda kullanılmaya başlanan dijital bakım takip ve yönetim programları aracılığıyla toplanabilmektedir. Verinin aynı anda farklı formatlarla toplanması veri analizini olumsuz etkileyen unsurların başında gelmektedir. Diğer unsurlar ise; bakım süreçlerine farklı ekiplerin dahil olması, envanterden alınan verinin doğru biçimde alındığından emin olunamaması, veri yorumlamasında verinin doğru şekilde sınıflandırılamaması ve hatalı yorumların yapılabilmesi olarak sıralanabilir.

Veri analizi yönteminde yukarıda tarif edilen yöntemi zorlaştıran şartlar göz önünde bulundurularak uygun bir altyapı kurulur ise, veri analizi yönteminin bakım sürecine ciddi katkıları olacağı aşikardır. Veri analizi yönteminin bakım sürecine katkıları ana maddeler halinde aşağıda paylaşılmıştır:

- Envanterin arızalanma süreleri ile bakım periyotları zaman çizelgesinde incelenerek ekipmanın arızada kalma süresi belirlenebilir.
- Ekipmanın arızada kalma süresinin azaltılması adına, bakım periyotlarında güncelleme yapılabilir.
- Arızaya düşmeyen ya da performansında değişiklik gözlenmeyen envanter için bakım periyotlarında değişiklik yapılarak teknik personelin bakıma ayırdığı zaman azaltılabilir.
- Envanterin performansı bakım periyotlarında takip edilip elde edilen veriler uluslararası standartlarda tarif edilen sınır şartların içerisinde kaldığı gözlenir. Aksi bir durum söz konusu olacak ise de erken müdahale yapılarak envanterin tamir/onarım giderleri azaltılabilir.
- Envanterden elde edilen veriler kullanılarak, üretici firmaların üretim safhasında göz önünde bulundurması gereken iyileştirmeler belirlenebilir.
- Envanterlerin arızaya düşme oranları azaltılarak ömrü uzatılabilir.
- Verilerin uzaktan izlenmesi sayesinde periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri çok daha pratik hale getirilebilir.

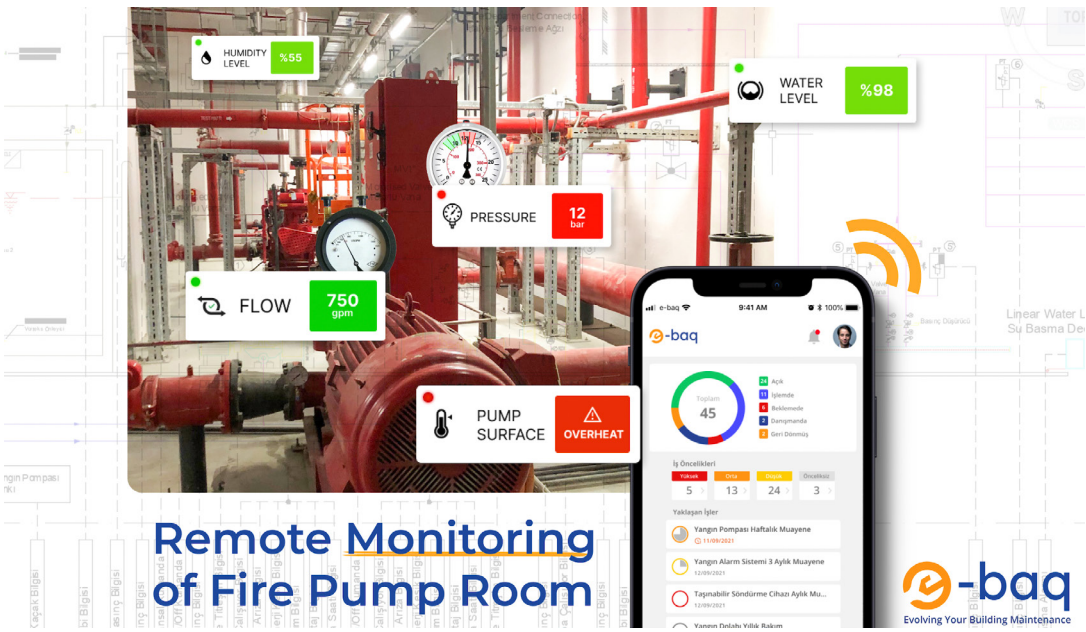
2.4 Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım, bakım sınıflandırması olarak periyodik bakım ile birlikte önleyici bakım sınıfında yer alır. TS EN 13306 standardına göre önleyici bakım; "Önceden belirlenmiş aralıklarda veya öngörülen kriterlere göre gerçekleştirilir ve bir ürünün işleyişinin bozulmasını engellemek veya bozulma olasılığını azaltmak amacıyla yapılır" şeklinde tanımlanır. Kestirimci bakım her ne kadar periyodik bakımlar ile aynı sınıfta değerlendiriliyor olsa da aslında kestirimci bakım yöntemlerinin kesin bir periyodu yoktur ve tam zamanında bakım olarak da adlandırılabilir. Kestirimci bakım yöntemleri yalnızca ekipmandan toplanan verilere dayalı bir süreç olup, veriye bağlı periyodu ve kontrol maddeleri değişkenlik gösterecektir.

Kestirimci bakım yöntemlerinin uygulaması genel hatlarıyla dört aşamaya ayrılabilir. Bu aşamalar; izleme yapılacak noktaların belirlenmesi, ekipmandan toplanan verilerin analiz edilip değerlendirilmesi, veriye dayalı kestirimci bakımların planlanması ve kestirimci bakımların uygulanmasıdır. Kestirimci bakıma yönelik yangın ve can güvenliği özelinde izleme yapılabilecek noktalar aşağıda genel hatlarıyla sıralanmış olup, tesis özelliklerine göre bu sayı arttırılabilir:

•Yangın su deposu seviye izlemeleri
•Yangın pompalarının emme ve basma hatlarındaki basınç izlemeleri
•Yangın pompa dairesi sıcaklık izlemeleri
•Yangın pompalarının test hatlarındaki debi izlemeleri
•Yangın pompalarının elektrik panolarından alınacak izlemeler
•Yangın kolon hattı üzerinden alınan kat besleme hatlarındaki basınç izlemeleri
•Yangın alarm panelindeki yangın alarmı, teknik alarm, devre dışı ve arıza izlemeleri
•Dedike duman kontrol sistemi fan izlemeleri

Yangın pompa dairesi özelinde düşünüldüğünde; kestirimci bakım prosedürlerinin belirlenmesine yönelik takip edilecek verilerden bazıları aşağıdaki görselde paylaşılmıştır. Her bir veri için set aralığı tanımlaması yapılarak ölçüm yapılan verilerden alınacak uygunsuz sonuçlar için hızlıca aksiyon almak mümkün olabilecektir.



Şekil 2. *Yangın Pompa Dairesi Uzaktan İzleme ve Bakım Çalışması*

Kestirimci bakım yöntemleri için belirlenecek izleme noktalarına göre bakıma yönelik anahtar performans göstergeleri (KPI) hazırlanıp elde edilen veriler bu göstergelere göre yorumlanır. Verilerin yorumlanmasında, konuya hakim olmak ve ekipmanın arızalanma ihtimalini öngörebilmek oldukça önemlidir. Verilerin doğru yorumlanması durumunda kestirimci bakım yöntemleri sağlıklı bir şekilde belirlenebilir ve bu sayede bakım yönetiminde zaman ve para tasarrufu sağlanabilir. Kestirimci bakım yöntemlerinin bakım yönetimine katkıları göz önüne alındığında, yangın korunum sistemleri için kestirimci bakım yöntemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yürütmek oldukça yararlıdır. Özellikle günümüz teknolojisi sayesinde, veriye erişmek artık çok daha kolay olduğu için, tesis işletmelerinde yeterli seviyede bakım takip ve yönetim programları kullanılarak veriyi kullanmak ve yangın korunum sistemleri için kestirimci bakım yöntemleri belirlemek tesis işletmelerinin prestijini arttıracak ve bunun da ötesinde iş gücü ve para tasarrufu sağlayacaktır.

3. SONUÇ

Binalarda can ve mal güvenliğini sağlamak amacıyla tesis edilen yangın korunum sistemlerinin standartlara uygun şekilde projelendirilip devreye alındıktan sonra sistemlerin sürdürülebilirliğini de sağlamak esastır. Yangın korunum sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamanın temel yolu ise, konuyla ilgili uluslararası standartlarda tarif edilen periyodik kontrol, test ve bakım yöntemlerinin takip edilmesi olacaktır. Bu yöntemlerin uygulanmasında; öncelikle bina işletmesinin bakım yönetimini planlaması gerekmektedir. Bakım yönetimini

planlarken ise, bakıma yönelik kavramların çok iyi şekilde tanımlanması, bakımı yapılacak sistemlerin ihtiyaçlarının belirlenmesi ve sorumlu kişilerin atanması konuları mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bakım yönetimi planlaması yapıldıktan sonra, sürecin takibi yapılmalı ve işletme boyunca bakım yönetimini iyileştirme ve geliştirmeye yönelik çalışmalar sürdürülmelidir. Sürecin iyileştirmesi kapsamında, bakım yönetimi için anahtar performans göstergeleri tanımlanarak bu aşamaların puanlanması ve bu puanlama göz önünde bulundurularak iyileştirme çalışmalarının yürütülmesi doğru bir yaklaşımdır. Yangın korunum sistemlerinin bakım yönetimi ile ilgili anahtar performans göstergeleri belirlenirken yangın güvenliği uzmanları ile ortak çalışmalar yürütülmesi oldukça önemlidir. Yalnızca ihtiyaç halinde kullanılacak olan ve bu durumda da tasarım kriterlerine uygun şekilde çalışması beklenen yangın korunum sistemlerinin bakım yönetiminde doğru anahtar performans göstergeleri kullanılması ve bu göstergelerin uygun şekilde puanlanması binanın can ve mal güvenliği için hayati öneme sahiptir. Konunun uzmanları ile yapılacak bu çalışmalar sayesinde yangın korunum sistemleri bakım yönetimi iyileştirebilir ve sistem performansları arttırılarak bakım maliyetleri düşürülebilir.

Bina işletmelerinde bakım yönetim süreçlerinin iyileştirilmesinin yanı sıra, mevcut bakım süreçleri göz önüne alındığında, işletmelerin teknolojik altyapıya sahip bakım takip ve yönetim programlarını kullanmasının ihtiyaç olduğunu söylemek de yanlış olmaz. Bu tür programlar sayesinde, tesis işletmeleri yangın korunum sistemlerini uzaktan takip edip bu sistemlerden istediği türde veriyi alabilecek ve bu verileri doğru yorumlamak kaydıyla veri analizi yapıp iş gücü ve para tasarrufu sağlayabilecektir. Bu tasarrufların yanı sıra, veri analizi ve buna bağlı olarak ortaya koyacağı kestirimci bakım yöntemleri sayesinde, denetime tabi olan tesis işletmelerinin, denetimden çok daha hızlı ve kolay şekilde geçmesi mümkün olacak ve özellikle yangın güvenliğine yönelik binasını sigortalatan işletmeler süreç içerisinde sigorta priminden avantaj sağlayacaktır. Bakım süreçlerini belli bir disiplinde yöneten, envanterine özel kestirimci bakım yöntemlerini oluşturan binaların güvenilirliği ve prestiji de artacaktır.

KAYNAKLAR

- *BYKHY (2015). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007 yılındaki ilk yayımı: Bakanlar Kurulu'nun 27.11.2007 gün ve 2007/12937 sayılı kararı ile resmi gazetenin 19.12.2007 gün ve 26735 sayılı sayısı 2009 ve 2015 yıllarında yapılan değişiklikler: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2015), Bakanlar Kurulu'nun kararı ile resmi gazetenin 9.09.2009 gün ve 27344 sayılı ve 9.07.2015 gün ve 7401 sayılı Resmi Gazetelerde yayınlanan hükümleri*
- *TS EN 15331 (2012). Binalar için Bakım Servislerinin Kontrol ve Yönetimi, Tasarım Kriteri, Türk Standartları Enstitüsü.*
- *TS EN 13306 (2017), Bakım – Terimler ve Tarifler, Türk Standartları Enstitüsü.*
- *TS EN 15341 (2019). Bakım – Bakımla İlgili Anahtar Niteliğinde Performans Göstergeler, Türk Standartları Enstitüsü.*
- *MASTERFORMAT (2020), Master List of Numbers and Titles for the Construction Industry, CSI.*
- *UNICLASS (2015). https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015, National Building Specification.*
- *TSE ISO/TS 11602-2 (2010). Yangından Korunma – Taşınabilir ve Tekerlekli Yangın Söndürücüler – Bölüm 2: Muayene ve Bakım, Türk Standartları Enstitüsü.*
- *Joglar, F., Ontiveros, V., & Pennel, G. 2018., "Applying Reliability Based Decision Making to ITM Frequency", Quincy: Fire Protection Research Foundation*

ÖZGEÇMİŞ

Duhan PORTAKAL

1992 yılında Mersin'de doğdu. 2010 senesinde İçel Anadolu Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl İTÜ Makina Fakültesine girdi. 2015 yılında İTÜ Makina Fakültesinden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 2017 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve "İtfaiye Su Alma Ağızlarındaki Tasarım Basıncının, Debi, Püskürtme Mesafesi ve İtfaiyeciye Gelen Kuvvete Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasını 2020 yılında tamamlayarak Makina Yüksek Mühendisi ünvanını aldı.

2015 yılından beri, binalarda yangın güvenliği ile ilgili danışmanlık hizmeti veren Etik Mühendislik Danışmanlık Tasarım ve Eğitim Hizmetleri A.Ş.'de Makina Yüksek Mühendisi olarak çalışmaktadır. Bu süreçte, birçok uluslararası projede yangın danışmanı görevlerinde bulundu ve çeşitli ülkelerde ulusal ve uluslararası konferanslara konuşmacı olarak katıldı. Ayrıca, çalışma arkadaşları ile birlikte 2019 yılında TTMD adına REHVA'nın 24 numaralı el kitabı Duman Kontrol Kılavuzu'nun çevirisini yaptı.

YAPAY ZEKA VE BÜYÜK VERİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN BİR KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

Dr. İzzet Y. Önel[1], Berk Barış[1], Berke Deniz Buğa[2], İhsancan Özpoyraz[1]

[1] KoçDigital

[2] Ford Otosan

ÖZET

Sensör fiyatlarının ucuzlaması ve haberleşme teknolojilerinin ilerlemesi ile birlikte, üretim tesislerinden toplanan veri miktarı üstel olarak arttı. Gelişen büyük veri (Big Data) teknolojileri, yapay zeka (Artifical Intelligence - AI) algoritmalarının yaygınlaşması ve işlemci kapasitelerinin artışı ise elde edilen verinin işlenmesini kolaylaştırdı. Böylece, üretim analitiği (Manufacturing Analytics) adı verilen uygulamalar yaygınlaşmaya başladı. Kestirimci bakım, kestirimci kalite ve optimizasyon gibi uygulama alanlarına odaklanan üretim analitiği projeleri, sahada toplanan IoT verisini bakım ve kalite verisi ile birleştirerek anlamlandırmaya ve tesis veriminin arttırılmasına (OEE) katkıda bulunuyor. Bu çalışmada, bir otomotiv üretim tesisinde üretim analitiği teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen bir Kestirimci Bakım projesi elde edilen sonuçlarla birlikte anlatılmıştır. Projenin temel özellikleri arasında, ekipman duruşu ve sensör montajına gerek kalmaksızın sahadan veri toplamaya imkan tanıyan IoT teknolojilerinin ve veri analizi için büyük veri ve yapay zeka algoritmalarının kullanılması olarak özetlenebilir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda endüstriyel otomasyon, imalat sektöründe önemli bir büyüme katetti. Yüksek pazar rekabeti ve daha yüksek son kullanıcı talebiyle, üreticiler daha yüksek hacimli ve daha kaliteli ürünler üretmeye mecbur kaldı. Beklentinin artması, üreticileri fabrikadaki üretim süreci, varlık izleme, varlık bakımı ve desteği alanlarına odaklanmaya yönlendirdi.

IoT teknolojilerinin ilerlemesi ve sensör fiyatlarının ucuzlamasıyla beraber üretim tesislerinden toplanan veri üstel bir oranda arttı. Sadece son yılda IoT marketi %8 artarak 12.2 Milyar aktif sensör sayılarına ulaştı. IoT Analytics'in araştırmalarına göre bu rakamın 2025 yılında 27 Milyar seviyelerine ulaşması beklenmektedir [1]. Artan veri talebini karşılamak için gelişen Büyük Veri teknolojileri sayesinde elde edilen veri büyük oran-

da yapay zeka uygulamalarında kullanılmaya başlandı. IoT ve yapay zekanın üretim alanında kullanılması ile üretim analitiği uygulamaları büyük bir sıçrayış yaşadı. Kestirimci bakım, kestirimci kalite, optimizasyon, görüntü analitiği ve iş sağlığı güvenliği gibi uygulamalar ile fabrika genelinde otomasyonun artması sayesinde üreticilerin doğrudan insan işgücü maliyetlerini azaltması; bunun yanı sıra üretimde üretkenliği, kaliteyi ve performansı ifade eden OEE (Overall Equipment Efficiency) metriklerini iyileştirmesi sağlandı.

Kestirimci bakım uygulamaları üretim analitiğinde en çok ihtiyaç duyulan konulardan biri haline geldi. Üretim hızının yüksek olduğu endüstrilerde, öngörülemeyen duruşlar sebebiyle üretim hattında yaşanan aksaklıklara yer yoktur. Üretimde kaybedilen 1 dakika bile, hızlı ürün çıkaran fabrikalarda büyük kayıplara yol açabilir. Dolayısıyla bu şekilde talebin yüksek olduğu bir alanda bir sıkıntıya anında cevap vermek yeterli değildir; proaktif olup daha aksaklıklar çıkmadan, problemi fark edip, çözüme yönelik aksiyon almak gerekir. Kestirimci bakım uygulamaları sayesinde yapay zekanın meziyetlerini ve IoT verilerini kullanarak daha hatalar ortaya çıkmadan üretim sahasında problemleri çözmek mümkün hale gelmiştir. Bu bildirimizde bir otomotiv üretim tesisinde yapay zeka kullanarak gerçekleştirilen bir Kestirimci Bakım projesi örneğimiz elde edilen sonuçlarımızla beraber sunulmuştur.

2. KOÇDİGİTAL'İN KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

Otomotiv sektörü yüksek üretim kapasitesi ve kalite ihtiyacı sebebiyle üretimdeki en zorlu alanlardan biridir. Dolayısıyla otomotiv sektöründeki en ufak duruşlar bile üretici tarafında çok yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bizim müşterimiz otomotiv alanında Türkiye'deki en büyük üreticilerden biridir ve yılda 415.000 araç üretimi gibi çok yüksek bir tempoda çalışmaktadır. KoçDigital'in geliştirdiği kestirimci bakım projesi sayesinde bir yıl içerisinde toplamda 45 saatlik plansız duruşun önüne geçilmiştir. Her dakikanın öneminin büyük olduğu ve hataların oldukça az olduğu bir fabrikada önlenen 45 saatlik üretim duruşu ve OEE metriklerinde büyük bir artış sağlamıştır. Geliştirilen model yüzde 83 gibi yüksek bir doğruluk oranıyla ekipmanlarda oluşan hataları yeterli bir süre önceden tespit edebilmemiz sağlamıştır.

Standart Bakım Uygulamaları

Üretim sahasındaki en kritik çalışmalardan biri ekipmanlardaki düzenli bakım çalışmalarıdır. Bakım operatörleri belirli periyotlarda üretim ekipmanlarının takibini ve incelemelerini yapıp, bir sıkıntı olması durumunda ekipmanların bakımlarını yapmaktadırlar. Ancak tüm ekipmanları sürekli olarak kontrol etmek oldukça zahmetli ve zaman alan bir süreçtir. Birçok zaman da bu bakım prosesleri arızaya sebep olmayan ekipmanlar üzerine yapılmaktadır. Bakım operasyonlarının daha verimli olması adına kestirimci bakım uygulamaları ortaya çıkmıştır.

Fabrikalarda kestirimci bakım uygulamaları çoğunlukla kural tabanlı uygulamalar olmaktadır. Ekipmanların parametreleri önceden belirlenmiş bazı limitlerle kontrol edilir. Parametreler belirli bir limitin üzerine geçtiği zaman hataya yol açabileceğine dair bakım ekiplerine alarm verilir. Ancak fabrika ekipmanları yüksek bir tempoda çalıştığından dolayı, belli bir süre sonra çoğunlukla yaşlanma sebepli olarak çalışma paternleri değişir ve kural tabanlı kestirimci bakım uygulamaları bu değişime kolay bir şekilde cevap veremez. Değişen çalışma paternleri dışında, bu kuralları oluşturmak da oldukça zor bir süreçtir. Makinelerin çalışma paternleri birbirine göre değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla bir makine için belirlenen bazı kurallar, diğer makineler için uygulanabilir olmayabilir. Kuralları belirlemek de oldukça uzmanlık gerektirir. Bir ekipmanın çalışma örüntüsünü anlamak için haftalarca, aylarca ekipmanı takip edip, ardından kuralları belirlemek gerekebilir.

Yapay Zeka Tabanlı Bakım Uygulamaları

Yapay zekanın üretim sektörüne dahil olmasıyla beraber, kestirimci bakım uygulamaları da daha akıllı bir hale geldi. Günümüzde yapay zeka temelli kestirimci bakım uygulamaları ekipmanlarda oluşan anomalileri saatler, günler öncesinde tespit edebilmektedir. Yapay zeka sayesinde çok daha genellenebilir olacak şekilde tasarlanan algoritmalar farklı ekipman ve türlere çok daha hızlıca ve kolayca adapte olabilir. Ekipmanlara bağlanan

IoT sensörlerinden gelen veriler Büyük Veri sistemleri sayesinde işlenerek makinenin çalışma paterni çok daha hızlıca anlaşılabilir ve makinenin değişimlerine cevap verebilir.

Makine öğrenimi modellerini oluşturulurken modellerin basit olması oldukça önemlidir. Karmaşık makine öğrenimi modelleri (derin öğrenme vb.) eğitim için sunulan verileri ezberlemeye daha meyillidir (overfit). Ezberlenmiş modeller üretim sahasında eğitim verisinde daha önce karşılaşmadığı durumları gördüğünde daha düşük performans gösterip, üretim sırasındaki her türlü tutarsızlığa yanıt vermeye daha yatkındır. Karmaşık modeller, herhangi bir arıza olmasa bile operatörleri uyarmak için alarm sistemini tetikleme eğilimindedir. Sürekli bir şekilde alarm gelmesi operatörlerin bir süre sonra modelin yetenekleri sorgulayıp, modele karşı olan güvenin yitirilmesine sebep olmaktadır. Ancak, makine öğrenimi modelleri, nispeten basit bir modelle anormallikleri tespit edebilir. Alarmı sık sık değil, yalnızca gerçek bir kusur olduğunda tetiklemek için basitlik ve karmaşıklık arasındaki ince çizgiyi bulmak çok önemlidir. Modeller bu şekilde daha genelleştikçe, hataları yeterli bir süre önceden görebilirken, bir yandan da yeni makinelere hızlı bir şekilde uyarlanabilir.

Mevcut ve KoçDigital Kestirimci Bakım Metodolojileri

Üretim alanında birçok kestirimci bakım metodolojisi mevcuttur. Bu metodolojilerin birçoğu çok yüksek miktarda veri toparlanmasını gerektirmektedir. Bunlardan biri de endüstride oldukça bilinen akım imza analizidir. Akım imza analizi, trifaze elektrik motorlarından alınan akım verilerinin pik noktalarının incelenerek motorlardaki sıkıntıları fark etmeyi sağlayan bir kestirimci bakım yöntemidir. Ancak bu yöntemlerin uygulanması için çok yüksek frekansta (örneğin 5-10 milisaniye) veri toplanılması gerektiğinden dolayı, özel sensör ve cihazların makinelere bağlanması gerekmektedir. Yüksek teşhis edici özelliklerine rağmen bu yaklaşımlar oldukça maliyetli olmaktadır. Dolayısıyla, çoğunlukla arıza görmesi büyük zararlara yol açabilecek ekipmanlar için tercih edilmektedir.

KoçDigital'de geliştirilen yapay zeka modeli sayesinde sıradan IoT sensörlerinden gelen verilerle arızalar tespit edilebilmektedir. Sadece elektrik akımı verisi kullanılarak oluşturulan bu modeller ekipmanlardaki anomalileri saatler öncesinden tespit etmemize imkan verir. Ekstra bir ekipman kullanılmadan, standart IoT cihazlarıyla toplanan veri üzerinden sonuçlar çıkarabilmek, sektördeki diğer kestirimci bakım yöntemlerine göre büyük bir maliyet avantajı sağlar.

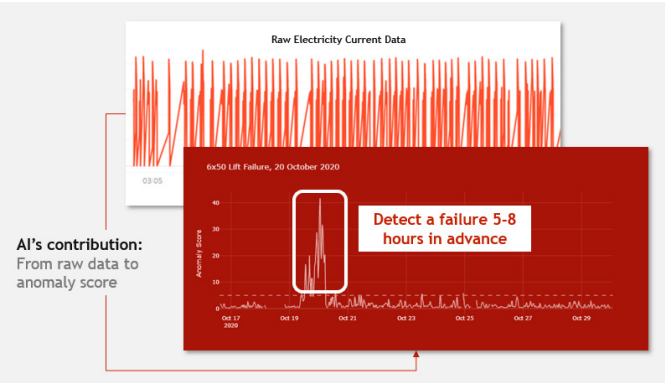
Kurulan model yapısı anomalileri oldukça iyi tespit ederken, teşhis edici bir özellik barındırmamaktadır. Modelimiz verdiği alarmlarda makinelerde herhangi bir sıkıntı olduğuna dair bilgi verirken, hatanın nereden kaynaklı olduğunu veya ne kadar sürede arıza oluşacağını bildirmez. Çalıştığımız süre boyunca verdiğimiz anomali hatalarında ekipmanlarda oluşan rulman yatağı kırılması (örneği aşağıda gösterilmiştir), kayış kopması, kayış kayması, zincirde eksen kaçıklığı gibi farklı tipte ve etkisi büyük olan birçok hata yakalanmıştır.

KoçDigital olarak bizim değer önerimiz teşhis yeteneği yüksek bir model vermektense, bakım ekiplerinin yoğun programlarını daha efektif bir şekilde planlayıp, arıza ihtimali yüksek olan ekipmanlara yönlendirilmesini sağlamaktır. Bu sayede müşterilerimiz bakım maliyetlerini büyük bir oranda azaltabilmektedir.

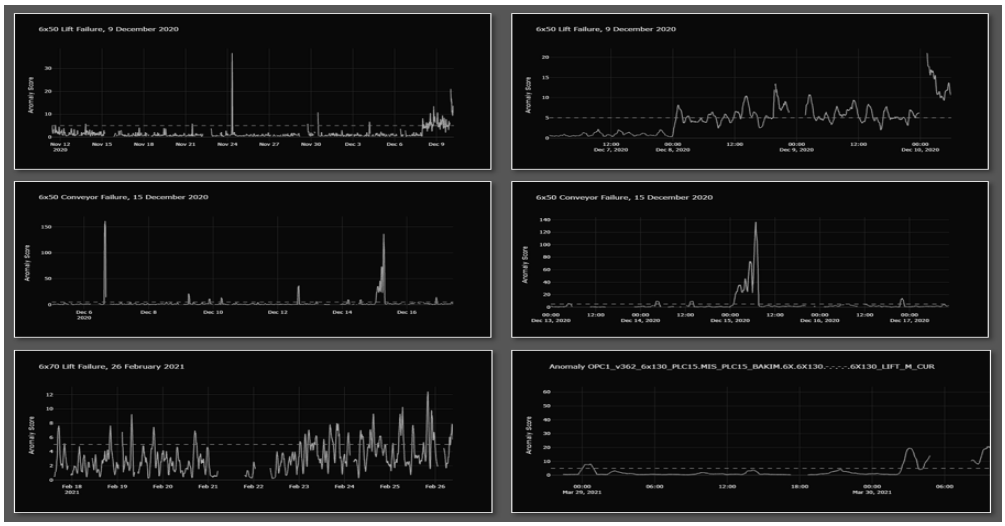
Model Yöntemi

Yapay zeka modellerinin çoğunluğunda arızaların olduğu zamanlar etiketlenip, modele arızaların olduğu zamanda makinenin performansındaki değişimler öğretilir. Model canlıya alındığında da ekipmanda benzer paternler görüldüğü zaman arıza olabileceğine dair alarm verilir. Ancak otomasyonu yüksek, üretimin yüksek kalitede gerçekleştiği fabrikalarda bu tarz arızalara çok nadiren rastlanır. Düşük sayıda arıza geçiren bir ekipmanın hata yapma paternini öğrenmek oldukça zahmetlidir ve çoğu zaman da başarısızlıkla sonuçlanır. Dolayısıyla böyle ekipmanlarda hatayı öğrenmek yerine, ekipmanın normal çalışma performansını öğrenmek daha akıllıcadır. Ekipmanın normal çalışmasını öğrenen yapay zeka modeli, olağan dışı ve beklenmedik durumları görüp normalin dışına çıkıldığını tespit edebilir. Bu sayede de arızalara yeterince süre önceden müdahale etmek mümkün olur. KoçDigital'in modelinde olduğu gibi denetimsiz öğrenme yöntemleri kullanılarak geliştirilen modeller, ekipmanların normal çalışma paterninin dışında bir çalışma örüntüsü gördüğü zaman operatörlere arıza olabileceğine dair bilgi verirler.

KoçDigital'in geliştirdiği bu kestirimci bakım metodolojisi, ekipmanları tahrik eden elektrik motorlarından alınan ham akım verileri üzerine kurulmuştur. Makinelerin son 1 aydaki normal akım verileri öğrenilip, ardından her yarım saatte bir makinenin güncel akım verileri ile kıyaslanır. Normal gözle bakıldığında akım verisinde herhangi bir farklılık görülmese de veride yapılan transformasyonlar sayesinde yapay zeka modeli, verinin satır aralarında yatan gizli bilgileri ortaya çıkarmamızı sağlamaktadır (örnek için aşağıdaki görsele bakınız).

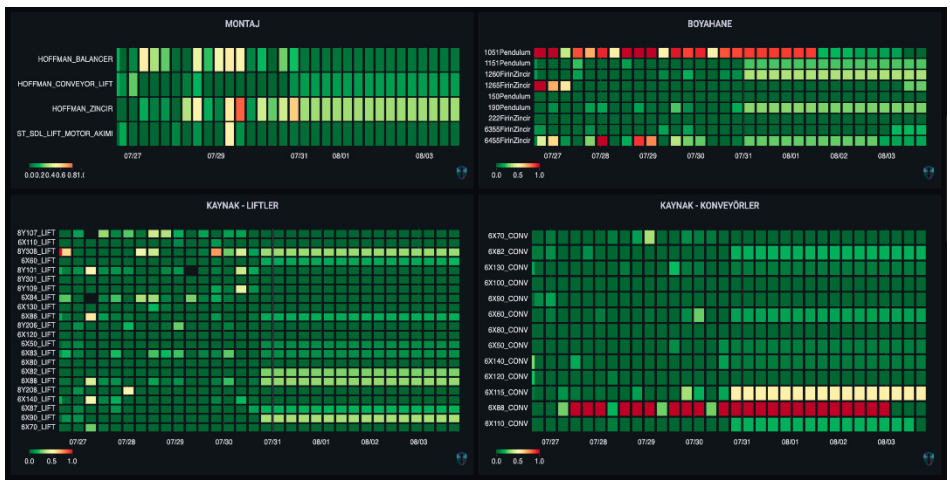


Bu yöntemde yeni gelen verinin, ekipmanın standart çalışma ritminden uzaklaşma oranına göre bir anomali skoru oluşturulmaktadır. Burada iş birimleriyle beraber ekipmanlar incelenip bir eşik değeri belirlenir. Eşik değerini geçen durumlarda da bakım ekiplerine, ekipmanların kontrol edilmesine yönelik bilgilendirme gönderilir. Aşağıda anomali skorlarına ait bir dizi örnek grafik görülmektedir.



Yukarıda örnekleri görülen anomali skoru grafiklerinde anomali skorunun belirlenen eşik değerini aşıp aşmadığını kontrol etmek ve ekipmanların durumu hakkında bilgi edinmek mümkündür. Fakat yüzlerce, binlerce ekipmanın bulunduğu üretim sahalarında operatörlerin her bir ekipman için bu grafikleri inceleyerek bir karara varmasının etkin bir yöntem olmayacağı aşikardır. Bu nedenle anomali skorlarının yorumlanmasını kolaylaştıran bir gösterge daha geliştirilmiştir: risk skoru. Risk skoru, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve ekipmana ait anomali skorunun son 2 saatin ne kadarlık bir bölümünde belirlenen eşik değerin üzerinde kaldığını gösterir. Eğer anomali skoru son 2 saatin tümünde eşik değerin üzerinde seyretmişse risk skoru 1 değerini alırken, tersi durumda 0 değerini alır. Risk skorunun 0'dan 1'e doğru hareket etmeye başlaması ekipmanda bir arızanın gelişmeye başladığının bir göstergesidir ve özellikle de 0.7, 0.8 değerlerine ulaştığında müdahale edilmesi (arıza muayenesi, keşif çalışması vb.) tavsiye edilir. Aşağıda risk skorlarının yer aldığı örnek bir gösterge paneli de görülebilir.

Başka bir örnek gösterge panelinde ise risk skorlarının nasıl geliştiği gösterilmiştir.



Model Sonuçları

Müşterimizle yapılan 1 yıllık çalışmada fabrikada toplamda 50 adet konveyör veya lift ekipmanı izlenmiştir. Bu ekipmanlar elektrik motorlarıyla tahrik edilip araçların belli bir hatta ilerlemesini veya belirli bir yüksekliğe kaldırılıp, indirilmesini sağlayan makinelerdir. Modelimiz 1 yıllık çalışmanın sonunda sahada yaşanan 18 arızanın 15'ini yeterince süre önceden tespit ederken, 3 arızayı da kaçırmıştır. Dip toplama baktığımızda model yüzde 83 gibi yüksek bir doğruluk oranıyla arızaların büyük bölümü için yeterli bir süre önceden bakım ekiplerine bilgi vermiştir.

Sonuç

Üretim sektöründe IoT ve yapay zekanın etkisi git gide artmaktadır. Sensör fiyatları azaldıkça daha fazla kaynaktan veri toplanması, veri sayısı arttıkça da yapay zeka modellerinin daha iyi sonuçlar üretmesi sağlanmıştır. Yapay zeka destekli kestirimci bakım bu dalganın önemli bir sonucudur. KoçDigital tarafından geliştirilen yalın çözüm sayesinde ölçeklenmesi kolay, donanımdan ziyade yazılımın öne çıktığı kestirimci bakım uygulamalarının önü açılmıştır. Bu sayede üretim sahalarındaki makinelerin belirli bir bölümü değil de, neredeyse tümünün bu hizmetlerden yararlandırılması mümkün hale gelmiştir.

KAYNAKÇA

[1] https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices

YOĞUN YOLCU KULLANIMINA AÇIK YÜRÜYEN MERDİVENLERİN GÜVENLİK SEVİYESİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK KORUYUCU BAKIM ESASLARI

[1]Arş. Gör. Abdülmelik SANCAK, [2]Öğr. Gör. Dr. Adem CANDAŞ,
[3]Öğr. Gör. Yusuf Ziya KOCABAL, [4]Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK

[1] Arş. Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye, *sancak17@itu.edu.tr*

[2] Öğr. Gör. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye, *candas@itu.edu.tr*

[3] Öğr. Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye, *kocabal@itu.edu.tr*

[4] Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye, *imrak@itu.edu.tr*

ÖZET

Yürüyen merdivenler alışveriş merkezleri, iş merkezleri, hastaneler, metrolar ve havaalanları gibi çok katlı ve insan trafiğinin yoğun olduğu kamusal yapılarda yaygın olarak kullanılan, insanların sürekli ve güvenli olarak taşınmasını sağlayan, tesis edilen yapıdaki trafik yoğunluğuna göre tasarlanan ve hareketli basamaklardan oluşan eğimli konveyör sistemleridir. Yürüyen merdivenlerin bakımları zamanında ve tekniğe uygun yapılarak sistemin arızalanması ve kullanıcıların yaralanması ihtimali azaltılmaktadır. Bu kapsamda yürüyen merdivenlerin güvenilirlik seviyesini arttırmaya yönelik planlı bakım yöntemlerinin karşılaştırmalı incelenmesi ve bakım periyodunun belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, yürüyen merdivenlerde uygulanacak koruyucu bakım ve kestirimci bakım prosedürleri değerlendirilerek bakım planlaması ve bakım yönetimine yönelik bir yaklaşım ele alınmıştır.

1. GİRİŞ

Yürüyen merdivenlerin bakım süreçleri, güvenli ve kesintisiz kullanımları açısından oldukça önemlidir. Yürüyen merdiven sistemleri çok sayıda elemandan oluşmaktadır. Bu elemanların üretici tarafından belirtilen kullanım ömürleri ve bakım süreleri bulunmaktadır. Yürüyen merdivenlerin koruyucu bakım süreçleri ve kapsamları üretici tarafından yerel yönetmeliklere uygun olarak belirtilmektedir. Koruyucu bakımın yanı sıra kullanım sırasında oluşabilecek arızaları en aza indirmek için kestirimci bakım da büyük önem arz etmektedir.

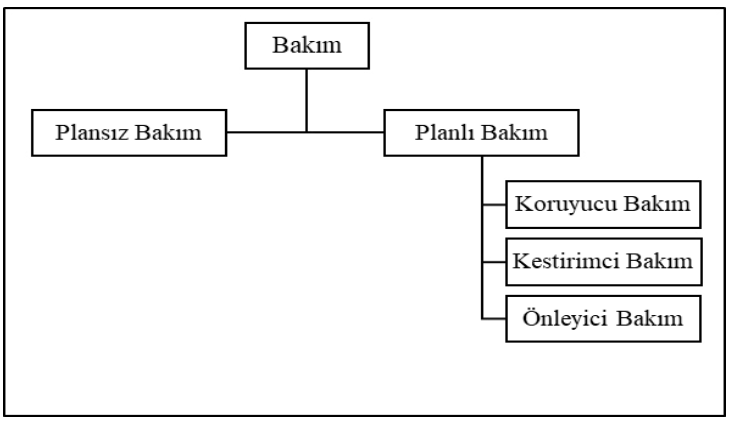
Kestirimci bakım süreleri üretici tarafından sunulan kullanım ve fabrika verileri de değerlendirilerek belirlenebileceği gibi bakım sırasında elemanlar üzerinde yapılacak incelemeler ve toplanacak veriler ışığında da tespit edilebilmektedir. Yoğun yolcu kullanımı olan yürüyen merdivenlerin elemanlarının daha az kullanılanlara göre daha kısa sürede bakım gerektireceği bilinmektedir. Bu sebeple periyodik olarak yapılan bakımların daha kısa aralıklarla yapılması, kestirimci bakım prosedürlerinin uygulanması ve belirtilecek diğer önlemler ile yoğun kullanıcı kullanımı olan yürüyen merdivenlerde arıza, kullanım dışı kalma ve kullanıcı yaralanmalarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda yürüyen merdivenlerin bakım süreci için bir kontrol formu önerilebilir.

2. BAKIM

İnsanların karşılaştığı sorunların çözülmesi ve hayatı kolaylaştırmak amacıyla taşıma, otomotiv, havacılık, sağlık, tarım, eğitim gibi farklı alanlarda mekanik-elektronik sistemler tasarlanmakta ve üretilmektedir. Sistemlerin üretim sonrası güvenli ve arızasız olarak kullanım devamlılığının sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple sistemin çalışmasının aksaması önlenerek kullanım ömrü boyunca yapılan tüm iyileştirici ve önleyici işlemler bakım olarak adlandırılmaktadır. Sistemde bulunan elemanlardan kullanım ömrü dolanların değiştirilmesi, diğer elemanların kondisyonlarının iyileştirilmesi, sistemin ve elemanlarının gerekli temizliklerinin yapılması, sistemin çalışma şartlarının kontrol edilmesi gibi işlemler bakım kapsamında yapılan genel işlemlerdir. Sistemlerin kullanılacağı ülkelerdeki yerel yönetmelikler de gözetilerek üretici tarafından bakım kılavuzları hazırlanmaktadır. Bakım kılavuzlarında yetkili personele yönelik olarak makinada kullanılan malzemelerin dayanımlarına, hangi aksama hangi sürelerde bakım yapılması, kontrol edilmesi gereken belirtiler, değişmesi gereken parçalar gibi detaylı teknik bilgiler bulunmaktadır.

Bakımın amacına ulaşması ve bakım işlemlerinin ne zaman ve ne şekilde yapılması gerektiğinin belirlenmesi için bakım planlaması önem arz etmektedir. Planına uygun bir şekilde gerçekleştirilen bakım genel olarak; imalat ve işçilik kayıplarını, kaza ve yaralanma risklerini azaltır, eleman ömrünü ve performansını arttırır, enerji tasarrufu sağlar, kullanıcı memnuniyetini arttırır, sistemin sorunsuz çalışmasını sağlar. Bakım çalışmasının ana amacına ulaşmak için; verimi ve kaliteyi arttırmak, sistem kesintilerini azaltmak, ekonomik verimi arttırmak için sistemin ve elemanlarının kullanım ömrünü arttırmak, bakım onarım masraflarını azaltmak gibi bazı alt amaçlar da gerçekleştirilmektedir. Başarılı bir bakım yapılması için; bir bakım politikası tasarlanmalı, bakım için gerekli eleman stokları hazır olmalı, yapılan bakım işlemleri kayda alınmalı, bakım işlemleri yöneticinin onayı ve bilgisiyle yapılmalıdır [1].

Bakım yöntemlerinin tarihsel gelişimine bakıldığında eski yıllarda "arıza olursa bakım yapılır" mantığı varken yakın zamana gelindiğinde planlı bakımın yanı sıra akıllı sistemler ve ileri teknolojiler kullanılmasıyla birlikte gerçekleşmesi muhtemel arızaların önlenerek sistem kesintisinin en aza indirilmesi ön plana çıkmaktadır [1]. Farklı prosedürlere bağlı olarak bakım yöntemleri Şekil 1'de görüleceği üzere Planlı Bakım ve Plansız Bakım olarak iki ana başlıkta tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Bakım Sınıflandırması

2.1. Plansız Bakım

Sistemde arıza oluştuğunda arızaya yönelik olarak yapılan işlemler plansız bakım olarak adlandırılmaktadır. Arıza durumuna sebep olan eleman tamir edilmekte veya yenisiyle değiştirilmektedir. Zamansız arızalar sonucunda yapılan plansız bakım işlemlerinde zaman kaybı oldukça yüksek seviyelerdedir ve arızanın ortaya çıktığı elemanın sistemin diğer parçalarına da zarar verme ihtimali bulunmaktadır [2]. Plansız bakımın güvenlik riski, sistemin devamlılığının bozulması, sistemin kontrolünün kaybolması, arıza ihmalinin daha büyük hasarlara sebep olması gibi dezavantajları da olduğu bilinmektedir [3]. Plansız bakımın dezavantajlarının oldukça fazla olması sebebiyle planlı bakım yöntemlerinin kullanılması önemli olmaktadır [4]. Tüm bakım yöntemleri arasında en verimsiz yöntem olduğu düşünülmektedir. Arıza üzerine yapılan bakım arızi bakım olarak da bilinmektedir. Ayrıca sistemin kullanıldığı ortama ve kullanım sıklığı gibi koşullara bağlı olarak sistemler beklenenden daha hızlı bir şekilde eskiyebilmekte ve arızalar ortaya çıkabilmektedir.

2.2. Planlı Bakım

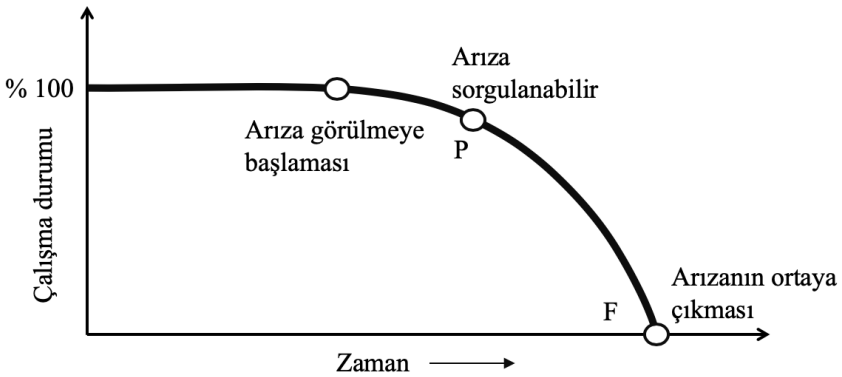
Sistemin arıza oluşmadan önce belirlenen bakım planına göre bakım işlemlerinin yapılmasıyla devamlılığının sağlanması planlı bakım olarak bilinmektedir. Planlı bakım sırasında bakım zamanı gelen elemanlara bakım yapılmakta olup, sistemin üzerinde birtakım incelemeler yapılarak arıza ihtimali yüksek olan elemanların da tespit edilmesi ve gerekli aksiyonların alınması da planlı bakımın önemli yönlerindendir. Planlı bakım, plansız bakım gibi arıza üzerine gerçekleştirilen değil, üretici tarafından belirlenen kılavuzlarla veya teknik deneyimlerle belirli periyotlarda gerçekleştirilen bakım yöntemidir. Planlı bakımlar günlük, haftalık, aylık, 3- 6 vb. aylık veya yıllık gibi periyotlarda ve hangi periyotta hangi işlemlerin yapılacağı bilgileriyle planlı bakım programı ve bütçesi düzenlenerek, işletme yönetiminin onayıyla gerçekleştirilmelidir. Planlı bakım sistemde daha az kesinti, verimde yükselme, daha uzun sistem kullanım ömrü, arıza ve aşırı yıpranma ihtimallerinin azalması, iş güvenliğinde artış, enerji giderlerinde azalma, sistem kalitesinde artış gibi avantajlar sağlamaktadır.

2.2.1. Koruyucu Bakım (Periyodik Bakım)

Koruyucu bakım arıza olmadan, üretici tarafından belirlenen bir zaman periyodunda planlanarak sistemde bulunan elemanların bakımlarını içermektedir. Saptanan arızalar ve arızaya sebep olması muhtemel elemanlara ve durumlara yönelik işlem yapılmaktadır. Düzenli olarak periyodik bakımı yapılan sistemde arıza olma ihtimali en aza indirilmektedir. Sistemde yaşanabilecek çalışma kesintileri önlenmiş olmaktadır. Periyodik bakım günümüzde en çok kullanılan bakım yöntemidir ve bakım programında gerekli onarım, ayarlama, muayene, yağlama, temizleme, boyama yapılması, yenileme, eskiyen parçaların değişimi, sistemin çalışma süresince incelenmesi ve performans değerlendirmesi yapılması gibi işlemler sistemin durmasını en aza indirerek kullanılabilirlik süresinin arttırılması amacıyla daha az maliyetle ve daha güvenli olarak gerçekleştirilmektedir [1]. Sistemin kullanım ömrünün artması, verim ve kalite artışı, arıza ihtimalinde azalma, yıpranmanın azalmasıyla yenileme maliyetlerinde azalma, arızalar azalacağı için sistemin diğer elemanlarına zarar verme ihtimalinin azalması ve onarım maliyetlerinde azalma gibi avantajları; parça ömrü tamamlanmadan değişimi ve değişim sonrası sistemin ideal halini almasının zaman alması gibi dezavantajları bulunmaktadır [1]. Bu yöntemin avantajlarının dezavantajlarına göre daha üstün olduğu görülmektedir.

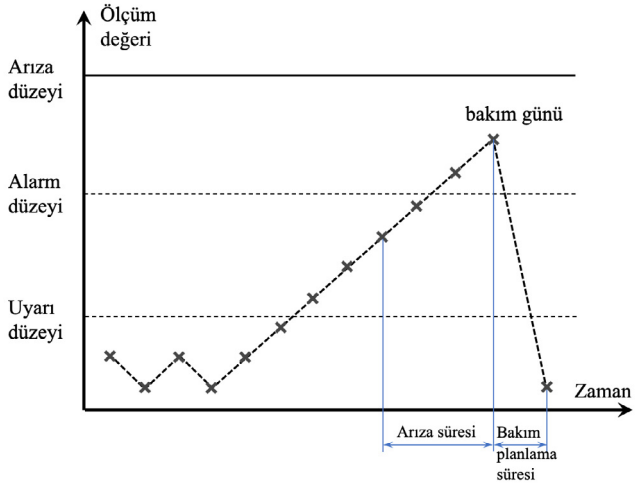
2.2.2. Kestirimci Bakım (Erken Uyarıcı Bakım)

Arıza sonucu ihtiyaç duyulan plansız bakımların önlenmesi ve sistemde plansız çalışma kesintileri olmaması amacıyla ilgili veri ekipmanı ve yöntemlerle sistemdeki eleman ve çalışma süreçlerindeki muhtemel kusur ve olağandışı durumların tespit edilmesiyle yapılan bakım faaliyetleridir [5]. Kestirimci bakım mekanik bir sistemde arıza meydana gelmeden önce arıza zamanı belirlenerek bakımın planlanmasını sağlayan bir yaklaşımdır [6]. Diğer bir tanıma göre ise sistemdeki elemanların fiziksel parametrelerinin standartlarının ölçülerek ve durumları izlenerek mühendislik yöntemleriyle karşılaştırma, sonuç analizi ve yorumlaması yapılarak arızaya neden olabilecek durumların ekonomik olarak etkisizleştirilmesi ve düzeltilmesi için yapılan tüm işlemlerdir. Sisteme ait verilerin gerçek zamanlı ve devamlı olarak takip edilmesi sayesinde, değişen durumlara karşın verimliliği en üst seviyede tutan kestirimci bakım yöntemiyle sistemin bakımı için en uygun zaman belirlenir [7]. Şekil 2'de görüleceği üzere arızalar çoğunlukla anlık olarak değil bir süreç (P-F süreci) sonucunda ortaya çıkmaktadır [1].



Şekil 2. Arızanın oluşum grafiği [1]

Plansız bakım arıza sonrası müdahaleyi içermekte, periyodik bakım her zaman doğru aralıkta yapılamamakta, kestirimci bakım ise Şekil 3'de görüleceği gibi her arızanın en az bir belirtisi olduğu düşüncesiyle arıza ihtimalinin gelişimi izlenerek arıza olmaması hedefiyle bakım planlaması yapılmaktadır.



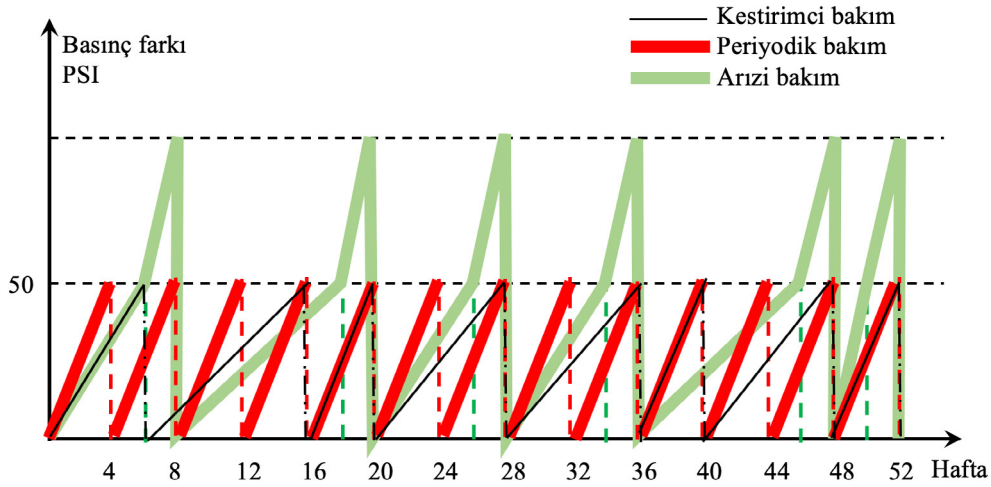
Şekil 3. Kestirimci bakım grafiği [1]

Genel olarak kestirimci bakıma şu şekilde karar verilir [1]:

Sistemde seçilen parametreler belli periyotlarla seviye ölçümleri yapılarak takip edilir. Sistemin yeni bakım yapılmış haliyle yapılan ölçümler referans alınır ve belli zamanlarda tekrar ölçüm gerçekleştirilir. Değişim seviyeleri sistemin durumu hakkında önemli bilgiler ihtiva etmektedir. ISO, TSE standartlarındaki değerler ile karşılaştırılarak bakım ihtiyacı önceden belirlenebilir. Sistem parametrelerinin tehlikeli seviyeye ulaşmasıyla bakım yapılmasına karar verilir. Kestirimci bakımın beklenmeyen ani arızaların olmaması, devam eden hasarların meydana gelmemesi, bakım masrafları azalması, sistemin çalışma kesintileri arasındaki sürenin uzaması, hurda malzeme sayısının azalması, eleman kullanım ömrü uzaması, güvenliğin artması gibi avantajları mevcuttur. Tek dezavantajı olan yanlış değerlendirme sonucu bakım işlerinin artması olabilirken bu durum eğitim ve tecrübe ile bertaraf edilmektedir.

Kestirimci bakımı tercih eden işletmeler bakım giderlerinde azalma sağlamaktadırlar. İşletmeler bu bakım sayesinde farklı kaynaklara göre %50 ile %80 [1], %25 ile %30 [8], önleyici bakıma göre %8 ile %12 ve reaktif bakıma göre %40'a kadar [9] bakım giderlerini azaltmış ve tasarruf sağlamıştır. Sistemin arıza süresini %35 ile %45 [8], %30 ile %50 [9] azaltmaktadır. Arızalarda %70 ile %75 [8], %45 [10] azalma görülmüştür.

Bakım faaliyetlerinde %30 [10] azalma görülmekte ve %20'lik enerji tasarrufunda artış [10] sağlanmaktadır. Kestirimci bakımın sağladığı ekonomik fayda Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Bakım yöntemine göre ekonomik karşılaştırma [1]

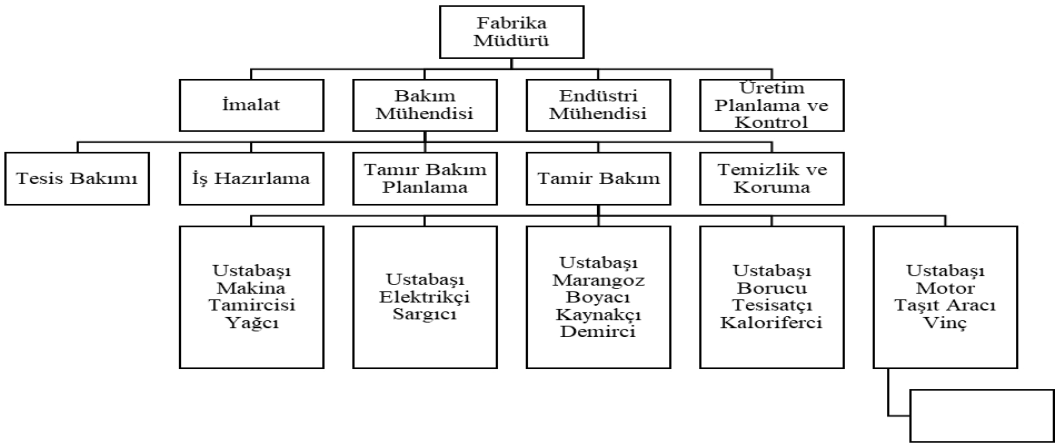
Şekilden görüleceği üzere en ekonomik olarak görülen yöntem kestirimci bakım yöntemidir.

2.2.3. Önleyici Bakım

Planlanmamış bakım ihtiyacını en aza indirmek ve sistemin kullanım ömrünü arttırmak için sistem ve elemanların bakımını içeren planlı bakım yöntemi önleyici bakım olarak bilinmektedir. Belli bir programa göre arıza olmadan yapılan işlemler ile sistemin kullanılabilirlik ve devamlılığını arttırmak amaçlanmaktadır. Yağlama, muayene, ayarlama, yenileme, revizyon işlemleri bu bakım sınıfına girmektedir. Yoğun mühendislik ve AR-GE faaliyetleri gerektirdiğinden bu bakım yönteminin küçük işletmelerde kullanımı sınırlı olup, AR-GE bütçesi yüksek olan büyük kuruluşlarda daha fazla kullanılmaktadır. Önleyici bakımda arıza oluşumuna sebep olabilecek etmenleri (gerilme, dengesizlik, eksen kaçıklığı vb.) ortadan kaldırarak amaca ulaşılmaktadır [1]. Daha az sistem arızası, zamanından önce eleman değişiminin önlenmesi, onarım maliyetlerinin ve hurdaya ayrılan elemanların azaltılması, güvenli kullanım ve kalitede artış gibi avantajları bulunmaktadır.

3. BAKIM PLANLAMASI

Bakım planlaması bakımın doğru işlemlerle zamanında amacına uygun olarak gerçekleştirilmesinde bakım yönetimi açısından önemli bir aşamadır. Sistemin kesintisiz ve güvenli olarak çalışır halde bulunması amacıyla gerçekleştirilecek olan bakım işlemlerinin planlanmasına bakım planlaması denir. En uygun değiştirme zamanı, belirlenen bakım stratejisi için çalışma süresi başına maliyet, ortalama kullanılabilirlik ve esnek görev sınıflandırmaları gibi işlemleri içermektedir. Bakım planlamasında mühendislik yaklaşımı ve matematiksel yaklaşım olarak iki yaklaşım bulunmaktadır. Mühendislik yaklaşımı planlamayı daha geniş bir bakış açısıyla operasyon planlaması, bakım kısıtları, parça davranışları açılarından değerlendirerek bakım işlemleri için kılavuz ve kurallar oluşturmayı hedeflemektedir [1]. Matematiksel yaklaşım ise bakım politikalarından en uygun olanı geliştirmeye odaklanarak bakım işlemlerini analiz etmek ve modellemek için yazılım paketleri geliştirmektedir [1]. Doğru bakım planlaması ile verimli zaman artar, bakım maliyeti en aza iner, sistemin devamlılığı sağlanır, sistemdeki elemanların yıpranması önlenir, sistemin faydalı ömrü uzar, arızalar en aza indirilir, kalite yükselir. Bakım planlamasında yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal programlama modelleri en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem eldeki kaynakların en iyi seviyede dağıtılmasını sağlayacak çözüm tekniğidir. Bakım planı temel olarak bakım yapılacak sistemin tanımlanması, sistem ayrıntılarının ve özelliklerinin belirlenmesi, bakımın amacının ortaya konması, bakım planı adımlarının uygulanması ve plan dahilinde bakım işlemlerinin izlenmesi ve güncellenmesi şeklinde yapılmaktadır [1]. İşletme içerisinde bakım planlaması ile ilgili bir organizasyon şeması örneği Şekil 5'te görülmektedir.

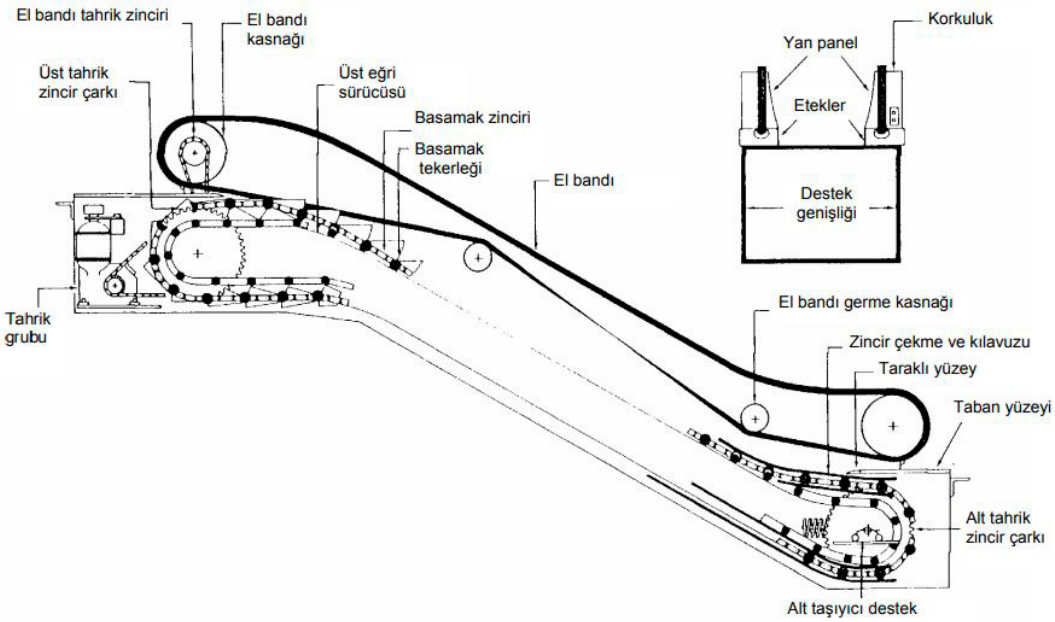


Şekil 5. Örnek bakım planlaması organizasyon şeması [3]

Şekilden de görüleceği üzere bakım planlaması birçok birimin bir arada çalışarak ve eldeki verilerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir planlamadır. Risk planlaması ve güvenlik seviyesinin tespiti de bakım planlamasında önem arz etmektedir.

4. YÜRÜYEN MERDİVEN VE TEMEL ELEMANLARI

Yürüyen merdivenler alışveriş merkezleri, iş merkezleri, hastaneler, metrolar ve havaalanları gibi çok katlı ve insan trafiğinin yoğun olduğu kamusal yapılarda yaygın olarak kullanılan, insanların sürekli ve güvenli olarak taşınmasını sağlayan, tesis edilen yapıdaki trafik yoğunluğuna göre tasarlanan ve hareketli basamaklardan oluşan eğimli konveyör sistemleridir. Şekil 6'da yürüyen merdivene ait ana elemanlar görülmektedir [11,12].



Şekil 6. Yürüyen merdivene ait ana elemanlar [11]

Yürüyen merdiven üst, alt ve orta kısım olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Yürüyen merdivende ana elemanlar el tutma bandı ve ruloları, iki çekme zinciri ve gerdirme tertibatı, basamak ve makaraları, basamak makaralarının kılavuz yolları, muhafaza çatısı, elektrik motorlu tahrik sistemidir [12].

4.1. Basamak

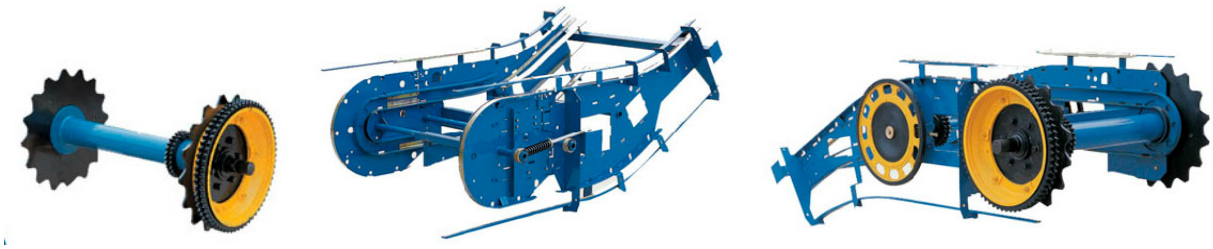
Yürüyen merdiven basamakları basınçlı döküm tekniği ile tek parça ve hafif ağırlıkta üretilmektedir ve genellikle alüminyum alaşımı tercih edilmektedir. Bazı yeni uygulamalarda cam elyaftan yapılmış kompozit malzemeden de imal edilmiş basamaklar yapılmaktadır [12]. Yürüyen merdivenlerde basamak genişlikleri 600 mm, 800 mm ve 1000 mm olarak standartlaştırılmıştır ve bu şekilde kullanılmaktadır [12]. Basamak önü ve üst yüzeyi tırtıllı şekilde üretilmektedir. Merdiven basamağının alt kısmında ise 4 adet tekerlek bulunmaktadır.

4.2. Basamak Tahrik Zinciri

Yürüyen merdivenlerde basamaklar en az iki makaralı zincir tarafından tahrik edilmektedir [12]. Emniyet katsayısı en az 5 olarak alınmalı ve tahrik zinciri devamlı ve otomatik olarak gerilmelidir [12]. Genellikle lamelli zincirler kullanılır. Yürüyen merdiven firmalarının bazıları kendi üretimleri olan zincirleri kullansa da standart konveyör zincirleri de vardır [12].

4.3. Ana Tahrik Ünitesi

Yürüyen merdiven tahrik ünitesi olarak tek kademeli redüktörlü veya zincir mekanizmalı tahrik üniteleri, nadiren de olsa paralel şaft ve sonsuz vida mekanizmaları da kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde ise her iki taraftan zincir çarkına bağlı dişli kutulu iki ayrı tahrik ünitesi de bulunabilmektedir [12]. Sistemdeki tahrik zincirinin gerginliği sağlanmaktadır. Şekil 7'de tahrik üniteleri görünmektedir.

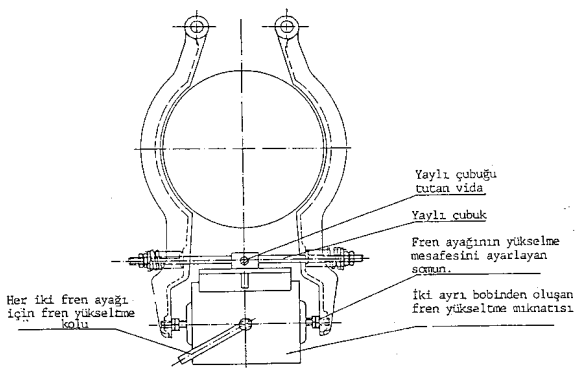


Şekil 7. Ana tahrik ünitesi [12]

Alt kısmında yağ biriktirme kabı ve tahrik zinciri dönüş kasnağını taşıyan zincir gergi ayar arabası, üst kısmında ise motor ve tahrik grubu bulunmaktadır. Tahrik için genellikle tek veya çift hızlı senkron motorları, seyrek olarak da doğru akım motorları kullanılmaktadır [12].

4.4. Emniyet Freni

Sarsıntısız bir duruş sağlamak amacıyla her tahrik ünitesinde ayrı ayrı çalışan elektromanyetik blok freni ve tam yük durumları için yağlı tampon bulunmaktadır [12]. Emniyet freni Şekil 8'de görülmektedir.

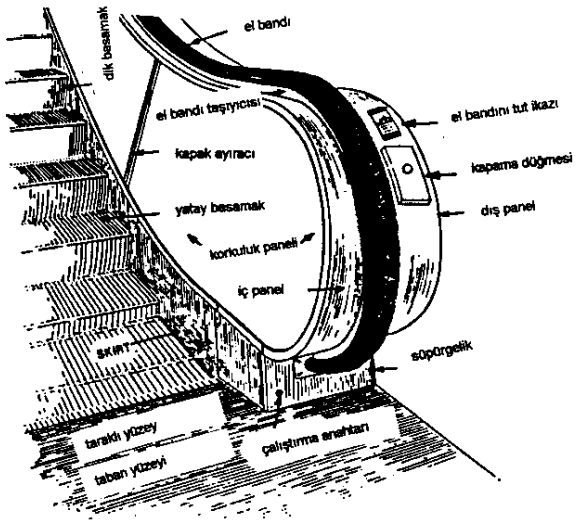


Şekil 8. Emniyet freni [12]

Esas ve ikincil fren olarak iki sistem de olabilmektedir [12].

4.5. El Bandı

El bantları yürüyen merdiven üzerinde insanların güvenli kullanım amacıyla tutunabilmelerini sağlayan, iki adet sonsuz kauçuk şeritten oluşmaktadır. Şekil 9'da el bandının görünüşü bulunmaktadır.

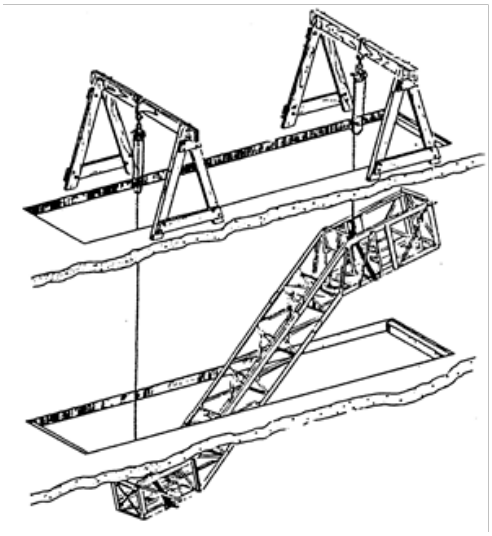


Şekil 9. El bandı [12]

El tutma bantları merdivenin hareketiyle uyumlu olmaktadır.

4.6. Yürüyen Merdiven İskeleti

Yürüyen merdivenlerin en temel parçasına iskelet adı verilmekte ve yürüyen merdivenin parçaları bu iskelet üzerine monte edilmektedir [12]. Yürüyen merdiven iskeleti Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Yürüyen merdiven iskeleti [12]

İskelet çelik elemanların birbirine bağlanarak oluşturulduğu taşıyıcı bir kafestir.

5. YÜRÜYEN MERDİVEN SİSTEMLERİNDE BAKIM

Yürüyen merdivenler günlük hayatta ziyaret edilen hemen her kamuya açık yapıda kullanılmaktadır. Geçen zaman ve kullanıma bağlı olarak her ürün eskimekte, yıpranmakta, bozulmakta ve tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Yürüyen merdivenler hizmet ömürleri boyunca aşınma ve yıpranmaya maruz kalır ve bu da kaçınılmaz olarak bileşenlerin hasarlanmasına, kullanıcıların tehlikeye atılmasına ve ekipman kullanılabilirliğinin azalmasına neden olur [13]. Meydana gelen en büyük yürüyen merdiven kazalarından biri bakım yetersizliği ile ilgilidir ve yürüyen merdiven riskleri incelendiğinde en önemli sorunlardan biri yürüyen merdiven bakımlarının düzenli olarak yapılmamasıdır [14]. Üst geçit gibi yerlerde kullanılan yürüyen merdivenler sık sık arızalandığından yayalar tarafından kullanılamamakta olup, buralardaki yürüyen merdivenlerin bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir [15]. Planlı ve koruyucu bakım sayesinde hatalar zamanında tespit edilmekte, iş emniyetini tehlikeli duruma düşürecek ve ekonomik kayıplara neden olacak sorunların önüne geçilmekte ve tesislerin verimliliği artmaktadır [16]. Önceki konularda belirtildiği üzere sistemlere bakım programları uygulanmaktadır. Yürüyen merdivenlerin de güvenli ve aksama olmadan kullanılabilmesi için bakım planlamaları ve bakım içerikleri büyük önem arz etmektedir. Bakım ihtiyaçlarına riayet edilmediğinde yürüyen merdivenler günlük hayatta da karşılaşıldığı üzere bozulmakta, kullanımı aksamakta ve kullanıcıların zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple yürüyen merdivenlerde birtakım bakım prosedürleri ve zamanlamaları belirlenmiştir. Yürüyen merdivenler için genellikle planlı bakımlar aylık ve yıllık olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır [17]. Bir diğer bakım periyodu ise aylık olarak ayarlama, yağlama, temizleme ve inceleme, 6 aylık olarak periyodik inceleme ve yıllık olarak periyodik testler ve güvenlik ekipman incelemesi yapılmaktadır [18]. Anlaşılabileceği üzere bakım işlemleri üreticinin, ulusal ve uluslararası standartların ve yönetmeliklerin belirlediği şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca bakım kılavuzları güncellendikçe bakım işlemleri yeni durumlara uygun planlanarak yapılmalıdır. Yürüyen merdivenlerde yıllık periyodik bakım yaptırmak zorunludur. Periyodik bakımı uzman kurum ve personelce yapılan yürüyen merdivenler kullanıcılar için güvenli bir kullanım sağlamaktadır [19]. Yürüyen merdivenlerin bakımları düzenli ve özenle yapıldığında kullanım ömürleri uzamakta ve amacına uygun olarak çalışmasını sürdürebilmektedir [20]. Uygun bakım, teknisyenin bakım yapılacak her ünite tipi için gereken özel prosedürler, yeterli bakım sıklığı, bakımın uygun dokümantasyonu ve yetkili kuruluş tarafından taahhüt edilen bilgiler hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirir ve servis sağlayıcı, bakımı tamamlamaları için teknisyenlere gereken süreyi tahsis etmelidir [21]. Yürüyen merdivenlerde eksik yapılan bakımlar kazalara ve yaralanmalara sebep olmaktadır [22]. Yürüyen merdivenlerin bakım işlemlerinde kumanda panosu, dişli kutusu, tahrik motoru, fren ve yedek fren, ara dişli kutusu, ara tahrik zinciri, basamak zinciri, basamak, taşıyıcı kayışı, tahrik kayışı, taraklar, tarak levhası, el bandları, iz sistemi, güvenlik tertibatı, saptırma tertibatı, aydınlatma, gösterge, yağlama, temizlik, işaretler, korkuluklar ve açıklıkların uygunluğunun kontrolleri dikkatle yapılmalıdır ve bakım işlemlerinin risk değerlendirmesinde belirtilen önemli hususlar dikkate alınmalıdır [23].

Şekil 11'de bir yürüyen merdiven kontrol formu örneği hazırlanmıştır. Genel kontrol edilen unsurlara bakıldığında yürüyen merdivenlerde CE işareti sistemin kullanıma uygunluğunun belirlenmesi için, güvenlik levhaları ise kullanıcıların kullanım sırasında tehlike ihtimallerine karşı uyarılması açısından büyük önem arz etmektedir. Kapakların güvenliği ve basamak üzerindeki net yükseklik sınırının kontrolü ise kullanıcıların kullanım aşamasında takılma ve düşme gibi durumların önlenmesinde etkilidir. Yürüyen merdivenlerde acil durumlarda kullanılmak üzere bulunan durdurma-stop butonunun kontrolü de yapılmaktadır. Alışveriş ve bagaj arabası gibi aletlerin yürüyen merdivenlerde kullanılmasının önlenmesini sağlayan engel bariyerleri kullanım sırasında oluşabilecek tehlikeli durumların önlenmesinde etkilidir ve kontrolleri uygunluk kapsamında yapılmaktadır. Bir diğer önemli kontrol ise acil durum duruş mesafesidir. Yürüyen merdiven acil durması gerektiğinde eğer duruş mesafesi belirlenen standartların dışında kalmakta ise herhangi bir kaza durumunda yaralanmaların daha ciddi hale gelmesine sebep olmaktadır.

Yürüyen merdiven basamaklarında kaymaya karşı koruma, adım sınırlayıcı, yanal hareket, ardışık basamak arası ve eksik basamak kontrolleri yapılmaktadır. Eksik basamak durumu kullanıcılar açısından ciddi yaralanmalar oluşturacağından yürüyen merdivenlerde eksik basamak kontrolü büyük önem arz etmektedir.

Tahrik ünitesi kontrollerinde aşırı hıza karşı koruma, elle kurtarma, iki bağımsız kesiciyle durdurma, yardımcı fren ve yüksüz durumda uygun durma mesafesi durumları incelenmektedir. Aşırı hıza karşı koruma sistemi yürüyen merdivenin tasarım hızının üstüne çıkması durumunda kullanıcıların zarar görmemesi için yürüyen merdivenlerde bulunmalıdır. Fren sorunları yaşanması durumunda yedek frenler güvenlik açısından önemlidir.

El bandı dikey yüksekliği, iç küpeştenin eğimi, dış küpeşteye tırmanma engelleyici, el bandı-küpeşte yanı kaymayı engelleyici ve süpürgelik ile basamak arası fırça kullanıcıların yürüyen merdivenleri kullandıkları sırada takılma, düşme gibi tehlikeli durumlarla karşılaşmamaları amacıyla kullanılmaktadır. Güvenli kullanımı sağlayan bu unsurların kontrolleri yapılmaktadır. El bandı genişliği, hızı, el bandı ve aksamı arası aralık ve el bandı giriş koruması kullanıcıların el bandını tuttuklarında herhangi bir kazaya yer vermemesi adına kontrol edilmektedir.

Yürüyen merdiven giriş ve sahanlıkların kontrolü de yine güvenli kullanım açısından önem arz etmektedir. Yürüyen merdivende ayakta durma alanı, hareketli kısımların koruması, aydınlatma, fren sensörü, elektrik çarpmasına karşı koruma gibi incelemeler de kullanıcıların yürüyen merdiven kullanım deneyimlerini güvenli bir şekilde devam ettirmelerini sağlamaktadır.

Bu ve benzeri kontrol formları yürüyen merdivenin periyodik bakım zamanının belirlenmesine fayda sağladığı gibi kestirimci bakım yönünden de katkı sağlamaktadır. Çünkü kontrolü yapan personel bilgi birikimi, tecrübesi ve sistemde gördüğü belirtilerle ileride olabilecek arızaları manuel olarak tahmin ederek işletmeye kestirimci bakım verisi olarak katkı sağlamaktadır. Yürüyen merdivenin bakımı ve muayenesi sırasında merdivenlerin çalışmasının dinlenmesi, basamak işaretlenerek bir tam çevrim yapana kadar dinlenmesi, el bandı ile eş çalışan basamağın işaretlenerek kontrolü, stop düğmesinin ve anahtarının kontrolü, giriş ve çıkışlarda basamakların kontrolü, boşluk var mı bakılması, basamak etiketlerinin kontrolü, basamak dişlerinin kontrolü, dişlerin eksik olup olmadığının ve aralıklarının kontrolü, basamak ve etek emniyet switchlerinin kontrolü, basamak yüksekliklerinin kontrolü, her iki el bandının da kontrolü ve temizliği ile ek yerlerine dikkat edilmesi, el bandında kayma olup olmadığının kontrolü, basamak hareket halindeyken el bandının durup durmadığının kontrolü, tahrik zincir gerginliği kontrolü, makinanın yağlanan kısımlarının kontrolü, elektrik motorunda aşırı ısınma olup olmadığına bakılması, zincir çarklarının kontrolü, gerginlik ayarlarının bakılması, genel olarak yerinden çıkan vida ve somunların kontrollerinin hem periyodik bakıma hem de kestirimci bakıma fayda sağladığı görülmüştür [11, 12].

YÜRÜYEN MERDİVEN KONTROL FORMU

Adres : ..... Kontrol Tarihi :

Yürüyen merdiven markası : .....

Seri No : ☐

İmalat Yılı : ☐

Ünite Tipi	:	Tek	☐	Sürekli	☐	Ayrık	☐	Paralel Ayrık	☐	Çapraz Sürekli ☐
Yürüyen merdiven Tipi	:	Dış mekan	☐	İç mekan	☐					
Trabzan tipi	:	Cam	☐	Paslanmaz	☐					
Makine dairesi	:	Yukarı	☐	Aşağı	☐					
Basamak genişliği	:	☐ mm								
Hız	:	☐ m/s								
Eğim / Açı	:	☐ derece								
Yükseklik	:	☐ m								

CE işareti	:	Var	☐	Yok	☐			
Güvenlik levhaları	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Kapakların güvenliği	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Basamak üzerindeki net yükseklik > 2.3 m	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Bina ile el bandı arasında emniyet mesafesi	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	Yatay yön ile en az 80 mm aralık
Serbest alan	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Hareket butonu	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Durdurma (stop) butonu	:	Uygun	☐	Değil	☐			Her 30 metrede 1 tane olmalıdır
Yön anahtarı	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Alışveriş / bagaj arabası engel bariyeri	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Acil durum duruş mesafesi	:	☐ mm						

BASAMAKLAR

Kaymaya karşı korunma	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Adım sınırlayıcı	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Yanal Hareket	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Ardışık basamak arası	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Eksik basamak	:	Yok	☐	Var	☐	Uygulanmaz	☐	

TAHRİK ÜNİTESİ

İki bağımsız kesiciyle durdurma	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Elle kurtarma	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Aşırı hıza karşı koruma	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Ters yönde istemsiz harekete karşı koruma	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Yardımcı fren	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Yüksüz durumda uygun durma mesafesi	:	Uygun	☐	Değil	☐			

KORKULUK

El bandı dikey yükseliği	:	Uygun	☐	Değil	☐			Eğimli kısımdan 0,9 ile 1,10 metre aralığında olması
İç küpeştenin eğimi	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	Eğim açısı yatayla en az 25 derece yapması
Dış küpeşteye tırmanmayı engelleyici	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
El bandı / küpeşte yanı kaymayı engelleyici	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Süpürgelik ile basamak arası fırça	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	

EL BANDI

El bandı genşliği	:	☐ mm						70 ile 100 mm arasında olmalıdır
El bandı hızı	:	Uygun	☐	Değil	☐			%15 den fazla sapma olmamalıdır
El bandı / el bandı aksamı arası aralık	:	Uygun	☐	Değil	☐			
El bandı giriş koruması	:	Uygun	☐	Değil	☐			

GİRİŞLER/SAHANLIK

Sahanlık	:	Uygun	☐	Değil	☐			Tarak dişlerinden en az 0,85 m mesafe olmalı
Ayak tutucu güvenliği (tarak + yer plakası)	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Düşmeyi engelleyici koruma	:	Uygun	☐	Değil	☐	Uygulanmaz	☐	
Tarak bölgesinde aydınlatma	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Taraklar	:	Uygun	☐	Değil	☐			

MEKANİK ALAN / TAHRİK / DÖNÜŞ

Ayakta durma alanı	:	Uygun	☐	Değil	☐			Alan en az 0,30 m2 ve kısa kenar en az 0,5 metre
Hareketli ve dönen kısım koruması	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Aydınlatma	:	Uygun	☐	Değil	☐			En az 200 lux olmalı
Acil durdurma butonu	:	Uygun	☐	Değil	☐			EN ISO 13859 standardına uygun olmalı
Elektrik çarpmasına karşı koruma	:	Uygun	☐	Değil	☐			
Eksik basamak kontolü	:	Uygun	☐	Değil	☐	Yok	☐	
Fren sensörü	:	Uygun	☐	Değil	☐	Yok	☐	

Şekil 11. Yürüyen merdiven kontrol formu örneği

Yürüyen merdivenlerde bazı elemanların birkaç ayı bulan aralıklarla kontrol edilerek aksiyon alınması kaza ve arıza risklerini arttırmakta ve parça ömürlerini azaltmaktadır [24]. Modüler bakım işlemlerinin evrensel olması yürüyen merdivenlerde güvenlik ve işletme risklerine sebep olmakta, bu sebeple fonksiyonellik ve güvenli çalışmanın devamı için bazı elemanların bulundukları konum ve kullanım şartlarına göre bakım frekansları değişken olmalı ve sistemlerin kullanım şartları analiz edilerek bakımı yapılması gerekmektedir [24]. Yürüyen merdivenin bakım sıklığını; modeli, elemanlarının kalitesi, günlük çalışma saatleri, yaşı ve çalıştığı ortam şartları etkilerine göre belirlemek gereklidir [21]. Hiçbir yürüyen merdiven aynı şartlar altında kullanılmamaktadır. Bazı yerlerde yürüyen merdivenleri günde 200 yolcu kullanırken İstanbul gibi metropol şehirlerde özellikle metro istasyonları gibi toplu taşıma alanlarında bir yürüyen merdiveni kullanan yolcu sayısı günde 100 binleri, 200 binleri bulabilmektedir. Anlaşılabileceği üzere iki durumun çalışma yoğunluğu farklıdır ve bu sebeple iki durumda da aynı bakımın yapılmasının gerçekle bağdaşması düşünülmemelidir. Yoğun olarak kullanılan ve hızla eskiyen elemanlar daha fazla denetime ve bakıma ihtiyaç duymaktadır. İki duruma da aynı bakım yöntemiyle davranıldığında güncel olarak görüleceği üzere yürüyen merdivenler arıza vermekte ve kullanıcıların işlerini aksatmaktadır. Bu gibi durumlarda ek bakım planlamaları oluşturulmalı, periyodik bakım aralıkları kısaltılmalı veya kestirimci bakım yöntemleri uygulanmalıdır.

Yoğun kullanımda olan yürüyen merdivenlere işletmede görevli personel tarafından teknik detay ve uzmanlık gerektirmeyen, göz ve duyu yoluyla basit inceleme görevi vermek alınabilecek tedbirlerden biridir. Örneğin günlük olarak yoğun kullanım saatleri (işe gidiş, dönüş vb.) bittiğinde görevli personelin yürüyen merdivenin çalışırken çıkardığı ses ve görünüşteki davranışını, el bandı ile yürüyen merdiven basamağının hızının farklı olup olmadığını gözlemlemesi (kullanıcılar da fark edebilmektedir), el bandına veya kenar süpürgelik ve basamak arasında sıkışan bir maddenin olup olmamasını, tarak ve yer plakasına herhangi bir şey sıkışmadığını, basamaklarda gözle görülür bir eksiklik veya kırıklık olup olmadığını, aydınlatma gerekli olduğu durumlarda aydınlatmanın eksik olup olmadığının tespiti ve benzeri basit, herhangi bir teknik müdahaleyi gerektirmeden görme ve duyma yoluyla anlaşılan tehlikeli veya normal dışı durum ve şüpheleri, personel herhangi bir müdahale yapmadan doğrudan gerekli teknik ekibe ve devamında yetkili servise bildirmesi bir yöntem olarak düşünülmektedir.

Diğer bir yöntem ise yürüyen merdiven elemanlarının performansı dikkate alınarak periyodik bakım sürelerinin daha kısa periyotlarda gerçekleştirilmesidir. Örnek olarak aylık yapılması gereken planlı bakım işlemleri yoğunluğa göre 15 günde bir yapılabilmektedir. Özellikle yoğun kullanım sonucu sistemin aşırı kirlenmesiyle yağlamanın toz ve kirle etkisini kaybetmesini önlemek için temizlik ve yağlama bakımının yapılabileceği düşünülmektedir. Bu planlamanın doğru ve uygulanacak sistemin durumuna uygun olarak yapılmasıyla arızaların önüne geçilebilmektedir.

Kestirimci bakımın kullanılması ise en verimli yol olarak düşünülmektedir. Daha iyi bakım performansı elde etmek için mevcut kullanılan bakım yöntemleri bilgisayar, ağ tabanlı kontrollü sistemler, çeşitli yazılımlar ve mobil cihazlar ile desteklenmelidir [25]. Periyodik bakımda elde edilen veriler ışığında manuel olarak bir kestirimci bakım planlaması yapılması da muhtemeldir fakat yakın zamanda daha fazla tercih edilmeye başlanan, yapay zeka ve nesnelerin interneti teknolojisi sayesinde izleme ve veri toplamayla daha yüksek verimde kestirimci bakım gerçekleştirilebilmektedir. Burada ilk karşılaşılan sorun bu teknolojinin maliyetlerini her işletmenin karşılayabileceği seviyede olmadığıdır. Bu sebeple otonom kestirimci bakım sistemleri alanında, her yürüyen merdiven bulunan işletmenin karşılayabileceği maliyetlerde ürün üretilmesi elzemdir. İşletmeler ise kesinti sebebiyle artan kullanıcı zararları ve maliyetler ile kestirimci bakımın maliyetleri arasında karşılaştırma yapması gerekmektedir. Fakat şu gerçek de unutulmamalıdır ki, kestirimci bakımda yeni teknolojilerle birçok yürüyen merdivenden elde edilen veriler ışığında isabetli bakım planlaması yapılabilmektedir. Erken uyarı sistemi niteliğindeki bu yöntem ile işletmeler çoğunlukla arızanın sebep olabileceği diğer zararlardan korunabilmektedir.

6. SONUÇ

Yürüyen merdivenler günlük hayatta önemli bir yer tutmaktadır. Kullanıcıların hayatını kolaylaştıran ve günlük çalışma performanslarının artmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin planlı periyodik bakımları oldukça önemlidir ve aksatılmadan tamamlanması gerekmektedir. Fakat çok az kullanılan bir yürüyen merdiven ile yoğun olarak kullanılan, üreticinin testlerini yaptığı kullanıcı sayısının çok üzerinde kullanıcısı olan yürüyen merdivenlerin aynı periyodik bakımlarla kullanılabilir ömrünü devam ettirmesi, güvenli ve kesintisiz bir kullanım sağlaması pek mümkün görünmemektedir. Bu sebeple yoğun kullanıcısı olan yürüyen merdivenlerin bakımları için ek planlamalar yapılmalı, kestirimci bakım gibi yenilikçi bakım yöntemleri entegre edilmelidir. Yenilikçi ve çeşitliliği arttırarak maliyetleri düşürecek yeni kestirimci bakım sistemleri üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca bu yöntemlerle sınırlı kalmamak adına yoğun kullanıcısı olan sistemler için bakım teknolojisiyle ilgili verimi arttıracak yeni bakım yöntemleri ve sistemleri üzerine çalışmalar ve araştırmalar yapılmalıdır.

7. KAYNAKÇA

[1] İmrak, C.E. 2019. "Akıllı Bina ve Tesislerde Bakım Planlaması ve Yönetimi Ders Notları", İTÜ Makina Fakültesi.

[2] Aktif Group. 2021. "İşletmelerde Planlı Bakım ve Onarımın Önemi", https://aktif.net/isletmelerde-planli-bakim-ve-onarimin-onemi, 11.08.2022.

[3] Kocaeli Makine. 2013. "Bakım Planlaması", http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/03/bakim-planlamasi.pdf, 11.08.2022.

[4] MTA Endüstri. 2021. "Bakım Nedir?", https://mtaend.com/index.php?route=blog/article&article_id=1, 11.08.2022.

[5] Retmes. 2020. "Kestirimci Bakım Nedir?", https://www.retmes.com/en/kestirimci-bakim, 11.08.2022.

[6] Güven, Ö., Şahin, H. 2022. "Predictive Maintenance Based On Machine Learning in Public Transportation Vehicles", Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, s. 89-98.

[7] Ceyhan, H., Kasapbaşı, M.C. 2022. "Üretim Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ile Kestirimci Bakım Uygulaması ve Modellemesi", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 33, s. 167-175.

[8] Gürsoy, M.Ü., Çolak, U. C., Gökçe, M.H., Akkulak, C., Ötleş, S. 2019. "Endüstri için Kestirimci Bakım", International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Cilt 3, Sayı 1, s. 56-66.

[9] Artesis. 2021. "Kestirimci Bakım Nedir? Avantajları Nelerdir?", https://www.artesis.com/tr/kestirimci-bakim/, 11.08.2022.

[10] Proasist. 2020. "Proasist Teknik Hizmetler", http://www.proasist.com.tr/teknik-hizmetler.asp, 11.08.2022.

[11] İmrak, C.E. 2004. "Düşey Transport Sistemleri Ders Notları (MKS 540)", İTÜ Makina Fakültesi.

[12] İmrak, C.E. 2022. "Yürüyen Merdiven ve Bantlar", İTÜ Makina Fakültesi.

[13] Buet, H., Courteille, D. 2015. "Impact of Design Methods and Maintenance Policies on the Dynamic Behaviour of Escalators", Symposium on Lift & Escalator Technologies, Cilt 5, Eylül 2015, Northampton, UK.

[14] Yukarıkır, N., Aktaş, Y., Devran, Z. 2017. "Yürüyen Merdiven ve Yürüyen Yol Kazalarının Önlenmesi", Sağlık ve Toplum, Cilt 27, Sayı 3, s. 26-30.

[15] Önelçin, P., Alver, Y. 2018. "Üst Geçit Bölgelerinde Kural Dışı Geçiş Yapan Yaya Davranışlarının İrdelenmesi ve Yürüyen Merdivenin Üst Geçit Kullanım Oranına Etkisi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 24, Sayı 6, s. 1100-1106.

[16] İmrak, C.E., Fetvacı, M.C. 2004. "Krenlerin (Vinçlerin) Periyodik Koruyucu Bakım Esasları", Mühendis ve Makina, Cilt 45, Sayı 538, s. 34-40.

[17] AMADA TECH. 2021. "Yürüyen-Merdiven", https://amadatech.com/yuruyen-merdiven/, 11.08.2022.

[18] The Government of the Hong Kong Special Administrative Region Buildings Department. "Appendix 8 Maintenance Requirements and Information on Electrical Installations, Lifts & Escalators and Gas Risers Installations", https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/bmg/app08.pdf, 11.08.2022.

[19] SZUTEST. 2018. "Yürüyen Merdiven ve Bantların Periyodik Kontrolü Neden Önemlidir?", https://www.szutest.com.tr/yuruyen-merdiven-bantlarin-periyodik-kontrolu-onemlidir/, 11.08.2022.

[20] Janipha, N. A. I., Alwee, S. N. A. S., Ariff, R. M., Ismail, F. 2018. "Maintenance and Safety Practices of Escalator in Commercial Buildings", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cilt 117, 012042.

[21] Smith, K. 2016. "Thoughts on Escalator and Moving Walk Maintenance", Elevator World, December 2016, s. 39-43.

[22] Öztürk, B.M. 2014. "Yürüyen Merdivenlerde / Bandlarda Bakımın Önemi", Asansör Sempozyumu, 25-27 Eylül 2014, İzmir.

[23] TSE. 2009. "Asansör ve Yürüyen Merdivenlerin Bakımı – Bakım Talimatları için Kurallar" (TS EN 13015).

[24] Akçay, E. 2020. "Yürüyen Merdivenlerde Modüler Bakım Riskleri", Elevator World Türkiye, Mayıs-Haziran 2020, s. 80-83.

[25] Çelebi, B. 2019. "Endüstri 4.0 ve Bakım Üzerindeki Etkileri", IX. Uluslararası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 26-28 Eylül 2019, Denizli / Türkiye.

YÜKSEK BASINÇ TEZGÂHLARI DİJİTALLEŞME – GELİŞTİRME – VERİMLİLİK ARTIŞI

Ömer HAKİ

AR-GE Uzmanı
BOSCH – Nilüfer / Bursa
omer.haki@tr.bosch.com

1. Projenin Özellikleri ve Amacı:

Yüksek basınç tezgâhları, üretilen dizel enjektör parçalarının ömür-dayanım testlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Bu tezgahlarda yapılan çalışma ile;

1) **Dijitalleşme** → veri analiz, bakım onarım maliyet azaltma
2) **Geliştirme** → yeni test metotları ve cihaz geliştirme
3) **Verimlilik artışı** → yeni tezgâh alımı ve maliyetini engelleme

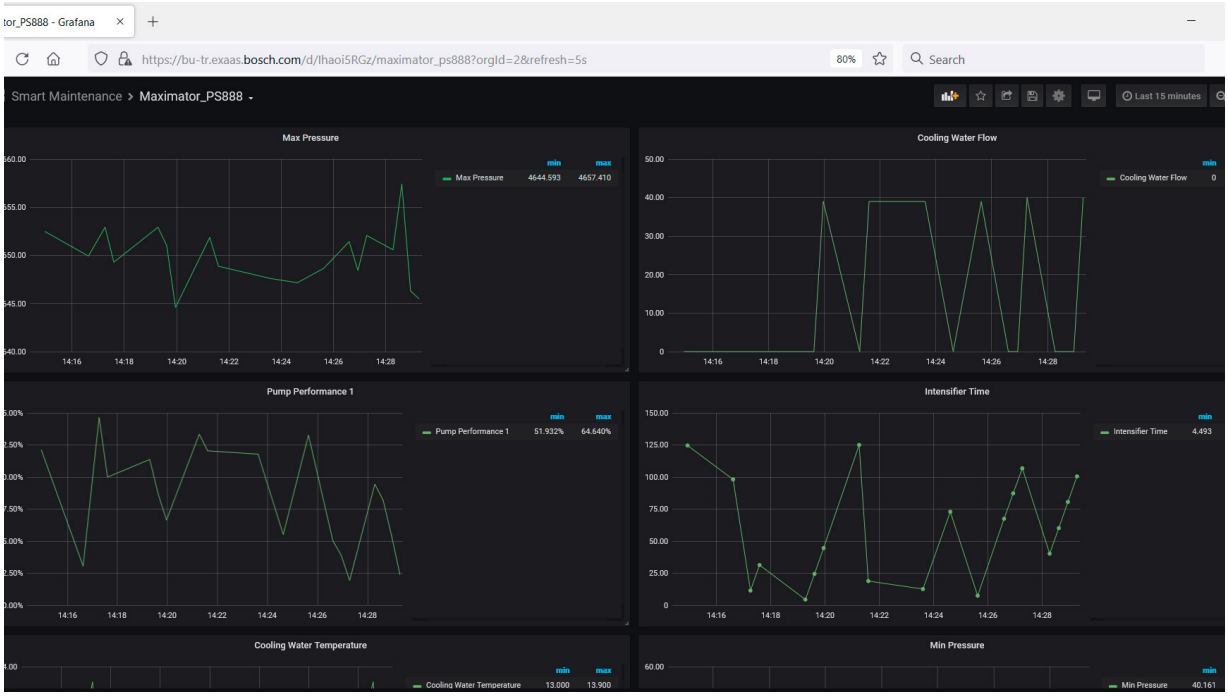
BOSCH / Bursa toplam: 6 adet

Dünya çapında farklı lokasyonlarda >60 adet tezgâh bulunmakta

1-Yüksek Basınç Tezgâhı 6000 bar

1) DİJİTALLEŞME:

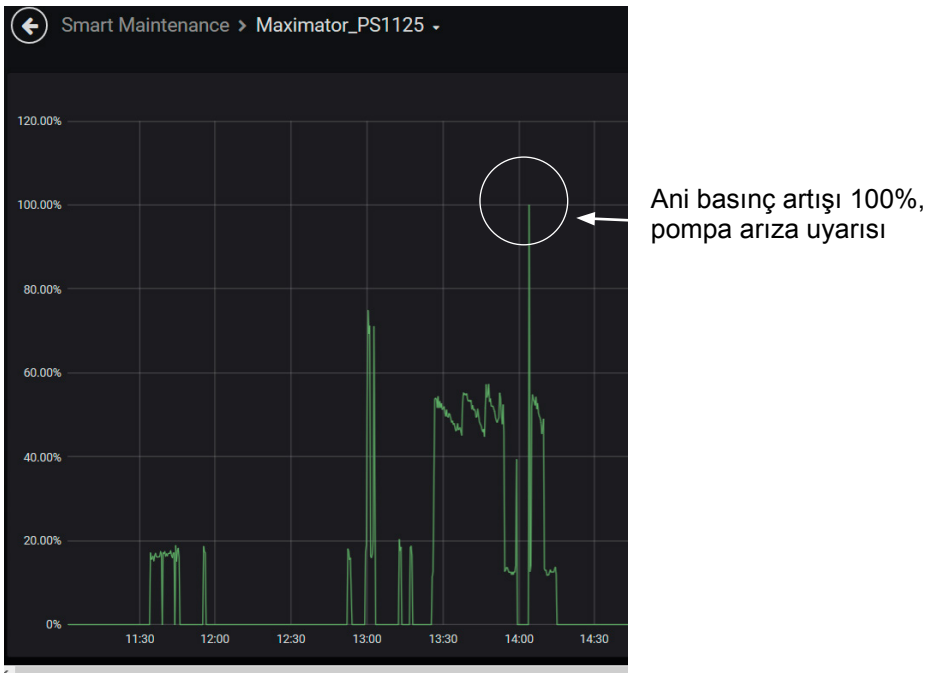
Akıllı Bakım ve Onarım Projesi kapsamında tezgâhtan sürekli veri almaya ve bu verileri yorumlamaya başlanmıştır.



2- Tezgah veri grafikleri – Pyhton kodları- Grafana

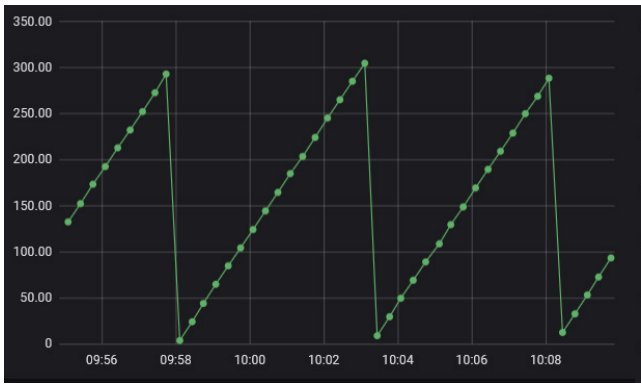
• Tezgâh bozulmadan önce uyarı vermesi

Yapılan veri analizlerine göre, son aylarda pompa çalışma oranlarında ani yükselmeler ve 100% basınçlar görüldü. Yedek pompanın siparişinin önceden verilmesi ve tezgâhın 1,5 ay âtıl kalması önlendi



• Tezgâhın bozulmasını önleyici önlemler alınması

Yapılan veri analizlerine göre, sızdırmazlık keçelerinin (çok düşük maliyet) değişim sıklığını 3 ay dan 1 aya indirerek, kırıldığında çok yüksek maliyete sebep olan basınç artırıcın ömrünü yaklaşık 2 kat uzatıldı.



3- Basınç Yükseltici Sıcaklık °C

4- Basınç Yükseltici Pozisyonu

2) GELİŞTİRME:

- Tasarım
- Malzeme ve Sertlik
- Honlama prosesi ve cihazı geliştirme
- Yüksek basınç sistem tasarım
- Sızdırmalı yüksek basınç dayanım-ömür test metodu geliştirme

Patent çalışmaları;

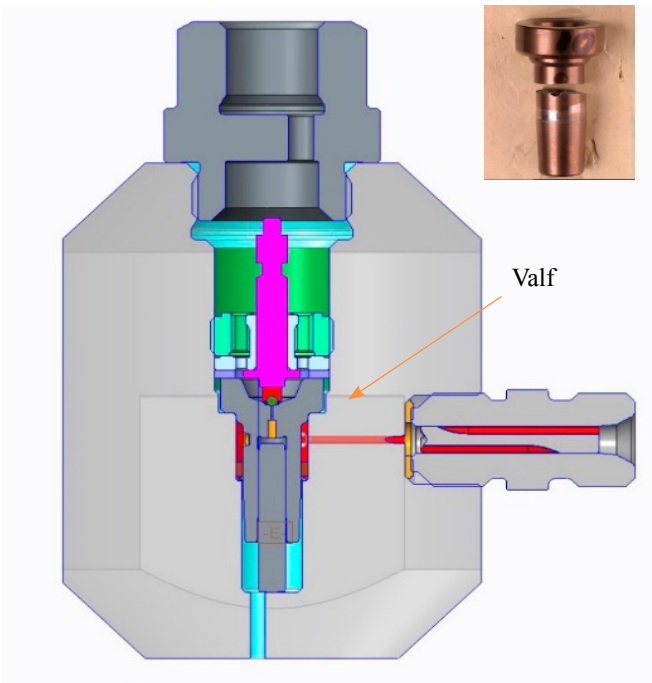
Invention Report	Keywords	Inventor(s)	Patent Professional	Patent Family	Process Step
2016/7287	CRI1-18 valve piece adaptor design optimization (Z-throttle)	2. Zou Wenjun(RBCD/EPD1) 1. Haki Omer(PS-DI/EDI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)		7. Closed by Non-Filing (Publication)
2016/7305	Sealing Cone & HD-Pipe Nipple strength improvement by bore honing	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)		7. Closed by Non-Filing (Publication)
2016/7346	Optimization at sealing cone (dichtlinse) between HP distributor plate	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)		7. Closed by Non-Filing (Publication)
2017/3107	Optimization at 6kbar Test Bench Component, High Pressure Distributor Plate (HP plate)	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 2. Kose Huseyin(PS-DI/ECI) 3. Fidan Sabri(PS-DI/EDI2) 4. Cira Ali(PS-DI/ECI4)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)	376156	8. Closed by Filing
2017/3361	Valve piece HPPT adaptor	1. Sun Guilan(RBCD/EIS5) 2. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 3. Ku Qiong(RBCD/EIS5)	Liu Qingfu(C/IPR-CN)		7. Closed by Non-Filing (Close without further proce...
2018/7476	Design change at 6kbar Test Bench Component, High Pressure Distributor Plate (HP plate)	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 2. Fidan Sabri(PS-DI/EDI2) 3. Cira Ali(PS-DI/ECI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)	385155	8. Closed by Filing
2019/0177	New Design of HD Pipe Nipple and Transition Adaptors at Maximator Pulse Test bench	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 2. Fidan Sabri(PS-DI/EDI2) 3. Cira Ali(PS-DI/ECI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)	388714	8. Closed by Filing
2019/0606	Honning Process with Mud (New adaptors and System Design)	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 2. Fidan Sabri(PS-DI/EDI2) 3. Orhan Meltem(PS-DI/EDI3) 4. Karakus Mustafa(PS-DI/EDI3)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)	392306	8. Closed by Filing
2021/8851	HP-Distributor Pipe System Optimization at Pulse Test bench	1. Haki Omer(PS-DI/EDI2) 2. Fidan Sabri(PS-DI/EDI2) 3. Pisgin Ebru(PS-DI/ECI2)	Erkaratas Elcin(C/IP-TR)	399617	8. Closed by Filing

• Yeni Test Metodu Geliştirme

Sızdırmalı yüksek basınç dayanım-ömür test metodu

• Yeni Cihaz Geliştirme

Honlama prosesi ve cihaz tasarımı

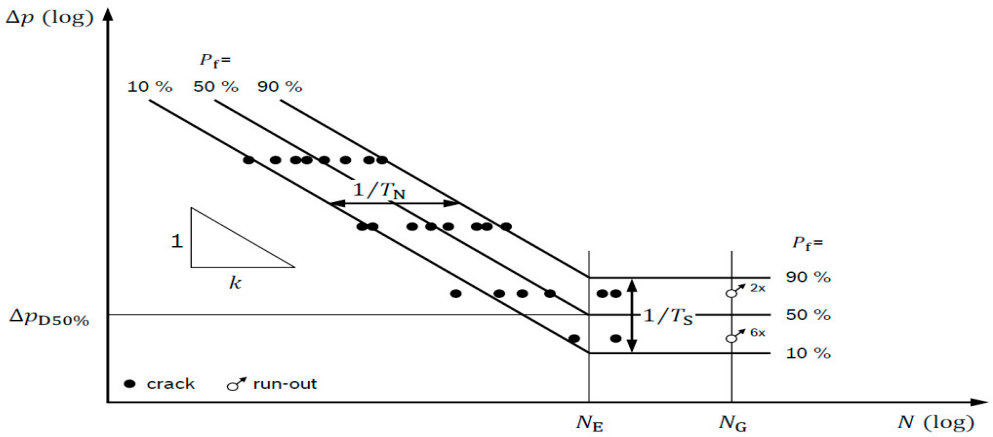


5- Valf parçası için sızdırmalı test adaptör tasarımı

6- Honlama cihazı tasarımı

3) VERİMLİLİK ARTIŞI:

Test sırasında teste ait kırılan parçalar hakkında teknik çalışma yapılması. Testlerin kırılan parçalarını teknisyen arkadaşın mesai saatleri olan 5 gün / 9 saat içinde yaşanması için teste en uygun başlama zamanları tanımlandı.



7- Mukavemet- Dayanım Eğrisi

Kazanımlar:

1. Maliyet azaltma;

Dijitalleşme-Akıllı bakım ve onarım projesi ile: XX.000 € / yıl

BOSCH / Bursa fabrikası için alınması gereken 2 adet yeni tezgâh siparişi iptali ile: X milyon €

Sızdırmalı yüksek dayanım test metodu geliştirme ile: X milyon €

2. Dünyadaki diğer yüksek basınç tezgahlara uygulama potansiyeli;

BOSCH / Bursa fabrikasında bulunan 6 adet tezgâh için yapılan bu proje, dünyanın farklı lokasyonlarında bulunan >60 adet tezgâha da uygulanma potansiyeli

3. Üretim tezgahlarına uygulama potansiyeli;

Bu projenin üretim tezgahlarında da uygulanma potansiyeli

4. Verimlilik artışı; her bir tezgâhta 20% oranında tezgâh çalışma oranı artışı (7/24 üzerinden)

5. Literatüre sağladığımız katkı; 9 adet patent çalışması (yeni test metodu geliştirme & yeni cihaz geliştirme)

Kaynaklar:

- *BOSCH iç dokümanlar ve proje çalışmaları*