

**GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ VE TOPLAM VERİMLİ
BAKIMA DAYALI ENTEGRE BAKIM KONSEPTİ**

**RELIABILITY CENTERED AND TOTAL PRODUCTIVE
MAINTENANCE BASED INTEGRATED MAINTENANCE
CONCEPT**

SEREN DURMUŞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ VOLKAN SÖNMEZ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ VE TOPLAM VERİMLİ BAKIMA DAYALI ENTEĞRE BAKIM KONSEPTİ

Seren DURMUŞ

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Volkan SÖNMEZ

Nisan 2024, 108 sayfa

Endüstrideki rekabetçi ortam işletmeleri doğru bakım planlarını oluşturmaya zorlamaktadır. Özellikle yüksek üretim hacmine sahip olup karmaşık ve gelişmiş üretim sistemlerini de kullanan işletmeler için bakım yönetimi oldukça önemlidir. Doğru bakım planlaması ile üretim ekipmanlarının kullanılabilirliği artar, beklenen kalite standartları sağlanır, ekipman kaynaklı oluşan emniyet ve çevresel riskler yönetilebilir duruma gelir.

Sunulan tez çalışmasında bir beyaz eşya işletmesindeki bakım yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla seçilen bir hidrolik pres üretim hattı için önleyici bakım planı oluşturulmuştur. Önleyici bakım planı oluşturulurken Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) analizi ile farklı hata yönetimi stratejilerinden ekipman için en uygun olanları seçilip, uygulanabilir bakım periyotlarına karar verilmiştir.

Çalışmaya, üretim hattının mevcut durum analizi amacıyla hat verimliliği ölçümü ile başlanmıştır. Hat verimliliği Toplam Verimli Bakım (TVB)'ın anahtar performans göstergesi olan Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) değerine göre hesaplanmıştır.

Hesaplamalara göre hattın Kullanılabilirlik değeri (A) %83.39, Performans değeri (Pr) %99.19 ve Kalite değeri (Q) %99.51 olup TEE %82.31 olarak elde edilmiştir. TEE bileşenlerinin değerleri incelendiğinde hattın yüksek performansta çalıştığı ve yeterli oranda kaliteli üretim miktarına sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda üretim hattında yapılabilecek bir iyileştirme yalnızca A değerinin yükseltilmesiyle mümkün olabilecektir. Buna göre üretim hattının kullanılabilirliğinin (A) artırılması amacıyla plansız duruş kayıplarının azaltılması için GMB analizi ile hattın önleyici bakım ihtiyaçları belirlenmiş ve hat için önleyici bakım planı oluşturulmuştur.

GMB analizi sonucu üretim hattı için 16 tane önleyici bakım görevi belirlenmiştir. 27 hata türü için 10 adedi operatör ve bir adedi bakım mühendisi tarafından gerçekleştirilmek üzere 11 adet planlı koşullu görev, bir adet hata türü için bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere bir adet planlı ıskarta görevi ve altı adet hata türü için bir adedi operatör ve üç adedi bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere dört adet hata bulma görevi tanımlanmıştır.

GMB analizi ile belirlenen bakım görevleri TVB kapsamındaki otonom bakımın çalışmaya dahil edilmesi amacıyla bakımda görevli personellere göre gruplandırılmıştır. Operatöre otonom bakım yetkisi vermek üzere tanımlanan bakım görevleri için otonom bakım görevi kartları hazırlanarak yalın üretim felsefesindeki üretim hattının görsel yardımcılarla desteklenmesi yaklaşımı da uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda GMB analizi ile belirlenen önleyici bakım görevlerinden otonom bakım kapsamına girenler ile operatörün ekipmanını sahiplenmesi amaçlanmıştır. GMB ve TVB metotları ile oluşturulan entegre bir bakım konsepti ile üretim hattında gerçekleşen plansız/beklenmeyen duruşların azalması ve böylece hattın üretimde geçen efektif süresinin artması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB), Toplam Verimli Bakım (TVB), Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), Otonom Bakım, Önleyici Bakım Planı

ABSTRACT

RELIABILITY CENTERED AND TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE BASED INTEGRATED MAINTENANCE CONCEPT

Seren DURMUŞ

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Volkan SÖNMEZ

April 2024, 108 pages

The competitive environment in the industry forces businesses to create the right maintenance plans. Maintenance management is very important, especially for businesses that have high production volumes and use complex and advanced production systems. With correct maintenance planning, the availability of production equipment increases, expected quality standards are achieved, and safety and environmental risks arising from equipment become manageable.

In the presented thesis study, a preventive maintenance plan was created for a selected hydraulic press production line in order to improve the maintenance management processes in a white goods company. While creating the preventive maintenance plan, the most suitable ones for the equipment were selected from different failure management

policies with Reliability Centered Maintenance (RCM) analysis and the applicable maintenance periods were decided.

The study started with line efficiency measurement for the purpose of analyzing the current situation of the production line. Line efficiency is calculated based on Overall Equipment Effectiveness (OEE), the key performance indicator of Total Productive Maintenance (TPM).

According to the calculations, the Availability (A) of the line was 83.39%, the Performance (Pr) was 99.19% and the Quality (Q) was 99.51%, and the OEE was obtained as 82.31%. When the values of the OEE parameters were examined, it was seen that the line worked at high performance and had a sufficient quality production amount. In this case, an improvement in the production line will only be possible by increasing the A value. Accordingly, in order to increase the availability (A) of the production line and reduce unplanned downtime losses, the preventive maintenance needs of the line were determined through RCM analysis and a preventive maintenance plan was created for the line.

As a result of the GMB analysis, 16 preventive maintenance tasks were determined for the production line. For 27 failure types, there are 11 scheduled on-condition tasks, 10 of which are to be performed by the operator and one to be performed by the maintenance engineer, for one failure type, one scheduled discard task to be performed by the maintenance personnel, and for six failure types, there are four failure finding tasks one of which is to be performed by the operator and three to be performed by maintenance personnel have been defined.

Maintenance tasks determined by RCM analysis were grouped according to maintenance personnel in order to include autonomous maintenance that is within the scope of TPM. Autonomous maintenance task cards were prepared for defined maintenance tasks to give

the operator autonomous maintenance authority, and the approach of supporting the production line with visual aids in the lean production philosophy was also implemented.

As a result of the study, it is aimed for the operator to take ownership of her equipment with the preventive maintenance tasks determined by the RCM analysis and those falling within the scope of autonomous maintenance. With an integrated maintenance concept created with RCM and TPM methods, it is expected that unplanned/unexpected downtimes in the production line will decrease and thus the effective time of the line in production will increase.

Keywords: Reliability Centered Maintenance (RCM), Total Productive Maintenance (TPM), Overall Equipment Effectiveness (OEE), Autonomous Maintenance, Preventive Maintenance Plan

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimimde tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Volkan SÖNMEZ'e,

Çalışmadaki uygulamayı gerçekleştirebilmem için işletmede bana gerekli tüm imkanları sağlayan İlyas Engin ALTUNTOP'a,

Eğitim hayatım boyunca her zaman bana inanan ve bugünlere gelebilmemde büyük emeği olan anneme ve babama,

Sonsuz Teşekkürler...

Seren DURMUŞ

Nisan 2024, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Tanımı ve Motivasyon	3
1.2. Tezin Organizasyonu	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Toplam Verimli Bakım.....	5
2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım.....	14
2.3. GMB ve TVB İlişkisi.....	23
3. METODOLOJİ	26
3.1. Toplam Verimli Bakım.....	26
3.1.1. Toplam Ekipman Etkinliği (TEE).....	27
3.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım.....	31
3.2.1. Analiz Planı ve İşletim Bağlamı	35
3.2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA).....	38
3.2.3. Bakım Görevleri	45
4. UYGULAMA	70
4.1. İmalat Süreci	70
4.2. Uygulama Aşamaları	72
4.2.1. Problemin Tanımlanması	73
4.2.2. TEE ile Mevcut Durum Analizi.....	73
4.2.3. GMB ile Hat Bakım İhtiyaçlarının Belirlenmesi.....	78

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	106
5.1. Sonuçlar.....	106
5.2. Değerlendirme	108
6. KAYNAKLAR.....	109
EKLER	123
EK 1 – Hidrolik 1 Hattı GMB Analizi Sonuçları.....	123
EK 2 – Hidrolik 1 Hattı Önleyici Bakım Planı	126
EK 3 – Hidrolik 1 Hattı Otonom Bakım Görev Kartları.....	128
EK 4 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu	132

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Bakım Stratejileri.....	2
Şekil 2 TVB Sütunları.....	6
Şekil 3 TEE ile Altı Büyük Kayıp Arasındaki İlişki	27
Şekil 4 GMB Süreci.....	34
Şekil 5 Sınırların Belirlenmesi.....	36
Şekil 6 İşletim Bağlamı Belirleme Süreci.....	37
Şekil 7 Niteliksel Kritiklik Matrisi Örneği	43
Şekil 8 Kritiklik Grafiği.....	43
Şekil 9 GMB Karar Diyagramı (Society of Automotive Engineers, 2002).....	48
Şekil 10 Hata ve Ömür Arasındaki İlişki.....	54
Şekil 11 P-F Aralığı	58
Şekil 12 Net P-F Aralığı	60
Şekil 13 Eskime Özellikleri	64
Şekil 14 Güvenli Ömür Sınırı	64
Şekil 15 Ekonomik Ömür Sınırı	65
Şekil 16 Bulaşık Makinesi İmalat Süreci.....	71
Şekil 17 Uygulama Akış Şeması	72
Şekil 18 Hidrolik 1 Hattı Ekipmanları ve Üretim Akışı	82
Şekil 19 Hata Kodu Yapısı	85
Şekil 20 HTEA Kayıt Dosyası.....	89
Şekil 21 Bakım Kodu Yapısı	102
Şekil 22 B02-PK-PD-OP-H1 ve B03-PK-KD-OP-H1 Otonom Bakım Kartı	128
Şekil 23 B04-PK-LK-OP-A1 Otonom Bakım Kartı.....	128
Şekil 24 B05-PK-RU-OP-A1 Otonom Bakım Kartı.....	129
Şekil 25 B06-PK-PF-OP-V1 Otonom Bakım Kartı.....	129
Şekil 26 B07-PK-KS-OP-V1 ve B08-PK-YS-OP-V1 Otonom Bakım Kartı.....	130
Şekil 27 B09-PK-ÜK-OP-V1 Otonom Bakım Kartı	130
Şekil 28 B14-PK-MR-OP-A1 Otonom Bakım Kartı.....	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1 Altı Büyük Kayıp	26
Çizelge 2 Hidrolik 1 Hattı Planlı Duruş Kaybı Türleri	74
Çizelge 3 Hidrolik 1 Hattı Plansız Duruş Kaybı Türleri	74
Çizelge 4 Plansız Duruş Kaybı Kategorileri	75
Çizelge 5 İşletmede ve Çalışmada Hesaplanan TEE ve Bileşenlerinin Karşılaştırılması	77
Çizelge 6 Montaj Seviyesi Ekipman İlişkisi	79
Çizelge 7. Hidrolik 1 Hattı İşlevsel Sistem Kırılımı	81
Çizelge 8 Hatta Meydana Gelmesi Öngörülen Hata Türleri ve Hata Türü Kodu İlişkisi	85
Çizelge 9 Hatta Arızalanması Öngörülen Ekipmanlar ve Arızalı Ekipman Kodu İlişkisi	86
Çizelge 10 Hatta Arızalanması Öngörülen Parçalar ve Arızalı Parça Kodu İlişkisi	86
Çizelge 11 RÖS Parametrelerinin (O, S, D) Sıralama Değerleri ve Tanımları.....	90
Çizelge 12 Hata Türleri için RÖS Değerleri	91
Çizelge 13 Hidrolik 1 Hattı Hata Sonuçları	93
Çizelge 14 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Standart Kayıt Dosyası .	94
Çizelge 15 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası.....	95
Çizelge 16 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi.....	95
Çizelge 17 Planlı Iskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası	97
Çizelge 18 Planlı Iskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi.....	98
Çizelge 19 Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası	99
Çizelge 20 Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi.....	100
Çizelge 21 Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası	100
Çizelge 22 Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi.....	101

Çizelge 23 Önleyici Bakım Planı Dosyası.....	102
Çizelge 24 Bakım Görevi Periyodu Kodları ve Açıklamaları	103
Çizelge 25 Bakım Görevi Yöntemleri	103
Çizelge 26 Görevli Personel Kodları ve Açıklamaları	104
Çizelge 27 Bakım Görevi Türü Kodları ve Açıklamaları.....	104
Çizelge 28 Bakım Görevi Türleri Dağılımı	105
Çizelge 29 Hidrolik 1 Hattı Önleyici Bakım Planı Özeti	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Kullanılabilirlik
C_{pm}	Önleyici bakım maliyeti
C_{cm}	Önleyici bakım sonrası uygulanan düzeltici bakım maliyeti
C_{nopm}	Düzeltilici bakım görevi
D	Saptanabilirlik
F	İşlevsel hata
n	P-F aralığındaki muayene, kontrol sayısı
O	Ortaya çıkma ihtimali
P	Potansiyel hata
P-F	Potansiyel hata ve işlevsel hata arasındaki süre
Pr	Performans
Q	Kalite
S	Şiddet

Kısaltmalar

ARÖS	Alternatif Risk Öncelik Sayısı
GMB	Güvenilirlik Merkezli Bakım
HTEA	Hata Türü Etkileri Analizi
KGA	Koşullu Görev Aralığı
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
TEE	Toplam Ekipman Etkinliği
TVB	Toplam Verimli Bakım
vb.	ve benzeri

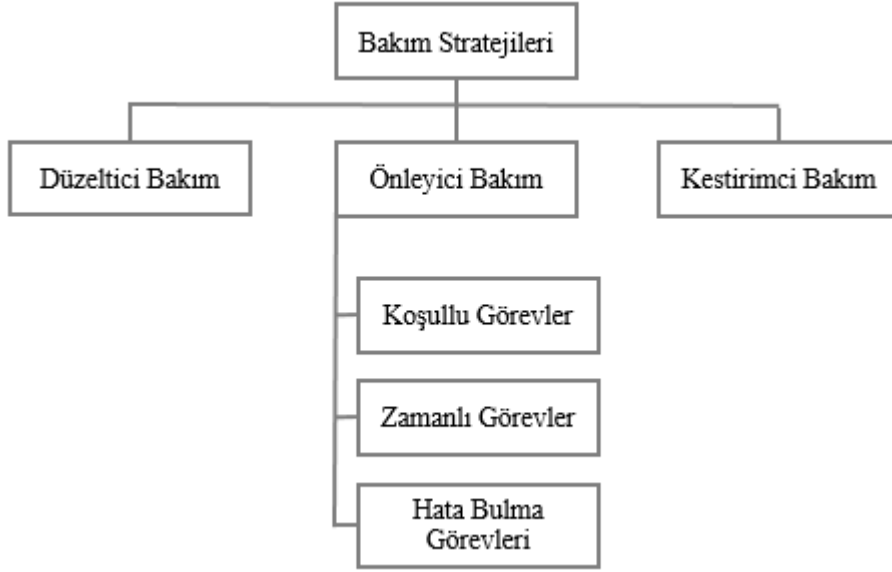
1. GİRİŞ

Endüstrideki rekabetçi ortam işletmeleri doğru bakım planlarını oluşturmaya zorlamaktadır. Doğru bakım planlaması ile üretim ekipmanlarının kullanılabilirliği (kullanıma hazır olabilirlik, availability) artar, beklenen kalite standartları sağlanır, emniyet ve çevresel riskler yönetilebilir duruma gelir. Böylece işletmeler, verimlilikleri artarken maliyetleri düşeceğinden küresel dünyada daha kolay hayatta kalabileceklerdir.

Bakım planı oluşturulurken farklı bakım/hata yönetimi stratejilerinden ekipman için en uygun olanlar seçilip uygulanabilir bakım periyotlarına karar verilir. Oluşturulan bakım planlaması ile ekipmanın yüksek kullanılabilirlik oranına ulaşması hedeflenir. Doğru bakım planı uygulandığında, üretim süreçlerindeki arıza kaynaklı üretim duruşlarının azaltılması ya da tamamen ortadan kaldırılması ile kesintisiz üretim ortamının oluşturulması sonucu ekipmanın kullanılabilirlik oranının artması beklenir.

Bakım yönetiminin son yıllarda önem kazanmasında; modern üretim sistemlerindeki ekipman çeşitliliğinin artması, karmaşık tasarımların geliştirilmesi, üretim süreçlerindeki ekipman sayısının ve üretim tesislerinin ömrünün artması ile yeni bakım yöntemlerinin ortaya çıkması etkili olmuştur (Ndjenja & Visser, 2015). Geçmişten günümüze birçok farklı bakım stratejisi uygulanmıştır. Bu bakım stratejileri Düzeltici Bakım, Önleyici Bakım ve Kestirimci Bakım olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir (Şekil 1) (Li vd., 2016):

- Düzeltici Bakım, ekipmanın arızalanana kadar çalıştırılması sonucu arıza sonrası uygulanan bakım işlemleridir.
- Önleyici Bakım, ekipman arızalarının başlangıcının tespitini tanımlayan koşulların izlenmesi, önceden belirlenen periyotlardaki kontroller veya gizli hataları tespit etmek amacıyla uygulanan bakım işlemleridir.
- Kestirimci Bakım, ekipmanın durumunun teknolojik yöntemlerle izlenmesi ve toplanan verilerin analizi sonrası öngörülen tam zamanında bakım işlemleridir.



Şekil 1 Bakım Stratejileri

Son yıllarda gelişen sensör teknolojileri sayesinde üretim süreçleri sırasında veri toplama ve ekipman durumunun izlenmesi işlemi kolaylaştığından kestirimci bakım diğer bakım stratejilerine göre ön plana çıksa da önleyici bakım görevlerinin belirlenmesi amacıyla güvenilirlik merkezli bakım ve otonom bakım yaklaşımları da sık sık tercih edilmektedir.

Ndjenja ve Visser'e göre bakım/hata yönetimi stratejisi aşağıdaki hedeflere ulaşmada kritik role sahiptir (Ndjenja & Visser, 2015):

1. Tesis kullanılabilirliğinin ve güvenilirliğinin artırılması,
2. Maliyetlerin optimize edilmesi,
3. Verimliliğin artırılması,
4. Olumsuz çevresel etkilerin azaltılması,
5. Yatırım getirilerinin artırılması.

Günümüzde karmaşık ve gelişmiş üretim süreçlerinin yaygınlaşması da dikkate alındığında, işletmeler için doğru bakım yönetiminin uygulanması her geçen gün daha da önem kazanmaya devam etmektedir. Doğru hata yönetimi stratejisi ile ekipman arızalarının ve arıza kaynaklı duruşların önüne geçilmesi hedeflenir.

1.1. Problem Tanımı ve Motivasyon

Bu tezde, bir beyaz eşya işletmesinin üretim kapasitesini doğrudan etkileyen en önemli üretim hattında arıza kaynaklı duruşların yaşanması ve hatta periyodik olarak gerçekleştirilen önleyici bakım işlemlerinin olmaması problem olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda, otonom bakım yaklaşımının uygulanmaması hattın önleyici bakım ihtiyaçlarının geliştirmeye açık olduğunu göstermektedir.

Ekipmanların ya da üretim hatlarının önleyici bakım ihtiyaçları; operatör, bakım personeli veya bakım mühendislerinin tecrübelerine dayalı olarak farklı yollarla belirlenebilir. Bu tezde ise üretim hattında meydana gelebilecek olası arızaların tümü değerlendirilerek öngörülen her bir arıza için sistematik bir yolla önleyici bakım görevlerinin ve bakım planının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Önleyici bakım planının otonom bakım kapsamına giren bakım görevleri ile bakım personeli veya bakım mühendisi tarafından gerçekleştirilmesi gereken bakım görevlerini de içerecek şekilde oluşturulması planlanmıştır. Oluşturulan önleyici bakım planı ile üretim hattında verimliliğin artırılması ve arıza kaynaklı duruşların azaltılması hedeflenmiştir.

Önleyici bakım planının hatta uygulamaya alınması ile arıza kaynaklı duruşların azalması ve buna bağlı olarak hattaki ekipmanların güvenilirliğinin ve kullanılabilirliğinin artması beklenmektedir. Bu durumda düzeltici bakımda geçen sürede kaybedilen üretim hacmi nedeniyle oluşan maliyetlerin düşmesi ve üretim kapasitesi artışına bağlı işletme karının artması mümkün olabilecektir. Uzun dönemde ise üretim hattındaki hangi parçanın ne kadar sürede veya kaç birim üretim sonrası potansiyel hata seviyesine ulaştığı bilgisine göre yedek parça stoklarının değerlendirilmesine de faydasının olacağı düşünülmektedir.

1.2. Tezin Organizasyonu

Tezin ikinci bölümünde Toplam Verimli Bakım (TVB), Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) ve iki yaklaşımın ilişkisini göstermek üzere birlikte kullanıldıkları çalışmaları ele alan geçmiş çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde sırasıyla TVB ve ölçülebilir çıktısı olan Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), devamında GMB ve GMB süreci kapsamında yürütülen Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ile HTEA'nın bir parçası olan farklı kritiklik analizi metotları ile bakım görevleri seçiminde kullanılan GMB Karar Diyagramı yöntemleri anlatılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde bir beyaz eşya işletmesindeki hidrolik pres üretim hattı için hat verimliliğinin ölçülmesi ve arıza kaynaklı duruşların azaltılması ile hat TEE'sinin artırılması amacıyla önleyici bakım görevlerinin belirlenerek önleyici bakım planı oluşturulması süreci sunulmuştur.

Tezin sonuçlar bölümünde ise çalışma sonucu elde edilen çıkarımlar verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

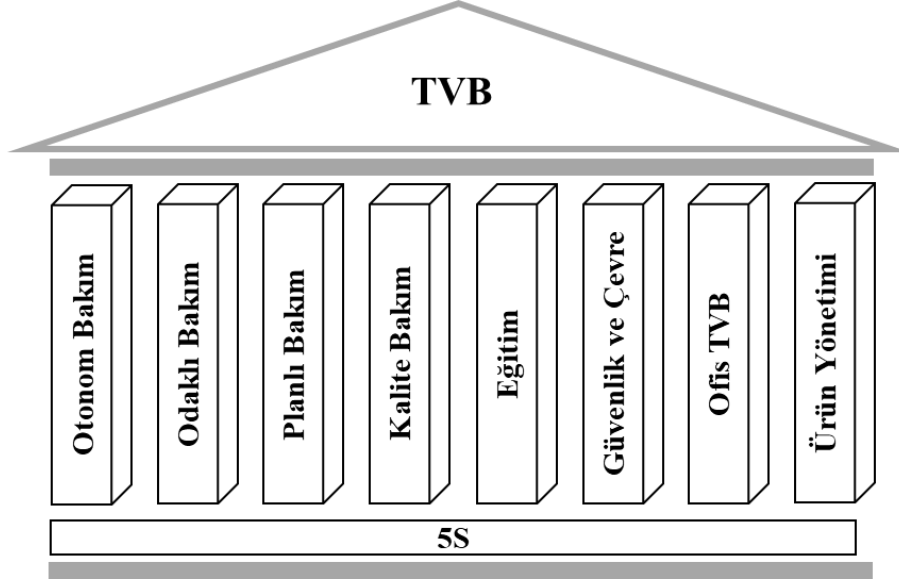
Bu bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılan Toplam Verimli Bakım (TVB) ve Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) metodolojilerine ait geçmiş çalışmalar incelenerek sunulmuştur.

2.1. Toplam Verimli Bakım

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte üretim sistemlerinde otomasyonun artması, üretim süreçleri verimliliğinin ekipmana bağımlılığını da artırmıştır. Böylece üretim sırasında insan gücüne olan ihtiyaç azalsa da bakım konusunda hala işgücü ihtiyacı mevcuttur. Üretim süreçlerinde ekipman etkinliğinin artırılması amacıyla faydalanılan güncel ve sık kullanılan bakım yöntemlerinden biri de Toplam Verimli Bakım'dır.

TVB, 1971 yılında Seiichi Nakajima tarafından Japonya'da ortaya çıkmıştır (Nakajima, 1988). Ekipman verimliliğinin ve ömrünün artırılması için uygulanması gereken yöntemlerden biridir (Pascal vd., 2019). Sıfır arıza kaynaklı duruş, sıfır kusurlu ürün ve sıfır kazayı amaçlayarak ekipman etkinliğinin artırılmasını hedeflemektedir (Musthopa vd., 2023). TVB, üst yönetimden hat operatörüne kadar organizasyondaki tüm çalışanların dahil edildiği işletme çapında bakım yönetimidir (Nakajima, 1988). Bu özelliğinden dolayı kısa sürede sonuç alınabilecek bir çözüm değildir ve uzun dönem planlama gerektirmektedir (Gelaw vd., 2023).

TVB uygulaması için işletmenin TVB evini oluşturması gerekir. TVB evi sekiz sütundan oluşur. Bunlar TVB'yi destekleyen ana başlıklar olarak ifade edilmektedir. TVB sütunları; otonom bakım (jishu hozen), odaklı bakım (kobetsu kaizen), planlı bakım, kalite bakım, eğitim, güvenlik ve çevre, ofis TVB ve ürün yönetimi olmak üzere sekiz sütundan oluşur (Şekil 2). TVB sütunları etkili bir TVB uygulaması için yol göstericidir (Parikh & Mahamuni, 2015).



Şekil 2 TVB Sütunları

Shinde ve Prasad, otomotiv sektörü ve montaj hatlarında dikkate alınmak üzere analitik hiyerarşi süreci (AHP) yaklaşımı ile verimlilik, maliyet, kalite ve zamanında teslimat parametrelerine göre TVB sütunlarını önceliklendirdikleri çalışmalarında, otonom bakım ve odaklı bakımın en önemli TVB sütunları olduğunu belirtmişlerdir (Shinde & Prasad, 2018). Maculan Filho'ya göre de TVB'nin otonom bakım sütunu ile ekipmandaki küçük problemlerin tespiti ve düzeltilmesi amacıyla, operatörün ekipmanda meydana gelen normal çalışma dışı durumlara odaklanması sağlanır (Maculan Filho, 2015).

Gelaw vd. TVB uygulaması sırasındaki kritik başarı faktörlerini incelemek amacıyla TVB sütunları ile TEE arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. TVB'nin odaklı bakım, kalite bakım ve eğitim sütunlarının TEE ile en ilişkili sütunlar olduğunu belirtmişlerdir. Eğitimin ise dolaylı olarak otonom bakım sütunu ile ilişkisini vurgulamışlardır (Gelaw vd., 2023).

Singh ve Awoke TVB ile operasyonel performans arasındaki ilişkiyi incelemek üzere uyguladıkları anket sonuçlarına göre TVB'nin otonom bakım, planlı bakım, eğitim, güvenlik ve çevre sütunlarının operasyonel performans ile pozitif ilişkisi olduğunu belirtmişlerdir. TVB uygulamalarının operasyonel performans göstergelerini (maliyet, kalite, zaman ve esneklik) iyileştirdiğini vurgulamışlardır (A. P. Singh & Awoke, 2023).

Vaz vd. de anket çalışması yoluyla TVB'nin operasyonel performans göstergelerine (kalite, esneklik, verim, güvenlik, maliyet) etkilerini değerlendirmişler ve TVB uygulamalarından pozitif yönde en fazla etkilenen performans göstergesinin verimlilik en az etkilenenin ise maliyet olduğunu belirtmişlerdir (Vaz vd., 2021).

Wickramasinghe ve Perera tekstil endüstrisinde TVB'nin etkilerini araştırdıkları anket çalışması sonuçlarına göre TVB'nin üretim performansını olumlu yönde etkilediği ve özellikle maliyet, kalite, zamanında teslimat ve üretim hacmi esnekliği performans ölçütlerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir (Wickramasinghe & Perera, 2016).

Kumar vd. Hindistan üretim endüstrisinin performansı ile TVB arasındaki ilişkiyi incelemek üzere otomotiv ve makine sektöründeki firmalara uyguladıkları anket sonuçlarına göre TVB'nin verimlilik, kalite, maliyet etkinlik, emniyetli çalışma ortamı, zamanında teslimat, moral gibi performans göstergelerini artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca TEE'nin TVB'den bağımsız olarak performans iyileştirmede kullanılabileceğine de değinmişlerdir (Kumar vd., 2014).

Shaaban ve Awni Mısır'daki hızlı tüketim malları firmalarında TVB uygulamalarının başarılı olarak gerçekleşmesini etkileyen faktörleri incelemek üzere yürüttükleri çalışma sonucu dokuz faktörün etkili olduğunu ancak firmada uygulanan TVB'nin olgunluk seviyesine göre bu faktörlerin değiştiğini belirtmişlerdir (Shaaban & Awni, 2014).

Binti Aminuddin çalışmasında TEE uygulamasına ilişkin yönetsel sorunların yaygınlığına değinmiştir (Binti Aminuddin vd., 2016). Hooi ve Leong TVB'nin üretim performansını iyileştirdiğini ve üst yönetim liderliğinin çalışmaların erken safhalarında ana plan ve programın oluşturulması amacıyla önemli iken sonrasında çok kritik olmadığını belirtmişlerdir (Hooi & Leong, 2017).

Khalfallah ve Lakhal TVB, toplam kalite yönetimi (TQM), tam zamanına üretim (JIT) ve çevik üretim arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında; TVB'nin TQM ve JIT,

TQM'nin JIT ve JIT'nin de çevik üretim üzerinde doğrudan pozitif etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Khalfallah & Lakhali, 2021).

Al-Refaie vd. TVB ve TQM üretim performansına etkisini inceledikleri çalışmalarında TVB'nin üretim performansı üzerindeki pozitif etkisinin TQM'den fazla olduğunu belirtmişlerdir (Al-Refaie vd., 2022). Modgil ve Sharma ilaç endüstrisinde TVB, TQM ve iki yaklaşımın entegrasyonunun operasyonel performansa etkisini inceleyerek TVB'nin fabrika seviyesi operasyonel performansa önemli etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca iki yaklaşım birlikte kullanıldığında TVB'nin operasyonel performans üzerinde daha güçlü bir etkisinin olduğunu diğer bir ifade ile TQM'nin TVB'nin operasyonel performansa etkisini artırdığını belirtmişlerdir (Modgil & Sharma, 2016).

Singh ve Ahuja çalışmalarında Hindistan üretim endüstrisinde üretim performansının iyileştirilmesi amacıyla uygulanan TVB ve TVB ile TQM entegrasyonunu etkileyen faktörleri incelemişlerdir (K. Singh & Ahuja, 2014). Sahoo TVB, TQM ve iki yaklaşımın birlikte kullanımının farklı sektörlere etkisini incelediği çalışmada yiyecek ve içecek ile elektrik ve elektronik sektörlerinde TVB ile TQM'nin birlikte kullanımının faydalı olduğunu tekstil sektöründe ise böyle bir faydanın garanti edilemeyeceğini belirtmiştir (Sahoo, 2019).

Yang ve Yang çalışmalarında, operatör ve bakım personellerinin TVB'ye dahil edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Bu çalışanların katılımını etkileyen faktörleri motivasyon, fırsat ve yetenek başlıkları altında inceleyerek yöneticiler tarafından tanınmanın çalışanlar için en motivasyon artırıcı durum olduğunu belirtmişlerdir (Y. Yang & Yang, 2023). Bashar vd. TVB, personel yönetimi ve organizasyonel performans arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında; TVB'nin organizasyonel performansın geliştirilmesine doğrudan etkisi olduğu, personel yönetiminin ise TVB aracılığıyla organizasyonel performansa olumlu etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Bashar vd., 2020).

Günümüzde farklı üretim sektörlerinde uygulanan TVB çalışmaları da mevcuttur. Reis vd., bir otomobil üretim hattında makine arızası kaynaklı kayıpların azaltılması amacıyla TVB uygulaması yaparak hat arıza oranını yaklaşık %3.5 düşürürken üretim hacmini %18 artırmışlardır (Reis vd., 2019). Morales Mendez ve Rodriguez bir otomotiv parçası üretim hattında TVB uygulaması ile TEE'nin %64'ten %76'ya artmasını ve plansız duruşların azaltılması sayesinde üretim kapasitesinde de %10.7 artış sağlamışlardır (Morales Méndez & Rodriguez, 2017).

Zubair vd. bir ilaç firmasının kuru süspansiyon bölümünde TEE ölçümü yaparak %23 değerini elde etmişlerdir (Zubair vd., 2021). Tsarouhas, bir kruvasan üretim hattının TEE'sini %75 olarak hesaplamış ve üretim hattının planlı veya plansız duruş sürelerinin azaltılması ile TEE'nin artırılabilceğini belirtmiştir (Tsarouhas, 2018). Chikwendu vd. ilaç firmalarının TEE verilerini analiz ederek bu firmalar için üretim süreçleri kayıplarının azaltılmasına en yüksek katkıyı sağlayacak TEE bileşeninin kalite olduğunu belirtmişlerdir (Chikwendu vd., 2020).

Ramos vd. bir baskı makinesinde bakım süreçlerine odaklı verimlilik artışı sağlamak amacıyla TVB ve 5S, Kaizen, Değer Akış Haritalama gibi yalın üretim araçlarını birlikte kullanmışlardır. Optimize ettikleri bakım planına göre operatör için temizlik ve muayene görevleri tanımlayarak bakım personelinin daha kritik görevlerde rol almaları için zaman yaratmayı ve konveyör kayışlarının periyodik değişimi ile üretimdeki hız kayıplarının önüne geçmeyi hedeflemişlerdir. Buna göre TEE değerinin %6.6 artış ile %61.2'ye ulaşmasını beklemektedirler (Ramos vd., 2020). Kamath ve Rodrigues de basım endüstrisinde beklenen baskı performansına ulaşmak amacıyla TVB, TQM, insan faktörleri, bağlamsal faktörler ve sistem dinamikleri geribildirimlerini birlikte kullanarak toplam üretim yönetimine katkıda bulunmayı amaçlamışlardır (Kamath & Rodrigues, 2016).

Banciu vd. elektrostatik boyama bölümü süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla balık kılıcı (Ishikawa) diyagramı ve TVB'nin otonom bakım, kalite bakım ve eğitim sütunları ile 5S yaklaşımını kullanmışlardır (Banciu vd., 2022). Ondra, çalışmasında TVB ve SMED (Tek Dakikada Kalıp Değişimi) yaklaşımlarının birlikte uygulanmasının TEE'yi artıracığını

belirtmiştir (Ondra, 2022). Jagin vd. çalışmalarında kalıp hazırlık süresine bağlı düşük verimlilikte çalışan bir pres makinesinin TEE'sini artırmak amacıyla TVB ve PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsü yaklaşımlarını kullanarak TEE'nin %60.7'den %65.3'e artmasını sağlamışlardır (Jagin vd., 2020).

Ighravwe ve Oke, bir çimento fabrikasındaki üretim hatlarının önem derecesine göre sıralanması amacıyla TVB'nin kobetsu kaizen sütununu temel alan bir yöntem sunmuşlardır (Ighravwe & Oke, 2020). Ahmad vd. bir iplik fabrikasındaki halka çerçeve bölümünün TEE'sini iyileştirmek üzere TVB'nin kaizen sütunundan faydalanarak TEE'nin %75.09'dan %86.06'ya artmasını sağlamışlardır (Ahmad vd., 2018). Habidin vd. otomotiv sektöründe TVB, kaizen ve performans arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında iki yaklaşımın da performansı artırdığını ancak TVB'nin kaizenle birlikte uygulandığında performans üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Habidin vd., 2018).

Samadhiya vd. işletmelerin sürdürülebilirliklerini destekleyecek TVB ve Endüstri 4.0'a dayalı entegre bir modelin başarılı şekilde uygulanabilmesi amacıyla üst yönetim desteği, orta seviyedeki yöneticilerin katılımı, ekip çalışması, TVB bilgisi ve resmi bir çalışma programı faktörlerinin önemini vurgulamışlardır (Samadhiya vd., 2022). Tortorella vd. TVB ve Endüstri 4.0 entegrasyonu konusunda uyguladıkları anket çalışması sonucu TVB kapsamındaki operatörün ekipmanını sahiplenmesi, otonom bakım kontrolleri, makine insan ve malzeme koşullarının oluşturulması ve teknolojik gelişmelerin takibi faaliyetleri ile Endüstri 4.0 kapsamındaki nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) ve büyük veri faaliyetlerinin birbiri ile daha ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Tortorella vd., 2022).

Mendes vd. üretim süreçlerinde iyileştirme sağlamak amacıyla bir konveyör bandında Endüstri 4.0 ile TVB'yi birlikte uygulamışlardır. Uygulama ile bant kullanılabilirliğini %89.5'tan %92.7'ye artırmışlar ve onarımda geçen süreyi 1.7 saatten 0.8 saate düşürerek %53 iyileştirme sağlamışlardır (Mendes vd., 2023). Roosefelt Mohan vd. bir yüksek basınçlı hidrolik kum kalıplama makinesinde sıfır duruş kaybına ulaşmak amacıyla TVB ve makine öğrenmesi yaklaşımlarını kullanmışlardır. Yağ kirlilik seviyesi parametresini ele alarak arızayı oluşmadan önce tahmin etmek amacıyla önerdikleri hata tahmin modeli

ile arızalar arası ortalama süreyi %800 artırmışlardır (Roosefert Mohan vd., 2021). Gligorijevic vd. çalışmalarında bir ambalaj endüstrisinde TVB'yi desteklemek ve hataların erken tespiti amacıyla titreşim sinyallerini kullanarak rulmanların çevrimiçi durum izlemesi yöntemini sunmuşlardır (Gligorijevic vd., 2016).

Balouei vd. bilgisayarlı bakım yönetimi sistemlerinin (CMMS) ve üst yönetim desteği, çalışanların katılımı gibi destekleyici organizasyonel faktörlerin TVB'ye etkisini inceledikleri çalışmalarında ilgili destekleyici organizasyonel faktör ile CMMS'nin TVB'yi olumlu yönde etkilediğini belirterek CMMS'nin bakım maliyetlerini düşürebileceğini belirtmişlerdir (Balouei vd., 2018).

Chaabane vd. TVB etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, önleyici bakım sıklığı ve TVB periyodu karar değişkenlerinin ortalama karı etkilediğini belirtmişlerdir (Chaabane vd., 2020). Xiang ve Chin küçük ve orta ölçekli işletmeler için planlama, geliştirme ve sürdürme adımlarından oluşan TVB modeli önermişler ve uygulama sonrası TEE değerinde %54.23'ten %66.90'a artış sağlamışlardır (Xiang & Chin, 2021). Bataineh vd. bir içecek işletmesinde TVB uygulama sürecini kolaylaştırmak amacıyla önerdikleri 13 adımdan oluşan yöntemle dokuz aylık süre içinde cam üretim hattının TEE'sinde %62.6 oranında artış sağlamışlardır (Bataineh vd., 2019).

Andersson vd. telekomünikasyon sektöründe TVB analizi amacıyla yürüttükleri çalışmalarında TVB'nin tanımlama, uygulama ve sürdürme olmak üzere üç adımda uygulanmasının önemini, TVB ile bireysel iş yükünün azaltılarak ekip çalışmasının artırıldığını ve işletme açısından bakıldığında ise maliyet ve kalitede iyileşme sağlandığını belirtmişlerdir (Andersson vd., 2015). Facchinetti ve Citterio ise ağırlıklı olarak üretim sektöründe kullanılan TEE yaklaşımını hizmet sektöründe kullanmışlar ve hedeflere odaklı işletilen hizmet sektörü süreçlerinin kayıplara odaklanmasını sağlayarak kayıpların sebeplerini işletme ve çalışan kaynaklı olmak üzere ikiye ayırmışlardır (Facchinetti & Citterio, 2022).

Chlebus vd. çalışmalarında, maden endüstrisindeki TVB uygulamalarının çalışma ortamının iyileştirilmesi, otonom bakım ve planlı bakıma dayandığını belirterek TVB'nin çalışanlar için iş güvenliğini artırma, iş standardizasyonu ve onarım işlemlerinin kolaylaştırılması gibi faydaları olduğuna değinmişlerdir (Chlebus vd., 2015). Gajdzik metal endüstrisinde üretim verimliliğini artırmak ve dünya standartlarında üretim (WCM) seviyesine ulaşmada TVB'nin önemini belirtmiştir (Gajdzik, 2014). Bartz vd. bir metal firmasında TVB temelli bakım yönetimi uygulaması sonrası üretim hattı performansının arttığını, hurda ve yeniden işleme oranlarının azaldığını belirtmişlerdir (Bartz vd., 2014).

Ng vd. çalışmalarında bir işletmede TVB'nin başarılı bir şekilde uygulanamamasının sebeplerini belirtmişlerdir (Ng vd., 2012). Munir vd. de bu konuda yürüttükleri anket çalışması sonucu elde ettikleri verilere göre, yöneticiler tarafından doğru hedeflerin belirlenmemesi ve yönlendirmelerin yetersiz kalmasına bağlı oluşan stratejik kısıtların TVB uygulamasında problemler oluşturan en önemli etken olduğunu belirtmişlerdir. Departman hedefleri ile TVB hedeflerinin uyumlu olmamasına bağlı oluşan departman kısıtlarının ve TVB'de yer alan tüm katılımcılar için yetersiz eğitim faktörünün TVB başarısını olumsuz etkilediğine de değinmişlerdir (Munir vd., 2019).

Attri vd.'ye göre TVB'nin benimsenmesini engelleyen en önemli faktörler üst yönetim desteğinin eksikliği ve finansal kısıtlardır (Attri vd., 2013b). TVB uygulamasını kolaylaştıran en önemli faktörler ise üst yönetimin desteği, iletişim, eğitim ve TVB hedeflerinin iş planlamalarına dahil edilmesidir (Attri vd., 2013a). Attri vd. TVB uygulamaları sırasında ortaya çıkan farklı engellerin yoğunluğunu hesaplayan metodoloji sunmuşlardır. Çalışmada ele aldıkları örneğe göre yöneticilerin yetersiz desteği, operatörlerin çalışmaya dirençleri gibi davranışsal engellerin en sık karşılaşılan engeller sonrasında ise standart üretim süreçleri ve çalışma ortamı ile önleyici bakım programlarının olmaması gibi operasyonel engellerin de sık karşılaşılan engeller olduğunu belirtmişlerdir (Attri vd., 2014).

Oleghe ve Salonitis kesikli olay simülasyonu ile TVB performansını etkileyen unsurları incelemişler ve personel motivasyonunun TVB performansını önemli ölçüde

etkilemediğini ancak makine arıza oranına uygun belirlenen planlı bakım periyotlarının TVB performansı için kritik olduğunu belirtmişlerdir (Oleghe & Salonitis, 2019).

Chen, bir yarıiletken malzeme üretim işletmesindeki maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak amacıyla kök sebep analizi ve hata türü etkileri analizi (HTEA) yöntemlerini kullanarak otonom önleyici bakım programı oluşturmuştur (Chen, 2013). Singh Amin vd. bir amortisör üretim firmasında çevrim ve duruş sürelerinin azaltılması ile verimliliği artırmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla yalın üretim yaklaşımından faydalanarak proses gereksinimlerine uygun olarak makine üzerinde değişiklikler yapmışlardır. Buna göre makine çevrim süresinde %48, duruş süresinde %93 azalma sağlayarak verimlilikte %52 artış ve üretim maliyetlerinde de %23.9 düşüş elde etmişlerdir (Singh Amin vd., 2013).

Pascal vd. bakım yöneticilerinin TVB'ye dayalı bakım politikaları için karar almasını destekleyecek güvenilirlik, arıza seviyesi ve kalan faydalı ömür gibi göstergelerin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır (Pascal vd., 2019). Toke ve Kalpande ise çalışmalarında AHP ile TVB anahtar performans gösterilerini ağırlıklandırarak verimlilik ve kalitenin en önemli performans göstergeleri olduğunu belirlemişlerdir (Toke & Kalpande, 2023).

Bu tezde, TVB literatür araştırması kapsamında Web of Science veri tabanındaki Total Productive Maintenance anahtar kelimesi ile 2013-2023 yılları arasında yayınlanan makaleler incelenmiş ve konuyla en alakalı olanlara yer verilmiştir. İncelenen çalışmalar sonucunda genellikle anket çalışmalarına dayalı TVB uygulamalarının başarısını etkileyen faktörler, TVB'nin ve TVB sütunlarının üretim performansına etkileri gibi başlıklar altında TVB'nin nitel açıdan ele alındığı görülmüştür. Uygulama alanı açısından bakıldığında ise otomotiv, ilaç, tekstil, maden, telekomünikasyon gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım

Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik üretim süreçlerinin başarısı için önemli iki parametredir (Supsonboon & Hongthanapach, 2014). Üretim etkinliğinin en yüksek seviyeye ulaşmasında ise doğru bakım politikasının uygulanması önemli bir role sahiptir. Bu doğrultuda GMB analizi doğru hata yönetimi stratejisinin belirlenmesi amacıyla birçok farklı sektörde kullanılmaktadır.

GMB ilk kez Nowlan ve Heap tarafından 1978 yılında uçak endüstrisindeki karmaşık sistemler için önleyici bakım programlarının belirlenmesi amacıyla ortaya koyulmuştur (Nowlan & Heap, 1978). GMB analizi, karar diyagramı yardımı ile önleyici bakım görevlerinin seçilmesini sağlayan süreçtir. GMB'nin ortaya çıkışında, 1968'de, bakım programlarının belirlenmesi amacıyla karar diyagramından faydalanma yaklaşımını ilk kez kullanan MSG-1 diğer adıyla "Handbook: Maintenance Evaluation and Program Development" etkili olmuştur. MSG-1 ile Boeing 747 için karar diyagramı yaklaşımı kullanılarak önleyici bakım programı belirlenmiştir (Department of Defence, 1986; Nowlan & Heap, 1978). 1970'te yeni tip uçaklara uyumlu hale getirilmek üzere MSG-2 diğer adıyla "Airline/Manufacturer Maintenance Program Planning Document" yayınlanmıştır. MSG-2 ile Lockheed 1011, Douglas DC-10 geniş gövdeli uçakları ve McDonnell F4J, Lockheed P-3 gibi taktik askeri uçaklar için planlı bakım programları oluşturulmuştur (Nowlan & Heap, 1978). MSG-2, Deniz Hava Sistemleri Komutanlığı tarafından, hizmette olan deniz hava uçaklarının önleyici bakım programlarını revize etmek amacıyla tekrar yazılarak NAVAIR 00-25-400 olarak yayınlanmıştır. 1978'de ise yeniden revize edilerek MSG-3 diğer adıyla "Airline/Manufacturer Maintenance Program Planning Document" yayınlanmıştır (Department of Defence, 1986).

MSG-1'de parça seviyesi ve aşağıdan yukarıya yaklaşım benimsenmişken MSG-3'te sistem seviyesi ve yukarıdan aşağıya yaklaşımla analiz yürütülmektedir (Ahmadi vd., 2007). GMB karar diyagramının MSG-2'den farkı ise önerilen bakım görevinin değerlendirilmesi ile süreci başlatmayıp hata türleri ve hata sonuçlarını kullanarak varlığın bakım gereksinimlerine karar vermektir (Nowlan & Heap, 1978).

Yıllar içinde GMB ile ilgili araştırmalar artmış ve (Smith & Hinchcliffe, 2003), (Bloom, 2006), (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017) çeşitli kitaplar yayınlanmıştır. Otomotiv mühendisleri tarafından da (Society of Automotive Engineers, 1999) ve (Society of Automotive Engineers, 2002) gibi önemli yayınlar yapılmıştır.

GMB baskın hataları dikkate alarak maliyet etkin bakım stratejileri oluşturmada kullanılan sistematik bir yaklaşımdır (Hockley vd., 2011). GMB toplam sahip olma maliyetini düşürerek bakım süreçlerinin optimize edilmesi ve kritik ekipmanların güvenilirliğinin artırılmasını sağlayan sistematik bir süreçtir (Arno vd., 2015).

GMB ile belirlenen her bakım görevi tanımlanabilir bir sebebe dayalıdır ve bakım görevi belirlemek üzere ele alınan hatalar ise sonuçlarının şiddetine göre sınıflandırılır (Nowlan & Heap, 1978). GMB'nin amacı güvenilirlik ve emniyeti göz önüne alarak bakım kaynaklı duruşları azaltmaktır (Kral vd., 2011; Selvik & Aven, 2011). GMB sistemlerin kullanılabilirliğini korumaya odaklanır (Park vd., 2011).

GMB, emniyet, kullanılabilirlik ve çalışma ekonomisini etkin bir şekilde elde etmek için hata yönetimi politikalarını belirlemeye ve seçmeye yönelik bir yöntemdir. Hata yönetimi politikaları hatanın sonuçlarını hafifletmeyi amaçlayan bakım faaliyetlerini, operasyonel değişiklikleri, tasarım değişikliklerini veya diğer eylemleri içerebilir (International Electrotechnical Commission, 2009). GMB; sistemi oluşturun parçaların önem derecesine göre sıralanması, önleyici ve düzeltici bakımların karşılaştırılması, alternatif önleyici bakımların risk ve maliyet açısından karşılaştırılması ve en düşük riskli bakım periyodu ve sürelerini belirlemeyi içeren faaliyetlerden meydana gelmektedir (Wenyuan, 2014).

GMB analizi sistemlerin kullanılabilirliđini artırmak amacıyla zaman içinde farklı sektörlerde uygulanmıřtır. řijački-Žeravčić vd., 2010 yılında bir termal elektrik santralinde GMB metodunu uygulayarak iřletmenin arızalar arası ortalama süresini artırmıřtır (řijački-Žeravčić vd., 2010). Fore ve Msipha, bir ferrokrom iřleme tesisinde önleyici bakım yönetimi amacıyla GMB'den faydalanmıřlar ve tesisin kullanılabilirlik deđerinin %8'lik bir atıř ile %84'e yükselmesini sađlamıřlardır (Fore & Msipha, 2010). Yine Fore ve Mudavanhu, çalıřmalarında talař alma ve testere tezgahlarında GMB

uygulaması yapmışlar ve doğru bakım stratejisi uygulandığında tezgahların kullanılabilirliğinin arttığını göstermişlerdir (Fore & Mudavanhu, 2011).

Kral vd., dağıtım sistemleri ağ elemanları için GMB yaklaşımını dikkate alarak devre kesicilerin teknik koşulları ve operasyonel önemine bağlı olarak bakım önceliği ve bakım sıklığını belirleyen yazılım geliştirmişlerdir (Kral vd., 2011). Abbasghorbani vd. çalışmalarında GMB analizini kullanarak iletim ağındaki güç devre kesicilerinin bakım planlamasını gerçekleştirmişlerdir (Abbasghorbani vd., 2014). Park vd., 2011 yılında enerji dağıtım sistemleri için dinamik programlama ile GMB'yi kullanarak optimum bakım stratejisini bulma problemini formüle etmişlerdir (Park vd., 2011).

Dehghanian vd. güç dağıtım sistemleri için üç aşamadan meydana gelen bir GMB analizi algoritması sunmuşlardır (Dehghanian vd., 2013). Yssaad vd., çalışmalarında güç dağıtım sistemlerinde görev kritikliği ve emniyet kritikliğinin aynı önem derecesinde olduğunu vurgulayarak elektrik besleme sistemi ekipmanları için maliyet etkin bakım programı oluşturmak amacıyla GMB analizini kullanmışlardır (Yssaad vd., 2014).

van Jaarsveld ve Dekker çalışmalarında yedek parça stoklarının belirlenmesinde önemli iki faktör olan kıtlık maliyeti ve minimum doluluk oranı tahminlerinin yapılması problemi için GMB analizinde toplanan verilerden faydalanılmasını önermişlerdir (van Jaarsveld & Dekker, 2011). Bir petrokimya şirketinde yürüttükleri çalışmada, GMB ile sistemlerin yedeklilik durumunu da göz önüne alarak arıza kaynaklı duruşlar için ihtiyaç duyulacak yedek parça bilgisine göre maliyet etkin yedek parça stoğu belirleme süreci ortaya koymuşlardır. Fischer vd. ise rüzgar türbinlerinin kullanım dışı kalmasına sebep veren kritik alt sistemleri için GMB analizinden faydalanarak bu alt sistemlerde meydana gelen mekanik arızaların ana sebebinin titreşim olduğuna değinmişlerdir (Fischer vd., 2012). Ayrıca bakım kararı verilirken yeterli arıza ve bakım verisi yoksa uzun dönem karından ziyade kısa dönemde elde edilebilecek tasarrufa odaklanmanın önemini vurgulamışlardır.

Supsomboon ve Hongthanapach bir yarıiletken işletmesinde uyguladıkları çalışmalarında makine etkinliğinin artırılmasına bağlı ürün kalitesini artırmak amacıyla GMB analizi ile önleyici bakım planı oluşturmuşlardır (Supsomboon & Hongthanapach, 2014). Maliyet etkin bakım aralığını bulmak içinse önerdikleri önleyici bakım planını simüle etmişler ve çalışma sonunda önleyici bakım maliyetlerinin %42 ve üretim kaybı maliyetinin ise %98 oranında düştüğünü görmüşlerdir. Suthep ve Kullawong ise bir sert krom kaplama tesisinde duruş kaynaklı düzeltici bakımlarda geçen süreyi azaltmak ve bakım planı oluşturmak amacıyla GMB'den faydalanmışlar ve tesisin arıza oranının %9 azaltılması ile makine kullanılabilirlik oranının %84'e çıkarılmasını sağlamışlardır (Suthep & Kullawong, 2015). Klasik GMB analizinden farklı olarak bakım görevlerinin seçilmesi sırasında Weibull analizini kullanmışlardır.

Sinha ve Mukhopadhyay, konik kırıcının güvenilirliğinin artırılması amacıyla GMB araçlarından biri olan HTEA'dan faydalanarak sistemdeki kritik ekipmanları belirlemişler ve bu tür çalışmaların ekipmanın kullanılabilirliğini iyileştireceğine değinmişlerdir (Sinha & Mukhopadhyay, 2015). Yang vd. çalışmalarında sürekli emisyon izleme sisteminin numune alma alt sistemi için tecrübeler dayalı oluşturulan mevcut bakımların yerine GMB analizi ile sistematik ve bilimsel yöntemler ile önleyici bakım türlerine karar verilmesinin önemine vurgu yapmışlardır (Y.-J. Yang vd., 2020).

Gupta ve Mishra literatürde yer alan GMB analizi çalışmalarını nitel, nicel ve endüstri uygulaması olmak üzere üç grupta ele alarak her bir grup için SWOT analizi uygulamışlardır. Bu çalışmaları ile farklı GMB yaklaşımlarının güçlü ve zayıf yönlerini bilmenin analizi uygulayacak kişilere hangi yaklaşımla analizi ele almaları gerektiği konusunda yardımcı olacağını belirtmişlerdir (Gupta & Mishra, 2016b). Yine Gupta ve Mishra bir torna tezgahındaki hata sayısını ve hata etkilerini azaltmak amacıyla doğru bakım stratejisine karar verme sürecinde GMB analizini kullanmışlardır (Gupta & Mishra, 2016a).

Yuniarto ve Baskara bir jeotermal güç tesisinde GMB analizi uygulaması ile 36 arıza için 52 bakım görevi oluşturmuşlardır (Yuniarto & Baskara, 2017). Suryono ve Rosyidi bir lazer makinesindeki kritik ekipmanları belirleyerek uygulanabilir bakım görevlerine ve

bakım sıklıklarına karar vermek amacıyla GMB analizini kullanmışlardır (Suryono & Rosyidi, 2018). Stuchlý vd. çalışmalarında CNC tezgahına GMB analizi uygulamışlar ve tezgah için 26 bakım görevi belirlemişlerdir (Stuchlý vd., 2018). Okwuobi vd. cam şişe yapımında kullanılan cam üfleme makinesinin önleyici bakımlar ile verimliliğinin artırılması amacıyla GMB analizinin kullanımını önermişlerdir (Okwuobi vd., 2018).

Catelani vd. rüzgar türbini yalpalama sistemi için bakım planı oluşturmak amacıyla yürüttükleri çalışmalarında standart GMB analizinin öznelliklerini azaltmayı hedefleyen yeni bir karar verme yöntemi önermişlerdir (Catelani vd., 2020). Piechnicki vd. geleneksel GMB analizi karar verme sürecindeki öznelliği azaltmak amacıyla analizde kullanılacak nicel ve nitel bilgileri kapsayan bir veri tabanı oluşturulmasını önermişlerdir. İki farklı formdaki verinin birleştirilmesi yoluyla analizi uygulayan karar alıcıların tutarlı seçimler yapmalarına olanak sağlamışlardır (Piechnicki vd., 2021).

GMB'nin etkinliğinin artırılması amacıyla farklı yöntemlerle birlikte kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Kianfar ve Kianfar, 2010 yılındaki çalışmalarında GMB'nin etkinliğini artırmak amacıyla TQM araçlarından biri olan kalite fonksiyonu dağıtımı (QFD) metodundan faydalanmıştır (Kianfar & Kianfar, 2010). QFD araçlarından biri olan Kalite Evi yöntemini kullanarak hata türü ve işlevsel hatalar arasında ilişki kurarak bakım görevleri ve görev sıklıklarını belirlemişlerdir. Niu vd. çalışmalarında koşula dayalı bakım (CBM) stratejisini iyileştirmek amacıyla GMB ve veri füzyonu metotlarını geleneksel CBM'ye entegre etmişlerdir (Niu vd., 2010). Geleneksel CBM, sistemin durumunun dinamik olarak izlenmesi yoluyla toplanan bilgiye dayalı bakım görevleri oluşturulması sürecidir. Data füzyonu ise farklı kaynaklardan toplanan verilerin bir araya getirilmesiyle anlamlı bilgiler elde edilmesi sürecidir. Çalışmalarında GMB ile doğru bakım görevi ve görev sıklığı seçimini maliyet etkin şekilde yaparken, veri füzyonu ile de koşul izleme, teşhis ve öngörülerin daha doğru yapılmasını sağlamışlardır. Hockley vd.'ye göre ise GMB süreci yürütülmeden CBM yapılamaz ve GMB, sağlık ve kullanım verileri izleme, durum izleme ve öngörü teknikleri ile kullanıldığında daha etkili olacaktır (Hockley vd., 2011). GMB ve CBM'den savunma sektöründe ve kullanımda olan ürünlerde tam anlamıyla yararlanılmamaktadır.

Selvik ve Aven, çalışmalarında GMB'nin risk ve belirsizlikleri değerlendirme yönünden yetersiz olduğu düşüncesiyle geleneksel yöntemle belirsizlik analizi ekleyerek petrol ve gaz endüstrisinde bir uygulama yapmışlardır (Selvik & Aven, 2011). Da Silva vd. de benzer şekilde GMB ve riske dayalı bakım yöntemlerini birlikte kullanarak potansiyel işlevsel hataların, riskleri ile ilişkilendirilerek önceliklendirilmesini sağlayan bakım planı oluşturmak amacıyla güvenilirlik ve risk merkezli bakım yaklaşımını önermişlerdir (da Silva vd., 2023).

Mkandawire vd. ise GMB uygulaması öncesi GMB'nin olasılıksal yeteneklerini artıran risk değerlendirme modeli sunmuşlardır. Çalışmalarında momentler yöntemi ve markov analizinden faydalanarak hata olasılığı dağılımı ve ilk arızaya kadar geçen ortalama süreyi hesaplayarak yetersiz veri ile çalışılan durumlarda önerdikleri modelin faydasına değinmişlerdir (Mkandawire vd., 2015).

Rafiei vd. çalışmalarında, koruyucu sistemlerde meydana gelen bir hatanın bu sistemlerin doğası gereği korunan ekipman hata vermediği sürece tespit edilemeyeceğini öne sürerek koruyucu sistemlerde GMB analizini uygulamanın zorluklarına yönelik çözüm önerisi sunmuşlardır. Devamında sistem güvenilirlik hesaplaması ve optimal bakım planının belirlenmesi amacıyla markov süreçlerinden yararlanarak gerçek zamanlı simülasyon ile önerdikleri yöntemin performansını değerlendirmişlerdir (Rafiei vd., 2020).

Enjavimador ve Rastegar, güç dağıtım sistemlerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında GMB'nin ilk adımlarından biri olan hata türlerinin ve risklerinin önceliklendirilmesi işlemi için çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanmışlardır. Her bir hata türü için bakım maliyeti, kesinti maliyeti ve emniyet maliyetini dikkate alarak belirledikleri bakım stratejileri ile, kullanılan genel yaklaşımlar yerine önerdikleri yöntem uygulandığında yıllık toplam bakım maliyetlerinde %7 azalma olacağını vurgulamışlardır (Enjavimador & Rastegar, 2022).

Alencar ve De Almeida çalışmalarında hata sonuçlarının daha iyi değerlendirilmesi ve daha efektif bakım planlaması oluşturmak amacıyla çok kriterli karar verme yaklaşımı ile

GMB analizini birlikte kullanmışlardır (Alencar & De Almeida, 2015). Klasik GMB’de dört grupta incelenen hata sonuçlarını çalışmalarında beş gruba ayırmışlardır. Fayda fonksiyonları ile hata türlerini önem derecesine göre sıralayarak karar vericinin alternatifler arasından daha kolay seçim yapmasına olanak sağlamışlardır.

Jiang vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında sistem güvenilirlik analizi modeli olan GO metodolojisi ile GMB analizi konseptini birlikte kullanarak önerdikleri güvenilirlik merkezli kestirimci bakım yöntemi ile sistem sağlık verilerinin ve potansiyel hataların erken tespiti sayesinde bakım sürelerinin optimize edilebileceğine ve kullanılabilirliğin artarken ömür devri maliyetinin ise azalacağına değinmişlerdir (Jiang vd., 2015).

Zakikhani vd.’ye göre geliştirilen bakım metotlarının çoğu ya sadece güvenilirliği ya maliyeti ya da anlık durum seviyesini dikkate almaktadır. Bu nedenle çalışmalarında monte carlo ve kesikli olay simülasyonlarından yararlanarak bir gaz iletim hattı için kullanılabilirlik merkezli güvenilirliğe dayalı bakım planlaması yöntemi sunmuşlardır (Zakikhani vd., 2020). Ravaghi Ardabili vd. elektrik dağıtım ağı ekipmanları için markov modeli ile güvenilirlik seviyesi hesaplamasını içeren olasılıksal güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımını geliştirmişlerdir. Önleyici ve düzeltici bakım faaliyetleri arasında ödünleşim analizi yaparak önleyici bakım finansal kaynaklarına dahil edilmesi gereken ekipmanlara karar verilmesini sağlamışlardır (Ravaghi Ardabili vd., 2021).

Yu vd. çalışmalarında GMB’yi geleneksel yöntemden farklı ele almışlar ve hataların fiziği yaklaşımını kullanarak yaptıkları ömür tahmini ile bir güvenilirlik modeli sunmuşlardır. GMB kapsamında belirlenen bakım periyotlarına ise sistemin o anki güvenilirliği ve bakım maliyeti ile güvenilirlik değişimi ve değişim için ortaya çıkan bakım maliyetine göre karar vermişlerdir (Yu vd., 2021). Fuentes Huerta vd. plastik enjeksiyon kalıplama makinesinde uyguladıkları çalışmalarında bulanık maksimum entropi yaklaşımını kullanarak güvenilirlik modeli geliştirmişler ve bu modele göre bakım periyodu önermişlerdir. Önerilen bakım periyoduna göre bakım maliyetlerinde %40 azalma olurken ekipman kullanılabilirliğinin artacağını belirtmişlerdir (Fuentes-Huerta vd., 2021).

Ekipmanların güvenilir hata oranı değerlerinin bilinmesi etkin önleyici bakım görevlerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu kapsamda Marcello vd. çalışmalarında ekipmanların hata oranlarının tahmini ve hata oranlarını etkileyen en önemli çalışma parametrelerini tanımlamaya izin veren öğrenme modeli geliştirmişlerdir (Marcello vd., 2020). Bu modeli bir petrol rafineri işletmesinin santrifüj pompaları üzerinde denemişler ve modelin %96 doğruluğa ulaştığını belirtmişlerdir.

Tang vd. GMB analizinin önemli bir adımı olan bakım kritik ekipmanların belirlenmesi süreci için hata türleri etkileri analizi, analitik hiyerarşi süreci ve bulanık yaklaşımları içeren nitel ve nicel yöntemlerin kombinasyonuna dayalı yaklaşım önermişlerdir (Tang vd., 2017). Ghorani vd. elektrik endüstrisinde kritik ekipmanların bakım yönetimine odaklanmak amacıyla GMB sürecinde yer alan kritiklik değerlendirmesi kapsamında elektrik kesinti olasılığı ve beklenen kesinti maliyeti parametrelerini kullanmışlardır (Ghorani vd., 2015). Fang vd. metro kapı sistemlerinin bakım stratejisinin belirlenmesi amacıyla GMB analizini kullanmışlardır. Sistemdeki riskli parçaları belirlemek üzere geleneksel HTEKA (Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi) ve analitik hiyerarşi süreci yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan bulanık HTEKA'dan yararlanmışlardır (Fang vd., 2019).

Lee ve Kim çalışmalarında elektrik endüstrisinde güç kesintisine sebep olan ekipman durumlarına karar vermek üzere GMB algoritması geliştirerek optimum bakım ihtiyaçları ve bakım periyoduna karar vermişlerdir. Ekipmanın durumunu modifiye edilmiş yarı markov süreçleri ile modellemişlerdir (Lee & Kim, 2022).

Keynia vd. çalışmalarında ekipmanın kritikliğine dayalı bakım bütçesi tahsisini öngören GMB yaklaşımı önermişlerdir. Ekipmanların önceliklendirilmesi sırasında her bir ekipmanın sistem toplam hata oranına etkisini tanımlayan güvenilirliğe dayalı teşhis önem faktörü parametresini kullanmışlar ve çalışma sonucunda ekipman güvenilirliğinde de artış olduğunu belirtmişlerdir (Keynia vd., 2022). Alizadeh vd. çalışmalarında hata oranı belirsizliklerinin GMB analizine etkisini dikkate alan model sunmuşlardır (Alizadeh vd., 2021).

Yang vd. GMB üzerine yapılan çalışmalarda bakım kalitesinin nadiren göz önüne alındığını vurgulayarak, çok aşamalı üretim sistemleri için görev güvenilirliğini de dikkate alan kalite odaklı bakım yaklaşımı önermişlerdir. Metro hattı uygulamalarında bakım maliyeti ve bakım kalitesini dengelediklerini belirtmişlerdir (X. Yang vd., 2022).

Chambel vd. yüksek teknoloji askeri silah sistemlerinin mevcut bakım planlarını iyileştirerek yedek parça ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla ReliaSoft RCM++ yazılımını kullanarak GMB ve HTEA yürütmüşlerdir. Çalışma sonucunda RÖS'lerde ortalama %64 azalma olduğunu belirtmişlerdir (Chambel vd., 2023).

Song vd. çok seviyeli akış modellemesi yöntemini kullanarak model tabanlı GMB yaklaşımını önermişlerdir. Hata sonuçlarının otomatik olarak değerlendirilmesi yoluyla ekipmanın bakım optimizasyonu için kritiklik derecesine göre sınıflandırılmasını sağlayarak GMB otomasyonunun mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Su ısıtma sistemindeki uygulama ile otomatik olarak gerçekleştirilen hata sonuçlarının belirlenmesi adımının klasik GMB ile benzer sonuçlar verdiğini görmüşlerdir (Song vd., 2023).

Afey vd. GMB analizinin eksikliklerini ortadan kaldırmak amacıyla kritik olmayan ekipmanlar için varsayılan işlemlerin tanımlandığı ve bakım iş emri akış diyagramlarının oluşturulduğu yeni bir model önermişlerdir. Bu model ile bir şeker üretim hattındaki düzeltici ve önleyici bakımda geçen duruş sürelerinin %55 ve %52 oranında düştüğünü, kullanılabilirliğin ise %57'den %90'a yükseldiğini belirtmişlerdir (Afey vd., 2019).

Bu tezde, GMB analizi literatür araştırması kapsamında Web of Science veri tabanındaki Reliability Centered Maintenance anahtar kelimesi ile 2010-2023 yılları arasında yayınlanan makaleler incelenmiş ve konuyla alakalı olanlara yer verilmiştir. İncelenen çalışmalar sonucunda GMB analizinin elektrik endüstrisindeki elektrik dağıtım sistemlerinde daha fazla uygulandığı görülmüştür. Uygulama yönteminin ise karar ağacı yaklaşımından faydalanarak bakım görevleri belirlemekten ziyade ağırlıklı olarak bakım sıklıklarının belirlenmesi üzerine olduğu görülmüştür. Beyaz eşya imalat endüstrisinde yer alan hidrolik pres üretim hattında gerçekleştirilen bir uygulamaya rastlanmamıştır.

2.3. GMB ve TVB İlişkisi

GMB ve TVB iki farklı bakım konsepti olmalarına rağmen ortak hedeflere sahiptir. Önleyici bakım planı iki yaklaşımın bir parçasıdır (Marcello vd., 2020). Ekipman yönetimine odaklanan TVB, ekipman etkinliğini artırmak amacıyla kayıpları azaltmayı hedefler. Etkili bir önleyici bakım planının oluşturulmasında ise GMB önemli bir yere sahiptir (Ben-Daya, 2000). GMB ve TVB arasındaki ilişki incelendiğinde, iki bakım konseptinin uygulamada farklı araçları kullanmalarına rağmen kayıpları azaltarak üretim maliyetlerini düşürmek ve ekipman güvenilirliğini artırmak gibi ortak faydalara sahip olduğu görülmüştür (Azid vd., 2019).

GMB ve TVB'nin ortak amaçları bakım yönetiminin iyileştirilmesidir (Martins vd., 2020). GMB'nin tam anlamıyla etkin şekilde gerçekleştirilebilmesi için TVB'ye, TVB'nin de doğru bakım görevlerinin belirlenebilmesi için GMB'ye ihtiyacı vardır (Woodhouse, 2001). GMB ve TVB uygulamalarına yönetimden çalışana kadar tüm ekipler dahil edileceğinden bu yöntemlerin uygulanabilmesi için organizasyonel ve kültürel değişim ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Hansson vd., 2003).

İki bakım konsepti birbirini tamamlayıcı niteliktedir. GMB'nin hedeflerinden biri, gevşeme, kirlenme ve yağlama kaynaklı problemlerin önlenmesi ile temel ekipman koşullarının sağlanmasıdır. TVB ile de operatöre ekipmanı üzerinde bu tür problemlerin önüne geçebilmesini sağlayacak yetkinlik kazandırılır (Kennedy, 2005).

Fraser çalışmasında tesis yönetiminde en önemli noktanın ekipmanların kullanılabilirliğinin, güvenilirliğinin ve emniyetinin sağlanması olduğunu belirterek farklı bakım yönetimi stratejileri üzerine literatür araştırması sunmuştur. TVB, GMB, Koşullu Bakım ve Durum İzleme yöntemlerinin en çok tercih edilen bakım stratejileri olduğunu belirtmiştir. TVB'nin tüm organizasyonu etkileyen geniş kapsamlı bir yöntem olduğunu, GMB'nin ise ekipmana odaklı ve TVB'yi de içeren entegre bakım stratejilerinin bir parçası olduğunu vurgulamıştır (Fraser, 2014).

Braglia vd. çalışmalarında bakım planlarının iyileştirilmesi ve ekipmanın; teknik, ekonomik, yasal ve emniyet ihtiyaçlarına uygun bakım aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla TVB ve GMB'nin birbirini tamamlayıcı doğasından yararlanmışlardır. Potansiyel hataların önlenmesi amacıyla TVB ve GMB'nin üretim ve bakım departmanları tarafından birlikte yürütülmesi gerektiğine değinmişlerdir. Çalışmada ele aldıkları ekipman için hata analizi sonrası mevcut bakım aktivitelerine alternatif yöntemler önererek görsel ve sesli ikazlar oluşturabilecek operasyonel araçların otonom bakım için önemine vurgu yapmışlardır (Braglia vd., 2019).

Martins vd. çalışmalarında GMB ve TVB'nin bir arada kullanılmasıyla bakım işlemlerinin daha efektif olabileceğini göstermişlerdir (Martins vd., 2020). Ayrıca TVB kapsamında belirlenen otonom bakımlarla arıza sayılarında önemli bir düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Shannon vd. 2023 yılında bir aktif farmasötik madde tesisinde GMB ile TVB'nin ilişkisi ve gerekliliği üzerine yürüttükleri çalışmalarında TEE'nin %21'lik artış ile %53'e yükselmesini ve 4.9 haftalık üretim hacmi artışı ile üretim kapasitesinde artış sağlamışlardır (Shannon vd., 2023).

Musthopa vd. elektrik dağıtım sistemi için GMB, TVB ve 4DX yaklaşımlarını birlikte kullanarak geliştirdikleri bakım modeli ile anahtar performans göstergelerinden olan sistem ortalama kesinti süresinde %29, sistem ortalama kesinti sıklığında %33 ve TEE değerinde ise %0.027 iyileşme sağlamışlardır (Musthopa vd., 2023).

Palomino-Valles vd. inşaat sektöründe kullanılan ağır makinelerin kullanılabilirliğini artırmak amacıyla TVB ve GMB'ye dayalı bir bakım çalışması sunmuşlardır. TVB'nin otonom bakım yaklaşımı ve GMB'nin HTEA analizinden faydalanarak bakım modeli önermişlerdir. Önerilen bakım modeli ile ağır makinelerin kullanılabilirliği %62'den %81'e artırılmıştır (Palomino-Valles vd., 2020).

Ndjenja ve Visser enerji üretim sistemleri için en uygun bakım stratejisini belirlemek amacıyla farklı bakım yaklaşımlarını araştırmışlardır. Buna göre GMB'nin ekipman güvenilirliğini artırmayı, TVB'nin ise bakımdan sorumlu kişilerin eğitimlerine de

odaklanarak bakım faaliyetlerinin kalitesini iyileştirmeyi hedeflediğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında yaptıkları anketle ilgili sektörde GMB'nin en yaygın kullanılan bakım stratejisi iken TVB'nin ikinci tercih edilen bakım stratejisi olduğunu belirlemişlerdir (Ndjenja & Visser, 2015).

Mungani ve Visser üretim yöntemleri ve bakım stratejileri arasındaki ilişkiye odaklanmışlardır. GMB'nin yüksek riskli sistemler için TVB'nin ise montaj hattı veya sürekli üretim sistemleri için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları anket sonuçlarına göre ise sürekli üretim ve montaj hattı üretim yöntemlerinin GMB, parti üretiminin de TVB ile ilişkilendirildiğini görmüşlerdir (Mungani & Visser, 2013).

Maculan Filho daha etkin bakım planları oluşturulması amacıyla bakım önceliklendirilmesi sırasında çok kriterli karar verme tekniklerinden Electre Tri metodunu kullanmıştır. Çalışmasının GMB kapsamında belirlenen hata sonuçlarının kritikliğinin değerlendirilmesi ile TVB bileşenlerinin önceliklendirilmesi sırasında karar vericiye destek olacağını ve sonuçların ekipmanın çalışma performansında iyileşme meydana getireceğini belirtmiştir (Maculan Filho, 2015).

Bu tezde, GMB ve TVB'nin birlikte kullanıldığı çalışmaları incelemek amacıyla yapılan literatür araştırması kapsamında Web of Science veritabanındaki Reliability Centered Maintenance, Total Productive Maintenance, RCM, TPM anahtar kelimeleri ve konu başlıkları ile 2013-2023 yılları arasında yayınlanan makaleler incelenmiştir. Çalışmaların büyük bir kısmında GMB ve TVB'den ayrı yöntemler olarak faydalandığı görülmüştür. İki metodolojinin birlikte kullanıldığı çalışma sayısı oldukça azdır.

Bu tezde uygulanan yöntemler ile önleyici bakım planı oluşturulması sürecinin literatürde yer alan iki yöntemin birlikte kullanıldığı kısıtlı sayıdaki çalışmalardan farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca bu tezde operatöre otonom bakım yetkisi verilen görevler için yalın üretim felsefesine uygun olarak üretim hattının yardımcı görsellerle desteklenmesi uygulamasına yine literatürde yer verilmediği gözlenmiştir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan, yalın üretim araçlarından biri olan Toplam Verimli Bakım (TVB), TVB'nin ölçülebilir bir çıktısı olan Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), entegre lojistik destek faaliyetlerinden biri olan Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB), GMB süreci kapsamında yürütülen Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ile HTEA'nın bir parçası olan farklı kritiklik analizi metotları ve bakım görevleri seçiminde kullanılan GMB Karar Diyagramı yöntemleri açıklanmıştır.

3.1. Toplam Verimli Bakım

Yalın üretim araçlarından biri olan TVB, işletmedeki en alt seviyeden en üst seviyeye kadar tüm personelin sürece dahil edilmesi ile gerçekleştirilen bakım konseptidir. TVB, üretim süreçlerinde meydana gelen arıza kaynaklı duruşların önüne geçmeyi ve ekipmanların en iyi hız ile en yüksek kalitede üretim yapabilmesini sağlar. Bu amaçla üretim süreçlerinde meydana gelen altı büyük kaybı (Çizelge 1) ortadan kaldırmaya odaklanır (Nakajima, 1988).

Çizelge 1 Altı Büyük Kayıp

Duruş Kayıpları	1	Ekipman arızaları
	2	Kurulum ve ayarlamalar
Hız Kayıpları	3	Küçük duruşlar
	4	Yavaş çalışma
Kalite Kayıpları	5	Hurda ve kusurlu üretim
	6	Azalan verim

TVB'nin amaçları aşağıda verilmiştir:

1. Üretim süreçlerindeki kayıpları ortadan kaldırmak,
2. Sıfır arıza ve sıfır hata ile üretim yapmak,
3. Ekipman etkinliğini en üst seviyeye çıkarmak,
4. Arızaları oluşmadan önlemek,
5. Herkesin katılımını sağlamak.

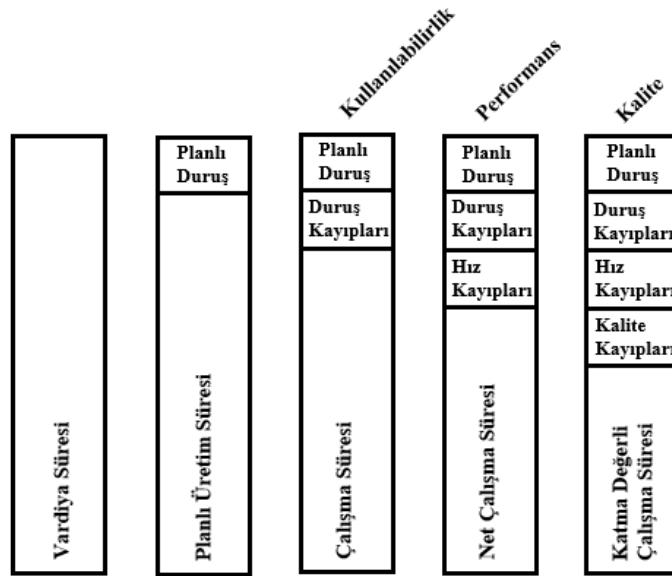
TVB'nin bir diğer amacı ise operatöre ekipmanı üzerinde otonom bakım yetkinliği kazandırarak ekipmanını sahiplenmesini sağlamaktır. Böylece ekipmanda arıza oluşmadan önce önleyici bakımlar ile arızaların önüne geçmek mümkün olabilecektir.

3.1.1. Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)

TEE, TVB'nin ölçülebilir en önemli çıktısıdır. TEE ile ekipmanın etkin kullanım oranı sayısal olarak ifade edilebilmektedir. TEE, ekipmanın tasarlanan performansına göre ne kadar etkin kullanıldığını ölçmede kullanılan bir performans göstergesidir (Sönmez & Testik, 2015). TEE hesaplaması sırasında Kullanılabilirlik (A), Performans (Pr) ve Kalite (Q) bileşenleri kullanılmaktadır. TEE, Denklem (1)'de verildiği gibi hesaplanır (Nakajima, 1988).

$$TEE = A \times Pr \times Q \quad (1)$$

TEE, altı büyük kaybı A, Pr ve Q'yu temel alarak üç alt başlık altında incelemektedir. Bu kapsamda duruş kayıpları Kullanılabilirlik, hız kayıpları Performans ve kalite kayıpları Kalite bileşeni ile ilişkilendirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3 TEE ile Altı Büyük Kayıp Arasındaki İlişki

Nakajima ve Jagin'e göre TEE bileşenlerinin ideal koşullarda sağlaması beklenen değerler aşağıdaki gibidir (Nakajima, 1988, Jagin vd., 2020):

$A > \%90$

$P > \%95$

$Q > \%99$

Bu oranlar sağlandığında ise $TEE > \%85$ olacağından, ekipmanın operasyonel olarak kendisinden beklenen verimi sağladığı düşünülebilir.

3.1.1.1. Kullanılabilirlik (A)

A, ekipmanın planlanan üretim süresi içinde ne kadar kullanıldığını tanımlamaya yarayan ve ekipman kullanılabilirliğini azaltan duruş kayıplarına odaklanan TEE bileşenidir. Duruş kayıpları planlı ve plansız duruş kayıpları olarak iki şekilde ele alınmaktadır.

Planlı duruş kaynaklı oluşan üretim kayıpları, üretim hattının önceden belirlenen amaç veya sebeplerle durdurulma sürelerini içermektedir. Tatil günleri, boş vardiya, çay/yemek molaları, planlı bakım ve otonom bakımda geçen süreler planlı duruş kayıplarına örnek olarak verilebilir.

Plansız duruş kaynaklı oluşan üretim kayıpları ise üretim hattının beklenmeyen, ani arızalar kaynaklı durdurulma sürelerini içermektedir. Ekipman arızası, malzeme eksiklikleri, kurulum ve ayarlama geçiren süreler plansız duruş kayıplarına örnek olarak verilebilir.

A hesaplanırken planlı üretim süresi ve çalışma süresinden yararlanır.

Planlı Üretim Süresi, ekipmanın çalışmasının beklendiği süredir, çalışılabilir süre olarak da ifade edilebilir. Vardiya süresinden planlı duruş kayıplarının çıkarılmasıyla Denklem (2)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Planlı Üretim Süresi} = \text{Vardiya Süresi} - \text{Planlı Duruş Kayıpları} \quad (2)$$

Çalışma Süresi, ekipmanın çalıştığı süredir, çalışılan süre olarak da ifade edilebilir. Planlı üretim süresinden plansız duruş kayıplarının çıkarılmasıyla Denklem (3)'te verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Çalışma Süresi} = \text{Planlı Üretim Süresi} - \text{Plansız Duruş Kayıpları} \quad (3)$$

A, çalışma süresinin planlı üretim süresine oranı ile elde edilmektedir (Denklem (4)) (Nakajima, 1988).

$$A = \frac{\text{Çalışma Süresi}}{\text{Planlı Üretim Süresi}} \quad (4)$$

Kullanılabilirlik, ekipman etkinliğini azaltan duruş kayıplarının incelendiği TEE bileşeni olduğundan, plansız duruş kayıplarının azaltılması ile ekipmanın Kullanılabilirlik değeri artırılabilir.

3.1.1.2. Performans (Pr)

Pr, ekipmanın çalışma süresi içinde ne kadar iyi çalıştığını gösteren ve ekipmanın kendisinden beklenen üretim hızından ne kadar saptığını tanımlamaya yarayan TEE bileşenidir (Sönmez & Testik, 2015). Ekipman etkinliğini azaltan hız kayıplarına odaklanır. Hız kayıpları ise ekipmanın düşük hızda çalışması ve kısa süreli duruşlar olarak ikiye ayrılır.

Pr, hesaplanırken Çalışma Hızı Oranı ve Net Çalışma Oranı değerlerinden yararlanır.

Çalışma Hızı Oranı, ekipmanın teorik çevrim süresinin gerçekleşen çevrim süresine oranı ile Denklem (5)'te verildiği gibi hesaplanır. Net Çalışma Oranı, gerçekleşen üretim

süresinin çalışma süresine oranı ile Denklem (6)'da verildiği gibi hesaplanır. Pr ise bu iki değer in çarpımı ile elde edilmektedir. (Denklem (7)) (Nakajima, 1988). Bu çarpımda ilgili sadeleştirmeler yapıldığında Pr, Denklem (8)'de verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$\text{Çalışma Hızı Oranı} = \frac{\text{Teorik Çevrim Süresi}}{\text{Gerçekleşen Çevrim Süresi}} \quad (5)$$

$$\text{Net Çalışma Oranı} = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim Süresi}}{\text{Çalışma Süresi}} \quad (6)$$

$$\text{Performans} = \text{Çalışma Hızı Oranı} \times \text{Net Çalışma Oranı} \quad (7)$$

$$\text{Performans} = \frac{\text{Üretim Miktarı} \times \text{Teorik Çevrim Süresi}}{\text{Çalışma Süresi}} \quad (8)$$

Performans, ekipmandaki hız kayıplarının incelendiği TEE bileşeni olduğundan hız kayıplarına sebep olan durumların azaltılması ile ekipmanın Performans değeri artırılabilir.

3.1.1.3. Kalite (Q)

Q, ekipmanın standartlara uygun üretim yapma oranını tanımlayan ve ekipman etkinliğini azaltan kalite kayıplarına odaklanan TEE bileşenidir. Kalite kayıpları başlangıç fireleri, hurda ya da yeniden işleme ayrılan parça kayıpları olarak incelenebilir.

Q, hesaplanırken sağlam üretim miktarı ve toplam üretim miktarından yararlanır. Q, Denklem (9)'da verildiği gibi elde edilmektedir. (Nakajima, 1988).

$$\text{Kalite} = \frac{\text{Sağlam Üretim Miktarı}}{\text{Üretim Miktarı}} = \frac{\text{Üretim Miktarı} - \text{Kusurlu Üretim Miktarı}}{\text{Üretim Miktarı}} \quad (9)$$

Kalite, ekipman kaynaklı kalite kayıplarının incelendiği TEE bileşeni olduğundan kusurlu üretim miktarının azaltılması ile ekipmanın Kalite değeri artırılabilir.

TVB bileşenleri ile üretim hattında vardiya süresinden katma değerli çalışma süresine kadar gerçekleşen altı büyük kayıp arasındaki ilişki Şekil 3'te gösterilmiştir. TVB ile altı büyük kayıp ortadan kaldırılarak katma değerli çalışma süresinin artırılması hedeflenir.

3.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım

GMB, bir fiziksel varlığın belirlenen işletim bağlamında, işlevsel (fonksiyonel) hatasına neden olabilecek hata türlerini yönetmek için uygulanması gereken bakım politikalarını belirlemede kullanılan özel bir süreçtir (Ben-Daya vd., 2016). Yeni veya kullanımda olan parça, ekipman, alt sistem veya sistemlerin bakım stratejilerini ve gereksinimlerini belirlemek amacıyla kullanılır. Bunu yaparken ekipman veya sistemlerin tasarımdan gelen güvenilirliğini ve işletim bağlamını dikkate alır (Department of Defence, 2014).

GMB, maliyetçe etkin ve emniyetli operasyonlar gerçekleştirmeyi sağlayan bakım görevleri ile planlı bakım gereksinimlerini geliştirirken; parçaların güvenilirliğini, hatanın ortaya çıkardığı sonuçların emniyet ve görev açısından şiddetini ve bakım görevinin maliyet etkinliğini göz önüne alır (Naval Air System Command, 2016). Herhangi bir fiziksel varlık veya sistem için uygun hata yönetimi politikasını belirlerken varlık veya sistemin seçilmesi, sınırlarının tanımlanması ve analizin gerçekleştirileceği en uygun seviyenin belirlenmesi gerekir (Society of Automotive Engineers, 2002).

GMB, tanımlanabilir hataların emniyet, operasyonel ve ekonomik sonuçlarına uygun olarak ekipman için uygulanabilir ve etkili önleyici bakım gereksinimlerini veya yönetim eylemlerini belirlemeyi sağlayan bir karar süreci ortaya koyar (International Electrotechnical Commission, 2009). Bir sistemin tüm işlevleri ve hata türleri aynı önem derecesine sahip değildir bu nedenle GMB süreci sistem için öngörülen hata türlerini önceliklendirerek sistemdeki ekipmanlardan ziyade sistemin işlevlerini korumayı amaçlar (Smith & Hinchcliffe, 2003).

GMB'nin özet olarak dört temel amacı vardır (Smith & Hinchcliffe, 2003):

1. Sistemin işlevlerini koruma,
2. Sistemin işlevlerinin başarısızlığa uğramasına neden olabilecek hata türlerini belirleme,
3. Hata türlerine bağlı olarak sistemin işlevlerini önceliklendirme,
4. Yüksek öncelikli hata türleri için uygulanabilir ve etkin önleyici bakım görevlerini belirleme.

GMB süreci aşağıda verilen beş temel adımdan meydana gelir (International Electrotechnical Commission, 2009):

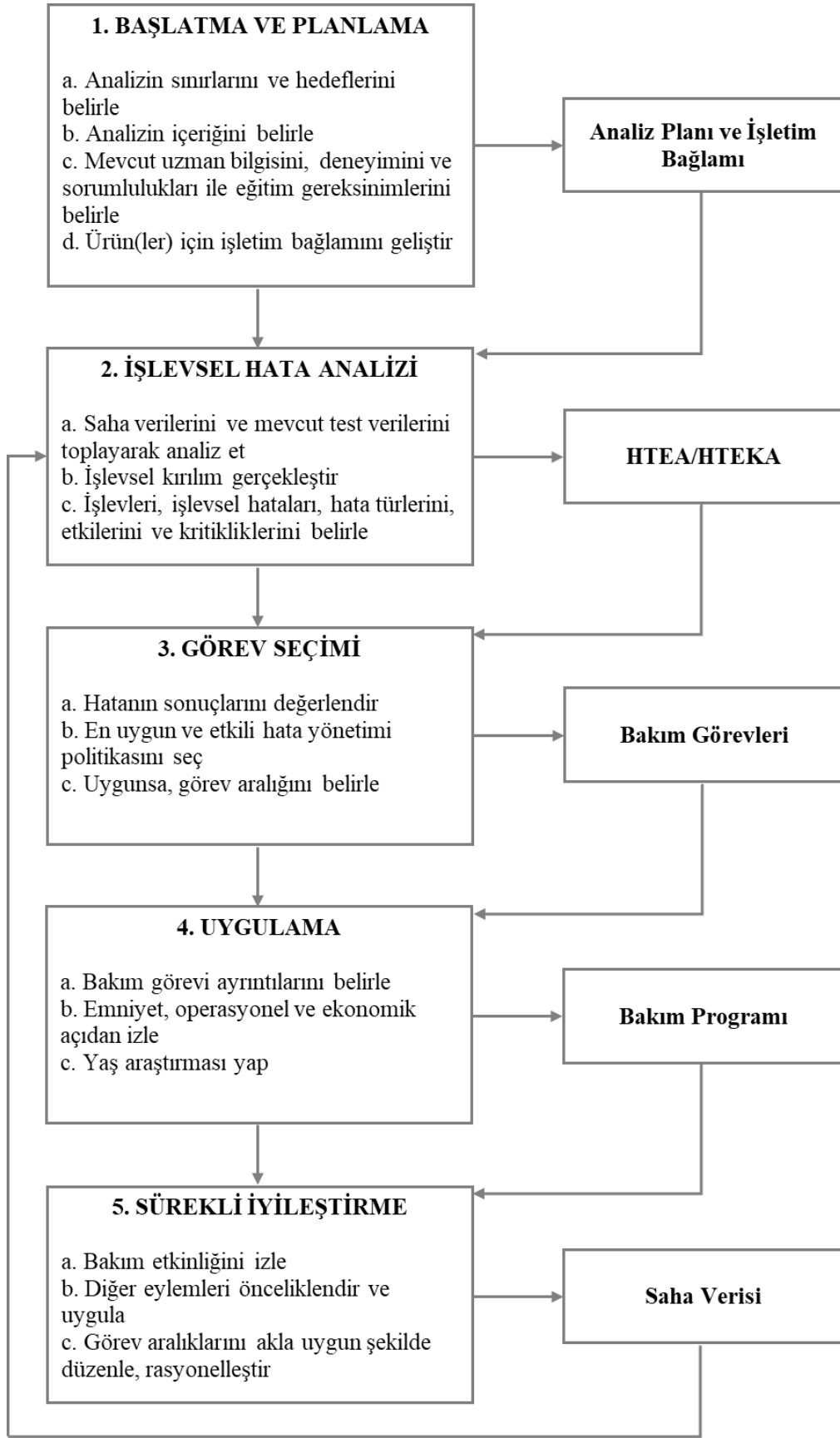
1. Başlatma ve planlama
2. İşlevsel hata analizi
3. Görev seçimi
4. Uygulama
5. Sürekli iyileştirme

GMB sürecini oluşturan beş temel adım aşağıda verilen yedi soruyu içerir ve GMB uygulama aşamasında bu sorular sırasıyla cevaplanmalıdır. İşlevsel hata analizi sırasında ilk dört soru cevaplanırken, görev seçimi adımında kalan diğer sorulara cevap aranır.

1. Varlığın mevcut işletim bağlamındaki işlevleri ve ilişkili performans standartları nelerdir (işlevler)?
2. Hangi yollarla işlevlerini yerine getirmekte başarısız olur (işlevsel hatalar)?
3. Her bir işlevsel hataya ne sebep olur (hata türü)?
4. Her bir işlevsel hata meydana geldiğinde ne olur (hata etkisi)?
5. Her bir işlevsel hata ne açıdan önemlidir (hata sonuçları)?
6. Her bir işlevsel hatayı tahmin etmek veya önlemek için ne yapılmalıdır (proaktif görevler ve görev aralıkları)?
7. Uygun bir proaktif görev bulunamazsa ne yapılmalıdır (varsayılan eylemler)?

GMB süreci her tür sisteme uygulanabilir. Sistemin tasarım aşamasında uygulandığında analizden gelen geribildirim ile tasarıma etki sağlanarak en yüksek fayda elde edilebilir.

Ancak, sistemin işletme ve bakım aşamalarında da mevcut bakım görevlerini iyileştirmek ve gerekli değişiklikleri yapmak için de kullanılmaktadır. GMB süreci akış çizelgesi Şekil 4'te verilmiştir (International Electrotechnical Commission, 2009).



Şekil 4 GMB Süreci

GMB sürecinde sırasıyla sistemin işletim bağlamı belirlendikten sonra HTEA, devamında hata türlerinin kritikliklerinin değerlendirilerek önceliklendirilmesi ve GMB karar diyagramı yardımı ile bakım görevlerinin belirlenmesi analiz ve çalışmaları gerçekleştirilir.

3.2.1. Analiz Planı ve İşletim Bağlamı

Analiz Planı ve İşletim Bağlamı, GMB sürecinin ilk adımıdır. GMB süreci işletmede uygulanmaya karar verildiğinde temel iki soru ile analize başlanır (Smith & Hinchcliffe, 2003).

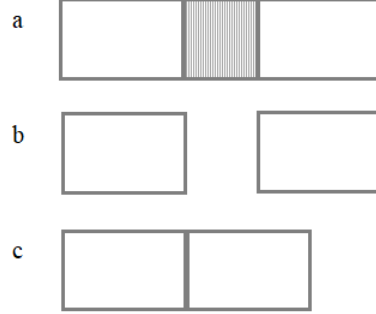
1. Analiz süreci tüm tesise uygulanmalı mı, uygulanmayacaksa seçimler nasıl yapılacak?
2. Analiz süreci hangi montaj seviyesinde uygulanacak (parça, bileşen, sistem, tesis)?

Parça, varlığı oluşturan en alt seviyedeki birimdir. Bileşen, kendi başına en az bir işlevi olan ve parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ünedir. Sistem, tesisin ihtiyaç duyduğu önemli işlevlerin yerine getirilmesi amacıyla bileşenlerin bir araya gelmesiyle oluşan ekipmandır. Tesis ise ürün, çıktı üretimi sağlamak üzere sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşan hattır.

GMB analizinin çok üst montaj seviyesinde uygulanması varlığın önemli işlevlerini etkileyebilecek hata türlerinin gözden kaçmasına sebep olabilirken, çok alt seviyede uygulanması ise anlamlı işlevlerin tanımlanmasını zorlaştıracaktır. İşlevlerin en anlamlı ve etkili şekilde tanımlanabilmesi için analizin sistem seviyesinde tutulması gerektiği görülmüştür.

GMB analizinin hangi seviyede uygulanacağına karar verildikten sonra incelenmek üzere ele alınan varlığın sınırlarının doğru belirlenmesi önemlidir. Yanlış belirlenen sınırlar sonucu, çalışmada yinelenmeler olacağından gereksiz fazla çaba ortaya koyulur (Şekil 5-a) veya kritik olabilecek hataların gözden kaçırılmasına sebep olabilecek boşluklar

(Şekil 5-b) olabilir. Doğru sınırlar ile çalışma yürütüldüğünde ise ele alınan varlık için boşluk veya çaba tekrarı olmadan analiz gerçekleştirilir (Şekil 5-c).



Şekil 5 Sınırların Belirlenmesi

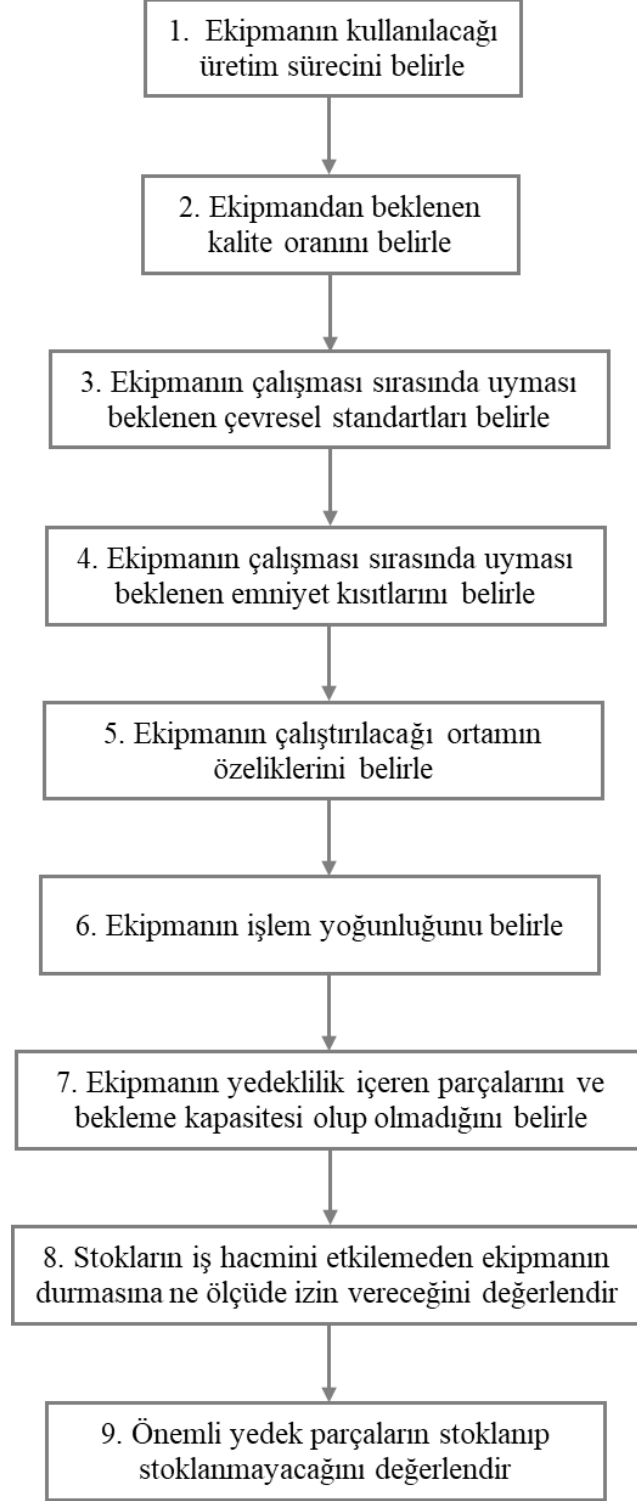
GMB analizinin uygulanacağı varlık seçimi yukarıda belirtilen iki soru ile yapıldıktan sonra ilgili varlığın işletim bağlamı belirlenir. İşletim bağlamı, fiziksel bir varlığın ya da sistemin çalışmasının beklendiği koşullardır.

Fiziksel bir varlığın işlevleri, hata türleri, hata sonuçları ve hata yönetim politikaları varlığın kendisine olduğu kadar kullanımda olduğu koşullara da bağlıdır. Bu nedenle bu koşullar açıkça belirtilebilmelidir. Fiziksel bir varlık için işletim bağlamı; varlığın nasıl kullanıldığı, nerede kullanıldığı ve çıktı, verim, çevreye uyum gibi kriterleri içeren genel performans göstergeleri bilgilerinden meydana gelir.

İşletim bağlamı belirlenirken aşağıda verilen konularda varlık hakkında bilgi elde edilir:

1. Kesikli veya sürekli üretim operasyonları
2. Kalite
3. Çevre
4. Emniyet
5. Operasyon alanı
6. İşlemlerin yoğunluğu
7. Yedeklilik
8. Devam eden çalışma
9. Yedek parça

İşletim bağlamı belirlenirken Şekil 6’da verilen sürece göre varlığın operasyonel çalışma koşulları ve uyması beklenen kısıtlar olup olmadığı belirlenir.



Şekil 6 İşletim Bağlamı Belirleme Süreci

3.2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)

HTEA, GMB sürecinin ikinci adımında yürütülen çalışmadır. GMB sürecindeki HTEA, GMB karar diyagramının ihtiyacı olan bilgilerin elde edilmesini sağlar (Department of Defence, 2014).

HTEA, sistemde meydana gelebilecek olası hata türlerinin sisteme olan etkilerine karar vermek ve bu hata türlerini şiddetlerine göre sınıflandırmak amacıyla yürütülen analizdir (Chen, 2013; Sethi & Chutima, 2019). Olası hata türlerinin meydana gelme ihtimalinin düşürülmesine veya tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik aktivitelerin tanımlanmasını amaçlar (Yousaf vd., 2023). Müşteri memnuniyeti için tasarım veya süreçlerin ne şekilde olması gerektiğini tanımlama sürecini tamamlayıcı niteliktedir.

Ford Motor Company'e göre HTEA'nın amaçları aşağıda verilmiştir (Ford Motor Company, 2011):

1. Ürünlerin veya süreçlerin daha güvenilir, kaliteli ve emniyetli olmasını sağlamak,
2. Ürünlerin yeniden geliştirme sürelerini ve maliyetini azaltmak,
3. Riskleri azaltmak amacıyla yürütülen faaliyetlerin izlenmesini ve dokümante edilmesini sağlamak,
4. Ürün ve süreçler için endişe edici durumları azaltmaya veya ortadan kaldırmaya odaklanarak sorunların önlenmesini sağlamak,
5. Güçlü kontrol ve tasarım doğrulama planları geliştirilmesini sağlamak,
6. Müşteri memnuniyetini artırmak.

Ele alınan sistemin olgunluğuna veya çalışmanın amacına göre tasarım, proses, işlevsel vb. farklı tiplerde HTEA uygulanabilir. **Tasarım HTEA**, ürünün ön tasarım aşamasında olası hata türleri ve sebeplerini belirleyerek tasarım süreçlerinden kaynaklanan riskleri azaltmak amacıyla kullanılır. **Proses HTEA**, ürünün imalat veya montaj süreçleriyle ilgili hata türlerini ve sebeplerini tespit etmek ve hata koşullarının oluşmasını engellemek amacıyla kullanılır (Chyrster vd., 1995). **İşlevsel HTEA** ise sistemi oluşturan birimlerin henüz tanımlanamadığı ama sistemin işlevlerinin belirlenmiş olduğu durumlarda kullanılır (Department of Defence, 1980).

Klasik bir HTEA sırasında,

1. Tanımlama Numarası
2. Birim
3. İşlev
4. Hata Türleri ve Sebepleri
5. Görev Fazı
6. Hata Etkileri (Lokal etki, Bir üst seviyedeki etki, Son etki)
7. Hata Tespit Yöntemi
8. Telafi Edici Yöntemler
9. Şiddet Sınıfı

bilgileri toplanarak analiz gerçekleştirilir (Ben-Daya vd., 2016).

1. **Tanımlama numarası**, analiz edilen birimin karmaşık sistem kırılımındaki yerini belirterek izlenebilirlik kurmayı sağlayan numaradır (Department of Defence, 1980).
2. **Birim**, analiz edilen varlığın ismidir.
3. **İşlev**, analiz edilen birimin belirlenen performans standartlarında gerçekleştirmesi amaçlanan tüm görevleridir.
4. **Hata türleri ve sebepleri**, analiz edilen birimin tasarım amacını karşılamada başarısız olması durumunun oluşma yollarıdır.
5. **Görev fazı**, analiz edilen birim için öngörülen hatanın olabileceği işletim moduna dair bilgidir.
6. **Hata etkisi**, analiz edilen birim için öngörülen hata türünün birimin işlevleri üzerinde yarattığı, operatör/kullanıcı/müşteri tarafından algılanan sonuçlardır.
 - **Lokal etki**, analiz edilen birime ait bir hata türünün o birimin işlevi veya durumu üzerinde yarattığı sonuçtur.
 - **Bir üst seviyedeki etki**, analiz edilen birime ait bir hata türünün o birimin bağlı bulunduğu bir üst sistem seviyesinin işlevi veya durumu üzerinde yarattığı sonuçtur.
 - **Son etki**, analiz edilen birime ait herhangi bir hata modunun en üst seviyede yani sistem seviyesinde sistemin işlevi veya durumu üzerinde yarattığı sonuçtur.

7. **Hata tespit yöntemi**, ortaya çıkan hata türünün operatör/kullanıcı/müşteri tarafından görüntülü veya işitsel uyarı veren cihazlar, sensörler, cihaz içi test vb. yollarla belirlenmesidir.
8. **Telafi edici yöntemler**, sistem üzerindeki hataların etkisini azaltmak, önlemek veya ortaya çıkma olasılığını düşürmek için gerçekleştirilen eylemlerdir.
9. **Şiddet sınıfı**, hatanın etkilerini göz önüne alarak her bir hata türü için belirlenen kritiklik seviyesidir.

GMB sürecinde uygulanan HTEA'da klasik HTEA'dan farklı olarak işlevsel hata kavramı yer alır.

- **İşlevsel hata**, bir sistemin veya fiziksel varlığın işlevlerini, kendisinden beklenen performans seviyesinde veya limitlerde yerine getirememesi durumudur (Society of Automotive Engineers, 2002; Department of Defence, 2014; Naval Air System Command, 2016).

GMB sürecinde uygulanan HTEA'da hata türü kavramının tanımı süreçle ilişkili olarak aşağıda verilen şekilde yapılmıştır.

- **Hata türü**, işlevsel hataya sebep olan fiziksel koşullar veya olaylardır.

GMB'nin HTEA uygulaması sırasında tanımlama numarası, birim, işlev, işlevsel hata, hata türü, lokal etki, bir üst seviyedeki etki, son etki ve hata tespit yöntemi bilgilerinin aşağıda verilen yedi soru aracılığıyla toplanması, GMB karar diyagramı için yeterli olacaktır.

1. Analiz edilen birim sistem kırılımında hangi seviyede yer alır? (Tanımlama numarası)
2. Analiz edilen varlığın ismi nedir? (Birim)
3. Analiz edilen birimin yerine getirmesi beklenen görevleri nelerdir? (İşlev)
4. Hangi yollarla işlevlerini yerine getiremez? (İşlevsel hata)
5. İşlevsel hataya ne sebep olur? (Hata türü)
6. Hata meydana geldiğinde ne olur? (Hata etkisi)

- Hatanın meydana geldiğinde, hatanın gözleendiği birimin işlevinde ne olur? (Lokal etki)
- Hata meydana geldiğinde, hatanın gözleendiği birimin bağılı olduğu bir sonraki birimin işlevinde ne olur? (Bir üst seviyedeki etki)
- Hata meydana geldiğinde, analiz edilen en üst seviye sistemin işlevinde ne olur? (Son etki)

7. Hata nasıl tespit edilir? (Hata tespit yöntemi)

GMB'nin amacı sistemin işlevlerini korumak olduğundan HTEA sırasında, analiz edilen sistemin tüm işlevleri eksiksiz bir şekilde tanımlanmalıdır. İşlev tanımlanırken mümkünse ölçülebilir nicel performans standardı belirtilmelidir. Performans standardı ise sistemin işletim bağlamında kendisinden beklenen işlevi ile ilişkili limitleri belirten performans seviyesidir.

Örneğin iki tank ve tanklar arasında sıvı iletimi kapasitesi dakikada 1000 litre olan bir pompa düşünelim. Birinci tanktan çekilen sıvı seviyesinin dakikada en az 800 litre olması beklenirse pompanın işlevi, “birinci tanktan ikinci tanka dakikada en az 800 litre sıvıyı pompalamak” olacaktır. Burada performans standardı “birinci tanktan ikinci tanka dakikada en az 800 litre” ifadesi ile karşılanmıştır (Society of Automotive Engineers, 2002).

İşlevsel hatalar, işlevin tamamen kaybı veya işlevin kısmi kaybı olarak iki şekilde tanımlanır. Yukarıdaki örnek üzerinden devam edildiğinde, pompanın ikinci tanka hiç sıvı pompalamaması işlevin tamamen kaybı iken 800 litreden az sıvı pompalaması işlevin kısmi kaybıdır. İşlevin tamamen kaybını belirlemek daha kolayken, kısmi kaybın ise sistemde farklı sonuçları olacaktır.

Hata türleri, operatör/kullanıcı/müşteri tarafından fark edilen semptomlar olarak değil, fiziksel veya teknik terimlerle belirtilmelidir (Chyrster vd., 1995). GMB sürecinde sistemin işlevleri ile sistemi oluşturan bileşenler ve parçalar arasında, parça arızalarının tanımlanması yoluyla, ilk kez doğrudan ilişkinin kurulması hata türünün belirlenmesi aşamasında gerçekleşir (Smith & Hinchcliffe, 2003). Hata türü, parçaya/bileşene ne olduğunu açıkça tanımlamalıdır. Böylece her hata türü için farklı

bakım görevleri belirlenebilir olacaktır. Hata türleri, GMB karar diyagramı ile doğru bakım stratejisine karar vermeyi sağlayacak yeterli bilgiyi içerecek şekilde tanımlanmalıdır.

GMB hata etkisi ve hata sonuçlarını ayrı ayrı dikkate alır (Society of Automotive Engineers, 2002). HTEA’da belirlenen hata etkileri, GMB karar diyagramı ile hata sonuçlarına karar verilmesi için gerekli bilgiyi sağlar.

3.2.2.1. Kritiklik Analizi

Kritiklik analizi, hata türlerinin önem derecesine göre önceliklendirilmesini sağlar. Böylece HTEA tamamlandığında baskın olmayan hata türleri ihmal edilebilir olarak seçilebilirken baskın hata türleri GMB karar diyagramında kullanılmak üzere filtrelenebilir. Baskın hata türlerinin, varlığın ömür devri boyunca ortaya çıkma olasılığı ve/veya şiddeti daha yüksek olacağından belirlenmesi önemlidir.

Kritiklik analizine başlamadan önce kritiklik parametreleri belirlenmelidir. Kritiklik parametreleri niteliksel, niceliksel ve yarı niceliksel olabilir. Niteliksel yaklaşımda “küçük”, “orta”, “büyük”, “sık”, “olası”, “düşük” gibi derecelere göre sıralanan tanımlayıcı kategoriler kullanılabilir. Niceliksel yaklaşımda hata oranı, hatanın maliyeti gibi hesaplanabilir değerler belirtilebilir. Yarı niceliksel yaklaşımda ise sayısal etiketler tanımlayıcı kategoriler ve hata oranı değerleri ile ilişkilendirilir.

Kritiklik parametrelerinin aralıkları belirlenirken dikkatli olunmadığı durumda sonuçlarda yanlışlık ortaya çıkabilir. Parametre aralıklarını tanımlayan ifadeler anlaşılır ve anlamlı olmalıdır. Ayrıca niceliksel yaklaşımda olasılık veya sıklıklar birimi ile birlikte belirtilmelidir. Örneğin, sistemde “ayda bir” meydana gelen arıza sayısı gibi.

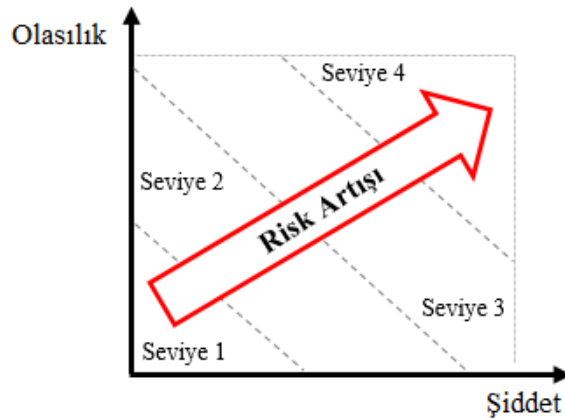
Kritiklik analizi sırasında kritiklik matrisi, kritiklik grafiği, risk öncelik sayısı ve alternatif risk öncelik sayısı yöntemlerinden birisi tercih edilebilir.

Kritiklik matrisi, olasılık ve şiddet için değerleri birleştirerek bir önem derecesi belirler, risk matrisi olarak da bilinir. Matrisin her bir hücresi, hata türünün önem derecesini belirten kırmızı, sarı, yeşil gibi renklerle gösterilir. Olasılık ve şiddet değerlerine göre her bir hata türü matriste bir hücreye denk gelir. Kritiklik matrisi sonuçları hata türlerinin kritiklik dağılımını gösterirken, iyileştirici ve düzeltici önlem ihtiyacı yüksek olan öncelikli hata türlerini de ortaya çıkarır (Department of Defence, 1980; International Electrotechnical Commission, 2018). Niteliksel bir kritiklik matrisi örneği Şekil 7’de verilmiştir.

		Şiddet			
		Katastrofik	Majör	Marjinal	Minör
Olasılık	Yüksek				
	Orta				
	Düşük				
	Çok Düşük				
	Uzak				

Şekil 7 Niteliksel Kritiklik Matrisi Örneği

Kritiklik grafiği, şiddet ve olasılığa bağlı olarak önem derecelerini grafik üzerinde gösterir. Kritiklik grafiğinde şiddet ve olasılık değerleri nicelikselidir. Kritiklik grafiği örneği Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8 Kritiklik Grafiği

Risk öncelik sayısı (RÖS), ortaya çıkma ihtimali (O), şiddet (S) ve saptanabilirlik (D) sıralamalarının çarpımı ile Denklem (10)'da verildiği gibi hesaplanır. (Dutta & Putcha, 2020; Chyrster vd., 1995).

$$RÖS = O \times S \times D \quad (10)$$

O, S ve D parametrelerinin sıralama değerlerine karşılık gelen tanımlayıcı cümleler kendi içinde tutarlı ve anlamlı olmalıdır. Bu üç bileşen genellikle 1 ile 10 arasında sıralama değeri aldığından, RÖS de 1 ile 1000 arasında bir değer alır. Yüksek RÖS'ler için düzeltici ve iyileştirici faaliyetler belirlenir ancak şiddet sıralaması yüksek hata türleri için RÖS'e bakılmaksızın özel önlemler alınmalıdır (Chyrster vd., 1995). Eğer RÖS'leri eşit hata türleri varsa şiddet sıralaması büyük olan hata türü öncelikli ele alınır (International Electrotechnical Commission, 2018).

- **Ortaya çıkma ihtimali (O)**, hata türüne ait sebeplerin ortaya çıkma sıklığını veya olasılığını belirten sıralama değeridir (Rah vd., 2016). Sonuçların değerlendirilmesi aşaması göz önüne alındığında O değerinin, kendisine karşılık gelen tanımdaki ortaya çıkma ihtimalini belirten değerden daha anlamlı olduğu görülür (Ford Motor Company, 2011; Chyrster vd., 1995). Genellikle 1 ile 10 arasında sıralama değeri alır. Farklı olasılık sıralamaları ve açıklamalarının verildiği tablolar vardır (Ford Motor Company, 2011; Chyrster vd., 1995; International Electrotechnical Commission, 2018). O sıralama değerlerine karşılık gelen tanımlar belirlenirken mevcutsa geçmiş hata kayıtları ve istatistiksel veriler kullanılabilir.
- **Şiddet (S)**, hata türlerinin etkilerinin kritikliğini belirten sıralama değeridir (Chyrster vd., 1995). Genellikle 1 ile 10 arasında sıralama değeri alır. Farklı şiddet sıralamaları ve açıklamalarının verildiği tablolar vardır (Ford Motor Company, 2011; Chyrster vd., 1995; International Electrotechnical Commission, 2018).

- **Saptanabilirlik (D)**, meydana gelmiş bir hata türünün tespit edilme ihtimalini belirten sıralama değeridir (Rah vd., 2016; Ford Motor Company, 2011). Hatanın ortaya çıkma ihtimali düşük olduğunda saptanabilirliğinin de düşük olduğu gibi varsayımlar yapılmamalıdır. Genellikle 1 ile 10 arasında sıralama değeri alır. Farklı saptanabilirlik sıralamaları ve açıklamalarının verildiği tablolar vardır (Ford Motor Company, 2011; Chyrster vd., 1995; International Electrotechnical Commission, 2018).

Alternatif risk öncelik sayısı (ARÖS), daha tutarlı kritiklik analizi sonucu elde etmek amacıyla klasik RÖS'ün modifiye edilmiş halidir (International Electrotechnical Commission, 2018).

3.2.3. Bakım Görevleri

GMB analizinde önleyici bakım görevleri GMB karar diyagramı ile belirlenir.

3.2.3.1. GMB Karar Diyagramı

GMB karar diyagramı, GMB sürecinin üçüncü adımında yürütülen çalışmadır.

- **GMB karar diyagramı**, işlevsel hataların sonuçlarını azaltmak, ortadan kaldırmak veya kabul etmek yoluyla uygun hata yönetimi stratejisini belirlemeyi sağlayan karar destek yöntemidir (Naval Air System Command, 2016).

Karar diyagramı ile hata türlerinin sonuçları değerlendirilir ve her bir hata türü için sorulan sorulara sırasıyla verilen yanıtlar izlenerek uygulanabilir ve etkin önleyici bakım görevleri belirlenir.

Her işlevsel hata, işlevin kaybı ile sonuçlanan bir veya daha fazla hata türüne sahiptir. HTEA'da tanımlanan ve önceliklendirilen baskın hata türleri GMB karar diyagramında belirtilen sorularla sürece dahil edilir ve hata türü için önleyici bakım görevine ihtiyaç olup olmadığına karar verilir. GMB karar diyagramının amacı işlevsel hataların sonuçlarını kabul edilebilir seviyeye düşürerek önleyici bakım görevlerini tespit etmek

veya sonuçları olduğu gibi kabul edip hata türünün oluşmasına izin verecek seçimi yapmaktır (Naval Air System Command, 2016). GMB karar diyagramı, sistemdeki işlevlerin, işlevsel hataların ve hata türlerinin önem seviyelerinin farklı olduğunu dikkate aldığından her bir hata türü için önleyici bakım görevine ayrılacak olan kapasite ve kaynak kullanımının da önceliklendirilmesini sağlar (Smith & Hinchcliffe, 2003).

3.2.3.1.1. Hata Sonuçları

GMB sürecinde hata etkisi ve hata sonucu birbiri ile ilişkili iki farklı konu olarak ele alınır.

- GMB sürecinin ikinci adımında belirlenen hata etkisi, hata ortaya çıktığında analiz edilen sistemde ne olduğunu belirlemeyi sağlar.
- Hata sonucu ise işlevsel hataların, hatanın görünürlüğü ve emniyet, çevre, operasyon veya ekonomikliğine bağlı meydana getireceği olumsuz etkidir (Naval Air System Command, 2016).

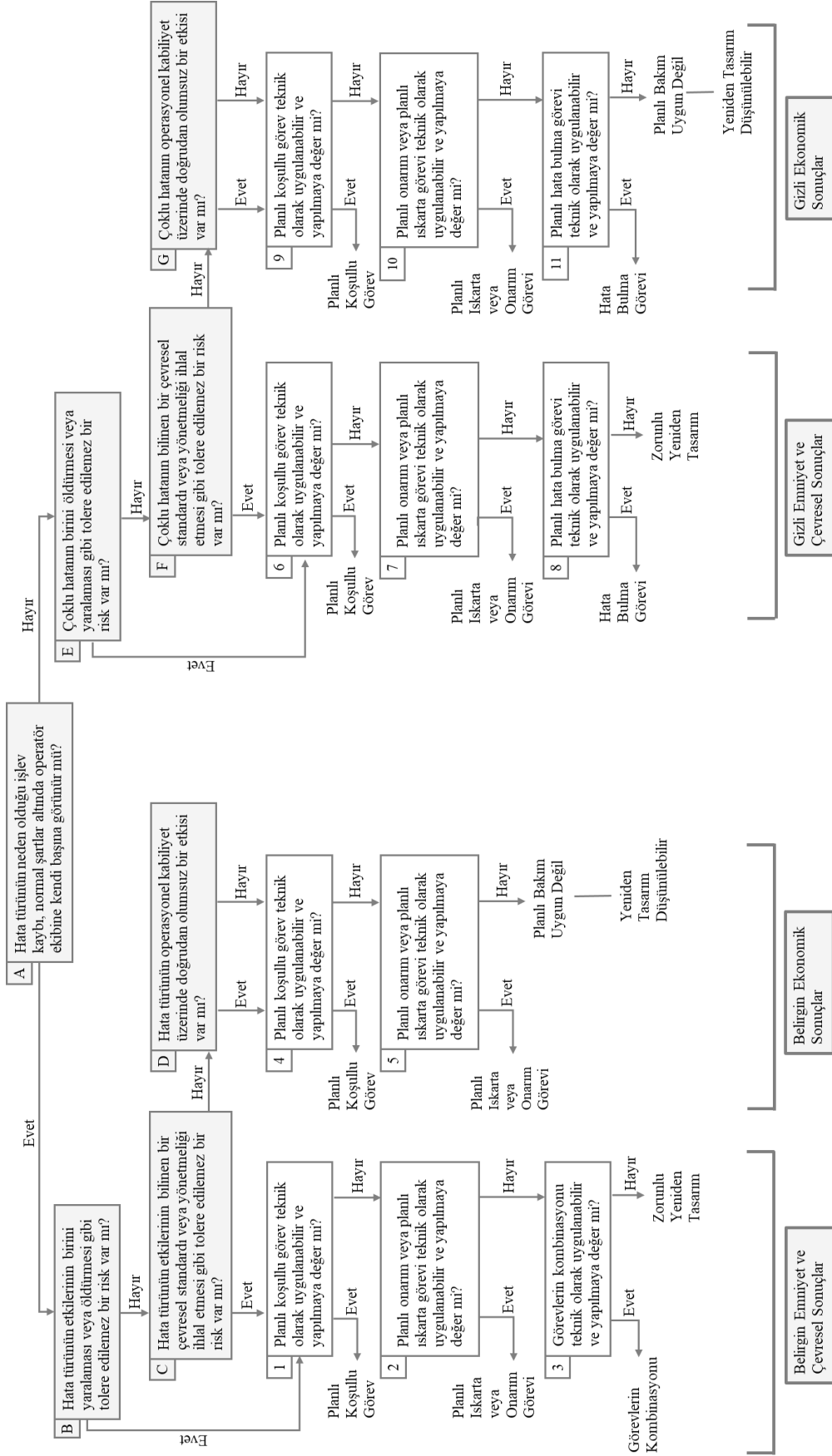
Hata türleri çıktı miktarını, ürün kalitesini, operasyon maliyetini, müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilen ve personel emniyeti veya çevre için tehdit oluşturabilen sonuçlara yol açabilir (Society of Automotive Engineers, 2002). GMB karar diyagramı ile hata sonuçları; belirgin, gizli, emniyet, çevre, operasyon ve ekonomik sonuçlar olmak üzere gruplara ayrılır. Hata sonuçlarını belirlemede HTEA'da tanımlanan hata etkilerinden yararlanır. Hata etkilerinden de son etki dikkate alındığı için HTEA'da son etki mutlaka tanımlanmış olmalıdır (Naval Air System Command, 2016).

Hata türleri, özellikle personel emniyeti ve çevreyi tehdit eden ciddi sonuçlara sahipse hata türünü önleyici veya sonuçların şiddetini kabul edilebilir seviyeye düşürücü bakım görevleri mutlaka belirlenir. Eğer, küçük ve kabul edilebilir seviyede sonuçlara sahipse önleyici bakım görevi belirlemek yerine hata ortaya çıktığında düzeltici bakım görevi kapsamında müdahale edilebilir (Society of Automotive Engineers, 2002). Hata sonucunun küçük ve kabul edilebilir seviyede olması, genellikle hata türünün operasyonel kabiliyet üzerinde yarattığı olumsuz etki kaynaklı ekonomik kayıptır. Bu kaybın ne

kadarının tolere edilebilir olduğu GMB analizinin yapıldığı işletmeden işletmeye değişkenlik gösterecektir.

Farklı kaynaklarda yer verilen GMB karar diyagramları tez kapsamında incelendiğinde görülmüştür ki, tüm GMB karar diyagramlarında, personel emniyetini veya çevreyi tehdit eden hata sonuçları ekonomik sonuçlardan daha önemlidir ve analiz bu hata sonuçlarını kabul edilebilir seviyeye düşürecek bakım görevi belirlemeyi zorunlu kılar. Ancak GMB analizi, personel emniyetini veya çevreyi tehdit eden hata sonucuna sahip bir hata türü için hata yönetimi stratejisi belirlerken, hata türünün ekonomik sonuçlarını da mutlaka değerlendirir. Eğer, personel emniyetini veya çevreyi tehdit eden hata sonucu kabul edilemez boyutta ise bu durumda bakım görevinin ekonomikliği dikkate alınmaz. Hata sonucunun kabul edilebilir seviyeye düşürülmesini sağlayacak bakım görevi maliyet etkin olmaksızın belirlenir (Society of Automotive Engineers, 2002).

GMB karar diyagramı Şekil 9’da verilmiştir (Society of Automotive Engineers, 2002).



Şekil 9 GMB Karar Diyagramı (Society of Automotive Engineers, 2002)

GMB karar diyagramına, kritiklik analizi ile belirlenen baskın hata türleri ile başlanır. Her bir hata türü için GMB karar diyagramındaki sorular sırasıyla yanıtlendiğinde hata türünün sonucunun hangi grupta yer alacağı tespit edilmiş olur.

GMB karar diyagramı hata sonuçlarını iki aşamada dört gruba ayırır. İlk aşamada hata türünün sebep olduğu işlev kaybının görünürlüğü belirlenir. Görünürlük; hata türlerini belirgin ve gizli olmak üzere ikiye ayırır. İkinci aşamada ise hata türünün personel emniyeti, çevre veya ekonomik açıdan oluşturduğu etkiye göre hangi grupta yer alacağı tespit edilir (Naval Air System Command, 2016; Society of Automotive Engineers, 2002). Buna göre GMB karar diyagramı hata sonuçlarını dört gruba ayırır:

1. Belirgin Emniyet ve Çevresel Sonuçlar
2. Belirgin Ekonomik Sonuçlar
3. Gizli Emniyet ve Çevresel Sonuçlar
4. Gizli Ekonomik Sonuçlar

- **Belirgin hata**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünen hata türüdür.
- **Gizli hata**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünmeyen hata türüdür.
- **Emniyet sonuçları**, personelin yaralanmasına veya ölümüne neden olabilecek hata sonuçlarıdır.
- **Çevresel sonuçlar**, etkileri çevresel standartları veya yasal düzenlemeleri ihlal edebilecek hata sonuçlarıdır.
- **Ekonomik sonuçlar**, sistemin operasyonel kabiliyetini olumsuz etkileyebilecek hata sonuçlarıdır.
- **Belirgin emniyet ve çevresel sonuçlar**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünen ve personelin yaralanmasına veya ölümüne neden olabilecek veya çevresel standartları veya yasal düzenlemeleri ihlal edebilecek hata türlerinin yer aldığı hata sonuçları grubudur.
- **Belirgin ekonomik sonuçlar**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünen ve sistemin operasyonel kabiliyetini olumsuz etkileyebilecek hata türlerinin yer aldığı hata sonuçları grubudur.

- **Gizli emniyet ve çevresel sonuçlar**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünmeyen ve personelin yaralanmasına veya ölümüne neden olabilecek veya çevresel standartları veya yasal düzenlemeleri ihlal edebilecek hata türlerinin yer aldığı hata sonuçları grubudur.
- **Gizli ekonomik sonuçlar**, etkisi normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünmeyen ve sistemin operasyonel kabiliyetini olumsuz etkileyebilecek hata türlerinin yer aldığı hata sonuçları grubudur.

GMB karar diyagramında (Şekil 9) A, B, C, E, F soruları yanıtlandığında ele alınan hata türünün hangi hata sonucu grubunda yer alacağı belirlenir. Soru A ile hata türünün görünürlüğü belirlenirken B, C, E, F soruları ile hata türünün personel emniyeti, çevre veya ekonomik açıdan oluşturduğu etkiye göre hangi grupta yer alacağı tespit edilir.

Soru No

Soru

- | | |
|---|--|
| A | Hata türünün neden olduğu işlev kaybı, normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünür mü? |
| B | Hata türünün etkilerinin birini yaralaması veya öldürmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı? |
| C | Hata türünün etkilerinin bilinen bir çevresel standardı veya yönetmeliği ihlal etmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı? |
| D | Hata türünün operasyonel kabiliyet üzerinde doğrudan olumsuz bir etkisi var mı? |
| E | Çoklu hatanın birini öldürmesi veya yaralaması gibi kabul edilemez bir risk var mı? |
| F | Çoklu hatanın bilinen bir çevresel standardı veya yönetmeliği ihlal etmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı? |
| G | Çoklu hatanın operasyonel kabiliyet üzerinde doğrudan olumsuz bir etkisi var mı? |

A. Hata türünün neden olduğu işlev kaybı, normal şartlar altında operatör ekibine kendi başına görünür mü?

- Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü belirgin hata, hayır için ise gizli hatadır. Hata türü ortaya çıktığında ilave bir hata türü ya da olayın oluşmasına ihtiyaç duymadan, sebep olduğu işlev kaybı operatör tarafından görülebiliyorsa bu durumda hata belirgindir. Eğer operatör, hatanın tespit edilebilmesi amacıyla, normal görevleri dışında bir işlem uyguluyorsa bu durumda hata gizlidir. Ancak sistemin bazı işlevleri pasif olacak şekilde tasarlandıysa ve sadece talep durumunda o işlevler devreye giriyorsa, bu durumda bu işlevleri devreye alana kadar olası bir hata türünün oluşup oluşmadığı tespit edilemez. Böylece operatör tarafından da normal görevlerini yerine getirmesi sırasında görülemez ve bu tür hata türleri de gizli hata olarak ele alınır (Naval Air System Command, 2016).
- Belirgin hatalar grubunda yer alan hata türlerine ait işlevler, ya sürekli operasyon halindedir ya da operatör tarafından bu işlevlerin kaybı büyük ölçüde bilinir. Belirgin hatalar için aşağıda verilen sorular değerlendirilmelidir.
 - Hatanın varlığına dair gözlenen kanıtlar nelerdir?
 - Kanıtları kim gözlemler?
 - Gözlemcinin normal görevlerinin hangi kısmı kanıtları gözlemlemesine imkân sağlar?
- Gizli hatalar grubunda yer alan hata türlerine ait işlevler ise kesikli operasyon halindedir ve operatör, özel kontroller yapmadan veya ilave bir hata ortaya çıkmadan önce bu işlevlerin kaybını fark edemez. Gizli hatalar için hatanın niçin normal şartlar altında operatöre görünmediği sorgulanmalıdır (Department of Defence, 2014). Hatanın görünürlüğü sistemde yer alan uyarı ışıkları, alarmlar veya ekipmanın davranışında meydana gelen hız değişimi, gürültülü çalışma, olağandışı koku, sıvı sızıntısı, duman vb. değişikliklerle olabilir. Bu nedenle hata etkileri belirlenirken hatanın görünürlüğüne dair kanıtları içermesine dikkat edilmelidir.

B. Hata türünün etkilerinin birini yaralaması veya öldürmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı?

- Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü belirgin emniyet ve çevresel sonuçlar grubuna dahil olurken, hayır yanıtı için soru C ile analize devam edilir. Emniyet sonuçlarına sahip hata türü için personelin hayatına veya sağlığına yönelik oluşan tehdit ayrıntılarıyla açıklanmalıdır (Department of Defence, 2014). Yangın veya patlama riski, elektrik çarpması, keskin kenarlara maruz kalma vb. farklı yollarla personel emniyeti tehdit altında olabilir (Society of Automotive Engineers, 2002).

C. Hata türünün etkilerinin bilinen bir çevresel standardı veya yönetmeliği ihlal etmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı?

- Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü belirgin emniyet ve çevresel sonuçlar grubuna dahil olurken, hayır yanıtı için soru D ile analize devam edilir. Çevresel sonuçlara sahip hata türü için çevre standartlarına veya yasal yönetmeliklerin ihlaline yönelik oluşan tehdit ayrıntılarıyla açıklanmalıdır. Tehlikeli kimyasalların çevreye yayılması, çevresel veya yasal yönetmeliklerin ihlaline örnek verilebilir (Society of Automotive Engineers, 2002).

D. Hata türünün operasyonel kabiliyet üzerinde doğrudan olumsuz bir etkisi var mı?

- Bu soruya verilen yanıtta bağımsız olarak hata türü, belirgin ekonomik sonuçlar grubuna dahil olur. Ekonomik sonuçlara sahip hata türünün işletmenin çıktı miktarına yönelik oluşturduğu olumsuzluk ayrıntılarıyla incelenmelidir.

Duruş süresine bağlı sistemin ne kadar süre hizmet dışı kaldığı, ne kadar süre beklenenden düşük hızda çalıştığı, kalite açısından ürün kalite parametrelerindeki sapma, hurda ve yeniden işlemeye ayrılan ürün miktarı, hata türü kaynaklı diğer sistemlerde yaşanan duruş veya hız düşüşleri, enerji tüketimindeki artış, malzeme ve işçilik maliyeti hata

türünün operasyonel kabiliyet üzerindeki doğrudan olumsuz etkilerine örnek verilebilir (Society of Automotive Engineers, 2002).

E. Çoklu hatanın birini öldürmesi veya yaralaması gibi kabul edilemez bir risk var mı?

F. Çoklu hatanın bilinen bir çevresel standardı veya yönetmeliği ihlal etmesi gibi kabul edilemez bir risk var mı?

G. Çoklu hatanın operasyonel kabiliyet üzerinde doğrudan olumsuz bir etkisi var mı?

- E, F ve G soruları B, C ve D soruları ile aynı anlama gelmekte olup tek fark sorularda hata türü yerine kullanılan çoklu hata ifadesidir.

Çoklu hata, bir sistemdeki korumalı işlevlerin, koruyucu cihazı arızalı durumdayken arızalanmasıdır (Society of Automotive Engineers, 2002).

Koruyucu cihaz, bir sistemdeki cihazlardan birinde meydana gelen hatanın sonuçlarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan cihazlardır (Society of Automotive Engineers, 2002). Sistemin çalışma değerlerini kontrol eden sıcaklık sensörü, basınç sensörü, hız sensörü, kendi kendini kapatma özellikli cihazlar örnek verilebilir.

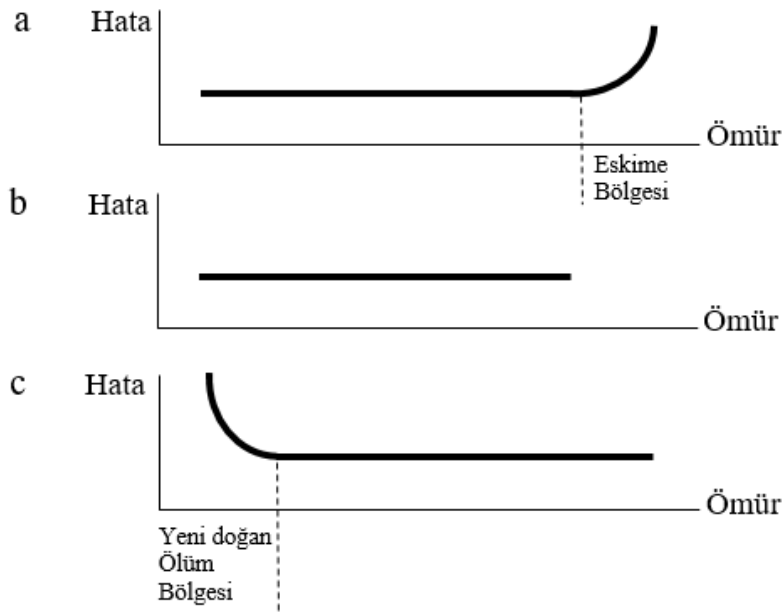
GMB karar diyagramındaki sorular cevaplanarak süreç yürütüldüğünde ele alınan hata türünün hangi hata sonucu grubunda yer aldığı belirlenir. Hata sonucu ile hata türünün meydana getireceği olumsuz etkinin türü tespit edilmiş olur. Buna göre hata türü, çıktı miktarını etkileyerek maliyette olumsuz etki meydana getiriyorsa ekonomik sonuçları olan bir hata türüdür. Personelin yaralanmasına veya ölümüne neden olabilecek etkilere sahipse emniyet kritik sonuçları olan bir hata türü ve çevresel standartları veya yasal düzenlemeleri ihlal edebilecek etkilere sahipse çevre kritik sonuçları olan bir hata türüdür. Bu bilgi ile hata türünün sonuçlarına göre önem derecesi/kritikliği belirlenerek hata için bakım görevi ihtiyacının kritikliği de belirlenmiş olur.

3.2.3.1.2. Hata Yönetimi Stratejisi Seçimi

Hata yönetimi stratejisi seçimi, hata türünü ortaya çıkmadan engellemek ya da hata sonuçlarını kabul edilebilir seviyeye düşürmek amacıyla farklı seçenekler arasından en uygun olana karar vermeyi sağlayan süreçtir (Naval Air System Command, 2016). Hata yönetimi stratejisi belirlenirken sistemin ömrü ile hata arasındaki ilişki, bakım görevinin teknik olarak uygulanabilirliği ve maliyet etkinliği dikkate alınır.

Hata ve ömür arasındaki ilişki üç farklı şekilde ortaya çıkabilir (Society of Automotive Engineers, 1999):

1. Hata türünün koşullu olasılığı sistemin ömrü veya maruz kaldığı yük arttıkça artar,
2. Hata türünün koşullu olasılığı sistemin ömrüne bağlı değildir,
3. Hata türünün koşullu olasılığı sistemin ömrü arttıkça azalır.



Şekil 10 Hata ve Ömür Arasındaki İlişki

Hatanın koşullu olasılığında hızlı bir artışın olduğu evre eskime bölgesi olarak isimlendirilir. Bu evrede sistemin yıpranmasına ve ömrünün dolmasına bağlı olarak meydana gelen hata sayısı artar (Şekil 10-a). Sistemin ömrü boyunca hatanın ortaya çıkma olasılığı sabitse bu tür hatalara rastgele hata denir (Şekil 10-b). Sistem kullanıma alındığında yüksek hata sayısına sahipken, hatanın koşullu olasılığında hızlı bir düşüşün

olduğu evre ise yeni doğan ölüm bölgesi olarak isimlendirilir. Bu evreden sonra zamanla hata sayısı sabitlenir veya azalır (Şekil 10-c).

Bakım görevinin teknik olarak uygulanabilirliği ve yapılmaya değer olması, karar verilen her planlı görev için görevi yerine getirmenin ne ölçüde maliyet etkin olarak hata sonuçlarını düşürdüğüne bağlıdır. Her bakım görevinin hata türü için uygunluğuna karar vermeyi sağlayan kriterleri vardır. Uygulanabilirlik, bakım görevinin gizli ve belirgin hataları tespit ederek önlemesidir (Smith & Hinchcliffe, 2003).

Bakım görevinin maliyet etkinliği değerlendirilirken ise bir veya daha fazla hata yönetimi stratejisi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer olduğunda en maliyet etkin olan strateji seçilir. Genellikle maliyet etkinlik yerine teknik olarak en gelişmiş bakım görevini seçme eğilimi olsa da GMB analizi, doğru şekilde uygulandığında, teknik gelişmişliği en iyi olan bakım görevini seçmek yerine hata türünün sonucunu tatmin edici ve en ekonomik şekilde azaltan hata yönetimi stratejisini seçer.

GMB analizi, ekipman veya sistemin önleyici bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan süreçtir.

Önleyici bakım, ekipman veya sistemin işlevsel kabiliyetlerini sürdürebilmesi amacıyla önceden planlanan belirli zamanlarda gerçekleştirilen muayene ve/veya servis görevlerinin uygulanmasıdır.

Önleyici bakım görevlerinin belirlenmesi sırasında göz önüne alınan dört faktör vardır (Smith & Hinchcliffe, 2003):

1. Hatanın başlangıcını tespit etmek,
2. Hata oluşumunu önlemek veya azaltmak,
3. Gizli hatayı tespit etmek,
4. Anlamlı kısıtlara dayalı hiçbir şey yapmamak.

Buna göre önleyici bakım görevleri dört gruba ayrılır:

1. **Koşullu görevler:** Hatanın başlangıcını, semptomlarını tespit etmeyi amaçlar,
2. **Zamanlı görevler:** Doğrudan hatayı önlemeyi veya geciktirmeyi amaçlar,
3. **Hata bulma görevleri:** Operasyonel talep öncesi gizli hatayı keşfetmeyi amaçlar,
4. **Hataya izin veren görevler:** Diğer seçeneklerin mümkün veya ekonomik olmadığı durumlarda başarısızlığa uğramak üzerine alınan kasıtlı bir karardır.

GMB karar diyagramında (Şekil 9) 1, 2, 3, ..., 11 soruları yanıtladığında ele alınan hata türü için hangi hata yönetimi stratejisinin kullanılacağı belirlenir. Soru 1, 4, 6 ve 9 ile hata türü için planlı koşullu bakım görevinin uygunluğu; soru 2, 5, 7 ve 10 ile planlı ıskarta veya onarım görevinin uygunluğu; soru 3 ile farklı bakım görevlerinin kombinasyonunun uygunluğu ve soru 8 ile 11 için planlı hata bulma bakım görevinin uygunluğu değerlendirilerek seçim yapılır.

Soru No	Soru
1, 4, 6, 9	Planlı koşullu görev teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?
2, 5, 7, 10	Planlı onarım veya planlı ıskarta görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?
3	Görevlerin kombinasyonu teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?
8, 11	Planlı hata bulma görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?

Sırasıyla soruların ayrıntılı incelemesi alt başlıklarda verilmiştir.

3.2.3.1.2.1. Planlı Koşullu Görev

Soru No	Soru
1, 4, 6, 9	Planlı koşullu görev teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?

Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü için hata yönetimi stratejisi olarak planlı koşullu görev seçimine karar verilirken, hayır yanıtı için soru 2, 5, 7 veya 10 ile analize devam edilir. Evet yanıtının verilebilmesi için bakım görevinin teknik olarak uygulanabilirliğine, planlı koşullu görev teknik uygunluk kriterleri ile karar verilir.

Planlı, sabit aralıklarda, belirlenen aralıklarda veya sürekli izleme yolu ile görevin gerçekleştirilme zamanının belirlenmesidir.

Planlı koşullu görev, potansiyel hatanın işlevsel hataya dönüşmeden önce tespit edilerek düzeltilmesini sağlayan periyodik veya sürekli muayene, kontrol işlemleridir (Naval Air System Command, 2016).

Planlı koşullu görev teknik uygunluk kriterleri aşağıda verilmiştir (Society of Automotive Engineers, 2002):

1. Açıkça tanımlanabilen potansiyel hata olmalı.
2. Potansiyel hata (P) – İşlevsel hata (F) aralığı tanımlanabilir olmalı.
3. Bakım görevi aralığı en kısa P-F aralığından küçük olmalı.
4. Bakım görevi P-F aralığından kısa sürede gerçekleştirilebilir olmalı.

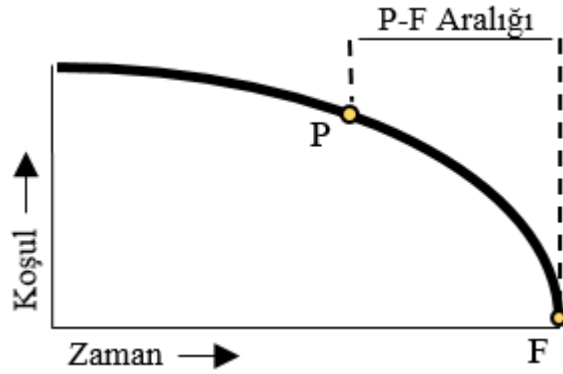
Analiz sırasında bu kriterlere göre sırasıyla aşağıdaki sorulara yanıt aranır.

1. Açıkça tanımlanabilen potansiyel hata var mı?
2. Potansiyel hata nedir?
3. P-F aralığı nedir?
4. Bakım görevi aralığı P-F aralığından kısa mı?
5. P-F aralığı hatanın sonuçlarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amacıyla uygulanacak bakım görevi için yeterince uzun mu?

Potansiyel hata, işlevsel hatanın meydana gelmek üzere olduğunu veya gerçekleşme sürecinde olduğunu gösteren tanımlanabilir ve tespit edilebilir durumdur (Society of Automotive Engineers, 2002; Naval Air System Command, 2016; Department of Defence, 2014).

P-F aralığı, potansiyel hatanın tespit edilmesi ve işlevsel hatanın oluşması arasında geçen süredir. Hata gelişim periyodu veya uyarı periyodu olarak da isimlendirilir (Society of Automotive Engineers, 2002). P-F aralığına; testler, saha verileri, operatör ve bakım personeli deneyimleri veya benzer ürünler dikkate alınarak karar verilebilir (Naval Air System Command, 2016).

P-F aralığı grafiğine göre (Şekil 11) hata oluşmaya başlar, tespit edilebileceği noktaya (P) kadar kötüleşmeye devam eder, tespit edilmez ve düzeltilmezse kötüleşme artarak işlevsel hata (F) ile sonuçlanır (Society of Automotive Engineers, 2002).



Şekil 11 P-F Aralığı

Hatanın giderilmesini sağlayacak olan bakım görevleri P-F aralığında uygulanan ve potansiyel hatanın tespitini amaçlayan planlı koşullu görevlerdir. P-F aralığı incelenen sistemin veya ekipmanın maruz kaldığı yük veya kullanım şartlarına bağlı olarak çıktı miktarı, işlem süresi veya çevrim süresi cinsinden ifade edilebilir.

Potansiyel hatanın işlevsel hataya dönüşmeden tespit edilebilmesi için planlı koşullu görev aralığının P-F aralığından küçük olmasına dikkat edilmelidir. Koşullu görev aralığının P-F aralığından büyük olması potansiyel hata tespitinin kaçırılmasına sebep olurken, çok küçük olması ise muayene işlemlerine gerekenden fazla zaman ve kaynak harcanmasına neden olacaktır. Eğer P-F aralığı belirlenemeyecek kadar tutarsız ise anlamlı bir koşullu görev aralığı belirlemek mümkün değildir.

KGA: Koşullu Görev Aralığı,

P-F: Potansiyel hata ve işlevsel hata arasındaki süre,

n: P-F aralığındaki muayene, kontrol sayısı,

olmak üzere;

Koşullu görev aralığı, P-F aralığına bağlı olarak Denklem (11)'de verildiği gibi hesaplanabilir (Naval Air System Command, 2016):

$$KGA = \frac{P - F}{n} \quad (11)$$

Potansiyel hatanın rastgele hata olduğu durumlarda bir sonraki hatanın ne zaman gerçekleşeceğini belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle ekipmanı operasyonel olarak aktif halde tutmak amacıyla ekipmanın yaşından bağımsız olarak mümkün olan en sık aralıklarda koşullu görevler gerçekleştirilmelidir. Yaşla ilişkili hatalar için ise ekipmanın yaşı ile doğru orantılı olacak şekilde P-F aralığında hatada doğrusal bir kötüleşme meydana gelecektir. Doğrusal ilişkiye göre potansiyel hata parametre değeri belirlenerek koşullu görev aralığı belirlenmelidir.

Emniyet ve çevresel sonuçlara sahip hata türleri için belirlenen koşullu görev aralığı, işlevsel hatanın oluşma olasılığını kabul edilebilir seviyeye düşürdüğü ölçüde kabul edilebilirdir. Ekonomik sonuçlara sahip hata türleri için belirlenen koşullu görev aralığı ise maliyet etkin olduğu ölçüde kabul edilebilirdir.

C_{pm} : Önleyici bakım maliyeti,

C_{cm} : Önleyici bakım sonrası uygulanan düzeltici bakım maliyeti,

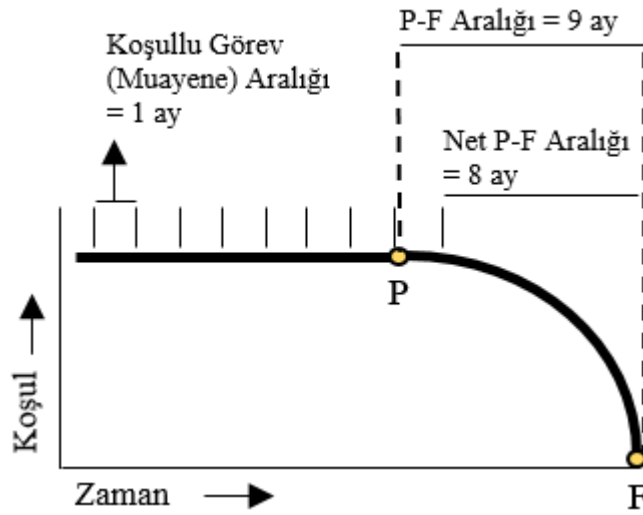
C_{nopm} : Düzeltici bakım görevi maliyeti,

olmak üzere;

Maliyet etkinlik, hata türü için önleyici bakım görevi uygulandığında oluşacak maliyetin uygulanmadığında ortaya çıkabilecek maliyetten küçük olmasıdır, Denklem (12) (Naval Air System Command, 2016).

$$C_{pm} + C_{cm} < C_{nopm} \quad (12)$$

Net P-F aralığı, potansiyel hatanın tespit edilmesi ve işlevsel hatanın oluşması arasında geçen minimum süredir (Society of Automotive Engineers, 2002).



Şekil 12 Net P-F Aralığı

Şekil 12'ye göre koşullu bakım görevi muayene, muayene aralığı bir ay ve P-F aralığı dokuz ay olsun. Buna göre potansiyel hata meydana geldikten bir ay sonra muayene işlemi yapıldığında işlevsel hatanın oluşmasına sekiz ay kalmış olur. Bu durumda net P-F aralığı sekiz aydır. Net P-F aralığı bakım için gerekli süreden büyük ise koşullu görev teknik olarak uygulanabilir. Koşullu görev aralığı ele alınan sistem veya ekipmana bağlı olarak her vardiya sonu, her çevrim, her hafta veya her ay vb. olacak şekilde farklı aralıklarda olabilir.

Koşullu görevler ekipmanın mevcut durumunu takip etmeyi amaçlayan ölçüm, izleme ve analiz işlemlerinden oluşur. Görev sırasında işlemin gerçekleştirildiği ekipman operasyon halindedir. Görev kapsamında incelenen hata, tanımlanan kötüleşme seviyesine ulaşmamışsa ekipman çalışmaya devam eder. Bu nedenle koşullu görevler ile ekipmanın hata verip vermeyeceği belirlenmeye çalışıldığından, kestirimci bakımlar koşullu görevler ile ilişkilendirilir.

Kestirimci bakım, başlamış olan bir hatanın, bazı işlevsel yeteneklerin kaybedilmesiyle sonuçlanan noktaya ne zaman ulaşacağını tahmin edilmesidir (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017). Kestirimci bakım koşullu görev olarak da bilinir (Society of Automotive Engineers, 2002; Sifonte & Reyes-Picknell, 2017). Aynı zamanda koşullu görevin alt kümesidir de denilebilir (Bloom, 2006).

Koşullu görevler iki şekilde olabilir (Smith & Hinchcliffe, 2003):

1. Performansı etkileyen sıcaklık, kalınlık gibi parametreler doğrudan ölçülerek, zaman içindeki değişimleri hatanın başlangıcı ile ilişkilendirilir.
2. Ekipmanın durumunu gösteren yağ kalitesi, titreşim seviyesi gibi parametreler yardımcı donanımlar ile ölçülür.

Koşullu görev teknikleri dört grupta incelenebilir (Society of Automotive Engineers, 2002):

1. Ürün kalitesindeki değişkenliğe dayalı teknikler,
Çoğu zaman kusurlu üretim, ekipmanda meydana gelen hata türü ile doğrudan ilişkilidir. Ürünün kusur oranı artarak potansiyel hatanın zamanında tespit edilmesini sağlar.
2. Birincil etkilerin izlenmesi teknikleri,
Hız, akış oranı, basınç, sıcaklık, güç ve akım gibi birincil etkiler ekipmanın içinde bulunduğu koşul hakkında doğrudan bilgi verir. Bu etkiler göstergelyi okuyan bir operatör, süreç kontrol sisteminin bir parçası olan bilgisayar veya grafik kaydedici tarafından izlenerek potansiyel hata tespit edilir.

3. İnsan duyularına dayalı teknikler,

Bakma, dinleme, hissetme veya koklama gibi duyularla potansiyel hata tespit edilir.

4. Durum izleme teknikleri

Bazı durumlarda ekipman veya sistemin içine de yerleştirilebilen özel ekipman kullanımı ile potansiyel hatanın tespit edilmesidir.

Hata türleri için birden fazla potansiyel hata olduğunda birden fazla koşullu görev tekniğinden faydalanmak uygun olabilir. Ancak her bir teknik için P-F aralığının farklı olabileceğine dikkat edilmelidir. Bu noktada GMB'nin önerdiği gibi maliyet etkin olan teknikler seçilmelidir. Koşullu görev kapsamındaki potansiyel hata, görevi gerçekleştirecek personel için yeterince açık şekilde tanımlanmalı ve personele gerekli eğitimler de verilmelidir.

3.2.3.1.2.2. Planlı İskarta veya Onarım Görevi

Soru No	Soru
2, 5, 7, 10	Planlı onarım veya planlı ıskarta görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?

Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü için hata yönetimi stratejisi olarak planlı ıskarta veya planlı onarım görevi seçimine karar verilirken, hayır yanıtı için planlı bakım görevi ihtiyacı yok kararı verilir veya soru 3, 8 veya 11 ile analize devam edilir. Evet yanıtının verilebilmesi için bakım görevinin teknik olarak uygulanabilirliğine, planlı ıskarta veya onarım görevi teknik uygunluk kriterleri ile karar verilir.

Planlı ıskarta, ekipmanın o andaki durumuna bakmaksızın belirlenen yaş sınırında ıskartaya ayrılması işlemidir.

Planlı onarım, ekipmanın o andaki durumuna bakmaksızın belirlenen aralıklarda (yaş sınırlarında) bir sonraki kontrol aralığına kadar hayatta kalacak şekilde işlevlerini yenilemek üzere gerçekleştirilen işlemlerdir.

Planlı ıskarta veya onarım görevi hata türüne karşı dirençteki azalmanın yani potansiyel hatanın doğru şekilde tanımlanamadığı veya P-F aralığının planlı koşullu görev için yeterli olmadığı durumlarda uygulanabilir. Planlı onarım görevi teknik uygunluk kriterleri (Madde 1, 2 ve 3) ve planlı ıskarta görevi teknik uygunluk kriterleri (Madde 1 ve 2) aşağıda verilmiştir (Society of Automotive Engineers, 2002):

1. Ele alınan hata türünün koşullu olasılığının arttığı açıkça tanımlanabilir yaş belirlenmelidir.
2. Hata türünün büyük bölümü belirlenen yaştan sonra gerçekleşmelidir.
3. Onarım işlemi ekipmanın hata türüne olan direncini kabul edilebilir seviyede artırmalıdır.

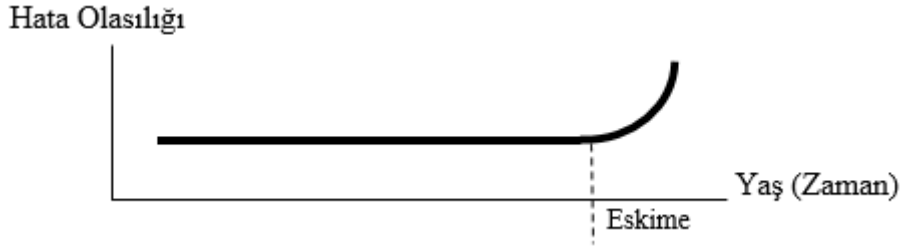
Naval Air System Command'e göre planlı ıskarta veya onarım görevine karar vermek için üç soru cevaplanmalıdır (Naval Air System Command, 2016):

1. Tanımlanabilir bir eskime yaşı nedir?
2. Ekipmanın yüzde kaç eskime yaşına kadar işlevlerini yerine getirebilir?
3. Hata olasılığını kabul edilebilir seviyeye düşürecek bakım görevi aralığı belirlenebilir mi?

Smith ve Hinchcliffe'e göre ise bir bakım görevinin planlı ıskarta veya onarım görevi grubuna girebilmesi için (Smith & Hinchcliffe, 2003);

1. Bakım görevinin periyodu önceden belirlenir ve belirlenen zaman geldiğinde başka hiçbir duruma bakmaksızın görev gerçekleştirilir.
2. Bakım görevi doğrudan hatayı önleme veya geciktirmeyi sağlar.
3. Bakım görevi genellikle ekipmanın demontajını gerektirir.

Eskime, ekipmanın yaşının artmasına bağlı olarak hata türünün koşullu olasılığında artışın meydana gelmesidir.

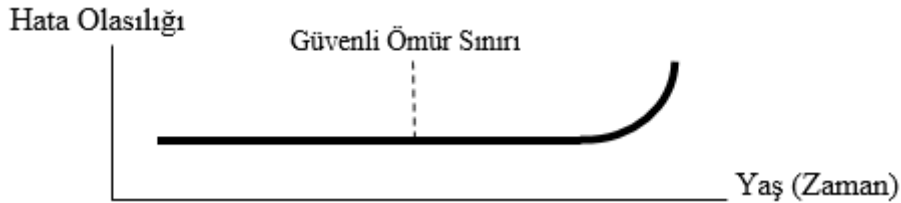


Şekil 13 Eskime Özellikleri

Ele alınan hata türünün koşullu olasılığının arttığı yaş, Şekil 13'teki gibi gelişim gösteren bir hata türü için eskimenin başladığı dönemdeki yaştır. Burada tanımlanmaya çalışılan yaş eskime yaşı olarak adlandırılırsa, eskime yaşı; saat, çevrim süresi, gün, belirlenen bir olay öncesi gibi farklı şekillerde tanımlanabilir (Smith & Hinchcliffe, 2003). Eskime yaşı bazı ekipmanlar için kolay tanımlanabilirken bazıları için bu mümkün olmayabilir.

Eskime yaşı güvenli ömür sınırı ve ekonomik ömür sınırı olmak üzere iki şekilde incelenebilir.

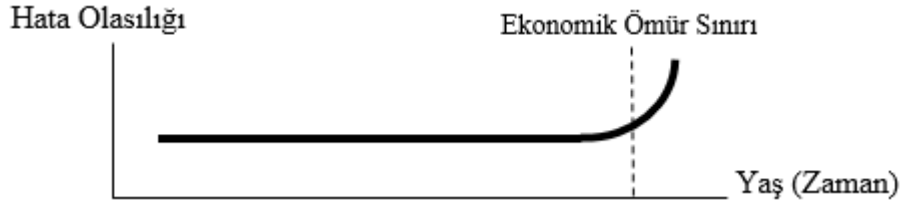
Güvenli ömür sınırı, ekipmanın hiçbir hata meydana gelmeden işlevlerini yerine getirebileceği yaştır (Şekil 14). Güvenli ömür sınırına, ekipmandan alınan istatistiksel olarak yeterli sayıda örneğin, simüle edilen bir çalışma ortamı koşullarında test edilmesiyle, ekipman hizmete başlamadan önce karar verilmelidir. Belirgin/gizli emniyet ve çevresel sonuçlar grubuna giren hata türleri için uygulanır.



Şekil 14 Güvenli Ömür Sınırı

Ekonomik ömür sınırı, ekipmanın arıza vermeden önce değiştirilmesinin maliyet etkin olduğu yaştır. Yaş-güvenilirlik ilişkisine dayalıdır. Ekipmanın kullanım ömrünü

maksimize etmek amacıyla bazı hataların oluşması riskini alır (Şekil 15), güvenli ömür sınırı gibi tüm hataların oluşmasını engelleyici sınır burada yoktur. Eğer hatanın onarım maliyeti ıskarta maliyetinden yüksekse ekonomik ömür sınırı dikkate alınarak bakım görevi aralığına karar verilmelidir. Belirgin/gizli ekonomik sonuçlar grubuna giren hata türleri için uygulanır.



Şekil 15 Ekonomik Ömür Sınırı

Planlı ıskarta veya onarım görevi aralığına eskime yaşına veya parçanın onarımının ya da ıskartaya ayrılmasının hata olasılığını azaltacağı belirlenen yaşa dayalı karar verilir. Bakım görev aralığı belirlenirken Weibull analizi, yorulma testleri, üreticinin tavsiye ettiği hizmet ömrü, operatör veya bakım personelinin bilgi ve tecrübeleri ile benzer ürünlerden faydalanılabilir.

Planlı onarım görevi, genellikle bir parçanın yeniden üretimi veya büyük tamirini gerektirir. Bu işlem sonrası parçanın hata türüne karşı direnci, bir sonraki kontrol zamanına kadar işlevlerini gerçekleştirebileceği kabul edilebilir seviyeye getirilmiş olmalıdır. Eğer hata türüne karşı direnç orijinal parçanın hata türüne karşı direncinden daha az seviyede olacak şekilde onarım işlemi yapılabilmişse bu durumda onarım yapılan parça için görev aralığı daha kısa süreli olmak üzere tekrar belirlenmelidir.

Planlı ıskarta görevi, eski parçanın yenisi ile değiştirilmesini gerektirir. Planlı ıskarta veya onarım görevi bazen bir elektrik motorunun onarımı gibi karmaşık ve pahalı bir işlem olurken bazen de filtre değişimi gibi basit ve ucuz bir işlem olabilir.

3.2.3.1.2.3. Görevlerin Kombinasyonu

Soru No	Soru
3	Görevlerin kombinasyonu teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?

Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü için hata yönetimi stratejisi olarak görevlerin kombinasyonu görev seçimine karar verilirken, hayır yanıtı için tasarım değişikliği kararı verilir.

Görevlerin kombinasyonu, hata türü için tek çeşit bakım görevinin hata sonuçlarını kabul edilebilir seviyeye düşüremediği durumlarda birden fazla bakım görevinin uygulanmasıdır. Bu bakım görevi emniyet ve çevresel sonuçlar grubuna giren hata türleri için uygulanabilir. Uygulanması öngörülen farklı tür bakım görevleri kendi içinde teknik uygunluk kriterlerini sağlamalıdır. Bu tür bakım görevinin dezavantajı ise tek çeşit bakım görevine kıyasla daha fazla maliyetli olmasıdır.

3.2.3.1.2.4. Hata Bulma Görevi

Soru No	Soru
8, 11	Planlı hata bulma görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?

Bu soruya evet yanıtı verildiğinde hata türü için hata yönetimi stratejisi olarak hata bulma görevi seçimine karar verilirken, hayır yanıtı için soru 8 ile tasarım değişikliği kararı verilir ve soru 11 ile planlı bakım görevi ihtiyacı olmadığı ancak tasarım değişikliğinin de düşünülebileceğine karar verilir.

Planlı hata bulma, meydana gelen bir gizli hata olup olmadığını bulmak amacıyla belirlenen aralıklarda gerçekleştirilen önleyici bakım görevidir. Yedekli sistemler, acil durum sistemleri veya kullanımı sık olmayan sistemlerde ortaya çıkma ihtimali daha

yüksek olan gizli hata türleri için uygulanır. Hata bulmanın amacı, gizli hata türünün koruyucu bir işlevin gerektiğinde beklenen korumayı sağlayıp sağlamadığını belirlemek olduğundan bu bakım görevi işlevsel kontroller olarak da bilinir.

Hata bulma görevi teknik uygunluk kriterleri aşağıda verilmiştir (Society of Automotive Engineers, 2002):

1. Görev aralığı, korunan sistemin çoklu hata olasılığını kabul edilebilir düzeye indirme ihtiyacını dikkate alarak belirlenmelidir.
2. Görev, hata türünün kapsadığı tüm bileşenlerin çalışır durumda olduğunu doğrulamalıdır.
3. Görev ve görev aralığı seçim süreci, görevin kendisinin gizli hata türünü tespit edemeyebileceğini dikkate almalıdır.
4. Görevin belirlenen aralıklarda yapılması fiziksel olarak mümkün olmalıdır.

Ekipmanda operatöre görünmeyen bir işlevsel hata meydana geldiğinde, bu işlevin tekrar kullanılabilir olması için planlı hata bulma görevine ihtiyaç vardır. Çoklu hata olasılığını azaltmak amacıyla koruyucu bileşenin kullanılabilirliği artırılmalıdır. Bu kapsamda gizli hatanın gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespiti için periyodik olarak işlevsel kontroller yapılmalıdır. İşlevsel kontroller sırasında karmaşık yapıdaki koruyucu bileşenler için sökme işlemi uygulamadan kontrolün yapılabilirliğine dikkat edilmelidir. Çünkü söküm sonrası her zaman yanlış bağlantı veya takma işlemi uygulama riski vardır. Söküm takımı basit bileşenler için ise dikkatli şekilde işlem gerçekleştirilebilir.

Koruyucu bileşenin işlevi fiziksel olarak kontrol edilebilmelidir. Ancak bazı durumlarda tasarımdan kaynaklı koruyucu bileşene ulaşılamaması veya bileşen tahrip edilmeden işlevin kontrol edilememesi söz konusu olabilir. Her iki durum için daha iyi bir yol bulana kadar kontrol edilemeyen işlevler ile ilgili riskler yönetilmelidir.

Hata bulma görevi sırasında koruyucu bileşen kullanım dışı duruma getirildiğinde veya kontrol sonrası arızalı olduğu tespit edildiğinde alternatif koruma sağlanmalı mümkün

değilse de korunan işlevler koruyucu bileşen onarılanaya kadar çalıştırılmayarak kullanım dışı bırakılmalıdır. Görev sıklığı ise gerekli olan düzeyde pratikte uygulanabilir olmalıdır.

Hata bulma görevinin amacı gizli hata ortaya çıkabilecek ekipmanın çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesidir. Hatayı önlemek, geciktirmek (planlı ıskarta ya da planlı onarım) veya hatanın oluşmak üzere olduğunu belirten potansiyel hata noktasını tespit etmeye çalışmak (planlı koşullu görev) gibi işlemler uygulanmaz. Bu bakım görevi kapsamında ekipman çalışıyor yada çalışmıyor bilgisine ulaşıldıktan sonra, çalışmıyorsa onarımı yapılır.

Hata bulma görev aralığı belirlenirken dikkatli olunmalıdır. Görev aralığının kısa olması ekipmanın pratik olmayan şekilde sık sık kapatılmasını gerektirebilirken uzun olması ise ekipmanın kalan faydalı ömrünün veya mevcut bakım planlama sürelerinin aşılmasıyla sonuçlanabilir. Korunan işlevin arızalar arasındaki süreyi aşan hata bulma görevleri de belirlenebilir. Böyle durumlarda planlı hata bulma görev aralığının arıza aralığını aşma düzeyi arttıkça bakım görevinin değeri azalır ve çoklu hata üzerindeki etkisi azalır.

3.2.3.1.2.5. Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi

Belirgin veya gizli ekonomik sonuçlar grubuna giren hata türleri için uygulanabilir planlı koşullu, planlı onarım, planlı ıskarta veya planlı hata bulma görevi belirlenemediği durumlarda önleyici bakım görevi uygun değildir kararı verilerek hatanın oluşmasına izin verilerek ekipman arızalanana kadar çalıştırılabilir.

Arızalanana kadar çalıştırma, hata türünü engellemeye yönelik hiçbir önleyici bakım görevi uygulamadan ekipmanın arıza verene kadar kullanılmasıdır. Hata ortaya çıktıktan sonra düzeltici bakım görevi uygulanır.

Ekonomik sonuçlara sahip hata türleri için geliştirilen önleyici bakım görevlerinin verimliliği değerlendirilirken görevin maliyeti ile hatanın meydana getirdiği maliyet karşılaştırılır ve bakım görevi toplam hata maliyetlerini azaltıyorsa uygulanır. Maliyet

açısından uygun önleyici bakım görevi tespit edilemezse hata türünün oluşmasına izin vermek daha az maliyetli olacağından hata yönetimi stratejisi olarak arızalanana kadar çalıştırma görevi seçilir.

Arızalanana kadar çalıştırma görevi aşağıda verilen uygunluk kriterlerini sağlamalıdır (Society of Automotive Engineers, 2002):

1. Gizli hata türü için uygun planlı bakım görevinin bulunamadığı durumda ilgili çoklu hatanın da emniyet ve çevresel sonuçları olmamalıdır.
2. Belirgin hata türü için uygun planlı bakım görevinin bulunamadığı durumda hata türünün emniyet ve çevresel sonuçları olmamalıdır.
3. Ekonomik sonuçları olan hata türü için maliyet etkin bir bakım görevi bulunmamalıdır.

Smith ve Hinchcliffe'e göre;

1. Maliyetten bağımsız olarak, fayda sağlayacak herhangi bir önleyici bakım görevi tespit edilemediğinde,
2. Hata ortaya çıktığında oluşacak olan düzeltici bakım maliyeti, önerilen önleyici bakım maliyetinden daha düşük olduğunda,
3. Önleyici bakım bütçesi dahilinde ilgilenilen ekipmanın arızasının öncelik listesinde yer almaması durumunda,

hatanın oluşmasına izin verilebilir (Smith & Hinchcliffe, 2003).

4. UYGULAMA

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen analiz ve çalışmalar bir beyaz eşya fabrikasında uygulanmıştır. Buradan itibaren beyaz eşya fabrikası “işletme” olarak anılacaktır.

4.1. İmalat Süreci

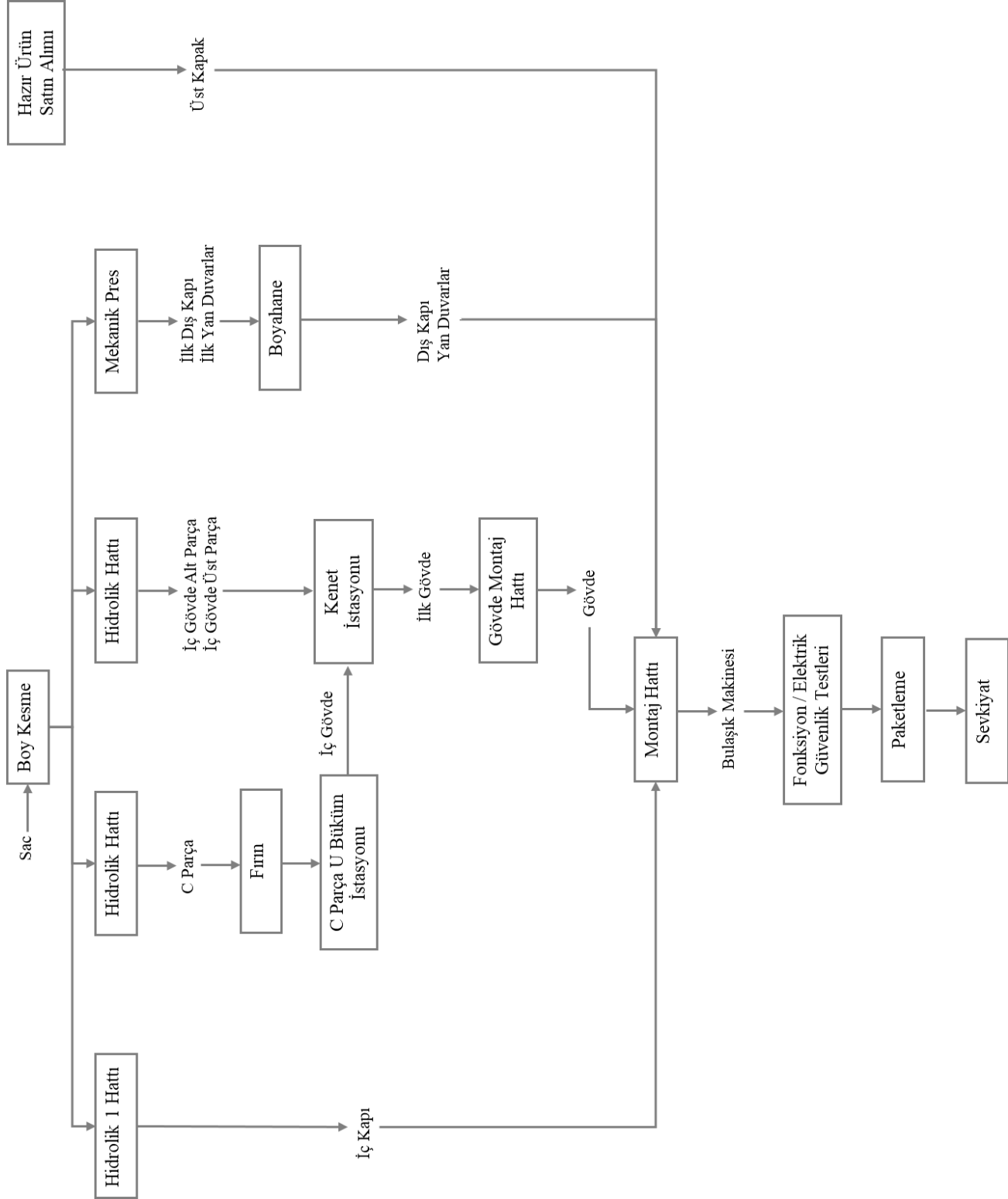
Tez kapsamında seçilen işletmede bulaşık makinesi üretimi yapılmaktadır. Üretim sırasında hammadde olarak sac kullanılmaktadır. İmalat sürecine hammaddenin ürüne uygun boyutlarda kesiminin yapıldığı boy kesme adımı ile başlanır ve imalat için uygun boyutlara getirilen sac, hidrolik hatlara ve mekanik preslere gönderilmektedir.

Hidrolik 1 hattında bulaşık makinesi iç kapı üretimi yapılırken diğer hidrolik hatlarda ise C parça ve bulaşık makinesi iç gövdesine ait alt ve üst parça üretimi yapılmaktadır. C parça daha sonra yalıtım amaçlı bitüm malzeme ile kaplandıktan sonra bükülerek iç gövde halini alır ve iç gövde ile iç gövdeye ait alt ve üst parçalar kenet istasyonunda bir araya getirilerek ilk gövde üretimi tamamlanmaktadır. İlk gövde, kendisine dış kapı ve yan duvarların montajının yapılabilmesini sağlayan parçaların montajı amacıyla gövde montaj hattına gönderilir. Böylece bulaşık makinesi gövdesi üretimi tamamlanırken mekanik preste ise bulaşık makinesinin dış kapısı ve yan duvarları üretilir. Dış kapı ve yan duvarlar, son olarak, boyahanede ürün modeline uygun renkte boyandıktan sonra nihai hale gelir.

Sürece paralel olarak bulaşık makinesi üst kapağı satın alımı yapılır. Son olarak iç kapı, gövde, dış kapı ve yan duvarlar ile üst kapak, motor vb. elektrikselsel parçalar montaj hattında birleştirilir ve bulaşık makinesi üretimi tamamlanmış olur.

Üretim tamamlandıktan sonra elde edilen ürünün işlevsellik ve elektrikselsel güvenlik testleri gerçekleştirilir. Bu testler kapsamında ürünün suyu doğru zamanda ve doğru miktarda çekmesi, su alma/akış hızı, ısıtıcıların yeterli sıcaklığa ulaşması ve ulaşma süresi, doğru zamanda istenen akımı çekmesi, güç ve sızdırmazlık kontrolü ile tuşların

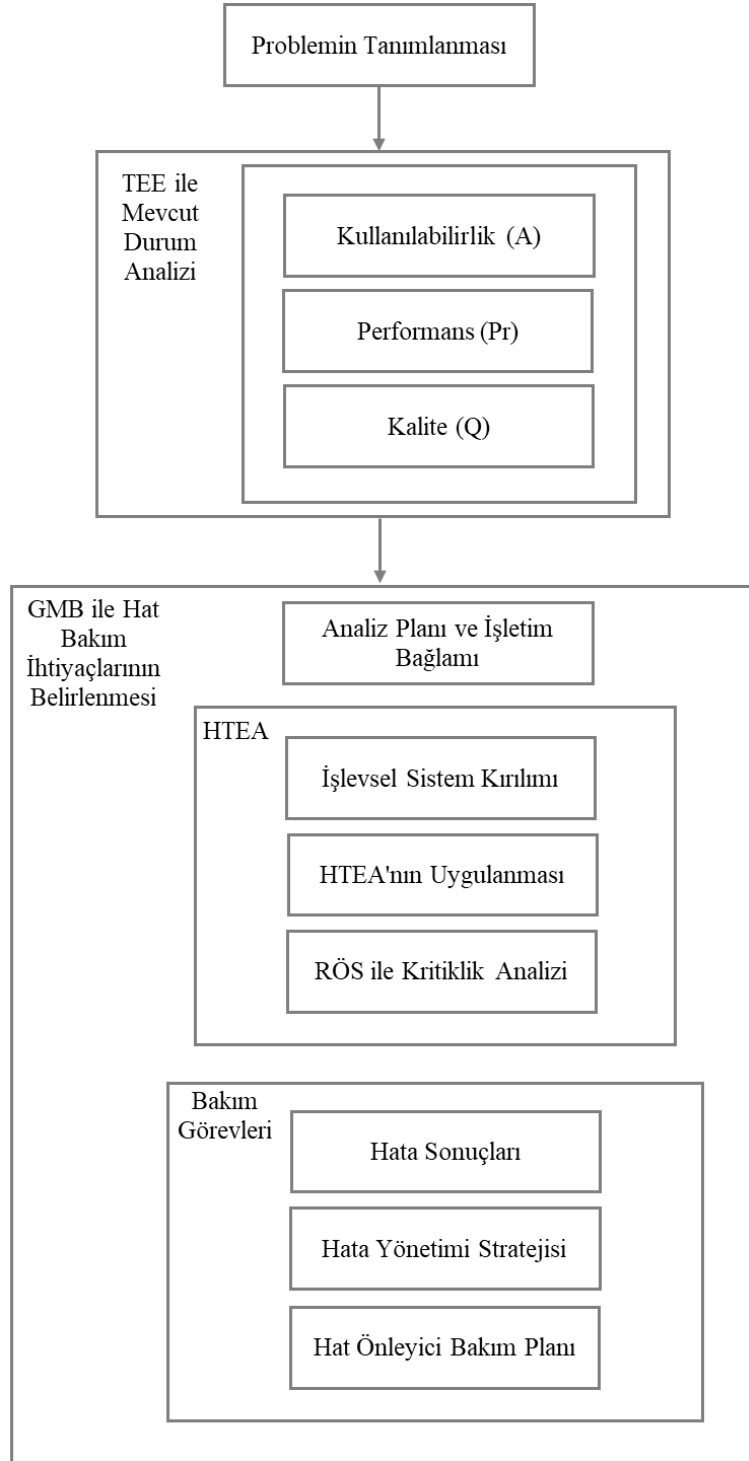
çalışmasının kontrol edildiği görsel muayeneler yapılır. Testleri başarı ile geçen ürünler paketlenerek sevkiyata hazır hale gelir (Şekil 16).



Şekil 16 Bulaşık Makinesi İmalat Süreci

4.2. Uygulama Aşamaları

Bu çalışmada Hidrolik 1 Hattı için Güvenilirlik Merkezli ve Toplam Verimli Bakıma Dayalı Entegre Bakım Konsepti geliştirmek ve hat için önleyici bakım planı oluşturmak amacıyla uygulanan analiz ve yöntemler sırası ile Şekil 17’de verilen akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 17 Uygulama Akış Şeması

4.2.1. Problemin Tanımlanması

İşletmede entegre bakım konseptinin geliştirilmesi ve uygulanması amacıyla Hidrolik 1 Hattı seçilmiştir. Hidrolik 1 Hattı bulaşık makinesi iç kapı üretiminin yapılmasını sağlayan dört adet pres, beş adet transfer robot ve konveyörlerden oluşmakta olup, işletmenin 1993 yılında alınan ilk ekipmanıdır. Hattın çalışma için seçilmesinin en önemli sebeplerinden biri, işletmedeki üretimin yaklaşık olarak %85'ini karşılmasıdır. Bu sebeple işletme için alternatifi olmayan ve yan sanayilerde de alternatifi bulunmayan en önemli ekipmandır.

Hidrolik 1 Hattı'nın işletmenin üretim kapasitesini doğrudan etkileyecek en önemli ekipman olmasına rağmen planlı bakımlarının olmaması, otonom bakım yaklaşımının hatta uygulanmıyor olması ve arıza kaynaklı duruşların beklenenin üzerinde olması bu çalışmanın motivasyonları arasındadır.

4.2.2. TEE ile Mevcut Durum Analizi

Hidrolik 1 Hattı'nın yüzde kaç etkinlikte çalıştığının belirlenmesi amacıyla, mevcut durum analizi ile çalışmaya başlanmıştır. Mevcut durum analizi sırasında TEE'den faydalanılmıştır. İşletmede TEE hesaplaması için kullanılmakta olan bir sistem mevcut olduğundan öncelikle hesaplanan değerler incelenmiştir.

TEE hesaplanırken A, Pr ve Q bileşenlerinin kullanılması gerekmekte iken işletmede tüm üretim hatlarının TEE'si hesaplanırken Q bileşeninin kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise hurda sayılarının üretim hatlarına göre değil parça tiplerine göre kayıt altına alındığı ve aynı parçanın farklı bir hatta da üretilmesi olarak belirtilmiştir.

Bu çalışmada, işletmenin hesapladığı TEE'nin Q bileşeni eklenerek güncellenebilmesi amacıyla öncelikle Hidrolik 1 Hattı'ndan çıkan kusurlu üretim miktarları kayıtlarının tutulduğu dönem (01.07.2022 - 28.09.2022) belirlenmiştir. İlgili dönem için Q değeri hesaplanarak Hidrolik 1 Hattı'nın TEE'si günlük TEE'lere göre tekrar hesaplanmıştır.

4.2.2.1. Kullanılabilirlik (A)

İşletmede üç vardiyada üretim yapılmaktadır ve bir vardiya süresi 480 dakikadır. Buna göre günlük TEE değerleri hesaplanırken vardiya süresi 1440 dakika olarak kullanılmıştır.

Kullanılabilirlik hesaplanırken planlı ve plansız duruş kayıplarından yararlanıldığından Hidrolik 1 Hattı için planlı ve plansız duruş kapsamına giren kayıp türleri işletmenin sisteminde tanımlı olan ifadelerle Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2 Hidrolik 1 Hattı Planlı Duruş Kaybı Türleri

Planlı Duruş Kayıpları	Boş Vardiya/Pazar/İş Yok
	Çay/Yemek Mola
	Kalıp Planlı Bakım
	Otonom Bakım - Temizlik
	Planlı Bakım
	Stok Fazlası
	Üst Amir Kararı

Çizelge 3 Hidrolik 1 Hattı Plansız Duruş Kaybı Türleri

Plansız Duruş Kayıpları	Çapak Alma
	Elektrik Arıza
	Folyo Çapağı
	Forklift Bekleme
	Girilmeyen Duruş
	Kalıp Arızası
	Malzeme Bekleme
	Mekanik Arıza
	Pres Arızası
	Rulo Değiştirme
	Tezgah Ayar
	Transfer Robot Arızası
	Yağ Doldurma
	Yağlama Masası
	Zimba Çapağı

Plansız duruş kayıplarının ait olduğu plansız duruş kaybı kategorisi Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4 Plansız Duruş Kaybı Kategorileri

Plansız Duruş Kaybı Kategorisi	Plansız Duruş Kaybı Türü	
Kurulum ve Ayarlama Kaybı	1	Çapak Alma
	2	Forklift Bekleme
	3	Rulo Değişirme
	4	Tezgah Ayar
	5	Yağ Doldurma
Arıza Kaybı	1	Elektrik Arıza
	2	Mekanik Arıza
	3	Pres Arızası
	4	Transfer Robot Arızası
	5	Kalıp Arızası
Başlama Kaybı	1	Folyo Çapağı
	2	Malzeme Bekleme
	3	Yağlama Masası
	4	Zimba Çapağı
Tanımsız Duruş Kaybı	1	Girilmeyen Duruş

01.07.2022 - 28.09.2022 dönemi için planlı ve plansız duruş süreleri verileri işletmenin sistemindeki kayıtlardan alınmıştır. Denklem (4) kullanılarak planlı ve plansız duruş sürelerine bağlı olarak ilgili dönem için hattın Kullanılabilirliği %83.39 olarak hesaplanmıştır.

İşletmenin sisteminde hesaplanan A değerinin ise %79.85 olduğu görülmüştür. Aradaki fark incelendiğinde sistemde hesaplanan toplam çalışılabilir süre (planlanan üretim süresi) değerinin hatalı olduğu tespit edilmiştir. Hatanın sebebinin ise plansız duruş kapsamında değerlendirilen “Girilmeyen Duruş” alanına dört gün için 1440 dakika olarak veri girişi yapılmış olmasıdır. Aslında bu dört günde hat kapalı iken sisteme “Girilmeyen Duruş” üzerinden girdi yapıldığından sistem dört gün boyunca hatta plansız duruş olduğu kabulüyle A değerine bunu yansıtmıştır. Bu nedenle ilgili dönem için işletme tarafından hesaplanan Kullanılabilirlik değeri olduğundan düşük görülmektedir. Gerçekte hat %83 verimle çalışırken işletme verileri incelendiğinde bu değer %80 olduğu görülmüştür.

4.2.2.2. Performans (Pr)

Performans hesaplanırken teorik çevrim süresi, üretim miktarı ve çalışma süresi verilerinden yararlanılır. Hidrolik 1 Hattı'nın ilgili dönem için işletme tarafından belirlenen teorik çevrim süresi dokuz saniyedir. Hesaplama sırasında bu değer 0.15 dakika olarak kullanılmıştır. Günlük üretim miktarı verileri ise işletmenin sistemindeki kayıtlardan alınmıştır.

Hesaplanan günlük Pr değerleri incelendiğinde hattın %100'ün üzerinde performansla çalıştığı günler olduğu belirlenmiştir. Buna göre hattın performansının üzerinde hızda çalıştırıldığı zamanların olduğu işletmeden alınan bilgilerle de doğrulanmıştır. Pr değeri %100'ün üzerinde olan günlerin TEE'si hesaplanırken ise Pr değeri 100 olarak kullanılmıştır. Denklem (8) kullanılarak ilgili dönem için hattın Performansı %99.19 olarak hesaplanmıştır. İşletmenin sistemindeki değer ise %99.65 olduğu görülmüş ve aradaki farkın yuvarlamalardan kaynaklı ihmal edilebilir derecede küçük bir fark olduğu kabul edilmiş ve Performansın işletme tarafından doğru hesaplandığı tespit edilmiştir.

4.2.2.3. Kalite (Q)

Kalite hesaplanırken günlük üretim miktarı ve günlük kusurlu üretim miktarı verilerinden yararlanılır. İşletmede ise TEE hesaplanırken Kalite bileşeni kullanılmamaktadır. Buna neden olarak da aynı parçanın farklı bir üretim hattında da üretilebilmesinden dolayı günlük kusurlu üretim miktarlarının hatlara göre değil parça tiplerine göre kayıt altına alınması gösterilmiştir. Ancak bu yaklaşım üretim hattında kalite nedeniyle meydana gelen verimlilik düşüşünün göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmada kalitenin hat etkinliğine olan katkısının belirlenmesi amacıyla öncelikle Hidrolik 1 Hattı kusurlu üretim miktarı verilerinin kayıt altına alındığı dönem (01.07.2022 - 28.09.2022) tespit edilmiştir.

01.07.2022 - 28.09.2022 dönemi 90 günden oluşmaktadır. Ancak dönem içinde tatiller nedeniyle izleme dışı gün kapsamına giren 25 gün olduğundan çalışma günü 65 gün olmaktadır. Bu 65 günün 38 gününde günlük kusurlu üretim miktarları her vardiyada

eksiksiz olacak şekilde kayıt altına alınmış ancak 27 gününde eksik veri kaydı olduğu belirlenmiştir.

Günlük üretim miktarı kayıtları incelendiğinde, sistemdeki değerler ile operatör tarafından manuel olarak kaydedilen değerlerin farklı olduğu görülmüştür. Bu farkın, vardiya sonunda operatörün manuel veri girişi yapması sırasında hattın üretime devam etmesinden dolayı ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Kalite hesaplanırken günlük üretim miktarı verileri işletmenin sistemindeki kayıtlardan alınmıştır.

Günlük kusurlu üretim miktarları her vardiyada vardiya operatörü tarafından kayıt altına alındığından sistemde böyle bir kayıt mevcut değildir. Günlük kusurlu üretim miktarı bilinmeyen 27 günün günlük Q değerlerinin belirlenmesi ve eksik verilerin tamamlanması amacıyla günlük kusurlu üretim miktarı tutulan 38 gün için hesaplanan günlük Q değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Buna göre Denklem (9) kullanılarak ilgili dönem için hattın Kalitesi %99.51 olarak hesaplanmıştır.

4.2.2.4. Mevcut Durum Değerlendirme

Hidrolik 1 Hattı'nın, ilgili dönem için işletme tarafından hesaplanan, Kullanılabilirlik ve Performansa dayalı TEE'si %79.57'dir. Çalışmada TEE'ye Kalite bileşeninin eklenmesi ile hattın TEE'si %82.31 olarak hesaplanmıştır İşletmenin hesapladığı değerler ile çalışmada hesaplanan değerlerin karşılaştırması Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5 İşletmede ve Çalışmada Hesaplanan TEE ve Bileşenlerinin Karşılaştırılması

	İşletme	Çalışma
A	%79.85	%83.39
Pr	%99.65	%99.19
Q	%100	%99.51
TEE	%79.57	%82.31

Çalışmada hesaplanan TEE'nin daha yüksek çıkmasının sebebi işletmenin sistemde A'yı hatalı hesaplamasıdır. Eğer A doğru hesaplınsaydı çalışmada hesaplanan A değeri ile aynı olacaktı ve TEE sistemde %83.10 olarak görülecekti. Bu değere Q dahil edildiğinde ise TEE'nin azaldığı (%82.69) açıkça görülebilir olacaktı. Bu durumda ise iki değer arasındaki farkın çok küçük olmasından dolayı işletmenin TEE'yi aynı yöntemle hesaplamasının sonuçları yanıltmayacağı yorumu yapılabilirdi.

Çalışma kapsamında hesaplanan TEE'ye göre mevcut durumda hattın yüksek performansta çalıştığı ve yeterli oranda kaliteli üretim miktarına sahip olduğu görülmüştür. Ancak Nakajima'ya göre belirtilen ideal A, Pr ve Q oranları dikkate alındığında işletmenin Pr ve Q değerleri ideali yakalamışken, A değerinin idealin altında kaldığı belirlenmiştir (Nakajima, 1988; Jagin vd., 2020). Buna göre hatta yapılabilecek herhangi bir iyileştirmenin sadece Kullanılabilirlik değerinin yükseltilmesi ile mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Kullanılabilirliğin artırılabilmesi için de plansız duruş kayıplarının minimize edilmesine yönelik GMB ve TVB çalışmalarının hatta uygulanmasına karar verilmiştir. Bu iki yöntemle oluşturulacak bir entegre bakım konsepti ile hattın plansız duruşlarının azaltılması ve üretimde geçen efektif süresinin artırılması hedeflenmiştir.

4.2.3. GMB ile Hat Bakım İhtiyaçlarının Belirlenmesi

GMB ile Hidrolik 1 Hattı'nın işlevlerinin korunması amacıyla hattaki yüksek öncelikli hata türleri için uygulanabilir ve etkin önleyici bakım görevleri belirlenmiştir.

4.2.3.1. Analiz Planı ve İşletim Bağlamı

GMB analizine, analiz planı ve işletim bağlamının belirlenmesi ile başlanır. Buna göre Bölüm 3.2.1'de verilen ilk soru için analizin tüm tesise uygulanmayacağı, analizin yapılacağı üretim hattı seçiminin ise hattın işletmenin üretim kapasitesine katkısı ve eskime durumu göz önüne alınarak yapılmasına karar verilmiştir. İkinci soru için analizin uygulanacağı montaj seviyesi sistem olarak belirlenmiştir.

Bölüm 3.2.1.'de ayrıntıları verilen montaj seviyelerine işletmede karşı gelen ekipmanlar Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6 Montaj Seviyesi Ekipman İlişkisi

Montaj Seviyesi	İşletme Ekipmanları
Tesis	Hidrolik Hatları, Montaj Hatları, Mekanik Pres vb.
Sistem	Pres, Kartezyen Robot, Konveyör vb.
Bileşen	Redüktör, Servo Motor, Sensör vb.
Parça	Dişli, Mil, Vida, Elektrik Kablosu vb.

Analiz planı ile üretim hattı seçimi ve analizin uygulanacağı montaj seviyesi belirlendikten sonra analiz için seçilen hattın işletim bağlamının belirlenmesi gerekir. İşletim bağlamının belirlenmesi ile Hidrolik 1 Hattı'nın operasyonel çalışma koşulları ve uyması beklenen kısıtlar olup olmadığı tespit edilmiştir.

Hidrolik 1 Hattı işletim bağlamı alt maddelerde belirtilmiştir:

- Üretim süreci:** Hatta kesikli üretim yapılmaktadır.
- Kalite:** İşletmede kalite beklentileri Servis Arıza Oranı ve Bant Üstü Hata Oranı olmak üzere iki şekilde değerlendirilmektedir. Servis arıza oranı ile ürüne yönelik kalite beklentilerinin yükseltilmesi hedeflenirken, bant üstü hata oranı ile üretim hatlarının kalite değerinin artırılması hedeflenmektedir. Buna göre müşteriden gelen arıza geri bildirimleri servis arıza oranı kapsamında, işçilik, malzeme veya ekipman kaynaklı üretim ve montaj hataları ise bant üstü hata oranı kapsamında değerlendirmeye alınmaktadır. Hedef kalite değerleri ise servis arıza oranı için yıllık olarak belirlenirken, bant üstü hata oranı için aylık veya haftalık olarak talebe göre değişebilmektedir. Örneğin servis arıza oranının yıl sonunda %3.5'ten %3'e düşmesi ve bant üstü hata oranının ay sonunda %5'ten 0'a düşürülmesi hedef kalite değeri olarak belirtilebilir.
- Çevre:** Hattın çalışması sırasında uyması beklenen herhangi bir çevresel standart zorunluluğu yoktur. Ancak hattaki operasyon sırasında ve sonrasında hidrolik yağ, folyo ve bakım sırasında kullanılan yağlı bezler gibi atık maddeler

oluşmaktadır. Bu atıklar çevreye zararlı olduğu için standartlara uygun olarak geri dönüşümünün yapılması gerekmektedir. Bu amaçla hidrolik yağlar tehlikeli atık depolama alanlarında depolanarak dinlendirilir. Seperatörlerden geçirilen yağ sulu yağ olarak elde edilir. Arıtma tesisinde ayrıştırıldıktan sonra yoğunlaştırılmış yağ geri kazanım amaçlı lisanslı firmalara gönderilmektedir. Üretim sonrası oluşan folyo atıkları işletmede balya haline getirildikten sonra geri kazanım amaçlı lisanslı firmalara gönderilmektedir. Bakım sırasında kullanılan yağlı bezler ise işletme içindeki atık alanlarında biriktirilerek yine geri kazanım amaçlı lisanslı firmalara gönderilmektedir.

4. **Emniyet:** Mevcut durumda hatta emniyet kısıtları kapsamında ilgili önlemler alınmıştır. Presler, transfer robotlar ve konveyörler belirli alan içinde dışarıdan ulaşımı kısıtlayacak şekilde çevrelenmiştir. Operatör ya da herhangi biri çevreli alanın kapısını açarak içeri girmeye çalıştığında kapı sensörleri devreye girerek hattı durdurmaktadır.
5. **Operasyon Alanı:** Hat 31°C-39°C arasında kapalı alanda çalışmaktadır.
6. **İşlemlerin Yoğunluğu:** İşletmede üç vardiyada üretim yapıldığından hat 6/24 çalışmaktadır.
7. **Yedeklilik:** Hatta yedeklilik içeren parça mevcut değildir, hattın bekleme kapasitesi vardır. Operatör isteğe bağlı hattı beklemeye alıp sonrasında tekrar operasyona alabilir.
8. **Devam Eden Çalışma:** Talebe bağlı olarak stokların ekipmanın durmasına izin vereceği süre değişmektedir. İşletmede stok fazlası durumda hattın durdurulduğu görülmüştür.
9. **Yedek Parça:** Mevcut durumda önemli yedeklerin stokları tutulmaktadır. Stoklar düştüğünde SAP üzerinden bildirim alınarak yedek sayıları kontrol altında tutulmaktadır.

4.2.3.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)

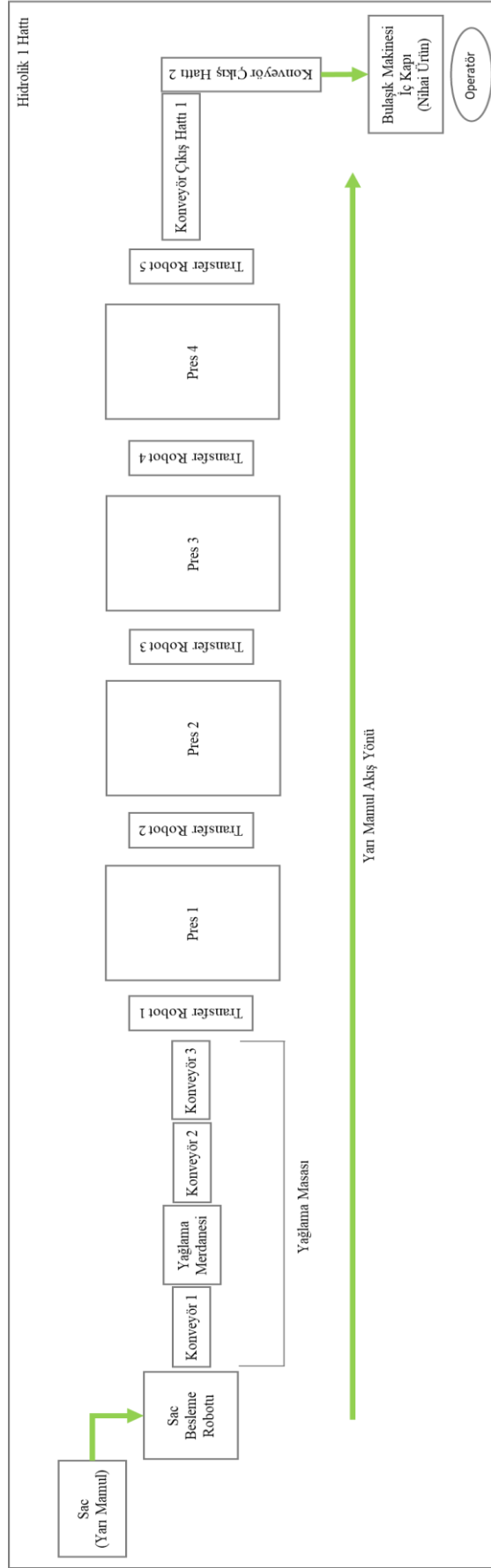
HTEA çalışması, işlevsel sistem kırılımının oluşturulması, analizin uygulanması ve kritiklik analizi olmak üzere üç aşamada uygulanmıştır.

4.2.3.2.1. İşlevsel Sistem Kırılımı

HTEA çalışmasına ele alınan sistemin, kendisini oluşturan alt sistemlere bölünerek işlevsel sistem kırılımı oluşturularak başlanır. Bu şekilde oluşturulan hiyerarşik bir kırılım GMB süreci için en iyi seviyenin belirlenmesi açısından da önemlidir. Hidrolik 1 Hattı için bakım yapılabilecek en iyi seviye göz önüne alınarak oluşturulan işlevsel sistem kırılımı Çizelge 7’de verilmiştir. İşlevsel sistem kırılımında tanımlanan hat ekipmanları ve üretim akışı Şekil 18’de verilmiştir.

Çizelge 7. Hidrolik 1 Hattı İşlevsel Sistem Kırılımı

Tanımlama Numarası	Ekipman	İşlev
1	Hidrolik 1 Hattı	Bulaşık makinesi iç kapı üretimini gerçekleştirmek
1.1	Sac Besleme Robotu	Sacı sehpadan alarak yağlama masasına iletmek
1.2	Yağlama Masası	Sacın yağlama işlemini yaparak, sacı Transfer Robot 1’e iletmek
1.2.1	Konveyör 1	Sac besleme robotunun bıraktığı sacı gördüğü anda hareket etmeye başlayarak sacı yağlama merdanesine iletmek
1.2.2	Yağlama Merdanesi	Keçeyi ve geçişi sırasında sacı yağlamak
1.2.3	Konveyör 2	Sacı Konveyör 3’e iletmek
1.2.4	Konveyör 3	Sacı merkezlemek ve sac kalınlığını ölçmek
1.3	Transfer Robot 1	Konveyör 3’teki sacı alarak Pres 1’e iletmek
1.4	Pres 1	Saca derinlik vererek şekil almasını sağlamak
1.5	Transfer Robot 2	Pres 1’deki sacı alarak Pres 2’ye iletmek
1.6	Pres 2	Sac etrafındaki fazlalıkları kesmek
1.7	Transfer Robot 3	Pres 2’deki sacı alarak Pres 3’e iletmek
1.8	Pres 3	Sac üzerine bağlantı deliklerini açmak
1.9	Transfer Robot 4	Pres 3’deki sacı alarak Pres 4’ye iletmek
1.10	Pres 4	Sac üzerine havşa ve conta kanalı açmak
1.11	Transfer Robot 5	Pres 4’deki sacı alarak Konveyör Hattı Çıkış 1’e iletmek
1.12	Konveyör Hattı Çıkış 1	Sacı Konveyör Hattı Çıkış 2’ye iletmek
1.13	Konveyör Hattı Çıkış 2	Sacı operatöre iletmek



Şekil 18 Hidrolik 1 Hattı Ekipmanları ve Üretim Akışı

4.2.3.2.2. HTEA'nın Uygulanması

Bölüm 3.2.2.'de yer verilen farklı HTEA türlerinden çalışmanın amacına uygun olarak Hidrolik 1 Hattı'nın imalat süreçleriyle ilgili hata türleri ve sebeplerini tespit ederek hata koşullarının oluşmasını engellemek amacıyla proses HTEA seçilmiş ve uygulanmıştır.

Analize HTEA kayıt dosyası oluşturularak başlanmıştır. HTEA kayıt dosyasında klasik HTEA ile kayıt altına alınan işlev, hata türü, lokal etki, bir üst seviyedeki etki, son etki ve hata tespit yöntemi bilgilerine ek olarak GMB süreci HTEA çalışmasına özel işlevsel hata bilgisine de yer verilmiştir. Ayrıca HTEA çalışmasının son adımında gerçekleştirilen kritiklik analizi kapsamında dosyaya RÖS parametreleri bilgisi alanı da eklenmiştir. Buna göre HTEA kayıt dosyasında yer verilen 14 adet alan aşağıda belirtildiği gibidir:

1. Tanımlama Numarası
2. Ekipman
3. İşlev No
4. İşlev
5. İşlevsel Hata
6. Hata Türü
7. Lokal etki
8. Bir üst seviyedeki etki
9. Son etki
10. Hata Tespit Yöntemi
11. Ortaya Çıkma İhtimali (O)
12. Şiddet (S)
13. Saptanabilirlik (D)
14. Risk Öncelik Sayısı (RÖS)

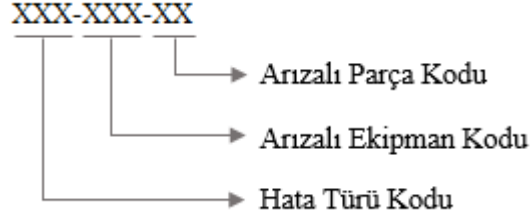
Oluşturulan HTEA kayıt dosyasına bir önceki adımda oluşturulan işlevsel sistem kırılımı bilgileri eklenerek devam edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ekipmanın işlevi alt işlevlere parçalanabiliyorsa işlevleri, işlev numaralarını belirterek en alt seviyeye kadar parçalayarak kayıt altına almaktır. Örneğin Çizelge 7'de "Sacı sehpadan alarak yağlama masasına iletmek" şeklinde verilen Sac Besleme Robotu'nun işlevi HTEA kayıt dosyasına "Sacı sehpadan almak", "Çift sac alıp almadığını kontrol etmek" ve "Sacı

Konveyör 1'e iletmek" olmak üzere üç ayrı işlev olacak şekilde düzenlenerek eklenmiştir. Böylece ekipmanın her bir işlevi için işlevsel hata ve hata türü bilgisi elde edilerek ekipmanın işlevlerinin korunmasına yönelik bakım ihtiyaçları belirlenebilecektir.

Ekipmanların işlevleri eksiksiz olacak şekilde eklendikten sonra ekipmanın her bir işlevi için işlevsel hata ve her işlevsel hata için de hata türü bilgileri toplanarak dosyada kayıt altına alınmıştır. Analiz tamamlandığında aynı hata türünün farklı ekipman ve parçalarda tekrarladığı görülmüştür. Buna göre HTEA kayıt dosyasının daha verimli kullanımı amacıyla hatta meydana gelmesi öngörülen her bir hata için "Hata Kodu" alanı oluşturulmuştur. "Hata Kodu" alanı "Hata Türü Kodu", "Arızalı Ekipman Kodu" ve "Arızalı Parça Kodu" olmak üzere üç alandan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Buna göre oluşturulan HTEA kayıt dosyası aşağıda verilen 18 adet alanı içermek üzere iyileştirilmiştir.

1. Tanımlama Numarası
2. Ekipman
3. İşlev No
4. İşlev
5. İşlevsel Hata
6. Hata Türü Kodu
7. Arızalı Ekipman Kodu
8. Arızalı Parça Kodu
9. Hata Kodu
10. Hata Türü
11. Lokal etki
12. Bir üst seviyedeki etki
13. Son etki
14. Hata Tespit Yöntemi
15. Ortaya Çıkma İhtimali (O)
16. Şiddet (S)
17. Saptanabilirlik (D)
18. Risk Öncelik Sayısı (RÖS)

HTEA kayıt dosyasının daha verimli kullanımı amacıyla eklenen ‘‘Hata Kodu’’ alanının yapısı Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 19 Hata Kodu Yapısı

HTEA alıŐması sonunda Hidrolik 1 Hattı ekipmanlarında meydana gelmesi öngörülen hata türleri ve her hata türü için verilen ‘‘Hata Türü Kodu’’ izelge 8’de, arızalanması öngörülen ekipmanlar ve her ekipman için verilen ‘‘Arızalı Ekipman Kodu’’ izelge 9’da ve ekipmana ait parçalar ve her parça için verilen ‘‘Arızalı Parça Kodu’’ izelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 8 Hatta Meydana Gelmesi  ng r len Hata Türleri ve Hata Türü Kodu İlişkisi

Hata Türü Kodu	Hata Türü	Hata Türü Kodu	Hata Türü
H01	AŞınma	H16	Home pozisyonda olmama
H02	Atıkların sisteme karışması	H17	Kablo kopması
H03	Bağlantı cıvatalarında kopma	H18	Kırılma
H04	Bağlantı hortumunda kopma	H19	Kirlenme
H05	Basınç dŐŐmesi	H20	Kopma
H06	Bozulma	H21	SertleŐme
H07	Cihaz arızası	H22	Tıkanma
H08	izilme	H23	Uygun pozisyonda olmama
H09	Deformasyon	H24	�r�n üzerine apak gelmesi
H10	Delinme	H25	Yağ içine metal karışması
H11	Ekipman �zerine yabancı cisim gelmesi	H26	Yağ içine su karışması

Hata Türü Kodu	Hata Türü	Hata Türü Kodu	Hata Türü
H12	Elektrik arızası	H27	Yabancı cisim karışması
H13	Elektrik gelmemesi	H28	Yanma
H14	Güç yetersizliği	H29	Yay mekanizmasının bozulması
H15	Havanın bitmesi	H30	Yıpranma

Çizelge 9 Hatta Arızalanması Öngörülen Ekipmanlar ve Arızalı Ekipman Kodu İlişkisi

Arızalı Ekipman Kodu	Arızalı Ekipman
KÇ1	Konveyör Hattı Çıkış 1
KÇ2	Konveyör Hattı Çıkış 2
KY1	Konveyör 1
KY2	Konveyör 2
KY3	Konveyör 3
PR1	Pres 1
PR2	Pres 2
PR3	Pres 3
PR4	Pres 4
SBR	Sac Besleme Robotu
TR1	Transfer Robot 1
TR2	Transfer Robot 2
TR3	Transfer Robot 3
TR4	Transfer Robot 4
TR5	Transfer Robot 5
YMR	Yağlama Merdanesi

Çizelge 10 Hatta Arızalanması Öngörülen Parçalar ve Arızalı Parça Kodu İlişkisi

Arızalı Parça Kodu	Arızalı Parça
AK	Alt Kalıp
AÜ	Akümülatör

Arızalı Parça Kodu	Arızalı Parça
ÇS	Çift Sac Sensörü
EN	Encoder
EŞ	Eşanjör
FG	Fittings
FL	Filtre
HF	Hidrolik Filtre
HH	Hava Hortumu
HO	Hidrolik Hortum
HP	Hidrolik Pompa
HR	Hortum
HT	Hidrolik Tank
HV	Hidrolik Valf
KÇ	Keçe
KD	Kremayer Dişli
KS	Koç Silindiri
KP	Kalıp
KY	Kayış
LK	Lineer Kızak
LR	Lineer Rulman
MK	Merdane Kaması
ML	Mil
MR	Merdane
MT	Motor
ÖD	Ön Dolum Valfi
P1	Pres 1
PD	Pinyon Dişli
PF	Pnömatik Fittings (Rakor)
PP	Pilot Pompa
PS	Pnömatik Piston Sensörü

Arızalı Parça Kodu	Arızalı Parça
PT	Piston
PÜ	Piston Sensörü
PV	Pnömatik Valf
RD	Redüktör
RG	Regülatör
RU	Rulman
SE	Sızdırmazlık Elemanı
SM	Servo Motor
SP	Soğutma Pompası
SS	Sensör
TK	Triger Kayış
TN	Tank
TP	Termokupl
ÜK	Üst Kalıp
ÜV	Üfleme Valfi
VF	Valf
VJ	Vakum Jeneratörü
VS	Vakum Jeneratörü Sensörü
VZ	Vantuz
YB	Yağlama Borusu
YS	Yastık Silindiri
ZD	Zincir Dişli

Buna göre örneğin, “H07-SBR-SM” hata kodu “Sac Besleme Robotu’na ait Servo Motor arızası” anlamına gelmekteyken “H01-SBR-KD” hata kodu ise “Sac Besleme Robotu’na ait Kremayer Dişli’de aşınma” olduğu anlamına gelmektedir.

HTEA kayıt dosyasının bir bölümü Şekil 20’de verilmiştir.

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)

Tanımlama Numarası	Ekipman ve İşlev Tanımı		Hata Tanımı				Hata Etkileri				Hata Tespit Yöntemi		
	Ekipman	İşlev No	İşlev	İşlevsel Hata	Hata Türü Kodu	Arazlı Ekipman Parça Kodu	Arazlı Parça Kodu	Hata Kodu	Hata Türü	Lokal Etki		Bir Üst Seviyedeki Etki	Son Etki
1	Sac Besleme Robotu	1	Sacı sehpadan almak	Sehpa üzerinde sacı alma pozisyonuna gelmemesi	H07	SBR	SM	H07-SBR-SM	Servo motor arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H07	SBR	RD	H07-SBR-RD	Redüktör arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H01	SBR	PD	H01-SBR-PD	Pnyon dişli aşınması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H01	SBR	KD	H01-SBR-KD	Krenayar dişli aşınması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H18	SBR	LR	H18-SBR-LR	Lineer rulman kırılması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H01	SBR	LK	H01-SBR-LK	Lineer kazağın aşınması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
				Saca ulaşmak için aşağı yönde hareketin olmaması	H07	SBR	PS	H07-SBR-PS	Pnömatik piston sensör arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H07	SBR	PT	H07-SBR-PT	Piston arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H07	SBR	PV	H07-SBR-PV	Pnömatik valf 2 arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H18	SBR	PF	H18-SBR-PF	Pnömatik fişings kırılması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem ve muayene
					H30	SBR	VZ	H30-SBR-VZ	Vanuz yıpranması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H18	SBR	LR	H18-SBR-LR	Lineer rulman kırılması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H01	SBR	LK	H01-SBR-LK	Lineer kazağın aşınması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
				Sacı tutmaması	H07	SBR	VJ	H07-SBR-VJ	Vakum jeneratör arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H07	SBR	HH	H07-SBR-HH	Hava hortumu arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H30	SBR	VZ	H30-SBR-VZ	Vanuz yıpranması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Muayene
					H18	SBR	PF	H18-SBR-PF	Pnömatik fişings kırılması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H07	SBR	VS	H07-SBR-VS	Vakum jeneratör sensör arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
				Sacı almadıktan yukarı kalkması	H14	SBR	VZ	H14-SBR-VZ	Kaldırma gücünün yetersizmesi	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
				Çift sac alıp almadığını kontrol etmek	H17	SBR	ÇS	H17-SBR-ÇS	Çift sac sensörü kablosunun kopması	Tek sac çift sac gibirdir(1), Çift sac sensörü kablosunun çift sac tek sac gibirdir(2) görülür	Sac Besleme Robotu durur(1), Konveyör 1'e 3 sensör ile Hüdüklük 1 Hattı durur(2)	Konveyör 1 ve Hüdüklük 1 Hattı durur(1), Konveyör 2'e 3 sensör ile Hüdüklük 1 Hattı durur(2)	Gözlem ve deneme
					H09	SBR	SS	H09-SBR-SS	Sensör deformasyonu	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
				Konveyör 1 pozisyonuna gelmemesi	H07	SBR	SM	H07-SBR-SM	Servo motor arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem, deneme ve kontrol
					H07	SBR	RD	H07-SBR-RD	Redüktör arızası	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem
					H01	SBR	PD	H01-SBR-PD	Pnyon dişli aşınması	Sac Besleme Robotu durur	Konveyör 1 durur	Hüdüklük 1 Hattı durur	Gözlem

Şekil 20 HTEA Kayıt Dosyası

4.2.3.2.3. RÖS ile Kritiklik Analizi

HTEA çalışmasının devamında hata türlerinin önem derecesine göre önceliklendirilmesi amacıyla kritiklik analizi yapılır. Bu çalışmada Bölüm 3.2.2.1.'de anlatılan kritiklik analizi yöntemlerinden RÖS kullanılmıştır.

RÖS; O, S ve D parametrelerinin sıralama değerlerinin çarpımı ile hesaplanmaktadır. O, S ve D parametrelerinin sıralama değerlerine karşı gelen tanımları içeren standart kullanılabilir tablolara mevcut olmakla birlikte bu değerler ve tanımlar yetkili kişilerle ele alınan sisteme özgü de oluşturulabilir. Bu çalışmada RÖS parametre değerleri ve karşı gelen tanımlar işletmenin bakım birimi personeli ile geçmiş arızalar göz önüne alınarak belirlenmiştir (Çizelge 11).

Çizelge 11 RÖS Parametrelerinin (O, S, D) Sıralama Değerleri ve Tanımları

Ortaya Çıkma İhtimali (O)		Şiddet (S)		Saptanabilirlik (D)	
Değer	Tanım	Değer	Tanım	Değer	Tanım
1	6 ay ve üzeri	1	Hiç etki yok	1	0-5 dk
2	1 ay - 6 ay arası	2	Yavaş hızda çalışma	2	5-10 dk
3	2 haftada 1 kere	3	0-15 dk duruş	3	10-15 dk
4	Haftada 1 kere	4	15-30 dk duruş	4	15-20 dk
5	3 günde 1 kere	5	30-60 dk duruş	5	20-25 dk
6	Günde 1 kere	6	60-90 dk duruş	6	25-30 dk
7	2 vardiyada 1 kere	7	90-120 dk duruş	7	30-45 dk
8	Vardiyada 1 kere	8	120-180 dk duruş	8	45-60 dk
9	Vardiyada 2 kere	9	180 dk ve üzeri duruş	9	60-480 dk
10	Vardiyada 3 kere ve üzeri	10	Yaralanmalara sebep olur	10	480 dk - 1 gün

HTEA kayıt dosyasına girişi yapılan her hata türü için RÖS değeri hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek RÖS değeri 168 ve en düşük RÖS değeri 8 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan RÖS değerlerine göre hata türleri sıralamasının bir bölümü Çizelge 12'de verilmiştir. Burada hata türü bilgisi Hata Kodu alanından takip edilmektedir.

Çizelge 12 Hata Türleri için RÖS Değerleri

Hata Kodu	Ortaya Çıkma İhtimali (O)	Şiddet (S)	Saptanabilirlik (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)
H21-YMR-KÇ	3	8	7	168
H20-YMR-KÇ	3	8	7	168
H01-SBR-PD	3	9	6	162
H18-SBR-LR	3	9	6	162
H01-SBR-LK	3	9	6	162
H01-TR1-PD	3	9	6	162
H18-TR1-LR	3	9	6	162
H01-TR1-LK	3	9	6	162
H01-SBR-KD	3	8	6	144
H18-SBR-LR	3	8	6	144
H01-TR1-KD	3	8	6	144
H01-TR1-PD	3	7	6	126
H18-TR1-LR	3	7	6	126
H07-SBR-VJ	2	7	8	112
H07-SBR-VS	2	7	8	112
H18-KY3-RU	2	8	7	112
H07-TR1-VJ	2	7	8	112

HTEA çalışması sonucunda Hidrolik 1 Hattı'nda yer alan ekipmanlarda meydana gelmesi öngörülen hata türleri ve hata türleri için hesaplanan RÖS değerleri göz önüne alındığında RÖS değeri 40'ın üzerindeki hata türleri öncelikli hata türü olarak ele alınmıştır. Öncelikli hata türleri önleyici bakım ihtiyaçlarının belirlenmesi amacıyla çalışmanın devamında kullanılmıştır.

Ayrıca Çizelge 12'de görüldüğü üzere bazı ekipmanlarda aynı hata türü için farklı RÖS değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi aynı parçanın ekipman üzerinde birden fazla sayıda ve farklı konumlarda bulunmasıdır. Farklı işlevler için kullanılan aynı parça farklı konumlarda yer aldığına, aynı hata türünün parçanın ekipman üzerindeki konumuna ve

dolayısıyla ulaşılabilirliğine bağlı olarak S değeri farklılaşmaktadır. Parçanın konumu bakım sırasında erişilebilirlik açasından daha kolaysa arızanın yarattığı duruş süresine dayalı değer alan S değerı daha küçük olacaktır.

4.2.3.3. Bakım Görevleri

HTEA sonucu tespit edilen öncelikli (baskın) hata türleri için önleyici bakım görevlerinin belirlenmesi amacıyla GMB karar diyagramı kullanılmıştır.

4.2.3.3.1. GMB Karar Diyagramı

GMB karar diyagramının ilk aşamasında hata sonuçları değerlendirilmiş ikinci aşamasında ise her bir hata türü için uygulanabilir hata yönetimi stratejisi seçimi yapılmıştır.

4.2.3.3.1.1. Hata Sonuçları

Baskın hata türleri için GMB karar diyagramında (şekil 9) verilen A/.../G sorularına E/H yanıtları verilerek karar diyagramı takip edilmiş ve hata türünün hangi hata sonucu grubuna dahil olduğu belirlenmiştir. Buna göre Hidrolik 1 Hattı'nda gerçekte öngörülen baskın hata türlerinin tümü "Belirgin Ekonomik Sonuçlar" veya "Gizli Ekonomik Sonuçlar" grubunda yer almaktadır. Üretim hattında meydana gelebilecek herhangi bir hatanın sonuçları hatta duruşa sebebiyet vererek üretim kapasitesini düşürmekte ve maliyet üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Hat için tespit edilen hata sonuçlarının bir bölümü Çizelge 13'te verilmiştir.

Hidrolik 1 Hattında "Belirgin Emniyet ve Çevresel Sonuçlar" ve "Gizli Emniyet ve Çevresel Sonuçlar" grubunda yer alan bir hata türünün olmaması önemlidir. Çünkü bu gruplara giren hata türleri için ya personelin emniyetli çalışma ortamı olmayacak ya da hata ortaya çıktığında çevreyi tehdit eden durumlar oluşacaktır. Bu nedenle bu gruba giren hata türleri için maliyete bakılmaksızın önleyici bakım görevi uygulanması zorunlu olacaktır.

Çizelge 13 Hidrolik 1 Hattı Hata Sonuçları

Hata Kodu	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	GMB Karar Diyagramı Cevapları	Hata Sonucu
H21-YMR-KÇ	168	HHHEHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar
H20-YMR-KÇ	168	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H01-SBR-PD	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H18-SBR-LR	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H01-SBR-LK	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H01-TR1-PD	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H18-TR1-LR	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H01-TR1-LK	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar
H01-SBR-KD	144	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar

4.2.3.3.1.2. Hata Yönetimi Stratejisi

Baskın hata türleri için GMB karar diyagramında (Şekil 9) verilen 1, 2, 3, ..., 11 sorularına E/H yanıtları verilerek karar diyagramı takip edilmiş ve ele alınan hata türü için uygulanabilecek hata yönetimi stratejisi belirlenmiştir. Ayrıntıları Bölüm 3.2.3.1.2.'de verilen hata yönetimi stratejileri aşağıda belirtildiği gibidir:

1. Planlı Koşullu Görev
2. Planlı Iskarta veya Onarım Görevi
3. Görevlerin Kombinasyonu
4. Hata Bulma Görevi
5. Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi

Hata yönetimi stratejisi seçimi yapılırken seçilen stratejinin teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer olup olmadığına karar verilmiştir. Bu karar sırasında her hata yönetimi stratejisi için ilgili teknik uygunluk kriterlerine cevap aranmıştır.

• Planlı Koşullu Görev Seçimi

Planlı koşullu görev seçiminin teknik olarak uygunluğunun tespiti amacıyla oluşturulan standart kayıt dosyası Çizelge 14’te verilmiştir. Burada birinci, dördüncü veya beşinci sorulara Evet yanıtının verilememesi, ele alınan hata türü için planlı koşullu görev stratejisi uygulanamayacağı anlamına gelir. Bu durumda GMB karar diyagramında (Şekil 9) 1, 4, 6 ve 9 numara ile belirtilen “Planlı koşullu görev teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?” sorusuna Hayır yanıtı verilerek karar diyagramında bir sonraki soruya geçilir.

Çizelge 14 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Standart Kayıt Dosyası

Soru No	Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri	Hata Kodu
1	Açıkça tanımlanabilen potansiyel hata var mı?	
2	Potansiyel hata nedir?	
3	P-F aralığı nedir?	
4	P-F aralığı hatanın sonuçlarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amacıyla uygulanacak bakım görevi için yeterince uzun mu?	
5	Bakım görevi P-F aralığından daha kısa sürede uygulanabilir mi?	
6	Planlı koşullu bakım görevi tekniği nedir?	
7	Koşullu görev aralığı nedir?	

GMB analizi kapsamında yürütülen çalışmalar için Çizelge 14’te verilen sorular planlı koşullu görev teknik uygunluk kriterleri için yeterlidir. Ancak bu çalışma kapsamında TVB metodu da göz önüne alındığında işletmede belirlenen planlı koşullu görevler, operatör ve bakım personeli tarafından iki aşamalı olacak şekilde birlikte yürütülecektir. Operatör potansiyel hata tespiti yaptıktan sonra bakım personeli tekrar kontrol yaparak düzeltici bakım görevini başlatacaktır. Bu nedenle de operatör ve bakım personeli tarafından yürütülecek bakım görevlerini ve bakım görevi sürelerini içeren soruların eklenmesiyle işletmeye özgü oluşturulan “Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası” Çizelge 15’te verilmiştir.

Çizelge 15 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası

		Hata Kodu
Soru No	Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri	
1	Açıkça tanımlanabilen potansiyel hata var mı?	
2	Potansiyel hata nedir?	
3	P-F aralığı nedir?	
4	P-F aralığı hatanın sonuçlarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amacıyla uygulanacak bakım görevi için yeterince uzun mu?	
5	Bakım görevi P-F aralığından daha kısa sürede uygulanabilir mi?	
6	Planlı koşullu bakım görevi tekniği nedir?	
7	Koşullu görev aralığı (KGA) nedir?	
8	Operatör planlı koşullu bakım görevi nedir?	
9	Operatör bakım görevi süresi nedir?	
10	Bakım personeli düzeltici bakım görevi nedir?	
11	Bakım personeli düzeltici bakım görevi süresi nedir?	

HTEA’da tanımlanan baskın hata türlerinin tümü için bu kriterler değerlendirilmiştir ve çalışmada veri girişi yapılan örnek bir dosya Çizelge 16’da verilmiştir. Hidrolik 1 Hattı GMB analizi ile 27 hata türü için 10 adedi operatör ve bir adedi bakım mühendisi tarafından gerçekleştirilmek üzere 11 adet planlı koşullu görev hata yönetimi stratejisi uygun görülmüştür (EK 2). Çizelge 16’da hata yönetimi stratejisi belirlenmek üzere ele alınan hata türü ve konumu “Hata Kodu” bilgisinden takip edilmektedir.

Çizelge 16 Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi

		Hata Kodu
Soru No	Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri	H01-SBR-PD
1	Açıkça tanımlanabilen potansiyel hata var mı?	Evet

		Hata Kodu
Soru No	Planlı Koşullu Görev Teknik Uygunluk Kriterleri	H01-SBR-PD
2	Potansiyel hata nedir?	Aşınma seviyesi
3	P-F aralığı nedir?	7 gün
4	P-F aralığı hatanın sonuçlarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amacıyla uygulanacak bakım görevi için yeterince uzun mu?	Evet
5	Bakım görevi P-F aralığından daha kısa sürede uygulanabilir mi?	Evet
6	Planlı koşullu bakım görevi tekniği nedir?	İnsan duyuları
7	Koşullu görev aralığı (KGA) nedir?	H1
8	Operatör planlı koşullu bakım görevi nedir?	PD gözle kontrol edilir. Pinyon dişlinin diş kalınlığı sivri olmaya yaklaştığında bakım onarım personeline bilgi verilir.
9	Operatör bakım görevi süresi nedir?	5 dk
10	Bakım personeli düzeltici bakım görevi nedir?	PD yenisi ile değiştirilir.
11	Bakım personeli düzeltici bakım görevi süresi nedir?	5 saat

Çizelge 16'da ele alınan H01-SBR-PD için;

P-F: 7 gün

n: 1

olmak üzere;

$$KGA = \frac{7}{1} = 7 \text{ gün (H/1, Haftada bir kere)}$$

olarak elde edilmiştir.

• Planlı ıskarta veya Onarım Görevi Seçimi

Planlı ıskarta veya onarım görevi seçiminin teknik olarak uygunluğunun tespiti amacıyla oluşturulan kayıt dosyası Çizelge 17’de verilmiştir. Burada birinci, üçüncü veya beşinci sorulara Evet yanıtının verilememesi, ele alınan hata türü için planlı ıskarta veya onarım görevi stratejisi uygulanamayacağı anlamına gelir. Bu durumda GMB karar diyagramında (Şekil 9) 2, 5, 7 veya 10 numara ile belirtilen “Planlı ıskarta veya planlı onarım görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?” sorusuna Hayır yanıtı verilerek karar diyagramında bir sonraki adıma geçilir.

Çizelge 17 Planlı ıskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası

Soru No	Planlı ıskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	Hata Kodu
1	Koşullu başarısızlık olasılığının arttığı bir yaş (eskime yaşı) var mı?	
2	Eskime yaşı nedir?	
3	Parça bu yaşa kadar etkinlik kriterlerini karşılayacak şekilde hayatta kalır mı?	
4	Bakım görevi türü nedir?	
5	Görev başarısızlığa karşı orijinal direnci geri getirir mi?	
6	Parçanın ekonomik ömrü nedir?	
7	Parçanın güvenli ömrü nedir?	
8	Bakım görevi aralığı nedir?	
9	Bakım görevi nedir?	

HTEA’da tanımlanan baskın hata türlerinden planlı koşullu görev hata yönetimi stratejisi uygulanamayan hataların tümü için Çizelge 17’de belirtilen kriterler değerlendirilmiştir ve çalışmada veri girişi yapılan örnek bir dosya Çizelge 18’de verilmiştir.

Hidrolik 1 Hattı GMB analizi ile bir adet hata türü için bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere bir adet planlı ıskarta görevi hata yönetimi stratejisi uygun görülmüştür (EK 2). Çizelge 18’de hata yönetimi stratejisi belirlenmek üzere ele alınan

hata türü ve konumu “Hata Kodu” bilgisinden takip edilmektedir. Bakım görevi türü alanı “Planlı Onarım” veya “Planlı Iskarta” olarak seçilmektedir.

Çizelge 18 Planlı Iskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi

		Hata Kodu
Soru No	Planlı Iskarta veya Onarım Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	H19-PR1-HF
1	Koşullu başarısızlık olasılığının arttığı bir yaş (eskime yaşı) var mı?	Evet
2	Eskime yaşı nedir?	1 yıl
3	Parça bu yaşa kadar etkinlik kriterlerini karşılayacak şekilde hayatta kalır mı?	Evet
4	Bakım görevi türü nedir?	Planlı Iskarta
5	Görev başarısızlığa karşı orijinal direnci geri getirir mi?	Evet
6	Parçanın ekonomik ömrü nedir?	1 yıl
7	Parçanın güvenli ömrü nedir?	3 ay
8	Bakım görevi aralığı nedir?	3A1
9	Bakım görevi nedir?	Yağ analizi yapılarak yağın kirlilik seviyesine göre filtre değiştirilir.

• Görevlerin Kombinasyonu Görevi Seçimi

Görevlerin kombinasyonu sadece belirgin emniyet ve çevresel sonuçları olan hata türleri için uygulanabilir. Bu bakım görevi planlı koşullu görev, planlı ıskarta veya planlı onarım görevlerinden birden fazlasının uygulanmasını gerektirdiğinden görevin teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer olması değerlendirilirken her strateji için ilgili kriterler ayrı ayrı değerlendirilir. Çalışmada Hidrolik 1 Hattı için belirgin emniyet ve çevresel sonuçlar grubuna giren hata türü olmadığından görevlerin kombinasyonu hata yönetimi stratejisi hat için uygulanabilir değildir.

• Hata Bulma Görevi Seçimi

Hata bulma görevi seçiminin teknik olarak uygunluğunun tespiti amacıyla oluşturulan kayıt dosyası Çizelge 19’da verilmiştir. Burada üçüncü veya dördüncü sorulara Evet yanıtının verilememesi, ele alınan hata türü için hata bulma görevi stratejisi uygulanamayacağı anlamına gelir. Bu durumda GMB karar diyagramında (Şekil 9) 8 veya 11 numara ile verilen “Planlı hata bulma görevi teknik olarak uygulanabilir ve yapılmaya değer mi?” sorusuna Hayır yanıtı verilerek karar diyagramında bir sonraki adıma geçilir.

Çizelge 19 Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası

Soru No	Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	Hata Kodu
1	Bakım görevi aralığı nedir?	
2	Bakım görevi nedir?	
3	Bakım görevi hata türünün kapsadığı tüm ekipmanların çalışma durumunda olduğunu doğrular mı?	
4	Bakım görevinin belirlenen aralıklarda yapılması fiziksel olarak mümkün mü?	
5	Bakım personeli düzeltici bakım görevi nedir?	
6	Bakım personeli düzeltici bakım görevi süresi nedir?	

HTEA’da tanımlanan baskın hata türlerinden gizli hata sonuçları grubuna giren ve planlı koşullu görev, planlı onarım görevi veya planlı ıskarta görevi hata yönetimi stratejisi uygulanamayan hataların tümü için Çizelge 19’da belirtilen kriterler değerlendirilmiştir ve çalışmada veri girişi yapılan örnek bir dosya Çizelge 20’de verilmiştir.

Hidrolik 1 Hattı GMB analizi ile altı adet hata türü için bir adedi operatör ve üç adedi bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere dört adet hata bulma görevi hata yönetimi stratejisi uygun görülmüştür (EK 2). Çizelge 20’de hata yönetimi stratejisi belirlenmek üzere ele alınan hata türü ve konumu “Hata Kodu” bilgisinden takip edilmektedir.

Çizelge 20 Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi

		Hata Kodu
Soru No	Hata Bulma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	H21-YMR-KÇ
1	Bakım görevi aralığı nedir?	A1
2	Bakım görevi nedir?	Yeni takılan keçeye ayar yapma vaktinin gelip gelmediği ve yağlama problemi olup olmadığı kontrol edilir.
3	Bakım görevi hata türünün kapsadığı tüm ekipmanların çalışır durumda olduğunu doğrular mı?	Evet
4	Bakım görevinin belirlenen aralıklarda yapılması fiziksel olarak mümkün mü?	Evet
5	Bakım personeli düzeltici bakım görevi nedir?	Yağ seviyesi, pnömatik hortumlar, filtre ve pnömatik fittingslerin işlevselliği kontrol edilir.
6	Bakım personeli düzeltici bakım görevi süresi nedir?	Min 15 dk Mak 30 dk (filtre değişimi dahil)

• Arızalanana Kadar Çalıştırma

Arızalanana kadar çalıştırma görevi seçiminin teknik olarak uygunluğunun tespiti amacıyla oluşturulan kayıt dosyası Çizelge 21’de verilmiştir. Burada tüm sorulara Hayır yanıtının verilmesi durumunda ele alınan hata türü için arızalanana kadar çalıştırma görevi stratejisi uygulanabilirken, Evet yanıtının verilmesi bu bakım görevinin uygulanamayacağı anlamına gelir ve tasarım değişikliği düşünülebilir.

Çizelge 21 Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası

		Hata Kodu
Soru No	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	
1	Belirgin hata türünün emniyet ve çevresel sonuçları var mı?	
2	Gizli hata türünün emniyet ve çevresel sonuçları var mı?	
3	Ekonomik sonuçları olan hata türü için maliyet etkin bir bakım görevi bulunabilir mi?	

HTEA’da tanımlanan baskın hata türlerinden belirgin veya gizli ekonomik sonuçlar grubuna giren ve uygulanabilir planlı koşullu, planlı onarım, planlı ıskarta veya planlı hata bulma görevi belirlenemeyen hata türleri için önleyici bakım görevi uygun değildir kararı alınmıştır ve bu durumda hatanın oluşmasına izin verildiğinden ilgili ekipman arızalanana kadar çalıştırılabilecektir. Çalışmada veri girişi yapılan örnek bir dosya Çizelge 22’de verilmiştir. Hidrolik 1 Hattı GMB analizi ile 45 adet hata türü için planlı bakım görevi uygun görülmemeyerek arızalanana kadar çalıştırma görevi hata yönetimi stratejisi uygun görülmüştür (EK 1). Çizelge 22’de hata yönetimi stratejisi belirlenmek üzere ele alınan hata türü ve konumu “Hata Kodu” bilgisinden takip edilmektedir.

Çizelge 22 Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri Kayıt Dosyası Örnek Veri Girişi

		Hata Kodu
Soru No	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi Teknik Uygunluk Kriterleri	H20-YMR-KÇ
1	Belirgin hata türünün emniyet ve çevresel sonuçları var mı?	Hayır
2	Gizli hata türünün emniyet ve çevresel sonuçları var mı?	
3	Ekonomik sonuçları olan hata türü için maliyet etkin bir bakım görevi bulunabilir mi?	Hayır

4.2.3.3.1.3. Hidrolik 1 Hattı GMB Karar Diyagramı Sonuçları

Hidrolik 1 Hattı için yürütülen çalışma kapsamında GMB karar diyagramından elde edilen hata sonuçları ve hata yönetimi stratejilerini gösteren özet tablo EK 1’de verilmiştir.

4.2.3.3.2. Hidrolik 1 Hattı Önleyici Bakım Planı

GMB ve TVB metotları ile Hidrolik 1 Hattı için belirlenen hata yönetimi stratejileri ve operatörün yetenekleri dahilindeki önleyici bakım görevlerinin kayıt altına alınması amacıyla oluşturulan önleyici bakım planı dosyası Çizelge 23'te verilmiştir.

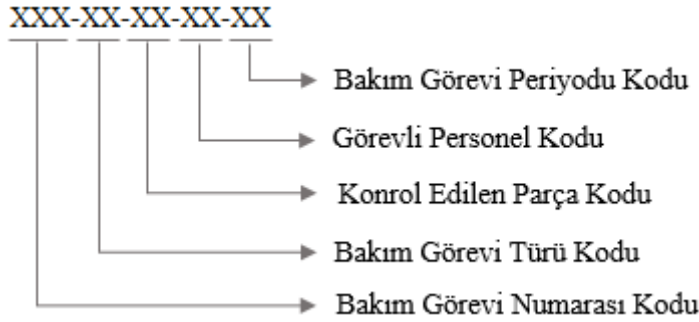
Çizelge 23 Önleyici Bakım Planı Dosyası

No	Bakım Kodu	Önleyici Bakım Görevi	Bakım Görevi Periyodu	Bakım Görevi Yöntemi	Bakım Görevi Süresi (dk/adet)	Bakım Görevi Tanımı	Ekipman	Görevli Personel	Bakım Görevi Türü	Hata Kodu

Önleyici bakım planı dosyasındaki veri giriş alanları aşağıda açıklandığı gibi doldurulmuştur:

No: Bakım görevi numarası

Bakım Kodu: Bakım görevinin özelliklerini tanımlayıcı kod (Şekil 21, Çizelge 27, Çizelge 10, Çizelge 26, Çizelge 24). Önleyici bakım görevi dosyasında kodda yer alan alanlara giriş yapıldığında bakım kodu otomatik olarak oluşturulmaktadır.



Şekil 21 Bakım Kodu Yapısı

Önleyici Bakım Görevi: Önleyici bakım görevinin kısa tanımı

Bakım Periyodu: Önleyici bakım görevinin gerçekleştirilme sıklığı (Çizelge 24)

Çizelge 24 Bakım Görevi Periyodu Kodları ve Açıklamaları

Bakım Görevi Periyodu Kodu	Bakım Görevi Periyodu
V1	Vardiyada bir kere
G1	Günde bir kere
H1	Haftada bir kere
A1	Ayda bir kere
3A1	Üç ayda bir kere
6A1	Altı ayda bir kere
Y1	Yılda bir kere
5Y1	Beş yılda bir kere

Bakım Görevi Yöntemi: Önleyici bakım görevinin hangi yolla gerçekleştirileceği (Çizelge 25)

Çizelge 25 Bakım Görevi Yöntemleri

Bakım Görevi Yöntemi
Destek Ekipmanıyla
El ve Gözle
Gözle
Sensör Okuma
Sistem Üzerinden
Şirket Desteğiyle

Bakım Görevi Süresi (dk/adet): Bir tane önleyici bakım görevinin gerçekleştirilme süresi

Bakım Görevi Tanımı: Önleyici bakım görevinin ayrıntılı açıklaması

Ekipman: Önleyici bakım görevinin gerçekleştirileceği ekipmanlar

Görevli Personel: Önleyici bakım görevini gerçekleştiren kişi (Çizelge 26)

Çizelge 26 Görevli Personel Kodları ve Açıklamaları

Görevli Personel Kodu	Görevli Personel
BM	Bakım Mühendisi
BP	Bakım Personeli
KD	Kurum Dışı
OP	Operatör

Bakım Görevi Türü: GMB analizi ile seçilen hata yönetimi stratejisi (Çizelge 27)

Çizelge 27 Bakım Görevi Türü Kodları ve Açıklamaları

Bakım Görevi Türü Kodu	Bakım Görevi Türü
PK	Planlı Koşullu Görev
IO	Planlı Iskarta veya Onarım Görevi
GK	Görevlerin Kombinasyonu
HB	Hata Bulma Görevi
AÇ	Arızalanana Kadar Çalıştırma

Hata Kodu: Arıza ve arızanın konumunu belirten kod (Şekil 19)

Hidrolik 1 Hattı için belirlenen hata yönetimi stratejileri ve operatörün yetenekleri dahilindeki önleyici bakım görevlerine ait oluşturulan Hidrolik 1 Hattı önleyici bakım planı EK 2’de verilmiştir.

Yalın üretim araçlarından biri olan TVB kapsamında operatörün ekipmanını sahiplenmesi amacıyla operatör için belirlenen otonom bakım görevleri için bakım kartları oluşturularak EK 3’te verilmiştir.

Bakım görevi türleri ve sayılarının bakımda görevli personele göre dağılımı Çizelge 28’de verilmiştir Bakım görevi periyoduna dayalı oluşturulan önleyici bakım planı özeti Çizelge 29’da sunulmuştur.

Çizelge 28 Bakım Görevi Türleri Dağılımı

Bakım Görevi Türü	Toplam Bakım Görevi Sayısı	Görevli Personel		
		Operatör	Bakım Personeli	Bakım Mühendisi
Planlı Koşullu Görev	11	10	-	1
Planlı Iskarta Görevi	1	-	1	-
Hata Bulma Görevi	4	1	3	-

Çizelge 29 Hidrolik 1 Hattı Önleyici Bakım Planı Özeti

Bakım Görevi Periyodu	Bakım Kodu	Bakım Görevi Süresi (dk/adet)
V1	B06-PK-PF-OP-V1	1
	B07-PK-KS-OP-V1	3
	B08-PK-YS-OP-V1	3
	B09-PK-ÜK-OP-V1	3
		Toplam: 10
H1	B02-PK-PD-OP-H1	5
	B03-PK-KD-OP-H1	5
	B11-PK-MT-BM-H1	10
	B16-PK-TK-OP-H1	10
		Toplam: 30
A1	B01-HB-KÇ-OP-A1	10
	B04-PK-LK-OP-A1	5
	B05-PK-RU-OP-A1	5
	B14-PK-MR-OP-A1	5
		Toplam: 25
3A1	B10-HB-AK-BP-3A1	300
	B12-HB-AÜ-BP-3A1	30
	B15-IO-HF-BP-3A1	15
		Toplam: 345
Y1	B13-HB-MT-BP-Y1	30
		Toplam: 30

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Sonuçlar

Yüksek üretim hacmine sahip olup karmaşık ve gelişmiş üretim sistemlerini de kullanan işletmeler için bakım yönetimi oldukça önemlidir. Özellikle arıza kaynaklı duruşlara bağlı olarak ekipman kullanılabilirliğinin azalması üretim verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Sunulan tez çalışmasında bir beyaz eşya işletmesindeki bakım yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla seçilen bir hidrolik pres üretim hattı için önleyici bakım planı oluşturulmuştur.

Çalışmaya, seçilen üretim hattında periyodik olarak gerçekleştirilen önleyici bakımların olmadığı ve arıza kaynaklı duruşların yaşandığı bilgisine göre mevcut durum analizi ile hat verimliliği incelenerek başlanmıştır. Bu amaçla TVB'nin ölçülebilir çıktısı olan TEE kullanılmıştır.

İşletmede hesaplanan TEE değerinin doğruluğu kontrol edilmiş ve hesaplama sırasında A ve Pr bileşenlerini kullanan işletme hesaplamalarına Q bileşeninin dahil edilmesinin sonuçları değiştirip değiştirmeyeceği incelenmiştir. Buna göre değerlendirmeye alınan ilgili dönemde işletmedeki TEE değerinin, hatalı veri girişi nedeniyle olduğundan düşük hesaplandığı belirlenmiştir. İlgili dönem için üretim hattının işletme tarafından hesaplanan, A ve Pr'ye dayalı TEE'si %79.57 iken çalışmada TEE'ye Q bileşeninin eklenmesi ile hattın TEE'si %82.31 olarak hesaplanmıştır. Buna göre duruş süresi verilerinin sistemde yanlış alana girilmesinin TEE değerini yanılttığı görülmüştür.

Hatalı veri girişi nedeniyle hatalı hesaplanan A bileşeni doğru hesaplınsaydı çalışmada hesaplanan değer ile aynı olacaktı ve TEE işletmedeki sistemde %83.10 olarak görülecekti. Bu değere Q dahil edildiğinde ise TEE'nin azaldığı (%82.69) açıkça görülebilir olacaktı. Bu durumda ise iki değer arasındaki farkın çok küçük olmasından dolayı işletmenin TEE'yi aynı yöntemle hesaplamasının sonuçları yanıltmayacağı yorumu yapılabilirdi.

Mevcut durum analizi sonucu TEE bileşenlerinden Pr %99.19 ve Q %99.51 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde ise hattın yüksek performansta çalıştığı ve yeterli oranda kaliteli üretim miktarına sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda üretim hattında yapılabilecek bir iyileştirme yalnızca A değerinin (A:%83.39) yükseltilmesiyle mümkün olabilecektir. Buna göre üretim hattının kullanılabilirliğinin (A) artırılması amacıyla plansız duruş kayıplarının azaltılması için GMB analizi ile hattın önleyici bakım ihtiyaçları belirlenmiş ve hat için önleyici bakım planı oluşturulmuştur.

GMB analizi ile üretim hattı için 16 tane önleyici bakım görevi belirlenmiştir. 27 hata türü için 10 adedi operatör ve bir adedi bakım mühendisi tarafından gerçekleştirilmek üzere 11 adet planlı koşullu görev, bir adet hata türü için bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere bir adet planlı ıskarta görevi ve altı adet hata türü için bir adedi operatör ve üç adedi bakım personeli tarafından gerçekleştirilmek üzere dört adet hata bulma görevi tanımlanmıştır. Buna göre hat için vardiyada bir, haftada bir ve ayda bir dört bakım görevi, üç ayda bir üç bakım görevi ve yılda bir de bir bakım görevi belirlenmiştir.

GMB analizi ile belirlenen bakım görevleri, TVB kapsamındaki otonom bakımın çalışmaya dahil edilmesi amacıyla bakımda görevli personellere göre gruplandırılmıştır. Operatöre otonom bakım yetkisi vermek üzere tanımlanan bakım görevleri için otonom bakım görevi kartları hazırlanmıştır. Böylece yalın üretimde üretim hattının görsel yardımcılarla desteklenmesi yaklaşımı da uygulanmıştır.

Sonuç olarak GMB analizi ile belirlenen önleyici bakım görevlerinin otonom bakım kapsamına girenleri ile operatörün ekipmanını sahiplenmesi amaçlanmıştır. GMB ve TVB metotları ile oluşturulan entegre bir bakım konsepti ile üretim hattında gerçekleşen plansız/beklenmeyen duruşların azalması ve böylece hattın üretimde geçen efektif süresinin artması beklenmektedir.

5.2. Değerlendirme

Çalışmada TVB ve GMB'nin birbirini tamamlayıcı doğasından yararlanılmıştır. TVB; otonom bakım kapsamında operatör tarafından uygulanması gereken önleyici bakım görevlerinin belirlenmesi amacıyla GMB analizine ihtiyaç duyarken, GMB analizi de belirlenen bakım görevlerinin işletme çapında uygulamaya alınması, eğitim süreçlerinin yürütülmesi vb. yönlerden TVB'ye ihtiyaç duymaktadır. Buna göre, bu iki farklı yöntem birlikte kullanıldığında birbirinin eksik yönlerini tamamlayarak bütüncül bir konsept oluşturmaktadır. Çalışmada oluşturulan bu entegre konsept ile iki yöntemin faydası artırılmış ve işletme çapında verimlilik artışı hedeflenmiştir.

Çalışma sonucu belirlenen otonom bakım görevlerinin işletmede uygulamaya alınması ise işletme içinde kültürel değişim ihtiyacı oluşturmaktadır. Bu durum TVB uygulamaları sırasında karşılaşılan zorluklardan biridir ve genellikle işletmelerde otonom bakım uygulamaları operatörler tarafından dirençle karşılanmaktadır. Bu nedenle etkili bir TVB uygulaması için operatörden yönetime kadar organizasyondaki tüm personel çalışmalara dahil edilmeli ve kültürel değişim bilinci oluşturulmalıdır.

Çalışmada oluşturulan önleyici bakım planının daha efektif kullanımı ve takibi amacıyla, işletmede yeni devreye alınmak üzere olan arıza takip sistemine entegre edilmesinin de faydalı olacağı düşünülmektedir. Operatöre verilecek bir el terminali ile otonom bakım görevlerinin önleyici bakım planında verilen bilgilerle bu sisteme aktarılması önerilmektedir. Böylece operatör bakım periyoduna göre otonom bakım görevlerini gerçekleştirerek bakım sonucunu el terminali üzerinden belirtebilir olacaktır. Operatör görev sırasında potansiyel hata tespiti yaptığında ise yakında arıza kaynaklı duruş olabileceği bilgisi sistemde oluşacaktır. Buna göre bakım personeli tarafından üretim hattı için düzeltici bakım hazırlıklarına başlanabilecektir. Çalışmada önerilen sistem entegrasyonunun uzun dönem faydaları ise operatör tarafından sisteme girilen başarısız otonom bakım görevi bilgisi ile zaman içinde üretim hattındaki hangi parçanın kaç parti üretim sonrası potansiyel hata seviyesine gelerek hattın arıza kaynaklı duruş noktasına yaklaştığı tespit edilebilecektir. Buna göre yedek parça stokları tekrar planlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abbasghorbani, M., Rajabi Mashhadi, H., Damchi, Y., 2014. Reliability-Centred Maintenance for Circuit Breakers in Transmission Networks. *IET Generation, Transmission & Distribution* 8, 1583–1590. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2013.0530>
- Afey, I., Mohib, A., El-kamash, A., Mahmoud, M., 2019. A New Framework of Reliability Centered Maintenance. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 175–190.
- Ahmad, N., Hossen, J., Ali, S.M., 2018. Improvement of Overall Equipment Efficiency of Ring Frame through Total Productive Maintenance: a Textile Case. *Int J Adv Manuf Technol* 94, 239–256. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0783-2>
- Ahmadi, A., Söderholm, P., Kumar, U., 2007. An Overview of Trends in Aircraft Maintenance Program Development: Past, Present, and Future 10.
- Alencar, M.H., De Almeida, A.T., 2015. A Multicriteria Decision Model for Assessment of Failure Consequences in the RCM Approach. *Mathematical Problems in Engineering* 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/729865>
- Alizadeh, A., Fereidunian, A., Moghimi, M., Lesani, H., 2021. Reliability-Centered Maintenance Scheduling Considering Failure Rates Uncertainty: A Two-Stage Robust Model. *IEEE Transactions on Power Delivery* 37, 1941–1951. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3101458>
- Al-Refaie, A., Lepkova, N., Çamlıbel, E., 2022. The Relationships Between the Pillars of TPM and TQM and Manufacturing Performance Using Structural Equation Modeling. *Sustainability* 14, 1497. <https://doi.org/10.3390/su14031497>
- Andersson, R., Manfredsson, P., Lantz, B., 2015. Total Productive Maintenance in Support Processes: An Enabler for Operation Excellence. *Total Quality Management & Business Excellence* 26, 1042–1055. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1068598>
- Arno, R., Dowling, N., Fairfax, S., Schuerger, R.J., Weber, J., 2015. What Is RCM and How Could It Be Applied to the Critical Loads? *IEEE Transactions on Industry Applications* 51, 2045–2053. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2379951>
- Attri, R., Grover, S., Dev, N., Kumar, D., 2013. An ISM Approach for Modelling the Enablers in the Implementation of Total Productive Maintenance (TPM). *Int J Syst Assur Eng Manag* 4, 313–326. <https://doi.org/10.1007/s13198-012-0088-7>

- Attri, R., Grover, S., Dev, N., Kumar, D., 2013. Analysis of Barriers of Total Productive Maintenance (TPM). *Int J Syst Assur Eng Manag* 4, 365–377. <https://doi.org/10.1007/s13198-012-0122-9>
- Attri, R., Grover, S., Dev, N., 2014. A Graph Theoretic Approach to Evaluate the Intensity of Barriers in the Implementation of Total Productive Maintenance (TPM). *International Journal of Production Research* 52, 3032–3051. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.860250>
- Azid, N.A.A., Shamsudin, S.N.A., Yusoff, M.S., Samat, H.A., 2019. Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012050.
- Balouei, J.H., Khazaei, P.J., Khaksar, S.M.S., Arabzad, S.M., Verij, K.R., 2018. Impacts of Computerized Maintenance Management System and Relevant Supportive Organizational Factors on Total Productive Maintenance. *Benchmarking: An International Journal* 25, 2230–2247. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2016-0072>
- Banciu, F.V., Feier, I.A., Leordean, S.C., 2022. The Practical Application of TPM Principles in the Case of an Electrostatic Painting Department. *Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering* 65, 995–1002.
- Bartz, T., Cezar Mairesse Siluk, J., Paula Barth Bartz, A., 2014. Improvement of Industrial Performance with TPM Implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 20, 2–19. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2012-0025>
- Bashar, A., Hasin, A.A., Jahangir, N., 2020. Linkage Between TPM, People Management and Organizational Performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering (JQME)* 28, 350–366. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2019-0105>
- Bataineh, O., Al-Hawari, T., Alshraideh, H., Dalalah, D., 2019. A Sequential TPM-Based Scheme for Improving Production Effectiveness Presented with a Case Study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 25, 144–161. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2017-0045>
- Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. P. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization And Management*. John Wiley & Sons.
- Ben-Daya, M., 2000. You May Need RCM to Enhance TPM Implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 6, 82–85. <https://doi.org/10.1108/13552510010328086>

- Binti Aminuddin, N.A., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., Antony, J., Rocha-Lona, L., 2016. An Analysis of Managerial Factors Affecting the Implementation and Use of Overall Equipment Effectiveness. *International Journal of Production Research* 54, 4430–4447. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055849>
- Bloom, N.B., 2006. *Reliability Centered Maintenance*. McGraw-Hill Companies, United States of America.
- Braglia, M., Castellano, D., Gallo, M., 2019. A Novel Operational Approach to Equipment Maintenance: TPM and RCM Jointly at Work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 25, 612–634. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D., Patrizi, G., 2020. Optimizing Maintenance Policies for a Yaw System Using Reliability-Centered Maintenance and Data-Driven Condition Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 69, 6241–6249. <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2968160>
- Chaabane, K., Schutz, J., Dellagi, S., Trabelsi, W., 2020. Analytical Evaluation of TPM Performance Based on an Economic Criterion. *Journal of Quality in Maintenance Engineering (JQME)* 27, 413–429. <https://doi.org/10.1108/JQME-08-2019-0085>
- Chambel, E., Gonçalves, P., Ferreira, L.A., 2023. Reliability-Based Maintenance Strategy for a Military Weapon System – A Case Study. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice* 30. <https://doi.org/10.23055/ijietap.2023.30.1.8255>
- Chen, C.-C., 2013. A Developed Autonomous Preventive Maintenance Programme Using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research* 51, 5404–5412. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.775521>
- Chikwendu, O.C., Chima, A.S., Edith, M.C., 2020. The Optimization of Overall Equipment Effectiveness Factors in a Pharmaceutical Company. *Heliyon* 6, e03796. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03796>
- Chlebus, E., Helman, J., Olejarczyk, M., Rosienkiewicz, M., 2015. A New Approach on Implementing TPM in a Mine – A Case Study. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 15, 873–884. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2015.07.002>
- Chyrster, C., Ford Motor, C., General Motor Company, 1995. *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, Second Edition.
- da Silva, R.F., Melani, A.H. de A., Michalski, M.A. de C., de Souza, G.F.M., 2023. Reliability and Risk Centered Maintenance: A Novel Method for Supporting Maintenance Management. *Applied Sciences* 13, 10605. <https://doi.org/10.3390/app131910605>

- Dehghanian, P., Fotuhi-Firuzabad, M., Aminifar, F., Billinton, R., 2013. A Comprehensive Scheme for Reliability Centered Maintenance in Power Distribution Systems—Part I: Methodology. *IEEE Transactions on Power Delivery* 761–770.
- Department of Defence, 1980. Procedures For Developing A Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, MIL-STD-1629A. Washington.
- Department of Defence, 1986. Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment, MIL-STD-2173(AS). Washington.
- Department of Defence, 2014. Reliability-Centered Maintenance (RCM) Process, MIL-STD-3034A. Washington.
- Dutta, S., Putcha, C., 2020. Risk Priority Number for Bridge Failures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 25, 04020010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000480](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000480)
- Enjavimadar, M., Rastegar, M., 2022. Optimal Reliability-Centered Maintenance Strategy Based on the Failure Modes and Effect Analysis in Power Distribution Systems. *Electric Power Systems Research* 203, 107647. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107647>
- Facchinetti, T., Citterio, G., 2022. Application of the Overall Equipment Effectiveness to a Service Company. *IEEE Access* 04, 1–30. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3211266>
- Fang, F., Zhao, Z.-J., Huang, C., Zhang, X.-Y., Wang, H.-T., Yang, Y.-J., 2019. Application of Reliability-Centered Maintenance in Metro Door System. *IEEE Access PP*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2960521>
- Fischer, K., Besnard, F., Bertling, L., 2012. Reliability-Centered Maintenance for Wind Turbines Based on Statistical Analysis and Practical Experience. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 184–195.
- Ford Motor Company, 2011. Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook Version 4.2. Ford Motor Company, Dearborn.
- Fore, S., Msipha, A., 2010. Preventive Maintenance Using Reliability Centred Maintenance (RCM): A Case Study of a Ferrochrome Manufacturing Company. *The South African Journal of Industrial Engineering* 207–235.
- Fore, S., Mudavanhu, T., 2011. Application of RCM for a Chipping and Sawing Mill. *Journal of Engineering, Design and Technology* 9, 204–226. <https://doi.org/10.1108/17260531111151078>
- Fraser, K., 2014. Facilities Management: The Strategic Selection of a Maintenance System. *Journal of Facilities Management* 12, 18–37. <https://doi.org/10.1108/JFM-02-2013-0010>

- Fuentes-Huerta, M.A., González-González, D.S., Cantú-Sifuentes, M., Praga-Alejo, R.J., 2021. Fuzzy Reliability Centered Maintenance Considering Personnel Experience and Only Censored Data. *Computers & Industrial Engineering* 158, 107440. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107440>
- Gajdzik, B., 2014. Autonomous and Professional Maintenance in Metallurgical Enterprise as Activities within Total Productive Maintenance. *Metalurgija* 53, 269–272.
- Gelaw, M.T., Azene, D.K., Berhan, E., 2023. Assessment of Critical Success Factors, Barriers and Initiatives of Total Productive Maintenance (TPM) in Selected Ethiopian Manufacturing Industries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2022-0073>
- Ghorani, R., Fotuhi-Firuzabad, M., Dehghanian, P., Li, W., 2015. Identifying Critical Components for Reliability Centred Maintenance Management of Deregulated Power Systems. *IET Generation, Transmission & Distribution* 9. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2014.0361>
- Gligorijevic, J., Gajic, D., Brkovic, A., Savic-Gajic, I., Georgieva, O., Di Gennaro, S., 2016. Online Condition Monitoring of Bearings to Support Total Productive Maintenance in the Packaging Materials Industry. *Sensors* 16, 316. <https://doi.org/10.3390/s16030316>
- Gupta, G., Mishra, R.P., 2016. A SWOT Analysis of Reliability Centered Maintenance Framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 22, 130–145. <https://doi.org/10.1108/JQME-01-2015-0002>
- Gupta, G., Mishra, R., 2016. An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 23, 1640010. <https://doi.org/10.1142/S0218539316400106>
- Habidin, N.F., Hashim, S., Fuzi, N.M., Salleh, M.I., 2018. Total Productive Maintenance, Kaizen Event, and Performance. *International Journal of Quality & Reliability Management* 35, 1853–1867. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2017-0234>
- Hansson, J., Backlund, F., Lycke, L., 2003. Managing Commitment: Increasing the Odds for Successful Implementation of TQM, TPM or RCM. *International Journal of Quality & Reliability Management* 20, 993–1008. <https://doi.org/10.1108/02656710310500815>
- Hockley, C.J., Zagorecki, A.T., Lacey, L.J., 2011. Enabling Support Solutions in the Defence Environment, in: Ng, I., Parry, G., Wild, P., McFarlane, D., Tasker, P. (Eds.), *Complex Engineering Service Systems: Concepts and Research*, Decision Engineering. Springer, London, pp. 257–276. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-189-9_14

- Hooi, L.W., Leong, T.Y., 2017. Total Productive Maintenance and Manufacturing Performance Improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 23, 2–21. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2015-0033>
- Ighravwe, D.E., Oke, S.A., 2020. Sustenance of Zero-Loss on Production Lines Using Kobetsu Kaizen of TPM with Hybrid Models. *Total Quality Management & Business Excellence* 31, 112–136. <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1415754>
- International Electrotechnical Commission, 2009. Dependability Management - Part 3-11: Application Guide - Reliability Centred Maintenance, IEC 60300-3-11. Switzerland.
- International Electrotechnical Commission, 2018. Failure Modes And Effects Analysis, BS EN IEC 60812:2018. British Standards Institution, Brussels.
- Jaqin, C., Rozak, A., Purba, H., 2020. Case Study in Increasing Overall Equipment Effectiveness on Progressive Press Machine Using Plan-Do-Check-Act Cycle. *International Journal of Engineering (IJE)* 33, 2245–2251. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.11b.16>
- Jiang, X., Duan, F., Tian, H., Wei, X., 2015. Optimization of Reliability Centered Predictive Maintenance Scheme for Inertial Navigation System. *Reliability Engineering & System Safety* 140, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.04.003>
- Kamath, N., Rodrigues, L., 2016. TPM Leading to Total Production Management. *Indian Journal of Applied Research* 4, 476–479.
- Kennedy, R., 2005. Examining the Processes of RCM and TPM. The Plant Maintenance Resource Center, The Centre for TPM (Australasia).
- Keynia, F., Mirhosseini, M., Heydari, A., Fekih, A., 2022. A Budget Allocation and Programming-Based RCM Approach to Improve the Reliability of Power Distribution Networks. *Energy Reports* 8, 5591–5602. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.04.029>
- Khalfallah, M., Lakhil, L., 2021. The Relationships Between TQM, TPM, JIT and Agile Manufacturing: an Empirical Study in Industrial Companies. *The TQM Journal* 33, 1735–1752. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2020-0306>
- Kianfar, A., Kianfar, F., 2010. Plant Function Deployment via RCM and QFD. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 16, 354–366. <https://doi.org/10.1108/13552511011084517>
- Kral, V., Rusek, S., Gono, R., 2011. A Description of Software Setermining Optimum Maintenance Sequence for 110 kV Power Circuit Breakers with SF6.

- Kumar, J., Kumar Soni, V., Agnihotri, G., 2014. Impact of TPM Implementation on Indian Manufacturing Industry. *International Journal of Productivity and Performance Management (IJPPM)* 63, 44–56. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2012-0051>
- Lee, J.W., Kim, S.W., 2022. Reliability-Centered Maintenance Strategy for Redundant Power Networks Using the Cut Set Method. *J. Electr. Eng. Technol.* 17, 1615–1621. <https://doi.org/10.1007/s42835-022-01031-4>
- Li, Z., Wang, K., He, Y., 2016. Industry 4.0 - Potentials for Predictive Maintenance. <https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.8>
- Maculan Filho, N., 2015. Decisions on Priority Assignment for Maintenance Planning, in: *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*, International Series in Operations Research & Management Science. Springer, New York, pp. 335–349.
- Marcello, B., Davide, C., Marco, F., Roberto, G., Leonardo, M., Luca, P., 2020. An Ensemble-Learning Model for Failure Rate Prediction. *Procedia Manufacturing, International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019)* 42, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.022>
- Martins, L., Pimentel, C., Casais, R.B., Campilho, R., 2020. Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing* 51, 1551–1558. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>
- Mendes, D., Gaspar, P., Charrua Santos, F., Navas, H., 2023. Integrating TPM and Industry 4.0 to Increase the Availability of Industrial Assets: A Case Study on a Conveyor Belt. *Processes* 11, 1956. <https://doi.org/10.3390/pr11071956>
- Mkandawire, B.O., Ijumba, N., Saha, A., 2015. Transformer Risk Modelling by Stochastic Augmentation of Reliability-Centred Maintenance. *Electric Power Systems Research* 119, 471–477. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.11.005>
- Modgil, S., Sharma, S., 2016. Total Productive Maintenance, Total Quality Management and Operational Performance an Empirical Study of Indian Pharmaceutical Industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 22, 353–377. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2015-0048>
- Morales Méndez, J.D., Rodriguez, R.S., 2017. Total Productive Maintenance (TPM) as a Tool for Improving Productivity: a Case Study of Application in the Bottleneck of an Auto-Parts Machining Line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 92, 1013–1026. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>

- Mungani, D., Visser, K., 2013. Maintenance Approaches for Different Production Methods. South African Journal of Industrial Engineering 24, 1–13. <https://doi.org/10.7166/24-3-700>
- Munir, M.A., Zaheer, M.A., Haider, M., Rafique, M.Z., Rasool, M.A., Amjad, M.S., 2019. Problems and Barriers Affecting Total Productive Maintenance Implementation. Engineering, Technology & Applied Science Research 9, 4818–4823. <https://doi.org/10.48084/etasr.3082>
- Musthopa, Harsanto, B., Yunani, A., 2023. Electric Power Distribution Maintenance Model for Industrial Customers: Total Productive Maintenance (TPM), Reliability-Centered Maintenance (RCM), and Four-Discipline Execution (4DX) Approach. Energy Reports 10, 3186–3196. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.129>
- Nakajima, S., 1988. Introduction to TPM. Productivity Press Inc., Portland, Oregon.
- Naval Air System Command, 2016. The Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process, NAVAIR 00-25-403. Naval Air Systems Command.
- Ndjenja, L., Visser, J.K., 2015. Development of a Maintenance Strategy for Power Generation Plants. SAIEE Afr. Res. J. 106, 132–140. <https://doi.org/10.23919/SAIEE.2015.8531939>
- Ng, K., Goh, G., Eze, U., 2012. Barriers in Total Productive Maintenance Implementation in a Semiconductor Manufacturing Firm: A Case Study. Presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 377–381. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2012.6837765>
- Niu, G., Yang, B.-S., Pecht, M., 2010. Development of an Optimized Condition-Based Maintenance System by Data Fusion and Reliability-Centered Maintenance. Reliability Engineering & System Safety - RELIAB ENG SYST SAFETY 95, 786–796. <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.02.016>
- Nowlan, F.S., Heap, H.F., 1978. Reliability-Centered Maintenance. Dolby Access Press 476.
- Okwuobi, S., Ishola, F., Ajayi, O., Salawu, E., Aworinde, A., Olatunji, O., Akinlabi, S., 2018. A Reliability-Centered Maintenance Study for an Individual Section-Forming Machine. Machines 6, 50. <https://doi.org/10.3390/machines6040050>
- Oleghe, O., Salonitis, K., 2019. The Application of a Hybrid Simulation Modelling Framework as a Decision-Making Tool for TPM Improvement. Journal of Quality in Maintenance Engineering 25, 476–498. <https://doi.org/10.1108/JQME-06-2018-0056>
- Ondra, P., 2022. The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness. JOC 14, 113–132. <https://doi.org/10.7441/joc.2022.03.07>

- Palomino-Valles, A., Tokumori-Wong, M., Castro, P., Raymundo-Ibañez, C., Mateos, F., 2020. TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the Construction Sector. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 796, 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012008>
- Parikh, Y., Mahamuni, P., 2015. Total Productive Maintenance: Need & Framework. IJIRAE, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering 126–130.
- Park, G.-P., Heo, J.-H., Lee, S.-S., Yoon, Y.-T., 2011. Generalized Reliability Centered Maintenance Modeling Through Modified Semi-Markov Chain in Power System. Journal of Electrical Engineering and Technology 6, 25–31. <https://doi.org/10.5370/JEET.2011.6.1.025>
- Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., Frédéric, K., 2019. Improvement Indicators for Total Productive Maintenance Policy. Control Engineering Practice 82, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- Piechnicki, F., Dos Santos, C.F., De Freitas Rocha Loures, E., Dos Santos, E.A.P., 2021. Data Fusion Framework for Decision-Making Support in Reliability-Centered Maintenance. Journal of Industrial and Production Engineering 38, 1–17. <https://doi.org/10.1080/21681015.2020.1817164>
- Rafiei, M., Khooban, M.-H., Igder, M.A., Boudjadar, J., 2020. A Novel Approach to Overcome the Limitations of Reliability Centered Maintenance Implementation on the Smart Grid Distance Protection System. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs 67, 320–324. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2019.2905639>
- Rah, J.-E., Manger, R.P., Yock, A.D., Kim, G.-Y., 2016. A Comparison of Two Prospective Risk Analysis Methods: Traditional FMEA and a Modified Healthcare FMEA. Medical Physics 43, 6347–6353. <https://doi.org/10.1118/1.4966129>
- Ramos, E., Mesia, R., Alva, C., Miyashiro, R., 2020. Applying Lean Maintenance to Optimize Manufacturing Processes in the Supply Chain: A Peruvian Print Company Case 9.
- Ravaghi Ardabili, H.A., Haghifam, M.-R., Abedi, S.M., 2021. A Probabilistic Reliability-Centred Maintenance Approach for Electrical Distribution Networks. IET Generation, Transmission & Distribution 15, 1070–1080. <https://doi.org/10.1049/gtd2.12081>
- Reis, M.D.O. dos, Godina, R., Pimentel, C., Silva, F.J.G., Matias, J.C.O., 2019. A TPM Strategy Implementation in an Automotive Production Line Through Loss Reduction. Procedia Manufacturing, 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2019), June 24-28, 2019, Limerick, Ireland, Beyond

- Industry 4.0: Industrial Advances, Engineering Education and Intelligent Manufacturing 38, 908–915. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.173>
- Roosefert Mohan, T., Preetha Roselyn, J., Annie Uthra, R., Devaraj, D., Umachandran, K., 2021. Intelligent Machine Learning Based Total Productive Maintenance Approach for Achieving Zero Downtime in Industrial Machinery. *Computers & Industrial Engineering* 157, 107267. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107267>
- Sahoo, S., 2019. Assessment of TPM and TQM Practices on Business Performance: a Multi-Sector Analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering (JQME)* 25, 412–434. <https://doi.org/10.1108/JQME-06-2018-0048>
- Samadhiya, A., Agrawal, R., Garza-Reyes, J.A., 2022. Integrating Industry 4.0 and Total Productive Maintenance for Global Sustainability. *The TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-05-2022-0164>
- Selvik, J.T., Aven, T., 2011. A Framework for Reliability and Risk Centered Maintenance. *Reliability Engineering & System Safety* 96, 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.08.001>
- Sethi, A., Chutima, P., 2019. The Application of FMEA to Study the Critical Barriers to Deploying Carbon Capture and Storage in a Thai Petroleum Refinery. Chulalongkorn University, Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD).
- Shaaban, M.S., Awani, A.H., 2014. Critical Success Factors for Total Productive Manufacturing (TPM) Deployment at Egyptian FMCG Companies. *Journal of Manufacturing Technology Management* 25, 393–414. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2012-0088>
- Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., McDermott, O., 2023. A Total Productive Maintenance & Reliability Framework for an Active Pharmaceutical Ingredient Plant Utilising Design for Lean Six Sigma. *Heliyon* 9, e20516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
- Shinde, D., Prasad, R., 2018. Application of AHP for Ranking of Total Productive Maintenance Pillars. *Wireless Personal Communications* 100, 449–462. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-5084-4>
- Sifonte, J.R., Reyes-Picknell, J.V., 2017. *Reliability Centered Maintenance-Reengineered*. CRC Press, Newyork.
- Šijački-Žeravčić, V., Bakic, G., Djukic, M., Markovic, D., Rajicic, B., 2010. Contemporary Maintenance Management of Power Plant Life Exhaustion Components. *Technics Technologies Education Management* 5, 431–436.

- Singh Amin, S., Atre, R., Vardia, A., Gupta, V.D.K., Sebastian, B., 2013. Indigenous Development amongst Challenges: Munjal Showa Limited and the Implementation of Total Productive Maintenance. *International Journal of Productivity and Performance Management* 62, 323–338. <https://doi.org/10.1108/17410401311309212>
- Singh, A.P., Awoke, N.F., 2023. Relationship Between TPM Practices and Operational Performance in Soft Drinks Manufacturing Industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 29, 729–762. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2022-0067>
- Singh, K., Ahuja, I.S., 2014. Effectiveness of TPM Implementation with and without Integration with TQM in Indian Manufacturing Industries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 20, 415–435. <https://doi.org/10.1108/JQME-01-2013-0003>
- Sinha, R.S., Mukhopadhyay, A.K., 2015. Reliability Centered Maintenance of Cone Crusher: a Case Study. *Int J Syst Assur Eng Manag* 6, 32–35. <https://doi.org/10.1007/s13198-014-0240-7>
- Smith, A.M., Hinchcliffe, G.R., 2003. RCM–Gateway To World Class Maintenance. Elsevier, United States of America.
- Society of Automotive Engineers, 1999. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, JA1011. SAE Inc., Warrendale.
- Society of Automotive Engineers, 2002. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, JA1012. SAE Inc., Warrendale.
- Song, M., Zhang, X., Lind, M., 2023. Automatic Identification of Maintenance Significant Items in Reliability Centered Maintenance Analysis by Using Functional Modeling and Reasoning. *Computers & Industrial Engineering* 182, 109409. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109409>
- Sönmez, V., Testik, C., 2015. Sürekli Üretim Yapan Sistemler için Performans Yönetim Sistemi Tasarımı.
- Stuchlý, V., Poprocký, R., Čuboňová, N., Kuric, I., 2018. Proposal of Content Maintenance of CNC Machine Using Methods Reliability Centered Maintenance. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* 12, 126–133. <https://doi.org/10.12913/22998624/92094>
- Supsomboon, S., Hongthanapach, K., 2014. A Simulation Model for Machine Efficiency Improvement Using Reliability Centered Maintenance: Case Study of Semiconductor Factory. *Modelling and Simulation in Engineering* 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/956182>

- Suryono, M., Rosyidi, C., 2018. Reliability Centred Maintenance (RCM) Analysis of Laser Machine in Filling Lithos at PT X. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 319, 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/319/1/012020>
- Suthep, B., Kullawong, T., 2015. Combining Reliability-Centered Maintenance with Planning Methodology and Applications in Hard Chrome Plating Plants. IJTech - International Journal of Technology 6, 442–451.
- Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., Zou, Z., 2017. A Framework for Identification of Maintenance Significant Items in Reliability Centered Maintenance. Energy 118, 1295–1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>
- Toke, L.K., Kalpande, S.D., 2023. An Assessment of Key Performance Indicators and its Relationship for Implementation of Total Productive Maintenance in Manufacturing Sector. Int J Interact Des Manuf 17, 1741–1753. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01252-5>
- Tortorella, G., Saurin, T., Fogliatto, F., Tlapa, D., Moyano-Fuentes, J., Gaiardelli, P., Seyedghorban, Z., Vassolo, R., Cawley, A., Sunder M, V., Sreedharan, V.R., Sena, S., Forstner, F., Macias de Anda, E., 2022. Digitalization of Maintenance: Exploratory Study on the Adoption of Industry 4.0 Technologies and Total Productive Maintenance Practices. Production Planning and Control. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2083996>
- Tsarouhas, P., 2018. Improving Operation of the Croissant Production Line through Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Case Study. International Journal of Productivity and Performance Management (IJPPM) 68, 88–108. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0060>
- van Jaarsveld, W., Dekker, R., 2011. Spare Parts Stock Control for Redundant Systems Using Reliability Centered Maintenance Data. Reliability Engineering & System Safety 96, 1576–1586. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.06.015>
- Vaz, E., Vieira De Sá, J.C., Santos, G., Correia, F., Ávila, P., 2021. The Value of TPM for Portuguese Companies. Journal of Quality in Maintenance Engineering 29, 286–312. <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2020-0121>
- Wenyuan, L., 2014. Reliability-Centered Maintenance, in: Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods, and Applications. Wiley-IEEE Press, pp. 351–367.
- Wickramasinghe, G.L.D., Perera, A., 2016. Effect of Total Productive Maintenance Practices on Manufacturing Performance: Investigation of Textile and Apparel

- Manufacturing Firms. *Journal of Manufacturing Technology Management* 27, 713–729.
<https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2015-0074>
- Woodhouse, J., 2001. Combining the Best Bits of RCM, RBI, TPM, TQM, Six-Sigma and Other Solutions. The Woodhouse Partnership Ltd.
- Xiang, Z., Chin, J., 2021. Implementing Total Productive Maintenance in a Manufacturing Small or Medium-Sized Enterprise. *JIEM* 14, 152–175.
<https://doi.org/10.3926/jiem.3286>
- Yang, X., He, Y., Zhou, D., Zheng, X., 2022. Mission Reliability–Centered Maintenance Approach Based on Quality Stochastic Flow Network for Multistate Manufacturing Systems. *Eksploratacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 24, 455–467.
<https://doi.org/10.17531/ein.2022.3.7>
- Yang, Y.-J., Zhang, X.-Y., Zhao, Z., Wang, G., He, Y.-J., Wu, Y.-L., Li, J., 2020. Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System. *IEEE Access* PP, 1–1.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980630>
- Yang, Y., Yang, B., 2023. Employee Participation in Total Productive Maintenance – a Bottom-up Perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management* ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2022-0353>
- Yousaf, M.U., Aized, T., Shabbir, A., Ahmad, M., Nabi, H.Z., 2023. Automobile Rear Axle Housing Design and Production Process Improvement Using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *Engineering Failure Analysis* 154, 107649.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107649>
- Yssaad, B., Khiat, M., Chaker, A., 2014. Reliability Centered Maintenance Optimization for Power Distribution Systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>
- Yu, P., Fu, W., Wang, L., Zhou, Z., Wang, G., Zhang, Z., 2021. Reliability-Centered Maintenance for Modular Multilevel Converter in HVDC Transmission Application. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics* 9, 3166–3176.
<https://doi.org/10.1109/JESTPE.2020.3009389>
- Yuniarto, H.A., Baskara, I., 2017. Development of Procedure for Implementing Reliability Centred Maintenance in Geothermal Power Plant. Presented at the World Congress on Engineering and Computer Science 2017.

- Zakikhani, K., Nasiri, F., Zayed, T., 2020. Availability-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Gas Transmission Pipelines. International Journal of Pressure Vessels and Piping 183, 104105. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104105>
- Zubair, M., Maqsood, S., Habib, T., Jan, Q., Nadir, U., Waseem, M., Yaseen, M., 2021. Manufacturing Productivity Analysis by Applying Overall Equipment Effectiveness Metric in a Pharmaceutical Industry. Cogent Engineering 8, 1953681. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1953681>

EKLER

EK 1 – Hidrolik 1 Hattı GMB Analizi Sonuçları

Hata Kodu	RÖS	GMB Karar Diyagramı Cevaplar	Hata Sonucu	Hata Yönetimi Stratejisi
H21-YMR-KÇ	168	HHHEHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H20-YMR-KÇ	168	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-SBR-PD	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H18-SBR-LR	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-SBR-LK	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-TR1-PD	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H18-TR1-LR	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-TR1-LK	162	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-SBR-KD	144	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H18-SBR-LR	144			
H01-TR1-KD	144	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-TR1-PD	126			
H18-TR1-LR	126			
H07-SBR-VJ	112	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-SBR-VS	112	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-KY3-RU	112	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H07-TR1-VJ	112	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-PR1-KP	108	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-SBR-PF	96	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H30-SBR-VZ	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H30-TR1-VZ	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H16-PR1-SS	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H16-PR2-SS	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H23-PR2-EN	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H16-PR3-SS	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H23-PR3-EN	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H16-PR4-SS	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H23-PR4-EN	96	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-SBR-HH	90	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H07-TR1-HH	90	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H08-PR1-KS	90	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H09-PR1-ÜK	90	HHHEE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H08-PR1-YS	90	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H09-PR1-AK	90	HHHEE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H03-PR1-AK	90	HHHHHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H07-SBR-PS	84	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H12-PR1-MT	84	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H10-PR1-AÜ	81	HHHHHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H26-PR1-EŞ	81	HHHEE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev

Hata Kodu	RÖS	GMB Karar Diyagramı Cevaplar	Hata Sonucu	Hata Yönetimi Stratejisi
H07-SBR-SM	72	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H13-KY3-PV	72	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-KY3-VF	72	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-TR1-RD	72	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H28-PR1-MT	72	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-PR1-MT	72	HHHEHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H03-PR1-ÜK	72	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H05-PR1-AÜ	72	HHHHHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H09-PR1-ÖD	72	HHHEE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H29-PR1-ÖD	72	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-SBR-PF	64			
H18-KY1-MR	64	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H01-KY1-MR	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-YMR-YB	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-YMR-MR	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-YMR-MR	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-YMR-ML	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-TR1-PF	64	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H18-PR1-HP	64	HHHEHHH	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-PR1-HP	64	HHHEHHH	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-PR1-PP	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-PR1-PP	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-PR1-SP	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-PR1-SP	64	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-PR1-ÖD	63	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H03-PR1-ÖD	63	HHHHHHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Hata Bulma Görevi
H17-KY3-PÜ	60	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-SBR-RD	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-KY1-MT	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-KY1-RD	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-YMR-MT	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-YMR-RD	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-TR1-SM	56	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H01-PR1-ZD	56	HHHEHHH	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-TR1-VS	49	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-SBR-PT	48	EHHHHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H07-SBR-PV	48	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H18-KY1-RU	48	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H18-YMR-RU	48	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H19-PR1-HF	48	HHHEHE	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Planlı Iskarta veya Onarım Görevi
H07-PR1-TP	48	HHHEHHH	Gizli Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi
H25-PR1-HV	45	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev
H27-KY3-PV	42	EHHEHH	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Arızalanana Kadar Çalıştırma Görevi

Hata Kodu	RÖS	GMB Karar Diyagramı Cevaplar	Hata Sonucu	Hata Yönetimi Stratejisi
H20-TR1-TK	42	EHHEE	Belirgin Ekonomik Sonuçlar	Planlı Koşullu Görev

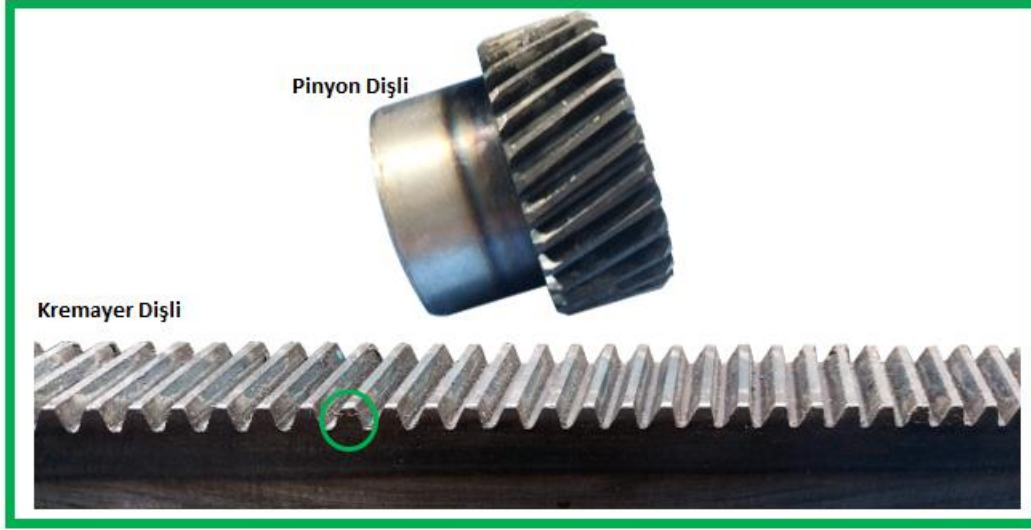
EK 2 – Hidrolik 1 Hattı Önleyici Bakım Planı

No	Bakım Kodu	Önleyici Bakım Görevi	Bakım Görevi Periyodu	Bakım Görevi Yöntemi	Bakım Görevi Süresi (dk/adet)	Bakım Görevi Tanımı	Ekipman	Görevli Personel	Bakım Görevi Türü	Hata Kodu
1	B01-HB-KÇ-OP-A1	Keçe İşlevsellik Kontrolü	A1	Gözle	10	Yeni takılan keçeye ayar yapma vaktinin gelip gelmediği ve yağlama problemi olup olmadığı kontrolü	YMR	Operatör	Hata Bulma Görevi	H21-YMR-KÇ
2	B02-PK-PD-OP-H1	Pinyon Dişli Kontrolü	H1	Gözle	5	Diş kalınlığına bağlı aşınma seviyesi tespiti	SBR, TR1/2/3/4/5	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H01-SBR-PD H01-TR1-PD
3	B03-PK-KD-OP-H1	Kremayer Dişli Kontrolü	H1	Gözle	5	Diş kalınlığına bağlı aşınma seviyesi tespiti	SBR, TR1/2/3/4/5	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H01-SBR-KD H01-TR1-KD
4	B04-PK-LK-OP-A1	Lineer Kızak Kontrolü	A1	Ei ve Gözle	5	Yüzey deformasyonuna bağlı aşınma seviyesi tespiti	SBR, TR1/2/3/4/5	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H01-SBR-LK H18-SBR-LR H18-TR1-LR H01-TR1-LK
5	B05-PK-RU-OP-A1	Mil Kontrolü	A1	Gözle	5	Yüzey deformasyonu tespiti	KY1/2/3, KÇ1/2, YMR	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H18-KY3-RU H18-KY1-RU H18-YMR-RU
6	B06-PK-PF-OP-V1	Basınç/Kaçak Kontrolü	V1	Sensör Okuma	1	Vakum jeneratörü sensörü üzerinden basınç seviyesi tespiti	SBR, TR1/2/3/4/5	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H18-SBR-PF H07-SBR-HH H07-TR1-HH H18-TR1-PF
7	B07-PK-KS-OP-V1	Dış Koç Pozisyon Değeri Kontrolü	V1	Sistem Üzerinden	3	Dış koç pozisyon değerinin 678'de sabit kaldığının tespiti	PR1/2/3/4	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H08-PR1-KS
8	B08-PK-YS-OP-V1	Alt Tabla Pozisyon Değeri Kontrolü	V1	Sistem Üzerinden	3	Alt tabla pozisyon değerinin 328'de sabit kaldığının tespiti	PR1/2/3/4	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H08-PR1-YS

No	Bakım Kodu	Önleyici Bakım Görevi	Bakım Görevi Periyodu	Bakım Görevi Yöntemi	Bakım Görevi Süresi (dk/adet)	Bakım Görevi Tanımı	Ekipman	Görevli Personel	Bakım Görevi Türü	Hata Kodu
9	B09-PK-ÜK-OP-V1	Yağ Seviyesi Kontrolü	V1	Sistem Üzerinden	3	Yağ seviyesinin 250 bandında olduğunun tespiti	PR1/2/3/4	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H09-PR1-ÜK H09-PR1-AK H26-PR1-EŞ H09-PR1-ÖD
10	B10-HB-AK-BP-3A1	Bağlantı Cıvataları (Alt Kalıp Silindiri, Üst kalıp Silindiri, Koç, Ön Dolum Valfi) Kontrolü	3A1	Destek Ekipmanıyla	300	Alt kalıp silindir, üst kalıp silindir, koç ve ön dolum valfi bağlantı cıvatalarının sağlamlık tespiti	PR1/2/3/4	Bakım Personeli	Hata Bulma Görevi	H03-PR1-AK H03-PR1-ÜK H03-PR1-ÖD
11	B11-PK-MT-BM-H1	Motor Gücü Kontrolü	H1	Sistem Üzerinden	10	Motor gücü değerinin süreklilikte ilgili sınırlar içinde kalmasının tespiti	PR1/2/3/4	Bakım Mühendisi	Planlı Koşullu Görev	H12-PR1-MT H28-PR1-MT
12	B12-HB-AÜ-BP-3A1	Akümülatör Kontrolü	3A1	Destek Ekipmanıyla	30	Akümülatör bileşenleri işlevsellik tespiti	PR1/2/3/4	Bakım Personeli	Hata Bulma Görevi	H10-PR1-AÜ H05-PR1-AÜ
13	B13-HB-MT-BP-Y1	Motor Mili Kaması Kontrolü	Y1	Gözle	30	Motor mili kamasının sağlamlık tespiti	PR1/2/3/4	Bakım Personeli	Hata Bulma Görevi	H01-PR1-MT
14	B14-PK-MR-OP-A1	Merdane Rulman Arası Kesit Kontrolü	A1	Gözle	5	Merdanenin rulmana giren kısmının çap kalınlığı tespiti	KY1/2/3, KÇ1/2	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H18-KY1-MR
15	B15-IO-HF-BP-3A1	Yağ Analizi	3A1	Destek Ekipmanıyla Şirket Desteğiyle	15	Yağ tankından alınan numune yağın kirlilik seviyesi tespitine bağlı filtre değişimi	PR1	Bakım Personeli	Planlı Iskarta veya Onarım	H19-PR1-HF H25-PR1-HV
16	B16-PK-TK-OP-H1	Triger Kayış Kontrolü	H1	Gözle	10	Triger kayışın yıpranma seviyesi tespiti	TR1/2/3/4/5	Operatör	Planlı Koşullu Görev	H20-TR1-TK

EK 3 – Hidrolik 1 Hattı Otonom Bakım Görev Kartları

OLMASI GEREKEN

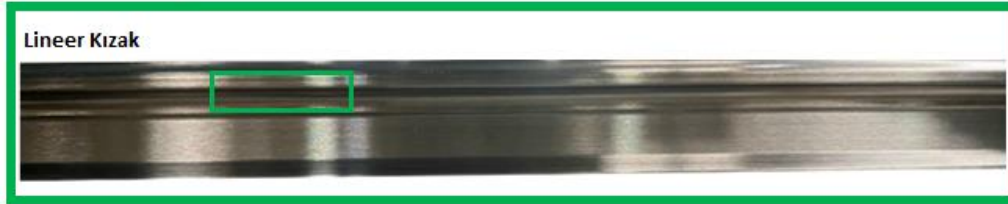


ARIZA YAKIN !!!

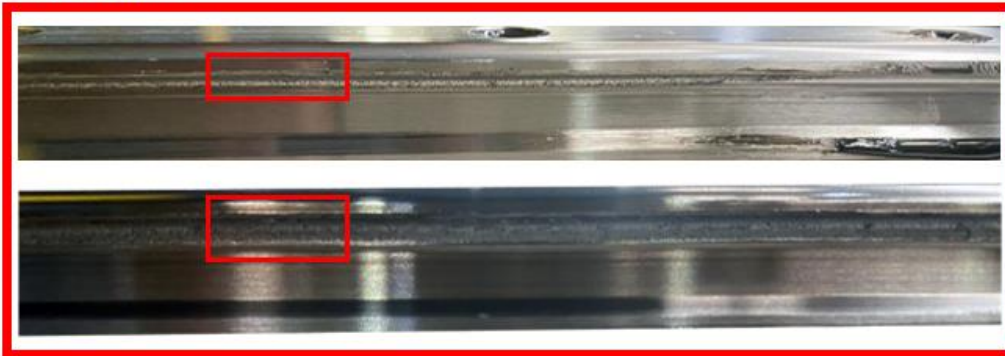


Şekil 22 B02-PK-PD-OP-H1 ve B03-PK-KD-OP-H1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN



ARIZA YAKIN !!!

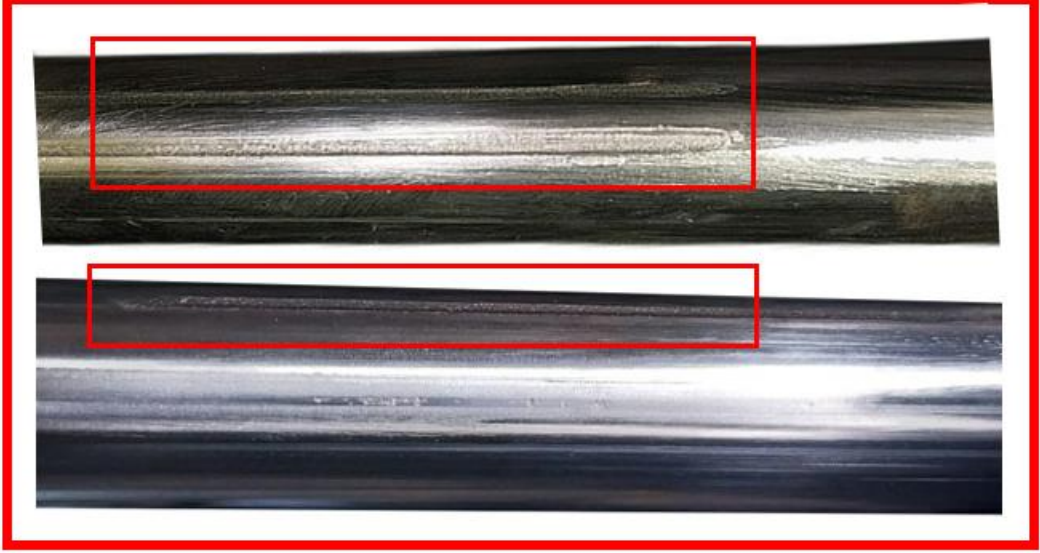


Şekil 23 B04-PK-LK-OP-A1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN

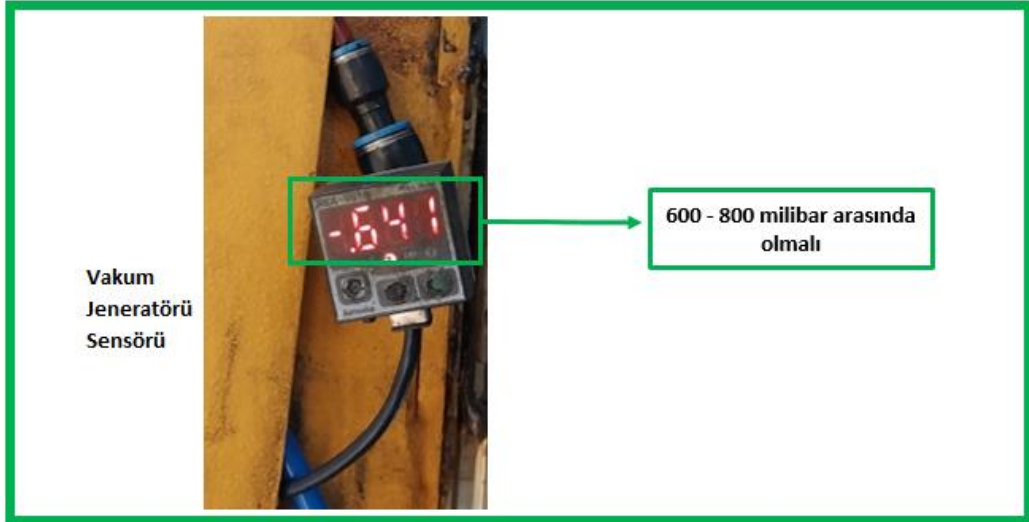


ARIZA YAKIN !!!

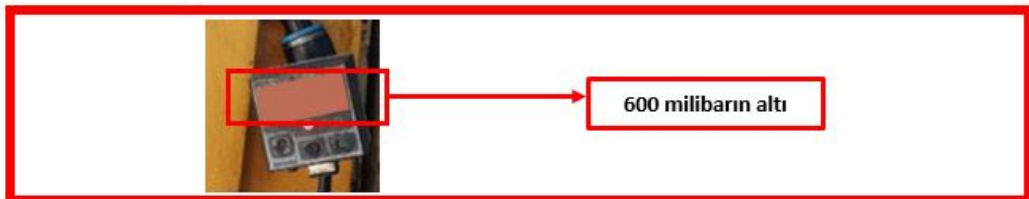


Şekil 24 B05-PK-RU-OP-A1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN

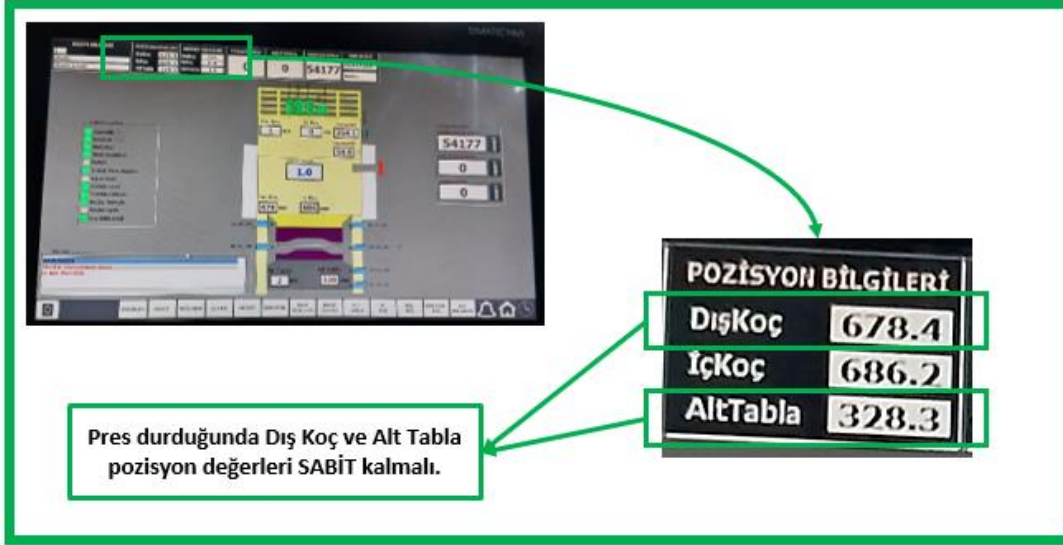


ARIZA YAKIN !!!



Şekil 25 B06-PK-PF-OP-V1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN

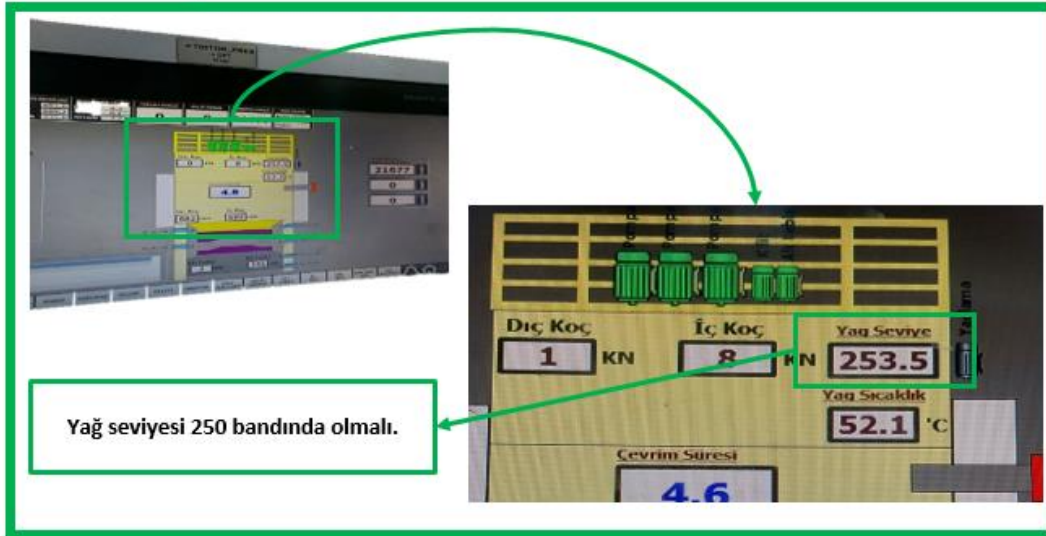


ARIZA YAKIN !!!

Pres durduğunda Dış Koç ve Alt Tabla pozisyon değerlerinde DEĞİŞME olması problem olduğu anlamına gelir ve bakım personeli tarafından kontrol edilmelidir.

Şekil 26 B07-PK-KS-OP-V1 ve B08-PK-YS-OP-V1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN

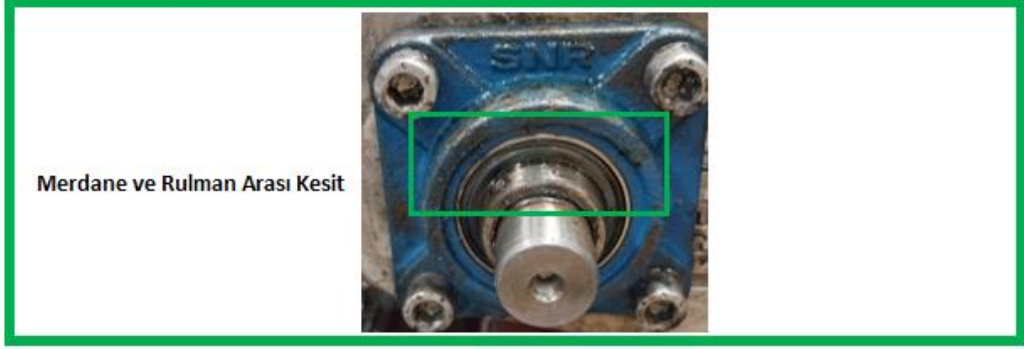


ARIZA YAKIN !!!

Yağ seviyesi değeri 200'e yakınsa kaçak olabilir,
Yağ seviyesinde yükselme varsa yağa su karışmış olabilir,
her iki durumda da bakım personeli tarafından kontrol edilmelidir.

Şekil 27 B09-PK-ÜK-OP-V1 Otonom Bakım Kartı

OLMASI GEREKEN



ARIZA YAKIN !!!



Şekil 28 B14-PK-MR-OP-A1 Otonom Bakım Kartı

EK 4 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu

