

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PALETLİ BİR ZIRHLI ARACIN SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN SAHA
VERİLERİ İLE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ SONUÇLARINA
GÖRE GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM PLANLAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmetcan ZEYTİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erdem ACAR

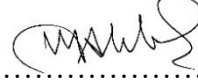
NİSAN 2020

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı



.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.



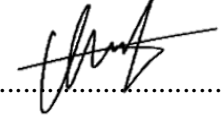
.....
Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161511102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmetcan ZEYTİN** 'in ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**Paletli Zırhlı Araçların Süspansiyon Sistemlerinin Saha Verilerine ve Hata Türleri ve Etkileri Analizi Sonuçlarına Göre Güvenilirlik Merkezli Bakım Planlaması**" başlıklı tezi **18.04.2020** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

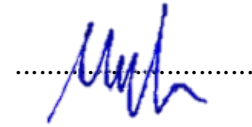
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Erdem ACAR**
TOBB Ekonomive Teknoloji Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Dr.Öğr. Üyesi Recep M. GÖRGÜLÜARSLAN**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



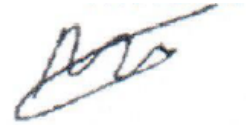
Dr.Öğr. Üyesi Mustafa KAYA
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mehmetcan Zeytin



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PALETLİ BİR ZIRHLI ARACIN SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN SAHA VERİLERİ İLE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ SONUÇLARINA GÖRE GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM PLANLAMASI

Mehmetcan Zeytin

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erdem ACAR

Tarih: Nisan 2020

Güvenilirlik merkezli bakım 1970’li yılların başından itibaren havacılık sektöründe önemli hale gelmeye başlamıştır. Nowlan ve Heap tarafından (1978) Amerikan Hava Kuvvetleri için hazırlanan güvenilirlik merkezli bakım raporu ile birlikte bu alandaki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan tez çalışması ile günümüzde havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan güvenilirlik merkezli bakım uygulamasının zırhlı kara araçları süspansiyon sistemi üzerinde bir örneğinin geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Güvenilirlik merkezli bakım uygulaması geliştirilirken saha arıza verileri ve süspansiyon sistemi Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) sonuçları kullanılmıştır. Uygulamayı gerçekleştirmek için Türk Ordusu Zırhlı Muharebe Araçları’nın saha arıza kayıt verilerinden süspansiyon sistemi arıza verileri incelenmiştir ve sınıflandırılmıştır. Veriler uygun hale getirildikten sonra parça hata oranları Reliasoft yazılımı kullanılarak uygun dağılımlar seçilerek hesaplanmıştır. Aynı zamanda paletli zırhlı araçlar süspansiyon sistemi için HTEA benzeri bir bilgi formu yapılmıştır. Çıkan sonuçlar güvenilirlik merkezli bakım akış şemasına uygun şekilde değerlendirilmiştir ve zırhlı paletli araçların süspansiyon sistemi için güvenilirlik merkezli bakım oluşturulmuştur. Güvenilirlik merkezli bakım uygulaması ile birlikte süspansiyon sisteminin hazır bulunuşluk, ürün emniyeti, ürün

kalitesi, ürün ömrü, ömür devri maliyetinde meydana gelen olası değişiklikler değerlendirilmiştir. Güvenilirlik merkezli bakım çalışması sonucunda, mevcut tedarikçi ve tecrübeye dayalı bakım planlamasına göre hazır bulunuşluk süresinde %6 iyileştirme ve sahada yaşanan yıkıcı şiddete sahip arızaların tamamen engellenmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hata türleri ve etkileri analizi, Güvenilirlik merkezli bakım, Saha arıza verileri, Paletli zırhlı kara araçları



ABSTRACT

Master of Science

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE OF THE SUSPENSION SYSTEM OF AN ARMOURED TRACKED VEHICLE ACCORDING TO FIELD FAILURE DATA AND FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS

Mehmetcan Zeytin

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Science Programme

Supervisor: Prof. Dr. Erdem Acar

Date: April 2020

Reliability centered maintenance (RCM) has become important since the early 1970's in the aviation industry. Along with the reliability-centered maintenance report prepared by Nowlan and Heap (1978) for the US Air Force, the efforts in this area have intensified. In this thesis, reliability centered maintenance plan constructed for the suspension system of a tracked armored vehicle. Aftersales Field Failure Data and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) results have been used to develop reliability centered maintenance for tracked armored vehicle suspension system. Turkish Army field failure data of the suspension system of a specific tracked armored vehicle has been analyzed and categorized. Suitable distribution models have been applied to the suspension system sub-components from field failure data in Reliasoft software. FMEA has been made for tracked armored vehicle suspension system according to the MIL-STD-1629. FMEA and reliability parameters of the suspension system is used to find the best suited maintenance model from reliability centered maintenance flow chart. With

the application of reliability-centered maintenance, the following features of the suspension system are expected to be improved: Product reliability and life, availability, product safety, product quality, product life cycle cost. By comparison of Reliability centered maintenance based maintenance activities results against supplier and experience based maintenance activities, availability is improved around %6 and all the catastrophic severity class failures are prevented.

Keywords: Failure modes and effects analysis, Reliability centered maintenance, Field failure data, Tracked armored vehicles



TEŐEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, tecrübe ve birikimi ile hem bu çalışmada hemde kariyerimde bana yön veren saygıdeğer kıymetli hocam Prof. Dr. Erdem Acar'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, sağladığı burs için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne ve destekleriyle her zaman yanımda olan ve bu çalışmayı mümkün kılan aileme, eşime ve arkadaşlarıma ve çalışmada desteklerini esirgemeyen FNSS Savunma Sistemleri A.Ő'ye çok teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ	1
1.1 Tez İçeriği	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Literatürde Güvenilirlik Merkezli Bakım	5
2.2 Arıza Olasılık Dağılımları	7
2.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi	17
2.4 GMBP'ye Uygun Bakım Türleri	25
2.5 Güvenilirlik Merkezli Bakım Planlama Süreci	28
3. PROBLEM TANIMI	43
3.1 Giriş	43
3.2 Amaç	44
3.3 Bakım Planlaması	45
3.4 GMBP Uygulama Problemi – Paletli Süspansiyon Sistemi	46
3.5 Güvenilirlik Blok Diyagramı	51
3.6 Çalışmayı Doğrulama ve Karşılaştırma Yöntemi	52
4. PALETLİ SÜSPANSİYON SİSTEMİ GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM PLANLAMASI	57
4.1 Saha Arıza Verilerinin Analizi	58
4.1.1 Veri türleri	66
4.1.2 İncelenen saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçalar	67
4.1.3 Saha arıza verilerine göre uygun arıza olasılık dağılımının seçimi	73
4.1.4 Palet baklası	76
4.1.5 Palet pabucu	78
4.1.6 Yol tekeri	79
4.1.7 Yol tekeri destek kolu	80
4.1.8 Amortisör	81
4.1.9 Gergi silindiri	83
4.1.10 Cer dişlisi	84
4.1.11 Destek tekeri	85
4.1.12 Saha arıza verileri özeti	86
4.2 Hata Türleri ve Etkileri Analizi	87
4.3 Güvenilirlik Blok Diyagramı	94
4.4 Bakım Faaliyetlerinin ve Lojistik Parametrelerin Belirlenmesi	99
4.4.1 Periyotları ortaklaştırılmayan GMBP	104
4.4.2 Periyotları ortaklaştırılan GMBP	115
4.4.3 Mevcut bir ürüne ait bakımlar ile analizi	116
4.4.4 Sadece reaktif bakım faaliyetleri ile analiz	118
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	119
6. ÖNERİLER VE FIRSATLAR	127
KAYNAKLAR	130
EKLER	134
ÖZGEÇMİŞ	139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Üstel arıza olasılık dağılımı, farklı lamda değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları	11
Şekil 2.2: Normal arıza olasılık dağılımı, farklı sigma ve mü değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları	11
Şekil 2.3: Lognormal arıza olasılık dağılımı, farklı sigma ve mü değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları	12
Şekil 2.4: Weibull arıza olasılık dağılımı, farklı beta ve nü değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları	13
Şekil 2.5: Güvenilirlik küvet eğrisi	14
Şekil 2.6: Hata oranı dağılım tipleri	15
Şekil 2.7: Zamana bağlı arıza oranı yaklaşımı	17
Şekil 2.8: Temsili bakım uygulama noktası.....	28
Şekil 2.9: Azalan arıza oranına sahip parçaya periyodik bakım uygulanması sonrası oluşan arıza oranı.....	33
Şekil 2.10: GMBP’de değerlendirilen arıza türleri	34
Şekil 2.11: Arıza türlerine göre GMBP	35
Şekil 2.12: GMBP karar akış şeması.....	37
Şekil 2.13: Arıza tanımı sınıfları	37
Şekil 2.14: Arıza türlerine yönelik bakım faaliyetlerinin belirlenebileceği karar akış şeması.....	40
Şekil 2.15: GMBP adımları.....	41
Şekil 2.16: Uygulama problemi için modifiye edilmiş GMBP adımları.....	42
Şekil 3.1: Paletli süspansiyon sistemi tahrik yönü	48
Şekil 3.2: Paletli süspansiyon sistemi parçaları	49
Şekil 3.3: Burulma mili.....	50
Şekil 3.4: Çalışmada doğrulama ve karşılaştırma amacı ile uygulanması belirlenen analiz türleri.....	54
Şekil 4.1: Çalışmada yürütülen bağımsız uygulama başlıkları	57
Şekil 4.2: Saha arıza verilerinde karşılaşılan senaryolar	68
Şekil 4.3: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	77
Şekil 4.4: Sapma gösteren veriler çıkarıldıktan sonra logaritmik grafikte weibull olasılık dağılımı ve verilerin konumu	77
Şekil 4.5: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	79
Şekil 4.6: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	80
Şekil 4.7: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	81
Şekil 4.8: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	83
Şekil 4.9: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	84
Şekil 4.10: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu.....	85

Şekil 4.11: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu	85
Şekil 4.12: Paletli süspansiyon sistemi parça hiyerarşisi	89
Şekil 4.13: Palet kompleleri güvenilirlik blok diyagramı	95
Şekil 4.14: Tek palet için güvenilirlik blok diyagramı	98
Şekil 4.15: Reliasoft yazılımı arıza kayıtları veri girişi örneği	99
Şekil 4.16: Reliasoft yazılımı analizlerde uygulanan birimler arası katsayılar	101
Şekil 4.17: Reliasoft yazılımı – düzeltici bakım faaliyetinin gerçekleştirileceği durum seçenekleri	102
Şekil 4.18: Reliasoft yazılımı – lojistik parametreler ekranı.....	103
Şekil 4.19: Reliasoft yazılımına bakım sürelerinin girilmesi	104
Şekil 4.20: Reliasoft yazılımı karar akış şeması.....	105
Şekil 4.21: Proaktif bakım ve reaktif bakım maliyetlerinin reliasoft yazılımına girilmesi.....	107
Şekil 4.22: P-F eğrisi.....	112
Şekil 4.23: Reliasoft yazılımı hata tespit eşığı oranı.....	114

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Amerika birleşik devletleri yıllık savunma bütçesi	2
Çizelge 2.1: Parçaların oransal olarak farklı çalışmalarda hata oranı dağılım tiplerine göre dağılımı.....	16
Çizelge 2.2: MIL-STD-1692A kritiklik matrisi	19
Çizelge 2.3: Meksika’da üretim yapan otomotiv firmalarının 3 yıllık üretim adetleri verilmiştir	21
Çizelge 2.4: SAE J1739 standardına göre arıza ihtimallerinin olasılık sayısının denkliği.....	21
Çizelge 2.5: MIL-STD-1629A standardına göre arıza ihtimallerinin arıza seviyesine denkliği.....	22
Çizelge 2.6: Güvenilirlik merkezli bakım türleri	26
Çizelge 2.7: Uygulanan HTEA formatı ve GMBP temel soruları arasındaki ilişki ...	32
Çizelge 3.1: Araç başı paletli süspansiyon sistemi parça adetleri.....	51
Çizelge 4.1: Örnek saha arıza verisi	61
Çizelge 4.2: Paletli süspansiyon sistemi saha arıza verisine göre arıza adetleri	62
Çizelge 4.3: Saha arıza verilerine göre parçaların karşılaştığı hata modları	64
Çizelge 4.4: Hata modlarına göre arıza giderici faaliyet adetleri.....	65
Çizelge 4.5: Veri türleri	66
Çizelge 4.6: Saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçalar	69
Çizelge 4.7: Saha arıza verisine göre güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçaların güvenilirlik değerleri hesaplama yöntemleri	72
Çizelge 4.8: Saha arıza verileri kullanılarak güvenilirlik değerleri hesaplanan parçalar	73
Çizelge 4.9: Paletli süspansiyon sistemi parçaları güvenilirlik değerlerini belirleme yöntemi ve MTTF değerleri özeti.....	86
Çizelge 4.10: Reliasoft yazılımı anlamlı parça seçimi soruları	88
Çizelge 4.11: Şiddet sınıfları ile hata türleri arasındaki ilişki.....	90
Çizelge 4.12: HTEA çıktıları özeti.....	91
Çizelge 4.13: Tek palet için ortak parça adetleri.....	95
Çizelge 4.14: Reliasoft ön tanımlı birimler	100
Çizelge 4.15: Parçaların hesaplanan B10 ömür bilgileri	110
Çizelge 4.16: Periyotları ortaklaştırılmamış GMBP	111
Çizelge 4.17: Ortaklaştırılmış bakım periyotları.....	115
Çizelge 4.18: Mevcut ürün süspansiyon sistemi proaktif bakım faaliyetleri.....	117
Çizelge 4.19: Sadece reaktif bakım faaliyeti tanımlanan parçalar	117
Çizelge 4.20: Tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı bakım faaliyetleri	118
Çizelge 5.1: Simülasyon türlerine göre sonuçlar	120

KISALTMALAR

AVGOF	: Reliasoft K-S testi
AVPLOT	: Reliasoft normalleştirilmiş korelasyon katsayısı
FMEA	: Hata türleri ve etkileri analizi
FMECA	: Hata türleri ve etkiler kritiklik analizi
GMBP	: Güvenilirlik merkezli bakım planlaması
HTEA	: Hata türleri ve etkileri analizi
HTEKA	: Hata türleri ve etkiler kritiklik analizi
Km	: Kilometre
MLE	: Eniyilenmiş olası değer
MTTF	: Arızaya kadar geçen süre
MTTFF	: İlk arızaya kadar geçen ortalama süre
NPRD	: Elektronik olmayan parçalar güvenilirlik veritabanı
NSWC	: Denizcilik su üstü harp merkezi

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
β	Weibull olasılık dağılımı şekil parametresi
η	Weibull olasılık dağılımı ölçek parametresi
λ	Üstel olasılık dağılımı arıza oranı
μ	Normal ve Lognormal olasılık dağılımları ölçek parametresi
σ	Normal ve Lognormal olasılık dağılımları şekil parametresi
$F(t)$	Kümülatif dağılım fonksiyonu
$f(t)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
$R(t)$	Güvenilirlik

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte tasarlanan sistemler gittikçe daha karmaşık yapılara ve ileri teknolojilere sahip olmaya başlamıştır. Bakım maliyetlerini düşürmek, bakım sürelerini kısaltmak ve daha etkin bakımlar uygulayabilmek için sivil havacılık sektöründe 1970'li yıllarda atılımlar yapılmıştır. İlk olarak Heap ve Nowlan (1978)'in kaleme aldığı Amerikan sivil havacılık raporu ile birlikte güvenilirlik merkezli bakımın olası etkileri ve iyi yönlü sonuçları değerlendirilmiştir. Aynı zamanda bahsi geçen raporda uygulama için çeşitli yöntemler ve sınırların çerçevesi çizilmiştir.

Heap ve Nowlan (1978)'a göre üretilen sistemlerin karmaşıklığı arttıkça uygulanan bakım sayıları ve süreleri de artmış ve bu durum sistemlerin hazır bulunuşluklarını yüksek oranda düşürmeye başlamıştır. Aynı zamanda bakım sayılarının yükselmesi ile birlikte bakım maliyetleri de artış göstermiştir. Yine Heap ve Nowlan (1978)'in raporunda yer alan çalışmaya göre güvenilirlik merkezli bakım çalışması öncesinde uygulanan sivil havacılık sektöründeki bir uçakta bakım programında 339 onarıcı faaliyet yer almakta ve 4.000.000 saat bakım süresi harcanmaktadır. Güvenilirlik merkezli bakım uygulaması entegre edilen sivil havacılık sektöründeki aynı uçakta ise 7 onarım faaliyeti ve bu faaliyetler için 66.000 saat bakım süresi harcanmasının yeterli olacağı görülmüştür. Hinchcliffe ve Smith (2004)'e göre Amerikan donanmasında güvenilirlik merkezli bakım ile birlikte bakım maliyetler, yaklaşık 6 katı kadar düşmüştür ve donanma araçlarının hazır bulunuşluk süreleri yaklaşık %5 artırılmıştır. Bunun haricinde, güvenilirlik merkezli bakım uygulamaları donanma araçlarının ömrünü 8-10 yıl artırmıştır.

Askeri ürünlerin ömrü boyunca karşılaşılabilecek maliyetler üzerine araştırma yapıldığında pastadaki en büyük dilimin bakım uygulamalarına ve ürünlerin operasyonlarına sağlıklı devam edebilmesi için uygulamak zorunda oldukları diğer hazır bulunuşluk faaliyetlerine ait olduğu görülmektedir. Örnek olarak Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı Savunma Bütçesi Taslağı (2019) raporuna göre Amerikan Ordusu Savunma Bütçesindeki bakım uygulamalarının ve

operasyonların Amerikan Ordusundaki toplam bütçenin yaklaşık %50'sini oluşturduğu Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 göstermektedir ki ürünlerin ömrü boyunca karşılaşacağı en yüksek maliyet kalemi bakım uygulaması ve operasyonların kendisidir. Bu nedenle, güvenilirlik merkezli bakım uygulamasının yüksek maliyetli ürünlere uygulanması maliyetleri büyük oranda düşürebilmektedir.

Çizelge 1.1: Amerika birleşik devletleri yıllık savunma bütçesi

Amerika Birleşik Devletleri Yıllık Savunma Bütçesi			
	2018 (\$ M)	2019 (\$ M)	2020 (\$ M)
Askeri Personel	145	156	159
Operasyon & Bakımlar	256	275	207
Tedarik	112	123	134
Araştırma & Geliştirme	76	85	99
Askeri İnşaat	6	7	8
Aile Yerleştirme	1	1	1
Yönetimsel Giderler	2	2	2

1.1 Tez İçeriği

Bu tez ile henüz kara araçları için uygulama örneği az bulunan güvenilirlik merkezli bakım uygulaması, zırhlı paletli araçlardaki süspansiyon sistemlerine uygulanacaktır. Güvenilirlik merkezli bakım uygulaması için sırasıyla takip edilmiş adımlar şu şekildedir: İlk olarak süspansiyon sistemine ait parçaların listesi çıkarılmış, güvenilirlik kapsamında incelenmesi önemli olan parçalar Reliasoft yazılımındaki “Risk keşfi kriterleri”ne göre uygun sorular sorularak seçilmiş, saha arıza verilerinde seçilen parçaların arıza kayıtları sınıflandırılmış, parçaların arıza verilerine göre uygun hasar olasılık dağılımları belirlenmiş ve güvenilirlik değerleri Reliasoft yazılımı kullanılarak hesaplanmış, süspansiyon sistemi için hata türleri ve etkileri analizi uygulanmış, güvenilirlik merkezli bakım akış şemasına ve hata türleri ve etkileri analizine göre parçalar sınıflandırılmış, güvenilirlik merkezli bakım mübadelesi parça bazında yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında uygulama problemi olarak kullanılan çalışıldığı süspansiyon sistemi mevcut tasarımı devam eden bir projenin parçasıdır. Tasarımın olgunlaşması ile birlikte sisteme ait parçaların listesi çıkarılmıştır ve Reliasoft risk keşfi

kapsamında parçalara sorular yöneltilerek cıvata, pul, somun, kelepçe gibi sarf malzeme niteliğindeki parçalar, yük taşımayan braket gibi tasarım parçaları çalışmanın etkin olabilmesi için elenmiştir.

Saha verilerinde süspansiyon sistemine ait olan arıza kayıtları süzölmüş ve incelenecek parçaların arıza kayıtları sınıflandırılmıştır. Saha arıza verilerinin sınıflandırılmasında özellikle aynı hata modu kaynaklı arızaların sınıflandırılmasına “saha arıza verisi açıklamaları” incelenerek dikkat edilmiştir. Saha arıza verilerinde parça karakteristik özelliklerine uygun arıza olasılık dağılımı belirlenmiş ve Reliasoft yazılımı aracılığı ile güvenilirlik değerleri hesaplanmıştır.

Bu aşamada, yukarıda bahsedilen çalışmalara paralel olarak, askeri standart (Military Standards / Procedures For Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1980) kullanılarak HTEA çalışmasına başlanmıştır. HTEA sonuçları ve saha arıza verileri kullanılarak güvenilirlik merkezli bakım akış şeması soruları sonuçlara göre sorulmuş ve parçalar sınıflandırılarak maliyet anlamında kıyaslamalar yapılmıştır. Son olarak güvenilirlik merkezli bakım uygulaması Reliasoft yazılımında simüle edilmiş ve çıktılardaki hazır bulunuşluk oranı, maliyetler, emniyet, bakım süreleri başlıklarındaki iyileşmeler değerlendirilmiştir.

Tezin içeriği şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2’de parça karakteristik özelliklerine göre uygun arıza olasılık dağılımı yöntemleri seçimine dair literatür bilgileri, güvenilirlik merkezli bakımın literatürde yer alan temel 7 sorusu, HTEA’ya ait detayların yer aldığı askeri standart, güvenilirlik merkezli bakımın akış şeması, bakım modelleri ve çalışmaya ait diğer literatür araştırmaları detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 3’te süspansiyon sisteminin detayları, tez çalışmasında ve Reliasoft yazılımında uygulanan analiz türleri, bakım modellerinin farklılıkları gibi bilgiler yer almaktadır. Bölüm 4’te çalışma çıktıları, farklı simülasyon modelleri, modellerin birbirinden farkları, parçalara uygulanan bakım yöntemleri gibi çalışma adımlarının detaylı bilgileri bulunmaktadır. Bölüm 5’te güvenilirlik merkezli bakım çalışması çıktılarının değerlendirilmesi, avantaj ve dezavantaj değerlendirmeleri ile tez çalışmasından elde edilen çıkarımlar yer almaktadır. Son olarak Bölüm 6’da ise çalışma sonuçlarına göre geliştirmeye açık alanlar ve öneriler belirtilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Literatürde Güvenilirlik Merkezli Bakım

Güvenilirlik merkezli bakım çoğunlukla havacılık sektöründe etkin kullanılmakta olup, literatürde zırhlı araçlarda yapılan güvenilirlik merkezli bakım çalışmaları üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Paletli zırhlı amfibik araca uygulanan güvenilirlik merkezli bakım çalışmasına ait yazılan bir yüksek lisans tezinde, özellikle HTEKA uygulaması ile güvenilirlik merkezli bakım uygulaması arasındaki farklar değerlendirilmiştir, bu farklara göre güvenilirlik merkezli bakım, HTEKA uygulamasına göre sistem ve alt sistem seviyesinde parçaları daha detaylı inceleme fırsatı vermektedir (Garza, 2002). Bahsi geçen tez çalışmasının amacı uygulama yöntemlerinin belirlenmesinden çok, güvenilirlik merkezli bakım uygulaması planlandığında araç projesi üzerinde ne tarz farklı etkilerinin olacağını yönetsel açıdan değerlendirmek olmuştur.

Literatürdeki GMBP çalışmaları esas olarak güvenilirlik merkezli bakımın faydalarının farklı sektörlerde yönetsel açıdan ele alındığı çalışmalar olup, bu çalışmaların çoğunluğunun mühendislik yönetimi alanında olduğu görülmektedir. Usrey ve Wilmeth'in enerji sektöründe güvenilirlik merkezli bakımın faydaları üzerine yaptığı çalışmada, güvenilirlik merkezli bakımın uygulanmaya başlanmasından önce enerji sektöründe uygulanan bakımların yetersiz olduğu ya da fazladan bakım uygulandığı gözlemlenmiştir. Güvenilirlik merkezli bakımın pilot proje olarak enerji sektöründe ilk örneklerinin ortaya çıkması ile birlikte, bakım sürelerinde ve sayılarında iyileşmeler olduğu kayda geçilmiştir (Usrey ve Wilmeth, 2015). Güvenilirlik merkezli bakım uygulamalarının yönetsel sonuçları değerlendirildiğinde, genel yorumun klasik bakım uygulamalarına göre güvenilirlik merkezli bakım uygulaması ile iyileştirilmiş sonuçlar elde edilebileceği yönünde olduğudur. Usrey ve Wilmeth'in enerji sektöründe uyguladığı güvenilirlik merkezli bakım planının sonuçlarında yapılacak başlangıç yatırımının %640 oranında mali geri dönüş sağlayacağı hesaplanmıştır. Usrey ve Wilmeth'in bulguları ile paralel olarak Rausand'ın çalışmasında, benzer şekilde, güvenilirlik merkezli bakımın geri dönüşünün maliyet ve bakım arasındaki korelasyonu eniyilemek yönünde olacağını belirtmiştir (Rausand, 1998).

Moubray'e göre ise güvenilirlik merkezli bakım uygulaması planlamanın bakımları %20 ile %70 arasında düşürecektir (Moubray, 1997). Literatür araştırmaları göstermedir ki GMBP sonucunda yüksek bakım maliyetlerinin eniyilenmesi olasıdır.

Ünal'ın çalışmasında güvenilirlik merkezli bakımın endüstrideki önemi ve temel kavramlar yer almaktadır (Ünal, 2009). Bahsi geçen çalışmada bir işletmeye yönelik GMBP parça seviyesinde belirlenerek maliyet azaltımı hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında bakım planlaması için bir pilot işletmenin mevcut bakımlarına öneriler sunulmuştur ve farklı bakım yaklaşımları irdelenmiştir.

Otomotiv sektöründe yapılan GMBP çalışmalarına, Arffin ve Ramli'in çalışması örnek verilebilir (Arffin ve Ramli, 2012). Bahsi geçen çalışmada, bir otomotiv fabrikasının montaj hattına GMBP uygulanmış ve bakım personeli maliyetlerinin düşmesi ile üretimin artırılmasını hedeflemiştir. Çalışma sonucunda ise montaj hattında kontrol listesine ait maddelerin sayısı belirgin şekilde azalmıştır. Bunun sonucu olarak ise operatörlerin iş yükü azaltılmış ve bakım personelinin takibi sağlanmıştır.

Literatürdeki güvenilirlik merkezli bakım ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarından anlaşılacağı üzere güvenilirlik merkezli bakım ile ilgili araştırmaların çoğunluğu endüstriyel sanayii ile ilgilidir ve ürüne yönelik değildir. Literatür araştırmasında otomotiv sektöründe güvenilirlik merkezli bakımın aşamalarını ve uygulama sonuçlarını paylaşan bir çalışma bulunmamıştır.

GMBP'nin uygulama yöntemi endüstriden veya üründen bağımsızdır. Planlamanın tanımı literatür araştırmasında taranan kaynaklarda: "Bir fiziki varlığın çalışır durumunu devam ettirebilmesi için bakım gereksinimlerine karar vermede kullanılan süreç" olarak geçmektedir. Regan ise güvenilirlik merkezli bakımın tanımını "Bir fiziki varlığın operasyon doğasında görev gereksinimlerini en emniyetli ve maliyet etkin biçimde yerine getirebilmesi için belirlenen yapısal süreç olarak oluşturulan arıza yönetim stratejisi olarak açıklamaktadır." (Regan, 2011). GMBP'nin tanımından yola çıkıldığında bu fiziki varlığın endüstriyel bir fabrikada kullanılan baca veya havacılık sektöründe kullanılan bir uçak motoru olabileceği gibi otomotiv sektöründe kullanılan bir alt sistem de olabileceği görülmektedir. Bu nedenle literatür araştırmasında her ne kadar otomotiv endüstrisinde uygulanan GMBP örnekleriyle

karşılaşılmaş olsa da, planlama hangi endüstride olursa olsun güvenilirlik merkezli bakımda amaca hizmet eden 7 soruya cevap aranmaktadır (Moubray, 1997):

1. Uygulamanın planlanacağı parçanın fonksiyonları nelerdir? Parçadan beklenen performans standartları nelerdir?
2. Parçadan beklenen fonksiyonu neden yerine getiremeyebilir ve parça beklenen performans standardını neden yakalayamayabilir?
3. Parçanın yerine getiremeyeceği fonksiyon hangi nedenlerden dolayı meydana gelebilir?
4. Parça fonksiyonunu yerine getiremediğinde ne yaşanır?
5. Parçanın hatası nasıl bir öneme sahiptir?
6. Parçanın her bir hatası nasıl öngörülebilir veya önlenebilir?
7. Parçanın hatası öngörülemez veya önlenemez ise nasıl ilerlenebilir?

Moubray, Heap ve Nowlan ve güvenilirlik merkezli bakım alanında araştırmalar yapan çoğu araştırmacı GMBP'yi uygulayabilmek için aynı 7 soruyu temel almaktadır. Bu sorulara cevaplar verilmesi GMBP'yi ortaya çıkaracaktır. Bahsi geçen 7 soru değerlendirildiğinde soruların aslında bir HTEA benzeri bir uygulamaya işaret ettiği görülmektedir; çünkü HTEA'da da benzer şekilde olası hataların türleri, etkileri ve sonuçları değerlendirilmektedir.

Bölüm 2.2'de literatürde sıklıkla kullanılan arıza olasılık dağılımları sunulacaktır. Bölüm 2.3'te HTEA'nın literatürdeki karşılığı, uygulama yöntemlerinden ve çeşitlerinden detaylıca bahsedilecektir. Bölüm 2.4'te GMPB'ye uygun bakım faaliyeti türleri, Bölüm 2.5'te ise bahsi geçen 7 temel sorudan yola çıkılarak GMBP'nin literatürde tanımlanan yol haritası üzerine yapılan araştırmalar ele alınacaktır.

2.2 Arıza Olasılık Dağılımları

Tez çalışması sırasında literatür araştırmaları yapılan bir diğer konu başlığı ise değerlendirmeye alınacak parçalar için uygun arıza olasılık dağılımlarının belirlenmesi olmuştur. Hangi parça için hangi olasılık dağılımının kullanıldığı, çalışmadan elde edilen sonuçların doğru olması açısından önemlidir. Bu nedenle, parçalar için hangi arıza olasılığı dağılımının uygulanacağı ve saha arıza verilerinin

hangi olasılık dağılımı kullanılarak analiz edileceği literatürde parça tipine bağlı olarak ayrı başlıklarla taranmıştır.

Arıza olasılık dağılımı seçiminde dağılımların özellikleri, hangi parçaya hangi dağılımın uygun olacağı, dağılımların matematiksel ifadeleri konuları araştırılmıştır.

Yang'a göre güvenilirlik hesabında yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımları üstel (exponential), Weibull, karışık Weibull, normal ve lognormal dağılımdır. Güvenilirlik merkezli tasarım, test ve analizler için bahsi geçen dağılımların kullanılması çoğu durumda yeterli olacaktır (Yang, 2007). Benzer şekilde Pham'a göre de güvenilirlik alanında en çok kullanılan yöntemler Weibull, üstel, normal ve lognormal dağılımdır (Pham, 2003).

Normal dağılım ve lognormal dağılım sıklıkla güvenilirlik analizi çalışmalarında kullanılmakla birlikte, normal dağılım yerine lognormal dağılım tercihi daha yaygındır. Normal dağılımın simetrik çan şeklindeki yapısı çoğu doğal fenomeni açıklarken ömür arızalarının dağılımını açıklamakta yetersiz kalmaktadır (Yang, 2007). Lognormal ve normal dağılım modelleri mekanik arızalı elektronik ekipmanlar ve yorulma ile çatlama görülen hata modlarında kullanılmalıdır (Yang, 2007). Bu arıza modeli en çok elektronik ekipmanlarda görülmektedir. Bu nedenle üstel dağılım daha çok elektronik ekipmanlar da ve farklı hata modlarını içeren sistemlerin sistem seviyesi analizinde kullanılmaktadır (Yang, 2007). Bahsedilen dağılım yöntemleri dışında yaygın olarak kullanılan diğer bir dağılım yöntemi ise Weibull olasılık dağılımıdır. Yaygın kullanılan dağılım yöntemleri arasında en esnek dağılım tipi olup, parçanın Şekil 2.5 kuvvet eğrisinde belirtilen parçaların sahip olduğu üç farklı ömür fazının hepsinde ayrı ayrı olasılık dağılımı hesaplayabilecek tek olasılık dağılımı Weibull'dur (Yang, 2007).

Yang ve diğer araştırmacılar güvenilirlik analizinde olasılık dağılımlarını matematiksel olarak ifade etmek için, olasılık yoğunluk fonksiyonunu ve kümülatif dağılım fonksiyonunu kullanmaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$, kümülatif dağılım fonksiyonu $F(t)$ ile gösterilmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu tüm zaman aralığında hata dağılımını göstermektedir ve mutlak arıza hızını yansıtır (Yang, 2007). Denklem (2.1)'de genel kümülatif dağılım fonksiyonu verilmiştir. Denklem (2.2)'de ise olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir.

Denklem (2.1) ve (2.2)'de görüldüğü üzere kümülatif dağılım fonksiyonu olasılık yoğunluk fonksiyonunun zamana bağlı integralidir (Yang, 2007). Kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak güvenilirlik tahmini Denklem (2.3) ile yapılmaktadır. Kümülatif dağılım fonksiyonu aslında güvensizlik denklemdir.

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (2.1)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.2)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.3)$$

Tüm olasılık dağılımlarında iki parametrenin önemi görülmektedir. Bu parametreler ölçek parametresi ve boyut parametresidir. Tüm olasılık dağılımlarında bu parametreler dağılımın karakteristiklerini belirler ve bu parametreler kullanılarak olasılık yoğunluk fonksiyonu formüle edilir. Ölçek parametresi büyüdükçe dağılım yayılma özelliği gösterir. Parçaların arıza oranlarına ait ömrü içerisindeki farklı dönemleri gösteren kuvvet eğrisi ele alındığında Weibull eğrisi kuvvet eğrisinin tüm fazlarını ayrı ayrı gösterebilen tek dağılım yöntemidir. Şekil 2.5'de kuvvet eğrisi gösterilmiştir.

Weibull olasılık dağılımı için η değeri ölçek parametresini göstermektedir ve ömrün %63,2'sine denk gelmektedir. β değeri ise boyut parametresidir. Bu parametreler kullanılarak oluşturulan Weibull olasılık dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 2.4'te verilmiştir. Weibull olasılık dağılımında β değeri önemli bir yere sahiptir. Şekil 2.8'te gösterildiği gibi, β parametresinin 1'den küçük, 1'e eşit veya 1'den büyük olmasına göre parçanın 3 farklı ömür fazı ayrı ayrı gösterilebilir. Weibull olasılık dağılımı ilk olarak 1950'li yıllarda Waloddi Weibull tarafından türetilmiştir (Dhillon, 2006). Weibull olasılık dağılımını ortaya çıkaran ihtiyaç, birbirinden bağımsız arıza oranı eğimi gösteren farklı ömür fazlarından hangisinin gerçekleştiği bilinmediğinde β parametresi üzerinden ömür fazının tespit edilmesi ile olmuştur (Murthy vd., 2006).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} \exp[-(\frac{t}{\eta})^\beta] \quad (2.4)$$

Normal dağılım için σ boyut parametresidir, μ ölçek parametresidir. Bu parametreler normal dağılımda aynı zamanda popülasyon ortalaması ve popülasyon standart sapmasını göstermektedir. Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem (2.5)'te verilmiştir.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.5)$$

Lognormal dağılım σ ve μ parametreleri cinsinden ifade edilmektedir. Lognormal dağılım için σ boyut parametresidir, μ ölçek parametresidir. Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyon denklemi ise Denklem (2.6)'da verilmiştir. Denklem (2.5) ve (2.6) incelendiğinde, lognormal dağılımın normal dağılımdan farklı olarak zamana göre logaritmik olduğu görülmektedir.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.6)$$

Güvenilirlik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir diğer olasılık dağılımı ise üstel dağılımdır. Üstel dağılım, daha önce bahsedildiği gibi, elektronik ekipmanların arıza dağılımını modellemek için sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise üstel dağılımın elektronik ekipmanların çoğunlukla rastgele ve zamandan bağımsız olan arıza eğilimini modellemesidir. Üstel dağılımın bir diğer kullanım alanı ise birden fazla hata moduna sahip sistem seviyesi analizlerdir. Denklem (2.7)'de üstel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir.

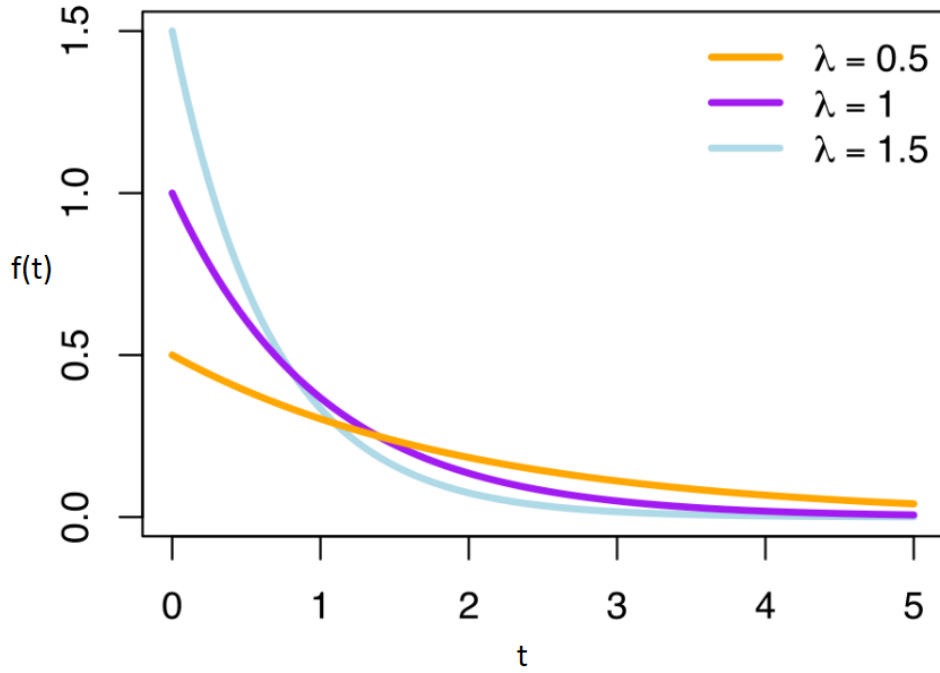
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

Üstel dağılımda hata oranı sabittir ve zamandan bağımsız olarak rastgele arızalar ortaya çıkar. Bunun nedeni, zamana göre arıza oranının lamdaya eşit ve lamdanında sabit sayı olmasından kaynaklıdır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm arıza olasılık dağılımlarının, olasılık yoğunluk fonksiyonları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Üstel dağılım, olasılık yoğunluk fonksiyonu dışında diğer dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tepe noktasına sahip oldukları görülmektedir.

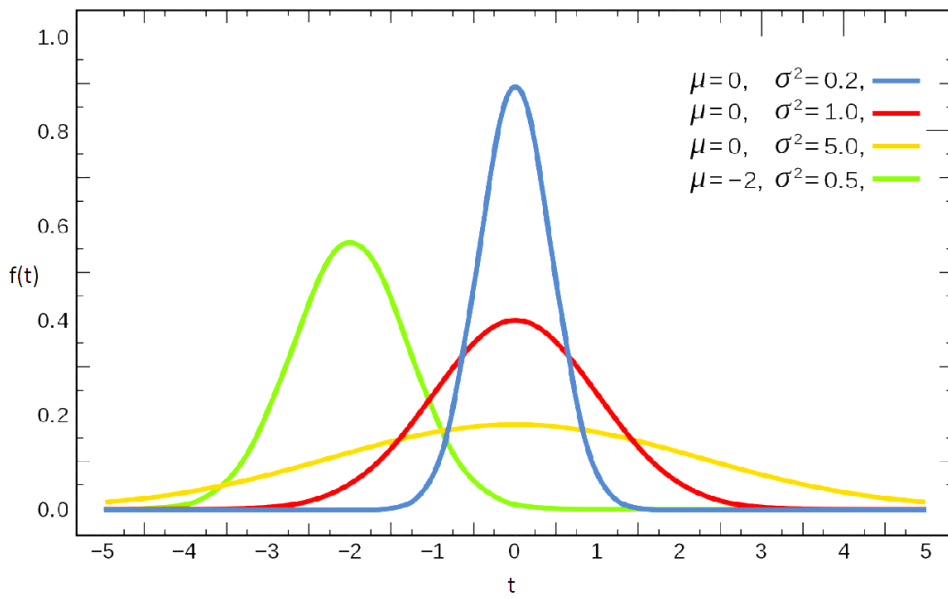
Üstel arıza olasılık dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunun diğer verilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarından farklı olduğu Şekil 2.1'de görülmektedir. Üstel dağılımın, olasılık yoğunluk fonksiyonunun üstel denklem olmasından kaynaklı

olasılık yoğunluk fonksiyonu diğer dağılımların aksine tepe noktasına sahip değildir ve azalan bir eğime sahiptir.



Şekil 2.1: Üstel arıza olasılık dağılımı, farklı lamda değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları

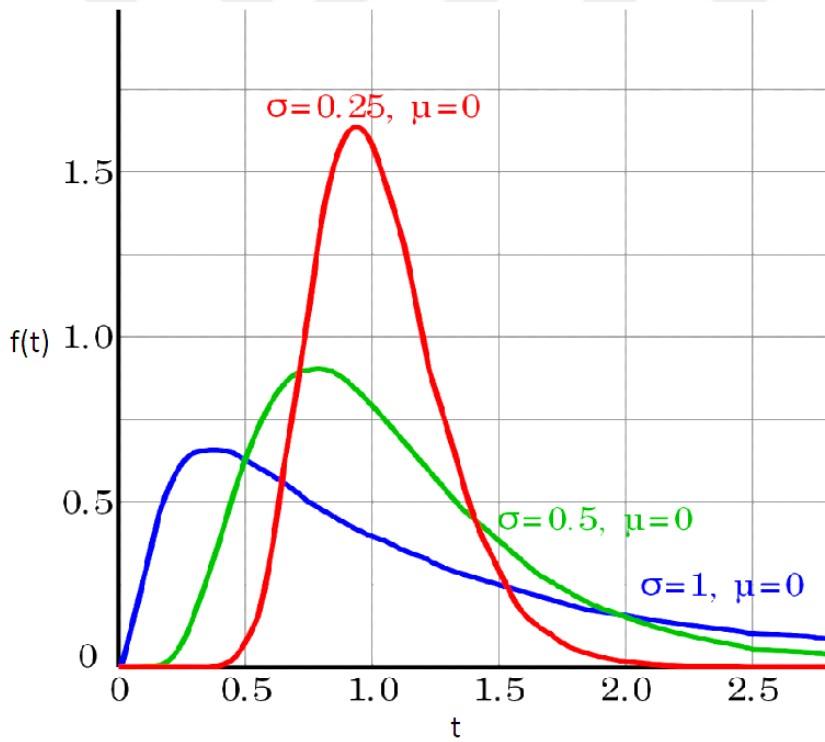
Şekil 2.2'de verilen normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisine göre sigmanın karesinin bire eşit olduğu, kırmızı ile gösterilen dağılım çoğu doğal fenomende kullanılan standart normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonudur.



Şekil 2.2: Normal arıza olasılık dağılımı, farklı σ ve μ değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları

Şekilden anlaşılacağı üzere mü katsayısı grafiğin tepe noktasının x eksenini (zaman eksenini) üzerinde kaymasını sağlar, sigma katsayısı ise mü katsayısı ile birlikte olasılık yoğunluk fonksiyonunun değerini belirler. Aynı mü değerine sahip fonksiyonlarda sigma katsayısı arttıkça olasılık yoğunluk fonksiyonunun değeri artar.

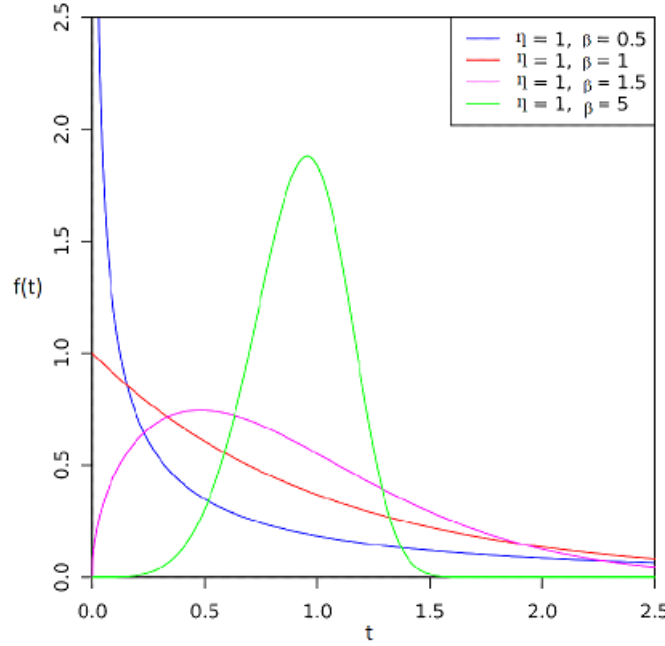
Şekil 2.3'te lognormal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir. Lognormal dağılım ile normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonları birbirine benzerdir ve aynı katsayılar cinsinden ifade edilmektedir. Lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonunun normal olasılık yoğunluk fonksiyonundan farkı, lognormal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonunun tepe noktasına göre simetrik olmayışı ve sola yaslı oluşudur. Denklem (2.6)'da verildiği gibi, lognormal dağılım, olasılık yoğunluk fonksiyonu zaman göre logaritmik olduğundan dolayı sola yaslı şekilde bir olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiğine sahiptir.



Şekil 2.3: Lognormal arıza olasılık dağılımı, farklı sigma ve mü değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları

Şekil 2.4'te gösterilen weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunda kırmızı ve mavi grafiklerin sadece azalan eğime sahip olmasının nedeni, mavi grafikte nü bir, beta 0.5'e, kırmızı grafikte nü ve beta bire eşit olduğunda weibull olasılık dağılımının üstel denkleme dönüşüyor olmasından kaynaklıdır. Bu nedenle, Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu, daha önce Şekil 2.1'de gösterilen üstel

dağılım, olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzer şekilde azalan eğim profili göstermektedir. Weibull dağılımı katsayıları nedeniyle üstel fonksiyona dönüşmediği durumlarda ise Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu, Şekil 2.4'te gösterilen mor ve yeşil grafiklerdeki gibi tepe noktasından oluşan, artan ve azalan eğime sahip olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzemektedir. Şekilde gösterilen mor grafik ise, lognormal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzetilebilir.

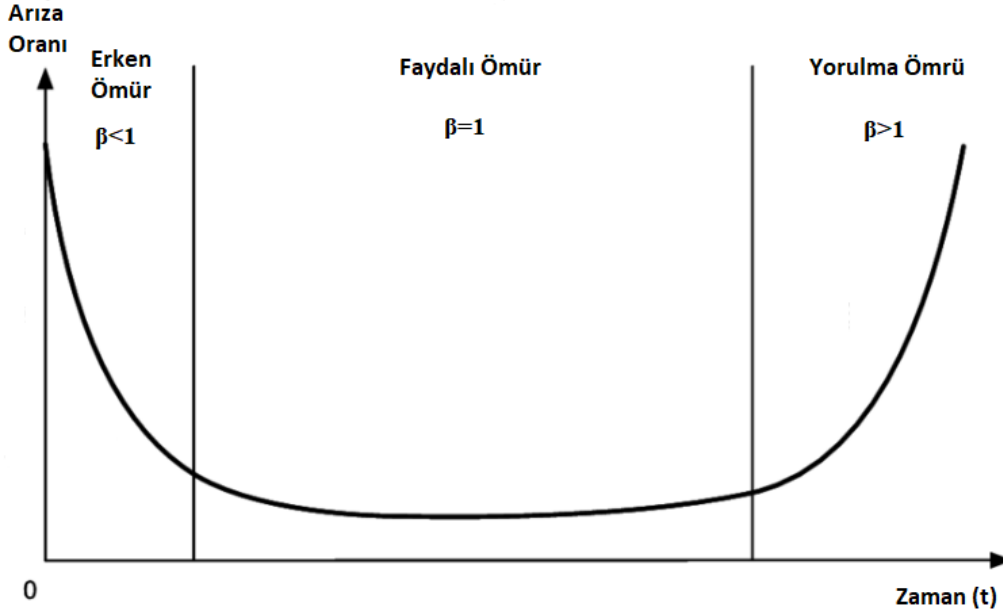


Şekil 2.4: Weibull arıza olasılık dağılımı, farklı beta ve nü değerlerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları

Üstel fonksiyon Şekil 2.5'te gösterilen kuvvet eğrisinde faydalı ömrü ifade etmektedir. Kuvvet eğrisinde faydalı ömür boyunca rastgele arızalar yaşanacağı varsayımı yapıldığı gibi, üstel arıza olasılığına sahip parçalarda da rastgele zamandan bağımsız arızalar yaşanmaktadır. Buradan bir çıkarım yapılırsa; Weibull olasılık dağılımında β 'nın 1'e eşit olduğu, veya 1'e yakın değerlere sahip olduğu durumda Weibull eğrisi üstel dağılım özelliği göstermektedir. Üstel dağılımda λ değeri aynı zamanda arıza oranını ifade etmektedir.

Kuvvet eğrisi genel arıza olasılık dağılımı fenomenini açıklamak için kullanılmaktadır. Parçanın ömrü boyunca arızalanacağı fazları üçe ayırır. Parça ömrünün erken safhasında karşılaşılabilecek arızaları parça için erken ömür olarak gösterilir. Parçanın ömrünün orta safhalarında karşılaşılabilecek arızalar faydalı ömür olarak gösterilir ve tamamen rastgele meydana geleceği varsayılır. Parçanın

arızalarının rastgele meydana gelmesi zamandan bağımsız ve sabit bir arıza oranı ile meydana gelmesi olarak ifade edilir. Parçanın artık ömrünü doldurmaya başladığı son evresi ise kuvvet eğrisinde yorulma ömrü olarak gösterilir. Belirtilen tüm ömür fazları Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Güvenilirlik kuvvet eğrisi

Güvenilirlik analizinde parçaların ömrüyle ilgili genel kanı, parçaların ortalamada kuvvet eğrisi modeline sahip bir arıza oranını ömrü boyunca takip edeceği yönündedir. Parçaların ömrü boyunca yaşayacağı arızalar kuvvet eğrisinde üç sınıflandırmaya ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma; erken ömür, faydalı ömür ve yorulma ömrüdür. Erken ömür safhasındaki arızalar çoğunlukla parçaların kalite, üretim, montaj hatası gibi hatalarından oluşur. Erken ömürde görülen hataların sayısı ürün iyileştirildikçe azalmaktadır. Bu nedenle, erken ömürdeki arıza oranı zamanla düşmektedir. Faydalı ömürde ise, parçalarda sabit arıza oranı görüldüğü ve arızaların rastgele olduğu kabul edilmektedir. Arızaların rastgele olmasından dolayı faydalı ömürdeki arıza oranı üstel dağılıma benzer bir dağılım göstermektedir. Yorulma ömründe ise, parçanın ömrünün çevresel etkenlerden dolayı kısaltmaya başlayacağı varsayılmaktadır. Bu nedenle, yorulma ömründeki parçaların arıza sıklıklarının giderek artması, buna bağlı olarak ise arıza oranlarının yorulma ömründe artan eğime sahip olması beklenmektedir. Parçanın arıza sıklığının artan, azalan, sabit olması durumuna göre güvenilirlik merkezli bakım uygulaması planı değişkenlik gösterecektir. Bu nedenle araştırmalarda parçanın saha arıza verilerinin göstereceği

arıza dağılımı önemli olmaktadır. Yapılan araştırmalar ile birlikte hata oranları dağılımlarının genel kanının aksine küvet eğrisini genellikle takip etmediği gösterilmiştir. 1940-1950'li yıllarda parça hata oranı dağılımında tek bilinen yöntem Şekil 2.5'teki faydalı ömür ile başlayan ve yorulma ömrüyle sonlanan bir arıza dağılımıdır. Dönemin genel yaklaşımında azalan arıza oranı erken ömürde kabul görmemektedir (Moubray, 1997). Küvet eğrisi ise 1960-1970'li yıllarda geliştirilmiştir (Moubray, 1997). Moubray'e göre parça arıza oranı dağılımı 6 farklı tipte olabilmektedir. Şekil 2.6'da Moubray'e göre parçaların ömrü boyunca izleyebileceği 6 farklı dağılım tip gösterilmektedir. Moubray'in tanımladığı parçanın ömrü boyunca göstereceği arıza eğrisi çeşitlerinde A sınıfı kategorisi küvet eğrisini, E sınıfı arıza üstel arıza oranı dağılımını göstermektedir.



Şekil 2.6: Hata oranı dağılım tipleri (Heap ve Nowlan, 1997)

Heap ve Nowlan'e göre güvenilirlik alanındaki genel kanının aksine havacılık sektöründe yaptığı araştırmalarda parçaların sadece %4'ü küvet eğrisine (Şekil 2.6.A) uymaktadır. Şekil 2.6'da gösterilen B tipi arıza dağılımına uyan parçaların oranı %2, C tipi arıza dağılımına uyan parçaların oranı %5, D tipi arıza dağılımına uyan parçaların oranı %7, E tipi arıza dağılımına uyan parçaların oranı %14 ve F tipi arıza dağılımına uyan parçaların oranı %68'dir. Bu sonuç göstermedir ki çoğu parça küvet eğrisinin erken ve faydalı ömründeki gibi hareket eder; fakat parçanın yorulma ömrüne denk gelen arıza eğilimi incelenen parçaların %68'inde gözlemlenmemiştir. Bu sonuç birden fazla hata moduna sahip parçaların ayrılmamasından kaynaklı olabilir veya parçaların yorulma ömrüne girmesi için yeterli süre gözlem yapılmamış

olabilir. Bu nedenle Heap ve Nowlan'ın çıkarımı doğru olmakla birlikte, tamamen uygulanabilir ve kabul edilebilir olarak değerlendirilmemiştir.

Yine Heap ve Nowlan'ın çıkarımına benzer olarak NASA GMBP rehberinde de arıza oranı ömür türlerine göre parça sınıflandırması yapılmıştır (Bkz.Çizelge 2.1).

Heap ve Nowlan ile NASA'nın bahsedilen çalışmalarına göre parçaların hata oranlarına göre dağılımları

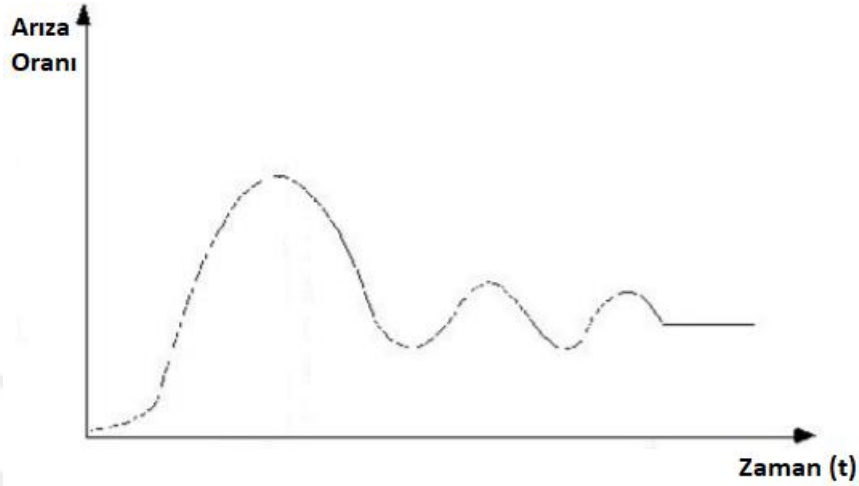
Çizelge 2.1'den incelendiğinde F tipi arıza oranı dağılımının parçaların genelinde yaygın olduğu görülmektedir. Amerikan donanması tarafından yapılan çalışmalarda ise E tipi arıza oranı dağılımının parçalarda en çok gözlemlenen tip olduğu görülmektedir. Diğer çalışmalar ile amerikan donanması çalışmaları arasındaki bu farklılığın temel nedeni ile ilgili literatürde bir bilgi görülmemektedir. Amerikan donanması ile diğer çalışmalar arasında bir farklılık olmakla beraber, yine de bu farklılığın genel resmi çok bozmadığı düşünülmektedir.

Çizelge 2.1: Parçaların oransal olarak farklı çalışmalarda hata oranı dağılım tiplerine göre dağılımı (NASA, 2008), (Heap ve Nowlan, 1997)

	Heap ve Nowlan	İsveç'te Yapılan Çalışmalar	Amerikan Donanması Çalışmaları
Tip A	4%	3%	3%
Tip B	2%	1%	17%
Tip C	5%	4%	3%
Tip D	7%	11%	6%
Tip E	14%	15%	42%
Tip F	68%	66%	29%

Şekil 2.6'da bahsedilen 6 tip ömür dağılımlarının dışında, literatürde farklı ömür dağılımları üzerine yapılan araştırmalar bulunmaktadır. Bu bağlamda karşılaşılan bir alternatif yorum Quanterion firmasının çıkarmakta olduğu "Elektronik Olmayan Parçaların Güvenilirlik Veri Bankasında (NPRD)" yer almaktadır. Quanterion'un yorumuna göre belirli parçalardan bir araya gelen sistemde meydana gelen arızalar sistem seviyesinde incelenirse, sisteme ait arıza oranı belirli bir zaman sonra zamandan bağımsız hale gelecektir (Quanterion Solutions Inc., 2015). Bunun sebebi sistemin içinde yer alan parçaların arızalandıkça değiştirilmesinden kaynaklı yerlerine yeni parçaların gelecek olmasıdır. Bu durumda yeni parçaların sistem için arızalanma süreleri ile henüz arızalanmamış görece eski parçaların arızalanma süreleri birbirinden farklılaşacaktır. Bu nedenle sistem seviyesinde arızalar belirli bir

süre sonra incelendiğinde, sistem arızalarının zaman değeri ile arasında bir ilişki bulunmadığı görülecektir. Burada sistemden bahsedilen aynı sistemleri içeren filo veya farklı parçalardan oluşan bir sistem olabilir. Şekil 2.7’de yeterli süre sonunda parça hatalarının izleyeceği rastgele hata profili gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Zamana bağlı arıza oranı yaklaşımı (Quanterion Solutions Inc., 2015)

2.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi

GMBP tek başına çalışan bir güvenilirlik yöntemi olduğu için normal bir işleyişte ayrıca HTEA yapmaya gerek yoktur; fakat HTEA benzeri bir bilgi formu GMBP yapabilmek için gereklidir. Literatür araştırmalarında belirtilen HTEA yönteminin tanımı şu şekildedir: HTEA, bir parçanın sürecin veya sistemin neden başarısız olacağını ve belirli hata modlarının nasıl etkisi olacağını değerlendiren bir yöntemdir (Snee ve Rodebaugh, 2008). HTEKA parçanın fonksiyonunu devam ettirebilmek için olası hata durumlarını belirledikten sonra kritiklik analizi uygulayarak aksiyonlar türetir.

HTEKA ile HTEA arasındaki temel fark, çoğunlukla karıştırılmak ile birlikte, HTEKA’da kritiklik analizinin uygulanıyor oluşu, HTEA’da ise kritiklik analizi uygulanmayışıdır. Literatürde çoğunlukla HTEA adı verilen bilgi formunun yorumlanması sonucunda kritik durumların belirlenmesi ve HTEA ile uyumlu hale getirilmesi sonucunda HTEKA ortaya çıkmaktadır. Bahsedilen bilgi formunun literatür araştırmaları sırasında hem HTEA olarak adlandırıldığı hemde HTEKA olarak adlandırıldığı görülmüştür. Bu nedenle kavramsal olarak literatürde bir karışıklık olduğundan söz edilebilir. Bu tez çalışmasında HTEA çalışmasında

peşinden gelen kritiklik analizinin ve HTEKA'nın kapsamadığının anlaşılır olması önemlidir. GMBP'de HTEA bir araç olarak seçilebilir; fakat HTEKA tek başına GMBP'ye alternatif bir uygulama olarak kabul edilebilir.

GMBP uygulaması, parçanın fonksiyonunu devam ettirebilmek için olası hata durumlarını belirledikten sonra bakım planlamasının yapılmasını hedefler. Her iki yöntemde de olası hata durumlarının tespiti gerekmektedir. HTEKA yönteminde bu işlem, HTEA formu doldurularak yapılmaktadır ve peşinden kritiklik analizi yapılır, GMBP'de ise parçaların fonksiyonlarını yerine getiremeyecekleri olası hata modlarının tespiti için net bir kavram bulunmamaktadır. Her iki yöntemin tanımlarından yola çıkıldığında güvenilirlik merkezli bakım planı uygulamak için gerekli olan bu bilgi formu formatının HTEA ile uyumlu olacağı görülmektedir. Benzer şekilde daha önce bahsedilen 7 sorunun cevapları aranırken en sonuç odaklı çözümün HTEA benzeri özelleştirilmiş bir yapı olacağıda HTEA tanımından yola çıkıldığında görülmektedir. Nitekim Hata, Kimura ve Kobayashi (2002) araştırmasında GMBP için HTEA uygulamıştır. Literatürdeki birçok çalışmada GMBP bilgi formu için HTEA uygulaması yapılmaktadır (Moubray, 1997; Chalifoux ve Baird, 1999). Bu nedenle GMBP için doldurulacak bilgi formunda HTEA benzeri çalışmalar araştırılmıştır.

HTEKA bilgi formu olarak peşinden uygulanan kritiklik analizi dışında güvenilirlik merkezli bakım uygulamasına uymaktadır ve güvenilirlik merkezli bakım'daki 7 temel soruya benzer soruların cevapları doldurulur. Tez çalışmasında uygulanan bilgi formu tamamen HTEA özelliklerine benzerdir. Bu nedenle tez çalışmasında bu form HTEA olarak adlandırılmıştır. Bilgi formu için standartlar taranırken en uygun yöntemin HTEA formlarından seçim olacağına karar verilmiştir. HTEKA kritiklik analizi ise kapsam dışı bırakılmıştır.

Johnson'a göre kritiklik analizleri GMBP'ye dâhil edilerek GMBP'yi geliştirmek için kullanılabilir (Johnson,2013). Benzer şekilde Gupta ve Mishra da HTEKA yöntemi ile güvenilirlik merkezli bakım uygulamasının desteklenebileceğini belirtmektedir Gupta ve Mishra (2016) bahsi geçen çalışmalar GMBP'de bakım planlamasının kritiklik analizi uygulanarak belirlenebileceğini çalışmalarında göstermektedir. Benzer şekilde NAVAIR 00-25-403 dokümanında da GMBP'de risk analizi yapılabileceği görülmektedir. Bu Bölüm altında standartlar arası farklılıklar üzerine yapılan araştırmalar açıklanırken GMBP'de kritiklik analizi yapılması

mümkün olduğu için standartlar arasındaki kritiklik analizleri açısından farklılıklara da değinilecektir. Bu tez çalışmasında GMBP'nin Bölüm 2.5'te bahsedilecek olan genel kuralları dışına çıkılmamıştır ve farklı hibrit denemeler üzerine çalışılmamıştır; fakat GMBP'de risk analizinin uygulandığı örnekler mevcuttur ve risk analizini planlamada uygulamak mümkündür.

HTEA için uygun yöntem araştırması konu ile ilgili farklı standartlar incelenerek yapılmıştır. Yang'a göre savunma sanayii alanındaki ürünler için MIL-STD-1629A HTEKA standardının kullanılması, otomotiv sektöründeki ürünler için ise SAE J1739 standardına uygun HTEKA incelemesi yapılması uygun olacaktır. Bahsedilen bu standartlar haricinde AIAG FMEA-4 gibi veya endüstriler ile şirketlerin kendi geliştirdikleri prosedürler de bulunmaktadır. Literatürde bu iki standardın taranmasının nedeni çalışmanın yapılacağı sektöre en yakın iki standardın onlar oluşudur. Bu nedenle diğer standart ve endüstriye özel prosedürler incelenmemiştir. İki standart arasında temel olarak üç farklılık göze çarpmaktadır. Farklılıklardan ilki MIL-STD-1629A'da kritiklik seviyesi kritiklik matrisi adı verilen

Çizelge 2.2'de gösterilen şemaya uygun olarak belirlenir (Military Standards / Procedures For Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1980). SAE J1739'da ise kritiklik seviyesi risk öncelik sayısına göre belirlenmektedir.

Çizelge 2.2: MIL-STD-1692A kritiklik matrisi

Seviye A - Sık				
Seviye B - Olası				
Seviye C - Nadiren				
Seviye D - Uzak				
Seviye E - Olası Değil				
	Kategori IV - Önemsiz	Kategori III - Düşük Önem	Kategori II - Kritik	Kategori I - Yıkıcı

MIL-STD-1629'a göre kritiklik matrisinde olayın sonuçlarının ortaya çıkaracağı şiddet ve olayın oluşma olasılığı hesaplanır. Buna göre kritiklik matrisinde hata durumunun konumu belirlenir. Sonuç olarak ise hata durumunun konumuna göre

aksiyon alınıp alınmayacağı yönde planlama yapılır. Matristen anlaşılacağı üzere MIL-STD-1629A'da olayın kritikliği belirlenirken olayın oluşma olasılığı ve olayın oluştuğundaki şiddeti değerlendirilmektedir.

SAE J1739'da ise olayın kritikliği risk öncelik sayısı adı verilen bir sayıya göre belirlenir. SAE J1739'da kritiklik olayın oluşma olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilirliğine bağlıdır. Olayın oluşma olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilirliği için 1'den 10'a kadar bir puanlama yapılmaktadır ve 3 sınıflandırmanın puanları birbiri ile çarpılmaktadır (SAE International / Surface Vehicle Standard – Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), 2009). Ortaya çıkan sayının değerinin belirli bir değerin üstünde olması durumunda olay için aksiyon alınmalıdır. Bu noktadan anlaşılacağı üzere MIL-STD-1629A'da kritiklik şiddet ve olasılık değerlerine göre belirlenirken, SAE J1739'da kritiklik şiddet, olasılık ve tespit edilebilirliğe bağlıdır. GMBP'de daha önce bahsedildiği gibi HTEA formlarının peşinden uygulanan kritiklik tespiti kapsam dışı olduğu için iki standart arasında değinilen bu farklılık bir önem arz etmemektedir.

İki standart arasındaki ikinci farklılık ise olayın gerçekleşme olasılığının sınıflandırması ile ilgilidir. Otomotiv sektöründe gerçekleştirilen üretim ve sahadaki ürün sayısı savunma sektörünün çok üzerindedir. Çizelge 2.3'de, Meksika'da üretim yapan otomotiv firmalarının 3 yıllık ortalama üretim adetleri verilmiştir (Biesebroeck ve Sturgeon,2011). Bunun dışında Uluslararası Motorlu Araçlar Üreticileri Birliği verilerine göre sadece 2018 yılında 95.634.593 motorlu araç üretimi gerçekleşmiştir (Uluslararası Motorlu Araçlar Üreticileri Birliği, 2018). Buna karşılık askeri kara araçları alanındaki 3 yıllık ve yıllık üretimin çok daha düşük adetlerde olduğu bilinmektedir. Savunma sanayii ile otomotiv endüstrisi arasındaki bu üretim adetlerine bağlı olan farklılık her iki standart için oluşturulan olasılık seviyelerinde de gözetilmiştir. SAE J1739 standardında hesaplanan olasılık sayısının hata oranı aralığı ile MIL-STD-1629A standardında hesaplanan olasılık seviyesinin hata oranı aralığı arasında üretim adetlerine bağlı olarak farklılıklar vardır.

Çizelge 2.3'ten anlaşılacağı üzere üretim yapılan adetlere bağlı olarak bahsedilen standartlara göre olasılıksal açıdan farkı vardır. SAE J1739 standardında risk öncelik sayısı hesaplanırken bulunan olasılık sayısı değerinin arıza ihtimallerine göre aralık dağılımı ve olasılık puanı Çizelge 2.4'te verilmiştir (SAE International / Surface

Vehicle Standard – Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), 2009). Buna karşılık olarak MIL-STD-1629A’da olasılık seviyeleri farklı arıza ihtimallerine göre belirlenmektedir. Her iki standardın arıza ihtimali ile belirtmek istediği parçanın çalışma süresi boyunca ortalama arıza ihtimali olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.3: Meksika’da üretim yapan otomotiv firmalarının 3 yıllık üretim adetleri verilmiştir (Biesebroeck ve Sturgeon, 2011)

Firma	3 Yıllık Üretim Adeti
General Motors	1.884.730
Nissan	1.550.563
Chrysler	1.282.670
Volkswagen	1.282.314
Ford	909.480
Honda	89.753
Toyota	65.458

Çizelge 2.4: SAE J1739 standardına göre arıza ihtimallerinin olasılık sayısının denkliği

Arıza Olasılığı	Muhtemel Arıza İhtimali	Olasılık Puanı
Çok Yüksek	≥ 2 seferde 1	10
	3 seferde 1	9
Yüksek	8 seferde 1	8
	20 seferde 1	7
Orta	80 seferde 1	6
	400 seferde 1	5
	2.000 seferde 1	4
Düşük	15.000 seferde 1	3
	150.000 seferde 1	2
Çok Düşük	$\leq 1.500.000$ seferde 1	1

MIL-STD-1629A standardının arıza seviyesine karşılık gelen muhtemel arıza ihtimalleri Çizelge 2.5’te verilmiştir. Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5’te yer alan muhtemel arıza ihtimalleri karşılaştırıldığında MIL-STD-1629A’nın daha dar bir arıza ihtimali aralığında seviye belirlediği görülmektedir. Daha önce savunma sanayii’nin otomotiv endüstrisinden daha düşük üretim sayılarına sahip olduğu anlatılmıştır. Bu nedenle arıza ihtimali SAE J1739 standardına göre seçildiğinde çoğu olayın risk öncelik sayısı olasılık sayısı yüksek olmayacağı için aksiyon alınmaması yönünde olacaktır; fakat MIL-STD-1629A’a göre seçildiğinde olayın şiddetine bağlı olarak olay olasılığının arıza seviyesi D veya üstünde bir seviyeye

sahip olması aksiyon almak için yeterli olacaktır. İki standart arasındaki bu farklılığın temel nedeni MIL-STD-1629A’da seviye E kategorisine denk gelen bir arızanın SAE J1739’da 4 farklı sınıflandırmaya denk gelebilmesinden kaynaklıdır.

Çizelge 2.5: MIL-STD-1629A standardına göre arıza ihtimallerinin arıza seviyesine denkliği

Arıza Seviyesi	Muhtemel Arıza İhtimali
Seviye A - Sık	≥ 5 seferde 1
Seviye B - Olası	10 seferde 1 ile 5 seferde 1 arası
Seviye C - Nadiren	100 seferde 1 ile 10 seferde 1 arası
Seviye D - Uzak	1.000 seferde 1 ile 100 seferde 1 arası
Seviye E - Olası Değil	≤ 1.000 seferde 1

Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5 arasındaki bu farklılıktan dolayı MIL-STD-1629A daha düşük üretim adetleri için aksiyon almayı kolaylaştırırken, SAE J1739, MIL-STD-1629A’ya göre yüksek üretim adetlerinde aksiyon alınması gerektiğini destekler. GMBP için risk değerlendirmesi HTEA yöntemlerine göre yapılmayacağı için ikinci farklılığı göz önünde bulundurmaya gerek görülmemiştir.

İki standart arasındaki bir diğer fark ise SAE J1739 standardı hata tespit yönteminde test sırasında hatanın tespit edilebilirliği, montaj sırasında hatanın tespit edilebilirliği veya tasarım sırasında hatanın tespit edilebilir olup olmadığını değerlendirmek gerektiğini belirtmektedir. Buna karşılık olarak MIL-STD-1629A standardı için hatanın kullanıcı tarafından tespit edilebilir olup olmadığı önemlidir. Aradaki bu farklılığın sebebi yine daha önce bahsedilen üretim adetlerindeki farklılıklarla ilgilidir. Otomotiv endüstrisinde bir hatayı banttan çıkmadan tespit edebilecek olmak mali açıdan bir avantaj sağlayabilecekken savunma endüstrisinde üretim adetlerinin düşük olması ve üretim süresi olarak otomotiv endüstrisine göre daha esnek olmasından dolayı MIL-STD-1629A montaj, test veya tasarım aşamasındaki hata tespit edilebilirliğine bakmamaktadır.

Özellikle iki standart arasındaki bahsedilen üçüncü farklılıktan kaynaklı olarak savunma sanayiinde MIL-STD-1629A’ya benzetilecek bir bilgi formunun işlevsel olacağı düşünülmektedir. Ayrıca SAE J1739 standardının MIL-STD-1629A standardına farklılığı olarak bahsi geçen ilk iki Bölümde SAE J1739’un yüksek üretim yapan endüstriler için daha uygun olabileceğini göstermektedir, savunma

sanayii için ise bu bağlamda düşük sayıda üretimi gözeten ve buna daha uygun olan MIL-STD-1629A daha uygun olacaktır. Bunun dışında MIL-STD-1629A'nın mevcutta savunma sanayii daha düşük sayıda üretim yaptığı için bu amaca hizmet etmek için oluşturulduğu tahmin edilmektedir.

HTEA uygulamasında farklı HTEA türleri bulunmaktadır. HTEA tiplerinin bazıları daha sık kullanılmaktadır (Mraz, 2005). Hangi tipin bilgi formu olarak kullanılabilceği GMBP'ye yön verecektir bu nedenle önemlidir. Mraz'a göre 5 tipte HTEA uygulaması vardır: (1) Sistem HTEA, (2) Tasarım HTEA, (3) Süreç HTEA, (4) Servis HTEA, (5) Yazılım HTEA

HTEA'nın uygulanmak istediği alana göre uygun HTEA tipi seçilmelidir. Seçilecek HTEA tipine göre bilgi formunda çeşitli bilgiler ve hata tespit yöntemleri gibi yöntemlerin tanımları değişmektedir. Örnek vermek gerekirse MIL-STD-1629A tasarım tipinde bir HTEA'yı açıklar. SAE J1739 ise hem tasarım tipinde hem de süreç tipinde bir HTEA'yı ayrı ayrı tanımlar ve ikisinde uygulanma yöntemlerini ayrı ayrı açıklar. Belirtilen beş HTEA yöntemi arasında mevcut çalışma bir tasarıma uygulanacağı için en uygun yöntemin tasarım HTEA olduğuna karar verilmiştir.

HTEA uygulamasında güvenilirlik merkezli bakım bilgi formu ile ilişkili olan bir diğer başlık ise HTEA yaklaşım türüdür. MIL-STD-1629A'ya göre HTEA uygulaması için üç yaklaşım vardır: (1) donanımsal yaklaşım, (2) fonksiyonel yaklaşım, (3) hem donanımsal hem fonksiyonel incelemeler içeren hibrit yaklaşım. Literatürde yapılan araştırmalar sırasında bahsedilen temel yaklaşım türleri dışında çevik yaklaşım, yazılım geliştirmede yazılım HTEA ile birlikte kullanılabilir (Eriksen vd., 2018). GMBP için bilgi formunda nasıl bir yaklaşım yapılması gerektiğine dair yapılan literatür araştırmalarında ise bir örnekle karşılaşılmalıdır. Bu nedenle literatürdeki mevcut yaklaşım türleri üzerinden en doğru yöntem araştırılmıştır.

Sistemler karmaşık hale geldiğinde veya yeterli bilgi sahibi olunmadığında fonksiyonel yaklaşımın uygulanması daha iyi sonuçlar verecektir. Bunun yanında sisteme ait parçalar biliniyorsa, parçalara ait mekanik, malzeme kaynaklı ve elektriksel hata modları biliniyorsa donanımsal bir yaklaşım fonksiyonel yaklaşıma göre daha detaylı ve bilgi içeren bir sonuç çıkaracaktır. Yaklaşım türü aynı zamanda bakım planlamasında nasıl bir bakımın hangi yöntemle uygulanacağını

belirleyecektir. Bu noktada donanımsal yaklaşım ile doldurulacak bir bilgi formunun fonksiyonel yaklaşıma göre bakım planlamasına daha uygun olacağı düşünülmektedir. Fonksiyonel yaklaşımda çalışmaz, sızıntı olur vb. kök neden tespiti zor olan ifadeler hata modu olarak kullanılırken donanımsal yaklaşımda aşınır, çatlak, kırılır, korozyona uğrar vb. gibi mekanik, malzeme ve elektrik hata modlarını içeren yaklaşımlar kullanılmaktadır. İki yaklaşım için aynı Örneği yaklaşım türüne göre vermek gerekirse:

Fonksiyonel Yaklaşım ile yazılan bir bilgi:

Direksiyon Pompası Çalışmayı Durdurur -> Direksiyon Sertleşir

Donanımsal yaklaşım ile yazılan bir bilgi:

Direksiyon Pompası dişlileri sıkışır -> Direksiyon Pompası Çalışmayı Durdurur -> Direksiyon Sertleşir

Örnek olarak verilen bilgiye göre fonksiyonel yaklaşım ile yazılan bilgi formunda, GMBP için direksiyon pompasının çalışmayı durdurmasını nasıl bir bakım görevi ile engellemek gerektiğinin araştırılması gerekliliği ortaya çıkar. Bu durumda direksiyon pompasının ne tarz durumlarda çalışmayı durdurabileceğini araştırmak ve buna göre bakım planlaması yapmak gerekmektedir. Fakat donanımsal yaklaşım ile yazılan bilgi formunda direksiyon pompasının hangi parçasından kaynaklı çalışmayı durduracağı bilinmemektedir. Bu nedenle GMBP’de donanımsal yaklaşım daha faydalı olacaktır. Nitekim yazılan örnekten farkedileceği üzere donanımsal yaklaşım aslında fonksiyonel yaklaşımın nedenini açıklamaktadır. Bu nedenle donanımsal yaklaşım daha kapsamlı bir içerik sunar; fakat bilgi yetersizliği gibi nedenlerden dolayı her durumda donanımsal yaklaşım uygulamak mümkün olmayacaktır. Tez çalışması kapsamında bilgisi bilinen tüm parçalar için donanımsal yaklaşım uygulanmıştır.

Yapılan araştırmalarda HTEA ile ilgili olarak farklı birçok form yapısı vardır. MIL-STD-1629A bilgi formunda parçanın tanımı, fonksiyonu, hata modu, hata nedeni, operasyonel fazı, üç sınıflandırmada etkilerini ve etkinin tespit edilebilirliğini, etkinin şiddetini ve olasılığını sorgular. SAE J1739 tasarım HTEA bilgi formu ise parça fonksiyonu, tanımı, hata modu ve nedeni, bir etkisi, mevcut tasarım kontrol yöntemi, puanlama bilgileri risk öncelik sayısı puanı, tavsiye edilen aksiyon ve aksiyon için hedef tarih ve aksiyon sonuçları bilgilerini sorgular. İki standardın bilgi formları incelendiğinde tez çalışması kapsamında aksiyonların GMBP’den gelmesi

beklenmektedir. Bunun dışında MIL-STD-1629A standardı üç etki sorgulamaktadır. Bu nedenlerden dolayı mevcut tez çalışmasında GMBP'de bilgi formu olarak MIL-STD1629A benzeri bir form daha uygun gözükmektedir.

2.4 GMBP'ye Uygun Bakım Türleri

Literatürde birçok farklı bakım yöntem bulunmakla birlikte, uygulanmak istenen güvenilirlik merkezli bakım programının endüstri türüne göre bu bakımlar özelleşebilmektedir. Örnek vermek gerekirse, Pfleeger'e göre yazılım alanında uygulanabilecek bakımlar mükemmelleştirici bakım, düzeltici bakım, önleyici bakım ve uyarlanabilir bakımdır (Pfleeger, 1998). 487 yazılım organizasyonunda yapılan araştırmalarda yazılım bakımlarının %50'sinin mükemmelleştirici bakımdan oluştuğu görülmektedir (Leintz ve Swanson, 1981). Robotik alanındaki uygulanabilir bakım tipleri ise Dhillon'a göre düzeltici, önleyici ve kestirimci bakımdır.

Güvenilirlik merkezli bakımda ise endüstriye bağlı olarak değişebilir olmakla birlikte uygulanabilir bakım türleri proaktif bakım, önleyici bakım, kestirimci test ve gözlem bakımı ve reaktif bakımdır (NAVAIR / Guidelines For The Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process, 2005). Çizelge 2.6'da GMBP için literatürde geçen bakım türlerinin temel tanımları özetlenmiştir (NASA, 2008; Dhillon, 2006).

Reaktif bakım arıza meydana geldiğinde aksiyon almayı hedefler. Kestirimci test ve gözlem bakımı, proaktif bakım ve önleyici bakım ise arıza meydana gelmeden aksiyon almayı hedefler. Bu bakım türleri arasında belirli farklılıklar vardır. GMBP kapsamında bilgi formu sonuçlarına göre hangi parçaya hangi bakımın uygulanacağı tez çalışması sırasında tek başına bir araştırma başlığı olmuştur.

Reaktif bakımda gizli arızanın tespiti üzerine yapılan bakım çalışmaları, arızalı parçanın tamiri gibi farklı çeşitler yer almaktadır. Dhillon bu bakım türüne uygun olan değişim, tamir gibi bakım aksiyonlarının ancak sistemde bir fonksiyonel arıza meydana geldiğinde uygulanması gerektiğini belirtir. Bu bakım türü sistemde meydana gelecek bir fonksiyonel arıza sebebiyle bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Sadece reaktif bakım türü uygulandığında yüksek oranda plansız bakım aktivitesi, uzun süreli bakım uygulamaları ve yüksek parça değişim maliyetleri görülmektedir (NASA, 2008). Bunun dışında bir sistemde sadece reaktif bakım

uygulanıyor ise şiddeti yüksek arızaların meydana gelmesi, lojistik gecikmelerden kaynaklı hazır bulunuşluk sürelerinde düşmesi gibi istenmeyen organizasyonel sonuçlar görülebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı GMBP'nin yan amaçlarından ve sonuçlarından birisi olarak reaktif bakım sayısını eniyilemesi sayılabilir.

Çizelge 2.6: Güvenilirlik merkezli bakım türleri

Reaktif Bakım	Parça arızalanınca bakım uygulamak gibi tamir görevlerini içerir
Kestirimci Test ve Gözlem Bakımları	Kestirimci bakım, durum takibi, kontrol bakımları gibi arıza meydana gelmeden parçaları inceleme veya gizli arızaların tespiti için uygulanır
Proaktif Bakım	Önleyici bakımın farklı yaklaşımlarla detaylı uygulanan bir türüdür. Arıza kök nedenine inerek arıza öncesinde bakım uygulamayı hedefler. Bakımın amacı parça ömrünü uzatmak ve arızayı takvimsel olarak ileriye ötelemektir
Önleyici Bakım	Parça durumundan bağımsız olarak belirli takvimsel periyotlarla bakım uygulanır

Kestirimci test ve gözlem bakımlarında parçanın mevcut durumunu gözlemek için kontrol görevleri, performans bilgisi toplama, parça üzerinde test yapma görevleri uygulanabilir. Burada ayrı bir parantez açmak gerekirse, son dönemde literatürde araştırmaların yoğunlaştığı “Dirilik ve Kullanım Takip Sistemi” bu sınıflandırmada yer alan bir bakım sistemidir. Özellikle havacılık sektöründe bu sistem ile kullanıcının önemli parçaların dirilik durumlarını anlık olarak çeşitli akıllı sistemler ile takip edebilmesi hedeflenmektedir. Kestirimci test ve gözlem bakımlarında istatistiki süreç analizi, veri karşılaştırması, meyil analizi gibi çeşitli çalışmalar yapılabilmektedir (Dhillon, 2006). Kestirimci bakım uygulamasının başarısı bakım personelinin yetkinliği ile orantılı olacaktır. Bu nedenle Kestirimci bakım uygulamasında personel yetkinliği önemli bir başarı kriteri haline gelmektedir. Aynı zamanda kestirimci test ve gözlem bakımları proaktif ve önleyici bakımlara göre daha maliyetlidir. Kestirimci test ve gözlem bakımının önleyici bakımın bir alt başlığına benzerliği ile birlikte önleyici ile proaktif bakıma göre uygulama yöntemindeki farkı belirgindir ve net anlaşılabilir; fakat proaktif ile önleyici bakım arasındaki uygulama yöntemi farkı daha belirsizdir.

Literatür araştırmaları sırasında proaktif ve önleyici bakımlar için farklı tanımlar ile karşılaşılmıştır. Moubrey'e göre proaktif bakım parçada arıza meydana gelmeden parça değişimi veya belirli periyotlarla bakım uygulama yöntemleriyle önlem

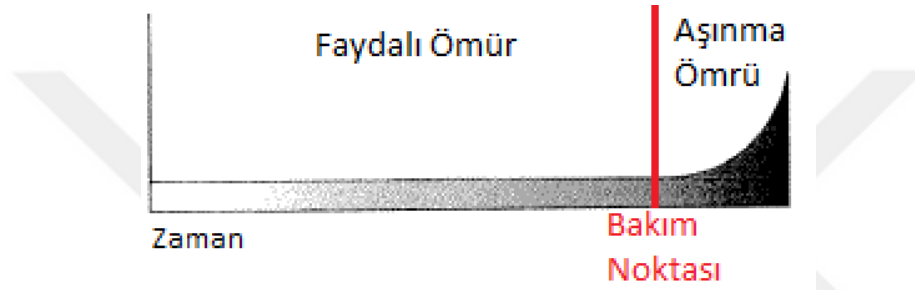
almaktır. Dhillon ise proaktif bakımı arıza kök nedenine inerek arıza öncesinde parçaya bakım uygulamak olarak açıklamaktadır. NAVAIR 00-25-403 ise önleyici bakımı fonksiyon arızasını önlemek için uygulanan aksiyon olarak tanımlar. Bahsedilen tanımlardan görülmektedir ki literatürde proaktif ve önleyici bakım için farklı tanımlar mevcuttur. Belirtilen iki bakım yöntemi arasındaki temel fark proaktif bakımın önleyici bakımın bir alt başlığı olarak değerlendirilebileceği ve proaktif bakım yönteminin, önleyici bakım yönteminin detaylandırılmış bir alt sınıfı olabileceğidir. Proaktif bakım kök neden analizi, yaş keşfi gibi durumları inceleyerek arıza öncesi bir değişim veya tamiri belirli periyotlarla hedefler (NASA, 2008). Önleyici bakımda ise belirli periyotlarla kalibrasyon, temizleme, yağlama, malzemenin fiziksel, elektriksel ve mekanik özelliklerine göre kontrol edilmesi, ayar yapma, periyodik değişim, parça testi görevleri yer almaktadır (Dhillon, 2002). Sisteme tek başına önleyici bakım uygulamak maliyetli ve etkisiz olabilmektedir (Dhillon, 2006).

Bunun yanında önleyici bakım aşınan parçalara, tüketim maddelerine ve arıza dağılımı öncesinde bilinen arıza moduna sahip parçalara uygulanabilir; fakat proaktif bakımda kök neden analizi, yaş keşfi, HTEA gibi araştırma çalışmaları yapılmalıdır (NASA, 2008). Proaktif bakımlar GMBP'nin temelini oluşturur (Dhillon, 2006). Araştırmalar göstermektedir ki proaktif bakım yaklaşımı önleyici bakım yaklaşımına göre daha araştırmacı, sorgulayıcı ve bilgi türeterek ilerler. Proaktif bakım arızaları önleme konusunda önleyici bakıma göre daha etkindir (Moubray, 1997). Proaktif bakımın bu özelliklerinden dolayı GMBP çalışması sırasında bakımlar belirlenirken proaktif bakımların yoğunlukta olması beklenebilir. Buna karşılık olarak GMBP sonucunda reaktif bakımlarda azalma gözlemlenmesi reaktif bakımların olumsuz yönlerinin GMBP'de ortaya çıkaracağı olumsuz sonuçlar sebebiyle mümkündür. Önleyici bakım uygulaması daha önce Şekil 2.6'da bahsedilen B numaralı profile de uygundur

Tez çalışması kapsamında HTEA sonuçları değerlendirilirken hem reaktif, hem proaktif, hem kestirimci test ve gözlem bakımları, hemde önleyici bakım yöntemleri ele alınmıştır. Daha önce bahsedilen bakım yöntemleri ile ilgili olarak araştırılan literatüre göre yapılan değerlendirmede reaktif bakım yaklaşımının negatif yönleri ve önleyici bakım yaklaşımının GMBP'de kapsamının dar olması sebebiyle çalışma sürecinde bahsedilen iki bakımın kapsamı dar tutulmaktadır. Nitekim Bölüm 2.4'te

anlatılacağı üzere GMBP’de reaktif bakım ve önleyici bakım yöntemlerinin yeri geniş kapsamlı değildir, ancak belirli durumlarda kullanımı mümkündür.

Literatür araştırmaları sırasında taranan bir diğer bilgi ise uygulanacak olan bakım yönteminin aşınma ömrünün öncesinde olması gerekliliğidir. Moubray’e göre bir parçaya önleyici, proaktif veya kestirimci test ve gözlem bakımı seçildiğinde bakımın periyodu parça için belirlenen faydalı ömür içerisinde olmalıdır ve faydalı ömür evresinin mümkün olduğunca aşınma ömrüne yakın bir noktası seçilmelidir. Literatür bilgisine uygun olarak Şekil 2.8’te aşınma ömrüne ait, Şekil 2.6.B’de belirtilen ömür profiline uygun bakım noktası gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Temsili bakım uygulama noktası

Bu noktada araştırmaya konu olan bir diğer bakım konusu uygun bakım noktasının aşınma ömrünün ne kadar öncesinde olması gerektiğidir. Yapılan literatür araştırmalarında uygun bakım noktasının tespit edilmesi ile ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır. Tez çalışmasının uygulama adımları konu edilirken uygun bakım noktasının belirlenmesi ile ilgili olarak bu kısma daha detaylı değinilecektir.

2.5 Güvenilirlik Merkezli Bakım Planlama Süreci

GMBP’de Bölüm 2.1’de bahsedilen 7 temel sorunun cevapları aranmalıdır. Bu konu üzerine literatürde birçok farklı yol haritası tespit edilmiştir.

GMBP Heap ve Nowlan’a göre parça servise sunulmadan önce uygulanmaya başlanmalıdır. Ancak, parçanın servise girmesi öncesinde gerçek güvenilirlik bilgisi’nin bulunmayacak oluşu, GMBP’nin belirli varsayımlara göre belirlenmesine neden olmaktadır (Heap ve Nowlan, 1978). Heap ve Nowlan bu noktada parçanın doğası gereği yaşayabileceği muhtemel arızaları ve arızaların sonuçlarını değerlendirmeyi önermektedir. Heap ve Nowlan’ın burada bahsettiği daha önce değinilen HTEA benzeri bilgi formundan yola çıkılması ve sonrasında karar akış

şeması ve uygun bakım türlerine göre bir bakım planı belirlemek olarak yorumlanmıştır. Heap ve Nowlan'a göre ürünün tasarım aşamasında belirlenecek olan başlangıç seviyesi GMBP ürün servise girdikten sonra güncellenmelidir. Başlangıçta belirlenecek olan GMBP'de parçalara ait güvenilirlik verileri yoksa, sonraki güncellemede bu verilerin sahadan toplanması ile birlikte bakım periyotları değiştirilmelidir. Nitekim GMBP yaş tahmini gibi güvenilirlik değerlerinin araştırılmasına dayanmaktadır. Tez çalışmasında yeni tasarımda kullanılacak olan süspansiyon sistemi parçalarının serviste devam eden bir ürüne ait süspansiyon sistemi ile aynı olmasından dolayı, planlanacak olan ilk güvenilirlik merkezli bakım uygulamasında HTEA bilgi formunun sahada görülen hata modlarına göre doldurulmasının yanında güvenilirlik değerleri de saha arıza verilerine göre değerlendirilmiştir. Bu sayede yaş tahmini, arıza sıklığı ve parçaların güvenilirliği gibi GMBP'de kullanılması gerekli olan bilgiler, saha arıza verileri üzerinden elde edilmiştir. Şekil 2.8'de konu edilen bakım noktasının belirlenmesi, planlama yapılacak ürünün saha verilerin bulunmaması durumunda Heap ve Nowlan'ın konu aldığı başlangıç seviyesi güvenilirlik merkezli bakımda ancak tahmine dayalı olarak belirlenebilecektir.

Heap ve Nowlan'ın GMBP çalışması havacılık sektörü ürününe aittir. Bir uçakta sayısız parça yer aldığı için Heap ve Nowlan tüm parçaları GMBP kapsamında tutmaya gerek olmadığını belirtmektedir. Bu kapsamda daha önce Bölüm 1.1'de konu edilen sorular sorularak parçalar arasında sarf, yük taşımayan, etkisi olmayacağı düşünülen parçalar elenmektedir. Bu sorular literatürde anlamlı parçaları belirleyici sorular denilmektedir. Soruların sorulması ile birlikte etkisi bulunmayacağı öngörülen parçalar elenmektedir ve geriye kalan parçalara anlamlı parça denilmektedir. Heap ve Nowlan anlamlı parçayı şöyle tanımlamaktadır: “*Bir parçanın arızası operasyonel emniyet veya büyük çaplı ekonomik çekinceleri ortaya çıkarabilecekse o parçaya anlamlı parça denilir.*” Burada “ekonomik çekinceler” ile anlatılmak istenen, parça arızası operasyon kapasitesini olumsuz yönde etkiliyor veya yüksek bakım maliyetlerine neden oluyorsa şeklindedir. Gizli fonksiyona sahip parçalar anlamlı parça sınıflandırmasında kesinlikle anlamlı parça sınıfına dâhil olmalıdır (Heap ve Nowlan, 1978). Gizli fonksiyon ile anlatılmak istenen, parçanın emniyet veya operasyon kaybına direkt sebebiyet vermeyecek olması; fakat peşinden gelecek ikinci bir arıza ile meydana gelecek fonksiyon kaybı ile gizli fonksiyon

kaybının birleşiminin emniyet veya operasyon kaybına doğrudan sebebiyet verecek olmasıdır. NAVAIR 00-25-403'te gizli hatalar şöyle açıklanmaktadır: *“Bir arıza meydana geldiğinde yaşanan fonksiyon kaybının herhangi bir indikatör aracılığı ile operatör tarafından fark edilememesi.”* Moubray ise gizli fonksiyonun tanımını *“Fonksiyonda arıza meydana geldiğinde normal şartlarda operatör tarafından farkedilemiyorsa gizli fonksiyondur.”* şeklinde açıklamaktadır. Bu noktada literatürde gizli arıza yaşandığında, peşinden gelecek ikinci bir arızanın etkilerinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu nedenle HTEA bilgi formuna yaşanacak hata modunun operatör tarafından görünür olup olmayacağına dair bilgi girilmesi gerekmektedir. Operatör tarafından görünür olmayan arızalarda ise peşinden gelecek ikinci bir arıza için HTEA etkileri devam ettirilmelidir.

Bir sistemin herhangi bir alt parçasının anlamlı parça seçilmesi durumunda parçanın bulunduğu sistem de anlamlı parça sınıfına girmelidir (Heap ve Nowlan, 1978). Heap ve Nowlan'ın önerdiği anlamlı parça seçimi eğer mevcut tez çalışmasında uygulanmamış olsaydı, yaklaşık 300 parça için HTEA doldurulmalıydı ve çoğu parçanın etkisiz olacağı HTEA sonucundan görülmüş olacaktı; fakat Heap ve Nowlan'ın önerisi mevcut tez çalışmasına uygulanarak, çalışma kapsamında incelenecek parça sayısı 20 civarına indirilmiştir. Heap ve Nowlan'ın önerisi ile GMBP'de parçaların güvenilirlik değerlerinin türetilmesi üzerine çalışılan işçilik görünür şekilde düşürülmüştür ve belirtilen anlamlı parça seçimi süspansiyon sistemi için uygulanmıştır. Bu sayede GMBP'nin 7 temel sorusunun yönetildiği ve yanıtlarının arandığı parça sayısı düşürülmüştür. Anlamlı parça seçimi ile ilgili detaylı bilgiler ileriki bölümlerde daha detaylı olarak anlatılacaktır.

Anlamlı parça seçiminden bir sonraki aşamada, literatür araştırmalarına göre anlamlı parça sınıfına giren parçalar için fonksiyon tanımları belirlenmelidir. Parçaların hangi fonksiyonları parça bazında ve sistem seviyesinde gerçekleştirmesi gerektiği net şekilde ortaya koyulmalıdır. Parça fonksiyonları, parçada arıza meydana geldiğinde olası etkilerini ortaya çıkaracaktır. Belirtilen değerlendirme, parçanın fonksiyonunu yerine getirememesi durumunda, parça seviyesinde, sistem seviyesinde ve ürün seviyesinde nasıl bir etkisi olacağı yönündedir. Bu noktada parçaların listesi, parça fonksiyonları ve olası etkileri daha önce bahsedilen HTEA benzeri form ile değerlendirilmelidir. HTEA formunda güvenilirlik merkezli bakım için yön gösterici olacak şekilde düzenlemeler yapılmalıdır. Bu noktada daha önce ele alınan

nedenlerden ötürü MIL-STD-1629A'nın HTEA bilgi formu kullanılması uygun olacaktır. HTEA bilgi formunun doldurulması ile birlikte Bölüm 2.1'de bahsedilen 7 temel sorudan ilk 5 sorunun cevabı bulunacaktır. GMBP'de sorulması gereken 7 temel sorudan ilk 5 sorunun HTEA çalışması ile türetilebileceği, Regan tarafından da dile getirilmektedir. 6. ve 7. soruların yanıtlarının aranması ise, GMBP'ye özel yöntemler ile belirlenecektir. Buradan anlaşılmaktadır ki HTEA benzeri bilgi formu, GMBP'nin uygulanacağı parçaların sınıflandırılmasını mümkün kılmaktadır ve GMBP'nin en önemli adımlarından birisini oluşturmaktadır. Parçalar için belirtilen ilk 5 soru cevaplanmadan 6. ve 7. sorulara cevap aranması mümkün olmayacaktır. Çizelge 2.7'de MIL-STD-1629A'ya uygun olarak modifiye edilmiş ve tez çalışmasında kullanılmış bilgi formu ile HTEA'da yer alan başlıkların, güvenilirlik merkezli bakımın hangi sorularına yanıt aradığı gösterilmektedir. Bu noktada NAVAIR 00-25-403 standardı da HTEA benzeri bir bilgi formunun doldurulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Standarda göre bir parçanın fonksiyonları, hata modları, olası etkileri ve etkilerinin şiddetlerini HTEA belirlemektedir. Standart, güvenilirlik merkezli bakım uygulaması öncesinde HTEA'nın doldurulmasını önermektedir (NAVAIR, 2005). Benzer şekilde Moubray'de GMBP öncesinde parçaların fonksiyonları, hata modları, hata nedenleri, olası etkileri ve etkilerinin şiddetlerinin değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir ve yine literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi bu aşamada HTEA bilgi formunu işaret etmektedir. HTEA doldurulurken, başlangıç olarak parçaların fonksiyonları belirlenmeli, ikincil olarak ise parçaların hata türleri belirlenmelidir.

Bölüm 2.3'te bahsedilen donanımsal HTEA yaklaşımı uygulandığında parçaların aşınma, çatlama, kırılma, korozyona uğrama ve benzeri mekanik, elektriksel veya malzeme ilişkili hata modları belirlenir. Tez çalışması boyunca parçaların hata modlarının ve hata nedenlerinin belirlenmesi, saha arıza verilerinde yer alan hata modları ve nedenlerine dayandırılmıştır. Literatürde, parçaların hata modlarını belirlemeye yönelik olarak bir araştırma yapılmamıştır. Bilgi formunda bir sonraki aşamada ise "Parçada bahsedilen hata modu ve hata nedeni yaşandığında fonksiyonu olumsuz etkilenir mi?" sorusu sorulur. Bu soru hem parçanın kendi fonksiyonu için, hem sistem seviyesi fonksiyon için, hemde ürün seviyesi fonksiyon için ayrı ayrı yöneltilir. MIL-STD-1629A'nın Bölüm 2.3'te bahsedilen "parçaların olası etkileri 3 sınıflandırmada değerlendirilmektedir" sözü ile anlatılmak istenen parça arızasının

kendi fonksiyonuna olan etkisi, parça arızasının sisteme olana etkisi ve parça arızasının ürüne olan etkisinin ayrı ayrı değerlendirildiği yönündedir. Yine Bölüm 2.3'te bahsedilen MIL-STD-1629A'nın HTEA bilgi formu olarak seçilmesinin bir nedeni ise SAE J1739'a göre 3 farklı seviyede etkiyi değerlendiriyor oluşudur. Yine HTEA bilgi formunda MIL-STD-1629A'ya göre hata tespit yöntemlerinin değerlendirilmesi, her bir parça için GMBP'de önemli bir adımdır. Çizelge 2.7'de başlık olarak yer alan hata tespit yöntemi, fonksiyon kaybının gizli olup olmadığı yönünde bilgi verecektir. Çizelge 2.7'dekilerin yanında ayrıca hata tespit yöntemi bilgiside yer almaktadır. Bu bilgi ile hata modunun gizli hata veya mürettebat tarafından tespit edilebilir olup olmadığına dair bilgi girilmektedir.

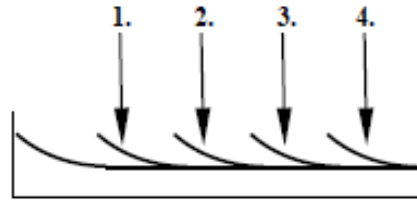
Çizelge 2.7: Uygulanan HTEA formatı ve GMBP temel soruları arasındaki ilişki

Fonksiyonu	Potansiyel Hata Modu	Potansiyel Hata Nedeni	Lokal Etkisi	Sonraki Etkisi	Son Etkisi	Şiddet
Temel Soru (1)	Temel Soru (2)	Temel Soru (3)	Temel Soru (4)	Temel Soru (4)	Temel Soru (4)	Temel Soru (5)

Bilgi formunun doldurulması ile birlikte parçaların daha önceden bilinen arıza oranları varsa veya arıza oranları üzerine tahmin yapılabiliyorsa güvenilirlik değerleri hesaplanmalıdır (Heap ve Nowlan, 1978). Bölüm 2.2'de belirtilen hesaplama yöntemleri ile birlikte parçaların arıza oranı dağılımları belirlenmelidir. Literatürde arıza oranının eğimi ile ilgili önemli bir nokta vardır. Regan'a göre azalan arıza oranı eğimine sahip parçalara güvenilirlik merkezli bakım uygulanmamalıdır. Azalan arıza oranı eğimine sahip parçalara bakım uygulandığı durumda arıza oranı bakım faaliyeti sonrasında tekrar yükselmiş olacaktır (Regan, 2011). Şekil 2.9'da bu durumu açıklayan bir görsel gösterilmiştir. Şekil 2.9'dan anlaşılacağı üzere parçanın arıza oranı zaman içerisinde düşmektedir; fakat 1. bakım uygulaması ile birlikte arıza oranı tekrar yükselmektedir. Aynı şekilde 2. 3. ve 4. periyodik bakımlarla birlikte parçanın arıza oranı tekrar yukarı çekilmektedir. Parçaların güvenilirlik değerleri hesaplanırken arıza oranı eğiminin yönü GMBP öncesinde dikkate alınmalıdır (Regan, 2011). Tez çalışmasında da seçilen örneklem içerisinde azalan arıza oranına sahip parçalar ile karşılaşılmıştır. Şekil 2.9'da dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, yıkıcı şiddete sahip arızaların bu durumdan muaf tutulacağıdır. HTEA sonuçlarına göre yıkıcı şiddete sahip olduğu belirlenen

arızalar, arıza oranının azalan veya sabit olması değerlendirilmemelidir ve arıza yaşanmadan önce kesinlikle engellenmelidir. Bu çalışma kapsamında yıkıcı şiddete sahip arızalar için aynı politika izlenecektir.

Tez çalışması boyunca parçalar için hesaplanan güvenilirlik değerlerinde GMBP'ye geçilmeden önce Regan'ın dile getirdiği bu durum her parça için ayrıca değerlendirilmiştir ve buna göre çeşitli kararlar alınmıştır. Tez çalışmasına yönelik uygulamalar konu edilirken alınan kararlarda izlenen yollara değinilecektir.

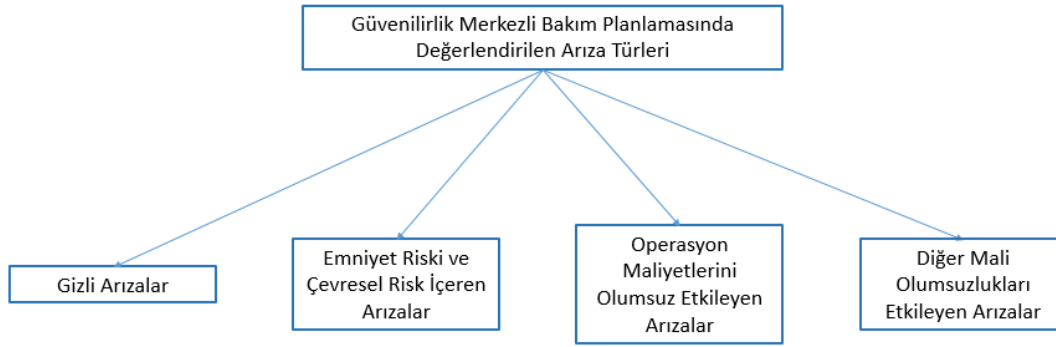


Şekil 2.9: Azalan arıza oranına sahip parçaya periyodik bakım uygulanması sonrası oluşan arıza oranı

Azalan arıza oranı Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibi arıza dağılımı türünün olasılık yoğunluk fonksiyonuna bağlıdır. Weibull olasılık dağılımının önemi bu noktada tekrar belirgin hale gelmiştir. Bölüm 2.2'de bahsedildiği gibi üstel dağılım katsayısı olan hata oranı, sabittir ve parçaya periyodik bakım uygulandığında arıza oranı eğimi değişmeyecektir. Yani üstel arıza dağılımına sahip parçanın periyodik bakım öncesindeki arıza yapma olasılığı ile, periyodik bakım sonrasındaki arıza yapma olasılığı değişmeyecektir. Benzer şekilde lognormal dağılımda ömrünün erken safhasında artan ve sonrasında logaritmik olarak azalan arıza oranı eğimine sahiptir. Lognormal arıza oranı dağılımına sahip bir parçaya arıza öncesinde periyodik bakım uygulamak olumsuz yönde etkileyecektir. Bunlara karşılık olarak Weibull olasılık dağılımında boyut parametresi 1'den büyük parçalarda arıza öncesinde periyodik bakım uygulamak parça için arıza ihtimalini düşürecektir. Bu bilgiler değerlendirildiğinde çalışma kapsamında parçaların güvenilirlik değerleri hesaplanırken dağılım yönteminin parça için uygun bulunması durumunda özellikle Weibull olasılık dağılımı uygulanması hedeflenmiş ve boyut parametresi her parça için kontrol edilmiştir.

Parçaların güvenilirlik değerleri hesaplandıktan sonra GMBP'ye özel olan uygulama adımlarına geçilmelidir. HTEA sonuçlarına göre türetilen arızaların şiddeti, hata tespit yöntemleri ve arızaların etkileri üzerine olan değerlendirmeler GMBP için

farklı sınıflandırmalara ayrılır. Literatür araştırmalarına göre 4 farklı sınıflandırmadaki arızalar, her sınıflandırma için farklı yöntemlerle ele alınmalıdır (Moubray, 1997). Moubray'e benzer olarak Heap ve Nowlan'da benzer bir sınıflandırma yapmaktadır. Bunun dışında Amerikan ordusu mühendisleri raporunda da GMBP'ye yönelik arıza sınıflandırmaları Şekil 2.10'a uygun Şekilde resmedilmiştir (Chalifoux ve Baird, 1999). Bu sınıflandırma Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: GMBP'de değerlendirilen arıza türleri

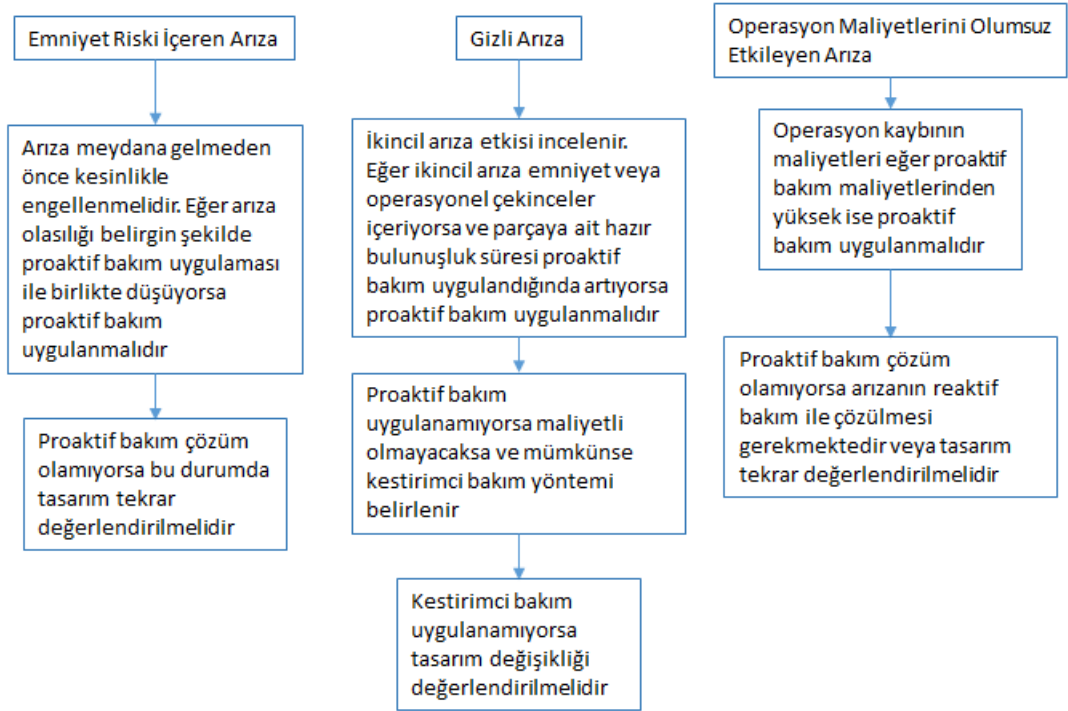
Askeri endüstri çevresel Őartnamelerden muaftır. Bu nedenle Şekil 2.10'da bahsedilen arıza türleri arasında çevresel risk içeren arızalar ve diğer mali olumsuzlukları etkileyen arızalar tez çalışması kapsamı içerisinde değildir.

Moubray'e göre operasyonel çekinceleri içeren arızalar Şu alanlarla ilgili çekinceler içerebilir: (i) rn kalitesi, (ii) müşteri servisi, (iii) operasyonel maliyetler, (iv) tamir maliyetleri

Operasyon maliyetlerini olumsuz etkileyen arızalar çalışmaya özel olarak sınıflandırılabilir. Endüstri veya firmaya bağlı olarak operasyon maliyetleri farklı parametrelerle etkilenebilmektedir. Arızanın tamiri bir firma için maliyetli olabilirken, farklı bir firma için maliyetli olmayabilir. Benzer Şekilde enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firma için ürünün çalışmaması maliyetli olabilirken, farklı bir sektörde faaliyet gösteren bir firma için ürünün çalışmaması maliyetli olmayabilir. Başka bir örnek vermek gerekirse beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firma için müşteri memnuniyetsizliği önemli bir maliyet kalemi olabilir; fakat son kullanıcı üzerine çalışmayan başka bir sektörde müşteri memnuniyetsizliği önemli bir maliyet olarak değerlendirilmeyebilir. Tez çalışmasında operasyon maliyetleri aşağıdaki Şekilde belirlenmiştir:

- Hazır bulunuşluk süresinin düşmesi ve operasyonun durması
- Ürünün garantisi içerisinde arıza sebebiyle durmasından kaynaklı garanti süresinin uzaması
- Ürünün tek arızasında tek bakım yapılacak alt parça olması ve bakım işçiliğinin bu nedenle maliyetli oluşu
- Tamir yerine yeni parça ihtiyacında lojistik gecikmeler ve yeni parça maliyetleri

Literatürde emniyet riski içeren arızalar “birinin yaralanması veya ölümüne neden olabilecek fonksiyon kayıpları” olarak tanımlanmaktadır (Moubray, 1997). Bu türe ait arızalar, literatürdeki tanımı kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.11: Arıza türlerine göre GMBP (Heap ve Nowlan, 1978) (Moubray, 1997)

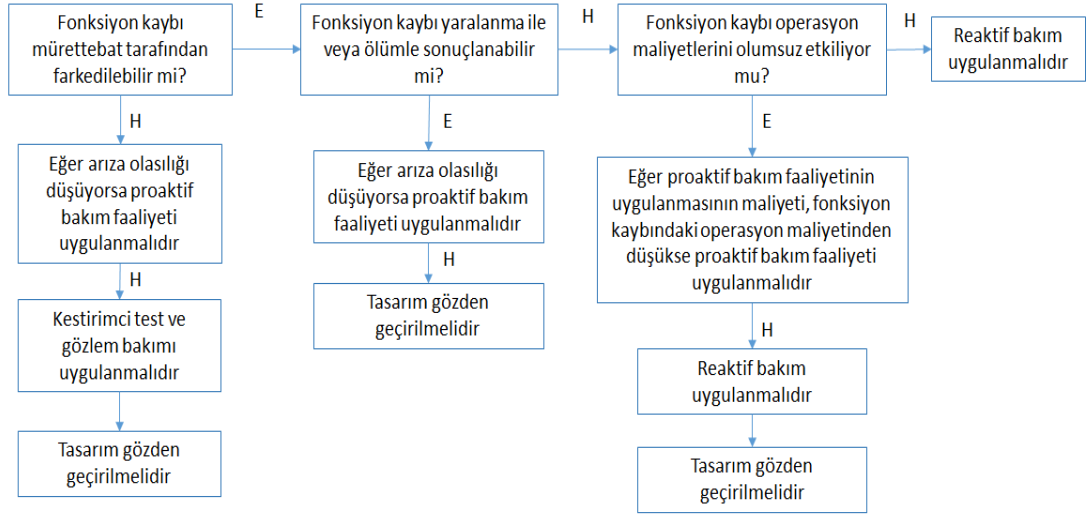
Şekil 2.11’de arıza türlerine yönelik nasıl aksiyonlar belirlenmesi gerektiği yer almaktadır (Moubray, 1997). Şekil 2.12’de GMBP için literatürde taranan karar akış şeması örneği gösterilmiştir. GMBP’de 6. ve 7. soruların cevapları Şekil 2.11’de belirtilen özet ve Şekil 2.12’de gösterilen GMBP karar akış şemasına uygun olarak aranmalıdır (Regan, 2011).

Şekil 2.11'den anlaşılacağı üzere önleyici bakım faaliyeti önerisi, GMBP'de yer almamaktadır. Bunun temel sebebi önleyici bakım faaliyetlerinin, Bölüm 2.4'te anlatıldığı gibi proaktif bakım türlerine göre sorgulayıcı, araştırmacı olmayışdır. Proaktif bakımlar riskleri düşürür ve önleyebilir; fakat buna karşılık önleyici bakım faaliyetleri riskleri engellemek üzerine yoğunlaşır. Aralarındaki bu ince çizgi ve daha önce Bölüm 2.4'te bahsedilen nedenlerden dolayı GMBP'de güvenilirlik odaklı bir planlama çalışması için önleyici bakım faaliyetleri yetersiz kalmaktadır. Önleyici bakım faaliyetleri yerine Bölüm 2.4'te açıklanan nedenlerden dolayı proaktif bakım faaliyetleri GMBP'nin temelini oluşturmaktadır. Proaktif bakım faaliyetleri ile birlikte GMBP'ye uygun olarak kök neden araştırmaları, parçaya yönelik faydalı ömür yaş tahminleri gibi çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. GMBP'de, bakımı tahmine dayalı kurgulamak yerine güvenilirliğe dayandıran ve proaktif bakımları tetikleyen neden, test, saha arıza verilerinin değerlendirilmesi, analiz çalışmaları gibi çalışmaların kullanılması gerekliliğidir. Tez çalışmasında bu bilgiler, daha önce bahsedildiği gibi, süspansiyon sistemi için saha arıza verilerinden türetilir ve sahadaki aracın arıza verileri toplanarak mevcut çalışma için güvenilirlik değerleri belirlenebilir. Bu nedenle proaktif bakım faaliyetleri için gerekli olan değerlendirmeler saha arıza verileri derlenerek araştırılmıştır. Mevcut tez çalışmasını klasik yöntemler izlenerek oluşturulan bir GMBP'den ayıran nokta bunun üzerinedir. Normal bir GMBP'de kapsamda yer alan parçalar için güvenilirlik değerlerinin belirlenmesi test, analiz veya tahmine dayalı gerçekleştirilirken, bu tez çalışmasında saha verilerinin örneklem özelinde varlığı sebebiyle güvenilirlik değerleri ve GMBP'ye ait diğer adımlar saha arıza verileri kullanılarak belirlenebilecektir.

Güvenilirlik merkezli bakımda Şekil 2.11'de verilen arıza türlerinin değerlendirme yöntemi literatürde karar akış şemaları ile anlatılmaktadır. Moubray'in karar akış şeması Şekil 2.12'de gösterilmektedir. Literatürde, belirlenen arıza etkileri ve şiddetlerine göre GMBP'de alınması gereken kararlar, tüm kaynaklarda Şekil 2.12'de belirtilen şemaya benzer karar akış şeması üzerinden değerlendirilmektedir.

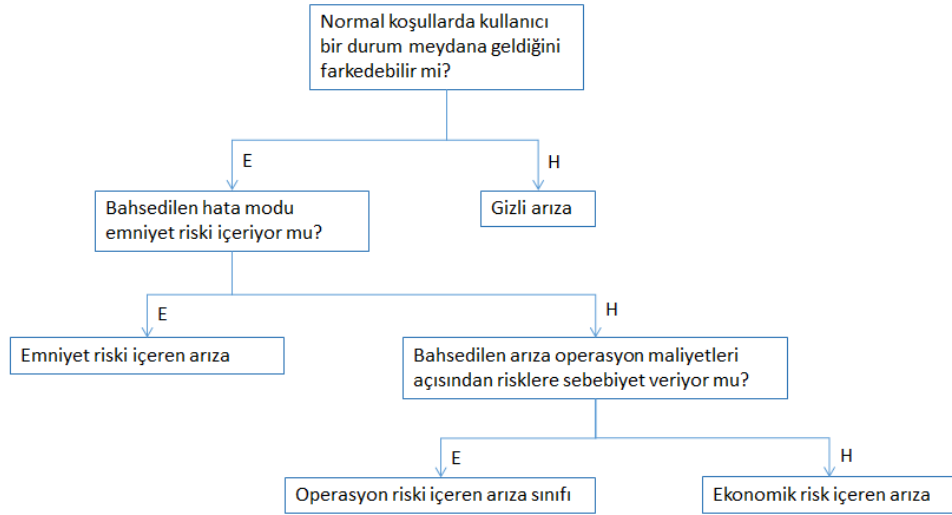
Şekil 2.12'den anlaşılacağı üzere gizli arıza ve operasyon maliyeti çekincesi içeren arızalarda, proaktif bakım uygulanmadığı durumda diğer bakım yöntemlerine yönelmenin mümkün olabileceği gibi tasarım tekrar gözden geçirilebilir. GMBP'de bu karar çalışmayı yapana bırakılmıştır. Örnek vermek gerekirse fonksiyon kaybı operasyon maliyetlerini olumsuz etkiliyorsa ve proaktif bakım uygulanamıyorsa

planlı bir bakım faaliyeti tanımlanmayıp reaktif bakım faaliyeti uygulanabileceği gibi tasarım değişikliği de alternatif olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2.12: GMBP karar akış şeması (Moubray, 1997)

Hinchcliffe ve Smith (2014) güvenilirlik merkezli bakım karar akış şemasını iki sınıfa ayırmıştır. İlk sınıf Şekil 2.11’de belirtilen arızaların tanımını yapmak üzerinedir. Bu karar akış şeması Şekil 2.13’te gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Arıza tanımı sınıfları (Hinchcliffe ve Smith, 2004)

Hinchcliffe ve Smith’in karar akış şeması Moubray’e göre daha karmaşıktır. Bunun yanında Moubray ile benzer çıkarımları Hinchcliffe ve Smith’e ait karar akış şemalarını kullanarak da yapmak mümkündür. GMBP amacıyla aynı örnek iki karar akış şemasında uygulandığında aynı bakım faaliyetleri ve aksiyonların belirlenebileceği görülecektir; fakat Hinchcliffe ve Smith’in belirttiği karar akış

şemasında farklı sonuçların elde edilmesi de mümkündür. Hinchcliffe ve Smith'in Şekil 2.14'de belirtilen karar akış şeması GMBP amacıyla literatürde belirtilen genel karar akış şemalarına benzemektedir; fakat bu noktada Hinchcliffe ve Smith karar akış şemasında soruları parçanın yaşı ile güvenilirliği arasında ilişki kurulup kurulamayacağı üzerine belirlemektedir. Moubray ise parçaların güvenilirlik açısından değerlendirilebilir olup olmadığını karar akış şeması kapsamında değerlendirmemektedir. Buna karşın literatürde kabul gören karar akış şeması Moubray'in belirttiği karar akış şeması ile uyuşmaktadır.

İki karar akış şeması arasındaki bir diğer belirgin fark ise Hinchcliffe ve Smith'in belirlediği karar akış şemasının arıza türlerinden bağımsız olduğudur. Buna karşılık Moubray'in şemasında arızanın emniyet riski içermesi veya operasyon kaybına sebebiyet vermesi durumlarına göre karar değişebilmektedir. Moubray'in şemasında bahsedilen her iki örnekte de proaktif bakım faaliyeti belirlenmesi olasıdır ve emniyet riski içeren arızada eğer belirlenebiliyorsa maliyet sorgulanmadan kesinlikle proaktif bakım faaliyeti belirlenmelidir; fakat operasyon maliyetleri yönünden çekince yaratabilecek bir arızada proaktif bakım faaliyeti maliyetinin belirli bir zaman periyodu aralığında arıza yaşandığında meydana gelecek arızada görülecek operasyon maliyetlerinden düşük olması beklenmektedir. Bu noktada Moubray'in yaklaşımı arıza türüne bağlı olarak maliyet karşılaştırması gibi farklı değerleri değerlendirmektedir ve buna göre aksiyon belirlemektedir; fakat Hinchcliffe ve Smith'te ise bakım faaliyeti aksiyonları karşılaştırma ve değerlendirmelerden bağımsızdır. Bu sebeplerden dolayı tez çalışmasında GMBP için yaygın olarak literatürde geçen ve Moubray'in de ele aldığı karar akış şeması yaklaşımı kullanılmıştır.

Hinchcliffe ve Smith "gizli arıza" sınıfına giren arızalar için Şekil 2.13'teki karar akış şemasına göre tekrar bir değerlendirme yapılmasını ve gizli arızanın emniyet riski, operasyon kaybı veya ekonomik çekincelere neden olan diğer arıza sınıfına girip girmediğini sorgulamayı önermektedir. Hinchcliffe ve Smith bu arıza sınıflandırmasını yaptıktan sonra ise Şekil 2.14'deki karar akış şemasının uygulanmasını önermektedir.

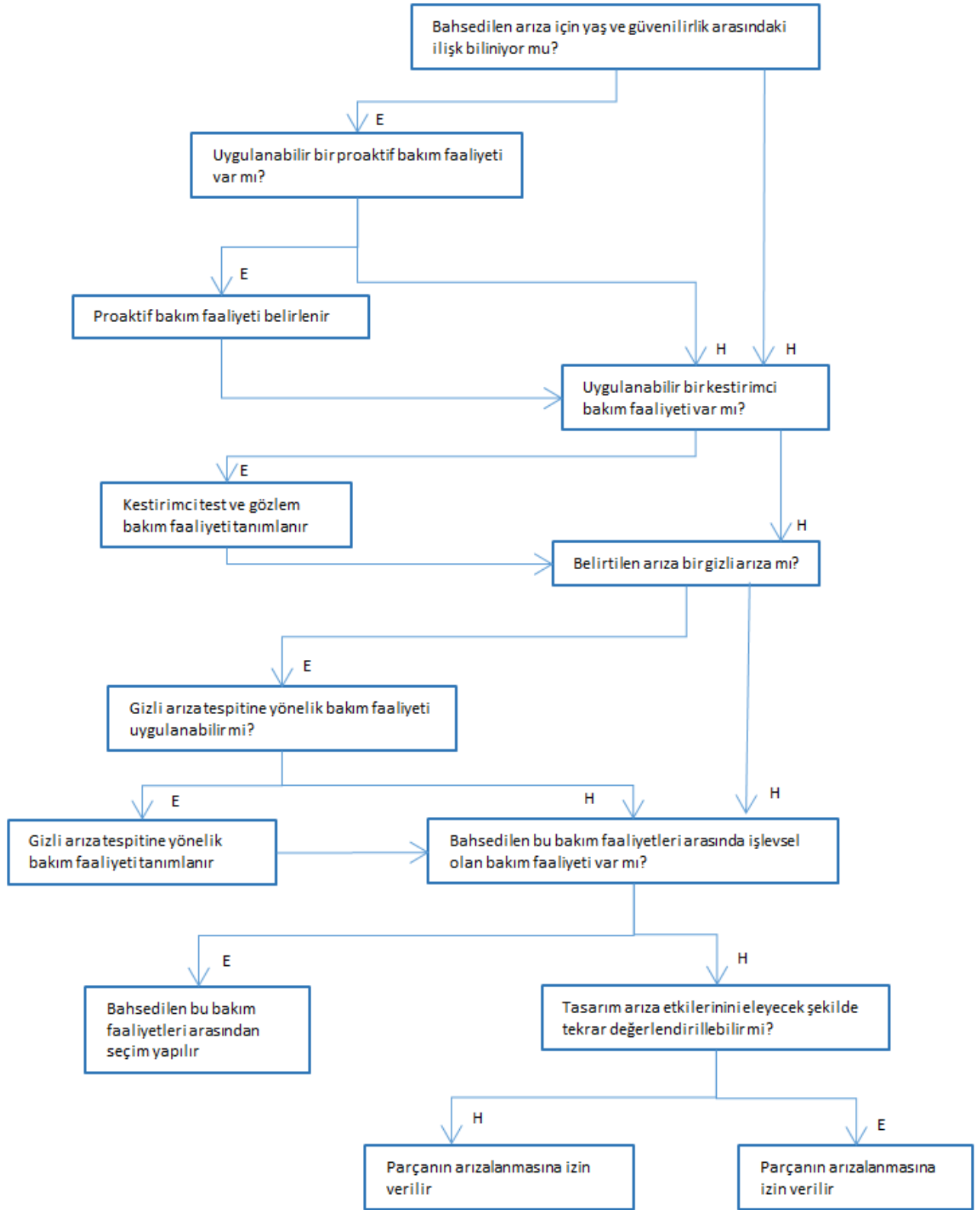
GMBP için daha önce değinilen 7 temel sorunun 7. sorusu ise karar akış şemasında bakım planlamasının yapılamadığı durumda belirlenecek yol haritasıdır. 7. sorunun

cevabı, karar akış şemasındaki bakım planlamasının yapılamadığı noktada aranmaktadır. Şekil 2.12’de ve Şekil 2.14’de bakım planlaması yapılamadığı durumda tasarımın değerlendirilebileceği belirtilmektedir. 7. sorunun cevabı bakım planlamasının yapılamayacağı bir karar durumunda tasarım değişikliğinin sorgulanması yönündedir. GMBP kapsamında tasarım değişikliğinin bu aşamaya geldiğinde nasıl değerlendirilmesi gerektiğine dair bir literatür kaynağı tespit edilememiştir. Bu durumda bakım planlamasının mümkün olmadığı senaryolarda tasarım değişikliğinin nasıl değerlendirileceğinin farklı güvenilirlik çalışmalarının içeriği olduğu değerlendirilmiştir.

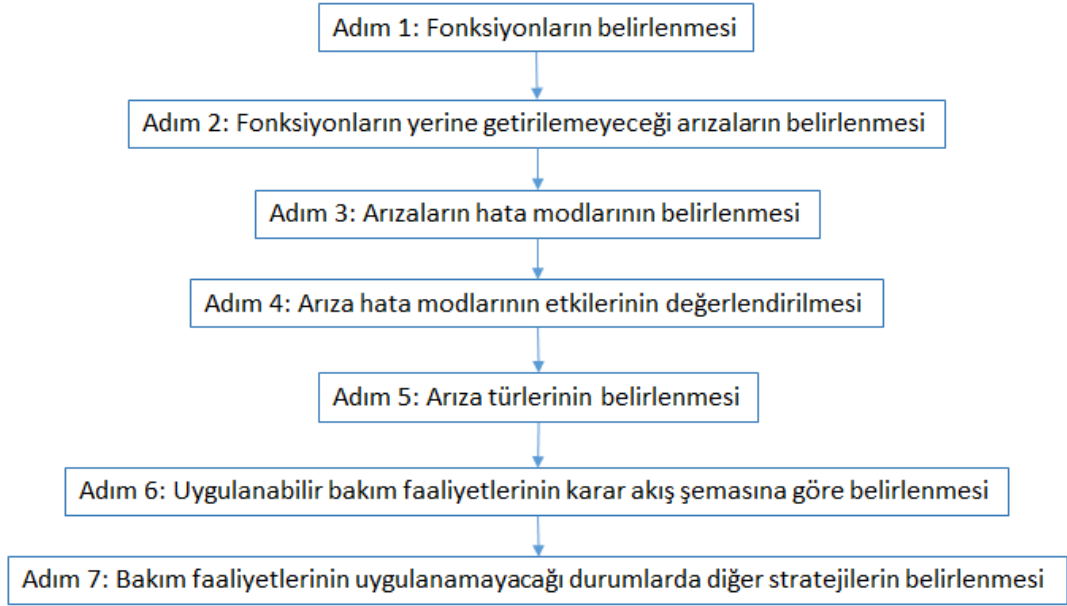
Şekil 2.14’de verilen karar akış şemasına göre güvenilirlik ile ilişkisi bulunan parçalarda öncelikli olarak proaktif bakım faaliyetinin belirlenmesi değerlendirilir. Proaktif bakım faaliyetinin belirlenebilmesi veya belirlenememesinden bağımsız olarak ise bir sonraki aşamada kestirimci bakım faaliyetinin uygulanabilir olup olmadığı üzerinde durulmaktadır. Sonraki aşamada ise belirlenen proaktif bakım faaliyeti veya kestirimci bakım faaliyetinde, yaşanması muhtemel arızanın gizli, yani mürettebat tarafından tespit edilebilir olup olmadığı belirlenmesi gerekmektedir. Yaşanması muhtemel arızanın gizli olduğunun tespit edilmesi durumunda, gizli arızanın tespitine yönelik bir bakım faaliyeti uygulanıp uygulanamayacağı belirlenmelidir. Eğer gizli arıza herhangi bir bakım faaliyeti ile tespit edilemiyor ise, tasarım değişikliği üzerinde durulmalıdır.

Belirtilen bu karar akış şemasının, Moubray’in çalışmalarında kullandığı karar akış şemasından farklı, bakım faaliyetinin hangi durumlarda belirlenip belirlenmeyeceğine dair ve hangi şiddete sahip arızalarda hangi bakımın uygulanması gerektiğine dair bilgi vermiyor oluşudur. Moubray’in karar akış şeması Hinchcliffe ve Smith’in çalışmalarında kullandığı karar akış şemasına göre daha sade olmasına karşın daha yönlendirici olduğu bu karşılaştırma ile görülebilmektedir.

GMBP daha önce belirtilen 7 temel sorunun üzerine kurulmaktadır. Planlama 7 temel soruya cevap aranarak yapılmaktadır. Bölüm 2.5’te anlatıldığı üzere literatür araştırmalarına göre 7 temel sorunun yanıtları farklı yöntemlerle aranmaktadır. Şekil 2.15’te Regan’a göre GMBP’nin aşamaları özet olarak anlatılmıştır.



Şekil 2.14: Arıza türlerine yönelik bakım faaliyetlerinin belirlenebileceği karar akış şeması (Hinchcliffe ve Smith, 2004)

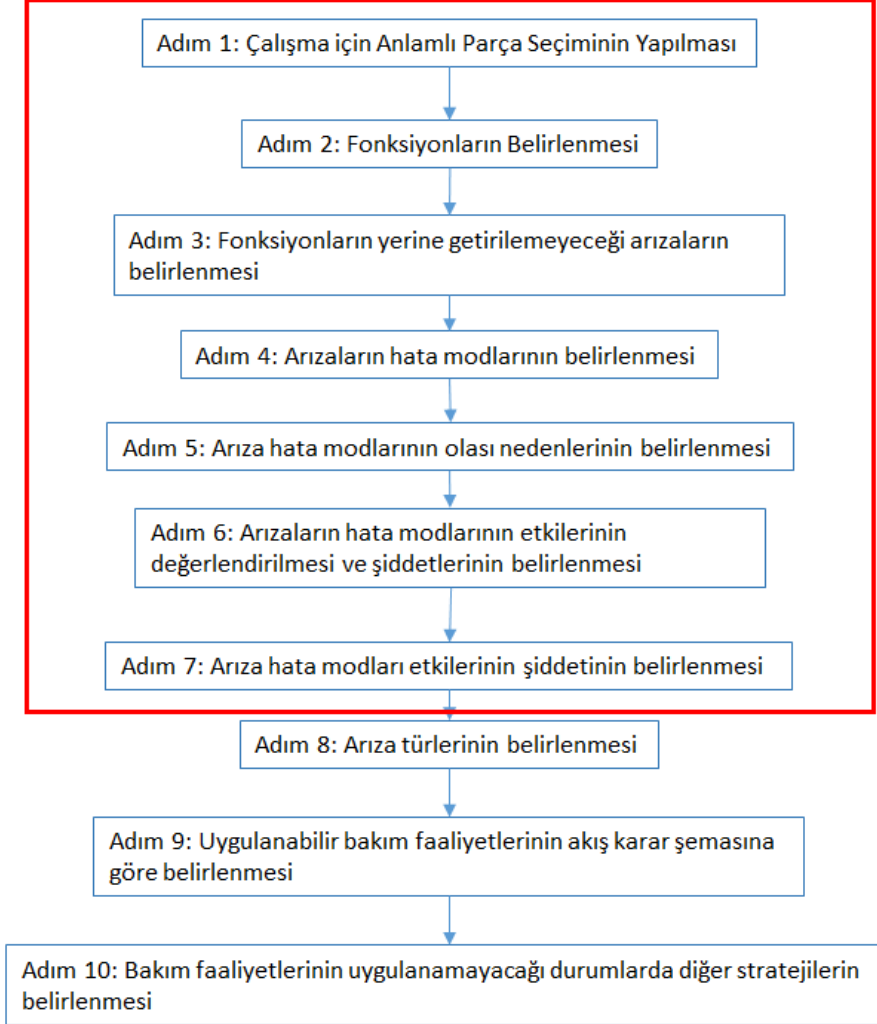


Şekil 2.15: GMBP adımları (Regan, 2011)

GMBP için literatür araştırmaları göstermektedir, GMBP aşamalarına ait adımlar Regan'ın da belirttiği adımlarla uyumaktadır ve bu adımlar literatürde genel yaklaşım olarak kabul görmektedir. Benzer şekilde Regan'a paralel olarak Rausand'da GMBP'de aynı adımların uygulanması gerektiğini belirtmektedir.

Bölüm 2.5'te Heap ve Nowlan'ın belirttiği anlamlı parça seçiminin mevcut uygulama problemi içinde uygulanmasının gerekliliği daha önce belirtilmiştir. Şekil 2.15'te belirtilen GMBP adımlarına ilk adım olarak tez çalışmasında anlamlı parça seçimi eklenmiştir. Regan'ın açıkladığı planlama adımlarında hata modlarının nedenlerinin de belirlenmesinin bakım planlamasında etkisi olacağı Bölüm 2.4'te ve Bölüm 2.5'te ele alınmıştır. Tez çalışmasında Şekil 2.15'te açıklanan planlama adımlarında adım 3 ile adım 4 arasına hata modlarının nedenlerinin belirlenmesi adımı eklenmiştir. Son olarak ise hata modu etkilerinin belirlenmesi sonrasında arıza türlerine geçilmeden önce, arıza türlerinin belirlenebilmesi için olayın şiddetinin belirlenmesi gerekliliği yine Bölüm 2.5'te belirtilmiştir. Bu nedenden ötürü Regan'ın belirttiği planlama adımlarına adım 5 ile adım 6 arasına şiddet tespiti eklenmiştir. Mevcut uygulama problemi için son durumda Şekil 2.16'deki GMBP adımları ortaya çıkmıştır ve bu adımlar üzerinden ilerlenmiştir. Adımlarda işaretlenen kırmızı çerçeveli bölge ise HTEA bilgi formu uygulaması sırasında değerlendirilen adımları göstermektedir.

Şekil 2.15'te verilen Regan'ın belirttiği GMBP adımları genel hatlarıyla yeterli gözükmemektedir; fakat mevcut uygulama probleminde adımların genişletilmesi ve detaylandırılmasının fayda sağlayacağı değerlendirilmiştir.



Şekil 2.16: Uygulama problemi için modifiye edilmiş GMBP adımları

3. PROBLEM TANIMI

3.1 Giriş

Çalışmada ele alınan problem, GMBP'nin etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılan bir uygulama problemidir. Bu uygulama probleminde, zırlı bir aracın paletli süspansiyon sisteminin güvenilirlik merkezli bakım planlaması ele alınmıştır. Ele alınan süspansiyon sistemine ait parçalar Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bölüm 2.1'de GMBP'nin kavramlarının bir süreç veya bir tasarıma uygulanabileceğine dair bilgiler verilmiştir. Bu nedenle, mevcut tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar, farklı problemler için de kolayca uygulanabilir niteliktedir.

Bu tez çalışmasında uygulama problemi olarak paletli süspansiyon sisteminin seçilmesinin nedenleri şunlardır:

- firmada paletli süspansiyon sistemlerine ait mevcut bakım planlaması faaliyetlerinin GMBP'ye göre belirlenmiyor oluşu,
- mevcut tasarımda yer alacak süspansiyon sisteminin sahadaki bir ürün üzerinde hali hazırda kullanılıyor oluşu ve bu nedenle saha verilerinin toplanmasının çalışma önünde engel teşkil etmeyecek oluşu,
- saha arıza verilerinden parçalara ait güvenilirlik bilgilerinin hesaplanabilmesi ve hata modlarının tespit edilebilmesi,
- sahadaki ürünlerde yer alan paletli süspansiyon sistemlerinin arızalarının yüksek oluşu sebebiyle GMBP ile birlikte arızaların azaltılmasına yönelik çözüm yöntemlerinin tespit edilmesi ihtiyacı,
- sistemin tamamen mekanik alt parçalardan oluşması ve mekanik hata modları içermesi,
- tecrübelerle istinaden GMBP'de yer alan bir çok hata türünü içermesi yönündeki beklenti,
- GMBP üzerine uygulama problemi oluşturmak için yeterli alt parçaya sahip oluşu,

- firmada Bölüm 3.6'da değinilecek olan analiz türlerini destekleyebilecek alt yapıya sahip oluşu, firmada hali hazırda devam eden bir ürünün tasarımı için değerlendirilmesi,
- mevcut planlı bakım faaliyetlerinin tekrar değerlendirmeye açık oluşu.

Paletli süspansiyon sistemlerine ait mevcut bakım planlaması faaliyetlerinin GMBP'ye göre belirlenmeyişi, mevcut tasarımda yer alacak süspansiyon sisteminin sahadaki bir ürün üzerinde hali hazırda kullanılıyor oluşu ve bu nedenle saha verilerinin toplanmasının çalışma önünde engel teşkil etmeyecek oluşu, saha arıza verilerinden parçalara ait güvenilirlik bilgilerinin hesaplanabilmesi ve hata modlarının tespit edilebilmesi, sahadaki ürünlerde yer alan paletli süspansiyon sistemlerinin arızalarının yüksek oluşu sebebiyle GMBP ile birlikte arızaların azaltılmasına yönelik çözüm yöntemlerinin tespit edilmesi ihtiyacı, sistemin tamamen mekanik alt parçalardan oluşması ve mekanik hata modları içermesi, tecrübelerle istinaden GMBP'de yer alan birçok hata türünü içermesi yönündeki beklenti, GMBP üzerine uygulama problemi oluşturmak için yeterli alt parçaya sahip oluşu, firmada Bölüm 3.6'da değinilecek olan analiz türlerini destekleyebilecek alt yapıya sahip oluşu, firmada hali hazırda devam eden bir ürünün tasarımı için değerlendirilmesi, mevcut planlı bakım faaliyetlerinin tekrar değerlendirmeye açık oluşundan kaynaklıdır.

Açıklanan ve daha detaylı olarak Bölüm 3.4'te belirtilecek nedenlerden dolayı çalışmada uygulama problemi oluşturması amacıyla belirlenen paletli zırhlı araç süspansiyon sisteminin, GMBP amacıyla ortaya çıkarılan çalışmayı açıklayıcı hale getirecek ve Şekil 2.16'da belirlenen GMBP adımlarını destekleyebilecek bir uygulama problemi olduğu değerlendirilmektedir.

Mevcut durumda farklı yöntemlerle (genellikle tecrübeye binaen) belirlenen paletli süspansiyon sistemi bakım faaliyetlerinin GMBP'ye göre belirlenmesi durumunda üründe hazır bulunuşluk, operasyon maliyetleri ve operasyon riskleri açısından iyileştirmeleri tetikleyeceği değerlendirilmektedir.

3.2 Amaç

GMBP'nin daha önceki bölümlerde farklı sektörlerde maliyet azaltımına, hazır bulunuşluk süresini iyileştirmeye ve risk azaltımına yönelik olarak uygulamaları

üzerinde durulmuştur. Bu tez çalışmasında GMBP'nin askeri kara araçları alanında uygulanması durumunda ortaya çıkaracağı sonuçlar üzerinde durulacaktır. Bu çalışmada süspansiyon sistemlerinin GMBP'si ele alınmış olacaktır. Firmada paletli süspansiyon sistemine uygulanacak GMBP ile, mevcut ürünler üzerinde kullanılmayan bir bakım planlama yöntemi olmasından kaynaklı, risk azaltımı, hazır bulunuşluk süresinde artış, maliyet azaltımı hedeflenmektedir. Paletli süspansiyon sistemi özelinde yapılacak bu çalışmanın aynı zamanda araç, sistem arasındaki güvenilirlik ilişkisi nedeniyle araç seviyesinde de belirgin iyileştirmeler sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bölüm 3.4'te paletli süspansiyon sisteminin çalışma uygulama problemi olarak seçilmesinin nedenleri, Bölüm 3.6'da çalışmayı doğrulama ve sonuçları karşılaştırma yöntemleri üzerinde durulacaktır.

3.3 Bakım Planlaması

Mevcut ürünlerde yürütülen bakım faaliyetleri, daha önce Çizelge 2.6'da bahsedilen bakım faaliyetlerini içermektedir. Mevcut bakım faaliyetleri maliyet, güvenilirlik değerleri ve arızalara yönelik risk değerlendirmelerini içermemektedir. Bölüm 3.6'da ele alınacak benzer ürünün sahadaki bakım faaliyetleri tedarikçi bilgileri ve tecrübeye dayalı olarak tasarım aşamasında oluşturulmuştur. Bu bakım faaliyetlerinin hatalı olduğu değerlendirilmemekle birlikte, GMBP kullanılarak oluşturulacak bakım faaliyetlerinin maliyet, hazır bulunuşluk ve parçaya özel riskleri göz önünde bulundurarak daha etkin bir çıktı üreteceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle, mevcut bakım faaliyetleri ile elde edilen sonuçlara kıyasla, tez çalışması ile oluşturulacak bakım planlamasının maliyet, hazır bulunuşluk ve operasyonel riskler açısından iyileştirilmiş sonuçlar türeteceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda sistemde sadece reaktif bakım uygulamaları faaliyet gösterdiğinde karşılaşılabilecek operasyonel risk içeren sonuçların da GMBP ile elenmesi hedeflenmektedir. Çalışma sonuçlarında bu hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmediğini değerlendirmek için analize dayalı doğrulama ve karşılaştırmalar yapılacaktır.

Bakım planlamasının doğrulanması ancak ürün sahaya sürüldükten sonra takip altında tutularak değerlendirilebilmektedir. GMBP'nin ilk çalışmasının tasarım aşamasında oluşturulmasından sonra saha geri dönüşleri ile birlikte bakım faaliyetlerinin planlamasında güvenilirlik değerlerinin belirlenmesine göre değişiklikler yapılabilmektedir (Heap ve Nowlan). Çalışma kapsamında bu

doğrulama yöntemi ile çalışmayı doğrulamak mümkün olmayacağı için Reliasoft yazılımında analizler uygulanacaktır. Biri bu bölümde üzerinde durulan, mevcut durumda kullanılan bir bakım planlaması, iki tanesi farklı türlerde GMBP, bir tanesi de tamamen reaktif bakım planlamasına dayalı olacak şekilde toplam dört farklı bakım planlaması üzerinde durulacaktır ve bu bakım faaliyetleri Reliasoft yazılımında analiz edilerek birbirleri ile kıyaslanacaktır. Bu sayede GMBP kullanılarak oluşturulan bakım faaliyetleri sonuçlarının, farklı bakım faaliyetlerinin gözetileceği analizler ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi ve saha geri dönüşlerine göre yapılacak doğrulamanın analizler aracılığı ile gözlemlenmesi hedeflenmektedir.

3.4 GMBP Uygulama Problemi – Paletli Süspansiyon Sistemi

Paletli süspansiyon sistemleri yaklaşık 200 yıla yakın bir geçmişe sahiptir. Paletli süspansiyon sistemleri ilk olarak tarım makinalarında kullanılmaya başlanmıştır (Xue vd., 2017). İlk paletli süspansiyon sisteminin patenti 1877’de Rus mucit F. A. Blinov tarafından alınmıştır. Aynı zamanda tarım makinalarına paletli süspansiyon sistemini ilk uygulayan mucit yine F. A. Blinov’dur (Lozovoi ve Lozova, 2011). Blinov’un ilk paletli süspansiyon sistemi tasarımı günümüzdeki süspansiyon sistemlerinden farklı olarak şanzımandan tahrik almamaktadır ve sistemin kullanıldığı tarım makinası atlar tarafından tahrik edilmektedir. “Scientific American” isimli derginin iddiası ise paletli süspansiyon sistemlerinin ilk kez C. Dinsmoor tarafından 1886 yılında icat edildiği yönündedir (Scientific American, 1886). Araştırmalar göstermemiştir ki günümüzde halen paletli süspansiyon sistemlerinin ilk muciti ve alınan ilk patentin hangi ülkeye ait olduğuna dair farklı görüşler yer almaktadır.

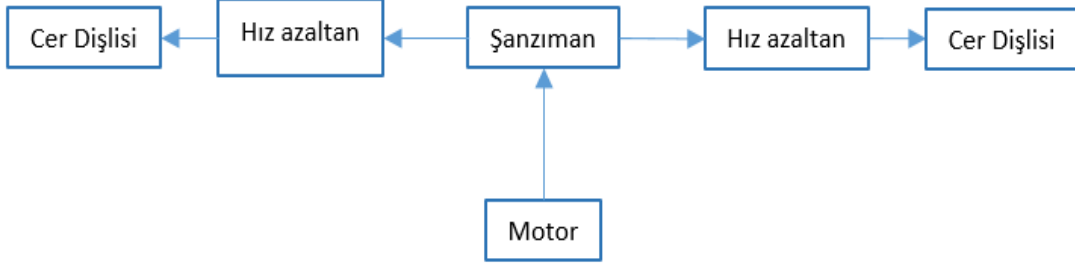
Paletli süspansiyon sistemlerinin tekerlekli süspansiyon sistemlerinden en önemli farkı, taşıtın yere uyguladığı kuvveti dağıtmasıdır. Paletli süspansiyon sisteminin kuvveti dağıtması sebebiyle taşıtın zemine uyguladığı basınçta düşüş gözlemlenir ve yumuşak zeminlerde araç mobilitesinde, tekerlekli süspansiyon sistemine göre daha düşük kayıplar gözlemlenir. Paletli süspansiyon sistemlerinin geliştirilmesine yönelik ihtiyaç tarım arazilerindeki yumuşak zeminlerde makinaların hareket edebilme kabiliyetine yönelik ihtiyaç üzerine ortaya çıkmıştır. Birinci dünya savaşı ile birlikte zırhlı araçların savaşa yön verecek kabiliyetlere çıkmasından dolayı mobiliteilerinin önem kazanmasıyla, askeri zırhlı araçlarda da paletli süspansiyon

sistemi mobilyeti arttırmak ve yumuşak zeminde hareketi mümkün kılmak için uygulanmaya başlanmıştır.

Günümüzde paletli süspansiyon sistemlerinde alt parça seviyesinde çeşitli farklı geliştirmeler ve değişiklikler yaşanmıştır; fakat paletli süspansiyon sistemlerinin zırlı araçlarda kullanım amacı ve mobiliteye olan etkisi birinci dünya savaşından bu yana değişmemiştir.

Çalışmada değerlendirilen paletli süspansiyon sisteminde, motor tahrikinin şanzımana aktarılması ile birlikte şaftlar aracılığı ile hız azaltanlara aktarılır. Hız azaltanların amacı şaft dönüş hızını cer dişlisine aktarmadan önce belirlenen değerlerde oranlamaktır. Hız azaltanlardan ise cer dişlisi tahrik edilir. Cer dişlisi üzerinde yer alan dişler palet baklalarının bir araya gelmesiyle oluşan palet kompleksi üzerindeki boşluklara geçerek paletin dönmesini sağlar. Paletlerin dönmesi ile birlikte araç hareketi meydana gelmektedir. Palet baklaları birbirine bağlandığında palet meydana gelir. Tasarıma göre araç uzunluğu ve bu nedenle palet uzunluğu değişebilmektedir. Palet uzunluğu ise sisteme palet baklası eklenmesiyle artırılıp azaltılabilir. Paletlerin yola uygun profilde hareket etmesi ve palet boyunca hizada kalması için ikili sıra yol tekerleri kullanılır. Paletli süspansiyon sistemine ait taşıtlarda yol tekerleri ikili sıra ile her ikili birbirine paralel ve birbirine bağlı olacak şekilde yerleştirilmektedir. Her ikili yol tekeri birbirine bağlıdır ve iki yol tekerinin ortasından palet tırnağı geçmektedir. Bu sayede paletin dönüş sırasında hizalı kalması sağlanır. Her iki yol tekeri tek bir yol tekeri destek kolu ile gövdeye bağlanmaktadır. Paletlerin gergin kalması için ise tasarımda cer dişlisinin yer almadığı taşıt yönüne ikili sıra gergi tekerleri eklenir. Gergi tekerleri bir silindir aracı ile araç gövdesine bağlıdır. Gergi silindirleri içindeki gres yağının gergi silindiri boyunu ayarlaması ile gergi tekerleri paletlere kuvvet uygular ve paletlerin uygun gerginlikte kalmasını sağlar. Yol tekerlerinin gövdeye bağlandığı elemanlara destek kolu denilmektedir. İkili sıra yol tekeri birbirine, her sıradaki yol tekeri ise yol tekeri destek kolu aracılığı ile gövdeye bağlıdır. Araç uzunluğuna bağlı olarak aracın tek tarafındaki ikili sıra yol tekeri sayısı değişkenlik gösterebilmektedir. Engebelerde süspansiyon sisteminin yaylanması ve engebe geçişi sırasında ortaya çıkan enerjiyi personele ve araçtaki yapısal tasarım ekipmanlarına aktarmaması için zırlı aracın zeminine bir ucu sabit ve dönmeyen noktadan oluşan, diğer ucu destek kolunda bir rulmana bağlı olan burulma mili adında miller yerleştirilir. Tasarıma bağlı olarak

belirli destek kollarına amortisör eklenir ve engebelerde süspansiyon sisteminin yaylanması ile ortaya çıkan enerjiyi sönmlemede kullanılır. Bu çalışmada ele alınan paletli süspansiyon sisteminin hareketini sağlayan cer dişlisine kuvvetlerin motordan başlayarak nasıl aktarıldığını anlatan basit şematik Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Paletli süspansiyon sistemi tahrik yönü

Şekil 3.1’de belirtilen motor, şanzıman ve hız azaltan parçaları paletli süspansiyon sistemine ait parçalar olarak kabul edilmemektedir. Şekil 3.1’de süspansiyon sistemine ait tek parça cer dişlisidir. Bu nedenle Şekil 3.1’e göre uygulama problemi kapsamında değerlendirilen tek parça cer dişlisi olmaktadır.

Şekilde belirtilen motor ile şanzıman birbirine volan muhafazası ile bağlıdır ve motordan otomatik şanzıman kuvvet aktarımı şanzımanda yer alan esnek plakalar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Şanzıman içerisinde yer alan dişli kutusu motordan gelen kuvveti diferansiyel dişli kutularındakine benzer bir mantık ile 90° çevirmektedir ve hız azaltanlara bir ucu hız azaltana, bir ucu şanzımana bağlı şaftlar ile aktarmaktadır. Hız azaltan, merkezden hız azaltana bağlı bulunan cer dişlisine kuvveti aktarmaktadır. Bu sayede motorun ortaya çıkardığı kuvvet süspansiyon sistemine aktarılmış olacaktır. Paletli süspansiyon sistemindeki tahrik görevini ise cer dişlisine şanzıman üzerinden aktarılan tahrik ile cer dişlisi üstlenecektir.

Paletli süspansiyon sistemi üzerinde yer alan ve çalışma kapsamında değerlendirilen parçalar Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Şekil 3.2’deki parçalara ek olarak yol tekerlerinin gövdeye bağlandığı yol tekeri destek kolları, amortisörlerin gövdeye bağlandığı amortisör bağlantısı, tek taraftaki iki cer dişlisini birbirine bağlayan ve ayrıca cer dişlilerini gövde üzerinde hız azaltana bağlayan cer dişlisi kovanı, gergi tekerlerini germek için kullanılan, bir ucu gövdeye bir ucu gergi tekerine bağlanan gergi silindiri ve gergi tekerlerini gövdeye bağlayan gergi tekeri bağlantısı yer almaktadır.



Şekil 3.2: Paletli süspansiyon sistemi parçaları

Paletli süspansiyon sistemlerinde çoğu sistem elemanı tasarımdan bağımsızdır ve paletli süspansiyon sisteminin omurgasını oluşturmaktadır. Bazı sistem elemanları ise tasarıma özeldir ve çeşitli ihtiyaçları karşılamak için tasarıma göre belirlenmektedir.

Destek tekerleri tüm paletli süspansiyon sistemlerinde kullanılmamakla beraber, süspansiyon paletlerinin uzun olması durumunda sarkmasını engellemek için tasarımlarda belirli aralıklarla destek tekeri yerleştirilerek palet sarkmasını önlemek bir çözüm olarak görülmektedir. Mevcut uygulama probleminde de benzer şekilde paletlerin uzun olmasından kaynaklı belirli aralıklarla aracın her iki tarafındaki süspansiyon sistemine de destek tekerleri eklenmiştir.

Tasarıma bağlı olarak destek tekeri uygulaması değişebileceği gibi amortisör yapısında değişebilmektedir. Tasarıma bağlı olarak hidro pnömatik amortisörler tercih edilebileceği gibi tek yönlü piston olarak çalışan pnömatik amortisörler de tercih edilebilmektedir. Tez çalışmasında uygulama problemi oluşturan paletli süspansiyon sisteminde ise tek yönlü pnömatik amortisörler kullanılmaktadır.

Paletli süspansiyon sisteminin şimdiye kadar belirtilen parçaları taşıtın dışında yer almaktadır ve dış ortam koşullarına maruz kalmaktadır. Paletli süspansiyon sisteminin araç içerisinde zeminde yer alan tek parçası ise daha önce özelliği belirtilen burulma milidir. Şekil 3.3'te burulma mili örneği gösterilmektedir.

Burulma mili bir ucu sabit olarak ara bağlantı elemanı kullanılarak araç zeminine bağlanır. Diğer ucu ise Şekil 3.3'te gösterildiği gibi dişli yapıya sahiptir ve yol tekeri destek kolu üzerine bağlanmaktadır. Destek kolu hareketi ile birlikte milin dişli tarafı

hareket etmektedir ve milin diğ er ucu sabit oldu ğ u için burulma mili burularak yay görevi görmektedir.

Problemde ele alınan parçalarda yol tekerinin yapısal hasarı ile birlikte dış lastik hasarı değerlendirilmiştir. Yol tekeri destek kolu, amortisör bağlantısı, gergi tekeri bağlantısı parçalarında ise parçaların içinde yer alan rulmanları yağlama amacıyla kullanılan yağın sızdırmazlığını sağlamak için tasarımda yer alan conta ve keçelerin olası hata modları saha arıza verilerine göre değerlendirilecektir. Bölüm 4'te konu ile ilgili seçim kriterleri ayrıca ele alınacaktır.



Şekil 3.3: Burulma mili (Xue vd., 2017)

Paletli süspansiyon sistemlerinde taşıtın her iki yanında birden süspansiyon elemanları kullanılmaktadır. Bir diğ er deyiş le taşıtın her iki yanındaki paletli süspansiyon elemanları neredeyse eşdeğ erdir. Bu nedenle tez kapsamında ele alınacak olan süspansiyon sisteminde süspansiyon elemanı adetinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 3.1'de bir araçta yer alan toplam süspansiyon elemanları adetleri yaklaşık olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1'den anlaşılacağı üzere sistemdeki eleman sayısı yüksektir. Uygulamanın anlatılacağı Bölüm 4'te de bahsedileceği üzere, sistem elemanları genel olarak kendi içinde seri bağı lı elemanlardır. Güvenilirlik çalışmalarında parça sayısının artması ile güvenilirlik değ erinin dü ştü ğ ü bilinen bir gerçektir. Bu nedenle güvenilirlik değ erlerinin sistem seviyesinde dü şük çıkması beklenmektedir.

Çizelge 3.1: Araç başı paletli süspansiyon sistemi parça adetleri

Parça Adı	Parça Adeti
Palet Baklası	200
Palet Pabucu	200
Yol Tekerı	20
Yol Tekerı Destek Kolu	10
Amortisör	10
Gergi Silindiri	2
Cer Dişlisi	5
Amortisör Bağlantısı	10
Cer Dişlisi Kovanı	2
Gergi Tekerı Bağlantısı	2
Destek Tekerı	10
Burulma Mili	10
Palet Kılavuzu	2
Gergi Tekerı	5

Tez çalışmasında Çizelge 3.1’te belirtilen parçaların saha verilerinin araştırılması, güvenilirlik değerlerinin hesaplanması ve parçalar için bakım faaliyetlerinin gerekliliğine karar verilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında paletli süspansiyon sisteminin seçilmesine yönelik bir diğer neden de Bölüm 3.6’da yer alan doğrulama ve karşılaştırmaya yönelik uygulanacak tüm analizleri destekleyebilecek verilere sahip olunmasıdır. Şekil 3.4’te ele alınacak analiz türlerinden 3. Analiz türüne yönelik hali hazırda benzer süspansiyon sisteminin sahada kullanılıyor oluşu da analizlerde kolaylık oluşturacağı için sistem seçiminde paletli süspansiyon sistemi ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında, Bölüm 2.5’te bahsedildiği gibi paletli süspansiyon sistemine benzer tasarıma sahip başka bir paletli süspansiyon sisteminin saha arıza verilerine sahada bulunan mevcut bir ürün üzerinden erişim sağlanabilmesi ve bu sayede yaş tahmini, ömür gibi güvenilirlik değerlerinin de GMBP için belirlenebilmesi önemli bir yere sahip olacağı için paletli süspansiyon sistemi alternatifler arasında ön plana çıkmaktadır. Güvenilirlik değerlerinin hesaplanabilecek olması Bölüm 3.6, Şekil 3.4’te belirtilen 1. Analiz türünün uygulanmasında kolaylık sağlamaktadır.

3.5 Güvenilirlik Blok Diyagramı

Bir sistem için güvenilirlik analizi, sistemin güvenilirlik blok diyagramı oluşturularak yapılabilmektedir. Güvenilirlik blok diyagramında sistem parçaları birbirine seri veya paralel olarak bağlanır. Seri bağlantıya sahip parçalar,

bağlantıdaki bir parçada arıza yaşanması durumunda tüm sistemin duracağını belirtir. Paralel bağlantıya sahip parçalar ise sistem parçalarının yedekli olduğunu belirtir, uçak motorları buna örnek olarak verilebilir. Yani paralel bağlantılı sistemdeki bir eleman arızalandığında diğer eleman aynı görevi yerine getirebilir ve sistemin durmasına neden olmayacaktır.

Reliasoft yazılımında, paralel bağlı parçalarda, parçalardan kaç tanesinin arızalanması durumunda sistemin çalışmayacağını bilgisi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse, 4 motorlu bir uçakta 1 motorun arızalanması da uçağın fonksiyonunu yerine getirememesine neden olabilir, 2 veya 3 motorun arızalanması da sistemin fonksiyonunu yerine getirememesine neden olacaktır. Bu durum yazılımda, 1/4, 2/4 veya 3/4 paralel bağlı sistem olarak ifade edilmektedir. Reliasoft yazılımında parçalar bu şekilde paralel bağlanmasına karşın, Reliasoft yazılımında tamamen 2/4 paralel gözüken bir sistem, arka planda 1 parça seri, 3 parça paralel bağlanmaktadır.

Güvenilirlik blok diyagramı kullanılarak n elemanlı sistem için güvenilirlik değerleri denklem (3.1) ve denklem (3.2)'te verilen hesaplamalara göre yapılabilmektedir. Reliasoft yazılımında da arka planda bu denklemler koşullanmaktadır ve oluşturulan güvenilirlik blok diyagramı için güvenilirlik değerleri belirtilen denklemlere göre hesaplanmaktadır. Aynı şekilde Bölüm 4.3'te tez çalışması için oluşturulan güvenilirlik blok diyagramı için de aynı hesaplamalar yapılmaktadır.

$$R_{(seri)}=R_1.R_2...R_n \quad (3.1)$$

$$R_{(paralel)}=1-(1-R_1)(1-R_2)...(1-R_n) \quad (3.2)$$

3.6 Çalışmayı Doğrulama ve Karşılaştırma Yöntemi

Sahada yer alan mevcut ürünlerin paletli süspansiyon sistemlerinde, uygulanmakta olan bakım faaliyetleri bulunmaktadır. Bu bakım faaliyetleri Bölüm 3.3'te anlatılan türlerde olabilmektedir. Mevcut bakımlar sistemin HTEA'sından bağımsız şekilde tecrübeler ve tedarikçi bilgilerine dayanmaktadır. Tedarikçilerin önerdiği bakım uygulamaları süspansiyon sisteminin diğer sistemler ile olan ilişkisine göre belirlenmemektedir. Aynı şekilde tedarikçi önerisi olan bakımlar araç kullanım koşullarına göre belirlenmemiştir ve araçların kullanım ve ortam koşullarından bağımsız olarak herhangi bir ürün üzerinde entegrasyonuna yönelik bakım görevleri

yer almaktadır. Bu nedenlerle bu tez çalışması ile birlikte planlanacak olan bakım görevlerinde süspansiyon sisteminin diğer sistemler ile olan ilişkisi, aracın kullanım koşullarının süspansiyon sistemi üzerindeki etkisi, süspansiyon sisteminin araca bağlı olarak türetilen hata durumları ve hata türlerine göre etkileri değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler yapıldığında uygulanacak olan GMBP çalışmasının araca özel olarak belirlenen bir planlama olması beklenmektedir.

GMBP'nin yeni tasarım için uygulanmaması durumunda, daha önceki ürünlere benzer olarak tedarikçi bilgileri ve tecrübelerden yararlanılarak bir bakım planlamasının uygulanacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın bir amacı da üründen bağımsız olarak belirlenen tedarikçi ve tecrübelerle dayalı bir bakım planlamasının, ürüne ve ürünün kullanım koşullarına özel, arıza etkilerine ve saha arızalarına dayalı bir GMBP oluşturmaktır.

Örnek vermek gerekirse halihazırda sahada bulunan aynı sayıda parçaların benzer tasarımlarla kullanıldığı bir ürüne ait paletli süspansiyon sisteminde, tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle çeşitli proaktif ve reaktif bakımlar belirlenmiştir. GMBP uygulaması ile birlikte benzer periyoda sahip bakım görevlerinin ortaklaştırılması, bakım faaliyetlerine gerekli görülmeyen bakım görevlerinin kaldırılması ve arıza türlerine ve HTEA sonuçlarına göre belirlenecek hata modu şiddetlerine göre farklı bakım faaliyetlerinin tanımlanması amaçlanmaktadır.

Probleme çalışmanın etkisini ve sonuçlarını değerlendirmek için çeşitli karşılaştırma ve doğrulama yöntemleri belirlenmiştir. Tez çalışmasında Reliasoft yazılımı kullanılarak 3 farklı türdeki bakım faaliyetlerinin ve toplamda 4 farklı analiz uygulamasının karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Tüm analizlerin birbiri ile sonuçlarının kıyaslanması ve değerlendirilmesi ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile birlikte GMBP'nin sonuçlarının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Sahada ömür döngüsü içinde yer alan örnek ile tez çalışması uygulama problemi için planlama analizinin uygulanarak hazır bulunuşluk ve maliyet açısından farklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda GMBP için uygulanacak hata modu şiddeti ile birlikte mevcut örnekte yer alan bakım faaliyetlerinin hata sınıflarının güvenilirlik merkezli bakım ile karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bunun yanında tamamen reaktif bakıma yönelik yapılacak alternatif bir çalışma ile hata türlerinin etkilerinin değerlendirilmesi, risklerin belirlenmesi, hazır bulunuşluk değerlerinin diğer analiz sonuçları ile

kıyaslanması üzerinde durulacaktır. Tez çalışması kapsamında değerlendirilecek ve GMBP uygulanacak uygulama problemi için iki farklı analiz belirlenmiştir. Çalışmalardan birisinde ortaklaştırılabilir bakım faaliyetleri ortaklaştırılacaktır, diğer çalışmada ise bakım faaliyetleri ortaklaştırılmadan Reliasoft yazılımında analiz edilecektir. Bahsedilen iki farklı türdeki analizlerin ise hazır bulunuşluk oranı, maliyet olarak birbirleri ile kıyaslanması hedeflenmektedir. Son olarak ise tüm analiz çalışmaları Reliasoft yazılımı ile analiz edilerek ürünlerin sahada yaşayacakları kritik ve yıkıcı arıza adetleri ve toplam arıza adetleri karşılaştırılacaktır. Şekil 3.4'te çalışmada doğrulama ve karşılaştırma amacıyla uygulanacak olan dört farklı analiz türü belirtilmektedir.



Şekil 3.4: Çalışmada doğrulama ve karşılaştırma amacı ile uygulanması belirlenen analiz türleri

Şekil 3.4'te konu olan 1 numaralı analiz ve alt başlıkları için analiz zemini oluşturulmasında daha önce Bölüm 2.5'te bahsedilen Şekil 2.16 GMBP adımları uygulanacaktır. Analiz 1.1 ve analiz 1.2 için Şekil 2.16'da yer alan adımlardan ilk 7 adım ortak olarak uygulanacaktır. Sekizinci adımda ise bakım periyotlarının belirlenmesinde birbirine yakın periyotlar maliyet azaltımı hedefi ile analiz 1.2'de birleştirilecektir. Analiz 1.1'de ise birbirine yakın periyotlar maliyet azaltım hedefi gözetilmeyeceği için birleştirilmeyecektir. 2 numaralı analizde GMBP adımları uygulanmayacaktır ve parçaların tamamının ancak arızalandığında bakıma sokulmasına yönelik analiz girdisi yapılacaktır. Analiz 3'te ise tecrübeler ve tedarikçi kaynaklarına dayalı oluşturulan bakım faaliyetleri analizde parça özelinde

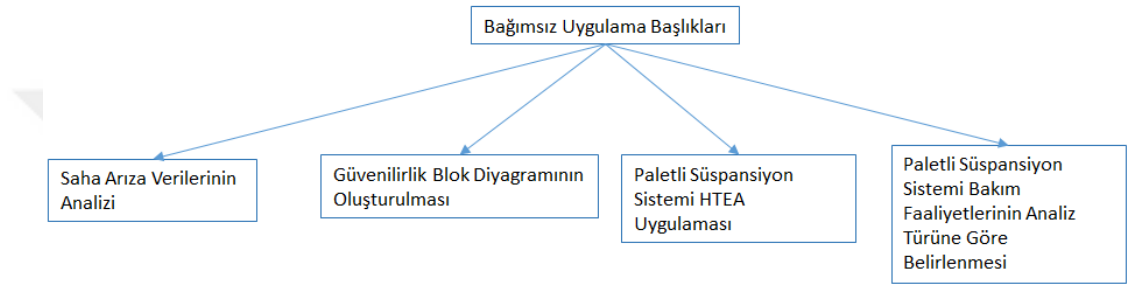
tanımlanacaktır ve analiz bu tanımlarla birlikte koşturulacaktır. Analiz 2 alışma için doğrulama yöntemidir. Diğer analizler ise kıyaslama olarak değerlendirilecektir.

Belirtilen üç analiz türü için de ortak olan bazı çalışma adımları bulunmaktadır. Paletli süspansiyon sistemi güvenilirlik blok diyagramı  analiz için de ortak olarak kullanılacaktır. Bunun dışında 3 analiz türünde de parçaların arıza dağılımları ve güvenilirlik değerleri aynı saha arıza verileri kullanarak oluşturulacaktır. Bu sayede çalışmada tüm analizlerde farklı güvenilirlik değerlerinden kaynaklı oluşabilecek farklı hazır bulunuşluk oranı, arıza adeti gibi sonuçların önüne geçilmesi ve sadece bakım faaliyeti türlerinin karşılaştırılması ile GMBP'nin işlevselliğinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. 4 farklı analize göre oluşacak sonuçların birbirleri ile karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlara göre ele alınan GMBP probleminin işlevselliği, maliyet etkisi ve uygulanabilirliği değerlendirilecektir. Bu Bölümde tanımlanan problemin ve analiz türlerinin uygulama kısmı ile ilgili tüm bilgiler ve detaylar Bölüm 4'te verilmiştir.



4. PALETLİ SÜSPANSİYON SİSTEMİ GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM PLANLAMASI

Yürütülen GMBP çalışmasında uygulama adımları dört farklı sınıftan oluşmaktadır. Farklı başlıklar altında, GMBP'yi gerçekleştirilebilmek için yürütülen çalışmalar, Bölüm 3.6'da bahsedilen analiz 1.1 ve analiz 1.2 için Reliasoft yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma akışında farklı uygulama adımları olarak değerlendirilen başlıklar Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Çalışmada yürütülen bağımsız uygulama başlıkları

Şekil 4.1'de bahsedilen uygulama başlıkları, birbirinden bağımsız olarak ilerletilmiştir. Şekilde bahsedilen tüm uygulama başlıklarının kendi içerisinde alt başlıkları bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse saha arıza verilerinin analizi uygulamasında, saha arızalarındaki bir parçanın hangi olasılık dağılımına göre arıza oranının belirleneceği tek başına bir alt başlıktır. HTEA uygulamasından örnek vermek gerekirse anlamlı parça seçimi veya parçaların fonksiyonlarının belirlenmesi HTEA uygulamasının bir alt başlığı olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 2.16'da bahsedilen adımlardan ilk 6 adım "Paletli Süspansiyon Sistemi HTEA Uygulaması" ile çözümlenecektir. Saha arıza verilerinin analizi ise bakım periyotlarını belirlemek ve analiz için gerekli olan güvenilirlik değerlerini çıkarmak ve sık arıza yaşayan parçaları tespit etmek için uygulanacaktır. Güvenilirlik blok diyagramının oluşturulması analizlerde hazır bulunmuşluk oranlarını, sistemin duruş süresini veya çalışma süresini hesaplamak için gereklidir ve Şekil 3.4'te bahsedilen tüm analiz türleri için ortak olacak şekilde aynı güvenilirlik blok diyagramının oluşturulması yeterlidir. Bu nedenle süspansiyon sistemi güvenilirlik blok diyagramına sadece bir kez çalışılacaktır ve analiz türüne yönelik özel bir ihtiyaç bulunmamaktadır.

Paletli süspansiyon sistemi bakım faaliyetlerinin belirlenmesi ise uygulanacak olan analize göre değişkenlik gösterecektir. GMBP için yapılması öngörülen Şekil 3.4, analiz (1.1) ve (1.2) için GMBP, planlama karar akış şeması arıza türlerinin HTEA çıktılarına göre değerlendirilmesi ile ortaya çıkacaktır. Şekil 3.4'te belirtilen analiz (2) için bakım planlaması mevcut üründen alınacak olup sadece analizlere girdi olarak eklenecektir. 3. Analiz türünde ise sadece reaktif bakım uygulamaları simülasyona dâhil edilecektir.

Reliasoft yazılımında simülasyonun uygulanabilmesi için güvenilirlik blok diyagramına ait her bir elemanın güvenilirlik değerinin biliniyor olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 4.1'deki çalışma alanlarından bakım faaliyetlerinin belirlenmesi, güvenilirlik blok diyagramının çizilmesi ve saha arıza verilerinin analizi 4 farklı analizlere yönelik uygulanacak simülasyonlarda kullanılacaktır. Bu nedenle tüm analizlere ait simülasyonlarda aynı saha arıza verisi analizi sonuçları uygulanacaktır. Aynı saha arıza verilerinin tüm simülasyonlarda kullanılacak olması, tüm simülasyonların aynı güvenilirlik değerleri kullanıldığında sonuçlarındaki farklılıkları kıyaslayabilmek için önemlidir. Benzer şekilde tüm simülasyonlarda aynı güvenilirlik blok diyagramının kullanılması, parça adetleri, seri ve paralel bağlı sistemlerin tüm analizler için aynı şekilde oluşturulması analizlerin birbirleri ile kıyaslanmasını mümkün kılacaktır. Buna karşın, bakım faaliyetleri daha önce belirtildiği gibi analize özel olarak belirlenecektir. HTEA uygulaması ise sadece GMBP'nin bir parçası olarak çalışılacaktır ve analizlere dâhil edilecektir. Bölüm 4 içeriğinde çalışmada yürütülen bağımsız uygulama başlıklarına değinilecektir, bunun dışında Şekil 3.4'te belirtilen analizlerin detayları ele alınacaktır. Aynı zamanda analiz ve çalışmaların gerçekleştirildiği Reliasoft yazılımındaki analiz koşullarına değinilecektir.

4.1 Saha Arıza Verilerinin Analizi

Saha arıza verileri güvenilirlik çalışmalarında Heap ve Nowlan'ın da belirttiği gibi önemli bir yere sahiptir. Saha verileri, tahmine dayalı olarak başlanılan güvenilirlik çalışmalarının çıktısı olmasının yanında, daha önce Bölüm 3.6'da belirtildiği gibi tahmine dayalı güvenilirlik çalışmalarının doğrulanması amacıyla kullanılabilir. Aynı zamanda saha arıza verileri, tahmine dayalı olarak tasarım aşamasında, elde saha ürünlerine ait arıza verileri bulunmadığı evrede yürütülen

güvenilirlik çalışmalarının, ürün sahaya sürüldükten sonra güncellenmesi amacı ile de kullanılabilir. Bölüm 3.4'te belirtildiği gibi paletli süspansiyon sisteminin seçim kriterlerinden birisi saha arıza verilerinin mevcut bir ürün için sahadan toplanıyor oluşudur. Bu sayede tasarım aşamasında tahmine dayalı gerçekleştirilecek güvenilirlik çalışmaları yerine saha arıza verilerine dayalı güvenilirlik çalışmalarının gerçekleştirilmesi, tez kapsamındaki çalışmalarda hata payını daraltacağı değerlendirilmiştir. Buna karşın güvenilirlik değerlerinin tahmine dayalı olmayıp, saha arıza verileri üzerinden belirlenmesinin hata payını tamamen gidermeyeceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan sahadan toplanan arıza verileri, tezde ele alınan probleme iki nedenle tamamen uymamaktadır: (1) sahadaki ürün, tez çalışması kapsamında değerlendirilen ve tasarım aşaması henüz devam etmekte olan üründen farklı ortam koşullarına maruz kalmaktadır, (2) tezde değerlendirilen araçta bulunan ve süspansiyon sistemi ile ilişkili diğer sistemler ile sahadaki üründen bulunan ve süspansiyon sistemi ile ilişkili diğer sistemler farklılıklar içermektedir. Son olarak, süspansiyon sistemini etkileyen araç seviyesi değerlerin (ağırlık, yükler, ivmeler, vb.) sahadaki ürün ile tasarımı devam eden ürün arasında farklılıklar içermesi sebebiyle hata payının düşürülmesine rağmen tamamen giderilemeyecektir.

Türk ordusunun sahada hali hazırda kullanmakta olduğu bir ürüne ait saha arıza verileri bilinmektedir. Bilinen saha arıza verileri 7000 civarı kayıttan oluşmaktadır. Değerlendirilen saha arıza verileri, aracın farklı sistemlerine ait farklı parçaların çeşitli hata modlarını içermektedir. Tez çalışması uygulama problemi olan paletli süspansiyon sisteminin 7000 civarı kayıt içerisinde arızalarının süzülmesi ve sınıflandırılması üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Eldeki arıza verileri 1000'in üzerindeki araç üzerinden 1990 yılları ile 2010 yılları arasından derlenmiştir. 7000 kayıt arıza verisi kapsamında 12000 civarı arıza giderici faaliyet uygulaması yapılmıştır. Saha arıza verilerinin detaylı ve uzun süreli oluşu sebebiyle tez çalışmasındaki en önemli kilometre taşı proje arıza verilerinden paletli süspansiyon sistemi arıza verilerinin türetilmesi olmuştur. Eldeki arıza verilerine ait bilgiler:

- Araç plakası
- Arıza tanımı
- Arıza giderici faaliyet tanımı
- Arızanın yaşandığı kilometre

- Arızanın yaşandığı motor saati
- Arıza giderici faaliyetin başlandığı tarih
- Arıza giderici faaliyetin sonlandırıldığı tarih
- Arıza kaydı kapsamında uygulanan arıza giderici faaliyet adeti şeklindedir.

Saha arıza verilerinin bilgileri arasında ayrıca sistem bilgileri de yer almaktadır; fakat sistem bilgileri tüm arızalarda girilmemiştir ve eksiktir. Bu nedenle paletli süspansiyon sistemine ait arıza verileri, tüm arıza verileri içerisinde arıza tanımı tek tek değerlendirilerek tespit edilmiştir.

Saha arıza verileri arasında sistem bilgileri ile birlikte değişen parça bilgisi de yer almaktadır; fakat arıza verilerinin değişen parça bilgisine yorumlanması hatalı olacaktır. Bunun sebebi bir arıza kaydına istinaden birden fazla parça değişiminin yaşanmış olabilmesidir. Örnek vermek gerekirse; motor yağlama sistemindeki bir arıza sebebiyle motorda meydana gelebilecek bir hasarda, mevcut arıza yapısına göre kayıtlar Çizelge 4.1'deki şekilde olacaktır. Çizelge 4.1'de belirtilen motor yağı kaçağına takiben aracın yaklaşık 1000 km kadar kullanılması sebebiyle motor yağının yağladığı çeşitli parçalarda hasarlar meydana gelmiştir. Tez çalışması kapsamında değerlendirilen saha arıza verilerinde, bu örnekte olduğu gibi, eğer değişen parça bilgisi üzerinden gidilirse arızalı parçalar yağlama sistemi rakoru, motor silindiri, krank mili ve eksantrik mili olarak tespit edilecektir. Ancak, arıza açıklaması ve arıza giderici faaliyet değerlendirildiğinde ve parça tespiti buna göre yapıldığında; arızalanan parçanın motor yağ sistemi rakoru olduğu ve motor elemanlarının bu arızadan kaynaklı olarak arızalandığı görülecektir. Özetlemek gerekirse, mevcut haliyle toplanan saha arıza verilerinde, takılan parçaya göre yorum yapmak arıza yapan parça hakkında bilgi vermeyecektir ve yanıltıcı olacaktır.

Günümüzde firmaların saha arıza kayıtları genellikle saha personelleri tarafından tutulmaktadır. Bu nedenle arıza kayıtları mevcut saha arıza verilerinde olduğu gibi yoruma dayalı arıza açıklaması ve arıza giderici faaliyet bilgilerini içermektedir. Girilen arıza kaydının yorumlanması ise firmalar tarafından mühendislerin sorumluluğu olarak belirlenmektedir. Bu durumda arıza giderici faaliyeti uygulayan ve meydana gelen olayı gözlemleyen kişi bizzat mühendisin kendisi olmamasından ötürü, saha personeli ile birlikte çalışılmalı ve detaylı girilmeyen arıza açıklamaları ve arıza giderici faaliyetler birlikte yorumlanmalıdır. Bu nedenle, tez çalışması

sırasında paletli süspansiyon sistemine ait arızalar saha arıza verilerinden tespit edilip parçalara göre sınıflandırılırken yazan bilginin yorumlanamadığı durumlarda saha personeline danışılmıştır ve araştırmalar buna göre ilerletilmiştir.

Saha arıza verilerinde yukarıda belirtilen inceleme zorluğunun yanı sıra, analizlerde karşılaşılan bir diğer zorluk ise saha arıza verilerinin kapsamı ve içeriğinin genişliğidir. Firmaların saha arıza verilerinde genel karşılaştığı bir başka problem ise, saha personelinin kaydettiği saha arıza verilerinin içeriğinin yanlış veya yetersiz olabilmesidir. 7000 civarı kayıt içerisinde hatasız kayıt gerçekleştirmek mümkün değildir. Bu durum saha arıza verilerinin açıklama ve arıza giderici faaliyetlerinin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır; fakat bu sorun tez çalışmasında nadir karşılaşılmakla beraber, karşılaşıldığı durumlarda saha personeline danışılarak çözülebilmektedir.

Çizelge 4.1: Örnek saha arıza verisi

Arıza Açıklaması:	Motor yağı sisteminde düşük motor yağ seviyesi uyarısı alınmasını takiben motor bölmesi kontrol edildiğinde sızıntı yaşandığı görülmüştür. Motor düşük yağ ile yaklaşık 1000 km kadar kullanılmıştır
Arıza Giderici Faaliyet:	Sızıntı yaşanan hortum tespit edilmiştir ve sızdırmazlığı kaybolan rakor yenisi ile değiştirilmiştir
Değişen Parça 1:	Motor Yağlama Sistemi Hortumu Rakoru
Değişen Parça 2:	Motor Silindiri
Değişen Parça 3:	Krank Mili
Değişen Parça 4:	Eksantrik Mili

Arıza açıklaması ve arıza giderici faaliyetlerin yorumlanması ile birlikte 7000 civarı saha arıza verisi kaydı arasında, paletli süspansiyon sistemine ait 700 civarı farklı arıza girdisi tespit edilmiştir. Bahsedilen kayıtlar, 400 civarı farklı araca aittir. 700 civarı arıza kaydında ise yaklaşık olarak 1400 arıza giderici faaliyet uygulandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak ise tüm arıza giderici faaliyetlerin yaklaşık %8'inin, tüm arıza kayıtlarının yaklaşık %10'unun süspansiyon sistemine ait olduğu görülmektedir.

Saha arıza verilerinden paletli süspansiyon sistemine ait arıza kayıtlarının süzülmesi sonrasındaki adım, paletli süspansiyon sistemine ait arıza kayıtlarında parça sınıflandırmasının uygulanmasıdır. Bu kapsamda süzülen yaklaşık 1400 arıza giderici faaliyet arıza tanımı değerlendirilerek süspansiyon sistemi parçalarına göre

sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.2’de arıza kayıtlarının sınıflandırılması sonucunda ortaya çıkan parça başı arıza yaklaşık değerler olarak belirtilmektedir.

Çizelge 4.2: Paletli süspansiyon sistemi saha arıza verisine göre arıza adetleri

Parça Adı	Arıza Kaydı Adeti	Arıza Giderici Faaliyet Adeti
Amortisör	300	600
Palet Pabucu	100	2000
Yol Tekerı Destek Kolu	50	100
Yol Tekerı	50	70
Palet Baklası	50	300
Cer Dişlisi	10	20
Gergi Silindiri	10	20
Amortisör Bağlantısı	<10	<10
Cer Dişlisi Kovanı	<10	<10
Gergi Tekerı	<10	<10
Gergi Tekerı Bağlantısı	<10	<10

Çizelge 4.2’de yer alan paletli süspansiyon sistemi saha arıza verisi kayıtlarına göre arıza kaydı en çok girilen parça amortisör, arıza giderici faaliyetin en çok uygulandığı parça ise palet pabucudur. Daha önce Çizelge 3.1’de gösterilen araç başı parça adetlerindeki bilgi değerlendirildiğinde; palet pabuçlarının amortisöre göre daha az arıza kaydı olmasına rağmen daha fazla arıza giderici faaliyet uygulanması, araç başı palet pabucu adetinin 200 civarı, buna karşın araç başı amortisör adetinin 10 civarı olmasından kaynaklıdır. Bunun yanında amortisörün hata modunun zamandan bağımsız ortaya çıkması beklenmektedir; fakat palet pabucunun malzemesinin kauçuk olmasından ve yol sürtünmesinden kaynaklı aşınmasından dolayı palet pabucunun zamana bağlı olarak aşınması beklenmektedir.

Saha arıza verilerinde Çizelge 4.2 ile paletli süspansiyon sistemine ait arızaların adetlerinin belirtilen adetler ile uyuşmadığı görülecektir. Rakamlar arasındaki bu farkın sebebi, paletli süspansiyon sistemi arızaları arasında palet kompleksinde meydana gelen arızalardan ve buna yönelik oluşturulan arıza kayıtlarından kaynaklıdır. Kayıtlarda palet kompleksine dair arıza kayıtları bulunmaktadır. Palet kompleksinin bütününün arızalanması aslında palet baklasında meydana gelebilecek bir arıza modundan kaynaklı olabileceği için Çizelge 4.2’de palet kompleksine ait girilen arıza kayıtları kapsam dışında bırakılmıştır.

Çizelge 4.2 incelendiğinde farkedilen bir diğer durum ise süspansiyon elemanlarına ait parçaların listelendiği Çizelge 3.1'deki tüm parçaların saha arıza kaydının bulunmadığı yönündedir. Bu noktada saha arızaları arasında Çizelge 4.2'deki gibi arıza kaydı bulunan paletli süspansiyon sistemi parçaları için saha verileri kullanılmıştır; fakat Çizelge 4.2'de arıza kaydı bulunmayan parçalar için ise daha önce belirtildiği gibi arıza kayıtlarının doğruluğu ve keskinliği sorgulanmıştır. Bu sorgulamayı yaparken anlamlı parça seçimine göre güvenilirlik değerlendirmelerine dâhil edilecek parçalardan Çizelge 4.2'de yer almayanlar değerlendirilmiştir. Anlamlı parçalar ise ayrıca GMBP için uygulanan HTEA uygulaması Bölümünde ele alınacaktır; fakat belirlenen parçalar Çizelge 3.1'de belirtilen parçalar ile aynıdır. Bu kapsamda Çizelge 3.1 ile Çizelge 4.2 kaydedilen parçalar arasındaki farklar karşılaştırıldığında; Çizelge 3.1'de yer alan destek tekeri, palet kılavuzu ve burulma milinin sahada arıza kaydının olmadığı görülmektedir. Bu durum saha arıza verilerinin kayıtlarının doğruluğundan kaynaklı veya gerçekten arıza yaşanmamasından kaynaklı gerçekleşmiş olabilir. Buna yönelik yapılan araştırmalarda saha personeli ile görüşüldüğünde destek tekeri, palet kılavuzu ve burulma mili parçalarında sahada arıza yaşanmadığına yönelik geri dönüşler olmuştur. Ancak, daha düşük kilometrelerde kullanılan benzer sisteme sahip başka bir ürün üzerinde yapılan saha arıza verilerinin incelemesinde yine burulma mili ve palet kılavuzu parçalarında arızası görülmemesine karşın, destek tekeri için yaklaşık 10 adet arıza kaydı ve yaklaşık 20 adet sağlıklı çalışma kaydı bulunmaktadır. Bu nedenle destek tekeri verilerini oluşturmak için bahsedilen diğer ürüne ait saha arıza verileri kullanılmıştır. Burulma milinde ve palet kılavuzunda ise diğer üründe de arıza kayıtları bulunmaması sebebiyle saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanmamıştır ve güvenilirlik değerlerinin hesaplanması için farklı teknikler uygulanmıştır. Bu teknikler çalışma içerisinde ayrıca ele alınacaktır. Destek tekeri arızaları çalışma kapsamında değerlendirilmesi düşünülmeyen farklı saha arıza verilerinden elde edilebildiği için Çizelge 4.1'de belirtilmemiştir; fakat çalışmalarda 10 arıza 20 sağlıklı çalışma verisi üzerinden güvenilirlik değerleri analizlere dâhil edilmiştir.

Daha önce belirtildiği gibi saha arıza verileri insan yorumuna dayalı ve hata yapmaya ucu açık şekilde bir sistem izlemektedir. Bu nedenle, kalite hatası ve montajdan kaynaklı hatalara dayalı meydana gelen özellikle erken ömür evresindeki arızalar

tüm arıza kayıtlarında tekrar sorgulanmıştır. Arıza kayıtlarında özellikle erken kilometre ve erken motor saatinde kaydedilen kayıtlar ele alınmıştır. Buna yönelik olarak, saha personeli ile tekrar araştırmalar yapılmış ve montaj hatası ile kalite hatası olarak değerlendirilen arızalar kapsam dışında bırakılmıştır.

Bir parçada birden fazla hata modu olabilmesinden kaynaklı paletli süspansiyon sisteminin saha arıza verileri değerlendirilmeden önce ilgili parçaların saha arıza verileri kayıtlarına göre karşılaştığı hata modları çıkarılmıştır. Sahadan gelen arıza verilerinin parçalara göre sınıflandırılmasını takiben arıza kayıtları parçanın arızanın yaşandığı hata moduna göre tekrar sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.3'te süspansiyon sistemi parçalarının saha arıza verilerine göre karşılaştığı arızaların hata modları listelenmiştir.

Çizelge 4.3: Saha arıza verilerine göre parçaların karşılaştığı hata modları

Parça Adı	Hata Modu
Amortisör	*Kırık ve Patlak
Palet Pabucu	*Pabucun Aşınması
Yol Teker Destek Kolu	*Keçe Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı
Yol Teker	*Yol Tekerinde Yapısal Çatlak *Yol Teker Lastiğinin Kopması
Palet Baklası	*Palet Baklası Pininin Kırılması *Palet Baklası Burcunun Kırılması *Bakla Yapısının Kırılması *Bakla Yan Lastiğinin Aşınması
Cer Dişlisi	*Cer Dişlisi Lastiğinin Kopması
Gergi Silindiri	*Gergi Silindirinin Kırılması
Amortisör Bağlantısı	*Amortisör Bağlantı Dişlerinin Aşınması *Keçe Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı
Cer Dişlisi Kovanı	*Cer Dişlisi Kovanı Göbek Cıvatası Deliğinde Çatlak Oluşumu
Gergi Teker	* Gergi Teker Keçesi Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı
Gergi Teker Bağlantısı	* Gergi Teker Bağlantısının Kırılması
Destek Teker	*Teker Yapısında Kırık
Palet Kılavuzu	*Kırık

Uygun arıza olasılık dağılımlarının doğru belirlenmesinde saha arıza verilerinin doğru olması ve verinin tek hata modu içermesi önem taşımaktadır. Reliasoft yazılımında tek hata taşımadığı düşünülen parçalar için 2 popülasyon, 3 popülasyon

veya 4 farklı popülasyona göre analizler yapılabilmektedir. Yapılan bu analizlere göre farklı hata modundan kaynaklı arıza yaşandığı düşünülen veriler birbirinden ayrıştırılabilmektedir. Saha arıza verilerinde hata modlarının saha arıza verileri açıklamaları ve arıza giderici faaliyetlerinin yorumlanarak ayrıştırılmasının yanında, Reliasoft yazılımında birden fazla hata modu olduğu değerlendirilen arıza kayıtlarında analizler yapılarak arıza verilerinin birbirlerinden ayrıştırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Saha arıza verilerinde hata modlarının ayrıştırılması tek başına bir literatür başlığı olarak değerlendirildiği için bu tez çalışması kapsamında bu konuda yapılan çalışmalar konusunda detay bilgilere yer verilmemiştir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde sahadan gelen bilgilere göre çoğu parçanın tek hata modu içerdiği görülmektedir. Palet baklası, yol tekeri ve amortisör bağlantısının ise birden fazla hata modu içerdiği görülmektedir. Palet baklası, yol tekeri ve amortisör bağlantısı için hata moduna göre arıza sınıflandırması yapılmıştır. Geriye kalan parçalar ise tek hata modu kaynaklı arıza yaşadıkları için bu sınıflandırmayı yapmaya gerek görülmemiştir. Çizelge 4.4'te belirtilen 3 parçaya uygulanan hata moduna yönelik arıza adeti sınıflandırmasına göre sınıflandırılan arıza adetleri verilmiştir. Çizelge 4.4'te belirtilen arıza giderici faaliyet adetleri arıza verilerinin gizliliği sebebiyle rakamsal olarak belirtilmemiştir.

Çizelge 4.4: Hata modlarına göre arıza giderici faaliyet adetleri

Parça İsmi	Hata Modu	Arıza Giderici Faaliyet Adeti
Amortisör Bağlantısı	Dişlerde Aşınma	Yüksek Arıza Adeti
	Keçe Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı	Düşük Arıza Adeti
Palet Baklası	Pin Kırılması	Düşük Arıza Adeti
	Yapısal Kırılma	Yüksek Arıza Adeti
	Yan Lastiğin Düşmesi	Yüksek Arıza Adeti
Yol Tekeri	Yapısal Çatlak	Düşük Arıza Adeti
	Lastiğin Kopması	Yüksek Arıza Adeti

Çizelge 4.4'te belirtilmemiş; fakat Çizelge 4.2'de belirtilen parçaların tamamında ise tek hata moduna yönelik arıza gözlemlendiği için Çizelge 4.3'te belirtilen hata modlarının arıza giderici faaliyet adetleri Çizelge 4.2'de belirtilen arıza giderici faaliyet adetleridir. Birden fazla hata modu içeren Çizelge 4.4'te belirtilen parçalarda düşük arıza adetlerine sahip hata modları amortisör ve yol tekeri parçalarında değerlendirmelerden, istatistiki anlamda çıktı üretmek için yetersiz veri olmasından

kaynaklı çıkarılmıştır. Aynı zamanda amortisör bağlantısı keçe sızdırmazlığı fonksiyon kaybı, palet baklası pin kırılması ve yol tekeri yapısal çatlak hata modlarının saha arıza verilerindeki arıza adetlerinin düşük olması nedeniyle münferit olduğuna karar verilmiştir. Palet baklasında ise yapısal kırılmanın, yan lastiğin düşmesi sebebiyle de meydana gelebileceği belirlenmiştir. Bu nedenle yapısal kırılma hata modu ile yan lastiğin düşmesi hata modlarına ait arıza verileri birleştirilmiştir.

4.1.1 Veri türleri

Herhangi bir olaya ait veriler 4 farklı türde olabilmektedir. Veri Türleri ve arıza verilerine yönelik açıklamaları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Saha arıza verilerinin analizinde 4 farklı veri türünün içeriği önemli bir yol ayrımını belirlemektedir.

Çizelge 4.5: Veri türleri

Tam Veri	Ürünlerin fonksiyonel ömrüne ulaşması ile birlikte veri toplanmaya başlanır ve belirli bir zaman dilimi boyunca devam edilir. Veri toplanırken eldeki tüm ürünler arızalanır ve veri toplamanın sonlandırıldığı anda halen çalışmakta olan ve arızalanmamış ürün bulunmamaktadır.
Sağdan Sansürlü Veri	Ürünlerin fonksiyonel ömrüne ulaşması ile birlikte veri toplanmaya başlanır ve belirli bir zaman dilimi boyunca devam edilir. Veri toplanırken arızalanan ürünlerin arıza zamanı bilgileri bilinir; fakat bunun yanında veri toplamanın sonlandırıldığı anda halen çalışmakta olan ve arızalanmamış ürünler bulunmaktadır.
Aralık Sansürlü Veri	Belirli aralıklarla veri toplanır. Ürünün arızalandığı zaman net olarak bilinmemektedir ve ürünün fonksiyonelliğini korurken yapılan gözlem ile ürünün fonksiyonel olmadığı zamanda yapılan gözlem arasında bir zamanda ürünün arızalandığı kabul edilir. Bu veri türünde ürün arızası net değer olarak bilinmediği için iki gözlem arasındaki zaman dilimi olarak aralıklı şekilde girilir.
Soldan Sansürlü Veri	Aralık sansürlü verinin özel bir durumudur. Belirli bir anda yapılan gözlemlerde popülasyondaki ürünlerin gözlem öncesindeki bir zamanda arızalandığı biliniyorsa geçerlidir.

Bu çalışma kapsamında incelenen saha arıza verilerinde Çizelge 4.5'te belirtilen sağdan sansürlü veri tipi geçerlidir. Sürekli gözlem altında bulunan ürünlerin yaşadığı arızalar kayıt altına alınmaktadır; fakat sürekli gözlem altındaki ürünler arasında aynı zamanda arızalanmayıp halen çalışmakta olan ürünler bulunmaktadır.

4.1.2 İncelenen saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçalar

Bu bölümde daha önce saha arıza verilerinin insan hatasına açık olduğu belirtilmiştir. Bu durum saha verileri incelendiğinde kalite ve montaj hatalarının arıza olarak kaydedilmesi, sistem veya parça bilgilerinin eksik olması, arıza açıklamaları ve arıza giderici faaliyet tanımlarının yetersiz olması dışında da gözlemlenmektedir. Özellikle arıza yaşayan tüm parçaların yönetsel zorluklardan dolayı her seferinde kaydedilemediği bilinmektedir. Bu durumun veri uygulama problemi sayısını düşürmesinden kaynaklı kesinliği azaltmasının dışında, saha arıza verileri sağdan sansürlü olarak değerlendirildiğinde ve Reliasoft yazılımına veri girişi bu şekilde yapıldığında hatalı sonuçlar göstereceği değerlendirilmiştir. Örnek vermek gerekirse; Çizelge 4.1’de belirtilen amortisör arızaları yaklaşık 200 farklı araçta 300 civarı kayıt ile yaklaşık 600 kez yaşanmıştır. Bu durumda saha arıza verilerinin, yaklaşık 1000’in üzerindeki araçtan 200 civarı arıza yaşanan araç popülasyonu düşüldüğünde yaklaşık 800 araçta yer alan amortisörlerin sağdan sansürlü ve halen çalışmakta olan ürün olarak girilmesi gerekmektedir. Bu veri girişine göre güvenilirlik değerleri hesaplandığında, amortisör arızalarının olması gereken değere göre çok daha düşük bir değerde yaşanacağına dair bir sonuç çıkacaktır ve bakım faaliyetlerinde bakım periyodu belirlenmesine karar verilmesi durumunda seyrek bakım periyodu ataması yapılacaktır. Örnekte bahsedilen yanıtıcı durumun yaşanmaması için mevcutta değerlendirilmekte olan parça için arıza kaydı girilen araçların, sağdan sansürlü parçaları veri olarak girilmiştir. Arıza kaydı bulunmayan araçların parçaları ise sağdan sansürlü veri olarak analizlere dâhil edilmemiştir. Örnek vermek gerekirse, yaklaşık 200 farklı araçta yaşanan yaklaşık 300 amortisör arızası için Reliasoft yazılımına güvenilirlik değerlerini hesaplamak üzere veri girişi yapılırken sadece 200 araçtaki sağlıklı çalışma verileri girilmiştir. Bu durum veri popülasyonu küçüldüğü için kesinliği düşürecektir; fakat saha arıza verisi girişlerinde yapılan bazı araçların hiç takip edilmemesi yönündeki hataları ise ortadan kaldıracaktır. Bunun dışında istatistiki anlamda verinin azalması doğruluk ve kesinliği düşürecektir; fakat istatistik çalışmaları için örneklem sayısı farklı parametrelerle hesaplanabilmekte olup mühendislik yargısına göre yaklaşık 30 örneklem yeterli görülmektedir (Yurdugül, 2008). Bahsedilen bu örneklem sayısı, saha arıza verileri için arızalanan ürünlerin adetleri ile fonksiyonelliğini kaybetmeyen ürünlerin adetlerinin toplamı olarak

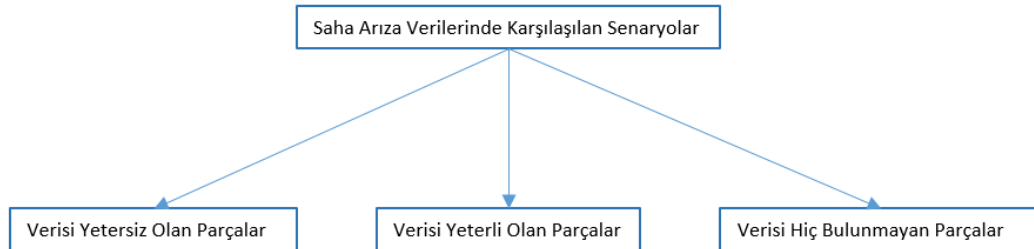
değerlendirilmektedir. Örneklem sayısını istenilen doğruluk ve keskinliğe göre de hesaplamak mümkündür; fakat örneklem sayısının istatistiki olarak yeterliliği tez çalışması kapsamında yer almadığı için, parça özelinde verilerin yeterliliği üzerine ayrıca çalışılmamıştır ve mühendislik yargılarına göre hareket edilmiştir. Bunun yanında saha verileri analizinde ek olarak parçaların örneklem sayısının yeterliliğini değerlendirmek mümkündür.

Çizelge 4.2'ye göre arıza adeti 10'dan düşük 4 adet parça bulunmaktadır:

- Amortisör Bağlantısı
- Cer Dişlisi Kovanı
- Gergi Tekeri
- Gergi Tekeri Bağlantısı

Daha önce bahsedilen, sağdan sansürlü verinin analizlere dâhil edilme yaklaşımına göre bu parçaların arıza yaşadığı araçlardaki fonksiyonelliğini 1990-2010 yılları arasında kaybetmemiş parçalar değerlendirmeye katıldığında parçaların istatistiki çalışma yapmak için belirlenen en az 30 örneklem verisi ön koşulunu sağlamadığı görülmektedir. Bu nedenle Çizelge 4.2'de yer alan bahsi geçen 4 parçanın güvenilirlik değerleri saha arıza verilerine farklı yöntemler ile belirlenmiştir.

Bölüm 4.1'de şimdiye kadar ele alınan saha arızalarında karşılaşılan senaryolar Şekil 4.2'de özet olarak gösterilmektedir. Bu senaryolar, Çizelge 3.1'e göre belirlenen paletli süspansiyon sistemi parçalarından hiç arıza kaydı bulunmayan parçalar, arıza kaydı olmasına rağmen arıza adedi ve fonksiyonelliğini kaybetmemeye yönelik verilerin yeterli olmadığı parçalar, saha arıza verileri istatistiki çalışma yapmak için yeterli görülen parçalar olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 4.2: Saha arıza verilerinde karşılaşılan senaryolar

Şekil 4.2’de bahsedilen verisi yetersiz olan parçalar ve verisi hiç bulunmayan parçalar için farklı yöntemlerle güvenilirlik değerlerinin belirlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bölüm içinde daha önce bahsedilen destek tekerinin güvenilirlik değerinin başka saha arıza verilerine göre hesaplanması yöntemi buna bir örnektir. Analizleri gerçekleştirebilmek için güvenilirlik değerinin hesaplanması gerekli olan; fakat saha arıza verileriyle güvenilirlik verisi tespit edilememiş parçaların listesi Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçalar

Amortisör Bağlantısı
Cer Dişlisi Kovanı
Gergi Tekerı Bağlantısı
Gergi Tekerı
Palet Kılavuzu
Burulma Mili

Çizelge 4.6’da belirtilen parçalar, saha arıza verileri hiç bulunmadığı için güvenilirlik değerleri saha arıza verileri kullanılarak hesaplanamamıştır veya saha arıza verisi sayısı istatistiki anlamda çalışma yapmak için yetersiz görüldüğünden güvenilirlik değerleri farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. Saha arıza verisinin yetersiz olması veya hiç bulunmaması durumunda aşağıdaki yöntemlerden birisi tercih edilebilir:

- Araştırılana benzer bir tasarıma sahip ve aynı fonksiyonları yerine getiren bir parçanın kullanıldığı, benzer ortam koşullarına maruz kalan bir ürüne ait saha arıza verilerinde parçaya ait arıza kaydı bilgileri kullanılabilir.
- Elektronik Olmayan Parçalar Güvenilirlik Veritabanı (NPRD-16) veya Mekanik parçalar için güvenilirlik tahmini el kitabı (NSWC-11) kaynaklarından bilgi alınabilir.
- Benzer fonksiyonu yerine getiren, malzeme ve tasarım olarak benzeyen başka bir parçanın arızalanma verileri biliniyorsa bu parçanın verileri arıza verisi bulunmayan parça için kullanılabilir.
- Arıza verisi bulunamayan veya istatistiki çalışma yapmak için yeterli sayıda saha arıza verisi bulunmayan parçalar için fonksiyonelliğini yitirmeden çalıştığı süreler ve varsa arızalanma süreleri kullanılarak parçanın özelliklerine uygun Weibull olasılık dağılımı beta tahmini yapıp belirlenebilir ve güvenilirlik değerleri bu yöntemle hesaplanabilir.

Çizelge 4.6'da belirtilen parçalar için güvenilirlik değerlerinin hesaplanabileceği alternatif yöntemler üzerinde durulmuştur ve belirtilen dört alternatif yöntemden birisi seçilerek ilerlenilmiştir. NPRD-16 ve NSWC-11 veritabanlarında Amerikan ordusunun kara, hava veya denizcilik ürünlerinde yer alan parçaların arıza oranları bulunmaktadır. Bu noktada NPRD-16 veya NSWC-11'den benzer işlevlerde kullanılan parçaların arıza oranlarını kullanmak uygun gözükse bile, bu veritabanlarında yer alan arıza oranları sadece üstel olasılık dağılımına sahip olduğu için GMBP açısından kullanılmasının sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir. Bu veritabanlarında yer alan verilerin sadece üstel olasılık dağılımına göre belirlenmesi, daha önce Bölüm 2.2'deki Şekil 2.7'de belirtildiği gibi, birden fazla parçanın aynı anda gözlemlenmesi durumunda parçaların farklı sıklıklarda arızalanması dolayısıyla bir popülasyon incelendiğinde, popülasyonda yer alan parçadan kaynaklı popülasyonun rastgele arıza göstermesinden kaynaklıdır. Ancak, parça özelinde bir inceleme yapılırsa parçanın aslında rastgele arıza yaşamayıp, farklı bir olasılık dağılımına uygun olduğu görülebilir. Belirtilen bu standartlarda ise parçaların arıza oranları parça başına değil popülasyon üzerinden hesaplanmaktadır. Bu nedenle arıza oranları popülasyon seviyesinde üstel olasılık dağılımına uygundur; fakat parça başına değerlendirilecek GMBP çalışması için bu verileri kullanmak yanıltıcı olacaktır. Ayrıca Bölüm 2.4'de Şekil 2.9'da belirtildiği gibi rastgele arıza gösterip zamana göre arıza oranı sabit olan veya zamana göre arıza oranı azalan olan bir parçada GMBP hata türüne göre belirlenmesi durumunda proaktif bakım faaliyeti tanımlamak uygun olmayacaktır. Bu durumda üstel dağılıma veya azalan arıza oranına sahip bir parçada proaktif bakımlar yerine farklı bakım türleri değerlendirilmektedir.

Saha arıza verisine göre güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçalar için NPRD-16 veya NSWC-11 veritabanlarına göre arıza oranı belirlemek GMBP'de karar akış şemasında proaktif bakımların seçimini veritabanından elde edilen arıza verisine göre engellemek anlamına gelecektir. Bir diğer deyişle, GMBP karar akış şemasındaki bir akış yolu, parçaların arıza oranlarının NPRD-16 veya NSWC-11'e göre belirlenmesi sebebiyle tıkanmış olacaktır. Bu durumun GMBP'de parçaların güvenilirlik değerlerinin araştırılması üzerine belirlediği yapıya aykırı olduğu değerlendirilmiştir. İncelenmesi belirlenen parçalar arasında üstel olasılık dağılımına uygun elektronik bir ekipman da bulunmamaktadır. Bu nedenle Çizelge 4.6'daki parçalar için hiç bir

durumda NPRD-16 veya NSWC-11 veritabanları arıza oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bir diğer deyişle GMBP çalışmalarında veritabanlarındaki üstel olasılık dağılımına sahip arıza oranlarının kullanılması planlama karar akış şeması yol haritasında proaktif bakım faaliyetlerinin tanımlanabileceği akış yolunu engelleyeceği için uygun gözükmemektedir. Buna karşın saha arıza kaydı bulunamayan parçalarda veritabanındaki bilgiler haricinde herhangi bir şekilde sabit arıza oranı veya azalan arıza oranı tespit edilmesi durumunda bu bilgilerin GMBP’de kullanılabilmesi değerlendirilmiştir. Bunun sebebi, parçaya uygulanan bir hızlandırılmış ömür testi parçanın gerçek arıza oranını değerlendirecektir; fakat veritabanı bilgilerine, parça ismi aynı olsa bile, veritabanında yer alan parçaların aynı ortamda, aynı yükler altında, aynı tasarıma sahip olup olmadığına şüphe ile yaklaşılmalıdır. Yine benzer şekilde, parçanın tasarımına çok benzer bir tasarım ve malzeme özelliklerine sahip bir parçanın saha arıza verilerinin saha arıza verisi üzerinden güvenilirlik dağılımı hesaplanamayan parça için kullanılmasının NSWC-11 veya NPRD-16 kullanılmasına göre daha olumlu etkileri olacağı değerlendirilmiştir.

Saha arıza verilerinde arıza kaydı bulunmayan veya istatistiki çalışma yapmak için yetersiz arıza verisi bulunan parçalarda Weibull olasılık dağılımı şekil parametresi (beta) tahmini yapılarak, parçanın fonksiyonel olduğu süreler ve varsa arıza süreleri kullanılarak güvenilirlik değerleri hesaplanabilir. Beta tahmini benzer parçaların beta değeri üzerinden, literatür araştırmalarından veya mühendislik yargılarından belirlenebilir. Bu kapsamda Çizelge 4.6’da belirtilen parçalar ile benzer fonksiyonlara ve tasarıma sahip parçaların, saha arıza verilerinin istatistiki çalışma gerçekleştirmek için yeterli olması durumunda, Weibull olasılık dağılımına göre Reliasoft yazılımında beta değerleri belirlenmiştir.

Saha arıza verileri bulunmayan veya istatistiksel çalışma yapmak için yetersiz bulunan parçalar için güvenilirlik değerlerinin hesaplanması belirtilen yöntemler üzerinden yapılmıştır. Çizelge 4.7’de, Çizelge 4.6’da yer alan parçaların güvenilirlik değerlerinin hangi alternatif yöntem kullanılarak hesaplandığına dair bilgiler paylaşılmıştır.

Çizelge 4.7: Saha arıza verisine göre güvenilirlik değerleri hesaplanamayan parçaların güvenilirlik değerleri hesaplama yöntemleri

Parça Adı	Güvenilirlik Değeri Hesaplama Yöntemi
Amortisör Bağlantısı	Yol Tekerı Destek Kolu Arıza Verileri
Cer Dişlisi Kovanı	Beta =1,3 ve Saha Verileri
Gergi Tekerı Bağlantısı	Yol Tekerı Destek Kolu Arıza Verileri
Gergi Tekerı	Beta =2 ve Saha Verileri
Destek Tekerı	Alternatif Ürün Saha Arıza Verileri
Palet Kılavuzu	Beta =2 ve Saha Verileri
Burulma Mili	Beta =1,5 ve Saha Verileri

Amortisör bağlantısı ve gergi tekerı bağlantısı malzeme özellikleri, taşıdığı yükler ve tasarım olarak yol tekerı destek kolu ile benzerdir. Bu nedenle, amortisör bağlantısı ve gergi tekerı bağlantısı güvenilirlik değerleri yol tekerı destek kolu arıza verilerine göre hesaplanmıştır. Daha önce belirtildiği gibi, yeni tasarım için incelenen destek tekerı için veriler, sahada daha düşük kilometre yapan bir araçta yer alan benzer tasarıma sahip destek tekerından toplanan saha verilerine göre hesaplanmıştır. Burulma mili, palet kılavuzu, gergi tekerı, cer dişlisi kovanı parçaları ise beta tahmini yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Beta tahmini daha önce belirtildiği gibi, benzer yükleri taşıyan, benzer tasarıma sahip ve benzer malzemeler kullanılan parçaların Reliasoft yazılımında weibull olasılık dağılımına göre elde edilen beta değerleri ve benzer ürünlerin çeşitli literatür çalışmalarında hesaplanan beta değerleri üzerinden değerlendirilmiştir (Bertsche, 2008) (GE Digital Solutions, t.y.).

Çizelge 4.7’de belirtilmemiş; fakat Çizelge 3.1’de anlamlı parça olarak belirlenen parçalar ise mevcut saha arıza verileri üzerinden hesaplanmıştır. Mevcut saha verileri üzerinden güvenilirlik değerleri hesaplanan parçalar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Saha arıza verileri kullanılarak güvenilirlik değerleri hesaplanan parçalar

Parça Adı
Amortisör
Palet Pabucu
Yol Tekerı Destek Kolu
Yol Tekerı
Palet Baklası
Cer Dişlisi
Gergi Silindiri
Destek Tekerı

Çizelge 4.8’de belirtilen destek tekeri başka bir ürünündeki saha arıza verileri kullanılarak hesaplanırken, diğer parçalar için güvenilirlik değerleri mevcut saha arıza verileri üzerinden hesaplanmıştır. Çizelge 4.8’de listelenen parçalar, Şekil 4.2’de belirtilen “Saha Verisi Yeterli Olan Parçalar” sınıfındadır. Çizelge 4.7’de yer alan parçalar ise Şekil 4.2’de belirtilen “Saha Verisi Yetersiz Parçalar” ve “Saha Verisi Hiç Bulunmayan Parçalar” olarak çalışmada değerlendirilmiştir.

4.1.3 Saha arıza verilerine göre uygun arıza olasılık dağılımının seçimi

Parçaların güvenilirlik değerlerinin hesaplanabilmesi için parçanın daha önce Bölüm 2.2’de belirtilen arıza olasılık dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Parçaya uygun arıza olasılık dağılımı, parçanın ömür özellikleri, parçanın mekanik veya elektronik oluşu, parçanın aşınan oluşu, parçanın malzeme özellikleri gibi kriterlere göre belirlenmektedir. Arıza olasılık dağılımlarının parçalara yönelik seçim kriterleri ve arıza olasılık dağılımlarının özellikleri detaylı olarak Bölüm 2.2’de ele alınmıştır.

Reliasoft yazılımı arıza verilerinin programa girilmesi ile birlikte arıza verilerine en uygun dağılım tiplerini sıralamaya koymaktadır. Yazılımda üç farklı yöntemle göre sıralama belirlenmektedir. Yazılımın önerisi olan arıza olasılık dağılımlarından ilk üç sıradaki önerilen yöntem incelenmiştir. Üç yöntem, Reliasoft yazılımında istenilen tüm olasılık dağılımları için hesaplanır. Her bir olasılık dağılımı için hesaplanan yöntemlerin değerlerine göre olasılık dağılımları öncelik sırasına göre sıralanır. Yöntemlerin ağırlıklarına göre programın hesapladığı değerler ağırlıkları ile çarpılır ve buna göre Reliasoft yazılımı arıza verilerine en uygun olasılık dağılımını belirler. Reliasoft yazılımının her parça için önerdiği ilk üç arıza olasılık dağılımına ait bilgiler Ek C’de çizelge şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.8’de yer alan parçalar için Reliasoft yazılımına arıza verileri girilmesini takiben en uygun olasılık dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada Bölüm 2.2’de belirtilen bilgiler ve Reliasoft yazılımının önerdiği en uygun ilk 3 olasılık dağılımı önerileri karşılaştırılmıştır. Reliasoft yazılımının belirtilen testleri gerçekleştirerek belirlediği uygun olasılık dağılımları istatistikte kesinlik söz konusu olmamasından dolayı sadece öneri olup, parça için uygun olasılık dağılımında nihai kararın mühendislik yargısına belirlenmesi gerekmektedir. Bu yargı Bölüm 2.2’de bahsedilen olasılık dağılımlarının arıza türlerine göre literatürdeki tanımları kullanılarak ve tecrübelerle istinaden oluşturulmalıdır. Seçim kriterinde ağırlıklı olarak Weibull arıza olasılık dağılımının seçilmesi üzerinde durulmuştur.

Belirtilen karşılaştırmayı yaparken en güvenli yaklaşım arıza sıklığı en yüksek olan olasılık dağılımı olacağı için, olasılık dağılımlarının %90 ve %50 güven aralığına göre MTTF ve B% ömrü değerleride önerilen ilk 3 olasılık dağılımı için hesaplanmıştır. Her parça için verilen değerlerde sadece MTTF değerleri belirtilmiştir. Lognormal, normal ve üstel dağılımın GMBP uygulamasında seçimi arıza oranlarının azalan olması sebebiyle öncelikli değildir. Bunun yanında MTTF değeri olarak en güvenli dağılımın çoğu parça için Weibull arıza olasılık dağılımı olduğu her parça altında verilen çizelgelerde görülmektedir. Ayrıca Weibull dağılımı diğer dağılımların dışında parçanın aşınma ömrü içinde olup olmadığına dair bilgi verebilmektedir. Bu nedenle en güvenli yaklaşım tüm analizlerde Weibull arıza olasılık dağılımı olarak belirlenmiştir.

B% ömür parçaların belirli bir yüzdesi arızalanana kadar geçen süre olarak değerlendirilmektedir ve çoğunlukla rulmanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada B% ömür ifadesi yerine B10 ifadesinin kullanıldığı alanlarda, parçaların %10’unun arızalanana kadar geçeceği süre çıkarımı yapılmalıdır.

MTTF çoğunlukla MTTFE ve MTBF ile karıştırılabilmektedir. MTTFE, parçanın ilk arızasına kadar geçen sürelerin ortalaması, MTBF, arızalar arası ortalama süredir. Burada MTTF ile anlatılmak istenen, parçanın arızalanmasına kadar geçen sürelerin ortalaması olduğudur. MTBF değeri içerisinde MTTR, yani tamirler arası geçen ortalama süre dahildir. Bu nedenle çalışmalarda MTBF değeri kullanılmamıştır. MTTFE Reliasoft yazılımı üzerinde hesaplanmamaktadır, bu nedenle bahsedilen güvenilirlik değerleri yerine çalışmalarda MTTF değeri ve MTTFE yerine ise B% değeri kullanılmıştır.

Reliasoft yazılımında tüm parça için güvenilirlik analizleri MLE (Maximum Likelihood Estimation) yöntemine göre çözdürülmüştür. MLE yöntemi sağdan sansürlü verilerin çözdürülmesi için uygundur ve eldeki parça verilerinin tamamı sağdan sansürlü veri içermektedir.

MLE yöntemi bir olasılık dağılımında eniyilenen en olası fonksiyon ile parametrelerin kestirimi üzerine kuruludur (Chambers & diğerleri, 2012). MLE'nin amacı, en olası tahminin eniyilenmesi ile veri popülasyonunun en olası girişimi bulmaktır (Myung, 2003).

Bir olayın meydana gelme olasılığı p , en olası değer $P(\text{veri} | p)$ ile gösterilirse eniyilenen en olası değer hesabı denklem (4.1)'de gösterilmiştir. En olası değer, olayın meydana gelme olasılığı fonksiyonu cinsinden türevi alınarak sıfıra eşitlendiğinde eniyilenmiş en olası değer ortaya çıkacaktır. Eğer veri popülasyonunun birden çok tepe noktası bulunuyorsa bu durumda her veri noktasının olası değeri ikinci derece türev ile Hessian matrisi kullanılarak çözdürülür ve böylece negatif belirli noktalar kullanılarak lokal iç bükey ve dış bükey noktalar veri içerisinde tespit edilebilecektir. Bu sayede lokal maksimum noktalardan kaçılarak eniyilenmiş olası değere ulaşılabilecektir (Small ve Wang, 2003).

$$\frac{dP}{dp} = 0 \quad (4.1)$$

Parçaların çözüm yöntemleri anlatılırken, tüm parçalar için PDF, histogram ve logaritmik grafikleri paylaşılmıştır. PDF dağılımları daha önce bölüm 2'de bahsedilen yöntemle göre hesaplanmıştır. Logaritmik grafikler ise arıza olasılık dağılımı olan pdf denkleminde güvenilirlik eğrisinin hesaplanması ile birlikte denklem (4.2)'ye göre logaritmik ölçeğe çevirilerek çizdirilmiştir. Aynı şekilde veri noktaları da logaritmik ölçeğe çevirilerek, logaritmik grafik üzerinde gösterilmiştir.

$$y = \log R(x) \quad (4.2)$$

Son olarak ise analizlerde arıza verileri kullanılarak güvenilirlik değerleri hesaplanan her parça için histogram ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrileri eklerde ayrıca verilmiştir. Ek A'da verilen histogram ve olasılık yoğunluk fonksiyonlarına göre çoğu parçanın olasılık yoğunluk fonksiyonunun ekstrapolasyon ile oluşturulduğu görülmektedir. Ayrıca belirtmek gerekirse, histogram üzerinde sağlıklı çalışma verileri kullanılmamasına rağmen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ve parçaların

güvenilirlik değerlerinin hesaplanmasında sağlıklı çalışma süreleride kullanılmıştır. Ekstrapolasyon yapılırken parçaların sağlıklı çalışma süreleri de değerlendirilmiştir ve olasılık yoğunluk fonksiyonu üzerinde sağlıklı çalışma süreleri belirleyici olmuştur. Ek A'da verilen grafiklerde olasılık yoğunluk fonksiyonları ve histogram yoğunlukları parçaya göre farklılaştığı için, x ve y eksenini ölçekleri ve histogram periyotları birbirinden farklı verilmiştir. Değerlendirmeler yapılırken x ve y eksenindeki ölçeklerin farklılığı ve histogram periyotlarının farklılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Belirtilen farklılıklar nedeniyle parçalarda grafik üzerinden yapılan karşılaştırmalarda farklılıklar görülebilir.

4.1.4 Palet baklası

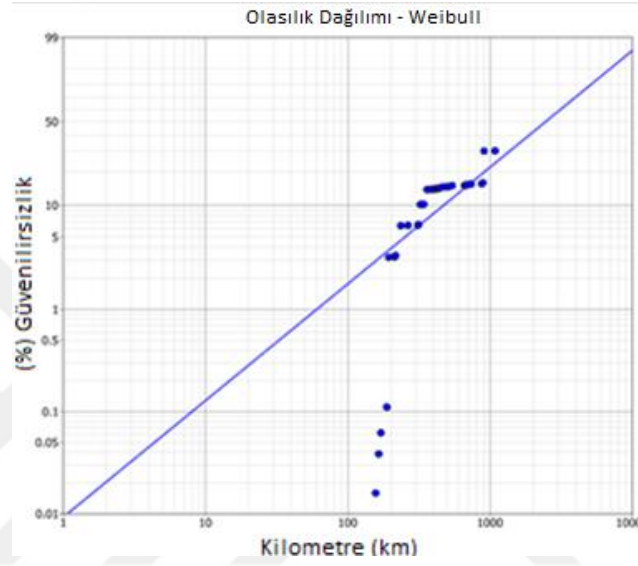
Palet baklası parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 300 civarı arıza ve 2500 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Palet baklası için Reliasoft yazılımında Çizelge Ek 3.1'de belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Weibull olasılık dağılımı için Şekil 4.3 incelendiğinde, olasılık dağılımından 4 verinin saptığı görülmektedir. Bu durumun, arıza verilerinde tespit edilemeyen bir veri girişi hatasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu nedenle Şekil 4.3'te gösterilen 4 sapan veri çıkarılmıştır. Bahsedilen veriler çıkarıldığında geriye 200 civarı arıza kaydı, 2500 civarı fonksiyonel çalışma kaydı kalmaktadır. Veriler çıkarıldıktan sonra görülen Weibull olasılık dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. Palet baklası parçası için Weibull olasılık dağılımı MTTF değerinin daha güvenli olması ve alt ve üst sınır arasındaki aralığın dar olması sebebiyle, Weibull olasılık dağılımı seçilmiştir.

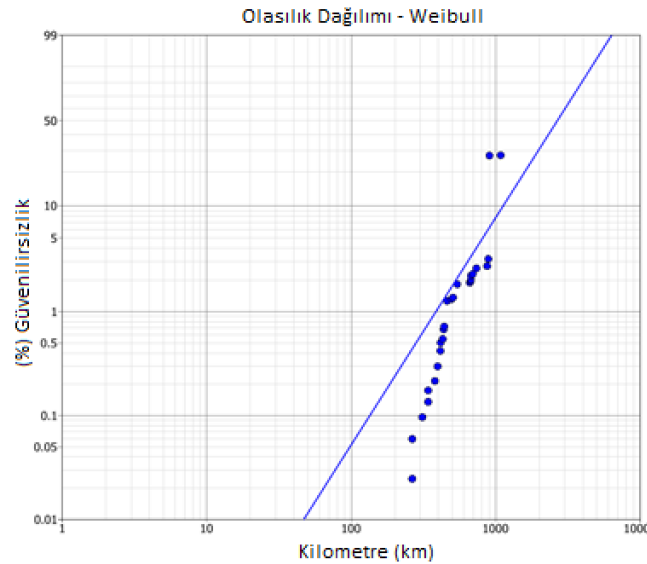
Fonksiyonel çalışma süreleri veri noktası olarak olasılık dağılımı grafiklerinde gösterilmemektedir; fakat arka planda fonksiyonel çalışma süreleride veri olarak değerlendirilmektedir.

Şekil Ek 1.1'de gösterildiği gibi, palet baklasının arızaları erken ömründe meydana gelmiştir. Erken ömürde meydana gelen arızalara göre Reliasoft yazılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunu ekstrapolasyon yaparak oluşturmuştur.

Şekil Ek 2.1’de palet baklası için Reliasoft yazılımının birinci sırada önerdiği lognormal arıza olasılık dağılımı grafiği verilmiştir. Lognormal arıza olasılık dağılımının seçimi, Şekil 4.4’te Weibull arıza olasılık dağılımı ile karşılaştırıldığında daha uygun gözükmemektedir; fakat Bölüm 4.1.3’te bahsedildiği gibi, Lognormal arıza oranı azalan eğime sahip olduğu için ve MTTF değeri Weibull arıza olasılık dağılımında daha güvenli olduğu için, Weibull arıza olasılık dağılımının seçimine öncelik verilmiştir.



Şekil 4.3: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu



Şekil 4.4: Sapma gösteren veriler çıkarıldıktan sonra logaritmik grafikte weibull olasılık dağılımı ve verilerin konumu

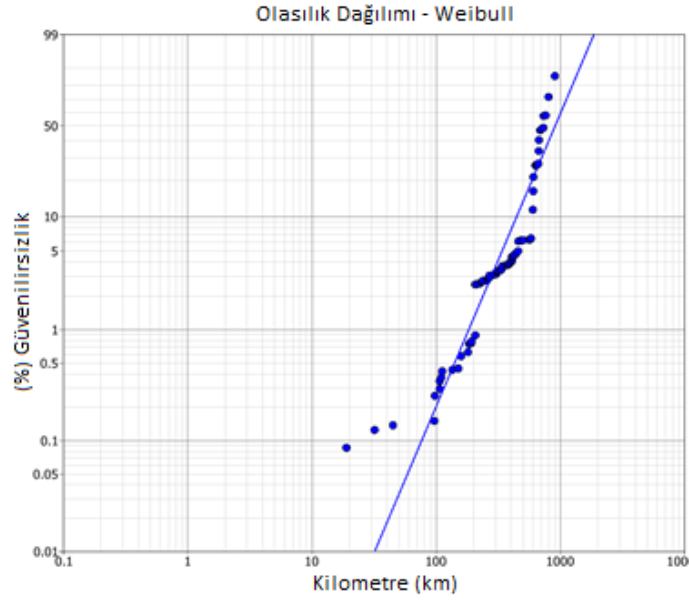
4.1.5 Palet pabucu

Palet pabucu parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 2000 civarı arıza ve 5000 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre Palet pabucu için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Palet pabucu için Reliasoft yazılımında

Çizelge Ek 3.2'de belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Şekil Ek 1.2'de palet pabucunun histogram ve olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir. Palet pabucunun aşınan ömürlü parça olduğu bilindiği için 500-750 km sonrasında arıza yaşamadığı görülmektedir. Çoğu parçanın olasılık yoğunluk fonksiyonunda olduğu gibi palet pabucunda erken ömürde yaşanan arızalarına göre ekstrapolasyon ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun oluşturulduğu Şekil Ek 1.2'da görülmektedir.

Çizelge Ek 3.2'den, MTTF değeri olarak en güvenli dağılımın Normal olasılık dağılımı olduğu görülmektedir; fakat Normal olasılık dağılımının belirli bir tepe noktası sonrasında azalan arıza oranına sahip olması normal arıza olasılık dağılımının seçilmesinin sorgulanmasına neden olmuştur, nitekim daha önce belirtildiği gibi azalan arıza oranına sahip parçalara GMBP kapsamında aksiyon alınmasının olumsuz etkisi bulunmaktadır.



Şekil 4.5: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

Çizelge 4.9'da belirtildiği gibi, Weibull dağılımı ile palet pabucunun beta değeri 2.81 çıkmaktadır. Buda Weibull dağılımında palet pabucu parçasının artan arıza oranına sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 4.5 ile Şekil Ek 2.2 karşılaştırıldığında ise Weibull olasılık dağılımı ile Normal olasılık dağılımının benzer oranda verilere yakınsadığı görülmektedir.

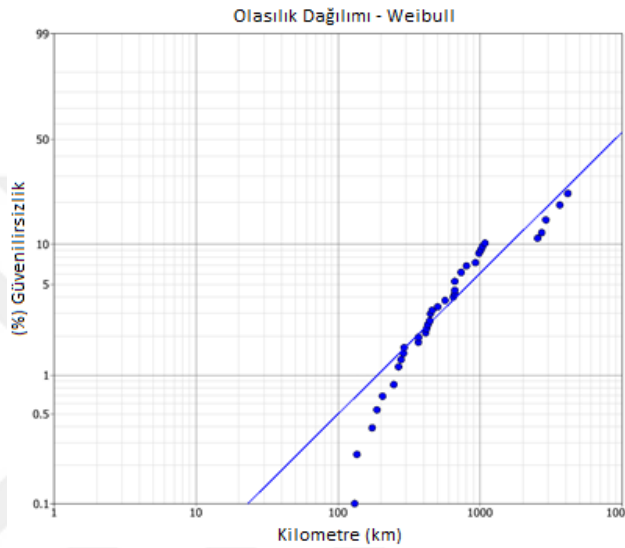
4.1.6 Yol tekeri

Yol tekeri parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra 70 civarı arıza ve 600 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre yol tekeri için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Yol tekeri için Reliasoft yazılımında Çizelge Ek 3.3'te belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Yol tekerinin erken ömürdeki yoğun arızaları sebebiyle, Şekil Ek 1.3'ten görülebileceği gibi, olasılık yoğunluk fonksiyonu neredeyse, azalan eğim ile başlamaktadır. Neredeyse azalan eğim ile başlayan yol tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonu, yol tekeri arızalarının çoğunluğunu erken ömürde olduğunu göstermektedir. Bunun dışında Şekil Ek 1.3'ten arızaların yoğun yaşandığı aralıkta, yol tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonunun tepe noktasına geldiği görülmektedir. Yol

tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonunun, artan bölgesinin dar olması sebebiyle, artan bölgesi hariç, üstel olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzer olduğu görülmektedir.

Çizelge Ek 3.3 incelendiğinde Reliasoft yazılımı lognormal dağılım önermektedir; fakat lognormal dağılıma ait MTTF değeri en iyi senaryo olmaktan uzaktır ve %90 güven aralığında Lognormal olasılık dağılımı değerleri arasındaki fark çok yüksektir. Weibull olasılık dağılımı ise MTTF değeri olarak en güvenli yaklaşımı göstermektedir.



Şekil 4.6: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

4.1.7 Yol tekeri destek kolu

Yol tekeri destek kolu parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 100 civarı arıza ve 400 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre yol tekeri destek kolu için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Yol tekeri destek kolu için Reliasoft yazılımında

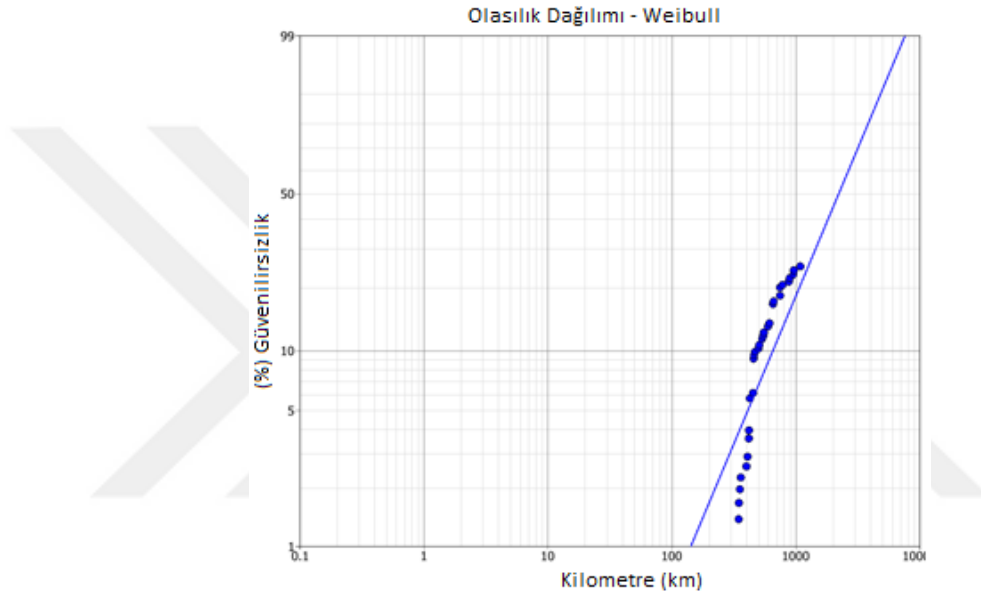
Çizelge Ek 3.4'te belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Yol tekeri destek kolu olasılık yoğunluk fonksiyonunun, yol tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiğine benzer profil izlediği görsel karşılaştırma ile görülmektedir; fakat yol tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre yoğunluk artışının, yol tekeri destek kolunda daha belirgin oluşu Şekil Ek 1.4 ve Şekil Ek 1.3 karşılaştırıldığında

görülebilmektedir. Ayrıca yol tekeri destek kolunun olasılık yoğunluk fonksiyonunun, arıza histogramı ile uyduğu Şekil Ek 1.4'ten görülmektedir.

Yol tekeri destek kolunun, Bölüm 4.1.6'da yol tekeri ile benzer şekilde arıza olasılık dağılımlarının Reliasoft yazılımında ilk 3 sırada yer aldığı görülmektedir. Yol tekeri destek kolu arıza olasılık dağılımı olarak Reliasoft yazılımına göre lognormal dağılım önerilmektedir; fakat %90 güven aralığı için Weibull olasılık dağılımı ve üstel olasılık dağılımı MTTF değerleri Lognormal olasılık dağılımına göre daha dardır, bunun yanında Weibull olasılık dağılımı MTTF değerinin daha güvenli bir değer olduğu

Çizelge Ek 3.4'ten görülmektedir. Daha önce değinilen nedenlerden dolayı yol tekeri destek kolu parçası için Weibull olasılık dağılımının seçimi uygun gözükmemektedir.



Şekil 4.7: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

4.1.8 Amortisör

Amortisör parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 600 civarı arıza ve 1000 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre amortisör için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Amortisör için Reliasoft yazılımında

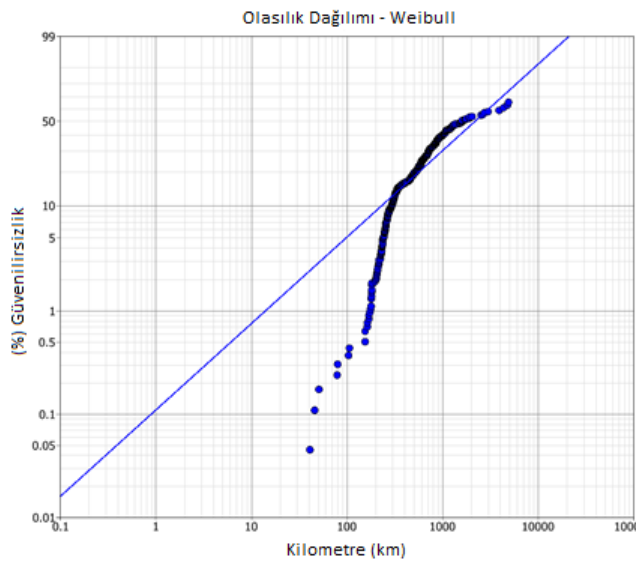
Çizelge Ek 3.5'te belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Amortisör parçasının, Şekil 4.8 incelendiğinde logaritmik grafikte Weibull olasılık dağılımına uygun olmadığı kanısına varılabilir; fakat Şekil Ek 1.5 incelendiğinde histogramda görülen arızaların, olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisini takip ettiği ve

olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi ile uyduğu görülmektedir. Aynı zamanda amortisör arızalarının, saha arıza verileri üzerinden güvenilirlik değerleri hesaplanan çoğu parçaya göre arızalarının daha uzun süre devam ettiği histogramdan görülebilmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.8 incelendiğinde amortisör parçası için saha arıza verilerinin yoğun olduğu görülebilmektedir. Bu durum, Şekil Ek 1.5'te histogramda görülen arızaların diğer parçalara göre daha uzun süre devam etmesini açıklayıcı olacaktır. Amortisörün üstel olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzer şekilde azalan bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu görülmektedir.

Tüm bu argümanlara karşın lognormal arıza olasılık dağılımının, Şekil Ek 2.5 incelendiğinde daha uygun olduğu kanısına varılabilir; fakat Weibull arıza olasılık dağılımının

Çizelge Ek 3.5'te lognormal arıza olasılık dağılımına göre daha güvenli olduğu görülecektir. Amortisör parçası için Weibull arıza olasılık dağılımının ise beta değerinin birden küçük olması nedeniyle, lognormal arıza olasılık dağılımında olduğu gibi, azalan arıza oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle amortisör parçasına alınacak herhangi bir bakım faaliyeti aksiyonunun amortisör arıza oranını yükselteceği ve olumsuz etkisinin olacağı değerlendirilmiştir. Parçanın HTEA sonuçları değerlendirildiğinde de, parçaya ait "Yıkıcı" veya "Kritik" şiddete sahip bir hata modu bulunmamaktadır. Bu nedenle parçada lognormal veya Weibull arıza olasılık dağılımının seçimi arasında sonuçları etkileyen bir fark bulunmamaktadır. Parça için her iki arıza olasılık dağılımı da seçilebilir. Bu tez çalışmasında amortisör parçası için, beta değerinin sonraki çalışmalarda referans olabilmesi için Weibull arıza olasılık dağılımı seçilmiştir.



Şekil 4.8: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

4.1.9 Gergi silindiri

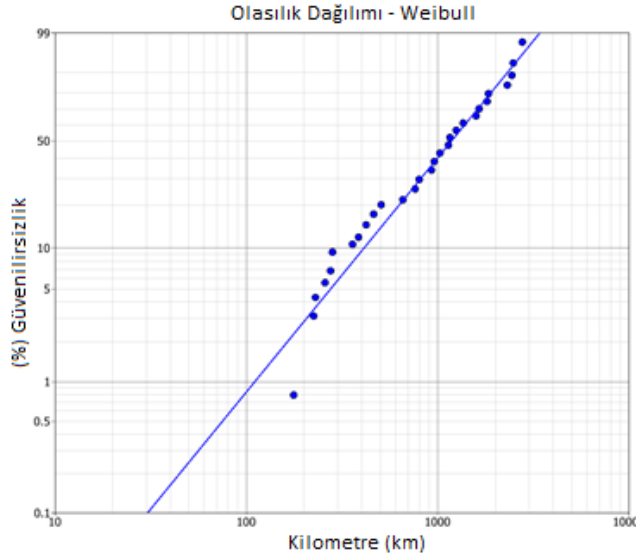
Gergi silindiri parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 20 civarı arıza ve 30 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre gergi silindiri için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Gergi silindiri için Reliasoft yazılımında

Çizelge Ek 3.6'da belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.

Şekil Ek 1.6'da yer alan histograma göre gergi silindiri arızalarının, amortisör parçasında olduğu gibi olasılık yoğunluk fonksiyonu periyodu boyunca devam ettiği görülmektedir. Amortisör parçasının ise gergi silindirine göre histogramının olasılık yoğunluk fonksiyonuna daha fazla yakınsadığı görülebilir. Şekil Ek 1.5 ve Şekil Ek 1.6 incelendiğinde görülecek bu farkın ana nedeni, grafiklerin daha önce bahsedildiği gibi periyot aralıkları, histogram periyotları ve olasılık yoğunluk fonksiyonu tepe noktalarının farklı ölçekte olmasından kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir.

4.2 Gergi silindirinde MTTF olarak en güvenli olasılık dağılımının Weibull olasılık dağılımı olduğu

Çizelge Ek 3.6'dan görülebilmektedir. Bununla birlikte programın önerisinde Weibull olasılık dağılımıdır. Şekil 4.9 incelendiğinde dağılımın arıza oranlarına yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 4.9: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

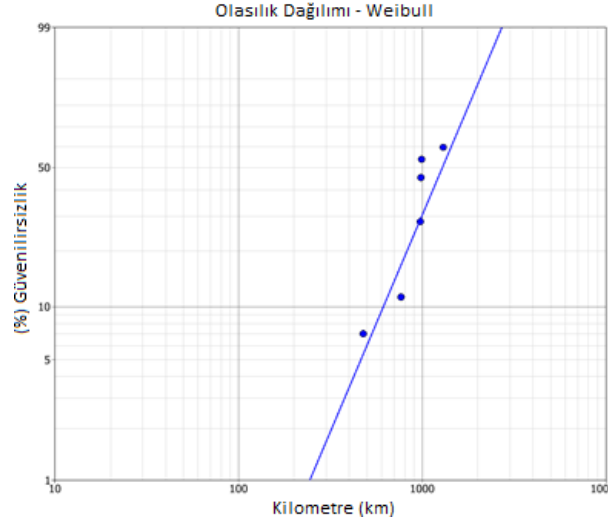
4.2.1 Cer dişlisi

Cer dişlisi parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 20 civarı arıza ve 30 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Şekil 4.10'te bazı arızalar üst üste denk geldiği için arıza sayısı belirtilen rakamın altında gözükmektedir.

Cer dişlisi için Reliasoft yazılımında

Çizelge Ek 3.7'de 'te belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir. Reliasoft yazılıma göre, cer dişlisi parçasında önerilen olasılık dağılımı üstel olasılık dağılımıdır; fakat parçada elektronik ekipmandan kaynaklı hata modu bulunmamaktadır ve üstel dağılım parçaya uygun değildir. Cer dişlisinde MTTF değeri olarak cer dişlisi için

Çizelge Ek 3.7'ye göre en güvenli yaklaşımın Weibull olasılık dağılımı olduğu görülmektedir. Bunun yanında Şekil 4.10'da arıza olasılık dağılımının arıza verilerine yakınsadığı görülmektedir. Bölüm 4.1.3'te ve bu paragrafta açıklanan nedenlerden dolayı cer dişlisi için Weibull olasılık dağılımının uygulanması uygun bulunmuştur.

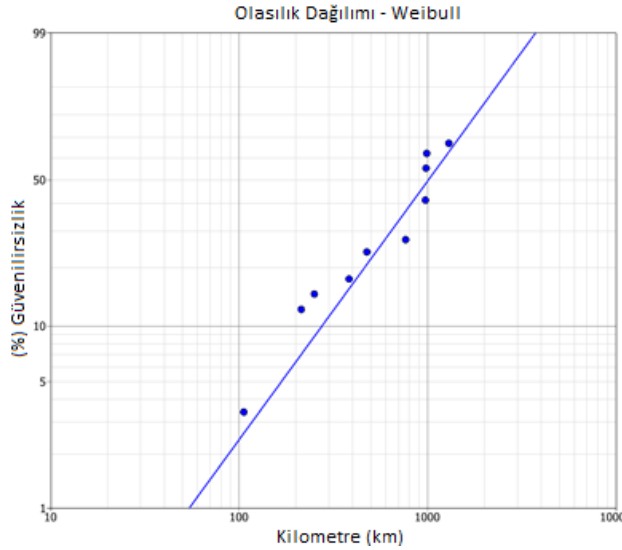


Şekil 4.10: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

4.2.2 Destek tekeri

Destek tekeri parçasında daha önce belirtilen montaj ve kalite hataları ile hiç arıza verisi bulunmayan araçlara ait fonksiyonel çalışma verileri taranıp arıza verilerinden çıkarıldıktan sonra yaklaşık 10 civarı arıza ve 20 civarı fonksiyonel çalışma verisi Reliasoft yazılımına girilmiştir. Girilen verilere göre destek tekeri için uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Destek tekeri için Reliasoft yazılımında

Çizelge Ek 3.8’de belirtilen olasılık dağılımları ilk 3 sırada önerilmektedir.



Şekil 4.11: Weibull olasılık dağılımı - logaritmik kağıtta olasılık dağılımı ve verilerin konumu

Reliasoft yazılımının öncelikli önerisi olan normal dağılımın güvenilirlik çalışmaları için parça için uygun olmadığı daha önce Bölüm 2.2’de bahsedildiği gibi değerlendirilmiştir. Normal olasılık dağılımı haricinde, destek tekeri parçası için en

güvenli MTTF değerinin Weibull olasılık dağılımında gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 4.11’de Weibull olasılık dağılımının arıza verileri ile uyumlu olduğu ve sapma göstermediği görülmektedir.

Şekil Ek 1.8’de destek tekerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir. Destek tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonu, histograma göre arızaların yoğun yaşandığı zaman diliminde tepe noktasına çıkmaktadır. Aynı zamanda destek tekeri olasılık yoğunluk fonksiyonunun artan bölgesinin dar olduğu ve üstel arıza olasılık dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonuna benzediği görülmektedir. Buradan destek tekeri parçasının elektromekanik bir parça olması durumunda üstel dağılım fonksiyonunun da seçilebileceği görülmektedir.

4.2.3 Saha arıza verileri özeti

Bölüm 4.1 altında bahsedilen çalışmaların gerçekleştirilmesi sonrasında parçaların saha arıza verilerine yönelik yapılan güvenilirlik çalışmalarının sonuçlarına dair özetler Çizelge 4.9’da paylaşılmıştır. Saha verilerinin gizliliği sebebiyle tez çalışması kapsamında yıllara göre arıza oranı grafiği, yıllara göre güvenilirlik grafiği gibi bilgiler paylaşılmamıştır.

Çizelge 4.9: Paletli süspansiyon sistemi parçaları güvenilirlik değerlerini belirleme yöntemi ve MTTF değerleri özeti

Parça Adı	Arıza Oranı Kaynağı	Dağılım Yöntemi	%50 Güven Aralığında MTTF Değeri (km)	%90 Güven Aralığında MTTF Değeri (km)
Palet Baklası	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta =2.18)	2785.3	2548.5-3044.1
Palet Pabucu	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta =2.81)	1024.8	968.5-1084.5
Yol Tekeri	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta=1.1)	11968.6	7854.6-18238.6
Yol Tekeri Destek Kolu	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta=1.54)	2519.6	2055.7-3088.1
Amortisör	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta = 0.84)	3680	3351.7-4040.4
Gergi Silindiri	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta=1.78)	1288.2	1128.6-1470.4
Cer Dişlisi	Saha Arıza Verileri 1	Weibull (Beta=2.54)	1316	1107.3-1564.1

Parça Adı	Arıza Oranı Kaynağı	Dağılım Yöntemi	%50 Güven Aralığında MTTF Değeri (km)	%90 Güven Aralığında MTTF Değeri (km)
Amortisör Bağlantısı	Yol Teker Destek Kolu Arıza Verileri	Weibull (Beta=1.54)	2519.6	2055.7-3088.1
Cer Dışlisi Kovanı	Beta =1,3 ile Fonksiyonel Çalışma Verileri	Weibull (Beta=1.3)	12961	6242.9- 26908.7
Gergi Teker Bağlantısı	Yol Teker Destek Kolu Arıza Verileri	Weibull (Beta=1.54)	2519.6	2055.7-3088.1
Gergi Teker	Beta =2 ile Fonksiyonel Çalışma Verileri	Weibull (Beta=2)	Hesaplanamadı*	10014
Destek Teker	Saha Arıza Verileri 2	Weibull (Beta =1.26)	1222.7	495.7-3016.1
Palet Kılavuzu	Beta =2 ile Arıza ve Fonksiyonel Çalışma Verileri	Weibull (Beta=2)	Hesaplanamadı*	702.7
Burulma Mili	Beta =1,5 ile Arıza ve Fonksiyonel Çalışma Verileri	Weibull (Beta=1.5)	Hesaplanamadı*	2767.3

* Bu parçalar için %50 güven aralığında MTTF hesaplanamamasının nedeni, verilerin arasında arıza kaydı olmayışı ve bu parçalar için MTTF değerinin sadece fonksiyonel çalışma sürelerine göre beta üzerinden hesaplanmış olmalıdır. Arıza kaydı bulunmayan parçalarda istatistiki olarak belirli güven aralığının alt ve üst limitine göre ayrı ayrı MTTF hesaplamak mümkün değildir.

GMBP çalışmasında Çizelge 4.9'da belirtilen güvenilirlik değerleri kullanılmıştır. Simülasyonu gerçekleştirebilmek için gerekli olan güvenilirlik blok diyagramına parçaların güvenilirlik değerlerinin girilmesi Çizelge 4.9'da belirtilen sonuçlar kullanılarak yapılmıştır.

4.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi

GMBP'de daha önce Bölüm 2'de belirtildiği gibi parçaların fonksiyonlarını yerine getiremeyecekleri hata türlerini belirlemek gerekmektedir. MIL-STD-1629A'ya göre uygulanan HTEA çalışması ile birlikte Şekil 2.16'da belirtilen GMBP'nin ilk 6 adımı gerçekleştirilmiş olacaktır. HTEA çıktılarına göre ise parçalara ait hata modları,

Şekil 2.11’de belirtilen arıza türlerine göre bir sınıflandırma yapılabilir duruma gelecektir.

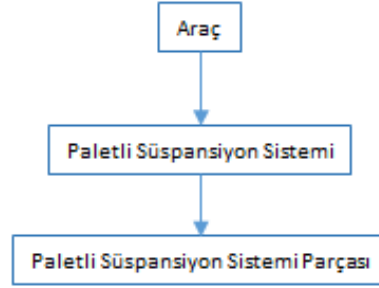
Çalışmada öncelikle Reliasoft yazılımının belirlediği Çizelge 4.10’e göre anlamlı parça seçimi yapılmalıdır. Anlamlı parça seçimi sonuçlarında değerlendirilmesi gerekliliği ortaya koyulan parçalar ise HTEA kapsamında değerlendirilmelidir.

Programda belirtilen soruların her biri paletli süspansiyon sistemine ait parçalara ayrı ayrı yöneltmiştir. Çizelge 4.10’daki sorulardan birisinin evet olması durumunda ise parça “anlamlı parça” olarak listeye dâhil edilmiştir. Çizelge 4.10’da belirtilen soruların yönetilmesi sonrasında sarf malzeme niteliğinde cıvata, pul, kelepçe ile braket ve benzeri yük taşımayan bağlantı elemanları HTEA kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu çalışma neticesinde daha önce Çizelge 3.1’de belirtilen parçalar HTEA kapsamında değerlendirilmiştir. Öncelikli olarak parçaların fonksiyonları tanımlanmıştır. Fonksiyonlarını takiben hata nedenleri ve hata modları belirlenmiştir. Hata modları belirlenirken tecrübelerden ve mevcut saha arıza verilerinde yer alan hata modlarından yararlanılmıştır. Mevcut saha arıza verilerinde yer alan hata modları ise Çizelge 4.3’te belirtilmiştir. Birden fazla hata modu içeren 3 parça için uygulama yöntemi ise Çizelge 4.4 üzerinden anlatılmıştır.

Çizelge 4.10: Reliasoft yazılımı anlamlı parça seçimi soruları

Başlık	Soru	Yanıt (Evet / Hayır)
Yeni Teknoloji	Tasarım yeni teknoloji içerecek mi?	Hayır
Yeni Uygulama	Tasarım aynı teknolojiyi yeni bir yöntem ile mi uygulayacak?	Hayır
Tarihsel Problemler	Benzer tasarımların geçmişinde sorunlar var mı?	Hayır
Emniyet Sorunları	Emniyet ilişkili sorunlar için potansiyeli var mı?	Hayır
Yönetmelik Sorunları	Yönetmelikler ile ilişkili sorunlar için potansiyeli var mı?	Hayır
Emniyet - Kritiklik	Parça görev - kritik mi?	Hayır
Tedarikçi Kabiliyetleri	Tedarikçi kabiliyetleri ile ilgili çekinceler var mı?	Hayır

Hata modlarının belirlenmesi sonrasında hata durumu yaşandığında meydana gelebilecek etkilerin hata modunun yaşandığı parça, hata modunun yaşanması durumunda bir üst seviyedeki etkisi ve son olarak araç seviyesindeki etkisi belirlenmelidir. Paletli süspansiyon sisteminde yer alan ve GMBP’de değerlendirmeye alınan parçaların araçta yer aldıkları hiyerarşi seviyesi Şekil 4.12’de belirtilmiştir.



Şekil 4.12: Paletli süspansiyon sistemi parça hiyerarşisi

Hata modunun bir üst seviyesindeki etkisi ile anlatılmak istenen, Şekil 4.12’de belirtilen paletli süspansiyon sistemi seviyesinde yaratacağı etkidir. Hata modunun son etkisi seviyesinde değerlendirilmesi gereken ise paletli süspansiyon sisteminde meydana gelecek olan etkinin araç seviyesindeki yansıması olmalıdır. HTEA çalışmasında hata modlarının etkilerinin değerlendirilmesi bu kapsamda yapılmıştır. MIL-STD-1629A standardına göre belirtilen bu etkiler hata modunun araç operasyonu, parça fonksiyonu veya parçanın durumu üzerine olabilir. Daha önce belirtildiği gibi hata modları çalışması donanımsal olarak değerlendirilmiştir. HTEA çalışmasında donanımsal hata modu yerine fonksiyonel hata modu tanımlamasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Hata modunun son etkisine göre ise her hata modu için şiddet sınıflandırması yapılmıştır. Hata modu meydana geldiğinde yaşanacak olası etkilerin şiddeti daha önce

Çizelge 2.2’de belirtildiği gibi 4 farklı sınıfta olabilir: (1) Önemsiz, (2) Düşük Önem, (3) Kritik, (4) Yıkıcı.

Çalışma kapsamında HTEA sonucuna göre belirlenen etkilerin olası şiddetlerini belirleyebilmek için şiddetlerin tanımlarını yapmak gerekmektedir. Hata modu etkilerinin şiddetleri organizasyona göre farklılaşabilmektedir. Zırhlı araçlar için önemsiz şiddete sahip etkilerin, bir fonksiyon kaybı, operasyon kaybı veya farklı bir maliyet kaybına yol açmayacağı değerlendirilmektedir. Düşük önem şiddetine sahip

etkilerin ise araç mürettebatı üzerinde konfor kaybına sebebiyet verecek; fakat operasyonel anlamda bir etkisi gözlemlenmeyecek hata modlarına sahip olacağı değerlendirilmektedir. Kritik şiddete sahip etkiler, mürettebatta yaralanma veya operasyonu durdurma hata modlarına sahip olacağı belirlenmiştir. Son olarak ise yıkıcı şiddete sahip etkiler mürettebatta ciddi yaralanmalara veya ölüme neden olabilecek hata modları olarak değerlendirilmiştir. Eğer HTEA çıktısından üretilecek etkilerin şiddetleri daha önce Şekil 2.11’de belirtilen hata türleri ile ilişkilendirilirse Çizelge 4.11’deki ilişki yapısı ortaya çıkacaktır.

Çizelge 4.11: Şiddet sınıfları ile hata türleri arasındaki ilişki

Şiddet Sınıfı	Hata Türleri
Önemsiz	Kapsam Dışı
Düşük Önem	Kapsam Dışı
Kritik	Operasyonel Maliyetleri Olumsuz Etkileyen Hata Türleri
Yıkıcı	Emniyet Riski İçeren Hata Türleri

Çizelge 4.11’den anlaşılacağı üzere önemsiz veya düşük önem şiddetine sahip hata türlerine ait hata modları GMBP’de kapsam dışında bırakılacaktır. Buna karşın HTEA sonuçlarına göre kritik veya yıkıcı şiddete sahip hata modları şiddetleri ise GMBP’de daha önce Şekil 2.11’de belirtilen yol haritasına göre GMBP karar akış şemasına dâhil edilecektir. Şiddeti düşük önem veya önemsiz seviyesindeki hata modu etkilerinde ise hata tespit yönteminin gizli olması durumunda ikincil hataya bakılacak ve ikincil hatanın şiddet sınıfındaki konumu değerlendirilecektir.

Belirtilen HTEA yöntemine göre Çizelge 4.10’de yer alan sorulara göre belirlenen anlamlı parça seçimi sonrasında değerlendirmeye alınan parçalar için fonksiyonlar Çizelge 4.12’deki gibi belirlenmiştir. Parçaların fonksiyonlarının doğru, açıklayıcı ve tam olarak belirlenmesi, parçanın yaşayacağı bir hata modu sebebiyle meydana gelecek etkilerin fonksiyon kaybından yola çıkılarak tam değerlendirilebilmesi için önemlidir. Şekil 4.12’de sistem seviyesinde yer alan sistemler için de fonksiyonun tanımlanması sistem seviyesindeki olası etkileri değerlendirmek için gereklidir. Çalışma sırasında parçaların ve sistemin fonksiyonlarının tam ve eksiksiz olarak belirlenmesine dikkat edilmiştir.

Fonksiyonların belirlenmesi ile birlikte parçalara ait hata modlarının da belirlenmesi gerekmektedir. GMBP’deki ilk çalışmalar, daha önce Bölüm 2.5’te bahsedildiği gibi,

tasarım aşamasında henüz ürün sahada fonksiyonel değilken başlatılmalıdır. GMBP uygulanırken oluşturulacak HTEA’da ise hata modları tahmine, geçmiş mühendislik terübelere ve literatür bilgilerine göre oluşturulmalıdır.

Bu tez çalışmasında uygulama problemi olarak belirlenen paletli süspansiyon sistemi sahada mevcut bir ürün üzerinde kullanıldığı için, saha arıza verilerine göre daha önce Bölüm 2.5 ve 3.4’te belirtildiği gibi güvenilirlik değerlerinin hesaplanması mümkündür. Benzer şekilde parçaların hata modları saha arıza verilerine göre belirlenebilmektedir. Bu sebepten dolayı HTEA çalışmasında parçaların hata modları belirlenirken, saha arıza verilerinde görülen ve münferit kabul edilmeyen hata modları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan HTEA’daki parça bilgileri, hata modları ve etkilerin şiddetleri özet olarak Çizelge 4.12’de belirtilmiştir. Çizelge 4.12’de sunulan HTEA tablosunda gizlilik sebebiyle hata modu etkileri, parçaların fonksiyon bilgileri ve operasyon fazlarına ait bilgiler yer almamaktadır. Çizelge 4.12’de verilen HTEA çalışmasında parçalara ait fonksiyonlara göre hata modlarının şiddetleri belirlenmiştir.

HTEA bilgileri doldurulmadan önce parçalar için öncelikle fonksiyonları belirlenmiştir. İkincil olarak parçaların fonksiyonlarını hangi hata modlarında yerine getiremeyecekleri belirlenmiştir. Son olarak ise hata modlarının yaşanması durumunda olası etkileri ve etkilerin şiddetleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.12: HTEA çıktıları özeti

Parça Adı	Potansiyel Hata Modu	Şiddet	Hata Tespit Yöntemi	Hata Tespit Yöntemi Gizli Arızanın İkincil Şiddeti
Gergi Tekerı	Keçe Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı	Yıkıcı	Var	-
Cer Dişlisi	Lastikte Kopma	Yıkıcı	Var	-
Amortisör Bağlantısı	Dişlerde Aşınma	Düşük Önem	Gizli	Düşük Önem
Destek Tekerı	Yapısal Kırılma	Düşük Önem	Gizli	Düşük Önem
Gergi Tekerı Bağlantısı	Yapısal Kırılma	Yıkıcı	Var	-

Parça Adı	Potansiyel Hata Modu	Şiddet	Hata Tespit Yöntemi	Hata Tespit Yöntemi Gizli Arızanın İkincil Şiddeti
Yol Tekerı Destek Kolu	Keçe Sızdırmazlığı Fonksiyon Kaybı	Yıkıcı	Var	-
Palet Kılavuzu	Yapısal Kırılma	Düşük Önem	Gizli	Düşük Önem
Yol Tekerı	Lastikte Kopma	Düşük Önem	Gizli	Yıkıcı
Amortisör	Yapısal Kırılma	Düşük Önem	Gizli	Düşük Önem
Cer Dişlisi Kovanı	Bağlantı Noktalarında Çatlak	Yıkıcı	Var	-
Gergi Silindiri	Yapısal Kırılma	Yıkıcı	Var	-
Burulma Mili	Yapısal Kırılma	Düşük Önem	Var	-
Palet Baklası	Yapısal Kırılma	Yıkıcı	Var	-
Palet Pabucu	Aşınma	Düşük Önem	Gizli	Yıkıcı

Çizelge 4.12'den görüleceği üzere hata tespit yöntemi gizli olan fonksiyon kayıplarına sahip parçalarda ikincil hata durumuna bakılmıştır. Bunun yanında parçaların çoğunluğunun yıkıcı şiddete sahip sonuçlarının olacağı değerlendirilmektedir. Geriye kalan parçalarda ise düşük önem şiddetine sahip sonuçların gözlemleneceği değerlendirilmiştir. HTEA kapsamında operasyon fazları da hata modu ile birlikte değerlendirilmelidir. Hata modunun yaşanacağı operasyon fazına göre etkileri ve etkilerinden kaynaklı şiddeti değişebilmektedir. Çizelge 4.12'de belirtilen yıkıcı şiddete sahip etkilerin tümü düz arazide kullanım sırasında yıkıcı şiddete sahip olmayacaktır; fakat belirtilen parçalara ait hata modlarının yüksek eğimli arazilerde yaşanması durumunda aracın dengesi bozulacağı için ağırlık merkezinden kaynaklı araç takla atma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır. Süspansiyon sistemi eğimli arazide araç seyrini sağladığı gibi, araç dengesini de sağladığı için sistemde meydana gelebilecek bir hata modundan kaynaklı ortaya çıkacak denge bozulması aracın devrilmesine sebebiyet verebilecektir. Bu nedenle, bu durumun meydana gelebileceği etkiye sahip parçalar için şiddet yıkıcı olarak

belirlenmiştir. Bununla birlikte, aynı nedenden ötürü HTEA sonuçlarında kritik etkiye sahip parça bulunmamaktadır. Sistemde operasyon fazı sebebiyle yaşanma olasılığı bulunan yıkıcı şiddete sahip hata modları, bahsedilen operasyon fazının bulunmaması durumunda kritik şiddete sahip olacaklardır ve diğer operasyon fazlarında da kritik şiddete sahip hata modları içereceklerdir; fakat parçaların en yüksek şiddete sahip hata modları operasyon fazı sebebiyle yıkıcı olarak belirlendiği için, HTEA sonuçlarında kritik şiddete sahip hata modlarına yer verilmemiştir. Nitekim GMBP’de eğer bir parçanın aynı hata modunun şiddeti operasyonel fazın farklılığı sebebiyle hem kritik, hem yıkıcı ise, parçanın hata modunda yıkıcı şiddete göre aksiyon alınmalıdır.

Yol tekeri, destek tekeri gibi ekipmanların şiddetleri son durumda düşük önem olarak belirlenmiştir. Bu noktada MIL-STD-1629A’da belirtilen HTEA mantığına göre aynı zaman diliminde meydana gelebilecek ancak tek bir hata olduğu bilinmelidir. Bu durumun istisnai olarak uygulanmadığı tek senaryo hata tespit yönteminin gizli olmasıdır. Hata tespit yönteminin gizli olması durumunda birincil hata modunun yaşanmasına takiben meydana gelecek ikincil hata modu ile ortaya çıkacak fonksiyon kaybı değerlendirilir.

Destek tekeri, yol tekeri ve amortisör gibi bazı ekipmanlar süspansiyon sisteminde birden fazla adetlerde bulunmaktadır. Bahsedilen ekipmanlarda meydana gelebilecek tek hata modundan dolayı parçanın fonksiyonunu yerine getirememesi durumunda, parçanın fonksiyonu aynı fonksiyona sahip diğer parçalara dağılacaktır. Örnek vermek gerekirse; aracın bir yanında yer alan 10 civarı yol tekerinde, ön veya en arka sırada yer almayan, orta sıralardaki tek yol tekerinin bir hata modu ile karşılaşması durumunda, yol tekerinin fonksiyonu, hasarlanmamış diğer yol tekerlerine dağılacaktır. Bu durumda yol tekerinin etkisi yıkıcı olmayacaktır. Benzer şekilde aracın sağ ve solunda dörder adet destek tekerleri bulunmaktadır. Destek tekerlerinden birinde hata modunun meydana gelecek olması diğer destek tekerlerine fonksiyonun dağılması anlamına gelecektir. Bahsedilen fonksiyon ağırlık olabileceği gibi, basınç, sıcaklık, titreşim gibi enerji transferi tipleri de olabilmektedir. HTEA’da yol tekerlerinin bu örnekteki gibi değerlendirilmemiş olmasının nedeni; ön veya arka yol tekerinde hata modunun yaşanması durumunda aracın dengesinin bozulmasına yol açacak olmasıdır.

GMBP kapsamında simülasyonu uygulanacak olan Şekil 3.4'te belirtilen analiz (1.1) ve (1.2) için Çizelge 4.12'de gösterilen HTEA sonuçlarında şiddet etkisi bakım faaliyetleri türünün belirlenmesini sağlayacaktır; fakat Şekil 3.4'te analiz (2) ve analiz (3) için HTEA'da şiddet değerlendirmesi bakım faaliyeti türünün belirlenmesi için uygulanmayacaktır.

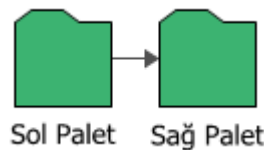
Tüm analiz türleri için HTEA sonucuna göre “Önemsiz” ve “Düşük Önem” şiddetine sahip parça hata modları, ilgili parçaların bakım faaliyetlerinde bakımın ne zaman uygulanacağına dair girdi oluşturacaktır. Bu sayede HTEA çıktılarında belirtilen şiddete sahip parçalarda arıza yaşanması durumunda hazır bulunuşluk oranının düşmemesi amaçlanmaktadır.

4.4 Güvenilirlik Blok Diyagramı

Güvenilirlik analizleri gerçekleştirebilmek için, analize dahil edilecek parçaların tamamına yönelik sistem seviyesinde güvenilirlik blok diyagramı çizilmiştir. Reliasoft yazılımında bakım atamaları, lojistik atamalar gibi parametreler blok diyagram üzerinde hata modlarına belirlenmektedir. Güvenilirlik blok diyagramı daha önce Şekil 3.4'te belirtilen tüm analiz koşullarının simülasyonunun yapılabilmesi için gereklidir. Güvenilirlik blok diyagramının çizilebilmesi için parçaların birbirine göre yedekli veya seri bağlı olması değerlendirilmiştir.

Paletli süspansiyon sisteminde daha önce Çizelge 3.1'de belirtildiği gibi parçaların adetleri genel olarak birden fazladır ve bu adetlerin de güvenilirlik blok diyagramına girilmesi gerekmektedir.

Güvenilirlik blok diyagramı başlangıçta sağ palet ve sol palette yer alan parçalar birbirinden ayrılarak sınıflandırılmıştır ve ilk olarak Şekil 4.13'te belirtildiği gibi sağ ve sol paletler birbirine seri bağlanmıştır. İki paletin birbirine seri bağlanmasının nedeni, iki paletten birisinde meydana gelecek operasyon iptaline sebebiyet verebilecek hata modunda diğer paletin operasyona devam edemeyecek oluşudur. Yani iki paletten birisinin kritik arızası durumunda araç operasyonu durmalıdır.



Şekil 4.13: Palet kompleleri güvenilirlik blok diyagramı

Sağ ve sol palet arasındaki farklılık ise palet baklası ve palet pabucu adetlerinin farklı oluşudur. Bunun dışında diğer parçalar için sağ ve sol palette sistem mimarisi birbirine eşdeğerdir. Bu nedenle, iki palet için palet pabucu ve palet baklası haricinde ortak bir güvenilirlik blok diyagramı değerlendirilebilir. İki palette ortak olan parçaların, tek bir palet için yaklaşık parça adetleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13: Tek palet için ortak parça adetleri

Parça Adı	Tek Palet İçin Adeti
Cer Dişlisi	3
Gergi Teker	3
Yol Teker	10
Amortisör Bağlantısı	5
Amortisör	5
Yol Teker Destek Kolu	5
Gergi Silindiri	1
Gergi Teker Bağlantısı	1
Palet Kılavuzu	1
Burulma Mili	5
Cer Dişlisi Kovanı	1
Destek Teker	5

İki palet arasında ortak sayıda bulunmayan iki parça palet baklası ve palet baklasından kaynaklı palet pabucudur. Bu farklılık sağ palet ve sol palet için oluşturulan güvenilirlik blok diyagramlarına uygulanmıştır; fakat diğer parçalar için ortak bir mimari oluşturulmuştur.

Güvenilirlik blok diyagramı çizilirken sistemi tek başına yaşayacağı bir kritik arıza sebebiyle durdurabilecek parçalar sisteme seri bağlanmıştır. Bu parçalar: (1) Gergi tekeri, (2) Cer dişlisi, (3) Gergi tekeri bağlantısı, (4) Aracın en önu ve en arkasındaki yol tekeri destek kolları, (5) Palet kılavuzu, (6) Cer dişlisi kovanı, (7) Gergi silindiridir. Belirtilen parçaların kritik hata durumlarında sistemi tek başına durduracakları değerlendirilmiştir; fakat Çizelge 4.12'de paylaşılan parçaların HTEA sonuçlarına göre belirlenen şiddetler için şiddet seviyesi "Düşük Önem" ve "Önemsiz" seviyesine sahip parça hata modlarında sistemin parça nedeniyle durmaması gerekmektedir. Bu durumun uygulanması hazır bulunuşluk süresinin doğru hesaplanması için önemlidir. Bölüm 4.4'te parçalara atanan bakım

faaliyetlerinde “Düşük Önem” ve “Önemsiz” şiddete sahip parça hata modlarının güvenilirlik blok diyagramında sistemi durdurmaması için uygulanan yöntemler anlatılmıştır. Güvenilirlik blok diyagramında ise belirtilen şiddete sahip parçaların seri bağlanması açısından bir sakınca bulunmamaktadır.

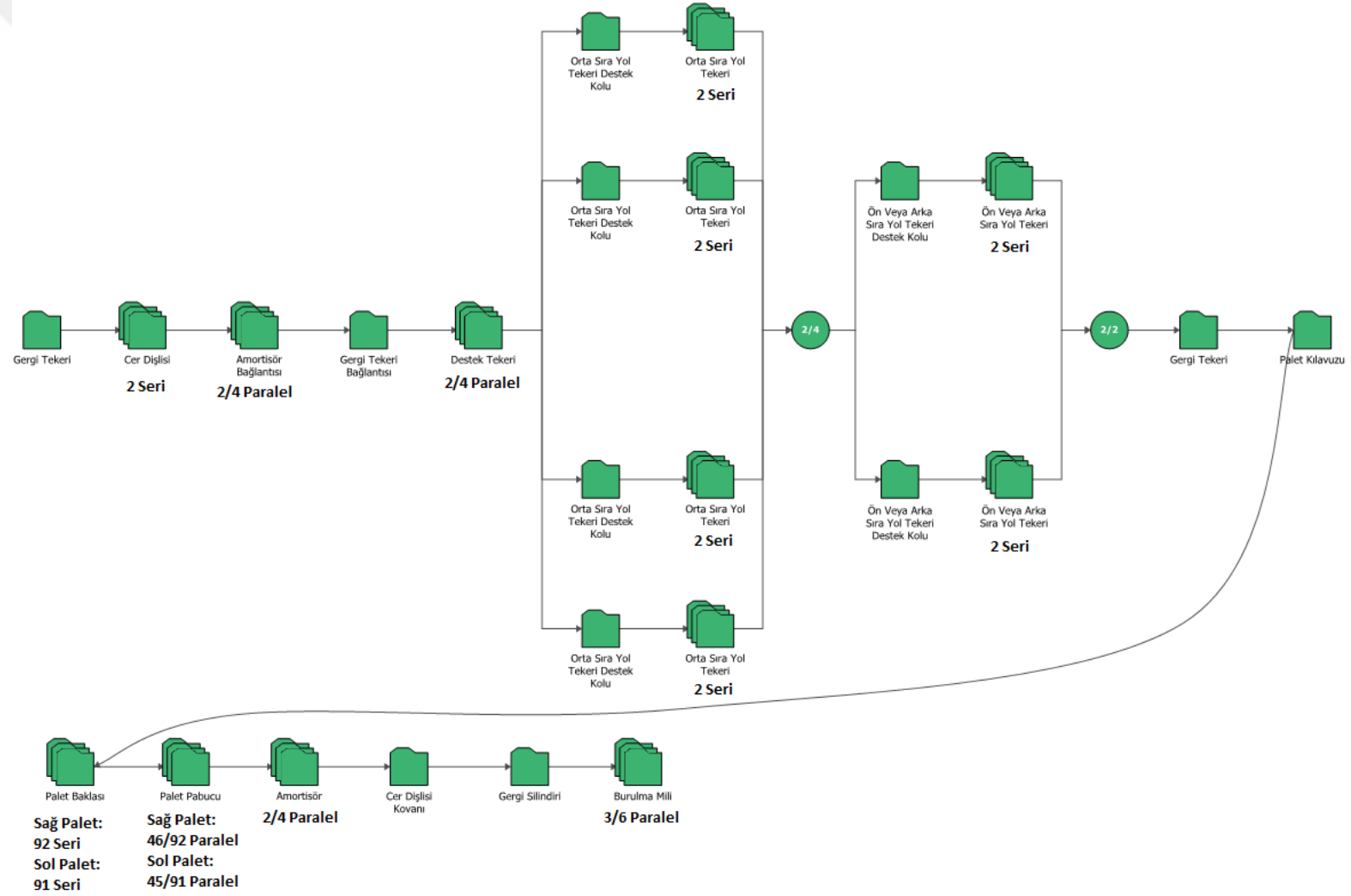
Reliasoft yazılımında birden fazla adede sahip parçalar aynı blok üzerinde gösterilebilmektedir. Bu nedenle, blok oluşturulduktan ve hata moduna yönelik bakım faaliyetleri ile lojistik faaliyetler yaratıldıktan sonra, aynı faaliyetlerin aynı blokta kaç parçayı gösterdiği Reliasoft yazılımına girilmiştir. Birbirine seri olmayan ve etkisi parça adedine bağlı olan parçalar için ise güvenilirlik blok diyagramında yedekli ilişkiler kurulmuştur. Bu bağlamda amortisör ve amortisör bağlantılarının 1 palette yarısının arızalanması durumunda sistemin duracağı paralel olarak yazılıma girilmiştir. Bir palet sırasında yer alan yaklaşık 5 destek tekerinin ise 2 tanesinin arızalanması durumunda palet kompleksinde sarkma yaşanacağı ve sistemin çalışmayı durduracağı değerlendirilmiştir. 1 palette yer alan yaklaşık 5 amortisör ve amortisör bağlantısından 2 tanesinin arızalanması durumunda sistemin duracağı değerlendirilmiştir. Paletin bir tarafında yer alan yaklaşık 10 yol tekeri ise birbirine bağlı iki yol tekeri olacak şekilde tasarımı yapıldığı için ikişerli olacak şekilde birbirine seri bağlanmıştır ve her ikili yol tekerine seri olarak 1 yol tekeri destek kolu bağlanmıştır. Paletin orta sırasında yer alan yol tekerleri ise ikişerli olarak değerlendirildiğinden, birbirine paralel bağlanan ikişerli 4 adet yol tekeri oluşturulmuştur. Birbirine paralel bağlanan orta sırada yer alan bu yol tekerleri sıralarından ise 1 yol tekeri sırasının arızalanması durumunda operasyonun durmayacağı değerlendirilmiştir. Bu nedenle güvenilirlik blok diyagramına, orta sırada yer alan 4 yol tekeri ve yol tekeri destek kolu bağlantılarının ancak 2 tanesi arızalandığı zaman aracın operasyonu durduracağı bilgisi girilmiştir. İlk ve son sırada yer alan yol tekeri destek kolu ile ikili yol tekeri kompleleri için durum belirtilenden farklıdır. Ön veya arka sıradaki yol tekeri ve yol tekeri destek kolunda arıza meydana gelecek olması durumunda, araç dengesi bozulacağı için aracın hareketine engel olacağından ön ve arka sıradaki yol tekeri ve yol tekeri destek kolları birbirine ve sisteme seri olarak bağlanmıştır. HTEA kapsamında yol tekeri destek kolu ve yol tekerleri için tek bir değerlendirme bulunmaktadır.

Palet baklalarının tamamı ise sisteme ve birbirine seri bağlıdır. Bir palet baklasında yaşanacak yapısal kırılma hata modu paletin atmasına ve sistemin durmasına neden

olacaktır. Palet pabuçlarında durum palet baklasına göre farklıdır. Palet pabuçlarında 1 pabucun aşınması palet baklalarına aktarılan yükün artmasına neden olmayacaktır. Bu noktada tecrübeler ve mühendislik yargılarına göre palet pabuçlarının yarısının aşınması durumunda araç operasyonunun devam edemeyeceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle palet pabuçları toplam adedin yarısı ile sistem devam edebilecek şekilde birbirine paralel bağlanmıştır.

Burulma millerinin tek palet tarafı için yarısı arızalanana kadar operasyona devam edilebileceği değerlendirilmiştir. Amortisör, burulma mili, amortisör bağlantısı, burulma milleri için operasyona kaç arızalanana kadar devam edileceği geçmiş tecrübeler göre belirlenmiştir. Güvenilirlik blok diyagramında parçaların kaç tanesi arızalandığında sistemin durmaya zorlanacağı tek başına bir araştırma konusudur. Firmalarda imkan yaratılması durumunda net rakamların tespiti üzerine testler gerçekleştirmek ve paralellik koşullarını test sonuçlarına göre belirlemek en doğru yaklaşım olacaktır.

Belirtilen tüm bu bilgilere göre oluşturulan güvenilirlik blok diyagramı ve diyagramdaki her bir bloğun seri veya paralel bilgileri verilmiştir. Şekil 4.14'te yer alan bloklar palet baklası ve palet pabucu hariç sağ ve sol paletler için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te belirtilen analiz koşulları için güvenilirlik blok diyagramı, Şekil 4.14'te yer alan diyagramın, Şekil 4.13'te sistem seviyesi güvenilirlik blok diyagramına her bir palet için uygulanması ile birlikte ortaya çıkmaktadır. Analiz çalışmalarında bakım faaliyetleri ve lojistik bilgiler güvenilirlik blok diyagramı üzerinde girilecektir.



Şekil 4.14: Tek palet için güvenilirlik blok diyagramı

4.5 Bakım Faaliyetlerinin ve Lojistik Parametrelerin Belirlenmesi

Reliasoft yazılımı güvenilirlik alanında farklı çalışmaların ve hesaplamaların yapılabileceği bir yazılımdır. Yazılımda arıza verilerinin analizi, güvenilirlik blok diyagramlarına göre sistemlerin analitik veya simülasyona dayalı güvenilirlik değerlerinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar yapılabilmektedir. Bunun dışında çalışmaya dâhil olmayan güvenilirlik tahmini, güvenilirlik sonuçlarının takibi, güvenilirlik geliştirme çalışmalarının yapılabileceği, hızlandırılmış ömür testlerinin değerlendirilebileceği, Monte Carlo simülasyonunun parçalara uygulanabileceği gibi çeşitli güvenilirlik çalışmalarına dair arayüzlerde bulunmaktadır.

Reliasoft yazılımı saha arıza verileri analiz Weibull++ modülü kullanılarak uygulanmıştır. Arıza kayıtları istenilen zaman birimine uygun olarak Şekil 4.15'teki örnekte olduğu gibi modülde girilmektedir.

	Number in State	State F or S	State End Time (km)
37	1	S	346
38	126	S	503
39	1	F	341
40	1	S	310

Şekil 4.15: Reliasoft yazılımı arıza kayıtları veri girişi örneği

Şekil 4.15'teki örnekte belirtilen, "Number in State" sütununda kaç adet verinin arızalı veya çalışır durumda olduğu bilgisi girilir, "State F or S" sütununda ise giriş yapılan verinin arıza mı (F) yoksa sağlıklı çalışma süresi mi (S) olduğuna dair veri girişi yapılır. Son olarak ise verinin arızalandığı veya sağlıklı çalıştığı süre "State End Time" sütununa girilir. Saha arıza verilerinin analizinin ayrıca değerlendirileceği Bölüm 4.1'de veri türleri ile ilgili detaylı bilgiler anlatılmıştır.

Mühendislikte birimlerin önemli bir yere sahip olduğu gibi, bu tez çalışmasında da zaman birimleri önemli bir yer tutmaktadır. Çalışmanın sonuçlarında analizlerin uygulandığı birimler çıktı olarak verilecektir. Bakım periyotlarının bu nedenle hangi birimlerde belirlenmek istenildiği ve saha arıza verileri ile Reliasoft yazılımı birimlerinin bu birimlere uygunluğu analizlerin öncesinde belirlenmelidir. Buna yönelik olarak Reliasoft yazılımında belirlenen değişiklikler uygulanmalıdır.

Program zaman verisinin girildiği son sütunda Çizelge 4.14'de belirtilen zaman parametrelerinde veri girişini mümkün kılmaktadır. Bunun yanında programda belirtilen ön tanımlı zaman birimleri haricinde birim yaratılabilmektedir. Aynı

zamanda birimler arasındaki katsayılar Şekil 4.16’da belirtildiği şekilde değiştirilebilmektedir. Bunun için program 1 adet birimin baz olarak tanımlanmasını ve diğer birimlerin baz olarak tanımlanan birime olan katsayılarının belirtilmesini istemektedir.

Çizelge 4.14: Reliasoft ön tanımlı birimler

Reliasoft Birimler
Dakika
Saat
Gün
Hafta
Çalışma Günü
Ay
Yıl
Çevrim
Mil
Kilometre

Çalışma öncesinde paletli süspansiyon sisteminin zaman biriminin kilometre olması kararlaştırılmıştır. Bunun sebebi süspansiyon sisteminin araç kilometresine bağlı olarak çalışacak olmasından kaynaklıdır. Süspansiyon sistemi bakım faaliyetlerine ait çıktılar kilometre cinsinden tanımlanırken, lojistik gecikmeler, personel bakım süreleri gibi parametreler saat cinsinden tanımlanması uygun bulunmuştur. Bu noktada bakım faaliyetlerine ait çıktılar kilometre cinsinden belirleneceği için saha arıza verilerinin analizlerinde kilometre cinsinden belirlenmesi kararlaştırılmıştır.

Araç projelerinde müşteri araçları yıllık olarak kaç motor saati ve kilometre kullanacağını tasarım öncesinde bildirmektedir. Tasarımda bu bilgilerin çeşitli noktalarda kullanılmasının yanında güvenilirlik çalışmalarında da yıllık arıza adetlerinin belirlenmesi, yedek adetlerinin belirlenmesi bu girdiye istinaden çalışılmaktadır. Benzer şekilde bakım faaliyetlerinin belirlenmesi de bu girdiler kullanılarak çalışılmaktadır. Tez çalışması kapsamında müşterinin yıllık kullanacağı kilometre, 1 yılda kaç saat olduğu baz alınarak birim kilometrede kaç saat geçeceği bilgisine çevrilmiştir. Şekil 4.16’da belirtilen 1 saat biriminin birim kilometre içerisinde kaç adet olduğu bilgisi belirtilen yöntemle göre oranlanarak türetilmiştir. Bu sayede analizlerde süspansiyon sistemine ait güvenilirlik değerleri kilometre

cinsinden, lojistik değerler ise saat cinsinden girildiğinde bir uyumsuzluk oluşmasının önüne geçilmiştir.

Unit Name	Unit Abbreviation	System Base Unit (SBU) Equivalency	Category	Use as Default
Minute	min	0.0166666666666667	Time	<input checked="" type="radio"/>
Hour	hr	1	Time	<input type="radio"/>
Day	day	24	Time	<input type="radio"/>
Week	wk	168	Time	<input type="radio"/>
Work Week	wwk	120	Time	<input type="radio"/>
Month	mon	730	Time	<input type="radio"/>
Year	yr	8760	Time	<input type="radio"/>
Cycle	cyc	1	Usage	<input type="radio"/>
Mile	mi	1	Usage	<input type="radio"/>
Kilometer	km	5.84	Usage	<input type="radio"/>

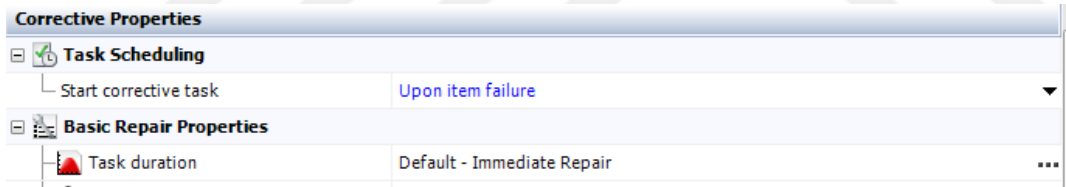
Şekil 4.16: Reliasoft yazılımı analizlerde uygulanan birimler arası katsayılar

Reliasoft yazılımına, analizleri gerçekleştirebilmek için bölüm içinde değinilecek bir çok farklı lojistik değeri girilmiştir. Lojistik değerlerin fazlalığı sebebiyle birimlerde yaşanacak bir karışıklığın önüne geçilmesi için Reliasoft yazılımında birimler çalışma öncesinde tespit edilmiştir ve gerekli değişiklikler Şekil 4.16'daki katsayılara girilmiştir. Reliasoft yazılımına, tüm analizlerdeki tüm değerler için gerekli olan birimler anlatılan yöntemlere göre girilmiştir.

Şekil 3.4'te belirtilen analiz türlerinin her birisi için bakım faaliyetlerinin analiz türüne uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.4'teki 1. Analiz türü için GMBP'ye göre bakım faaliyetleri belirlenmiştir. Analiz 1.1 için bakım periyotları birbirine yakın olarak tespit edilen aynı bakım türünün gerçekleştirileceği bakım faaliyetlerinin periyotları eşleştirilmemiştir; fakat analiz 1.2 için bakım periyotları birbirine yakın olarak tespit edilen aynı bakım türünün gerçekleştirileceği bakım faaliyetlerinin periyotları ortaklaştırılmıştır. Şekil 3.4'teki 2. Analiz türü için ise sadece reaktif bakım faaliyeti olan düzeltici bakım faaliyetleri güvenilirlik blok diyagramındaki her bir parça için tanımlanmıştır. Şekil 3.4'teki 3. Analiz türü için belirlenen bakım faaliyetleri ise tedarikçi bilgileri ve tecrübelerine göre sahada faaliyet gösteren benzer bir ürüne göre belirlenmiştir.

Daha önce bölüm 4.2'de belirtilen HTEA sonuçlarında görülen “Düşük Önem” ve “Önemsiz” şiddete sahip hata modu etkileri tüm analiz türlerinde bu etkinin görüldüğü parçaların bakım faaliyetlerine girdi oluşturacaktır. Düşük Önem ve

önemsiz şiddete sahip parçaların arızalanması durumunda araçların bu parçaların arızaları nedeniyle durmaması gerekmektedir. Belirtilen şiddetlere sahip parçaların yaşayacağı arızalarda operasyon devam etmeli ve araç kritik veya yıkıcı şiddete sahip bir arıza nedeniyle durduğunda düşük önem ve önemsiz şiddete sahip arızalarda giderilmelidir. Reliasoft yazılımında düşük önem ve önemsiz şiddete sahip arızalar için reaktif bakım tanımlanırken iki seçenek karşımıza çıkmaktadır. Bu seçenekler düzeltici bakım faaliyeti için süre belirlemek veya belirlememek yönündedir. İlk seçeneğe göre devam edilmesi durumunda hazır bulunuşluk süreleri önemsiz veya düşük öneme sahip parçalar nedeniyle düşecektir; fakat ikinci seçeneğe göre ilerlenmesi durumunda hazır bulunuşluk süreleri belirtilen şiddetlere sahip parçalar sebebiyle düşmeyecektir. Şekil 4.17’de Reliasoft yazılımında düzeltici bakım faaliyetlerinin ne zaman uygulanması gerektiğine dair yer alan seçenekler verilmiştir. HTEA çıktılarına göre düşük önem ve önemsiz şiddetine sahip hata modu etkilerinin tek başına yer aldığı parçalarda Reliasoft yazılımında parça için düzeltici bakım faaliyetinin gerçekleştirilme durumu için bakım süreleri sıfır olarak belirlenmiştir. Bu sayede hazır bulunuşluk oranının düşük önem ve önemsiz şiddete sahip parça arızaları nedeniyle düşmemesi sağlanmıştır.



Şekil 4.17: Reliasoft yazılımı – düzeltici bakım faaliyetinin gerçekleştirileceği durum seçenekleri

Tüm analiz türlerinde, HTEA sonucuna göre belirlenen “Düşük Önem” ve “Önemsiz” şiddete sahip parçaların bakım faaliyetlerinde reaktif bakımlar için Şekil 4.17’de belirtilen seçenek uygulanmıştır.

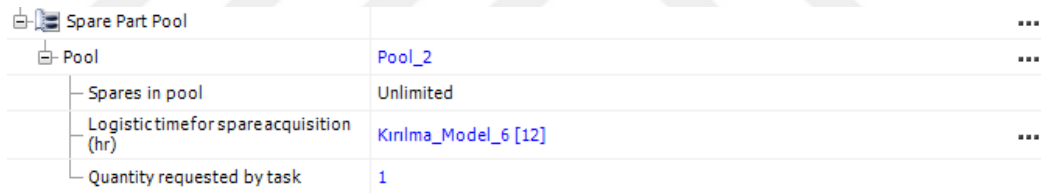
Bakım faaliyetlerinde tanımlanması gereken ve hazır bulunuşluk oranını etkileyen bir diğer değer ise lojistik parametresidir. Lojistik parametresi içerisinde bakım uygulanmak istendiğinde meydana gelecek gecikmeler değerlendirilmiştir. Bu parametrenin içerisinde aracın bakım atölyesine alınması, yeni parçanın tedarik süresi, yönetimsel prosedürler sebebiyle duruş ve sahaya gönderilmesi parametreleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında lojistik gecikmeler olarak tüm analiz türlerindeki

tüm bakım faaliyetlerine 12 saat gecikme süresi girilmiştir. Denklem (4.5)'de Lojistik gecikmelerde yer alan zaman değerleri verilmiştir.

$$LS = AÜBAGS + PDYPTS + YPSDS + YPBAGS \quad (4.5)$$

Burada LS: Lojistik süre, AÜBAGS: Arızalı ürünün bakım atölyesine geliş süresi, PDYPTS: Parça değişiminde yeni parçanın tedarik süresi, YPSDS: Yönetimsel prosedürler sebebiyle duruş süresi ve YPBAGS: Yeni parçanın bakım atölyesine gönderilme süresi olarak ifade edilmiştir.

Bunun dışında Reliasoft yazılımında havuzda hazır bulunan yedek parça adetleri de belirlenebilmektedir; fakat analiz sonuçlarında hazır bulunuşluk oranını etkilememesi için havuzda hazır bulunan yedek parça adedi sonsuz olarak tanımlanmıştır. Havuzda bulunan yedek adedinin sonsuz olmaması durumunda havuzdaki parçanın bitmesi durumunda simülasyon analizi sonlandıracaktır. Son olarak bakım görevi sırasında kaç parçanın gerekli olacağıda Reliasoft yazılımına girilmiştir. Şekil 4.18'de belirtilen lojistik parametreler verilmiştir.



Spare Part Pool		...
Pool	Pool_2	...
Spares in pool	Unlimited	
Logistic time for spare acquisition (hr)	Kınlma_Model_6 [12]	...
Quantity requested by task	1	

Şekil 4.18: Reliasoft yazılımı – lojistik parametreler ekranı

Belirtilen lojistik gecikme süresi tecrübelerle göre tahmine dayalı olarak belirlenmiştir. Uygun koşulların firmada bulunması ve lojistik gecikme sürelerine yönelik araştırmaların yapılabilmesinin mümkün olması durumunda gerçek değerler üzerinden hesaplanarak bir ortalama değer bulunması ve analizlerde hesaplanan gerçek ortalama değer kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Analizleri gerçekleştirebilmek için, belirtilen değerlerin yazılıma girilmesi dışında uygulanacak bakım faaliyetinin süresi yıkıcı ve kritik şiddete sahip parçalar için ve bakım faaliyetlerinin tüm parçalar için girilmesi gerekmektedir. Lojistik gecikmeler bakım faaliyeti içerisinde tekrar değerlendirilmemelidir. Bakım faaliyeti süreleri sadece bakımın uygulanması sırasında uygulanacak sökme, takma, test, kalibrasyon, temizleme ve ayar prosedürlerini kapsamaktadır. Bakım faaliyetinin süresi ve

maliyeti, daha önce belirtildiği gibi bakım faaliyeti türü ve uygulanacağı parçaya göre değişkenlik göstermektedir. Örnek vermek gerekirse, cer dişlisinin bakım faaliyeti süresi ile yol tekeri destek kolunun bakım faaliyeti süresi ve maliyeti birbirinden farklıdır. Her parça için bakım faaliyetinin belirlenmesi sonrasında bakım faaliyetinin süresi üzerine tecrübelerden faydalanılarak tahminler yapılmıştır. Reliasoft yazılımına bakım faaliyetinin belirlenmesini takiben bakım süreleri her bakım faaliyeti için ayrı ayrı Reliasoft yazılımında yer alan, Şekil 4.19'daki ekran görüntüsünde sunulduğu gibi girilmiştir.



Şekil 4.19: Reliasoft yazılımına bakım sürelerinin girilmesi

Lojistik gecikmelerin belirlenmesinde olduğu gibi, bakım süreleride tahmine dayalı olarak belirlenmiştir. Bakım sürelerinin tahminlere göre belirlenmesi yerine uygun koşulların firmada bulunması ile bakım faaliyetleri sürelerinin araçta gerçekleştirilen denemeler ile belirlenmesi ve analizlerde deneme sonuçlarındaki bakım faaliyetleri sürelerinin kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bakım faaliyetlerinin maliyeti ise bakım uygulanan parça, işçilik ve bakım süresine bağlıdır. Bu maliyete bakım süresi boyunca ürünün kullanılmayacak oluşundan kaynaklı garanti uzamasıda eklenebilir. Denklem (4.6)'de tez çalışmasında bakım faaliyetlerinin maliyeti olarak değerlendirilen kalemler gösterilmiştir.

$$BFM = BUPM + İşçilik.BFS \quad (4.6)$$

Burada BFM: Bakım faaliyetlerinin maliyeti, BUPM: Bakım uygulanan parça maliyeti ve BFS: Bakım faaliyeti süresi olarak ifade edilmiştir.

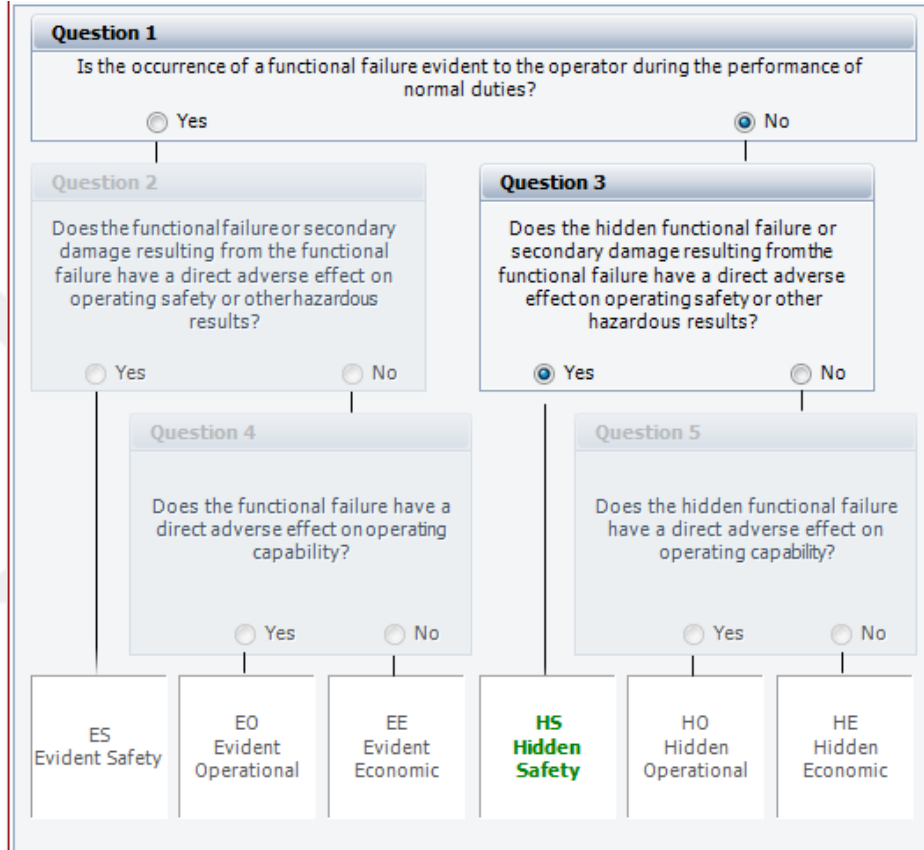
Tez çalışmasında tüm analiz türlerinde yer alan tüm bakım faaliyetleri için bakım faaliyetlerinin maliyeti, bakım faaliyetlerinin süresi ve lojistik gecikmeler belirlenmiştir ve Reliasoft yazılımında daha önce belirtilen güvenilirlik blok diyagramı bloklarına değer olarak girilmiştir.

4.5.1 Periyotları ortaklaştırılmayan GMBP

Periyotları ortaklaştırılmayan GMBP'de bakım faaliyetlerinin belirlenmesi için daha önce Çizelge 4.12'de belirtilen HTEA sonuçlarında parçaların hata modlarının

etkilerinin şiddetlerine göre Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de belirtilen karar akış şemaları uygulanmıştır.

Reliasoft yazılımında Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de belirtilen karar akış şemaları yer almaktadır. Reliasoft yazılımına yüklenen HTEA sonuçlarında yer alan her parçanın şiddetine göre Şekil 4.20’de belirtilen Reliasoft yazılımı karar akış şeması uygulanmıştır.



Şekil 4.20: Reliasoft yazılımı karar akış şeması

Şekil 4.20’deki sınıflandırma tüm anlamlı parçalar için uygulandığında Çizelge 4.15’te belirtilen bakım faaliyetleri parçalar için ortaya çıkmıştır. Bakım faaliyetlerinin karar akış şemasına göre belirlenmesi sonrasında daha önce saha arıza verilerine göre belirlenen güvenilirlik değerleri üzerinden bakım faaliyeti periyotlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.12’de yer alan HTEA sonuçlarında, daha önce Bölüm 4.2’de bahsedilen nedenden ötürü kritik şiddete sahip bir hata moduna yer verilmemiştir. Parçalardan birisinde kritik hata modunun gözlemlenmesi durumunda Bölüm 2.5’te belirtildiği gibi, parçaya proaktif bakım faaliyeti uygulandığında görülecek maliyetlerin,

proaktif bakım uygulanmadığında görülecek maliyetler ile kıyaslanması ve proaktif bakım faaliyetinin uygulanıp uygulanmayacağına buna göre karar verilmesi gerekmektedir.

Parçaya bakım faaliyetinin uygulanması durumunda görülecek olan maliyet Denklem (4.6)'ye göre belirlenecektir. Denklem (4.6)'de belirtilen bakım faaliyeti süresi proaktif bakımda kontrol görevi süresi ve parçanın kontrol görevi sonucuna göre değiştirilmesine karar verilmesi durumunda toplam değişim maliyeti olarak belirlenmektedir. Parçaya proaktif bakım faaliyeti uygulanmaması durumunda görülecek olan maliyet ise; parça arızasında parçanın değişim maliyeti, işçilik, bakım süresi ve parça değişim süresi kadar garanti süresi üründe uzatılacağı için, garanti süresinin uzamasının maliyeti olarak değerlendirilmektedir. Garanti süresinin uzamasında değerlendirilen parça değişim süresine bakım faaliyetinin dışında lojistik gecikmeler de dahil edilmektedir. Garanti süresinin uzaması maliyeti, garantinin uzaması durumunda parçanın uzadığı süre içerisinde yaşayacağı arızalara uygulanacak bakımlar olarak öngörülebilir. Bu parametre tez çalışmasının yapıldığı firma için garanti süresinin uzaması olarak belirlenmiştir; fakat sektör ve firmaya bağlı olarak, proaktif bakım uygulanmadığı zaman görülecek maliyete ürünün duruş süresinin maliyeti gibi başka parametreler eklenebilir. Ürünün arıza verilerine göre arızalanma sıklığı tespit edilir. Sonrasında ürüne belirlenen ömür içerisinde uygulanacak proaktif bakım adedi, maliyeti ile çarpılır ve benzer şekilde reaktif bakım adedi de maliyeti ile çarpılır. Son durumda proaktif bakım maliyetlerinin reaktif bakım maliyetlerinden düşük hesaplanırsa proaktif bakım faaliyeti uygulanır.

Kritik şiddete sahip hata modunda proaktif bakım uygulanmasına karşın uygulanmamasının maliyetleri belirlendikten sonra parçaya proaktif bakım uygulanacak ise Reliasoft yazılımında Şekil 4.21'de belirtilen bilgiler doldurulur. Çalışma için HTEA uygulanan paletli süspansiyon sisteminde HTEA sonuçlarına göre kritik şiddete sahip hata modu daha önce belirtilen nedenlerden dolayı yer almadığı için belirtilen uygulama tez çalışmasında uygulanmamıştır. Daha önce Bölüm 2.5'te bahsedildiği gibi kritik şiddete sahip hata modları ile yıkıcı şiddete sahip hata modlarına alınması gereken aksiyonlar birbirinden farklıdır ve paragrafta anlatılan getiri götürü analizi sadece kritik şiddete sahip hata modların kapsmalıdır. Yıkıcı şiddete sahip hata modlarında maliyet getiri götürü analizi yapılmadan, yıkıcı şiddete sahip hata modu meydana gelmeden kesinlikle önlenmelidir.

Cost per Action	
Planned Replacement	788
Unplanned Replacement	2488
Inspection	40
Failure Detection	0.9

Şekil 4.21: Proaktif bakım ve reaktif bakım maliyetlerinin reliasoft yazılımına girilmesi

GMBP’de yaş tahmini çalışması yapmak kadar, yaş tahmini sonrasında uygulanması belirlenen proaktif bakım faaliyetlerinin periyodunu doğru belirlemek de önemlidir. Kritik arızalarda proaktif bakım faaliyeti uygulanmasına karar verilmesi durumunda, Reliasoft yazılımı planlı ve plansız değişim maliyetlerini kullanarak arıza dağılımına uygun olarak en uygun proaktif bakım faaliyeti periyodunu çıktı olarak üretir. Bu çıktıyı üretmek için parçanın yazılıma girilen arıza verileri kullanılır ve arıza sıklığı hesaplanarak eniyileştirilmiş proaktif bakım periyodu buna göre belirlenir.

Yıkıcı şiddete sahip hata modlarını içeren parçalardaki durum daha farklıdır. Yıkıcı şiddete sahip parçaların arızaları, daha önce belirtildiği gibi, arıza meydana gelmeden önce kesinlikle kontrol edilmelidir ve önlenmelidir. Bu nedenle, eniyilenmiş bakım periyodu tez çalışmasında yıkıcı şiddete sahip parçalar için belirlenmemiştir ve farklı teknikler üzerinde durulmuştur.

Daha önce belirtilen Şekil 2.8’deki aşınma ömrüne göre bakım periyotlarının belirlenmesi ile mevcut bakım faaliyeti periyotlarının belirleme yöntemlerini birbirinden ayırt etmek önemlidir. Değerlendirilen parçalardan Weibull olasılık dağılımı beta parametresi birden büyük olan tüm parçalar aşınma ömrünün içindedir. Bu nedenle yıkıcı şiddete sahip parçalar için proaktif bakım faaliyetinin periyodunun belirlenmesi, Şekil 2.8’de belirtildiği gibi keskin bir çizgiye sahip değildir. Şekil 2.8’den anlaşılacağı üzere belirtilen kırmızı çizginin öncesinde de parça arızaları mevcuttur; fakat parça aşınma ömrüne girmediği için zamandan bağımsız arızalar görülecektir.

Yıkıcı şiddete sahip parçalarda daha önceden gereksinimler veya firma politikasına göre belirlenen bir arıza oranının üzerinde arızaya izin verilmemelidir. Önemli olan proaktif bakım faaliyetinin, parçaların ne kadarının arızalanmasına izin verdikten sonra uygulanacak olmasıdır. Belirtilen “Kaç parça arızalanmasına izin verilecek?” sorusunun yanıtı farklı yöntemlerle güvenilirlikte aranabilir.

Değerlendirilen yöntemlerden birisi parçaların güvenilirlik değerinin belirli bir değerin altına düşeceği an için proaktif bakım faaliyeti periyodu belirlemektir. Başka bir teknik olarak parçaların belirli bir oranının arızalanacağı “B Ömrü” ne göre periyot belirlemek değerlendirilmiştir. Bunların dışında parçaların belirli bir güven aralığında MTTF değerlerine göre bakım faaliyeti belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Son olarak ise parçaların belirli bir güven aralığında MTTF değerine göre bakım faaliyeti periyodu belirlenmesi değerlendirilmiştir.

Yöntemler üzerinde yapılan değerlendirmelerde tek bir yöntemin tek başına geçerli olmayacağı görülmüştür. Parçaların belirlenen Weibull olasılık dağılımı beta değeri birden büyük olmasına karşın arıza sıklıkları değişken olabilmektedir. Bu nedenle, tek başına MTTF değerine göre periyot belirlenmesi doğru olmayacaktır. Benzer şekilde, MTTF değeri de parçaların sadece ilk arıza yaşanana kadarki ortalama sürelerini belirtir. Parçaya uygulanacak proaktif bakım faaliyetinin değişim yerine, temizleme, ayarlama, tamir gibi bir bakımı kapsamaması durumunda MTTF değerine göre periyot belirlemek parça yenisi ile değiştirilmediği için yanıltıcı olacaktır. Genel olarak rulmanlarda kullanılan “B% ömrü” parametresi ise parçanın arıza sıklığı hakkında fikir vermeyecektir; fakat belirli bir orandaki parçanın arızalanmasına kadar geçecek süreyi belirtecektir. MTTF ile birlikte “B% Ömür” güvenilirlik değerlerinin proaktif bakım faaliyeti uygulanmasına karar verilen parçalarda periyot belirlenmesi için birlikte kullanılmasının en doğru sonucu vereceğine karar verilmiştir. B% Ömür ile birlikte arıza sıklığı değişen parçalara göre belirli bir zaman sonunda meydana gelecek % arızanın tespit edilmesi, MTTF ile parça arızaları arasında geçen ortalama sürenin tespit edilmesi hedeflenmektedir. İki bilgi birleştirilerek hem erken ömürde meydana gelecek arızaların önüne geçilmesi, hem de buna yönelik olarak uygun bakım faaliyeti periyodunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

Parçalar için belirlenen MTTF değerinin, %90 güven aralığında alt sınırına hata payı koyularak iyileştirilmesine ve değer emniyetli hale getirilmesine karar verilmiştir. %90 güven aralığındaki alt sınır ile anlatılmak istenen, parçaların %90’ının alt ve üst sınır aralığında olacağı; fakat parçaların %5’inin alt sınırın altında kalacağı ve %5’inin ise üst sınırın üzerinde olacağıdır. Bu açıklamaya göre %90 güven aralığı alt sınırı MTTF değeri, tüm popülasyonun en az %95’inin arızalanma sıklığını kapsamaması beklenmektedir; fakat tüm popülasyonun %5’i belirlenen alt sınır MTTF

değerinden erken arızalanacaktır. Belirtilen MTTF değerine fazladan %5-10 aralığında hata payı eklenerek arıza oranının düşürülmesi hedeflenmiştir. MTTF değerine koyulan hata payının %5-10 aralığında olmasının sebebi, belirlenen bakım faaliyeti periyodunun, periyodu anlamlı kılmak için aşağı yuvarlanması sebebiyle net bir hata payı aralığına sahip olmamasından ötürüdür. Erken safhada meydana gelecek arızaların varlığının ise B% Ömrüne göre tespit edilmesi kararlaştırılmıştır. Belirtilen nedene örnek olarak, bir parçanın 2000 km olarak belirtilen hesaplar sonrasında ortaya çıkan MTTF değeri tek başına parçanın erken ömürde arıza sıklığına dair bilgi vermemektedir, arızalar arası geçen süre sabit değil ve değişkendir, bu nedenle parçanın ilk 1000 kilometresinde arıza oranı 300 km’de bir kez iken, sonraki 1500 kilometresinde arıza oranı 3000 km’de bir kez olabilir. Tez çalışmasında bakım faaliyetleri periyotları belirlenecek olan yıkıcı şiddete sahip parçalarda arızanın hiç meydana gelmeden engellenmesi gerekmektedir. Tek başına MTTF’e göre belirlenecek bir bakım faaliyeti periyodunda erken ömürde 300 km civarında yıkıcı şiddete sahip arıza yaşanacaktır. Bu sebepten dolayı erken arızaların B% Ömrü üzerinden tespit edilmesine karar verilmiştir. B% Ömründe, tecrübelerle göre parçaların %10’unun arızalanacağı süreye göre hesaplar yapılmıştır.

“Yıkıcı” şiddete sahip arızalar, ilk arıza yaşanmadan engellenmelidir. MTTF’e göre periyot belirlemenin, erken ömürde meydana gelecek arızaları engellemeyeceği görülmüştür. Erken ömürdeki arızalar ise B% Ömür ile tespit edilmiştir. Parçaların MTTF ve B10 Ömür değerleri birlikte değerlendirilerek bir periyot belirlenmiştir. MTTF ve B10 ömrüne göre belirlenen bakım faaliyeti periyodunun, parçanın daha sonra anlatılacak P-F eğrisine göre, P-F aralığının içinde olmasına ve P-F aralığının üst sınırına yakın olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede arızaların tamamının tespit edilebilir ve önlenabilir olması hedeflenmiştir. Örnek vermek gerekirse, kontrole bağlı parça değişiminin uygulanması hedeflenen bir proaktif bakım faaliyeti için, 300 km B10 ömrüne sahip, 500 km MTTF değerine sahip ve P-F aralığı 50 km olan bir parçada bakım faaliyeti periyodu 200 km olarak belirlendiğinde ilk arızaların %10’u engellenemeyecektir; fakat bakım faaliyeti periyodu 250 km veya üstünde belirlenirse arızaların ilk %10’u engellenebilecektir. Yıkıcı şiddete sahip parçalar için %90 güven aralığında belirlenen alt sınır ve %50 güven aralığı B%10 zaman aralıkları Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15: Parçaların hesaplanan B10 ömür bilgileri

Parça Adı	B10 Ömür (%90 Güven Aralığı Alt Sınırı) (km)	B10 Ömür (%50 Güven Aralığı) (km)
Palet Baklası	1125.3	1064
Palet Pabucu	517.3	502
Yol Tekerı	1598.5	1287.8
Yol Tekerı Destek Kolu	650.6	555
Gergi Silindiri	411.3	320
Cer Dışlısı	612.5	454.6
Cer Dışlısı Kovanı	2485.3	1197.1

Çizelge 4.15'te belirtilmeyen parçaların verileri kendisine ait gerçek arıza verileri ile hesaplanmadığı için B10 değerlerine bakılmamıştır.

Bakım periyotları ortaklaştırılmadığı durumda GMBP karar akış şemasına göre Çizelge 4.16'daki bakım periyotları ve faaliyetleri ortaya çıkmıştır. Reliasoft yazılımına Çizelge 4.16'da belirtilen bakım faaliyetleri, bakım periyotları girilmiştir. Bunun dışında daha önce belirtilen bakım maliyetleri ve lojistik gecikmelerde tüm parçalar için tanımlanmıştır. Çizelge 4.16'da amortisör parçası için istisnai bir durum meydana gelmiştir. Amortisör parçasının beta değeri birden küçük olduğu için proaktif bakım faaliyeti belirlenmemesi gerekmektedir; fakat parçanın şiddeti zaten düşük öneme sahip olduğu için reaktif bakım tanımlanmıştır.

Analiz 1.1 için Çizelge 4.16'da belirtilen proaktif bakım uygulanmasına karar verilen tüm parçalar Reliasoft yazılımında tanımlanmıştır. Reaktif bakımların etkisi ise düşük önem şiddetine sahip olduğu için Reliasoft yazılımında düzeltici bakım faaliyeti tanımlanmıştır. Ayrıca bu faaliyetlerin aracın başka bir arıza nedeniyle durması durumunda uygulanması yönünde girdi yapılmıştır. Bunun dışında Bölüm 4.4'te anlatıldığı gibi her bakım faaliyeti için bakım faaliyeti işçiliği ve süresi Reliasoft yazılımına girilmiştir.

Proaktif bakım faaliyetleri belirlenen parçalarda Reliasoft yazılımında gözlem ve kontrol görevi belirlenmiştir. Görev içeriğinde kontrol periyotları Çizelge 4.16'da belirtildiği gibi girilmiştir; fakat gözlem sonrasında parçanın hangi koşula göre yenisi ile değiştirilmesi gerektiği veya tamir edilmesi gerektiği de GMBP için tanımlanmalı ve Reliasoft yazılımına girilmelidir. Bu sayede kontrol görevi sonrasında parçanın henüz arızalanmamış fakat belirli bir oranda arızalanmaya başladığının gözlemlenmesi durumunda parçanın değiştirilmesi hedeflenecektir. Burada önemli

olan parçanın hangi oranda arızalı olduğunun nasıl tespit edilmesi gerektiğidir. Kontrol görevinin kapsamlı oluşu, parçanın arızanın henüz meydana gelmeden hangi indikatörlerinin ne seviyede belirginleşmeye başladığının tespit edilmesine ve parçanın kontrol görevinin içeriğine bağlıdır.

Çizelge 4.16: Periyotları ortaklaştırılmamış GMBP

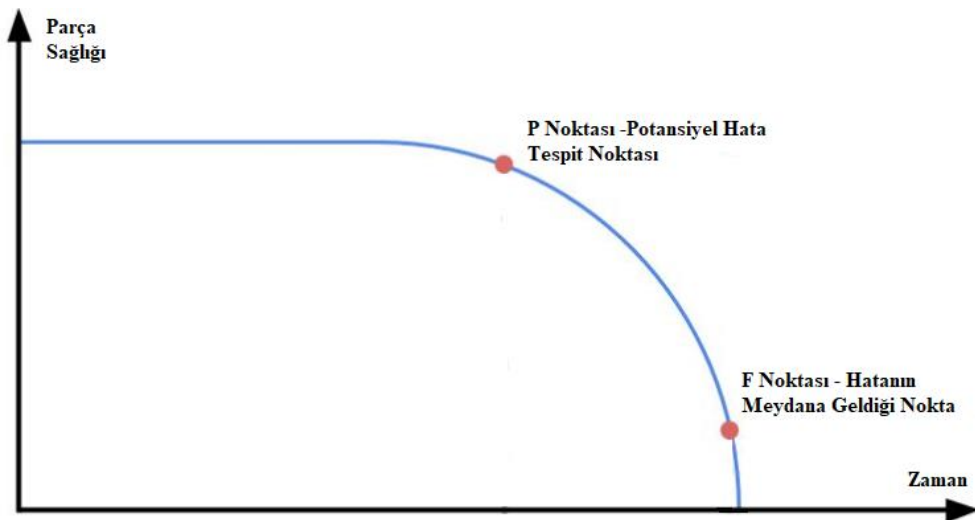
Parça Adı	Şiddet	Belirlenen Bakım Faaliyeti	Belirlenen Bakım Periyotları
Gergi Tekeri	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	3250
Cer Dişlisi	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	450
Amortisör Bağlantısı	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok
Destek Tekeri	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok
Gergi Tekeri Bağlantısı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	500
Yol Tekeri Destek Kolu	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	500
Palet Kılavuzu	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok
Yol Tekeri	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	1250
Amortisör	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok
Cer Dişlisi Kovanı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	1150
Gergi Silindiri	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	350
Burulma Mili	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok
Palet Baklası	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	750
Palet Pabucu	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	750

Parçanın arızaya yakınlığı aynı zamanda parçanın proaktif bakım görevi periyodunu da dolaylı yoldan etkilemektedir. Parçaya belirlenen proaktif bakım faaliyeti periyodunun parça arızasının ne kadar öncesine atanması gerektiği, parçanın arıza yakınlığının tespit edilebilir olacağı bir aralığa denk gelecek şekilde belirlenmelidir. Tez çalışmasında belirlenen periyotlarda buna dikkat edilmiştir. Parça arızasının tespit edilemeyeceği bir aralıkta proaktif bakım uygulanması durumunda parçanın bir

sonraki proaktif bakım periyodu arızaya denk gelmeyebilir ve bu durumda sonraki periyotlardaki arızaları meydana gelmeden yakalayabilmek için daha sık bakım periyodları belirlenmek durumunda kalınabilir.

Bu nedenlerden ötürü parçaların arızaya ne kadar yakın olduğunun bilinmesi önemlidir. Bu kapsamda firmada ve sektörde imkanların bulunması durumunda bu konuya dair araştırmalar, gerçekleştirilen testlerde yapılan ölçümlere göre uygulanan bozulma analizleri ile belirlenmelidir. Reliasoft yazılımında da bozulma analizlerinin uygulanabileceği araçlar vardır.

Tez çalışmasında parçalar için bozulma analizleri yapılmamıştır ve bakım teknisyeninin kontrol bakım görevi sırasında parçanın yaşı üzerine karmaşık bir çalışma yapması beklenmemektedir; ancak bakım teknisyeninin parçanın arızalanmaya başladığı eşiği farkedebileceği aralığın bilinmesi GMBP için gereklidir. Belirtilen tespit için kullanılan iki farklı ifade yöntemi vardır: 1) P-F Aralığı, 2) Hata Tespit Eşiği Oranı. İki ifade yönteminde de aynı değerler kullanılarak hesaplama yapılır. Her parça için hata meydana gelmeden önce hatanın meydana geleceği koşulların belirginleşmeye başladığı; fakat henüz hatanın meydana gelmediği bir nokta bulunmaktadır. Bu noktaya P Noktası denilmektedir. Benzer şekilde hatanın meydana geldiği bir nokta bulunmaktadır. Bu noktaya da F noktası denilmektedir. Parça sağlığının zamana göre değişim grafiği üzerinde P ve F noktaları bozulma analizine göre belirlenebilir (Moubray, 1997). Bunun dışında tecrübelerle dayalı olarak da P-F noktaları belirlenebilir. Şekil 4.22’de P-F Eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.22: P-F eğrisi

Parçanın arıza meydana gelmeden arıza indikatörlerinin belirginleştiği zaman, P-F eğrisindeki P ile F noktaları arasındaki zaman periyodu olarak ifade edilebilmektedir ve bu periyoda “P-F Aralığı” denilmektedir. Parçanın arıza meydana gelmeden arıza indikatörlerinin belirginleştiği zaman, ikinci bir ifade yöntemi olarak P noktasının F noktasına olan oranıyla da ifade edilebilmektedir. Bu orana “Hata Tespit Eşiği Oranı” denilmektedir.

Bu tez çalışmasında hata tespit eşiği oranları tecrübeye göre belirlenmiştir ve daha önce belirtildiği gibi parçalarda testler gerçekleştirip ölçümler yaparak bozulma analizi yapılmamıştır. Parçanın ömrünün ne kadarını doldurduğuna yönelik kontrol görevi içeriği gözle aşınma, sızıntı, çatlak kontrolü veya aşınma ve çatlak ölçümü gibi karmaşıklık seviyesi bozulma analizlerine göre düşük yöntemlere dayandırılmıştır; fakat yeterli kaynakların firma veya sektörde bulunması durumunda test gibi daha kapsamlı kontrol yöntemleri belirlenip, bakım teknisyenine bu sorumluluk bakım faaliyeti sırasında uygulanmak üzere verilebilir. Belirtilen kontrol görevlerine yönelik ise görevi gerçekleştirmek için gerekli olan özel takımlar belirlenmelidir ve tasarlanmalıdır.

Parçanın arıza oranı, bakım teknisyeninin uygulaması için belirlenen kontrol görevi sırasında gözlemlendiği aşınma, çatlak, yıpranma veya önemsiz seviyede sızıntı gibi durumlara göre “Bu parçanın değişmesinde fayda var, arızalanmak üzere” diyebileceği farkındalığın oluştuğu eşik olarak değerlendirilmiştir. Örnek vermek gerekirse bakım teknisyeni, parçanın ömrü %80’ine geldiğinde parçanın arızalanmaya başladığını belirlenen kontrol yöntemleri ile farkedebiliyorsa ise bu parçanın değiştirilmesi veya tamir edilmesi gerektiği bilgisi girilmiştir. Firmada veya sektörde imkanların bulunması durumunda, incelenen parçanın arızaya ne kadar yakın olduğunun hasar analizlerine dayandırılması daha doğru sonuçlar verecektir. Örneğin, yapılan hasar analizlerine göre gergi tekeri bağlantısı keçesinin %40 oranında kalınlığı azaldığı zaman sızdırmaya başlayacağı biliniyorsa, gergi tekeri bağlantısı keçesinin %25-30 oranında kalınlığı azaldığında değiştirilmesi tavsiye edilebilir. Bu durumda da gergi tekeri bağlantısı keçesinin değişim periyodunun belirlenmesi için keçenin %25-30 aralığında kalınlığının azaldığı ortalama periyot belirlenmelidir; fakat belirtilen araştırmaları uygulamak mali açıdan her sektör ve firmada mümkün olmayabilir.

Reliasoft yazılımında parçanın arızalanmadığı; fakat arıza indikatörlerinin belirginleştiği değer hata tespit eşiği oranı olarak girilmiştir. Girilen oranlar tecrübeye göre belirlenmiştir. Reliasoft yazılımında proaktif bakımlar için girilen bu değer Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Failure detection	
When is this task likely to detect an imminent failure?	When a certain percentage of the life of the item has been consumed (i.e., failure detection threshold)
Percent of life	0.6

Şekil 4.23: Reliasoft yazılımı hata tespit eşiği oranı ekranı

Proaktif bakımlarda kontrol görevine takiben parçanın değişimi veya tamiri yerine uyarı, temizlenmesi, vb. başka görevler de peşinden gelebilmektedir. Açıklamada kontrol görevi sonrasında belirtilen değişim veya tamir görevleri örnek olarak verilmiştir.

Saha arıza verilerinden yaş tahmini yapılmasının bir diğer nedeni, parçanın arızalanmadan hemen önceki yaşını tahmini olarak belirleyebilmektir. Çizelge 4.16’da her parça için belirlenen bu yaş, popülasyondaki parçaların %95’i için parça henüz arızalanmadan hemen önceki yaş ve B10 ömrüne göre belirlenmiştir.

Daha önce belirtildiği gibi kontrol görevinin detaylı ve kapsamlı olması da bakım teknisyeninin parçanın ne kadar oranla arızalı olduğunu belirlemesini kolaylaştıracaktır. Bu nedenle kontrol görevi içeriğinin bozulma analizi kadar detaylı ve kapsamlı olmamasına karşın, bakım teknisyeninin parçayı kontrol ettiğinde parçada çeşitli ölçüm ve gözlemler ile arıza oranını tespit edebilmesi beklenmektedir. Buna karşın MTTF ve B% Ömür değerleri istatistiki tahminlere dayalıdır, bu nedenle bakım faaliyetleri sırasında tüm parçalarda tespit edilebilir bir arıza gözlemlenmesi beklenmemelidir. Kontrol edilen parçada çatlak, aşınma veya etkisi zayıf diğer arıza oluşumlarının kontrol görevinde gözlemlenmemesi durumunda da bakım teknisyeninde olan parça değişimi insiyatifinin de mümkün olduğunca daraltılması gerekmektedir. Bu nedenle parçaların daha önce belirlenen hata modlarından yola çıkılarak gözle kontrol ve ölçüm kontrol görevleri belirlenmiştir; fakat bilgilerin gizliliği sebebiyle kontrol görevlerinin içerikleri paylaşılmamıştır.

4.5.2 Periyotları ortaklaştırılan GMBP

Bölüm 4.4.1’de belirtilen tüm uygulama adımları periyotları ortaklaştırılan GMBP için de uygulanmıştır. Bölüm 4.4.1’e ek olarak periyotları birbirine yakın olarak belirlenen Çizelge 4.15’teki parçaların periyotları, periyotlar emniyetli olacak şekilde ortaklaştırılmıştır.

Çizelge 4.17: Ortaklaştırılmış bakım periyotları

Parça Adı	Şiddet	Belirlenen Bakım Faaliyeti	Belirlenen Bakım Periyotları	Belirlenen Ortaklaştırılmış Bakım Periyotlar
Gergi Tekerı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	3250	3000
Cer Dişlisi	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	450	450
Amortisör Bağlantısı	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok	Yok
Destek Tekerı	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok	Yok
Gergi Tekerı Bağlantısı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	500	500
Yol Tekerı Destek Kolu	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	500	500
Palet Kılavuzu	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok	Yok
Yol Tekerı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	1250	1000
Amortisör	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok	Yok
Cer Dişlisi Kovanı	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	1150	1000
Gergi Silindiri	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	350	250
Burulma Mili	Düşük Önem	Reaktif Bakım Faaliyeti	Yok	Yok
Palet Baklası	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	750	1000
Palet Pabucu	Yıkıcı	Proaktif Bakım Faaliyeti	750	500

Ortaklaştırma yapılırken daha önce Çizelge 4.16'da belirtilen periyotların bire bir ortaklaştırılması yerine periyotların birbirlerinin katlarına denk gelecek şekilde ortaklaştırılması üzerinde durulmuştur. Çizelge 4.16'da belirtilen periyotlar ortaklaştırıldığında Çizelge 4.17'deki yeni periyotlar ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.17'de belirtilen ortaklaştırılmış periyotlar incelendiğinde birbirinden bağımsız 2 periyot olduğu görülmektedir. Cer dişlisi için B10 ömrü değerine göre 450 km periyodun 500 km olarak değiştirilmemesine karar verilmiştir. Diğer parçaların periyotları ise birbirlerinin katlarıdır. Her iki gergi silindiri proaktif bakım faaliyeti periyodunda 1 kez gergi tekeri bağlantısı, yol tekeri destek kolu, palet pabucu proaktif bakım faaliyetleri uygulanacaktır. 500 km'lik bakımların her ikinci uygulamasında ise yol tekeri, palet baklası ve cer dişlisi kovanı için proaktif bakım faaliyeti gerçekleştirilecektir. 100 km'lik bakımların her üçüncü uygulamasında ise gergi tekerlerine proaktif bakım faaliyeti uygulanacaktır.

Periyotları ortaklaştırılan GMBP analizlerini gerçekleştirme amacı ile Reliasoft yazılımına bilgiler güncellenerek bakım faaliyeti periyotları tekrar girilmiştir. Bölüm 4.4.1'de bahsedilen Reliasoft yazılımı girdilerine göre sadece bakım faaliyetlerinin periyotları değiştirilmiştir.

Bakım periyotları ortaklaştırırken ortak bölenlerin en büyüğüne göre bir ortaklaştırma yapmakta mümkündür; fakat bu durumda periyotlar bazı parçalar için sıklaşacağı için maliyette artış ve hazır bulunuşluk süresinde düşüş gözlemlenebilir. Bu sebepten dolayı proaktif bakım faaliyetleri periyotları, periyotlar arasında ortak katlar olacak şekilde belirlenmiştir.

4.5.3 Mevcut bir ürüne ait bakımlar ile analizi

Daha önce bahsedildiği gibi, sahada mevcutta kullanılmakta olan bir ürünün tedarikçi bilgileri ve tecrübelerine dayalı olarak oluşturulan proaktif ve reaktif bakımları Reliasoft yazılımına analizleri gerçekleştirmek için girdi yapılmıştır. Çizelge 4.18'de mevcut ürüne ait tedarikçi ve tecrübelerine dayalı oluşturulan proaktif bakım çizelgesi yer almaktadır.

Çizelge 4.18'de yer almayan parçalar için proaktif bakım faaliyeti tanımlanmamıştır ve sadece reaktif bakım faaliyetleri belirlenmiştir. Çizelge 4.19'da sadece reaktif bakım faaliyeti tanımlanan parçalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.18: Mevcut ürün süspansiyon sistemi proaktif bakım faaliyetleri

Parça Adı	Bakım Faaliyeti	Bakım Faaliyeti Periyodu
Gergi Tekerı	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Destek Tekerı	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Amortisör	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Gergi Silindiri	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Palet Pabucu	Proaktif Bakım	Her Operasyon Öncesi
Palet Baklası	Proaktif Bakım	Her Operasyon Öncesi
Gergi Tekerı	Proaktif Bakım	Her Operasyon Öncesi
Destek Tekerı	Proaktif Bakım	Her Operasyon Öncesi
Amortisör	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Yol Tekerı	Proaktif Bakım	Her Operasyon Sonrası
Cer Dişlisi	Proaktif Bakım	6 Ay
Cer Dişlisi Kovanı	Proaktif Bakım	6 Ay
Destek Tekerı	Proaktif Bakım	6 Ay
Gergi Tekerı	Proaktif Bakım	6 Ay
Amortisör	Proaktif Bakım	6 Ay

Çizelge 4.19: Sadece reaktif bakım faaliyeti tanımlanan parçalar

Parça Adı	Bakım Faaliyeti Türü
Burulma Mili	Reaktif Bakım
Palet Kılavuzu	Reaktif Bakım
Yol Tekerı Destek Kolu	Reaktif Bakım
Amortisör Bağlantısı	Reaktif Bakım
Gergi Tekerı Bağlantısı	Reaktif Bakım

Reliasoft yazılımına tüm proaktif bakım faaliyetleri ancak periyot olarak girilebilmektedir. Bu nedenle, Çizelge 4.18’de belirtilen her operasyondan önce ve her operasyondan sonra tanımlarını bakım periyoduna çevirmek gerekmektedir. Bunun için yıllık tahmini operasyon sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir. Belirlenen yıllık operasyon sayısı için eşit periyotlarda gerçekleşeceği varsayılmıştır ve

Reliasoft yazılımına belirlenen her bir operasyon arasındaki periyot, bakım faaliyeti periyodu olarak girilmiştir.

Reliasoft yazılımına Bölüm 4.4.1 ve 4.4.2’de belirtildiği gibi bakım faaliyeti maliyetleri, lojistik gecikme maliyetleri GMBP için uygulandığı şekliyle girilmiştir. Sadece bakım faaliyetleri türleri ve periyotları değiştirilmiştir. Belirtilen proaktif bakımlar periyotlara dönüştürüldüğünde Çizelge 4.20’deki bakım faaliyeti periyotları ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.20: Tedarikçi bilgileri ve tecrübelerine dayalı bakım faaliyetleri

Parça Adı	Bakım Faaliyeti Türü	Bakım Faaliyeti Periyodu (km)
Destek Teker	Proaktif Bakım	750
Gergi Silindiri	Proaktif Bakım	750
Palet Pabucu	Proaktif Bakım	750
Palet Baklası	Proaktif Bakım	750
Gergi Teker	Proaktif Bakım	750
Amortisör	Proaktif Bakım	750
Yol Teker	Proaktif Bakım	750
Cer Dişlisi	Proaktif Bakım	750
Cer Dişlisi Kovanı	Proaktif Bakım	750
Burulma Mili	Reaktif Bakım	-
Palet Kılavuzu	Reaktif Bakım	-
Yol Teker Destek Kolu	Reaktif Bakım	-
Amortisör Bağlantısı	Reaktif Bakım	-
Gergi Teker Bağlantısı	Reaktif Bakım	-

4.5.4 Sadece reaktif bakım faaliyetleri ile analiz

Bu analiz, sadece reaktif bakımlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Reaktif bakım türlerinde daha önce belirtilen HTEA sonuçlarına göre “Düşük Önem” şiddetine sahip parçalar için tamir süresi sıfır olarak girilmiştir ve HTEA sonuçlarına göre “Yıkıcı” şiddete sahip parçalar için tamir süreleri olarak normal değerleri girilmiştir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Tez çalışmasında, paletli süspansiyon sistemi uygulama problemi olarak kullanılarak GMBP yapılmıştır. Şekil 3.4'te belirtilen analiz yöntemleri için Reliasoft yazılımında simülasyonlar yapılarak güvenilirlik merkezli bakımın iyileştirmeye yönelik bir faaliyet olup olmadığı ve bakım teknikleri arasındaki farkların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma için öncelikle literatür bilgileri taranmıştır. Literatürden HTEA türleri, bakım faaliyetleri türleri, GMBP uygulama şekli, olasılık dağılımı türleri üzerine araştırmalar yapılmış ve bu alanlardaki çalışmalar incelenmiştir. Sonrasında saha arıza verileri değerlendirilmiş, saha arıza verilerine göre parçaların güvenilirlik değerleri hesaplanmıştır. Saha arıza verisi bulunamayan veya saha arıza verileri istatistiki çalışmalar için yetersiz olan parçalar için farklı teknikler uygulanarak güvenilirlik değerlerine ulaşılmıştır.

Paletli süspansiyon sistemi için anlamlı parça seçimi yapılmış ve yapılan seçime göre HTEA uygulanmıştır. HTEA sonuçlarına göre hata modları için şiddet sınıflandırmaları ve gizli hata tespit yöntemine sahip hata modları için ikincil fonksiyon kayıpları incelenmiştir. HTEA sonuçlarına göre paletli süspansiyon sistemi parçalarının hata modlarının şiddet sınıfları “Düşük Önem” ve “Yıkıcı” olarak belirlenmiştir.

Tüm analiz türleri için ortak bir güvenilirlik blok diyagramı parçaların sistem seviyesindeki etkisine göre belirlenmiştir. Güvenilirlik blok diyagramında yer alan parçalara Şekil 3.4'te belirtilen simülasyona bağlı olarak güvenilirlik değerleri, bakım faaliyetlerinin türleri, bakım faaliyetlerinin maliyetleri, bakım faaliyetlerinin süresi, lojistik gecikme süreleri atanmıştır.

Uygulanan HTEA ile ulaşılan parça hata modlarının, şiddet sınıfı “Yıkıcı” olan parça hata modlarına GMBP'de karar akış şemasına göre proaktif bakım faaliyeti tanımlaması yapılmıştır. Şiddet sınıfı “Düşük Önem” seviyesine sahip parça hata modları için bir bakım planlaması yapılmamıştır. Aynı zamanda HTEA çıktılarında şiddet sınıfı “Düşük Önem” seviyesine sahip parça hata modlarının, tüm analizlerde hazır bulunuşluk süresini düşürmemesi için bakım faaliyetleri süresi sıfır olarak Reliasoft yazılımına girilmiştir.

Reliasoft yazılımında araçların yıllık çalışacağı kilometrelere göre 1 kilometrenin kaç saate denk geleceği oranlanarak bulunmuştur. Tüm simülasyonlar projenin ilk 10 yıllık süresi için yapılmıştır. Simülasyon süresinin daha uzun uygulanması durumunda simülasyon sonuçları arasındaki farkların oransal olarak artması beklenmektedir.

Simülasyonlar Şekil 3.4’te belirtilen 4 analiz türü için ayrı ayrı koşturulmuştur. Simülasyon sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelgede paylaşılan değerler en iyi değer 100 olacak şekilde analizler arasındaki değerlerde oransal ilişki kurularak verilmiştir.

Çizelge 5.1: Simülasyon türlerine göre sonuçlar

	Periyotları Ortaklaş-tırılmamış GMBP (Analiz 1.1)	Periyotları Ortaklaş-tırılmış GMBP (Analiz 1.2)	Tedarikçi Bilgileri ve Tecrübelerle Dayalı Bakım Planlaması (Analiz 2 – Doğrulama Analizi)	Sadece Reaktif Bakım Planlaması (Analiz 3)
Hazır Bulunuşluk Oranı	94	100	94.5	49
Yıkıcı Arıza Adedi	0	0	43	100
Proaktif Bakım Faaliyeti Adedi	71	100	71	0
Sahada Yaşanan Toplam Arıza Adedi	42	37	42.5	100
Bakım Faaliyetlerinin Maliyeti	91	97.7	100	58.5

Analiz 1.1 ve Analiz 1.2’de yıkıcı şiddete sahip saha arızası yaşanmamıştır. Belirtilen iki analizde sahada yaşanan arızaların tamamı HTEA çıktılarına göre “Düşük Önem” şiddetine sahip parçalara ait arızalardır. Analiz 2 ve Analiz 3’te ise sahada yaşanan toplam arıza adetlerinin içerisinde yıkıcı şiddete sahip arızalar görülmektedir. Analiz 3’te proaktif bakım uygulaması yapılmadığı için yıkıcı şiddete sahip arızalar engellenmemektedir. Analiz 2’de ise tedarikçi bilgileri daha önce bahsedildiği gibi ürüne özel belirlenen sistemler arası ilişkiler, operasyonel fazlar

veya ortam koşullarından bağımsız olarak belirlenmektedir. Bu nedenle tedarikçi bilgileri ürüne özel uygulanan HTEA'dan bağımsızdır, sonuç olarak ise parçaların yaş tahminlerine göre tedarikçiler tarafından periyot belirlenmektedir. Bu durumda ise belirlenen periyotlar uygun olsa dahi parçaların arızalarında karşılaşacakları şiddetler değerlendirilmemektedir. Bu nedenle belirlenen bakım faaliyetleri şiddetten bağımsızdır. Tez çalışmasında Analiz 2 sonuçları yıkıcı şiddete sahip arızalara göre belirlenmediği için tüm yıkıcı şiddete sahip arızalar proaktif bakımlarla önlenememiştir; fakat yine de Analiz 2'de yıkıcı şiddete sahip arızaların %57'si engellenebilmiştir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde Analiz 1.2'nin, Analiz 1.1'e ve Analiz 2'ye göre hazır bulunuşluk oranında %6 iyileşme sağladığı görülmektedir. Bunun dışında Analiz 1.2'de proaktif bakım faaliyetlerinin adedi olarak Analiz 2'ye ve Analiz 1.1'e göre %29 daha fazla proaktif bakım faaliyeti uygulanmıştır. Bunun nedeni olarak, periyotlar ortaklaştırıldığında, lojistik gecikmelerde ve bakım sürelerinde düşüş olmasından kaynaklı araçların çalışmaya hazır bulunduğu aktif sürenin artması sebebiyle daha fazla proaktif bakımın uygulanabilir olduğu olarak yorumlanmıştır. Smith ve Hinchcliffe'in yaptığı araştırmalara göre GMBP uygulandığında hazır bulunuşluk oranlarında %5 civarı iyileşme beklenmektedir. GMBP ile hazır bulunuşluk oranındaki %6'lık iyileşmeler, Smith ve Hinchcliffe'in dile getirdiği hazır bulunuşluk oranında beklenen iyileşmeleri doğrulamaktadır.

Analiz 1.2'nin proaktif bakım faaliyeti adedi Analiz 2'ye göre %29 daha fazla olmasına karşın maliyetin %2,3 daha düşük olmasının nedeni, Analiz 1.2'de, Analiz 2'ye göre reaktif bakım uygulaması gerektiren faaliyetlerde de düşüş yaşanmasından dolayı maliyette düşüş yaşanması olarak değerlendirilmiştir.

Analiz 1.1'de Analiz 1.2'ye göre %6.7 maliyet düşüşü görülmektedir. Bunun nedeni olarak proaktif bakım adedinin Analiz 1.1'de daha düşük olması olarak yorumlanmıştır. Tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı bir bakım planlaması maliyetlerinin ise GMBP ile birlikte %3-9 aralığında düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni olarak tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı oluşturulan bakım planlamasının, farklı şiddete sahip parçalar üzerinde fazladan bakım gerektirmesi olarak değerlendirilmiştir.

Analiz 3'te yer alan bakım maliyetleri, proaktif bakımların uygulandığı 3 analiz türünde de artış göstermiştir. “Yıkıcı” şiddete sahip arızaların, arıza meydana gelmeden engellenmesi gerektiği için bakım maliyetleri proaktif bakımlarla birlikte artmaktadır. Bu sonuç “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar nedeniyle oluşturulan proaktif bakımların, tüm bakım maliyetlerini %35 civarında arttırdığı yönünde yorumlanmıştır. Bir diğer deyişle, “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar engellenmek istendiğinde bakım maliyetleri %35 artacaktır. Bu nedenle “Yıkıcı” şiddete sahip arızaları GMBP ile gidermenin beklenildiği şekilde bakım faaliyetleri açısından maliyetli olduğu söylenebilir.

Smith ve Hinchcliffe'in yaptığı araştırmalara göre GMBP ile bakım maliyetleri %84 iyileştirilebilir. Analiz sonuçlarına göre bakım maliyetleri ancak %3-9 aralığında iyileştirilebilmiştir. Beklenen iyileşmenin literatürdeki kadar olmaması, maliyetlerin “Yıkıcı” şiddete sahip parçaların çalışmada fazla bulunuşu ve tüm bu parçaların arızalarının, arıza meydana gelmeden proaktif bakımlarla engellenmesi gerekliliği olarak yorumlanmıştır.

Bakım maliyeti yüksek “Yıkıcı” şiddete sahip parçalara proaktif bakım faaliyetinin uygulanması, toplam maliyetlerin beklenildiği kadar düşürülmesinin önüne geçmektedir. Buna karşın “Kritik” şiddete sahip parçalar tez çalışmasında bulunuyor olsaydı, bu parçaların ömür devri maliyetinde düşme olması beklenmektedir. Nitekim “Kritik” şiddete sahip parçalarda proaktif bakım uygulanmasının maliyeti ile uygulanmamasının maliyetleri karşılaştırılacak ve proaktif bakım uygulandığında ömür devri maliyetlerinde iyileşme olması durumunda proaktif bakım faaliyeti belirlenecektir.

Çalışmada, sahada yaşanacak “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar için bir ömür devri maliyetinde bakım maliyetleri hariç bir maliyet belirlenmemiştir. Sahada yaşanacak “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar nedeniyle, tazminat, müşteri memnuniyetsizliği, sigorta masrafları gibi maliyetler değerlendirildiğinde, Analiz 3'teki toplam ömür devri maliyetinin proaktif bakımlar uygulandığı duruma göre daha yüksek olacağı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Analiz 2'deki toplam ömür devri maliyetinin de GMBP ömür devri maliyetlerine göre artış göstereceğine karar verilmiştir.

Analiz 1.2'deki gibi bakım faaliyetleri ortaklaştırıldığında ise Analiz 1.1'e ve Analiz 2'ye göre sahada yaşanan toplam arıza sayısı %5,5 oranında azaltılmıştır. Analiz

2’de sahada yaşanan arıza adetlerinin içerisinde hem “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar hem de “Düşük Önem” şiddetindeki arızalar yer almaktadır; fakat Analiz 1.1’de sadece “Düşük Önem” şiddetine sahip arızalar yer almaktadır. Bu iyileşmenin nedeni olarak emniyetli olacak şekilde ortaklaştırılan periyotlar ile bazı parçalarda proaktif bakım faaliyetlerinin, araca ait çalışma zamanının artmasından kaynaklı, sıklaşması olarak değerlendirilmiştir.

Doğrulama analizi olan, analiz 2’ye göre ise GMBP’nin belirgin şekilde, hem hazır bulunuşluk süresinde, hem maliyetlerde, hem de yıkıcı şiddete sahip arızaların engellenmesinde iyileştirme sağladığı görülmektedir.

GMBP’de, sadece reaktif bakımların uygulanacağı bir bakım planlamasına göre maliyetlerin belirgin şekilde artacağı görülmektedir. Buna karşın mevcut tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle oluşturulan bakım planlamasının maliyeti, GMBP’nin maliyetine göre daha yüksek olacaktır. Tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı bakım planlaması ile sahada istenilmeyen arızaları tamamen önlemek mümkün olmamaktadır. Bunun yanında tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle oluşturulan bakım planlaması, firma ve sektörlerde periyotları ortaklaştırılmış GMBP ile birlikte bakım maliyetlerini düşürmek, hazır bulunuşluk süresini arttırmak, sahada istenilmeyen arızaları önlemek mümkündür.

HTEA çıktılarında üretilen parça hata modu şiddetlerinin tanımları sektör ve firmalar için farklılaşabilir. Kullanıcı odaklı firmalarda şiddet kullanıcıya göre belirlenebilirken, üretim sektöründe şiddet firmaya etkisi olarak değerlendirilebilir. Bu ayrımın özelleştirilmesi ile birlikte, toplu üretim veya enerji üretimi gibi sektörler için hazır bulunuşluk süresinin artışı maliyetleri düşüreceği için GMBP’nin belirtilen sektörlerde, hazır bulunuşluk süresinin artışı ile birlikte maliyet azaltımı sağlayacağı görülmektedir.

GMBP tüm sektör ve firmalarda uygulanabilir olmayabilir veya faydalı çıktı üretemeyebilir. GMBP, arıza durumunda yaşanacak sorumluluğu tedarikçi firma üzerinden firmanın kendi üzerine alması anlamına gelecektir. Bu nedenle, entegratör firmalarda GMBP’nin sistem seviyesinde tutulması ve tedarikçi parçalar için uygulanmaması öncelikli olarak belirlenebilir.

GMBP proje sürecine yayılmalıdır. Ürünün tasarım aşamasında uygulanacak bir GMBP için saha arıza verileri olması zorunlu değildir; fakat saha arıza verilerinin

varlığı başlangıç çalışmasına daha doğru girdi verecektir. Saha arıza verilerinin bulunmadığı durumlarda benzer parçaların güvenilirlik değerleri veya beta tahminine dayalı güvenilirlik değerleri kullanılabilir. Ürünün sahada kullanılmaya başlanması ile birlikte saha arıza verileri değerlendirilmeli ve oluşturulan GMBP belirli aralıklarla güncellenmelidir. Saha verileri bulunmayan firmalardaki bakım planlamasının tahmine dayalı olarak başlangıçta oluşturulmasından sonra, süreç içerisinde gerçek veriler ile geliştirilmesi mümkün olmayacaktır ve tahmine dayalı olarak kalacaktır. Bu durumda da GMBP, güvenilirliğe dayalı yaş tahmini ve benzeri çalışmalar yapılamayacağı için anlamını yitirecektir.

“Yıkıcı” şiddete sahip arızalar, ilk arıza yaşanmadan engellenmelidir. Bu nedenle bu şiddete sahip parçalar için bakım faaliyeti atamasında B% Ömür ile MTTF birlikte değerlendirilmiştir. MTTF’e göre periyot belirlemenin, erken ömürde meydana gelecek arızaları engellemeyeceği görülmüştür. Erken ömürdeki arızalar ise B% Ömür ile tespit edilmiştir. Parçaların MTTF ve B10 Ömür değerleri birlikte değerlendirilerek bir periyot belirlenmiştir. MTTF ve B10 ömrüne göre belirlenen bakım faaliyeti periyodunun, parçanın P-F aralığının içinde olmasına ve P-F aralığının üst sınırına yakın olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede arızaların tamamının tespit edilebilir ve önlenbilir olması hedeflenmiştir. Örnek vermek gerekirse, kontrole bağlı parça değişiminin uygulanması hedeflenen bir proaktif bakım faaliyeti için, 300 km B10 ömrüne sahip, 500 km MTTF değerine sahip ve P-F aralığı 50 km olan bir parçada bakım faaliyeti periyodu 200 km olarak belirlendiğinde ilk arızaların %10’u engellenemeyecektir; fakat bakım faaliyeti periyodu 250 km veya üstünde belirlenirse arızaların ilk %10’u engellenebilecektir.

GMBP’de “Yıkıcı” şiddete sahip parçaların proaktif bakımları için belirlenen periyotlar, ilk “Yıkıcı” şiddete sahip arıza meydana gelmeden önlenmesine ve bakım faaliyeti türüne bağlıdır. Proaktif bakımda parça değişimi yerine onarma oranı %100 olmayan bir faaliyet gerçekleştirilecekse takvime bağlı olarak belirlenecek bakım faaliyeti periyotlarında ikinci ve sonraki bakım faaliyetlerinin ikinci ve sonraki arızaları kapsamaması gerekecektir. Bu sebepten dolayı sabit aralıklı bakım faaliyetleri periyodu yerine planlı takvim periyotlarının belirlenmesi daha uygun olacaktır.

“Kritik” şiddete sahip arızalar için belirli zaman aralığı için proaktif bakımlar uygulandığında ortaya çıkan maliyetler, uygulanmadığı durumda ortaya çıkan maliyetler ile karşılaştırılmalıdır. Belirtilen maliyetler firma ve sektöre bağlı olarak

değişmektedir. Proaktif bakım periyodu için Reliasoft yazılımında maliyetlere göre eniyileştirilmiş bakım periyodu tahmini hesaplaması kullanılabilir.

Tez çalışmasında sonuçlar üzerinden yapılan değerlendirmelere göre, GMBP tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı bir bakım planlaması yerine tercih edilebilir. GMBP tercih edildiğinde sahadaki “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar proaktif bakımlarla yaşanmadan giderilebilmektedir; fakat tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle oluşturulan bakım faaliyetlerinde “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar sahada görülebilmektedir. Maliyetler tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle göre belirlenen bakım planlamasına kıyasla düşürülebilmektedir. Tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı oluşturulan bakım planlaması bakım maliyetlerinin, GMBP bakım maliyetlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir ve “Yıkıcı” şiddete sahip arızalarında tedarikçi bilgileri ve tecrübelerle dayalı bakım planlamasında tamamen giderilemediği görülmektedir; fakat buna karşılık sadece reaktif bakım planlaması uygulandığında görülecek maliyetler, GMBP ile belirgin şekilde artış gösterecektir, buna karşın reaktif bakım planlamasında sahadaki “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar giderilememektedir. Buradan “Yıkıcı” şiddete sahip arızaları proaktif bakım faaliyetleri ile gidermenin bakım maliyetlerini arttırarak mümkün olduğu görülmektedir. Aynı zamanda hazır bulunuşluk süresinin maliyet tarafı belirgin olan sektör ve firmalarda, GMBP uygulandığında yapılacak %5-6’lık hazır bulunuşluk oranı iyileştirmesi, belirtilen sektör ve firmalarda maliyetleri dolaylı yoldan düşürecektir.

Periyotları ortaklaştırılmamış GMBP ile sahadaki yaşanacak “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar tamamen giderilebilmektedir; fakat periyotları ortaklaştırılan GMBP’ye göre hazır bulunuşluk oranı %5 daha düşük olacaktır, buna karşın maliyetleri de %6 daha düşük olacaktır. Hazır bulunuşluk oranının düşmesi mali açıdan risk oluşturmuyorsa sadece periyotları ortaklaştırılmamış GMBP uygulanabilir. Hazır bulunuşluk oranının, daha önce belirtildiği gibi, maliyetleri belirgin şekilde etkilediği durumlarda ise GMBP’nin periyotlar ortaklaştırılarak uygulanmasının maliyetler açısından daha iyi sonuçlar ortaya çıkarabileceği değerlendirilmektedir. Tez çalışmasında, bakım maliyetleri Analiz 1.2’ye göre daha düşük olmasından kaynaklı ve “Yıkıcı” şiddete sahip arızaların tamamının daha düşük maliyetle proaktif bakımlarla giderilebilmesinden ötürü, %5 hazır bulunuşluk oranında görülecek iyileşmeden vazgeçilerek, Analiz 1.1’in paletli süspansiyon sistemi bakım planlaması için en doğru tercih olacağına karar verilmiştir.



6. ÖNERİLER VE FIRSATLAR

GMBP'yi değerlendiren firma ve kuruluşlarda, saha arıza verilerinin çalışmanın başlangıç aşamasında bulunmasa dahi, ilerleyen aşamalarda çalışmayı güncellemek ve güvenilirlik merkezli yaş tahmini araştırmalarını yapmak için oluşturması önerilmektedir. Çalışmayı mümkün kılmak için HTEA veya benzeri bir formatın oluşturulması ve parça hata modlarının donanımsal yaklaşım ile değerlendirilip şiddetlerinin belirlenmesi önerilmektedir. Oluşturulacak HTEA, GMBP üretim alanında ise, üretime uygun olmalıdır. Tasarım alanında ise tasarım çıktılarının değerlendirilebileceği, sektöre özel, bir formata sahip olmalıdır. HTEA'da parçaların şiddetleri belirlenirken kuruluşun bulunduğu sektörde etkisi değerlendirilmek istenen alan seçilmelidir. HTEA, operasyonel çekinceler hangi alan için incelenmek isteniyorsa bu alana yönelik olarak oluşturulmalıdır. Bu alan kullanıcı, üretim hattı veya kuruluşun kendisi olabilir. HTEA'da operasyonel fazların tamamının değerlendirilmesi ve en yüksek şiddete sahip faza göre GMBP'nin oluşturulması önerilmektedir.

GMBP'yi iyileştirmek için güvenilirlik değerlerinin gerekliliği kadar, bozulma analizlerinin de gerekliliği görülmektedir. Parçaların arızaya yatkınlıkları üzerine yapılacak ölçümler ile arıza öncesinde ölçülen değerlerinin analizler ile tespit edilmesi proaktif bakımlarda bakım faaliyeti içeriğinin oluşturulmasında, özel takımların belirlenmesinde ve bakım faaliyetleri periyotlarının oluşturulmasında fayda sağlayacaktır. Bu nedenle GMBP ile birlikte detaylı bozulma analizlerinin ve testlerinin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

GMBP'nin çoğu kaynağa göre bir süreç olduğu daha önce ifade edilmiştir. Tasarımın veya uygulanmak istenen sürecin başında oluşturulmalıdır; fakat GMBP'nin uygulandığı tasarım veya sürecin kendisinden sahadan arıza verileri bilgisi gelmeye başladığında GMBP'nin saha arıza verilerine göre güncellenmesi önerilmektedir.

GMBP'nin açık noktalarından birisi olan, kritiklik analizlerinin çalışmaya dahil edilerek genişletilmesi, olayların gerçekleşme olasılığını da planlamada değerlendirmeye katacaktır. Bu sayede GMBP ISO 26262 veya MIL-STD-1629A gibi standartlara uyumlu hale gelecektir ve olasılığı belirgin şekilde düşük olan "Yıkıcı" veya "Kritik" şiddete sahip arızaları planlama dışında bırakmaya yardımcı olacaktır. "Yıkıcı" şiddete sahip arızalar, eğer emniyet riski içeren arızalar olarak

değerlendiriliyor ise arızanın gerçekleşme olasılığına bağlı olarak belirlenecek GMBP maliyetleri “Yıkıcı” şiddete sahip arızalar için düşürecektir. “Yıkıcı” şiddete sahip parçalar için GMBP yapmadan önce arıza olasılıklarını değerlendirmek, çalışma için geliştirmeye açık bir fırsat olarak değerlendirilmektedir.

Bunun dışında GMBP'nin öncesinde uygulanacak bir kritiklik analizi ile, GMBP karar akış şeması yerine kritiklik analizine göre GMBP'yi oluşturmak, çalışma için gelişime açık bir fırsat olarak ön plana çıkmaktadır.

Saha arıza verisinin toplanmasının mümkün olmadığı kuruluşlarda, GMBP için saha arıza verilerinin, Monte Carlo simülasyonunda, ortam koşulları, parça özellikleri, parça yükleri gibi parametreler eklenerek yapay zeka ile oluşturulmasının saha arıza verilerinin GMBP önündeki engelini kaldıracağı üzerinde durulmaktadır. Saha arıza verilerinin gerçek veriler üzerinden değerlendirilmesi yerine, oluşturulacak yapay zeka algoritmaları ile oluşturulması, bir tek GMBP için değil, tüm güvenilirlik çalışmaları için gelişime açık bir alan olarak değerlendirilmiştir. Nitekim çoğu güvenilirlik çalışmasının temelleri güvenilirlik değerlerini hesaplanabilmesine dayanmaktadır. Güvenilirlik değerlerinin doğru hesaplanması ise saha arıza verilerinin varlığına bağlıdır. Birçok firma için toplanması mümkün olmayan saha arıza verileri bu şekilde belirli bir hata payı ile oluşturulabilir.

GMBP'de “Yıkıcı” şiddete sahip parçalar için bakım faaliyetlerinin periyodunun MTTF değerinin yanında B% Ömrüne göre P-F aralığı değerlendirilerek belirlendiğinde sahada yaşanması muhtemel arızaların tamamını gidereceği görülmüştür. “Yıkıcı” şiddete sahip parçaların arıza sıklığının değişken olabileceği ve toplam ömür içerisinde arızaların, erken ömüre göre daha seyrek olabileceği değerlendirilmelidir. Bakım faaliyetleri periyotları, eğer onarım oranı %100 olacak bir proaktif bakım faaliyeti üzerinde duruluyorsa, belirtilen özelliklere sahip parçalar için, bu değerlendirmeye göre belirlenmelidir ve sadece MTTF değerine göre periyot atanmamalıdır. “Yıkıcı” şiddete sahip parçalar için periyotların nasıl belirlenebileceği yönünde yapılacak çalışmalar literatürde net tanımlı değildir ve sadece “Yıkıcı” şiddetin sahada kesinlikle önlenmesi üzerinde durulmaktadır. Literatürde GMBP'de “Yıkıcı” şiddete sahip parçalar için bakım faaliyetlerinin periyotlarının nasıl belirlenebileceği yönündeki boşluk, bir fırsat olarak değerlendirilmiştir ve çalışmada gelişime açıktır.

Bunun dışında çalışma sırasında, çalışmadan bağımsız olarak belirli beta değerlerinin üzerindeki parçaların aslında “Aşınan Ömürlü” sınıfına ait parçalar olduğu farkedilmiştir. Literatürde yapılan araştırmalarda buna yönelik bir çalışma bulunamamıştır. “Aşınan Ömürlü” sınıfına ait parçaların, analizler sonucunda belirli beta değerinin üzerindeki parçalar olaak belirlenebileceği üzerinde durulmaktadır. Bu nedenle “Aşınan Ömürlü” parçaların beta değerlerine göre belirlenebilmesi güvenilirlik çalışmaları için bir fırsat olarak değerlendirilmiştir.



KAYNAKLAR

- Heap, H.F., Nowlan, S.,** (1978), *Reliability Centered Maintenance*, National Technical Information Service
- Hinchcliffe, G.R., Smith, A.M.,** (2004), *RCM-Gateway To World Class Maintenance*, Elsevier
- Office Of The Under Secretary Of Defense (Comptroller)/Chief Financial Officer,** (2020), *Defense Budget Overview*, https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2021/fy2021_Budget_Request_Overview_Book.pdf, Alındığı Tarih: 21.09.2019
- Garza, L.,** (2002), *A Case Study Of The Application Of Reliability Centered Maintenance (RCM) In The Acquisition Of The Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV)*, (Doktora Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey)
- Usrey, M., Wilmeth, R.G.,** (2015), Reliability-Centered Maintenance: A Case Study, *Engineering Management Journal; EMJ*, 12(4), 25-31
- Yang, G.,** (2007), *Life Cycle Reliability Engineering*, John Wiley & Sons Inc.
- Lai, C.D., Murthy, D., Xie M.,** (2006), Weibull Distributions and Their Applications, *Springer Handbook of Engineering Statistics*, Springer Handbooks, Springer, London
- Dhillon, B.S.,** (2006), *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*, Taylor & Francis Group
- Ünal, G.,** (2009), *Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama*, (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul)
- Rausand, M.,** (1998), *Reliability Centered Maintenance*, Reliability Engineering and System Safety, 60, 121-132
- Moubray, J.,** (1997), *Reliability-Centered Maintenance*, Industrial Press Inc.
- Arffin, M.N., Ramli, R.,** (2012), Reliability Centered Maintenance in Schedule Improvement of Automotive Assembly Industry, *American Journal of Applied Sciences*, 9(8), 1232-1236

- Quanterion Solutions Incorporated**, (2015), *Nonelectronic Parts Reliability Data 2016*, Utica, New York
- Pham, H.**, (2003), *Handbook Of Reliability Engineering*, Springer
- Military Standards**, (1980), *Procedures For Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (MIL-STD-1629A)*
- SAE International**, (2009), *Surface Vehicle Standard – Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*
- Biesebroeck, J.V., Sturgeon, T.J.**, (2011), *Global Value Chains in the Automotive Industry: An Enhanced Role For Developing Countries*, International Journal Technological Learning, Innovation and Development, 4, 181-205
- Uluslararası Motorlu Araçlar Üreticileri Birliği**, (2018), <http://www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/>, Alındığı Tarih: 26.10.2019
- Gupta G., Mishra, R.P.**, (2016), A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM, *Quality and Reliability Engineering International*, 33(2), <https://dx.doi.org/10.1002/qre.2011>
- Johnson, Z.**, (2013), *Improving criticality analysis methods to influence RCM*, 2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), <https://dx.doi.org/10.1109/rams.2013.6517699>
- Snee, R.D., Rodebaugh, W.F.**, (2008), Failure Modes and Effects Analysis, Research Gate, https://www.researchgate.net/publication/283046997_Failure_Modes_and_Effects_Analysis, Alındığı Tarih: 09.05.2019
- Mraz, M.**, (2005), FMEA-FMECA [Online Lecture Notes], http://riss.fri.uni-lj.si/sl/teaching/rzd/tutorials/huber2005_FMEA.pdf, Alındığı Tarih: 11.05.2019
- Hata, T., Kimura, F., Kobayashi, N.**, (2002), *Reliability-Centered Maintenance Planning based on Computer-Aided FMEA*, The 35th CIRP-International Seminar on Manufacturing Systems, Seoul, Korea

- Eriksen, J., Hanssen, G.K., Hellandsvik, A., Myklebust, T.,** (2018), *The Agile FMEA Approach*, The 26th Safety-Critical Systems Symposium, York, England
- Pfleeger, S.L.,** (1998), *Software Engineering Theory and Practice*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- Dhillon, B.S.,** (1991), *Robot Reliability and Safety*, Springer Verlag, New York
- Leintz, B.P., Swanson, E.B.,** (1981), Problems in Application Software Maintenance, *Communications of the ACM*, 24(11), 763-769
- Dhillon, B.S.,** (2002), *Engineering Maintenance: A Modern Approach*, CRC Press, Boca Raton, Florida
- NAVAIR,** (2005), *Guidelines For The Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process (NAVAIR 00-25-403)*, Department of Defense, Washington
- National Aeronautics and Space Administration (NASA),** (2008), *Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*, Washington
- Regan, N.,** (2011), *The RCM Solution – A Practical Guide to Starting and Maintaining a Successful RCM Program*, Industrial Press Inc.
- Baird, J., Chalifoux, A.,** (1999), *Reliability Centered Maintenance (RCM) Guide – Operating a More Effective Maintenance Program*, US Army Construction Engineering Research Laboratory (CERL), Champaign, Illinois
- Xue, D., Xu, G., Yao, X., Wang, T.,** (2017), Development and Main Research Status of Tracked Vehicle Suspension System, *2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017)*, 336-341, Paris, Fransa:Advances in Engineering Research
- Lozovoi, D., Lozova, A.,** (2011), *The Inventor of The Tractor (F.Blinov)*, Russia In Colours
- Kececioglu, D.,** (1993), *Reliability and Life Testing Handbook*, DEStech Publications Inc.
- Chambers, R. L., Steel, D. G., Wang, S., Welsh, A.** (2012), *Maximum Likelihood Estimation for Sample Surveys*, Boca Raton, CRC Press

Myung, I. J., (2003), Tutorial on Maximum Likelihood Estimation, *Journal of Mathematical Psycholog*, 47 (1), 90–100

Small, Christoper G., Wang, Jinfang, (2003), "Working with Roots" Numerical Methods for Nonlinear Estimating Equations, *Oxford University Press*

Yurdugül, H., (2008), Minimum Sample Size for Cronbach's Coefficient Alpha: A Monte-Carlo Study, *Hacettepe University Journal of Education*, 35, 397-405

Bertsche, B., (2008), *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*, Springer

GE Digital Solutions, (t.y.), Distribution types,

<https://www.ge.com/digital/documentation/predix-apm/IYTU3YTI00>

DYtOGQ1NC00M2ZjLWJjZmItN2ZiZTAxNTM0OWI4.html, Alındığı Tarih:

06.06.2019

EKLER

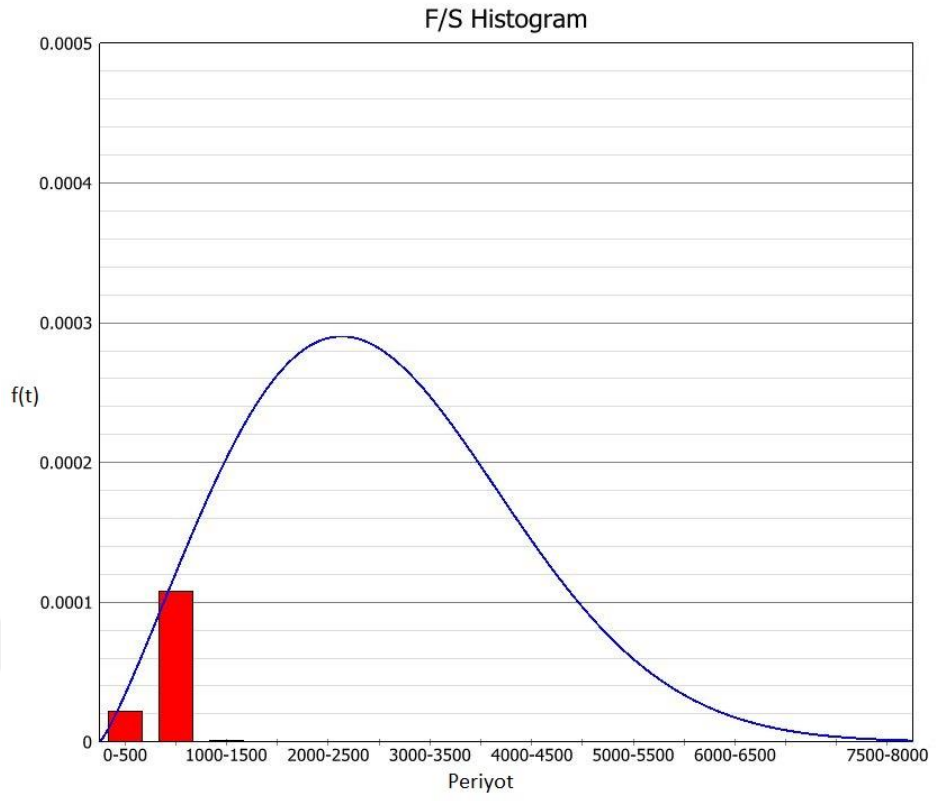
Ek 1: Saha arıza verilerinden güvenilirlik değerleri hesaplanan parçalar için histogram ve olasılık yoğunluk fonksiyonları eğrileri

Ek 2: Reliasoft yazılımının saha arıza verilerine arıza olasılık dağılımı önerilerinin logaritmik grafikleri

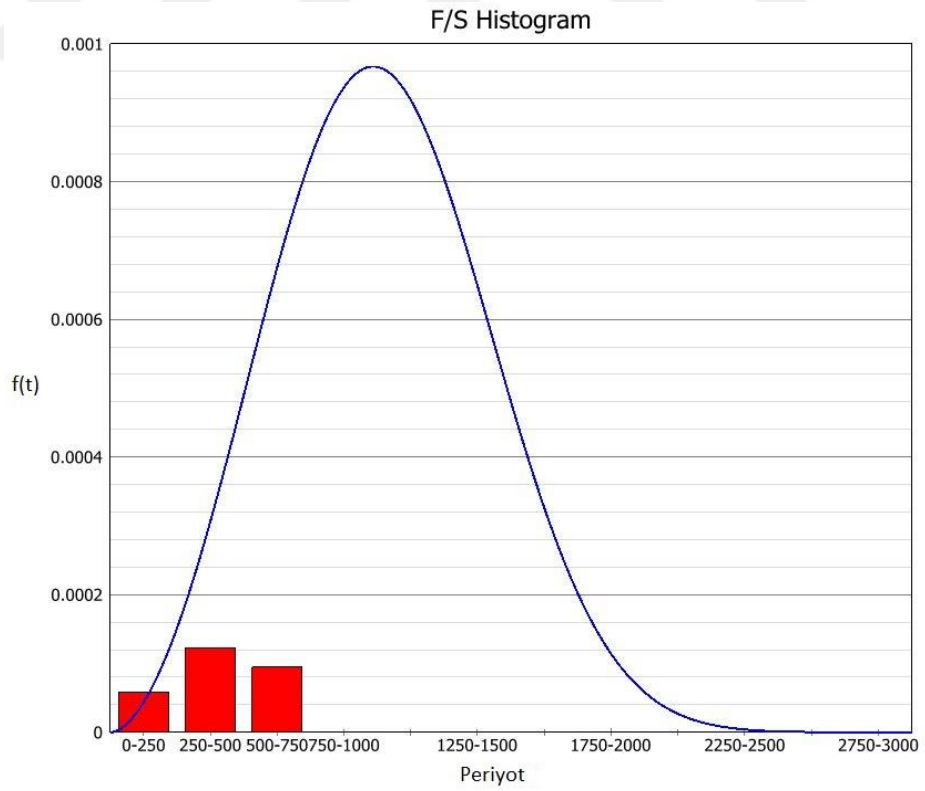
Ek 3: Reliasoft yazılımının parça özelinde ilk üç arıza olasılık dağılımı önerisi ve MTTF değerleri



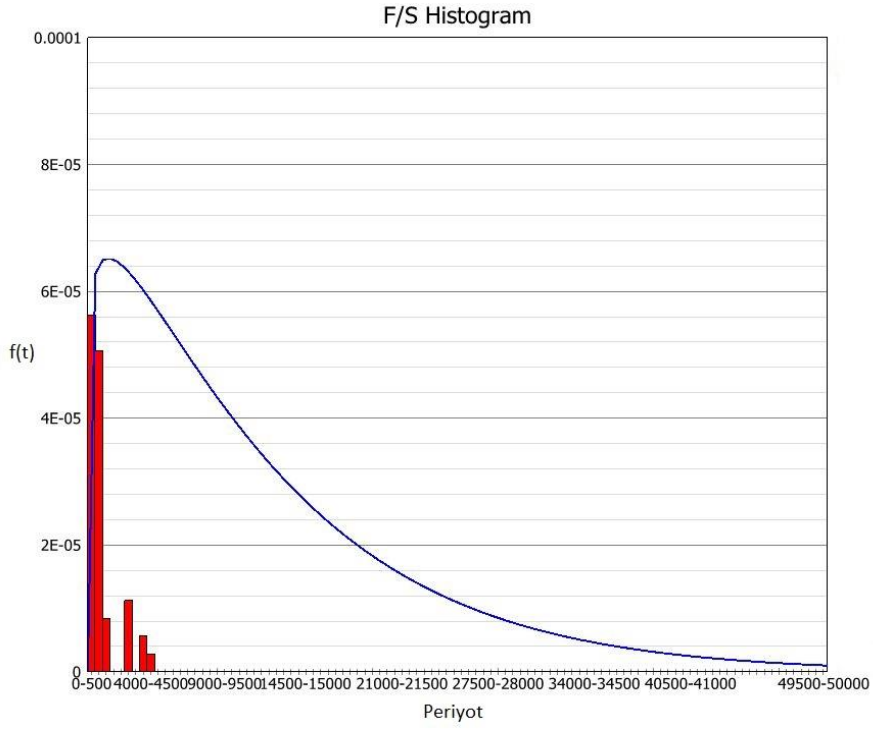
EK 1



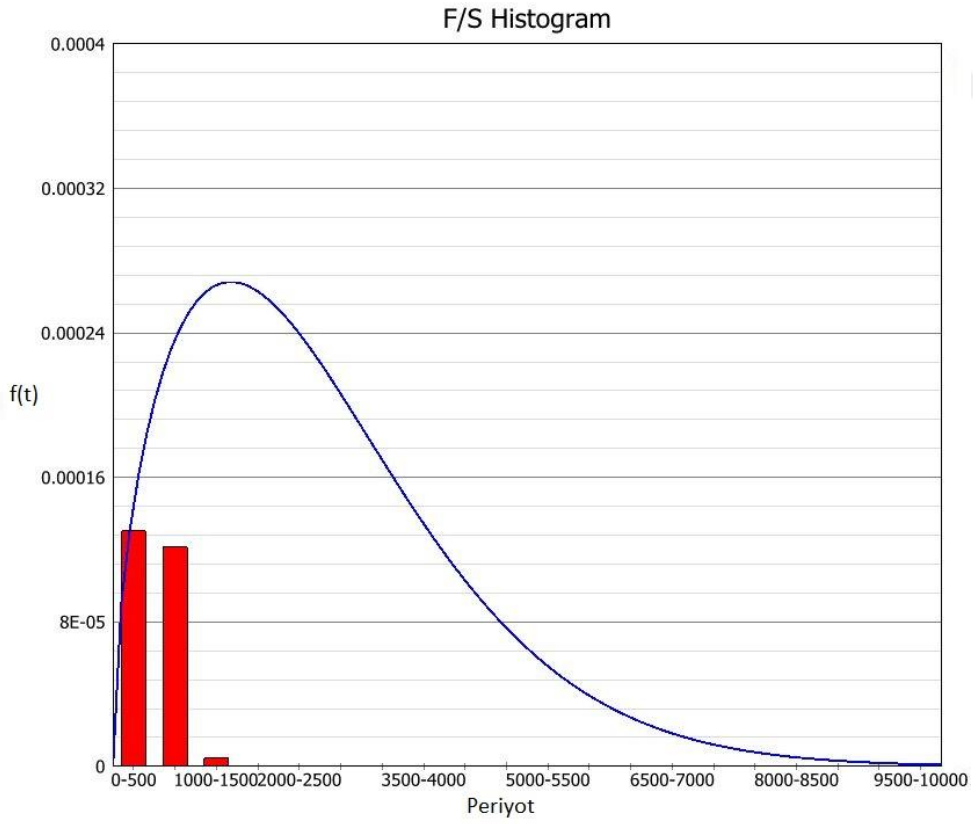
Şekil Ek 1.1: Palet baklası arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi



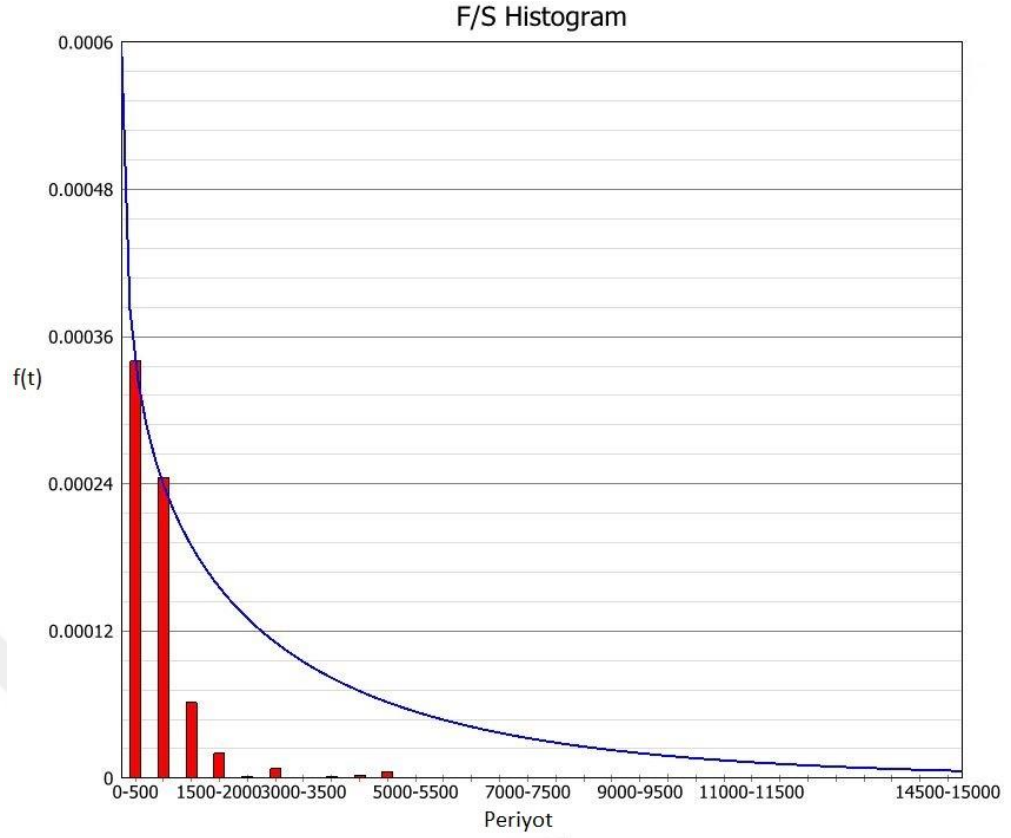
Şekil Ek 1.2: Palet pabucu arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi



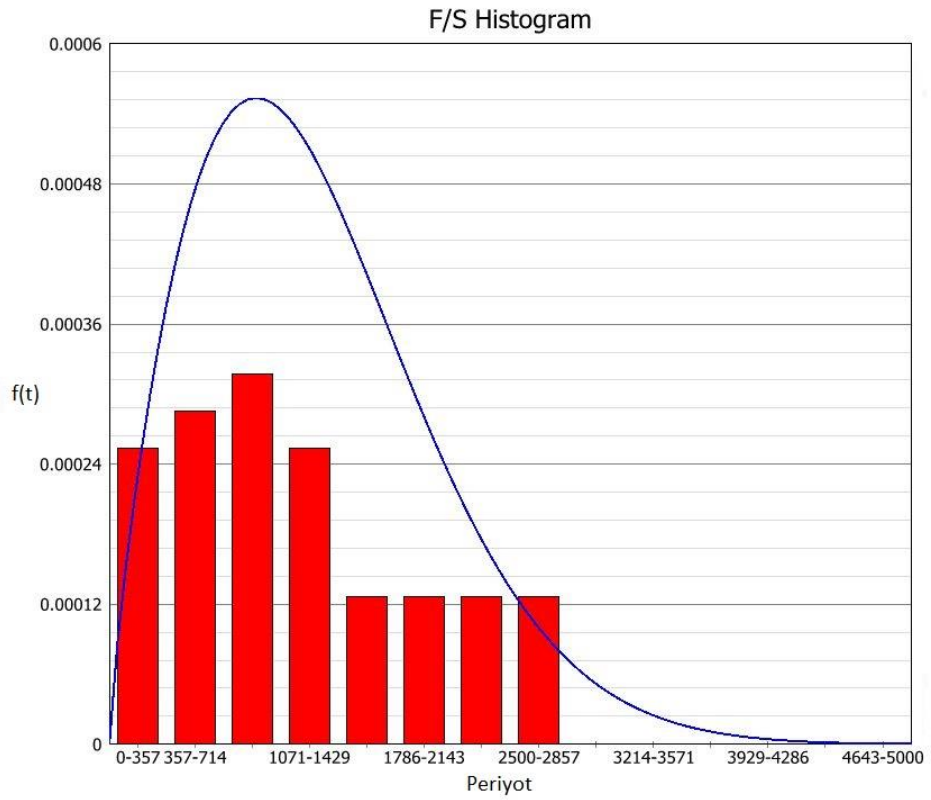
Şekil Ek 1.3: Yol tekeri arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi



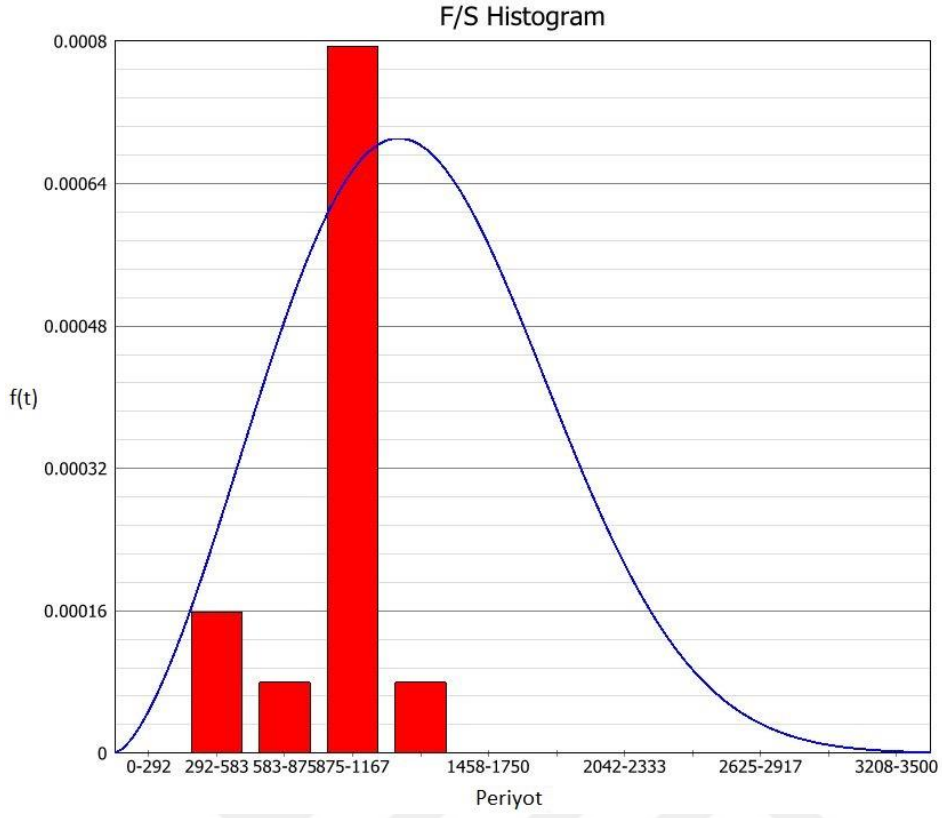
Şekil Ek 1.4: Yol tekeri destek kolu arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi



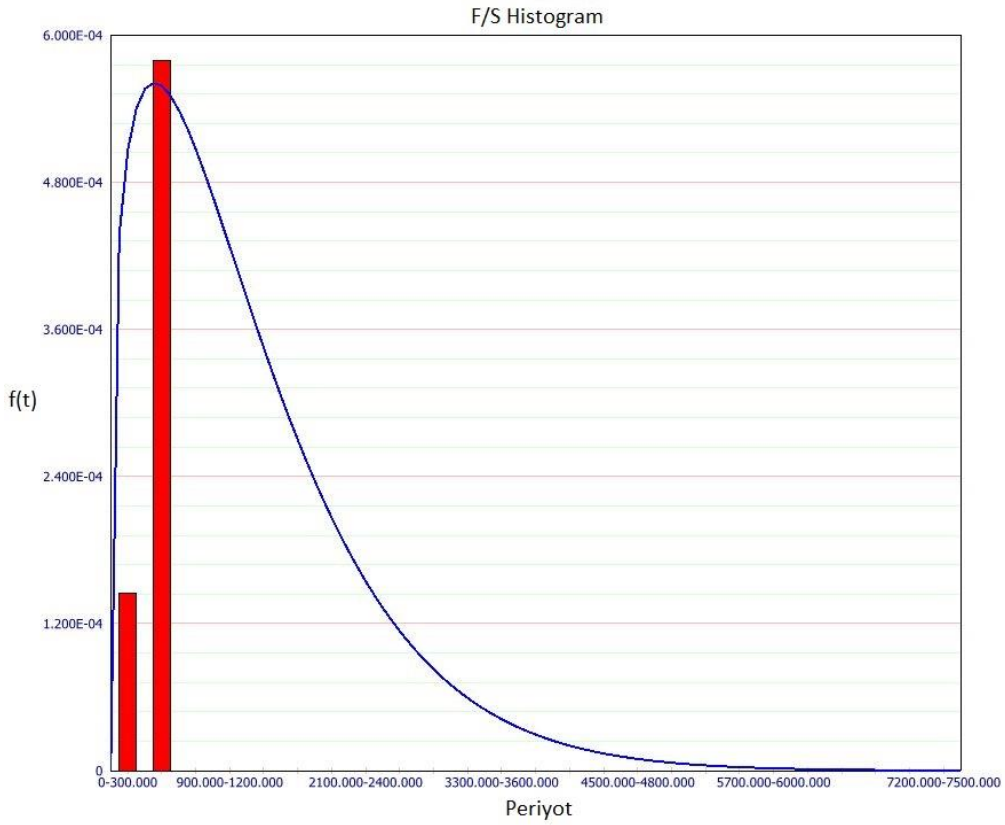
Şekil Ek 1.5: Amortisör arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi



Şekil Ek 1.6: Gergi silindiri arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

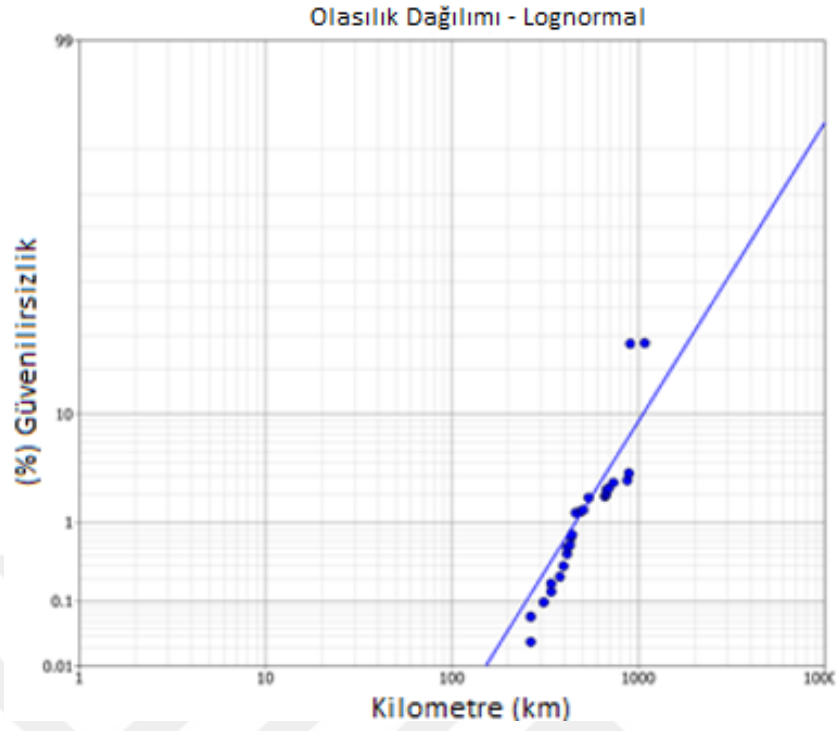


Şekil Ek 1.7: Cer dişlisi arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

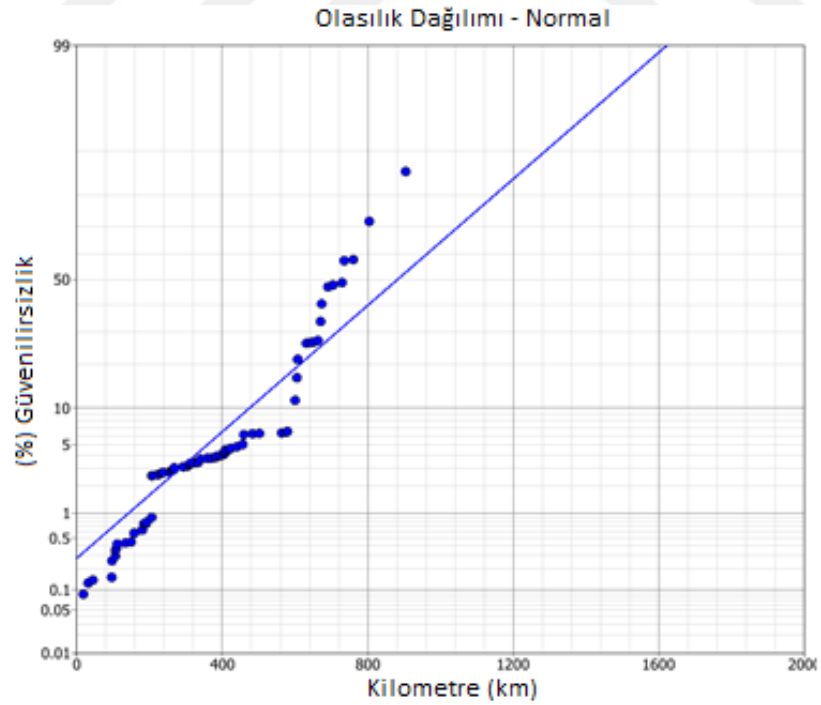


Şekil Ek 1.8: Destek tekeri arıza histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

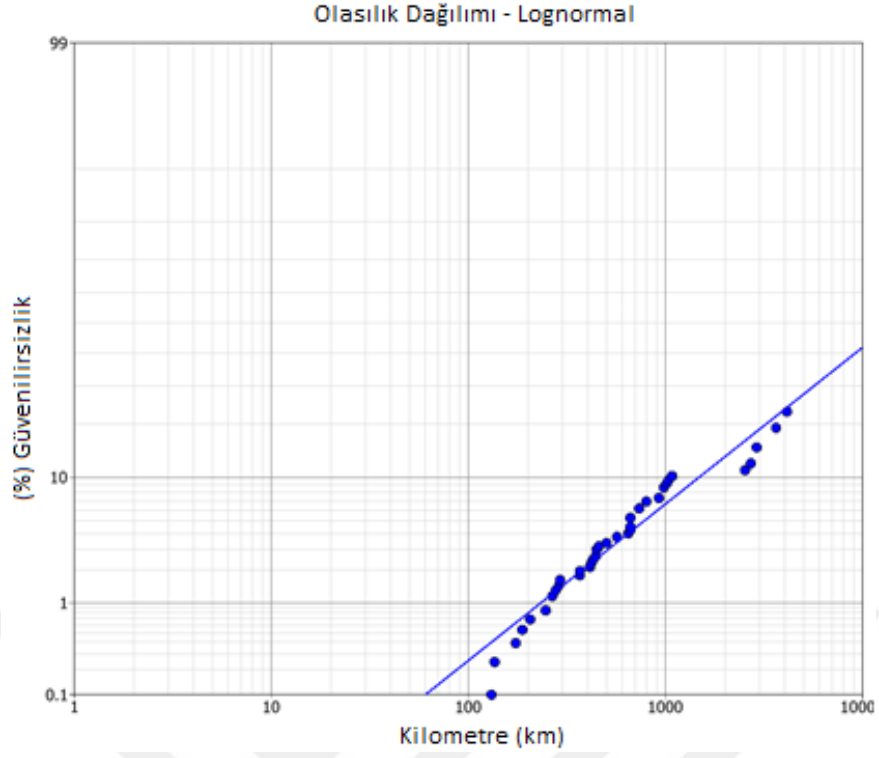
EK 2



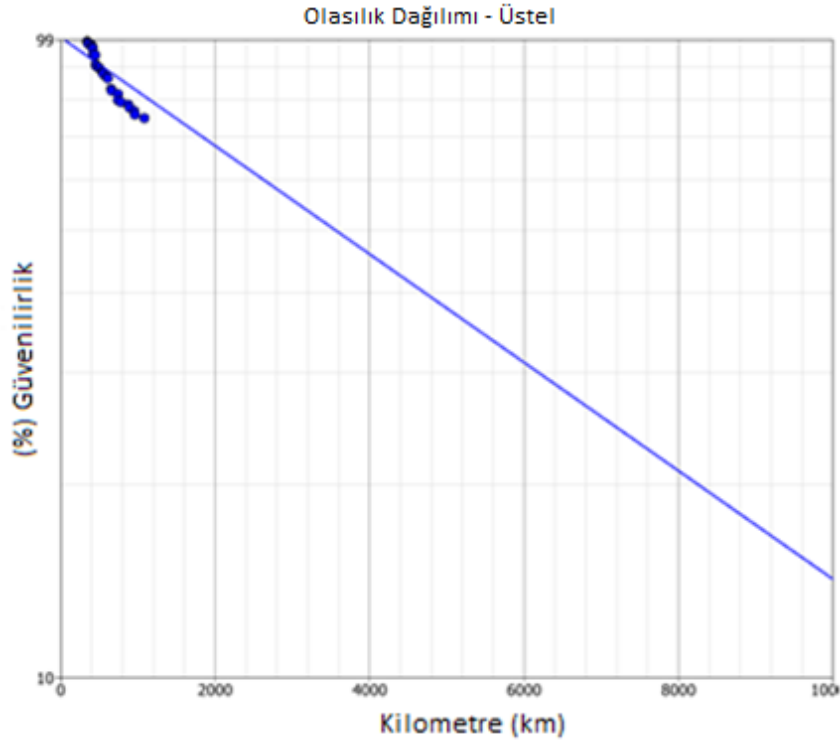
Şekil Ek 2.1: Palet baklası parçası logaritmik grafikte lognormal olasılık dağılımı



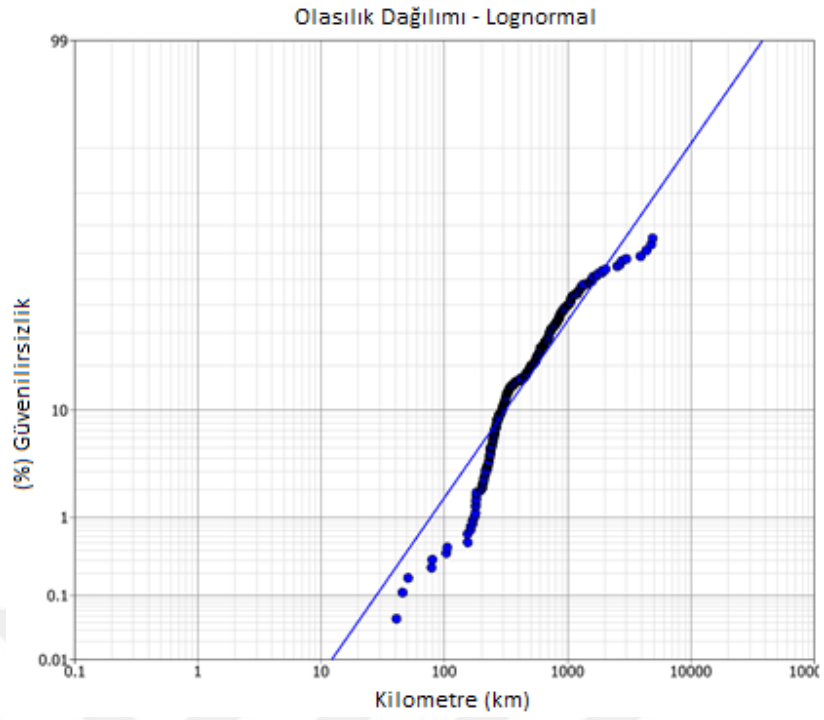
Şekil Ek 2.2: Palet pabucu parçası logaritmik grafikte normal olasılık dağılımı



Şekil Ek 2.3: Yol tekeri parçası logaritmik grafikte lognormal olasılık dağılımı



Şekil Ek 2.4: Yol tekeri destek kolu parçası logaritmik grafikte üstel olasılık dağılımı



Şekil Ek 2.5: Amortisör parçası logaritmik grafikte lognormal olasılık dağılımı

EK 3

Çizelge Ek 3.1: Palet baklası Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Lognormal	4028.7 (3440.0-4718.2)
2	Üstel	8038.1 (7151.5-9038.8)
3	Weibull	2785.3 (2548.5-3044.0)

Çizelge Ek 3.2: Palet pabucu Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Normal	877.9 (850.5-905.3)
2	Weibull	1024.8 (968.5-1084.5)
3	Lognormal	2833.6 (2432.3-3301.2)

Çizelge Ek 3.3: Yol tekeri Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Lognormal	68298.9 (24278.4-192135.5)
2	Üstel	13442.4 (10632.0-17005.1)
3	Weibull	11968.6 (7854.6-18238.6)

Çizelge Ek 3.4: Yol tekeri destek kolu Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Üstel	2781.1 (2341.4-3317.7)
2	Lognormal	3636.6 (2530.1-5227.2)
3	Weibull	2519.6 (2055.7-3088.1)

Çizelge Ek 3.5: Amortisör Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Lognormal	4143.8 (3539.8-4850.8)
2	Weibull	3680.0 (3351.7-4040.4)
3	Üstel	3055.6 (2845.7-3281.1)

Çizelge Ek 3.6: Gergi silindiri Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Weibull	1288.2 (1470.4-1128.6)
2	Lognormal	1389.5 (1692.8-1140.5)
3	Üstel	1536.2 (1934.1-1220.2)

Çizelge Ek 3.7: Cer dişlisi Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Üstel	2235.5 (1440.3-3469.7)
2	Lognormal	1362.6 (1094.6-1696.2)
3	Weibull	1316.0 (1107.3-1564.1)

Çizelge Ek 3.8: Destek tekeri Reliasoft yazılımı olasılık dağılımı önerileri ve MTTF değerleri

Sıra	Programın Olasılık Dağılımı Önerisi	%50 Güven Aralığı MTTF Değeri ve (%90 Güven Aralığı MTTF Değerleri) (km)
1	Normal	688.4 (465.8-910.9)
2	Weibull	1222.7 (495.7-3016.7)
3	Üstel	1761.6 (844.2-3676.0)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmetcan Zeytin
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.02.1991, Ankara
E-posta : mehmetcan.zeytin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2020, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2015-2020	FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.	Tasarım Mühendisi

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Zeytin, M., Acar, E. (2020), Paletli Zırhlı Araçların Süspansiyon Sistemlerinin Saha Verilerine ve HTEA'sına Göre Güvenilirlik Merkezli Bakım Planlaması, Applied Reliability and Durability Conference (ARDC 2020), ANKARA 2020