

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BAKIM ONARIM VERİLERİNİN ANALİZİ

**Hazırlayan
Cafer BABAYİĞİT**

**Danışman
Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BAKIM ONARIM VERİLERİNİN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Cafer BABAYİĞİT**

**Danışman
Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Cafer BABAYİĞİT



“Bakım Onarım Verilerinin Analizi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Cafer BABAYİĞİT

Danışman

Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY danışmanlığında **Cafer BABAYİĞİT** tarafından hazırlanan “**Bakım Onarım Verilerinin Analizi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

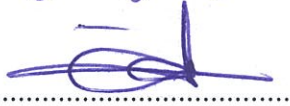
26/07/2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY



Üye : Prof. Dr. M. Duran TOKSARI



Üye : Doç. Dr. Neslihan DEMİREL

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 20.08.2019 tarih ve 2019/48-01 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım boyunca değerli gürüŐ ve katkılarıyla beni yönlendiren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY'a, bu günlere gelmeme katkısı olan bütün hocalarıma ve her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Cafer BABAYİŐİT

Temmuz 2019, KAYSERİ

BAKIM ONARIM VERİLERİNİN ANALİZİ

Cafer BABAYİĞİT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2019
Danışman: Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ÖZET

Gelişen teknoloji ve rekabet ortamında bakım konusuna verilen önem giderek artmaktadır. Endüstride değişen koşullar zamanla bakım anlayışının da değişmesine neden olmuştur. Güvenilirlik merkezli bakım ise bu değişime uyum sağlayan ve sistemdeki bakım gereksinimlerini belirleyen süreçtir. Gerekli görülen bakım işleri ve aralıklarının belirlenmesi için güvenilirlik analizi son derece önemlidir.

Birden fazla tamir edilebilir benzer sistemlerin güvenilirlik analizi yapılırken, hangi analizlerin yapılacağına, trend olup olmadığına bakılarak tekrarlayan veriler için parametrik ve parametrik olmayan modeller kullanarak karar verilir. Parametrik modellere; genel yenileme süreci, homojen Poisson süreci, homojen olmayan Poisson süreci ve birleşik Poisson süreci sayılabilir. Parametrik olmayan modelde de ortalama kümülatif fonksiyon kullanılarak sonuca ulaşılmaya çalışılır.

Bu tez çalışmasında, bir havayolu şirketinin filosunda bulunan uçakların burun iniş takımlarına ait bakım verileri, tekrarlayan veriler için parametrik ve parametrik olmayan model kullanılarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, Tekrarlayan Veri, Homojen Olmayan Poisson Süreci

ANALYSIS OF MAINTENANCE AND REPAIR DATA

Cafer BABAYİĞİT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ABSTRACT

In developing technology and competition environment, the importance of maintenance is increasing gradually. Changing conditions in industry brought about change in the perception of maintenance. Reliability centered maintenance is the process adaptive to this change and the process determining the reliability needs in the system. In order to define the necessary maintenance works and their interval, reliability analysis is highly important.

In doing reliability analysis of more than one repairable similar systems, which analyzes to do are determined by using parametric and non parametric models for recurrent event data considering if it is trend or not. For parametric models, we consider general renewal process, homogeneous Poisson process, non-homogeneous Poisson process and branching Poisson process. In non-parametric model, we try to reach the result by using average cumulative function,

In this thesis work, maintenance data belonging to nose landing gear of planes in an airline company's fleet is analysed by using parametric and non-parametric model for recurrent data.

Keywords: Reliability, Recurrent Data, Non-Homogeneous Poisson Process

İÇİNDEKİLER

BAKIM ONARIM VERİLERİNİN ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Bölüme Giriş.....	3
1.2. Bakım Kavramı ve Türleri.....	3
1.2.1. Plansız (Düzeltilici) Bakım.....	6
1.2.2. Planlı (Önleyici) Bakım.....	7
1.2.2.1. Koruyucu Bakım.....	7
1.2.2.2. Kestirimci Bakım.....	11

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1.Bölüme Giriş	13
2.2. Tekrarlayan Veriler için Parametrik Modeller	14
2.2.1. GRP Model'i	15
2.2.2. Homojen Poisson Süreci	20
2.2.3. Homojen Olmayan Poisson Süreci	22
2.2.4. Bileşik Poisson Süreci	23
2.3. Tekrarlayan Veriler için Parametrik Olmayan Modeller	25
2.3.1. Ortalama Kümülatif Fonksiyon (MCF)	26
2.3.2. MCF için Güven Sınırı	28
2.4. Birden Fazla Tamir Edilebilir Benzer Sistemlerin Güvenilirlik Analizi	29

3. BÖLÜM

BAKIM VERİLERİNİN ANALİZİ

3.1. Problemin Tanımı	31
3.2. Parametrik Olmayan Model - MCF.....	33
3.3. Parametrik Model	35

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuç ve Öneriler	41
-----------------------------	----

KAYNAKÇA	43
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	46
---------------	----

KISALTMALAR

RCM	: Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance)
RDA	: Tekrarlayan Olay Veri Analizi (Recurrent Event Data Analysis)
LDA	: Ömür Hayat Verisi Analizi (Life Data Analysis)
MCF	: Ortalama Kümülatif Fonksiyon (Mean Cumulative Function)
RP	: Yenileme Süreci (Renewal Processes)
GRP	: Genel Yenileme Süreci (General Renewal Process)
PRP	: İdeal Yenileme Süreci (Perfect Renewal Processes)
TRP	: Trend Yenileme Süreci (Trend Renewal Processes)
HPP	: Homojen Poisson Proses (Homogeneous Poisson Processes)
NHPP	: Homojen Olmayan Poisson Proses (Nonhomogeneous Poisson Processes)
MTBF	: Arızalar Arasındaki Ortalama Süre (Mean Time Between Failures)
TTT	: Toplam Test Süresi (Total Time on Test)
SD	: Serbestlik Derecesi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve gerekli önlemler	10
Tablo 3.1. Tezde kullanılan verilere örnek.....	32
Tablo 3.2. Ortalama kümülatif fonksiyon	34
Tablo 3.3. U072 seri numaralı iniş takımı için trend test sonucu.....	35
Tablo 3.4. Bartlett' in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran ki-kare testi	36
Tablo 3.5. Grup trend test sonuçları	36
Tablo 3.6. Kuvvet yasası model parametrelerinin tahminleri	37
Tablo 3.7. Belirli bir uçuş döngüsünde birim başına ortalama arıza sayısı.....	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.2.	Üretim sırasında arıza nedeniyle oluşabilecek duruşlar	9
Şekil 1.3.	Bozulma oranının zamana göre değişimi (Küvet Eğrisi)	9
Şekil 1.4.	Bozulma oranı şematik görünüşü	11
Şekil 1.5.	Kestirimci bakım grafiği	12
Şekil 2.1.	Birimlerin yaşa göre kümülatif fonksiyonu	26
Şekil 2.2.	Kümülatif fonksiyonların nokta tabanlı ortalamaları	27
Şekil 2.3.	Garmabaki'nin önerdiği çerçeve	30
Şekil 3.1.	Ana iniş takımı ve burun iniş takımı örneği	32
Şekil 3.2.	Ortalama kümülatif fonksiyon grafiği	33
Şekil 3.3.	Burun iniş takımlarının emeklilik yaşının gözlemsel birikimli dağılımı	34
Şekil 3.4.	Kuvvet yasasına göre MCF ve %95 güven aralıkları.....	38
Şekil 3.5.	Kuvvet yasası modelinin yoğunluk fonksiyonu	39
Şekil 3.6.	Burun iniş takımının yaşına göre arızalanma olasılığı	40

GİRİŞ

Endüstride teknolojilerin gelişmesiyle birlikte rekabet her geçen gün artmaya başlamıştır. Çoğu karmaşık sistemler olan motorlar, uçaklar, termik santraller, telekomünikasyon sistemleri, bilgisayarlı sistemler gibi birçok sistemde sektörde rekabet edebilmek ve artan maliyetlerin özellikle önüne geçebilmek için çözümler aranmaya başlamıştır. Bu çözümlerin başında, bozulanı kaldırmak, atmak ya da değiştirmek yerine bakım yapmak, tamir etmek ve düzenli kontrol sistemleri geliştirmek gelmektedir.

Gelişen bakım yöntemleri ile güvenli ve ekonomik süreçlerin oluşması endüstrinin ihtiyacı olan rekabet, verimlilik ve müşteri memnuniyetini sağlamada ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla geliştirilen bakım yaklaşımlarından biri de güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımıdır. Başlangıçta sadece havacılık endüstrisinde kullanılan güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımı, zamanla başta imalat sektörü olmak üzere tüm endüstriyel alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Güvenilirlik merkezli bakım genel olarak ekipmanın işlevselliği, arıza nedenleri ve etkileri analizi ve arıza sonuçlarının değerlendirilmesi ile gerekli bakım işlemlerinin ve bu işlemlerin yapılması gereken zaman aralıklarının belirlendiği yöntemdir.

Bu tez çalışmasında tamir edilebilir sistemlerin bakım onarım verilerinin analizi konusu ele alınmış olup tamir edilebilir sistemler için modeller güvenilirlik ölçütleriyle tahmin edilmiştir. Tamir edilebilen sistemlerin güvenli etkin ve ekonomik yönden bu sistemlerden yararlanabilmesi için etkin bir bakım planlama son derece önemlidir. Tamir edilebilen sistemlerin bakım planlarının sürekli kontrol edilip güncellenebilmesi için bakım verilerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Tamir edilebilir sistemlerin bakım verileri tekrarlanan verilerdir ve uygun stokastik modeller kullanılarak analiz edilmelidir.

Bakım onarım verilerinin analizi konu başlığı altında, literatürde bakım konusunda ulaşılabilecek pek çok alt başlık incelenmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde bakım yaklaşımları, bakımın tarihsel gelişimi, uluslararası alanlarda yapılan bazı çalışmalara ilişkin literatür bilgileri, bakım yöntemleri bilhassa güvenilirlik merkezli bakım hakkında genel bilgiler verilmiş ve güvenilirlik merkezli bakımın imalat endüstrisi üzerindeki önemine değinilmiştir. İkinci bölümde ise tekrarlayan verilerin analizi, genel yenileme süreçleri, Poisson süreci ve formülasyonları, parametrik ve parametrik olmayan verilerin analizinde kullanılan fonksiyonlar, tamir edilebilir sistemler ve benzer sistemlerin güvenilirlik analizleri hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır. Üçüncü bölümde bir hava yolu şirketinin filosunda bulunan uçakların iniş takımlarında meydana gelen arızaları ve bu arızalar arasındaki sürelerin analizi ortalama kümülatif fonksiyonla çeşitli testler uygulanarak yorumlanmıştır. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise sonuç ve öneri kısmına yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Bölüme Giriş

Bakım, bir sistemin kendinden beklenen performansı koruyabilmesi için veya arızalan bir sistemi yeniden çalışır hale getirmek için yapılan planlı ve plansız faaliyetler olarak tanımlanmıştır [1]. Bakım planlamada en önemli iki değişken sistem güvenilirliği ve toplam bakım maliyetidir. Sistem güvenilirliği, bir sistemin belirlenen çalışma koşulları altında kendinden beklenen fonksiyonları belirlenen bir süre boyunca yerine getirme olasılığıdır. Toplam bakım maliyeti ise yedek parça, malzeme, işçilik ve arıza durumunda ortaya çıkacak maliyetlerden oluşmaktadır.

Optimum bakım planı bulunurken ya maliyet belli bir güvenilirlik kısıtında minimize edilir veya güvenilirlik belli bir maliyet kısıtında maksimize edilir. Nükleer santraller, uzay araçları, uçaklar veya askeri sistemler gibi felakete sonuçlanacak arıza ihtimalleri olan sistemlerde bakım planlamada güvenilirliğin maksimize edilmesi öne çıkar.

Mevcut olan bakım planı altında tamir edilebilen sistemlerin güvenilirliği belirlenirken bakım verileri analiz edilir. Bakım verilerinin analizlere elverecek detayda ve doğrulukta tutulması son derece önemlidir. Bakım verileri tekrarlanan olayların verileridir ve bu tip verilerin analizinde kullanılan stokastik modeller ikinci bölümde özetlenmiştir. Aşağıda bakımla ilgili genel bilgiler verilmiştir.

1.2. Bakım Kavramı ve Türleri

Bakım faaliyetlerinin bugüne kadar geçmişi üzerinde biraz araştırma yapıldığında bakım kavramlarına, endüstride meydana gelen sürekli gelişim ve değişimler, işletmelerin bakım faaliyetlerinden beklentileri, bakım maliyetlerinin giderleri karşılama

oranı, bakım yöntem ve tekniklerindeki gelişmelerin etki ettiği ve yön verdiği görülmektedir.

Bakım kavramları ve yaklaşımları genelde sanayi devriminden sonra teknik ve bilimde meydana gelen değişimlerle ortaya çıkmıştır. Sanayi devrimini temel aldığımızda II. Dünya Savaşı'na kadar olan zamanda teknoloji ve endüstrideki gelişmelerin başlangıç evresinde olduğunu söyleyebiliriz. Henüz tam oturmamış ve kavram ve sistemlerin başta seri üretim olmak üzere yeni yeni kendini hissettirdiği ve makinadan çok insan gücüne dayanan üretim sistemlerinin olduğu dönemlerde ani bozulmalara karşı o anda yapılan geçici bakımlarla cevap veriliyordu. Plansız bakım olarak adlandırılan bu bakım, bozulduğunda tamir et ya da düzelt şeklinde karşımıza çıktığından düzeltici bakım olarak da adlandırılmaktadır. Tedarik zincirindeki gelişmelerin ve ulaşımın zor olduğu ve dar pazarlama ağının olduğu bu dönemde müşteri taleplerinin de az olması arızaların hemen onarılması dolayısıyla duruş sürelerinin azaltılması gibi kavramlara da gerek duyulmamasına neden olmuştur. Zaten kullanılan teknoloji ve donanımın basit olması bakım ve tamiri kolaylaştırdığı gibi yapılan bakımlarında genel temizlik, basit yağlama ve parça değişimlerinden ötesine geçmemekteydi.

Savaş dönemi olarak da adlandırdığımız II. Dünya Savaşı dönemi ile birlikte ihtiyaçtan dolayı gelişen savaş sanayisi ve teknolojisi diğer endüstri kollarının da gelişmesi yolunu açmıştır. Ekonominin büyük önem kazandığı o dönemlerde işletmeler düşük maliyetle daha uzun soluklu üretim ve daha çok dayanabilen uzun ömürlü makinalar üzerine yoğunlaşmıştır. Daha teknik ve karmaşık makinalarla kurulmaya başlanan sanayi kollarında, müşteri taleplerinin de artmasıyla ihtiyaca cevap verme konusundaki hassasiyetler duruş sürelerinin azaltılmasına dolayısıyla arızaların olmadan önce önlenbilmesine olan ihtiyacı doğurmuştur. Önleyici bakım olarak da adlandırılan bu bakım yöntemi, fabrikaların iskeletini oluşturan ana sistemlerin uygun aralıklarla kontrol edilerek bakımlarının yapılmasını kapsamaktadır. Planlı bakım olarak da adlandırılan bu bakım yönteminde artan bakım maliyetlerini azaltmak ve müşteri taleplerini zamanında karşılamak için bakım yönetim sistemleri geliştirilmiş ve bakımlar kontrol altına alınmaya başlanmıştır.

Savaş yıllarından sonra endüstri, savaş sanayinden sıyrılarak insan ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik sanayi kollarının hızla kurulmasına ağırlık vermiştir. Gelişen ve

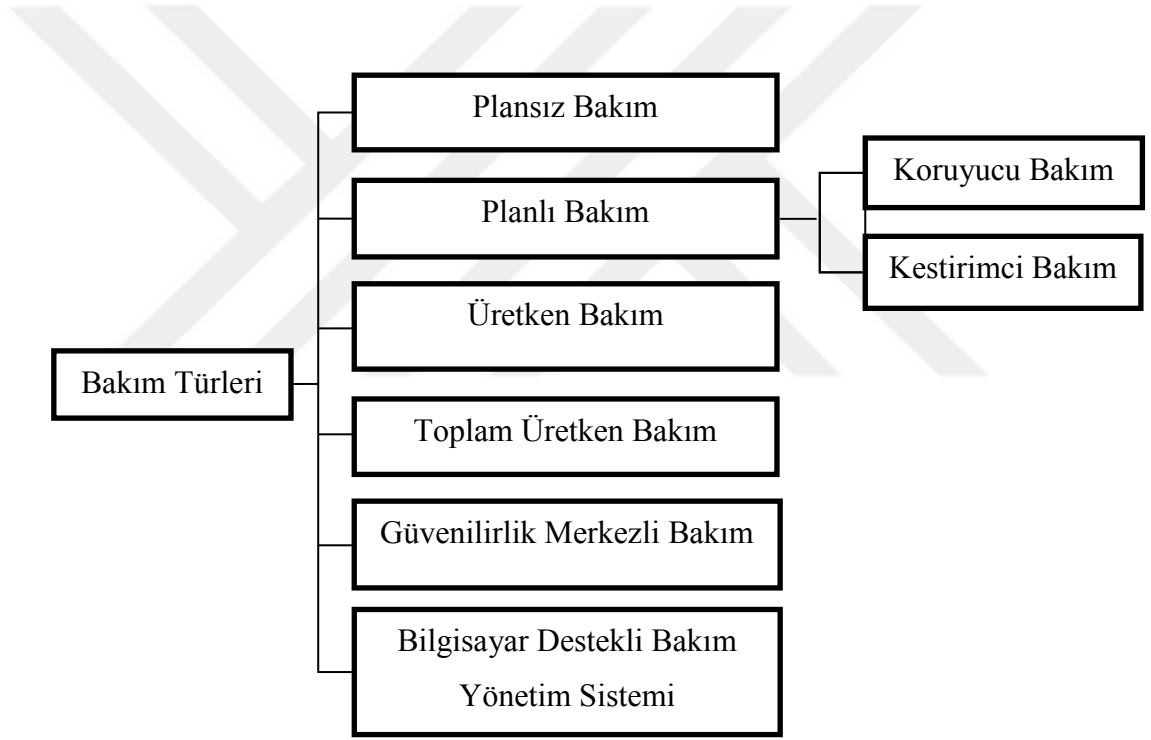
büyümeye başlayan sanayi kolları insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla farklı üretim sektörleri ve yöntemleri geliştirmeye başlamıştır. Fabrikalarda artık üretimde etkinlik, güvenlik, güvenilirlik, kaliteli ürün, düşük maliyet, verimlilik, çevre dostu, müşteri memnuniyeti ve uzun makine ömrü gibi kavramlar ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu gelişmeler üretken bakım kavramının oluşmasını sağlamıştır. Üretken bakım makinalarda oluşan arızaların tekrardan meydana gelme ihtimalini düşüren, makinaların eski haline gelmesini sağlayan ve tasarım aşamasından itibaren tüm bakım sürecini içine alan bir yöntem olarak tanımlanabilir [2].

70'li yıllarda mühendislik ve ekonomi alanında meydana gelen gelişmeler, toplam üretken bakım kavramını ortaya çıkarmıştır. Toplam üretken bakımda, fabrikada bütün çalışanların bakım çalışmalarının birer unsuru olarak bakım faaliyetlerine katılımı sağlanmıştır. Bu yöntemle, çalışanların makinalarını tanımaları, sahiplenmeleri ve sorumluluk almaları sağlanarak hem bakım konusunda arızalara zamanında ve yerinde müdahaleler sağlanmış hem de eğitilmiş ve kalifiye eleman oluşturularak dışardan sağlanacak bakım hizmetlerinin maliyeti düşürülmüştür. Bu uygulama ile çalışanın işletmeye aidiyeti artırılmış aynı zamanda arızaların tamamen ortadan kaldırılması, üretimin sürekliliği, makine verimliliği ve ömrünün artırılması, ürün kalitesinin artırılması ve üretim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır.

Küreselleşen dünyada gelişen teknoloji, endüstri, karmaşıklaşan tesisler, fabrikalar, sistemler ve makinalar bakım yapılmasını ve bakımın kontrol altında tutulmasını zorlaştırmıştır. Bu da bakımın öneminin artmasına ve bakım faaliyetlerine ayrılan bütçenin azımsanmayacak seviyelere gelmesine neden olmuştur. İşletmeler, bakım maliyetlerini düşürmek ve gelişen ve değişen bakım yöntemlerine cevap verebilmek için yeni bakım teknikleri oluşturmaya ve aramaya başlamışlardır. Yeni sistemin hızlı, etkin, çevreye duyarlı, düşük maliyetli ve verimli bir bakım sistemi olması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen bakım türlerinden biri de güvenilirlik merkezli bakımdır. "Güvenilirlik Merkezli Bakım" (RCM: Reliability Centered Maintenance) ilk olarak Amerika'da hava sanayinde kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen daha sonra birçok endüstri kolunda aktif olarak yerini almıştır. Güvenilirlik merkezli bakımı, bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan, ürün ve süreçlerdeki var olan olası hatalara ve sorunlara karşı önlem almak için oluşturulan süreç olarak tanımlanabilir [2].

Çağımız teknolojisi olan, artık her alanda hızla kullanılmaya başlanan ve neredeyse olmadığı bir yer düşünilemeyen bilgisayar ve yazılım teknolojileri üretim sistemlerinde varlığını artırarak hissettirmektedir. Endüstride birçok faaliyetin düzenlenmesinde olduğu gibi bakım faaliyetlerinin de düzenlendiği, takip edildiği, planlandığı, geliştirildiği, raporlandığı ve kontrol edildiği bir bilgisayar destekli bakım yönetim sisteminin ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. Bakım yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir ögesi olan bilgisayar destekli bakım yönetimi son zamanlarda bakım alanında en çok çalışma yapılan üzerinde durulan konu olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

Bakım yöntemleri Şekil 1.1’de verilen biçimde sınıflandırılabilir.



Şekil 1.1. Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması [2]

1.2.1. Plansız (Düzeltilici) Bakım

Bakım kavramının ortaya çıktığı ilk dönemlerde sistemlerin ve makinaların basit olması, yapılan bakım yöntemlerinin de basitleşmesini sağlıyordu. Bozulan bir sistemin veya aletin düzeltilmesi ve çalışır hale getirilmesi şeklinde ortaya çıkan plansız bakım, adından da anlaşılacağı üzere arızanın ne zaman ve nasıl ortaya çıkacağı belirlenemediğinden bakım planlamasının olmadığı bir yöntemdir. Plansız bakım

genellikle duruşların önem arz etmediği ve malzeme veya makina tedarikinin kolay olduğu ya da yeterince stoklama alanlarına sahip ve stoklama problemi olmayan sistemlerin tercih ettiği bir yöntemdir. Her geçen gün giderek kullanım alanı azalan ve işletmeler tarafından artık pek tercih edilmeyen bir yöntemdir [3].

1.2.2. Planlı (Önleyici) Bakım

Düzeltilici bakımın fayda sağlamadığı sistemler bu yöntemi terk ederek beklenmeyen duruş sürelerini azaltmak, makine kullanım süresini artırmak ve oluşan malzeme stok maliyetlerini en aza indirmek gibi nedenlerle planlı bakım yöntemini tercih etmeye başlamışlardır. Planlı (önleyici) bakımda, arızanın oluşması beklenmeden belirli bir plana göre genel bakım, yenileme, yağlama gibi işlemler yapılarak makinanın daha uzun kullanılması yani daha geç arıza vermesi sağlanmaktadır. Burada amaç ani ve beklenmedik arızaların önüne geçip acil bakım ihtiyaçlarını en aza indirmektir.

Planlı bakım uygulamalarından gerekli faydayı sağlamak ve düzgün bir şekilde yapabilmek için tesiste bulunan sistem, makine, parça ve araç gereçler hakkında eğitimini almış, yeterli bilgi ve deneyime sahip olan uzman kişiler tarafından ve belirlenen periyotlarda yapılması gerekmektedir.

Planlı bakımın amaçları arasında, makinaların beklenmeyen duruşlarını azaltarak üretim artışını sağlamak, üretim planlarının gerçekleşmesini sağlamak, makinaların ekonomik ömrünü uzatmak, ekipmanın sağlıklı çalışması nedeniyle ürünlerde oluşacak hurdada azalma sağlamak, arıza hasarlarından kaynaklı onarım giderlerini azaltmak, yüksek kalite ve düşük bakım maliyeti elde etmek sayılabilir [4].

Planlı bakım, muayene (kestirimci) ve zaman (koruyucu-periyodik) esaslı bakım yaklaşımı olarak iki şekilde uygulanabilmektedir. Kestirimci bakım yaklaşımı ile bakım-onarım gereksinimi olup olmadığı belirlenmektedir. Koruyucu yaklaşımda ise gerekli bakım ve yenileme faaliyetleri yapılmaktadır [2].

1.2.2.1. Koruyucu Bakım

İmalat sektöründe en çok tercih edilen bakım yöntemi olan koruyucu bakım, üreticiler ve uzman kişilerce yapılan tetkikler sonucunda belirlenen bakım programının yetkili kişilerce periyodik olarak uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Periyodik

uygulamalarda genellikle yağlama, temizlik genel bakım, revizyon gibi işlemler yapılmaktadır. İyi uygulanan koruyucu bakım planı sistem etkinliğini ve ekipman devamlılığını artırır.

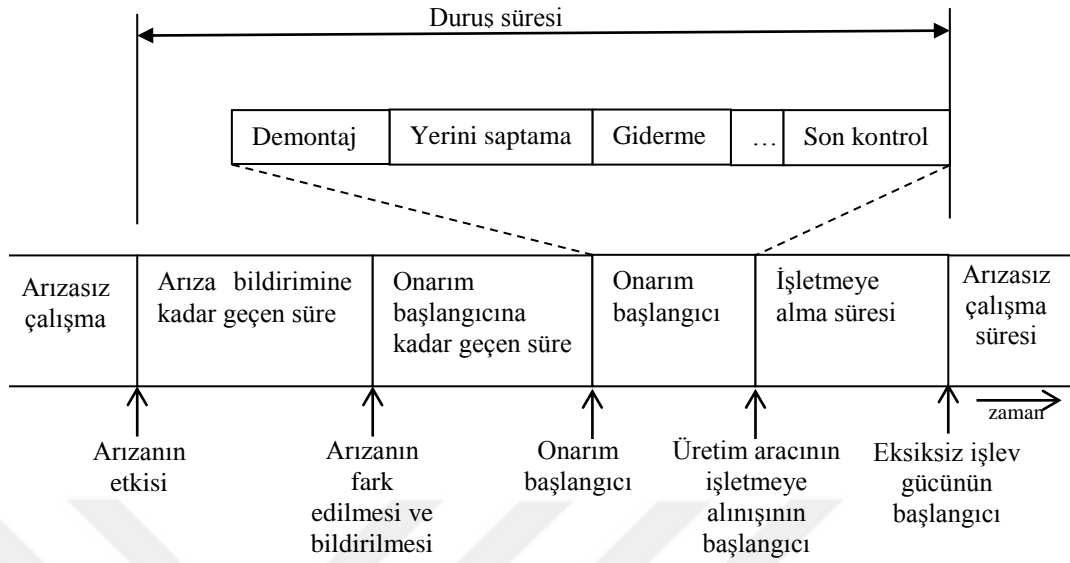
Koruyucu bakımın amaçları, ekipmanı her zaman üretim için hazır bulundurmak, makinaların bekleme sürelerini en küçükleyerek üretim artışına katkı sağlamak, ekipmanların kullanım ömrünü uzatmak, arızalanmalarını azaltmak, üretim maliyetini azaltmak, hatasız ve istenilen zamanda ürün elde etmek, kaliteyi artırmak şeklinde sıralanabilir.

Koruyucu bakımda arızaların önüne geçebilmek için makina ve araç gereçlerin periyodik muayenesi, izlenmesi ve önleyici önlemlerin alınması, uygun şekilde yağlanması, temizlenmesi ve boyanması, gerekli kalibrasyonların ve ayarların yapılması, gerekli görülen yerlerde programlı parça değişimlerinin yapılması gibi çalışmalar üzerinde durulmaktadır.

Koruyucu bakımda, hangi işlemlerin yapılacağı, hangi parçaların değiştirileceği, nasıl bir işçilik yapılacağı makinaların önceki çalışmalarına bakılarak karar verilir. Bakım maliyetleri üretimde önemli bir yer tutmaktadır ancak üretim duruşlarından kaynaklanan maliyetler bakım maliyetlerinden çok yüksektir. Bu yüzden yerinde bir bakım uygulaması işletme maliyetlerinin en aza indirilmesini sağlayacaktır.

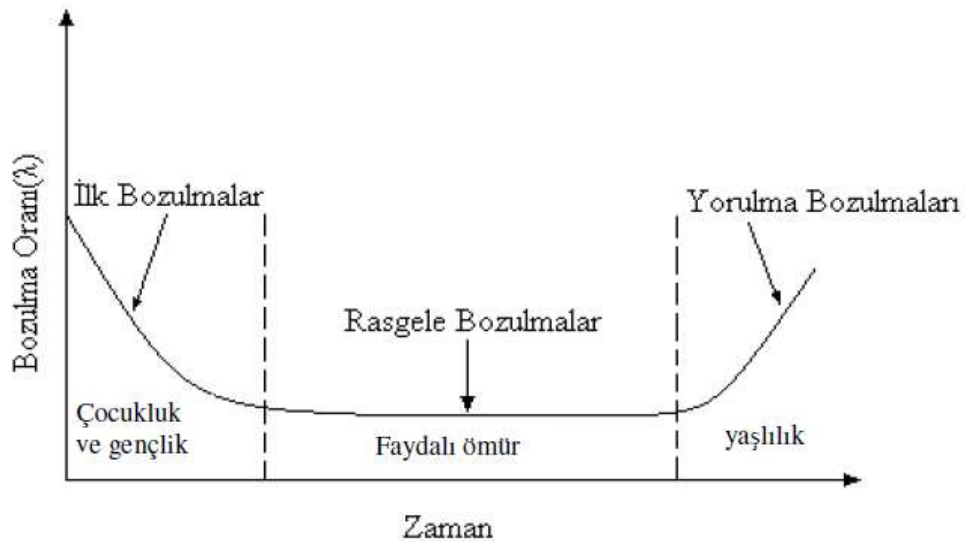
Koruyucu bakımın avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Örneğin, her ne kadar beklenmeyen arızaların önüne geçmek için bakım uygulansa ve tedbirler alınsa da yine de düşük bir ihtimalde olsa beklenmeyen arızalar olacaktır bu da bakım ekibini zor durumda bırakarak üretim planında bozulmalara neden olabilecektir. Böyle durumlarda ekstra bakım maliyeti ve bakım elemanı ihtiyacı ortaya çıkarabilir. Ayrıca oluşan arızaya hemen cevap verebilmek için birçok malzemenin stokta hazır bulundurulması gerekmektedir. Bu durum da stoklama ya da yedek parça sorununu meydana getirmektedir. Bakımlar esnasında değiştirilen parçaların sisteme uyumu problemi de yaşanmakta ve bu durum üretimde hatalı ürün ve boşa geçen zaman oluşturmaktadır her ne kadar geçici bir süreyle de olsa bu durumun minimize edilmesi gerekmektedir [5].

Üretim sırasında oluşan arızalardan kaynaklanan duruşların gösterimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Üretim sırasında arıza nedeniyle oluşabilecek duruşlar [6]

Bakım planları hazırlanırken uygun bakım aralığının belirlenmesi verimliliği artıracaktır. Bunun için literatürde küvet eğrisi olarak da belirtilen ifade, ekonomik ömür içindeki bozulma oranı fonksiyonunu vermektedir. Küvet eğrisi bozulma oranı fonksiyonu Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Bozulma oranının zamana göre değişimi (Küvet Eğrisi) [2]

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere parça ömrü çocukluk ve gençlik dönemi diye tabir edilen bölgede alışma sürecini atlatana kadar ilk bozulmalardan kaynaklı bozulma oranı

yüksektir. Daha sonra sistem oturdukça bozulma oranı azalmaktadır. Faydalı ömür diye tabir edilen bölgede ani bozulmalar dışında genellikle sabit bir bozulma oranı mevcuttur ve bu bölge ekipman verimliliğinin en üst noktaya çıktığı bölgedir. Yaşlılık yani son evre olan yıpranma döneminde ise bozulma oranı zamanla giderek artmaktadır. Bu dönemlerin hepsinde arıza nedenleri farklı olduğundan hepsinde uygulanacak önlemler de farklılık göstermektedir [7].

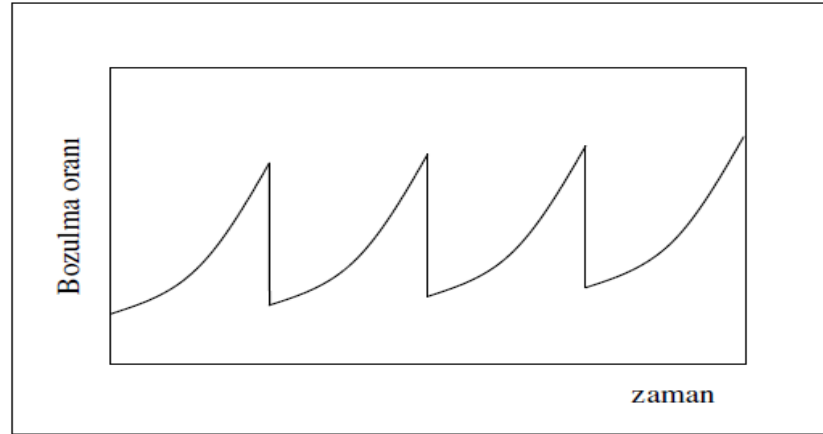
Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve önlemler Tablo 1.1’de bir bütün halinde sunulmaktadır.

Tablo 1.1. Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve gerekli önlemler [2]

Sınıflandırma	Neden	Önlem
Çocukluk ve Gençlik dönemi	Tasarım ve imalat hataları	Test ve denemeler
Faydalı Ömür Dönemi	İşletme hataları	Makine kullanıcıları eğitimi
Yaşlılık Dönemi	Aşınma yıpranma ve malzeme yorulması	Önleyici ve üretken bakım

Tablo 1.1’de de verilen çocukluk ve gençlik dönemindeki bozulmaların nedeni, tasarım ve imalat hatalarıdır. Bu arızalar başlangıçta gerekli testler ve denemeler yapılarak önlenmektedir. Ani arızaların olduğu faydalı ömür döneminde makine başındaki kullanıcılar eğitilerek daha dikkatli olmaları sağlanabilir. Artık yaşlılık döneminde ömrünün sonuna gelen ekipmanlar sık sık arızalanmaya başlar bu tür arızalanmalar önleyici ve üretken bakım yöntemleriyle giderilerek eski haline getirilebilir.

Bu durum Şekil 1.4’te gösterilmektedir. Bozulma oranı zamanla artan sistemlere uygun bakım yöntemleri uygulanarak eski halini alması sağlanabilir [8].



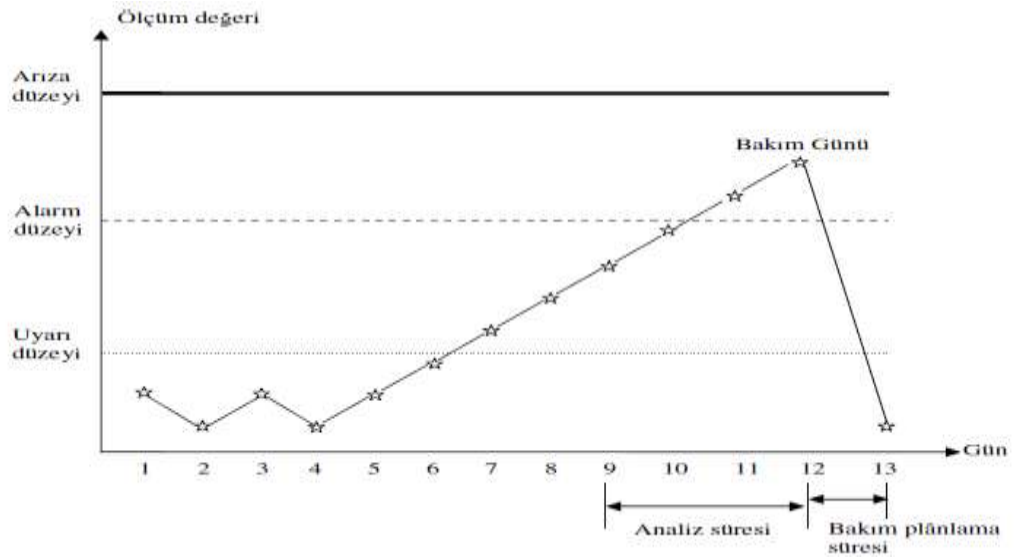
Şekil 1.4. Bozulma oranı şematik görünüşü [8]

1.2.2.2. Kestirimci Bakım

Periyodik bakım uygulamalarının avantajlarının yanında dezavantajlarının da olduğu koruyucu bakım başlığı altında verilmişti ve periyodik bakımda tüm önlemlere rağmen beklenmeyen arızaların olduğu ve bunun önüne geçilemediği sunulmuştu. Hızla gelişen bakım teknikleri ve mühendislik yöntemleri ile yönetimlerin arızaları sıfıra indirme çabaları, farklı kavram ve yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunlardan bir tanesi de kestirimci bakımdır.

Kestirimci bakım, daha önce periyodik bakımla ve diğer bakım yöntemleriyle elde edilen bulgular ile ekipmanın şu andaki durumu yeni tekniklerle analiz edilerek ve incelenerek oluşturulan verilerle ne zaman arıza yapma olasılığının yüksek olduğunu tahmin etmeye çalışmak ve bunun için gerekli önlemleri alarak makinaya arıza yapmadan önce müdahale etmek şeklinde tanımlanabilir. Kestirimci bakımla tahmin edilen potansiyel arızalar için önlem alınarak gerekli parça temini önceden yapılır ve üretimde arızadan kaynaklı büyük duruşlar yerine kısa süreli duruşlarla üretimin devamlılığı sağlanır. Ayrıca parça bozulmalarının önüne geçilerek bozulan parçaların sistemin diğer parçalarına da etki ederek sistemde büyük çaplı bir arıza oluşumunun önüne geçilebilmektedir. Bu durum, hem parça maliyetinden hem de uzun duruşlar ve zaman kaybından tasarruf anlamına gelmektedir. Kestirimci bakım sistemi uygulanırken, ölçme kontrol, analiz ve değerlendirme, bakım planlama ve bakım-onarım şeklinde dört aşama gerçekleştirilmektedir [7].

Kestirimci bakımın amacı, sık sık ve gereksiz yapılan bakımların önüne geçilerek nokta müdahalelerle arıza oluşumunu engellemek, sistem güvenliğini artırmak, bakım sayısını azaltmak ve dolayısıyla bakım maliyetlerini azaltmak şeklinde sıralanabilir [9]. Kestirimci bakım grafiği Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Kestirimci bakım grafiği [10]

Kestirimci bakımın faydaları, beklenmeyen arızaların minimuma indirilmesi, bozulmadan kaynaklı oluşacak diğer parça arızalarının önüne geçilmesi, sık sık yapılan bakımlardan kaynaklı oluşacak zaman kaybının ve ekstra bakım maliyetlerinin önlenmesi, üretime ayrılan sürenin artmasıyla beraber üretimde artışlar, makine ömrünün artması, hurda malzeme ve yedek parça stoklarının azalması ve işletme güvenliğinin her geçen gün artması şeklinde sıralanabilir [11].

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Bölüme Giriş

Tekrarlayan olaylarda veri analizi (Recurrent Event Data Analysis (RDA)) güvenilirlik, tıp, sosyal bilimler, ekonomi, iş dünyası ve suçbilimi gibi çok sayıda uygulamalı alanda kullanılmaktadır. Ömür verisi analizinde (life data analysis (LDA)) verilerin bağımsız ve özdeş dağılıma sahip oldukları kabul edilse de, bağımlı olan ve özdeş dağılım göstermeyen durumlar (onarılabilir sistem verileri) veya analizi yapan kişinin ilk olayın ortaya çıkma zamanının uzunluğu yerine ilgili zaman zarfında ortaya çıkan olayların sayısının modellenmesine yöneldiği durumlar da vardır. Bu tür verilerin analiz edilmesi için hem parametrik hem de parametrik olmayan yaklaşımların kullanımına imkân veren yazılımlar mevcuttur.

Parametrik olmayan yaklaşım, yaygın olarak bilinen ortalama kümülatif fonksiyon (Mean Cumulative Function(MCF)) üzerine kurulmuştur. Bu tip analizler için kullanılan Weibull++ yazılım modülü MCF hesaplamaları ve uygulamaları üzerine pek çok eser vermiş olan Dr. Wayne Nelson'a ait çalışmalar ile bağlantılı olarak oluşturulmuştur [12].

Parametrik yaklaşım, özellikle eskiyen bir sisteme yapılan bakımın etkilerini anlamaya yarayan genel yenileme süreci (General Renewal Process (GRP)) ile bağlantılıdır. Geleneksel olarak, tamir edilebilir sistemlere ait verilerin analizi için sıklıkla kullanılan modeller mükemmel bakıma karşılık gelen ideal yenileme süreci (perfect renewal processes (PRP)) ve minimal bakıma karşılık gelen homojen olmayan Poisson prosesleridir (nonhomogeneous Poisson processes (NHPP)). Bununla birlikte, bakım aktivitelerinin pek çoğu gerçek hayatta bu tür uç sonuçlar vermeyebilir ancak GRP modeli ile daha iyi hale getirilen orta seviyeli bir sonuç ortaya çıkacaktır.

2.2. Tekrarlayan Veriler İçin Parametrik Modeller

Weibull++ yazılımına ait olan parametrik RDA eklentisi tekrarlayan olaylara ait verilerin modellenmesinde kullanılan yazılımsal bir araçtır. Eğilimi yakalayabilir, oranları tahmin edebilir ve tekrarlamalara ait toplam sayıyı ön görebilir. Tamir edilebilir bir sisteme ait arızalanma ve tamir verileri tekrar eden verilerin bir tipi olarak ele alınabilir. Geçmişte olan ve güncel tamirlerin, geleceğe ait arızalanma süreçlerini etkilemesi muhtemeldir. En sık tekrar eden olaylarda, zaman en önemli faktördür. Zamanla, tekrar etme oranı sabit kalabilir, artabilir veya azalabilir. Diğer tekrar eden olaylarda, sadece zaman değil ayrıca olay sayısı da tekrar etme sürecini etkilemektedir (yazılım geliştirme sürecinde hata ayıklama sürecidir).

Mettas ve Zhao [13] tarafından ele alındığı gibi parametrik analiz yaklaşımı genel yenilenme süreci (GRP) modeli için kullanışlı olacaktır. Bu modelde, tamir süresinin ihmal edilebilir kabul edilmesinden dolayı bu süreç nokta süreci olarak görülebilir. Bu model, tamir edilebilir sistemlerden elde edilen verilerde olduğu gibi ilgili süre boyunca olayın ortaya çıkış oranını belirlemek için imkân vermektedir. Bu model özellikle, özgül bir sistemin arızalanma davranışlarının modellenmesinde ve gerçekleşecek tamirlerin bu sisteme ait yıpranma yaşına olan etkilerini anlamakta faydalıdır. Örneğin, tamirin sistemi yenisi kadar iyi olamadığı veya eski hali (arızanın tamir edilmediği) kadar kötü olan bir arızalanma sonrası tamir edilen bir sistemi ele alalım. Başka bir deyişle, tamir sonrası sistem kısmen kullanılabilir hale gelmiştir. Klasik olarak, sistemin eski arızalı hali kadar kötü sonuçlanan tamirlerde, minimal tamirler olarakta bilinen durumlarda, böyle bir sistemden elde edilen arıza verileri homojen Poisson süreci (HPP) veya homojen olmayan Poisson (NHPP) süreçleri kullanılarak modellenebilmektedir.

Sistemin tamir sonrası neredeyse yeni sistem kadar iyi hale geldiği, ideal yenilenme süreci (PRP) olarak da bilinen durumlar gibi nadiren karşılaşılan durumlarda, bir Weibull dağılımı kullanılabilir. Bununla birlikte, her ne kadar literatürde pek çok model önerilmekteyse de tamir sonrası ara ürün fazında ticari olarak uygun bir model bulunmamaktadır. Weibull++ yazılımında, GRP modeli kısmi yenilenmesi sağlanan sistemlerin modellenmesine imkân vermekte ve güvenirlilik, beklenen arıza gibi tahmin çeşitlerinin yapılmasını sağlamaktadır.

2.2.1. GRP Model'i

Bu modelde, fiili yıpranma yaşı konsepti açıklanmaktadır. Kabul edelim ki; t_1, t_2, \dots, t_n ardışık arıza adedini gösterecek ve x_1, x_2, \dots, x_n arızalanmalar arasındaki zamanı gösterecek ($t_i = \sum_{j=1}^i x_j$) Her bir olaydan sonra yapılan işlemin sistem performansını artırdığı kabul edilir. Kabul edelim ki q değeri işlem etkinlik faktörü olsun. Bu durumda iki GRP modeli ortaya çıkacaktır:

$$\text{Tip I: } v_i = v_{i-1} + qx_i = qt_i \quad (2.1)$$

$$\text{Tip II: } v_i = q(v_{i-1} + x_i) = q^i x_1 + q^{i-1} x_2 + \dots + qx_i \quad (2.2)$$

Burada v_i i 'inci tamirden (i kez yapılan tekrardan hemen sonra) hemen sonra sisteme ait olan fiili yıpranma (virtual age) yaşıdır. Tip I modeli, i 'inci tamirin ($i-1$)'inci tamirden önce oluşacak hasarı gideremeyeceğini öne sürmektedir. Bu tamir ancak fazladan yıpranma yaşı x_i 'nin qx_i 'ye düşmesini sağlayabilir. Tip II modeli; i 'inci tamirde fiili yıpranma yaşının $v_{i-1} + x_i$ toplamı haline gelmekte olduğunu savunmaktadır. i 'inci tamir fiili yıpranma yaşını $q(v_{i-1} + x_i)$ 'ye düşürerek, hem güncel hem de daha önce gerçekleşmiş olan arızalardan kaynaklanan kümülatif hasarı ortadan kaldıracaktır.

Güç kanunu (Power law) fonksiyonu tekrarlanma oranını modellemek için kullanılır, bu fonksiyon şu şekildedir:

$$\lambda(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} \quad (2.3)$$

koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(t_i | t_{i-1}) = \lambda\beta (x_i + v_{i-1})^{\beta-1} e^{-\lambda[(x_i + v_{i-1})^\beta - v_{i-1}^\beta]} \quad (2.4)$$

En çok olabilirlik metodu, modele ait parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Logaritmik olabilirlik fonksiyonu Mettas and Zhao [13]'ün çalışmasında da ele alınmıştır.

$$\ln(L) = n(\ln\lambda + \ln\beta) - \lambda \left[(T - t_n + v_n)^\beta - v_n^\beta \right] - \lambda \sum_{i=1}^n \left[(x_i + v_{i-1})^\beta - v_{i-1}^\beta \right] + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i + v_{i-1}) \quad (2.5)$$

Burada n tüm gözlemeleme periyodu boyunca gerçekleşen olayların toplam sayısıdır. T gözlemeleme süresinin sona erme zamanıdır. Son olaydan hemen sonra gözlemeleme sonlanırsa $T = t_n$ olur.

Güven sınırları, genel olarak yıpranma yaşını (virtual) elde etmek için her bir olayın kesin olarak ortaya çıkma sayısını (arızalanma) gösteren verilere dayanmaktadır (Tip I ve Tip II modellerine ait eşitliklere bakınız). Bununla birlikte, ilgili olaylar ortaya çıkana kadar sayı bilinemez. Bu nedenle, arızalanma adedi ve yıpranma yaşının bir fonksiyonu olan toplam arızalanma sayısı ve arızalanma sıklığının kapalı form bir açıklaması, denklemi yoktur (kapalı form açıklama sınırlı bir uzay için geçerli olan denklem). Bu nedenle farklı yazılım simülasyonlarından elde edilen yaklaşık güven sınırları kullanılmıştır. Model parametrelerinin belirsizliği de sınırlar içinde ele alınmıştır.

Kümülatif arıza (olay) sayısına ait sınırlar: Kümülatif arıza sayısının varyansı $N(t)$:

$$\text{Var}[N(t)] = \text{Var}[E(N(t)|\lambda, \beta, q)] + E[\text{Var}(N(t)|\lambda, \beta, q)] \quad (2.6)$$

İlk terim parametre tahmin belirsizliğine karşılık gelir. İkinci terim, belirsizliği model parametreleri sabitlense bile yenilenme süreci tarafından yapıldı varsayar. Ama $q=1$ olmadıkça $E(N(t))$, λ , β ve q 'nun kapalı form fonksiyonu olarak ifade edilemeyeceği için $\text{Var}[E(N(t)|\lambda, \beta, q)]$ hesaplanamaz. $\text{Var}[E(N(t)|\lambda, \beta, q)]$ parametre tahminin belirsizliğini tahmin etmek için;

$$\text{Var}[E(N(t)|\lambda, \beta, q)] = \text{Var}[E(N(v_t)|\lambda, \beta)] = \text{Var}[\lambda v_t^\beta] \quad (2.7)$$

Burada v_t için, t zamanında yıpranma yaşı ve $\text{Var}[\lambda v_t^\beta]$ tahmin edilir:

$$\text{Var}[\lambda v_t^\beta] = \left(\frac{\partial(\lambda v_t^\beta)}{\partial \beta} \right)^2 \text{Var}(\hat{\beta}) + \left(\frac{\partial(\lambda v_t^\beta)}{\partial \lambda} \right)^2 \text{Var}(\hat{\lambda}) + 2 \frac{\partial(\lambda v_t^\beta)}{\partial \beta} \frac{\partial(\lambda v_t^\beta)}{\partial \lambda} \text{Cov}(\hat{\beta}, \hat{\lambda}) \quad (2.8)$$

Bu yaklaşımı uygulayarak λ ve β 'nin belirsizliği göz önünde bulundurulur. v_t değeri ve arıza sayısının varyans denklemindeki ikinci terim değeri, $\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{q}$ parametreleri kullanılarak elde edilir. Hataların kümülatif sayısını tahmin etmek için $\hat{N}(t) = E(N(t)|\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{q})$ denklemini kullanır.

$N(t)$ 'nin tahmini değeri ve varyansı elde edilince, $N(t)$ lognormal olarak dağıtıldığı varsayılarak sınırlar hesaplanabilir.

$$\frac{\ln N(t) - \ln \hat{N}(t)}{\sqrt{\text{Var}(\ln N(t))}} \sim N(0,1) \quad (2.9)$$

Verilen güven seviyesi α 'nın alt ve üst sınırları şöyle hesaplanır.

$$N(t)_{U,L} = \hat{N}(t) e^{\pm z_{\alpha} \sqrt{\text{Var}(N(t))/\hat{N}(t)}} \quad (2.10)$$

z_{α} standart normal dağılımdır. $N(t)$ normal dağılım olarak kabul edilirse, sınırlar şöyle hesaplanır;

$$N(t)_U = \hat{N}(t) + z_{\alpha} \sqrt{\text{Var}(N(t))} \quad (2.11)$$

$$N(t)_L = \hat{N}(t) - z_{\alpha} \sqrt{\text{Var}(N(t))} \quad (2.12)$$

$N(t)_U$ lognormal ve normal dağılım yaklaşımından elde edilen üst sınırdan küçüktür. $N(t)_L$ lognormal ve normal dağılım yaklaşımından elde edilen daha düşük sınırların en büyüğüne ayarlanır. Bu birleştirilmiş metot bazı küçük t değerlerinde sınırların erişim değerlerini engelleyebilir. Bu birleştirilmiş metot bazı küçük t değerlerine ait sınır değerlerinin kapsamı dışına çıkmasını engelleyebilir.

Kümülatif Arıza Yoğunluğunun Sınırları ve MTBF: Verilen bir t zamanında kümülatif MTBF değeri $m_c(t)$ ve kümülatif arıza yoğunluğu $\lambda_c(t)$ şu formüllerle hesaplanır.

$$\hat{\lambda}_c(t) = \frac{\hat{N}(t)}{t}; \hat{m}_c(t) = \frac{t}{\hat{N}(t)} \quad (2.13)$$

Bahsi geçen sınırlar, ilgili $N(t)$ sınırlarından kolaylıkla elde edilebilmektedir.

$$\hat{\lambda}_c(t)_L = \frac{\hat{N}(t)_L}{t}; \hat{\lambda}_c(t)_U = \frac{\hat{N}(t)_U}{t} \quad (2.14)$$

$$\hat{m}_c(t)_L = \frac{t}{\hat{N}(t)_U}; \hat{m}_c(t)_U = \frac{t}{\hat{N}(t)_L} \quad (2.15)$$

Anlık Arıza yoğunluğu ve MTBF ile ilgili Sınırlar: Anlık arıza yoğunluğu şu şekilde verilebilmektedir:

$$\lambda_i(t) = \lambda \beta v_t^{\beta-1} \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte v_t , t zamanındaki yıpranma yaşıdır. Bu değer $q \neq 1$ olduğunda simülasyondan elde edilebilmektedir. Bununla birlikte $q=1$, $v_t=t$ olduğunda model Tip I ve Tip II'den elde edilebilir. Anlık arıza yoğunluğunun varyansı aşağıda verilen şekilde hesaplanabilmektedir:

$$\begin{aligned} Var[\lambda_i(t)] = & \left(\frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial \beta}\right)^2 Var(\hat{\beta}) + \left(\frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial \lambda}\right)^2 Var(\hat{\lambda}) + 2 \frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial \beta} \frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial \lambda} Cov(\hat{\beta}, \hat{\lambda}) + \\ & \left(\frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial v(t)}\right)^2 Var(\hat{v}_t) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Tahmini değeri ve v_t varyansı Monte Carlo simülasyonundan $\hat{\lambda}$, $\hat{\beta}$, \hat{q} parametresiyle elde edilir. Simülasyon doğruluğu $Var(\hat{\beta})$, $Var(\hat{\lambda})$ ve $Cov(\hat{\beta}, \hat{\lambda})$ hesaplamadaki yakınsama problemi yüzünden $Var[\lambda_i(t)]$ bazı durumlarda olumsuz değer alabilir. Bu durum olduğunda anlık arıza yoğunluğuna ait sınırlar elde edilemez.

Varyans ve $\lambda_i(t)$ 'nin tahmini değeri elde edildiğinde sınırlar $\lambda_i(t)$ lognormal dağıldığı varsayılarak hesaplanabilir.

$$\frac{\ln \lambda_i(t) - \ln \hat{\lambda}_i(t)}{\sqrt{Var(\ln \lambda_i(t))}} \sim N(0,1) \quad (2.18)$$

Verilen α güven seviyesine ait üst ve alt sınırlar şu şekilde hesaplanabilir:

$$\lambda_i(t) = \hat{\lambda}_i(t) e^{\pm z_\alpha \sqrt{Var(\lambda_i(t))/\hat{\lambda}_i(t)}} \quad (2.19)$$

Bu eşitlikte z_α standart normal dağılımdır. $\lambda_i(t)$ normal dağıldığı kabul edilirse, aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\lambda_i(t)_U = \hat{\lambda}_i(t) + z_\alpha \sqrt{Var(N(t))} \quad (2.20)$$

$$\lambda_i(t)_L = \hat{\lambda}_i(t) - z_\alpha \sqrt{Var(N(t))} \quad (2.21)$$

$\lambda_i(t)_U$ yukarıda verilen lognormal ve normal dağılım yakınsamasından elde edilen iki üst sınırdan küçük olanı olarak ayarlanır. $\lambda_i(t)_L$ yukarıda verilen lognormal ve normal dağılım yakınsamasından elde edilen iki alt sınırdan büyük olana göre ayarlanır. Bu birleştirilmiş metot, t değeri küçük olduğunda sınırların kapsamı dışında kalan değerlerin oluşumunu engeller.

Verilen bir t zamanı için, beklenen kümülatif MTBF, $m_i(t)$ değeri:

$$\hat{m}_i(t) = \frac{1}{\hat{\lambda}_i(t)} \quad (2.22)$$

$\lambda_i(t)$ ye ait ilgili sınırlar kullanılarak üst ve alt sınırlar kolaylıkla elde edilebilmektedirler:

$$\hat{m}_i(t)_U = \frac{1}{\hat{\lambda}_i(t)_L} \quad (2.23)$$

$$\hat{m}_i(t)_L = \frac{1}{\hat{\lambda}_i(t)_U} \quad (2.24)$$

Koşullu güvenilirliğe göre sınırlar: Verilen görevin başlama zamanı t_0 ve görev zamanı T olsun, koşullu güvenilirlik şu şekilde hesaplanabilir:

$$R(T|t_0) = \frac{R(T+v_0)}{R(v_0)} = e^{-\lambda[(v_0+T)^\beta - v_0]} \quad (2.25)$$

v_0 ilgili t_0 zamanına ait yıpranma yaşıdır. Koşullu güvenilirliğin varyansı $R(T|t_0)$ aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} Var(R) = & \\ & \left(\frac{\partial R}{\partial \beta}\right)^2 Var(\hat{\beta}) + \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda}\right)^2 Var(\hat{\lambda}) + 2 \frac{\partial R}{\partial \beta} \frac{\partial R}{\partial \lambda} Cov(\hat{\beta}, \hat{\lambda}) + \left(\frac{\partial R}{\partial v_0}\right)^2 Var(\hat{v}_0) \end{aligned} \quad (2.26)$$

$Var(R)$ hesaplamasındaki yakınsama probleminden ve simülasyon kesinliğinden dolayı $Var(\hat{\beta})$, $Var(\hat{\lambda})$ and $Cov(\hat{\beta}, \hat{\lambda})$ bazı durumlarda olumsuz değer alabilir.

Sınırlar aşağıdaki eşitliklere dayanmaktadır:

$$\log it(\hat{R}(T)) \sim N(0,1) \quad (2.27)$$

$$\log it(\hat{R}(T)) = \ln \left\{ \frac{\hat{R}(T)}{1-\hat{R}(T)} \right\} \quad (2.28)$$

Güvenilirliğe (reliability) göre güven sınırları (confidence) şu şekildedir:

$$R = \frac{\hat{R}}{\hat{R} + (1-\hat{R})e^{\pm \sqrt{Var(R)}/[\hat{R}(1-\hat{R})]}} \quad (2.29)$$

Bu veri aşağıda verilen eşitlikten elde edilen sınırlar ile karşılaştırılacaktır:

$$R = \hat{R} e^{\pm z_\alpha \sqrt{Var(R)}/\hat{R}} \quad (2.30)$$

İki üst sınırdan küçük olanı son üst sınır, iki alt sınırdan büyük olan son alt sınır olacaktır [14].

2.2.2 Homojen Poisson Süreci

Poisson süreçleri, olasılıksal (stochastic) süreçlerde önemli bir yer tutar ve biyoloji, tıp, jeoloji, sismoloji, meteoroloji, endüstri, finans, sigortacılık gibi birçok alanda uygulanır. Poisson süreçleri taşıdıkları özelliklere göre, homojen (homogeneous) Poisson süreci, homojen olmayan Poisson süreci ve birleşik (compound) Poisson süreci adını alır.

Homojen Poisson süreçlerinde zaman içerisinde olayların sabit bir oranla ortaya çıktığı varsayılmaktadır. Örneğin, olasılıksal sismik tehlike analizi çalışmalarının çoğunluğunda depremlerin zaman içindeki oluşumları homojen Poisson süreci ile modellenir. Homojen Poisson sürecinde olaylar, bazı aksiyomlar altında, bağımsız olarak ortaya çıkarlar ve birim zamanda ortaya çıkması beklenen olay sayısı zaman içinde değişmez.

N_t , $(0, t]$ zaman aralığında ortaya çıkan olay sayısını göstermek üzere, $\{N_t, t \geq 0\}$ Poisson süreci aşağıda verilen aksiyomları sağlar [15]:

Aksiyom 1: Herhangi t uzunluğundaki bir zaman aralığında N_t 'deki her değişme bir birim büyüklüğündedir;

Aksiyom 2: $t, s \geq 0$ için, $N_{t+s} - N_t$, N_t 'den bağımsızdır;

Aksiyom 3: $t, s \geq 0$ için, $N_{t+s} - N_t$ 'nin dağılımı t 'den bağımsızdır, s 'ye bağlıdır;

Aksiyom 4: $N_0 = 0$ 'dır.

Yukarıda verilen aksiyomları sağlayan homojen bir Poisson sürecinde aşağıda verilen özellikler gözlenir:

1. N_t , durum uzayı $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ olan kesikli bir rastlantı değişkenidir. t zamanına dek i tane olayın ortaya çıkması olasılığı aşağıdaki gibidir:

$$P(N_t = i) = p_i(t), i = 0, 1, 2, \dots \text{ için} \quad (2.31)$$

2. $p_i(t)$, t 'ye göre türevlenebilir.

3. Sürecin başlangıç koşulları $p_0(0) = 1$ ve $i = 1, 2, \dots$ için $p_i(0) = 0$ 'dır.
4. Birbirini izleyen ve ortak noktaları olmayan iki zaman aralığının uzunlukları t ve s olsun. $t + s$ uzunluğundaki zaman aralığında i tane olayın ortaya çıkması olasılığı aşağıdaki gibidir:

$$p_i(t + s) = \sum_{k=0}^i p_k(t)p_{i-k}(s), \quad k \leq i \quad (2.32)$$

5. Çok küçük bir Δt için, $(t, t+\Delta t]$ zaman aralığında bir olayın ortaya çıkması olasılığı yaklaşık olarak Δt ile orantılıdır:

$$p_1(\Delta t) \cong \lambda \Delta t,$$

$$p_1(\Delta t) = \lambda \Delta t + o(\Delta t). \quad (2.33)$$

$(t, t+\Delta t]$ zaman aralığında 0 (sıfır) olayın ortaya çıkması olasılığı,

$$p_0(\Delta t) \cong 1 - \lambda \Delta t,$$

$$p_0(\Delta t) = 1 - \lambda \Delta t + o(\Delta t). \quad (2.34)$$

ve en az iki olayın ortaya çıkması olasılığı $P(N_{\Delta t} \geq 2) = o(\Delta t)$ olur. Burada $o(\Delta t)$ fonksiyonu aşağıdaki özellikleri sağlar [16].

$$o(\Delta t) + \dots + o(\Delta t) = o(\Delta t),$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{o(\Delta t)}{\Delta t} = 0 \quad (2.35)$$

6. N_t 'nin olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$p_i(t) = P(N_t = i) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^i}{i!}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \text{ için} \quad (2.36)$$

Eşitlik (2.36), Poisson sürecinin olasılık fonksiyonudur. $\{N_t, t \geq 0\}$ olasılıksal sürecine homojen ya da basit Poisson süreci adı verilir. Poisson dağılımından yararlanarak N_t 'nin beklenen değer ve varyansı aşağıdaki gibi bulunur:

$$E(N_t) = \lambda t, \quad V(N_t) = \lambda t. \quad (2.37)$$

2.2.3. Homojen Olmayan Poisson Süreci

Homojen olmayan Poisson süreçlerinde ortaya çıkan olay sayısı zamanın bir fonksiyonudur. Bir makine parçasının arızalar arası süresinin zamana bağlı olarak değiştiğini kabul eden homojen olmayan Poisson Süreci Uzgören ve Elevli [17] tarafından incelenmiştir. Ayrıca makine parçalarının zamana bağlı olarak bozulma sayısını inceleyen benzer çalışmalar Kumar ve Klefsjö [18], Majumdar [19], Pulcini [20], Rao and Prasad [21] ve Louit [22] tarafından yapılmıştır.

Homojen olmayan Poisson sürecinde parametre zamanın sürekli bir fonksiyonudur. N_t , $(0, t]$ zaman aralığında ortaya çıkan olay sayısını göstermek üzere, $\{N_t, t \geq 0\}$ ile gösterilen homojen olmayan Poisson süreci aşağıdaki aksiyomları sağlar:

Aksiyom 1: $N_0 = 0$ 'dır;

Aksiyom 2: Ortalama oran, t 'nin diferansiyeli alınabilen bir fonksiyonudur ve $\lambda(t)$ ile gösterilir;

Aksiyom 3: $N_{t_2} - N_{t_1}, N_{t_1}$ 'den bağımsızdır.

N_t 'nin olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$p_i(t) = P(N_t = i) = e^{-\Lambda_t} \frac{(\Lambda_t)^i}{i!}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \text{ için} \quad (2.38)$$

Homojen olmayan Poisson süreci için ve varyans $Var[N_t] = \Lambda_t$ aşağıdaki gibidir:

Burada beklenen değer $E[N_t] = \Lambda_t = \int_0^t \lambda(u) du$ biçiminde tanımlanır [23, 24]. $\lambda(u)$ sürecin yoğunluk fonksiyonu olarak tanımlanır.

NHPP için en sık kullanılan iki model, güç fonksiyonu ve logaritmik doğrusal modeldir. Bu tezde güç fonksiyonu modeli kullanılmıştır ve bu model için yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\lambda_i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P((N_i(t_i + \Delta t)) \geq 1)}{\Delta t} = \frac{d}{dt} E[N_i(t)] = \frac{\beta_i}{\theta_i} \left[\frac{t_i}{\theta_i} \right]^{\beta_i - 1} \quad (2.39)$$

Burada β şekil parametresi ve θ ölçek parametresi olarak adlandırılır. Yoğunluk fonksiyonu hataların ya da tamirlerin oranını temsil eder. β değeri sistemin gelişmesine, kötü olmasına ya da stabil kalmasına bağlıdır.

- Eğer $0 < \beta < 1$ ise hata/tamir oranı azalır. Böylece zamanla sistem gelişir.
- Eğer $\beta = 1$ ise hata/tamir oranı sabittir. Bu yüzden sistem zamanla stabil kalır.
- Eğer $\beta > 1$ ise hata oranı artıyor, sistem zamanla kötüleşir.

2.2.4. Birleşik Poisson Süreci

Birleşik Poisson süreci, artmalara sahip sürekli zamanlı bir olasılıksal süreçtir. Bu süreçte meydana gelen rastgele sıçrama zamanları Poisson sürecine uymaktadır ve sıçrama büyüklükleri de belirli bir olasılık dağılımına sahip rastlantı değişkenleridir. $\{N_t, t \geq 0\}$ homojen ya da homojen olmayan Poisson süreci ve $Y_j, j = 1, 2, \dots$, ortaya çıkan her olaya bağlanan rastlantı değişkenleri olmak üzere, bu rastlantı değişkenleri $\{N_t, t \geq 0\}$ sürecinden de bağımsız olduğunda,

$$X_t = \sum_{j=1}^{N_t} Y_j \quad (2.40)$$

biçiminde tanımlanan $\{X_t, t \geq 0\}$ sürecine birleşik Poisson süreci adı verilir.

$\{X_t, t \geq 0\}$ sürecinin birleşik Poisson süreci olabilmesi için aşağıda verilen aksiyomların sağlanması gerekir [25]:

Aksiyom 1: $t, s \geq 0$ için, $X_{t+s} - X_t, X_t$ 'den bağımsızdır;

Aksiyom 2: $t, s \geq 0$ için, $X_{t+s} - X_t$ 'nin dağılımı yalnızca s 'ye bağlıdır, t 'ye bağlı değildir.

Eşitlik (2.40)'da $Y_j, j = 1, 2, \dots$, rastlantı değişkenleri kesikli ise, X_t rastlantı değişkeni kesikli olup kesikli birleşik Poisson süreci; sürekli ise, X_t rastlantı değişkeni de sürekli olup sürekli Poisson süreci olarak adlandırılmaktadır.

$Y_j, j = 1, 2, \dots$, rastlantı değişkenleri $0, 1, \dots, m$ değerlerini alan kesikli rastlantı değişkenleri ve Y_j , rastlantı değişkeninin k değerini alması olasılığı, $P(Y_j=k)=p_k$, $\sum_{k=0}^m p_k = 1$ ise Eşitlik (2.40)'da verilen birleşik Poisson süreci aşağıdaki biçimde de tanımlanabilir:

$$X_t = \sum_{j=1}^m X_j(t; \lambda_j) \quad (2.41)$$

Burada $X_j(t; \lambda_j)$, $j = 1, 2, \dots$, bağımsız süreçler ve $X_0(t; \lambda_0) = 0N_t^{(0)} = 0$ 'dır.

$X_j(t; \lambda_j) = jN_t^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots$ ve $\{N_t^{(j)}, t > 0\}$ süreci $\lambda_j = \lambda p_j$ parametresi ile Poisson sürecidir. Eşitlik (2.41)'de verilen $\{X_t, t \geq 0\}$ süreci, m'inci dereceden birleşik Poisson süreci adını alır.

X_t 'nin dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\begin{aligned} F_{x_t}(x) &= P(x_t \leq x) = P\left(\sum_{j=1}^{N_t} Y_j \leq x\right) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} P\left(\sum_{j=1}^n Y_j \leq \frac{x}{N_t} = n\right) \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} F^n(x) \end{aligned} \quad (2.42)$$

Burada $F^n(x) = P(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n \leq x)$ 'dir [26].

Parametrik Büyüme Eğrisi için eşit şekil (veya ölçek veya MTBF) parametreleri test edildiğinde. Arıza/onarım verileriniz birden fazla sistemden geliyorsa, Minitab, eşit şekil (veya ölçekler arası veya arızalar arasındaki ortalama süre) parametreleri için bir test sunar.

Bu test için hipotezler aşağıdaki gibidir:

- H_0 : Tüm şekiller (veya ölçekler veya MTBF'ler) eşittir
- H_1 : Şekillerden en az biri (veya ölçekler veya MTBF'ler) farklıdır

Ki-kare testi, farklı sistemler için şekil parametrelerinin birbirinden önemli ölçüde farklı olup olmadığını belirleyebilir. P-değeri önceden belirlenmiş α -değeri ile karşılaştırılırsa.

- P değeri α değerine eşit veya daha küçükse, en az bir sistem için parametrenin önemli ölçüde farklı olduğu sonucuna varılır.
- P değeri α değerinden büyükse, parametrelerin önemli ölçüde farklı olduğu sonucuna varılamaz.

Parametrik bir büyüme eğrisi tahmin edilirken Minitab, tek bir sütundaki tüm sistemlerin aynı işlemlerden oluştuğunu varsayar. Minitab, aynı işlemlerden elde edilen tüm veriler için tek bir büyüme eğrisi oluşturur. Boş hipotezi reddeder ve şekillerin (veya ölçüklerin veya MTBF) eşit olmadığı sonucuna varılır, bu varsayım yapılamaz. Bu durumda, farklı sistemlerden gelen veriler ayrı ayrı analiz edilmelidir.

Veriler aynı süreçten geldiğinde ve bir sistem değişkeni kullanıldığında, Minitab Bartlett'in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran testini kullanır. Veriler farklı işlemlerden geldiğinde ve bir By (gruplama) değişkeni kullanıldığında, Minitab bir olasılık oranı ki-kare testi kullanır.

Bartlett'in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran testi: Eğer veriler kesinse ve birleştirilmişse (bir sistem değişkeni kullanarak) ve şekil verilerden tahmin ediliyorsa, Bartlett'in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran testi, şekil parametrelerinin eşitliği için bir test sunar. Test istatistiği şu şekilde hesaplanır:

$$\frac{2 \log LR}{1 + 6^{-1} (N-1)^{-1} \left[\sum_{i=1}^N m_i^{-1} - \left(\sum_{i=1}^N m_i \right)^{-1} \right]} \quad (2.43)$$

ve

$$LR = \frac{\prod_{i=1}^N m_i! \prod_{j=1}^{m_i} \widehat{\beta}_i \left(\frac{T_{ij}}{Y_i} \right)^{\widehat{\beta}_i - 1}}{\prod_{i=1}^N m_i! \prod_{j=1}^{m_i} \widehat{\beta} \left(\frac{T_{ij}}{Y_i} \right)^{\widehat{\beta} - 1}} \quad (2.44)$$

2.3. Tekrarlayan Veriler İçin Parametrik Olmayan Modeller

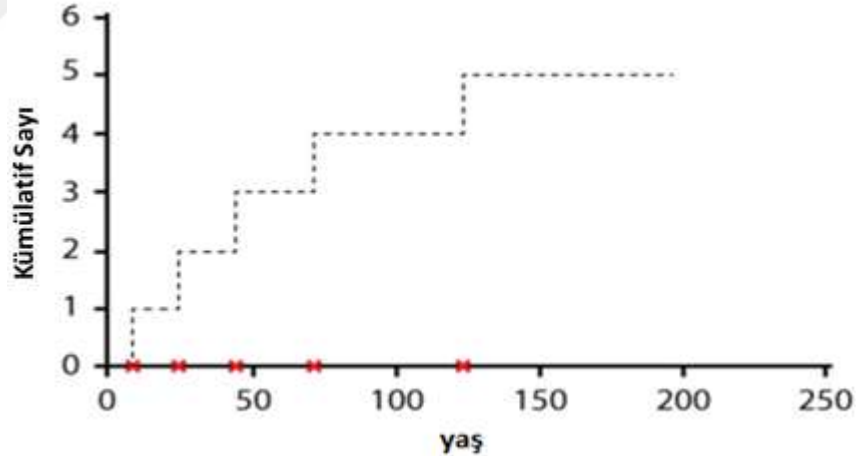
Parametrik olmayan RDA ortalama kümülatif sayıya ait veya yıpranma yaşına karşı her bir tekrarlayan birimin bedeline ait parametrik olmayan grafiksel bir tahmine imkan vermektedir. Nelson [12]'un çalışmasında ele alındığı gibi, güvenilirlik alanı, ortalama kümülatif fonksiyon (MCF) şu amaçlarla kullanılabilir:

- Popülasyon tamiri oranının yıpranma yaşına bağlı olarak artış mı yoksa azalış mı gösterdiğini değerlendirmek.
- Garanti veya belirlenen bir süre de her bir birimin tamir edilme ortalama sayısı veya bedelini tahmin etmek.

- Farklı tasarımlardan, üretim süreçlerinden, bakım şartları, çevre koşulları, operasyon şartları gibi, elde edilen iki veya daha fazla veri setlerinin karşılaştırmak.
- Bir sonraki ayda, sezonda veya yılda meydana gelmesi beklenen adet gibi geleceğe dair tamir sayılarını ve masraflarını tahmin etmek.
- Tahmin edilemeyen bilgi ve öngörülerin ortaya çıkarılmasını sağlamak.

2.3.1. Ortalama Kümülatif Fonksiyon (MCF)

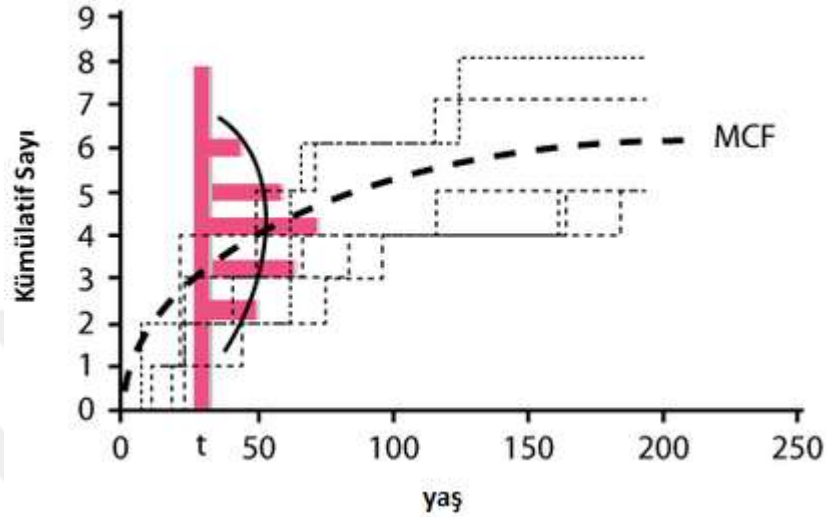
Tekrarlayan olay verilerinin parametrik olmayan analizinde, her bir popülasyon birimi tekrarlamaların kümülatif sayılarına ait kümülatif geçmiş fonksiyonu ile tanımlanabilir. Bu fonksiyon, zaman zarfı içinde meydana gelen tamiratlar gibi belli bir olayın tekrar etmelerine ait kümülatif sayıyı gösteren bir merdiven fonksiyondur. Aşağıda Şekil 2.1 birimlerin yaşa göre kümülatif ait fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 2.1. Birimlerin yaşa göre kümülatif fonksiyonu [14]

Popülasyona ait birimlerin parametrik olmayan modeli kümülatif geçmiş fonksiyonlarının popülasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu, popülasyondaki her birime ait olan tüm merdiven fonksiyonların popülasyonudur. t yıpranma yaşında; birimler, olaylara ait kümülatif sayılarının bir dağılımını gösterirler. Bu durumda, popülasyonun bir kısmı 0 tekrarlarda birikim gösterir, bir diğer kısmı 1 tekrarlarda birikim gösterir, başka bir kısmı 2 tekrarlarda birikim gösterir ve böyle devam eder. Bu dağılımlar farklı

t yıpranma yaşlarında değişim gösterirler ve ortalama kümülatif fonksiyon (MCF) olarak isimlendirilen bir ortalamaya $M(t)$ sahiptir. $M(t)$ popülasyondaki tüm kümülatif fonksiyonların nokta tabanlı ortalamasıdır. MCF grafiği Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Kümülatif fonksiyonların nokta tabanlı ortalamaları [14]

Sansürlenmemiş veriler olan bir örnekte; farklı t_i tekrar yıpranma yaşlarındaki ortalama kümülatif fonksiyon $M(t_i)$ değerleri, t_i 'de popülasyona ait her bir tekrarlayan olayın kümülatif sayısının ortalaması hesaplanarak gösterilmiştir. Geçmişler sansürlendiğinde aşağıdaki basamaklar uygulanır.

Birinci basamak, tüm yıpranma yaşları sıralanır: Tüm tekrarlayan durumlar ve sansürlenmiş yıpranma yaşları en küçüğe en büyüğe olacak şekilde sıralanır. Bir birim için tekrarlayan bir yıpranma yaşı sansürlenmiş yıpranma yaşı ile aynı ise tekrarlayan yaş verisi önceliklidir. Çoklu birimler ortak bir tekrarlayan veya sansürlenmiş yaşa sahip iseler bu üniteler kesin bir sıralamaya koyulabilir veya rastgele sınıflandırılabilir.

İkinci basamak, t_i yaşlarla ilgili birimlerin, r_i , sayıları hesaplanır:

t_i tekrar yaşı olduğunda $r_i = r_{i-1}$

t_i sansürleme yaşı ise $r_i = r_{i-1} - 1$

N birimlerin toplam sayısıdır ve tekrarlama veya süspansiyon olabilen ilk gözlenen yaş için $r_1 = N$ olur.

Üçüncü basamak, tahmin edilen MCF, $M^*(t)$ hesaplanır: Tekrar eden yaşların t_i her bir örneği için tahmin edilen ortalama kümülatif fonksiyon aşağıdaki gibi hesaplanır.

İlk gözlemlenen tekrar yaşında, t_1 $M^*(t) = \frac{1}{r_1}$ olduğunda;

$$M^*(t_i) = \frac{1}{r_i} + M^*(t_{i-1}) \quad (2.45)$$

2.3.2. MCF için Güven Sınırı

$$M_U(t_i) = M^*(t_i) \cdot e^{\frac{K_\alpha \sqrt{\text{Var}[M^*(t_i)]}}{M^*(t_i)}} \quad (2.46)$$

$$M_L(t_i) = \frac{M^*(t_i)}{e^{\frac{K_\alpha \sqrt{\text{Var}[M^*(t_i)]}}{M^*(t_i)}}} \quad (2.47)$$

$M(t_i)$ için üst ve alt güven aralığı: α değerinin ($50 < \alpha < 100$) olduğu durumda güven seviyesi K_α , α standart normal yüzdesidir ve $\text{Var}[M^*(t_i)]$ tekrarlayan yaş t_i 'de tahmin edilen MCF'nin varyansdır. Varyans aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Var}[M^*(t_i)] = \text{Var}[M^*(t_{i-1})] + \frac{1}{r_i^2} \left[\sum_{j \in R_i} \left(d_{ji} - \frac{1}{r_i} \right)^2 \right] \quad (2.48)$$

Arta kalanlar denkleminde tanımlanan r_i değeri, i ile sansürlenmeyen birimler takımı R_i 'dir ve d_{ji} aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

j^{th} birimi t_i yaşında olay tekrarına sahip olduğunda $d_{ji} = 1$ olur.

j^{th} birimi t_i yaşında tekrarlayan olaya sahip olmadığında $d_{ji} = 0$ olur.

Aynı t_i zamanında çoklu olaylar var ise, her bir olay için ayrı ayrı d_{ji} değeri hesaplanır. Her bir olay için, tek bir d_{ji} 1 değerini alabilir. t_i 'deki tüm olaylar hesaplandığında, hesaplanan nihai MCF değeri ve varyansları t_i zamanı için değerler alır [14].

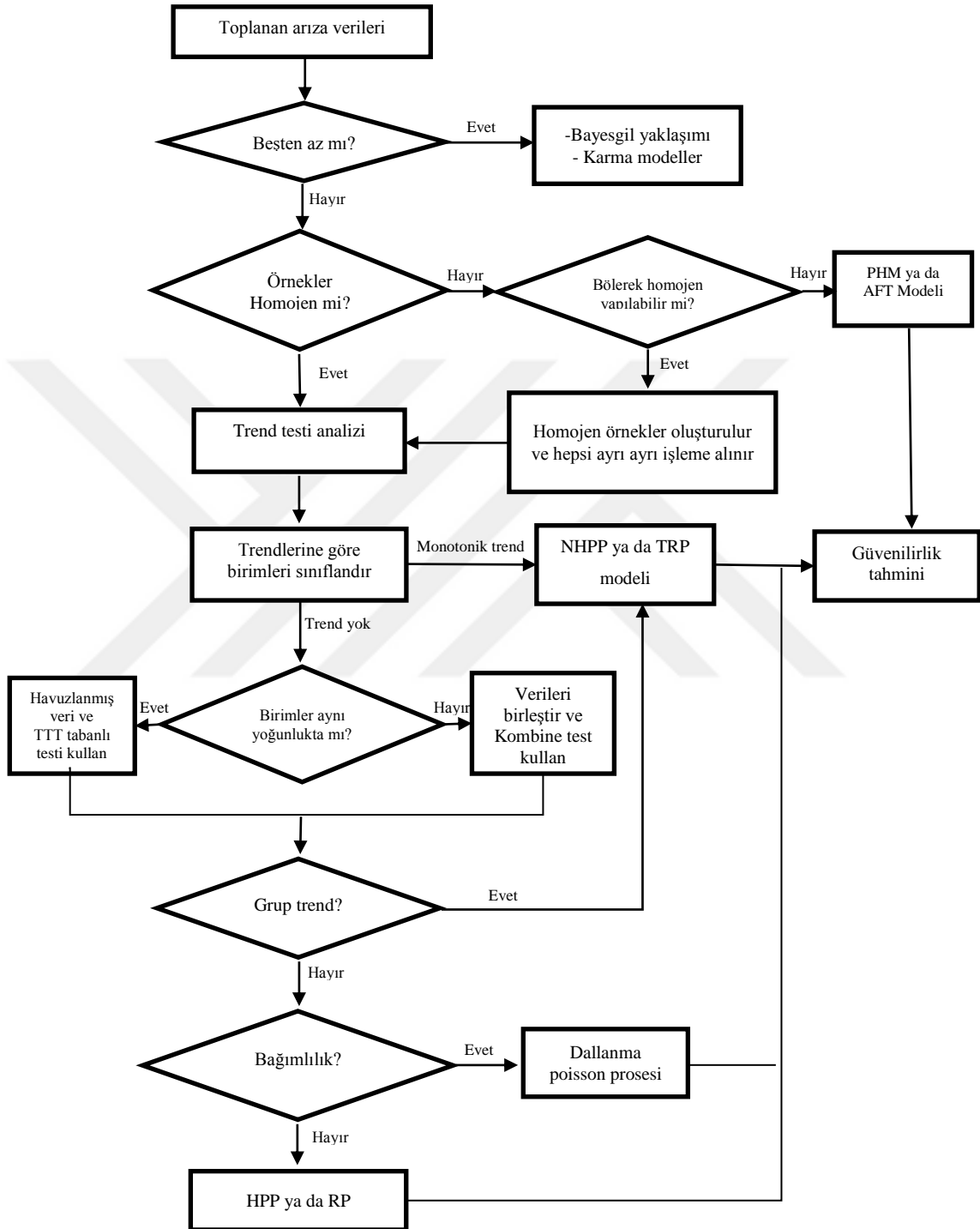
2.4. Birden Fazla Tamir Edilebilir Benzer Sistemlerin Güvenilirlik Analizi

Elimizde aynı işi yapan tamir edilebilen benzer sistemler olduğundan bu sistemlerin bakım verileri birlikte analiz edilip bu grup için güvenilirlik ölçütleri tahmin edilebilir. Böylece, hem ölçütler grup seviğinde tahmin edilmiş olur hem de veri sayısı az ise arttırılmış olur.

Birden fazla benzer tamir edilebilen sistemlerin bakım verilerini analiz etmek için literatürde birbirini tamamlayan çalışmalar vardır [27-31]. Bu çalışmalardan Garmabaki [31] en kapsamlı analiz çerçevesini vermiştir. Garmabaki'nin önerdiği çerçeve Şekil 2.3'te aşağıdaki gibi verilmiştir.

Şekil 2.3'deki çerçeve şu şekilde özetlenebilir; ilk olarak her bir sistemin verisi kronolojik olarak düzenlenmelidir. Veri sayısı beşten az olan sistemler Bayesgil veya karma modeller kullanılarak analiz edilmelidir. Veri sayısı beşten fazla olan sistemleri ise homojen gruplara ayırabilmek için sistemlerin trend testlerine tabi tutulması gerekmektedir. Trend testleri bozulmalar arasındaki sürelerde bir artış veya azalış olup olmadığını belirlemekte kullanılmaktadır [32, 33]. En yaygın kullanılan testler, Military handbook189, Laplace ve Anderson-Darling trend testleridir. Bu testlerin sıfır hipotezi HPP yani trend yok şeklindedir. Garmabaki [31] trend testini iki aşamada yapmayı önermektedir. İlk önce her bir sistem ayrı ayrı trend testine tabi tutulup, aynı trend davranışı gösteren sistemler bir gruba konulmaktadır. Daha sonra grup içindeki sistemlere toplu halde trend testi uygulanarak grup trend davranışı belirlenmektedir. Trend davranışına göre de uygun model seçilmektedir. Trend olmadığı durumda HPP ve RP süreci uygun model olurken trend olduğu durumlarda NHPP ve TRP [34] modeli uygun olmaktadır.

Trend testleri uygulanırken grup içerisindeki sistemlerin homojen olup olmadığını belirlenmesi için Bartlett'in modifiye edilmiş en çok olasılık oran testi kullanılmalıdır [35]. Bu testin sıfır hipotezi bütün sistemler için şekil parametresi (ölçek parametresi veya MTBF ler) eşittir şeklindedir. Uygun model belirlenirken dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta verilerde trend olmasa bile bağımlılığın olup olmadığını test edilmesidir bunun için otokorolasyon fonksiyonuna bakılabilir [36]. Trend yoksa ve bağımlılık varsa dallanmış Poisson süreci uygun model olabilir [37].



Şekil 2.3. Garmabaki'nin önerdiği çerçeve [31]

3. BÖLÜM

BAKIM VERİLERİNİN ANALİZİ

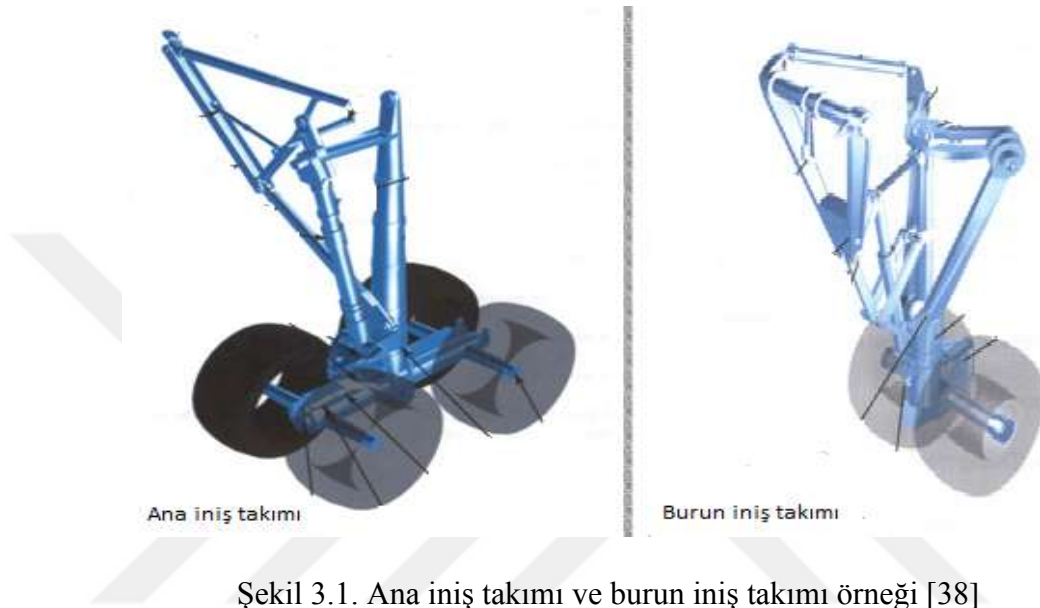
3.1. Problem Tanımı

İniş takımları, iniş, kalkış ve yerdeki hareketlerinde bir uçağı dengeleyen ve ona destek veren şasi takımı, tekerlekler, lastikler, frenler, akslar ve diğere destek yapılarından oluşmaktadır. Neredeyse tüm jet uçaklarında iki lastikli bir burun tekerleğı, on altıya kadar lastikli iki veya daha fazla ana iniş takımı bulunur. İniş takımı genellikle hidrolik olarak kaldırılır ve indirilir ve geri çekildiğinde alt gövde içine tamamen oturur. Uçak lastikleri, havadan ziyade nitrojenle doldurulur, çünkü aşırı sıcaklık değışiklikleri sırasında azot, hareketsiz olmanın yanı sıra, hava kadar genişlemez veya büzülmez, böylece lastik patlaması ihtimalini azaltır.

Uçaklarda kullanılan lastikler otomobillerde kullanılanlara göre çok daha dayanıklıdır. Örneğın ağır büyük araçlarda kullanılan lastiklerinden bir tanesi yaklaşık 1 ton ağırlığa 240km/h hızda dayanabilirken, uçaklarda kullanılan lastiklerin arasında 25 tonluk bir yüke 300km/h hızda dayanabilecek olanları vardır. 80 dereceye kadar ısınan lastikler içerisinde 20 bar basınç oluşabilir. İniş esnasında uçağın yere teker koymasıyla saniyenin parçaları kadar bir zamanda 0'dan 250 km/h ya kadar hızlanan uçak lastikleri aşırı aşınması nedeniyle ortalama 150-400 arası inişten sonra kaplama yapılması için bakıma alınır. Alüminyum alaşımlı olan uçak jantları sağ ve sol olmak üzere iki parçadan oluşur. Jantlar frenleri de içerisinde barındıracak kadar büyük olmalıdır.

Bir burun iniş takımı veya bir burun parçası, daha küçük yüklere dayanması gerektiğinden daha hafiftir. Burun tekerleğinin pilot tarafından kumanda edilebilen bir direksiyonla çevrilebilmesi, uçağı yerde iyi ve emniyetle yön verilebilmesini sağlar. Şekil 3.1'de ana iniş ve burun iniş takımları örneğı verilmiştir [28].

Uçağın güvenli kalkış ve iniş yapabilmesi için iniş takımlarının bakımının düzenli olarak yapılması son derece önemlidir. İyi bir bakım planı yapabilmek için iniş takımlarına ait güvenilirlik ölçütlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Üretici firma tarafından önerilen bakım aralıklarının uygunluğu kullanımda gerçekleşen bakım verileri analiz edilerek teyit edilmelidir.



Şekil 3.1. Ana iniş takımı ve burun iniş takımı örneği [38]

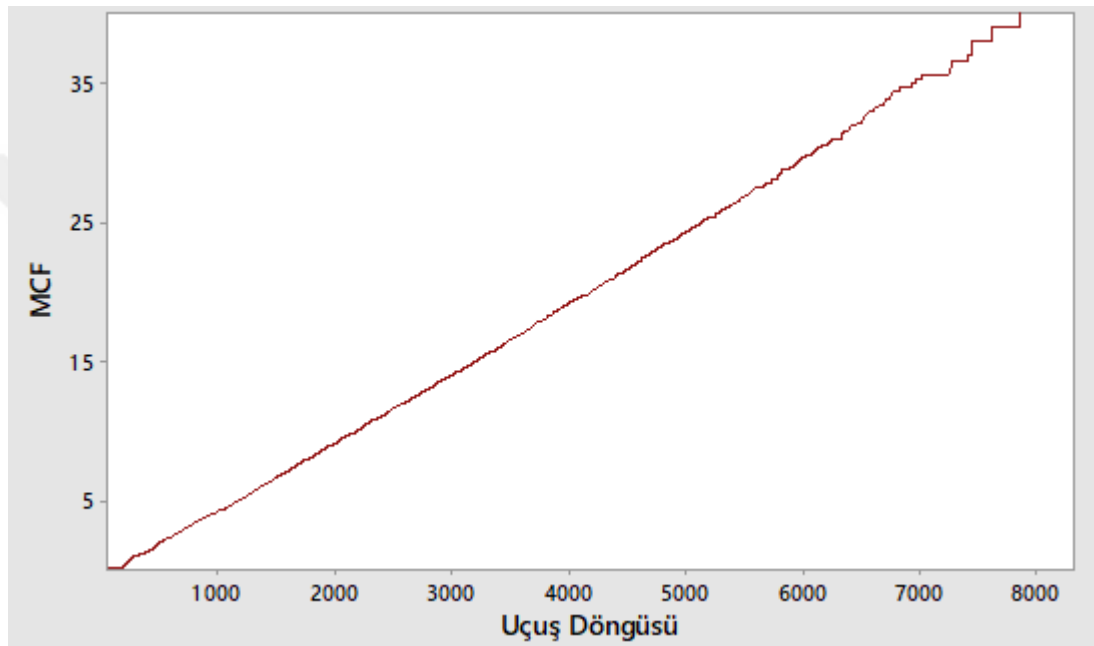
Bu bölümde bir hava yolu şirketinin bir filosundaki uçaklara ait burun iniş takımları bakım verileri analiz edilecektir. Toplamda 100 adet burun iniş takımının 5 yıllık bakım ve onarım verileri bulunmaktadır. Tamir veya bakıma alınan iniş takımları yerine uçağa depodan iniş takımı takılmakta böylece uçak servis verebilir durumda tutulmaktadır. Arızası giderilen veya bakımı yapılan iniş takımı ise depoya gitmektedir. Bu süreçle ilgili en önemli verilerden birisi sökümler arası kaç saat uçuş ve kaç uçuş döngüsü gerçekleştiğidir. İniş takımları en çok strese kalkış ve inişlerde maruz kaldığı için bu çalışmada iniş takımlarının ömrü uçuş döngüsü ölçeğinde ele alınmıştır. Kullanılan verilere örnek Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tezde kullanılan verilere örnek

Seri numarası	Söküm nedeni	Sökümler arası uçuş döngüsü
U001	Arıza	197
U001	Arıza dışı	142

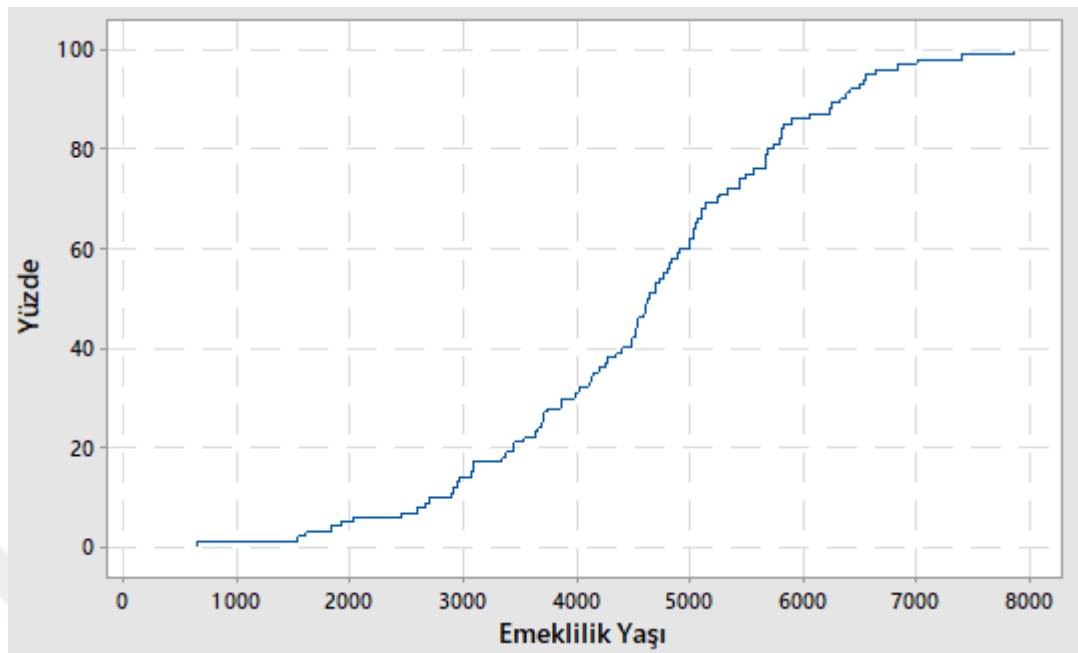
3.2. Parametrik Olmayan Model – MCF

100 tane sistemin verisi için MCF grafiği Şekil 3.2’de verilmiştir. Mekanik bir sistem olan burun iniş takımının yaşlandıkça daha sık arızalanması beklenir ve bu da MCF’in konveks bir Şekil almasına neden olur. Ancak Şekil 3.2’de ki MCF’in yaklaşık olarak doğru Şeklinde olması arızalar arası sũrelerde bir trend olmadığını gŖstermektedir. Buna gŖre de sisteme uygulamam bakım planının etkili olduğu sŖylenebilir.



Şekil 3.2. Ortalama kŭmŭlatif fonksiyon grafiği

Sistemlerin kullanın dışına alındıkları yaşlarına emeklilik yaşı dersek, 100 sistemin emeklilik yaşlarının gŖzlemsel birikimli dağılım fonksiyonu Şekil 3.3’te verilmiştir. Burun iniş takımının ortalama emeklilik yaşı 4577 uçuş dŖngŭsŭdŭr. 100 tane burun iniş takımından sadece 38 tanesi 5000 veya daha fazla ve 8 tanesi de 6500 veya daha fazla uçuş dŖngŭsŭne kadar kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Burun iniş takımlarının emeklilik yaşının gözlemsel birikimli dağılımı

Arızanın ortaya çıktığı uçuş döngüleri için tahmin edilen MCF değerlerine örnek Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ortalama kümülatif fonksiyonu

Döngü	MCF	St. Hata	%95 Güven Aralığı		Seri No
			Üst	Alt	
50	0,0100	0,009950	0,0014	0,0703	U098
73	0,0200	0,014000	0,0051	0,0789	U015
103	0,0300	0,017059	0,0098	0,0914	U044
123	0,0400	0,019596	0,0153	0,1045	U068
141	0,0500	0,021794	0,0213	0,1175	U006

Tablodaki değerleri ikinci satır için açıklayalım: 73 uçuş döngüsünde birim başına ortalama arıza sayısı 0,02, bu tahminin standart hatası 0,014 arıza ve %95 güven aralığı 0,0051 – 0,0789 arızadır.

3.3. Parametrik Model

Uygun parametrik modelin belirlenebilmesi için 100 tane burun iniş takımını trend davranışına göre homojen gruplara ayırmak gerekmektedir. Öncelikle birim bazında trend testleri uygulanarak aynı trend davranışını gösteren birimler bir gruba koyulur ve daha sonrada grup bazında trend testleri uygulanarak her grup için uygun parametrik model belirlenir.

Trend testlerini 100 tane birime uyguladığımızda birim bazında arızalar arası süreler için trend olmadığı görülmüştür. Örnek olarak U072 seri numaralı burun iniş takımı için trend test sonuçları aşağıda Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. U072 seri numaralı iniş takımı için trend test sonucu

	MIL-Hdbk-189	Laplace's	Anderson-Darling
Test İstatistiği	49,06	-0,08	0,12
P-Değeri	0,819	0,935	1,000
SD	52		

Tablodaki P-Değeri hesaplanan test istatistiği değerinde yapılan minimum birinci tip hata değerini vermektedir. Bu çalışmanın tümünde birinci tip hata (testin önem derecesi) 0.05 olarak alınmıştır. P-Değeri 0.05 ten küçük olduğunda sıfır hipotezi kabul edilmemektedir. Tablo 3.3 incelendiğinde, MIL-Hdbk-189, Laplace ve Anderson Darling testlerinin üçüne göre de P-Değeri yüksek olduğu için sıfır hipotezi reddedilemez ve arızalar arası sürelerde bir trend olmadığı kararı verilir.

Tüm burun iniş takımları trend olmadığı için aynı grupta yer almıştır. Ancak 100 tane birimin verilerinin havuzlanarak analiz edilip edilmeyeceğine karar vermek için Bartlett' in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran ki-kare testi uygulanmıştır ve hipotez testinin sonucu Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Bartlett'in modifiye edilmiş en çok olabilirlik oran ki-kare testi

Test İstatistiği	8,91
P-Değeri	1,000
SD	99

P-Değeri yüksek olduğu için 100 birimin hepsinin de ortalama bozulmalar arasındaki sürelerinin eşit olduğu hipotezi kabul edilmiştir. Buna göre sistemler homojendir ve tüm birimlerin verileri havuzlanarak analiz edilebilir.

Havuzlanan verilere uygun modelin belirlenebilmesi için grup trendine bakılması gerekmektedir. Grup trend test sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Grup trend test sonuçları

	MIL-Hdbk-189		Laplace's		A. Darling
	TTT-dayalı	Birleştirilmiş	TTT-dayalı	Birleştirilmiş	
Test İstatistiği	3913,96	3874,45	3,63	0,96	8,82
P-Değeri	0,000	0,000	0,000	0,336	0,000
SD	4440	4242			

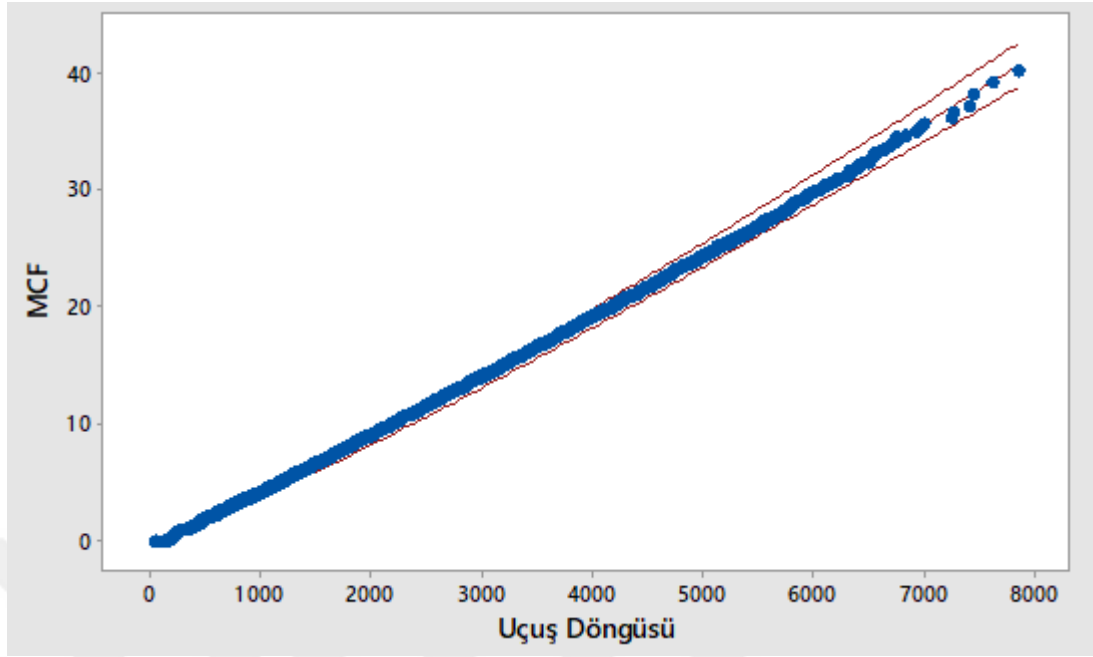
Bartlett testine göre sükümler arasındaki ortalama süre aynı çıktığı için TTT (total time on test) ye dayanan test sonuçlarına bakılır. Buna göre üç testin de (MIL-Hdbk-189, Laplace's, Anderson-Darling) P-Değeri sıfır olduğu için sıfır hipotezi reddedilerek trend olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemler tek tek analiz edildiğinde trend olmadığı halde havuzlanan veride trend olduğu gözlenmektedir. Bu durum tamir edilen sistemlerde ortaya çıkabilmektedir. Veride trend olduğu için bu duruma uygun olan NHPP kuvvet yasası modeli uygulanmıştır. Model parametreleri en çok olabilirlik tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilmiş ve parametre tahmin değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kuvvet yasası model parametrelerinin tahminleri

Parametre	Tahmin	Hata	95% Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Şekil (β)	1,12691	0,023	1,08343	1,17214
Ölçek (θ)	293,972	17,494	261,609	330,339

Tablo 3.6’da görüldüğü gibi şekil parametresi birden çok az büyük çıkmıştır bu da sökümler arası sürenin zamana göre az da olsa azaldığı sonucunu verir, yani burun iniş takımı yaşlandıkça daha sık bozulmaktadır. Bu mekanik sistemlerde gözlenen bir olgudur. Şekil parametresinin birden çok az büyük çıkmasının nedeni bu mekanik sisteme uygulanan bakım planının etkin olduğunu göstermektedir

Bir güvenilirlik ölçütü olarak, MCF bir burun iniş takımı için uçuş döngü sayısına göre birikimli ortalama arızalanma sayısını vermektedir. Tahmin edilen kuvvet yasası modeline göre MCF ve MCF için %95 güven aralığının grafiği Şekil 3.4’te verilmiştir. Grafikteki siyah noktalar gözlemsel MCF’yi verirken, düz çizgi modelden tahmin edilen MCF’yi vermektedir. Üstteki ve alttaki düz çizgiler ise tahmin edilen MCF için % 95 üst ve alt güven aralıklarını vermektedir. Şekil 3.4’te görüldüğü gibi model veriyi oldukça iyi temsil etmektedir. Güven aralığının dar olmasının nedeni gözlem sayısının fazla olması nedeni tahminlerin varyansının küçük olmasıdır. Şekil parametresinin birden çok az büyük olması gözlemsel MCF’nin çok az konveks olması ile de teyit edilmektedir. Parametrik olmayan ve parametrik modeli karşılaştıracak olursak, parametrik model 4500 uçuş döngüsünden sonra arızalar arasındaki sürenin kısalmasını yakalayabilmiştir.



Şekil 3.4. Kuvvet yasasına göre MCF ve %95 güven aralıkları

Şekil 3.4'te MCF'nin genel görünüşünü vermektedir. Grafikten değerleri okumak zor olduğu için, belli bir uçuş döngüsünde sistem başına ortaya çıkan ortalama arıza sayısı tahminleri Tablo 3.7'de 6 farklı uçuş döngüsü için verilmiştir. Değerler eşitlik (2.39)'da verilen yoğunluk fonksiyonuna tahmin edilen parametre değerleri koyularak ve integral alınarak bulunmuştur ($E[N_t] = \Lambda_t = \int_0^t \lambda(u) du$).

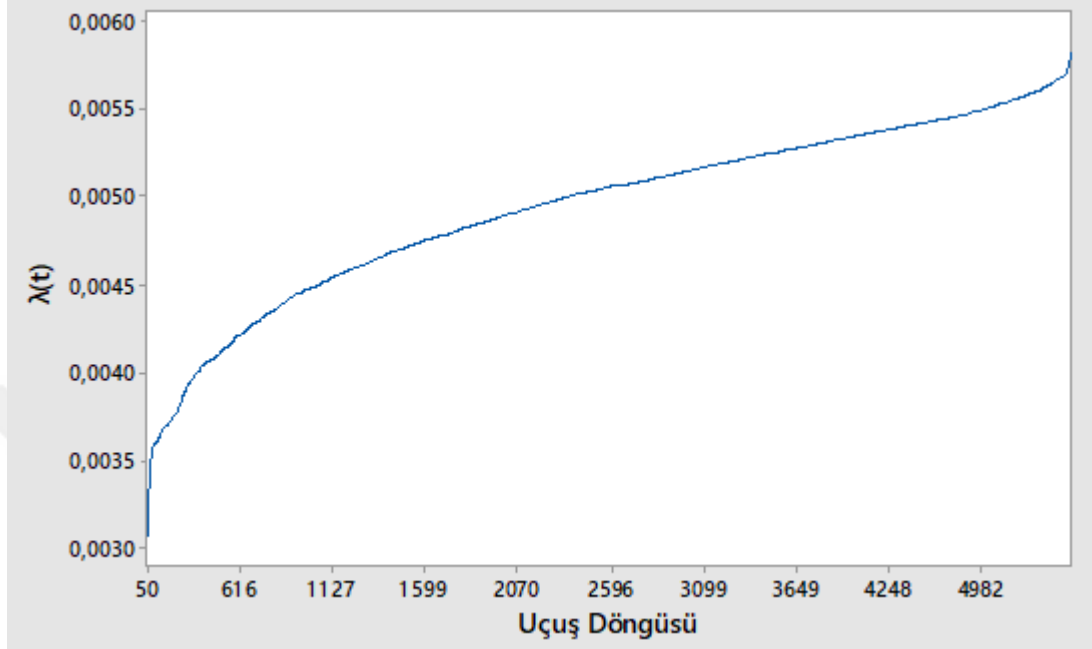
Tablo 3.7. Belirli bir uçuş döngüsünde birim başına ortalama arıza sayısı

Uçuş döngü sayısı (t)	100	200	300	400	500	1000
Birim başına ortalama arıza sayısı (Λ_t)	0,3	0,65	1,02	1,42	1,82	3,98

Tabloda verilen değerleri yorumlayacak olursak, örneğin 300 uçuş döngüsünde yaklaşık olarak bir iniş takımı bir kere arızalanacaktır.

NHPP sürecini karakterize eden yoğunluk fonksiyonu $\lambda(t)$ Şekil 3.5'te verilmiştir. Beklendiği gibi yoğunluk fonksiyonu zamana göre (uçuş döngüsü) artmaktadır. Şekil 3.4'ten elde ettiğimiz yorumlar bu grafikte de doğrulanmaktadır. Yoğunluk fonksiyonu

(birim süredeki arıza sayısı) azalarak artarken sistemin yaşlanması ile birlikte yaklaşık 4500 uçuş döngüsünde çoğalarak artmaya başlamıştır.

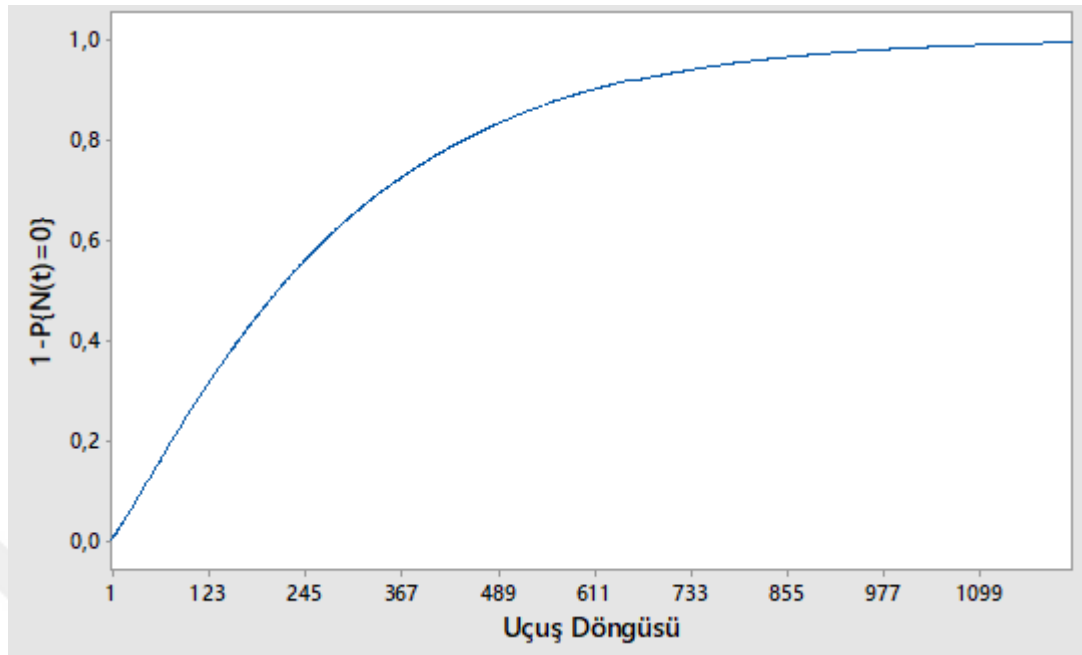


Şekil 3.5. Kuvvet yasası modelinin yoğunluk fonksiyonu

Diğer bir güvenilirlik ölçütü olarak iniş takımının yaşına göre arızalanma olasılığı eşitlik (2.38)'i kullanarak hesaplanır. Örneğin bir uçuş döngüsü yaşındaki burun iniş takımının arızalanma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$P(N_1 > 0) = 1 - P(N_1 = 0) = 1 - 0,9984 = 0,0016$$

Burun iniş takımının yaşına göre bu olasılık artacaktır. İniş takımının yaşına göre arızalanma olasılığı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Burun iniş takımının yaşına göre arızalanma olasılığı

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi arızalanma olasılığı sistemin yaşına göre hızla artmaktadır.

Hava yolu şirketi yukarıda hesaplanan güvenilirlik ölçütlerini bu ölçütler için hedef alınan değerlerle karşılaştırıp mevcut bakım planlarında bir değişiklik yapmak gerekiyor mu belirleyebilir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuç ve Öneriler

Bakım tamir edilebilen sistemlerin güvenli ve etkin bir şekilde çalışmalarını sağlamaktadır. Bakım planlarında istenen mümkün olan en az sayıdaki periyodik bakımla, sistemlerin arızalanmadan çalışmalarını sağlamaktadır. Periyodik bakım planları yapılırken, mevcut bakım verileri analiz edilerek sistemin güvenilirlik ölçütlerinin hesaplanması gerekir.

Bu tez çalışmasında tekrarlanan veri kategorisine giren bakım verilerinin analizi üzerinde durulmuştur. Tekrarlanan verilerin analizinde kullanılan modeller parametrik ve parametrik olmayan modeller olarak iki grupta toplanabilir. Parametrik olmayan modeller zamana göre ortalama arıza sayısının grafiksel olarak tahmin edilmesini sağlar. Ancak elde olan zaman periyodu dışında tahmin yapmak zordur. Eğer veriler bir parametrik modele uyuyorsa istenilen zaman için tahmin yapıp tahmin üzerinde güven aralıkları hesaplanabilir.

Tezin uygulama kısmında parametrik ve parametrik olmayan modeller kullanılarak bir hava yolu şirketinin filosunda bulunan uçakların burun ön iniş takımlarının bakım verileri analiz edilmiştir. Mekanik bir sistem olan ön iniş takımının yaşlandıkça daha sık arızalanması beklenir. Parametrik olmayan model arızalar arasındaki sürenin yaşla azalmadığını işaret ederken parametrik model sadece ilerleyen yaşlarda sürenin azaldığını göstermektedir. Ortalama emeklilik yaşının 4577 uçuş döngüsü olması sistemlerin nadiren ilerleyen yaşa kadar kullanıldığını göstermektedir. Bütün bunlardan uygulanan bakım planının etkili olduğu söylenebilir. Güvenilirlik ölçütleri olarak uçuş döngüsüne göre birim başına ortalama arıza sayısı, yoğunluk fonksiyonu ve bir birimin

arızalanma olasılığı tahmin edilmiştir. Firma hesaplanan ölçütleri standartlarla ve firma hedefleri ile karşılaştırarak bakım planında bir değişiklik yapıp yapmayacağına karar verebilir.



KAYNAKÇA

1. Wang, H., Pham, H., 2006. Reliability and Optimal Maintenance. British Library, London, 344 pp.
2. Ünal, G., 2009. Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama. İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 113 s.
3. Swanson, L., 2001. Linking maintenance strategies to performance. **Int. J. Production Economics**, **70** (3): 237-244.
4. Worsham, C.W., 2004. Önleyici bakım gerekli midir? **Mühendis ve Makine Dergisi**, **45** (538): 21-23.
5. Baraçlı, H., Coskun, S., Eser, A., 2001. Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği, s. 340-341. *I. Demir-Çelik Sempozyumu*, 03-05 Ekim, Zonguldak.
6. Erbil, İ., Meran C., Tan, E., 2003. Bakımda insan faktörü, s. 285-293. *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 16-19 Ekim, Denizli.
7. Er, E., 2004. Bakım Yönetimi ve Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerinin Türkiye’de Uygulama Düzeyi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 206 s.
8. Erçelebi, S. G., Ergin, H., 1997. Maden makinelerinde koruyucu bakım onarım planlaması, s. 125-132. *Türkiye 15. Madencilik Kongresi*, 6-9 Mayıs, Ankara.
9. Zhou, X., Xi, L., Lee, J., 2007. Reliability centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. **Reliability Engineering & System Safety**, **92** (4): 530-534.
10. Tavukçuoglu, M., 2003. Toplam verimli bakım ve bakım organizasyonu yönetim sistemi, s. 105-118. *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 16-19 Ekim, Denizli.
11. Carnero, M., 2006. An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes. **Reliability Engineering & System Safety**, **91**(8): 945-963.
12. Nelson, W., 2003. Recurrent Events Data Analysis for Product Repairs, Disease Recurrences, and Other Applications. Schenectady, New York, 151 pp.
13. Mettas, A., Zhao, Wenbiao., 2005. Modeling and analysis of repairable systems with general repair, pp. 176-187. *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 24-27 Jan. 2005, Alexandria, Virginia.

14. Racaza, K., Guo, H., House, R., 2012. Recurrent event data analysis. (http://reliawiki.org/index.php/Recurrent_Event_Data_Analysis), (Erişim tarihi: Ekim 2018).
15. Çınlar, E., 1975. Introduction to Stochastic Processes. Prentice-Hall, New Jersey, 402 pp.
16. İnal, C., 1998. Olasılıksal Süreçlere Giriş. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 125 S.
17. Uzgören, N., Elevli, S., 2010. Homojen olmayan Poisson süreci: bir maden makinesinin güvenilirlik analizi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **25** (4): 827-837.
18. Kumar, U., Klefsjö, B., 1992. Reliability analysis of hydraulic systems of lhd machines using the power law process model. **Reliability Engineering and System Safety**, **35** (3): 217-224.
19. Majumdar, S.K., 1995. Study on reliability modeling of a hydraulic excavator system. **Quality and Reliability Engineering International**, **11** (1): 49-63.
20. Pulcini, G., 2001. Modeling the failure data of a repairable equipment with bathtub type failure intensity. **Reliability Engineering and System Safety**, **71** (2): 209-218.
21. Rao, K., Prasad, P., 2001. Graphical methods for reliability of repairable equipment and maintenance planning, pp. 123-128. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 22-25 Jan. Philadelphia.
22. Louit, DM., Pascual, R., Jardine, AK., 2009. A practical procedure for the selection of time-to-failure models based on the assessment of trends in maintenance data. **Reliability Engineering & System Safety**, **94** (10): 1618-1628.
23. Synder, D., Miller, M., 1991. Random Point Processes in Time and Space, Springer-Verlag, New York, 481 pp.
24. Ross, S., 2000. Introduction to Probability Models. Academic Press Inc, New York, 768 pp.
25. Reiss, R. D., 1993. A Course on Point Process. Springer-Verlag, New York, 272 pp.
26. Özel, G., 2005. Birleşik Poisson Süreci Üzerine Bir Çalışma. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 46 s.

27. Proschan, F., 1963. Theoretical explanation of observed decreasing failure rate. **Technometrics**, **5** (3): 375–383.
28. Rausand, M., Høyland, A., 2014. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. Wiley, Hoboken, 629 pp.
29. Block, J., Ahmadi, A., Kumar, U., 2014. Fleet-level reliability of multiple repairable units: a parametric approach using the power law process. **International Journal of Performability Engineering**, **10** (3): 239–250.
30. Block, J., Ahmadi, A., Tyrberg, T., Kumar, U., 2013. Fleet-level reliability analysis of repairable units: a non-parametric approach using the mean cumulative function. **International Journal of Performability Engineering**, **9** (3): 333–344.
31. Garmabaki, A. H. S., Alireza Ahmadi., Yasser, A. Mahmood., Abbas Barabadi., 2016. Reliability Modelling of Multiple Repairable Units. **Quality and Reliability Engineering**, **32** (7): 2329–2343.
32. Kvaløy, JT., Lindqvist, BH., 1998. TTT-based tests for trend in repairable systems data. **Reliability Engineering & System Safety**, **60** (1): 13–28.
33. Kvaløy, JT., Lindqvist, BH., 2003. A class of tests for renewal process versus monotonic and nonmonotonic trend in repairable systems data. **Mathematical and Statistical Methods in Reliability**, **7** (3): 401–414.
34. Lindqvist, BH., Elvebakk, G., Heggland, K., 2003. The trend-renewal process for statistical analysis of repairable systems, **Technometrics**, **45** (1): 31–44.
35. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/reliability/how-to/parametric-growth-curve/interpret-the-results/test-for-equal-parameters/>
36. Meeker, W.Q., Escobar, L.A., 1998. Statistical Methods for Reliability Data. Wiley, New York, 712 pp.
37. Peter, A.W., 1964. Lewis Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Wiley, pp 398-456.
38. Atabay, E., 2012. Dynamics of a Landing Gear Mechanism. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. İstanbul, 313 s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Cafer BABAYİĞİT
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 02.07.1987 - Yozgat
Medeni Durum: Evli
e-mail: cbabayigit_66@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2011
Lise	Anadolu Lisesi, Yozgat	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Kredi ve Yurtlar Kurumu	4 Yıl
2011-2014	Boytaş Mobilya	3 Yıl

YABANCI DİL

İngilizce