

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE GÜVENİLİRLİK
ANALİZİ VE UYGULAMA

SERAY BAYRAKTAR
2501130936

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ERGÜN EROĞLU

İstanbul – 2019



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAYI



ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : SERAY BAYRAKTAR

Numarası : 2501130936

Anabilim Dalı /
Anasanat Dalı / Programı : İŞLETME / SAYISAL
YÖNTEMLER

Danışmanı : PROF.DR. ERGÜN EROĞLU

Tez Savunma Tarihi : 17.06.2019

Saati : 10:30

Tez Başlığı : HAVACILIK SEKTÖRÜNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ VE UYGULAMA

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 36. Maddesi uyarınca yapılmış,
sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- PROF. DR. ERGÜN EROĞLU		Kabul
2- DOÇ. DR. BURCU ADIGÜZEL MERCANGÖZ		Kabul
3- DR.ÖĞR.ÜYESİ SİNEM BÜYÜKSAATÇI KIRIŞ		

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- DR.ÖĞR.ÜYESİ MUSTAFA CAN		
2- DR.ÖĞR.ÜYESİ ERSİN NAMLI		Kabul

ÖZ

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ VE UYGULAMA

Seray BAYRAKTAR

Havacılık sektörünün ilk yılları tasarlanan hava araçlarının güvenilirliğinden daha çok uçup/uçamayacağı endişesinin hakim olduğu yıllardır. Dolayısıyla bu yıllarda birçok hava aracı kazası meydana gelmiş, ilerleyen zamanda yapılan gelişmeler uçuş emniyetinin ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Bu gelişim süreci içerisinde hava araçlarında meydana gelen arızalarının nedenlerinin bilinmesine gerek duyulmuştur. Bunun yanı sıra sistemin ne kadar ömre sahip olduğunun araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle hava aracı yapısal bileşenlerinde meydana gelen sürtünme, yorulma ve korozyon etkisi ile oluşan hasarların takibi yapılmaya başlanarak olası bir hasarın öngörülerek tedbir alınmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır.

Rekabet koşullarında tasarlanan bir parça, ürün veya sistemden istenen çevre koşullarında ve güvenilirlikte hatasız olarak kendisinden beklenen fonksiyonlarını yerine getirmesi beklenir. Söz konusu ürünler önceden temin edilerek bunların onarılabilirlikleri, güvenilir oluşları ve kullanılabilirlikleri konusunda bilgi sahibi olunabilir. Bunlar rekabete yansıyan unsurlardır. Kısaca,

- İşletmeler güvenilirlik analizi uygulamalarının sağladığı üstünlük ve yararlardan faydalanmadıkça başarılı olamazlar.
- Birçok ürünün karmaşıklığı sürekli artmaktadır. Ürünlerin güvenilirlik tasarımlarının korunması ve daha güvenilir ürünler için en üst güvenilirliği sağlayacak tasarımlar yapılmalı ve aynı ürünlerin yeni modellerinde kullanılmalıdır.

- Her geçen gün daha fazla güvenilirliğin bilincine varılmaktadır. Güvenilir olmayan bir ürünün ne kadar pahalıya mal olduğunu günlük yaşamda öğrenilmektedir.

Kuruluşlar kendi ürünlerinin tanıtımını güvenilirlik oranı, hata yapma oranı, hatalar arası zamanı gibi kavramlarla yapmaktadırlar. Bu rekabet ortamı firmaları, kendi ürünlerini tanımaları için, ürünler hakkında bilgi toplamalarını ve bu bilgileri güvenilirlik oranlarına nasıl ve ne şekilde dönüştürüleceğini öğrenmelerini ve bu bilgileri yorumla hata oranlarını, güvenilirliklerini nasıl geliştirebilecekleri konusunda zorlamaktadır.

Bu çalışmada güvenilirlik kavramları ele alınmış ve hava araçları ile alakalı bir uygulamaya yer verilmiştir. İlk bölümde güvenilirlik teorisi ile ilgili kavramlara yer verilmiş, ikinci bölümde ise uygulamalarda sık karşılaşılan istatistiksel ömür dağılımları incelenmiştir. Sonraki bölümlerde bir sistem güvenilirliği modelinin oluşturulması için kullanılan iki yöntem, hata ağacı metodolojisi ve güvenilirlik blok diyagramları tanıtılmıştır. Bileşenlerin ömür veri analizi için geliştirilen yöntemler ve en uygun yer değiştirme zamanının hesaplanmasında kullanılan bir yaklaşım ele alınmıştır. İstatistiksel ömür dağılımlarının parametre tahmini için bir güven aralığı yöntemine değinilmiştir.

Son bölümde uygulamaya yer verilerek, sistem güvenilirliğin artırılması için yöntem belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, MTBF, MTTR, MTTF, Analiz, Bakım Süresi, Arıza Tipleri, Hava Aracı

ABSTRACT

RELIABILITY ANALYSIS IN AVIATION SECTOR AND APPLICATION

Seray BAYRAKTAR

The first years of aviation are the years when the concern of flying aircraft is more than the reliability of the aircraft. Therefore, many aircraft lost in these years, but the developments in later years led to the emergence of flight safety. It is necessary to know the reasons of the faults occurring on the aircraft in this development as well as the life span of the system. Especially the friction, fatigue and corrosion caused by the airplane parts were started to be traced and the prevention of possible damage was investigated. The logic of cost-effective (economic) maintenance is to maintain a balance between component lifetime, availability and ease of use. Maximum life is ensured by the inspection of each part and the impression of the individual lifetime.

It is expected that a piece, product or system designed in competition conditions will fulfill its expected functions without any error in the desired environmental conditions and reliability. These products can be supplied in advance and can be informed of their repairability, reliability and availability. These are the elements that are reflected in the competition. Briefly,

Enterprises cannot be successful unless they benefit from the advantages and benefits of reliability analysis applications.

- The complexity of many products is constantly increasing. Designs should be designed to ensure the reliability of the products and to provide the highest reliability for more reliable products and to be used in new models of the same products.

- More and more credibility is recognized every day. It is learned in daily life how expensive an unreliable product is.

Organizations make their products promotion with concepts such as reliability rate, error rate, time between errors. This competitive environment forces companies to gather information about their products to learn their products and how and how to convert this information to reliability rates, and how to improve their reliability by interpreting the error rates.

In this study, reliability concepts are discussed and an application related to aircraft is included. In the first chapter, concepts related to reliability theory are given, and in the second chapter, the statistical life distributions frequently observed in applications are examined. In the following sections, two methods, error tree methodology and reliability block diagrams are used to construct a system reliability model. Methods developed for life data analysis of components and an approach used to calculate the most appropriate displacement time are discussed. A confidence interval method for parameter estimation of statistical life distributions is mentioned.

In the last chapter, the method has been determined to increase the reliability of the system.

Keywords: Reliability, MTBF, MTTR, MTTF, Analysis, Maintenance Period, Fault Types, Aerial Platform

ÖNSÖZ

“Havacılık Sektöründe Güvenilirlik Analizi ve Uygulama” adlı tez çalışmamın yürütülmesinde ve tamamlanmasında yardım ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ergün EROĞLU’na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tüm tez çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini daima hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2019

Seray BAYRAKTAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ.....	iii
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GÜVENİLİRLİK.....	2
1.1. GÜVENİLİRLİK TANIMI	2
1.2. ÖMÜR DAĞILIMI (LIFETIME DISTRIBUTION)	3
1.3. HATA ZAMANI (FAILURE TIME)	3
1.4. GÜVENİLİRLİK FONKSİYONU	5
1.5. HATA ORANI	6
1.6. KÜVET (BATHTUB) EĞRİSİ	8
1.7. ORTALAMA HATA ZAMANI (MTTF).....	9
1.8. GÜVENİLİRLİK ÖNEM DÜZEYİ.....	11

İKİNCİ BÖLÜM

2. OLASILIK DAĞILIMLARI.....	12
2.1. POISSON DAĞILIMI.....	12
2.2. ÜSTEL DAĞILIM	16
2.3. GAMA DAĞILIMI	18
2.4. WEIBULL DAĞILIMI	20
2.5. NORMAL DAĞILIM	22
2.6. LOGNORMAL DAĞILIM	25

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. GÜVEN ARALIKLARI.....	29
--------------------------	----

3.1. GÜVENİLİRLİK VE GÜVEN ARALIKLARI.....	30
3.2. OLABİLİRLİK ORANI GÜVEN ARALIKLARI	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. BAKIM VE BAKIM PLANLAMASI.....	37
4.1. BAKIM İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	38
4.1.1. Arıza Tanımı.....	38
4.1.2. Bakım Tanımı	38
4.1.3. Düzeltici Faaliyet Tanımı	38
4.1.4. Onarım/Tamir Tanımı.....	38
4.1.5. Önleyici Bakım Tanımı	38
4.1.6. Kestirimci Bakım Tanımı	39
4.1.7. Periyodik Bakım Tanımı	39
4.1.8. Kullanılabilirlik Tanımı	39
4.1.9. Küvet Eğrisi Tanımı	39
4.2. BAKIM YAKLAŞIMLARI	41
4.2.1. I. Nesil Bakım.....	42
4.2.2. II. Nesil Bakım	42
4.2.3. III. Nesil Bakım	42
4.3. BAKIM YAKLAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI	44
4.3.1. Plansız Bakım	44
4.3.2. Planlı Bakım	44
4.4. GÜVENİLİRLİK ESASLI BAKIM (RCM)	45
4.4.1. Seri Mimari.....	47
4.4.2. Paralel Mimari	48
4.4.3. Güvenilirlik Modelleri	49
4.4.4. Güvenilirlik Performansının Ölçümü	52

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	55
--------------------------------------	-----------

ALTINCI BÖLÜM

6. UYGULAMA	60
6.1. VERİ PAKETİ	60

6.2. ANALİZLER	62
6.2.1. Arıza Kıyaslamaları	62
6.2.2. Gerçek Verilerle Ömür ve Bakım Periyodu Analizi	65
SONUÇ	74
KAYNAKLAR	76
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	93



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Bir Birimin Hata Zamanı [24]	4
Şekil 2. Dağılım Fonksiyonu Grafiği $F(T)$ Ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Grafiği $f(t)$ [24]	5
Şekil 3. Güvenilirlik Fonksiyonu ile Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]	5
Şekil 4. Sabit Hata Oranı [24]	8
Şekil 5. Azalan Hata Oranı [24]	8
Şekil 6. Artan Hata Oranı [24]	8
Şekil 7. Küvet Tipi Hata Eğrisi [24]	9
Şekil 8. Bir Birimin Ortalama Davranışı	10
Şekil 9. Olasılık Fonksiyonu [1]	15
Şekil 10. Kümülatif Olasılık Fonksiyonu [1]	15
Şekil 11. Üstel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]	16
Şekil 12. Üstel Dağılım Fonksiyon Grafiği [1]	17
Şekil 13. Gama Olasılık Yoğunluğu [1]	18
Şekil 14. Erlangian Hata Oranı [1]	19
Şekil 15. Weibull Güvenilirlik Fonksiyonu [1]	20
Şekil 16. Weibull Dağılımının Hata Oranı [1]	21
Şekil 18. Normal Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]	23
Şekil 19. Normal Kümülatif Dağılım Fonksiyonu [1]	24
Şekil 20. Standart Normal Dağılımın Hata Oranı $n(0.1)$ [1]	25
Şekil 21. Lognormal Dağılımın Olasılık Yoğunluğu [1]	26
Şekil 22. Lognormal Kümülatif Olasılık Dağılım Fonksiyonu [1]	26
Şekil 23. Lognormal Dağılımın Hata Oranı [1]	28
Şekil 24. Çift Taraflı Güven Aralıkları [24]	30
Şekil 25. Tek Taraflı Üst Limit [24]	31

Şekil 26. Tek Taraflı Alt Limit [24].....	31
Şekil 27. Düzey Grafiği Bölgesi [24].....	33
Şekil 28. Örnek Verilerine Karşılık Gelen Düzey Grafiği [24]	36
Şekil 29. Bakım ve Arıza Maliyetleri [20].....	37
Şekil 30. Bozulma Oranının Zamana Göre Değişimi (Küvet Eğrisi) [12].....	40
Şekil 31. Bakımların Bozulma Oranına Etkisi Grafiği [12].....	41
Şekil 32. Bakımın Önem Grafiği [17].....	41
Şekil 33. Bakım Felsefesinin Tarihsel Gelişimi [17]	43
Şekil 34. Bakım Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi [17].....	43
Şekil 35. Bakım Sınıflandırılması [33]	44
Şekil 36. Yedekli Donanım Mimarisi [16].....	47
Şekil 37. Seri Donanım Mimarisi [14].....	47
Şekil 38. Paralel Mimari [14].....	48
Şekil 39. Weibull Dağılımı $\gamma=0$ [20].....	52
Şekil 40. Her Bir Arıza için MTTR Kıyaslaması.....	63
Şekil 41. Tamiri için Toplam Harcanan Zamanlara Göre Arıza Kıyaslaması (saat)	64
Şekil 42. D1 Numaralı Arıza için Elde Edilen Histogram ve Trend Eğrisi Grafiği.....	65
Şekil 43. D1 Arızası için Üstel Dağılım Güvenilirlik Grafiği	66
Şekil 44. I1 Kodlu Arızanın Weibull Parametrelerini Çıkartmak için Yapılan Ayar Ekranı..	67
Şekil 45. I1 Arızası için Belirlenen Weibull Parametreleri Ekran Görüntüsü	67
Şekil 46. I1 Arızasına Ait Weibull Parametrelerini Tahminen Bulmak için Kullanılan Grafik.....	68
Şekil 47. Birbirine Seri Bağlanmış I, K ve D Kodlu Sistemler (Komple Motor Sistemi)	72

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. $L\beta, \eta = 4.432926 \times 10 - 10$ Değerini Sağlayan β ve η Değerleri [24]	36
Tablo 2. Bileşen Ömür Evrelerine Göre Arıza Sebepleri ve Tedbirler [12]	40
Tablo 3. Dağılımlara göre Güvenilirlik Hesaplama Temel Formülleri.....	49
Tablo 4. 2017-2018 Yılları Arasında Gerçekleşen İtki Sistemi Arızalarına Ait Veriler.....	60
Tablo 5. 2017–2018 Yılları Arasında Gerçekleşen Motor Kontrol Aksamı Arızaları Ait Veriler	61
Tablo 6. 2017–2018 Yılları Arasında Gerçekleşen Dişli Sistemi Arızaları Veriler.....	61
Tablo 7. Arıza Tiplerine Göre Gerçekleşme Yüzdesi	62
Tablo 8. Bakım Planlama Ekibinin Arızalara Ayıracağı Efor Tablosu.....	64
Tablo 9. İncelenen Arızalar için Belirlenen Weibull Dağılım Katsayıları.....	69
Tablo 10. D1 Arızası Üstel ve Weibull Dağılımına Göre Güvenilirlik Analizi Sonuçları Kıyaslaması	70
Tablo 11. 10 Çalışma Saati Sonunda Tüm Arızalar için Güvenilirlik Değerleri	70
Tablo 12. Tüm Arızalar Göz Önüne Alındığında 10 Saat Sonraki Sistem Güvenilirlik Değerleri	72
Tablo 13. 2017-2018 Yılları Arasındaki I1 Arıza Zamanları	78
Tablo 14. 2017-2018 Yılları Arasındaki I2 Arıza Zamanları	78
Tablo 15. 2017-2018 Yılları Arasındaki I3 Arıza Zamanları	79
Tablo 16. 2017-2018 Yılları Arasındaki I4 Arıza Zamanları	80
Tablo 17. 2017-2018 Yılları Arasındaki I5 Arıza Zamanları	80
Tablo 18. 2017-2018 Yılları Arasındaki I6 Arıza Zamanları	81
Tablo 19. 2017-2018 Yılları Arasındaki I7 Arıza Zamanları	82
Tablo 20. 2017-2018 Yılları Arasındaki I8 Arıza Zamanları	82
Tablo 21. 2017-2018 Yılları Arasındaki I9 Arıza Zamanları	83
Tablo 22. 2017-2018 Yılları Arasındaki I10 Arıza Zamanları	83
Tablo 23. 2017-2018 Yılları Arasındaki I11 Arıza Zamanları	83

Tablo 24. 2017-2018 Yılları Arasındaki I12 Arıza Zamanları	84
Tablo 25. 2017-2018 Yılları Arasındaki K1 Arıza Zamanları	84
Tablo 26. 2017-2018 Yılları Arasındaki K2 Arıza Zamanları	84
Tablo 27. 2017-2018 Yılları Arasındaki K3 Arıza Zamanları	85
Tablo 28. 2017-2018 Yılları Arasındaki K4 Arıza Zamanları	86
Tablo 29. 2017-2018 Yılları Arasındaki K5 Arıza Zamanları	86
Tablo 30. 2017-2018 Yılları Arasındaki K6 Arıza Zamanları	87
Tablo 31. 2017-2018 Yılları Arasındaki K7 Arıza Zamanları	87
Tablo 32. 2017-2018 Yılları Arasındaki D1 Arıza Zamanları	88
Tablo 33. 2017-2018 Yılları Arasındaki D2 Arıza Zamanları	89
Tablo 34. 2017-2018 Yılları Arasındaki D3 Arıza Zamanları	89
Tablo 35. 2017-2018 Yılları Arasındaki D4 Arıza Zamanları	90
Tablo 36. 2017-2018 Yılları Arasındaki D5 Arıza Zamanları	90
Tablo 37. 2017-2018 Yılları Arasındaki D6 Arıza Zamanları	90
Tablo 38. 2017-2018 Yılları Arasındaki D7 Arıza Zamanları	91
Tablo 39. Aksaklıklar (Arızalar) Özet Veri Tablosu	92

SİMGELER LİSTESİ

Simgeler	Açıklamalar
t	: Zaman
$X(t)$	: t zamanındaki birimin durum değişkeni
$f(t)$	: Olasılık yoğunluğu
$F(t)$	: Dağılım fonksiyonu
$P(.)$	: Bir olayın gerçekleşme olasılığı
$R(t)$	: Güvenilirlik fonksiyonu
$z(t)$	: Hata oranı
$E(t)$	: Ortalama hata zamanı
Δt	: Zaman aralığının uzunluğu
I_{R_i}	: Güvenilirlik önem düzeyi
A	: Verilen bir zaman aralığında bir olayın meydana gelme durumu
$N(t)$	: $(0, t]$ aralığında A olayının meydana gelme sayısı
λ	: Poisson sürecinin yoğunluğu-Ölçek parametresi
α	: Şekil parametresi
T_1	: A olayının ilk defa meydana geldiği zaman noktası
e	: Üstel
k	: Şok zamanı
$\Gamma(k)$	: Gama fonksiyonu
μ	: Ortalama
σ^2	: Varyans
$\Phi(.)$	: Standart normal dağılımın dağılım fonksiyonu
x_i	: İkili değişkenlerden oluşan bileşen yapısı
$X_{\alpha;k}^2$	: α olasılığı ve k serbestlik derecesi ile ki-kare istatistiği
η	: Weibull dağılımı ölçek parametresi
β	: Weibull dağılımı şekil parametresi
$\wedge$	: Logaritmik olabilirlik fonksiyonu
$\sum$	: Toplam sembolü
$\prod$	: Çarpım sembolü

KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklamalar
DFR	: Decreasing Failure Rate-Azalan Hata Oranı
FTA	: Fault Tree Analysis-Hata Ağacı Analizi
MTBF	: Mean Time Between Failures-Hatalar Arası Ortalama Zaman
MTTF	: Mean Time to Failure-Ortalama Hata Zamanı
MTTR	: Mean Time to Repair-Ortalama Tamir Zamanı



GİRİŞ

Güvenilirlik, özellikle teknolojik cihazlar ve uçaklar için endüstride kullanılan istatistiklerle ilgili birçok terimden biridir. Güvenilirlik, bir sistemin veya bir bileşenin, bileşenlerin kullanım ömrünün bir zamanından sonra arızasız olarak yaşama olasılığıdır. Ömrü boyunca, sistemler çeşitli nedenlerden dolayı başarısız olabilir ve düzgün çalışmayabilir. Bileşenlerin arıza miktarlarını ve güvenilirlik değerini herhangi bir zamanda tahmin etmek çok önemlidir, dolayısıyla güvenilirlik analizi bize sistemler hakkında içgüdüsel sayılabilecek bilgiler sağlamaktadır. Uzun teknolojisindeki uzun araçları ve havacılık endüstrisindeki uçaklar en az başarısızlıkla çalışması gereken makinelerdir.

Bu kısımda anlatılan iki ana neden ile güvenilirlik kavramının önemi anlatılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenlerden biri hava araçlarının küçük parçalar olmaması ve birçok bileşen, sistem ve alt sisteme sahip olmasıdır. Hava araçları birçok bileşenden oluşur. Bu nedenle, sistem üreticilerinin aksine, jant gibi bir çeşit ürün üreten bir firma sadece bu ürünün kalitesini yükseltmelidir. İlk nedene ek olarak, hava araçları ile kargo ve yolcu taşınması yapıldığından, uçuşlar sırasında uçağın kritik birimlerinde meydana gelen arızalar, uçuş sırasında hava aracının istendiği gibi çalışmamasına neden olabilir. Düşme, iyi çalışmama veya bir bileşenin arızalanması olasılığı, herhangi bir havacılık şirketi için istenmeyen olaylardır. Bu sorun, şirketin güvenilir ve dayanıklı ürünler tedarik etmesini çok daha kritik hale getirmektedir. Bu nedenle, sistemlerin arıza bilgilerine dayanarak güvenilirliğin araştırılması, tüm sistemin güvenilirliğini artırmak için sistemlerin niteliklerini geliştirmek için çok önemlidir.

Arıza verilerinin analizi bizi arızaların altındaki ana nedeni bulmaya yönlendirebilir. Hava araçlarının birimlerinde ara sıra meydana gelen arızalar olabilir. Ana nedenlerin ortadan kaldırılması başarısızlıkların daha az gerçekleşmesini sağlar. Bu analizlerin araştırılması ve soruşturulması, sistemlerin kurtarılmasını ve uçuşlar sırasında başarısız olma ihtimalini azaltılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, güvenilirlik analizi sonucu üretim planlama ve stok seviyelerini de etkilemektedir. Şirketler, güvenilirlik analizinin çıktısına göre üretim ve stok planlama faaliyetlerini ve stok seviyelerini değiştirmektedirler. Bakım planlaması ve bakım gerekliliklerinin organizasyonu yine bu analiz çıktısına göre koordine edilmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

GÜVENİLİRLİK

1.1.GÜVENİLİRLİK TANIMI

Güvenilirlik, bir ürünün istenen bir işlevinin, belli koşullar altında, belirli bir periyod boyunca bozulmadan çalışma olasılığı olarak tanımlanır. [20]

Bir güvenilirlik ölçüsü, “Ürün bozulmadan ne kadar çalışacak?”, “Garanti süresi içerisinde ürünler hangi oranda arıza gösterecek?”, “Yeni bir ürün için ne kadarlık bir garanti süresi belirlenmelidir?” gibi soruların cevabını vermelidir.

Herhangi bir ürün grubunda bazı birimler 100 saat, 200 saat, ya da 1000 saatlik çalışma süresine sahip olabilirler. Başka bir ifadeyle ömür uzunluğu (life time) bir rasgele değişkendir. Bu rastgele değişken davranışlar incelenirken olasılıklar, dağılımlar, ortalama ve değişkenlik ölçüleri kullanılmalıdır. Bir rastgele değişken fonksiyonu olan güvenilirlik, bu yüzden bir olasılıktır. Tahmin ve hesaplamasında istatistik kullanılır.

Bir ürünün güvenilirliği tanımlanırken, ürünün yerine getirmesi gereken işlev, hatayı oluşturan sebepler tasarım sırasında açıkça belirlenmelidir. Bir ürünün yaşam süresi ölçülmeden önce üründen beklenen işlev ve neyin “bozulma” olduğu konusu açıkça ayrıca ürünün çalışma koşulları açıkça belirlenmelidir. Güvenilirlik, çalışma koşullarına göre değişiklik gösterebilir.

Özet olarak güvenilirlik, “zamanın bir fonksiyonu” olarak tanımlanmalıdır. Güvenilirlik, belirlenmiş bir zamanda ürün grubun belirli bir oranı, mevcut işlevi bozulmadan sürdürmeye devam eden ve belirlenen bu zamandan sonra çalışmaya devam eden oranı temsil eder.

1.2.ÖMÜR DAĞILIMI (LIFETIME DISTRIBUTION)

Bir ürünün ömür dağılımı, bütün güvenilirlik ölçütlerinden elde edilen temel bilgidir. Bu da o ürün grubundaki bütün bileşenlerin ömür uzunluğunun dağılımı anlamına gelmektedir. Ömür uzunluğu, saatler, haftalar, döngü sayıları vs. ile ölçülebilir. Dağılım, anakütleden alınan örnek bir veri setinden tahmin edilebilir. Çoğu zaman ömür dağılımının belirli bir şekle sahip olduğunu varsaymak mümkündür. Genel bir yaklaşım, ömrün üstel dağıldığı şeklindedir. Aynı şekilde incelemelere (gözlemlere) dayanan çoğu ölçümlerin normal dağıldığı varsayılır. Bu çeşit varsayımlar, ürünün geçmişi ya da benzer ürünlerle ilgili bilgilere dayanmalıdır.

Bir ürünün ömür dağılımı, eğer üstel, normal, vs. gibi çeşitlere sahip dağılımların parametreleri için tahmin edilen değerler bilinirse anlaşılabilir.

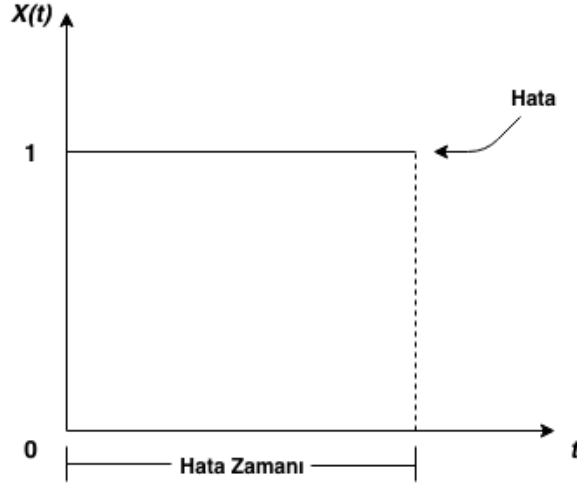
1.3.HATA ZAMANI (FAILURE TIME)

Hata zamanı, bir birimin ilk çalışmasından ilk bozulmasına kadar geçen süreyi temsil eder. Başlama noktası $t = 0$ anı alındığında ve hata zamanı belirsiz olduğu düşünüldüğünde T 'yi rasgele zaman değişkeni olarak yorumlamak mümkündür.

t zamanındaki birimin durum değişkeni $X(t)$ ile gösterilebilir. Aynı zamanda;

$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer birim } t \text{ zamanında çalışıyorsa} \\ 0, & \text{Eğer birim } t \text{ zamanında çalışır durumda değilse} \end{cases}$$

$X(t)$ bir rasgele değişkendir. Durum değişkeni $X(t)$ ve hata zamanı T arasındaki ilişki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Bir Birimin Hata Zamanı [24]

Hata zamanı t her zaman sürekli bir zaman dilimini göstermez, aşağıdaki durumlar da söz konusu olabilir:

- Bir trafik lambasının yanıp sönme sayısı
- Bir buzdolabının çalışma süresi

gibi örnekler verilebilir.

Bu örneklerden, hata zamanının çoğu zaman kesikli değişken olabileceği varsayılabilir. Bununla beraber, kesikli bir değişken sürekli bir değişkene yakınsanabilir. T hata zamanının $f(t)$ olasılık yoğunluğu ve $F(t)$ dağılım fonksiyonu ile sürekli dağıldığı varsayılacaktır.

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u) du \quad t > 0$$

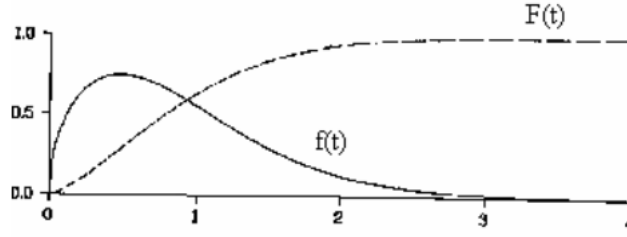
Dağılım fonksiyonu $F(t)$, birimin $(0, t]$ zaman aralığında bozulma olasılığını gösterir.

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t}$$

Bu durumda Δt küçük olduğunda

$$P(t < T \leq t + \Delta t) \approx f(t) \cdot \Delta t$$

olur.



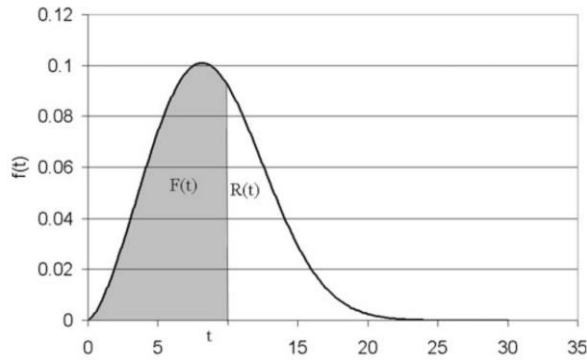
Şekil 2. Dağılım Fonksiyonu Grafiği F(T) Ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Grafiği f(t) [24]

1.4.GÜVENİLİRLİK FONKSİYONU

Güvenilirlik; “Bir sisteme ait belirlenmiş standartlara göre verilen bir zaman aralığında amaçlanan fonksiyonlarını yapabilme olasılığıdır.” Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$, t zamanında bir sistemin (veya bileşenlerin) tanımlanmış fonksiyonları gerçekleştirebilme olasılığı olarak tanımlanır. Bu (t) zamanında elde edilen güvenilirlik fonksiyonu yalnızca bir olasılıktır. Bir birimin güvenilirlik fonksiyonu şöyle tanımlanır.

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad t > 0 \text{ için}$$

Burada $R(t)$, birimin $(0, t]$ aralığında bozulmama olasılığı ya da birimin $(0, t]$ aralığında ve t zamanında çalışıyor olma olasılığıdır. $R(t)$ fonksiyonuna aynı zamanda “Ömür Fonksiyonu”da denir.



Şekil 3. Güvenilirlik Fonksiyonu ile Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]

1.5.HATA ORANI

Bir birimin $(t, t + \Delta t)$ aralığında bozulma olasılığı, t zamanında birimin çalıştığı bilindiğinde;

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

Bu olasılık zaman aralığının uzunluğuna bölünürse $\Delta t \rightarrow 0$ iken hata oranı $z(t)$ elde edilir.

$$\begin{aligned} z(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned}$$

Buna göre Δt küçükken;

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = z(t) \cdot \Delta t$$

olur.

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \frac{d}{dt} (1 - R(t)) = -R'(t)$$

ise

$$z(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t)$$

$R(0) = 1$ olduğunda;

$$\int_0^t z(t) dt = -\ln R(t)$$

Güvenilirlik Fonksiyonu;

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(u) du}$$

Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ ve dağılım fonksiyonu $F(t) = 1 - R(t)$, hata oranı $z(t)$ ile hesaplanır.

Hata oranı, bir birimin ömür dağılımının fonksiyonu ve hataya olan eğilimidir.

Hata oranı, yaşının veya çalışma süresinin bir fonksiyonu olarak ürünün hataya eğilimini belirler.

Belirli bir zamandaki hata oranı, o zamana kadar bozulmuş bileşen sayısının tüm bileşen sayısına oranıdır.

Örneğin, 750 servo test edildiğinde, 1000 inci saatte çalışanların sayısı 500, sonraki 50 saatte bozulanların sayısı 25, sonraki 50 saatte bozulanların sayısı yine 25 ise,

Servolar için 1000. saatteki hata oranı;

$$z(1000) = \frac{1000. \text{saate kadar bozulanların sayısı}}{\text{Toplam servo sayısı}} = \frac{250}{750} = 0,33$$

Servolar için 1100. saatteki hata oranı;

$$z(1100) = \frac{1100. \text{saate kadar bozulanların sayısı}}{\text{Toplam servo sayısı}} = \frac{275}{750} = 0,36$$

Burada $z(t)$, hata oranı ya da tehlike oranını gösteren fonksiyondur. Yukarıdaki örnekten de anlaşılacağı gibi zaman geçtikçe hatalı ürün artmakta yani hata oranı artmaktadır.

Hata oranı, ürünün doğasına göre artar, azalır, ya da sabit kalabilir.

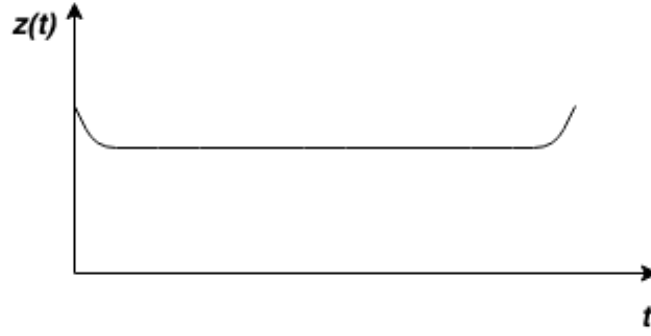
Hata oranı, ömür dağılım bilgisinden elde edilebilir.

Ortalama hata oranı (Average Failure Rate) bir ürünün güvenilirlik ölçüsü olarak kullanılır. Üstel ömür dağılımına sahip ürünler için zamanla sabit kalan hata oranı, güvenilirlik için gerekli olan bilgiyi verir.

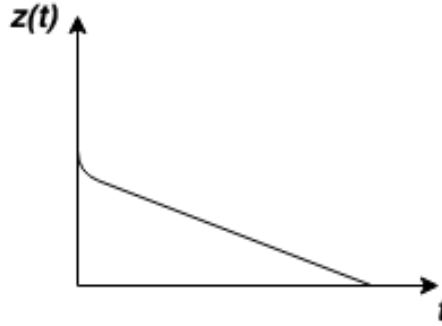
Güvenilirlik çalışmalarında hata oranı kavramının önemli bir rolü vardır. Parça ve malzemelerin yeniyken ve eskiyince bozulma etkilerini anlamaya yardımcı olur. Burada anlatılan güvenilirlik geliştirme stratejileri, önleyici bakım, parça yenileme ve stok planlamada fayda sağlar.

1.6.KÜVET (BATHTUB) EĞRİSİ

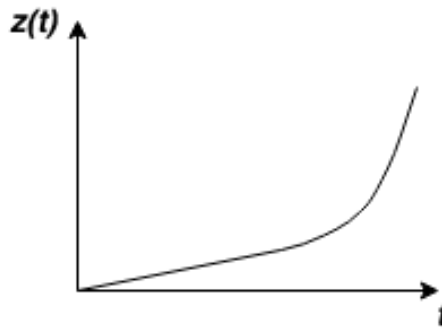
Hata oranı eğrileri kullanılarak çeşitli malzemelerin ömür davranışları araştırıla gelmiştir. Aşağıdaki şekilde bir kaç, değişik gereç, için hata oranının zamanla nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bunlardan biri, geniş uygulama alanı ve küvete benzeyen sekliyle “Küvet Eğrisi”dir. Bu eğride, malzemenin ömrü üç farklı bölgeye ayrılır.



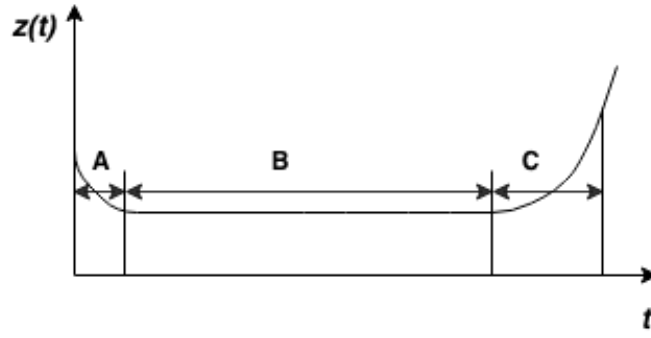
Şekil 4. Sabit Hata Oranı [24]



Şekil 5. Azalan Hata Oranı [24]



Şekil 6. Artan Hata Oranı [24]



Şekil 7. Kuvvet Tipi Hata Eğrisi [24]

A Bölgesi

Sabitleşinceye kadar azalan hata oranı bölgesidir. Hata oranındaki bu azalış, anakütledeki üretim hatası olan bileşenlerden ileri gelmektedir.

B Bölgesi

Hata oranı artmaya başlamadan önceki sabit bölgedir. Buradaki hatalar, rasgele meydana gelen sebeplerden kaynaklanır.

C Bölgesi

Artan hata oranı bölgesidir. Bu bölgede bileşenlerin ömür süreleri dolmaya başlamaktadır.

1.7.ORTALAMA HATA ZAMANI (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF), yani ortalama hata zamanı;

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt$$

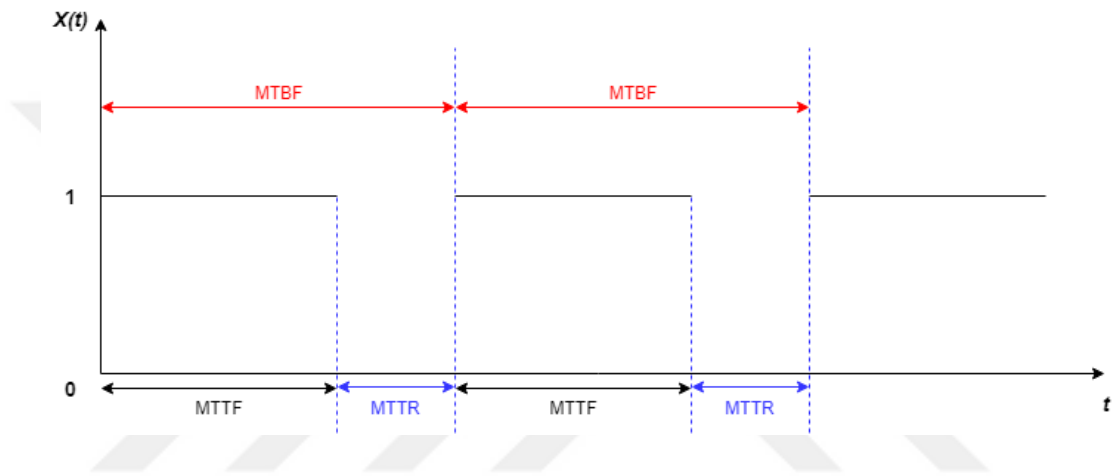
ile tanımlanır.

“MTTF, zamana karşı dayanma süresi için kullanılan rastgele değişkeninin beklenen değeri ya da ortalaması olarak adlandırılabilir.” [3]

Bozulan bir birimi yenilemek veya tamir etmek için gereken süre ortalama hata zamanına kıyasla çok kısa ise veya ilgili birim onarılmayan bir birim ise MTTF aynı zamanda hatalar arasındaki ortalama zamanı (MTBF) gösterir. Eğer tamir zamanı ihmal edilemiyorsa hatalar arası ortalama zaman (MTBF) aynı zamanda ortalama tamir zamanını (MTTR) da içerir.

MTBF, MTTF ve MTTR arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıda gösterilmiştir.

$$MTBF = MTTF + MTTR$$



Şekil 8. Bir Birimin Ortalama Davranışı

Şekil 8'deki grafikte onarılabılır bir birimin belirli bir zaman aralığında incelenen arıza sayısı, arıza zamanları, çalışma süreleri ve onarım süreleri analiz edilerek elde edilen ortalama değerler gösterilmektedir.

1.8.GÜVENİLİRLİK ÖNEM DÜZEYİ

Bir sistemin güvenilirliği hesaplandıktan sonra en az güvenilir bileşenin bulunması gerekebilir. Bir seri sistemde en az güvenilirliğe sahip bileşen, tüm sistem üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Sistem güvenilirliği geliştirilecekse ilk önce bu bileşenin geliştirilmesine odaklanılmalıdır. (Sistem geliştirme maliyeti burada göz ardı edilmiştir)

i. bileşenin güvenilirlik önem düzeyi:

$$I_{R_i} = \frac{\partial R_s}{\partial R_i}$$

Burada R_s sistem güvenilirliği, R_i bileşen güvenilirliğidir. Güvenilirliği en az bileşenin güvenilirlik önem düzeyi en fazladır. Güvenilirlik önem düzeyi, sistemin geliştirilmesi için ele alınması gereken bileşenleri belirlemede önemli rol oynar.

İKİNCİ BÖLÜM

OLASILIK DAĞILIMLARI

Bu bölümde güvenilirlik analizlerinde kullanılan dağılımlara yer verilmiştir. Güvenilirlik analizi bir olasılık hesabı olduğundan bu bölümde anlatılan dağılımlar ile hesaplanmaktadır.

2.1.POISSON DAĞILIMI

Poisson dağılımı bir rassal değişkene göre sabit hata oranı ele alındığı durumlarda geçerli kesikli bir dağılımdır. Verilen zaman aralığında bir olayın meydana gelme durumu A olsun. Homojen bir Poisson dağılımı aşağıdaki varsayımları gerektirir.

- 1- A, zaman aralığındaki her hangi bir anda meydana gelebilir. A'nın $(t, t + \Delta t]$ zaman aralığında olma olasılığı t den bağımsızdır ve λ pozitif bir sabitken $\lambda \cdot \Delta t + o(\Delta t)$ ile gösterilebilir.

$o(\Delta t)$ burada,

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} [o(\Delta t) / \Delta t] = 0$$

özelligi ile Δt 'nin bir fonksiyonudur.

- 2- $o(\Delta t)$, $(t, t + \Delta t]$ zaman aralığında A'nın birden fazla sayıda meydana gelme olasılığıdır.
- 3- $(t_{11}, t_{12}]$, $(t_{21}, t_{21}]$... , zaman periyodundaki farklı aralıklar olsun. A'lar, $(t_{11}, t_{12}]$, aralığında meydana gelir.

Sürecin λ yoğunluğuna sahip olduğu söylenir. Genel olarak $t = 0$ noktası sürecin başlangıç noktası alınır.

$N(t)$, $(0, t]$ aralığında A olayının meydana gelme sayısı olsun.

$p(n, t) = P(N(t) = n)$ ise A olayının $(0, t]$ de n defa meydana gelme olasılığı olsun. O halde

$$\begin{aligned}
p(0, t + \Delta t) &= p(0, t)(1 - \lambda \Delta t - o(\Delta t)) \\
&= p(0, t) - \lambda p(0, t) \Delta t - p(0, t) o(\Delta t)
\end{aligned}$$

Bu sebeple;

$$\frac{p(0, t + \Delta t) - p(0, t)}{\Delta t} = -\lambda p(0, t) - \frac{p(0, t) o(\Delta t)}{\Delta t}$$

$\Delta t \rightarrow 0$ ve $p(0, t)$ nin t üzerinden türevlenebilir olduğu varsayımıyla,

$$\frac{d}{dt} p(0, t) = -\lambda p(0, t)$$

Bu sebeple,

$p(0, t) = C e^{-\lambda t}$ $t > 0$ için ve C burada sabittir.

$$p(0, 0) = 1 \Rightarrow C = 1$$

Bu sebeple;

$$p(0, t) = e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ için};$$

T_1 , A olayının ilk defa meydana geldiği zaman noktası olsun. T_1 rasgele değişken olmak üzere;

$$\begin{aligned}
F_{T_1}(t) &= P(T_1 \leq t) = 1 - P(T_1 > t) \\
&= 1 - p(0, t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ için}
\end{aligned}$$

iken,

$$F_{T_1}(t) = 0 \quad t < 0$$

olur.

Burada, λ parametresiyle ilk A olayındaki T zamanının üstel dağıldığı söylenir.

Olasılık yoğunluğu ise;

$$f_T(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & ; t > 0, \lambda > 0 \text{ için} \\ 0 & ; \text{diğer} \end{cases}$$

T_1 in ortalama değeri

$$E(T_1) = \int_0^{\infty} t f_{T_1}(t) dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

dir.

A olayı meydana geldiğinde süreç yeniden başlar, bu yüzden birbirini takip eden olaylar arasındaki bekleme zamanı T , homojen Poisson dağılımı ile üstel dağılır.

λ büyük ise ortalama bekleme zamanı kısadır, λ küçük ise ortalama bekleme zamanı uzundur.

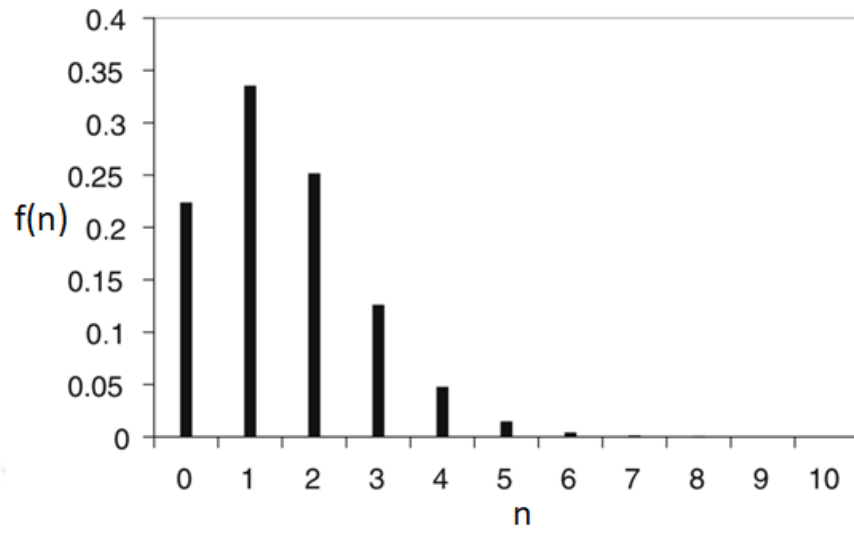
Bu sebepten dolayı λ , sürecin yoğunluğunu vurgular.

$$f(n) = p(n, t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad ; n = 0, 1, 2, \dots$$

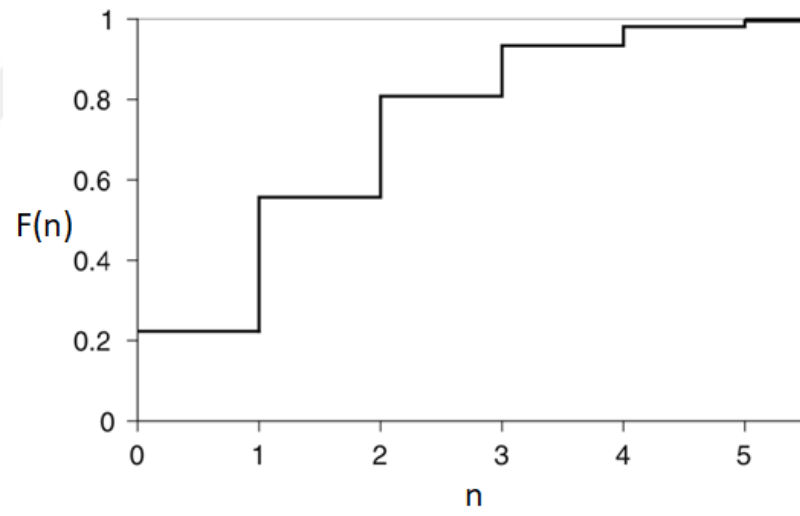
Bu dağılım, λt parametresiyle “Poisson Dağılımı” olarak isimlendirilir.

$$E(N(t)) = \sum_{n=0}^{\infty} n \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} = \lambda t$$

Bu dağılım bir sonraki bölümde anlatılacak olan üstel dağılımının bir durumu gibi yorumlanabilir.



Şekil 9. Olasılık Fonksiyonu [1]



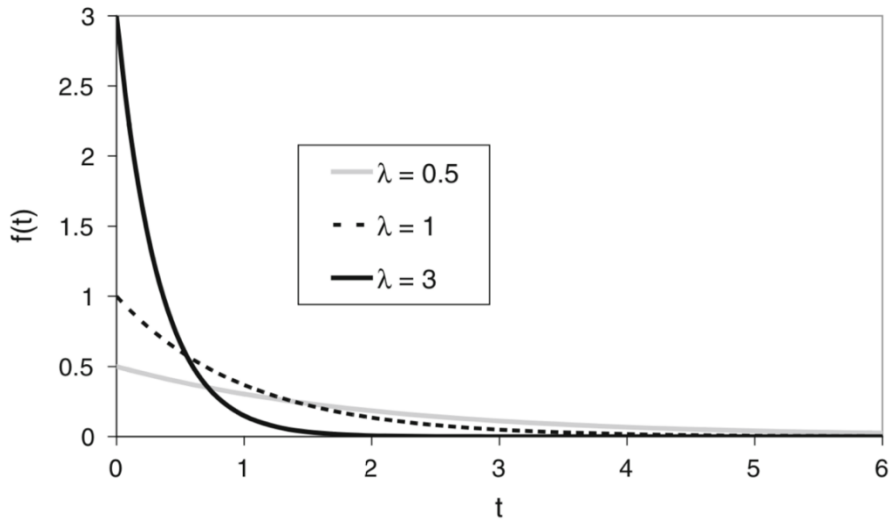
Şekil 10. Kümülatif Olasılık Fonksiyonu [1]

2.2.ÜSTEL DAĞILIM

Üstel dağılım da güvenilirlik analizlerinde kullanılan bir dağılımdır. Kullanılabilmesindeki en önemli faktör hata oranının sabit olmasıdır. Arıza oranlarının sabit olduğu veya zamandan bağımsız olduğu durumlarda, sistemin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Bir birimin hata zamanı T nin λ parametresiyle üstel dağıldığı varsayılırsa, olasılık yoğunluğu şu şekildedir;

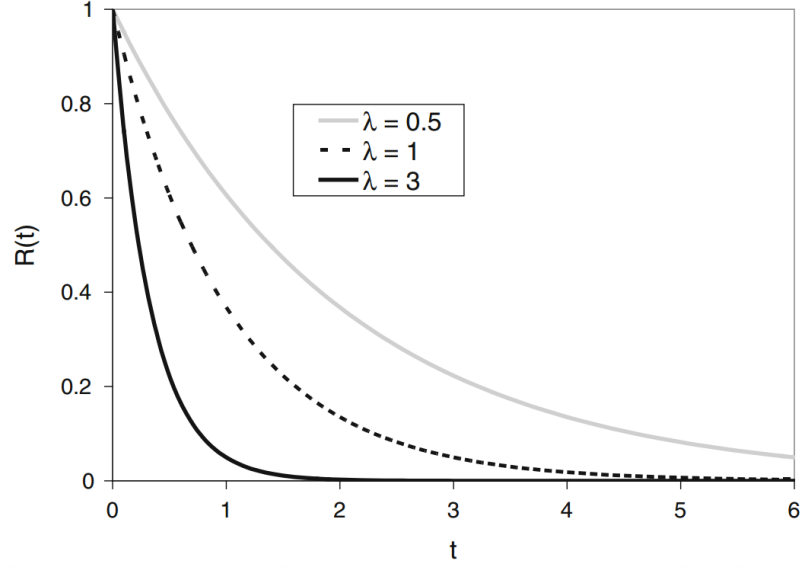
$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & t > 0 \lambda > 0 \text{ için} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$



Şekil 11. Üstel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]

Güvenilirlik fonksiyonu;

$$R(t) = P(t < T) = \int_t^{\infty} f(u) du = e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ için}$$



Şekil 12. Üstel Dağılım Fonksiyon Grafiği [1]

Ortalama hata zamanı;

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

Hata oranı;

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

T'nin varyansı;

$$Var(T) = \frac{1}{\lambda^2}$$

Üstel dağılıma sahip bir ömür dağılımının hata oranı sabittir (λ). T zamanında çalışır durumda olan birimin kalan ömrü t zamanından bağımsızdır.

$$P(T > t + x \mid T > t) = \frac{P(T > t + x)}{P(T > t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda(t+x)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda x} = P(T > x)$$

Üstel dağılıma sahip ömür dağılımlarında,

- Çalışan bir birim yenisi kadar bekleneni karşılamaktadır (performansı aynıdır), yenilemek için herhangi bir sebep yoktur.

- Güvenilirlik fonksiyonu, ortalama hata zamanını (MTTF) belirlemek için birimin gözlenen çalışma süresi içerisindeki arıza verilerini toplamak gerekir.

2.3.GAMA DAĞILIMI

Gama dağılımı, bazı hata setlerine uygunluk gösterebilen esnek bir ömür dağılımıdır. Bir sistemin ilk hata zamanlarında üstel dağılım yerine doğal olarak kullanımı ortaya çıkar. Birimin α şok zamanında (daha önce değil) bozulması durumunda birimin hata zamanı,

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_k$$

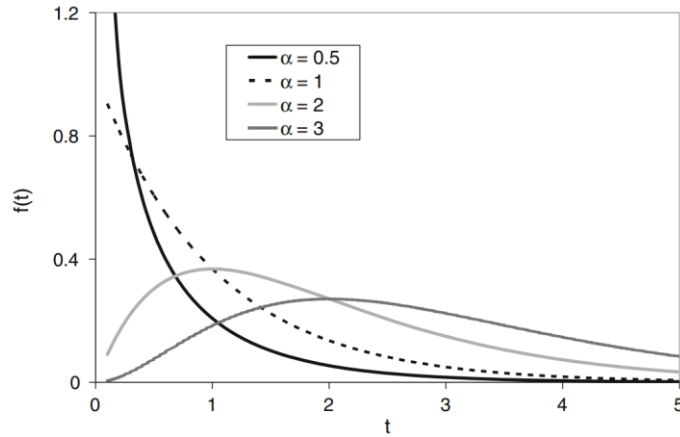
T gama dağılır (α, λ) . Olasılık yoğunluğu,

$$f(t, \alpha, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$$

$\Gamma(\alpha)$ burada Gama fonksiyonunu belirtir.

α pozitif sabit bir sayıdır.

α 'nın bazı değerleri için $f(t)$ aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 13. Gama Olasılık Yoğunluğu [1]

Gama dağılımındaki λ parametresi şok yoğunluğunu gösterir. α , şoklara dayanabilme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak adlandırılabilir.

Ortalama hata zamanı;

$$MTTF = \frac{\alpha}{\lambda}$$

T 'nin varyansı;

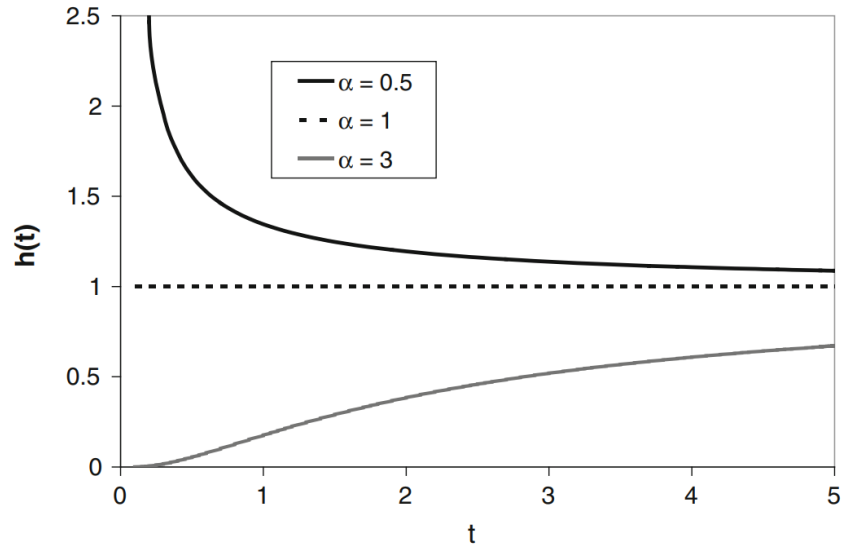
$$Var(T) = \frac{\alpha}{\lambda^2}$$

k sabit bir sayı iken, Gama dağılımı aynı zamanda “Erlangian Dağılımı” olarak da bilinir. Güvenilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi olur.

$$R(t) = 1 - F(t) = \sum_{k=0}^{\alpha-1} \frac{\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)}}{k!}$$

Hata oranı aşağıdaki gibi olur.

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{t^{\alpha-1}}{\lambda^{\alpha} \Gamma(\alpha) \sum_{k=0}^{\alpha-1} \frac{\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}{k!}}$$



Şekil 14. Erlangian Hata Oranı [1]

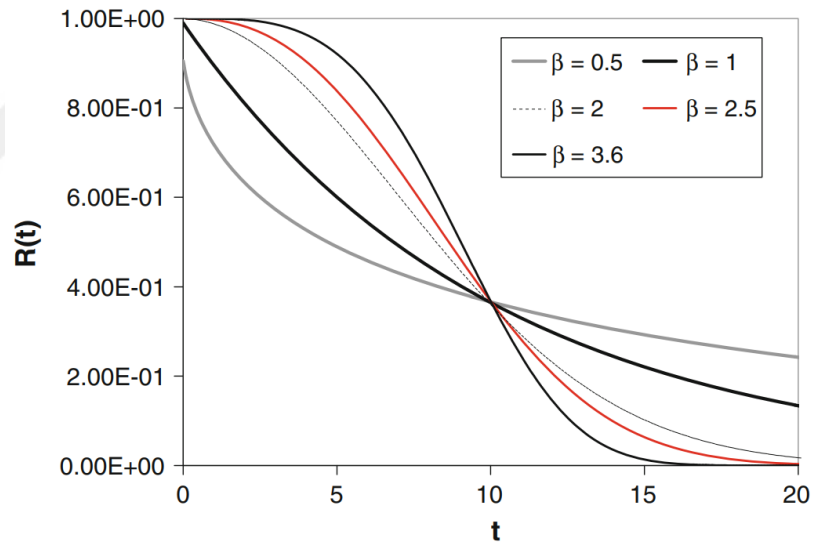
2.4.WEIBULL DAĞILIMI

Küvet eğrisinden hatırlanacağı üzere (Bölüm 1.6) ilk bozulma periyodunda (A bölgesi) $z(t)$ sıklıkla azalır, son bozulma periyodunda (C bölgesi) ise artar. Mekanik birimlerin çoğunluğunda, kullanışlı ömür periyodunda (B bölgesi) $z(t)$ bir parça artar. Böyle durumlarda üstel dağılım gerçekçi bir model olmaktan çıkar.

Olasılık yoğunluğu;

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} & t > 0 \text{ için} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

Burada α ölçek parametresi, β şekil parametresidir.



Şekil 15. Weibull Güvenilirlik Fonksiyonu [1]

Güvenilirlik fonksiyonu;

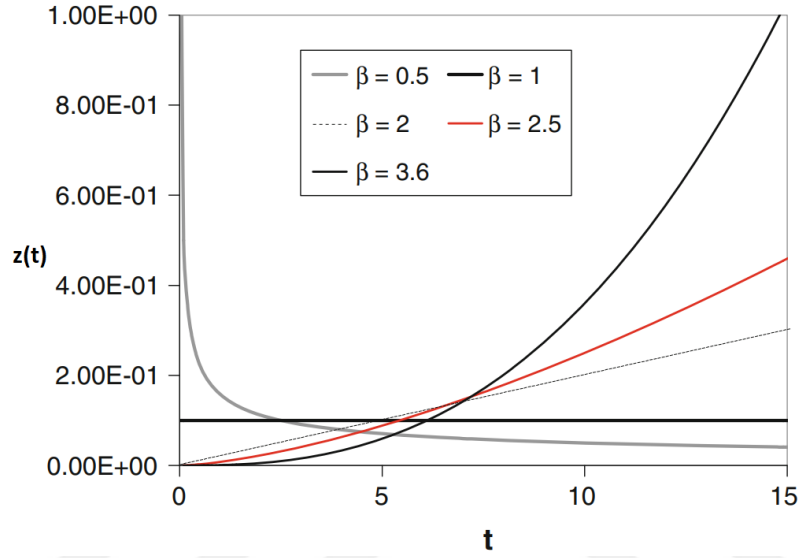
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad t > 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Hata oranı;

$$z(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta}$$

$\beta = 1$ iken hata oranı sabittir ve bu durumda Weibull dağılımı üstel dağılıma yaklaşıır.



Şekil 16. Weibull Dağılımının Hata Oranı [1]

$\beta > 1$ iken $z(t)$ artan, $\beta < 1$ iken azalan fonksiyondur. $\beta = 2$ iken oluşan dağılım Rayleigh Dağılımı olarak bilinir. Weibull dağılımı esnek bir dağılımdır ve hata oranı azalan, sabit kalan ve artan ömür dağılımlarını modellemek için kullanılır.

$$MTBF = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty t \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta} dt$$

$$x = \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta$$

$$dx = \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} dt$$

Böylece,

$$MTBF = \int_0^{\infty} t e^{-y} dy$$

$$t = \alpha x^{\frac{1}{\beta}}$$

ise,

$$MTBF = \alpha \int_0^{\infty} x^{\frac{1}{\beta}} e^{-x} dx = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$\Gamma(x)$ gama fonksiyonu olduğundan

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy$$

ise varyans aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Var = \sigma^2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]$$

2.5.NORMAL DAĞILIM

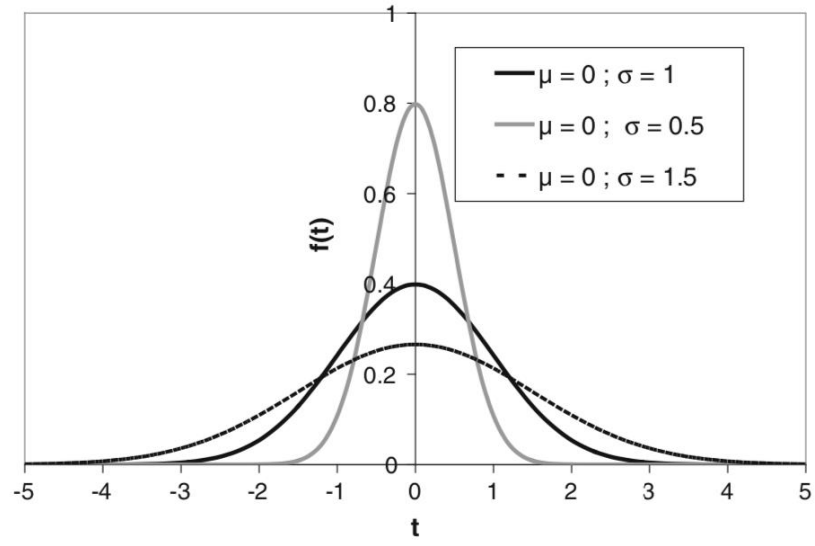
İstatistik ve olasılık alanlarında en çok kullanılan dağılım normal (Gauss) dağılımdır. Güvenilirlik analizlerinde diğer dağılımlara nazaran daha az anlamlı durumdadır.

Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu tam simetrik durumdadır. Yoğunluk fonksiyonunun pozisyonu ve şekli ortalama ile standart sapma değerlerine bağlıdır.

T rasgele değişkeni μ ortalama ve σ^2 varyansı ile normal dağılır.

$$T \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} - \infty < t < +\infty \text{ için}$$



Şekil 17. Normal Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu [1]

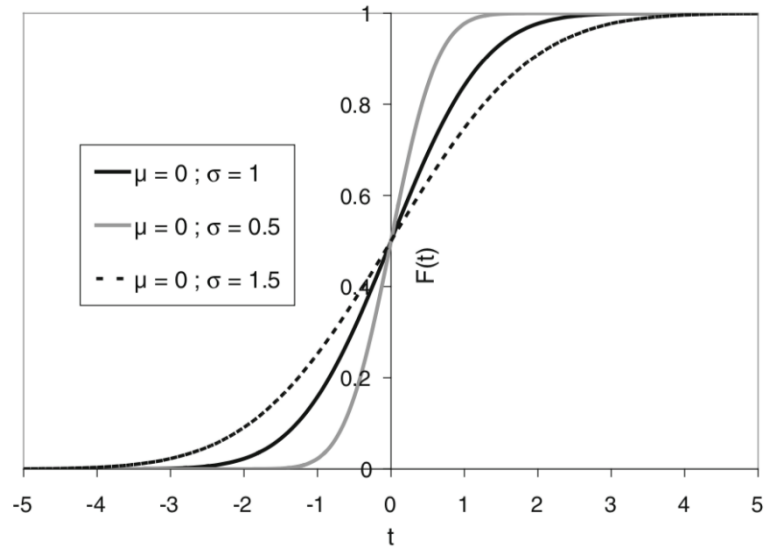
$N(0,1)$ dağılımı standart normal dağılım olarak adlandırılır. Standart normal dağılımın dağılım fonksiyonu genellikle $\Phi(t)$ ile gösterilir.

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$$

$T \sim N(\mu, \sigma^2)$ nin dağılım fonksiyonu;

$$F(t) = P(T \leq t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$$

ile gösterilir.



Şekil 18. Normal Kümülatif Dağılım Fonksiyonu [1]

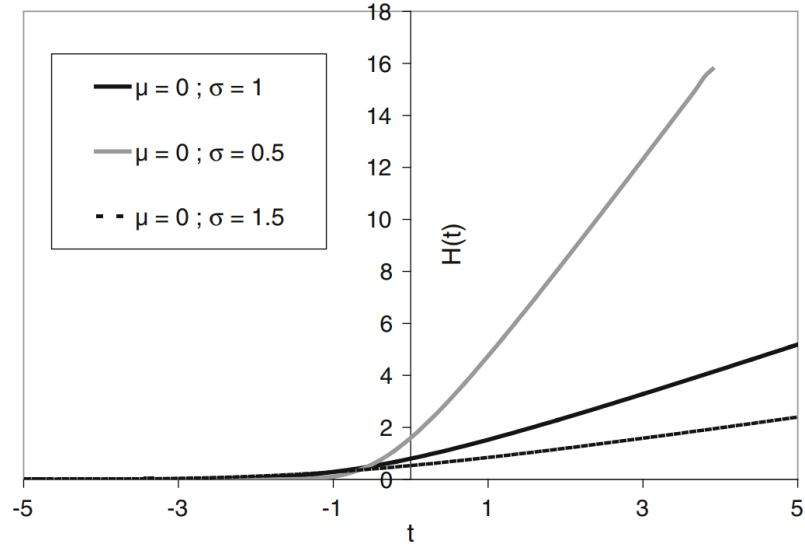
Güvenilirlik fonksiyonu;

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$$

Normal dağılımın hata oranı;

$$z(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)}$$

Hata oranı bütün t ler için artar ve t sonsuza giderken $z(t) = t$ olur.



Şekil 19. Standart Normal Dağılımın Hata Oranı n(0.1) [1]

Bir rasgele değişken alt ve/veya üst sınırlara sahip bir normal dağılıma sahipse bu dağılım kesikli normal dağılım adını alır.

Sadece alt sınır mevcutsa soldan kesik dağılım, sadece üst sınır mevcutsa sağdan kesik dağılım adını alır. İki taraftan da sınırlıysa çift taraflı kesik normal dağılım adı verilir.

t rassal değişken normal dağılıma uyuyorsa; Bu rassal değişkenin ortalaması;

$$E(t) = \mu$$

Bu rassal değişkenin varyansı;

$$Var(t) = \sigma^2$$

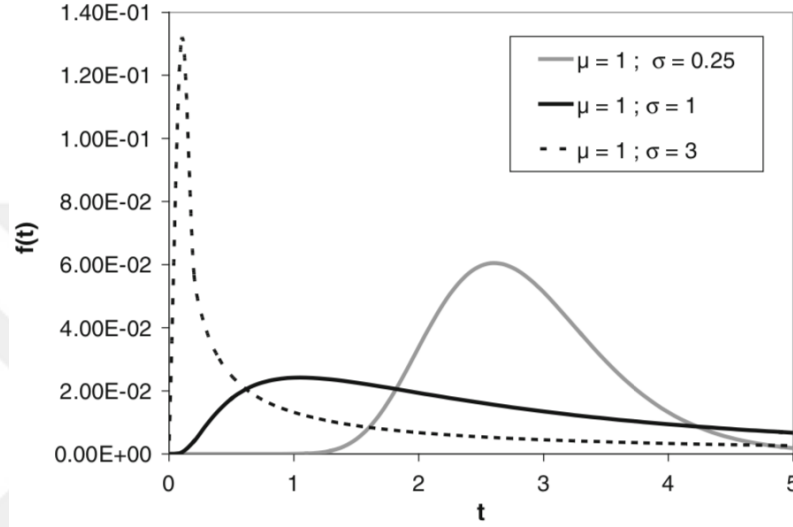
dir.

2.6.LOGNORMAL DAĞILIM

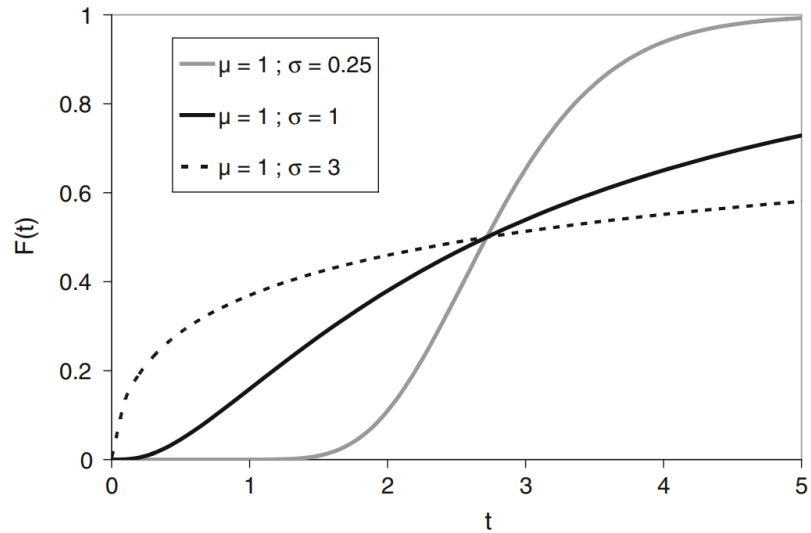
Bir birimin hata zamanı T eğer $Y = \ln T$ normal dağılıyor ise bu hata zamanının lognormal dağıldığı söylenir. Eğer μ ve σ^2 sırasıyla ortalama ve varyans ise T 'nin olasılık yoğunluğu;

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-(\ln t - \mu)^2 / 2\sigma^2} & t > 0 \text{ için} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

Aşağıdaki şekilde lognormal olasılık yoğunluğu gösterilmiştir.



Şekil 20. Lognormal Dağılımın Olasılık Yoğunluğu [1]



Şekil 21. Lognormal Kümülatif Olasılık Dağılım Fonksiyonu [1]

Ortalama hata zamanı;

$$MTTF = e^{\mu + \sigma^2/2}$$

T 'nin varyansı;

$$Var(T) = e^{2\mu}(e^{2\sigma^2} - e^{\sigma^2})$$

Ömür fonksiyonu;

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)$$

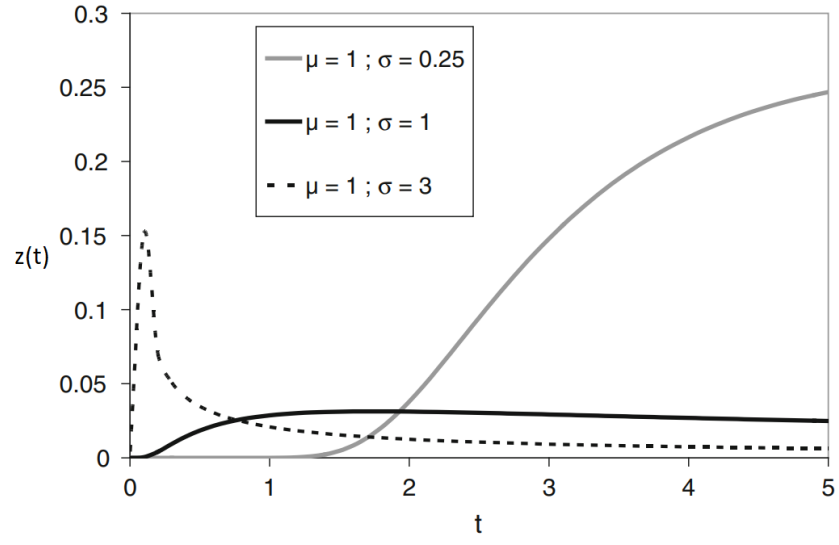
$\Phi(t)$, standart normal dağılımın dağılım fonksiyonudur.

Lognormal dağılımın hata oranı;

$$z(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)}$$

dir.

$\phi(t)$, standart normal dağılımın olasılık yoğunluğunu gösterir.



Şekil 22. Lognormal Dağılımın Hata Oranı [1]

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GÜVEN ARALIKLARI

Güvenilirlik konusunun en karmaşık konularından birisi bir tahminin kesinliğidir. Bu bölümde güven aralığı kavramı aşağıda yer alan örnek ile açıklanacaktır.

“Küçük Örnek Boyutlu Bilye Çekimi”

Büyük bir havuzda milyonlarca karışık durumda siyah ve beyaz bilyeler olduğu farz edilsin. Siyah bilyelerin yüzdesi tahmin edilmeye çalışılsın: Siyah bilyelerin oranını kesin olarak bulmanın tek yolu tek tek sayım yapmak ve yüzdeyi hesaplamaktır. Bu yöntem çok zaman gerektirir ve pratik bir çözüm değildir. Bunun yerine yüzdenin bir tahminini bulma ihtiyacı doğar. Bunu yapabilmek için havuzdan görece küçük bir örnek çekip, örneğin kaç tane siyah bilye içerdiği sayılır. 10 örnekten 4 tanesi siyah ise siyah bilye yüzdesi %40 bulunur. Çekilen bilyeler tekrar havuza atılıp yine 10 bilyelik bir örnek çekilir. Bu defa 6 tanesi siyah ise, yeni siyah bilye yüzdesi %60 olarak bulunmuş olur. Bu durumda hangi sonucun “doğru” olduğu sorusu akla gelir. Her iki tahmin de doğrudur. Bu örnekler tekrar tekrar elde edilirse tahminler çoğunlukla $\%X_1$ ve $\%X_2$ arasında olacaktır. Böylece çekilen belli sayıdaki örneğin bu limitler arasında olacağı söylenebilir. Örneğin, bütün örneklerin bu aralıkta sonuç verdiğini kabul edersek havuzdaki bilye oranı X_1 %40 ile X_2 %60 arasında olacağı tahmini doğrudur. [24]

“Büyük Örnek Boyutlu Bilye Çekimi”

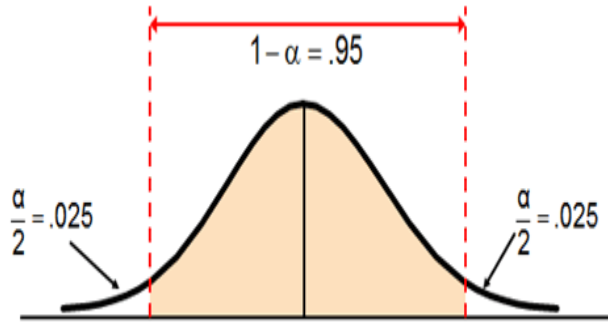
Deney tekrarlanır ve örneğin 1000 bilye çekilirse örnekte sayılan siyah bilye sayıları her farklı deneme için 545, 570, 530 vs. olabilir. Bu durumda tahmin aralıkları önceki durumdan daha dar olacaktır. Örneğin, tahminin %90’ı bu durumda $\%Y_1$ ve $\%Y_2$ arasında olacaktır. Burada küçük örneklem üst limiti X_2 , büyük örneklem üst limiti Y_2 , den büyük ($\%X_2 > \%Y_2$) olur. Aynı şekilde büyük örneklem alt limiti Y_1 , de küçük örneklem alt limiti X_1 den büyük olacaktır. ($\%X_1 < \%Y_1$). Aynı prensip güven aralıkları için geçerlidir. Örnek sayısı ne kadar artarsa kesinlik de o kadar artar. [24]

3.1.GÜVENİLİRLİK VE GÜVEN ARALIKLARI

Güvenilirlikteki amaç bir sistemin veya bileşenin gelecekteki hata olasılığını hesaplamaktır. Bununla birlikte anakütledeki tüm birimlerin güvenilirlik değerleri tek tek belirlenmeden ve gözlemlenmeden güvenilirliğin kesin değeri elde edilemez. Bu durum gerçekçi bir çözüm olmadığından, örnekte olduğu gibi örnekleme dayanarak tahmin değerleri elde edilmeye çalışılır. Birimler için on farklı güvenilirlik testi uygulanıp sonuçlar analiz edilirse, her seferinde farklı tahmin değerleri elde edilecektir. Güven aralıkları yöntemi ile belli bir zamanda bu güvenilirlik değerlerinin alacağı aralık belirlenir. Buna ek olarak her bir parametrenin, gerçek parametre değerinin bir tahmini olduğu unutulmamalıdır. Bu aralık değerleri “güven aralıkları” olarak adlandırılır.

Çift Taraflı Aralıklar

Çift taraflı güven aralıkları yöntemiyle belli bir anakütle yüzdesinin hangi aralıkta olduğunu gösteren kapalı bir aralık incelenir.



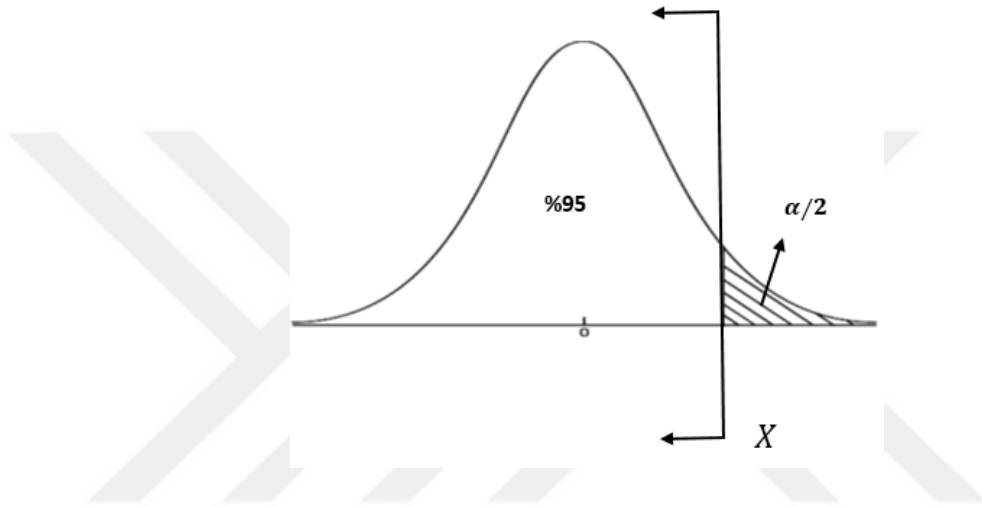
Şekil 23. Çift Taraflı Güven Aralıkları [24]

Örneğin %95 güvenle çift taraflı güven aralıkları incelenirken anakütlenin %95 kadarı X ve Y arasında, %2,5 inin X den küçük ve %2,5 inin de Y den büyük olduğu söylenir.

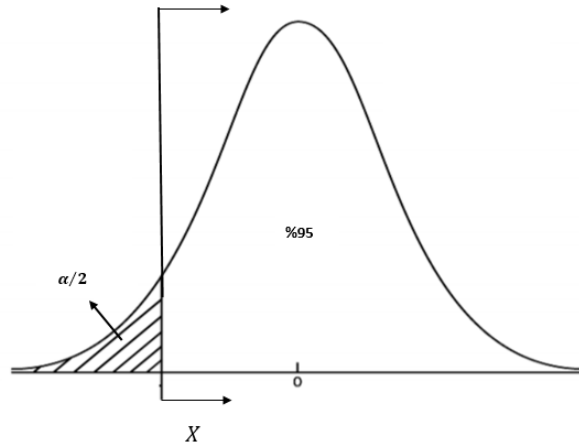
Tek Taraflı Aralıklar

Tek taraflı güven aralıkları, çift taraflı güven aralıklarının açık sonlu bir çeşididir. Bir tek taraflı sınır, anakütlenin belli bir yüzdesinin büyük ya da küçük olduğu bir noktayı gösterir. Bu, iki çeşit tek taraflı güven aralığı olduğunu gösterir: Alt sınır ve üst sınır.

Tek taraflı üst limit bir noktayı gösterir. Anakütlenin belli bir yüzdesi bu noktanın altındadır.



Şekil 24. Tek Taraflı Üst Limit [24]



Şekil 25. Tek Taraflı Alt Limit [24]

Eğer X , %95 tek taraflı alt limitse, bu anakütlenin %95'inin X ten büyük olduğunu gösterir.

3.2.OLABİLİRLİK ORANI GÜVEN ARALIKLARI

Bu bölümde güven aralığı hesaplama yöntemlerinden biri olan “olabilirlik oranı” yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntem daha çok küçük örneklem boyutları için tercih edilir.

Olabilirlik oranı güven aralıkları şu eşitliği temel alır:

$$-2 \ln \left(\frac{L(\theta)}{L(\hat{\theta})} \right) \geq X_{\alpha; k}^2$$

Burada;

$L(\theta)$: Bilinmeyen parametre vektörü θ için olabilirlik fonksiyonu,

$L(\hat{\theta})$: Tahmin edilen $\hat{\theta}$ vektörü için olabilirlik fonksiyonu,

$X_{\alpha; k}^2$: α olasılığı ve k serbestlik derecesi ile ki-kare istatistiği

Eğer δ nin güven seviyesi ise çift taraflı sınırlar için ise $\alpha = \delta$ ve tek taraflı sınırlar için ise $\alpha = (2\delta - 1)$ dir.

x , olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda gösterilen bir rasgele sürekli değişkendir:

$$f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

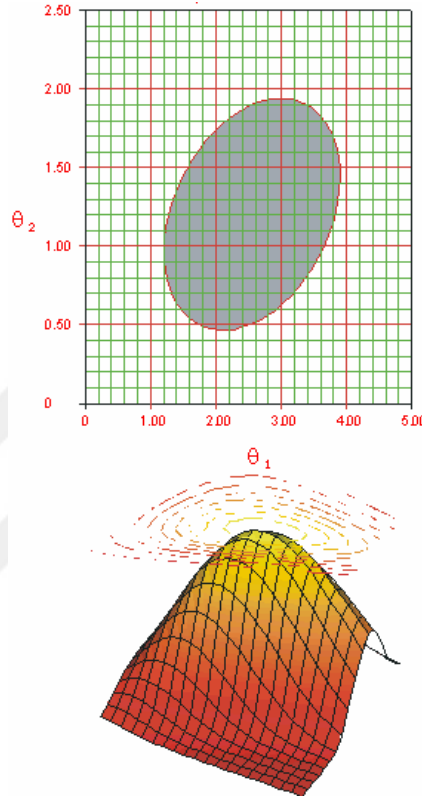
$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ gibi k tane bilinmeyen sabit parametre tahmin edilecektir ve R tane bağımsız gözlem $(x_1, x_2, \dots, x_R)$, ömür veri analizindeki hata zamanlarına tekabül eder. Olabilirlik fonksiyonu;

$$L(x_1, x_2, \dots, x_R \mid \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = L = \prod_{i=1}^R f(x_i, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

$$i = 1, 2, \dots, R$$

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ nin maksimum olabilirlik tahmin edicileri L yi maksimize ederek elde edilir. Bu tahminler 1. eşitlikte, oranın paydasında $L(\hat{\theta})$ ile gösterilir. Verilerin değerleri bilindiği ve parametre tahminleri $\hat{\theta}$ ların değerleri maksimum olabilirlik yöntemi ile hesaplandığı için 1. eşitlikte bilinmeyen tek değer, eşitliğin payındaki $L(\theta)$ dir. Böylece geriye bu eşitliği sağlayan, bilinmeyen parametre değerlerini bulmak

kalır. İki parametrelili dağılımlarda 1. eşitliği sağlayacak parametre değeri farklılık gösterebilir. Bu parametre değeri istenen güven düzeyi δ ya göre değişecektir. Ancak sabit bir güven düzeyi için 1. eşitliğin gerçekleşmesini sağlayan θ_1 ve θ_2 için belirli bir değeri bölgesi vardır. Bu bölge şekilde gösterildiği üzere bir “Düzey grafiği (contour plot)” dir.



Şekil 26. Düzey Grafiği Bölgesi [24]

Düzey grafiği bölgesi esas itibariyle 1. eşitliği sağlayan olabilirlik fonksiyonunun bir yüzey kesitini verir.

Düzey grafikleri, veri setlerini karşılaştırmak için kullanılabilir. Örneğin bir ünitenin yeni ve eski tasarımları gibi iki veri seti ele alınırsa, bu iki tasarımın belli bir güven düzeyinde birbirinden farklı olup olmadıkları araştırılabilir. Her bir veri setinin düzey grafiği oluşturulur. Bu yöntemle iki veri setinin hangi güven düzeyinde anlamlı olarak farklı oldukları bulunur. Örneğin %90 düzeyinde iki veri seti örtüşmüyorsa (iki grafik kesişmiyorsa) “ Bu iki veri seti %90 güvenle önemli ölçüde farklıdır” denir. Eğer %95 düzeyinde bir örtüşme mevcutsa bu iki veri setinin %95 güven düzeyinde önemli ölçüde farklı olmadığı söylenir.

Parametre, güvenilirlik ve zaman değerleri için güven aralıklarının hesaplanmasında bir serbestlik derecesi kullanılır (k=1). Çünkü bu hesaplamalar tek bir güven bölgesi ile ilgilidir.

Verilerin karşılaştırılması için kullanılan $X_{\alpha;k}^2$ istatistiği ise iki serbestlik derecesi kullanır. Çünkü ortak iki bölge mevcuttur.

Parametreler için Olabilirlik Oranı Güven Aralıkları

Parametreler için sınırlar, belirli bir güven düzeyinde, her bir eksenindeki düzey grafiğinin uç değerleri bulunarak hesaplanır. Her bir eksen, verilen bir parametrenin olası değerlerini gösterdiği için düzey grafiğinin sınırları aşağıdaki eşitliği sağlayan parametrelerin uç değerlerini gösterir.

$$-2. \left(\frac{L(\theta_1, \theta_2)}{L(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2)} \right) = X_{\alpha;L}^2$$

Bu eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$L(\theta_1, \theta_2) = L(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2) e^{\frac{x_{\alpha;1}^2}{2}}$$

Bu durumda 1. Eşitliğin sağlanabilmesi için θ_1 ve θ_2 değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için numerik metodlara gerek vardır. Bu metodlardan biri, bir parametreyi sabit tutup diğeri üzerinde kabul edilebilir bir çözüm buluncaya kadar iterasyon (yineleme) yapmaktır. İterasyonlu hesaplamalara en iyi olabilirlik tahminlerine yakın değerlerden başlanmalıdır. Çünkü düzey grafiğinin dışında bir alandaki değerlerle hesaplamalar yapılmamalıdır.

Parametreler için Güven Aralığı Örneği

Beş birim güvenilirlik testine tabi tutulmuş ve 10,20,30,40 ve 50 inci saatlerde hatalar gözlemlenmiştir.

Weibull dağıldığı varsayımıyla en iyi olabilirlik tahminleri $\hat{\beta} = 2.2938$ ve $\hat{\eta} = 33.9428$ hesaplanmıştır. Olabilirlik oranı yöntemiyle çift taraflı %90 güven limitleri şu şekilde hesaplanır:

Öncelikle parametre tahminleri için olabilirlik fonksiyonu hesaplanır,

$$L(\hat{\beta}, \hat{\eta}) = \prod_{i=1}^N f(x_i; \hat{\beta}, \hat{\eta}) = \prod_{i=1}^5 \frac{\hat{\beta}}{\hat{\eta}} \left(\frac{x_i}{\hat{\eta}}\right)^{\hat{\beta}-1} e^{-\left(\frac{x_i}{\hat{\eta}}\right)^{\hat{\beta}}}$$

$$L(\hat{\beta}, \hat{\eta}) = \prod_{i=1}^5 \frac{2.2938}{33.9428} \left(\frac{x_i}{33.9428}\right)^{1.2938} e^{-\left(\frac{x_i}{33.9428}\right)^{2.2938}}$$

$$L(\hat{\beta}, \hat{\eta}) = 1.714714 \times 10^{-9}$$

x_i ler burada gerçek hata zamanı verileridir.

1. Eşitlik tekrar düzenlenirse;

$$L(\beta, \eta) - L(\hat{\beta}, \hat{\eta}) e^{\frac{-x^2 \alpha;1}{2}} = 0$$

İstenen güven düzeyi %90 olduğundan ilgili ki-kare istatistiği $x_{0.9;1}^2 = 2.705543$ elde edilir. Eşitlikte yerine konursa,

$$L(\beta, \eta) - L(\hat{\beta}, \hat{\eta}) e^{\frac{-x_{\alpha;1}^2}{2}} = 0$$

$$L(\beta, \eta) - 1.714714 \times 10^{-9} e^{\frac{-2.705543}{2}} = 0$$

$$L(\beta, \eta) - 4.432926 \cdot 10^{-10} = 0$$

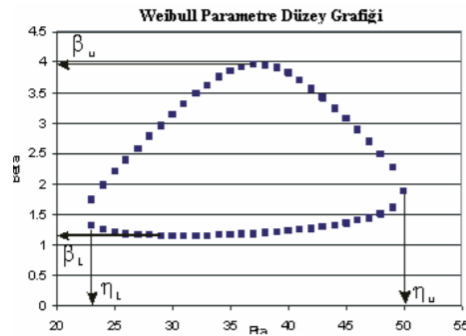
Bir sonraki adım bu eşitliği sağlayan β ve η değerlerini bulmaktır. Yani $L(\beta, \eta) = 4.432926 \times 10^{-10}$ değerini sağlayan β ve η değerleri bulunur. Bu çözüm, uygun β değerlerine karşılık gelen η değerlerinin nümerik yollarla bulunmasıyla elde edilir. Aynı şekilde uygun η değerlerine karşılık gelen β değerleri elde edilir.

Aşağıdaki tabloda $L(\beta, \eta) = 4.432926 \times 10^{-10}$ değerini sağlayan β ve η değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1. $L(\beta, \eta) = 4.432926 \times 10^{-10}$ Değerini Sağlayan β ve η Değerleri [24]

η	β_1	β_2	η	β_1	β_2
23	1.321	1.742	37	1.183	3.950
24	1.241	2.985	38	1.95	3.943
25	1.201	2.193	39	1.210	3.897
26	1.177	2.290	40	1.226	3.814
27	1.161	2.582	41	1.245	3.701
28	1.151	2.770	42	1.267	3.564
29	1.145	2.955	43	1.291	3.409
30	1.142	3.135	44	1.319	3.241
31	1.142	3.308	45	1.352	3.065
32	1.145	3.471	46	1.391	2.883
33	1.149	3.619	47	1.439	2.695
34	1.155	3.746	48	1.502	2.495
35	1.162	3.848	49	1.594	2.272
36	1.172	3.917	50	1.871	1.871

Bu verilere karşılık gelen düzey grafiği;



Şekil 27. Örnek Verilerine Karşılık Gelen Düzey Grafiği [24]

Tablodan görüleceği gibi β nın hesaplanan en küçük değeri 1.142, en büyük değeri ise 3.950 bulunmuştur. Bu değerler β parametresi için %90 çift taraflı güven aralık limitlerini verir. 23'ün altında ve 50'nin üzerindeki η değerleri için eşitliğin çözümü yoktur. Böylece bu değerler η parametresi için güven limitleridir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

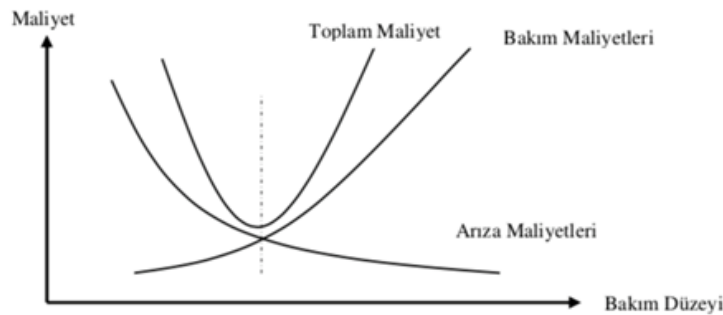
BAKIM VE BAKIM PLANLAMASI

“Bakım, fonksiyonel bir birimin (aygıt, araç, gereç, tesis, vb.), önceden belirlenmiş koşullarda beklenen işlevlerini yerine getirmek üzere test etme, parça değiştirme, ayarlama, tamir etme gibi faaliyetlerle düzeltilmesi ve devamlılığının sağlanmasıdır. Modifikasyon bir bakım faaliyeti değildir.” [20]

“Bakım, üretim bütçesine bağlı olarak gerekli harcamaların yapılması zorunlu bir faaliyet olması nedeniyle, maliyet azaltma programları arasında çoğunlukla ilk sırada yer almaktadır.” [30]

Yukarıda bakım ve bakım felsefesi ile alakalı yapılan öncül çalışmalardan ifadelere yer verilmiştir. Buradan da anlaşılabacağı üzere bakım felsefesi, arızanın giderilmesi fonksiyonundan, donanımın çalışmasına ve sistem güvenilirliği felsefesine kaymıştır. Bu yüzden bakım yönetimi teknik sistemlerin (tesis, makina, donanım vb.) ürün yaşam döngüsünün her biriminde bulunmalı ve planlama, satın alma, üretim, Ar-Ge, performans değerlendirme vb. süreçlerde mutlaka hesaba katılmalıdır.

Bakımın amacı, bakıma ihtiyaç duyan makina ve teçhizatın ne şartlarda olursa olsun arıza yapmadan çalışabilmesini sağlamaktır. Buradaki “ne şartlarda olursa olsun” ifadesinden “ne maliyetle olursa olsun” anlamı çıkartılmaması gerekir. Hedeflenen, bakım karmaşıklığının artmasından dolayı oluşan ilave maliyetler ile beraber, arıza oranları sonucunda oluşan maliyet artışları göz önüne alınarak en uygun durumu elde etmektir.



Şekil 28. Bakım ve Arıza Maliyetleri [20]

4.1.BAKIM İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

4.1.1. Arıza Tanımı

Önüme geçilemeyen bir sebeple sistemin durması, sistem çalışabilirlik durumunun ve/veya veriminin düşmesidir.

4.1.2. Bakım Tanımı

Her herhangi bir bileşenin istenen durumda kalmasını, çalışır duruma getirmeyi ya da belirli işleyiş özelliklerini tekrar kazanmasını sağlaması için yapılan işlemlerin tümüdür.

4.1.3. Düzeltici Faaliyet Tanımı

Düzeltici faaliyet başarısız ekipman, makine ya da sistem hizmet işlemleri için kurulan toleransları veya sınırları içinde operasyonel bir duruma restore edilebilir, böylece tespit, tecrit ve bir hatayı düzeltmek için yapılan bir bakım görevi olarak tanımlanabilir.

Düzeltici faaliyet "hemen düzeltici bakım" (bir başarısızlık hemen sonra başlar) ve "ertelenmiş düzeltici bakım" (bakım kuralları belirli bir uygunluk gecikmiş olduğu) ayrılabilir.

4.1.4. Onarım/Tamir Tanımı

Arıza/problem meydana geldikten sonra yapılan, arızayı/problemi ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalara onarım veya tamir denilmektedir.

4.1.5. Önleyici Bakım Tanımı

Önleyici bakımda amaç sistemlerin arızalarını ortaya çıkarmak değil, başlangıçta arızanın ortaya çıkmasını önlemektir. Burada, tasarımda, yağlama sisteminde ve işletme şartlarında yapılacak değişiklikler ile arıza sebepleri ortadan kaldırılabilir. Bu yöntem, arıza olmaması için yağlama, tasarım ve mühendislik hizmetlerinde yoğun bir araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yapılmasını gerektirir. Bu gibi nedenlerden ötürü, bu yöntemin küçük işletmelerde kullanımı sınırlı olmakta; ancak ARGE bölümlerinin bulunduğu büyük işletmelerde daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

4.1.6. Kestirimci Bakım Tanımı

Sistemlerin uygun ölçme, izleme veya kontrol ekipmanlarıyla elde edilen verilerin değerlendirilip analiz edilerek bakım ihtiyaçlarının öngörülmesine kestirimci bakım denilmektedir.

4.1.7. Periyodik Bakım Tanımı

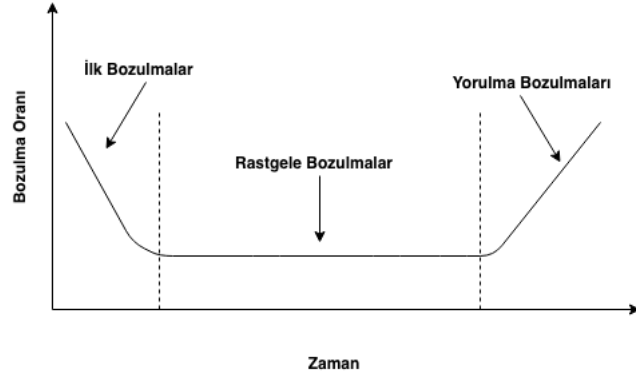
İşletmeler tarafından yapılan testler sonucunda belirlenmiş olan bakım gerektiren işlemlerin uygulanma zamanlarının tekrarlı ve düzenli olarak gerçekleştirilmesidir.

4.1.8. Kullanılabilirlik Tanımı

Kullanılabilirlik, bir sistemin kullanımı ile belirlenen amaçlara ne derece ulaşıldığının belirlenen amaçların elde edilmesi için harcanan zaman, maliyet vb. kaynakların ve kullanıcının, sistemi kabul edebilir bulma derecesinin bir ölçüsüdür.

4.1.9. Küvet Eğrisi Tanımı

Bir sistemin zaman içerisindeki arızalanma oran fonksiyonu, arıza maliyetleri de göz önüne alındığında bir küvet eğrisiyle ifade edilmektedir. Tüm bileşenin ömrü; alıştırma (çocukluk ve gençlik), olgunluk (yararlı ömür) ile aşınma ve yıpranma (yaşlılık) evreleri olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bileşenin ilk kullanımından rejime erene kadar geçen sürenin ilk fazında arızalanma ihtimali daha yüksek bir orandan başlamakta ve zamanla rejime ermesi ile giderek düşük bir orana dönüşmektedir. Olgunluk ömür evresinde ise belirli bir düzeyde süre gelip, neredeyse değişmeyen bir bozulma oranı görülmektedir. Bu evrede bileşen en yüksek kullanım verimliliğine sahip olmaktadır. Yaşlılık yani yıpranma evresinde ise arızalanma ihtimali, zamanla artan bir hızla değişmektedir. Tüm evrelerin arıza sebepleri birbirinden farklıdır. Bundan dolayı farklı evrelerde farklı arıza tedbirleri alınmalıdır.



Şekil 29. Bozulma Oranının Zamana Göre Değişimi (Küvet Eğrisi) [12]

Bileşen ömür evrelerine göre arıza sebepleri ve tedbirler aşağıda bulunan tabloda yer almaktadır.

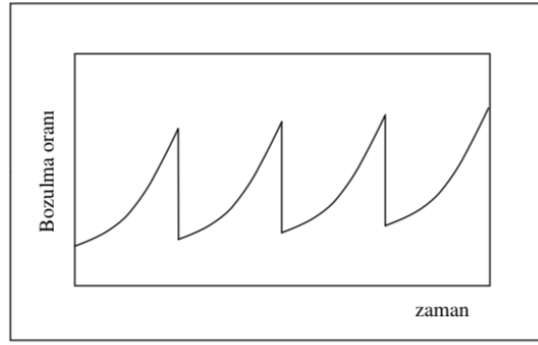
Tablo 2. Bileşen Ömür Evrelerine Göre Arıza Sebepleri ve Tedbirler [12]

Sınıflandırma	Alışma Evresi	Yararlı Ömür Evresi	Yıpranma Evresi
Sebepler	Tasarım ve imalat hataları	İşletme hataları	Aşınma, yıpranma ve malzeme yorulması
Tedbirler	Test ve analizler	Personel eğitimi	Önleyici ve kestirimci bakım

Bileşenlerin ilk arızaları imalat veya tasarım hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu tür arızaları bertaraf etmek için bileşenlerin imalat safhasında yapılan testlerle ihtiyaç duyulan tedbirler alınmalıdır.

Rastgele arızaların görüldüğü yararlı ömür evresindeki arızalar, çoğunlukla kullanım hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu konuda sorumlu personel eğitimleri önem kazanmaktadır.

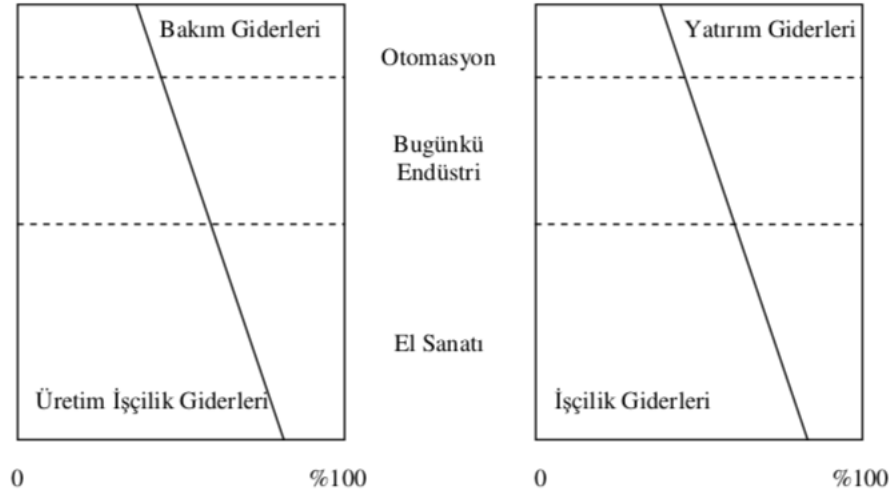
Yıpranma evresinde görülen arızalar ise bileşen ömür sürelerine erişmelerinden kaynaklanmakta ve önleyici ve kestirimci bakım yaklaşımlarıyla bileşen ömür süreleri uzatılmasına gerek duyulmaktadır. Şekil 30’de de görülebileceği gibi bozulma oranı kullanım süresince aşağıda görüldüğü gibi yükselmekte ve gerekli bakım uygulanması sonrasında eski (faal) durumuna geri gelmektedir.



Şekil 30. Bakımların Bozulma Oranına Etkisi Grafiği [12]

4.2.BAKIM YAKLAŞIMLARI

Bakım, ilk alet veya gereç icadından ve işletmeye girdiğinden itibaren kullanılan ve var olan bir ihtiyaçtır. Kullanılan ekipmanın işlevini yitirmesi gibi bir durum var olduğu için bu işlev yitirmelerini ortadan kaldıracak faaliyetler de var olmaktadır. Teknoloji ilerledikçe ve otonom sistemlere eğilim arttıkça kurulum ve işletme maliyetleri artmakta ve işçilik maliyetleri azalmaktadır. Kurulum ve işletme maliyetlerine bağlı olarak bakım maliyetleri de artmaktadır.



Şekil 31. Bakımın Önem Grafiği [17]

Bakım anlayışının günümüze kadar evrilmesi incelendiğinde 3 ana zaman dilimine ayırmak mümkündür. Bunlar I., II. ve III. nesil olarak isimlendirilmektedir.

4.2.1. I. Nesil Bakım

I. nesil bakım süreci, II. Dünya Savaşı'na kadar olan zaman dilimini içermektedir. Bu zaman diliminde, teknoloji fazla ilerlemediğinden bileşenlerin arızalı olarak kalma süreleri pek önem arz etmemiştir. Bu, bileşenlerdeki arızaların önlenmesinin idarecilerin gündeminde asıl öncelikte olmaması anlamına gelmektedir. Teknolojinin ilerlememiş olmasından kasıt, basit tasarımlı cihazların üretilmesidir. Bu da, onarımı kolay bileşenler anlamına gelmektedir. Özetten; bu dönemde temel temizlik ve periyodik yağlamaların dışında bir bakıma gereksinim duyulmamıştır.

4.2.2. II. Nesil Bakım

Bakım anlayışında II. Dünya Savaşı ile birlikte hatırısayılır değişiklikler yaşanmıştır. Savaş zamanında, üretime katılacak iş gücünü bulmak zorlaşmış ve her çeşit tüketim malzemesine olan talep artmıştır. Bu süreç, makineleşmenin artmasına yol açmıştır. 1950 yılından sonra, makineler daha karmaşık ve sayısal duruma gelerek endüstriye buna bağlı olarak üretim yapmaya başlamıştır. Endüstrideki makine bağıllığı arttıkça arızalı kalma süreleri çok daha kritik olmaya başlamıştır. Bu durum, sistemlerde oluşan problemlerin henüz oluşmadan çözülebileceği düşüncesinin oluşmasına ve bununla beraber önleyici bakım anlayışının doğmasına sebep olmuştur.

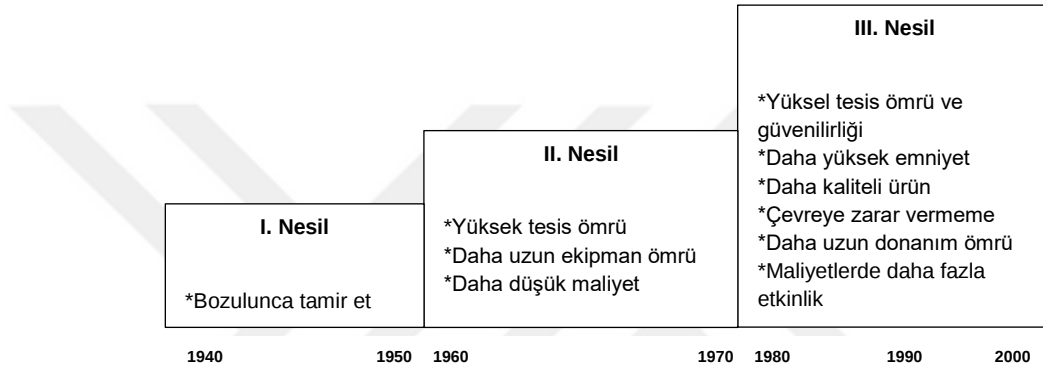
Bu dönemde anlaşılmıştır ki, tüm işletme maliyetlerine göre bakım maliyetleri daha yüksek çıkmaktadır. Bununla beraber bakım planlaması ve sistem kontrolü daha da önem kazanmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda sabit varlık maliyetlerinin göz önüne alınmasının yanı sıra bu varlıkların daha uzun ömürlü olarak kullanımı amaçlanmaya başlanmıştır.

4.2.3. III. Nesil Bakım

1960'lı yılların ortalarında bileşenlerde ve bakım süreçlerinde güvenilirlik kavramları kullanılmaya başlanmış ve üretken bakım olgusu ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarla beraber Toplam Üretken Bakım (TPM) kavramı doğmuş, üretim ve hizmet süreçlerinin yanında bakım süreçlerinin grup odaklı olarak katılımını amaçlayan,

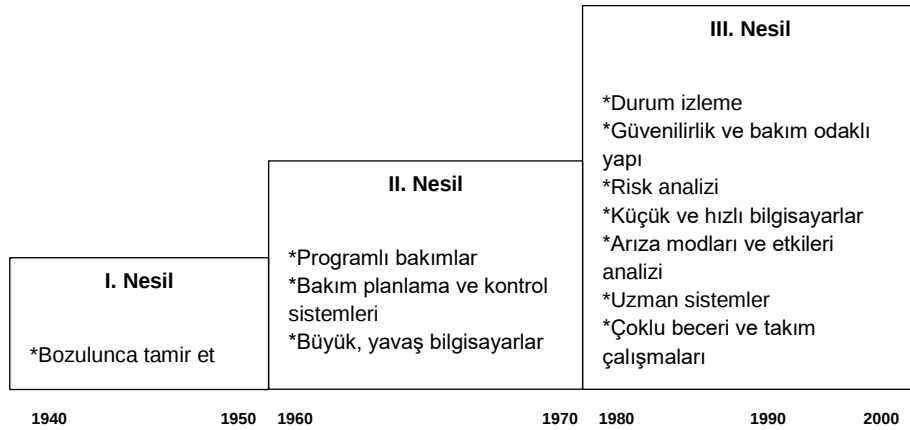
makine operatörlerinin otomatik bakımını gerçekleyen ve tümüyle önlenmesiyle makine verimliliğinin yükseltilmesine yönelik bir bakım modelidir.

1980’li yıllarla beraber ortaya çıkan teknolojik gelişmeler, “kestirimci bakım” gibi yeni bir anlayışı doğurmuştur. Bu anlayışın temelinde, son teknolojik gelişmeler kullanılarak gerçekleştirilen analiz ve ölçümler vasıtasıyla arıza ihtimali doğuracak durumlar incelenerek bileşen daha arızalanmadan işlem yapılması anlayışı yer almaktadır. Bu anlayış farklılıkları; beklentilerde, araştırmalarda ve yeni tekniklerde yenilikçi bir sınıflandırma ihtiyacı doğurmuştur.



Şekil 32. Bakım Felsefesinin Tarihsel Gelişimi [17]

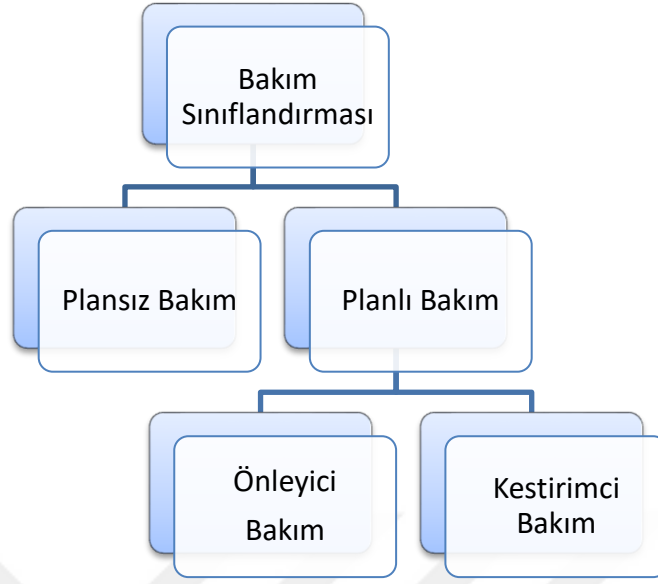
Şekil 32. Bakım Felsefesinin Tarihsel Gelişimi bakım felsefesinin nesillerden beklenenler özetlenmektedir.



Şekil 33. Bakım Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi [17]

Şekil 33. Bakım Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi ise bu beklentileri karşılamada kullanılan bakım teknikleri gösterilmektedir.

4.3.BAKIM YAKLAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI



Şekil 34. Bakım Sınıflandırılması [33]

Bakım, aşağıda belirtilen 4 ana amaca yöneliktir. Bunlar:

1. İmalat fiyatlarını azaltmak
2. Üretilen ürün işlevselliğini arttırmak
3. Kullanım süresini uzatmak
4. İmalatın devamlılığını sağlamak

4.3.1. Plansız Bakım

Bu bakımda arıza gerçekleşikten sonra bakım ve onarım faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Düzeltici bakım ifadesi yerine “*acil bakım*”, “*arızı bakım*” veya “*plansız bakım*” ifadeleri de kullanılabilir. Bu bakım felsefesinde bakım onarım maliyetleri düşüktür ve bakım onarım için daha az personele ihtiyaç duyulmaktadır. Arıza esaslı düzeltici faaliyetler, bileşenlere, arıza veya performans düşüşleri sonrasında daha kritik zararlara neden olmasının önüne geçilmesi için gerçekleştirilmektedir.

4.3.2. Planlı Bakım

Planlı bakım felsefesi plansız bakımın aksine arızalar meydana gelmeden periyodik olarak uygulanan düzenleyici faaliyetlerdir (boyama, temizleme, parça yenileme,

yağlama, onarım işlemleri vb.) Planlanan bakımlar bir sistematik çerçevesinde kontrolleri yapılmaktadır. Bunlar önleyici bakım ve kestirimci bakım olmak üzere iki grup altında incelenebilmektedir.

- **Önleyici Bakım:** Bu bakım modelinde yapılacak işlemler önceden belirlenmekte ve planlanan sürelerde uygulanmaktadır. Bu bakım modelinde hedeflenen, arıza veya hataların ortaya çıkmadan önüne geçilmesi ve bileşen kullanım sürelerini arttırmaktır. Bu şekilde arızaların gerçekleşme süreleri uzarken, kestirilemeyen veya idealleştirilmemiş zamanlarda uygulanmasından kaynaklı olarak zaman ve maliyet kaybına sebep olabilmektedir.
- **Kestirimci Bakım:** Malzemelerin veya sistemlerin fiziksel özellikleriyle işlevlerinin gerektirdiği duruma göre belirli ölçme ve değerlendirme tekniklerine göre uygulanan arıza oluşumunu engelleyen öngörmeli bir bakım türüdür. Bunun için işletmelerde arıza ihtimali olan cihaz veya parçalar bir takım ölçüm cihazları kullanılarak izlemeye alınır. Belirli bir zaman aralığında alınan ölçüm sonuçları değerlendirilerek, sistemde oluşabilecek arızalar önceden tespit edilir. Ölçüm değerleri analiz edilerek planlı bakım programı hazırlanır ve sistem bakıma alınır.

4.4.GÜVENİLİRLİK ESASLI BAKIM (RCM)

Güvenilirlik Esaslı Bakım (Reliability Centered Maintenance-RCM) fikri ilk olarak 1980'lerin başında ortaya çıkmıştır. [4] Düşünce olarak her bir parçanın çalışma sonrası hatalarının incelenmesi esnasına dayanır. Eğer hatalar kabul edilemez seviyede ise, parçaya bakım yapılır. Böylece, bakım adam saat ve malzeme kullanımının azalırken emniyet ve çalışma hedeflerini karşılayan bir program olarak ortaya çıkar. RCM her hasar modunu değerlendiren mühendislik kararıdır ve matematiksel olarak bir sistemin veya motorun ömrü üzerindeki riski belirler. Genelde RCM analiz süreci, parçanın yapısal veya fonksiyonel olarak önemli olup olmadığının belirlenmesi ile başlar. Her bir parçanın sınıflandırılması için ayrı RCM karar ağacı vardır. Bu analiz, normal olarak hata türü ve etkileri analizinin bir parçası olarak yapılır. İkinci adım, hasarın öneminin belirlenmesidir. Hasar önemleri şu şekilde sınıflandırılır:

- Güvenlik,

- Ekonomik / bakımsal,
- Güvenlik dışı gizli hasarlar,
- Gizli emniyet,

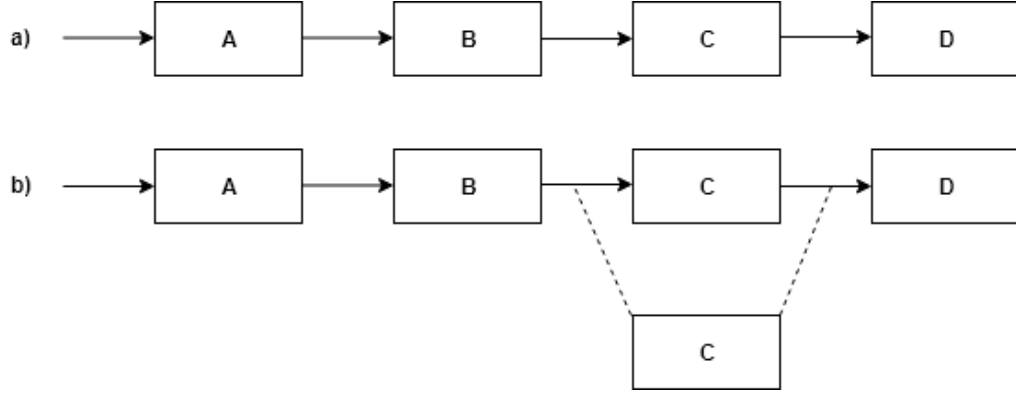
Hasarın önemi belirlendikten sonra, müteakip hasarlardan kaçınmak için ve uygulanabilirliğin değerlendirilmesi amacı ile çalışmalar yapılır. Bunların arasında en uygun olanı seçilir. Maliyet - kazanç analizi, eski ve yeni tasarımlara ait yeni parçaların veya tamir edilmiş/yeniden islenmiş parçaların optimum karışımını belirlenmesine yarar. Bakım seçenekleri şunlardır:

- Hiçbir şey yapma,
- Yeniden tasarla,
- Koruyucu bakım çalışmaları yap.

Koruyucu bakım çalışmaları, servis/yağlama, şartlı keşif, belirli zamanda işleme veya söz edilen seçeneklerin birleşimini kapsar.

Bir bileşenin istenen kriterlerde çalışabilmesi için, bileşenin ait olduğu tümleşik sistemdeki bağlantı durumu göz önüne alınır. Bileşenin çalışmasının bağlı olduğu diğer bileşenlerle olan bağlantı ilişkisine örnek olarak Şekil 35 gösterilmiştir.

- a sistemi için, sırasıyla A, B, C, D bileşenleri seri bağlanmıştır. Yani C bileşeninin çalışması A ve B bileşenlerinin de çalışmasına bağlıdır. Bu akışta sona doğru gidildikçe öncül bileşenlerden birisinin çalışmaması sistem durdurma veya performans kaybı yaşatmada daha kritik hale gelmektedir. Potansiyel kaybı azaltmak için kritik bileşenlere veya hata olasılığı yüksek bileşenlere paralel bağlı eş bileşenler sisteme dahil edilmelidir.
- b sistemi için; C bileşeni kritik bileşen olarak kabul edilirse, C'deki bir arıza veya duruş durumunda C'ye paralel bağlanan beklemedeki bileşen devreye girerek sistemde bir duruş meydana gelmeksizin kaybı engellenecektir.



Şekil 35. Yedekli Donanım Mimarisi [16]

“Sistemler, kendilerinden beklenen fonksiyonları gerçekleştirmek üzere tasarlanmış, ve organize edilmiş, parçalardan, bileşenlerden ve alt sistemlerden oluşur. Birbirlerine paralel ve seri olarak bağlanmış alt sistemlerden meydana gelirler. Alternatif donanım yapıları farklı maliyet, yer gereksinimi, güvenilirlik seviyeleri vb. sonuçlar doğurabilir”. [16]

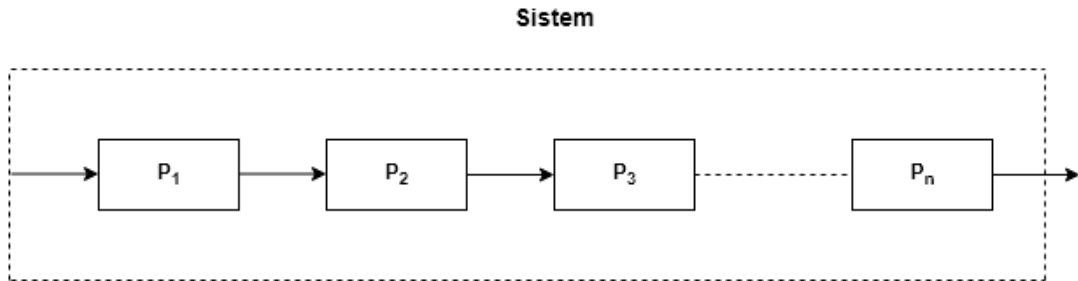
4.4.1. Seri Mimari

Bu mimaride bileşenler birbirine peşi sıra bağlanmıştır. P_i ; i sistemin başarılı çalışma olasılığı olarak adlandırılır ise;

Sistem güvenilirliği;

$$R_s = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_n = \prod P_i$$

eşitliği ile hesaplanır.



Şekil 36. Seri Donanım Mimarisi [14]

4.4.2. Paralel Mimari

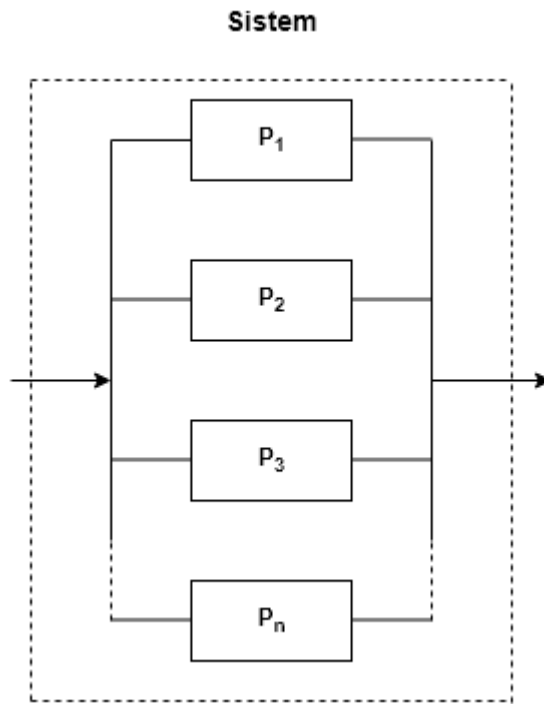
Bu mimaride bileşenler birbirine paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Sistem herhangi bir paralel bileşen başarılı olarak çalıştığı sürece çalışmaya devam edecektir. P_i ; i sistemin başarılı çalışma olasılığı olarak adlandırılır ise;

Sistem güvenilirliği;

$$\begin{aligned} R_s &= 1 - \text{sistemin durma olasılığı} \\ &= 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) \dots (1 - p_n) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^n q_i \end{aligned}$$

eşitliği ile elde edilir ve bu eşitlik ile hesaplanır.

(q_i = i .parçanın arıza olasılığı; $q_i = 1 - p_i$)



Şekil 37. Paralel Mimari [14]

Seri ile paralel mimariler kıyaslanırsa;

1. Seri bağlı bir sistemin güvenilirliği, en zayıf güvenilirliğe sahip tek bir parçanın güvenilirliğinden daha küçüktür.
2. Paralel bağlı bir sistemin güvenilirliği ise güvenilirliği en yüksek olan parçadan bile daha yüksektir.

4.4.3. Güvenilirlik Modelleri

Bir sistemin veya onu oluşturan alt sistemlerin, bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonlarının hesaplanmasında çeşitli güvenilirlik modelleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan modeller aşağıdaki gibidir.

- Üstel Dağılım (sabit hata oranları için)
- Weibull Dağılımı (sabit, artan ya da azalan hata oranları için)
- Lognormal Dağılım (artan sonra azalan hata oranları için)
- Normal Dağılım (artan hata oranları için)
- Diğerleri (Gamma, Logistic, Gumbell, Competing Failure Mode)

Tablo 3. Dağılımlara göre Güvenilirlik Hesaplama Temel Formülleri

Dağılım Adı	Parametre	Güvenilirlik $R(t)$
Exponential	λ	$e^{(-\lambda t)}$
Gamma	λ	$\sum_{x=0}^{k-1} (\lambda \times t)^x \times (e^{-\lambda t}) / (x!)$
Normal	μ, σ	$1 - pnorm(\mu, \sigma)$
Weibull	biçim ve ölçek	$e^{-(t/ölçek)^{biçim}}$
Lognormal	μ, σ	$1 - plnorm(\mu, \sigma)$

Analizlerde birçok model test edilerek en uygun model seçilmektedir. En çok kullanılan modellerden olan Weibull dağılımı ele alınacak olursa, modelin açıklanmasından önce, modelde kullanılan fonksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Anlık arıza oranı; $\lambda(t)$

$\lambda(t)\Delta(t)$: t zamanında doğru çalışan fakat $(t, t + \Delta t)$ aralığında arıza gösterme olasılığı

Arıza dağılım fonksiyonu; $f(t)$

$f(t)\Delta(t)$: $0-t$ aralığında arıza göstermemiş fakat $(t, t + \Delta t)$ aralığında arıza gösterme olasılığı

Kümülatif arıza dağılım fonksiyonu; $F(t)$

$F(t)$: $0-t$ aralığında arıza gösterme olasılığı

Güvenilirlik fonksiyonu; $R(t)$

$R(t)$: $0-t$ aralığında arıza gösterme olasılığı .(örnek; ekipman t zamanı sonuna kadar çalışacak)

Yukarıdaki fonksiyonların birbirleri arasındaki temel bağıntılar aşağıdaki gibidir.

1. $f(t) = R(t)\lambda(t)$
2. Parça $(0 - t)$ aralığında arıza gösterme veya göstermeme durumunda

$$F(t) + R(t) = 1$$

3. Parçanın $(t, t + \Delta t)$ aralığında arıza göstermesi durumunda

ya $(0 - t)$ aralığında arıza gösterecek (olasılık; $F(t)$) ya da $(0 - t)$ aralığında arıza göstermeyecek fakat $(t, t + \Delta t)$ 'de arızalanacak. (olasılık; $f(t)\Delta(t)$)

Dolayısıyla;

$$F(t + \Delta t) = F(t) + f(t)\Delta t$$

$$f(t) = \{F(t + \Delta t) - F(t)\}/\Delta t$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \text{ için } f(t) = dF(t)/dt$$

4. Yukardaki eşitlikten;

$$dF/dt = f(t) = R(t)\lambda(t) = 1 - \{F(t)\}\lambda t$$

$$\lambda(t)dt = d(F)/(1 - F) = -d[\ln(1 - F)]$$

ve

$$F(t) = -\exp\left\{-\int_0^t \lambda(u)du\right\}, t = 0 \text{ iken } F(t) = 0$$

elde edilir.

Diğer önemli bir parametre ise, arızalar arasındaki ortalama süre MTBF'dir. Arızalanmadan çalışmanın beklenen değeridir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Weibull modeli özel durumlar için kullanılan diğer güvenilirlik modellerin aksine genel bir modeldir. Arıza dağılım fonksiyonu;

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right\}$$

β , η ve γ parametreleri sırayla şekil, ölçek (zaman ya da uzunluk boyutu) ve yer parametrelerini temsil eder.

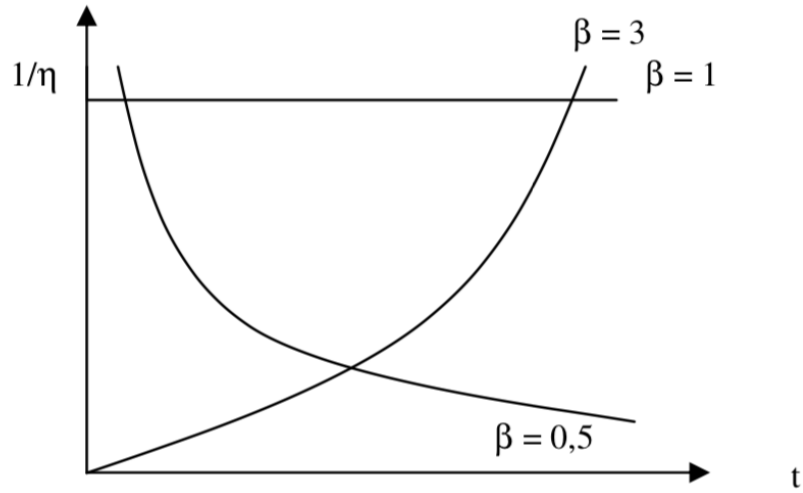
$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right]; \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(t - \frac{\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$\lambda(t)$ ile ilgili ifadeden eğer;

$\beta < 1$, $\lambda(t)$ t 'nin azalan bir fonksiyonudur.

$\beta = 1$, $\lambda(t)$ sabit ve $1/\eta$ 'ye eşittir (Weibull, negatif üssel dağılıma denktir).

$\beta > 1$, $\lambda(t)$ t 'nin artan bir fonksiyonudur (1'den uzaklaştıkça Weibull normal dağılıma yaklaşır).



Şekil 38. Weibull Dağılımı $\gamma=0$ [20]

4.4.4. Güvenilirlik Performansının Ölçümü

Aşağıda sıralanan seviyelerde hava aracı güvenilirlik performansı ölçülmekte ve değerlendirilmektedir;

- Toplam hava aracı seviyesinde (Motorların da dahil edildiği dispeç, güvenilirliği),
- Motor seviyesinde,
- Sistem seviyesinde,
- Komponent seviyesinde,
- Gövde ve yapısal elemanlar seviyesinde.

Güvenilirliğin yukarıda sayılan seviyelerde değerlendirilebilmesi için güvenilirliği ölçmekte kullanılacak ve söz konusu seviyeyi temsil edebilecek nitelikte olan, çeşitli performans parametrelerine gerek duyulmaktadır. Performans standartları belirlenirken aşağıdaki faktörler göz önüne alınır;

- Güvenilirliği gerçekten ölçebiliyor muyuz?
- Güvenirlik seviyesindeki değişimi fark edebiliyor muyuz?
- Gerekli veriler mevcut mu?

4.4.4.1.Dispeç Güvenilirliği

Dispeç, güvenilirliği hava aracının zamanında kalkış, yapma olasılığıdır ve aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$DG = 100 - ((TGS + TUI)/TUS) \times 100$$

Dispeç, güvenilirliğinin hesaplanmasında teknik nedenlerle oluşan ve 15 dakikadan fazla süren toplam gecikme (TGS), toplam uçuş iptal (TUI) ve toplam ticari uçuş sayısı (TUS) verilerine ihtiyaç vardır. Dispeç, güvenilirliği (DG) gecikme ve iptallerin nereden kaynaklandığı ATA bölümlerine göre kodlanarak ‘%’ şeklinde ifade edilir ve aylık zaman dilimlerine göre grafiklerde gösterilir. Bu hesaplama işletmenin teknik olarak zamanında kalkış, performansını verdiği için önemlidir. Planlanan uçuşun zamanında yapılmaması durumunda havaalanında kalma maliyeti, yakıt maliyeti, yer hizmetleri maliyeti ve ilgili personel maliyetleri de artar. Güvenilirliği olumsuz etkileyen faktörler, emniyeti de olumsuz etkiler dolayısı ile uçuş, gecikmeleri ve iptalleri olabilir. Buda işletmenin zamanında kalkış, performansını düşürür. Bu durumda;

- Maliyet artar,
- Hizmet kalitesi düşer
- Karlılık azalır,
- Bakım maliyetleri artar,
- Sermaye iyi kullanılamaz.

4.4.4.2.Motor Güvenilirliği

Motor güvenilirlik programının amacı, motoru mümkün olduğunca uzun bir süre için hava aracında tutmak, uçuşta motor kapatma, programsız motor sökümü, motordan kaynaklanan sebeplerle oluşan gecikme ve iptal durumlarının önlemektir. Motor güvenilirliği için gerekli verilerin elde edilmesinde baroskop, manyetik çip detektör, yağ analizi, titreşim ve motor durum kontrolü gibi yöntemlerin sonuçlarından yararlanılır. Yukarıda bahis geçen değerler ise bakım kayıtlarından alınır. Motor güvenilirliğinin ortaya konmasında her 1,000 uçuş saati için uçuşta motor kapatma ve programsız motor söküm sayıları kullanılır. Bu veriler ışığı altında elde edilecek sonuç, motorda bir problemin varlığına işaret ediyorsa gerekli incelemeler başlatılır ve çözüm önerileri üretilir.

4.4.4.3.Komponent, Gövde ve Yapısal Bileşen ve Sistem Güvenilirliği

Hava aracı sistem ve komponentlerindeki problemleri doğru bir şekilde ortaya koyabilmek için ilgili veriler toplanır, istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanılarak işlenir ve elde edilen bilgiler, raporlar, tablolar ve grafikler şeklinde gösterilerek yorumlanır.

Hava aracı sistemleri için, her 100 uçuştaki, toplam pilot raporları ve teknik nedenlerden kaynaklanan gecikme ve iptal sayıları gerekli verilerdir. Sistem güvenirliliğinin ortaya konmasında elde edilen veriler ilgili ATA bölümlerine göre sınıflandırılır ve bir önceki yıla göre pilot raporlarını oranında bir artış, olursa veya trend alarm seviyesini aşma yönünde ise gerekli incelemeler başlatılarak sorun çözülmeye çalışılır. Komponent güvenilirliği ilgili komponent performansının uçuş, sayısı veya saatine göre istatistiksel olarak ölçülmesidir. Komponent güvenilirliği kapsamında performansla ilgili standartlar belirlenir, performans değerlendirilir, eğilim belirlenerek gerekli düzeltici önlemler alınır. Komponent güvenilirliği için gerekli veriler söküm sebebini doğruladığına bakılmaksızın yapılan arızalı komponent sökümünün sayısı ve söküm sebebini doğrulayan arızalı komponent sökümünün sayısıdır. Bu veriler kullanılarak arızalar arasındaki ortalama süre, programsız sökümler arasındaki ortalama süre ve sökümler arası süre bilgileri elde edilir. Komponent bazında bu bilgiler değerlendirilerek gerekli önlemler alınır. Gövde ve yapısal elemanlar da sistem ve komponent güvenilirliği kapsamında ele alınır. Ancak aralarında iki önemli fark vardır. Bunlardan ilki uçuş ekibini nadiren yapısal elemanlardaki hasar veya arızayı fark edebilmesidir. İkincisi ise yapısal elemanların onarılmasıdır, nadiren de değiştirilmesidir. Dolayısıyla da tüm yapısal elemanlar hemen hemen aynı yaşıdadır. Bu kapsamda hava aracına ve hava aracının farklı bölümlerine göre korozyon durumu, uçuş sayısına göre tespit edilen çatlak boyutları gibi veriler toplanır ve gerekli önlemler alınır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tezin uygulama bölümüne geçmeden önce literatürde bu alanda daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Uygulamaların hangi tekniklerle yapıldığı, ne tip değişkenler seçildiği ve bulunan sonuçlar araştırılmıştır.

Bu tezin hazırlanması aşamasında yapılan literatür taramalarında, daha önce yapılan tesis makina donanımları için, üretim hatlarındaki ekipmanlar için ve basit sistemler için (Bilgisayar Kasası vb.) yapılan güvenilirlik analizleri incelenmiştir. Bu tezde incelenen tezlerde rastlanılmayan, dağılımlara göre güvenilirlik kıyaslamaları yapılmış ve arıza zaman-frekans histogramı çizilerek uygun güvenilirlik dağılımı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tüm bu analizler kritik hava aracı sistemleri düşünülerek yapılmıştır.

İncelenen tezler ve çalışmalar arasından bu teze en yakın olanlara ait özet bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Yazar(lar)	Yıl	Araştırma Sonucu
Sermin ELEVLİ Yakub Han YILMAZ	2009	Bu çalışmada bir maden işletmesinde faaliyet gösteren kamyon filosunun öncelikli arıza tiplerinin belirlenmesi amacıyla Pareto Diyagramı ve Logaritmik Serpme Diyagramından yararlanılmıştır. Her iki yaklaşım neticesinde de aynı sonuçlara ulaşılmasına rağmen tek bir kriter yerine iki kriter altında değerlendirme yapılmasına olanak tanıyan Logaritmik Serpme Diyagramının üstünlüğü ön plana çıkmıştır. Çalışmada ayrıca tespit edilen arıza tiplerinin kök nedenlerinin belirlenmesine dönük Ağaç Diyagramları geliştirilmiştir.
Aydın KOÇAK Funda İŞÇİOĞLU	2018	Bu çalışmada benzer iki meyve suyu dolum hattında güvenilirlik analizi yapılarak hem imalat hatlarında iyileştirme noktalarını tespit etmek hem de

hatlardaki üretim planlama ve bakım faaliyetlerinde karar desteğinin sağlanacağı bir alt yapının kurulması amaçlanmaktadır. Bunun için 5,5 aylık arıza ve tamir verileri kullanılarak her iki hattaki beş makinenin ve hatların güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle her bir makinenin arıza türleri belirlenerek arıza ve tamir verileriyle makine ve hatların tanımlayıcı istatistikleri elde edilmiştir. Her bir makinenin arıza ve tamir verilerinin dağılımları incelenerek en uygun dağılım tespit edilmiştir. Bu dağılımlara göre iki hat için makine ve hat bazında güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

- Şeref ATAMER 2009 Bu yayında, tek kademeli düz silindirik dişli çark mekanizmasının tasarım aşamasında verilere dayalı güvenilirlik analizi çalışması açıklanmaktadır. Mekanizmanın güvenilirlik yapısını ortaya çıkarmak için basitleştirilmiş FMEA ve blok diyagram şemaları kullanılmıştır. Sistem elemanları için tecrübeye dayalı parametre aralıklarına sadık kalınarak rastgele hasar verisi üretilmiş ve bu verilerin işlenmesinde maksimum benzerlik yöntemi ile yerleşik Matlab komutu “wblfit” kullanılmıştır.
- S. G. ERCELEBİ 1997 Maden işletmelerinin zor çalışma koşulları altında üretim faaliyetlerinin kesintisiz bir şekilde devamı için etkin bir koruyucu bakım onarım planlamasının istatistiksel yöntemlerle nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Yöntemler analitik ve grafik yöntemler olarak iki kısımda incelenmiş ve uygulamaları gösterilmiştir YERALTI maden. işletmesi örneği olarak
- H. ERGİN

mekanize uzun ayak seçilmiş ve ayakta tamburlu kesici için koruyucu bakım onarım planlaması yapılmıştır. Açık işletme örneğinde elektrikli ekskavatöre uygulanması gereken optimum bakım onarım zamanlamasının TTT grafik yöntemi ile her 32 saatte bir olacağı bulunmuştur.

Onur ARKAN

2018

Bu yüksek lisans tezinde, GMB/RCM analiz süreçlerinin neler olduğu anlatılmıştır. Bir İHA motoru üzerinde kullanılan Türbin Giriş Sıcaklığı (TGS/TIT) sensörleri üzerinden örnek bir çalışma yapılmıştır. Sahadaki bir ürün üzerindeki değişim aralıklarının değiştirilebilmesi için takip edilmesi gereken analizler gösterilmiştir.

Örnek çalışma kapsamında ilk aşamada, sensöre ait hata türleri tespit edilmiştir. Daha sonra GMB/RCM analizleri ile sensör için uygulanması gereken doğru önleyici bakım görevi belirlenmiştir.

İkinci aşamada, sensör arıza kayıtları kullanılarak Weibull analizi yapılmıştır. Sensör planlı ve plansız maliyetleri hesaplanmıştır. Burdan yola çıkarakta sensör için ideal değişim aralığının ne olması gerektiği belirlenmiştir.

Ayça Hatice
TÜRKAN

2007

Bu çalışmada, öncelikle güvenilirlik, risk fonksiyonu ve kuvvet eğrisi gibi önemli kavramlarla birlikte ele alınacaktır. Sonra ürünlerin yaşam sürelerine ışık tutacak güvenilirlik analizinde kullanılan tek değişkenli dağılımlar, iki değişkenli dağılımlar, karma dağılımlar, karıştırılmış dağılımlar ve bileşik dağılımlar incelenecektir. Bu istatistiksel dağılım modellerinden yaygın biçimde kullanılanlara ilişkin

temel özellikler ve parametre tahminleri araştırılacaktır. Güvenilirlik, yük ve mukavemet kavramları ile tekrar ele alınıp, çeşitli dağılımlarla örneklendirilecektir.

Gizem ÜNAL

2009

Bu çalışmanın temelini oluşturan güvenilirlik merkezli bakım, herhangi bir fiziksel varlığın kendi çalışma sistemi içerisinde bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan süreçtir. Arıza modları ve etkileri analizi ile gerekli görülen bakım işlemleri ve aralıkları belirlenebilir. Bu çalışmada öncelikle güvenilirlik merkezli bakımın tarihsel gelişimi ve kullanım alanları anlatılmaktadır. İkinci bölümde güvenilirlik merkezli bakım ile ilgili literatür araştırması verilmektedir. Bu bakım türünün amaçları ve uygulama adımları detaylı olarak son bölümde anlatılmaktadır.

Bakımın son derece önem kazandığı endüstri dünyasında pek çok çeşidi olan bakım yaklaşımlarından en uygununun seçilerek endüstriye uyumu sağlanmalı ve uygulanmalıdır. Burada en önemli ölçüt maliyet olup, kâr amacı ile çelişmeyen bir bakım politikası uygulanmalıdır.

Beldine Awuor
OMONDI

2017

Bu çalışmada, güvenilirlik analizinin iki parametrelili Weibull dağılımı ve log normal uygulamasına odaklanılmaktadır. Temel amaç, bir fan motorunun yaşam süresinin uzatılarak, yanıt değerinin optimize edilmesidir. Buradaki önemli nokta, zaman sürelerinin anlamlı biçimde etkileyen farklı koşulları göz önünde bulundurarak stres faktörlerinin belirlenmesidir. Weibull dağılımı ve log normal dağılımı, simülasyon tasarımı oluşturulması ve

parametrelerin maximum likelihood (ML) tahminlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Yaşam sürelerini etkileyen en önemli faktörlerin belirlenmesi amacıyla, 2 düzeyli faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır.

Özlem ÜNLÜSOY 2010 Bu çalışmada, Orta Menzilli Tanksavar Füze Sistemi Ataletsel Ölçüm Birimi (AÖB) için tasarım aşamasında güvenilirlik analizi yapılmıştır. Güvenilirlik atama yöntemleri kullanılarak sistem güvenilirlik gereksiniminden beklenen AÖB güvenilirlik gereksinimi çıkartılmıştır. Daha sonra, Relex paket programı kullanılarak AÖB güvenilirlik değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmalardan sonra, AÖB beklenen güvenilirlik değeri ve hesaplanan güvenilirlik değeri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, hesaplanan güvenilirlik değerinin beklenen AÖB güvenilirlik değerini karşılamadığı görülmüştür. Bu nedenle, güvenilirlik iyileştirme çalışması yapılmıştır.

ALTINCI BÖLÜM

UYGULAMA

6.1.VERİ PAKETİ

Bu çalışmada havacılık sektöründe faaliyet gösteren, 50 hava aracı bulunan bir filonun 2017-2018 yıllarına ait gerçeğe yakın arıza verileri kullanılmıştır. Tüm platformların toplam uçuş saati (çalışma saati) 2017 yılı başında 0 saat, 2017 yılı sonunda 1000 saat olduğu kabul edilmiştir. Aksaklıklar (arızalar); İtke Sistemi Arızaları (I), Motor Kontrol Aksamı Arızaları (K) ve Dışlı Sistemi Arızaları (D) olmak üzere 3 ana grup altında incelenmiştir. Her bir aksaklık grubuyla ilgili elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6’te gösterilmektedir. Eklerde ise her bir arıza özelinde arıza saatleri belirtilmiştir. Tüm bu gerçek veriler eşliğinde analizler yapılacaktır.

Tablolarda yer alan MTTR değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$MTTR = \text{Toplam Tamir Süresi (dakika)} / \text{Arıza Adedi}$

Tablo 4. 2017-2018 Yılları Arasında Gerçekleşen İtke Sistemi Arızalarına Ait Veriler

Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)	MTTR
I1	Motor kritik bileşen aksaklığı	16	54020	3376
I2	Sensör aksaklığı	14	740	53
I3	Yakıt sistemi aksaklığı	25	15590	624
I4	Motor kontrol ünitesi aksaklığı	5	470	94
I5	Piston aksaklığı	17	248	15
I6	Radyatör aksaklığı	24	32000	1333
I7	Hareketli parça aksaklığı	8	6020	753
I8	Devir daim aksaklığı	7	1370	196
I9	Krank cıvatası aksaklığı	3	470	157
I10	Egzoz contası aksaklığı	14	2420	173
I11	Silindirik kapağı aksaklığı	4	470	118
I12	Anormal titreşim	5	785	157
TOPLAM		142	114603	

Tablo 5. 20017–2018 Yılları Arasında Gerçekleşen Motor Kontrol Aksamı Arızaları Ait Veriler

Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)	MTTR
K1	Fren hava tesisatı aksaklığı	9	432,5	48
K2	Diferansiyel rulmanı aksaklığı	26	93620	3601
K3	Kompresörün aksaklığı	12	8420	702
K4	Motorun rot kırması	3	995	332
K5	Hava hattı kaçakları	11	1385	126
K6	Su hattı kaçakları	13	5570	428
K7	Diferansiyel dişlilerinin aksaklığı	16	52820	3301
TOPLAM		90	163242,5	

Tablo 6. 2017–2018 Yılları Arasında Gerçekleşen Dişli Sistemi Arızaları Veriler

Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)	MTTR
D1	Yağ sisteminde kaçak olması	28	15030	537
D2	Valf aksaklığı	6	1020	170
D3	Konventör aksaklığı	3	1232,5	411
D4	Hidrolik sistem aksaklığı	11	3335	303
D5	Rulman aksaklığı	4	6140	1535
D6	Filtresi aksaklığı	3	55	18
D7	Fren arızası	28	30170	1078
TOPLAM		83	56982,5	

Her bir arıza türüne ilişkin detay hesaplamalar ekler kısmında yer almaktadır. Eklerde yer alan tablolarda yer alan MTBF değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$MTTF=[\sum_{n=1}^{\infty}(Arıza\ Saati[n+1] - Arıza\ Saati[n])]/Arıza\ Adedi$$

6.2.ANALİZLER

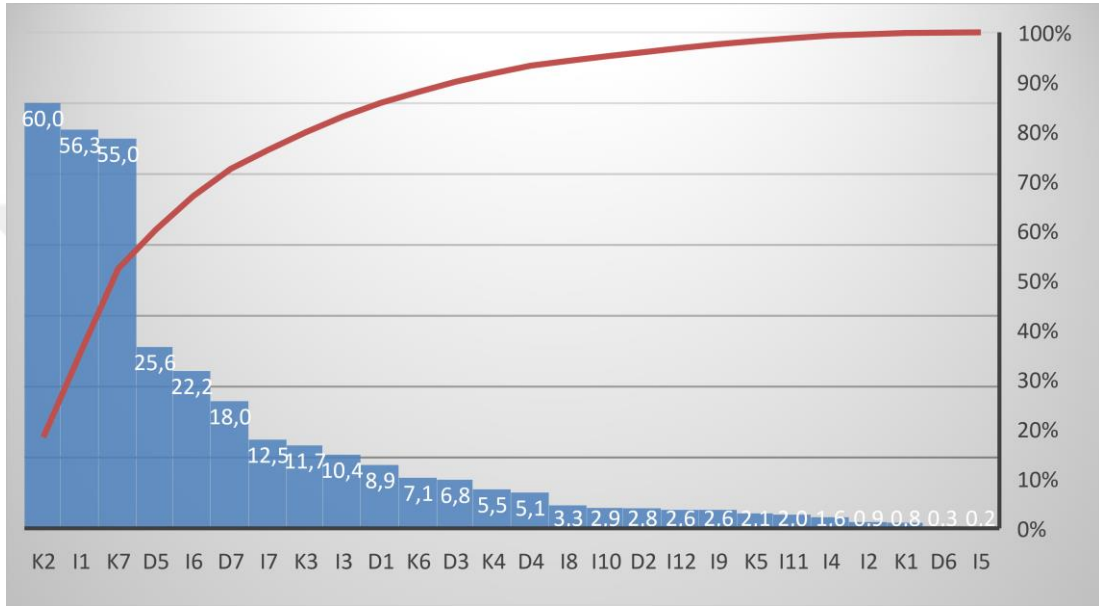
6.2.1. Arıza Kıyaslamaları

Analiz edilen arızalar tekrarlama sıklığına göre (MTTF) karşılaştırıldığında D7 ve D1 kodlu arızaların sık tekrarladığı ve hava aracının en yüksek olasılıkla arıza kaynağı olacağı görülmektedir. Buna göre, sadece daha önce yaşanan arızaların gerçekleştiği varsayıldığı durumda, hava aracı arızalandığı tespit edildiyse %18 ihtimalle D7 veya D1 arızalarının gerçekleşmiş olduğu durumu kabul edilebilir. (Tablo 7)

Tablo 7. Arıza Tiplerine Göre Gerçekleşme Yüzdesi

Arıza Kodu	Arıza Oranı (%)
I1	5
I2	4
I3	8
I4	2
I5	5
I6	8
I7	3
I8	2
I9	1
I10	4
I11	1
I12	2
K1	3
K2	8
K3	4
K4	1
K5	3
K6	4
K7	5
D1	9
D2	2
D3	1

Arıza Kodu	Arıza Oranı (%)
D4	3
D5	1
D6	1
D7	9



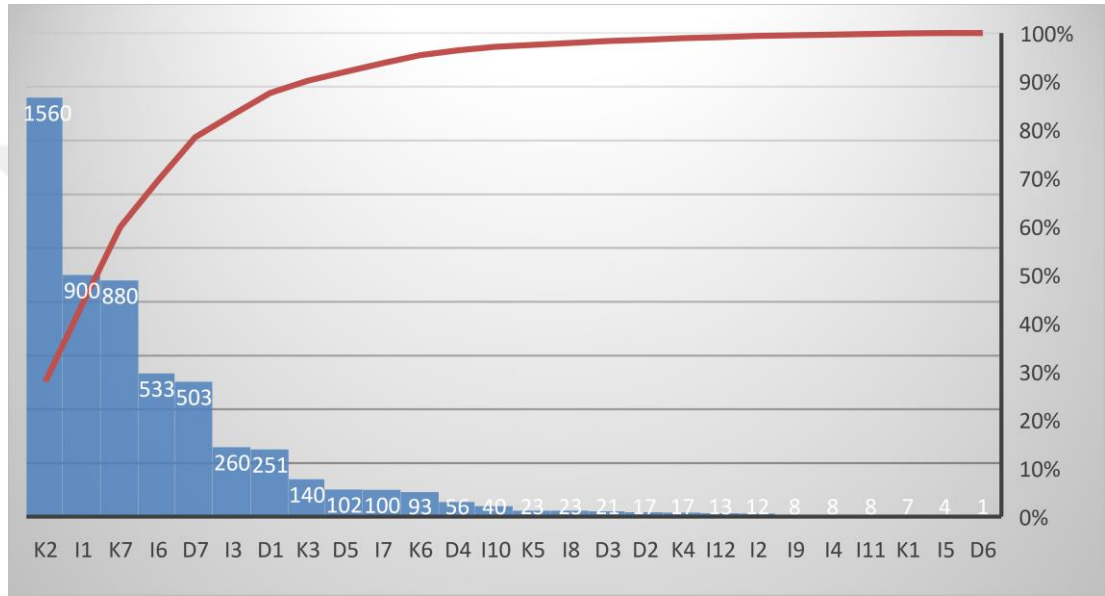
Şekil 39. Her Bir Arıza için MTTR Kıyaslaması

Analiz edilen arızalar ortalama tamir sürelerine göre (MTTR) karşılaştırıldığında K2 kodlu arızanın tamir süresinin en uzun olduğu görülmektedir. (Şekil 39) Tamir süresi ve arıza sıklığı dikkate alınarak yapılan analizde de K2 arızasının hava aracının gayri faal durumundaki en yüksek olasılıklı arızası olacağı görülmektedir. (Tablo 8)

Şekil 40 referans alınarak yapılan değerlendirmede bakım planlama ekiplerinin malzeme ve personel planlamaları K2, I1 ve K7 kodlu arızalar için yaklaşık %60 efor sarf edeceği sonucu çıkmaktadır. (Tablo 8) Bu analiz, onarımda harcanan süreyle doğru orantılı olarak personel adedi/çalışma saati artacağı ve sarf malzeme harcamasının bakım süresiyle doğru orantılı olarak artacağı varsayılarak yapılmıştır.

Tablo 8. Bakım Planlama Ekibinin Arızalara Ayıracağı Efor Tablosu

Arıza Kodu	Efor
K2	%28
I1	%16,1
K7	%15,8
Diğer	%40,1

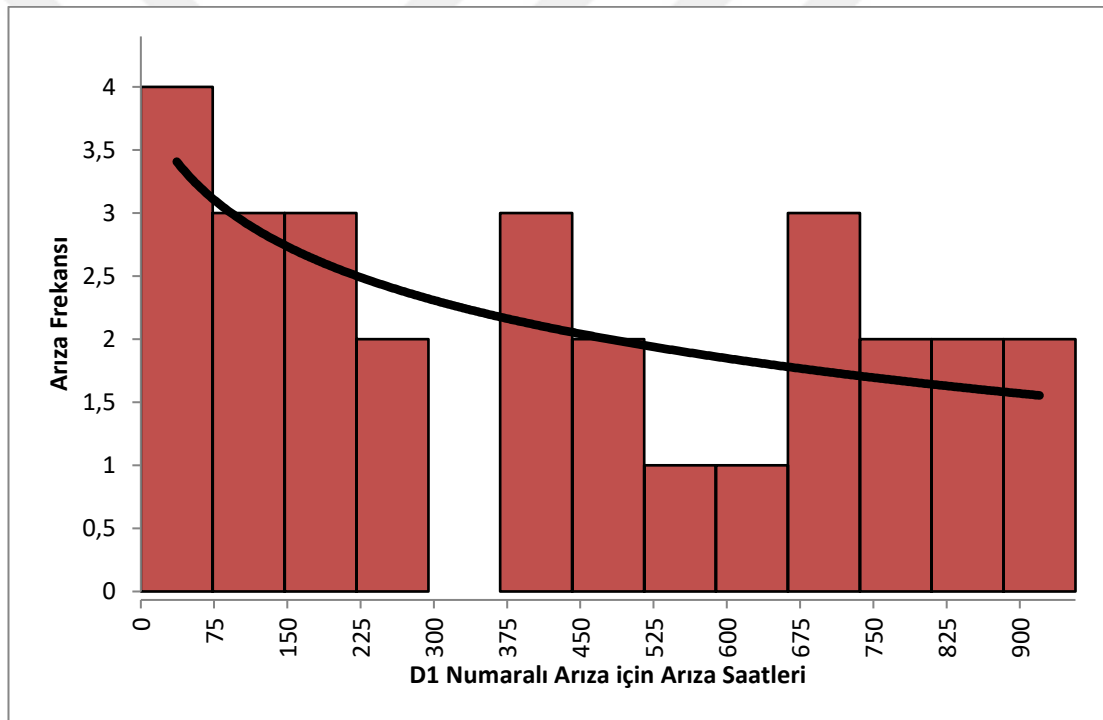


Şekil 40. Tamiri için Toplam Harcanan Zamanlara Göre Arıza Kıyaslaması (saat)

6.2.2. Gerçek Verilerle Ömür ve Bakım Periyodu Analizi

Gerçek verilerle analiz için, hava araçlarının gerçek arıza verileri kullanılarak bileşenlerin hangi dağılım türüne uygun olduğu çeşitli yöntemler ile belirlenir. Sonrasında da uygun dağılım eğrileri ve hesaplama yöntemleri kullanılarak güvenilirlik analizleri yapılır. Bu analizler sayesinde gelecek arıza saatleri kestirilmeye çalışılmakta ve önleyici bakım faaliyetleri planlanmaktadır.

Arıza tiplerinin hangi dağılımlara uyduğunun analizine örnek olarak D1 numaralı arızanın histogramı (Genişlik: 75 saat, Sütun Sayısı: 15 arıza) ve trend eğimi Sigma XL programı kullanılarak Şekil 41’deki grafik elde edilmiştir. Bu grafiğe göre bu arıza özelindeki güvenilirlik analizlerinin üstel dağılıma uyduğu kabul edilmektedir.



Şekil 41. D1 Numaralı Arıza için Elde Edilen Histogram ve Trend Eğrisi Grafiği

D1 arızasının üstel dağılım ile güvenilirliği aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

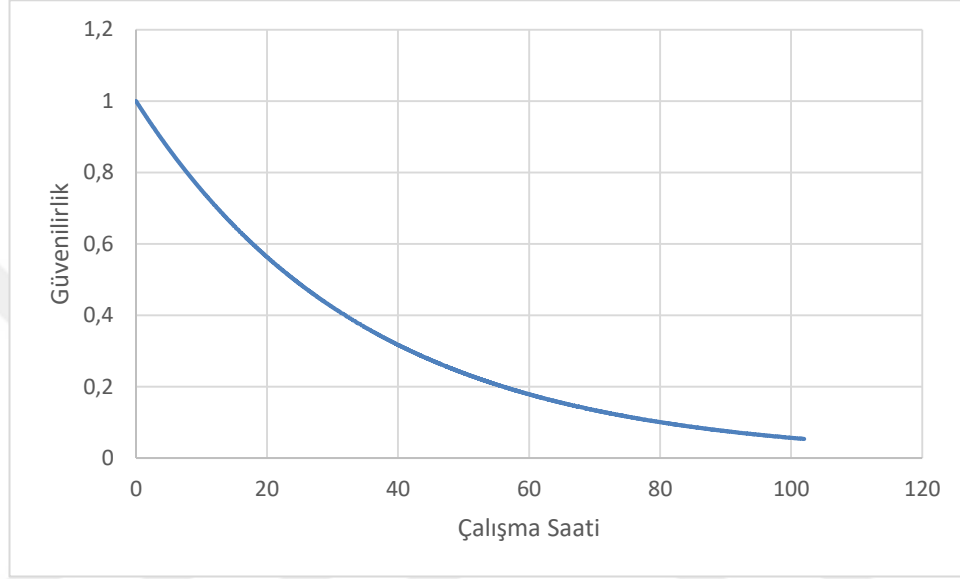
$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

Buna göre güvenilirlik için aşağıdaki bağıntı elde edilmiş olur;

$$R(t) = e^{-0,02857t}$$

Buradan istenen t değeri için D1 arızasının oluşmaması (güvenilirliği) elde edilmektedir. Bu analizin grafiği de aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur.



Şekil 42. D1 Arızası için Üstel Dağılım Güvenilirlik Grafiği

Buradan örneğin 2. çalışma saatinde güvenilirliğinin 0,9442 (%94,42) olduğu görülmektedir.

Analizin buradan sonraki kısmında, bileşenlerin güvenilirlik hesapları için Weibull dağılımı kullanılmıştır. Elektronik ve mekanik sistemler için değişken arızalanma sayılarından dolayı (bkz. Küvet Eğrisi) Weibull dağılımı güvenilirlik analizlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Yapılacak analizler için gerçek veriler üzerinden Weibull dağılım parametreleri çıkartılmıştır. Parametreler bulunurken ürünlerin hata zamanlarından ve Sigma XL programından faydalanılmıştır. Programın ayar parametreleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

#	Aksaklık Adı	Aksaklık Saati	Ara Süre
1	I1	7	
2	I1	150	143
3	I1	152	2
4	I1	285	133
5	I1	308	23
6	I1	313	5
7	I1	361	48
8	I1	452	91
9	I1	484	32
10	I1	517	33
11	I1	533	16
12	I1	601	68
13	I1	843	242
14	I1	923	80
15	I1	935	12
16	I1	953	18
		MTBF	63

Reliability/Weibull Analysis

Aksaklık Adı **OK >>**

Numeric Response (Y) >> **Cancel**

(Time to Event)

Right Censor Column >> **Help**

(Optional: Text or Numeric)

<< Remove

Censor Value >>

Method of Estimation:

☒ Maximum Likelihood **Threshold:**

☐ Least Squares Regression (X on Y) **Confidence Level:** %

Estimate Additional Time Percentiles (enter percents separated by a space):

Estimate Survival Probabilities (enter time values separated by a space):

Şekil 43. I1 Kodlu Arızanın Weibull Parametrelerini Çıkartmak için Yapılan Ayar Ekranı

Şekil 43’de de görüleceği gibi analiz programına arıza saat verileri ve güven yüzdesi girilmektedir. Program çıktı olarak shape (biçim parametresi, β) ve scale (ölçek parametresi, η) değerlerini vermektedir. Bu parametrelerle ve aşağıdaki bağıntıyla güvenilirlik fonksiyonları hesaplanır.

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left\{ \frac{(t - \gamma)}{\eta} \right\}^\beta \right]$$

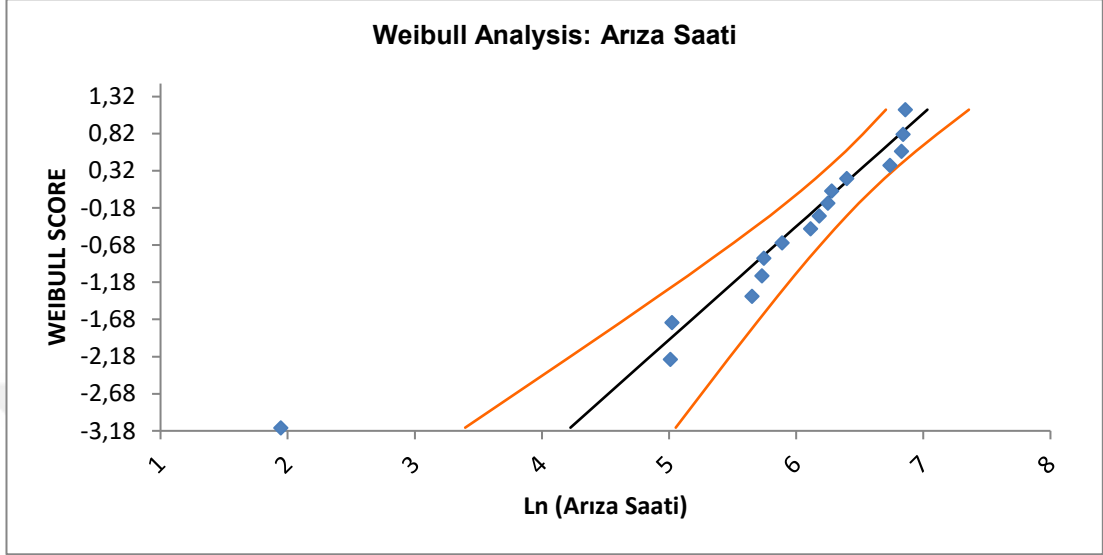
Parameter Estimates:

Parameter	Estimate
Shape	1,525
Scale	533,17

Şekil 44. I1 Arızası için Belirlenen Weibull Parametreleri Ekran Görüntüsü

Weibull dağılımının son yıllarda mühendislik alanlarındaki güvenilirlik çalışmalarının odak konularından birisi olması ve malzemelerin mekanik özelliklerinin modellenmesinin artan önemi bu konudaki çalışmalarda güvenilirlik analizini etkin ve kapsamlı şekilde gerçekleştiren bir bilgisayar programını gerekli kılmaktadır. Weibull parametreleri, sadece program çözümleriyle değil, alternatif çözümlerle de tahmin edilebilmektedir. Bunlardan bir tanesi Grafik Metoduyla Weibull Parametrelerini Tahmin Metodu’dur. Örneğin, bu metotta Şekil 45’deki grafik çizilerek belirli bir hata payıyla ihtiyaç duyulan parametreler tahmin edilebilmektedir. Bu grafikte x eksenini

arıza veya ömür süresi olması gerekirken, y eksenini ise olasılık değerleri bulunmalıdır. Bu noktalar içinde en mümkün doğru elde edilir. Bu doğrudan elde edilen değer, biçim parametresinin tahmini değeridir.



Şekil 45. I1 Arızasına Ait Weibull Parametrelerini Tahminen Bulmak için Kullanılan Grafik

Bu yazılım vasıtasıyla tüm arızalar için elde edilen katsayılar ve güvenilirlik fonksiyonları Tablo 9'daki gibidir.

Tablo 9. İncelenen Arızalar için Belirlenen Weibull Dağılım Katsayıları

Arıza Kodu	β	η	Güvenilirlik Fonksiyonu
I1	1,525	533,17	$R(t) = e^{(-t/533,17)^{1,525}}$
I2	2,230	564,30	$R(t) = e^{(-t/564,30)^{2,230}}$
I3	1,276	535,56	$R(t) = e^{(-t/535,56)^{1,276}}$
I4	1,520	500,57	$R(t) = e^{(-t/500,57)^{1,520}}$
I5	2,006	497,78	$R(t) = e^{(-t/497,78)^{2,006}}$
I6	2,146	638,69	$R(t) = e^{(-t/638,69)^{2,146}}$
I7	2,106	518,00	$R(t) = e^{(-t/518,00)^{2,106}}$
I8	2,520	588,74	$R(t) = e^{(-t/588,74)^{2,520}}$
I9	2,077	401,07	$R(t) = e^{(-t/401,07)^{2,077}}$
I10	2,717	704,07	$R(t) = e^{(-t/704,07)^{2,717}}$
I11	2,771	561,59	$R(t) = e^{(-t/561,59)^{2,771}}$
I12	1,388	551,04	$R(t) = e^{(-t/551,04)^{1,388}}$
K1	1,793	420,15	$R(t) = e^{(-t/420,15)^{1,793}}$
K2	1,816	604,29	$R(t) = e^{(-t/604,29)^{1,816}}$
K3	1,336	570,34	$R(t) = e^{(-t/570,34)^{1,336}}$
K4	1,303	323,68	$R(t) = e^{(-t/323,68)^{1,303}}$
K5	1,601	477,65	$R(t) = e^{(-t/477,65)^{1,601}}$
K6	1,165	392,08	$R(t) = e^{(-t/392,08)^{1,165}}$
K7	1,411	497,54	$R(t) = e^{(-t/497,54)^{1,411}}$
D1	1,321	473,80	$R(t) = e^{(-t/473,80)^{1,321}}$
D2	1,448	316,00	$R(t) = e^{(-t/316,00)^{1,448}}$
D3	1,404	496,66	$R(t) = e^{(-t/496,66)^{1,404}}$
D4	1,429	447,21	$R(t) = e^{(-t/447,21)^{1,429}}$
D5	0,796	359,99	$R(t) = e^{(-t/359,99)^{0,796}}$
D6	1,081	463,50	$R(t) = e^{(-t/463,50)^{1,081}}$
D7	1,775	535,11	$R(t) = e^{(-t/535,11)^{1,775}}$

İlk olarak üstel dağılım ile yapılan güvenilirlik analizini Weibull dağılımı ile yapıldığındaki sonuçların kıyaslaması yapılacak olursa aşağıdaki değerler elde edilir.

Tablo 10. D1 Arızası Üstel ve Weibull Dağılımına Göre Güvenilirlik Analizi Sonuçları Kıyaslaması

Zaman	Üstel Dağılıma Göre Güvenilirlik	Weibull Dağılımına Göre Güvenilirlik	Gerçekçi % Değeri
1 saat	0,9717	0,9997	100
5 saat	0,8663	0,9976	100
10 saat	0,7505	0,9939	100
20 saat	0,5633	0,9848	96,42
50 saat	0,2381	0,9500	89,28

Tabloda ilk sütunda analiz zamanları, ikinci sütunda üstel dağılıma göre yapılan güvenilirlik değerlerini, üçüncü sütunda Weibull dağılımına göre elde edilen güvenilirlik değerlerini, dördüncü sütunda ise gerçekçi değer olarak ifade edilen değerler yer almaktadır. Üstel ve Weibull dağılımlarına göre yapılan güvenilirlikleri karşılaştırmak amacıyla 1000 saat içinde ele alınan 28 arızanın yüzde kaçının ilgili saatler arasında olduğu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede elde edilen sonuçlar tabloda “Gerçekçi % Değeri” olarak gösterilmiştir (Dördüncü Sütun). Bu tablodan; Weibull dağılımı ile yapılan güvenilirliklerin gerçekçi yüzdelik değerlere daha yakın olduğu sonucu elde edilmektedir.

Tablo 9’de elde edilen güvenilirlik fonksiyonları ile ilgili t değerlerine karşılık gelen bileşen güvenilirlikleri yüzdesel (%) olarak hesaplanmaktadır. Aşağıdaki tabloda t=10 saat için örnek hesaplamalar yer almaktadır.

Tablo 11. 10 Çalışma Saati Sonunda Tüm Arızalar için Güvenilirlik Değerleri

Arıza Kodu	Her Bir Arıza Tipi için 10 Çalışma Saati Sonrasında Güvenilirlik Değerleri
I1	0,9976
I2	0,9998
I3	0,9937
I4	0,9973
I5	0,9996
I6	0,9998
I7	0,9997

Arıza Kodu	Her Bir Arıza Tipi için 10 Çalışma Saati Sonrasında Güvenilirlik Değerleri
I8	0,9999
I9	0,9995
I10	0,9999
I11	0,9999
I12	0,9961
K1	0,9987
K2	0,9994
K3	0,9955
K4	0,9892
K5	0,9979
K6	0,9861
K7	0,9959
D1	0,9939
D2	0,9932
D3	0,9958
D4	0,9956
D5	0,9439
D6	0,9843
D7	0,9991

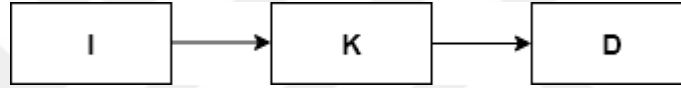
Tablo 11’da yer alan arızalar, İtki Sistemi (I), Motor Kontrol Aksamı (K) ve Dişli Sistemi (D) olmak üzere 3 sisteme ait arızalardır. Bu sistemlerin birbirlerine seri olarak bağlandığını ve bu analizde tanımlanmış tüm arızaların gerçekleşebileceği varsayılırsa sistemlerin güvenilirliği, her bir sistem için en az güvenilirliğe sahip, başka bir deyişle en yüksek olasılıkla gerçekleşecek arıza tipi için güvenilirlik değeri olur.

Buna göre aşağıdaki tablodaki sonuçlar elde edilir.

Tablo 12. Tüm Arızalar Göz Önüne Alındığında 10 Saat Sonraki Sistem Güvenilirlik Değerleri

Sistem Kodu	Arıza Kodu	10 Çalışma Saati Sonrasında Bileşenlerin Güvenilirlikleri
I	I3	0,9937
K	K6	0,9861
D	D5	0,9439

Bu sistemlerin birbirine seri bağlı oldukları varsayıldığı durumda ve bu 3 sistemin bir araya geldiğinde oluşan yapıya (Komple Sistem > Sistem hiyerarşisine göre) “Komple Motor Sistemi” olarak adlandırılabilir.



Şekil 46. Birbirine Seri Bağlanmış I, K ve D Kodlu Sistemler (Komple Motor Sistemi)

Seri bağlı sistem mimarilerinde güvenilirlik;

$$R_s = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_n = \prod P_i$$

eşitliği ile hesaplanır.

Buna göre 10 çalışma saati sonrasındaki Komple Motor Sistemi güvenilirliği: 0,9249 olarak hesaplanmış olur.

Bu seri bağlı sistemin için hedeflenen güvenilirliği 0,95 olarak belirlenmiş olsun. Bu durumda sistem güvenilirliği aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R_I(t) \cdot R_K(t) \cdot R_D(t) = 0,95$$

$$e^{(-t/535,56)^{1,276}} \cdot e^{(-t/392,08)^{1,165}} \cdot e^{(-t/359,99)^{0,796}} = 0,95$$

Buradan,

$$t = 6,7802$$

saat olarak hesaplanır. Bu veri, istenen 0,95 güvenilirliğin, bu sistem için kaçınıcı saatte erişileceği anlamını taşımaktadır. 6,7802 saatten önceki değerlerde Komple Motor Sistemi güvenilirliğinin 0,95'den büyük olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu seri bağlı sistemdeki en düşük güvenilirlikli sistem olan D kodlu sistemin, en muhtemel arıza nedeni olan D5'e karşı tedbirler alınması veya ilgili bileşenlerin/arızaya sebep olabilecek kontrol veya parça değişiminin teorik olarak 6,7802 saatten daha kısa zamanda gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu analizlerin sonuçları tasarım ekiplerine iletilerek sistem iyileştirmelerinin yapılması sağlanır ve sistem emniyeti artırılır. Aynı zamanda bu analizler vasıtasıyla bakım planlama ekiplerince bileşenlerin hedeflenen güvenilirlikte çalışmaları için yapılması gereken periyodik önleyici bakım faaliyetleri planlanır. Bu planlamalara göre malzeme ve personel gibi bakım gereksinimleri, bakım yapılacak yerde ve istenilen zamanda hazır olacak şekilde organize edilir.

SONUÇ

Bakım, bir sistemde hem donanımın çalışma süresini hem de üretim maliyetlerini artırır. Donanım çalışma sürelerinin artması sistemlerin performans ve üretim verimliliklerinin artmasını sağlar. Bakım faaliyetlerinde yapılacak gelişmeler de sürecin verimliliğini, toplam maliyetleri ve ürün kalitesini olumlu yönde etkileyerek ve sistemlerin daha kaliteli olmalarını sağlar. Bu yüzden ki üretilen sistemler, başlangıç aşamasından itibaren operasyonel etkinlik sağlayacak şekilde güvenilirlik, bakım yapılabilirlik, desteklenebilirlik ölçütleri de göz önüne alınarak tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada güvenilirliğin temel kavramları, olasılık dağılımları, bakım politikaları ve türleri, güvenilirlik modelleri anlatılmıştır. İlaveten farklı ve birden çok arıza kaynaklarına sahip sistemler için ayrı ayrı ve seri bağlı (bütünsel) olarak güvenilirlik incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda ihtiyaç duyulan güvenilirlik fonksiyonları hesaplanmış, fonksiyonlar oluşturulduktan sonra herhangi bir t zamanı için sistemlerin güvenilirlik değerleri ve komple sistemin güvenilirliği bulunmuştur. Daha sonra komple sistem güvenilirliği üzerinden çalışma yapılarak hesaplanan β , η (Düzeltilici Bakım Maliyeti / Önleyici Bakım Maliyeti) değerleri kullanılarak bu donanımların istenen güvenilirlikte çalışmaları için önleyici bakım periyodu veya parça değişim zamanları hesaplanmıştır.

Bu çalışmada havacılık sektöründe faaliyet gösteren, 50 hava aracı bulunan bir filonun 2017-2018 yıllarına ait gerçeğe yakın arıza verileri kullanılarak arıza bazında sistem güvenilirliği hesaplanmıştır. Tüm platformların toplam uçuş saati (çalışma saati) referans alınarak geleceğe dönük arıza tekrarlama ihtimalleri değerlendirilmiş, bu ihtimaller sistemin faal veya gayri faal olması beklenen durumlara/ihtimallere göre değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda sistem bileşenlerinin istenilen güvenilirlikte çalışmaları veya arızalı duruma düşmemesi için bakım planlaması ve bakım periyotlarının değiştirilebilirliği üzerinde durulmuştur.

Bu analizler, ürünlerin tasarım revizyonuna gitmeleri ve benzer ürün tasarımlarında dikkat edilecek tasarım bilgi birikimi oluşturduğundan kritik öneme sahiptir. Kritik bir amaç için kullanılacak ve bunun için tasarlanan her sistem, arıza verme ihtimali öngörülen sistem bileşenlerinin arızalanmaları hakkında çeşitli simülasyonlar ve tahmin yürütme yoluyla tasarım çalışmaları tamamlanır. Sistem ve alt sistem

prototipleri üretildikten sonra, bileşenlerin gerçekte çalışacağı ortamlar oluşturularak çeşitli testler yapılır. İlk arıza verileri bu aşamada toplanmaktadır. Ancak sistemin tasarım amacına uygun şekilde kullanımı sırasında elde edilen arıza verisi, tasarım revizyonu ve bakım planlaması için çok daha kritik ve gerçekçi bir veri havuzu oluşturmaktadır.

Sistemlerin gerçek arıza verilerinin işlenerek güvenilirlik analizlerinin yapılması, sistem işletimi ve kullanım devamlılığı açısından kritik öneme sahiptir. Endüstriyel sistemlerde bu analizler maliyet referanslı olup, üreticinin kar, prestij ve zaman parametrelerini etkilerken; çok daha kritik olan askeri veya uzay sanayisinde de görevi tamamlama referanslı olup, sistemlerin görev kabiliyeti, insan sağlığı gibi çok kritik parametrelerini etkilemektedir.

Yapılan çalışma, süreçlerin sorunsuz işleyebilmesi için uygulanacak olan bakım faaliyetleri ile güvenilirlik modellerinin birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir. İncelenen hava aracı bileşenlerinde güvenilirlik hesaplamaları ile donanım/sistem önleyici bakım zamanları belirlenebilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ajit Kumar Verma
Srividya Ajit
Durga Rao Karanki Reliability and Safety Engineering
- [2] Arda Demir Reliability Analysis Of Heavy Duty Vehicle Components Based On Long Term Warranty Data
- [3] Ayça Hatice Türkan Güvenilirlik Analizinde Kullanılan İstatistiksel Dağılım Modelleri
- [4] Aykut Avcı Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB)
- [5] Beldine Awuor Omondi Weibull and Log-Normal Distributions in Reliability Analysis Applications
- [6] Bureau of Indian Standards Analysis Technique For Dependability—Reliability Block Diagram Method. IS 15037, Bureau Of Indian Standards, New Delhi
- [7] Douglas C. Montgomery
George C. Runger Applied Statistics and Probability for Engineers
- [8] Dr. Michael Stamatelatos
Dr. William Vesely Fault Tree Handbook with Aerospace Applications
- [9] Ebru Solmaz Evcil
Ömer Faruk İslim “Kullanılabilirlik Kavramı ve Kullanılabilirlik Ölçümleri” 6th International Computer & Instructional Technologies Symposium, October 4th - 6th 2012 Gaziantep University, GAZIANTEP- TURKEY
- [10] Enrico Petritoli
Fabio Leccese
Lorenzo Ciani Reliability and Maintenance Analysis of Unmanned Aerial Vehicles
- [11] Farnaz Kermanshahi
Mostafa Mohagheghi
Sajed Sadati Reliability Analysis, Design Improvements and Maintenance Procedure Compilation of a Novel Remotely Piloted Helicopter
- [12] Gizem Ünal Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama
- [13] <http://uzay.tubitak.gov.tr/> Güvenilirlik Analizleri
- [14] J.P.Bentley, Reliability&Quality Engineering, Longman Sientific & Technical, John Wiley&Sons, 1993
- [15] James K.Kuchar MIT Lincoln Laboratory, kuchar@ll.mit.edu, Lexington, MA
- [16] Jardine “Maintenance Replacement and Reliability”, Pitman,USA. (1973)
- [17] John Moubray Reliability Centered Maintenance

- [18] Kailash C. Kapur Michael Pecht Reliability Engineering
- [19] Kuo, W. Zuo, M. J. Optimal Reliability Modelling, Principles and Applications
- [20] Lyonnet,P. Maintenance Planning: Methods and Mathematics, Chapman&Hall, 1991
- [21] NASA/CR-2001-210647 General Aviation Aircraft Reliability Study
- [22] Nikoleta Kandalepa Reliability Modelling in Transmission Networks
- [23] Onur Arkan GMB Metodolojisi Kullanılarak Bir İHA Motorunda Kullanılan Türbin Giriş Sıcaklığı Sensörü için Uygun Bakım Görevlerinin Belirlenmesi
- [24] S. Enver Varan Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sistem Güvenilirliği Analizi ve Bir Uygulama
- [25] S. G. Ercelebi H. Ergin Maden Makinalarında Koruyucu Bakım Onarım Planlaması
- [26] Sheldon M. Ross Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists
- [27] SHT-120.17 Hava Aracı Bakımı Güvenilirlik Programları SHT-120.17
- [28] Şeref Atamer Makine Elemanlarında Güvenilirlik ve Ömür Analizleri
- [29] Şeref Atamer Kadir Çavdar Tek Kademeli Dişli Kutusunun Güvenilirlik AnaliziUludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 1, 2009
- [30] Tsang "Strategic Dimensions Of Maintenance Management",Journal of Quality in Maintenance Engineering,Vol 8,No:1,pp 7-39. (2002),
- [31] Vahid Ghasemnejad Berenji Time Variant Component and System Reliability Analysis of Bridges
- [32] Weibull W. A Statistical Distribution of Wide Applicability
- [33] Yard.Doç.Dr.Arzu Uzun Dr.Ahmet Özdoğan Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 20, Sayı1, 2011, Sayfa 303-320303 Güvenirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması
- [34] Yüksel Kenaroğlu İnsansız Hava Aracı: Ne Kadar Güvenilir?

EKLER

Tablo 13. 2017-2018 Yılları Arasındaki I1 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I1	7	
I1	150	143
I1	152	2
I1	285	133
I1	308	23
I1	313	5
I1	361	48
I1	452	91
I1	484	32
I1	517	33
I1	533	16
I1	601	68
I1	843	242
I1	923	80
I1	935	12
I1	953	18
MTTF		63

Tablo 14. 2017-2018 Yılları Arasındaki I2 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I2	38	
I2	159	121
I2	351	192
I2	422	71
I2	437	15
I2	449	12
I2	467	18
I2	503	36

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I2	529	26
I2	595	66
I2	680	85
I2	777	97
I2	794	17
I2	893	99
MTTF		66

Tablo 15. 2017-2018 Yılları Arasındaki I3 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I3	15	
I3	21	6
I3	23	2
I3	55	32
I3	128	73
I3	155	27
I3	215	60
I3	281	66
I3	341	60
I3	353	12
I3	369	16
I3	490	121
I3	507	17
I3	543	36
I3	585	42
I3	694	109
I3	734	40
I3	777	43
I3	852	75

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I3	854	2
I3	864	10
I3	875	11
I3	918	43
I3	937	19
I3	990	53
MTTF		41

Tablo 16. 2017-2018 Yılları Arasındaki I4 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I4	139	
I4	218	79
I4	263	45
I4	680	417
I4	940	260
MTTF		200

Tablo 17. 2017-2018 Yılları Arasındaki I5 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I5	47	
I5	109	62
I5	238	129
I5	267	29
I5	301	34
I5	307	6
I5	357	50
I5	420	63
I5	447	27

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I5	469	22
I5	473	4
I5	506	33
I5	522	16
I5	675	153
I5	721	46
I5	727	6
I5	949	222
MTTF		56

Tablo 18. 2017-2018 Yılları Arasındaki I6 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I6	80	
I6	105	25
I6	172	67
I6	271	99
I6	301	30
I6	306	5
I6	380	74
I6	400	20
I6	444	44
I6	463	19
I6	467	4
I6	515	48
I6	531	16
I6	684	153
I6	709	25
I6	718	9
I6	760	42
I6	815	55
I6	821	6

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I6	888	67
I6	924	36
I6	935	11
I6	948	13
I6	977	29
MTTF		39

Tablo 19. 2017-2018 Yılları Arasındaki I7 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I7	114	
I7	296	182
I7	326	30
I7	352	26
I7	455	103
I7	583	128
I7	627	44
I7	912	285
MTTF		114

Tablo 20. 2017-2018 Yılları Arasındaki I8 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I8	228	
I8	248	20
I8	404	156
I8	444	40
I8	683	239
I8	749	66
I8	880	131
MTTF		109

Tablo 21. 2017-2018 Yılları Arasındaki I9 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I9	150	
I9	316	166
I9	594	278
MTTF		222

Tablo 22. 2017-2018 Yılları Arasındaki I10 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I10	213	
I10	217	4
I10	306	89
I10	485	179
I10	496	11
I10	502	6
I10	515	13
I10	686	171
I10	810	124
I10	861	51
I10	895	34
I10	900	5
I10	915	15
I10	943	28
MTTF		56

Tablo 23. 2017-2018 Yılları Arasındaki I11 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I11	282	
I11	345	63
I11	581	236
I11	781	200

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
MTTF		166

Tablo 24. 2017-2018 Yılları Arasındaki I12 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
I12	50	
I12	230	180
I12	603	373
I12	750	147
I12	908	158
MTTF		215

Tablo 25. 2017-2018 Yılları Arasındaki K1 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K1	100	
K1	120	20
K1	169	49
K1	281	112
K1	350	69
K1	428	78
K1	529	101
K1	634	105
K1	743	109
MTTF		80

Tablo 26. 2017-2018 Yılları Arasındaki K2 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K2	40	

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K2	87	47
K2	137	50
K2	175	38
K2	199	24
K2	218	19
K2	227	9
K2	229	2
K2	372	143
K2	419	47
K2	527	108
K2	540	13
K2	563	23
K2	582	19
K2	611	29
K2	652	41
K2	722	70
K2	735	13
K2	743	8
K2	785	42
K2	841	56
K2	877	36
K2	898	21
K2	941	43
K2	956	15
K2	980	24
MTTF		38

Tablo 27. 2017-2018 Yılları Arasındaki K3 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K3	10	
K3	33	23

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K3	344	311
K3	347	3
K3	469	122
K3	485	16
K3	551	66
K3	656	105
K3	670	14
K3	934	264
K3	950	16
K3	981	31
MTTF		88

Tablo 28. 2017-2018 Yılları Arasındaki K4 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K4	68	
K4	220	152
K4	606	386
MTTF		269

Tablo 29. 2017-2018 Yılları Arasındaki K5 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K5	38	
K5	76	38
K5	247	171
K5	252	5
K5	342	90
K5	450	108
K5	546	96
K5	589	43
K5	638	49

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K5	675	37
K5	901	226
MTTF		86

Tablo 30. 2017-2018 Yılları Arasındaki K6 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K6	12	
K6	47	35
K6	102	55
K6	126	24
K6	185	59
K6	202	17
K6	297	95
K6	448	151
K6	469	21
K6	618	149
K6	691	73
K6	768	77
K6	890	122
MTTF		73

Tablo 31. 2017-2018 Yılları Arasındaki K7 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K7	48	
K7	80	32
K7	87	7
K7	89	2
K7	162	73
K7	171	9
K7	486	315

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
K7	516	30
K7	520	4
K7	538	18
K7	623	85
K7	636	13
K7	722	86
K7	821	99
K7	833	12
K7	955	122
MTTF		60

Tablo 32. 2017-2018 Yılları Arasındaki D1 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D1	17	
D1	30	13
D1	43	13
D1	73	30
D1	103	30
D1	118	15
D1	146	28
D1	194	48
D1	197	3
D1	203	6
D1	236	33
D1	291	55
D1	416	125
D1	418	2
D1	431	13
D1	465	34
D1	513	48
D1	544	31

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D1	638	94
D1	678	40
D1	680	2
D1	693	13
D1	777	84
D1	788	11
D1	833	45
D1	884	51
D1	934	50
D1	957	23
MTTF		35

Tablo 33. 2017-2018 Yılları Arasındaki D2 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D2	58	
D2	80	22
D2	277	197
D2	310	33
D2	336	26
D2	657	321
MTTF		120

Tablo 34. 2017-2018 Yılları Arasındaki D3 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D3	105	
D3	380	275
D3	871	491
MTTF		383

Tablo 35. 2017-2018 Yılları Arasındaki D4 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D4	25	
D4	150	125
D4	185	35
D4	195	10
D4	280	85
D4	340	60
D4	383	43
D4	534	151
D4	680	146
D4	792	112
D4	925	133
MTTF		90

Tablo 36. 2017-2018 Yılları Arasındaki D5 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D5	4	
D5	347	343
D5	447	100
D5	760	313
MTTF		252

Tablo 37. 2017-2018 Yılları Arasındaki D6 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D6	58	
D6	345	287
D6	948	603
MTTF		445

Tablo 38. 2017-2018 Yılları Arasındaki D7 Arıza Zamanları

Arıza Kodu	Arıza Saati	Ara Süre
D7	45	
D7	93	48
D7	149	56
D7	161	12
D7	163	2
D7	186	23
D7	241	55
D7	243	2
D7	252	9
D7	344	92
D7	349	5
D7	351	2
D7	352	1
D7	433	81
D7	458	25
D7	499	41
D7	511	12
D7	527	16
D7	669	142
D7	716	47
D7	721	5
D7	755	34
D7	769	14
D7	784	15
D7	806	22
D7	813	7
D7	968	155
D7	991	23
MTTF		35

Tablo 39. Aksaklıklar (Arızalar) Özet Veri Tablosu

Arıza Kodu	Arıza Adedi	MTTR (dakika)	MTTR (saat)	MTTF (saat)
I1	16	3376	56,3	63
I2	14	53	0,9	66
I3	25	624	10,4	41
I4	5	94	1,6	200
I5	17	15	0,2	56
I6	24	1333	22,2	39
I7	8	753	12,5	114
I8	7	196	3,3	109
I9	3	157	2,6	222
I10	14	173	2,9	56
I11	4	118	2,0	166
I12	5	157	2,6	215
K1	9	48	0,8	80
K2	26	3601	60,0	38
K3	12	702	11,7	88
K4	3	332	5,5	269
K5	11	126	2,1	86
K6	13	428	7,1	73
K7	16	3301	55,0	60
D1	28	537	8,9	35
D2	6	170	2,8	120
D3	3	411	6,8	383
D4	11	303	5,1	90
D5	4	1535	25,6	252
D6	3	18	0,3	445
D7	28	1078	18,0	35

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Seray BAYRAKTAR

Doğum tarihi, Yeri : 1987, İstanbul

E-Posta : sseraybayraktar@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü / Sayısal Yöntemler	2013-2019
Lisans	İ.Ü. Fen Fakültesi / Matematik	2012-Devam
T.Yüksek Lisans, Sertifika	Pedagojik Formasyon	2010-2011
Lisans	İ.Ü. Fen Fakültesi / Fizik	2007-2011
Lise	Hüseyin Kalkavan Lisesi	2002-2006

Deneyim

Firma	Branş	Yılı
Baykar	Entegre Lojistik Destek Bölümü	2014-Devam
- Mini İHA Lojistik Süreç Yönetimi - Bayraktar TB2 Taktik İHA Lojistik Süreç Yönetimi - Baykar ELD Bölüm Sorumluluğu		