



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ELEMANLARINDA
GÜVENİLİRLİK
VE ÖMÜR ANALİZLERİ

Şeref ATAMER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ELEMANLARINDA
GÜVENİLİRLİK
VE ÖMÜR ANALİZLERİ

Şeref ATAMER
Yrd. Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ELEMANLARINDA
GÜVENİLİRLİK
VE ÖMÜR ANALİZLERİ

Şeref ATAMER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez .../.../2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç Dr. Kadir Çavdar
Danışman

.....

.....

ÖZET

Bu çalışmada hasar verisine dayalı güvenilirlik hesaplamaları için gerekli ön bilgiler verilmiş, sistemlerin ve bileşenlerin güvenilirlik analizi açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmada mekanik bir sistemin bileşenleri arasındaki güvenilirlik yapısı incelenmiş ve bu yapıyı oluşturan bileşenlerin tamamlanmış deney hasar verilerine dayalı güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bileşen hasar verileri, benzer bileşenlerin hasar sürelerine sadık kalınarak rasgele üretilmiştir. Ele alınan sistem mekanik bir sistem olup güvenilirliğinin modellenmesinde mekanik sistemlerin güvenilirlik analizinde kullanımı yaygın olan Weibull Olasılık Dağılımı kullanılmıştır. Hasar verilerinin Weibull Olasılık Dağılımına uyumluluğu Weibull Olasılık Kağıdı ile kontrol edilmiştir. İlgili dağılım parametrelerinin hesaplanmasında Matlab R2007a programlama dilinde yazılan Maksimum Benzerlik Yöntemi benzetim programı ve Matlab R2007a gömülü komutu “wblfit” kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, Weibull Olasılık Dağılımı, dişli kutusu, Maksimum Benzerlik Yöntemi, wblfit.

ABSTRACT

In this study, primary information about reliability analysis based on failure data is given and made an assessment on reliability of systems and its components.

Relation between components of a mechanical system analysed and a complete failure data based reliability analyse is made on these components. Component failure data which used in this work are randomly produced according to similar components lifetime data. Weibull Probability Distribution that has a wide usage in mechanical reliability analysis is used for modeling the concerned mechanical system. The fittest of failure data to Weibull Probability Distribution is made by Weibull Probability Plot Paper. A Maximum Likelihood simulation program that prepared in Matlab R2007a and embedded Matlab R2007a command “wblfit” is used to determine the parameters of concerned distributions.

Key Words: Reliability, Weibull Probability Distribution, gear box, Maximum Likelihood Estimation Method, wblfit.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELEr DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1. KURAMSAL TEMELLER.....	3
1.1. Güvenilirlik.....	3
Sistem güvenilirliği	6
1.1.1. Seri sistemler	6
1.1.2. Paralel sistemler	8
1.1.3. Seri-paralel sistemler.....	9
1.1.4. Koşullu sistemler	10
1.1.5. Yedekli sistemler	10
1.2. İstatistik ve Olasılık Teorilerinin Esasları	11
1.2.1. Hasar davranışının gösterimi ve istatistiksel tanımı	12
1.2.1.1. Histogram ve yoğunluk fonksiyonu.....	12
1.2.1.2. Hasar olasılığı.....	16
1.2.1.3. Güvenilirlik fonksiyonu	18
1.2.1.4. Arıza oranı (Arıza hızı)	20
1.2.2. Güvenilirlik parametreleri	22
1.2.2.1. MTTF.....	22
1.2.2.2. MTTF ve MTBF.....	23
1.2.2.3. Arıza oranı λ ve hasar payı q	23
1.2.2.4. Yüzde, promil ve PPM.....	24
1.2.2.5. B_x ömür değeri	24
1.3. Hasar Verisi Kaynakları ve Türleri	24
1.3.1. Hasar verisi kaynakları.....	25
1.3.2. Deney verileri ve türleri	27
1.3.2.1. Tamamlanmış veriler	28
1.3.2.2. Tamamlanmamış (sansürlü) veriler	28
1.3.2.3. Sağdan sansürlü veriler	28
1.3.2.4. Aralık sansürlü veriler.....	29
1.3.2.5. Soldan sansürlü veriler.....	30
1.4. Güven Aralıkları.....	30
1.4.1. Çift taraflı güven aralıkları	31
1.4.2. Tek taraflı güven aralıkları	32

2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
2.1. Güvenilirlik Analizinde Kullanılan Olasılık Dağılımları	34
2.2. Weibull Olasılık Dağılımı Uyumluluk Testleri	38
2.2.1. Weibull Olasılık Dağılımı çizim kağıdı	38
2.2.2. Matlab R2007a gömülü komutu “wblplot”	42
2.3. Weibull Olasılık Dağılımı Parametrelerinin Maksimum Benzerlik Yöntemi ile Tahmini	42
2.3.1. Weibull Olasılık Dağılımı parametrelerinin Maksimum Benzerlik Yöntemi ile tahmini	44
2.3.2. Matlab R2007 gömülü komutu “wblfit”	47
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	48
3.1. Sistem Bileşenlerinin Ortaya Koyulması ve Sınıflandırılması	48
3.2. Sistem Güvenilirlik Yapısının Oluşturulması	49
3.3. Sistemin Güvenilirlik Yapısındaki Elemanların Güvenilirlik Tahmini veya Hesaplanması	50
SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ	71
TEŞEKKÜR.....	72

KISALTMALAR DİZİNİ

AGREE	-	Elektronik Ekipman Güvenilirliği Danışman Grubu
IEEE	-	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
USAF	-	Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri
RAMS	-	Güvenilirlik, Kullanılabilirlik, Bakım Yapılabilirlik, Güvenlik
MTTF	-	Ortalama hasar meydana gelme süresi
MTTFF	-	İlk hasara kadar geçen ortalama süre
MTBF	-	Hasar durumları arasındaki ortalama süre
PPM	-	Milyonda bir parça
GIDEP	-	Hükümet Endüstrisi Veri Değişim Programı
NTIS	-	Ulusal Teknik Bilgi Servisi
RAC	-	Güvenilirlik Analiz Merkezi
PRINCE	-	Parça Güvenilirliği Bilgi Merkezi
NASA	-	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
III	-	Sigorta Bilgi Enstitüsü
NPRDS	-	Nükleer Tesis Güvenilirlik Veri Sistemi
ERIS	-	Ekipman Güvenilirliği Bilgi Sistemi
UKAEA	-	Birleşmiş Krallık Atom Enerjisi Otoritesi
NPRD	-	Elektronik Olmayan Parçalar için Güvenilirlik Verisi
RADC	-	Rome Havacılık Gelişim Merkezi

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1	Ataş deneyi ömür verileri.....	12
Tablo 2.1	Weibull Olasılık Dağılımının kullanıldığı uygulamalar (Murthy ve ark., 2004).....	35
Tablo 2.2	Weibull Olasılık Dağılımını ifade eden denklemler.(Bertsche ve Lechner, 2004)	37
Tablo 2.3	Tablo 1.1'deki hasar verilerinin Weibull Olasılık Kağıdı çiziminde kullanılmak üzere düzenlenmiş hali.	41
Tablo 3.1	Örnek Sistem Bileşenleri (Tek Kademe Dişli Kutusu Bileşenleri)	48
Tablo 3.2	Sistem elemanlarının hasar verileri	50
Tablo 3.3	Sistem elemanlarının için şekil parametresi b ve karakteristik ömür parametresi T değerleri ve bunların %95 güven aralığı sınır değerleri	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	RAMS döngü modeli (Smith, 2001).....	4
Şekil 1.2	n birime sahip bir seri güvenilirlik yapısı.	6
Şekil 1.3	n birime sahip bir paralel güvenilirlik yapısı.	8
Şekil 1.4	Seri-paralel sistemler için bir örnek.....	10
Şekil 1.5	Birim sayısı n olan yedekli bir sistem için güvenilirlik yapısı örneği.	11
Şekil 1.6	Ataş deneyi uygulama düzeni.....	12
Şekil 1.7	$\alpha \approx 70^\circ$ lik bükme açısı için kağıt ataşlarından elde edilmiş kopma çevrim sayıları (süreleri)ve hasar sıklığı histogramı. a) deneylerdeki hasar süreleri,bkz Tablo ??, b) düzenlenmiş hasar süreleri, c) hasar meydana gelme sıklığı histogramı.	13
Şekil 1.8	Hasar sıklığının histogramı ve ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$ (frekans poligonu).	15
Şekil 1.9	Hasar verisi sayılarının $n \rightarrow \infty$ hali için sıklıkların histogramı ve yoğunluk fonk $f(t)$	15
Şekil 1.10	Toplam sıklık ve dağılım fonksiyonu a) Sıklık histogramı, b) Toplam sıklık histogramı ve ampirik dağılım fonksiyonu $F^*(t)$	17
Şekil 1.11	Toplam sıklık histogramı ve dağılım fonksiyonu $F(t)$, (Hasar verisi sayısı $n \rightarrow \infty$).	18
Şekil 1.12	Tablo 1.1'deki ataş hasar verileri için yaşama sıklığı histogramı ve ampirik yaşama olasılığı fonksiyonu $R^*(t)$ 'nin gösterimi.	19
Şekil 1.13	Tablo 1.1'deki ataş hasar verileri için arıza oranları histogramı ve ampirik arıza oranı $\lambda^*(t)$ 'nin değişimi.....	20
Şekil 1.14	Küvet Eğrisi (Bertsche ve Lechner, 2004).....	21
Şekil 1.15	Beş numuneli bir deney için tamamlanmış veriler.	28
Şekil 1.16	Beş numuneli bir deney için sağdan sansürlü veriler.	29
Şekil 1.17	Beş numuneli bir deney için aralık sansürlü veriler.	29
Şekil 1.18	Beş numuneli bir deney için soldan sansürlü veriler.....	30
Şekil 1.19	Çift taraflı güven aralıkları için temsili gösterim.	32
Şekil 1.20	Tek taraflı güven aralıkları için örnekler.	33
Şekil 2.1	Farklı şekil parametreleri b (karakteristik ömür $T = 1$, hasarsız süre t_0) için Weibull a) Olasılık Yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ b) Hasar Olasılığı "Birikimli Dağılım Fonksiyonu" $F(t)$ c) Hasar Oranı veya Hasar Hızı $\lambda(t)$ d) Çalışmaya Devam Etme Olasılığı "Güvenilirlik Fonksiyonu" $R(t) = 1 - F(t)$	36
Şekil 2.2	Weibull Olasılık Dağılımı çizim kağıdı örneği.	39
Şekil 2.3	Tablo 1.1'deki veriler için Weibull Olasılık Kağıdı uygulaması.	41
Şekil 2.4	Weibull parametrelerinin Maksimum Benzerlik yöntemi ile tahmini için akış şeması (Danacı, 2005).	47
Şekil 3.1	Dişli Kutusu için sistem güvenilirlik yapısı.	49

Şekil 3.2 Tek kademeli dişli kutusu için bileşenlerin güvenilirlik grafiği a) Sistem, b) Dişli Çark 1; kırılma, c) Dişli Çark 2; kırılma, d) Dişli Çark 1-2; aşınma, e) Rulman 1-2, f) Rulman 3-4, g) Uygu Kaması, h) Radyal Mil Contası 1-2, i) Giriş Mili, j) Çıkış Mili güvenilirlik fonksiyonu eğrileri. 52

SİMGELER DİZİNİ

i	- Grup veya popülasyondaki sırayı belirten ifade
n	- Bir grup veya popülasyondaki eleman veya birim sayısının toplamı
E	- Eleman veya birimin çalışıyor hali
\bar{E}	- Eleman veya birimin hasarlı hali
$P(\dots)$	- İçerdiği olayın meydana gelme ihtimalinin ifadesi
R_s	- Seri sistemin güvenilirliği
R_i	- i . Elemanın güvenilirliği
F_p	- Paralel sistemin hasarlı olma olasılığı
R_p	- Paralel sistemin güvenilirliği
$R_{r/n}$	- Koşullu sistemin güvenilirliği
r	- Koşullu sistemde çalışması gerekli birim sayısı
m	- Yedekli sistemde çalışan birim dışında hazırda bulunan birim sayısı
S	- Anahtarlama mekanizmasının ifadesi "Switch"
α	- Ataş bükme açısı
$n_{\bar{o}}$	- Ömür çevrim döngü sayısı veya ömür süresi
t	- Ömür süresi
h_{mutlak}	- Bir sınıftaki hasar sayısı
n_A	- Bir sınıftaki hasar sayısı
h_{izafi}	- Bir sınıftaki hasar sayısının toplam hasar sayısına oranı
w	- Histogram diyagramı için sınıf genişliği
R	- Deney grubu verilerinin yer aldığı aralık
$n_{\bar{o}, maks}$	- Deney grubundaki maksimum ömre sahip birimin ömür çevrim
$n_{\bar{o}, min}$	- Deney grubundaki minimum ömre sahip birimin ömür süresi
$f^*(t)$	- Ampirik yoğunluk fonksiyonu
$f(t)$	- Yoğunluk fonksiyonu
$H(m)$	- m . sınıfa ait toplam sıklık değeri
$F^*(t)$	- Ampirik hasar olasılığı fonksiyonu
$F(t)$	- Hasar olasılığı fonksiyonu
$R^*(t)$	- Ampirik güvenilirlik fonksiyonu
$R(t)$	- Güvenilirlik fonksiyonu
$\lambda^*(t)$	- Ampirik arıza oranı veya arıza hızı
$\lambda(t)$	- Arıza oranı veya arıza hızı
q	- Hasar payı
s	- Saat
B_x	- Populasyonun %x miktarının hali hazırda hasarlı olduğu zaman/ömür

X ve Y	-	Güven sınırları
b	-	Weibull Olasılık Dağılımı şekil parametresi
T	-	Weibull Olasılık Dağılımı karakteristik ömür parametresi
t_0	-	Weibull Olasılık Dağılımı konum parametresi
$MR\%$	-	Yüzdeler olarak orta değer sırası
N	-	Bir deneyden elde edilen hasar verilerinin sayısı
T_0	-	Weibull Olasılık Dağılımı için %63,2 noktasındaki hasar olasılığı
t_{medyan}	-	Orta değerindeki ömür süresi
$L(\theta)$	-	Maksimum Benzerlik Fonksiyonu
σ_i	-	Maksimum benzerlik yöntemi için i . sıradaki veri değeri
$\hat{\theta}$	-	Maksimum Benzerlik Tahminçisi
b_0	-	Yinelemeler için başlangıç değeri

GİRİŞ

İnsanoğlu belirsizliğin hakim olduğu çevresindeki bir çok olay hakkında bilmek ve bunları kontrol altında tutmak ister, tam anlamıyla kontrol edemedikleri hakkında ise davranış bilgisine sahip olmak ister, böylece en azından olayı yönlendirebilir ve olayla bağlantılı durumlar hakkında karar verebilir.

Bir çok alanda olduğu gibi mühendislikte de belirsizlikler mevcuttur ve bu belirsizliklerin azaltılmasına yönelik varılan ve henüz gelişmekte olan son çalışmalar güvenilirlik başlığı altında incelenebilir. Güvenilirliğin dünyada yarım asırdan fazla bir tarihi olmasına rağmen henüz gelişimini tamamlamamış bir yapısı vardır. Türkiye’de daha henüz kendisine tam bir isim bulamamasından ne kadar genç bir alan olduğu anlaşılabilir. Literatürde güvenilirlik (Akkurt, 1997), güvenirlilik (Tahralı ve Dikmen, 2004), güvenilirlik (Bayazıt, 2007) gibi isimler verilmiştir.

Güvenilirlik kavramının bugünkü tanımına en yakın çalışmalar 1930’lu yıllarda elektrik enerjisi üretimi problemlerine olasılık kavramının uygulanmasıyla başlamıştır (Dhillon, 1999). İkinci dünya savaşı sırasında V1 ve V2 roketlerinin güvenilirliğini arttırmak için Almanlar tarafından yapılan çalışmalar ile güvenilirlik kavramı şekillenmeye başlamıştır. 1947’de Aeronautical Radio, Inc. ve Cornell Üniversitesi 100,000 elektronik tüple güvenilirlik çalışması yapmıştır. 1950 yılında Birleşmiş Milletler Savunma Bakanlığında geçici olarak bir güvenilirlik komitesi kurulmuştur ve 1952 yılında bu komite (AGREE) Elektronik Ekipman Güvenilirliği Danışman Grubu olarak kalıcı hale getirilmiştir (Coppola, 1984).

1951’de Waloddi Weibull, Weibull Olasılık Dağılımı olarak adlandırılan istatistiksel fonksiyonu yayımlamıştır (Weibull, 1951). 1954, Birleşik Devletlerde güvenilirlik ve kalite üzerine bir ulusal sempozyum düzenlenmiştir ve takip eden yılda, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Güvenilirlik ve Kalite Kontrol Topluluđunu kurmuştur. 1956, Karada Kullanılan Elektronik Ekipmanlar için Güvenilirlik Faktörleri

adında bir kitap basılmıştır (Henney, 1956), aynı yıl Liblein ve Zelen tarafından rulman yorulma hasarları üzerinde istatistiksel ömür çalışmaları yapılmıştır (Lieblein ve Zelen, 1956). 1957, ilk askeri güvenilirlik şartnamesi: MIL-R-25717 (USAF): Elektronik ekipmanlar için güvenilirlik güvence programı oluşturulmuştur. 1962, Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetleri Teknoloji Enstitüsü Dayton, Ohio' da sistem güvenilirliği mühendisliğinde ilk yüksek lisans programı başlatılmıştır.

Kısa tarihinden anlaşılacağı üzere ilk aşamalarda güvenilirlik çalışmaları daha çok savunma, havacılık ve nükleer santraller gibi hata ve hasar toleransının düşük olduğu alanlarda kullanılmıştır. Bu alanlardaki gelişimini bir aşamaya kadar tamamlamış ve 1980'li yıllarda kimya, petrol, demiryolu taşımacılığı ve otomotiv endüstrilerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Güvenirliğin sanayideki kullanımı; zaman ilerledikçe artan bileşen sayısı ile karmaşıklaşan ürünler, rekabet, maliyet etkisi, tüketici talebi ve geçmişte meydana gelen beklenmeyen hasarlar gibi etkenlerle tetiklenmiş ve hız kazanmıştır.

Bugün güvenilirlik çalışmaları; mekanik güvenilirliği, yazılım güvenilirliği, insan güvenilirliği, güvenilirlik optimizasyonu, güvenilirlik gelişimi, yapısal güvenilirlik, genel güvenilirlik, güç sistemleri güvenilirliği, robot güvenilirliği ve güvenliği, ömür döngüsü maliyeti ve bakım yapılabilirliği gibi alanlarda uygulanmaktadır.

Bu çalışmada mekanik bir sistemin tasarım ve test sürecindeki aşamaları güvenilirlik odaklı ele alınmıştır. Sistemin güvenilirlik yapısı belirlenmiş ve bu yapıdaki bileşenlerin deney hasar verilerine dayalı tasarıma dönük güvenilirlik analizi yapılmıştır. Yapılan analizde mekanik bileşen ve sistemlerin güvenilirliğinin belirlenmesinde kullanımı yaygın olan Weibull Olasılık Dağılımı kullanılmıştır. Dağılım parametrelerinin hesaplanmasında yine yaygın kullanıma sahip Maksimum Benzerlik Yönteminden yararlanılmıştır. Dağılım uygunluğu, parametre hesaplanması ve hasar olasılığı grafiğinin elde edilmesinde MATLAB R2007a programlama dilinde yazılan program kullanılmıştır.

1. KURAMSAL TEMELLER

1.1. Güvenilirlik

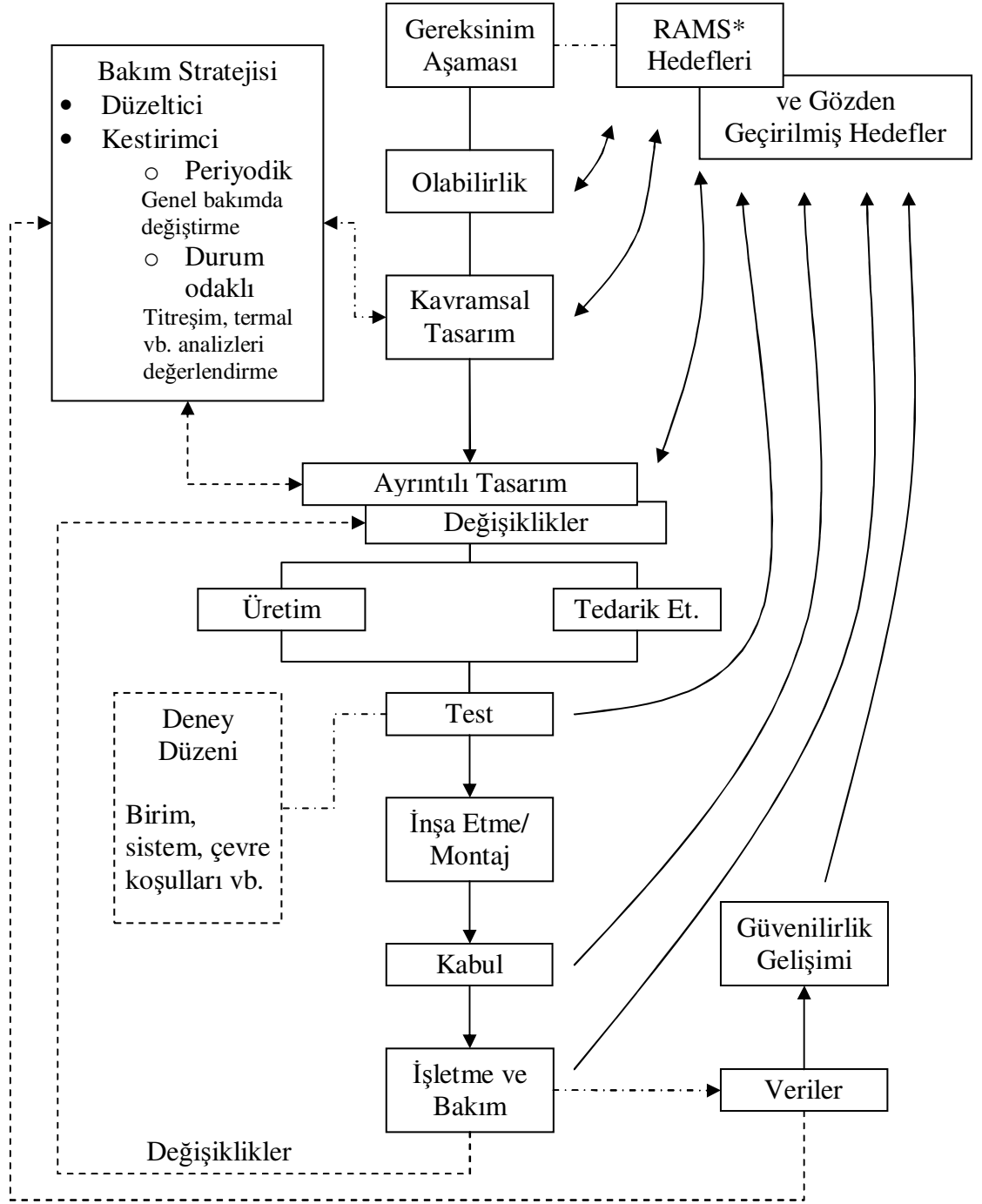
Güvenilirliğin bir çok tanımı olmasına rağmen en geçerli tanımlarından birisi Ebeling (1997) tarafından, “Herhangi bir parçanın, ürünün, sistemin veya alt sistemin belirli şartlar altında istenilen emniyet seviyesinde, belirlenen süre içerisinde fonksiyonunu hatasız olarak yerine getirebilme olasılığıdır” şeklinde yapılmıştır.

Güvenilirlik bir ürünün yaşam sürecindeki nerdeyse tüm aşamalar ile alışveriş içerisinde olan bir kavramdır, bkz. Şekil 1.1. Ürün yaşam döngüsünde uygulanması zorunlu olmayan bir kavram olmasına rağmen uygulandığı taktirde gidişat hakkında daha kapsamlı bilgiye sahip olunmasını sağlamaktadır. Güvenilirlik uygulama alanı ve kapsamına göre takip eden başlıklarla sınıflandırılabilir:

Güvenilirlik teorisi; olasılık, istatistik ve stokastik modelleme gibi alanların tasarımıdaki mühendislik yaklaşımı ve hasar mekanizmaları kavramıyla birleştirilmesini kapsayan çeşitli bakış açıları ile ilgilidir. Teori; güvenilirlik modelleme, güvenilirlik analizi ve optimizasyonu, güvenilirlik mühendisliği, güvenilirlik bilimi, güvenilirlik teknolojisi ve güvenilirlik yönetimi gibi alanları kapsamaktadır.

Güvenilirlik modelleme; bir sistem veya bileşenin yaşam veya performansını optimum seviyeye çekmek için kullanılan tahmin ve öngörülerde karşılaşılan problemlere çözüm bulmak için model inşa etmeyle ilgilidir.

Güvenilirlik analizi; iki ana başlıkta incelenebilir nitel ve nicel. Nitel analiz, ürün veya sistemlerin hasar modları ve bunların etkileri ile ilgilidir, nicel analiz ise gerçek verileri (test veya kullanım sırasında elde edilen hasar verileri) matematiksel modeller ile ilişkilendirerek sayısal tahminler elde edilmesinde kullanılır.



* RAMS (“Reliability” Güvenilirlik, “Availability” Kullanılabilirlik, “Maintainability” Bakım yapılabilirlik, “Safety” Güvenlik)

Şekil 1.1 RAMS döngü modeli (Smith, 2001).

Güvenilirlik mühendisliği; sistemlerin bileşen ve parçalarının güvenilirliğini hesaba katarak tasarım yapar ve inşa eder. Test ve güvenilirliğin geliştirilmesi konusunda da çalışmalar yapar.

Güvenilirlik bilimi; malzeme özellikleriyle ilgilenir. Malzemelerin, bileşen ve parçalardaki hasar sebeplerini inceler. Ayrıca üretim süreçlerinin (döküm, ısı işlem, montaj, vb.) parça ve bileşen güvenilirliği üzerindeki etkilerini araştırır.

Güvenilirlik yönetimi; güvenilir ürün ve sistemlerin tasarım, üretim, işletme ve bakım gibi çeşitli aşamalarındaki yönetim ve düzenlemesi ile ilgilenir. Ayrıca güvenilirliğin sağlanmasındaki maliyet dengelerini sağlamaktan sorumludur.

Güvenilirlik kestirimi; model kullanımları, benzer ürün veya sistemlerin geçmiş bilgileri, mühendislik yargısı, vb. yaklaşımlar ile tasarım aşamasında ürün veya sistemin güvenilirlik kestiriminde bulunulmasında kullanılır. Kestirim her aşamada en iyi kestirim yapıncaya kadar güncellenebilir.

Güvenilirlik belirlenmesi; işletim, test verileri, garanti, vb. gibi gerçek verilere dayalı güvenilirlik tahmini ile ilgilidir. Sistem modelleme, olasılık dağılımı uygunluğu ve ilgili analizleri kapsar.

Güvenilirlik optimizasyonu; performans, maliyet ve benzeri gibi birbiri arasında rekabette bulunan alanların dengelenmesi ile ilgilidir.

Güvenilirlik test tasarımı; geçerli, güvenilir, ve hassas verilerin verimli bir şekilde elde etmeye yönelik metotlar ile ilgilidir.

Güvenilirlik veri analizi; parametre tahmini, dağılım seçimi ve birçok bakış açısını değerlendirilmesi ile ilgilidir.

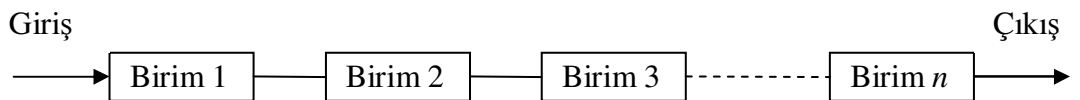
Sistem güvenilirliği

Ürünler tek bir parçadan oluşabildiği gibi bir çok parçadan da oluşabilir ki çevremizdeki birçok ürün bir çok bileşeni barındıran sistemlerden oluşmaktadır. Veriye dayalı güvenilirlik hesaplamalarında her bileşen bir kara kutu olarak düşünülür. Güvenilirlik sistem yapısı, kara kutuların sisteme etkisi doğrultusunda seri, paralel, seri paralel, koşullu, yedekli ve bunların kombinasyonu olarak oluşturulur. Yapı oluşturulduktan sonra sistem güvenilirliği, kara kutular hakkındaki hasar verileri doğrultusunda hesaplanır.

Sistem yapısı oluşumundan sonra güvenilirliğe etki edecek bilginin sadece hasar verisi bilgisi olduğundan kara kutuların belirlenmesi sistem güvenilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Sistem, ömrü boyunca hiç hasar meydana getirmeyecek bir bileşeni barındırabileceği gibi farklı nedenlerden dolayı birkaç şekilde hasar meydana getirebilecek ürünleri de barındırabilir. Örneğin mekanik sistemler için bir bileşen olan dişli çarkta en az iki şekilde hasar meydana gelebilir, çatlak gelişimi veya yorulmaya bağlı diş kırılması ve diş yan yüzeyinin çukurlaşması veya yenmesine bağlı fonksiyon kayıpları. Bu durumda farklı nedenlerden hasar meydana getirecek birimler, güvenilirlik sistem yapısına farklı kara kutular olarak eklenmelidir.

1.1.1. Seri sistemler

En basit güvenilirlik yapılarıdır, bkz. Şekil 1.2. Her kutu, sistemin bir bileşenini veya belirli bir bileşenin farklı hasar modlarını ifade etmektedir. Eğer bir bileşende hasar meydana gelirse sistem fonksiyonunu yerine getiremez ve hasarlı olarak kabul edilir. Diğer bir ifadeyle sistemin çalışabilmesi için tüm elemanların belirlenen toleranslarda fonksiyonunu yerine getirebiliyor olması gerekmektedir.



Şekil 1.2 n birime sahip bir seri güvenilirlik yapısı.

Eğer E_i , i . elemanın çalışıyor hali olarak kabul edilirse bu durumda seri sistemin güvenilirliği

$$R_s = P(E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot \dots \cdot E_n) \quad (1.1)$$

olarak ifade edilir. Burada

R_s : seri sistemin güvenilirliği ve

$P(E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot \dots \cdot E_n)$: $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ hasar olaylarının meydana gelme olasılığıdır.

Eğer birimler birbirlerinden bağımsız iseler bu durumda eşitlik 1.1,

$$R_s = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot P(E_3) \cdot \dots \cdot P(E_n) \quad (1.2)$$

şeklini alır. Burada $P(E_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, n$ için E_i olaylarının meydana gelme olasılığıdır. Eğer $i=1, 2, 3, \dots, n$ için $R_i = P(E_i)$ kabulü yapılırsa bu durumda sistem güvenilirliği

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \quad (1.3)$$

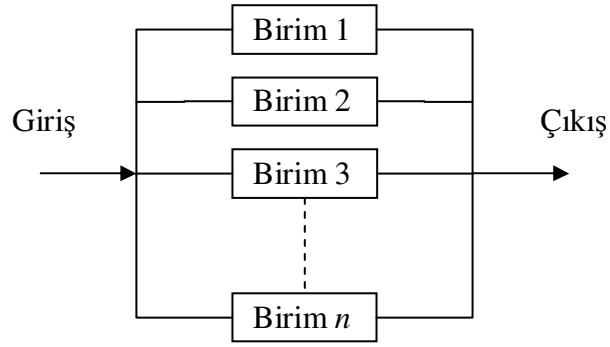
$$= \prod_{i=1}^n R_i \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada R_i , $i=1, 2, 3, \dots, n$ için bileşen güvenilirliğini ifade eder.

Bileşen güvenilirliği R_i , sıfır ve bir arasında bir değere sahip olduğundan artan bileşen sayısı n ile birlikte sistemin güvenilirliği R_s azalır.

1.1.2. Paralel sistemler

Paralel sistemlerde tüm bileşenler eş zamanlı olarak çalışır ve sistemin fonksiyonel olması için en az bir bileşenin çalışması gereklidir. Paralel bir sistem için güvenilirlik blok şeması Şekil 1.3'te gösterilmiştir, burada her kutu sistemin bir bileşenini veya belirli bir bileşenin farklı hasar modlarını ifade etmektedir.



Şekil 1.3 n birime sahip bir paralel güvenilirlik yapısı.

Eğer \bar{E}_i , i . elemanın hasarlı hali olarak kabul edilirse bu durumda paralel sistemin hasarlı olma olasılığı

$$F_p = P(\bar{E}_1 \cdot \bar{E}_2 \cdot \bar{E}_3 \dots \bar{E}_n) \quad (1.5)$$

olarak ifade edilir. Burada

F_p : paralel sistemin hasarlı olma olasılığı ve

$P(\bar{E}_1 \cdot \bar{E}_2 \cdot \bar{E}_3 \dots \bar{E}_n)$: $\bar{E}_1, \bar{E}_2, \bar{E}_3, \dots, \bar{E}_n$ hasar olaylarının meydana gelme olasılığıdır.

Eğer birimler birbirlerinden bağımsız iseler bu durumda eşitlik 1.5

$$F_p = P(\bar{E}_1) \cdot P(\bar{E}_2) \cdot P(\bar{E}_3) \dots P(\bar{E}_n) \quad (1.6)$$

şeklini alır. Burada $F(\bar{E}_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, n$ için \bar{E}_i olaylarının meydana gelme olasılığı ve F_p paralel sistemin hasarlı olma olasılığıdır. Eğer $i=1, 2, 3, \dots, n$ için $F_i = P(E_i)$ kabulü yapılırsa bu durumda paralel sistemin hasarlı olma olasılığı

$$F_p = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \dots F_n \quad (1.7)$$

$$= \prod_{i=1}^n F_i \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada F_i , $i=1, 2, 3, \dots, n$ için bileşen hasar olasılığını ifade eder.

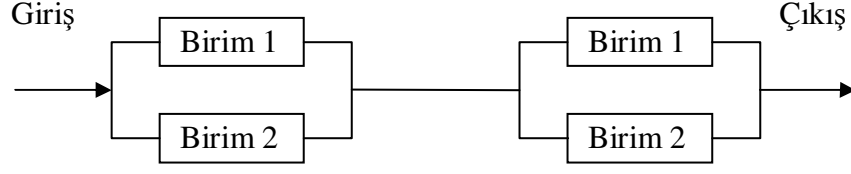
Hasar olasılığının %100 güvenilirlik değerinden çıkarılmasıyla

$$R_p = 1 - F_p = 1 - \prod_{i=1}^n F_i \quad (1.9)$$

paralel sistemin güvenilirliği R_p elde edilir.

1.1.3. Seri-paralel sistemler

Seri ve paralel sistemin birlikte yer aldığı sistemlerdir, bkz. Şekil 1.4. Sistem sadece seri ve paralel yapıların bulunduğu alt sistemlere bölünür, bağımsız olarak güvenilirliği hesaplanan alt sistemlerin arasındaki ilişki doğrultusunda kademeli olarak tüm sistem güvenilirliği hesaplanır.



Şekil 1.4 Seri-paralel sistemler için bir örnek.

1.1.4. Koşullu sistemler

Paralel ve seri güvenilirlik yapılarının genel hali olarak düşünülebilir. Bu tip sistemlerde sistemin fonksiyonel olması için sistem bileşenlerinden belirli bir kısmının hasarsız olması istenir. Diğer bir deyişle n adet bileşenden r tanesi hasarsız olduğu sürece sistem fonksiyonel kabul edilir. $r=1$ sistemin paralel, $r=n$ ise sistemin seri olarak tanımlandığı özel durumlardır.

Koşullu sistemlerde, bağımsız ve özdeş olan birimlerin güvenilirliği Binomial Dağılım kullanılarak

$$R_{r/n} = \sum_{i=r}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i} \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilebilir (Yang, 2007). Burada

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{(n-i)!i!} \quad (1.11)$$

$R_{r/n}$, n birimden r tanesinin fonksiyonel olmasının beklendiği sistemin güvenilirliği ve R ise bileşen güvenilirliğidir.

1.1.5. Yedekli sistemler

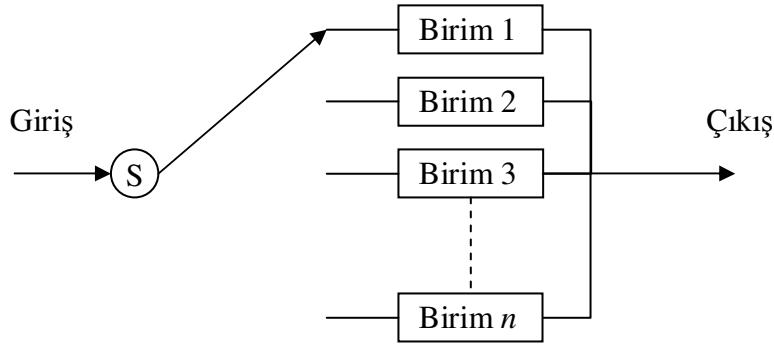
Yedekli sistemlerde bir birim çalışır durumdadır ve m adet birim hazır konumda beklemektedir, bkz. Şekil 1.5. Tüm sistem $m+1$ ürün içerir. Bir birimde hasar meydana

geldiğinde anahtarlama mekanizması bunu algılayarak hazırda bekleyen birimi veya birimlerden birisini devreye alır. Anahtarlama mekanizmasına sahip yedekli sistemler de güvenilirlik açısından iki temel başlık altında incelenir,

- Kusursuz anahtarlama mekanizmalı ve
- Kusurlu anahtarlama mekanizmalı.

Anahtarlama sisteminin kusursuz olduğu durumlarda sadece birimlerin güvenilirliği hesaba katılırken, anahtarlama sisteminin kusurlu, arızalanabilir olduğu durumlarda anahtarlama sisteminin güvenilirliği de hesaba katılır.

Tüm hazırda bekleyen yedek birimlerde hasar meydana geldiğinde sistem fonksiyonelliğini yitirmiş olur.



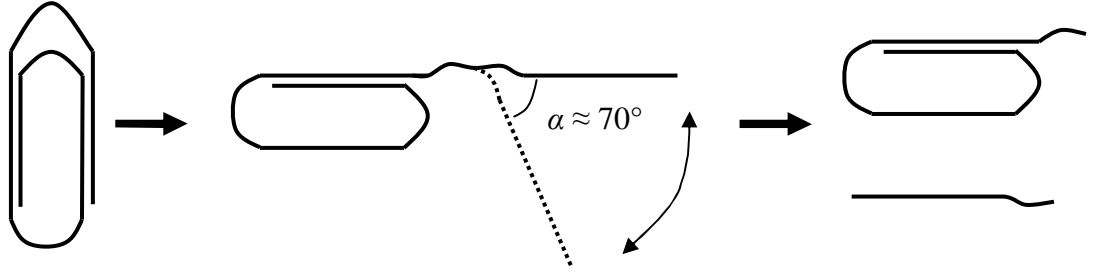
Şekil 1.5 Birim sayısı n olan yedekli bir sistem için güvenilirlik yapısı örneği.

1.2. İstatistik ve Olasılık Teorilerinin Esasları

Eleman ve sistemlerin hasar davranışı farklı istatistiksel yöntem ve grafik fonksiyonları yardımı ile kolay anlaşılır şekilde ifade edilebilir. Tüm hasar davranışı mevcut karakteristik anahtar ifadelerine indirgenebilir. Sonuç olarak kısa fakat hasar davranışının basitleştirilmiş tanımını elde edilir.

1.2.1. Hasar davranışının gösterimi ve istatistiksel tanımı

Gözlemlenen hasar sürelerinden, hasar davranışını farklı yönlerden ifade eden özel fonksiyonlar elde edilebilir. Hasar davranışının ifadesi için dört temel fonksiyonun kullanımı yaygındır. Bu fonksiyonlar histogram, hasar olasılığı, güvenilirlik ve hasar oranı fonksiyonlarıdır.



Şekil 1.6 Ataş deneyi uygulama düzeni.

İlgili fonksiyonların görselleştirilmesinde ve açıklanmasında 15 adet kağıt ataş ile yapılan basit bir deneyin verileri kullanılmıştır. Deney, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi ataş kolunun $\alpha \approx 70^\circ$ ile bükülüp tekrar eski konumuna getirilmesi ile yapılmıştır. Ataş kolunun koptuğu bükme tekrarı sayıları hasar verileri olarak Tablo 1.1'de gösterilmektedir.

Tablo 1.1 Ataş deneyi ömür verileri.

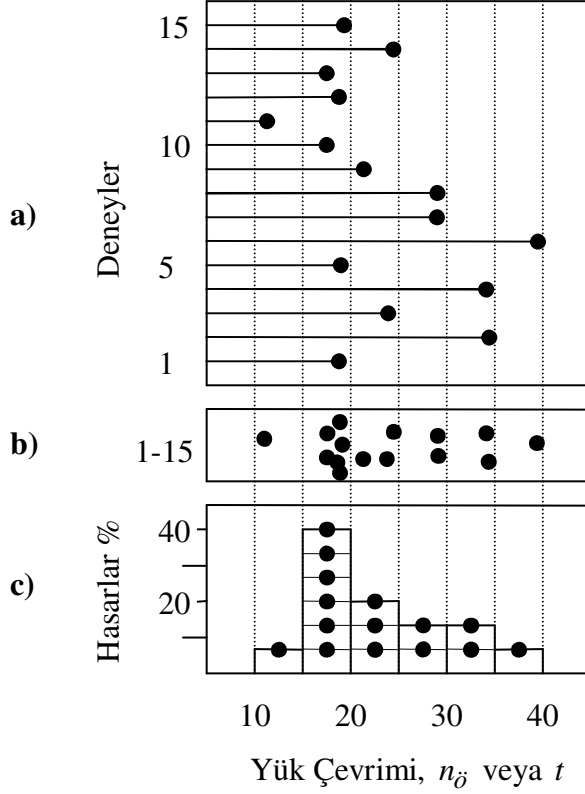
Deney Örneği Sırası i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Hasar Çevrim Sayısı $n_{\bar{o}}$	17	34	25	35	18	39	30	30	22	18	12	23	17	24	19

1.2.1.1. Histogram ve yoğunluk fonksiyonu

Hasar davranışının en basit şekilde grafiksel ifadesi için hasar sıklıklarının histogramı kullanılır, Şekil 1.7.

Histogram grafiğinin elde edilişi Şekil 1.7'de açıklanmıştır, ilk olarak deney sırasına göre hasar süreleri işaretlenir Şekil 1.7 a, hasar sürelerinin bu aralıktaki yoğunluğu

belirlenir Şekil 1.7 b, son olarak aralıktaki veri sayıları doğrultusunda histogram elde edilir, Şekil 1.7 c.



Şekil 1.7 $\alpha \approx 70^\circ$ lik bükme açısı için kağıt ataşlarından elde edilmiş kopma çevrim sayıları (süreleri) ve hasar sıklığı histogramı. a) deneylerdeki hasar süreleri, bkz Tablo ??, b) düzenlenmiş hasar süreleri, c) hasar meydana gelme sıklığı histogramı.

Noktaların yoğun bulunduğu bölge hasarların çok sık görüldüğü veya görüleceği zaman dilimini ifade eder, bkz. Şekil 1.7b. Bu grafikler arasında en anlamlı olanı Şekil 1.7c' deki histogramdır.

Yatay eksen süre olarak belirlenir ve sınıflandırmalar yapılır. Her sınıfın ordinat değeri (çubuğun yüksekliği), mutlak sıklık

$$h_{mutlak} = \text{bir sınıftaki hasar sayısı} = n_A \quad (1.12)$$

veya daha alışılmış hali olan izafi sıklık

$$h_{izafi} = \frac{\text{bir sınıftaki hasar sayısı}}{\text{toplam hasar sayısı}} = \frac{n_A}{n} \quad (1.13)$$

olarak ifade edilir. Şekil 1.7’de sınıfların ordinat değerleri izafi sıklık olarak yüzde değerlerde elde edilmiştir. Zaman ekseninin hasar süreleri için düzenlenmesine sınıflandırma denir. Bu işlem yapılırken belirli hasar zamanı bilgileri sıklık bilgisine çevrilir ve bazı bilgiler bu sırada kaybolur. Bir sınıf dahilindeki her bir bozulma sınıfın ortalama değeri ile temsil edilmiş olur. Bilgide yaşanan bu kayba karşılık görünürlük yani anlaşılabilirlikte bir artış vardır.

Sınıfların sayısını belirlemek her zaman çok basit bir işlem değildir. Sınıf çok geniş seçilirse çok fazla bilgi kaybolur, uç bir uygulama olarak sadece bir çubuk seçilecek olursa çok anlaşılma bir ifade ortaya çıkar. Buna karşın sınıflar çok dar seçilecek olursa da zaman ekseninde bazı boşluklar oluşacaktır. Bu boşluklarda hasar davranışında kopmalar anlamına gelecek, süreklilik yok olacaktır, bu durum olayın doğru şekilde açıklanması için uygun değildir.

Bir sıklık dağılımının sınıf genişliği w değerinin tahmin edilebilmesi için pratik bir kural olarak ve verilerin dağıldığı aralık R ve örnek sayısı n olmak üzere:

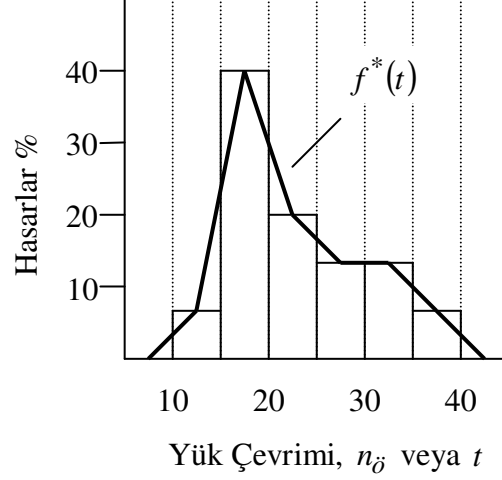
$$w \approx \frac{R}{1 + 3,32 \cdot \log n} \quad (1.14)$$

bağıntısı önerilir, (Bertsche ve Lechner, 2004). Burada R sayısı örnekler arasındaki maksimum ve minimum değerler arasındaki farka eşittir.

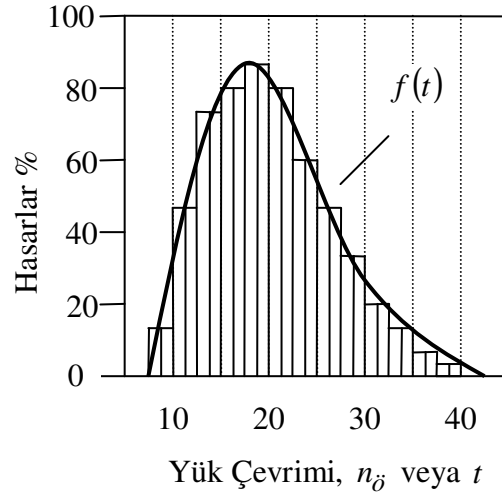
$$R = n_{\ddot{o}, maks} - n_{\ddot{o}, min} \quad (1.15)$$

Hasar davranışı bir histogram yerine ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$ ile de gösterilebilir, bkz. Şekil 1.8. Bunun için histogram çubuklarının orta noktaları birbiri ile düz çizgilerle birleştirilir. Ortaya çıkan fonksiyon frekans poligonu olarak adlandırılır.

Eğer ideal yoğunluk fonksiyonu elde edilmek isteniyorsa deney numunelerinin sayısının epeyce yükseltilmesi gereklidir. Üst sınır olarak $n \rightarrow \infty$ olacak olursa histogramın üzerinde düz ve sürekli bir eğri olacaktır, bkz. Şekil 1.9.



Şekil 1.8 Hasar sıklığının histogramı ve ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$ (frekans poligonu).



Şekil 1.9 Hasar verisi sayılarının $n \rightarrow \infty$ hali için sıklıkların histogramı ve yoğunluk fonk $f(t)$.

Bu eğri (Şekil 1.9) yoğunluk fonksiyonunun üst sınırını göstermektedir. Şekil 1.8' te görülen ile Şekil 1.9'te görülen dikey eksenin ölçek farkını vurgulamak gerekir, açıkça görülüyor ki azalan sınıf genişliği her bir sınıfa düşen hasar sayısı yüzde değerlerinin çok azalmasına neden olmuştur.

$n \rightarrow \infty$ olması, çok büyük bir toplam adetteki yığınım tamamının dikkate alındığı ve hasar davranışının tam olarak elde edildiği anlamına gelir. Deneysel olarak elde edilen sıklıklardan teorik olasılık değerlerine ulaşılır.

Gerçek deneyin çerçevesini oluşturma temellerinde sadece ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$ elde edilir. Özellikle deney sayısının az olduğu durumlarda ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$, ideal yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ 'den oldukça sapar. Hasarların değerlendirilmesi esnasında, ampirik yoğunluk fonksiyonu $f^*(t)$ 'den yola çıkılarak hasar davranışını ifade eden yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ bulunur.

Eğer dikey ekseninde izafi sıklık değeri kullanılırsa, yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ eğrisinin altında kalan alan 1'e eşit olacaktır.

Sıklık histogramı veya yoğunluk fonksiyonu, zamanın fonksiyonu olarak hasarların sayısını açıklar. Histogram ve yoğunluk fonksiyonları hasar davranışını ifade etmekte kullanılabilecek en basit ve anlaşılır metotlardır.

1.2.1.2. Hasar olasılığı

Bir çok durumda belirli bir zaman noktası veya aralığındaki hasarların adedi ile ilgilenilmez, aksine çok daha fazla şey bilinmek istenir, örneğin toplam kaç tane parça bu zaman noktasında (veya aralığında) hala işlevini yerine getiriyor veya başarısız olacaktır. Bu soru toplam sıklık histogramı veya birikimli dağılım fonksiyonu ile yanıt bulabilir. Gözlemlenen hasarlar (Tablo 1.1) belirli bir aralıkta birbiri ile toplanır ve böylece Şekil 1.10'da görülen toplam sıklık histogramı elde edilir.

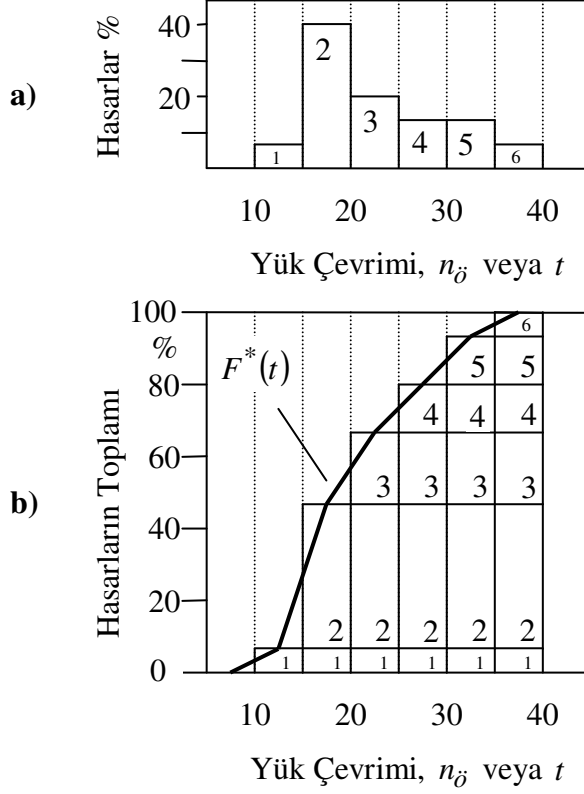
m. sınıfa ait toplam sıklık $H(m)$ Eşitlik 1.16 kullanılarak hesaplanabilir.

$$H(m) = \sum_{i=1}^m h_{izafi}(i) \quad (1.16)$$

i : sınıf no

Yoğunluk fonksiyonundaki gibi hasarların toplamı bir fonksiyon ile gösterilebilir.

Bu fonksiyona ampirik dağılım fonksiyonu $F^*(t)$ adı verilir, Şekil 1.10 b.



Şekil 1.10 Toplam sıklık ve dağılım fonksiyonu a) Sıklık histogramı, b) Toplam sıklık histogramı ve ampirik dağılım fonksiyonu $F^*(t)$.

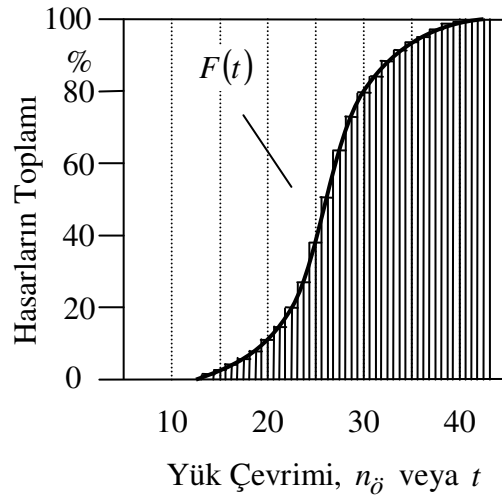
Gözlem değerleri epeyce arttırılarak gerçek dağılım fonksiyonu $F(t)$ elde edilebilir. Sınıf genişliği daima daha küçük seçilebilir ve histogramın kırık hali $n \rightarrow \infty$ yaklaştıkça düz bir eğri halini almaya başlar, bkz. Şekil 1.11.

Dağılım fonksiyonu $F(t) = 0$ değerinden başlar ve ardından monoton şekilde her bir zaman değeri veya aralığında pozitif değer (gözlenmiş hasar sıklığı) olarak artar. Eğer tüm parçalar bozulmuş ise dağılım fonksiyonu $F(t) = 1$ değerine ulaşarak sona erer.

1.16 Eşitliğinden yola çıkılarak ve üst sınır durumu dikkate alınarak dağılım fonksiyonu yoğunluk fonksiyonunu entegrali şeklinde elde edilebilir.

$$F(t) = \int f(t) dt \quad (1.17)$$

Güvenilirlik teorisinde dağılım fonksiyonu $F(t)$ için “hasar olasılığı” adlandırılması kullanılır. Bu oldukça isabetli bir isimlendirmedir ki $F(t)$ belirli bir zaman noktasında t karşılaşılan hasarların toplam olasılığına karşılık gelir. Hasar olasılığı, yoğunluk fonksiyonuna göre daha az anlaşılır (görülebilir) olduğu halde deneylerin değerlendirilmesi işleminde daha faydalı olduğu düşünülür.



Şekil 1.11 Toplam sıklık histogramı ve dağılım fonksiyonu $F(t)$, (Hasar verisi sayısı $n \rightarrow \infty$).

1.2.1.3. Güvenilirlik fonksiyonu

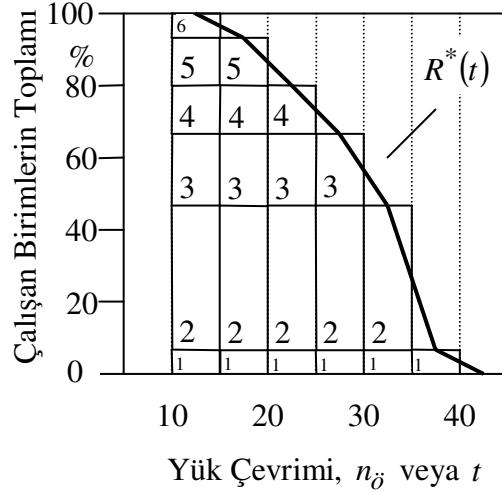
Bir önceki başlıkta hasar olasılığı, zamanın fonksiyonu olarak hasarların toplamı şeklinde açıklanmıştı. Ancak bir çok uygulamada toplamdan çok eleman veya sistemin işler halde kaldığı zaman önemlidir.

Kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirmeye devam eden birimlerin bu toplam değeri yaşama sıklığı histogramı olarak adlandırılır, bkz. Şekil 1.12. Bu diyagram (Şekil 1.12) hasarlı parça veya sistemlerin toplam sayısından yola çıkılarak elde edilir. Şekil 1.12’de aynı zamanda ampirik yaşama olasılığı $R^*(t)$ ’ de gösterilmiştir (Çubukların orta noktalarının birleştirilmesi ile elde edilir).

Belirli bir t zamanı veya i . sınıf için hasarlı ve sağlam parçaların toplamı %100 değerini verir. Yaşama olasılığı ile hasar olasılığının arasındaki bağıntı:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1.18)$$

Şekil 1.12’de görülen 1.18 Eşitliği ile ifade edilen histogram Şekil 1.10 b’nin %50 ekseninde alınacak ayna görüntüsü ile de elde edilebilir. Yaşama olasılığı $R(t)$, $t = 0$ ’da henüz hiçbir hasar olmamışken $R(t) = \%100$ değeri ile başlar. Ardından %0 değerine tüm elemanların zamanla hasarı ile düşer.



Şekil 1.12 Tablo 1.1’deki atış hasar verileri için yaşama sıklığı histogramı ve ampirik yaşama olasılığı fonksiyonu $R^*(t)$ ’nin gösterimi.

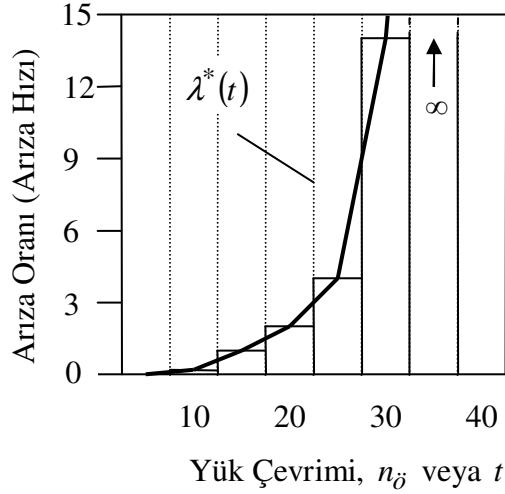
Yaşama olasılığı $R(t)$, güvenilirlik teorisinde “Reliability (Güvenilirlik)” olarak da isimlendirilir. $R(t)$ fonksiyonu ile genelde nitel bir değer olan güvenilirlik kavramı nicel ve objektif şekilde ortaya konabilir.

1.2.1.4. Arıza oranı (Arıza hızı)

Arıza oranı $\lambda(t)$ ile hasar davranışının açıklanmasında belirli bir t süresindeki veya belirli bir i sınıfındaki hasarlar ile ilgilenilmez, bilakis halen çalışan birimlerin toplamı ile çalışılır.

$$\lambda(t) = \frac{\text{Hasarlar (} t \text{ zamanı veya } i \text{ sınıfı için)}}{\text{Halen çalışan birimlerin toplamı (} t \text{ zamanı veya } i \text{ sınıfı için)}} \quad (1.19)$$

Tablo 1.1'den alınan deney sonuçları için Şekil 1.13'te hasar oranlarının histogramı ve ampirik arıza hızı $\lambda^*(t)$ 'nin değişimi verilmiştir. Burada son sınıftaki arıza oranının sonsuza gittiği görülmektedir, yani bu sınıfta çalışmaya devam eden birim kalmamıştır ve 1.19 Eşitliği sonsuz sonucunu vermektedir.

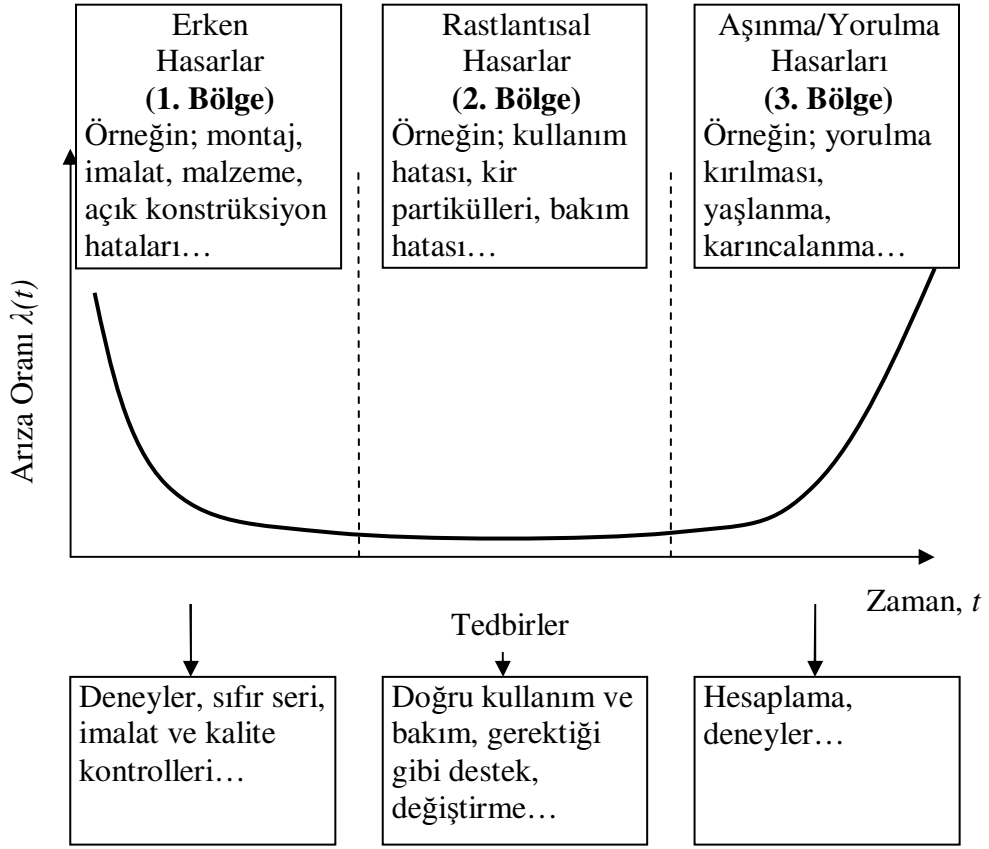


Şekil 1.13 Tablo 1.1'deki ataş hasar verileri için arıza oranları histogramı ve ampirik arıza oranı $\lambda^*(t)$ 'nin değişimi.

Arıza oranı $\lambda(t)$, Şekil 1.13'de olduğu gibi sadece yorulma hasarlarını açıklamak için değil bunun yanı sıra erken bozulmaları ve rastlantısal hasarları açıklamak için de kullanılır. Bu sayı bir parça veya sistemin toplam hasar davranışının elde edilmesinde kullanılabilir. Burada daima benzer bir eğri ile karşılaşılır, Şekil 1.14.

Elde edilen bu eğri, şekline bakılarak “küvet eğrisi” olarak adlandırılır. Bu eğride üç farklı bölge birbirinden kolayca ayrılabilir. 1. Bölge: Erken hasarlar, 2. Bölge: Rastlantısal hasarlar ve 3. Bölge: Aşınma ve yorulma hasarları.

Birinci bölgede azalan bir bozulma oranıyla karşılaşılır. Bir parçanın riski artan süre ile birlikte hızla düşer. Bu erken bölgede hasarların nedeni genelde hatalı montaj, imalat hatası, malzeme hatası veya açık bir konstrüksiyon hatasıdır.



Şekil 1.14 Küvet Eğrisi (Bertsche ve Lechner, 2004).

Rastlantısal hasarların meydana geldiği ikinci bölgede arıza oranı sabittir. Bu bölgedeki hasarları tahmin etmek oldukça zordur.

Aşınma ve yorulma olaylarının yer aldığı üçüncü bölgede arıza oranı hızla artar. Bir parçanın sahip olduğu risk zaman arttıkça çok hızlı yükselir.

Her üç bölgede de hasar temelde farklı nedenlere bağlıdır. Farklı nedenler bizi her bölgede güvenilirliği arttırmak için farklı tedbirler almaya yöneltir, Şekil 1.14.

Birinci ve ikinci bölgede alınacak tedbirler ürünün geliştirme aşamasında mutlaka öngörülmelidir. Ancak üçüncü bölge konstrüktörün çok fazla etkili olduğu bölgedir. Güvenilirlik değeri en çok bu bölgede etkilenebilir ve ayrıca sadece bu bölgede hesap yöntemleri bize yardımcı olabilir. Beklenen güvenilirlik değerlerinin öngörüsü de genellikle sadece bu bölgede yapılabilir, sınırları çizilebilir.

1.2.2. Güvenilirlik parametreleri

Güvenilirlik mühendisliğinde istatistik katsayılarının yanı sıra başka katsayılar da kullanılmaktadır, bunların başlıcaları;

- MTTF
- MTTF ve MTBF
- Arıza hızı λ ve hasar payı q
- Yüzde (%), promil (‰), milyon başına parça (PPM)
- B_x ömür değeri

1.2.2.1. MTTF

Onarımı mümkün olmayan bileşenlerin ömrünü belirlemek için farklı yöntemler mevcuttur. Dikkate alınan bir birimin hasarsız çalışma süresinin ortalama değeri MTTF (Mean Time To Failure) ile ifade edilir. t ömrünün bekleme süresi MTTF;

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1.20)$$

ile hesaplanır. Bileşenin hasarı ardından ne olacağının MTTF değeri ile hiçbir bağlantısı yoktur. MTTF'nin tahmin edilmesi, istatistiksel olarak benzer birimlerin hasar

olmaksızın çalıştıkları sürelerin bağımsız şekilde elde edilmesi t_1, t_2, \dots, t_n ve bunların aritmetik ortalamalarının alınması ile mümkündür, Eşitlik 1.21:

$$\text{MTTF} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \quad (1.21)$$

1.2.2.2. MTTF ve MTBF

Onarılabılır bir bileşenin ömrünün hesaplanması için MTTF (Mean Time To First Failure) değerinden faydalanılır. MTTF, ilk bozulmaya kadar geçen ortalama ömürdür.

Onarılabilen bir bileşenin ortalama ömrü, bu bileşende ilk hasar meydana geldiği zaman ile açıklanabilir. Yani onarılamayan sistemlerin MTTF değeri olarak açıklanabilir. Bu bileşenin ilk hasarına göre bulunan ömür değerinin bir diğer tanımı da MTBF (Mean Time Between Failures)'dir. MTBF hasarlar arasında geçen ortalama süre olarak ifade edilir. Bu sayı, bir bileşenin sonraki hasar veya onarıma kadar geçen ortalama ömrü olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamada eleman onarıldıktan sonra tekrar yeni, kullanılmamış bir eleman olarak kabul edilmekte.

1.2.2.3. Arıza oranı λ ve hasar payı q

Belirli bir zaman değerine kadar fonksiyonunu yerine getirmiş bir parçanın rizikosu arıza oranı λ ile ifade edilir. Burada arıza oranı, hala çalışmakta olan birimlerin birim zaman başına hasar oranları olarak anlaşılabilir.

Arıza oranı λ için tahmini değer hasar payı:

$$q = \frac{\text{zaman aralığında meydana gelen hasarlar}}{\text{başlangıç değeri aralık büyüklüğü}} \quad (1.22)$$

değerini ortaya çıkarır.

Hasar payı, dikkate alınan zaman periyodundaki izafi başlangıç değer değişimidir. Örneğin, başlangıçtaki 100 birimden 10 tanesi 1 saat içerisinde arızalanmış olsun. Bu durumda hasar payı:

$$q = 0,1 \cdot \frac{1}{s} \quad (\text{saatte \%10}) \quad (1.23)$$

eşitliği ile ifade edilir (Bertsche ve Lechner, 2004).

1.2.2.4. Yüzde, promil ve PPM

Güvenilirlik mühendisliğinde, hasar yoğunluğu, hasar olasılığı veya güvenilirlik gibi kısmi tanımlamalar mevcuttur. Bu değerlerin gösterimi için en sık kullanılan tabirler;

- Yüzde: yüzde bir, %1
- Promil: binde bir, ‰1,
- PPM: milyonda bir, 1/1000000 = 1 ppm

1.2.2.5. B_x ömür değeri

B_x Ömür değeri, toplam parçaların %x kadarının halihazırda hasarlı olduğu zaman noktasını ifade eder. Bunun anlamı örneğin, B_{10} ömür değeri olarak ifade edilen zaman noktasında toplam parçaların %10'unun hasarlı olduğudur. Pratikte; B_1 , B_{10} ve B_{50} ömür değerleri bir ürünün güvenilirliğinin ölçüsü olarak kullanılırlar.

1.3. Hasar Verisi Kaynakları ve Türleri

Hasar verileri güvenilirlik analizlerinin omurgasını oluşturur; güvenilirlik mühendisleri, tasarım mühendisleri ve yöneticiler için çok değerli bilgilerdir. Aslında hasar verileri bir ürünün son aşamasında elde edilen bilgilerdir bu nedenle sağlıklı bir güvenilirlik programının yürütülebilmesi için test, işletme, bakım ve garanti bilgilerinin belirli bir hassaslıkta takip ve kayıt edilmesi gereklidir.

Bir ürün veya sistemin hasar verileri için:

- Garanti kayıtları
- Benzer veya aynı ürünler için yapılmış deneyler
- Bakım birimi kayıtları
- Fabrika kabul testleri
- Geliştirme aşamasında oluşan kayıtlar
- Müşteri hasar raporlama sistemi
- Deneyler: alan uygulamaları, çevresel sınamalar, alan kurulumları
- Kalite kontrol ve üretim gruplarının gözlem kayıtları
- vb.

kaynaklardan elde edilen veriler kullanılabilir.

Verinin niteliği hesaplanacak veya hesaplanan güvenilirliğin güvenilirliğini doğrudan etkiler. Temel seviye hasar verileri ürünlerin güvenilirliğinin kıyaslanmasında başarıyla kullanılabilirken belirli bir ürünün güvenilirliğinin hesaplanmasında beklenen sonuçları vermeyebilir.

Elde edilecek en doğru güvenilirliğin öngörölmüş çevre ve yük şartlarında deneye tabi tutulmuş birimlerin hasar verilerinin analizi ile elde edilebilmesine rağmen bir çok durumda bu yöntem maliyet ve zaman kısıtlamasından dolayı tercih edilmez. Bu durumda başlangıç aşaması güvenilirliği için hasar verisi kaynaklarına başvurulabilir.

1.3.1. Hasar verisi kaynakları

Ulaşılabilir hasar verisi kaynaklarını temelde organizasyonlar, veri bankaları ve belgeler olmak üzere üç başlıkta incelenebilir. Bu başlıklar aşağıdaki gibi örneklendirilebilir (Dhillon, 1999):

Organizasyonlar:

- Hükümet Endüstrisi Veri Değişim Programı (GIDEP) : Savunma ve havacılık alanında güvenilirlik verisi sağlıyor. Birleşmiş Milletler, California 91720.
- Ulusal Teknik Bilgi Servisi (NTIS) : Çeşitli hasar verileri sağlıyor. Birleşmiş Milletler, 5285 Port Royal Rd, Springfield, Virginia 22161.
- Güvenilirlik Analiz Merkezi (RAC) : Genellikle elektronik olmayan ekipman için güvenilirlik verisi sağlıyor. Griffiss Hava Kuvvetleri Üssü, Rome, New York 134441
- Savunma Tekniği Bilgi Merkezi : Savunma ekipmanları ağırlıklı hasar verisi sağlıyor. Savunma Lojistik Ajansı, Cameron Station, Alexandria, Virginia 22314.
- Parça Güvenilirliği Bilgi Merkezi (PRINCE) : Havacılık sistemleri için güvenilirlik verisi sağlıyor. George C. Marshall Havacılık Uçuş Merkezi, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Huntsville, Alabama 35812.
- Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) : Dünyadaki profesyonel olarak çeşitli elektronik ekipmanlar için hasar verisi sağlayan en büyük kaynaklardan birisi.
- Sigorta Bilgi Enstitüsü (III) : Felaketlerin etkisi ve ilgili olaylar hakkında bilgi sağlayan bir organizasyon. 110 William St. New York 10017.

Veri Bankaları:

- Nükleer Tesis Güvenilirlik Veri Sistemi (NPRDS) : San Antonio, Texas'ta Güney Batı Araştırma Merkezi Tarafından yönetilen NPRDS, nükleer güç üretiminde kullanılan çeşitli ekipmanlar için hasar verisi bilgisi sağlıyor.
- Ekipman Güvenilirliği Bilgi Sistemi (ERIS) : Kanada Elektrik Birliği tarafından yönetilen sistem elektrik üretiminde kullanılan ekipmanlar için hasar verisi sağlıyor.
- SYREL: Güvenilirlik Veri Bankası, Birleşmiş Krallık Atom Enerjisi Otoritesi (UKAEA) tarafından yönetilmekte ve güç üretiminde kullanılan ekipmanlar için hasar verisi sağlamakta.

- ESA Elektronik Bileşen Veri Bankası: Avrupa Havacılık Ajansı tarafından yönetilen sistem, genellikle havacılık alanında kullanılan Elektronik ekipmanlar için hasar verisi sağlıyor.

Belgeler:

- NPRD-95, Elektronik Olmayan Parçalar için Güvenilirlik Verisi, 13,000 parçadan fazla mekanik parça için arıza oranı verileri.
- MIL-HDBK-217 : Elektronik Ekipmanların Güvenilirlik Tahmini, Savunma Bakanlığı, Washington D.C.
- Bileşen Parçaları Hasar Verileri Ansiklopedisi : Elektronik Endüstri Birliği, 11 W. 42. St., New York 10036.
- RADC-TR-85-194 : Elektronik Olmayan Güvenilirlik Defteri, Güvenilirlik Analiz Merkezi, Rome Havacılık Gelişim Merkezi (RADC), Griffiss Hava Kuvvetleri Üssü, Rome, New York 134441-5700, 1985.
- IEEE-STD-500-1977, IEEE Nükleer Güvenilirlik Veri Rehberi, John Wiley & Sons, New York, 1977.
- Dhillon, B.S., Mekanik Güvenilirliği: Teori, Modeller ve Uygulamalar. Amerika Uzay ve Astronot Enstitüsü, Washington, D.C., 1988.
- RAC EMD 1 ve 2, Elektronik Ekipman Güvenilirlik Verisi, Güvenilirlik Analiz Merkezi (RAC), Rome Havacılık Gelişim Merkezi, Griffiss Hava Kuvvetleri Üssü, Rome, New York.
- NUREG/CR-1278, Nükleer Güç Santrali Uygulamaları Hususunda İnsan Güvenilirliği Analizleri El Kitabı, Birleşmiş Milletler Nükleer Düzenleme Komisyonu, Washington, D.C.

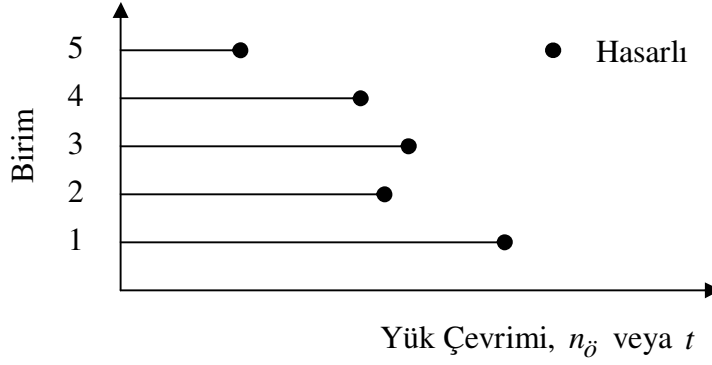
1.3.2. Deney verileri ve türleri

Güvenilirlik analizinde sonuçların hassasiyeti açısından tam olarak zamanı bilinen hasar süreleri tercih edilir buna rağmen zaman, şartlar, maliyet, ürün veya sistem karakteristiği, ve benzeri durumlardan dolayı her zaman hasar süreleri tam istenildiği gibi elde edilemeyebilir. Elde edilen veriler tamamlanmış veriler, sağdan sansürlü

veriler, aralık sansürlü veriler ve soldan sansürlü veriler olmak üzere dört ana başlıkta incelenebilir.

1.3.2.1. Tamamlanmış veriler

Tamamlanmış veriler, birimlerin her birimin hasar zamanının tam olarak bilindiği veri türüdür. Beş birimin teste tabi tutulduğu bir deneyde (bkz. Şekil 1.15) tüm birimlerde hasar meydana gelmiştir ve hasar zamanları tam olarak bilinmektedir, bu durumda elde edilen veriler tamamlanmış verilerdir.



Şekil 1.15 Beş numuneli bir deney için tamamlanmış veriler.

1.3.2.2. Tamamlanmamış (sansürlü) veriler

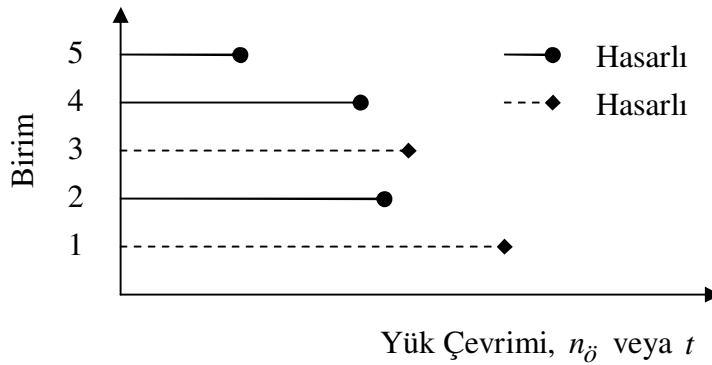
Bazı durumlarda tüm birimlerde hasar meydana gelmemiş olabilir veya hasar süresi tam olarak bilinmeyebilir. Zaman, maliyet ve benzeri nedenlerden dolayı hasar zamanı beklenmeyebilir. Tamamlanmamış veriler sağdan sansürlü, aralık sansürlü ve soldan sansürlü olmak üzere üç sınıfta incelenebilir.

1.3.2.3. Sağdan sansürlü veriler

Birimlerden bir kısmının hasar zamanının bilindiği ve kalan kısmının çalışmaya devam ettiği durumda elde edilen veri türüdür. Şekil 1.16'da iki birimin çalışmaya devam ettiği bir örnek gösterilmektedir.

1.3.2.5. Soldan sansürlü veriler

Soldan sansürlü veriler aralık sansürlü verilere benzer. Eğer bir kısım birimin hasarlı olduğu bir zaman noktasından itibaren biliniyorsa bu durumda elde edilen veriler soldan sansürlü veriler olarak adlandırılır. Örneğin Şekil 1.18’de 1. ve 3. birimlerin hasarlı olduğu fakat hasarın ne zaman meydana geldiği bilinmemektedir.



Şekil 1.18 Beş numuneli bir deney için soldan sansürlü veriler.

1.4. Güven Aralıkları

Ömür verisi analizleri, ürün veya sistemlerin belirli sayıdaki numunelerinin gözlemlenen ömür sürelerine dayandığından sonuçlarda her zaman bir belirsizlik mevcuttur. Güven aralıkları ile bu belirsizlik elde bulunan veri miktarı doğrultusunda belirli bir güven düzeyine kadar sınırlandırılabilir.

Güven sınırları tek taraflı ve iki taraflı olmak üzere iki grupta incelenebilir. İki taraflı sınırlar ile belirli bir güven düzeyindeki miktarla ilgilenilirken, tek taraflı sınırlarda yine belirli bir güven düzeyindeki alt sınırın üzerindeki değerler veya bir üst sınırın altındaki değerler söz konusudur. Uygulamanın amacına göre tek taraflı veya iki taraflı güven sınırları kullanılabilir. Örneğin bir analizde tek taraflı güven alt sınırı güvenilirliğin belirlenmesinde, tek taraflı üst sınır garanti kapsamında hasar meydana gelecek yüzde için ve çift taraflı sınırlar ise dağılım parametrelerinin güven sınırı

değerlerinin belirlenmesi için kullanılabilir. Güven aralıklarının hesaplanmasında sıklıkla;

- Fisher Matrix Güven Aralıkları,
- Beta Binomial Güven Aralıkları,
- Olasılık Oranı Güven Aralıkları,
- Bayesian Güven Aralıkları ve
- Simülasyon Temelli Güven Aralıkları

belirleme yöntemleri kullanılabilir (<http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lifedataweb.htm>,2008).

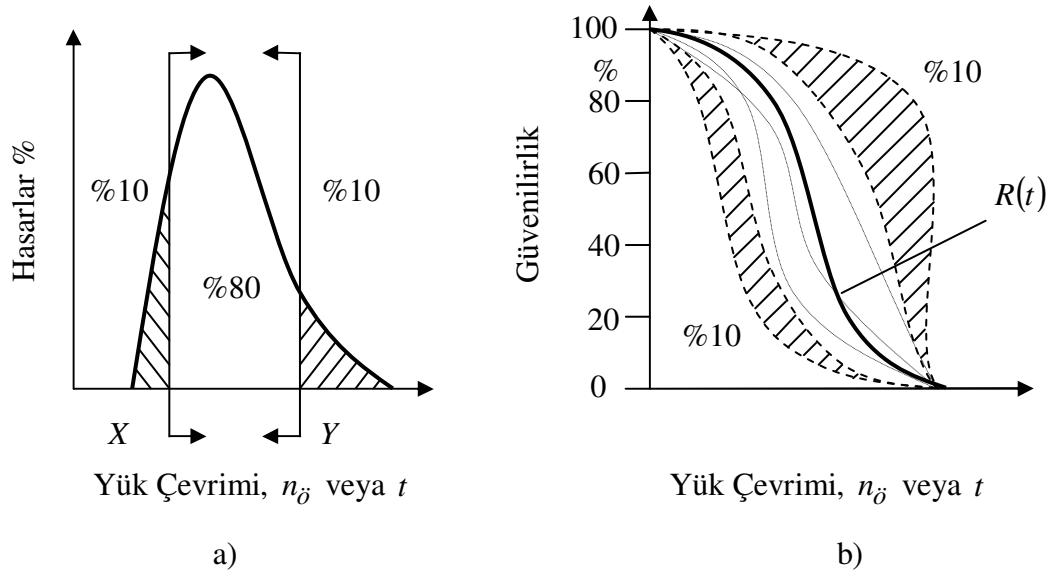
1.4.1. Çift taraflı güven aralıkları

Çift taraflı güven aralıkları, belirli bir yüzdelikteki deney numunesi adedinin yer alacağı kapalı aralık olarak tanımlanabilir, bkz. Şekil 1.19. Başka bir deyişle deney numunelerinin belirlenen miktarının yer alacağı bölge olarak ta tanımlanabilir.

Eğer sınırları X ve Y olan % 80'lik çift taraflı bir güven aralığından bahsediliyorsa bu durumda deney numunelerinin %10'u X 'ten küçük ve %10'u ise Y değerinden büyüktür, bkz. Şekil 1.19 a.

Güven aralığı yüzdesi ve deney numune sayısı güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ 'yi doğrudan etkiler. Örneğin %80 çift taraflı güven aralığına sahip bir güvenilirlik fonksiyonu Şekil 1.19 b'deki gibi gösterilebilir. Burada anlatılmak istenen belirli bir ömür değerindeki güvenilirlik değerinin %80 olasılığa sahip olduğudur. Dolayısıyla bir ürün veya sistem için güvenilirlikten bahsedilirken güven düzeyi de belirtilmeli.

Deney numunesi veri seti doğrultusunda güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ 'nin güven aralığı (Şekil 1.19 b, taralı bölgelerin arasındaki bölge) içerisinde değişkenlik gösterebileceği kabul edilir. Güven aralığı (Şekil 1.19 b, taralı bölgelerin arasındaki bölge) artan deney numunesi sayısı ile giderek daralır.

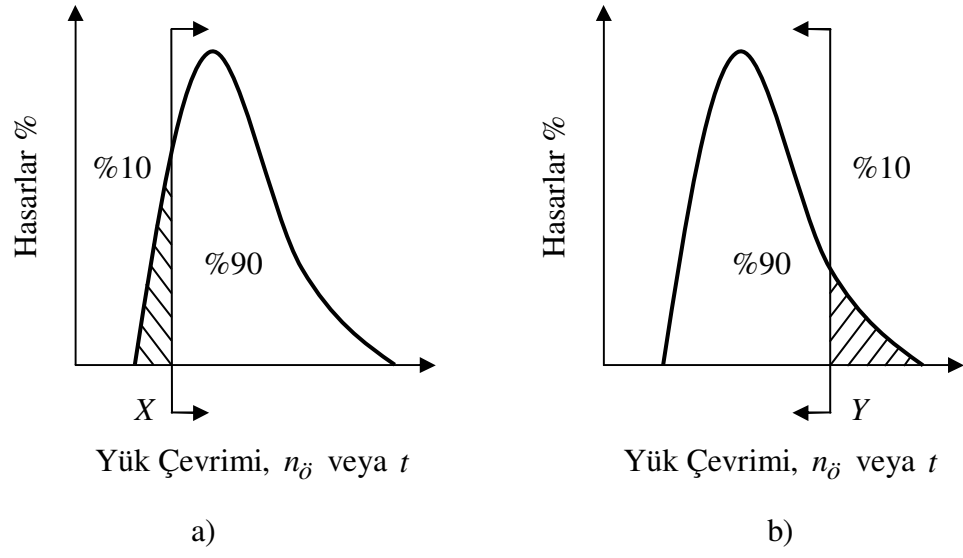


Şekil 1.19 Çift taraflı güven aralıkları için temsili gösterim.

1.4.2. Tek taraflı güven aralıkları

Tek taraflı güven aralıkları çift taraflı güven aralıklarının bir yönü açık olan özel durumlarıdır. Tek taraflı bir sınır belirli bir yüzdeliğin altında veya üstünde kalacak deney numuneleri için nokta belirler, bkz. Şekil 1.20. İki tip tek taraflı sınır vardır; üst sınır ve alt sınır. Tek taraflı üst sınır popülasyonun belirli bir yüzdesinin altında olduğu noktayı tanımlarken, tek taraflı alt sınır ise bunun tam tersi olarak popülasyonun belirli bir yüzdeliğinin üstünde kaldığı noktayı belirler.

X %90'lık bir tek taraflı üst sınır ise, bunun anlamı popülasyonun %90'ı X değerinden küçüktür. Eğer X %90'lık bir tek taraflı alt sınır ise bu popülasyonun %90'ının X değerinden büyük olduğunu gösterir. Şekil 1.20a'da X %90'lık alt sınır olarak temsil edilmekte ve bu durumda popülasyonun %90'ı X noktasının üzerinde yer alırken, Şekil 1.20b'de ise popülasyonun %90'ının Y noktasının altında yer aldığı Y , %90'lık bir üst sınır olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1.20 Tek taraflı güven aralıkları için örnekler.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Güvenilirlik Analizinde Kullanılan Olasılık Dağılımları

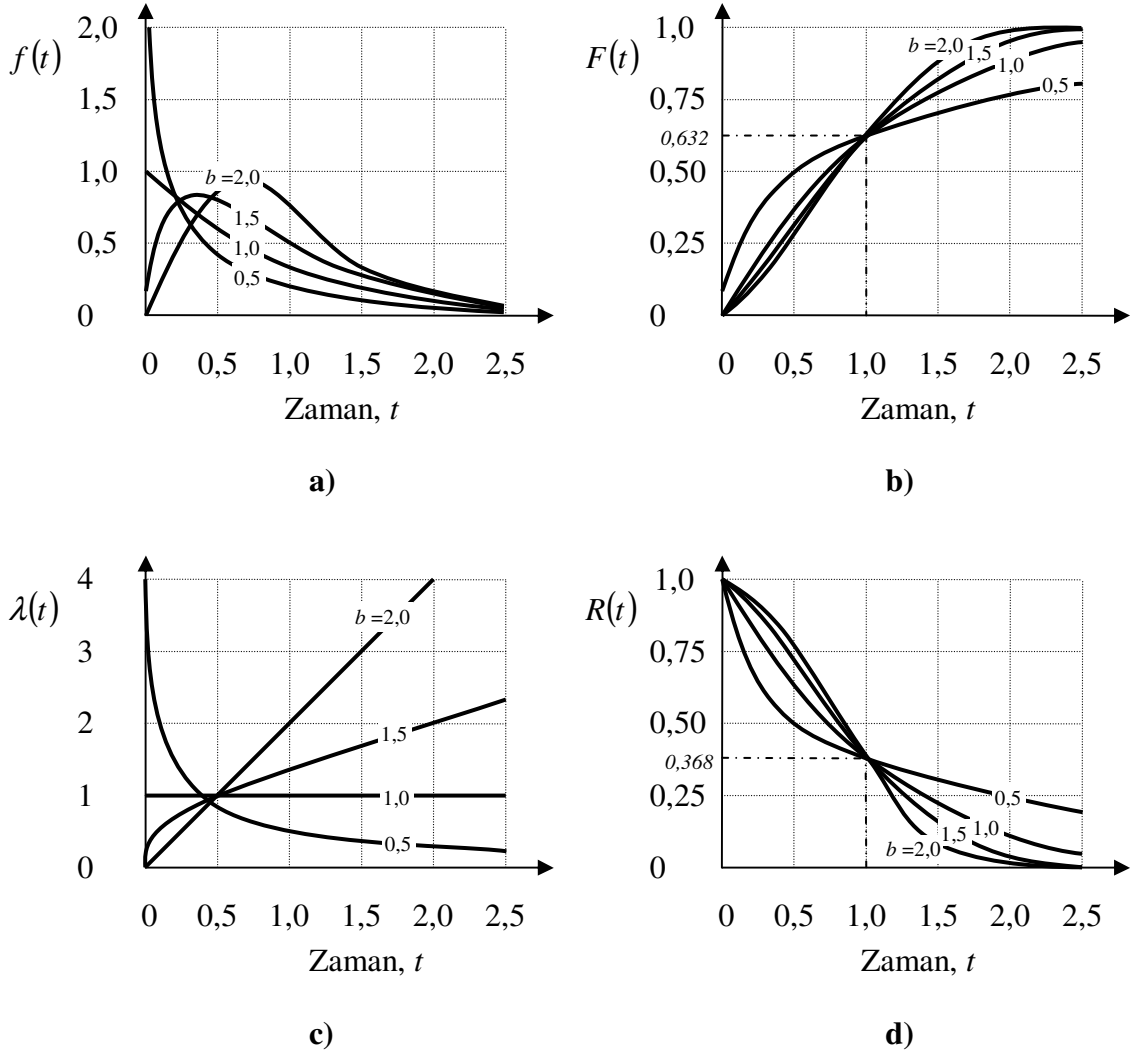
Olasılık Dağılımları, aynı özelliğe sahip verilerin istatistiksel analizini kolaylaştırmak için önceden geliştirilmiş modellerdir (Akdeniz, 2002). Bir araştırmacı elindeki verilerin hangi dağılıma uyduğunu tespit ettikten sonra bu dağılımın karakteristik özelliklerini kullanarak analizi kolaylıkla yapabilir. Elektronik ve mekanik cihazlar gibi birimlerin, insanların, bilgi işleme sistemlerinin ve buna benzer diğer birçok sistemin ömür sürelerini gösteren veriler genellikle sürekli rastgele değişken özelliğine sahiptir. Dolayısıyla bu tür verilerin ömür dağılımları da sürekli dağılımlardır. Bu verilerin yaygın olarak uyum gösterdiği önemli sürekli dağılımlar Normal, Log-normal, Üstel, Weibull, Erlang, Gamma ve Rayleigh dağılımlarıdır (Şentürk, 1998).

Güvenilirlik çalışmalarında en yaygın kullanım alanına sahip olasılık dağılımı Weibull dağılımıdır (Ebeling, 1997). Weibull Olasılık Dağılımı klasik istatistik kapsamındadır, fakat bu dağılım genellikle temel istatistik kitaplarında yer almaz. Özellikle “Güvenilirlik” başta olmak üzere deneysel sonuçların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır ve diğer yöntemlerin yaklaşımları Weibull’a göre daha tartışmaya açıktır. Bu bir “chameleon (bukalemun)” yani değişken ortamlara ayak uyduran bir dağılımdır. Özellikle seramiklerin, metallerin, polimerlerin ve kompozit malzemelerin statik ve dinamik mekanik özelliklerinin modellenmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Birgören ve Dirikolu, 2004). Weibull Olasılık Dağılımı, faktörlerinin belirli değerleri almasıyla, normal dağılım ve üstlü dağılım fonksiyonlarını da gerçekleştirmektedir (Tahralı ve Dikmen, 1995). Tablo 2.1’de Weibull Olasılık Dağılımının kullanıldığı uygulamalar için örnekler gösterilmektedir..

Tablo 2.1 Weibull Olasılık Dağılımının kullanıldığı uygulamalar (Murthy ve ark., 2004).

Uygulama	Referans
Çeliklerin akma mukavemeti	Weibull (1951)
Uçan küllerin boyut dağılımı	Weibull (1951)
Hint pamuğunun lif dayanımı	Weibull (1951)
St-37 çeliğinin yorulma ömrü	Weibull (1951)
Optik liflerin çekme dayanımı	Phani (1987)
Kömür saflığı	Rosen ve Rammler (1933)
Sprey damlacıklarının boyutları	Fraser ve Eisenklam (1956)
Parçacık boyutları	Fang ve ark. (1993)
Boru içindeki çukurlaşma aşınması	Sheikh ve ark. (1990)
Kanserojenin ölüme sebep olduğu zaman	Pike (1966), Peto ve Lee (1973)
Hindistan cevizi kabuk lifi dayanımı	Kulkarni ve ark. (1973)
Teknoloji değişiminin tahmini	Sharif ve İslam (1980)
Yalıtkan bozulma voltajı (gerilimi)	Nossier ve ark. (1980)
	Mu ve ark. (2000)
	Wang ve ark. (1997)
Camın çatlak dayanımı	Keshvan ve ark. (1980)
Antarktika buzdağlarının boyutları	Neshyba (1980)
Envanter teslimat süresi	Tadikamalla (1978)
İngiliz Kanalındaki dalga yükseklikleri	Henderson ve Weber (1978)
Kaya parçaları boyutları	Rad ve Olson (1974)
Rulman hasarları	Lielein ve Zelen (1956)
Karbon lifli bileşiklerin hasarları	Durham ve Padgett (1997)
	Padgett ve ark. (1995)
Metal işleme merkezlerinin hasarları	Yazhou ve ark. (1995)
Otoyol kavşaklarındaki trafik kazaları	Chin ve ark. (1991)
Kısmi deşarj fenomeni	Cacciari ve ark. (1995)
Helikopterdeki uçuş yükü değişimi	Borla ve Rotenberger (1997)
Kuzeybatı Pasifik'teki yağış	Duan ve ark. (1998)
Metallerde adesiv aşınma	Quereshi ve Sheikh (1997)
Betonda kırılma	Xu ve Barr (1995)
Elektronik ürünlerdeki gizli hasarlar	Yang ve ark. (1995)
Tabakalı bileşiklerdeki hasarlar	Kwon ve Berner (1994)
Yazılım güvenilirlik gelişimi	Yamada ve ark. (1993)
Kırılğan malzemeler	Fok ve ark. (2001)
Isınan malzemelerin ışık yayması	Pagonis ve ark. (2001)
Su baskını sıklığı	Heo ve ark. (2001)
Sıcaklık çalkalanmaları	Talkner ve ark. (2000)
Rüzgar hızı dağılımı	Seguro ve Lambert (2000)
	Lun ve Lam (2000)
Depremler	Huillet ve Raynout (1999)
Kaplama hasarları	Almeida (1999)
Yağmur damlası boyutları	Jiang ve ark. (1997)
Deşarj neticeleri	Contin ve ark. (1994)

Weibull Olasılık Dağılımı asimetriktir ve dağılımın eğrisi şekil parametresi “ b ” ve karakteristik ömür parametresi “ T ” olarak adlandırılan iki parametreye sahiptir. Bu dağılım aynı zamanda üstel dağılımı tam anlamıyla temsil edebildiği gibi normal dağılımı da şekil parametresi $b \approx 3,5$ iken büyük yaklaşıklıkla karakterize edebilmektedir. Farklı şekil parametresi b değerleri için Weibull Olasılık Dağılımının farklı fonksiyonlarındaki değişimler Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 Farklı şekil parametreleri b (karakteristik ömür $T = 1$, hasarsız süre t_0) için Weibull **a)** Olasılık Yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ **b)** Hasar Olasılığı “Birikimli Dağılım Fonksiyonu” $F(t)$ **c)** Hasar Oranı veya Hasar Hızı $\lambda(t)$ **d)** Çalışmaya Devam Etme Olasılığı “Güvenilirlik Fonksiyonu” $R(t) = 1 - F(t)$

Tablo 2.2 Weibull Olasılık Dağılımını ifade eden denklemler.(Bertsche ve Lechner, 2004)**İki parametrelili Weibull Olasılık Dağılımı:**

$$\begin{array}{l} \text{Yaşama Olasılığı,} \\ \text{Güvenilirlik} \end{array} \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad (2.1)$$

$$\text{Hasar Olasılığı} \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad (2.2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Olasılık Yoğunluk} \\ \text{Fonksiyonu} \end{array} \quad f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad (2.3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Arıza Oranı} \\ \text{(Arıza Hızı)} \end{array} \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1} \quad (2.4)$$

Üç parametrelili Weibull Olasılık Dağılımı:

$$\begin{array}{l} \text{Yaşama Olasılığı,} \\ \text{Güvenilirlik} \end{array} \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^b} \quad (2.5)$$

$$\text{Hasar Olasılığı} \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^b} \quad (2.6)$$

$$\begin{array}{l} \text{Olasılık Yoğunluk} \\ \text{Fonksiyonu} \end{array} \quad f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{b}{T-t_0} \cdot \left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^b} \quad (2.7)$$

$$\begin{array}{l} \text{Arıza Oranı} \\ \text{(Arıza Hızı)} \end{array} \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{b}{T-t_0} \cdot \left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^{b-1} \quad (2.8)$$

Parametreler:

- t statik değişken (yüklenme süresi, yük değişimi, çevrim süresi, ...).
- T karakteristik ömür parametresi. $t = T$ ise $F(t) = \%63,2$ veya $R(t) = \%36,8$
- b şekil parametresi veya hasarın meydana gelme hızlılığı. Eğrinin formunu belirler.
- t_0 hasar olmayan süre. Bu parametre, ilk hasarın olduğu zaman noktasını belirler. Zaman eksenini boyunca bir hareket söz konusudur.

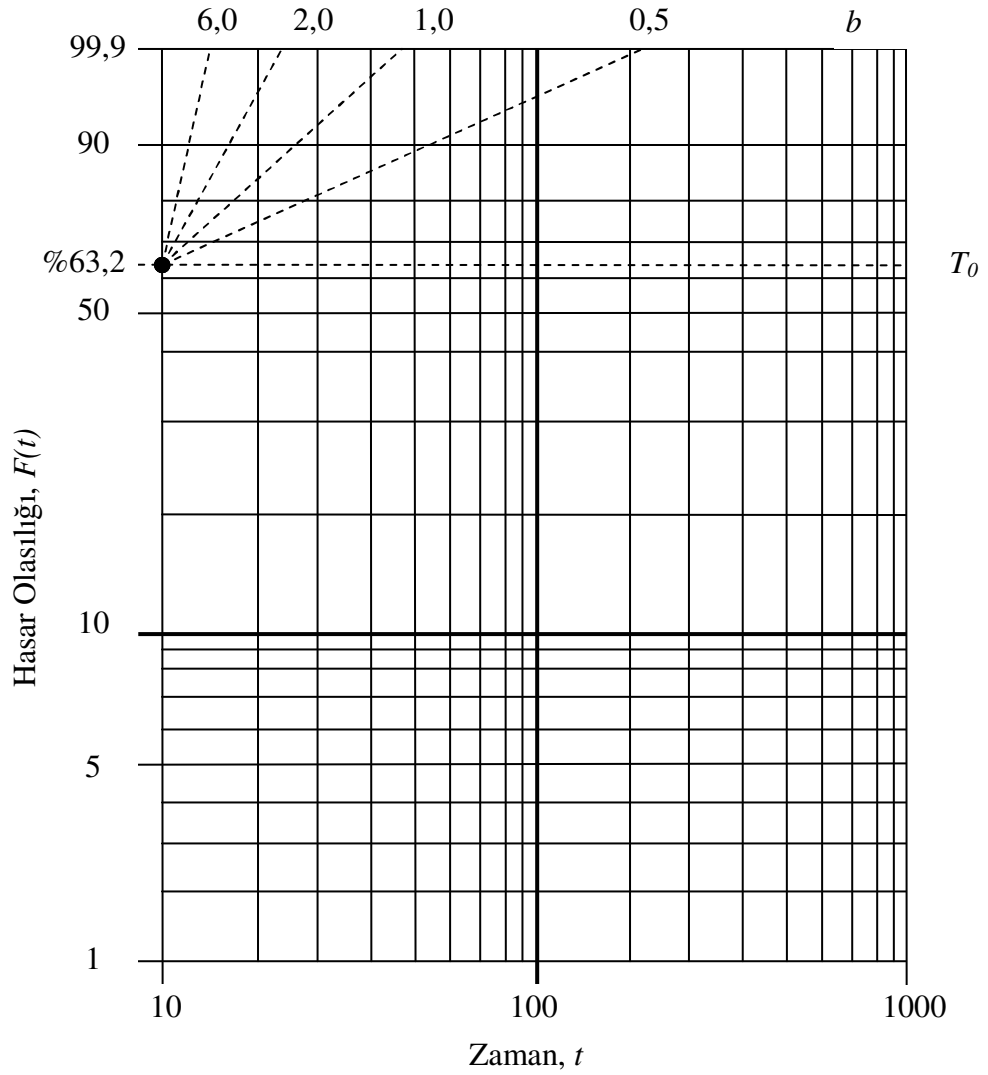
Weibull Olasılık Dağılımı şekil “ b ” ve karakteristik ömür “ T ” gibi iki temel parametreye sahiptir ancak bunlara ek olarak hasarın olmadığı veya daha hizmete başlamadan hasarlı olabilme durumunu açıklamak için “ t_0 ” konum parametresi kullanılır. Konum parametresi içeren 3 parametrelili Weibull Olasılık Dağılımı bir zaman transformasyonu ile iki parametrelili dağılımdan elde edilebilir, hasar zamanı t ve karakteristik ömür T sırasıyla yerlerini $t - t_0$ ve $T - t_0$ ile yer değiştirmelidir. Weibull Olasılık Dağılımını tanımlayan denklemler Tablo 2.2’de gösterilmektedir.

2.2. Weibull Olasılık Dağılımı Uyumluluk Testleri

Weibull dağılımının mekanik sistem ve bileşenlerin hasar davranışını genellikle doğru bir şekilde ifade etmesine rağmen hasar davranışını Weibull dağılımı ile ifade etmeden önce elde bulunan veri setinin Weibull’a uyumluluğu kontrol edilmelidir. Bunun için farklı yöntemler mevcut olmakla birlikte en basit kullanıma sahip olan ve sıklıkla kullanılan metot Weibull olasılık kağıdıdır.

2.2.1. Weibull Olasılık Dağılımı çizim kağıdı

Weibull olasılık kağıdı veri değerlerine bağlı olarak farklı ölçeklerde hazır olarak elde edilebilir, Şekil 2.2’de örnek bir Weibull olasılık kağıdı gösterilmektedir. Weibull olasılık grafiğinin apsis ve ordinatı logaritmik olarak ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirme Weibull Olasılık Kağıdının bir özelliği olup şekil parametresinin belirlenmesi ve verinin uyumluluğunun izlenmesi açısından gereklidir.



Şekil 2.2 Weibull Olasılık Dağılımı çizim kağıdı örneği.

İki parametrelili Weibull Olasılık Dağılımının parametrelerinin Weibull Olasılık Dağılımı çizim kağıdı kullanılarak belirlenmesi takip eden aşamalardan oluşmaktadır.

- Veri seti değerleri büyükten küçüğe sıralanır.
- Verilerin orta değer sıraları elde edilir. Orta değeri, hasarların tam yarı değerinin altında ve üzerinde kalan olayların hasar süreleridir ve basit bir şekilde hasar olasılığı $F(t)$ ile ifade edilebilir:

$$F(t_{medyan}) = 0,5 \quad (2.9)$$

Sıralanmış verilerin orta değerleri tablolardan elde edilebileceği gibi yaklaşık olarak:

$$MR\% \approx \frac{i - 0,3}{N + 0,4} \cdot 100 \quad (2.10)$$

eşitliği kullanılarak da hesaplanabilir. Burada

i : veri sırası

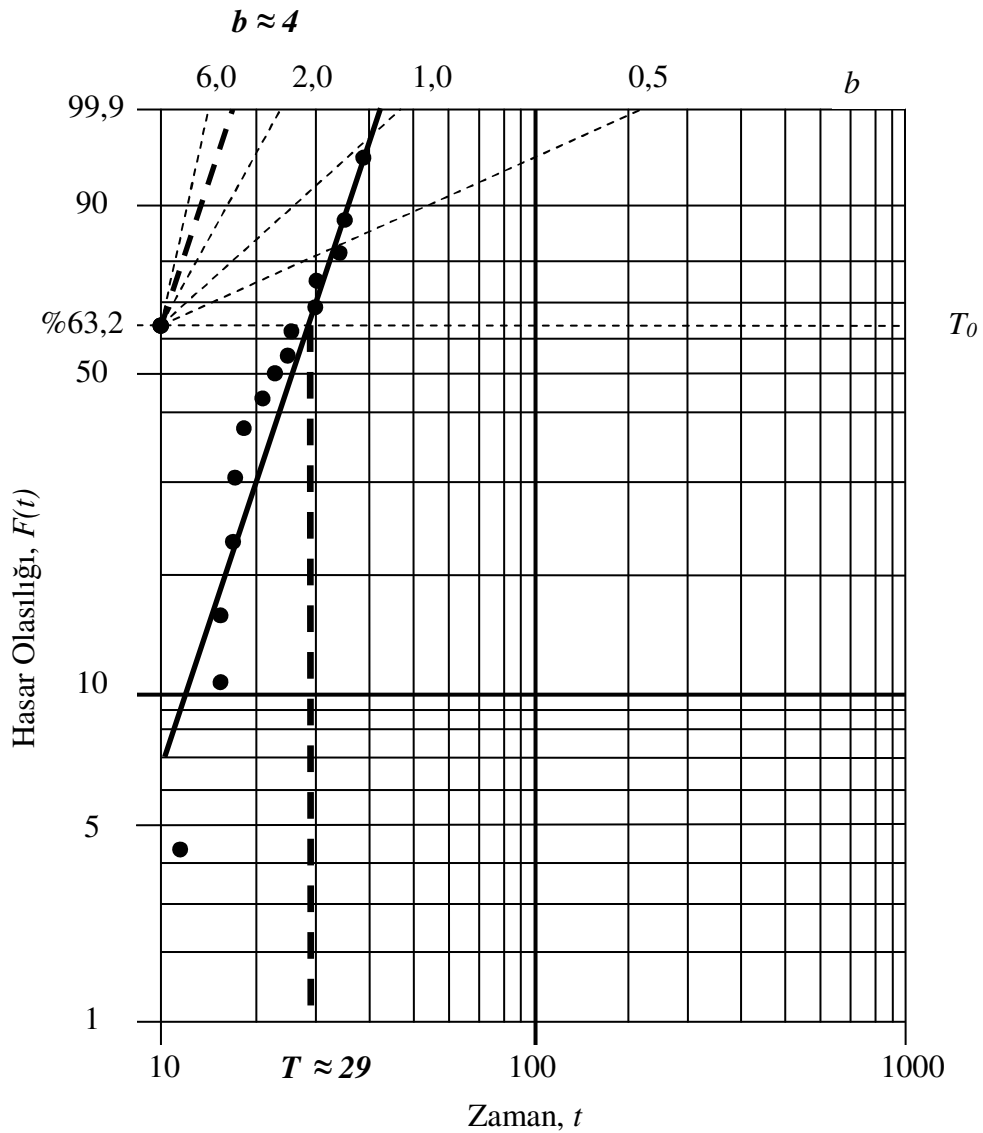
N : toplam veri sayısıdır.

- Hesaplanan orta değer sıraları Weibull olasılık kağıdında işaretlenir. İşaretlenen noktalar ne kadar doğrusal yol izliyorsa veri setinin Weibull dağılımına uyumluluğu o kadar fazladır.
- Noktaların birleştirilmesiyle elde edilen doğrusal çizgiye paralel olan b çizgisinin değeri Weibull dağılımının şekil parametresine karşılık gelir.
- Elde edilen doğrusal çizginin ordinatın %63,2 noktasından çizilen yatay çizgiyle kesiştiği noktanın apsis değeri Weibull dağılımının karakteristik ömür parametresine karşılık gelir. Weibull dağılımında karakteristik ömür değerinin güvenilirliği hesaplanmak istenen ömür değerine eşit olduğu durumda elde edilen hasar olasılığı her zaman %63,2 olduğundan bu nokta sabittir.

Tablo 1.1'deki ataş ömür verileri için Weibull Olasılık Kağıdı uygulama örneği Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Weibull Olasılık Kağıdı için Eşitlik 2.10 kullanılarak hesaplanan orta değer sırası değerleri Tablo 2.3'tedir.

Tablo 2.3 Tablo 1.1'deki hasar verilerinin Weibull Olasılık Kağıdı çiziminde kullanılmak üzere düzenlenmiş hali.

Deney Örneği Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Hasar Çevrim Sayısı n_{δ} (Zaman, t)	12	17	17	18	18	19	22	23	24	25	30	30	34	35	39
$MR\% \approx \frac{i - 0,3}{N + 0,4} \cdot 100$ (Hasar Olasılığı $F(t)$)	4,55	11,04	17,53	24,03	30,52	37,01	43,51	50,00	56,50	62,99	69,48	75,97	82,47	88,96	95,45



Şekil 2.3 Tablo 1.1'deki veriler için Weibull Olasılık Kağıdı uygulaması.

Noktaların yaklaşık olarak izlediği doğrusallık yorumlanarak deney verilerinin Weibull Olasılık Dağılımına uyumluluğuna karar verilir. Noktaları en iyi ifade eden doğrunun eğiminden faydalanılarak şekil parametresi $b \approx 4$ ve bu doğrunun ordinat ekseninin %63.2 noktasına çizilen yatay çizgiyle kesişme noktasının apsisteki izdüşüm değeri ise karakteristik ömür parametresi $T \approx 29$ olarak elde edilir.

2.2.2. Matlab R2007a gömülü komutu “wblplot”

Komut ile veri setine uygun Weibull olasılık grafiği oluşturulur. Burada amaç parametre tahmininde çok eldeki verinin Weibull dağılımına uyumluluğunu test etmektir. Uyumluluk, oluşan noktaların doğrusal bir çizgiyi takibinin kontrolüyle tayin edilir.

2.3. Weibull Olasılık Dağılımı Parametrelerinin Maksimum Benzerlik Yöntemi ile Tahmini

Weibull Dağılımı parametrelerinin hesaplanmasında üç yöntemin kullanımına sıklıkla rastlanır. Bu yöntemler Weibull Olasılık Dağılımı Kağıdı , Maksimum Benzerlik Yöntemi ve Ağırlıklı En Küçük Kareler Metodudur. Aralarında en basit olan Weibull Olasılık Dağılımı Kağıdıdır ve ayrıca verilerin Weibull Olasılık Dağılımına uyumluluğunun tespitinde de kullanılır. Maksimum Benzerlik Yöntemi ile Ağırlıklı En Küçük Kareler Yöntemlerinin birbirleri üzerinde farklı üstünlükleri vardır, literatürde ilk aşamalarda Maksimum Benzerlik Yönteminin kullanımı yaygındır. Bu çalışmada Maksimum Benzerlik Yöntemi kullanılacaktır.

Maksimum Benzerlik Yöntemi Gauss ve daha sonra R.A. Fisher tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin amacı bilinmeyen kitle parametreleri için tahmin ediciler bulmaktır (Rüzgar, 1992).

$L(\theta) = L(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n; \theta)$, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ rasgele değişkenleri için benzerlik fonksiyonu olsun. Eğer $\hat{\theta}$, θ ' nın $L(\theta)$ ' yı maksimum yapan değeriye $\hat{\theta}$ 'ya

θ 'nın maksimum benzerlik tahmincisi denir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(\sigma, \theta)$ kullanılarak $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ rasgele değişkenleri için benzerlik fonksiyonu;

$$L(\theta) = f(\sigma_1; \theta) f(\sigma_2; \theta) f(\sigma_3; \theta) \dots f(\sigma_n; \theta) \quad (2.11)$$

şeklinde üretilir. Maksimum benzerlik tahmin değerleri ise; $\frac{dL(\theta)}{d\theta} = 0$ denkleminin çözümü ile bulunur.

Benzerlik fonksiyonunda k tane parametre varsa,

$$L(\theta) = L(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k) = \prod_{i=1}^n f(\sigma_i; \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k) \quad (2.12)$$

olur. Burada $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k$ parametrelerinin maksimum benzerlik tahmincileri $\hat{\theta}_1 = d_1(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n)$, $\hat{\theta}_2 = d_2(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n)$, ... , $\hat{\theta}_k = d_k(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n)$ rasgele değişkenleridir. $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \hat{\theta}_3, \dots, \hat{\theta}_k$; $L(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k)$ ' yı maksimum yapan değerlerdir. Maksimum benzerlik şu k adet denklemin ortak çözümüdür (Meyer, 1970).

$$\frac{dL(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k)}{d\theta_1} = 0$$

$$\frac{dL(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k)}{d\theta_2} = 0$$

.....

$$\frac{dL(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k)}{d\theta_k} = 0$$

2.3.1. Weibull Olasılık Dağılımı parametrelerinin Maksimum Benzerlik Yöntemi ile tahmini

Parametreleri b ve T olan n adet Weibull dağılımına uyumlu rastgele değişken $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ şeklinde olsun. Bu değişkenler için maksimum benzerlik fonksiyonu:

$$L(b, T) = \prod_{i=1}^n f(t_i; b; T) = b^n \cdot T^n \cdot t_1^{T-1} \cdot t_2^{T-1} \cdot \dots \cdot t_n^{T-1} \cdot e^{-b \sum_{i=1}^n t_i^T} \quad (2.13)$$

olur. Her iki tarafın logaritması alınırsa;

$$\ln L = n \cdot \ln b - n \cdot \ln T + (n-1) \cdot \sum_{i=1}^n \ln \frac{t_i}{T} - \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{t_i}{T} \right)^b \quad (2.14)$$

şeklinde olur. $\ln L$ 'nin, b ve T 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse;

$$\frac{dL(b, T)}{db} = 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{dL(b, T)}{dT} = 0 \quad (2.16)$$

buradan da;

$$T^b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^b \quad (2.17)$$

ve

$$\frac{n}{b} - n \cdot \ln T + \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{T}\right)^b \cdot \ln\left(\frac{t_i}{T}\right) = 0 \quad (2.18)$$

denklemleri elde edilir (Birgören ve Dirikolu, 2004).

Eşitlik 2.17, Eşitlik 2.18'de yerine yazılırsa, bu iki eşitlikten şu iki denklem elde edilir.

$$\sum_{i=1}^n \ln t_i - n \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i (t_i)^{\hat{b}}}{\sum_{i=1}^n (t_i)^{\hat{b}}} \right) + \frac{n}{b} = 0 \quad (2.19)$$

$$\hat{T} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (t_i)^{\hat{b}}}{n} \right)^{1/\hat{b}} \quad (2.20)$$

Eşitlik 2.19 sayısal kök bulma yöntemlerinden biriyle yaklaşık olarak çözülebilir. Daha sonra eşitlik 2.20 \hat{T} 'yi doğrudan verir (Birgören ve Dirikolu, 2004). Eşitlik 2.19'un çözümü için köke en hızlı yaklaşım gösteren sayısal kök bulma yöntemi olan Newton-Raphson yöntemi tercih edilmiştir (Law ve Kelton, 1991). Buna göre Newton-Raphson yinelemeleri için genel döngü denklemi:

$$\hat{b}_{k+1} = \hat{b}_k + \frac{A + (1/\hat{b}_k) - C_k / B_k}{1/\hat{b}_k^2 + (B_k \cdot H_k - C_k^2) / B_k^2} \quad (2.21)$$

şeklindedir ve burada;

$$A = \sum_{i=1}^n \ln t_i / n \quad (2.22)$$

$$B = \sum_{i=1}^n t_i^{\hat{b}_k} \quad (2.23)$$

$$C_k = \sum_{i=1}^n t_i^{\hat{b}_k} \cdot \ln t_i \quad (2.24)$$

$$H_k = \sum_{i=1}^n t_i^{\hat{b}_k} \cdot (\ln t_i)^2 \quad (2.25)$$

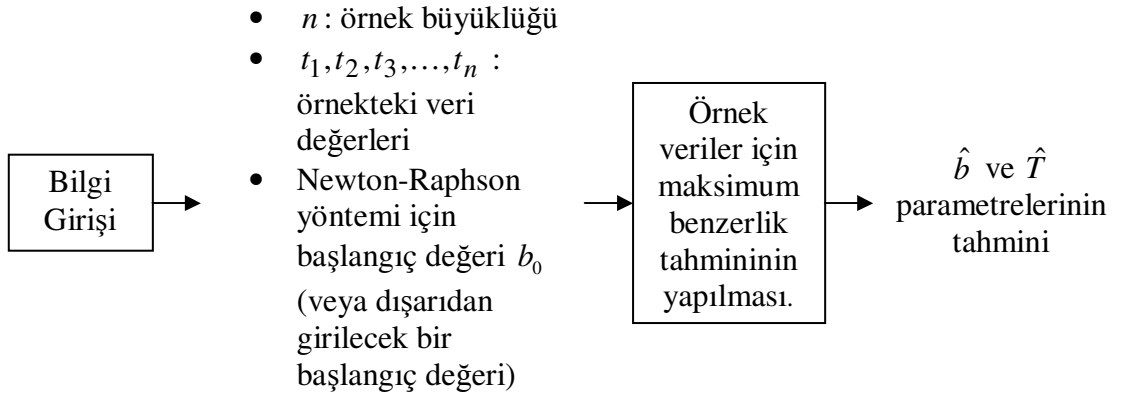
'dir.

Yinelemeler için başlangıç noktası olarak;

$$b_0 = \left[6/(\pi^2 \cdot (n-1)) \cdot \left(\sum_{i=1}^n (\ln t_i)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\ln t_i) \right)^2}{n} \right) \right]^{-1/2} \quad (2.26)$$

eşitliği kullanılır (Thorman ve ark., 1969).

Weibull parametrelerinin maksimum benzerlik yöntemiyle hesaplanması için kesin formüller yoktur ve hesaplamalar sayısal işlem gerektirir. Bu çalışmada Weibull parametrelerinin maksimum benzerlik yöntemi ile tahmini için eşitlik 2.19'un Newton-Raphson Yöntemi ile çözüm algoritması (bkz. Şekil 2.4) Matlab R2007a ile programlanmıştır.



Şekil 2.4 Weibull parametrelerinin Maksimum Benzerlik yöntemi ile tahmini için akış şeması (Danacı, 2005).

2.3.2. Matlab R2007 gömülü komutu “wblfit”

Parametrelerin hesaplanmasında Maksimum Benzerlik Yöntemini kullanılır.

$$y = f(x | a, b) = b \cdot a^{-b} \cdot x^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \cdot I_{(0, \infty)}(x) \quad (2.27)$$

olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak verilen veri seti için Weibull parametreleri $a=b$ ve $b=T$ değerleri hesaplanır. Belirtilen güven düzeyi için güven sınırlarındaki şekil parametresi ve karakteristik ömür parametresi değerleri hesaplanır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

3.1. Sistem Bileşenlerinin Ortaya Koyulması ve Sınıflandırılması

Bir sistemin tüm bileşenleri hasar davranışı sergileyebilir. Sistem güvenilirliği yapısı oluşturulmadan bileşenler sınıflandırılır ve hasar meydana getirebileceği öngörülen bileşenler belirlenir. Bu çalışmada hasar davranışı sergileyebileceği tahmin edilen bileşenler için bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmanın yapılmasında farklı yöntemler izlenebilir. Örneğin benzer bir ürünün garanti bilgilerinden faydalanılarak belirli bir bindeliğin altındaki hasar miktarına sahip olan bileşenler elenebilir.

Tablo 3.1 Örnek Sistem Bileşenleri (Tek Kademe Dişli Kutusu Bileşenleri)

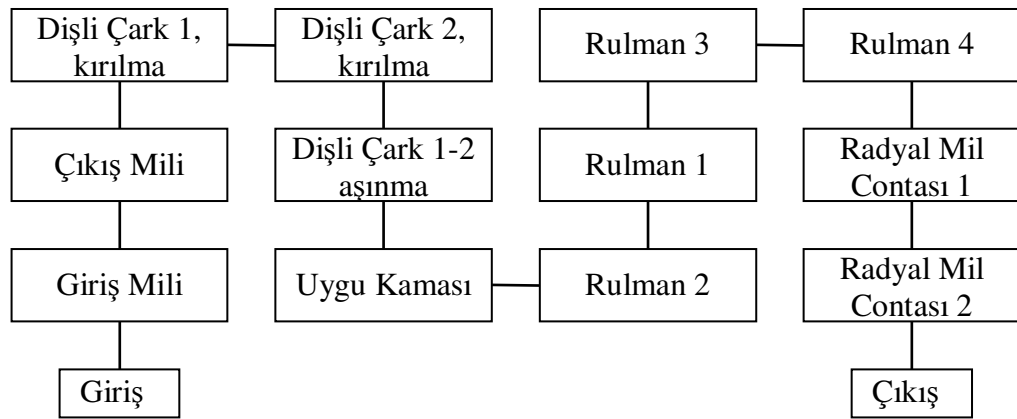
Bileşen no	Bileşen Adı	Bileşen no	Bileşen adı
1	Gövde	15	Emniyet Pulu
2	Gövde Kapağı	16	Mesafe Burcu
3	Gövde Cıvataları	17	Yatak Kapağı 1
4	Gövde Kapak Contası	18	Yatak Kapağı 2
5	Giriş Mili	19	Yatak Kapağı 3
6	Çıkış Mili	20	Yatak Kapağı 4
7	Dişli Çark 1	21	Yatak Kapağı Contası 1
8	Dişli Çark 2	22	Yatak Kapağı Contası 2
9	Uygu Kaması Bağı	23	Yatak Kapağı Contası 3
10	Rulman 1	24	Yatak Kapağı Contası 4
11	Rulman 2	25	Radyal Mil Contası 1
12	Rulman 3	26	Radyal Mil Contası 2
13	Rulman 4	27	Altı Köşe Başlı Cıvata 1-12
14	Emniyet Pulu		

Dişli kutusunun tüm bileşenleri Tablo 3.1’te gösterilmiştir. Bu bileşenler içerisinde hasar riski içeren parçalar ile aralarındaki bağlantılar doğrultusunda sistem güvenilirlik yapısı oluşturulmuştur, bkz. Şekil 3.1.

3.2. Sistem Güvenilirlik Yapısının Oluşturulması

Geleneksel tasarımda çoğu zaman bir sistemin hasar davranışından bahsedilirken sistemin en zayıf bileşeni sorumlu tutulur. Bazı durumlarda sadece bu bileşeni güçlendirilme yoluna gidilirken kimi zaman da tüm sistem için en zayıf bileşen doğrultusunda güvenlik katsayısı belirlenir ki bu durumda aşırı güvenli, gereksiz ağırlığa sahip görece daha maliyetli sistemler ortaya çıkar.

Güvenilirlik hesaplamalarında bir sistemin hasar davranışı sergileyebilecek tüm elemanları hasar davranışından sorumlu tutulur. Sistemin yapısı doğrultusunda bileşenler sistem güvenilirliğini arttırabilir veya azaltabilir.



Şekil 3.1 Dişli Kutusu için sistem güvenilirlik yapısı.

Tek kademeli dişli kutusu, sistem hasar davranışına katkıda bulunan tüm bileşenlerinin fonksiyonel olmasının gerektiği seri bir yapı sergiler, bkz Şekil 3.1.

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Dişli Kutusu}} = & R_{\text{Giriş Mil}} \cdot R_{\text{Çıkış Mil}} \cdot R_{\text{Dişli Çark 1, kırılma}} \\
 & \cdot R_{\text{Dişli Çark 2, kırılma}} \cdot R_{\text{Dişli Çark 1-2, aşınma}} \\
 & \cdot R_{\text{Uyu Kaması}} \cdot R_{\text{Rulman 2}} \cdot R_{\text{Rulman 1}} \cdot R_{\text{Rulman 3}} \\
 & \cdot R_{\text{Rulman 4}} \cdot R_{\text{Radyal Mil Contası 1}} \cdot R_{\text{Radyal Mil Contası 2}}
 \end{aligned}
 \quad (3.1)$$

Meydana çıkan seri sistemin güvenilirliği bileşenlerinin güvenilirlik değerlerinin çarpımı ile elde edilir, bkz. Eşitlik 3.1.

3.3. Sistemin Güvenilirlik Yapısındaki Elemanların Güvenilirlik Tahmini veya Hesaplanması

Güvenilirlik fonksiyonu hesaplanacak elemanların hasar verileri, elemanların gözlem ve tecrübelerine dayalı elde edilmiş parametre aralıklarına sadık kalınarak rasgele üretilmiştir. Elemanlar için hasar verileri Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Sistem elemanlarının hasar verileri .

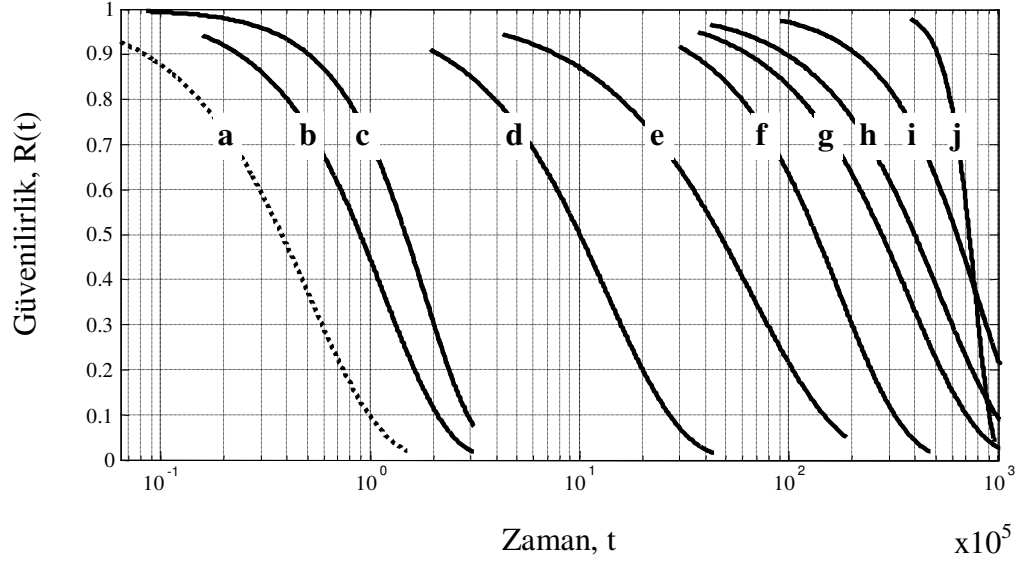
Dene No.	Giriş Mili	Çıkış Mili	Dişli Çark 1, kırılma	Dişli Çark 2, kırılma	Dişli Çark 1-2, aşınma	Uygu kaması	Rulman 1-2	Rulman 3-4	Radyal Mil Contası 1-2
	10^8	10^8	10^5	10^5	10^6	10^7	10^7	10^7	10^8
1	0,2715	1,3669	0,7414	2,0160	4,3749	5,8978	1,8849	3,3050	0,2345
2	0,2929	1,0316	0,1862	1,4408	0,4195	8,7173	0,0898	1,8158	0,1241
3	0,9866	0,1859	1,2566	2,5627	0,3503	3,7919	0,0528	1,3477	1,2559
4	1,1261	1,0395	0,4290	1,2692	0,2656	5,4607	0,5152	0,3008	0,0366
5	0,4438	0,2140	0,4340	2,1728	2,4071	7,1082	0,5173	4,7089	0,1270
6	0,0420	1,0668	1,0442	1,1494	1,1225	6,1161	0,7537	3,6507	0,3600
7	0,6386	0,0907	0,7125	1,0684	1,5095	6,7878	0,0921	2,1832	0,4152
8	0,3567	0,8331	2,1051	0,9303	0,3784	9,5976	0,6977	0,6105	0,4028
9	0,8398	1,1999	2,3002	1,6312	1,0500	7,8817	1,4222	0,4557	0,5915
10	0,2114	1,0475	0,7722	3,0635	0,1940	8,9541	0,1994	0,6132	0,3381
11	0,7781	0,4373	0,3970	2,2951	1,8086	8,3434	0,6635	1,0590	0,3359
12	0,4358	0,6281	0,1573	0,4875	1,4966	7,8814	0,9601	0,8246	0,1007
13	0,2549	0,8300	1,7811	2,6282	1,9878	6,6928	0,6408	1,5508	0,1148
14	0,0993	0,1964	0,7109	0,7383	2,0410		1,5049	0,4325	0,2198
15	0,0424	0,4755	0,8765	1,4176	0,2646		1,3219	2,0592	0,4856
16	0,3936		3,0987	0,0846	0,7526		0,0553	0,5382	
17	1,0584		1,1359	3,1111			0,0427	2,0918	
18			1,6405	1,6512			0,4105	1,2981	
19			0,3749	2,8944					
20				0,3044					

Matlab R2007a programlama dilinde yazılan program (bkz. EK-1) ile güvenilirlik yapısındaki her bileşenin hasar verilerine dayalı histogram, Weibull Olasılık Kağıdı, hasar olasılığı fonksiyonu $F(t)$ ve hasar olasılı fonksiyonunun %95 güven düzeyindeki sınırları elde edilmiştir, grafiksel sonuçlar EK-2'dedir. Hesaplanan Weibull Olasılık Dağılımı parametreleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Sistem elemanlarının için şekil parametresi b ve karakteristik ömür parametresi T değerleri ve bunların %95 güven aralığı sınır değerleri

Bileşen Adı	Şekil Parametresi			Karakteristik Ömür P.		
	b Alt Sınır %97,5	b	b Üst Sınır %97,5	T Alt Sınır %97,5	T	T Üst Sınır %97,5
Giriş Mili	0,91966	1,3553	1,9972	0,36621 $\times 10^8$	0,52936 $\times 10^8$	0,76518 $\times 10^8$
Çıkış Mili	1,1264	1,7348	2,672	0,58421 $\times 10^8$	0,79291 $\times 10^8$	1,0762 $\times 10^8$
Dişli Çark,1 kırılma	1,0124	1,4311	2,0229	0,84155 $\times 10^5$	1,1732 $\times 10^5$	1,6356 $\times 10^5$
Dişli Çark,2 kırılma	1,2403	1,7906	2,5851	1,42 $\times 10^5$	1,8332 $\times 10^5$	2,3666 $\times 10^5$
Dişli Çark,1-2 aşınma	0,84474	1,2335	1,8012	0,9008 2×10^6	1,3712 $\times 10^6$	2,0871 $\times 10^6$
Uygu Kaması	3,5632	5,5234	8,5621	7,0166 $\times 10^7$	7,7813 $\times 10^7$	8,6292 $\times 10^7$
Rulman 1-2	0,72443	1,0603	1,5518	0,42458 $\times 10^7$	0,67126 $\times 10^7$	1,0612 $\times 10^7$
Rulman 3-4	0,98742	1,4062	2,0025	1,2502 $\times 10^7$	1,7704 $\times 10^7$	2,5071 $\times 10^7$
Radyal Mil Contası 1-2	0,89532	1,3009	1,8902	0,24745 $\times 10^8$	0,3735 $\times 10^8$	0,56378 $\times 10^8$

Sitem güvenilirlik yapısındaki elemanların elde edilen hasar olasılığı fonksiyonları doğrultusunda çizilen güvenilirlik fonksiyonu eğrileri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Tek kademeli dişli kutusu için bileşenlerin güvenilirlik grafiği **a)** Sistem, **b)** Dişli Çark 1; kırılma, **c)** Dişli Çark 2; kırılma, **d)** Dişli Çark 1-2; aşınma, **e)** Rulman 1-2, **f)** Rulman 3-4, **g)** Uygu Kaması, **h)** Radyal Mil Contası 1-2, **i)** Giriş Mili, **j)** Çıkış Mili güvenilirlik fonksiyonu eğrileri.

SONUÇ

Bu çalışmada bir güvenilirlik programının önemli bölümlerinden birisi olan hasar verilerine dayalı bileşen ve sistem güvenilirliği analizi ele alınmıştır. Ele alınan sistem mekanik bir sistem olup makine elemanı güvenilirlik modellenmesinde mekanik sistemlerde yaygın kullanıma sahip Weibull Olasılık Dağılımı kullanılmıştır. Analizde benzer sistemlerin hasar davranışlarına sadık kalınarak rasgele üretilen tamamlanmış hasar verileri kullanılmıştır. Verilerin Weibull Olasılık Dağılımına uyumluluğu Weibull Olasılık Kağıdı ile tespit edilmiştir ve dağılım parametreleri Maksimum Benzerlik Yöntemi ve Matlab R2007a gömülü komutu “wblfit” kullanılarak hesaplanmıştır.

Güvenilirlik hesaplamaları ürün yaşam döngüsünün bir çok aşamasında yapılabilir, bu çalışmada deney sürecinde elde edildiği kabul edilen veriler doğrultusunda güvenilirlik hesaplaması yapılmıştır.

Yöntem daha henüz düşünce aşamasındaki bir ürün için farklı konstrüksiyonların kıyaslanmasında kullanılabilir. Örneğin dişli çark mekanizmalarında benzer yük, ortam ve şartlar altında kullanılan düz dişli çark mekanizması ve planet dişli çark mekanizması hasar verileri analiz edilerek konstrüksiyonlar arasındaki seçim kararı desteklenebilir.

Tasarım aşamasındaki bir ürün için eğer tek bir parça ise deney verilerinin analizi ile konstrüksiyon değişimi veya garanti maliyeti konusunda dengeleme yapılabilir. Eğer bir sistem ise yine bileşenlerin deney hasar verilerinin analizi ile sistemin toplam güvenilirliği elde edilebileceği gibi bileşenler arasındaki güvenilirlik dengelenmesi konusunda karar verilebilir.

Belirli bir süre üretimi yapılacak bir ürün için garanti verileri kullanılarak yapılan güvenilirlik analizleri ile ürünün bundan sonraki yaşamındaki garanti maliyeti tahmin edilebilir. Eğer ürünün üretimi devam ediyorsa ortaya çıkan hasar davranışı doğrultusunda yapılacak güvenilirlik analizleri ile üretimde yapılacak iyileştirmeler

veya konstrüksiyon değişikliği ile ürünün hasar davranışı değiştirilebilir ve gelecek garanti maliyetleri azaltılabilir.

KAYNAKLAR

AKDENİZ, F. 2002. Olasılık ve İstatistik. Nobel Kitabevi, Adana. 549 s.

AKKURT, M. 1997. Makine Konstrüksiyonunda Güvenirlilik. Birsen Yayınevi, İstanbul. 207 s.

BAYAZIT, M. 2007. Mühendislikte Güvenirlilik ve Risk Analizi. Birsen Yayınevi. 148 s.

BERTSCHE, B. ve G. LECHNER. 2004. Zuverlässigkeit im Fahrzeug und Maschinenbau, 3, Auf, Springer. 495 s. (Çeviri: Yrd, Doç, Dr, Kadir ÇAVDAR)

BİRGÖREN, B. ve M.H. DİRİKOLU. 2004. A Computer Simulation for Estimating Lower-Bound Fracture Strength of Composites Using Weibull Distribution. Composites Part B: Engineering, 35-263.

COPPOLA, A. 1984. Reliability Engineering of Electronic Equipment: A Historical Perspective. IEEE Trans, Reliability, s 29-35.

DANACI, M.A. 2005. Güvenirlilik Analizinde Tamamlanmış Veriler için Weibull Dağılımını Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale. 103 s.

DHILLON, B.S. 1999. Design Reliability (Fundamentals and Application). CRC pres, Boca Raton, London, New York, Washington, D,C. 416 s.

EBELING, C.E. 1997. Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. McGraw-Hill Companies, Inc., New York. 576 s.

HENNEY, K. 1956. Reliability Factors for Ground Elektronik Equipment. McGraw-Hill, New York. 282 s.

LAW, A.M. ve W.D. KEITON. 1991. Simulation Modeling and Analysis (McGraw Hill Series in Industrial Engineering and Management Science). McGraw-Hill College. 745 s.

LIEBLEIN, J. ve M. ZELEN. 1956. Statistical Investigation of the Fatigue Life of Deep-Groove Ball Bearings. Journal of Research of the National Bureau of Standarts. 57, 273-316.

MEYER, P.L. 1970. Introductory Probability and Statistical Applications. Addison-Wesley Pub. Co.367 s.

MURTHY, D.N.P., M. XIE ve R. JIANG. 2004. Weibull Models. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 408 s.

RÜZGAR, B. 1992. Sürekli Yapıda İki Parametrelili Bir Model ve Uygulaması. Doktora Tezi, NO:. Marmara Üniversitesi, İstanbul.

SMITH, D.J. 2001. Reliability, Maintainability and Risk (Practical Methods for Engineers Sixth Edition). Butterworth- Heinemann. 335 s.

ŞENTÜRK, A. 1998. Ömür Verileri Analizi ve Bir Uygulama, Doktora Tezi. Künye No:57997, Bursa. 135 s.

TAHRALI, N. ve F. DİKMEN. 2004. Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik ve Ömür Hesapları. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul. 125 s.

THORMAN, D.R., L.J. BAIN ve C.E. ANTLE. 1969. Interferences on the Parameters of the Weibull Distribution. Technometrics, 11-445.

WEIBULL, W. 1951. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. Journal of Applied Mechanics, 18:293-7.

YANG, G. 2007. Life Cycle Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada. 517 s.

<http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lifedataweb.htm> , Erişim tarihi: 29.12.2008.
Konu: Confidence Bounds.

EKLER

- Ek- 1 Güvenilirlik dağılımı parametreleri ve grafiklerin elde edilmesinde kullanılan program.
- Ek- 2 Matlab R2007a programlama dili ile yazılan program ile elde edilen makine elemanlarının histogram, Weibull Olasılık Kağıdı, Hasar Olasılığı grafikleri ve Hasar Olasılığı Fonksiyonlarının güven aralıkları

Ek- 1 Güvenilirlik dağılımı parametreleri ve grafiklerin elde edilmesinde kullanılan program.

```

function [] = weibullanaliz(n)

close all
%%% MAKSİMUM BENZERLİK YÖNTEMİ
% X      : Küçükten büyüğe dizilmiş arıza verileri
% initm  : Newton-Raphson Yöntemi için başlangıç değeri
function [SMLE] = mles(X,initm)
    n = length(X);
    sumXi = 0;
    sumlnXi = 0;
    sumlnXisq = 0;
    for i=1:n
        t = log(X(i));
        sumXi = sumXi + X(i);
        sumlnXi = sumlnXi + t;
        sumlnXisq = sumlnXisq + t*t;
    end
    if initm<0
        m = (6/((pi*pi)*(n-1))*(sumlnXisq-
((sumlnXi*sumlnXi)/n)))^(-1/2);
    else
        m = initm;
    end
    while(true)
        A = sumlnXi/n;
        B = 0;
        C = 0;
        H = 0;
        for u=1:n
            t = log(X(u));
            B = B + (power(X(u),m));
            C = C + ((power(X(u),m))*t);
            H = H + ((power(X(u),m))*t*t);
        end
        deltaa = (A+(1/m)-(C/B))/((1/(m*m))+((B*H)-(C*C))/(B*B));%
        Newton Raphson genel döngü denklemi %
        m = m + deltaa;
        if abs(deltaa)<0.00001 % Tolerans değer %
            break
        end
    end
    end
    s0 = power(B/n,1/m);
    sb = m;
    sT = s0;
end
display(' ');
display(' ');
display(' ');
display('ISLENECEK VERIYI GIRMEK ICIN BIR YONTEM SECINIZ')
display(' ');
display(' ');
display('1 - MANUEL (veriler kullanıcı tarafından girilir) ');
display(' ');

```

```

display('2 - DOSYADAN OKUTMA (Veriler fdata.xls olarak adlandırılan
');
display('                                ve verilerin kolon olarak kaydedildiği
dosyadan okunur)');
display('                                (fdata.xls DOSYASI MATLAB KLASORUNDE
OLMALI)');
display('                                C:\Documents and
Settings\Belgelerim\MATLAB) ');
display(' ');
sec = input('SECENEK : ');
if sec==1
    n = input('ORNEK SAYISINI BELIRLEYINIZ : ');
    display(' ');
    for i=1:n
        FD(i) = input([int2str(i),'. VERIYI GIRINIZ : ']);
    end
    display('HASAR SURELERI : ');
    display(sort(FD));
    display(' ');
    display(' ');
end
if sec==2
    FD = xlsread('fdata.xls');
    FD = FD';
    display(' ');
    display(' ');
    display('HASAR SURELERI : ');
    display(sort(FD));
    display(' ');
    display(' ');
end
X = sort(FD);
display(' ');
display(' ');
display(' ');
R = input('BENZETIM TEKRAR SAYISINI BELIRLEYINIZ (1000-99999) : ');
display(' ');
display('NEWTON-RAPHSON KOK BULMA YONTEMI ICIN BASLANGIC DEGERI
BELIRLEYINIZ ');
initm = input('(Otomatik hesaplama icin -1 girin) : ');
display(' ');
conflev = input('GUVEN ARALIGINI BELIRLEYINIZ ( 90%, 95%, 99%, ??% ) :
');
conflev = conflev/100;
k = (1-conflev)/2;

mles(X,initm);
szeros = zeros(1,length(X));
[aa,bb] = wblfit(X,(1-conflev),szeros);

jj=1;
while (true)
    fitt = min(FD):jj:max(FD);
    jj=jj/10;
    if length(fitt)>500
        break
    end
end
end

```



```

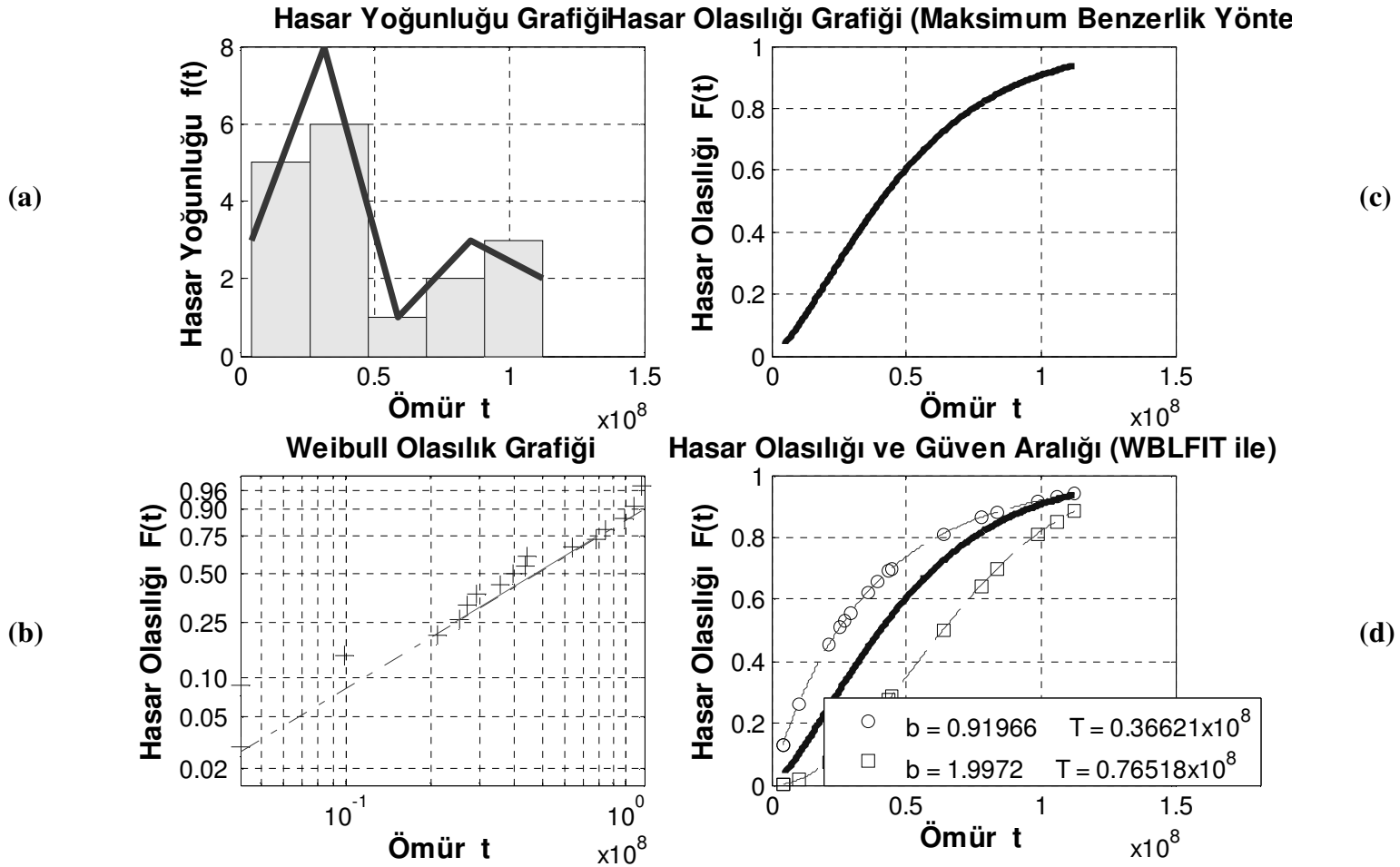
for i=1:length(FD)
    FDAW(i) = 1-exp(-(FD(i)/bb(1,1))^bb(1,2));
    FDUW(i) = 1-exp(-(FD(i)/bb(2,1))^bb(2,2));
    FDRW(i) = 1-exp(-(FD(i)/aa(1,1))^aa(1,2));
end
n = length(X);
figure
    subplot(2,2,1);
hist(X,ceil((length(X))^(1/2)));
set(get(gca,'child'),'FaceColor',[.9 .9 .9]);
grid on
hold on
XX = linspace(min(X),max(X),ceil((length(X))^(1/2)));
plot(XX,hist(X,XX));
set(findobj('Type','line'),'Color','r','LineWidth',3);
title('Hasar Yoğunluğu Grafiği','fontsize',14,'fontweight','b');
xlabel('Ömür t','fontsize',14,'fontweight','b');
ylabel('Hasar Yoğunluğu f(t)','fontsize',14,'fontweight','b');
    subplot(2,2,3);
wblplot(X);
xlabel('Ömür t','fontsize',14,'fontweight','b');
ylabel('Hasar Olasılığı F(t)','fontsize',14,'fontweight','b');
title('Weibull Olasılık Grafiği','fontsize',14,'fontweight','b');
    subplot(2,2,2);
plot(fitt,1-exp(-(fitt./sT).^sb),'-b','LineWidth',3);
hold on
grid on
xlabel('Ömür t','fontsize',14,'fontweight','b');
ylabel('Hasar Olasılığı F(t)','fontsize',14,'fontweight','b');
TFont.Bold = 0;
title('Hasar Olasılığı Grafiği (Maksimum Benzerlik
Yöntemi)','fontsize',14,'fontweight','b');
    subplot(2,2,4);
plot(FD,FDAW,'o','MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',7);
hold on
grid on
plot(FD,FDUW,'s','MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',7);
xlabel('Ömür t','fontsize',14,'fontweight','b');
ylabel('Hasar Olasılığı F(t)','fontsize',14,'fontweight','b');
legend(['b = ',num2str(bb(1,2)),' T = ',num2str(bb(1,1))],[ 'b = ',
num2str(bb(2,2)),' T = ',num2str(bb(2,1))]);
title('Hasar Olasılığı ve Güven Aralığı (WBLFIT
ile)','fontsize',14,'fontweight','b');
plot(fitt,1-exp(-(fitt./bb(1,1)).^bb(1,2)),'--r','MarkerSize',2);
plot(fitt,1-exp(-(fitt./bb(2,1)).^bb(2,2)),'--r','MarkerSize',2);
plot(fitt,1-exp(-(fitt./aa(1,1)).^aa(1,2)),'-b','LineWidth',3);

display(' ');
display(' ');
display(' Maksimum Benzerlik Yontemi ile elde edilen degerler');
display(' ');
display(['b : ' num2str(sb)]);
display(' ');
display(['T : ' num2str(sT)]);

display(' ');
display(' ');
display(' WBLFIT ile elde edilen degerler');

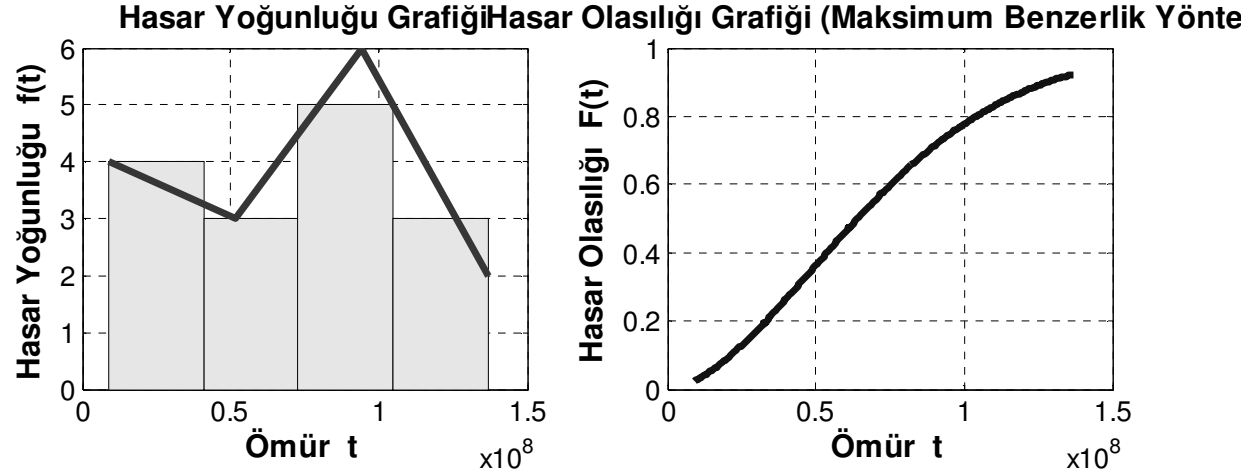
```

```
display(' ');
display(['b : ' num2str(aa(1,2))]);
display(' ');
display(['T : ' num2str(aa(1,1))]);
display(' ');
display(['% ' num2str(100*conflev) ' Guven araligi icin b (şekil
parametresi) : ' num2str(bb(1,2)) ' - ' num2str(bb(2,2))]);
display(' ');
display(['% ' num2str(100*conflev) ' Guven araligi icin T (olcek
parametresi) : ' num2str(bb(1,1)) ' - ' num2str(bb(2,1))]);
end
```



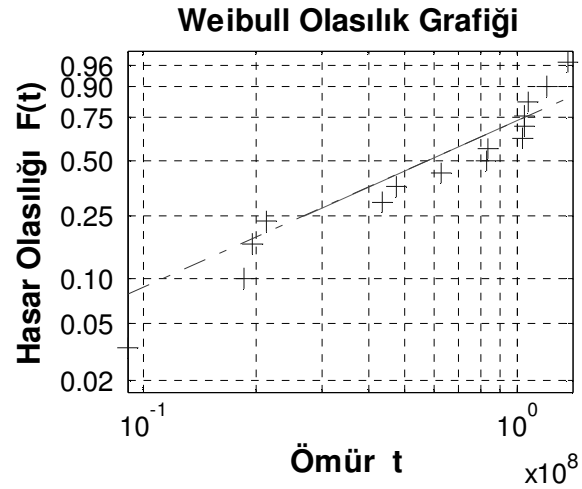
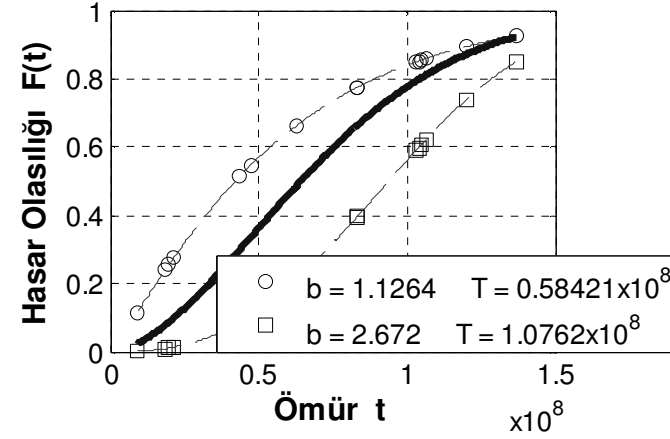
Giriş Mili için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

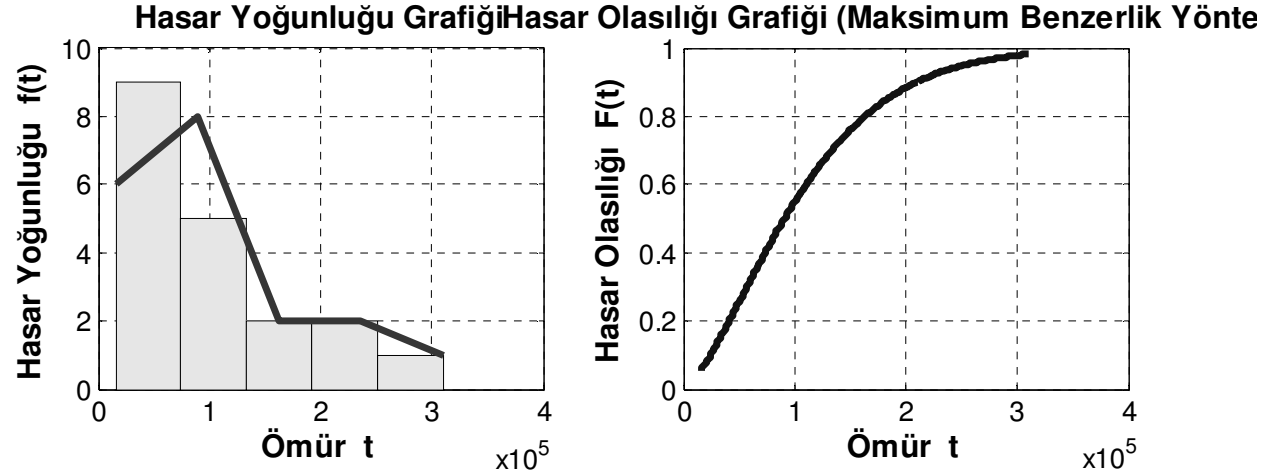
(b)

**Hasar Olasılığı ve Güven Aralığı (WBLFIT ile)**

(d)

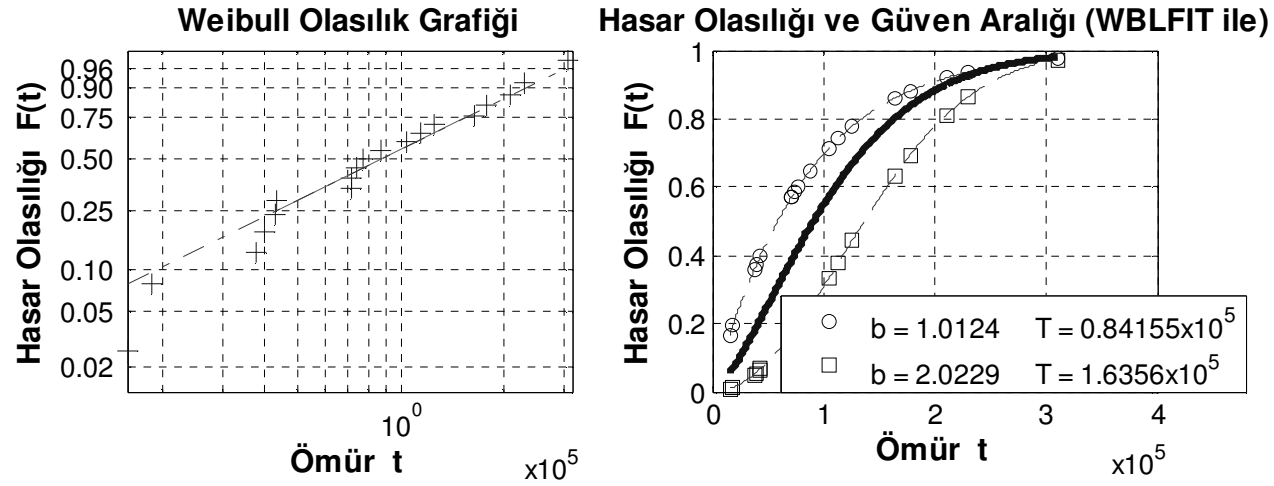
Çıkış Mili için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

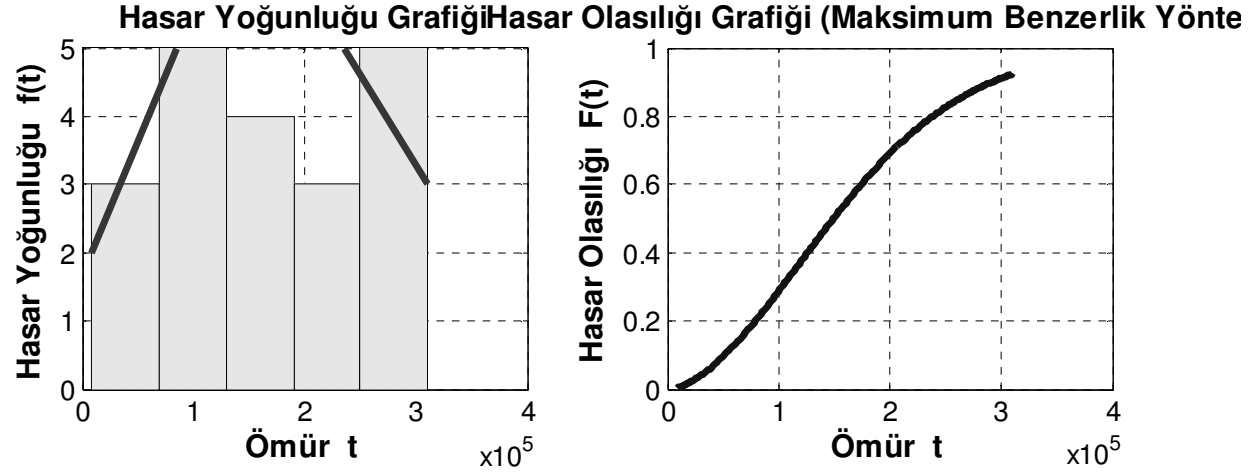
(b)



(d)

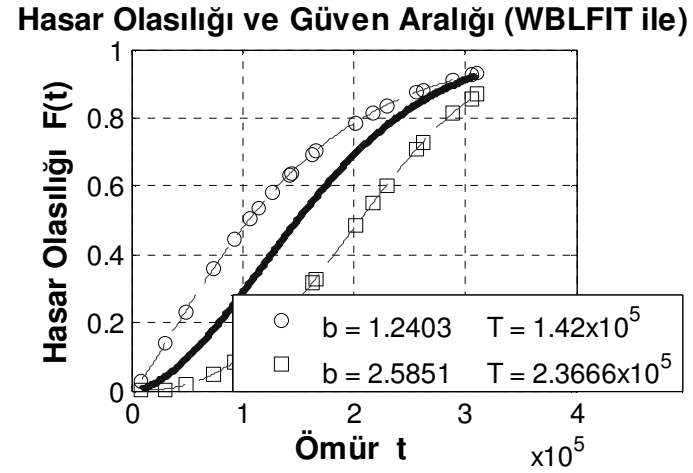
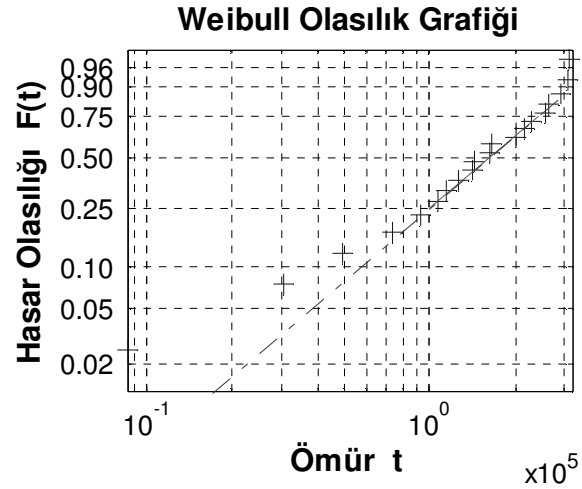
Dişli Çark, 1 kırılma için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

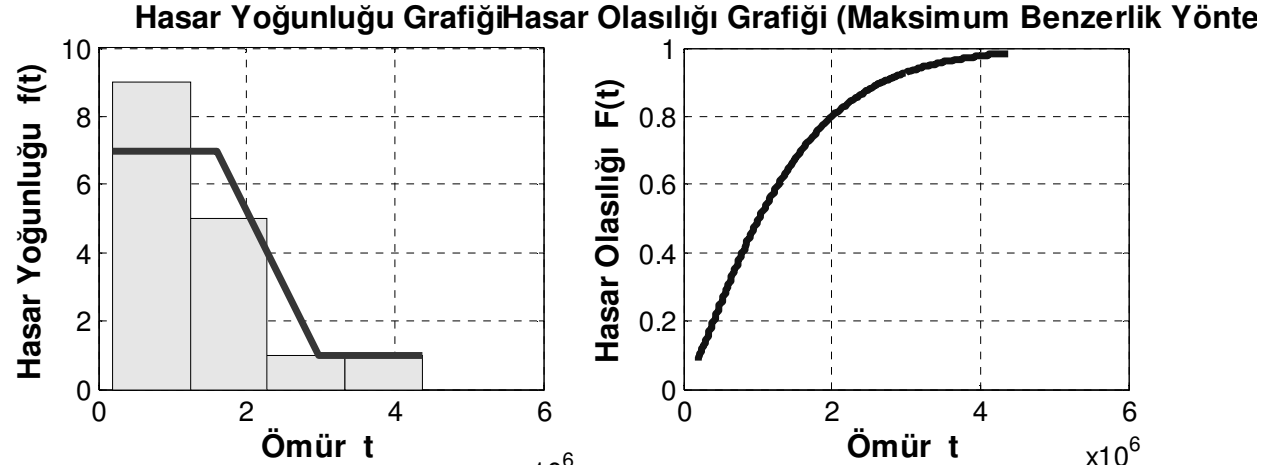
(b)



(d)

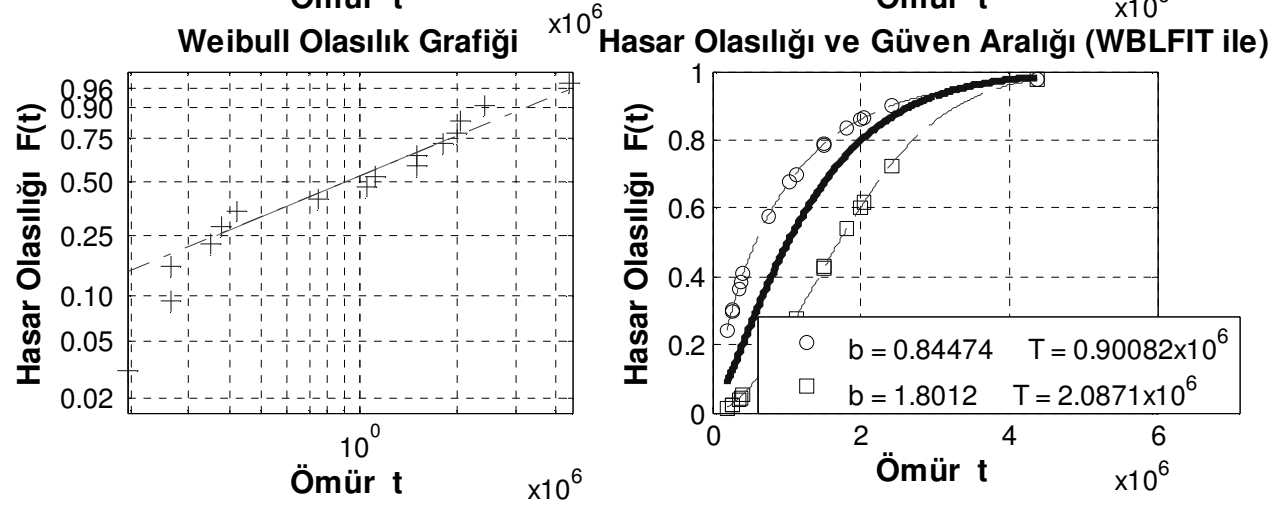
Dişli Çark, 2 kırılma için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

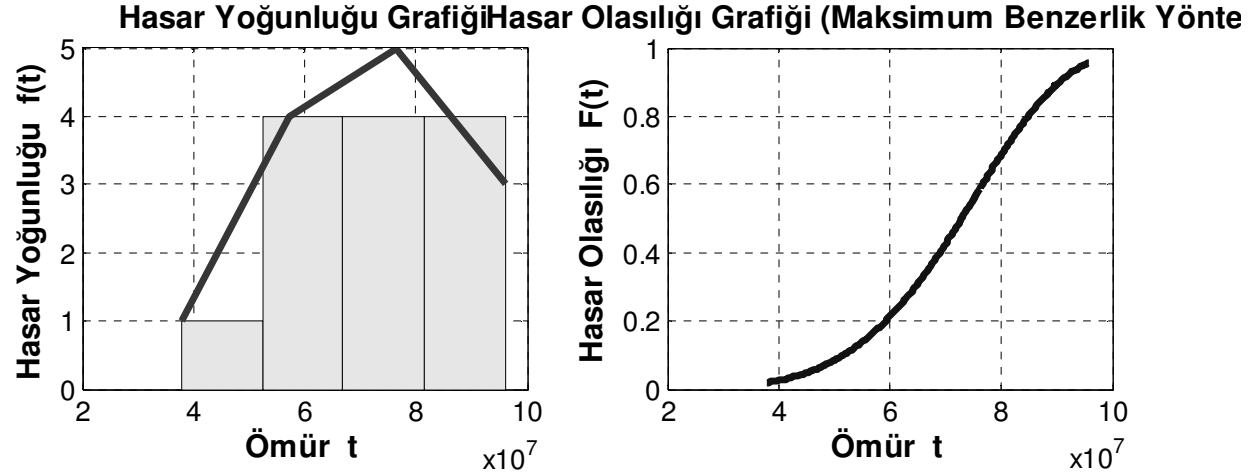
(b)



(d)

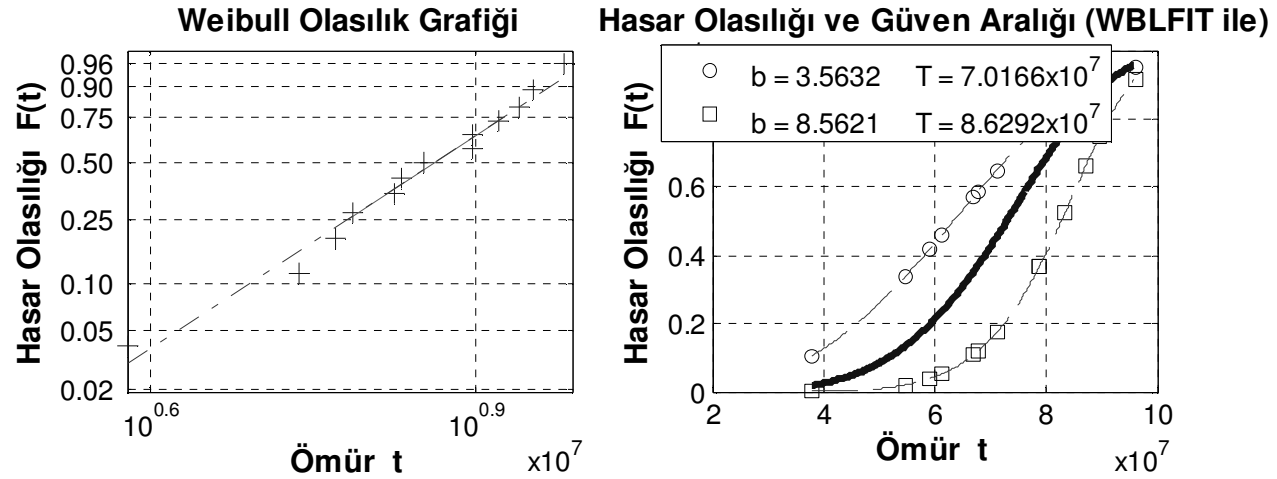
Dişli Çark, 1-2 aşınma için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

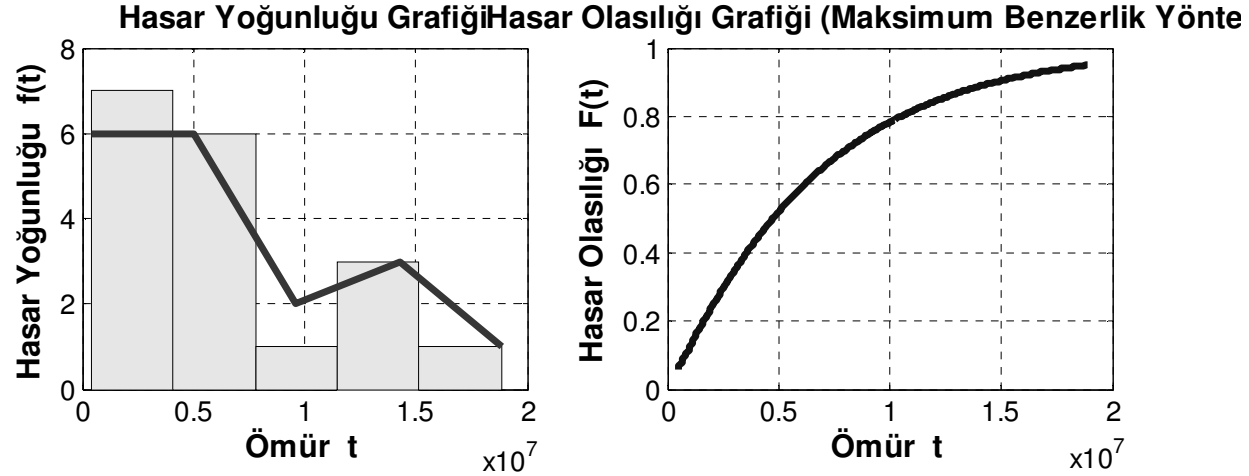
(b)



(d)

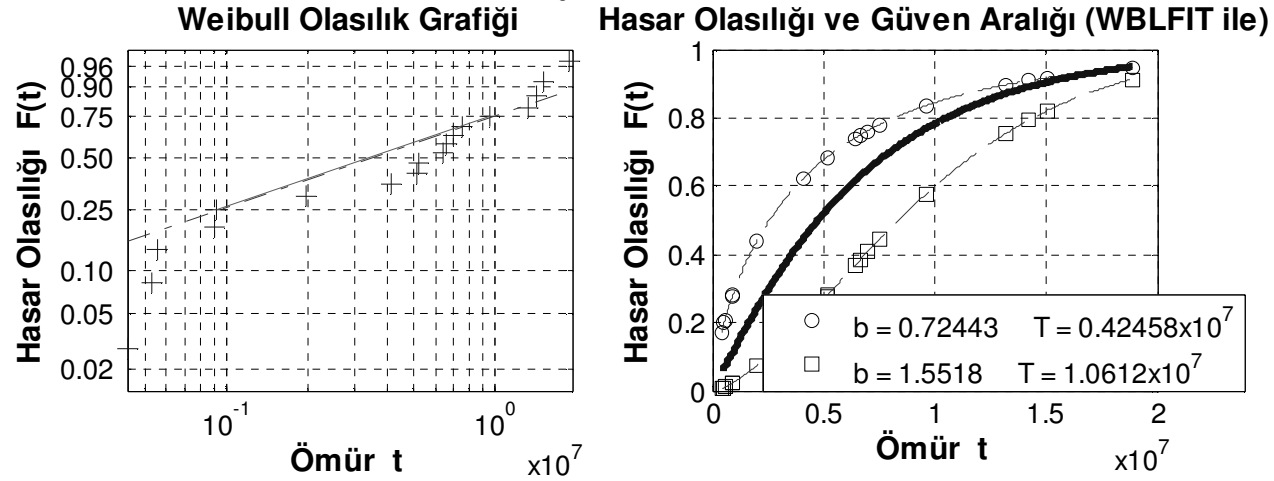
Uygu Kaması için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

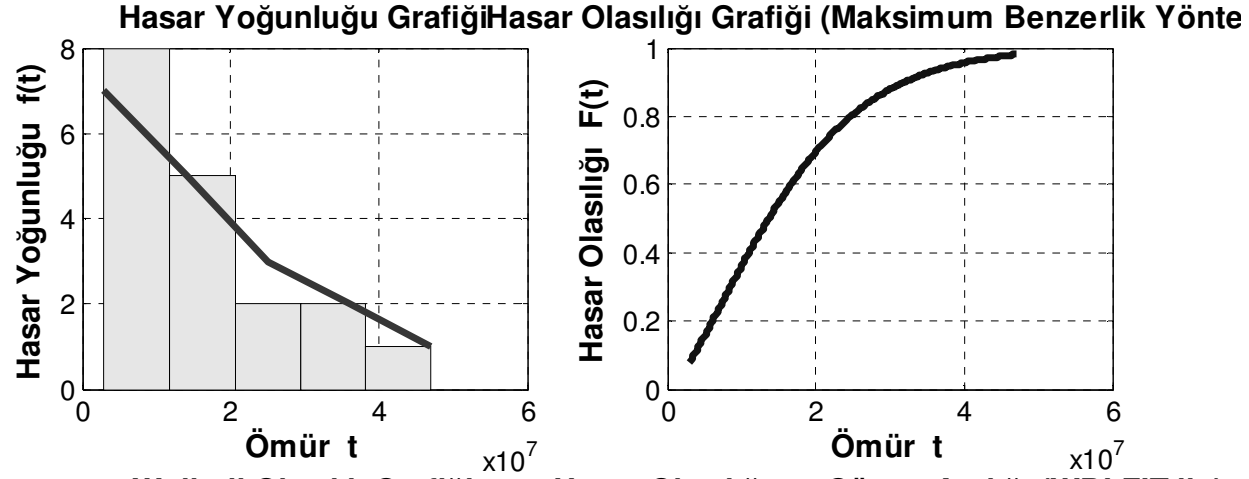
(b)



(d)

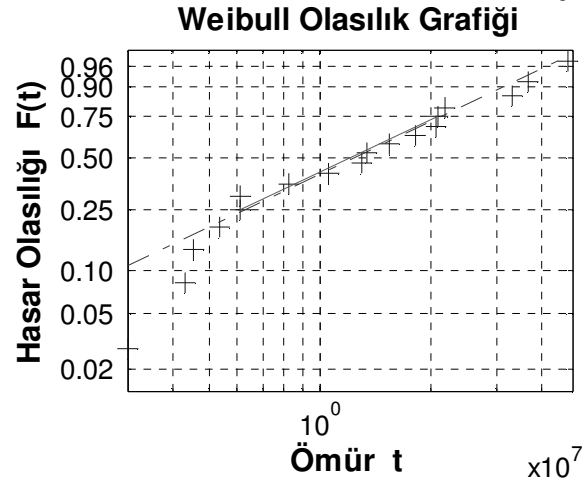
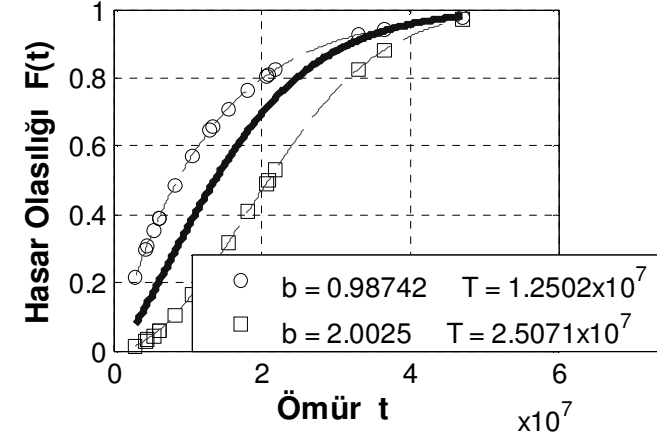
Rulman 1-2 için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

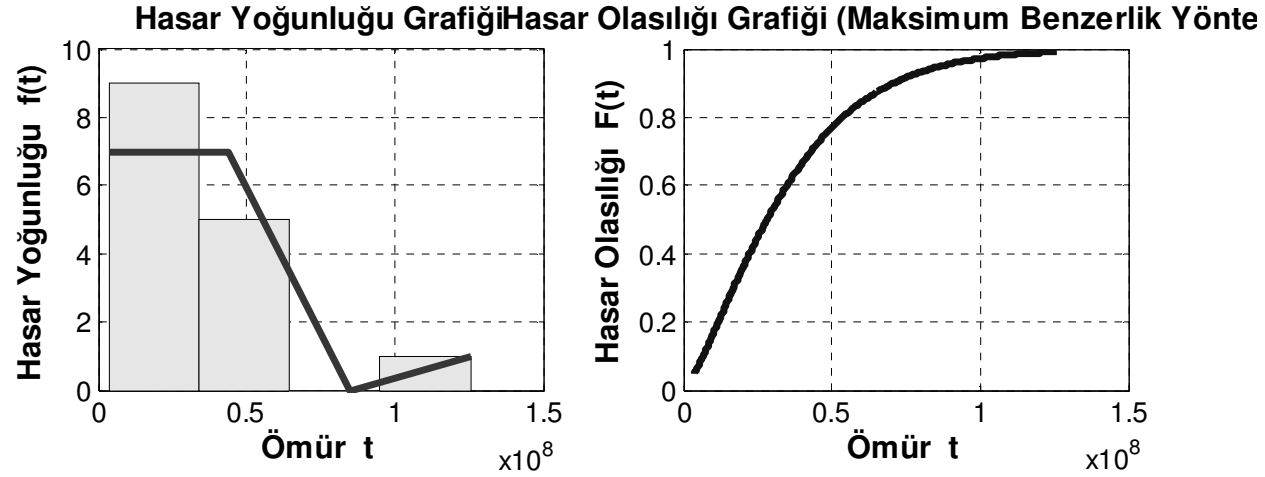
(b)

**Hasar Olasılığı ve Güven Aralığı (WBLFIT ile)**

(d)

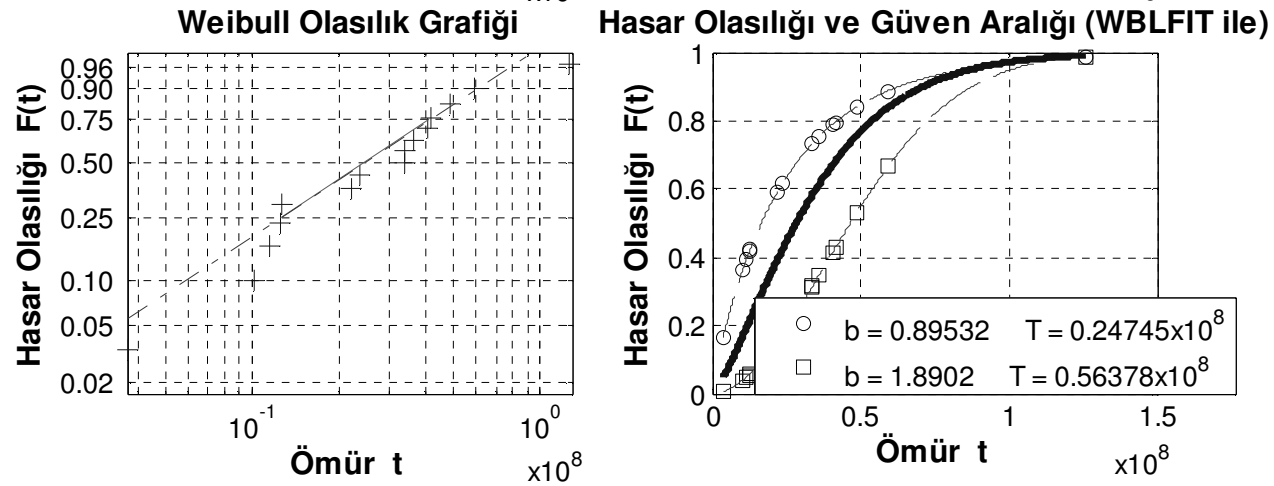
Rulman 3-4 için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

(a)



(c)

(b)



(d)

Radyal Mil Contası 1-2 için (a) Histogram Diyagramı, (b) Weibull Olasılık Kağıdı, (c) Maksimum Benzerlik yöntemi ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$, (d) Yerleşik Matlab komutu “wblfit” ile elde edilen Hasar Olasılığı $F(t)$ ve %95 güven aralığı

ÖZGEÇMİŞ

31.03.1983 yılında İstanbul'da doğan Şeref Atamer ilk öğrenimini Dumlupınar İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Gebze Anadolu Lisesinde 1994-2001 yılları arasında lisans eğitimini Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde 2001-2006 yılları arasında tamamladı. 2006 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliğinde yüksek lisansa başladı ve bir sene Bosch Dizel Sistemlerde yarı zamanlı Bakım Mühendisi olarak çalıştı.

TEŞEKKÜR

Tez konusunu bana öneren ve hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Kadir Çavdar'a, bu günlere gelmeme katkısı olan bütün hocalarıma ve her türlü desteklerinden ve fedakarlıklarından dolayı aileme teşekkür ederim.

