

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

**GÜVENİLİRLİK VERİTABANLARINDA
BAĞIMLI REKABET EDEN RİSK MODELİ**

**Hazırlayan
Selda SAKAR**

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

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

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

**GÜVENİLİRLİK VERİTABANLARINDA
BAĞIMLI REKABET EDEN RİSKMODELİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Selda SAKAR**

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

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

 Selda SAKAR

“Güvenilirlik Veritabanlarında Bağımlı Rekabet Eden Risk Modeli” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Selda SAKAR

Danışman

Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

Doç.Dr. Selda KAPAN ULUSOY danışmanlığında Selda SAKAR tarafından hazırlanan “Güvenilirlik Veritabanlarında Bağımlı Rekabet Eden Risk Modeli” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

...26/07/2019

JÜRİ:

Danışman : Doç.Dr. Selda KAPAN ULUSOY

Üye : Prof.Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Üye : Doç.Dr. Neslihan DEMİREL

Selda Kapan
Emel Kizilkaya Aydoğan
Neslihan Demirel

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 30/07/2019 tarih ve 2019/45-22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Mehmet Akkurt
...30/07/2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sevgili annem Selma GÜLTAŞ, babam Selahattin GÜLTAŞ, kardeşlerim Esra GÜLTAŞ ve Büşra GÜLTAŞ'a, eşim Ömer SAKAR'a tüm eğitim hayatım boyunca yanımda oldukları, bana sonsuz destek verdikleri, hep güvendikleri ve cesaretlendirdikleri, sevgilerini her daim hissettirdikleri için teşekkür ediyor ve bu tezi GÜLTAŞ ailesine adıyorum.

Selda SAKAR

Kayseri, Temmuz 2019

GÜVENİLİRLİK VERİTABANLARINDA BAĞIMLI REKABET EDEN RİSK MODELİ

Selda SAKAR

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

ÖZET

Kompleks sistemler birden fazla sebepten dolayı arızalanabilirler ve önleyici bakıma tabi tutulurlar. Sistem çalışması bir sebepten dolayı durduğunda, diğer sebepler sansürlenmiş olur. Bu nedenle böyle durumlarda sistemin durma sebeplerine rekabet eden riskler adı verilir. Eğer rekabet eden riskler varsa, risklerin oluşturduğu veri setinden her bir riskin güvenilirlik fonksiyonu “tanımlanamamaktadır”. Bu nedenle arıza oranı fonksiyonu gibi önemli güvenilirlik ölçütleri de hesaplanamamaktadır. Rekabet eden risk modelleri her bir riske ait güvenilirlik fonksiyonunu belirleyebilmemizi sağlamaktadır. Rekabet eden risk modelleri genel olarak risklerin bağımsız ve bağımlı kabul edildiği iki gruba ayrılabilirler.

Bu tezde bağımlı risk modelleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bir hava yolu şirketine ait uçakların alt sistemlerinin bakım verileri rekabet eden risk modelleri uygulanarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik Veritabanı, Güvenilirlik Analizi, Bağımlı Rekabet Eden Riskler Teorisi, Güvenilirlik Parametreleri, Rassal İşaret Modeli.

THE DEPENDENT COMPETING RISK MODEL ON RELIABILITY DATABASES

Selda SAKAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ABSTRACT

Complex systems can fail more than one reason and are subjected to preventive maintenance. When the system stops for a reason, the other causes are censored. Therefore, in such cases, the reasons why the system stops are called competing risks. If there are competing risks, the reliability function of each risk cannot be identified from the data set of competing risks. Therefore, important reliability measures such as failure rate function cannot be calculated. Competing risk models enable us to determine the reliability function of each risk. Competing risk models can generally be divided into two groups, where risks are considered independent and dependent.

In this thesis, studies on dependent risk models were made. Maintenance data of the subsystems of aircrafts belonging to an airline were analyzed by applying competing risk models.

Keywords: Reliability Database, Reliability Analysis, Dependent Competing Risk Theory, Reliability Metrics, Random Sign Model.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	i
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM PROBLEMİN TANIMI VE GENEL BİLGİLER

1.1.Güvenilirlik ve Güvenilirlik Ölçütleri.....	3
1.2.Bakım-Onarım	7

2.BÖLÜM REKABET EDEN RİSKLER TEORİSİ

2.1. Rekabet Eden Risk Modelleri	11
2.2. Bağımsız Rekabet Eden Risk Modelleri.....	14
2.2.1. Bağımsız Üstel Model	15
2.3. Bağımlı Rekabet Eden Risk Modelleri.....	16
2.3.1. Rassal İşaret Modeli	16
2.3.2. Langseth-Bedford-Lindqvist Modeli.....	17
2.3.3. Rassal Kırpma Modeli.....	19
2.4. Model Seçim Kriterleri	19

3.BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. Verilerin Tanımlanması	21
3.2. Mod Kontrol Panel Ünitesinin Analizi.....	21
3.3. Yağlama Sisteminin Analizi	25
3.3. Durum Cayrosu Ünitesinin Analizi	29

4. BÖLÜM

TARTIŞMA SONUÇ VE BULGULAR

4.1. Sonuç	33
KAYNAKÇA	35
ÖZGEÇMİŞ.....	37

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması	9
Tablo 3.1. Bakım Verisi Formatı	21



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Elektrik-elektronik bileşenler için küvet arıza oranı eğrisi.....	4
Şekil 1.2. Mekanik bileşenler için arıza oranı eğrisi.....	5
Şekil 1.3. Olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları.....	6
Şekil 1.4. Bakım ve arıza maliyetleri.....	8
Şekil 3.1. Mod kontrol paneli X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları	23
Şekil 3.2. Mod kontrol paneli X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları.....	23
Şekil 3.3. Mod kontrol paneli X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....	24
Şekil 3.4. Mod kontrol paneli Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....	24
Şekil 3.5. Yağlama sistemi X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları.....	26
Şekil 3.6. Yağlama sistemi X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları.....	27
Şekil 3.7. Yağlama sistemi X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....	27
Şekil 3.8. Yağlama sistemi Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....	28
Şekil 3.9. Durum cayrosu ünitesi X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları	30

Şekil 3.10. Durum cayrosu ünitesi X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları.....30

Şekil 3.11. Durum cayrosu X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....31

Şekil 3.12. Durum cayrosu Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri.....31



GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle günlük hayatın birçok alanına etki eden karmaşık sistemlerin sayısı oldukça artmıştır. Elektrik ve doğalgaz dağıtım sistemleri, nükleer santraller, uçaklar, askeri sistemler bazı örneklerdir. Böyle sistemlerin çalışma halindeyken arızalanmaları sonucunda büyük boyutlarda can ve mal kaybı olabileceğinden güvenli ve etkin bir şekilde çalışmalarını sürdürmeleri için bakım aktiviteleri son derece önemlidir. Bakım planları yapılırken tahmin edilmesi gereken en önemli değişken sistemin güvenilirliğidir. Güvenilirlik bir sistemin tasarlanmış çalışma ömrü boyunca, kendisinden beklenen fonksiyonları belirlenen çalışma şartları altında yeterince yerine getirebilme olasılığı olarak tanımlanır [1]. Sistem güvenilirliğini istenen düzeyde koruyabilecek bakım planları çalışma sırasındaki arızaları önleyerek, faciaların ortaya çıkmasını engellemiş olur.

Güvenilirlik analizlerinde mevcut verilerin değerlendirilebilmesi ve bunlardan sonuçların elde edilebilmesi için özel geliştirilmiş veri tabanlarına ve özel veri formatlarına ihtiyaç duyulmuştur. Modern güvenilirlik veritabanları üç kullanıcı grubuna hitap etmeye çalışmışlardır.

Bunlar;

- i) Bakım performansını optimize etmeye çalışan bakım mühendisleri,
- ii) Parça tasarımını optimize etmekle yükümlü tasarım mühendisleri,
- iii) Parçaların çalıştığı karmaşık sistemlerin güvenilirliğini tahmin etmeye çalışan güvenilirlik mühendisleridir [2].

Güvenilirlik veritabanları şu amaçlarla kullanılır:

- Sistem elemanlarının ve bileşenlerinin hata oranlarını hesaplamak,
- Arızanın hata türleri ve sebeplerini bulmak,
- Sistem çalışma emniyetinin iyileştirilmesini sağlamak,
- Sistem ve bileşenlerinin kullanılabilirliğini hesaplamak ve iyileştirmek,
- Hata oranları hakkında genel bilgiler sağlamak.

Bu hedeflere ulaşabilmek için bir arıza veritabanı en az şu bilgileri içermelidir: İlgili materyallerin net tanımlamaları, limitler, teknik karakteristikler, tasarım parametreleri, çalışma koşulları, maruz kalınan olayların bilgileri, olayların derlenmesi, bakım faaliyetlerinin takibi, materyallerin işletme ya da çalıştırma bilgileri, toplam çalışma saati, çalıştırma sayısı [3].

Önemli sistemlerin bakım-onarım verileri güvenilirlik veritabanlarına kaydedilmektedir. Sistem birden fazla sebepten ötürü bozulabilir. Sistemle ilgili bu bozulmaların verileri her bir olay olduğunda bu güvenilirlik veritabanlarına kaydedilir. Bu şekilde oluşan verilerin modellenmesi ve analiz edilebilmesi için kullanılması gereken modellere rekabet eden risk modelleri denir. Bu modellerde düşünce her bir riskin sistemi kendileri yüzünden bozmak için birbiriyle yarıştığıdır. Örneğin bir sistem A sebebinden ötürü bozulduğu zaman B sebebinden ötürü hala çalışıyor durumdadır. Bu şekilde oluşan verilerde “tanımlanamama” problemi vardır. Tanımlanamama problemi şöyle açıklanabilir: Rekabet eden risklerin oluşturduğu verilerden, riskler birbirlerini sansürlediği için risklerin bağımsızlığı durumu hariç her bir riskin marjinal olasılık dağılımını belirlemek mümkün değildir [4].

Tanımlanamama problemi olduğu için rekabet eden risk modelleri kullanılır. Rekabet eden risk modelleri bağımlı ve bağımsız risk modelleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Riskler eğer birbirlerini etkiliyorsa bağımlı rekabet eden risk modelleri kullanılır.

Bu tez çalışmasında bağımlı rekabet eden risk modelleri üzerinde durulmuştur. Bir hava yolu şirketinin güvenilirlik veritabanından alınmış bakım verileri rekabet eden risk modelleri kullanılarak analiz edilmiş ve güvenilirlik ölçütü olarak arıza riskinin arıza oranı tahmin edilmiştir.

Tezin birinci bölümünde güvenilirlik ve bakımla ilgili temel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde rekabet eden risk kavramı ve rekabet eden risk modelleri anlatılmıştır. Bakım verilerinin rekabet eden risk modelleri ile analizi üçüncü bölümdedir. Sonuçlar ve tartışma kısmı ise dördüncü bölümde yer almaktadır.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Güvenilirlik ve Güvenilirliğin Ölçütleri

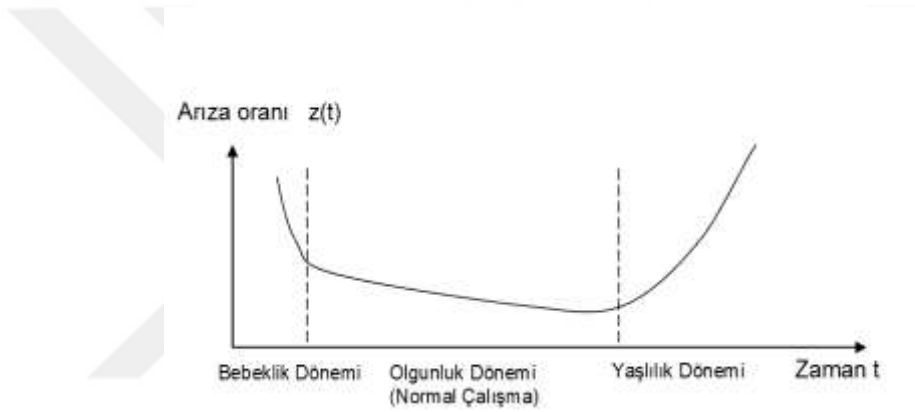
Önceleri deneyim ve tecrübelerle göre değerlendirilen güvenilirlik, günümüzde mühendislikte ve daha birçok alanda uygulanabilen bir bilim dalı haline gelmiştir. Birçok parametre tanımlanarak sistemlerin hangi durumlarda olumsuzluklarla karşılaşabileceği hangi durumlarda bozulabileceği hangi koşullarda devre dışı kalacağı ve bu durumların yol açacağı maliyetler belirlenmeye çalışılmaktadır.

Güvenilirlik arttıkça;

- Arıza oranları düşer. Sistemde arıza meydana gelmesi genellikle yüksek maliyetlere neden olur ve başka olumsuzlukları da beraberinde getirir.
- Kestirimci ve önleyici uygulamalar ekipman durumunun en iyi şekilde izlenmesini sağlar. Bu uygulama işlerin etkili ve verimli bir şekilde planlanmasını ve programlanmasını sağlar.
- Varlıkların “kullanım süresi” artar.
- Sermaye giderlerindeki kayıplar önlenir.
- Gereksiz bakım faaliyetlerinin önüne geçilir. Kaynak israfı önlenmiş olur.
- Eğer bu sistem bir işletme ise üretim kapasiteleri, kapasite kullanım oranları artar.

Güvenilirlik; bir sistemin belirlenmiş standartlara göre verilen bir zaman aralığında amaçlanan fonksiyonlarını yapabilme olasılığıdır. Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$, t zamanında bir sistemin (veya bileşenlerinin) kendi görevlerini yapabilme olasılığı olarak tanımlanır. Hata olasılığı $F(t)$, sistemin veya sisteme ait bir ekipmanın bir zaman aralığının (t) aşılmasından önce bozulması ihtimalidir.

Arıza oranı güvenilirlik değerlendirme çalışmaları için önemli veri sağlar, sistemin bir ömür boyunca fonksiyonunu nasıl gerçekleştirdiğini gösterir. Özellikle sistemin alt bileşenleri veya ekipmanları yeni iken; kusurlu bileşenler hızlı şekilde bozulacağı için başlangıçta arıza oranı daha büyüktür. Bu aşamaya çocukluk ya da bebeklik çağı adı verilir. Bu aşamada sistemde var olan alt sistem veya ekipmanların arızası izlenir ve normal çalışan bileşenler ile değiştirilir, böylece daha iyi çalışan bir sistem ve oldukça sabit arıza oranı elde edilir. Zaman aralığının sonundaki arıza oranının artması sistemin ömrünün bitmesinin habercisidir, bu aşamaya ise yaşlılık dönemi denir. Bu tip bozulmalar aynı zamanda “küvet eğrisi” olarak bilinir.



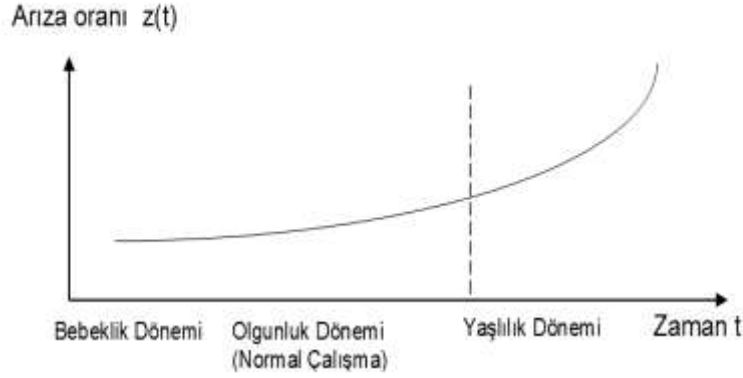
Şekil 1.1: Elektrik-elektronik bileşenler için küvet arıza oranı eğrisi

Küvet eğrisi üç aşamada incelenir. Birinci bölge “bebeklik dönemi veya çocukluk dönemi” adını alır. Ekipmanın kurulduğu andan itibaren yüksek bir arıza oranı gösterdiğini ve bu oranın zamanla sabitlendiğini belirtir. Bu bölge, en fazla birkaç hafta sürer ve arızalar; hatalı aksam ve parçalar, kötü lehim, bağlantı hatası vb. nedenlerden kaynaklanır. İmalatçılar, ekipmanı kullanıcıya sevk etmeden önce bu arızaların önceden belirlenmesi için sistemi test ederler. Tamamen hassas ölçü aletleri ve işlem kontrol sistemlerinde, bu arızaların açığa çıkması normal bir durumdur; çünkü tasarım mühendislik hataları ve yazılım hataları genellikle bu evrede açığa çıkar.

Ortadaki bölge “Olgunluk Dönemi” adını alır, düşük değerde ve sabit bir arıza oranı gösterir. Bu süre içerisinde arızalar rastgele meydana gelir. Sistem veya ekipmanın en verimli çalıştığı dönemdir. Genellikle “Yaşlılık Dönemi” denilen son

dönem ise giderek artan bir arıza oranı ile karakterize edilir. Bu dönemde güvenilirlikteki azalma genelde bağlantıların oksitlenmesi ve elastikiyetlerini kaybetmesi, elektrolitik kondansatörlerin kuruyup bozulması, kısa devreler gibi yapısal yaşlanma nedeniyle meydana gelir.

Mekanik ekipmanlar, banyo küveti eğrisinden farklı bir karakteristik sergiler. Malzeme yorulması, mekanik ekipmanların arıza oranının artmasının en önemli nedenlerinden biridir. Erken dönemlerde ekipman tamamen yenidir ve arıza görülme olasılığı oldukça düşüktür. Sonraki dönemlerde yorulma ve diğer yaşlanma belirtileri ortaya çıkmaya başladıkça arıza oranı önemli ölçüde artma eğilimindedir. [5]



Şekil 1.2: Mekanik bileşenler için arıza oranı eğrisi

Güvenilirlik modellerini çalışmak için şu temel tanımları bilmek gerekir:

- Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
- Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
- Güvenilirlik Fonksiyonu
- Arıza Oranı Fonksiyonu

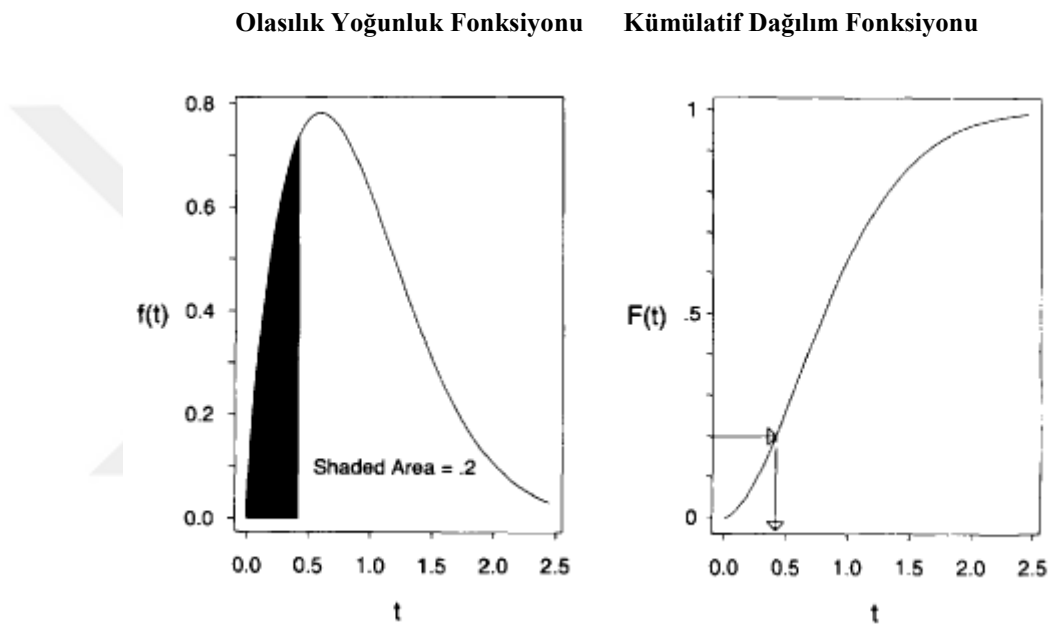
Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

T sürekli rassal değişkeni için olasılık yoğunluk fonksiyonu, $F(t)$ 'nin zamana göre türevi olarak $f(t)$;

$$f(t) = \frac{d(F(t))}{d(t)} \quad (1.1)$$

şeklindedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanın bir fonksiyonu olarak arıza zamanlarının sıklık ilişkisini gösterir. Güvenilirlikte uygulamalar için diğer fonksiyonlara göre daha az önemli olmasına rağmen teknikleri sonuçlandırmada sıklıkla kullanılır.



Şekil 1.3: Olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları

Kümülatif Dağılım Fonksiyonu

Şekil 1.3'te gösterildiği gibi güvenilirlikte t zamanındaki kümülatif dağılım fonksiyonu olasılık yoğunluk fonksiyonunun 0'dan t 'ye kadar altında kalan alan olarak hesaplanır, herhangi bir nesnenin belirlenen t zamanından önce arıza vermesi olasılığıdır.

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (1.2)$$

Güvenilirlik Fonksiyonu

Güvenilirlik fonksiyonu herhangi bir nesnenin belirlenen t zamanından önce arıza vermemesi olarak tanımlanmaktadır ve $R(t)$ olarak gösterilir. Güvenilirlik fonksiyonu kümülatif dağılım fonksiyonunun tamamlayıcısıdır.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1.3)$$

Arıza Oranı Fonksiyonu

Arıza oranı fonksiyonunu birim süre başına düşen arıza olarak tanımlanır ve $r(t)$ şeklinde gösterilir [1].

$$r(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (1.4)$$

Sistem dışındaki varlıkların (kullanıcı, bakımçı vs.) vereceği bilgilerle ortaya çıkan arıza mekanizmaları bilinir ve tasarımcılar tarafından göz önünde bulundurularak bir tasarım gerçekleştirilirse mühendislik ve ekonomik analizler sayesinde arızalar minimize edilebilir.

Güvenilirlik çalışma sırasında aşınma, yıpranma ve çevre şartlarından dolayı kötüleşir. Güvenilirliği tekrar eski seviyesine getirmek için bir takım önleyici bakım işlemleri uygulanır.

En genel şekilde sistemler tamir edilebilen ve edilemeyen sistemler olarak gruplanabilir. Tamir edilebilen sistemler için bakım-onarım önemlidir.

1.2 Bakım-Onarım

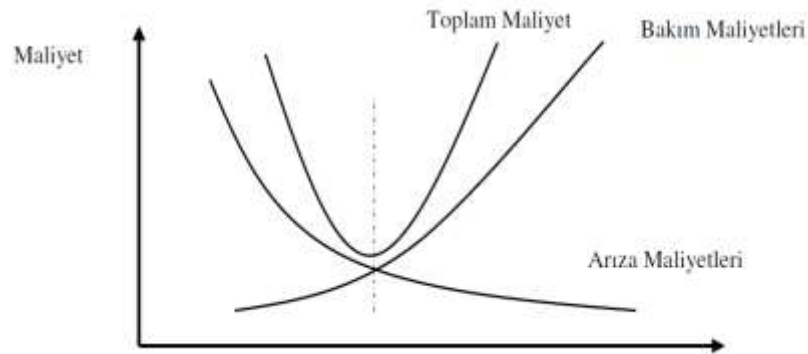
Bakım fonksiyonel bir birimin (aygıt, araç, gereç, tesis vb.), önceden belirlenmiş koşullarda beklenen işlevlerini yerine getirmek üzere test etme, parça değiştirme, ayarlama, tamir etme gibi faaliyetlerle düzeltilmesi ve devamlılığının sağlanmasıdır. Diğer bir ifadeyle, fonksiyonel bir birimi, belirli bir durumda tutmayı, eski durumuna getirmeyi ya da belirli işleyiş özellikleri kazandırmayı sağlayan işlemlerin tümüdür. Modifikasyon bir bakım faaliyeti değildir [6].

Bakım geleneksel felsefede yüksek maliyet gerektirdiği için fayda sağlanamayan bir yapı olarak değerlendirilmekteydi. Ancak yeni felsefede kullanılabilirliğin korunması ve geliştirilmesi, üretim verimliliğinin ve etkinliğinin iyileştirilmesi, toplam

işletme maliyetlerine katılımı ve ürünlerin kaliteli, zamanında üretilmesine yardımcı olması nedeniyle stratejik önemi artmıştır [7].

Bakım, üretim bütçesine bağlı olarak gerekli harcamaların yapılması zorunlu bir faaliyet olması nedeniyle, maliyet azaltma programları arasında çoğunlukla ilk sırada yer almaktadır [8]. Bütçeler azaldıkça, şirketler küçüldükçe ve ürün değişkenlikleri artıkça modern endüstri “az kaynak ile daha fazlasını yapmak” durumu ile karşı karşıya kalmıştır. Endüstriyel ekipmanların çoğu için başlangıç tasarım performansından daha üst düzeylerde performans beklenmekte ve gerçek hayatta da bu şekilde çalıştırılmaktadırlar [9]. Bakım felsefesi sadece arızanın giderilmesi fonksiyonundan, donanımın çalışmasına ve sistem güvenilirliği felsefesine kaymıştır. Bu yüzden bakım yönetimi teknik sistemlerin (fabrika, makine, donanım ve tesisler) yaşam ömürlerinin her kademesinde bulunmalı ve satın alma, planlama, üretim, araştırma geliştirme, performans değerlendirme, değiştirme ve bertaraf vb. konularında mutlaka değerlendirilmelidir. Daha geniş anlamda, bakım fonksiyonu “fiziksel varlık yönetimi” kapsamında ele alınır [8].

Bakımın amacı her türlü bakımı yapılan makine ve donanımlarının ne şartlarda olursa olsun arıza yapmadan çalışmasını sağlamaktır. Dikkat edilmesi gereken, “ne şartlarda olursa olsun” anlamından, “ne maliyetle olursa olsun” anlamını çıkartmamak gerekir. Amaçlanması gereken, artan bakım maliyetleri ile birlikte artan yüksek arıza oranları sonucunda oluşan maliyetleri göz önüne alarak optimum bir durum oluşturmaktır. Şekil 1.4 bakım ve arıza maliyetleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 1.4: Bakım ve arıza maliyetleri

Optimum noktayı yakalamak için bakım bölümünde çalışan personelinin bakım çeşitleri konusunda bir fikri olması ve her duruma göre uygun bir seçimin yapılması gerekir. Geleneksel anlamda bakım, kırılan ve bozulan parçaların tamiri veya değiştirilmesi olarak algılanır. Bu anlayış arıza bakımı veya düzeltici bakım gibi reaktif bir yaklaşımı göstermektedir. Günümüzde bakım, düzenli servis, periyodik inceleme ve gözetleme, koruyucu değiştirme ve durum esaslı inceleme gibi proaktif yaklaşımları içeren geniş bir anlayışa sahip olmuştur. Bakım çeşitleri bakım felsefelerinin gelişimine paralel olarak ortaya çıkmıştır. Bakım faaliyetleri farklı bakım türleri ile gerçekleştirilir. İşletmelerde gerçekleştirilen bakım faaliyetleri Tablo 1.1’de sınıflandırılmıştır [6].

Bakım faaliyetleri düzeltici ve önleyici bakım olmak üzere ikiye ayrılabilir:

Düzeltilici Bakım; bir hata ya da arızayı tamir eden bakımdır.

Önleyici Bakım; hata ya da arızayı tamir etmez. Planlanmış bakımdır.

Tablo 1.1. Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması

PROGRAM İŞ	PLANLI			PLANSIZ
	TAKVİM ESASLI	DURUM ESASLI	FİRSAT ESASLI	ACİL BAKIM
ÖNLEYİCİ	X		X	
DÜZELTİCİ		X	X	X

Planlanma zamanına göre de bakım aşağıdaki sınıflara ayrılabilir:

Takvim Esaslı Bakım; bir parçanın bozulmasının gözlemlenmesi esasına dayanmayan, önceden takvim esaslı programlanarak planlanmış bakım faaliyetleridir. Takvim esaslı bakım bir şeyleri onarmaz, tamir etmez, önleyici bakım işlerini içerir.

Durum Esaslı Bakım; bir parçanın, sistemin bakımı yapılmış olmasına rağmen, sistemin kendisinden beklenen görevi üreticinin istediği sınırlardan sapmış ise sistem ya da parçanın durumu gözlenir. Uygun bakım fırsatı yakalandığında gerekli düzeltmeler yapılır. Bu nedenle durum esaslı bakım planlıdır ve düzeltici bakım grubuna girer. Arızalı parça hizmet dışı kalmadan tamir edilmiş olur.

Fırsat Esaslı Bakım; bakım kendisi uygun fırsat sunduğunda yapılır. Sistem eğer bir parçanın bakımı için durduysa diğer parçaların da bakımı yapılır. Fırsat bulunduğu bir parçanın bakımına karar vermeyi parçanın durumu belirler.

Acil Bakım; Sistem devre dışı kaldığı zamanlarda parçanın tamir edilmesi amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Tamir önceden planlanmamıştır ve tamir işi bitene kadar sistem çalışmaz. Tamir faaliyetleri genellikle parça arızalandığı zaman başlar [10].



2. BÖLÜM

REKABET EDEN RİSKLER TEORİSİ

2.1 Rekabet Eden Risk Modelleri

Güvenilirlikte “Rekabet eden risk” yaklaşımı modern güvenilirlik veritabanlarının geliştirilmesiyle yakından bağlantılıdır. Güvenilirlik veritabanları arıza türleri, arıza nedenleri, bakım-onarım faaliyetleri, parça özellikleri ve çalışma durumları üzerine bilgiler içeren alanlardan oluşur [11]. Bu her bir özel alan var olan sistemdeki her bir parçanın sistemi bozmaya çalışma veya çalışmasına bir süre ara verme konusunda birbiri ile yarışmış gibi düşünülebilir. Bu konular üzerinde geliştirilen teorinin adı “Rekabet Eden Riskler Teorisi”dir.

Güvenilirlik çalışmalarında, aynı anda birden fazla arıza sebebinin bulunması oldukça yaygın bir durumdur. Araştırmacılar genellikle diğer sebeplerin de varlığında spesifik bir sebebi değerlendirmekle ilgilenirler. İstatistiksel olarak literatürde bu problem “Rekabet Eden Riskler Modeli” olarak bilinmektedir. Rekabet eden risk modelleri analizinde verilerin arıza sürelerini içerdiği ve arıza nedenini belirten bir göstergeden oluştuğu varsayılmıştır [12].

Bir sistemin ömrünü sonlandırmaya çalışan risklerin arıza oranlarını değerlendirmek rekabet eden risklerin ilgi alanıdır. Bu risklerin birbirleri ile sistemi çeşitli yollara bozmaya, kullanılmasına ara verdimeye ya da ömrünü sonlandırmaya çalışmak için yarıştıkları düşünülebilir [13].

Rekabet eden riskler teorisi güvenilirlik verilerinin analizleri için temel matematiksel araç olarak kabul edilir [14]. Güvenilirlik veritabanları incelendiğinde arıza verilerinin sistem, alt sistem ve malzeme olarak tutulduğu, arızanın nasıl tespit edildiği, hangi onarım prosedürünün uygulandığı gibi çeşitli bilgilere ulaşılır. Bu durum her bir sistem veya alt sistem için rekabet eden riskleri doğurur.

Bir sistemi oluşturan alt sistemler, sistemin devamlılığının sağlanması için birbirleri ile yarış halinde gibi düşünülebilir. Bazı riskler kritik iken bazı riskler kritik olmayabilir. Kritik riskler yerine kritik olmayan riskler tercih edilir.

Rekabet eden risk modelleri literatürde iki gruba ayrılır:

1-Bağımlı Rekabet Eden Risk Modelleri

2-Bağımsız Rekabet Eden Risk Modelleri

k adet rekabet eden risk olduğunu varsayalım, $X_1, X_2, \dots, X_k \wedge X_i$ gösterimi ise $X_1, X_2, \dots, X_k$ serisinin minimum elemanını gösterebilir. Rekabet eden riskler bağlamında X_i 'lerin minimum olanı gözlemlenir. Bu ifadenin matematiksel olarak gösterimi ise şu şekildedir:

$$Z = (\wedge X_i, 1_{\wedge X_i = x_j}, j = 1, 2, \dots, k) \quad (2.1)$$

Bir çok durum için problem X ve Y olmak üzere iki adet rekabet eden risk grubuna indirgenerek analiz edilebilir. Burada genellikle X grubu sistemin çalışma ömrünü bitirecek kritik riskler, Y grubu ise çalışma ömrünü bitirebilecek kadar kritik olmayan riskler olarak gruplandırılabilir. Buradan hareketle X ve Y 'den ortaya çıkma zamanı en kısa olan gözlemlenir. Bu durumu matematiksel olarak ifade edilecek olunursa;

$$Z = [\min(X, Y), 1_{\{X < Y\}}] \quad (2.2)$$

Basit olması için $P(X = Y) = 0$ olduğu varsayılır.

X 'in zamana bağlı kümülatif dağılım fonksiyonu $F_X = P(X \leq t)$ olsun. Literatürde R_X fonksiyonu S_X şeklinde de kullanılabilmektedir. Bundan yola çıkarak Bölüm 1.1'de $R_X = 1 - F_X$ şeklinde tanımlanan formüle göre; $S_X = 1 - F_X$ olarak tanımlanabilir ve X 'in güvenilirlik fonksiyonu şeklinde isimlendirilir. Eğer F_X fonksiyonunun bir yoğunluk fonksiyonu varsa o zaman X 'in arıza oranı $r_X(t)$;

$$r_X(t) = f_X(t)/S_X(t) = -(dS_X(t)/dt)/S_X(t) \quad (2.3)$$

Buradan hareketle;

$$S_X(t) = \exp \left\{ - \int_0^t r_X(s) ds \right\} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir.

Rekabet eden riskler verisi sadece alt güvenilirlik fonksiyonlarını (subsurvival function) bulmamıza yardımcı olacaktır. Alt güvenilirlik fonksiyonları olarak kullanacağımız notasyonlar da $S_X^*(t)$ ve $S_Y^*(t)$ olacaktır. “*” simgesi söz konusu fonksiyonun alt güvenilirlik fonksiyonu olduğunu göstermektedir. $S_X^*(t)$, X riskler grubunun alt güvenilirlik fonksiyonunu, $S_Y^*(t)$ ise Y riskler grubunun güvenilirlik fonksiyonunu göstermektedir.

Matematiksel formül olarak gösterimi ise;

$$S_X^*(t) = P(X > t, X < Y) \quad (2.5)$$

Bu formülde anlatılan; X grubu bir olayın belirlenmiş bir t zamanından sonra, Y grubu bir olaydan önce ortaya çıkma olasılığıdır.

$$S_Y^*(t) = P(Y > t, Y < X) \quad (2.6)$$

Bu formülde anlatılan Y grubu bir olayın belirlenmiş bir t zamanından sonra ortaya çıkması ve X grubu bir olaydan önce ortaya çıkma olasılığıdır.

Bir diğer parametre de koşullu alt güvenilirlik fonksiyonlarıdır (conditional subsurvival function). X grubu risklere ait olan koşullu güvenilirlik fonksiyonun gösterimi $CS_X^*(t)$ ve Y grubu risklere ait olan koşullu güvenilirlik fonksiyonun gösterimi ise $CS_Y^*(t)$ şeklindedir. Koşullu alt güvenilirlik fonksiyonu, söz konusu arızatürünün tezahür etmesi durumuna bağlı alt güvenilirlik fonksiyonudur. Yani belirli bir koşul altında olayın gerçekleşmesi durumunda alt güvenilirlik fonksiyonunun alacağı değerleri kastetmektedir.

Matematiksel olarak ifade edecek olursak;

$$CS_X^*(t) = P(X > t, X < Y | X < Y) = S_X^*(t) / S_X^*(0) \quad (2.7)$$

Formül X grubu bir riskin Y grubu bir riskten önce gerçekleştiği bilindiğinde X grubu riskin gerçekleşme zamanının t 'den büyük olması koşullu olasılığını ifade etmektedir. Aynı şekilde;

$$CS_Y^*(t) = P(Y > t, Y < X | Y < X) = S_Y^*(t) / S_Y^*(0) \quad (2.8)$$

Y grubu bir riskin X grubu bir riskten önce gerçekleştiği bilindiğinde, Y grubu riskin gerçekleşme zamanının t 'den büyük olması koşullu olasılığını ifade etmektedir.

Alt güvenilirlik fonksiyonu hesaplamaları ile yakından ilgili bir diğer parametre ise t zamanından sonraki sansürleme fonksiyonu olarak tanımlanan $\Phi(t)$ (conditional probability of censoring) fonksiyonudur [10]. Matematiksel olarak gösterimi ise;

$$\Phi(t) = P(Y < X | Y \wedge X > t) = \frac{S_Y^*(t)}{S_X^*(t) + S_Y^*(t)} \quad (2.9)$$

$\Phi(t)$ formülasyonu belirlenmiş bir t zamanından önce gerçekleşmiş olan bir arızanın, Y grubu bir risk yüzünden olması olasılığı olarak açıklanabilir. $\Phi(t)$ fonksiyonunu eğrisinin yapısına bakılarak eldeki verilerin hangi rekabet eden risk modeline uyduğuna karar verilebilir [15].

Eğer elde olmuş olaylardan toplanan gözlem veriler varsa, gözlemsel alt güvenilirlik fonksiyonu hesaplanabilir. Bu sayede alt güvenilirlik fonksiyonuyla ilgili diğer parametrelerin de tahminlerini hesaplanabilir demektir. Bu şekilde çıkarılmış olan gözlemsel alt güvenilirlik fonksiyonu ve koşullu alt güvenilirlik fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir [16];

$$S_X^*(t) = \frac{\text{t Zamanından Sonra Gerçekleşen X Grubu Olayların Sayısı}}{\text{Toplam Olay Sayısı}} \quad (2.10)$$

$$S_Y^*(t) = \frac{\text{t Zamanından Sonra Gerçekleşen Y Grubu Olayların Sayısı}}{\text{Toplam Olay Sayısı}} \quad (2.11)$$

$$CS_X^*(t) = \frac{\text{t Zamanından Sonra Gerçekleşen X Grubu Olayların Sayısı}}{\text{Toplam X Grubu Olayların Sayısı}} \quad (2.12)$$

$$CS_Y^*(t) = \frac{\text{t Zamanından Sonra Gerçekleşen Y Grubu Olayların Sayısı}}{\text{Toplam Y Grubu Olayların Sayısı}} \quad (2.13)$$

2.2. Bağımsız Rekabet Eden Risk Modelleri

Literatürde en yaygın yaklaşım X ve Y grubu riskler arasında bağımsızlık olduğu varsayımıdır. Eğer X ve Y birbirinden bağımsız ise;

$$S_X^*(t) + S_Y^*(t) = P(X > t, Y > t) = P(X > t)P(Y > t) = S_X(t)S_Y(t) \quad (2.14)$$

Buradan aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

$$S_X^*(t) = \int S_Y(t) dS_X(t) \quad (2.15)$$

$$S_Y^*(t) = \int S_X(t) dS_Y(t) \quad (2.16)$$

Bu sonuçları kullanarak Cooke [16], eğer X ve Y türevi alınabilir bir güvenilirlik fonksiyonuna sahiplerse ve birbirinden bağımsızlarsa X 'in yalın arıza oranı (naked failure rate) gözlemlenen arıza oranı ile eşittir sonucuna ulaşmıştır.

$$r_X(t) = obr_X(t) \quad (2.17)$$

Böylece X 'e ait güvenilirlik fonksiyonları gözlemlenen alt güvenilirlik fonksiyonu cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$S_X(t) = \exp\left(\int_0^t \frac{dS_X^*(s)}{S_X^*(s) + S_Y^*(s)}\right) \quad (2.18)$$

X ve Y grubu risklerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılırsa güvenilirlik fonksiyonu belirlenebilir ve X ve Y sansürlenmiş veriden tanımlandırılabilir. Aksi durumda, yani rekabet eden risklerin birbirinden bağımsız olmadığı durumlarda yukarıda verilen güvenilirlik fonksiyonu kullanılamayacaktır.

Daha da ötesinde sansürlenmiş gözlem verisi bağımsız bir modelle açıklanana kadar bağımsızlık kabulü sansürlü bir veriyle test edilemeyecektir. Bunun yerine spesifik bir test olan bağımsız üstel modelle (Independent Exponential Model) test edilebilir [15].

2.2.1 Bağımsız Üstel Model

Rekabet eden riskler verileri her zaman bağımsız bir modelle açıklanabilir ancak bu her gözlemlenen sansürlü verilerin üstel ömür değişkenlerini barındıran bir modelle açıklanabileceği manasına gelmez. Bu konu ile ilgili olarak Cooke [17] alt güvenilirlik fonksiyonları cinsinden bağımsızlığa ve üstelliğe çok keskin kriterler getirmiştir. Bu durum aşağıdaki gibi açıklanabilir;

X ve Y 'nin bağımsız ömür değişkenleri olduğu ve sırasıyla λ ve γ arıza oranı parametreleriyle üstel dağıldığı varsayalım. Bu durumda;

$$S_X(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.19)$$

$$S_Y(t) = \exp(-\gamma t) \quad (2.20)$$

$$S_X^*(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \gamma} \exp(-(\lambda + \gamma)t) \quad (2.21)$$

$$S_Y^*(t) = \frac{\gamma}{\lambda + \gamma} \exp(-(\lambda + \gamma)t) \quad (2.22)$$

sonuçlarına ulaşılır.

X ve Y sırasıyla λ ve γ arıza oranı parametrelili bağımsız üstel ömür değişkenleri ise X ve Y 'nin koşullu alt güvenilirlik fonksiyonları birbirine eşit ve arıza oranı λ ve γ olan üstel dağılımdır ve t zamanından sonraki sansürleme fonksiyonu $\Phi(t)$ sabittir.

Bu sonuçlardan hareketle X ve Y 'ye ait koşullu alt güvenilirlik fonksiyonları ile t zamanından sonraki sansürleme fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenir [15].

$$CS_X^*(t) = \frac{S_X^*(t)}{S_X^*(0)} = \exp(-(\lambda + \gamma)t) \quad (2.23)$$

$$CS_Y^*(t) = \frac{S_Y^*(t)}{S_Y^*(0)} = \exp(-(\lambda + \gamma)t) \quad (2.24)$$

$$\Phi(t) = \frac{\gamma}{\gamma + \lambda} \quad (2.25)$$

X 'in arıza oran parametresi; n , X olaylarının sayısı olmak üzere aşağıdaki gibi tahmin edilebilir [13]:

$$\lambda = \frac{n}{\sum_i x_i + \sum_j y_j} \quad (2.26)$$

2.3 Bağımlı Rekabet Eden Risk Modelleri

2.3.1 Rastal İşaret Modeli

Bu model önleyici bakımın yapıldığı zamanın, arıza zamanı ile ilişkili olabileceğini savunur. Rastal İşaret Modelinde (Random Sign Model) hem önleyici bakım zamanı hem de arıza zamanı rastal değişkenlerle modellenir. Güvenilirlik analizlerinde yaygın olarak kullanılan rekabet riskleri modelinin özel bir örneğidir. Sistemin ömrünün bakım nedeniyle sansürlenmesi sistemin yaşından bağımsızdır. Ancak sansürlendiği zaman sansürlenme zamanı yaşa bağımlı olabilir [19]. Bu modelin uygun olduğu durum için şöyle bir örnek verilebilir: Bir parça kullanım süresi dolmadan önce bir sinyal verirse ve sinyal görülürse parça çıkarılır. Böylece sinyal, parçanın ömrü

dolmadan parçayı çıkarttırdığı için parçanın ömrünü sansürlemiş olur. Sinyal fark edilmezse parçanın ömrü biter ve bozulur. Rassal İşaret Modeli, uyarının görülme ihtimalinin parçanın yaşından bağımsız olduğunu varsayar.

Matematiksel olarak ifade edilecek olunursa;

X ve Y ömür değişkenleri olsun. Ayrıca $Y = X - W\delta$ eşitliği olduğunu, Burada W değerinin, $0 < W < X$ aralığında bir rassal değişken olduğunu ve $\delta = \{-1, 1\}$ değerlerini alabilecek bir rassal değişken olduğunu, X ve δ 'nın birbirinden bağımsız olduğunu varsayalım. $Z \equiv [\min(X, Y), I(X < Y)]$ gösterimi ise X 'in Y tarafından rassal işaret sansürlenmesi olarak adlandırılır [18].

$$\begin{aligned} S_X^*(t) &= P(X > t, \delta = -1) = P(X > t)P(\delta = -1) \\ &= S_X(t)P(Y > X) = S_X^*(t)S_X(0) \end{aligned} \quad (2.27)$$

$P(Y > X)$ ve $S_X^*(t)$ gözlemlenen Z verilerinden tahmin edilebilir. Ayrıca $S_X(t)$ X 'in koşullu alt güvenilirlik fonksiyonuna eşittir.

Cooke [17] çalışmasında rassal işaret modelinin uygulanabilmesi için belirlenmiş olan tüm zamanlarda yani $t > 0$ olduğu tüm durumlar için X 'e ait koşullu alt güvenilirlik fonksiyonunun Y 'ye ait koşullu alt güvenilirlik fonksiyonundan büyük olması gerektiğini savunmuştur. Bu durumda da öteki diyagnostik veri t zamanından sonraki sansürleme fonksiyonumuz olan $\Phi(t)$ orijinde maksimum değerde olmalıdır. Bu sonuç, rassal işaretler modelinin geçerli olması durumunda, bağımsız üstel modelin verileri tanımlamasının zor olduğunu göstermektedir [15].

Rassal işareti modeli geçerli olduğunda gözlemlenen arıza oran fonksiyonu sansürlenmiş durumdaki arıza oran fonksiyonu ile istatistiksel olarak eşittir ve n , X olaylarının sayısı olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanabilir [14]:

$$\lambda \approx \frac{n}{\sum_i x_i} \quad (2.28)$$

2.3.2 Langseth-Bedford-Lindqvist Modeli

$\{Z = \min(X < Y), \delta = 1_{\{X < Y\}}\}$ ortak dağılımını bulmak için Langseth ve Lindqvist tarafından aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

1- Rassal işaret sansürleme, yani $\delta = 1_{\{X < Y\}}$, X 'den bağımsızdır.

2- $H(t) = \int_0^t r_X(u) du$ olduğunda;

$$P\{Y \leq y | Y < X, X = x\} = \frac{H(y)}{H(x)}, 0 \leq y \leq x \quad (2.29)$$

2. varsayım sansürlenmiş ve olası arıza zamanı verilen Y için koşullu yoğunluğun, arıza zamanı yoğunluğuyla orantılı olduğunu söylemektedir. $q = P\{Y < X\}$ sansürleme yoluyla kritik bir arıza yakalama olasılığı olsun.

Y ve X 'in ortak yoğunluğu, $Y < X$ 'e bağlı;

$$\begin{aligned} f(y, x | Y < X) &= f(x | Y < X) f(y | Y < X, X = x) \\ &= f(x) \frac{r_X(y)}{H(x)} = r_X(x) e^{-H(x)} \frac{r_X(y)}{H(x)} \end{aligned} \quad (2.30)$$

$\{Y < X\}$ koşulu ile Y 'nin marjinal yoğunluğu, $I_e(.)$ üstel integral olduğunda;

$$\begin{aligned} f(y | Y < X) &= \int_y^\infty r_X(x) e^{-H(x)} \frac{r_X(y)}{H(x)} d_x \\ &= r_X(y) \int_{H(y)}^\infty \frac{1}{u} e^{-u} du = r_X(y) I_e(H(y)) \end{aligned} \quad (2.31)$$

(Z, δ) 'nin ortak dağılımı aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\begin{aligned} P\{z \leq Z \leq z + \Delta z, \delta = 1\} &= P\{z \leq Z \leq z + \Delta z, X < Y\} = \\ &= P\{z \leq \min(X, Y) \leq z + \Delta z, X < Y\} = \\ &= P\{z \leq X \leq z + \Delta z, X < Y\} = \\ &= P\{z \leq X \leq z + \Delta z\} P\{X < Y\} = \\ &= r_X(z) e^{-H(z)} (1 - q) \Delta z. \end{aligned} \quad (2.32)$$

$\delta = 0$ için;

$$\begin{aligned} P\{z \leq Z \leq z + \Delta z, \delta = 0\} &= P\{z \leq Z \leq z + \Delta z, Y < X\} = \\ &= P\{z \leq Y \leq z + \Delta z, Y < X\} = \\ &= P\{z \leq Y \leq z + \Delta z | Y < X\} P\{Y < X\} = \end{aligned}$$

$$= r_X(z)I_e(H(z))q\Delta z. \quad (2.33)$$

Yukarıdaki denklemler esas olarak (Z, δ) ortak dağılımını aynı zamanda olasılık fonksiyonunu verir. Böylece X , $f(x)$ ve q yoğunluk fonksiyonlarının parametreleri bulunabilir [13].

Z 'nin marjinal dağılım fonksiyonu;

$$f_Z(z) = qr_X(z)I_e(H(z)) + (1 - q)r_X(z)e^{-H(z)} \quad (2.34)$$

2.3.3 Rassal Kırpma Modeli

Rassal Kırpma modeli (Random Clipping Model) gerçek bir rekabet eden risk modeli değildir ancak rekabet eden risk modellerine yeterince yakındır. Cooke'un fikrine bağlı olarak, bileşenin ömrünün üstel olduğu ve ömrü sona ermeden bir süre önce uyarı verdiği varsayılmıştır. Bu uyarı süresi, yalnızca bileşen kullanımdayken meydana gelen uyarıları görmemize rağmen, bileşenin kullanım ömründen bağımsızdır. Buradaki gözlemlenebilir veriler, uyarının gerçekleştiği zamandır. Üstel dağılımın hafızasızlık özelliğinin bir uygulaması, gözlemlenebilir verinin (uyarı zamanları) arıza zamanıyla aynı dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla MTBF (Arızalar arası ortalama süre) sadece uyarı zamanları verilerinin ortalamasıyla tahmin edilebilir [19].

2.4 Model Seçim Kriterleri

Grafiksel çıkarımlar vasıtasıyla analiz yapılacaksa t zamanından sonra sansürleme fonksiyonu olan $\Phi(t)$ çok önemli bir role sahiptir. $c_X(t)$ ve $c_Y(t)$ fonksiyonları sırasıyla X ve Y 'ye ait koşullu alt güvenilirlik fonksiyonlarının arıza oranı fonksiyonları olsun. Model seçimi aşağıdaki belirlenmiş kurallara göre yapılır [15].

- Eğer koşullu alt güvenilirlik fonksiyonları eşit ve üstel dağılıma sahipse ve $\Phi(t)$ fonksiyonu sabitse veriler bağımsız üstel model ile açıklanabilir.

- Eğer $\Phi(t)$ fonksiyonu sabitse gözlemlenen arıza oranları orantılıdır.
- Eğer $\Phi(t)$ fonksiyonu sabitse ve riskler bağımsızsa yalın arıza oranları orantılıdır.
- Riskler birbirinden bağımsız r_Y sabit ve r_X artan bir fonksiyonsa, $\Phi(0) > \Phi(t)$; eğer r_X azalan bir fonksiyonsa $\Phi(0) < \Phi(t)$.
- Riskler bağımsızsa $r_Y(t) = \Phi(t)c_Y(t)$ ve $r_X(t) = (1 - \Phi(t))c_X(t)$ olur.
- Eğer rassal işaret modeli veriye uyuyorsa $\Phi(0) > \Phi(t)$; $t \geq 0$. $\Phi(t)$ fonksiyonu orijinde maksimum değerini alır.
- Eğer koşullu üstel model veriye uyuyorsa X ve Y 'ye ait koşullu alt güvenilirlik fonksiyonları birbirine eşit ve $\Phi(t)$ fonksiyonu sabittir.
- Eğer üstellerin karışım modeli veriye uyuyorsa tüm belirlenmiş t zamanları için $\Phi(t)$ fonksiyonu artan bir fonksiyondur.

Eğer $\Phi(t)$ fonksiyonu gözlem zamanı boyunca monotonluğunu kaybediyorsa ve orijinde maksimum veya minimum değerlere ulaşmamışsa X ve Y çifti için uygun bir model yok demektir. Bu durumda yapılması gereken X ve Y 'nin birbirinden bağımsız olduğunu kabul etmektir [15].

3. BÖLÜM

UYGULAMA

3.1 Verilerin Tanımlanması

Bu bölümde bir hava yolu şirketine ait bir uçak filosunun alt sistemlerinin bakım verileri rekabet eden risk modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Alt sistemlere ait veriler hava yolu şirketinin bakım verilerinin kaydedildiği veritabanından 5 yıllık dönem için alınmıştır. Veritabanında bilgiler; sistem, alt sistem, bileşen ve parça hiyerarşisi şeklinde tutulmuştur. Bir alt sistem bakım, arıza veya diğer nedenlerden dolayı söküldüğünde bu söküme ilişkin detaylı bilgiler veritabanına kaydedilmiştir. Analizlerde alt sistemin seri numarası, alt sistemin takılmasından sökümüne kadar olan uçuş süresi ve söküm nedeni verileri kullanılmıştır. Kullanılan verilere örnek Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1.Bakım verisi formatı

SİSTEM NO	PARÇA SÖKÜM NEDENİ	PARÇA SÖKÜMLER ARASI SÜRE (saat)
A5	ARIZA DIŞI SÖKÜM	798,14
A3	ARIZA DIŞI SÖKÜM	1486,05
A1	ARIZA DIŞI SÖKÜM	455,33
A1	ARIZA KAYNAKLI SÖKÜM	1486,05

Bakım sistemi şu şekilde çalışmaktadır: Bir ünite herhangi bir nedenle söküldüğü zaman yerine depodan aynı işlevi gören başka bir ünite takılmaktadır. Sökülen ünite başka bir uçağa hemen takılmayacaksa bakımı yapıp depoya gönderilmektedir. Seri numarası her üniteye has numaralardır. Böylece seri numarasına bakılarak bir üniteye ait bakım verileri takip edilebilmektedir. Ünite söküm nedenleri kodlanarak veritabanına girilmektedir.

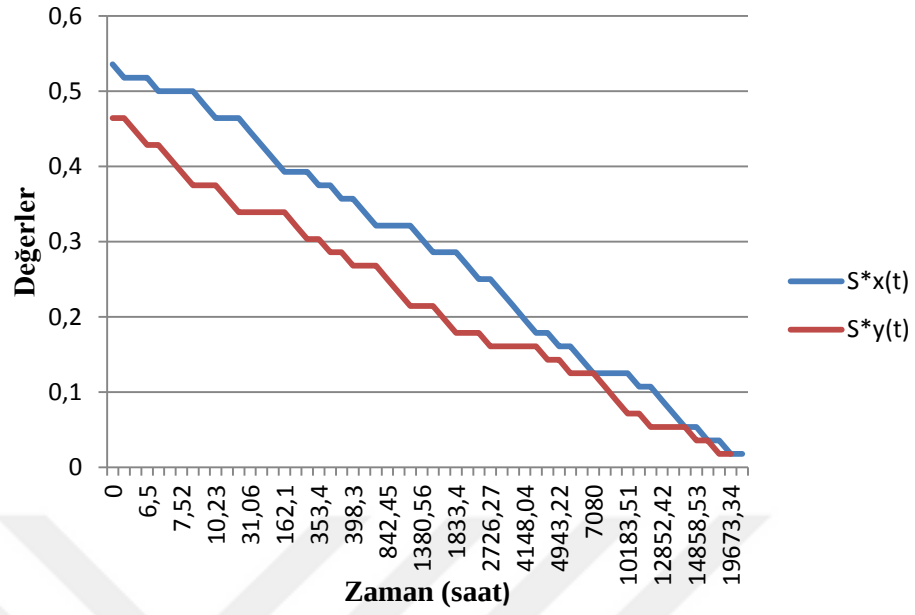
Ünite bir nedenden dolayı söküldüğünde diğer nedenlerden dolayı ömrü devam ettiği için diğer nedenlere ait ömrü sağdan sansürlenmiş olur. Bu nedenle söküm nedenleri rekabet eden risklerdir. Arıza ile ilgili sökümün arıza oran fonksiyonu bakım planlamada kullanılan önemli bir güvenilirlik ölçütüdür ve bu ölçütü tahmin edebilmek için rekabet eden risk modellerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle bakım verilerinin analizinde, arızalar ilgilenilen risk grubu (X) ve diğer bütün söküm nedenleri de sansürleyen risk grubu (Y) olarak tanımlanmıştır.

3.1 Mod Kontrol Panel Ünitesinin Analizi

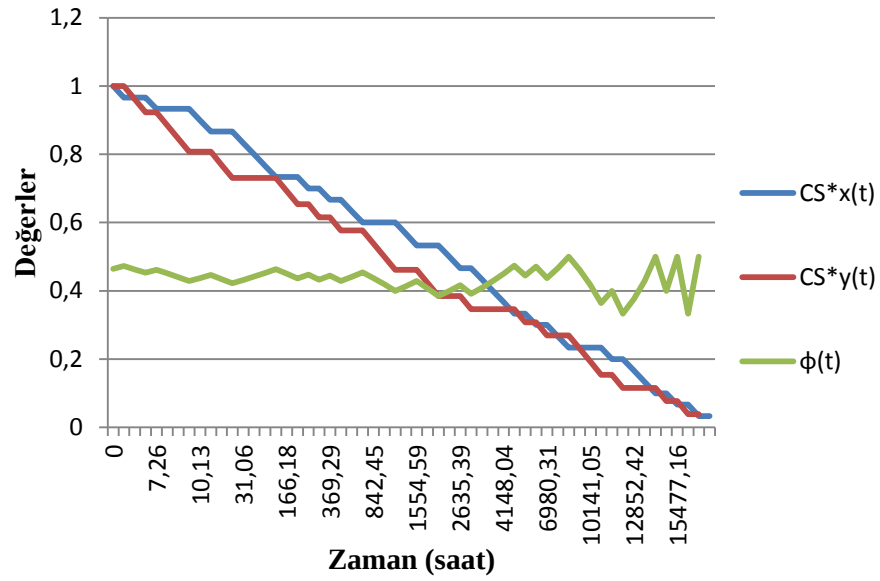
Bakım verileri analiz edilen ilk sistem mod kontrol panelidir. Mod kontrol paneli otomatik uçuş sistemi içerisinde uçak oto pilot kontrolünde uçarken bu çalışmaya katılan ve sistemle birlikte çalışan birçok yardımcı ünitelerden en önemlisidir [20].

Veritabanında toplamda 22 adet farklı mod kontrol panel ünitesine ait 56 adet söküm bulunmaktadır. Sökümlerin 30 adeti arıza kaynaklı söküm verisi, 26 adet söküm ise arıza dışı söküm verisidir. Arıza kaynaklı sökümün arası süreleri toplamda 158063,2 saat ve arıza dışı sökümün süresi 119281,69 saattir.

Amaç; mod kontrol panel ünitesinin arıza riskinin arıza oran fonksiyonunu bulmaktır. Bu nedenle arıza X ile gösterilen risktir. Ünitenin verilerine uygun rekabet eden risk modelini belirlemek için alt güvenilirlik, koşullu alt güvenilirlik ve $\Phi(t)$ fonksiyonları sırasıyla 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.9 formülleri kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. İlgili grafikler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



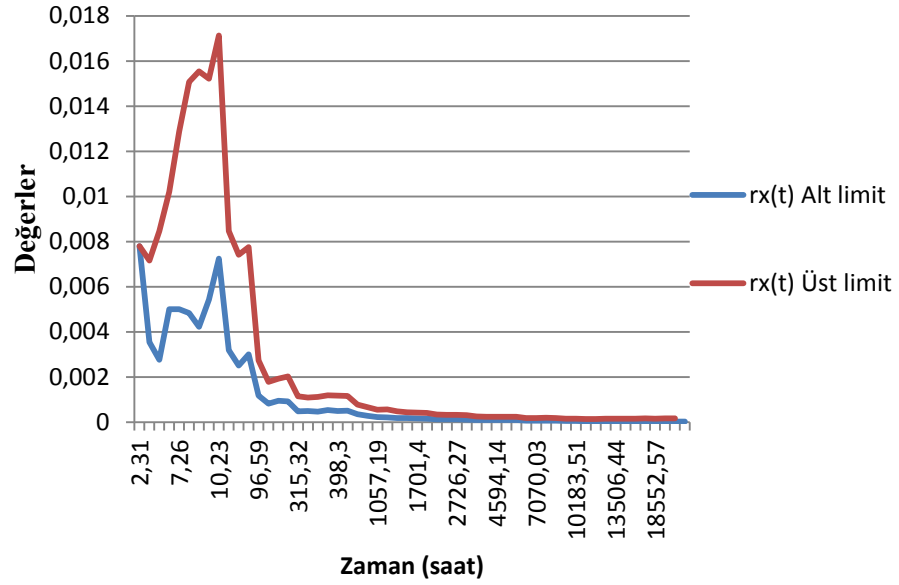
Şekil 3.1: Mod kontrol paneli X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları



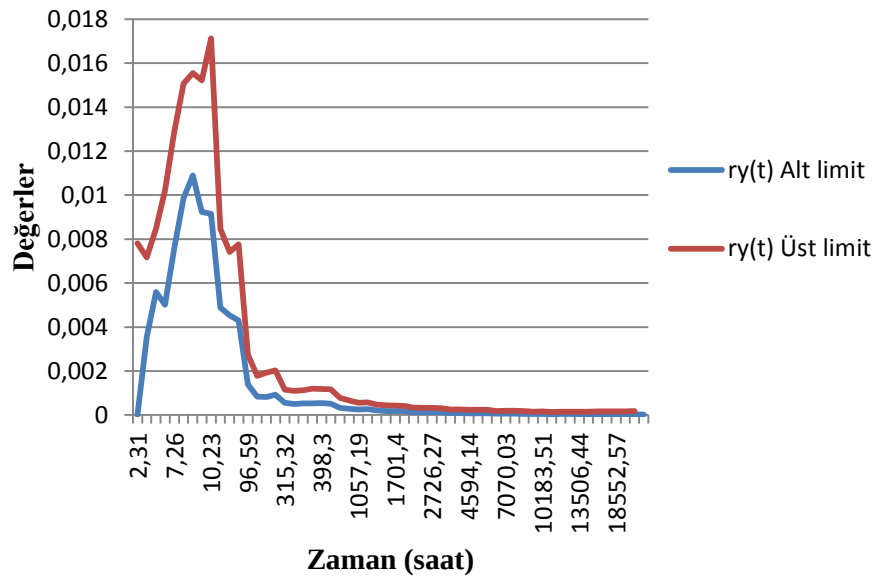
Şekil 3.2: Mod kontrol paneli X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları

X risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonu yaklaşık olarak Y risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonunu domine etmektedir. $\Phi(t)$ fonksiyonu orijinde yaklaşık maksimumdur. Bu duruma uyan rekabet eden risk modeli Rassal İşaret

Modeli'dir. X ve Y grubuna ait zamana göre ortalama arıza oranı fonksiyonlarının alt ve üst limitleri de sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Mod kontrol paneli X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri



Şekil 3.4: Mod kontrol paneli Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri

Şekillerdeki alt ve üst sınırlara bakıldığında arıza oran fonksiyonunun ilk önce arttığı sonra da azaldığı gözlenmektedir. Rassal işaret modeline göre arıza kaynaklı sökümelerin arıza oranı 2.28 formülü kullanılarak aşağıdaki gibi tahmin edilmiştir:

$$\lambda = \frac{30}{158063,2} = 1,9 * 10^{-4} \text{ Arıza / Bir Uçuş Saati}$$

Bu arıza oran değeri oldukça düşüktür. Bu nedenle varolan bakım planının etkin olduğu söylenebilir.

Verilerin bağımsız üstel modele uygun olduğu varsayılarak analizi yapılsaydı arıza kaynaklı sökümelerin arıza oranı 2.26 formülü kullanılarak aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$\lambda = \frac{30}{158063,2 + 119281,69} = 1 * 10^{-4} \text{ Arıza / Bir Uçuş Saati}$$

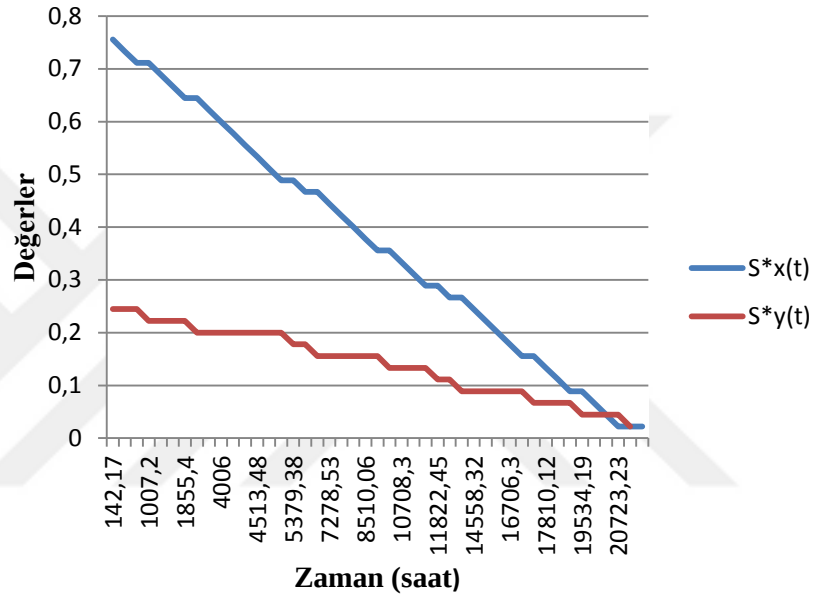
Her iki arıza oranı karşılaştırıldığında risk gruplarının bağımsız varsayıldığı çözüme göre tahmin edilen arıza oranının risklerin bağımlı kabul edildiği modelde hesaplanan arıza oranına göre daha düşük bir değer olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan risklerin bağımsız sayıldığında daha iyimser bir tablo çizilebileceği ve belki bazı olumsuzlukların gözden kaçabileceği anlamı çıkarılabilir.

3.2 Yağlama Sistemi Analizi

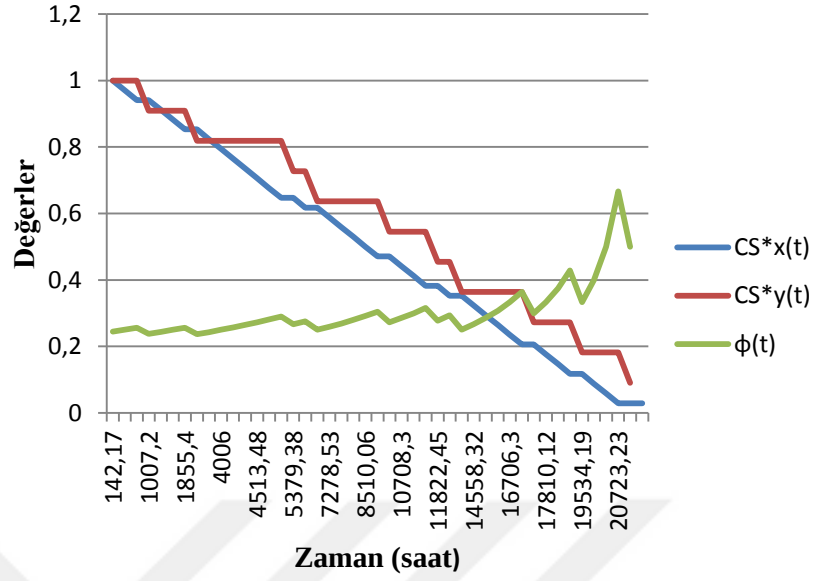
Verileri analiz edilen ikinci sistem uçak motorlarındaki yağlama sistemidir. Bu sistem insan vücudundaki kan dolaşım sistemine benzetilebilir. İnsan nasıl basınçlı ve belli miktarda kana ihtiyaç duyuyorsa uçak motorları da tasarımına bağlı olarak değişik basınçlarda ve miktarlarda yağa ihtiyaç duyar [21].

Veritabanında toplamda 31 adet farklı yağlama sistemine ait 45 adet söküm bulunmaktadır. Sökümlerin 34 adeti arıza kaynaklı söküm verisi, 11 adet söküm ise arıza dışı söküm verisidir. Arıza kaynaklı söküm arası süreleri toplamda 330439 saat ve arıza dışı söküm süreleri 126264,41 saattir.

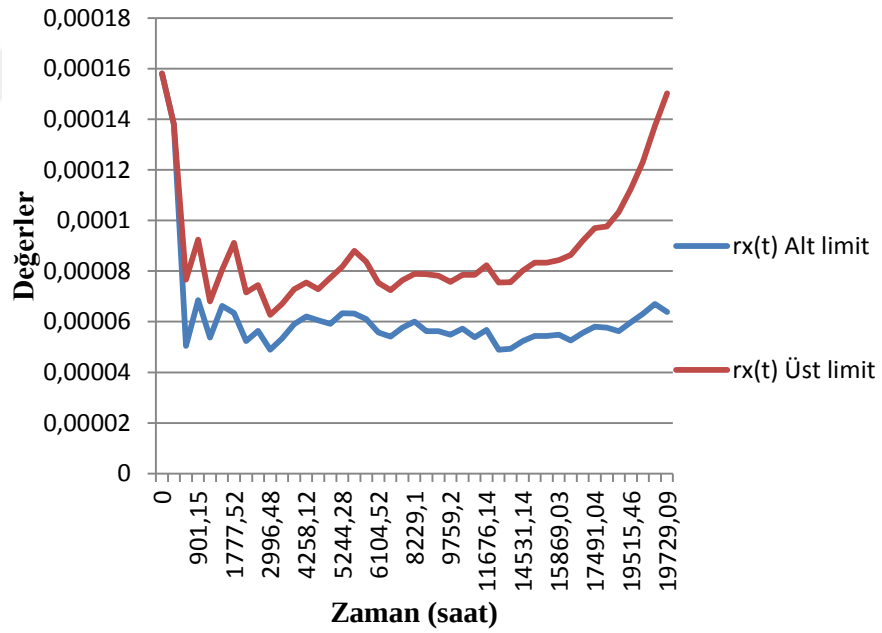
Amaç yağlama sisteminin arıza riskinin arıza oran fonksiyonunu bulmaktır. Bu nedenle arıza X ile gösterilen risktir. Ünitenin verilerine uygun rekabet eden risk modelini belirlemek için alt güvenilirlik, koşullu alt güvenilirlik ve $\Phi(t)$ fonksiyonları sırasıyla 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.9 formülleri kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. İlgili grafikler Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Arıza oran fonksiyonunun X ve Y risk grupları için alt ve üst limitleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.



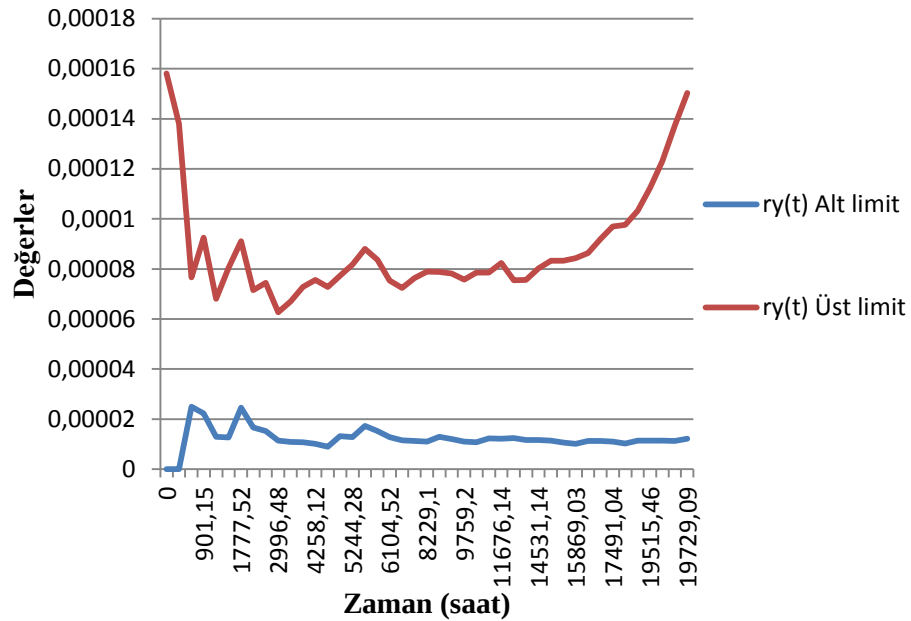
Şekil 3.5: Yağlama sistemi X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları



Şekil 3.6: Yağlama sistemi X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları



Şekil 3.7: Yağlama sistemi X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri



Şekil 3.8:Yağlama sistemi Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri

Y risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonu X risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonunu domine etmektedir. $\Phi(t)$ fonksiyonu genelde zamana bağlı olarak artmıştır. Bu duruma uyan rekabet eden risk modeli Karma Üstel Model gibi görünmektedir. Ancak X ve Y grubuna ait zamana göre ortalama arıza oranı fonksiyonlarının alt ve üst limitleri incelendiğinde üstel dağılımın verilere uymadığı görünmektedir. Çünkü Karma Üstel Dağılım'ın arıza oran fonksiyonu azalan bir fonksiyondur. Ancak X riskinin arıza oran fonksiyonunun sınırları artan bir arıza oran fonksiyonuna izin vermektedir. Yağlama sistemine ait tüm grafikler incelendiğinde literatürde bu duruma uyan bir model görünmediği için riskler bağımsız kabul edilecektir. Bağımsız rekabet eden riskler durumunda sansürlenenden tahmin edilen gözlenen arıza oranı, X'in yalın arıza oranına eşittir. 2.17 formülü kullanılarak yalın arıza oranı aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$\lambda = \frac{34}{330439 + 126264,41} = 7,4 * 10^{-5} \text{ Arıza / Bir Uçuş Saati}$$

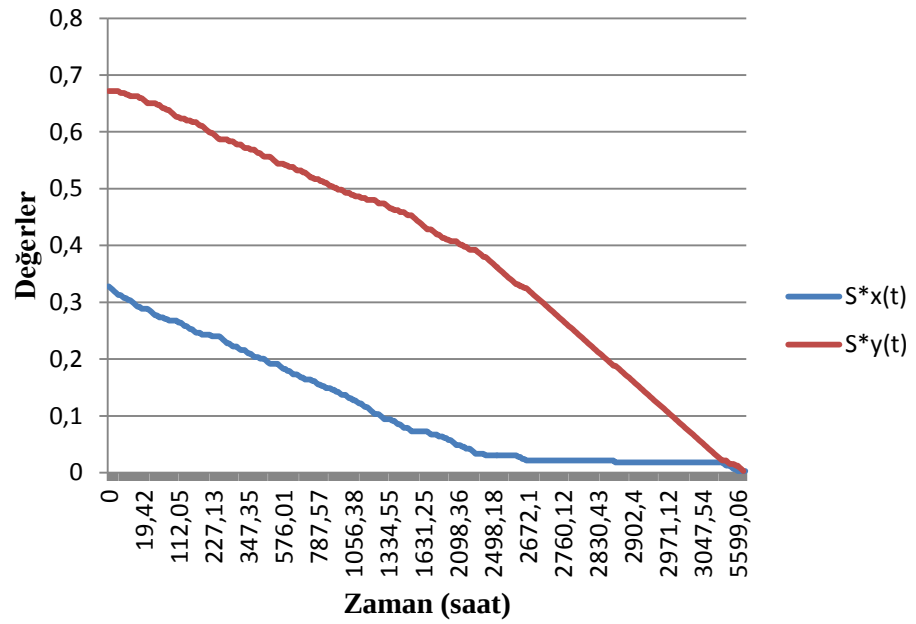
Bu arıza oran değeri oldukça düşüktür. Bu nedenle varolan bakım planının etkin olduğu söylenebilir.

3.3 Durum Cayrosu Analizi

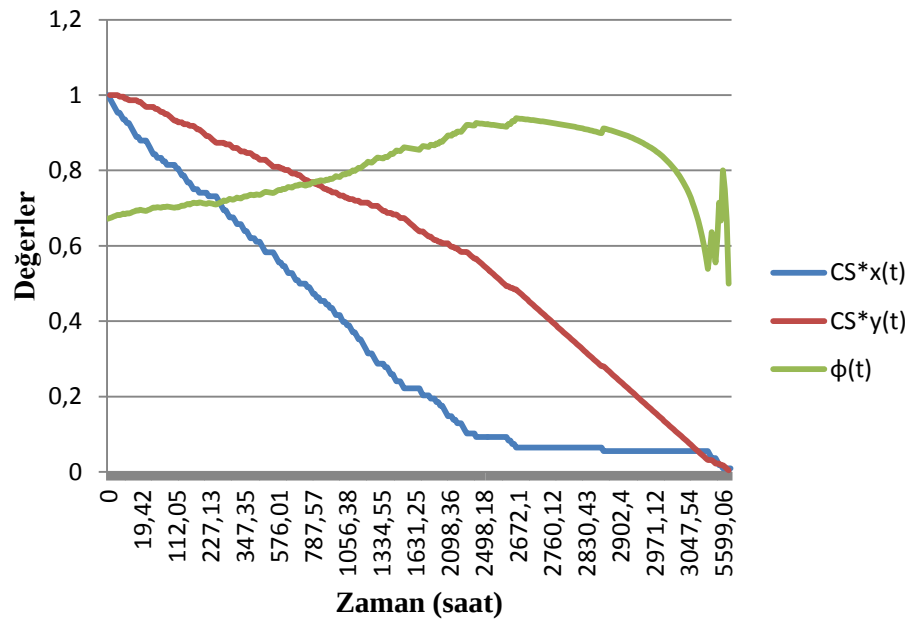
Analizi yapılan bir diğer uçak ünitesi olan durum cayrosu pilota uçağın Dünya'ya göre oryantasyonu konusunda bilgi veren bir uçuş göstergesidir. En basit haliyle; yeri sembolize eden koyu kısım, gökyüzünü sembolize eden açık renk kısım ve bunların birleşimi (suni ufuk) üzerinde bulunan bir uçak maketinden meydana gelir. Pilota uçağın yatışı ve yunuslaması konusunda bilgi verir [22].

Veritabanında toplamda 28 adet farklı durum cayrosu ünitesine ait 329 adet söküm bulunmaktadır. Sökümlerin 108 adeti arıza kaynaklı söküm verisi, 221 adet söküm ise arıza dışı sökümler verisidir. Arıza kaynaklı sökümler arası süreleri toplamda 117159,72 saat ve arıza dışı sökümlerin süresi 462098,91 saattir.

Amaç durum cayrosu ünitesinin arıza riskinin arıza oran fonksiyonunu bulmaktır. Bu nedenle arıza X ile gösterilen risktir. Ünitenin verilerine uygun rekabet eden risk modelini belirlemek için alt güvenilirlik, koşullu alt güvenilirlik ve $\Phi(t)$ fonksiyonları sırasıyla 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.9 formülleri kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. İlgili grafikler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Arıza oran fonksiyonunun X ve Y risk grupları için alt ve üst limitleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



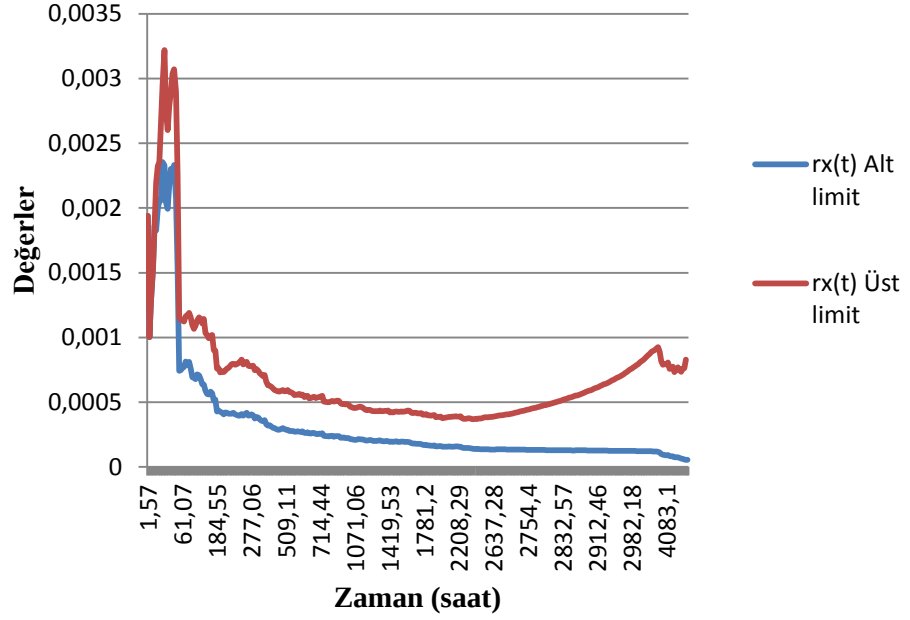
Şekil 3.9: Durum cayrosu ünitesi X ve Y grubu risklerin alt güvenilirlik fonksiyonları



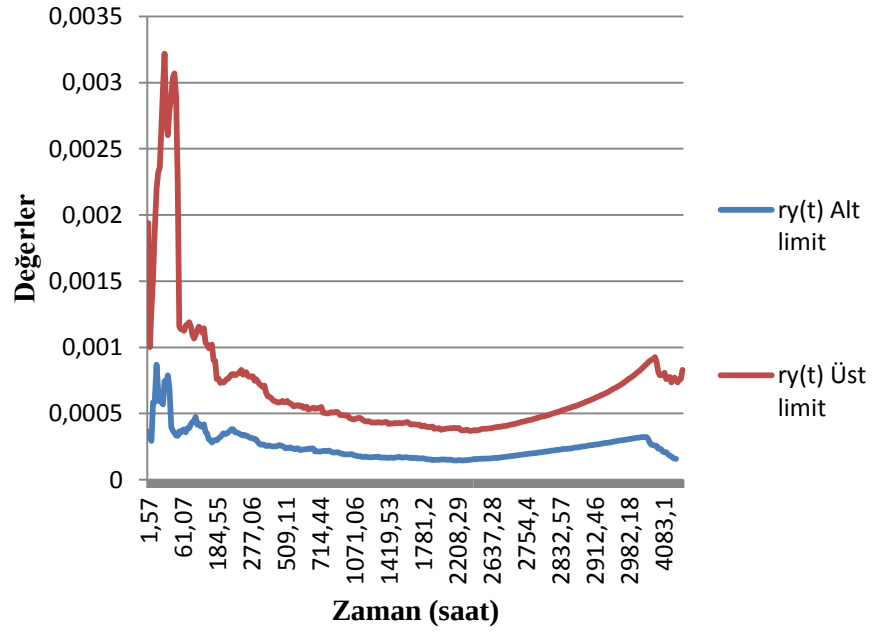
Şekil 3.10: Durum cayrosu ünitesi X ve Y grubu risklerin koşullu alt güvenilirlik ve $\phi(t)$ fonksiyonları

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki grafikleri incelendiğinde Y risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonu, X risk grubunun koşullu alt güvenilirlik fonksiyonunu

domine etmektedir. $\Phi(t)$ fonksiyonu ilk önce artmış sonra azalmıştır. Literatürde bu duruma uygun rekabet eden risk modeli olmadığı için riskler bağımsız kabul edilmiştir.



Şekil 3.11: Durum cayrosu X grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri



Şekil 3.12: Durum cayrosu Y grubu risklerin zamana göre ortalama arıza oran fonksiyonunun alt ve üst limitleri

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de X ve Y grubu riskler için arıza oran fonksiyonu alt ve üst limit grafiklerine bakıldığında X ve Y için kuvvet eğrisi şeklinde bir arıza oranına izin vermektedir.

2.17’ye göre riskler bağımsız olduğunda X’in gözlenen ve yalın arıza oranları eşit olduğu için arıza oranı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda = \frac{108}{117159,72 + 462098,91} = 1,9 * 10^{-4} \text{ Arıza / Bir Uçuş Saati}$$

Bu arıza oran değeri oldukça düşüktür. Bu nedenle mevcut bakım planının etkin olduğu söylenebilir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA SONUÇ VE BULGULAR

4.1 Sonuç

Bu tez çalışmasında güvenilirlik veri tabanlarındaki verilerin analizinde kullanılan modeller arasında önemli bir yeri olan rekabet eden risk modelleri ele alınmıştır. Rekabet eden risk teorisinde tanımlanamama probleminin anlaşılması çok önemlidir. Birden fazla riskin, sistemin arızasına sebep olduğu durumlarda bir sebep yüzünden arıza olduğu zaman diğer sebepler cinsinden sistemin ömrü devam etmekte bu da sansürlenmiş güvenilirlik verisi ortaya çıkarmaktadır. Sansürlenmiş verilerle her bir arıza nedeni cinsinden, doğru güvenilirlik ölçütlerinin tahmin edilebilmesi ancak rekabet eden risk modellerinin uygulanması ile mümkündür.

Bu tezde, hava yolu şirketinden alınan bakım verileri rekabet eden risk modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Verileri analiz edilen alt sistemler arıza ve diğer sebeplerden dolayı söküldükleri için arıza cinsinden sökümünün arıza oranı tahmin edilmiştir. Hava yolu şirketinin tahmin edilen arıza oranlarını standartlarla ve işletme hedefleri ile karşılaştırıp gerekli durumlarda bakım planlarını güncellemeleri gerekmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak uygulama açısından bakım verilerinin kaydedildiği veritabanından arıza nedenleri alınarak (örneğin mekanik ve elektronik arıza gibi), önemli görülen arıza nedenleri cinsinden güvenilirlik ölçütleri bulunabilir. Teorik açıdan ise yeni durumlar için bağımlı rekabet eden risk modellerine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Analiz edilen sistemlerin iki tanesi için var olan bağımlı rekabet eden risk modelleri uygun olmamış ve bağımsız model varsayılmıştır. Ancak mod kontrol paneli verilerinin analizinde görüldüğü gibi yanlış model seçimi durumunda tahmin edilen parametreler de yanlış olmaktadır. Rassal işaret modeli yerine bağımsız üstel dağılım modeli kullanıldığında arıza oranı olduğundan daha küçük tahmin edilmiştir.

Güvenilirlik ölçütlerinin tahmin edilmesinde veritabanlarında doğru ve gerekli detayda verilerin tutulması son derece önemlidir. Unutulmamalıdır ki model ne kadar uygun olursa olsun veriler doğru kaydedilmediyse tahminlerde yanlış olacaktır. Bu nedenle veritabanlarının etkin tasarımı üzerinde önemle durulması ve veri girişi yapan personelin yaptıkları işin önemi konusunda bilgilendirilmeleri ve gerekiyorsa eğitime alınmaları şarttır.



KAYNAKÇA

1. Alper, M., 2000. Uçak Bakım Planlamasında Güvenilirlik Analizi İçin Bir Yöntem Geliştirilmesi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 101 s.
2. Akhmedjanov F.M., 2001. Reliability databases: State-of-the-art and perspectives. **DTU Library Technical Information Center of Denmark, Riso-R-1235: 36 pp.**
3. Lannoy A., Procaccia H., 2001. L'utilisation du Jugement d'expert en sûreté de Fonctionnement, Editions Tec& Doc, Fransa, 392 pp.
4. Tsiatis A., 1975. A nonidentifiability aspect of the problem of competing risks, **Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 72 (1): 20–22.**
5. Güvenilirlik ve Güvenilirlik Merkezli Bakım.
<https://www.ozlemozkilicakademi.com/blog/page/1> (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
6. Lyonnet,P., 1991. Maintenance Planning: Methods and Mathematics, Chapman and Hall., London, 224 pp.
7. Uzun, A., Özdoğan, A., 2011. Güvenilirlik analizlerine dayalı önleyici bakım planlaması. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (1): 303-320.
8. Tsang, A.H.C., 2002. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering, 8 (1): 7-39.**
9. Cassady C.R., Pohl E.A., Murdock W.P., 2001. Selective maintenance modeling for industrial systems, **Journal of Quality in Maintenance Engineering, 7 (2): 104-117.**
10. Bedford T., Cooke R., 2001. Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods, Cambridge University Press, Cambridge, 364 pp.
11. Tsang A.H.C, Jardine A.K.S, Kolodny,H., 1999. Measuring maintenance performance: A holistic approach. International Journal of Operation Production Management, 19 (7): 691-715.
12. Sarhan A.B., Hamilton D.C., Smith B., 2010. Statistical analysis of competing risks models. **Reliability Engineering and System Safety, 95: 953–962.**
13. Cooke R., Bedford T., 2002. Reliability databases in perspective. **IEEE Transactions on Reliability, 51: 294-310.**

14. Bunea C.,Cooke R.M., Lindqvist B.H., 2003. Competing risk perspective on reliability databases. **Mathematical and Statistical Methods in Reliability**, **23**: 355-370.
15. Bunea C., 2002. Mathematical Models For Reliability Data. University Politehnica of Bucharest, Doctorate Thesis, Bucharest, 151 pp.
16. Dorrepeal J., 1995. Analysis Tools for Reliability Databases, Delft University of Technology, Post-Doctorate Thesis, Stokholm, Sweden, 108 pp.
17. Cooke R.M., 1996. The design of reliability databases, part II: competing risk and data compression, **Reliability Engineering and System Safety**, **51**: 209-223.
18. Christen J.A.,Ruggeri F., Villa E., 2011. Utility based maintenance analysis using a random sign censoring model. **Reliability Engineering and System Safety**, **96**: 425-431.
19. Wilson A, Limnios N., 2004. Modern Statistical and Mathematical Methods in Reliability, World Scientific, Singapore, 409 pp.
20. MEB, 2012. Mesleki ve Teknik Eğitim Programlar ve Öğretim Materyalleri Uçak Bakım- Otomatik Uçuş, (Web sayfası: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Otomatik%20U%C3%A7u%C5%9F.pdf)(Erişim tarihi: Temmuz 2019).
21. MEB, 2012. Mesleki ve Teknik Eğitim Programlar ve Öğretim Materyalleri Uçak Bakım- Yağlama Sistemi, 525MT0041. (Web sayfası: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ya%C4%9Flama%20Sistemi.pdf) (Erişim tarihi: Temmuz 2019).
22. <https://www.ansiklodedi.com/cwiki/wiki/Durum-cayrosu> (Erişim tarihi: Temmuz 2019).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Selda SAKAR
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 05.09.1987 - SİVAS
Medeni Durum: Evli
e-mail: selda.skr@hotmail.com
Yazışma Adresi: Mevlana Mah. Elçibey Cad. Ladin Apt. No:18/7
Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2010
Lise	Sivas Kongre Lisesi	2005

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017-Halen	Kayseri Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü	Yurt Yönetim Personeli
2012-2014	Mestaş Metal Endüstri Sanayi A.Ş. / Kayseri	Üretim Planlama Mühendisi
2012-2010	Sivas YILTAŞ Grup A.Ş.	Kalite Güvence Sorumlusu

YABANCI DİL

İngilizce