

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



**GELENEKSEL TERMİK SANTRALLERİN ANA
BİLEŞENLERİNİN SİSTEM BİLEŞEN ÖNEM
ÖLÇÜMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yunus BULUT

HAZIRLAYAN
Nurettin MENTEŞ

MALATYA - 2018

T.C.

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**GELENEKSEL TERMİK SANTRALLERİN
ANA BİLEŞENLERİNİN SİSTEM BİLEŞEN
ÖNEM ÖLÇÜMLERİNE GÖRE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

HAZIRLAYAN

Doç. Dr. Yunus BULUT

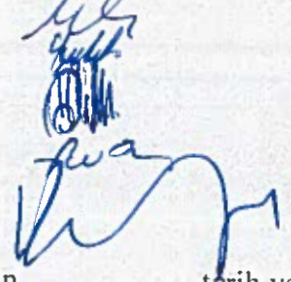
Nurettin MENTEŞ

Jürimiz 26 Aralık 2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda bu doktora tezi (oybirliği /oyçokluğu) ile başarılı bulunarak Ekonometri Anabilim dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvan Ad Soyadı

1. Prof. Dr. Mehmet GÜNGÖR
2. Doç. Dr. Yunus BULUT (Danışman)
3. Doç. Dr. Gökhan GÖKDERE
4. Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin ÖZBEY
5. Dr. Öğr. Üyesi Kamil DURDU

İmza



İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararıyla bu tezin kabulü onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KUBAT

Sosyal Bilimler Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doç. Dr. Yunus BULUT' un danışmanlığında, doktora tezi olarak hazırladığım **“Geleneksel Termik Santrallerin Ana Bileşenlerinin Sistem Bileşen Önem Ölçümlerine Göre Değerlendirilmesi”** başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün yapıtların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

.../.../.....

Nurettin MENTEŞ

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İnönü Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun 3 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

.../.../...

Nurettin MENTEŞ

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam esnasında danışman hocam olarak bilgi ve tecrubesini benden esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Yunus Bulut'a, Ekonometri Bۆlüm Baőkanı Prof. Dr. Mehmet Güngör'e, Tez İzleme Komitesi yesi Prof. Dr. Ahmet Uėur'a Ekonometri Bۆlm Arő. Gör. Gökhan Konat ve Arő. Gör. Muhammed Őamil Şık'a, sevgili dostum gr. Gr. İsmail İlhan'a akademik çalıőmalarım esnasında bana destek olan çalışma arkadaşlarıma tüm çalışmam boyunca zahmetime katlanan sevgili eőim Yurdaėül Menteş'e ve çocuklarıma teőekkürlerimi sunuyorum.



ÖZET

Türkiye gelişen ve büyüyen ekonomisi ile sürekli artan bir enerji talebi ile karşı karşıyadır. Sürekli artan bir ivmeye sahip olan enerji talebini karşılamak için daha fazla enerji yatırımı yapılmaktadır. Son yıllarda yapılan yenilenebilir enerji ve nükleer enerji yatırımları bu ihtiyacı karşılamak içindir. Ancak mevcut durumda uzun bir süre daha termik yollardan enerji temini, ülkemiz açısından önemini korumaya devam edecektir. Termik santrallerin kurulumu maliyetlidir. Termik santrallerin karmaşık yapılı bileşenleri mevcuttur. Sürekli bir performans beklenen sistemlerdir. Çalışmalarında meydana gelecek aksamalar enerji güvenilirliği açısından istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle bakım ve onarım çalışmaları doğru planlanmalıdır.

Bu çalışmada geleneksel bir termik santralin yapısal şemasındaki bileşenler sık kullanılan bileşen önem ölçüleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde bileşen önemini temellendirebilmek adına güvenilirlik olgusu, sistem tasarımı, sistem çeşitleri ve sistem güvenilirliği kavramsal olarak tanıtılmıştır. İkinci bölümde çalışmada kullanılacak bileşen önem ölçüleri tanıtılmıştır. Güvenilirliğe dayalı önem ölçüleri için Birnbaum, Potansiyel, Kritik ve Fussell-Vesely önem ölçüleri ve yaşam dağılımına bağlı olarakta Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçüleri tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde ise Dünya’da ve Türkiye’de enerjinin genel bir durumu verildikten sonra 600 MW gücündeki bir geleneksel termik santralin bileşen önemleri değerlendirilmiştir. Oluşturulan simülasyon yardımı ile rassal güvenilirlik değerleri için Birnbaum, Potansiyel, Kritik ve Fussell-Vesely önem ölçülerine göre bileşen önemlilikleri hesaplanmış ve hangi bileşenin sistem açısından daha önemli olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Yaşam dağılımına bağlı olarak oluşturulan diğer bir simülasyon yardımı ile Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçüleri için hangi bileşenin sistem açısından daha önemli olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm bileşen önem ölçüleri açısından türbin bileşeni en önemli bileşen olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sistem Güvenilirliği, Termik Santral, Birnbaum Önem Ölçümü, Potansiyel Önem Ölçümü, Kritik Önem Ölçümü, Fussell-Vesely Önem Ölçümü, Barlow-Proschan Önem Ölçümü, Natvig Önem Ölçümü

ABSTRACT

Evaluation of The Main Components of Conventional Thermal Power Plants According to System Component Importance Measures

Turkey is faced with an ever-increasing demand for energy along with its developing and growing economy. Further energy investments should be made to meet the demand for energy with an ever increasing acceleration. In recent years, renewable energy and nuclear energy investments have been made to meet this demand. However, in the current situation, the energy supply through thermal means for a long time will continue to maintain its importance for our country. The installation of thermal power plants is costly. Thermal power plants have complex components. They are the systems from which continuous performance is expected. The disruptions that will arise in their operation are undesirable situations in terms of energy reliability. Therefore, maintenance and repair works should be planned properly.

In this study, the components in the structural scheme of a conventional thermal power plant were evaluated by frequently used component importance measures. In the first section of the study, the reliability phenomenon, system design, system types and system reliability were introduced conceptually to be able to ground the component importance. The component importance measures to be used in the study were introduced in the second section. Birnbaum, Potential, Critical and Fussell-Vesely importance measures were defined for importance measures based on reliability, and Barlow-Proschan and Natvig importance measures were defined depending on lifetime distribution. In the third section, the general situation of energy in the world and Turkey was presented and then the component importance measures of a conventional thermal power plant with 600 MW power were evaluated. The component importances were calculated by Birnbaum, Potential, Critical and Fussell-Vesely importance measures for random reliability values with the help of the simulation generated, and an attempt to determine which component was more important for the system was made. An attempt to determine which component was more important for the system was made for Barlow-Proschan and Natvig importance measures with the help of another simulation generated depending on lifetime distribution. The turbine component was calculated as the most important component in terms of all component importance measures.

Keywords: System Reliability, Thermal Power Plant, Birnbaum Importance Measurement, Potential Importance Measurement, Critical Importance Measurement, Fussell-Vesely Importance Measurement, Barlow-Prochan Importance Measurement, Natvig Importance Measurement



İÇİNDEKİLER

KABUL ONAY	ii
ONUR SÖZÜ	iii
BİLDİRİM.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
GİRİŞ.....	1
1. GÜVENİLİRLİK VE SİSTEM TASARIMI.....	3
1.1. Güvenilirlik Olgusu.....	3
1.2. Sistem Tasarımı ve Özellikleri	6
1.2.1. Yapı Fonksiyonu	7
1.2.2. Seri Sistemler	8
1.2.3. Paralel Sistemler	8
1.2.4. n’den k Çıkışlı Sistemler	9
1.2.5. Tutarlı Sistemler	11
1.2.6. Tutarlı Sistemler İçin Yollar ve Kesenler	12
1.2.7. Sistemlerin Güvenilirlik Değerlendirmesi.....	13
2. BİLEŞEN ÖNEM ÖLÇÜLERİ	17
2.1. Güvenilirlik Önem Ölçüleri	22
2.1.1. Birnbaum Önem Ölçümü (B-güvenilirlik Önemi)	22
2.1.2. Potansiyel Önem Ölçümü	23
2.1.3. Kritik Güvenilirlik Önem Ölçümü	24
2.1.4. Fussell - Vesely (FV) Önem Ölçümü.....	25
2.2. Ömür Önem Ölçümleri.....	27
2.2.1. Zaman Bağımlı Birnbaum Önem Ölçümü.....	27
2.2.2. Zaman Bağımlı Kritik Ömür Önem Ölçümü	28
2.2.3. Zaman Bağımlı Fussell –Vesely (FV) Ömür Önem Ölçümü	28

2.2.4. Zaman Bağımsız Barlow-Proschan (BP) Ömür Önem Ölçümü	29
2.2.5. Zaman Bağımsız Natvig Ömür Önem Ölçümü:	29
3. GELENEKSEL TERMİK SANTRALLERİN YAPISAL ŞEMASINDAKİ BİLEŞENLER İÇİN ÖNEM ÖLÇÜLERİNİN UYGULANMASI	31
3.1. Dünya’da Enerjinin Genel Görünümü	31
3.1.1. Petrol.....	36
3.1.2. Doğal Gaz	37
3.1.3. Kömür.....	38
3.1.4. Dünya’da Elektrik Üretimi.....	40
3.2. Türkiye’de Enerjinin Genel Görünümü	41
3.2.1. Termik Santraller	45
3.3. Geleneksel Termik Santrallerin Yapısal Şemasındaki Bileşenler İçin Önem Ölçülerinin Uygulanması.....	48
3.3.1. Güvenilirliğe Bağlı Önem Ölçüleri Sonuçlar	50
3.3.2. Yaşam Dağılımına Dayalı Bileşen Önem Ölçüm Sonuçları.....	62
SONUÇ	71
KAYNAKÇA	79
EKLER	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sol Kümülatif Dağılım Fonksiyonu, Sağ Sürekli Yaşam Fonksiyonu.....	4
Şekil 1.2. Küvet Eğrisi.....	6
Şekil 1.3. Seri Sistem Güvenilirlik Blok Diyagramı	8
Şekil 1.4. Paralel Sistem Güvenilirlik Blok Diyagramı.....	8
Şekil 1.5. 3' den 2 Çıkışlı Yapı	9
Şekil 1.6. Seri - Paralel 3 Bileşenli Sistem	10
Şekil 1.7. Yollar ve Kesenler İçin Örnek Güvenilirlik Blok Diyagramı	12
Şekil 2.1. Üç Bileşenli Sistem	25
Şekil 3.1. Avrupa Birliği OECD Ülkeleri ve OECD Dışı Ülkeleri 2017 Yılı Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi Yüzdeleri	35
Şekil 3.2. 2017 Yılı Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi	35
Şekil 3.3. 2017 Yılı Kanıtlanmış Petrol Rezervleri	37
Şekil 3.4. 2017 Yılı Kanıtlanmış Doğal Gaz Rezervleri	38
Şekil 3.5. 2017 Yılı Kanıtlanmış Kömür Rezervleri	39
Şekil 3.6. Kaynaklara Göre 2017 Yılı Elektrik Üretimi	40
Şekil 3.7. Üretilen Elektriğin Kaynaklara Göre Yüzdeleri Dağılımı.....	41
Şekil 3.8. Türkiye'nin 2017 Yılı Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı.....	43
Şekil 3.9. 2017 Yılı Türkiye Elektrik Üretim Yöntemleri.....	44
Şekil 3.10. Bir Buhar Türbinli Termik Santralin Prensipteki Şeması	45
Şekil 3.11. 600 MW Gücünde Konvansiyonel Bir Termik Santralin Çalışma Şeması .	49
Şekil 3.12. 600 MW Konvansiyonel Termik Santralin Yapısal Şemasının Blok Diyagramı	50
Şekil 3.13. Güvenilirliğe Dayalı Önem Hesapları İçin Oluşturulan Simülasyon.....	51
Şekil 3.14. İlk 100 Deneme Sonucunda Potansiyel Önem Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı	52
Şekil 3.15. İlk 100 Deneme Sonucunda Kritik Önem Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı.....	53
Şekil 3.16. İlk 100 Deneme Sonucunda Birnbaum Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı	54

Şekil 3.17. İlk 100 Deneme Sonucunda Fussell-Vesely Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı	55
Şekil 3.18. Yaşam Dağılımına Bağlı Önem Ölçümleri İçin Oluşturulan Simülasyon ...	63
Şekil 3.19. İlk 100 Deneme Sonucunda Barlow-Proschan Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı	64
Şekil 3.20. İlk 100 Deneme Sonucunda Natvig Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı	67



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. 2017 Yılı İçin Bazı Ülkelerin Birincil Enerji Tüketimi	32
Tablo 3.2. 2017 Yılı Yakıt Kaynaklı Birincil Enerji Tüketimi	34
Tablo 3.3. Dünya’da Kanıtlanmış Petrol Rezervi	36
Tablo 3.4. Dünya’da Kanıtlanmış Doğal Gaz Rezervi	37
Tablo 3.5. Dünya’da Kanıtlanmış Kömür Rezervi	39
Tablo 3.6. Birincil Enerji Tüketimi: Kaynaklara Göre	42
Tablo 3.7. Türkiye’de 2017 Yılı Elektrik Üretimi	42
Tablo 3.8. Türkiye’de Üretilen Elektrik Enerjisinin Kaynaklara Göre Dağılımı	43
Tablo 3.9. Türkiye’deki Mevcut Termik Santraller	46
Tablo 3.10. İlk 100 Deneme İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları.....	52
Tablo 3.11. İlk 100 Deneme İçin Kritik Önem Ölçüm Sonuçları.....	53
Tablo 3.12. İlk 100 Deneme İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları.....	54
Tablo 3.13. Tüm Denemeler İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları	55
Tablo 3.14. Tüm Denemeler İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması.....	57
Tablo 3.15. Tüm Denemeler İçin Kritik Önem Ölçüm Sonuçları.....	58
Tablo 3.16. Tüm Denemeler İçin Birnbaum Önem Ölçüm Sonuçları	58
Tablo 3.17. Tüm Denemeler İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları	59
Tablo 3.18. Tüm Denemeler İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması .	61
Tablo 3.19. Türbin Bileşeninin Güvenilirliğe Dayalı Önem Ölçümlerine Göre En Önemli Bileşen Olma Yüzdeleri	61
Tablo 3.20. İlk 100 Deneme İçin Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları.....	63
Tablo 3.21. Tüm Denemeler İçin Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları	64
Tablo 3.22. Tüm Denemeler Sonucunda Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması	66
Tablo 3.23. İlk 100 Deneme İçin Natvig Önem Ölçüm Sonuçları.....	67
Tablo 3.24. Tüm Denemeler İçin Natvig Önem Ölçüm Sonuçları	68
Tablo 3.25. Tüm Denemeler Sonucunda Natvig Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması...	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

t	Zaman
t_0	Belirli Bir Zaman
$P(.)$	Olayın Gerçekleşme Olasılığı
T	Yaşam Ömrü
T_\emptyset	\emptyset Sisteminin Ömrü
$f(t)$	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$R(t)$	Güvenilirlik Fonksiyonu
$F(t)$	Güvenilmezlik Fonksiyon
$h(t)$	Hata Oranı Fonksiyonu
$E(Z_i)$	Beklenen Sistem Ömründeki Artış
TWh	TeraWattsaat
GWh	GigaWattsaat
MW	MegaWatt
A	Kullanışlılık
R	Sistem Güvenilirliği
\emptyset	Sistem Durumu
x_i	Bileşen Durumu
P	Yol Kümesi
K	Kesen Kümesi
X_i	Tesadüfi Değişken
$R(p)$	Tutarlı Sistemlerin Güvenilirliği
$\bar{F}_i(t)$	Sürekli Ömür Dağılım Fonksiyonu
$\bar{F}_\emptyset(t);$	t Süresi Boyunca Sistemin Hayatta Kalma Olasılığı
$f_\emptyset(t)$	Sistem Ömrü İçin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$r_\emptyset(t)$	Sistem Ömrü İçin Hata Oranı Fonksiyonu
$E(T_\emptyset)$	Sistem Ömrü İçin Beklenen Ömür
$I_{Bs}(i, p)$	i Bileşeninin Sistem Başarısı İçin Birbuam Önemi
$I_{Bf}(i, p)$	i Bileşeninin Sistem Başarısızlığı İçin Birbuam Önemi
$I_B(i, p)$	i Bileşeninin Birbuam Önemi Ölçümü
$I_{IP}(i, p)$	i Bileşeninin Potansiyel Önemi

$I_{Cs}(i, p)$	i Bileşeninin Sistemin Çalışması İçin Kritik Önem Ölçümü
$I_{Cf}(i, p)$	i Bileşeninin Sistemin Arızalı Olması Kritik Önem Ölçümü
$I_{FVc}(i, p)$	Kesen Kümelerine Göre Fussell- Vesely Önem Ölçümü
$I_B(i, \bar{F}(t))$	Zaman Bağımlı Birnbaum Önemi
$I_{Cf}(i, \bar{F}(t))$	Zaman Bağımlı Kritik Önem Ölçümü
$I_{FVc}(i, \bar{F}(t))$	Zaman Bağımlı Fussell-Vesely Önem Ölçümü
$I_{BP}(i, \bar{F})$	Zaman Bağımsız Barlow-Proschan Önemi
$I_N(i, \bar{F})$	Zaman Bağımsız Natvig Önemi
\bar{C}_i	i Bileşenini İçeren Minimal Kesenlerin Kümesi
C_k	$k = 1, 2, \dots, u$ İçin t Anında Minimal Kesen
N	Sistemdeki $1, 2, \dots, n$ Bileşenlerinin Bir Kümesi
$N_0(\mathbf{X})$	$\{i \in N : X_i = 0\}$ dir. $\emptyset(\mathbf{X}) = 0$ ise $N_0(\mathbf{X})$ Kesendir ve \mathbf{X} Kesen Vektörüdür.
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
BP	British Petrol
MTTF	Ortalama Başarısızlık Süresi
MTBF	İki Arıza Arası Ortalama Süre
MTTR	Onarım İçin Ortalama Süre
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OECD	Organisation For Economic Co-Operation And Development
A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
B.D.T	Bağımsız Devletler Topluluğu
TDL	Time-Dependent Lifetime importance
TIL	Time Independent Lifetime importance
I_p	Birinci Döngülere Ait Borular
II_p	İkinci Döngülere Ait Borular
ASP	Ana Sirkülasyon Pompaları
BP	Besleme Pompaları
BK	Buhar Kazanları
T	Türbinler

GİRİŞ

Genel olarak sistem belirli işlemleri yerine getiren bileşenlerin bir koleksiyonudur (Kuo & Zhu, 2012, s. 49). Sağlık, ulaştırma, mekanik, sanayi, endüstri, enerji gibi birçok disiplin alanında sistem olgusu kendine yer bulmuştur. Burada sistem kavramı ile beraber sistemi oluşturan bileşen kavramı da odak haline gelmektedir. Sistemin düzgün çalışması bir yönü ile sistemi oluşturan bileşenlerin düzgün çalışması ile ilişkilidir. Sistem bileşenlerinin sistem açısından ne derece önemli olacağı araştırılmaya değer bir konudur. Bazen sistemi oluşturan bileşenlerin belli periyotlarda değiştirilmesi gerekebilir. Nasıl bir prosedür ile bu işlemin yapılacağı veya en az maliyet ile bu işin nasıl yapılabileceği araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Kimi zaman bir bileşende yaşanan aksaklık telafisi imkansız problemlere yol açmaktadır. Kaynakların sınırlı olduğu durumlarda sistem ömrünü arttırmak için sistem performansını en çok arttıracak bileşene odaklanmak gerekebilir (Kuo & Zhu, 2012).

Bir sistem başarısız olduğunda teşhis ve bakım verimli bir şekilde yürütülmelidir, sistemin arızalanmasına neden olan bileşen ya da bileşenler tespit edilmeli ve mümkün olan en kısa sürede sistem tekrar çalıştırılmalıdır. Bakım açısından sistem arızası giderilene kadar, önce arızaya neden olan bileşen ardından en olası ikinci bileşen ve benzeri parçalar kontrol edilmelidir. Bu amaç doğrultusunda farklı bileşenlerin sistem arızası açısından ne kadar önemli olduğunu gösteren bir kontrol listesi oluşturulabilir. Operatöre sağlanan bir kontrol listesi aracılığı ile kullanıcılara önem ölçüsüne dayalı bakım yöntemleri önerilebilir (ReliaSoft, 2003).

Bileşen önemini ölçmek için iki ana neden göze çarpmaktadır. Birincisi; en düşük maliyet veya emek ile toplam sistem güvenilirliğini artırmak için en fazla hangi bileşenin araştırma geliştirme yapmaya değer olduğunun belirlenmesine imkan tanır. İkincisi de bir işlemciye takip etmesi gereken bir kontrol listesi oluşturarak sistem hatalarını teşhis etmenin en etkili yolunu önerebilir (Natvig, 2011, s. 133).

Bileşen önemi birçok alanda araştırma konusu olmuştur. Bileşen önemi ile ilgili ilk çalışma; Birnbaum tarafından yapılmıştır (Bulut, Demiralp, & Şık, 2015, s. 57). Birnbaum önem ölçümü yukarıda bahsettiğimiz iki nedenden birincisini karşılamaktadır. Burada bir temel sorun bileşenler açısından sabit zaman noktasına

odaklanması ve ikincisi de bileşenlerin önem dereceleri sistemin tüm performansına bağlı olmasına rağmen ölçümlerin i. bileşene bağlı olmasıdır. Bu itirazlar Barlow-Proschan önem ölçülerinin genelleştirilmesine yüklenemezler (Natvig 2011 s137).

Bileşen önem indeksi sadece sistem güvenilirliğinin maksimize edilmesi için değil literatürde birçok farklı alanda kullanılmıştır. Zio ve Ark. (2007) demiryolu ulaşımında gecikmeleri etkili bir şekilde azaltacak demiryolu ulaşım alt bölümlerine önem verilecek önem dereceleri öne sürmüşlerdir. Rasgele orman değişkenlerinin önem ölçülerini Schwender ve diğerleri (2011) biyoinformatik alanında, Strobl ve ark. (2007) hastalık risk faktörlerini araştırmak için kullanmışlardır. Aynı önem ölçülerini Archer ve Kimes (2008) mikrodizil çalışmalarında kullanmışlardır. Smith ve Borgonovo (2007) önem ölçümlerinin nükleer enerji santralleri olaylarında karar verme için öncü ana adım olan olasılık risk analizi ve olasılıklı güvenilirlik değerlendirmesi için faydalı olduğunu fark etmişlerdir. Nükleer enerji açısından Fussell (1975) ve Vesely (1970), sistem güvenilirliğini ve tam olasılıksal bilgiye dayalı risk değerlendirmesi için önem ölçümleri kavramını ilk uygulayan kişilerdir. Simmons ve ark. (1998) yazılımın önemli modüllerini tanımlamak konusunda bir çalışma yapmışlardır. Önem dereceleri yönetim bilimlerinde ve finansal karar verme süreçleri içinde kullanılabilirler (Soofi ve Diğerleri 2000). Borgonovo ve Pecacati (2004) çalışmasında yatırım projesi kararları için diferansiyel önem ölçülerini uygulamışlardır. (Kuo & Zhu, 2012, s. 6-12). Natvig ve Gasemry onarılabilen ve onarılamayan sistemler için Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçüleri için yeni sonuçlar vermişlerdir (Natvig & Gasemyr, 2009). Natvig ve ark. (2009) onarılabilen sistemler için Natvig önem ölçülerinin tüm nümerik analizini, denizde petrol ve gaz sistemine yapılan bir uygulama ile sunmuşlardır (Natvig, Gasemry, Hesby, & Isaksen, 2009).

Bu çalışmada da geleneksel bir termik santralin yaygın kullanım blok şemaları üzerinde ana bileşenler için yaygın kullanılan önem ölçülerinin hesaplanmasını gerçekleştirilmiştir. Bunun için MATLAB R2017a programından faydalanılmıştır. Geliştirilen simülasyon yardımı ile güvenilirliğe dayalı önem ölçülerinin nasıl hesaplandığı ortaya konulmuş ayrıca ömür dağılımlarına dayalı olarak Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçülerine göre bileşen önemleri hesaplanmıştır.

1. GÜVENİLİRLİK VE SİSTEM TASARIMI

1.1. Güvenilirlik Olgusu

Herhangi bir teknik sistemin, belirli şartlar altında belirlenen zaman içerisinde öngörülen fonksiyonu memnun edici bir şekilde yerine getirme ihtimaline güvenilirlik denir (Kuo & Zuo, 2003, s. 32). Bu durumda güvenilirlik bir olasılık ölçümüdür. Bir sistemin güvenilirliği bileşenlerinin performansına bağlıdır. Sistemin güvenilirliği, bileşenlerinin güvenilirliğinin bir fonksiyonudur. Güvenilirliğin karşıtı ise güvenilirmezliktir.

Güvenilirlik ifadesi, imalat-montaj, kalite-kontrol, kullanma ve bakımdan dolayı meydana gelebilecek hataları içinde barındırır. Bir sistem her zaman sorunsuz olarak istenileni yerine getirmeyebilir. Sistemin belli bir süre içerisinde istenilen işlemi yerine getirmesinde bakım ve tamir önemli rol oynamaktadır. Amaçları aynı olsa da bu iki işlemin bazı farkları mevcuttur. Bakım sistemin işe yaramaz olmaması için yapılması gereken işlemleri anlatırken tamir ise işe yaramaz hale gelmiş sistemlerin yeniden işe yarar hale getirilmesi sürecidir. Bazı savaş sistemleri hariç genelde sistemler tamir edilebilmektedir (Feyzulloğlu, 2005, s. 3). Sistemin çalışmaz olması bileşenlerinin bir ya da bir kaçının arızalanmasından kaynaklanabilir. O halde onarım (tamir), sistemin arızalı olan parça veya parçalarının yeniden çalışır hale getirilmesi sürecidir. Bazı parçaların onarımı yenisi ile değiştirilmesinden daha maliyetli olabilmektedir. Genelde çok pahalı parçalar hariç, bozulan sistem elemanlarının yenisi ile değiştirilmesi tercih edilir.

Sistem güvenilirliğinin bir diğer önemli yaklaşımı; sistem bileşenlerinin işe yaramaz hale gelmeden önce yaşam ömürlerinin belirlenmesidir. Böylece ömür süresi dolacak olan bileşenlerin arızalanmadan önce yenisi ile değiştirilmesi mümkün olabilir. Bu işlem bakım kısmına girer ve makine ya da sistem arızalanmadan yenisi ile değiştirilmesini sağlar. Sistem bileşenlerinin dayanma ömürleri, bileşenlerin arıza sonrası yenisi ile değişene kadar geçen süre ve bu sürenin işletmeye olan maliyeti önceden kestirilebilmelidir. Örneğin otomobiller düzenli bakıma girerler eskiyen ve aşınan parçalar yenisi ile değiştirilir böylece meydana gelebilecek daha büyük hasarların önüne geçilir. İşletmeler doğacak zararları en aza indirmek adına veya

üretimin aksamaması için parça yaşam ömürlerini önceden kestirmek isterler bu durum olasılık teorisine dayanan güvenilirlik analizinin son yıllarda hızlı bir şekilde gelişimine neden olmuştur.

Tanım 1.1. T cihazın yaşam ömrünü temsil eden bir tesadüfi değişken olsun. $f(t)$, T 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu ve $F(t)$ kümülatif dağılım fonksiyonu olsun.

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (1.1)$$

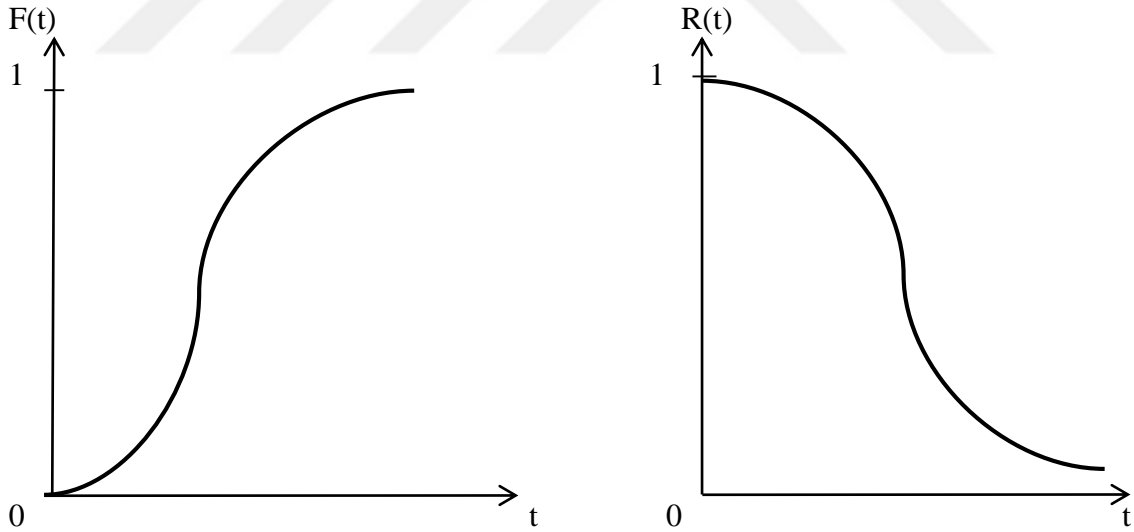
$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(x)dx \quad (1.2)$$

(1.1) ve (1.2) ile verilen $R(t)$ ifadesine güvenilirlik fonksiyonu denir (N. O'Connor, Modarres, & Mosleh, 2016, s. 12).

Burada $R(0) = 1$ ve $R(\infty) = 0$ olduğu açıktır. $R(t)$, t 'nin artmayan bir fonksiyondur. Burada $F(t)$ fonksiyonuna Güvenilmezlik fonksiyonu denir.

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

olduğu açıktır. Güvenilirlik zamanla azalır iken güvenilmezlik ise zamanla artar (Kuo & Zuo, 2003, s. 32-33).



Şekil 1.1. Sol Kümülatif Dağılım Fonksiyonu Sağ Sürekli Yaşam Fonksiyonu

(N. O'Connor, Modarres, & Mosleh, 2016, s. 13)

Tanım 1.2. (Ortalama Başarısızlık Zamanı)

Onarıma giren cihazlarda ilk bakım için ortalama zamandır. Beklenen değer, T 'nin ortalama yaşam ömrü veya ortalama dayanma süresi MTTF (Mean time to failure) olarak ifade edilir. MTTF,

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (1.3)$$

ile ifade edilir. Daha açık bir gösterim olarak

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (1.4)$$

yazılabilir. Bazı cihazlar tam bozulmadan biraz daha kullanılabilirler. Yani çürüğe ayrılmadan bazı sıklıkla arızalanıp tekrar kullanılabilirler. Onarılabilen parçalar da ilk arıza için ortalama arıza süresi MTTF ile ve iki arıza arasındaki ortalama süre, MTBF (mean time between failures) ile gösterilir. MTBF; sistem ilk arıza verdiği noktadan, onarılıp tekrar arıza verinceye kadar geçen süreyi kapsar. Tamir için geçen süreyi içermez. Tamir için gerekli ortalama zaman MTTR (mean time to repair) ile gösterilir. Onarılabilen cihazlar için kullanılabilirlik çoğu zaman performansın bir ölçütü olmuştur (Kuo & Zuo, 2003, s. 33).

Tanım 1.3. (Kullanılabilirlik)

Kullanılabilirlik

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.5)$$

ile tanımlanır (Kuo & Zuo, 2003, s. 33)..

Tanım 1.4. (Şartlı Güvenilirlik)

Şartlı güvenilirlik, daha önce belli bir sürede işlevini tamamlamış bir birimin verilen başka bir ek sürede işlevini başarma olasılığının hesabında kullanılır. t ilk başarıyla tamamlanmış işlem süresi τ ek süre başarı süresi olmak üzere şartlı güvenilirlik

$$R(\tau|t) = P(T > t + \tau | T > t) = \frac{R(t + \tau)}{R(t)} \quad (1.6)$$

ile tanımlanır (Kuo & Zuo, 2003, s. 33)..

Tanım 1.5. (Hata Oranı Fonksiyonu)

Hata oranı fonksiyonu (hazard rate function), anlık hata oranıdır. Risk fonksiyonu da denir ve $h(t)$ ile gösterilir.

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.7)$$

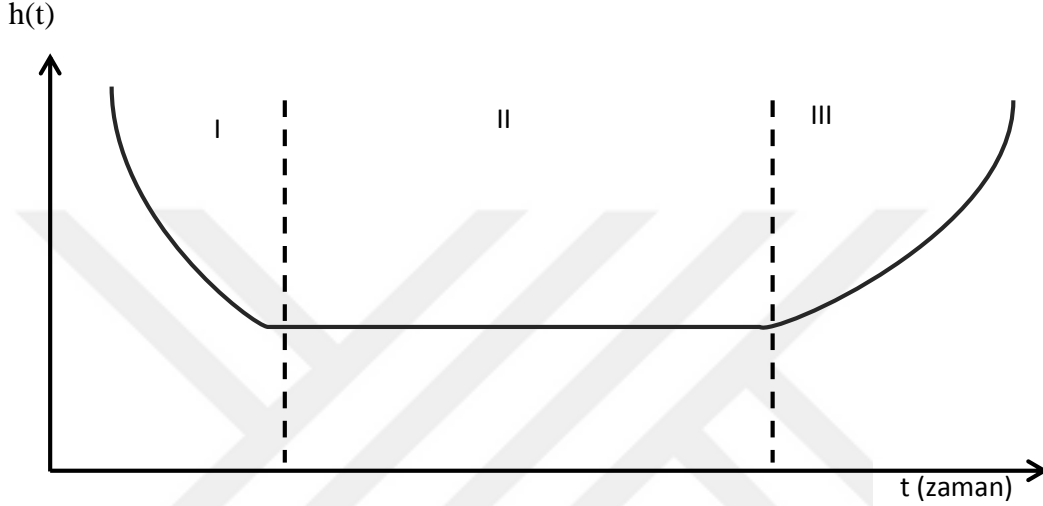
ile hesaplanır. Kümülatif risk fonksiyonu da $H(t)$ ile gösterilir ve

$$H(t) = \int_0^t h(x)dx \quad (1.8)$$

ile hesaplanır. Güvenilirlik ile risk fonksiyonu arasında

$$R(t) = e^{-H(t)} = e^{-\int_0^t h(x)dx} \quad (1.9)$$

ilişkisi vardır (Kuo & Zuo, 2003, s. 34).. Bazı sistemler için risk fonksiyonu aşağıdaki şekil ile özetlenebilir.



Şekil 1.2. Küvet Eğrisi (Kuo & Zuo, 2003, s. 34).

Eğri üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm ilk zaman hataları gösterir. Özellikle ürün yeni tasarlanmışsa hatalar; tasarım hatalarından, kötü kalite bileşenlerden, imalat kusurlarından, kurulum hatalarından ya da sisteme kullanıcının alışık olmamasından kaynaklanır. Bu durumda kusurlar düzeltilip sorunlar giderilir kullanıcı sisteme alışır ve zamanla bu hata durumu azalmaya başlar. İkinci bölgede risk fonksiyonu hemen hemen sabittir. Bu bölge yaşam süresini gösterir. Bu bölgedeki hatalar tahmin edilemeyen nedenlerden ortaya çıkar. Üçüncü bölüm tükenmişlik zamanıdır ve sistemin yıpranmasına bağlı olarak hata oranı artan bir grafik sergiler (Kuo & Zuo, 2003, s. 35).

1.2. Sistem Tasarımı ve Özellikleri

Sistem terimi, belirli bir fonksiyonu yerine getiren bileşenlerin bir koleksiyonunu belirtmek için kullanılır (Kuo & Zuo, 2003, s. 85). Bileşenlerin özellikleri, birbirleri ile bağlantı şekilleri veya çalışma performanslarına göre sistemler çeşitli isimler alırlar.

- Sistemler yapısına göre; seri, paralel, seri-paralel, paralel-seri, köprü sistemler şeklinde olabilmektedirler (Kuo & Zuo, 2003, s. 86).
- Bileşenlerin benzerliğine göre; sistem bileşenlerinin güvenilirlik fonksiyonları aynı olasılık dağılımlarına sahip ise sistem özdeş dağılımlı bileşenlerden oluşur. Bu tanımlama ile sistemler bileşenlerinin özdeş olup olmamasına göre sınıflandırılabilir (Bozbulut, 2015, s. 19).
- Bileşenlerin ya da sistemin onarılabilip onarılamamasına göre sistemler tamir edilebilir sistemler veya tamir edilemez sistemler şeklinde sınıflandırılabilir.
- Sistem bileşenlerinin performans durumlarına göre sistemleri; iki durumlu sistemler, sürekli durumlu sistemler ve çoklu durumlu sistemler olarak da sınıflandırmak mümkündür (Bozbulut, 2015, s. 20), (Kuo ve Zuo, 2003; Brunelle ve Kapur, 1999; Yang ve Xue, 1996).

İki durumlu sistemler; hem sistem yapı fonksiyonu hem de bileşenler 1 çalışır, 0 çalışmaz durumlarından oluşur. Sürekli durumlu sistemlerde, sistem yapı fonksiyonu ve bileşenler $[0, M]$ aralığında 0 çalışmaz ve M en yüksek performans şeklinde değerler alır. Çoklu durumlu sistemler de ise sistem yapı fonksiyonu ve sistem bileşenleri $\{0, 1, 2, \dots, M\}$ değerlerini alır. Burada 0 çalışmaz, 1 düşük performans çalışma, M en yüksek performans çalışma durumlarını belirtmektedir (Brunelle & Kapur, 1999, s. 1171).

1.2.1. Yapı Fonksiyonu

İki durumlu x_i değişkeni, $i = 1, 2, \dots, n$ için i . bileşenin durumu olmak üzere

$$x_i = \begin{cases} 1; & \text{eğer } i. \text{ bileşen çalışır ise} \\ 0; & \text{eğer } i. \text{ bileşen arızalı ise} \end{cases}$$

şeklindedir. Burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektörü tüm bileşenlerin durumunu temsil eder ve bileşen durum vektörü olarak adlandırılır. Sistem durumu ϕ olmak üzere

$$\phi = \begin{cases} 1; & \text{sistem çalışır ise} \\ 0; & \text{sistem arızalı ise} \end{cases}$$

şeklindedir. Burada sistemin durumu sistem bileşenlerinin deterministik (rastgele olmayan) bir fonksiyonudur. Böylece

$$\phi = \phi(\mathbf{X}) = \phi(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

yazılabilir ve $\phi(x)$ sistemin yapı fonksiyonu olarak adlandırılır. Tek bir sisteme tek bir yapı fonksiyonu karşılık gelir (Kuo & Zhu, 2012, s. 16).

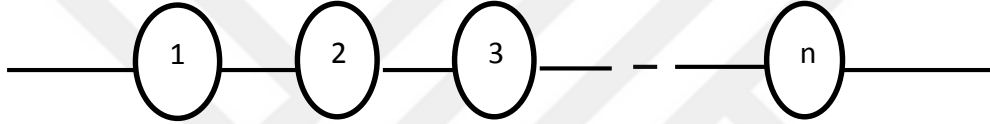
1.2.2. Seri Sistemler

Tüm bileşenleri çalıştığında çalışan sistem seri sistem olarak adlandırılır. Seri sistemin yapı fonksiyonu;

$$\phi(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^n x_i = \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

şeklindedir (Kuo & Zhu, 2012, s. 17).

Bir seri sistemin temel fonksiyonunun yeterli şekilde çalışması için her bir bileşenin ayrı ayrı yeterli şekilde çalışması gerekir. Örneğin bir arabanın düzgün çalışması için motor, şanzıman, direksiyon, frenleme gibi alt sistemlerin hepsinin düzgün çalışması gerekir (Kuo & Zuo, 2003, s. 189). Seri sistem için güvenilirlik blok diyagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



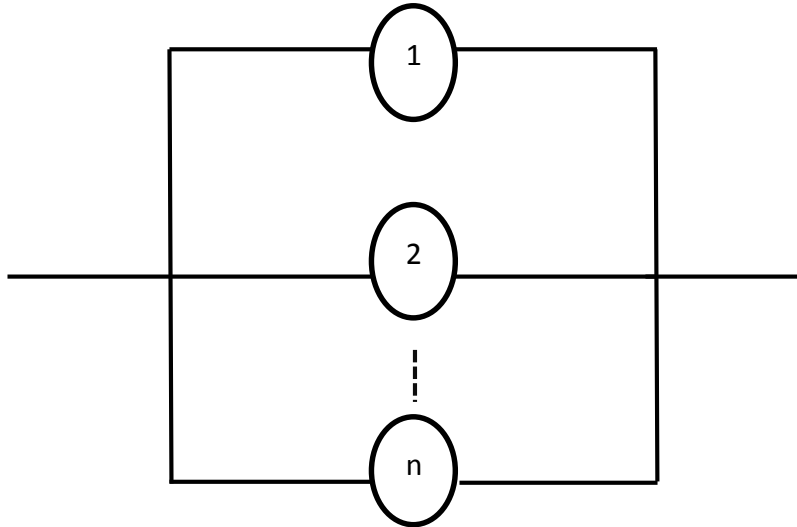
Şekil 1.3. Seri Sistem Güvenilirlik Blok Diyagramı

1.2.3. Paralel Sistemler

Tüm bileşenleri arızalandığında arızalanan sisteme paralel sistem denir. Paralel sistem en az bir bileşen çalışır ise çalışmaktadır. Paralel sistemin yapı fonksiyonu

$$\phi(\mathbf{x}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

şeklindedir (Kuo & Zhu, 2012, s. 17).



Şekil 1.4. Paralel Sistem Güvenilirlik Blok Diyagramı

Barlow ve Proschan paralel sistemin öneminden dolayı \prod notasyonunu yapı fonksiyonunu basitleştirmek için kullanmışlardır.

$$\phi(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^n x_i$$

olmak üzere;

$$\prod_{i=1}^n x_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i)$$

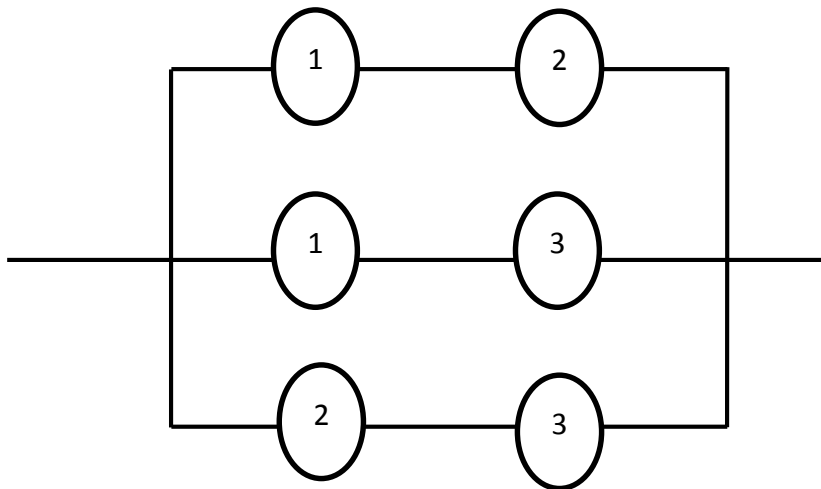
olarak yazılabilir. Paralel sistemde, sistemin düzgün çalışması için tüm bileşenlerin çalışması gerekli değildir. Sistemin düzgün çalışması için sadece bir bileşeni düzgün çalışması yeterlidir. Bu durum artıklık (redundancy) olarak adlandırılır. Diğer (n-1) bileşenler paralel sistemde gereksiz bileşenler olarak adlandırılırlar. Bu bileşenler en azından sistemin çalışan bileşen içermeye olasılığını artırır. Artıklık sistem güvenilirliğini geliştirmek için mühendislikte sık kullanılan bir tekniktir (Kuo & Zuo, 2003, s. 88).

1.2.4. n'den k Çıkışlı Sistemler

n bileşenden en az k tanesi çalıştığında çalışan sistem n'den k çıkışlı sistem olarak adlandırılır. Burada $1 \leq k \leq n$ şeklindedir. Sistemin yapı fonksiyonu

$$\phi(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1; & \sum_i^n x_i \geq k \text{ ise} \\ 0; & \sum_i^n x_i < k \text{ ise} \end{cases}$$

şeklindedir. Burada $k = 1$ için sistem paralel, $k = n$ için ise sistem seri olur (Kuo & Zhu, 2012, s. 17) .



Şekil 1.5. 3' den 2 Çıkışlı Yapı (Rausand & Hoyland, 2004, s. 125)

Seçilmiş bir bileşenin durumlarının numaralandırılmasına dayanan esas ayrıştırma tekniği bir sistemin yapı fonksiyonunun belirlenmesinde faydalı bir yöntemdir.

$i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere aşağıdaki eşitlik herhangi bir sistemin yapı fonksiyonunu elde etmek için kullanılabilir.

$$\phi(\mathbf{x}) = x_i \phi(1_i, \mathbf{x}) + (1 - x_i) \phi(0_i, \mathbf{x}) \quad (1.10)$$

$$= \phi(0_i, \mathbf{x}) + x_i [\phi(1_i, \mathbf{x}) - \phi(0_i, \mathbf{x})] \quad (1.11)$$

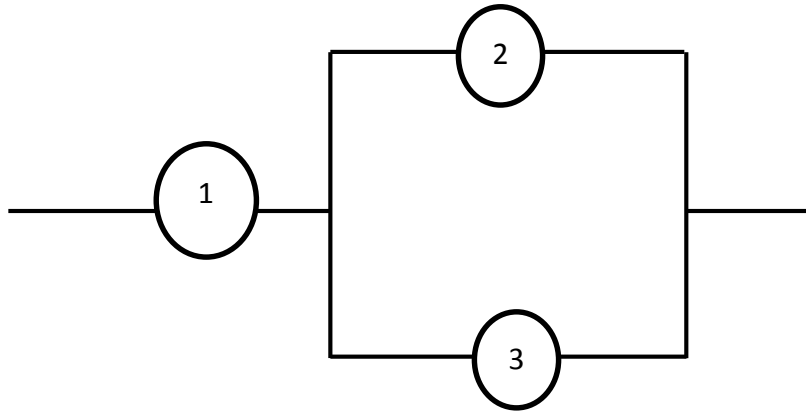
$$= \phi(1_i, \mathbf{x}) - (1 - x_i) [\phi(1_i, \mathbf{x}) - \phi(0_i, \mathbf{x})]$$

şeklinde olur. Burada $(\cdot_i, \mathbf{x}) = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, \cdot, x_{i+1}, x_2, \dots, x_n)$ şeklindedir. (1.10) eşitliğinde n bileşenli sistem, her bir n-1 bileşen ile iki alt sistem şeklinde ifade edilebilir. Birinci (ikinci) alt sistemde diğer n-1 bileşen rasgele tesadüfi değişken iken i bileşenin durumu 1(0)'e eşittir. (1.10) denkleminin yinelemeli uygulanması ile $\phi(x)$ yapı fonksiyonu;

$$\phi(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{y}} \left(\prod_{i=1}^n x_i^{y_i} (1 - x_i)^{(1-y_i)} \right) \phi(\mathbf{y}) \quad (1.12)$$

olarak ifade edilebilir. Burada toplam, ikili \mathbf{y} vektörü üzerinde yayılmaktadır ve $0^0 \equiv 1$ dir (Kuo & Zhu, 2012, s. 18).

Örnek 1.1. Aşağıda güvenilirlik blok diyagramı verilen üç bileşenli sistemin yapı fonksiyonunu esas ayrıştırma yöntemi ile elde edelim.



Şekil 1.6. Seri - Paralel 3 Bileşenli Sistem

Yukarıda güvenilirlik blok diyagramı verilen üç bileşenli sistemin yapı fonksiyonu

$$\phi(\mathbf{x}) = x_1 [1 - (1 - x_2)(1 - x_3)]$$

şeklinde olduğu açıktır (Kuo & Zhu, 2012, s. 19). Esas ayrıştırma yöntemi ile

$$\begin{aligned}
\phi(\mathbf{x}) &= x_1 \phi(1, x_2, x_3) + (1 - x_1) \underbrace{\phi(0, x_2, x_3)}_0 \\
&= x_1 [x_2 \phi(1, 1, x_3) + (1 - x_2) \phi(1, 0, x_3)] \\
&= x_1 x_2 \phi(1, 1, x_3) + x_1 (1 - x_2) \phi(1, 0, x_3) \\
&= x_1 x_2 \left\{ x_3 \underbrace{\phi(1, 1, 1)}_1 + (1 - x_3) \underbrace{\phi(1, 1, 0)}_1 \right\} + \\
&\quad (1 - x_2) \left\{ x_3 \underbrace{\phi(1, 0, 1)}_1 + (1 - x_3) \underbrace{\phi(1, 0, 0)}_0 \right\} \\
&= x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 (1 - x_3) + x_1 (1 - x_2) x_3 \\
&= x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 - x_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 - x_1 x_2 x_3 \\
&= x_1 x_2 + x_1 x_3 - x_1 x_2 x_3 \\
&= x_1 [1 - (1 - x_2)(1 - x_2)]
\end{aligned}$$

aynı sonuç elde edilir.

Şimdi ise (1.12) ifadesinin uygulanışı incelenecektir.

$$\begin{aligned}
\phi(\mathbf{x}) &= \sum_y (x_1^{y_1} (1 - x_1)^{1-y_1} x_2^{y_2} (1 - x_2)^{1-y_2} x_3^{y_3} (1 - x_3)^{1-y_3}) \phi(y_1, y_2, y_3) \\
&= (x_1^1 (1 - x_1)^0 x_2^1 (1 - x_2)^0 x_3^1 (1 - x_3)^0) \underbrace{\phi(1, 1, 1)}_1 + \\
&\quad + (x_1^1 (1 - x_1)^0 x_2^1 (1 - x_2)^0 x_3^0 (1 - x_3)^1) \underbrace{\phi(1, 1, 0)}_1 \\
&\quad + (x_1^1 (1 - x_1)^0 x_2^0 (1 - x_2)^1 x_3^1 (1 - x_3)^0) \underbrace{\phi(1, 0, 1)}_1 \\
&= x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 (1 - x_3) + x_1 (1 - x_2) x_3 \\
&= x_1 x_2 + x_1 x_3 - x_1 x_2 x_3 \\
&= x_1 [1 - (1 - x_2)(1 - x_2)]
\end{aligned}$$

elde edilmiş olur. Burada $\phi(0,0,1), \phi(0,1,1), \phi(0,1,0), \phi(1,0,0), \phi(0,0,0)$ değerleri 0'a eşittir.

1.2.5. Tutarlı Sistemler

Tanım 1.6. i bileşeni için ϕ yapısı x_i de sabit olduğunda ϕ yapısına ilgisizdir denir. Yani tüm (\cdot, \mathbf{x}) ler için $\phi(1_i, \mathbf{x}) = \phi(0_i, \mathbf{x})$ olmalıdır. Diğer durumlar için ϕ yapısına ilgilidir denir. İlgisiz bileşenler sistem durumunu doğrudan değiştiremezler ve sistem güvenilirliği için kullanışsızdırlar.

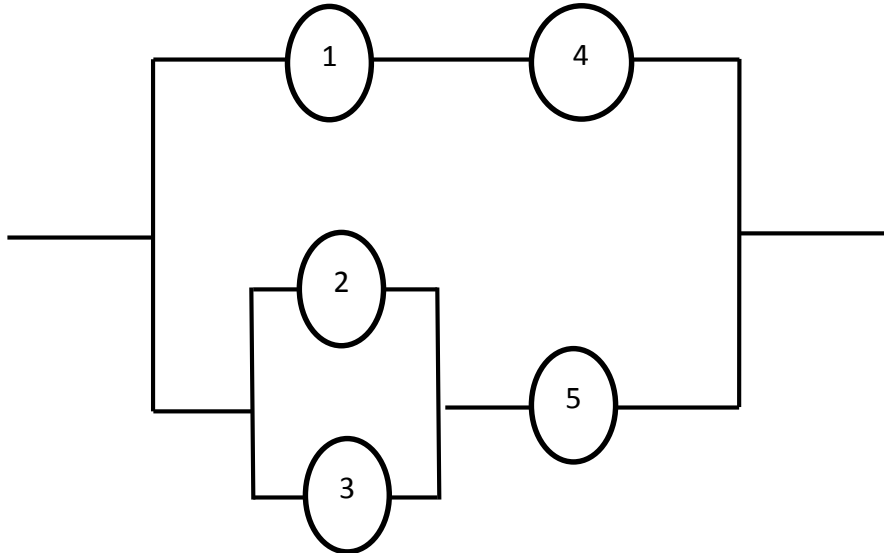
Tanım 1.7. (Tutarlı Sistem)

Bir sistemin; yapı fonksiyonu azalmayan ve tüm bileşenleri ilgili ise bu sisteme tutarlı sistem denir. Birinci koşul sistemin yapı fonksiyonunun, her bir bileşenin durumlarının azalmayan bir fonksiyonu olduğunu belirtir yani her \mathbf{x} ve \mathbf{y} için $\mathbf{x} \leq \mathbf{y}$ iken $\phi(\mathbf{x}) \leq \phi(\mathbf{y})$ olması demektir. Bir bileşenin iyileştirilmesi (geliştirilmesi) sistemin performansını düşürmez. Birinci ve ikinci koşul birlikte ele alındığında $\phi(\mathbf{0}) = 0$ ve $\phi(\mathbf{1}) = 1$ olmalıdır. Bu ise tüm bileşenler çalıştığında sistemin çalışması, tüm bileşenler arızalı iken sistemin arızalanması anlamına gelir (Kuo & Zhu, 2012, s. 20).

1.2.6. Tutarlı Sistemler İçin Yollar ve Kesenler

Tanım 1.8. (Minimal Yol Kümesi) P yol kümesi, bileşenlerin bir kümesidir ve çalışması sistemin çalışmasını garanti eder yani $\phi(\mathbf{1}_P, \mathbf{0}) = 1$ dir. Yol kümesi eleman azaltıldığında yol kümesi özelliğini koruyamıyorsa bu yol kümesine minimal yol kümesi denir (Terje & Uwe, 2013, s. 20).

Tanım 1.9. (Minimal Kesen Küme) K kesen kümesi, bileşenlerin bir kümesidir ve arızalanması sistemin arızalanmasına neden olur yani $\phi(\mathbf{0}_K, \mathbf{1}) = 0$ dir. Kesen kümesi eleman azaltıldığında kesen küme özelliğini koruyamıyorsa bu kesen kümeye minimal kesen küme denir (Terje & Uwe, 2013, s. 20).



Şekil 1.7. Yollar ve Kesenler İçin Örnek Güvenilirlik Blok Diyagramı

Yukarıda blok diyagramı verilen 5 bileşenli sistemin minimal kesenleri $\{1, 5\}$, $\{4, 5\}$, $\{1, 2, 3\}$ ve $\{2, 3, 4\}$ dir. $\{1, 4, 5\}$ kesen kümesidir ancak minimal kesen değildir.

Çünkü bir eleman azaltıldığında örneğin {1} çıkartıldığında kesen özelliği bozulmaz. O halde {1, 4, 5} kesen kümesi minimal kesen olamaz. Bu sistem için minimal yol kümeleri {1, 4}, {2, 5}, {3, 5}, şeklindedir. {1, 4, 5} veya {2, 3, 5} yol kümeleridir ancak minimal yol kümeleri değildir (Terje & Uwe, 2013, s. 21).

1.2.7. Sistemlerin Güvenilirlik Değerlendirmesi

Güvenilirlik, belirlenen çalışma koşulları altında belirli bir zaman periyodu için bir sistemin kendinden istenilen fonksiyonları düzgün bir şekilde yerine getirme olasılığı olarak tanımlanabilir. Sistemlerin belirli bir görev süresi boyunca kendilerinden istenen görevleri düzgün bir şekilde yapmaları beklenir. Belirli bir görev süresi boyunca sistemin performans ölçümünde güvenilirlik sıklıkla kullanılır. X_i tesadüfi bir değişken olmak üzere;

$$X_i = \begin{cases} 1; & \text{eğer } i. \text{ bileşen çalışır ise} \\ 0; & \text{eğer } i. \text{ bileşen arızalı ise} \end{cases}$$

şeklinde verilsin. $P\{X_i = 1\} = p_i = E(X_i)$ olasılığı, i bileşenin çalışma olasılığını ve güvenilirliğini gösterir. $q_i = 1 - p_i$ olasılığı da i bileşenin çalışmaması olasılığını ve güvenilmezliğini gösterir. Bu durumda $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ve $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ için ϕ sisteminin güvenilirliği

$$R = P\{\phi(\mathbf{X}) = 1\} = E(\phi(\mathbf{X}))$$

şeklinde tanımlanır. Bu durumda seri sistemler için güvenilirlik ifadesi

$$R(\mathbf{p}) = \prod_{i=1}^n p_i \quad (1.16)$$

şeklinde olur. Paralel sistemler için güvenilirlik

$$R(\mathbf{p}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (1.17)$$

şeklinde olur. n'den k çıkışlı sistemler için güvenilirlik

$$R(\mathbf{p}) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad (1.18)$$

şeklinde olur (Kuo & Zhu, 2012, s. 28).

Teorem 1.1. $(.i, \mathbf{p}) = (p_1, p_2, \dots, p_{i-1}, .i, p_{i+1}, \dots, p_n)$ ve $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere tutarlı sistemlerin güvenilirlik fonksiyonu $R(\mathbf{p})$;

$$R(\mathbf{p}) = p_i R(1_i, \mathbf{p}) + (1 - p_i) R(0_i, \mathbf{p}) \quad (1.19)$$

şeklinde yazılabilir. $R(\mathbf{p})$, $i = 1, 2, \dots, n$ ve $0 < p_i < 1$ için her bir p_i de tamamen artandır.

İspat Esas ayrışma yöntemi kullanılarak ve bileşenlerin bağımsız olmasından faydalanarak (1.10) denklemini

$$R(\mathbf{p}) = E(\phi(\mathbf{X})) = E(X_i)E(\phi(1_i, \mathbf{X})) + (1 - E(X_i))E(\phi(0_i, \mathbf{X})) \quad (1.20)$$

şeklinde ifade edebilir. Böylece (1.19) ifadesi elde edilir. (1.20) eşitliğinden

$$\frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_i} = R(1_i, \mathbf{p}) - R(0_i, \mathbf{p}) \quad (1.21)$$

elde edilir. (1.21) eşitliği yardımı ile

$$\frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_i} = E(\phi(1_i, \mathbf{X}) - \phi(0_i, \mathbf{X})) \quad (1.22)$$

(Kuo & Zhu, 2012, s. 28) yazılabilir.

ϕ fonksiyonu azalmayan olduğundan $\phi(1_i, \mathbf{x}) - \phi(0_i, \mathbf{x}) \geq 0$ olur. Her bir bileşen ilgili olduğundan bazı x_0 değerleri için $\phi(1_i, \mathbf{x}_0) - \phi(0_i, \mathbf{x}_0) = 1$ olacaktır. Buradan $i = 1, 2, \dots, n$ ve $0 < p_i < 1$ için \mathbf{x}_0 pozitif meydana gelme olasılıklı olur. Bu ise $E(\phi(1_i, \mathbf{X}) - \phi(0_i, \mathbf{X})) > 0$ olması demektir. \mathbf{x} vektörünün 0 veya 1 olma durumları tekrarlı yerine yazılarak $R(\mathbf{p})$

$$R(\mathbf{p}) = \sum_{\mathbf{x}} \left(\prod_{i=1}^n p_i^{x_i} (1 - p_i)^{(1-x_i)} \right) \phi(\mathbf{x})$$

şeklinde ifade edilebilir (Kuo & Zhu, 2012, s. 29).

Yukarıdaki şekli ile tanımlanan güvenilirlik ölçüsü, gerekli hizmet süresini ve zaman faktörünü hesaplamaya katmaz. Böylece, zaman sistem güvenilirlik denklemlerinde yer almaz. Bununla birlikte, birçok pratik uygulamada, önceden sınırlı bir görev süresi belirtilmemiştir. Örneğin, uzun süre veya süresiz olarak elektronik güç tedariki gibi belirli bir hizmete ihtiyaç olabilir. Bu tür durumlar için, güvenilirlik hesaplamalarında zaman faktörü daha da önemli hale gelir. Böylece yukarıda yer alan formüller zamana göre yenilersek

$$X_i(t) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } i. \text{ bileşen } t \text{ anında çalışır ise} \\ 0; & \text{eğer } i. \text{ bileşen } t \text{ anında arızalı ise} \end{cases}$$

olmak üzere $\mathbf{X}(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t))$ için yapı fonksiyonu

$$\phi(\mathbf{X}(t)) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } i. \text{ bileşen } t \text{ anında çalışır ise} \\ 0; & \text{eğer } i. \text{ bileşen } t \text{ anında arızalı ise} \end{cases}$$

şeklinde ifade edilir. $X_i(t)$ tesadüfi değişkeni $F_i(t)$ sürekli ömür dağılımlı ve $f_i(t)$ olasılık yoğunluk fonksiyonlu olsun. i bileşeninin t anında güvenilirlik fonksiyonu;

$$\bar{F}_i(t) = 1 - F_i(t) = P\{T_i > t\} = P\{X_i(t) = 1\}$$

olarak yazılır. Bu olasılık i bileşeninin $t > 0$ için bir t süresinden fazla hayatta kalma olasılığını belirtir.

$\mathbf{T} = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ ve $\bar{\mathbf{F}}(t) = (\bar{F}_1(t), \bar{F}_2(t), \dots, \bar{F}_n(t))$ olarak tanımlarsak hata oranı fonksiyonu

$$r_i(t) = \frac{f_i(t)}{\bar{F}_i(t)}$$

olarak ifade edilebilir. Burada

$$\bar{F}_i(t) = \exp\left(-\int_0^t r_i(u) du\right)$$

şeklinindedir. (Kuo & Zhu, 2012, s. 30).

T_ϕ sistem ömrünü temsil eden tesadüfi değişken ve $\tau(\mathbf{T})$ de bileşen ömürlerinin bir fonksiyonu olan sistem ömrünün bir fonksiyonu olsun. $F_\phi(t)$ sistemin sürekli ömür dağılımı olmak üzere, sistemin t anında güvenilirliği;

$$\bar{F}_\phi(t) = 1 - F_\phi(t) = P\{T_\phi > t\} = P\{\phi(\mathbf{X}(t)) = 1\} = E(\phi(\mathbf{X}(t))) = R(\bar{\mathbf{F}}(t))$$

şeklinde ifade edilir.

Sistem güvenilirlik fonksiyonu $\bar{F}_\phi(t)$; $t > 0$ için bir t süresi boyunca sistemin hayatta kalma olasılığı olarak tanımlanabilir. $R(\bar{\mathbf{F}}(t))$ bileşen ömür dağılımlarının sistem güvenilirlik fonksiyonudur.

Sistem ömrü açısından diğer karakteristik ifadeler $f_\phi(t)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu, $r_\phi(t)$ hata oranı fonksiyonu ve $E(T_\phi)$ beklenen ömür fonksiyonu

$$f_\phi(t) = \frac{dF_\phi(t)}{dt} = -\frac{dR(\bar{\mathbf{F}}(t))}{dt}$$

$$r_\phi(t) = \frac{f_\phi(t)}{R(\bar{\mathbf{F}}(t))}$$

$$E(T_\phi) = \int_0^{\infty} \bar{F}_\phi(t) dt$$

şeklinde ifade edilebilir (Kuo & Zhu, 2012, s. 31).



2. BİLEŞEN ÖNEM ÖLÇÜLERİ

Sistem; kendinden istenen fonksiyonları yerine getirmek için tasarlanan ve organize edilen parçalardan bileşenlerden ve alt sistemlerden oluşan yapıdır (Uzun & Özdoğan , 2011, s. 307). Sistemi meydana getiren parçalar birbirlerini etkiledikleri gibi tüm sistemi de etkileyebilmektedir. Bileşenlerden birinde meydana gelebilecek bir olumsuzluk bazen tüm mekanizmayı etkileyebilmektedir. Bir sistem sınırlı kaynakları kullanarak verimli bir şekilde tasarlanmalı, geliştirilmeli veya sürdürülmelidir. Bununla birlikte, son derece karmaşık sistemler için, resmi bir optimal strateji geliştirmek çok zor olabilir ya da mümkün olmayabilir. Genellikle kriz yönetiminde küresel bir çözüm aramak yerine, sistem performansındaki iyileşmeyi hızla tanımlamak en ekonomik yoldur. Kaynak bileşenlerinin sisteme ne kadar katkı sunduğuna bakılmalıdır (Zhu & Kuo, 2014, s. 242).

Sistem elemanlarının sisteme sundukları katkılar göz önüne alınarak önemli bileşenler tespit edilmelidir veya zayıf bileşenlerin başarısız olması durumunda sistemde meydana gelecek aksaklıklar göz ardı edilmemelidir. Özellikle endüstri ve sanayide kullanılan sistemler kurulması zor ve maliyetli sistemlerdir. Bu sistemlerde meydana gelebilecek aksamaların önceden tespiti oldukça önemlidir.

Sistem güvenilirlik teorisinde önem ölçüleri, bileşenlerin göreceli önemini değerlendirmek ve sistem zayıflıklarını tanımlamak için etkili araçlar olarak kullanılır (Lin, Wang, Jia, & Li, 2017, s. 1). Sistem zayıflıklarını tanımlamak ya da sistem ömrü açısından en kritik bileşeni belirlemek sistem tasarımcıları açısından oldukça önemlidir. Sistemin sorunsuz çalışması uygun bir çalışma disiplinine sahip olunması ve aksaklıkların zamanında tespiti ile mümkündür. Geç alınmış bir önlem bazen maliyetlerin daha fazla artmasına yol açmaktadır.

Sistem ömrünü veya daha özde bileşen ömrünü bilmek tasarımcı açısından oldukça önem arz etmektedir. Genel anlamda bileşen önem ölçümlerini belirlemenin altında iki güçlü neden yatmaktadır. Birincisi sistem tasarımcısına en az maliyet veya çaba ile genel sistem güvenilirliğini iyileştirmek için hangi bileşenlerin en fazla ek araştırma ve geliştirmeye layık olduğunu belirlemesine izin verir. İkincisi de bir operatörün takip etmesi için bir onarım kontrol listesi oluşturarak sistem arızasını teşhis

etmenin en etkili yolunu önerebilir (Natvig, 2011, s. 133). Bileşen önemi sistem bileşenleri açısından pratik hayatta birçok anlamda önem arz etmektedir.

Günümüzde ulaştırma, biyoinformatik, enerji, otomotiv, makine endüstrisi, sağlık, yazılım mühendisliği gibi birçok alanda sistem ve sistem konsepti geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Sistem güvenilirliği ve bileşen önemi sadece üretim kabiliyetlerinin aksamadan çalışması açısından değil aynı zamanda önleyici görevler üstlenmektedir. Kompleks yapılarda meydana gelecek bir arıza bazen çok büyük problemlere yol açmaktadır. 2000 yılında Paris'te düşen Concorde uçağında 113 yolcu ve mürettebat yaşamını yitirmiştir. Bu tür felaketler sistem arıza olasılığını en aza indirme ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır (Andrews & Beeson, 2003, s. 213). 2011 yılında Japonya'da meydana gelen 8.9 büyüklüğündeki deprem ve sonrasında oluşan tsunami, Fukushima I Nükleer Santralinden radyo aktif madde salınımına sebep olmuştur. Burada acil durum jeneratörleri, reaktörler kapatıldıktan sonra soğutma işlevi görmeye beraber sel dolayısıyla hemen işlevsiz hale gelmişlerdir. Bu nedenle reaktörler ve atık yakıt havuzlarında aşırı bir ısınma olmuştur. Aşırı ısınma sonucunda bazı reaktörlerden sızıntı meydana gelmiştir. Aslında bu felaket, acil durum jeneratörlerinin sel baskını altında sistem arızası açısından ne kadar önemli olduğunu bilme gerekliliğine dikkat çekmiştir (Kuo & Zhu, 2012, s. 5). Önem ölçüleri, takip edilecek bir metodoloji sağlayarak, sistem arızasındaki darboğazı tespit etmenin en etkili yolunu sağlayacaktır.

Smith ve Borgonovo (2007), nükleer enerji santrali olayları sırasında karar verme için öncü analizinde temel bir adım oluşturan olasılıksal risk analizinde (PRA) ve olasılık güvenlik değerlendirmesinde (PSA) önem ölçümlerinin yararlı olduğunu fark etmişlerdir (Kuo & Zhu, 2012, s. 6).

Borgonovo ve Smith 2011 çalışmasında nicel sonuçları uzay görev planlama ve tasarımında karar vermeyi desteklemek için NASA'da geliştirilen bir PSA modeline başvurarak tartışmışlardır. Sayısal bulguların karar verme sürecinin konuyla ilgili bilgi sahibi olmaması durumunda, yönetsel dikkatin odaklandığı bileşenlere ilişkin optimal kararların alınabileceğini belirlemişlerdir (Borgonovo & Smith , 2011).

Yalnızca bir felaket veya büyük kaza sonrası tedbir amaçlı değil aynı zamanda önleyici prosedürler sunması açısından da bileşen önemi gereklidir. Örneğin bir araç sürekli olarak belli bir km yol yapınca ya da belli bir süre sonrasında bakıma girmesi gerekmektedir. Gerekli bakımın yapılmaması durumunda daha büyük zararlar ile

karşılaşıla bilinmektedir. Ya da bir uçuş ağı açısından uçuş trafiğinin aksamaması için en önemli unsurun tespiti ve buna göre planlama yapılması çok gereklilik arz etmektedir.

Sistem güvenilirlik analizi ile bir sistemin zayıflıkları tespit edilir veya kritik bileşenler tanımlanır aynı zamanda bileşen başarısızlıklarının etkisi ölçülebilir. 1969'dan bu yana pek çok araştırmacı tarafından çeşitli önem ölçümleri literatüre kazandırılmıştır. Bileşen önem ölçümleri, sistem güvenilirliğini iyileştirmek veya sistem hatası için daha önemli olan bileşenlerin hangileri olduğunu belirlemek için sayısal bir sıralama sağlamaktadır. Bileşen önem ölçümleri, hangi bileşenlerin sistem güvenilirliği iyileştirmesi için daha önemli olduğunu veya sistem hatası için daha kritik olduğunu belirlemek için nümerik bir yaklaşım sağlar (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 150). Bileşen önemi konusunda ilk çalışmalara imza atan Birnbaum, çalışması veya arızası bileşenlerinin çalışıp çalışmadığına bağlı olan sistemlerde bazı bileşenlerin diğerlerinden daha önemli olabileceği fikrinden yola çıkarak tutarlı sistemler için bileşen öneminin nicel bir tanımlamasını yapmıştır (Birnbaum, 1968, s. 23).

Barlow ve Proschan tutarlı sistemlerde bileşenler için yeni bir önem ölçüsü tanımlanmış, bir arıza ağacındaki temel olayların önemi ve bu öneme uygun bağları türetmişlerdir. Önem ölçümü minimal kesim setlerine ve tamir edilen bileşen sistemlerine genişletilmiştir (Barlow & Proschan, 1975, s. 153-154). Aynı zamanda Barlow ve Proschan seri sistemin en zayıf bileşen kadar güçlü, paralel sistemin is en güvenilirliği yüksek bileşen kadar güçlü olduğunu belirtmişlerdir (Barlow & Proschan, 1975b, s. 27-28).

Boland ve Neweihi (1995) çalışmasında iki durumlu tutarlı sistemlerde bileşenlerin önem derecesine ilişkin ölçümler ile ilgili literatür taraması yapmışlar ve çalışmalarında çeşitli önem ölçümlerinin; yapısal önem, zamana bağlı önem ve zamandan bağımsız önem olarak üç geniş kategoriden birine uyduğunu belirtmişlerdir (Boland & El-Neweihi, 1995, s. 455).

Andrews ve Beeson çalışmalarında tutarlı olmayan sistemler açısından Birnbaum önem ölçümlerini ortaya koymuşlardır (Andrews & Beeson, 2003).

Meng' in çalışmasında bileşenlerin Birnbaum güvenilirlik ölçüm değerlerinin genel bir iki durumlu tutarlı sistemde bileşen güvenilirliklerine ilişkin bilgilerin

yokluğunda özellikle yararlı olan ve bileşenlerin karşılaştırılmasında kullanılan bazı basit kriterler sunulmaktadır (Meng, 2004, s. 237).

Borgonovo (2007) çalışmasında bireysel temel olaylar, temel olay grupları ve bileşenler için Fussell-Vesely (FV), Kritiklik, Birnbaum, Risk Başarı Değeri (RAW) ve Diferansiyel Önem Ölçümü (DIM) hesaplamalarını yapmıştır (Borgonovo, 2007, s. 1458).

Güvenilirlik mühendisliğinde sistem bileşenlerinin güvenilirliklerini iyileştirme ve bakım planlaması gibi amaçlar için bileşen önemi kullanılırken belirli bir süre içinde bir sistemi ve bileşenlerini muhafaza ederek ortaya çıkan maliyetlere çok az dikkat edilmiştir. Bu noktadan hareketle Coolen ve Wu ise bileşen öneminin maliyet üzerindeki katkılarına vurgu yapmışlardır. Çalışmalarında bir sistemi ve bileşenlerini sınırlı bir zaman dilimi içinde sürdürerek ortaya çıkan maliyetleri dikkate alan yeni bir maliyete dayalı öneri tedbiri önermişlerdir. Bu yeni anlayışın Birnbaum önem ölçümüne uzantıları tartışılmıştır (Wu & Coolen, 2013).

Kesevan ve Selwyn çalışmasında yüksek belirsiz bir rüzgarda, rüzgar türbini bileşenlerinin güvenilirliklerini ve Birnbaum bileşen önemini hesaplamışlardır (Selwyn & Kesavan, 2011, s. 42).

Kuo ve Zhu 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda önem ölçümlerinin bazı genişlemelerini ele almışlardır. Genellikle tutarlı sistemler için önerilen önem ölçümlerinin; tutarlı olmayan sistemler, çoklu durumlu sistemler, sürekli sistemler ve onarılabilen sistemler için geliştirilmeleri araştırılmıştır (Kuo & Zhu, 2012a). 2012 b çalışmasında ise bazı yeni gelişmeler değerlendirilmiştir. Tek tek bileşenlerin ve bileşen gruplarının önem ölçümleri araştırılmıştır (Kuo & Zhu, 2012b).

Zhu ve Kuo ise 2014 çalışmasında bileşen atama problemleri, artıklık tahsisi, sistem iyileştirme, arıza tespiti ve bakımı gibi güvenilirlik problemlerini çözmek için gerekli önlemlerin modellenmesi hakkında kapsamlı bir görüş sunmuşlardır. Ayrıca ağlar, matematiksel programlama, duyarlılık ve belirsizlik analizi, olasılıksal risk analizi ve olasılıksal güvenlik değerlendirmesi gibi geniş uygulamalardaki önem ölçümlerini incelemişlerdir (Zhu & Kuo, 2014).

Aliee ve arkadaşları tutarlı olmayan sistemler için Birnbaum öneminin kusursuz bir şekilde genişlemesine olanak sağlayan kritiklik kavramı için boolean ifadesini sunmuşlardır (Aliee, Borgonovo, Glaß, & Teich, 2017, s. 191).

Barlow ve Proschan (1974) çalışmasında Birnbaum öneminin bazı eksik yönlerini ortadan kaldıracak yeni bir önem ölçüsünden bahsetmişlerdir (Barlow & Proschan, 1975).

Xie tüm bileşenler bağımsız olduğunda sistem verim fonksiyonunu kullanarak Barlow-Proschan önemini genelleştirirken, Iyer ise bileşenlerin bağımlı olduğu durum için önem ölçümünü genelleştirmiştir (Iyer, 1992).

Marichal ve Mathonet ise Iyerin geliştirdiği bu kavram ile sistem imzası arasındaki benzerliği tartışmış ve sistemlerin simetri indeksini tanımlamak için nasıl kullanılabileceğini göstermişlerdir (Marichal & Pierre, 2013).

Fussell 1975 onarılabilen ve onarılamayan sistemler için güvenilirlik özellikleri ve bireysel sistem bileşenlerinin önemi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Fussell'in önerdiği önem ölçümü basit bir bilgisayar programı yardımı ile kolayca hesaplanabilir (Fussell, 1975).

Natvig ise 1979 çalışmasında kalan sistem ömründe beklenen azalma ile orantılı onarım yapılmayan bileşenlerin durumu için bir önem ölçüsü geliştirmiştir. Sistem ömründe meydana gelen azalmanın, bileşende bir minimal onarıma izin verilmesi durumunda bileşen ömründeki artışla yer değiştirilmesi ile sistem ömründe meydana gelen artışa eşit olduğu gösterilmiştir. Bu önem, sistemin beklenen yaşam süresini arttırmak için bileşenlerin en acil dikkate alınması gerekenini belirlemek açısından sistem geliştirme aşamasında faydalı bir kılavuz gibi görünmektedir (Natvig, 1979).

Natvig ve Gasemyr, onarılabilen ve onarılamayan sistemler için Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçülerinin genişletilmesi ile bir dizi yeni sonuçlar elde etmişlerdir. Genişletilmiş Barlow-Proschan önemine göre arızalanması sistem arızalanmasına onarılması da sistem onarımına neden olması yüksek olasılıkla mevcut olan bileşen önemli bileşendir. Genişletilmiş Natvig önemi açısından arızalanması beklenen sistem çalışma süresini güçlü şekilde düşüren ve onarılması da beklenen sistem çalışmama süresini güçlü şekilde azaltan bileşen önemli bileşendir (Natvig & Gasemyr, 2009). Natvig ve arkadaşları bir açık deniz petrol ve gaz üretim istasyonu için simülasyon tabanlı Natvig önem ölçüm uygulaması gerçekleştirmişlerdir (Natvig, Gasemyr, Hesby, & Isaksen, 2009).

Bileşen önemi kavramını ilk olarak tanımlayan Birnbaum (1968), bileşen önemlerini belirlemeye yönelik bilgilere dayalı olarak bileşen önem ölçümlerini üç

başlıkta toplamıştır. Bu başlıklar yapısal önem ölçümleri, güvenilirlik önem ölçümleri ve yaşam (ömür) önem ölçümleri şeklindedir.

- **Yapısal Önem Ölçümleri:** Yapısal önem ölçümleri sistem yapısının bilindiği varsayımı altında tanımlanmıştır. Çeşitli bileşenlerin sistem içerisindeki konumlarına göre bileşenlerin göreceli önemlerini ölçmektedir. Sistemdeki çeşitli konumlara, farklı güvenilirliklere sahip değişik bileşenlerin keyfi olarak tahsis edilebildiği bir sistem oluşturulmasına ilişkindir. Büyük ihtimalle en güvenilir bileşeni en önemli yere atamak ister.
- **Güvenilirlik Önem Ölçümleri:** Güvenilirlik önem ölçümleri, hem sistem yapısına hem de belirgin ve sabit bir görev süresi boyunca bileşen güvenilirliğine bağlıdır. Bu ölçümler belirli bir bileşenin güvenilirliğindeki değişiklik ile ilgili olarak sistem güvenilirliğindeki değişikliği ölçer.
- **Ömür (Yaşam) Önem Ölçümleri:** Ömür önem ölçümleri hem bileşenin sistemdeki konumuna hem de bileşen ömür dağılımlarına bağlıdır (Kuo & Zhu, 2012). Ömür önem ölçümlerini zamana bağlı olup olmamasına göre zaman bağımlı ömür önem ölçümleri (Time-Dependent Lifetime (TDL) importance) ve zaman bağımsız ömür önem ölçümleri (Time Independent Lifetime (TIL) importance) şeklinde ikiye ayrılabilir (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 150-151).

Tez çalışmamızda güvenilirlik önem ve yaşam önem ölçümleri üzerinde durulacaktır. Uygulamamız bu iki sınıflamaya dahil olacak önem ölçümlerini kapsayacak şekildedir.

2.1. Güvenilirlik Önem Ölçümleri

Güvenilirlik önem ölçütleri hem sistem yapısına hem de belirgin ve sınırlı bir görev süresi üzerinde bileşenin güvenilirliğine bağlıdır. Belirli bir bileşenin güvenilirliğinde meydana gelen değişimle ilgili olarak sistem güvenilirliğindeki değişimi ölçer.

2.1.1. Birnbaum Önem Ölçümü (B-güvenilirlik Önemi)

Birnbaum güvenilirlik önemi bir bileşenin sistem için kritik olma olasılığını dikkate alır (Birnbaum, 1968, s. 9). Bileşenlerin $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ güvenilirliklerine bağlı olarak sistemin Birnbaum önemi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

Tanım 2.1.1. ϕ sisteminin çalışıyor (success) olması için i bileşenin B- güvenilirlik önemi

$$I_{Bs}(i; \mathbf{p}) = P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 1\} - P\{\phi(\mathbf{X}) = 1\} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır.

ϕ sisteminin arızalı (failure) olması için i bileşenin B- Güvenilirlik önemi;

$$I_{Bf}(i; \mathbf{p}) = P\{\phi(\mathbf{X}) = 0 | X_i = 0\} - P\{\phi(\mathbf{X}) = 0\} \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır. Buradan ϕ yapı fonksiyonu için i bileşenin B- güvenilirlik önemi $I_B(i; \mathbf{p})$ olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} I_B(i; \mathbf{p}) &= I_{Bs}(i; \mathbf{p}) + I_{Bf}(i; \mathbf{p}) \\ &= P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 1\} - P\{\phi(\mathbf{X}) = 1\} + P\{\phi(\mathbf{X}) = 0 | X_i = 0\} \\ &\quad - P\{\phi(\mathbf{X}) = 0\} \\ &= P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 1\} + P\{\phi(\mathbf{X}) = 0 | X_i = 0\} - 1 \\ &= P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 1\} - [1 - P\{\phi(\mathbf{X}) = 0 | X_i = 0\}] \\ &= P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 1\} - P\{\phi(\mathbf{X}) = 1 | X_i = 0\}. \end{aligned}$$

Denklemler (1.19), (1.20) ve (1.21) dikkate alınır; Barlow ve Proschan (1975)'in verdiği eşdeğer tanım ile

$$\begin{aligned} I_B(i; \mathbf{p}) &= E(\phi(1_i \mathbf{X}) - \phi(0_i \mathbf{X})) = R(1_i, \mathbf{p}) - R(0_i, \mathbf{p}) \\ &= \frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_i} \end{aligned} \quad (2.3)$$

elde edilir. (2.3) eşitliği, güvenilirliklerin bağımsız oldukları durumda geçerlidir (Rausand & Hoyland, 2004, s. 185-186), (Kuo & Zhu, 2012, s. 55-56), (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 155).

2.1.2. Potansiyel Önem Ölçümü

Bir sistemde bileşen, güvenilirliği bir olan *mükemmel* bileşen ile değiştirildiğinde sistemde meydana gelen artma potansiyel önem ile ölçülür. Potansiyel önem ölçümü;

$$I_{IP}(i; \mathbf{p}) = R(1_i, \mathbf{p}) - R(\mathbf{p}) \quad (2.4)$$

ile hesaplanır. $I_{IP}(i; \mathbf{p})$ şeklinde ifade edilebilir. Burada $I_{IP}(i; \mathbf{p})$ ifadesi i bileşeni mükemmel olduğunda sistem güvenilirliğinde meydana gelecek artmayı belirtmektedir. Ayrıca i bileşenin güvenilirliğini artırarak elde edilebilen sistem güvenilirliğindeki maksimum potansiyel artışı temsil eder. (1.19) eşitliği (2.4) te yerine yazılırsa

$$\begin{aligned}
I_{IP}(i; \mathbf{p}) &= R(1_i, \mathbf{p}) - [p_i R(1_i, \mathbf{p}) + (1 - p_i) R(0_i, \mathbf{p})] \\
&= R(1_i, \mathbf{p}) - p_i R(1_i, \mathbf{p}) - (1 - p_i) R(0_i, \mathbf{p}) \\
&= R(1_i, \mathbf{p})(1 - p_i) - (1 - p_i) R(0_i, \mathbf{p}) \\
&= (1 - p_i) \underbrace{(R(1_i, \mathbf{p}) - R(0_i, \mathbf{p}))}_{I_B(i; \mathbf{p})}
\end{aligned}$$

olur. Böylece

$$I_{IP}(i; \mathbf{p}) = (1 - p_i) I_B(i; \mathbf{p}) \quad (2.5)$$

elde edilir (Kuo & Zhu, 2012, s. 55-56), (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 155).

2.1.3. Kritik Güvenilirlik Önem Ölçümü

B- güvenilirlik öneminin kendi güvenilirlik değerinden bağımsız olması bir dezavantajdır. Kritik önem bu durumu ortadan kaldırmaktadır. Kuo ve Zuo (2003) te bileşenin sistemin çalışması ve arızası açısından kritik oluşuna göre kritik öneme iki yaklaşım önermişlerdir. (Kuo & Zuo, 2003, s. 195)

Sistem arızası açısında i bileşenin kritik güvenilirlik önemi $I_{cf}(i; \mathbf{p})$ ile gösterilir ve sistem arızası için i bileşenin kritik güvenilirlik önemi; sistemin arızalı olduğu verildiğinde i bileşenin arızalı olması olasılığı ve sistem arızası açısından kritik olması olarak tanımlanabilir. Sistem başarısızlığı açısından $I_{cf}(i; \mathbf{p})$ kritik önem ölçümü

$$I_{cf}(i; \mathbf{p}) = \frac{(1 - p_i)(R(1_i, \mathbf{p}) - R(0_i, \mathbf{p}))}{1 - R(\mathbf{p})} = \frac{q_i}{1 - R(\mathbf{p})} I_B(i; \mathbf{p}) \quad (2.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Sistem başarısı açısından kritik önem ise $I_{cs}(i; \mathbf{p})$ ile gösterilir ve sistemin çalışması için i bileşenin kritik güvenilirlik önemi; sistemin çalışıyor olduğu verildiğinde i bileşenin çalışıyor olma olasılığı ve sistem çalışması için kritik olması olarak tanımlanabilir. Sistem başarısı açısından $I_{cs}(i; \mathbf{p})$ kritik önem ölçümü

$$\begin{aligned}
I_{cs}(i; \mathbf{p}) &= \frac{p_i(R(1_i, \mathbf{p}) - R(0_i, \mathbf{p}))}{R(\mathbf{p})} \\
&= \frac{p_i}{R(\mathbf{p})} I_B(i; \mathbf{p})
\end{aligned} \quad (2.7)$$

eşitliği ile hesaplanır (Kuo & Zhu, 2012, s. 55-56), (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 155).

2.1.4. Fussell - Vesely (FV) Önem Ölçümü

Fussell–Vesely önem ölçümü bir bileşenin kritik bileşen olmadan sistem arızasına katkı sunabileceği gerçeğinden yola çıkarak tasarlanmıştır. Bir minimal kesen arızalı (başarısız) olduğunda minimal kesenin içinde bulunan bileşen sistem arızasına katkı sağlar. Fussell ve Vesely kesenler ve yolları kullanarak önem ölçümünü iki yöntem ile hesaplamışlardır. FV- kesen önemi

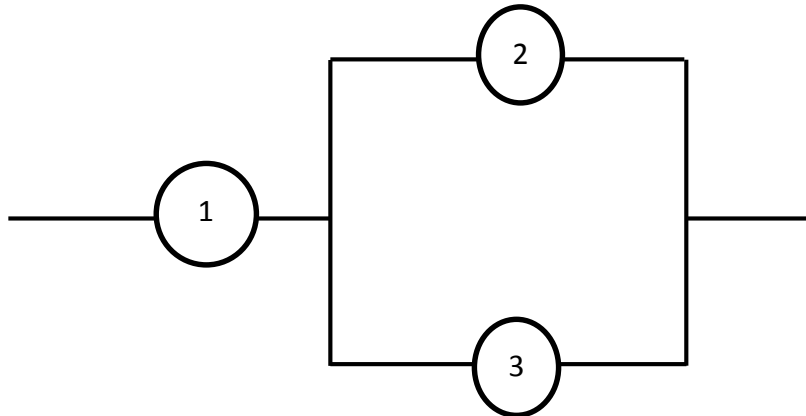
$$I_{FV^c}(i; \mathbf{p}) = P\{\exists C \in \bar{C}_i \text{ öyleki } C \subseteq N_0(\mathbf{X}) | \phi(\mathbf{X}) = 0\}$$

Minimal kesenlerden en az biri başarısız olursa tüm sistem başarısız olur. Bir t anında sistem ve kesen açısından başarısızlıklar göz önünde bulundurularak daha kolay bir hesaplama aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$I_{FV^c}(i; \mathbf{p}) \approx \frac{\sum_{j=1}^m \prod_{l \in C_i^j} q_l}{1 - R(\mathbf{p})}$$

Burada i elamanını içeren tüm minimal kesenlerin başarısızlıkları çarpımının i bileşenini kapsayan kesenler adedince toplanmasının sistem güvenilirliğine oranı olarak açıklamak mümkündür (Rausand & Hoyland, 2004, s. 194), (Kuo & Zhu, 2012, s. 63), (Amrutkar & Kamalja, 2017, s. 159).

Örnek 2.1. Güvenilirlik önem ölçümleri için örnek 1.1 de verilen 3 bileşenli sistemi göz önüne alalım.



Şekil 2.1. Üç Bileşenli Sistem

Sistemin yapı fonksiyonu $\phi(\mathbf{x}) = x_1 [1 - (1 - x_2)(1 - x_3)]$ şeklinde idi. Bu sistemde bileşenlerin güvenilirlikleri $p_1 = 0,98$, $p_2 = 0,96$, $p_3 = 0,94$ şeklinde olsun. Sistem güvenilirliği

$$\begin{aligned}
R(\mathbf{p}) &= p_1 [1 - (1 - p_2)(1 - p_3)] \\
&= p_1 p_2 + p_1 p_3 - p_1 p_2 p_3
\end{aligned}$$

şeklinde olur.

$$R(\mathbf{p}) = 0,98[1 - (1 - 0,96)(1 - 0,94)] = 0,977648$$

elde edilir. B- Güvenilirlik önemi için bileşen güvenilirlikleri;

$$I_B(1; \mathbf{p}) = \frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_1} = p_2 + p_3 - p_2 p_3 = 0,9976$$

$$I_B(2; \mathbf{p}) = \frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_2} = p_1 - p_1 p_3 = 0,0588$$

$$I_B(3; \mathbf{p}) = \frac{\partial R(\mathbf{p})}{\partial p_3} = p_1 - p_1 p_2 = 0,0392$$

elde edilir. O halde $I_B(1; \mathbf{p}) > I_B(2; \mathbf{p}) > I_B(3; \mathbf{p})$ olur.

Potansiyel önem ölçüsü için bileşen önemleri;

$$I_{IP}(1; \mathbf{p}) = (1 - p_1)I_B(1; \mathbf{p}) = 0,02.0,9976 = 0,019952$$

$$I_{IP}(2; \mathbf{p}) = (1 - p_2)I_B(2; \mathbf{p}) = 0,04.0,0588 = 0,002352$$

$$I_{IP}(3; \mathbf{p}) = (1 - p_3)I_B(3; \mathbf{p}) = 0,06.0,0392 = 0,002352$$

elde edilir. Bu durumda $I_{IP}(1; \mathbf{p}) > I_{IP}(2; \mathbf{p}) = I_{IP}(3; \mathbf{p})$ şeklinde bulunur.

Sistem başarısızlığı üzerinden kritik önem;

$$I_{Cf}(1; \mathbf{p}) = \frac{q_1}{R(\mathbf{p})} I_B(1; \mathbf{p}) = \frac{0,02}{0,977648} .0,9976 = 0,0204$$

$$I_{Cf}(2; \mathbf{p}) = \frac{q_2}{R(\mathbf{p})} I_B(2; \mathbf{p}) = \frac{0,04}{0,977648} .0,0588 = 0,0024$$

$$I_{Cf}(3; \mathbf{p}) = \frac{q_3}{R(\mathbf{p})} I_B(3; \mathbf{p}) = \frac{0,06}{0,977648} .0,0392 = 0,0024$$

elde edilir. Buradan $I_{Cf}(1; \mathbf{p}) > I_{Cf}(2; \mathbf{p}) = I_{Cf}(3; \mathbf{p})$ olduğu elde edilir.

Fussell-Vesely önem ölçümü; sistem için minimal kesen kümeleri $\{1\}$, $\{2,3\}$ şeklindedir.

$$I_{FV^c}(1; \mathbf{p}) = \frac{q_1}{1 - R(\mathbf{p})} = \frac{0,02}{1 - 0,977648} = \frac{0,02}{0,022352} = 0,8948$$

$$I_{FV^c}(2; \mathbf{p}) = \frac{q_2 q_3}{1 - R(\mathbf{p})} = \frac{0,04 \times 0,06}{1 - 0,977648} = \frac{0,0024}{0,022352} = 0,107$$

$$I_{FV^c}(3; \mathbf{p}) = \frac{q_2 q_3}{1 - R(\mathbf{p})} = \frac{0,04 \times 0,06}{1 - 0,977648} = \frac{0,0024}{0,022352} = 0,107$$

elde edilir. Buradan $I_{FV^c}(1; \mathbf{p}) > I_{FV^c}(2; \mathbf{p}) = I_{FV^c}(3; \mathbf{p})$ sıralaması elde edilir.

Yukarıda bulunan sonuçlar güvenilirlik değerlerinin değişimine bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

2.2. Ömür Önem Ölçümleri

Ömür önem ölçümleri hem bileşenin sistem içerisindeki pozisyonuna hem de bileşen ömür dağılımlarına bağlıdır. Ömür önem ölçümleri zamana bağlı olarak ve zamandan bağımsız olarak iki grupta sınıflandırılmıştır. Genel anlamda tez çalışmamızda zaman bağımlı önem ölçümlerine ait formülasyonlar verilmekle yetinilecektir. Ancak Ömür önem ölçümleri için zaman bağımsız Barlow-Prochan ve zaman bağımsız Natvig Önem ölçümleri için elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır. Önceki kısımda verilen güvenilirlik önem ölçülerinde p_i yerine $\bar{F}_i(t)$ yazılarak yeni denklemler türetilebilir.

2.2.1. Zaman Bağımlı Birnbaum Önem Ölçümü

i , bileşenin t anında B ömür önemi; $I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))$ ile gösterilir ve bileşen i sistem için kritik olduğunda sistemin t anında durum olasılığı olarak tanımlanır. Bunun anlamı bileşen i 'nin arızalı ya da çalışıyor olması sırasıyla sistemin arızalı ya da çalışıyor olması ile çakışıyor olma olasılığıdır. Birnbaum önem ölçümü;

$$\begin{aligned} I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) &= E \left(\phi(1_i \mathbf{X}(t)) - \phi(0_i, \mathbf{X}(t)) \right) = R(1_i, \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) - R(0_i, \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) \\ &= \frac{\partial R(\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))}{\partial \bar{F}_i(t)} \end{aligned}$$

formülü ile hesaplanır (Kuo & Zhu, 2012, s. 70).

2.2.2. Zaman Bağımlı Kritik Ömür Önem Ölçümü

Sistem arızası açısından zaman bağımlı kritik ömür önemi; sistemin t anında arızalı olduğu verildiğinde i bileşenin sistem açısından kritik olma olasılığı olarak tanımlanır. $I_{Cf}(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))$ ile gösterilir. Aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} I_{Cf}(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) &= P\{\phi(1_i \mathbf{X}(\mathbf{t})) - \phi(0_i, \mathbf{X}(\mathbf{t})) = 1 \text{ ve } X_i(t) = 0 | \phi(\mathbf{X}(\mathbf{t})) = 0\} \\ &= \frac{F_i(t)}{1 - R(\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))} I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) \end{aligned}$$

(Kuo & Zhu, 2012, s. 71)

2.2.3. Zaman Bağımlı Fussell –Vessely (FV) Ömür Önem Ölçümü

Sistemin t anında arızalı olduğu verildiğinde t anında arızalı olan i bileşenini en az bir minimal kesenin içermesi olasılığı olarak tanımlanabilir. Zaman bağımlı Fussell-Vesely ömür önem ölçümü;

$$\begin{aligned} I_{FV^c}(i; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) &= P\{\exists C \in \bar{C}_i \text{ öyleki } X_j(t) = 0 \text{ tüm } j \in C | \phi(\mathbf{X}(\mathbf{t})) = 0\} \\ &= \frac{P\{\exists C \in \bar{C}_i \text{ öyleki } X_j(t) = 0 \text{ tüm } j \in C\}}{1 - R(\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))} \\ &= \frac{P\{1 - \prod_{C \in \bar{C}_i} [1 - \prod_{j \in C} (1 - X_j(t))]\}}{1 - R(\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))} \end{aligned}$$

formülü ile hesaplanır (Kuo & Zhu, 2012, s. 72).

Bir minimal kesenin Fussell-Vesely ömür önemi Lambert (1975) tarafından şöyle tanımlanmıştır. M minimal kesen sayısı olmak üzere; t anında C_k $k = 1, 2, \dots, u$ minimal keseni için bileşen önemi $I_{FV^c}(C_k; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))$ ile gösterilir. Minimal kesen için Fussell- Vessely ömür önemi; sistemin arızalı olduğu verildiğinde minimal kesen C_k sistem arızasına katkıda bulunması olarak tanımlanır. Aşağıdaki formülü ile hesaplanır.

$$I_{FV^c}(C_k; \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t})) = \frac{\prod_{j \in C_k} F_j(\mathbf{t})}{1 - R(\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{t}))}$$

(Kuo & Zhu, 2012, s. 73).

2.2.4. Zaman Bağımsız Barlow-Proschan (BP) Ömür Önem Ölçümü

Barlow-Proschan zaman bağımsız bileşen ömür önemi; i bileşeninin sınırsız bir görev süresi boyunca sistem açısından kritik olma olasılığı olarak tanımlanır ve

$$\begin{aligned} I_{BP}(i; \bar{\mathbf{F}}) &= \int_0^{\infty} R(1_i, \bar{\mathbf{F}}(t)) - R(0_i, \bar{\mathbf{F}}(t)) dF_i(t) \\ &= \int_0^{\infty} I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(t)) dF_i(t) \end{aligned}$$

ile hesaplanır (Kuo & Zhu, 2012, s. 75). Lambert (1975) çalışması ile t anında sistemin görev süresini değişken olarak kabul edildiğinde zaman bağımlı Barlow-Proschan ömür önem ölçümü;

$$\begin{aligned} I_{BP}^t(i; \bar{\mathbf{F}}(t)) &= \frac{\int_0^t R(1_i, \bar{\mathbf{F}}(u)) - R(0_i, \bar{\mathbf{F}}(u)) dF_i(u)}{\sum_{i=1}^n \int_0^t R(1_i, \bar{\mathbf{F}}(u)) - R(0_i, \bar{\mathbf{F}}(u)) dF_i(u)} \\ &= \frac{\int_0^t I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(u)) dF_i(u)}{1 - R(\bar{\mathbf{F}}(t))} \end{aligned}$$

formülü ile hesaplanabilir. (Kuo & Zhu, 2012, s. 81)

2.2.5. Zaman Bağımsız Natvig Ömür Önem Ölçümü:

Natvig'in (1979) tanımladığı yeni önem ölçümü Fussell-Vessely ömür önem ölçümü ile benzer karakterler taşımaktadır. Bazı sistemlerin belirli görev süreleri yoktur. Bu nedenle sürekli çalışmaları istenir. Sistemin beklenen ömrünün iyileştirilmesi gerekebilir. Sistem beklenen ömrünü iyileştirmek için hangi bileşenin inceleneceği titizlikle belirlenmelidir. T_{\emptyset} , \emptyset sistem ömrünü temsil etsin. $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere $T_{\emptyset, i}$ de i bileşeninin güvenilirliğinin $\bar{F}_i(t)$ den $\bar{G}_i(t)$ ye artması durumunda yaşam ömrüne karşılık gelsin.

$$Z_i = T_{\emptyset, i} - T_{\emptyset}$$

tesadüfi değişkenini tanımlayalım. i bileşeninin tam minimal onarımından kaynaklı olarak sırasıyla Z_i sistem ömründeki artışı, $E(Z_i)$ 'de beklenen sistem ömründeki artışı temsil etmektedir.

$Y_i^0 = i$ bileşenin arızalanmasından hemen sonra kalan sistem ömrü

$Y_i^1 = i$ bileşenin arızalanmasından sonra hemen yapılan bir mini onarım sonrasında kalan sistem ömrü

olarak tanımlansın. Bu durumda

$$Z_i = Y_i^1 - Y_i^0$$

olarak da verilebilir. $E(Z_i)$ i bileşenin arızalanmasından sonra beklenen kalan sistem ömründe azalma olarak da tanımlanır. Böylece

$$E(Z_i) = E(Y_i^1) - E(Y_i^0)$$

şeklinde yazılır. $E(Z_i)$ ifadesi aşağıdaki teorem yardımı ile hesaplanabilir. (Kuo & Zhu, 2012, s. 189-190).

Teorem 2.1. (Kuo & Zhu, 2012, s. 191)

$$E(Z_i) = \int_0^{\infty} \bar{F}_i(t) [-\ln \bar{F}_i(t)] I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(t)) dt$$

İspat: i bileşenin güvenilirlik fonksiyonu $\bar{F}_i(t)$ den $\bar{G}_i(t)$ ye artmış olsun bu durumda; beklenen sistem ömürleri farkı

$$\Delta E_i = E(T_{\emptyset,i}) - E(T_{\emptyset}) = \int_0^{\infty} (\bar{G}_i(t) - \bar{F}_i(t)) I_B(i; \bar{\mathbf{F}}(t)) dt \quad (*)$$

yazılabilir.

$$\bar{G}_i(t) = \bar{F}_i(t) + \int_0^t f_i(t-u) \frac{\bar{F}_i(t)}{\bar{F}_i(t-u)} du = \bar{F}_i(t) [1 - \ln \bar{F}_i(t)] \quad (**)$$

yazılabilir (Norros, 1986b). (**) ifadesi (*) da yerine yazılırsa ispat tamamlanmış olur. Yukarıda verilen eşitlikler yardımı ile Natvig ömür önem ölçümü

$$I_N(i, \bar{\mathbf{F}}) = \frac{E(Z_i)}{\sum_{j=1}^n E(Z_j)}$$

şeklinde ifade edilebilir (Kuo & Zhu, 2012, s. 191).

3. GELENEKSEL TERMİK SANTRALLERİN YAPISAL ŞEMASINDAKİ BİLEŞENLER İÇİN ÖNEM ÖLÇÜLERİNİN UYGULANMASI

3.1. Dünya’da Enerjinin Genel Görünümü

Enerji ülkeler açısından gelişmenin, kalkınmanın ve refahın ana unsurları arasında yer almaktadır. İnsanlık tarihi ile beraber hem yaşam devamını sağlamak hem de yaşam kalitesini artırmak enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle beraber yaşam açısından enerjinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu gün yaşamın her alanında kesintisiz bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojik gelişmelerle beraber makineleşen hayatımız enerjinin vazgeçilmez bir hal almasına neden olmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve kentleşme yaşam kalitesindeki standartların artması enerji tüketimindeki artışı da beraberinde getirmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (2017) verilerine göre dünya nüfusunun 2040 yılında 9,1 milyar olması beklenmektedir. 2040 yılında Hindistan 1,6 milyarlık nüfusu ile dünyanın en kalabalık ülkesi olacağı öngörülmektedir. 2016 yılında %54 olan kentleşme oranı ise 2040 yılında %63 seviyelerine çıkacaktır. 2016 yılı tahminleri ışığında dünya nüfusunun yaklaşık %15’i henüz elektrik kullanmamaktadır. Bu kişilerin neredeyse tamamı Asya ülkeleri ile sahra altı Afrika ülkelerinde yaşamaktadırlar. (2017 Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2018, s. 1) Küresel orta sınıf olarak nitelendirilen popülasyonun 2030 yılına kadar hızlı bir büyüme göstererek 5 milyar rakamına ulaşması beklenmektedir. Büyüme ile beraber ekonomilerde oluşacak iyileşmeler ve artan refah enerji talebinde ciddi bir artışa neden olacaktır (ExxonMobil 2018 Enerji Görünümü: 2040’a Bakış, 2018, s. 1).

Yapılan yeni öngörü çalışmaları neticesinde dünya enerji talebi 2040 yılında 2015 yılına göre %41.6 artış göstereceği tahmin edilmektedir. Dünya enerji talebinin yıllık ortalama %1.4 artması beklenirken enerji talebindeki bu artış OECD ülkelerinde yıllık %0.2 artış gösterirken OECD dışı ülkelerde ortalama yıllık %2 civarında olması öngörülmektedir. 2040 yılında Çin hala dünyanın en büyük enerji tüketicisi olmaya devam ederek en yakın rakibi A.B.D’ nin tüketiceği enerjiden %94 daha fazla bir enerji tüketiceği beklenmektedir. 2030 projeksiyonunda Hindistan’ın enerji tüketiminde Çin ve A.B.D’ nin ardında üçüncü sırada olması beklenmektedir (2017 Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2018, s. 2). Exxon Mobil 2018 Enerji Görünüm raporuna göre enerji

talebi A.B.D ve OECD ülkelerinde durağan bir seyir izlerken OECD dışı ülkelerde ciddi oranda bir artış gösterecektir. 2040 yılında OECD dışı ülkelerde enerji talebi küresel enerji talebinin %70'i ne karşılık gelmesi beklenmektedir. Yalnızca Çin ve Hindistan'ın küresel talebe yapacağı toplam katkı %45 dolaylarında olacaktır. Aynı dönemde Avrupa ve A.B.D' nin kümülatif katkısı %20 civarında seyredecektir (ExxonMobil 2018 Enerji Görünümü: 2040'a Bakış, 2018, s. 2). Elbette enerjiye olan bu talep enerji kaynaklarının etkin kullanımını da zorunlu hale getirmektedir. Mevcut kaynakların büyük çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlardan oluşmaktadır. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmakta ise de fosil yakıtlar uzun bir süre cazibesini sürdürmeye devam edecektir.

Tablo 3.1. 2017 Yılı İçin Bazı Ülkelerin Birincil Enerji Tüketimi

Birincil enerji: Yakıt kaynaklı tüketim*

MTEP	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer Enerji	Hidro elektrik	Yenilenebilir Enerji	Toplam
A.B.D	913,3	635,8	332,1	191,7	67,1	94,8	2234,9
Kanada	108,6	99,5	18,6	21,9	89,8	10,3	348,7
Brezilya	135,6	33,0	16,5	3,6	83,6	22,2	294,4
Fransa	79,7	38,5	9,1	90,1	11,1	9,4	237,9
Almanya	119,8	77,5	71,3	17,2	4,5	44,8	335,1
İtalya	60,6	62,0	9,8	-	8,2	15,5	156,0
Polonya	31,6	16,5	48,7	-	0,6	4,8	102,1
İspanya	64,8	27,5	13,4	13,1	4,2	15,7	138,8
Türkiye	48,8	44,4	44,6	-	13,2	6,6	157,7
Birleşik Krallık	76,3	67,7	9,0	15,9	1,3	21,0	191,3
Rusya F.	153,0	365,2	92,3	46,0	41,5	0,3	698,3
İran	84,6	184,4	0,9	1,6	3,7	0,1	275,4
Suudi Arabistan	172,4	95,8	0,1	-	-	^	268,3
Birleşik Arap	45,0	62,1	1,6	-	-	0,1	108,7

Emirlikleri							
Mısır	39,7	48,1	0,2	-	3,0	0,6	91,6
Güney Afrika	28,8	3,9	82,2	3,6	0,2	2,0	120,6
Diğer Afrika	95,2	35,5	6,2	-	25,6	2,1	164,5
Avustralya	52,4	36,0	42,3	-	3,1	5,7	139,4
Çin	608,4	206,7	1892,6	56,2	261,5	106,7	3132,2
Hindistan	222,1	46,6	424,0	8,5	30,7	21,8	753,7
Endonezya	77,3	33,7	57,2	-	4,2	2,9	175,2
Japonya	188,3	100,7	120,5	6,6	17,9	22,4	456,4
Malezya	36,9	36,8	20,0	-	5,6	0,4	99,6
Güney Kore	129,3	42,4	86,3	33,6	0,7	3,6	295,9
Tayvan	49,2	19,1	39,4	5,1	1,2	1,2	115,1
Tayland	63,9	43,1	18,3	-	1,1	3,4	129,7
Toplam	4621,9	3156,0	3731,5	596,4	918,6	486,8	13511,2
Dünya							

Bp 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

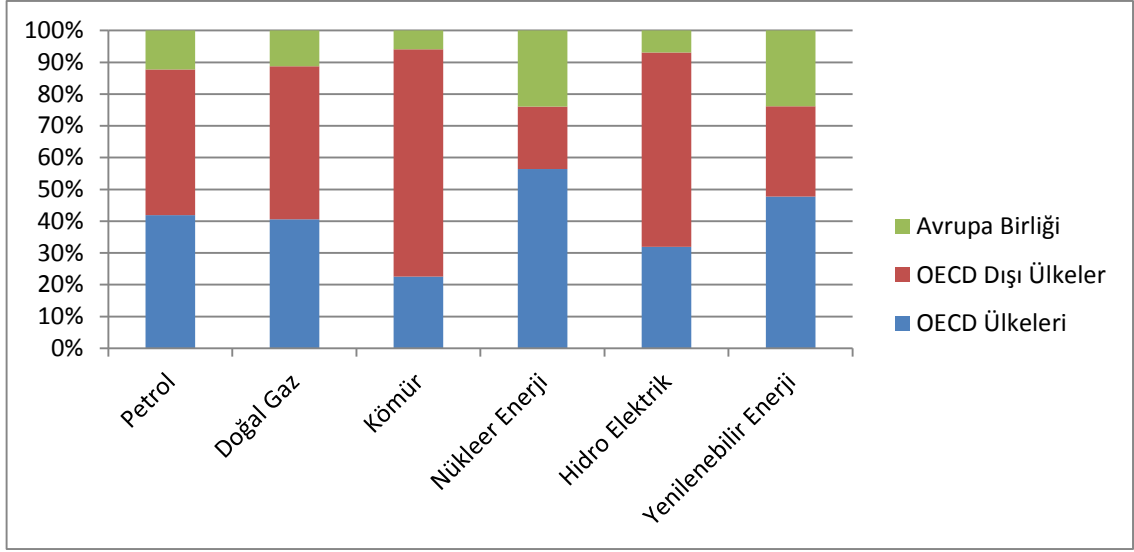
Tablo 3.1 e göre birincil enerji kaynaklarında en çok enerji tüketen ülke 3132,2 mtep ile Çin olmuştur. Tüketilen enerji miktarı tüm dünyada tüketilen enerji miktarının %23,2 sine karşılık gelmektedir. Çin'i %16,5 ile A.B.D ve %5,6 ile Hindistan takip etmektedir. 2017 yılında küresel enerji tüketimi bir önceki yıla göre en çok değişen ülke %13,8 ile Estonya olmuştur. Estonya 2016 yılında 6 mtep enerji tüketirken bu oran 2017 yılında 6,8 mtep olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılında Türkiye'nin enerji tüketimi 157,7 mtep olarak gerçekleşmiştir. Bu miktar dünyada tüketilen enerjinin %1,2 sine karşılık gelmektedir. Türkiye bir önceki yıla göre enerji tüketiminde %9,5'lik bir artış göstermiştir. 2006-2016 yılları arasında Türkiye'nin yıllık enerji tüketim artışı %4,4 olarak gerçekleşmiştir. (BP Statistical Review of World Energy, 2018)

Tablo 3.2. 2017 Yılı Yakıt Kaynaklı Birincil Enerji Tüketimi
Birincil Enerji: Yakıt Kaynaklı Tüketim* 2017

MTEP	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer Enerji	Hidro Elektrik	Yenilenebilir Enerji	Toplam
Kuzey Amerika	1108,6	810,7	363,8	216,1	164,1	109,5	2772,8
Güney ve Orta Amerika	318,8	149,1	32,7	5,0	162,3	32,6	700,6
Avrupa	731,2	457,2	296,4	192,5	130,4	161,8	1969,5
BDT	203,4	494,1	157,0	65,9	56,7	0,9	978,0
Orta Doğu	420,0	461,3	8,5	1,6	4,5	1,4	897,2
Afrika	196,3	121,9	93,1	3,6	29,1	5,5	449,5
Asya Pasifik	1643,4	661,8	2780,0	111,7	371,6	175,1	5743,6
Toplam Dünya	4621,9	3156,0	3731,5	596,4	918,6	486,8	13511,2

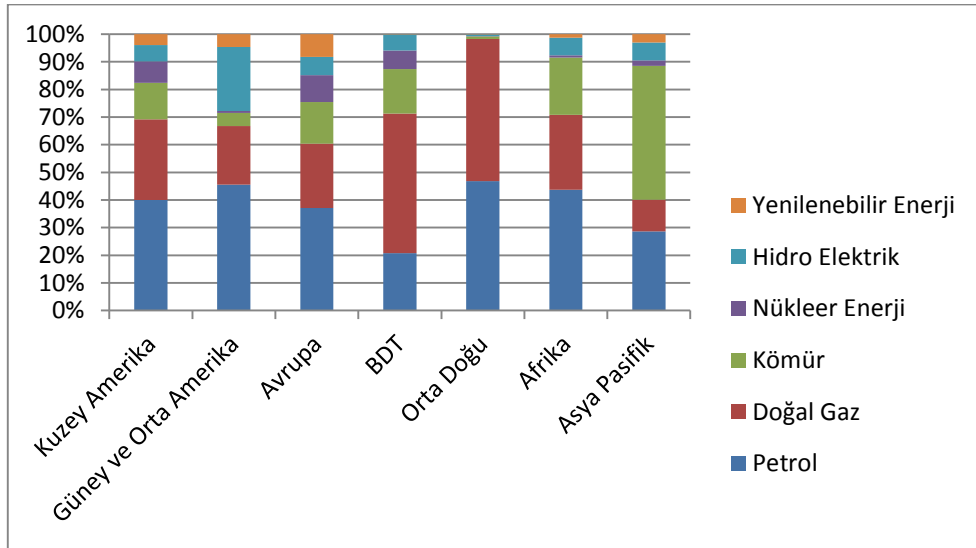
BP 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

Tablo 3.2 ye göre 2017 yılında küresel enerji kaynakları tüketimi bölgesel olarak en fazla 5743,6 mtep ile Asya Pasifik bölgesinde gerçekleşmiştir. Küresel enerji kaynakları tüketiminde ikinci sırada Kuzey Amerika ülkeleri üçüncü sırada ise Avrupa Birliği ülkeleri yer almaktadır. 2017 yılında dünyada üretilen enerjinin %42.5'i Asya Pasifik ülkeleri tarafından, %20.5'i Kuzey Amerika ülkeleri tarafından, %5.2 si Güney ve Orta Amerika ülkeleri tarafından, %14.6'sı Avrupa Birliği ülkeleri tarafından, %7.2'si Bağımsız Devletler Topluluğu ülkeleri tarafından, %6.6'sı Orta Doğu ülkeleri tarafından ve %3.3'ü de Afrika ülkeleri tarafından tüketilmiştir.



Şekil 3.1. Avrupa Birliği OECD Ülkeleri ve OECD Dışı Ülkeleri 2017 Yılı Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi Yüzdeleri

Tüm dünyada 2017 yılında yıllık birincil enerji kaynakları tüketimi 13511,2 mtep olarak gerçekleşmiştir. OECD ülkelerinde 5605 mtep OECD dışı ülkelerde 7906,1 mtep ve Avrupa Birliği ülkelerinde ise 1689,2 olarak gerçekleşmiştir. Tüm dünyada 2017 yılında enerji tüketimi artışı %2.2 olarak gerçekleşmiştir. OECD ülkelerinde bu artış %1.3 olarak gerçekleşmiş OECD dışı ülkelerde %2.8 ve Avrupa Birliği ülkelerinde %1.6 olarak gerçekleşmiştir. 2006-2016 yılları arasında ise OECD ülkelerinde birincil enerji kaynakları tüketiminde yıllık %0,2'lik bir azalış gözlenirken OECD dışı ülkelerde %3.3' lük bir artış gözlenmiştir (BP Statistical Review of World Energy, 2018).



Şekil 3.2. 2017 Yılı Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi

2017 yılında Amerika, Avrupa ve Afrika'da en çok tüketilen birincil enerji kaynağı petrol olurken Ortadoğu ve Bağımsız Devletler Topluluğu ülkelerinde doğalgaz olarak gerçekleşmiştir. Petrol ve doğalgaz her iki bölgedeki enerji karışımının yarısından fazlasına karşılık gelmektedir. Asya Pasifik Bölgesinde en çok tüketilen yakıt ise kömür olarak gerçekleşmiştir. Fosil yakıtlar içerisinde kömür Kuzey Amerika, Avrupa ve Afrika'da en düşük seviyede yer almaktadır. Kuzey Amerika nükleer enerji ve doğalgaz tüketiminde, Asya Pasifik ülkeleri ise kömür, petrol, yenilenebilir enerji ve hidroelektrik sektörlerinde bölgesel öncü tüketicilerdir. 1965 te Asya'nın kömür tüketimin dünya tüketimindeki payı sadece %17 seviyelerinde iken 2017 de bu oran %74,5 seviyelerine kadar çıkmıştır (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

3.1.1. Petrol

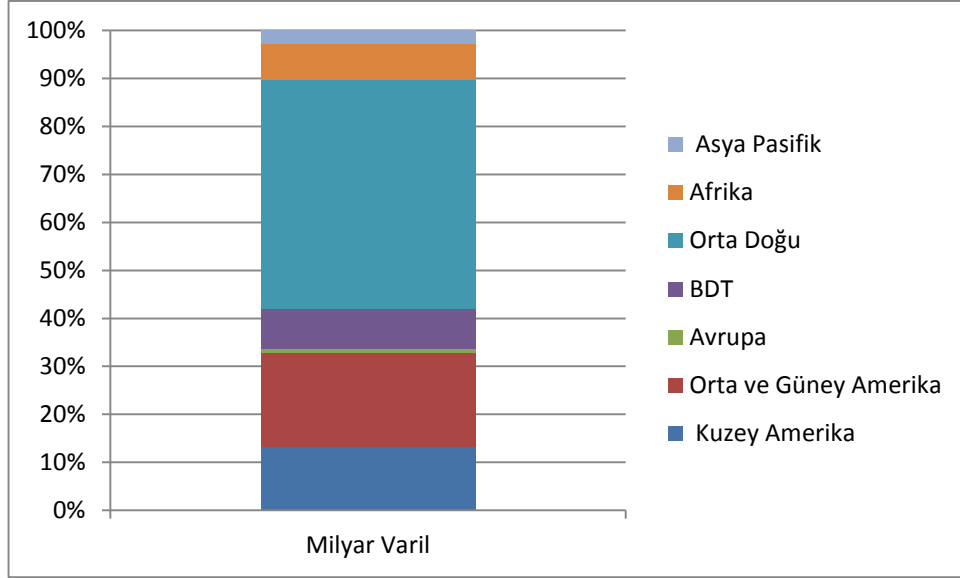
2017 yılı sonunda dünyada kanıtlanmış petrol rezervi 1696,6 Milyar varil olarak gerçekleşmiştir. Dünyada en çok rezerve sahip ülke 303,2 milyar varil ile Venezuela olmuştur. Venezuela'yı 266,2 milyar varil ile Suudi Arabistan ve 168,9 milyar varil ile Kanada takip etmektedir.

Tablo 3.3. Dünya'da Kanıtlanmış Petrol Rezervi

	2016	2017
Toplam Kanıtlanmış Petrol Rezervi	Milyar Varil	Milyar Varil
Kuzey Amerika	227,7	226,1
Orta ve Güney Amerika	328,9	330,1
Avrupa	13,1	13,4
B.D.T	144,9	144,9
Orta Doğu	807,7	807,7
Afrika	126,5	126,5
Asya Pasifik	48,3	48,0
Toplam Dünya	1697,1	1696,6

BP 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

Kanıtlanan rezervin % 47.6'sı Ortadoğu bölgesinde, %19.5'i Orta ve Güney Amerika bölgesinde, %13.3'ü Kuzey Amerika bölgesinde, %8.5'i Bağımsız Devletler Topluluğu ülkelerinde, %7.5'i Afrika Bölgesinde, %2.8'i Asya Pasifik Bölgesinde ve %0.8'i de Avrupa'da bulunmaktadır.



Şekil 3.3. 2017 Yılı Kanıtlanmış Petrol Rezervleri

Ticari enerji ihtiyacı ve kimyasal madde endüstrisi için ham madde gereklilikleri ile artan talepten dolayı petrolün dünyanın enerji karışımında lider bir rol oynamaya devam edeceği beklenmektedir. Petrol talebindeki toplam büyümenin ana etkeni taşımacılık sektörü olmakla beraber 2030 yılından sonra petrol talep artışındaki ana etkenin petrokimyasallardan kaynaklanması beklenmektedir. (BP Statistical Review of World Energy, 2018)

3.1.2. Doğal Gaz

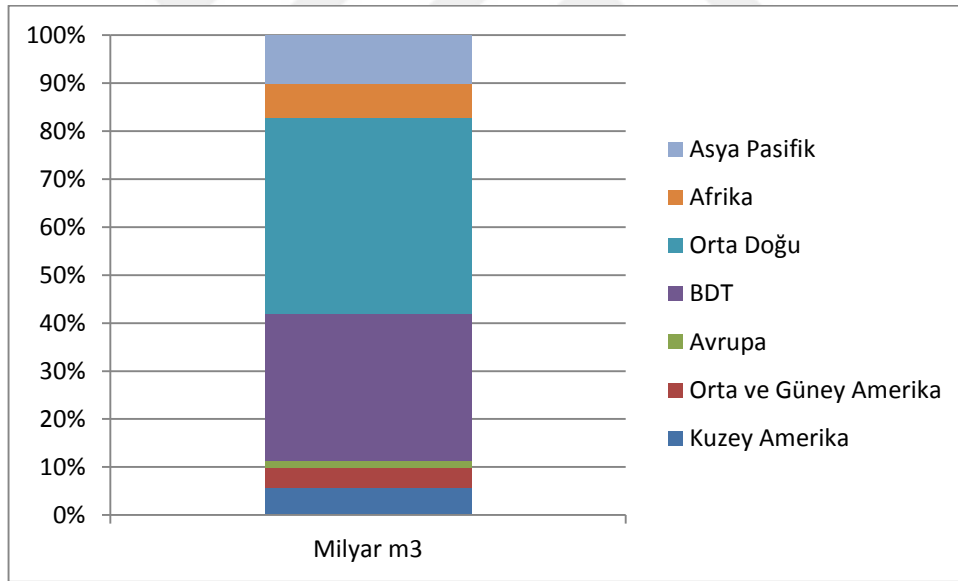
2017 yılı sonunda Dünyada kanıtlanmış doğalgaz rezervinin %40.9'u Orta Doğuda, %30.6'sı da Bağımsız Devletler topluluğu ülkelerinde bulunmaktadır.

Tablo 3.4. Dünya'da Kanıtlanmış Doğal Gaz Rezervi

	2016	2017
Toplam Kanıtlanmış Doğal Gaz Rezervi	Milyar m3	Milyar m3
Kuzey Amerika	10,9	10,8
Orta ve Güney Amerika	8,3	8,2
Avrupa	3,0	3,0
BDT	59,0	59,2
Orta Doğu	78,8	79,1
Afrika	13,8	13,8
Asya Pasifik	19,2	19,3
Toplam Dünya	193,1	193,5

BP 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

Doğal gaz geniş kullanım alanı ve elektrik enerjisi üretimine sağladığı katkı edeni ile bol rezerv miktarı göz önünde bulundurulduğunda 2040 yılına kadar kullanım miktarının ve alanının artarak yükselmesi beklenmektedir. Düşük karbon salınımı nedeni ile kömüre bir alternatif olarak da göze çarpan doğalgazın 2040 yılında dünya enerji ihtiyacının %26'sını karşılar hale gelmesi beklenmektedir. Çin ve Hindistan gibi ülkelerin hava kirliliği ile etkin mücadele için yenilenebilir enerji kaynaklarına ve doğal gaza yönelmesi öngörüler arasındadır. Özellikle doğalgaz bakımından zengin bölgelerde (Orta Doğu ve Hazar Denizi gibi) 2040 yılına kadar enerji ihtiyaçlarının yarısına yakınına doğalgazdan sağlaması beklenmektedir. Orta Doğu ve Hazar Denizi bölgesi, Avrupa'nın ve Asya Pasifik ülkelerinin gaz ihtiyacını boru hatları ile karşılamaya devam edecektir. Bilinen doğal gaz rezervinin yaklaşık %15'i kullanılmıştır. Konvansiyonel olmayan kaynaklarla birlikte belirlenmiş rezervin mevcut talepleri yaklaşık 200 yıl karşılayacağı tahmin edilmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2018, s. 4-5).



Şekil 3.4. 2017 Yılı Kanıtlanmış Doğal Gaz Rezervleri

3.1.3. Kömür

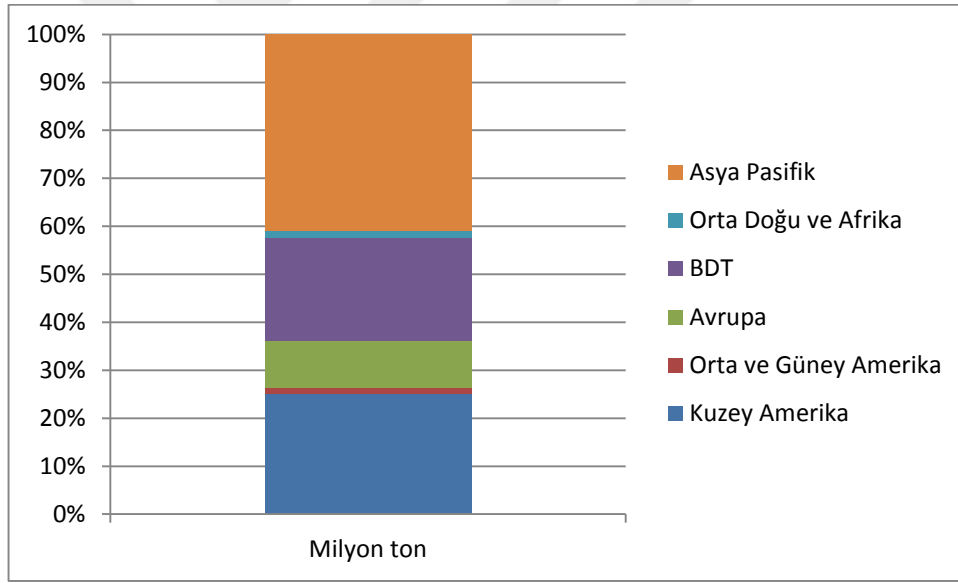
2017 sonunda toplam kanıtlanmış kömür rezervi antrasit, bitümlü, alt bitümlü ve linyit olarak toplam 1035011,875 milyon tondur.

Tablo 3.5. Dünya’da Kanıtlanmış Kömür Rezervi

Kanıtlanmış Kömür Rezervi	Antrasit ve Bitümlü	Alt Bitümlü ve Linyit	Toplam
Milyon ton			
Kuzey Amerika	226306	32403	258709
Orta ve Güney Amerika	8943	5073	14016
Avrupa	24220	76185	100405
BDT	130162	93066	223228
Orta Doğu ve Afrika	14354	66	14420
Asya Pasifik	314325	109909	424234

BP 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

Kanıtlanan rezerve göre en çok kömür Asya Pasifik Bölgesinde bulunmaktadır. İkinci sırada Kuzey Amerika, üçüncü sırada ise Bağımsız Devletler Topluluğu bölgesi yer almaktadır.



Şekil 3.5. 2017 Yılı Kanıtlanmış Kömür Rezervleri

Kanıtlanan rezervin %41’i Asya Pasifik bölgesinde %25’i Kuzey Amerika bölgesinde %21,6’sı da Bağımsız Devletler Topluluğu ülkelerinde bulunmaktadır (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

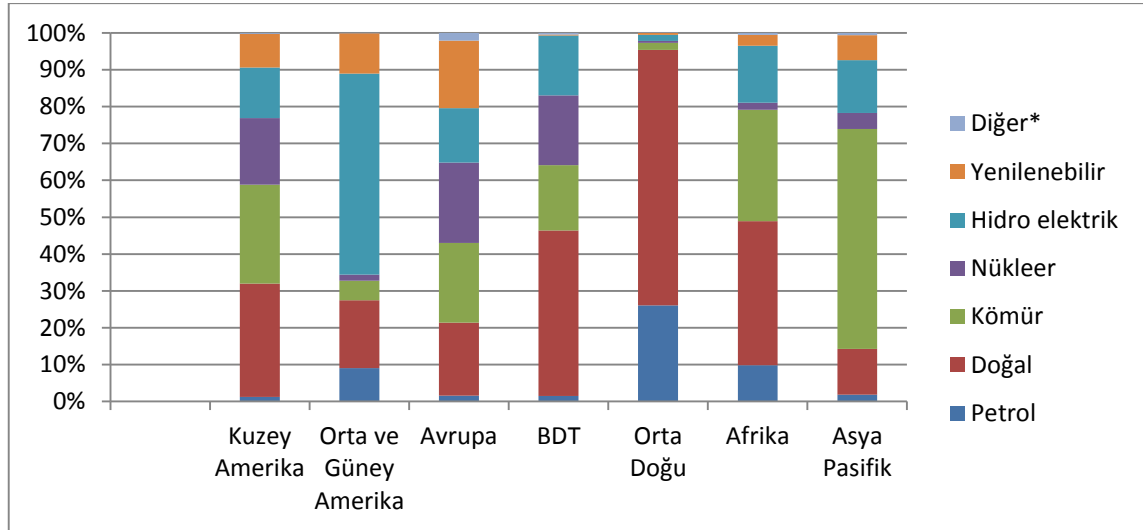
Bp istatistik raporuna göre 2017 sonunda dünyadaki kömür üretimi 3768,6 mtep olarak, kömür tüketimi ise 3731,5 mtep olarak gerçekleşmiştir. Dünyanın en büyük kömür üreticisi 1747,2 mtep ile Çin ve dünyanın en büyük kömür tüketicisi de 1892,6 mtep ile yine Çin olmuştur. Çin 2017 yılında dünya kömür üretiminin %46.4’ünü

karşılıken dünya kömür tüketiminin ise %50.7'sini gerçekleştirmiştir. Çin 2040 yılına kadar %40'lık küresel kömür talebi ile dünyanın en büyük kömür pazarına sahip ülkesi olması beklenmektedir (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

Petrolün yaygınlaşması ile beraber artan teknolojik olanaklar ile doğalgaz ve nükleer enerjinin enerji piyasalarına katılması ile sektördeki payını kaybetmeye başlayan kömürün, yaygın ve bol bulunan bir maden olması mevcut rezervlerin 150 yıl daha yeteceği öngörüsü ile daha uzun bir süre artan enerji taleplerini karşılayacağı beklenmektedir. (Bartan, 2017, s. 6)

3.1.4. Dünya'da Elektrik Üretimi

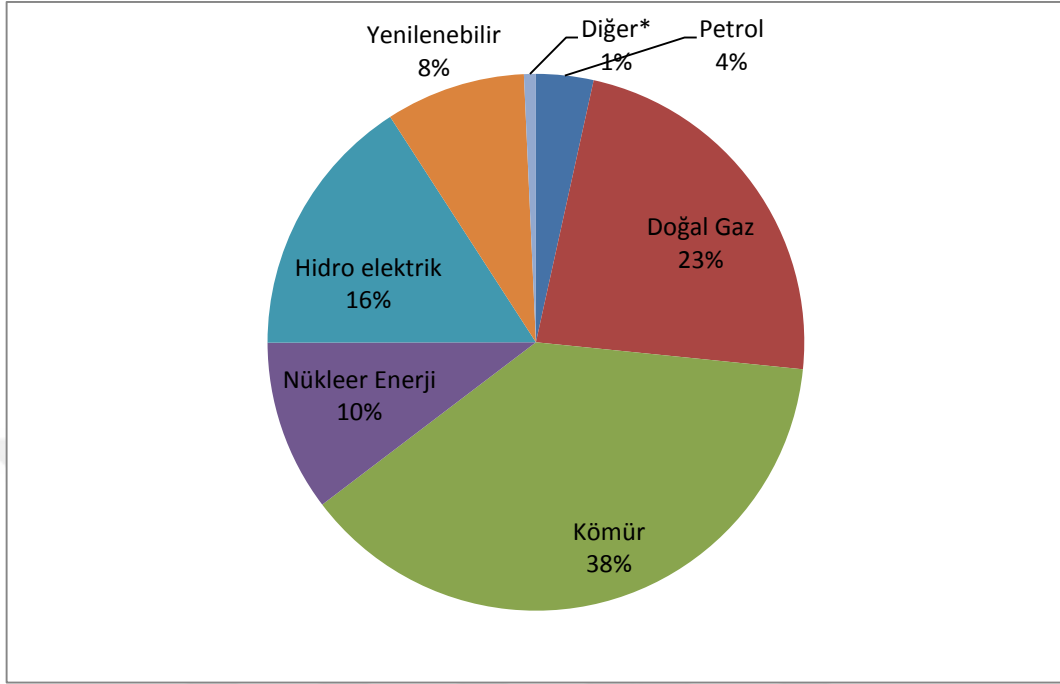
Küresel elektrik talebinin konut, ticari, endüstriyel ve ulaştırma sektörlerindeki talebe bağlı olarak 2016'dan 2040'a kadar %60 büyümesi beklenmektedir (Exxonmobil, 2018, s. 25). 2040 yılına kadar birincil enerji talebindeki artışın %70'i elektrikten kaynaklanacağı öngörülmektedir (BP Statistical Review of World Energy, 2018, s. 4). 2017 yılında dünyada üretilen elektrik miktarı 25551,3 TWh dır. Üretilen miktarın %43.1'i OECD ülkelerinde % 56.9'u OECD dışı ülkelerde gerçekleşmiştir. Dünyanın en büyük elektrik üretimi 6495,14 TWh'lık üretimle Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. İkinci sırada A.B.D ve üçüncü sırada da Hindistan yer almaktadır.



Şekil 3.6. Kaynaklara Göre 2017 Yılı Elektrik Üretimi

Toplam üretilen elektriğin 5290,2 TWh'ı Kuzey Amerika bölgesinde 1315,8 TWh'ı Orta ve Güney Amerika bölgesinde 3901,3 TWh'ı Avrupa'da 1539,5 TWh'ı

Bağımsız Devletler Topluluğu ülkelerinde 1210,9 TWh'ı Orta Doğu'da 11462,9 TWh'ı da Asya Pasifik bölgesinde ve 830,7 TWh'ı da Afrika'da üretilmiştir.



Şekil 3.7. Üretilen Elektriğin Kaynaklara Göre Yüzdeler Dağılımı

Dünyada üretilen elektriğin %38'i kömürden, %23'ü doğal gazdan, % 16'sı hidroelektrikten, %10'u nükleer enerjiden, %8'i yenilenebilir enerji kaynaklarından, %4'ü petrolden ve %1'i de diğer kaynaklardan sağlanmaktadır. Dünyada elektrik üretiminin büyük bir kısmı yanma temelli fosil yakıtlar ile sağlanmaktadır. (BP Statistical Review of World Energy, 2018, s. 47)

3.2. Türkiye'de Enerjinin Genel Görünümü

Türkiye dünyanın en zengin petrol ve doğal gaz kaynaklarına sahip Ortadoğu ve Hazar Denizi Bölgesine komşu bir ülkedir. Enerji kaynakları açısından çok zengin olmamakla beraber enerji bölgelerine olan yakınlığı ile Avrupa'nın enerji güvenliği açısından Türkiye çok önemli bir role sahiptir (Bartan, 2017, s. 20). Ülkemizde 2017 sonunda birincil enerji tüketim bir önceki yıla göre %9.5 artış göstererek 144,4 mtep' den 157,7 mtep' e yükselmiştir.

Tablo 3.6. Birincil Enerji Tüketimi: Kaynaklara Göre

	2016	2017
Petrol	47,1	48,8
Doğal Gaz	38,2	44,4
Kömür	38,5	44,6
Nükleer Enerji	-	-
Hidro elektrik	15,2	13,2
Yenilenebilir Enerji	5,4	6,6
Toplam	144,4	157,7

BP 2018 Dünya İstatistik Raporundan Derlenmiştir.

Türkiye'nin elektrik üretimi 2017 yılında 295,5 TWh olarak gerçekleşmiştir. Bir önceki yıla göre %8'lik büyüme kaydeden elektrik üretimi 2006-2016 yılları arasında %4.5'lik bir üretim artışı kaydetmiştir (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

Tablo 3.7. Türkiye'de 2017 Yılı Elektrik Üretimi

	2016	2017
	GWh	GWh
Termik	185798,1	212138,5
Hidrolik	67230,9	58218,5
Jeotermal	4818,5	6127,5
Rüzgar	15517,1	17930,8
Güneş	1043,1	2889,3
Brüt Üretim	274407,7	297277,5
Dış alım	6330,3	2728,3
Dış satım	1451,7	3303,7
Brüt Tüketim	279286,4	296702,1

(TEİAŞ 2017 faaliyet raporu sayfa 30)

Türkiye'de toplam kurulu güç 85200 MW tır. Bu kurulu gücün %23.4'ü EÜAŞ ye %61.5'i serbest üretim şirketlerine %1.6'sı Yap İşlet Devret santrallerine %7.1'i yap İşlet santrallerine %2.1 işletme hakları Dev. ve %4.3'ü Lisansız santrallere aittir. Türkiye'de elektrik üretimi 2017 sonunda bir önceki yıla göre brüt olarak %8.3 artış göstermiş ve 274407,7 milyon KW saatten 297277,5 KW saate yükselmiştir (TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu, s. 30).

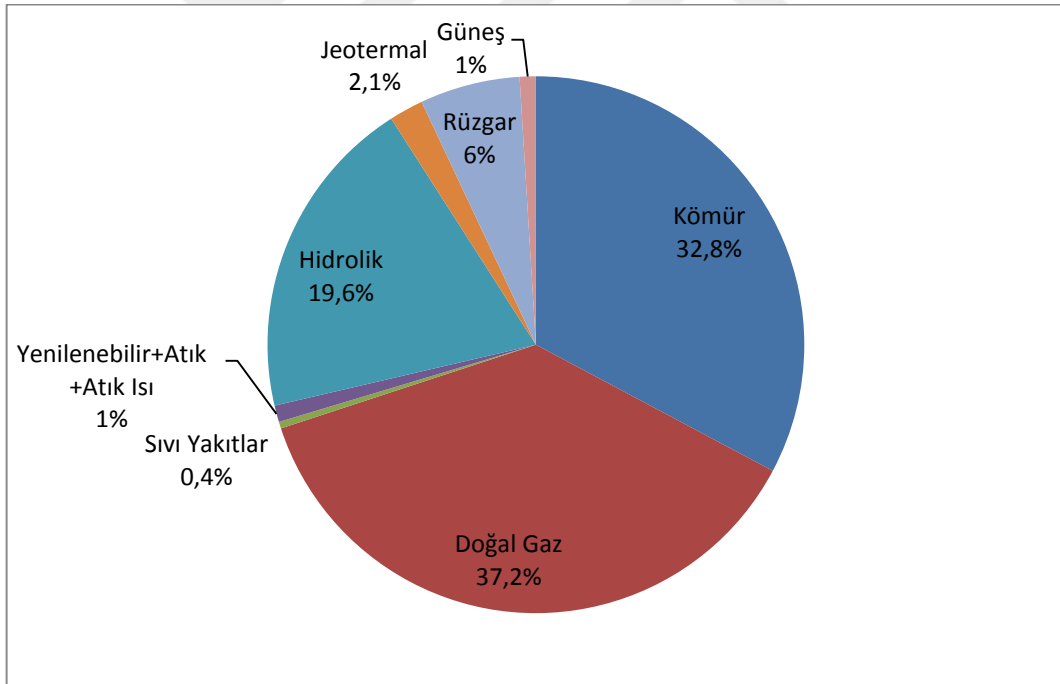
Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımı Tablo 3.8 ile verilmiştir.

Tablo 3.8. Türkiye’de Üretilen Elektrik Enerjisinin Kaynaklara Göre Dağılımı

	2016	2017
	GWh	GWh
Kömür	92273,1	97476,3
Doğal Gaz	89227,1	110490
Sıvı Yakıtlar	1926,3	1199,9
Yenilenebilir+Atık+Atık Isı	2371,6	2972,3
Hidrolik	67230,9	58218,5
Jeotermal	4818,5	6127,5
Rüzgar	15517,1	17930,8
Güneş	1043,1	2889,3
Toplam	274407,7	297277,5

(TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu)

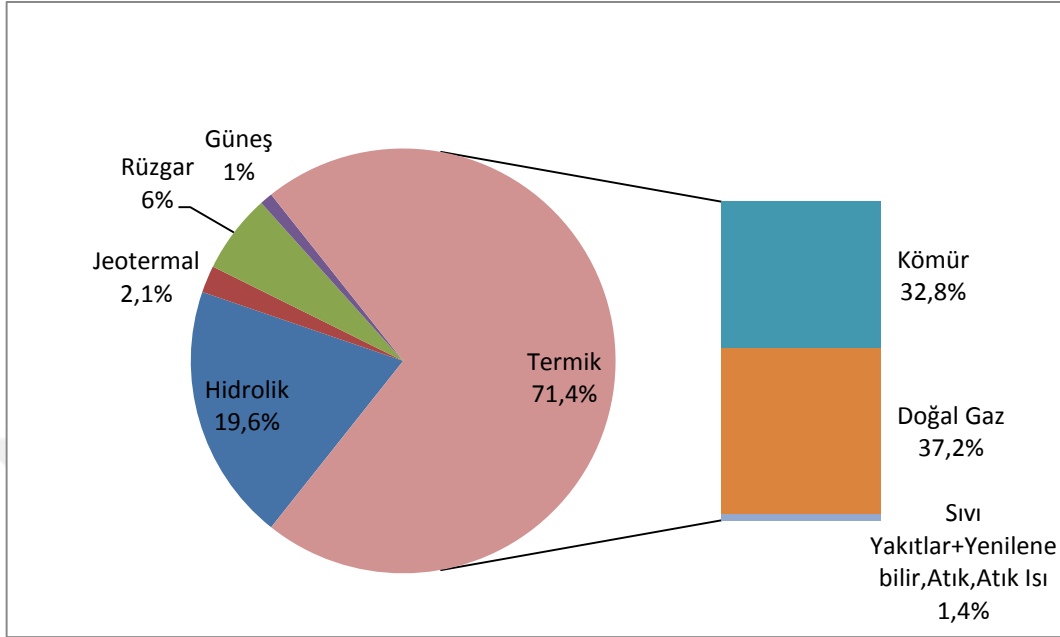
TEİAŞ verilerine göre 2017 yılında Türkiye’de üretilen elektriğin %32.8’i kömürden %37.2’si doğalgazdan %19.6’sı hidrolikten %6’sı rüzgardan %2’si jeotermal kaynaklardan %1’i güneşten %1’i yenilenebilir + atık + atık ısı’ dan ve % 0.4’ü de sıvı yakıtlardan elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Türkiye’nin 2017 Yılı Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı

Türkiye’nin üretilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı dikkate alındığında kömür kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı dünya ile paralellik gösterirken doğal gaz kullanımı dünya doğal gaz kullanımının çok üzerinde yer almaktadır.

Türkiye’de henüz nükleer enerji kullanılmamaktadır. Türkiye elektrik üretiminde hidroelektrik kaynaklar kullanma bakımından dünya değerlerinin üzerindedir.



Şekil 3.9. 2017 Yılı Türkiye Elektrik Üretim Yöntemleri

2017 yılı sonunda üretilen elektriğin %71.4’ü termik kaynaklardan sağlanmıştır. Bu termik kaynakların yaklaşık %37’si doğal gaz ve %33’ü de kömürden oluşmaktadır. Türkiye büyük oranda petrol ve doğal gaz konusunda dışa bağımlı bir ülke olduğundan üretimi doğalgaza bağlı olan santrallerde üretim maliyetlerini artırmaktadır. İthal kömür içinde benzer bir durum söz konusudur. Doğal gaz açısından dışa bağımlılığı azaltacak yerli kaynak kullanımını artırmak ve gaz ithal edilen ülkeleri çeşitlendirmek enerji açısından kaynak risklerini azaltıcı tedbirler olarak alınabilir. (TEİAŞ 2015-2019 Stratejik Plan, 2015, s. 35)

Türkiye’nin Doğal gazdan sonra ikinci en büyük termik kaynağı kömürdür. Türkiye kömür rezervi bakımından linyit rezervleri açısından orta düzeyde taş kömürü bakımından da alt seviyelerde kabul edilir. Dünyada bulunan linyitin yaklaşık %8.7’si Türkiye’de bulunmaktadır. Bütün kömür rezervinin ise (liniyit alt bitümlü ve antrasit dahil) yaklaşık %2.1’de Türkiye’de bulunmaktadır (Türkiye Taş Kömürü Kurumu Faaliyet Raporu 2017, s. 40). Türkiye’nin toplam linyit kaynaklarının %71’inin ısı değeri 1500 kcal/kg’ın altında ve %90’nının ise 3000 kcal/kg altındadır. Bu durum Türkiye’deki linyitin ısı değerinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu ısı değeri düşük

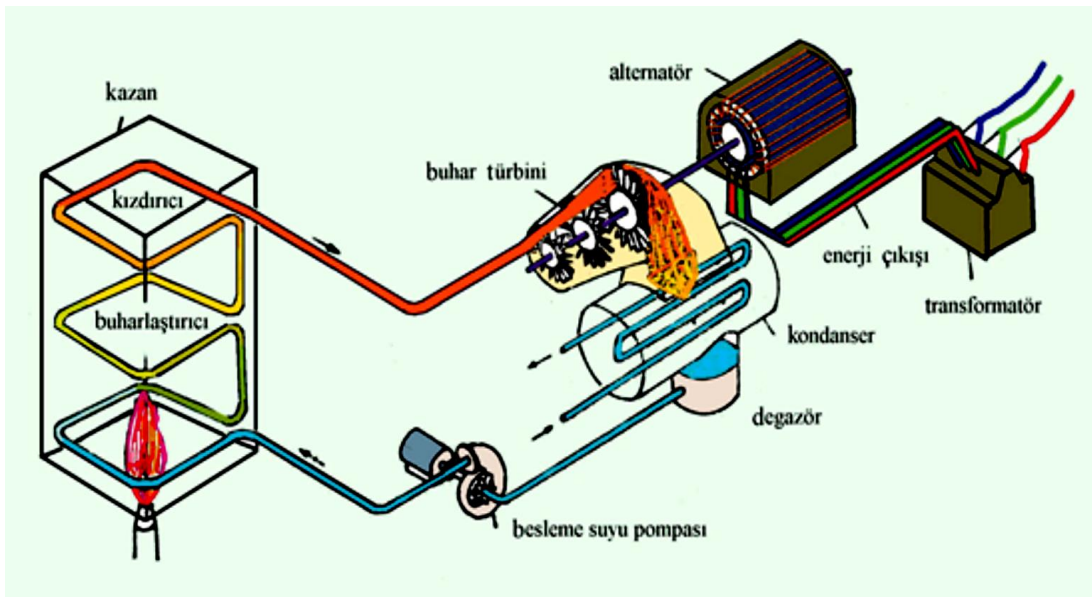
olan linyitin büyük bölümü termik santrallerde elektrik üretmek için kullanılmaktadır (Elektrik Üretim A.Ş 2017 Yıllık Faaliyet Raporu, 2018, s. 40).

3.2.1. Termik Santraller

Santraller bazı yararlı amaçlar için çeşitli enerji türlerini elektrik ve ısıya dönüştüren tesislerdir. Santrale giren enerji türleri değişebilir. Kullanılan kaynağa göre santraller tasarlanır ve isim alır. Santrale giren enerji formlarına göre santraller;

- Yüksek su kütleinin potansiyel enerjisi kullanıldığında, hidroelektrik santral adını alır
- Kömür, petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtlarda bulunan hidrokarbonlardan salınan kimyasal enerji kullanıldığında, fosil yakıtlı santral adını alır
- Güneşten aldığı enerjiyi kullanırsa, güneş santrali adını alır
- Atomik parçacıkları ayıran (çeken) fisyon veya füzyon enerjisi kullandığında ise nükleer santral adını alır (Woodruff, Lammers, & Lammers, 2004, s. 2).

Termik santraller fosil yakıtlarda bulunun kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren santrallerdir. Yanma sonucu ortaya çıkan mekanik enerjiyi alternatörler marifetiyle elektrik enerjisine dönüştürürler (Üstünel, 2012, s. 86). Termik santraller kullanılan yakıtı göre katı yakıtlı santraller, kombine (Sıvı –Gaz yakıtlı) santraller ve nükleer yakıt kullanan nükleer santraller olarak sınıflandırılabilir (Tekel, 2006, s. 24).



Şekil 3.10. Bir Buhar Türbinli Termik Santralin Prensip Şeması (Üstünel, 2012, s. 87)

Özellikle mevsimsel yağışın az olması nedeni ile hidroelektrik santrallerinde yaşanan üretim düşmelerini telafi etmesi bakımında termik santraller ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Temelde yanma prensipli çalışan buhar türbinli santrallerde kazanda ısıtılan su buharlaşır ve kızdırıcıdan geçirilerek nemi alınır elde edilen kızgın buhar türbinleri döndürerek mekanik enerji ortaya çıkarır. Jeneratör yardımı ile bu enerji elektrik enerjisine çevrilir (Üstünel, 2012, s. 87). Türkiye’de devrede olan 40 kömür ve linyit yakıt termik santral bulunmaktadır (www.enerjiatlası.com, 2018).

Tablo 3.9. Türkiye’deki Mevcut Termik Santraller

S.	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç (MW)
1)	Zonguldak Eren (ZETES)	Zonguldak	Eren Enerji	İthal Kömür	2.790
2)	Afşin - Elbistan B Termik Santrali	Kahramanmaraş	EÜAŞ	Linyit	1.440
3)	Afşin Elbistan A Termik Santrali	Kahramanmaraş	EÜAŞ	Linyit	1.355
4)	Cenal Karabiga Termik Santrali	Çanakkale	Alarko Enerji	İthal Kömür	1.320
5)	İSKEN Sugözü Termik Santrali	Adana	Steag Enerji	İthal Kömür	1.320
6)	İÇDAŞ Bekirli Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	1.200
7)	İskenderun Atlas Termik Santrali	Hatay	Diler Holding Enerji Grubu	İthal Kömür	1.200
8)	Soma B Termik Santrali	Manisa	Konya Şeker Enerji	Linyit	990
9)	Kemerköy Termik Santrali	Muğla	Limak Enerji	Linyit	630
10)	Yatağan Termik Santrali	Muğla	Bereket Enerji	Linyit	630
11)	Çayırhan Termik Santrali	Ankara	Ciner Enerji	Linyit	620
12)	Seyitömer Termik Santrali	Kütahya	Çelikler Elektrik	Linyit	600
13)	Kangal Termik Santrali	Sivas	Konya Şeker Enerji	Linyit	457
14)	Tufanbeyli Termik Santrali	Adana	Enerjisa Elektrik	Linyit	450

15)	Yeniköy Termik Santrali	Muğla	İC İctaş Enerji	Linyit	420
16)	İCDAŞ Biga Termik Santrali	Çanakkale	İCDAŞ Elektrik	İthal Kömür	405
17)	Silopi Termik Santrali	Şırnak	Ciner Enerji	Asfaltit	405
18)	Tunçbilek Termik Santrali	Kütahya	Çelikler Enerji	Linyit	365
19)	İzdemir Enerji Aliğa Termik Santrali	İzmir	İzmir Demir Çelik	İthal Kömür	350 *(700)MW)
20)	18 Mart Çan Termik Santrali	Çanakkale	EÜAŞ	Linyit	320
21)	Çatalağzı Termik Santrali	Zonguldak	Bereket Enerji	Taş Kömürü	300
22)	Aksa Bolu Göynük Termik Santrali	Bolu	Aksa Enerji	Linyit	270
23)	İskenderun Demir Çelik Termik Santrali	Hatay	OYAK	İthal Kömür	220
24)	Orhaneli Termik Santrali	Bursa	Çelikler Enerji	Linyit	210
25)	Çolakoğlu Termik Santrali	Kocaeli	Çolakoğlu Metalurji	İthal Kömür	190
26)	Yunus Emre Termik Santrali	Eskişehir	Naksan Enerji	Linyit	145 *(290)
27)	Kardemir Termik Santrali	Karabük	Kardemir A.Ş.	Kömür	78
28)	Polat Termik Santrali	Kütahya	Polat Elektrik Üretim	Linyit	51
29)	Soma A Termik Santrali	Manisa	EÜAŞ	Kömür	44
30)	Eti Soda Kojenerasyon Santrali	Ankara	Ciner Enerji	Linyit	24
31)	Kahramanmaraş Kağıt Termik Santrali	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş Kağıt	İthal Kömür	16
32)	Eti Alüminyum Termik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	Linyit	13
33)	Susurluk Şeker Fabrikası Termik Santrali	Balıkesir	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit	9,60
34)	Amasya Şeker Fabrikası Termik Santrali	Amasya	Amasya Şeker A.Ş.	Linyit	7,76
35)	Kipaş Kağıt Fabrikası Kömür Santrali	Kahramanmaraş	Kipaş Holding	İthal Kömür	7,60 *(25)

36)	Aynes Gıda Termik Santrali	Denizli	Aynes Gıda	Linyit	5,50
37)	Küçükler Tekstil Termik Santrali	Denizli	Küçükler Tekstil	Linyit	5,00
38)	Kütahya Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kütahya	Kütahya Şeker Fabrikası	Linyit	4,57 *(7.128 MW)
39)	Çankırı Tuz Fabrikası Kojenerasyon Santrali	Çankırı	Med-Mar Sağlık Salti Tuz	Linyit	1,64
40)	Göknur Gıda Termik Santrali	Niğde	Göknur Gıda	Kömür	1,55

*tesis tamamlandığında ulaşılabilecek toplam kurulu güç (www.enerjiatlası.com, 2018).

Ülkemiz açısından termik santraller ve kömür uzun bir süre daha önemini korumaya devam edecektir. Sürekli büyüyen ekonomi ve artan enerji talebimiz bu durumu zorunlu kılmaktadır. Özellikle doğalgaz havzalarının geçiş bölgesinde olmasından dolayı doğalgaza rahat ulaşabilen bir ülke olması ve mevcut linyit rezervinden ötürü termik santraller ülkemiz için uzun bir süre daha cazibesini korumaya devam edecektir.

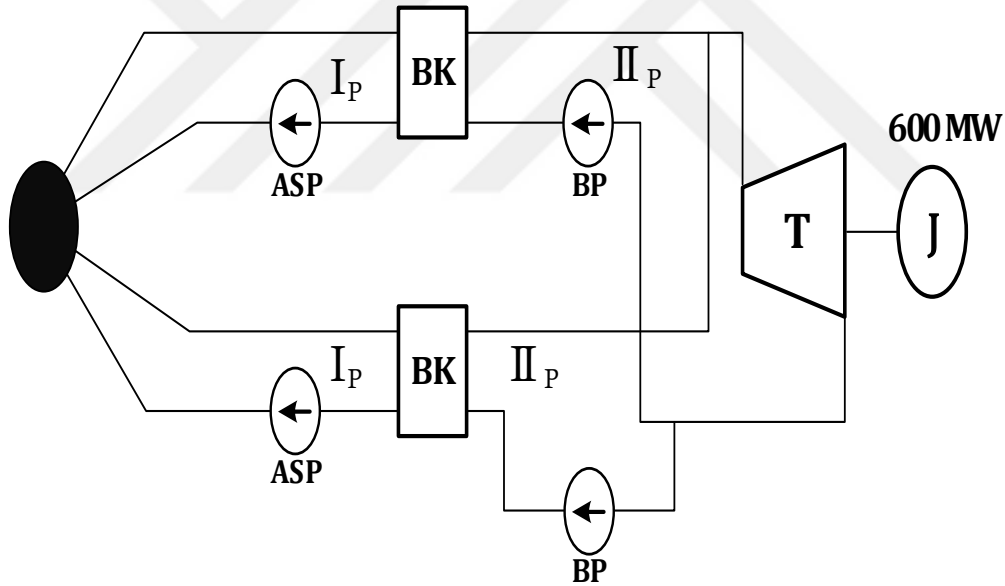
3.3. Geleneksel Termik Santrallerin Yapısal Şemasındaki Bileşenler İçin Önem Ölçülerinin Uygulanması

Termik santraller güvenilirliklerine azami dikkat edilmesi gereken ekipmanlardan oluşur. Bundan dolayı sistem tasarımı, tesis güvenilirliği konularındaki etkilerine göre ekipmanların güvenilir olanları ve uygun maliyetli olanları seçilmelidir. Tasarım aşamasında tesis güvenilirliğini artırmak için geliştirilmesi gereken zayıf noktalar ve bileşenleri tanımlamak için önem ölçümleri kullanılabilir. İşletme aşamasında ise kontrol ve bakım kaynaklarının etkin kullanımı için bileşen önem ölçümleri kullanılabilir. Bu tez çalışmasında konvansiyonel bir termik santralin ana parçalarının yaygın önem ölçümleri yardımı ile hem güvenilirliğe dayalı hem de yaşam ömrüne dayalı bileşen önemleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Bisanovic ve ark. 2016 yılında yayınladıkları “Enerji Santrallerinin Tasarım Şemasında Bileşen Kritikliği Önemi Tedbirlerinin Uygulanması” çalışmasında kullandıkları tasarım aşamasındaki 600MW gücündeki bir konvansiyonel termik santralin yapısal şemasındaki ana bileşenler hem

güvenilirlik açısından hem de yaşam ömrüne bağlı olarak bileşen önem ölçüleri ile incelenmiştir. Bileşenler için şu kabuller söz konusudur;

- i. Güvenilirlik modellemede bileşenlerin onarım süreleri ve arıza olasılıkları bağımsızdır.
- ii. Bileşen durumları ve ilgili olasılıkları bilinir.
- iii. Onarım süreleri ve arıza süreleri üstel dağılımlıdır.
- iv. Bileşenler iki durumludur.

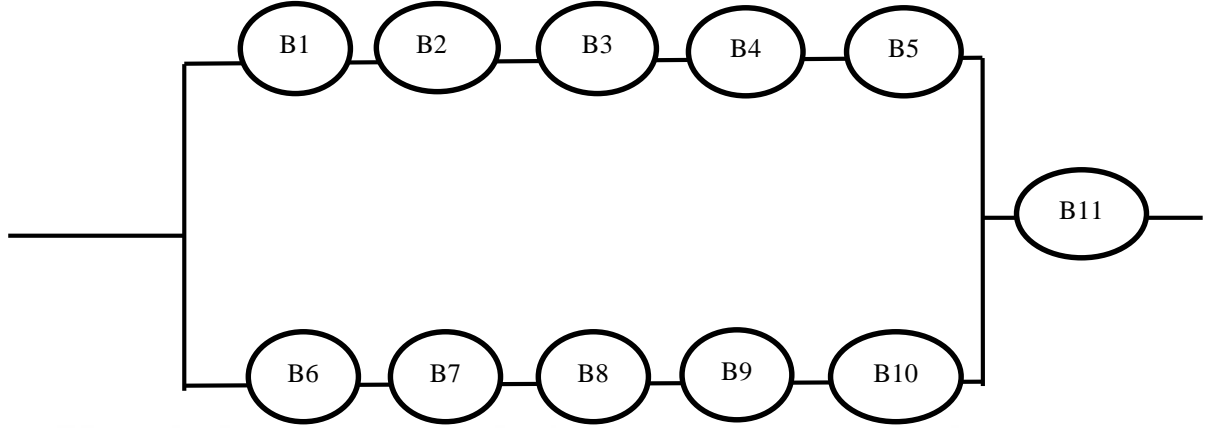
Burada iki durum bileşenin tamamen çalışma ya da tamamen arızalı olması durumlarıdır. 600 MW gücünde bir geleneksel bir termik santralin ana bileşenleri birinci ve ikinci döngülere ait ana borular (I_p , II_p), ana sirkülasyon pompaları (ASP), besleme pompaları (BP), buhar kazanları (BK) ve türbinler (T) şeklindedir. Geleneksel santralin çalışmada kullanılacak olan yapısal şema;



Şekil 3.11. 600 MW Gücünde Konvansiyonel Bir Termik Santralin Çalışma Şeması
(Bisanovic, Samardzic, & Aganovic, 2016, s. 66)

şeklindedir.

Burada bu tasarıma ait güvenilirlik blok diyagramı



Şekil 3.12. 600 MW Konvansiyonel Termik Santralin Yapısal Şemasının Blok Diyagramı

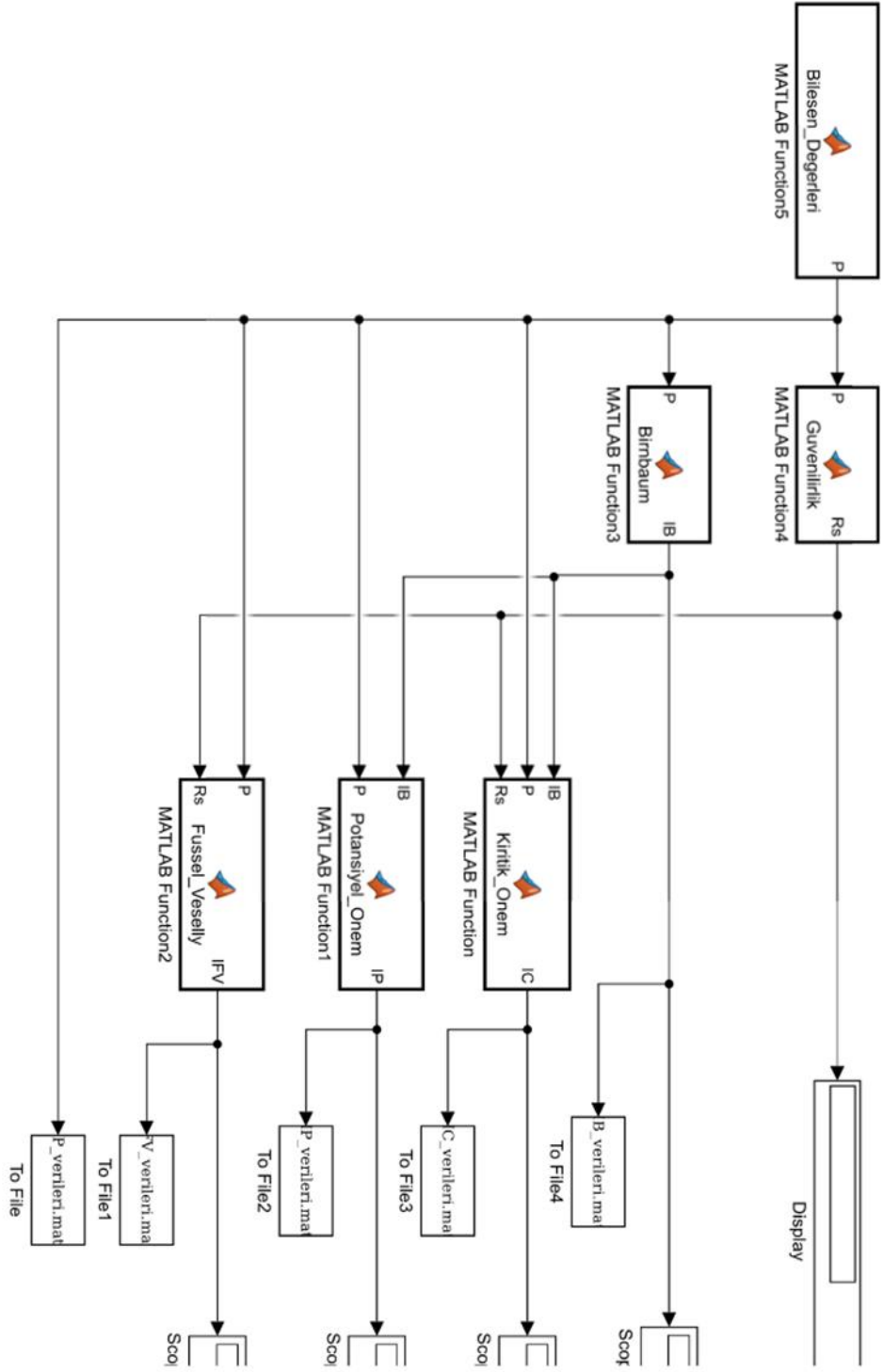
şeklinde verilmiştir.

Blok diyagramında B1,B2,...,B11 ile kodlanan bileşenlerin şematik karşılıkları B1= I_p , B2= ASP, B3=BK, B4= II_p , B5=BP, B6= I_p , B7= ASP, B8=BK B9= II_p , B10=BP , B11=T şeklindedir. Tez çalışması için gerekli hesaplamalar Intel i7 (2.70 GHz, 2901 Mhz 2 çekirdek, 4 Mantıksal) işlemci ve 8 GByte RAM (Random Access Memory) belleğe sahip bir bilgisayar yardımı ile yapılmıştır. Hesaplamalarda Matlab R2017a programından faydalanılmıştır. Simülasyon ise Simulink programı ile yapılmıştır.

3.3.1. Güvenilirliğe Bağlı Önem Ölçüleri Sonuçlar

Blok diyagramı verilen 600 MW gücünde geleneksel bir termik santral bileşenleri için çeşitli önem ölçüleri kullanılarak bileşen önemleri belirlenmiştir. Bu amaç için geliştirilen simülasyonda bileşenler için [0.8,1) aralığında rassal sayı değerleri gönderen bileşen değerleri fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyondan çekilen veriler ile sistem güvenilirliği, Birnbuam, Potansiyel, Kritik ve Fussell-Veselly Önem ölçüleri hesaplanmıştır. Geliştirilen sayaç yardımıyla elde edilen sonuçlarda önem değeri yüksek çıkan bileşenin deneme sonuçlarının kaçında en önemli bileşen olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon ve MATLAB kodları ve yapılan kısaltmalar Ek A'da raporlanmıştır.

Simülasyon şemasının görseli aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.13. Güvenilirliğe Dayalı Önem Hesapları İçin Oluşturulan Simülasyon

Simülasyon 100, 200, 300, 500, 1000, 10000 ve 100000 kez çalıştırılmış ve sonuçlar raporlanmıştır. İlk 100 deneme sonuçlarına ait çıktılar grafikleri ile verilmiş diğer sonuçlar toplu bir tablo halinde ifade edilmiştir.

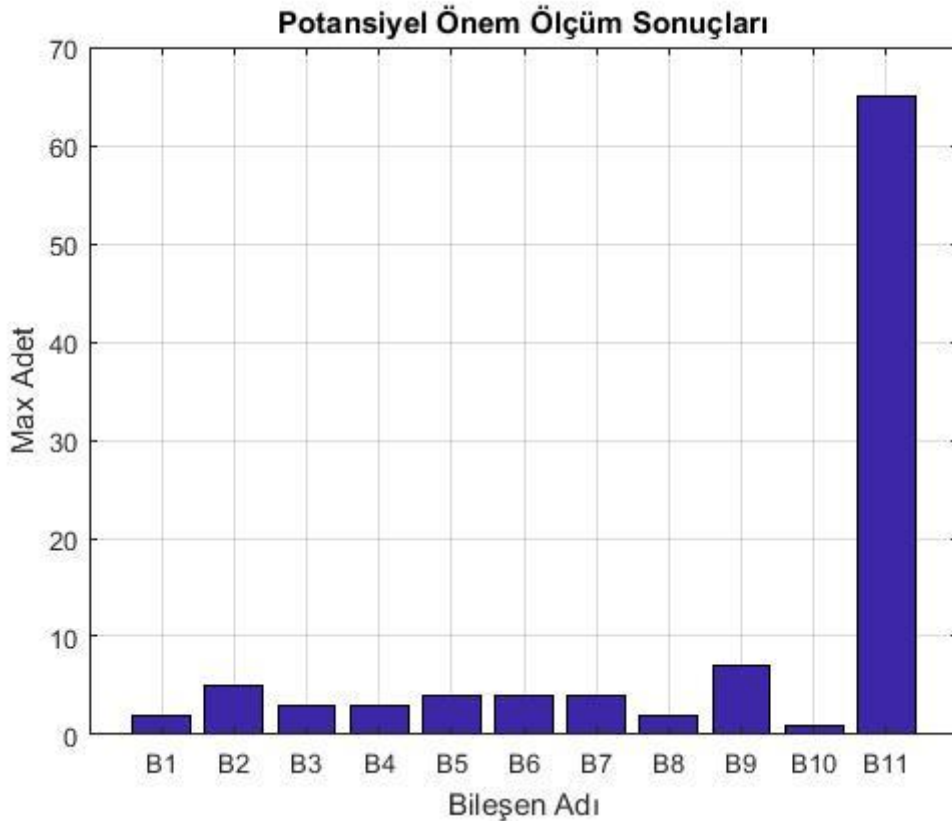
Potansiyel Önem Sonuçları:

Simülasyon 100 deneme sonucunda potansiyel önem ölçümüne göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.10. İlk 100 Deneme İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
2	5	3	3	4	4	4	2	7	1	65

Tablo 3.10'a göre B11 olarak kodlanan türbin bileşeni 100 deneme sonucunda 65 kez en önemli bileşen olarak ölçülmüştür. İkinci olarak B9 ile kodlanan ikinci ana döngü boruları üçüncü olarak ta ana sirkülasyon pompaları en önemli bileşen olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.14. İlk 100 Deneme Sonucunda Potansiyel Önem Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

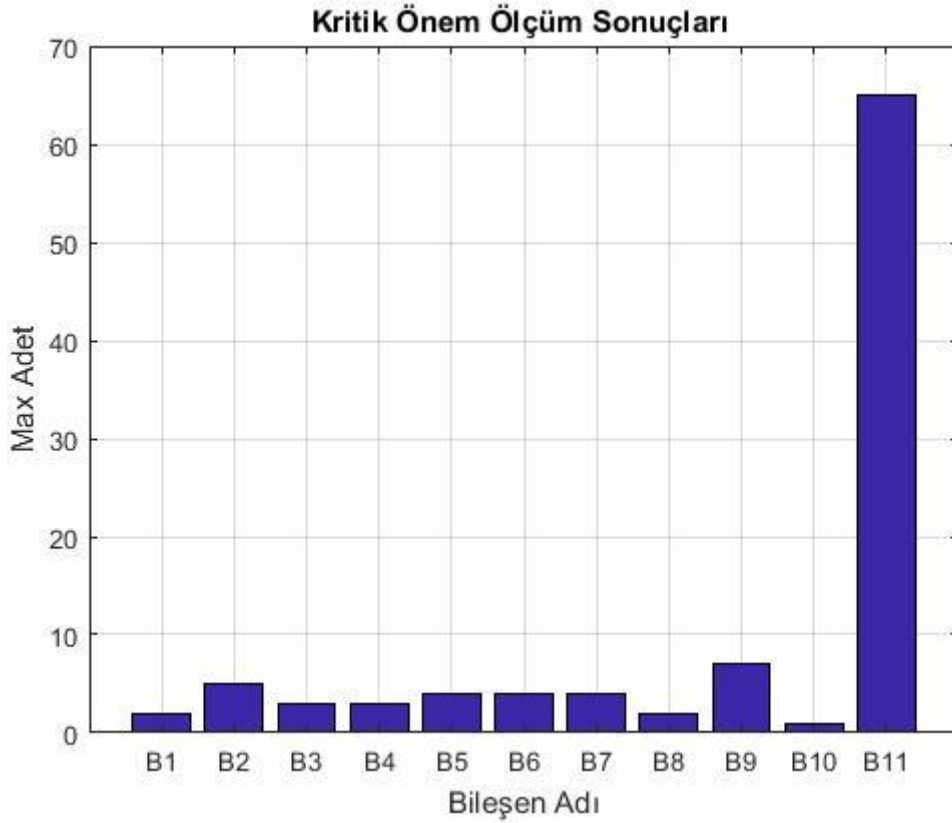
Kritik Önem Sonuçları:

Simülasyon 100 deneme sonucunda kritik önem ölçümüne göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.11. İlk 100 Deneme İçin Kritik Önem Ölçüm Sonuçları

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
2	5	3	3	4	4	4	2	7	1	65

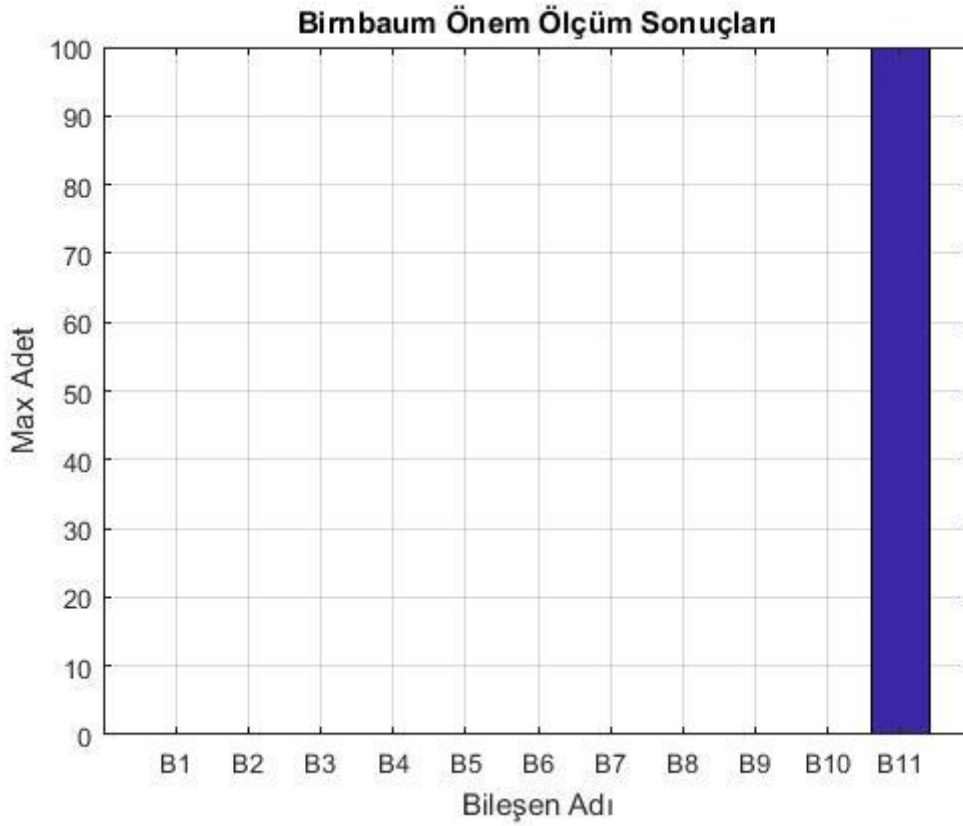
Tablo 3.11'e göre B11 olarak kodlanan türbin bileşeni 100 deneme sonucunda 65 kez en önemli bileşen olarak ölçülmüştür. Türbin bileşenini ikinci ana döngülere ait borular ve ana sirkülasyon pompaları takip etmiştir. Kritik önem ve potansiyel önem sonuçları aynı değerler olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.15. İlk 100 Deneme Sonucunda Kritik Önem Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

Birnbaum Önem Ölçüm Sonuçları:

İlk 100 deneme sonucunda Birnbaum önem ölçümü sonucunda tüm denemelerde türbin bileşeni en önemli bileşen olarak karşımıza çıkmıştır.



Şekil 3.16. İlk 100 Deneme Sonucunda Birbaum Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

Birbaum önem ölçümünün ilk önem ölçümü olması bu sonucu vermesi açısından anlamlıdır. Zaten Birbaum önem ölçümünün hassaslığını artırmak adına diğer önem ölçümleri zaman içerisinde ortaya çıkmıştır.

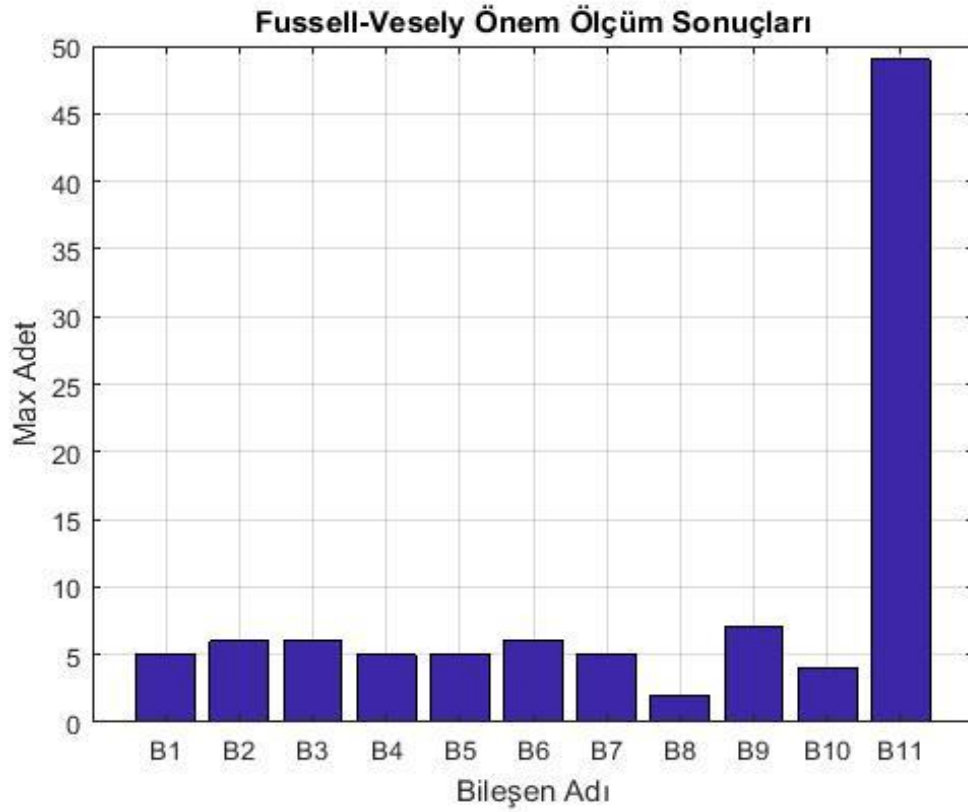
Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları:

Simülasyon 100 deneme sonucunda Fussell-Vesely önem ölçümüne göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.12. İlk 100 Deneme İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
5	6	6	5	5	6	5	2	7	4	49

Tablo 3.12’ye göre türbin bileşeni 100 denemede 49 kez en önemli bileşen olarak belirlenmiştir. İkinci en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular üçüncü en önemli bileşen olarak ta ana sirkülasyon pompaları, buhar kazanı ve birinci ana döngülere ait borular olarak karşımıza çıkmıştır.



Şekil 3.17. İlk 100 Deneme Sonucunda Fussell-Vesely Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

Adımların 100, 200, 300, 500, 1000, 10000, 100000 defa tekrarı ile elde edilen sonuçlar Tablo 3.13 ile özetlenmiştir.

Tablo 3.13. Tüm Denemeler İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı \ Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	2	5	3	3	4	4	4	2	7	1	65
200	8	6	3	4	6	8	11	5	9	5	135
300	10	9	9	8	8	10	12	11	12	6	205
500	16	14	15	14	11	14	19	15	21	12	349
1000	30	23	23	22	28	30	36	33	34	26	715
10000	311	328	268	340	294	306	324	285	306	306	6932
100000	3099	3029	3091	3161	3056	3136	3151	3093	3135	3183	68866

Tablo 3.13'e göre; B1 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %3.3, 500 deneme sonucunda %3.2, 1000 deneme sonucunda %3, 10000 deneme sonucunda %3.1 ve 100000 sonucunda %3.099 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B2 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %3, 300 deneme sonucunda %3, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %2.3, 10000 deneme sonucunda %3.28 ve 100000 sonucunda %3.03 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B3 bileşeni 100 deneme sonucunda %3, 200 deneme sonucunda %1.5, 300 deneme sonucunda %3, 500 deneme sonucunda %3, 1000 deneme sonucunda %2.3, 10000 deneme sonucunda %2.68 ve 100000 sonucunda %3.09 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B4 bileşeni 100 deneme sonucunda %3, 200 deneme sonucunda %2, 300 deneme sonucunda %2.7, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %2.2, 10000 deneme sonucunda %3.4 ve 100000 sonucunda %3.16 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B5 bileşeni 100 deneme sonucunda %4, 200 deneme sonucunda %3, 300 deneme sonucunda %2.7, 500 deneme sonucunda %2.2, 1000 deneme sonucunda %2.8, 10000 deneme sonucunda %2.94 ve 100000 sonucunda %3.056 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B6 bileşeni 100 deneme sonucunda %4, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %3.3, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %3, 10000 deneme sonucunda %3.06 ve 100000 sonucunda %3.14 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B7 bileşeni 100 deneme sonucunda % 4, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %3.8, 1000 deneme sonucunda %3.6, 10000 deneme sonucunda %3.24 ve 100000 sonucunda %3.15 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B8 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %2.5, 300 deneme sonucunda %3.7, 500 deneme sonucunda %3 1000 deneme sonucunda %3.3, 10000 deneme sonucunda %2.85 ve 100000 sonucunda %3.09 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B9 bileşeni 100 deneme sonucunda %7, 200 deneme sonucunda %4.5, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %4.2, 1000 deneme sonucunda %3.4, 10000 deneme sonucunda %3.06 ve 100000 sonucunda %3.135 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B10 bileşeni 100 deneme sonucunda %1, 200 deneme sonucunda %2.5, 300 deneme sonucunda %2, 500 deneme sonucunda %2.4, 1000 deneme sonucunda %2.6, 10000 deneme sonucunda %3.06 ve 100000 sonucunda %3.183 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B11 bileşeni ise 100 deneme sonucunda %65, 200 deneme sonucunda %67.5, 300 deneme sonucunda %68.33, 500 deneme sonucunda %69.8, 1000 deneme sonucunda %71.5, 10000 deneme sonucunda % 69.32 ve 100000 sonucunda %68.87 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.14. Tüm Denemeler İçin Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması

100	B11 > B9 > B2 > B5=B6=B7 > B3=B4 > B1= B8 > B10
200	B11 > B7 > B9 > B1 =B6 > B2=B5> B8= B10 >B4 > B3
300	B11 > B7=B9 > B8 > B1=B6 > B2=B3 > B4=B5 > B10
500	B11 > B9 > B7 > B1 > B3 =B8 > B2= B4= B6 >B10 >B5
1000	B11 > B7 > B9 >B8 > B1=B6 > B5 >B10 > B2=B3 > B4
10000	B11 > B4> B2 > B7 > B1 > B6=B9=B10 > B8 > B3
100000	B11 > B10 > B4 > B7 > B6 > B9 > B1 >B8 > B3 > B5 > B2

Tablo 3.14 ile tüm potansiyel önem ölçüm sonuçları sayısal üstünlük sırasına göre sıralanmış halde verilmiştir. Türbin bileşeninin tüm denemelerde birinci olduğu açıktır. 10000 denemeye kadar ikinci ana döngülere ait borular ile ana sirkülasyon pompaları ikinci ve üçüncü sırayı paylaşmışlardır. 100000 deneme sonucunda ise ikinci olarak besleme pompası üçüncü olarak ikinci döngülere ait borular dördüncü olarak ana sirkülasyon pompaları beşinci olarak birinci ana döngülere ait borular yüzdesel olarak potansiyel önem ölçüm sonuçlarına göre en önemli bileşen olarak hesap edilmişlerdir. Potansiyel önem ölçümü açısından 100000 deneme sonucuna göre en önemli ilk beş bileşen sırasıyla türbin, besleme pompası, ikinci ana döngülere ait borular, ana sirkülasyon pompaları ve birinci ana döngülere ait borular olarak belirlenmiştir.

Tüm denemeler için kritik önem ölçümleri sonucu Tablo 3.15’te özetlenmiştir.

Tablo 3.15. Tüm Denemeler İçin Kritik Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\ Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	2	5	3	3	4	4	4	2	7	1	65
200	8	6	3	4	6	8	11	5	9	5	135
300	10	9	9	8	8	10	12	11	12	6	205
500	16	14	15	14	11	14	19	15	21	12	349
1000	30	23	23	22	28	30	36	33	34	26	715
10000	311	328	268	340	294	306	324	285	306	306	6932
100000	3099	3029	3091	3161	3056	3136	3151	3093	3135	3183	68866

Kritik önem ölçüm sonuçları ile potansiyel önem ölçüm sonuçları aynı ölçüm sonuçlarını vermiştir. Bu durumda potansiyel önem açısından bileşenler için yapılan yorumların hepsi kritik önem ölçüm sonuçları içinde yapılabilir.

Birnbaum önem ölçümüne ait tüm sonuçlar Tablo 3.16’te verilmiştir.

Tablo 3.16. Tüm Denemeler İçin Birnbaum Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000
10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
100000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100000

Tablo 3.16’den anlaşılacağı üzere Birnbaum önem ölçümü ile tüm ölçümler sonucunda en önemli bileşen olarak B11 bileşeni karşımıza çıkmaktadır. Paralel bileşenlere seri bağlanmasından dolayı türbin bileşeni en önemli bileşen olarak karşımıza çıksa da sonuçlar Birnbaum önem ölçümünü bir anlamda yetersizliğini de göstermektedir.

Fussell-Vesely öne ölçüm sonuçları Tablo 3.17 ile verilmiştir.

Tablo 3.17. Tüm Denemeler İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	5	6	6	5	5	6	5	2	7	4	49
200	11	8	7	8	8	11	11	8	12	12	104
300	13	14	17	12	14	13	12	16	16	15	158
500	24	25	26	19	18	25	18	25	27	24	269
1000	42	41	41	36	38	51	40	50	50	47	564
10000	491	482	444	491	424	461	455	438	449	469	5396
100000	4677	4585	4671	4690	4594	4640	4624	4570	4632	4759	53558

Tablo 3.17'ye göre B1 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %4.3, 500 deneme sonucunda %4.8, 1000 deneme sonucunda %4.2, 10000 deneme sonucunda %4.91 ve 100000 sonucunda %4.68 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B2 bileşeni 100 deneme sonucunda %6, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %4.7, 500 deneme sonucunda %5, 1000 deneme sonucunda %4.1, 10000 deneme sonucunda %4.82 ve 100000 sonucunda %4.585 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B3 bileşeni 100 deneme sonucunda %6, 200 deneme sonucunda %3.5, 300 deneme sonucunda %5.7, 500 deneme sonucunda %5.2, 1000 deneme sonucunda %4.1, 10000 deneme sonucunda %4.44 ve 100000 sonucunda %4.67 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B4 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %3.8, 1000 deneme sonucunda %3.6, 10000 deneme sonucunda %4.91 ve 100000 sonucunda %4.69 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B5 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %4.7, 500 deneme sonucunda %3.6, 1000 deneme sonucunda %3.8, 10000 deneme sonucunda %4.24 ve 100000 sonucunda %4.594 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B6 bileşeni 100 deneme sonucunda %6, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %4.3, 500 deneme sonucunda %5, 1000 deneme sonucunda %5.1,

10000 deneme sonucunda %4.61 ve 100000 sonucunda %4.64 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B7 bileşeni 100 deneme sonucunda % 5, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %3.6, 1000 deneme sonucunda %4, 10000 deneme sonucunda %4.55 ve 100000 sonucunda % 4.62 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B8 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %5.3, 500 deneme sonucunda %5 1000 deneme sonucunda %5, 10000 deneme sonucunda %4.38 ve 100000 sonucunda % 4.57 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B9 bileşeni 100 deneme sonucunda %7, 200 deneme sonucunda %6, 300 deneme sonucunda %5.3, 500 deneme sonucunda %5.4, 1000 deneme sonucunda %5, 10000 deneme sonucunda %4.49 ve 100000 sonucunda %4.63 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B10 bileşeni 100 deneme sonucunda %4, 200 deneme sonucunda %6, 300 deneme sonucunda %5, 500 deneme sonucunda %4.8, 1000 deneme sonucunda %4.7, 10000 deneme sonucunda %4.69 ve 100000 sonucunda %4.74 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B11 bileşeni ise 100 deneme sonucunda %49, 200 deneme sonucunda %52, 300 deneme sonucunda %52.7, 500 deneme sonucunda %53.8, 1000 deneme sonucunda %56.4, 10000 deneme sonucunda %53.96 ve 100000 sonucunda %53.56 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

Bileşen önem ölçümleri için elde edilen ölçüm sonuçları dikkate alındığında Potansiyel önem ve Kritik önem sonuçları aynı çıkmıştır. Birnbaum önemi için ise tüm ölçümlerde sadece en önemli bileşen olarak B11 bileşeni (türbin) belirlenmiştir. Fussell-Vesely önem ölçümünde de türbin en önemli bileşen olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.18. Tüm Denemeler İçin Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması

100	B11 > B9 > B2=B3 = B6 > B1= B4=B5=B7> B10 > B8
200	B11 > B9 = B10 > B1 =B6= B7 > B2=B4=B5=B8 >B3
300	B11 > B3 > B8=B9 >B10 > B2= B5 > B1=B6 > B4=B7
500	B11 > B9> B3 > B2=B6 =B8 > B1= B10 > B4>B5 = B7
1000	B11 > B6 > B8=B9 > B10 > B1 > B2=B3 > B7 > B5 > B4
10000	B11 > B1=B4 > B2 > B10 > B6 > B7 > B9 > B3 > B8 >B5
100000	B11 > B10 > B4 > B1 > B3 > B6 > B9 > B7 > B5 > B2 > B8

Tablo 3.18 ile tüm Fussell-Vesely önem ölçüm sonuçları sayısal üstünlük sırasına göre sıralanmış halde verilmiştir. Türbin bileşenin tüm denemelerde birinci olduğu açıktır. Diğer bileşenler açısından simülasyon denemeleri sonucunda ikinci ve üçüncü en önemli bileşen olma noktasında bir odaklanma söz konusu olmamıştır. 100000 deneme sonucunda Fussell-Vesely önem ölçüm sonuçlarına göre ilk beş en önemli bileşen sırasıyla türbin, besleme pompası, ikinci ana döngülere ait borular, birinci ana döngülere ait borular ve buhar kazanı şeklindedir.

Her bir deneme sonucunda türbin bileşenin önem ölçümlerine göre yapılan deneme sayılarında en önemli bileşen olarak çıkma sayıları yüzdesel olarak Tablo 3.19 da ifade edilmiştir.

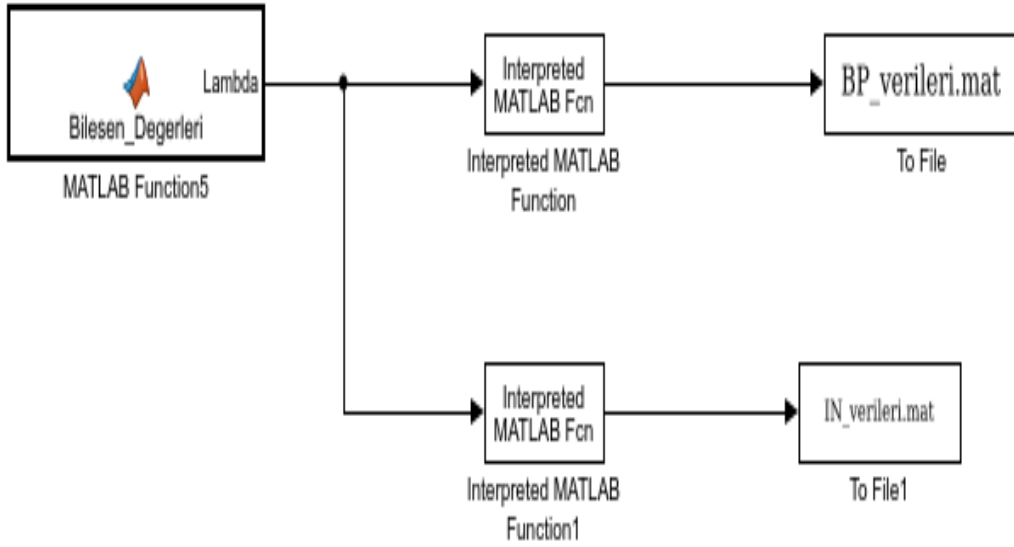
Tablo 3.19. Türbin Bileşenin Güvenilirliğe Dayalı Önem Ölçümlerine Göre En Önemli Bileşen Olma Yüzdeleri

Türbin	100	200	300	500	1000	10000	100000
Birnbaum	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
Potansiyel/Kritik	%65	%67.5	%68.33	%69.8	%71.5	%69.32	%68.87
Fussell-Vesely	%49	%52	%52.67	%53.8	%56.4	%53.96	%53.56

Yapılan tüm deneme sonuçlarında en önemli bileşen olarak tespit edilen türbin bileşeni için yüzdesel bir kıyaslama yapıldığında tüm ölçüm denemeleri için en düşük yüzde ile ölçümleri Fussell-Vesely önem ölçümü ile yaptığı gözlenmiştir. En fazla ise Birnbaum önem ölçümü ile hesap edilmiştir(%100). Bu durum önem ölçümleri açısından Fussell-Vesely önem ölçümünün daha hassas sonuçlar verdiğini desteklemektedir.

3.3.2. Yaşam Dağılımına Dayalı Bileşen Önem Ölçüm Sonuçları

Verilen sistemin ömür dağılımlarına bağlı olarak zaman bağımsız Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçümlerinin hesaplanması için MATLAB R2017a programında simülasyon hazırlanmıştır. Burada bileşenlerin yaşam dağılımları üstel kabul edilmiştir. Ayrıca bileşenlerin ömür dağılımlarında λ parametresi için bileşenlerin maksimum yaşam sürelerini sağlayacak en yüksek güvenilirlik değeri ve en düşük güvenilirlik değeri için hesap edilen değerler arasında rassal değerler alması sağlanmıştır. Termik santrallerin çalışma koşul ve kapasitelerine göre bileşenlerin ömürleri değişmekle beraber literatürde ortalama ömürleri hakkında bilgiler bulunmaktadır. Uluslararası düzeyde mülk kaybı önleme ve fayda analizi konusunda danışmanlık yapan Global Asset Protection Services LLC firmasının hazırladığı rapora göre; buhar türbinleri 30 yıl, ısı değeri 900 ° F büyük kazanlar için 30 yıl, basınçlı kaplar için 20 yıl, ısı değeri 900 ° F büyük borular için 20 yıl bir ömür tahmini yapılmaktadır. (A Publication of Global Asset Protection Services LLC, 2018, s. 2) Bu bilgi ışığında ana çalışmada kullandığımız ekipmanların yaklaşık 20 yıl çalışması öngörülmüştür. Tüm bileşenlerin $p=0.800$ ile $p=0,999$ güvenilirlik değerleri ve 175000 saat çalışması durumunda λ parametresi değerleri hesaplanmıştır. λ parametresinin hesaplanan değerler arasında rassal değerler alması ile oluşacak ömür dağılımlarına bağlı olarak zaman bağımsız Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçümleri hesaplanmıştır. Deneme sonucu hangi bileşenin kaç kez en iyi performans gösterdiği raporlanmıştır. Bu amaçla tasarlanan simülasyon Ek B de verilmiştir. Oluşturulan simülasyon görseli Şekil 3.18 de verilmiştir.



Şekil 3.18. Yaşam Dağılımına Bağlı Önem Ölçümleri İçin Oluşturulan Simülasyon

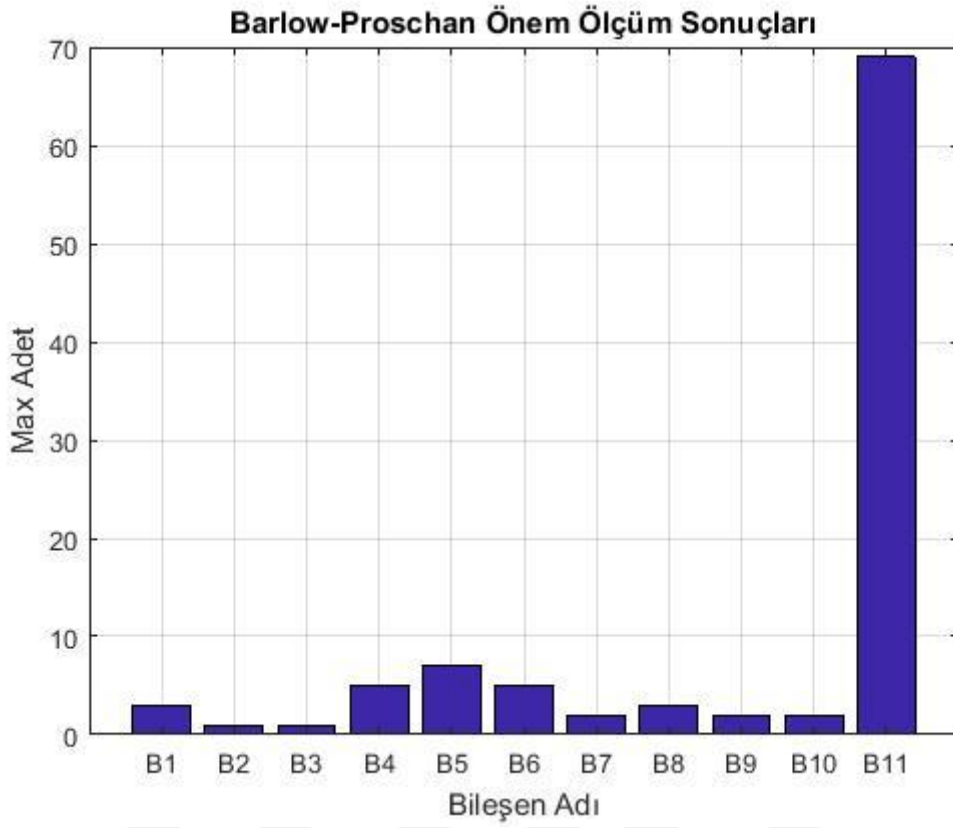
Barlow-Proschan Önem Ölçümü Sonuçları :

Simülasyonun 100 kez çalışması sonucu Barlow- Proschan Önem ölçümü için elde edilen sonuçlar Tablo 3.20 de verilmiştir.

Tablo 3.20. İlk 100 Deneme İçin Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	3	1	1	5	7	5	2	3	2	2	69

Tablo 3.20'ye göre B11 ile kodlanan türbin bileşeni 69 kez en önemli bileşen olarak hesaplanmıştır. B5 bileşeni 7 kez, B4 ve B6 bileşenleri 5 er kez, B1 ve B3 bileşenleri 3 er kez, B7,B9 ve B10 bileşenleri 2 şer kez, B2 ve B3 bileşenleri de 1 er kez en önemli bileşen olarak ölçümlenmişlerdir.



Şekil 3.19. İlk 100 Deneme Sonucunda Barlow-Proschan Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

Barlow-Proschan önemi için yapılan diğer deneme sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.21. Tüm Denemeler İçin Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı \ Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	3	1	1	5	7	5	2	3	2	2	69
200	6	6	1	8	11	8	5	6	5	4	140
300	6	9	7	11	12	11	7	9	11	9	208
500	14	14	15	15	14	19	14	17	22	18	338
1000	34	34	34	32	29	29	30	41	42	35	660
10000	309	323	337	337	304	295	300	318	338	342	6797
50000	1525	1572	1616	1573	1551	1543	1602	1629	1536	1624	34229

Tablo 3.21'e göre B1 bileşeni 100 deneme sonucunda % 3, 200 deneme sonucunda %3, 300 deneme sonucunda %2, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme

sonucunda %3.4, 10000 deneme sonucunda %3.09 ve 50000 sonucunda %3.05 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B2 bileşeni 100 deneme sonucunda %1, 200 deneme sonucunda %3, 300 deneme sonucunda %3, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %3.4, 10000 deneme sonucunda %3.23 ve 50000 sonucunda %3.14 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B3 bileşeni 100 deneme sonucunda %1, 200 deneme sonucunda %0.5, 300 deneme sonucunda %2.33, 500 deneme sonucunda %3, 1000 deneme sonucunda %3.4, 10000 deneme sonucunda %3.37 ve 50000 sonucunda %3.23 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B4 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %3.67, 500 deneme sonucunda %3, 1000 deneme sonucunda %3.2, 10000 deneme sonucunda %3.37 ve 50000 sonucunda %3.14 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B5 bileşeni 100 deneme sonucunda %7, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %2.9, 10000 deneme sonucunda %3.04 ve 50000 sonucunda %3.10 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B6 bileşeni 100 deneme sonucunda %5, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %3.67, 500 deneme sonucunda %3.8, 1000 deneme sonucunda %2.9, 10000 deneme sonucunda %2.95 ve 50000 sonucunda %3.11 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B7 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %2.5, 300 deneme sonucunda %2.33, 500 deneme sonucunda %2.8, 1000 deneme sonucunda %3, 10000 deneme sonucunda %3 ve 50000 sonucunda %3.20 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B8 bileşeni 100 deneme sonucunda %3, 200 deneme sonucunda %3, 300 deneme sonucunda %3, 500 deneme sonucunda %3.4, 1000 deneme sonucunda %4.1, 10000 deneme sonucunda %3.18 ve 50000 sonucunda %3.26 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B9 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %2.5, 300 deneme sonucunda %3.67, 500 deneme sonucunda %4.4, 1000 deneme sonucunda

%4.2, 10000 deneme sonucunda %3.38 ve 50000 sonucunda %3.07 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B10 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %2, 300 deneme sonucunda %3, 500 deneme sonucunda %3.6, 1000 deneme sonucunda %3.5, 10000 deneme sonucunda %3.42 ve 50000 sonucunda %3.25 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B11 bileşeni 100 deneme sonucunda %69, 200 deneme sonucunda %70, 300 deneme sonucunda %69.33, 500 deneme sonucunda %67.6, 1000 deneme sonucunda %66, 10000 deneme sonucunda %67.97 ve 50000 sonucunda %68.46 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.22. Tüm Denemeler Sonucunda Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması

100	B11 > B5 > B4 = B6 > B1 = B8 > B7 = B9 = B10 > B2 = B3
200	B11 > B5 > B4 = B6 > B1 = B2 = B8 > B7 > B9 > B10 > B3
300	B11 > B5 > B4 = B6 = B9 > B2 = B8 = B10 > B3 = B7 > B1
500	B11 > B9 > B6 > B10 > B8 > B3 = B4 > B1 = B2 = B5 = B7
1000	B11 > B9 > B8 > B10 > B1 = B2 = B3 > B4 > B7 > B5 = B6
10000	B11 > B10 > B9 > B3 = B4 > B2 > B8 > B1 > B5 > B7 > B6
50000	B11 > B8 > B10 > B3 > B7 > B4 > B2 > B5 > B6 > B9 > B1

Tablo 3.22 ile tüm Barlow-Proschan önem ölçüm sonuçları sayısal üstünlük sırasına göre sıralanmış halde verilmiştir. Türbin bileşeninin tüm denemelerde birinci olduğu açıktır. İlk 300 deneme sonucunda ikinci en önemli bileşen besleme pompası üçüncü en önemli bileşen ise ikinci ana döngülere ait borular ve birinci ana döngülere ait borular olarak belirlenmiştir. 500 deneme için ikinci en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular üçüncü olarak birinci ana döngülere ait borular olarak gerçekleşmiştir. 1000 deneme için yine ikinci en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular üçüncü olarak ta buhar kazanı olarak tespit edilmiştir. 10000 deneme için ise ikinci en önemli bileşen besleme pompası olurken üçüncü en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular olarak gerçekleşmiştir. 50000 simülasyon için Barlow-Proschan Önem ölçümüne göre en önemli ilk beş bileşen türbin, buhar kazanı, besleme pompası, ana sirkülasyon pompası ve ikinci ana döngülere ait borular şeklinde sıralanabilir.

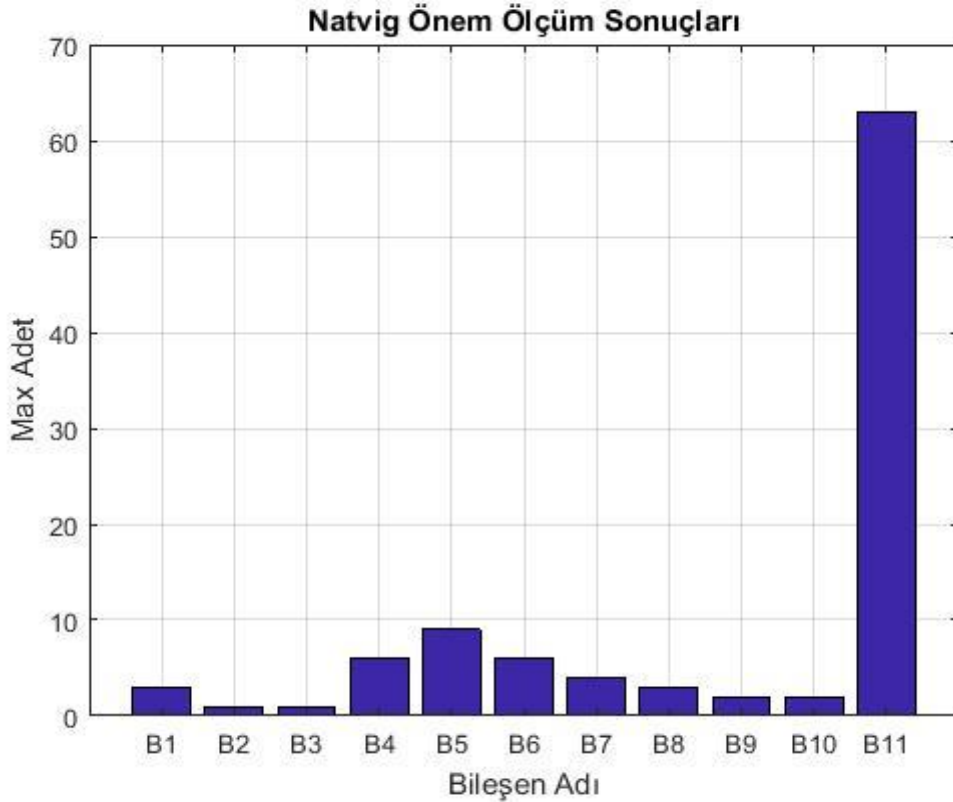
Natvig Önem Ölçümü Sonuçları:

Simülasyonun 100 kez çalışması sonucu Natvig Önem ölçümü için elde edilen sonuçlar Tablo 3.23 de verilmiştir.

Tablo 3.23. İlk 100 Deneme İçin Natvig Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	3	1	1	6	9	6	4	3	2	2	63

B11 ile kodlanan türbin bileşeni 63 kez en önemli bileşen olarak hesaplanmıştır. B5 bileşeni 9 kez, B4 ve B6 bileşenleri 6 şar kez, B7 bileşeni 4 kez, B1 ve B8 bileşenleri 3 er kez, B9 ve B10 bileşenleri 2 şer kez, B2 ve B3 bileşenleri de 1 er kez en önemli bileşen olarak ölçümlenmişlerdir.



Şekil 3.20. İlk 100 Deneme Sonucunda Natvig Önem Ölçümü Açısından En İyi Bileşen Olma Sayısı

Natvig önem ölçümü için diğer deneme sonuçları Tablo 3.24 de verilmiştir.

Tablo 3.24. Tüm Denemeler İçin Natvig Önem Ölçüm Sonuçları

Deneme Sayısı\Bileşen	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
100	3	1	1	6	9	6	4	3	2	2	63
200	7	7	3	11	13	11	7	8	9	5	119
300	7	11	8	17	14	14	10	12	17	13	177
500	15	19	18	25	17	27	20	25	30	25	279
1000	41	44	41	52	34	46	43	50	57	50	542
10000	415	439	452	471	399	428	411	420	470	443	5652
50000	214 6	213 5	217 5	211 7	210 1	213 4	213 8	221 7	212 4	220 1	2851 2

Tablo 3.24'e göre B1 bileşeni 100 deneme sonucunda %3, 200 deneme sonucunda %3.5, 300 deneme sonucunda %2.33, 500 deneme sonucunda %3, 1000 deneme sonucunda %4.1, 10000 deneme sonucunda %4.15 ve 50000 sonucunda %4.29 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B2 bileşeni 100 deneme sonucunda %1, 200 deneme sonucunda %3.5, 300 deneme sonucunda %3.67, 500 deneme sonucunda %3.8, 1000 deneme sonucunda %4.4, 10000 deneme sonucunda %4.39 ve 50000 sonucunda % 4.27 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B3 bileşeni 100 deneme sonucunda %1, 200 deneme sonucunda %1.5, 300 deneme sonucunda %2.67, 500 deneme sonucunda %3.6, 1000 deneme sonucunda %4.1, 10000 deneme sonucunda %4.52 ve 50000 sonucunda %4.35 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B4 bileşeni 100 deneme sonucunda %6, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda %5.67, 500 deneme sonucunda %5, 1000 deneme sonucunda %5.2, 10000 deneme sonucunda %4.71 ve 50000 sonucunda %4.23 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B5 bileşeni 100 deneme sonucunda % 9, 200 deneme sonucunda %6.5, 300 deneme sonucunda %4.67, 500 deneme sonucunda %3.4, 1000 deneme sonucunda %3.4, 10000 deneme sonucunda %3.99 ve 50000 sonucunda %4.20 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B6 bileşeni 100 deneme sonucunda %6, 200 deneme sonucunda %5.5, 300 deneme sonucunda % 4.67, 500 deneme sonucunda % 5.4, 1000 deneme sonucunda

%4.6, 10000 deneme sonucunda % 4.28 ve 50000 sonucunda %4.27 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B7 bileşeni 100 deneme sonucunda %4, 200 deneme sonucunda %3.5, 300 deneme sonucunda %3.33, 500 deneme sonucunda %4, 1000 deneme sonucunda %4.3, 10000 deneme sonucunda %4.11 ve 50000 sonucunda %4.28 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B8 bileşeni 100 deneme sonucunda %3, 200 deneme sonucunda %4, 300 deneme sonucunda %4, 500 deneme sonucunda %5, 1000 deneme sonucunda %5, 10000 deneme sonucunda %4.20 ve 50000 sonucunda %4.43 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B9 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %4.5, 300 deneme sonucunda %4.67, 500 deneme sonucunda %6, 1000 deneme sonucunda %5.7, 10000 deneme sonucunda %4.70 ve 50000 sonucunda %4.24 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B10 bileşeni 100 deneme sonucunda %2, 200 deneme sonucunda %2.5, 300 deneme sonucunda %4.33, 500 deneme sonucunda %5, 1000 deneme sonucunda %5, 10000 deneme sonucunda %4.43 ve 50000 sonucunda %4.40 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

B11 bileşeni 100 deneme sonucunda %63, 200 deneme sonucunda %59.5, 300 deneme sonucunda %59, 500 deneme sonucunda %55.8, 1000 deneme sonucunda %54.2, 10000 deneme sonucunda %56.52 ve 50000 sonucunda %57.02 en önemli bileşen olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.25 Tüm Denemeler Sonucunda Natvig Önem Ölçüm Sonuçları Sıralaması

100	B11 > B5 > B4 =B6 > B7 > B1 =B8 > B9 = B10 > B2 =B3
200	B11 > B5 > B4 = B6 > B9 > B8 > B1 = B2 = B7 > B10 > B3
300	B11 > B4 = B9 > B5 = B6 > B10 > B8 > B2 > B7 > B3 > B1
500	B11 > B9 > B6 > B4 = B8 = B10 > B7 > B2 > B3 > B5 > B1
1000	B11 > B9 > B4 > B8 = B10 > B6 > B2 > B7 > B1 = B3 > B5
10000	B11 > B4 > B9 > B3 > B10 > B2 > B6 > B8 > B1 > B7 > B5
50000	B11 > B8 > B10 > B3 > B1 > B7 > B2 > B6 > B9 > B4 > B5

Tablo 3.25 ile tüm Natvig önem ölçüm sonuçları sayısal üstünlük sırasına göre sıralanmış halde verilmiştir. Türbin bileşeninin tüm denemelerde birinci olduğu açıktır. İlk 200 denemede ikinci en önemli bileşen besleme pompası üçüncü olarak ikinci ana döngülere ait borular olarak gerçekleşmiştir. 300 deneme ile 10000 deneme arasında ikinci en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular olarak öne çıkmıştır. 50000 deneme için ise sistemde Natvig önem ölçümü açısından en önemli ilk beş bileşen türbin, buhar kazanı besleme pompası, diğer buhar kazanı, birinci ana döngülere ait borular şeklinde gerçekleşmiştir.



SONUÇ

Bu çalışmada tasarım aşamasındaki 600 MW gücünde konvansiyonel bir termik santralin yapısal şemasındaki bileşenlerin yaygın olarak kullanılan bileşen önem ölçümleri ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmanın birinci kısmında güvenilirlik ve sistem tasarımı kavramları tanıtılmıştır. Böylece bileşen önem ölçümlerinin ilişkili olduğu temel tanım ve kavramlar tanıtılmıştır. İkinci bölüm de genel kabul gören ve çalışma açısından kullanışlı olan bileşen önem ölçümleri tanıtılmış kullanılacak formüllerin matematiksel temelleri verilmiştir. Üçüncü bölümün ilk kısmında dünyada ve ülkemizde enerjinin genel görünümünden bahsedilerek çalışmanın öneminden bahsedilmeye çalışılmıştır. Böylece ülkemiz açısından enerji kaynağı olarak hala birincil kaynak olan termik kaynaklar için 600 MW gücünde bir geleneksel termik santral yapısında bileşen önemlilikleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bileşen önem ölçümleri güvenilirliğe bağlı ve bileşenlerin ömür dağılımlarına bağlı olarak ele alınmıştır. Sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirliğe bağlı olarak 100, 200, 300, 500, 1000, 10000, 100000 örneklem için nasıl sonuçlar verdiği ve yaşam dağılımına bağlı olarak ta 100, 200, 300, 500, 1000, 10000, 50000 örneklem için nasıl sonuçlar verdiği incelenmiştir. Güvenilirliğe dayalı önem ölçümleri hesaplanırken Birnbaum, Potansiyel, Kritik ve Fussell-Vesely önem ölçümleri ile bileşenler değerlendirilmiştir. Oluşturulan simülasyon yardımı ile $[0.8,1)$ aralığında rassal olarak seçilen güvenilirlik değerleri karşısında bileşenlerin dört önem ölçümü için hangi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Yaşam dağılımına dayalı inceleme yapılırken bileşenlerin değişen hata oranları karşısında zaman bağımsız Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçüm sonuçları verilmiştir.

Güvenilirliğe dayalı hesaplanan önem ölçümleri sonucunda; Birnbaum önem ölçümü ile yapılan hesaplamalarda türbin bileşeni tüm denemeler sonunda en önemli bileşen olarak hesaplanmıştır. Bu durum öncelikle türbin bileşeninin sistemde diğer bileşenler ile seri bağlanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber bu durum Birnbaum önem ölçümünün karakterinden de kaynaklanmaktadır. Birnbaum önem ölçümü bileşenin kendi güvenilirlik değerini hesaplama esnasında kullanmamaktadır.

Potansiyel ve Kritik önem ölçümleri aynı sonuçları vermiştir. Potansiyel ve Kritik önem ölçüm sonuçlarına göre B11(türbin) bileşeni 100 deneme sonucunda 65 kez, 200 deneme sonucunda 135, 300 deneme sonucunda 205, 500 deneme sonucunda 349, 1000

deneme sonucunda 715, 10000 deneme sonucunda 6932, 100000 deneme sonucunda ise 68866 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B1(birinci ana döngülere ait borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 10, 500 deneme sonucunda 16, 1000 deneme sonucunda 30, 10000 deneme sonucunda 311, 100000 deneme sonucunda ise 3099 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B2 (ana sirkülasyon pompaları) 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 6, 300 deneme sonucunda 9, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 23, 10000 deneme sonucunda 328, 100000 deneme sonucunda ise 3029 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B3(buhar kazanı) 100 deneme sonucunda 3 kez, 200 deneme sonucunda 3, 300 deneme sonucunda 9, 500 deneme sonucunda 15, 1000 deneme sonucunda 23, 10000 deneme sonucunda 268, 100000 deneme sonucunda ise 3091 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B4 (ikinci ana döngülere ait pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 3 kez, 200 deneme sonucunda 4, 300 deneme sonucunda 8, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 22, 10000 deneme sonucunda 340, 100000 deneme sonucunda ise 3161 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B5 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 4 kez, 200 deneme sonucunda 6, 300 deneme sonucunda 8, 500 deneme sonucunda 11, 1000 deneme sonucunda 28, 10000 deneme sonucunda 294, 100000 deneme sonucunda ise 3056 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B6 (birinci döngülere ait ana pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 4 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 10, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 30, 10000 deneme sonucunda 306, 100000 deneme sonucunda ise 3136 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B7 (ana sirkülasyon pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 4 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 19, 1000 deneme sonucunda 36, 10000 deneme sonucunda 324, 100000 deneme sonucunda ise 3151 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B8 (buhar kazanı) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 5, 300 deneme sonucunda 11, 500 deneme sonucunda 15, 1000 deneme sonucunda 33, 10000 deneme sonucunda 285, 100000 deneme sonucunda ise 3093 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B9 (ikinci döngülere ait ana borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 7 kez, 200 deneme sonucunda 9, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 21, 1000 deneme sonucunda 34, 10000 deneme sonucunda 306, 100000 deneme sonucunda

ise 3135 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B10 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 1 kez, 200 deneme sonucunda 5, 300 deneme sonucunda 6, 500 deneme sonucunda 12, 1000 deneme sonucunda 26, 10000 deneme sonucunda 306, 100000 deneme sonucunda ise 3183 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. Bu yönü ile türbin bileşeni sistem açısından mevcut tasarım için en kritik bileşendir. Potansiyel önem ölçümü açısından güvenilirliği bir olan bir bileşen ile yer değiştirdiğinde sistem güvenilirliğinde en fazla artışa neden olacak ilk beş bileşen 100000 deneme sonucuna göre sırasıyla türbin, besleme pompası, ikinci ana döngülere ait borular, ana sirkülasyon pompaları ve birinci ana döngülere ait borular olarak belirlenebilir. Aynı zamanda sistem açısından en kritik beş bileşenin sıralaması da bu şekildedir.

Fussell- Vesely ölçüm sonuçlarına göre B11(türbin) bileşeni 100 deneme sonucunda 49 kez, 200 deneme sonucunda 104, 300 deneme sonucunda 158, 500 deneme sonucunda 269, 1000 deneme sonucunda 564, 10000 deneme sonucunda 5396, 100000 deneme sonucunda ise 53558 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B1 (birinci ana döngülere ait borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 13, 500 deneme sonucunda 24, 1000 deneme sonucunda 42, 10000 deneme sonucunda 491, 100000 deneme sonucunda ise 4677 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B2 (ana sirkülasyon pompaları) 100 deneme sonucunda 6 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 14, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 41, 10000 deneme sonucunda 482, 100000 deneme sonucunda ise 4585 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B3(buhar kazanı) 100 deneme sonucunda 6 kez, 200 deneme sonucunda 7, 300 deneme sonucunda 17, 500 deneme sonucunda 26, 1000 deneme sonucunda 41, 10000 deneme sonucunda 444, 100000 deneme sonucunda ise 4671 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B4 (ikinci ana döngülere ait pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 19, 1000 deneme sonucunda 36, 10000 deneme sonucunda 491, 100000 deneme sonucunda ise 4690 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B5 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 14, 500 deneme sonucunda 18, 1000 deneme sonucunda 38, 10000 deneme sonucunda 424, 100000 deneme sonucunda ise 4594 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B6

(birinci döngülere ait ana pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 6 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 13, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 51, 10000 deneme sonucunda 461, 100000 deneme sonucunda ise 4640 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B7 (ana sirkülasyon pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 18, 1000 deneme sonucunda 40, 10000 deneme sonucunda 455, 100000 deneme sonucunda ise 4624 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B8 (buhar kazanı) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 16, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 50, 10000 deneme sonucunda 438, 100000 deneme sonucunda ise 4570 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B9 (ikinci döngülere ait ana borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 7 kez, 200 deneme sonucunda 12, 300 deneme sonucunda 16, 500 deneme sonucunda 27, 1000 deneme sonucunda 50, 10000 deneme sonucunda 449, 100000 deneme sonucunda ise 4632 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B10 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 4 kez, 200 deneme sonucunda 12, 300 deneme sonucunda 15, 500 deneme sonucunda 24, 1000 deneme sonucunda 47, 10000 deneme sonucunda 469, 100000 deneme sonucunda ise 4759 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. Bu yönü ile türbin bileşeni sistem açısından mevcut tasarım için en kritik bileşendir. Bir bileşenin sistem başarısızlığı açısından kritik bileşen olmadan sistem arızasına katkı sunması durumu ile en önemli bileşen olması sıralaması 100000 deneme sonucunda türbin, besleme pompası, ikinci ana döngülere ait borular, birinci ana döngülere ait borular ve buhar kazanı şeklinde verilebilir.

Türbin bileşeni sistem için en kritik bileşendir. Sistem için güvenilirliği bir olan bileşen ile yer değiştirdiğinde sistem güvenilirliğindeki artışa göre en önemli bileşen türbindir. Türbin bileşeni sistem başarısızlığı için kritik bileşen olmadan da sistem başarısızlığına neden olması bakımından en önemli bileşen olarak belirlenmiştir.

Çalışmada ikinci olarak bileşenlerin yaşam dağılımlarına bağlı olarak bileşen önem ölçüleri için sistem açısından en önemli bileşen tespit edilmeye çalışılmıştır. Bileşen önem ölçüsü olarak zaman bağımsız Barlow-Prochan ve zaman bağımsız Natvig önem ölçümleri kullanılmıştır. Yaşam dağılımında hata oranı parametresinin 100, 200, 300, 500, 1000, 10000, 50000 örneklem için rassal değerler alması durumunda bileşen önemleri elde edilmiştir. Hata oranı için; bileşenlerin 175000 saat

çalışmaları ve en düşük $p=0,800$ ve en yüksek $p=0,999$ değerleri alması durumunda oluşacak sayısal değerler arasından seçim yapması sağlanmıştır. Bu koşullar altında şu sonuçlar bulunmuştur.

Zaman bağımsız Barlow-Proschan önem ölçüm sonuçlarına göre; B11(türbin) bileşeni 100 deneme sonucunda 69 kez, 200 deneme sonucunda 140, 300 deneme sonucunda 208, 500 deneme sonucunda 338, 1000 deneme sonucunda 660, 10000 deneme sonucunda 6797, 50000 deneme sonucunda ise 34229 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B1 (birinci ana döngülere ait borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 3, kez, 200 deneme sonucunda 6, 300 deneme sonucunda 6, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 34, 10000 deneme sonucunda 309, 50000 deneme sonucunda ise 1525 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B2 (ana sirkülasyon pompaları) 100 deneme sonucunda 1 kez, 200 deneme sonucunda 6, 300 deneme sonucunda 9, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 34, 10000 deneme sonucunda 337, 50000 deneme sonucunda ise 1572 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B3(buhar kazanı) 100 deneme sonucunda 1 kez, 200 deneme sonucunda 1, 300 deneme sonucunda 7, 500 deneme sonucunda 15, 1000 deneme sonucunda 34, 10000 deneme sonucunda 337, 50000 deneme sonucunda ise 1616 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B4 (ikinci ana döngülere ait pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 11, 500 deneme sonucunda 15, 1000 deneme sonucunda 32, 10000 deneme sonucunda 337, 50000 deneme sonucunda ise 1573 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B5 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 7 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 29, 10000 deneme sonucunda 304, 50000 deneme sonucunda ise 1551 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B6 (birinci döngülere ait ana pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 5 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 11, 500 deneme sonucunda 19, 1000 deneme sonucunda 29, 10000 deneme sonucunda 295, 50000 deneme sonucunda ise 1543 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B7 (ana sirkülasyon pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 5, 300 deneme sonucunda 7, 500 deneme sonucunda 14, 1000 deneme sonucunda 30, 10000 deneme sonucunda 300, 50000 deneme sonucunda ise 1602 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B8 (buhar kazanı) bileşeni 100 deneme sonucunda 3 kez, 200 deneme

sonucunda 6, 300 deneme sonucunda 9, 500 deneme sonucunda 17, 1000 deneme sonucunda 41, 10000 deneme sonucunda 318, 50000 deneme sonucunda ise 1629 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B9 (ikinci döngülere ait ana borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 5, 300 deneme sonucunda 11, 500 deneme sonucunda 22, 1000 deneme sonucunda 42, 10000 deneme sonucunda 338, 50000 deneme sonucunda ise 1536 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B10 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 4, 300 deneme sonucunda 9, 500 deneme sonucunda 18, 1000 deneme sonucunda 35, 10000 deneme sonucunda 342, 50000 deneme sonucunda ise 1624 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. Bu önem ölçümü içinde türbin bileşeni tüm örneklemeler için en önemli bileşen olarak tespit edilmiştir. Sınırsız bir görev süresi boyunca bileşenin sistem açısından kritik olması göz önünde bulundurularak 50000 deneme sonucunda en önemli ilk beş bileşen türbin, buhar kazanı, besleme pompası, ana sirkülasyon pompası ve ikinci ana döngülere ait borular şeklinde sıralanabilir.

Zaman bağımsız Natvig önem ölçüm sonuçlarına göre; B11(türbin) bileşeni 100 deneme sonucunda 63 kez, 200 deneme sonucunda 119, 300 deneme sonucunda 177, 500 deneme sonucunda 279, 1000 deneme sonucunda 542, 10000 deneme sonucunda 5652, 50000 deneme sonucunda ise 28512 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B1 (birinci ana döngülere ait borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 3, kez, 200 deneme sonucunda 7, 300 deneme sonucunda 7, 500 deneme sonucunda 15, 1000 deneme sonucunda 41, 10000 deneme sonucunda 415, 50000 deneme sonucunda ise 2146 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B2 (ana sirkülasyon pompaları) 100 deneme sonucunda 1 kez, 200 deneme sonucunda 7, 300 deneme sonucunda 11, 500 deneme sonucunda 19, 1000 deneme sonucunda 44, 10000 deneme sonucunda 439, 50000 deneme sonucunda ise 2135 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B3(buhar kazanı) 100 deneme sonucunda 1 kez, 200 deneme sonucunda 3, 300 deneme sonucunda 8, 500 deneme sonucunda 18, 1000 deneme sonucunda 41, 10000 deneme sonucunda 452, 50000 deneme sonucunda ise 2175 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B4 (ikinci ana döngülere ait pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 6 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 17, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 52, 10000 deneme sonucunda 471, 50000 deneme sonucunda ise 2117 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B5 (besleme

pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 9 kez, 200 deneme sonucunda 13, 300 deneme sonucunda 14, 500 deneme sonucunda 17, 1000 deneme sonucunda 34, 10000 deneme sonucunda 399, 50000 deneme sonucunda ise 2101 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B6 (birinci döngülere ait ana pompalar) bileşeni 100 deneme sonucunda 6 kez, 200 deneme sonucunda 11, 300 deneme sonucunda 14, 500 deneme sonucunda 27, 1000 deneme sonucunda 46, 10000 deneme sonucunda 428, 50000 deneme sonucunda ise 2134 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B7 (ana sirkülasyon pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 4 kez, 200 deneme sonucunda 7, 300 deneme sonucunda 10, 500 deneme sonucunda 20, 1000 deneme sonucunda 43, 10000 deneme sonucunda 411, 50000 deneme sonucunda ise 2138 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B8 (buhar kazanı) bileşeni 100 deneme sonucunda 3 kez, 200 deneme sonucunda 8, 300 deneme sonucunda 12, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 50, 10000 deneme sonucunda 420, 50000 deneme sonucunda ise 2217 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B9 (ikinci döngülere ait ana borular) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 9, 300 deneme sonucunda 17, 500 deneme sonucunda 30, 1000 deneme sonucunda 57, 10000 deneme sonucunda 470, 50000 deneme sonucunda ise 2124 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. B10 (besleme pompaları) bileşeni 100 deneme sonucunda 2 kez, 200 deneme sonucunda 5, 300 deneme sonucunda 13, 500 deneme sonucunda 25, 1000 deneme sonucunda 50, 10000 deneme sonucunda 443, 50000 deneme sonucunda ise 2201 kez en önemli ölçüm olarak hesaplanmıştır. Bu önem ölçümü içinde türbin bileşeni tüm denemeler için en önemli bileşen olarak tespit edilmiştir. 50000 deneme için sistemde minimal bir onarıma izin verilmesi durumunda sistem ömründe oluşacak iyileşme açısından en önemli ilk beş bileşen türbin, buhar kazanı, besleme pompası, birinci ana döngülere ait borular şeklinde gerçekleşmiştir.

Tüm ölçümler için türbin bileşeni en önemli bileşen olarak belirlenmiştir. Bu durumda olası bir planlamada en çok dikkat edilmesi gereken bileşen türbin bileşenidir. Türbin bileşeninde meydana gelecek bir arıza sistemin çalışmaz olmasına neden olacaktır. Simülasyonun farklı örneklem büyüklüklerine göre elde edilen verileri için kısa orta ve uzun vadeli planlamalar yapılabilir. Türbin dışındaki diğer bileşenler için kısa çalışma periyotlarında bazı bileşenler daha önemli iken uzun deneme periyotlarında bu bileşenler önemliliklerini başka bileşenlere bırakabilmektedirler. Bu

durumdan hareketle bileşenler için kısa orta ve uzun vadeli bakım onarım ve yedekleme planlamaları yapılabilir.

Potansiyel, Kritik ve Fussel-Vesely önem ölçümleri açısından en yüksek deneme referans alınarak en önemli ilk üç bileşen türbin, besleme pompası ve ikinci ana döngülere ait borular olurken Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçümleri açısından en önemli ilk üç bileşen türbin, buhar kazanı ve besleme pompası şeklinde olmuştur. Türbin bileşeninin sistem içindeki konumundan dolayı tüm ölçüm sonuçlarında en önemli bileşen olması yorumlama açısından güç bir durum oluştursa da birbirleri ile seri bağlanmış olan öteki bileşenler farklı önem ölçümleri açısından farklı sonuçlar vermişlerdir. Ancak güvenilirliğe dayalı Kritik, Potansiyel ve Fussell-Vesely önem ölçümleri açısından ikinci en önemli bileşen en yüksek deneme referans alınarak besleme pompası olarak belirlenirken ömre dayalı önem ölçümleri için yine en yüksek deneme referans alındığında buhar kazanı olarak belirlenmiştir. Yine en yüksek deneme baz alınarak üçüncü en önemli bileşen Kritik, Potansiyel ve Fussell-Vesely önem ölçümleri açısından ikinci ana döngülere ait borular olmuştur. Barlow-Proschan ve Natvig önem ölçümleri açısından üçüncü en önemli bileşen besleme pompası olmuştur.

Genel bir değerlendirme olarak en yüksek deneme referans alınarak sınırlı bir görev süresi boyunca en önemli bileşen türbin olmuştur. Sınırsız bir görev süresi boyunca değişen risk oranlarına bağlı olarak da en önemli bileşen türbin olmuştur. Sınırlı bir görev süresi açısından ikinci en önemli bileşen besleme pompası olurken sınırsız bir görev süresi boyunca ikinci en önemli bileşen buhar kazanıdır. Üçüncü olarak ta sınırlı bir görev süresi boyunca en önemli bileşen ikinci ana döngülere ait borular olmuştur. Sınırsız bir görev süresi boyunca en önemli üçüncü bileşen besleme pompası olmuştur. Çalışma sonuçları tasarım aşamasındaki bir sistem için bileşenlerden en çok dikkat edilmesi gereken bileşenler için bir sayısal planlama olanağı vermektedir. Ayrıca çalışan sistemler için gerçek veri değerleri ile bileşenlerin bakım ve onarımına yönelik bir prosedür oluşturmaya yardımcı olur. Çalışma termik santrallerin farklı tasarımlarına, farklı alanlara ve farklı alanlardaki sistemlere uyarlanabilir.

KAYNAKÇA

- Amrutkar, K. P., & Kamalja, K. K. (2017). An Overview of Various Importance Measures of Reliability System. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 2(3), 150-171.
- A Publication of Global Asset Protection Services LLC. (2018, 9 19). GAPS Guidelines LIFE EXTENSION. www.xlcatlin.com: https://xlcatlin.com/-/media/gaps/132____0.pdf)adresinden alınmıştır.
- Aliee, H., Borgonovo, E., Glaß, M., & Teich, J. (2017). On the Boolean extension of the Birnbaum importance to non-coherent systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 160, 191-200.
- Andrews, J. D., & Beeson, S. (2003). Birnbaum's Measure of Component Importance for Noncoherent Systems. *IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY*, 52(2), 213-219.
- Archer, K. J., & Kimes, R. V. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Computational Statistic and Data Analysis*, 52, 2249-2260.
- Barlow, R. E., & Proschan, F. (1975). Importance of the system component and Fault Tree events. *Stochastic Processes and their Applications*, 3, 153-173.
- Barlow, R. E., & Proschan, F. (1975b). *Statistical Theory of reliability and Life Testing Probabilty Models*. New York: Rinehart and Winston.
- Bartan, A. (2017). Kömürle Çalışan Termik Santraller İçin Çevresel Etki İndeksinin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Birnbaum, Z. W. (1968). On the importance of different components in a multi-component system. Washington: laboratory of Statistical Research Department of Miathemnatics University of Washlagton seattle.
- Bisanovic, S., Samardzic, M., & Aganovic, D. (2016). Application of Component Criticality Importance Measures in Design Scheme of Power Plants. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(1), 63-70.
- Boland, P. J., & El-Newehi, E. (1995). Measures of component importance in reliability theory. *Computers and Operations Research*, 22, 455-463.

- Borgonovo, E. (2007). Differential, criticality and Birnbaum importance measures: An application to basic event, groups and SSCs in event trees and binary decision diagrams. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, 1458–1467.
- Borgonovo, E., & Pecacati, L. (2004). Sensitivity analysis in investment project evaluation. *International Journal of Production Economics*(90), 17-25.
- Borgonovo, E., & Smith, C. (2011). A study of interactions in the risk assessment of complex engineering systems. An application to space PSA, *Operations Research*, 59, 1461-1476.
- Bozbulut, A. R. (2015). Çoklu Durumlu Ağırlıklandırılmış bileşenli Sistemlerin Dinamik Güvenilirlik Analizi. Doktora Tezi. Ankara: Kara Harp Okulu savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı.
- BP. (2018). BP Statistical Review of World Energy. <http://bp.com/statisticalreview>.
- Brunelle, R. D., & Kapur, K. C. (1999). Review and classification of reliability measures for multistate and continuum models. *IIE Transactions*, 1171-1180.
- Bulut, Y., Demiralp, A., & Şık, M. (2015). Tutarlı sistemlerin bileşen Önemi Üzerine. *Eurasian Econometrics Statistics & Empirical Economics Journal*, 57-64.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2018). ExxonMobil 2018 Enerji Görünümü: 2040'a Bakış. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.
- Elektirik Üretim Anonim Şirketi. (2018). 2017 Elektrik Üretim Sektör Raporu. Ankara: Strateji Daire Başkanlığı Stratejik Planlama Müdürlüğü.
- Elektirik Üretim Anonim Şirketi. (2018). Elektrik Üretim A.Ş 2017 Yıllık Faaliyet Raporu. Ankara: EÜAŞ.
- Exxonmobil. (2018). Outlook for Energy: A View to 2040.
- Feyzullahoğlu, E. (2005). Ders notları. Konstürksiyonda Güvenilirlik. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yayın No :164.
- Fussel, J. B. (1975). How to hand-calculate system reliability and safety characteristics. *IEEE Transactions on Reliability R-24*, 169-174.
- Iyer, S. (1992). The Barlow-Proschan importance and its. *Stochastic Processes and their Applications generalizations with dependent components*, 42, 353-359.
- Kuo, W., & Zhu, X. (2012b). Some recent advances on importance measures in reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 61.

- Kuo, W., & Zhu, X. (2012). Importance Measures In Reliability, Risk, And Optimization Principles And Applications. USA: Wiley A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Kuo, W., & Zhu, X. (2012). Importance Measures In Reliability, Risk, And Optimizationprinciples And Applications. USA: Wiley A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Kuo, W., & Zhu, X. (2012a). Relations and generalizations of importance measures in reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 61.
- Kuo, W., & Zuo, M. J. (2003). Optimal Reliability Modelling Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons.
- Lambert, H. E. (1975). Measure of importance of events and cut sets in fault trees. In *Reliability and Fault Tree Analysis* (eds. Barlow RE, Fussell JB, Singpurwalla ND). Society for Industrial and Applied Mathematics, 77-100.
- Lin, S., Wang, Y., Jia, L., & Li, Y. (2017). Component Importance Measure Computation Method Based Fuzzy Integral with Its Application. *Hindawi Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-18.
- Marichal, J.-L., & Pierre, M. (2013). On The Extensions Of Barlow-Proschanimportance Index And System Signature To Dependent Lifetimes. *Journal of Multivariate Analysis*, 48-56.
- Meng, F. C. (2004). Comparing Birnbaum Importance Measure Of System Components. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 18, 237-245.
- N. O'Connor, A., Modarres, M., & Mosleh, A. (2016). *Probability Distributions Used in Reliability Engineering*. Maryland: The Center for Risk and Reliability University of Maryland.
- Natvig, B. (1979). A suggestion of a new measure of importance of system components. *Stochastic Process. Appl.*, 9, 319-330.
- Natvig, B. (2011). *Multistate Systems Reliability Theory With Applications*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Natvig, B., & Gasemyr, J. (2009). New results on the Barlow-Prochan and Natvig measures of component importance in nonrepairable and repairablesystems. *Methodol Comput. Appl. Probab.*, 603-620.

- Natvig, B., Gasemry, J., Hesby, A. B., & Isaksen, S. L. (2009). Simulation based analysis and an application to an off shore oil and gas production system of the Natvig measures of component importance in repairable systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, 1629-1638.
- Norros, I. (1986b). Notes on Natvig's measure of importance of system components. *Journal of Applied Probability*, 23.
- Rausand, M., & Hoyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Application* 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.
- ReliaSoft. (2003). <http://www.maintenanceworld.com>
/: <http://www.maintenanceworld.com/using-reliability-importance-measures-to-guide-component-improvement-efforts/> adresinden alınmıştır
- Schwender, H., Bowers, K., Fallin, M., & Ruczinski, I. (2011). Importance measures for epistatic interaction in case-parent trios. *Annals of Human Genetics*, 75, 122-132.
- Selwyn, S. T., & Kesavan, R. (2011). Computation of Reliability and Birnbaum Importance of Components of a Wind Turbine at High Uncertain Wind. *International Journal of Computer Applications*, 32(4), 42-50.
- Simmons, D., Ellis, N., Fujihara, H., & Kuo, W. (1998). *Software Measurement: A Visualization Toolkit for Project Process Improvement*. New Jersey: Prentice Hall.
- Smith, C. L., & Borgonovo, E. (2007). Decision making during nuclear power plant incidents – a new approach to the evaluation of precursor events. *Risk Analysis*, 27(4), 1027-1042.
- Soofi, E. S., Retzer, J. J., & Yasai-Ardekani, M. (2000). A framework for measuring the importance of variables with applications to management research and decision models. *Decision Sciences*, 595-625.
- Strobl, C., Boulesteix, A. L., Zeileis, A., & Hothorn, T. (2007). Bias in random forest variable importance measures: Illustrations, sources and a solution. *BMC Bioinformatics*, 8, 1-25.
- TEİAŞ. (2015). *TEİAŞ 2015-2019 Stratejik Plan*. Ankara: TEİAŞ.
- TEİAŞ. (2017). *TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu*. TEİAŞ.

- Tekel, E. (2006, Ağustos). Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek lisans Tezi , 1-112. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D.
- Terje, A., & Uwe, J. (2013). Stochastic Models in Reliability Second Edition. London: Springer.
- Türkiye Taş Kömürü Kurumu. (2018). Türkiye Taş Kömürü Kurumu Faaliyet Raporu 2017. Ankara: ARAŞTIRMA PLANLAMA VE KOORDİNASYON DAİRESİ BAŞKANLIĞI.
- Uzun, A., & Özdoğan , A. (2011). Güvenilirlik analizine dayalı önleyici Bakım Hizmetleri. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 303-320.
- Üstünel, M. (2012). I. sınıf elektrik tesisatçılığı Enerji Üretimi İletimi ve Dağıtımı Ders Notu. Ankara: Meb Hayat Boyu Öğenme Genel Müdürlüğü.
- Vesely, W. E. (1970). A time dependent methodology for fault tree evaluation. Nuclear Engineering and Design, 13, 337-360.
- Woodruff, E. B., Lammers, H. B., & Lammers, T. L. (2004). Steam Plant Operation. th 8 edition . New York: Mc Graw-Hill Professional.
- Wu, S., & Coolen, F. P. (2013). A cost-based importance measure for system components: An extension of the Birnbaum importance. European Journal of Operational Research, 225, 189–195.
- www.enerjiatlası.com. (2018, 08 18). Enerjiatlası: <http://www.enerjiatlası.com/komur/> adresinden alınmıştır. Erişim Tarihi 18.08.2018
- Yang, K., & Xue, J. (1996). “Continuous State Reliability Analysis”. Proc. of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, (s. 251-257).
- Zhu, X., & Kuo, W. (2014). Importance measures in reliability and mathematical. pringer Science+Business Media,, 241–267.
- Zio, E., Marella, M., & Podofillini, L. (2007). Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: Application to the railway industry. Reliability Engineering and System Safety, 1303-1314.

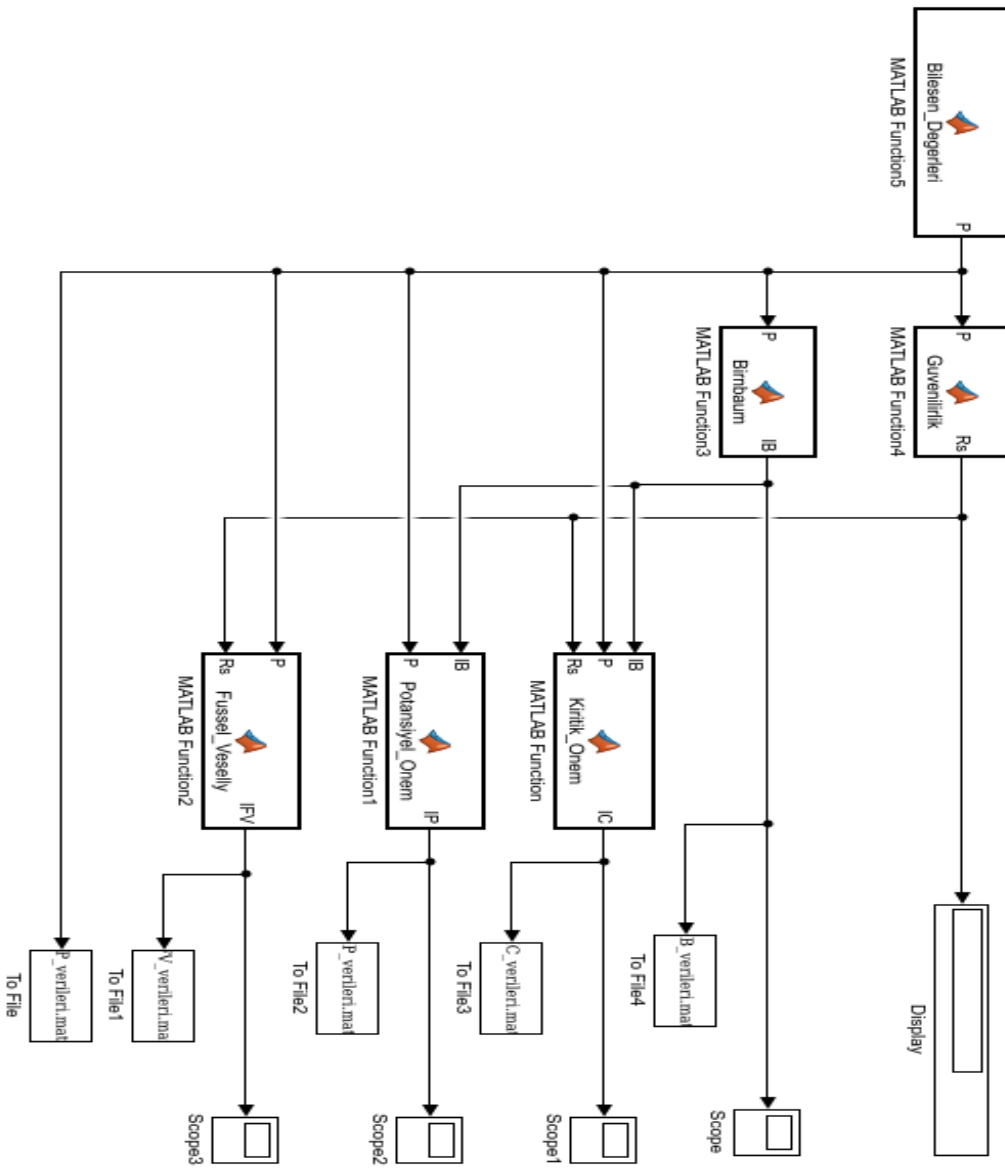
EKLER

EK A

1. Simülasyon Özeti

Önem_Ölçümleri_Similasyonu

Details for Onem_Olcumleri_Similasyonu



Toshiba

Table of Contents

[Model - Onem_Olcumleri_Similasyonu](#)
[Machine - Onem_Olcumleri_Similasyonu](#)
[System - Onem_Olcumleri_Similasyonu](#)
[Appendix](#)

List of Tables

1. [Display Block Properties](#)
2. [MATLAB Function Block Properties](#)
3. [ToFile Block Properties](#)
4. [Block Type Count](#)

Model - Onem_Olcumleri_Similasyonu

Table of Contents

[Machine - Onem_Olcumleri_Similasyonu](#)

Full Model Hierarchy

1. [Onem_Olcumleri_Similasyonu](#)

[\[more info\]](#)

Machine - Onem_Olcumleri_Similasyonu

Machine	Onem_Olcumleri_Similasyonu
Creation Date	09-Jul-2018 17:24:02

[\[more info\]](#)

System - Onem_Olcumleri_Similasyonu

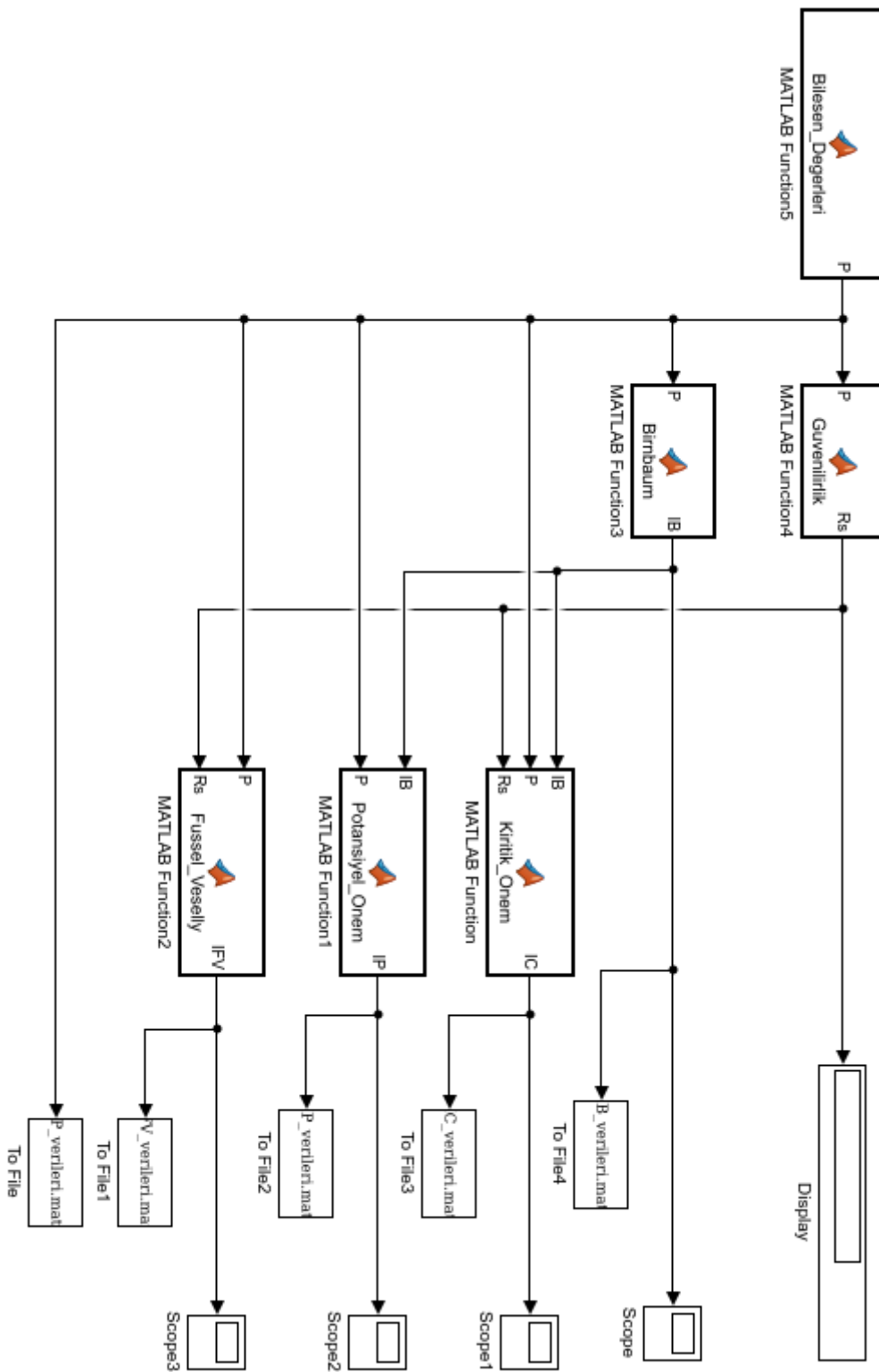


Table 1. Display Block Properties

Name	Format	Decimation	Floating
Display	long	1	off

Table 2. MATLAB Function Block Properties

Name	Script
MATLAB Function	<pre>function IC = Kiritik_Onem(IB,P,Rs) I_CR_1=IB(1,1)*(1-P(1,1))/(1-Rs); I_CR_2=IB(1,2)*(1-P(1,2))/(1-Rs); I_CR_3=IB(1,3)*(1-P(1,3))/(1-Rs); I_CR_4=IB(1,4)*(1-P(1,4))/(1-Rs); I_CR_5=IB(1,5)*(1-P(1,5))/(1-Rs); I_CR_6=IB(1,6)*(1-P(1,6))/(1-Rs); I_CR_7=IB(1,7)*(1-P(1,7))/(1-Rs); I_CR_8=IB(1,8)*(1-P(1,8))/(1-Rs); I_CR_9=IB(1,9)*(1-P(1,9))/(1-Rs); I_CR_10=IB(1,10)*(1-P(1,10))/(1-Rs); I_CR_11=IB(1,11)*(1-P(1,11))/(1-Rs); IC=[I_CR_1,I_CR_2,I_CR_3,I_CR_4,I_CR_5,I_CR_6,I_CR_7,I_CR_8,I_CR_9,I_CR_10,I_CR_11];</pre>
MATLAB Function1	<pre>function IP = Potansiyel_Onem(IB,P) IP_1=IB(1,1)*(1-P(1,1)); IP_2=IB(1,2)*(1-P(1,2)); IP_3=IB(1,3)*(1-P(1,3)); IP_4=IB(1,4)*(1-P(1,4)); IP_5=IB(1,5)*(1-P(1,5)); IP_6=IB(1,6)*(1-P(1,6)); IP_7=IB(1,7)*(1-P(1,7)); IP_8=IB(1,8)*(1-P(1,8)); IP_9=IB(1,9)*(1-P(1,9)); IP_10=IB(1,10)*(1-P(1,10)); IP_11=IB(1,11)*(1-P(1,11)); IP=[IP_1,IP_2,IP_3,IP_4,IP_5,IP_6,IP_7,IP_8,IP_9,IP_10,IP_11];</pre>
MATLAB Function2	<pre>function IFV = Fussel_Veselly(P,Rs) q1=(1-P(1,1)); q2=(1-P(1,2)); q3=(1-P(1,3)); q4=(1-P(1,4)); q5=(1-P(1,5)); q6=(1-P(1,6)); q7=(1-P(1,7)); q8=(1-P(1,8)); q9=(1-P(1,9)); q10=(1-P(1,10)); q11=(1-P(1,11)); IFV_1=(q1*q6 +q1*q7+q1*q8+q1*q9+q1*q10)/(1-Rs); IFV_2=(q2*q6 +q2*q7+q2*q8+q2*q9+q2*q10)/(1-Rs); IFV_3=(q3*q6 +q3*q7+q3*q8+q3*q9+q3*q10)/(1-Rs); IFV_4=(q4*q6 +q4*q7+q4*q8+q4*q9+q4*q10)/(1-Rs); IFV_5=(q5*q6 +q5*q7+q5*q8+q5*q9+q5*q10)/(1-Rs); IFV_6=(q6*q1 + q6*q2+ q6*q3+ q6*q4+ q6*q5)/(1-Rs); IFV_7=(q7*q1 + q7*q2+ q7*q3+ q7*q4+ q7*q5)/(1-Rs); IFV_8=(q8*q1 + q8*q2+ q8*q3+ q8*q4+ q8*q5)/(1-Rs); IFV_9=(q9*q1 + q9*q2+ q9*q3+ q9*q4+ q9*q5)/(1-Rs);</pre>

Name	Script
	<pre> IFV_10=(q10*q1 +q10*q2+q10*q3+q10*q4+q10*q5) / (1-Rs); IFV_11=q11/ (1-Rs); IFV=[IFV_1,IFV_2,IFV_3,IFV_4,IFV_5,IFV_6,IFV_7,IFV_8,IFV_9,IFV_10,IFV_11]; </pre>
MATLAB Function3	<pre> function IB = Birnbaum(P) % Birnbaum Fonksiyonu % Rs=P11*(1-(1-P1*P2*P3*P4*P5)*(1-P6*P7*P8*P9*P10)) ; % IB=diff(Rs,Pi) P1=P(1,1); P2=P(1,2); P3=P(1,3); P4=P(1,4); P5= P(1,5); P6= P(1,6); P7= P(1,7); P8= P(1,8); P9= P(1,9); P10= P(1,10); P11=P(1,11); IB1 =-P2*P3*P4*P5*P11*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); IB2 =-P1*P3*P4*P5*P11*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); IB3 =-P1*P2*P4*P5*P11*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); IB4=-P1*P2*P3*P5*P11*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); IB5=-P1*P2*P3*P4*P11*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); IB6=-P7*P8*P9*P10*P11*(P1*P2*P3*P4*P5 - 1); IB7=-P6*P8*P9*P10*P11*(P1*P2*P3*P4*P5 - 1); IB8=-P6*P7*P9*P10*P11*(P1*P2*P3*P4*P5 - 1); IB9=-P6*P7*P8*P10*P11*(P1*P2*P3*P4*P5 - 1); IB10=-P6*P7*P8*P9*P11*(P1*P2*P3*P4*P5 - 1); IB11=1 - (P1*P2*P3*P4*P5 - 1)*(P6*P7*P8*P9*P10 - 1); % IB_1=IB1(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB2(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB3(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB4(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB5(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB6(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB7(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB8(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB9(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB10(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); % IB_2=IB11(P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11); IB=[IB1,IB2,IB3,IB4,IB5,IB6,IB7,IB8,IB9,IB10,IB11]; </pre>
MATLAB Function4	<pre> function Rs = Guvenilirlik(P) % Güvenilirlik Fonksiyonu %Rs=P(11,1)*(1-(1-P(1,1)*P(2,1)*P(3,1)*P(4,1)*P(5,1))*(1-P(6,1)*P(7,1)*P(8,1)*P(9,1)*P(10,1))); Rs=P(1,11)*(1-(1-P(1,1)*P(1,2)*P(1,3)*P(1,4)*P(1,5))*(1-P(1,6)*P(1,7)*P(1,8)*P(1,9)*P(1,10))); </pre>
MATLAB Function	<pre> function P = Bilesen_Degerleri() % iterasyon sayısı kadar sonuç gönderir % Sistem Bileşen değerlerinin rassal olarak belirlenmesi a=0.8; </pre>

Name	Script
n5	b=1; P=(b-a)*rand(1,11)+a; end

Table 3. ToFile Block Properties

Name	Filename	Matrix Name	Save Format	Decimation
To File	P_verileri.mat	P	Array	1
To File1	FV_verileri.mat	FV	Array	1
To File2	IP_verileri.mat	IP	Array	1
To File3	IC_verileri.mat	IC	Array	1
To File4	IB_verileri.mat	IB	Array	1

Appendix

Table 4. Block Type Count

BlockType	Count	Block Names
MATLAB Function	6	MATLAB Function , MATLAB Function1 , MATLAB Function2 , MATLAB Function3 , MATLAB Function4 , MATLAB Function5
ToFile	5	To File , To File1 , To File2 , To File3 , To File4
Scope	4	Scope, Scope1, Scope2, Scope3
Display	1	Display

2. Potansiyel Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayılarını Bulmak İçin Oluşturulan Sayaç

```
function [ sonuc ] = IP_max_bilesen_bul( )
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur
load('IP_verileri.mat');
% ara sonuç bulunuyor
for i=1:100
    max=-1;
    min=10;
    for j=2:12
        if max<IP(j,i)
            max=IP(j,i);
            bilesen=j;
        end
    end
end
```



```

        end
    end
    arasonuc(i,1)=i;
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;
    arasonuc(i,3)=max;
end
% bileşen sayısı hesaplanıyor
sonuc(2,11)=0;
for i=1:100
    if arasonuc(i,2)==1
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==2
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==3
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==4
        sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==5
        sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==6
        sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==7
        sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==8
        sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==9
        sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==10
        sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==11
        sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;
    end
end

bar(sonuc(1,:));
grid;
title('Potansiyel Önem Ölçüm Sonuçları');
xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca, 'XTickLabel', {'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B10', 'B11'})

end

```

3. Kritik Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayılarını Bulmak İçin Oluşturulan Savaş

```
function [ sonuc ] = IC_max_bilesen_bul( )
```

```
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur
```

```
load('IC_verileri.mat');  
% ara sonuç bulunuyor  
for i=1:100  
    max=-1;  
    min=10;  
    for j=2:12  
        if max<IC(j,i)  
            max=IC(j,i);  
            bilesen=j;  
        end  
    end  
    arasonuc(i,1)=i;  
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;  
    arasonuc(i,3)=max;  
end  
% bileşen sayısı hesaplanıyor  
sonuc(2,11)=0;  
for i=1:100  
    if arasonuc(i,2)==1  
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==2  
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==3  
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==4  
        sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==5  
        sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==6  
        sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==7  
        sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==8  
        sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==9  
        sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==10  
        sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;  
    end  
    if arasonuc(i,2)==11  
        sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;  
    end  
end  
  
bar(sonuc(1,:));  
grid;  
title('Kritik Önem Ölçüm Sonuçları ');
```

```

xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca, 'XTickLabel', {'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B10', 'B11'})

end

```

4. Birnbaum Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayılarını Bulmak İçin Oluşturulan Sayaç

```

function [ sonuc ] = IB_max_bilesen_bul( )
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur

load('IB_verileri.mat');
% ara sonuç bulunuyor
for i=1:100
    max=-1;
    min=10;
    for j=2:12
        if max<IB(j,i)
            max=IB(j,i);
            bilesen=j;
        end
    end
    arasonuc(i,1)=i;
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;
    arasonuc(i,3)=max;
end
% bileşen sayısı hesaplanıyor
sonuc(2,11)=0;
for i=1:100
    if arasonuc(i,2)==1
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==2
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==3
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==4
        sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==5
        sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==6
        sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==7
        sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==8
        sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;
    end
end

```

```

    if arasonuc(i,2)==9
        sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==10
        sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==11
        sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;
    end
end

bar(sonuc(1,:));
grid;
title('Birnbaum Önem Ölçüm Sonuçları');
xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca, 'XTickLabel', {'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B10', 'B11'})

end

```

5. Fussell- Vesely Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayılarını Bulmak İçin Oluşturulan Savaş

```

function [ sonuc ] = FV_max_bilesen_bul( )
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur

load('FV_verileri.mat');
% ara sonuç bulunuyor
for i=1:100
    max=-1;
    min=10;
    for j=2:12
        if max<FV(j,i)
            max=FV(j,i);
            bilesen=j;
        end
    end
    arasonuc(i,1)=i;
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;
    arasonuc(i,3)=max;
end
% bileşen sayısı hesaplanıyor
sonuc(2,11)=0;
for i=1:100
    if arasonuc(i,2)==1
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==2
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==3
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;
    end
end

```

```

end
if arasonuc(i,2)==4
    sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;
end
if arasonuc(i,2)==5
    sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;
end
if arasonuc(i,2)==6
    sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;
end
if arasonuc(i,2)==7
    sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;
end
if arasonuc(i,2)==8
    sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;
end
if arasonuc(i,2)==9
    sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;
end
if arasonuc(i,2)==10
    sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;
end
if arasonuc(i,2)==11
    sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;
end
end

bar(sonuc(1,:));
grid;
title('Fussell-Vesely Önem Ölçüm Sonuçları');
xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca, 'XTickLabel', {'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B10', 'B11'})

end

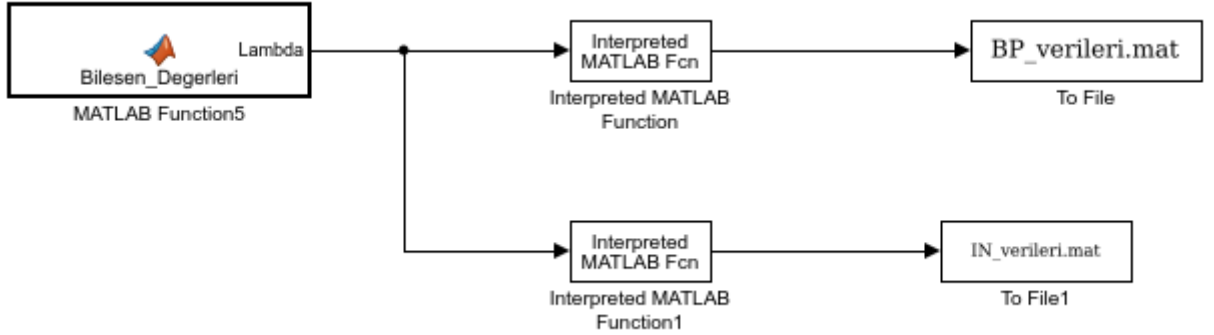
```

EK B

1. Yaşam Dağılımına Dayalı Oluşturulan Simülasyon Özeti

simülasyon

Details for similasyon



Toshiba

05-Nov-2018 23:06:47

Table of Contents

- [Model - similasyon](#)
- [Machine - similasyon](#)
- [System - similasyon](#)
- [Appendix](#)

List of Tables

1. [MATLAB Function Block Properties](#)
2. [MATLABFcn Block Properties](#)
3. [ToFile Block Properties](#)
4. [Block Type Count](#)

Model - similasyon

Table of Contents

- [Machine - similasyon](#)

Full Model Hierarchy

1. [similasyon](#)

[\[more info\]](#)

Machine - similasyon

Machine	similasyon
Creation Date	09-Jul-2018 17:24:02

[\[more info\]](#)

System - similasyon

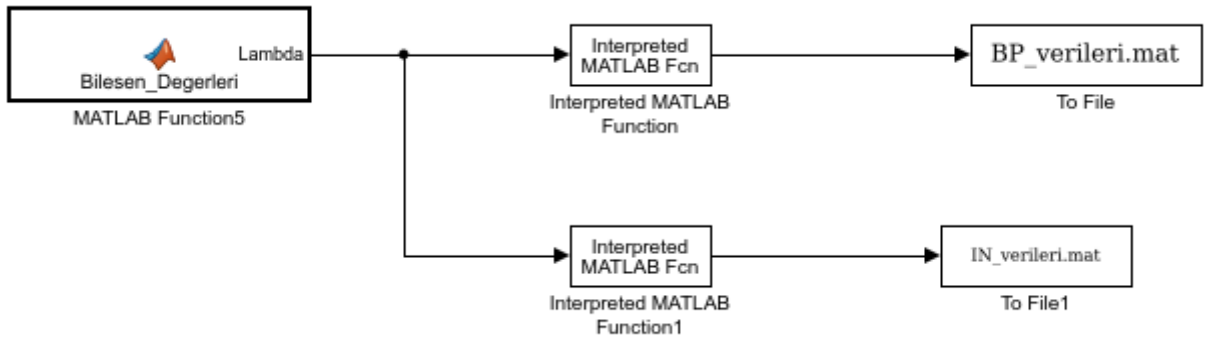


Table 1. MATLAB Function Block Properties

Name	Script
MATLAB Function5	<pre>function Lambda = Bilesen_Degerleri() %iterasyon sayısı kadar sonuç gönderir %Sistem Bileşen değerlerinin rassal olarak belirlenmesi % Lambda=[1,2,3,4,5,1,2,3,4,5,0.1] a=0.0000000057; b=0.0000012751; Lambda=(b-a)*rand(1,11)+a; end</pre>

Table 2. MATLABFcn Block Properties

Name	MATLABFcn	Output Dimensions	Output Signal Type	Output 1D
Interpreted MATLAB Function	barlowproschan	11	auto	on
Interpreted MATLAB	Natvig	11	auto	on

Name	MATLABFcn	Output Dimensions	Output Signal Type	Output 1D
Function1				

Table 3. ToFile Block Properties

Name	Filename	Matrix Name	Save Format	Decimation
To File	BP_verileri.mat	BP	Array	1
To File1	IN_verileri.mat	IN	Array	1

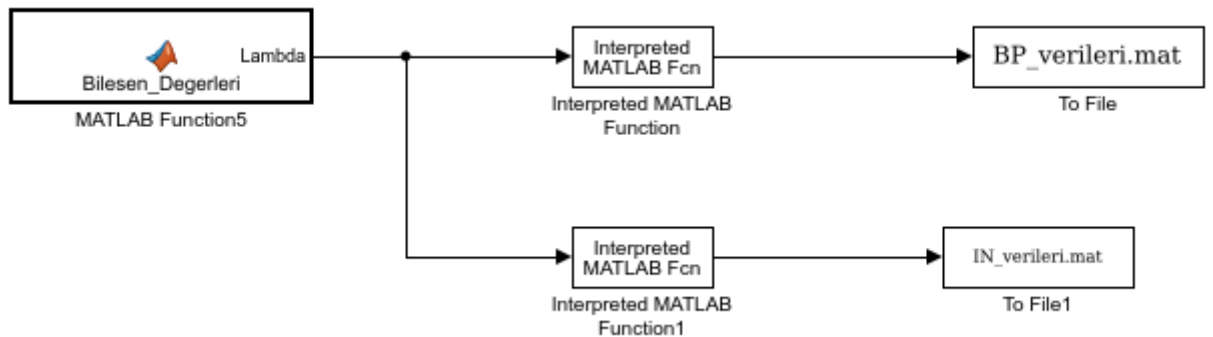
Appendix

Table 4. Block Type Count

BlockType	Count	Block Names
ToFile	2	To File , To File1
MATLABFcn	2	Interpreted MATLAB Function , Interpreted MATLAB Function1
MATLAB Function	1	MATLAB Function5

similasyon

Details for similasyon



Toshba

Table of Contents

[Model - similasyon](#)

[Machine - similasyon](#)

[System - similasyon](#)

[Appendix](#)

List of Tables

1. [MATLAB Function Block Properties](#)
2. [MATLABFcn Block Properties](#)
3. [ToFile Block Properties](#)
4. [Block Type Count](#)

Model - similasyon

Table of Contents

[Machine - similasyon](#)

Full Model Hierarchy

1. [similasyon](#)

[\[more info\]](#)

Machine - similasyon

Machine	similasyon
Creation Date	09-Jul-2018 17:24:02

[\[more info\]](#)

System - similasyon

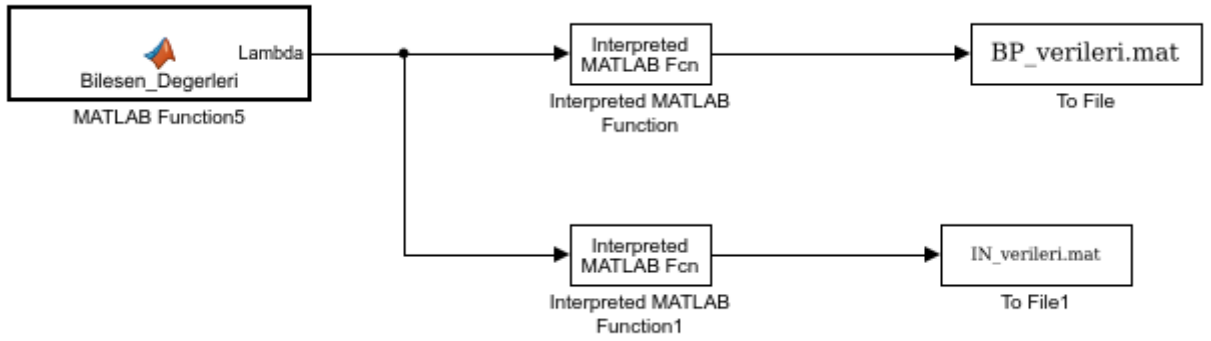


Table 1. MATLAB Function Block Properties

Name	Script
MATLAB Function5	<pre>function Lambda = Bilesen_Degerleri() %iterasyon sayısı kadar sonuç gönderir %Sistem Bileşen değerlerinin rassal olarak belirlenmesi a=0.0000000057; b=0.0000012751; Lambda=(b-a)*rand(1,11)+a; end</pre>

Table 2. MATLABFcn Block Properties

Name	MATLABFcn	Output Dimensions	Output Signal Type	Output 1D
Interpreted MATLAB Function	barlowproschan	11	auto	on
Interpreted MATLAB Function1	Natvig	11	auto	on

Table 3. ToFile Block Properties

Name	Filename	Matrix Name	Save Format	Decimation
To File	BP_verileri.mat	BP	Array	1
To File1	IN_verileri.mat	IN	Array	1

Appendix

Table 4. Block Type Count

BlockType	Count	Block Names
ToFile	2	To File , To File1
MATLABFcn	2	Interpreted MATLAB Function , Interpreted MATLAB

BlockType	Count	Block Names
		Function1
MATLAB Function	1	MATLAB Function5

```

function [ IN ] = Natvig( Lambda )
%Natvig önem ölçümü
% zaman=0:0.01:1;
% plot(t,exp(-2*zaman))
% IB1 ==exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB2 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB3 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB4 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB6 ==exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB7==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB8 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB9 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB10 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% EZ1=F1*-LN(F1)*IB1
syms t;
% EZ1=log(exp(-lambda1*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% EZ2 =log(exp(-lambda2*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% EZ3 =log(exp(-lambda3*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% EZ4=log(exp(-lambda4*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)

```

```

% EZ5=log(exp(-lambda5*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% EZ6=log(exp(-lambda6*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% EZ7=log(exp(-lambda7*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% EZ8=log(exp(-lambda8*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% EZ9=log(exp(-lambda9*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% EZ10=log(exp(-lambda10*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% EZ11=log(exp(-lambda11*t))*exp(-lambda11*t)*((exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1) - 1)
lambda1=Lambda(1,1);
lambda2=Lambda(1,2);
lambda3=Lambda(1,3);
lambda4=Lambda(1,4);
lambda5=Lambda(1,5);
lambda6=Lambda(1,6);
lambda7=Lambda(1,7);
lambda8=Lambda(1,8);
lambda9=Lambda(1,9);
lambda10=Lambda(1,10);
lambda11=Lambda(1,11);
EZ1=double(int(log(exp(-lambda1*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ2=double(int(log(exp(-lambda2*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ3=double(int(log(exp(-lambda3*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ4=double(int(log(exp(-lambda4*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ5=double(int(log(exp(-lambda5*t))*exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1), t, 0, Inf));

```

```

EZ6=double(int(log(exp(-lambda6*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ7=double(int(log(exp(-lambda7*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ8=double(int(log(exp(-lambda8*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ9=double(int(log(exp(-lambda9*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ10=double(int(log(exp(-lambda10*t))*exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-
lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1), t, 0, Inf));
EZ11=double(int(log(exp(-lambda11*t))*exp(-lambda11*t)*((exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1) - 1), t, 0, Inf));
IN1=EZ1/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN2=EZ2/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN3=EZ3/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN4=EZ4/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN5=EZ5/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN6=EZ6/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN7=EZ7/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN8=EZ8/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN9=EZ9/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN10=EZ10/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN11=EZ11/(EZ1+EZ2+EZ3+EZ4+EZ5+EZ5+EZ6+EZ7+EZ8+EZ9+EZ10+EZ11);
IN=[IN1,IN2,IN3,IN4,IN5,IN6,IN7,IN8,IN9,IN10,IN11];
end

```

```

function [ BP ] = barlowproshan( Lambda )
lambda1=Lambda(1,1);
lambda2=Lambda(1,2);
lambda3=Lambda(1,3);
lambda4=Lambda(1,4);
lambda5=Lambda(1,5);
lambda6=Lambda(1,6);
lambda7=Lambda(1,7);
lambda8=Lambda(1,8);
lambda9=Lambda(1,9);
lambda10=Lambda(1,10);
lambda11=Lambda(1,11);
% syms lambda1 lambda2 lambda3 lambda4 lambda5 lambda6 lambda7
lambda8 lambda9 lambda10 lambda11 t
% F1=exp(-lambda1*t)
% F2=exp(-lambda2*t)
% F3=exp(-lambda3*t)
% F4=exp(-lambda4*t)
% F5=exp(-lambda5*t)

```

```

% F6=exp(-lambda6*t)
% F7=exp(-lambda7*t)
% F8=exp(-lambda8*t)
% F9=exp(-lambda9*t)
% F10=exp(-lambda10*t)
% F11=exp(-lambda11*t)
% syms F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11
% Rs=F11*(1-(1-F1*F2*F3*F4*F5)*(1-F6*F7*F8*F9*F10))
% Rs ==exp(-lambda11*t)*((exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1) - 1)
% IB1=diff(Rs,F1)
% IB1==exp(-lambda11*t)*((exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1) - 1)
% IB1=-F2*F3*F4*F5*F11*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB1 ==exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB2=diff(Rs,F2)
% IB2 ==-F1*F3*F4*F5*F11*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB2 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB3=diff(Rs,F3)
% IB3 ==-F1*F2*F4*F5*F11*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB3 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB4=diff(Rs,F4)
% IB4 ==-F1*F2*F3*F5*F11*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB4 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB5=diff(Rs,F5)
% IB5 ==-F1*F2*F3*F4*F11*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB5 ==exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB6=diff(Rs,F6)
% IB6 ==-F7*F8*F9*F10*F11*(F1*F2*F3*F4*F5 - 1)
% IB6 ==exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB7=diff(Rs,F7)
% IB7 ==-F6*F8*F9*F10*F11*(F1*F2*F3*F4*F5 - 1)
% IB7 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB8=diff(Rs,F8)
% IB8 ==-F6*F7*F9*F10*F11*(F1*F2*F3*F4*F5 - 1)
% IB8 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB9=diff(Rs,F9)
% IB9 ==-F6*F7*F8*F10*F11*(F1*F2*F3*F4*F5 - 1)
% IB9 ==exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)

```

```

% IB10=diff(Rs,F10)
% IB10 =-F6*F7*F8*F9*F11*(F1*F2*F3*F4*F5 - 1)
% IB10 =-exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)
% IB11=diff(Rs,F11)
% IB11 =1 - (F1*F2*F3*F4*F5 - 1)*(F6*F7*F8*F9*F10 - 1)
% IB11 =1 - (exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1)
% IB1*diff(1-F1,t)=-lambda1*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% IB2*diff(1-F2,t)=-lambda2*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% IB3*diff(1-F3,t)=-lambda3*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% IB4*diff(1-F4,t)=-lambda4*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% IB5*diff(1-F5,t)=-lambda5*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-
lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1)
% IB6*diff(1-F6,t)=-lambda6*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% IB7*diff(1-F7,t)=-lambda7*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% IB8*diff(1-F8,t)=-lambda8*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% IB9*diff(1-F9,t)=-lambda9*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% IB10*diff(1-F10,t)=-lambda10*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)
% IB11*diff(1-F11,t)=-lambda11*exp(-lambda11*t)*((exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1)*(exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t) - 1) - 1)
syms t;
BP1=int(-lambda1*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) -
1),t,0,inf)

```

```

BP2=int(-lambda2*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) -
1),t,0,inf)
BP3=int(-lambda3*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) -
1),t,0,inf)
BP4=int(-lambda4*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) -
1),t,0,inf)
BP5=int(-lambda5*exp(-lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-
lambda4*t)*exp(-lambda5*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda6*t)*exp(-
lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t) -
1),t,0,inf)
BP6=int(-lambda6*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) -
1),t,0,inf)
BP7=int(-lambda7*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) -
1),t,0,inf)
BP8=int(-lambda8*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) -
1),t,0,inf)
BP9=int(-lambda9*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-
lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) -
1),t,0,inf)
BP10=int(-lambda10*exp(-lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-
lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-lambda10*t)*exp(-lambda11*t)*(exp(-
lambda1*t)*exp(-lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-
lambda5*t) - 1),t,0,inf)
BP11=int(-lambda11*exp(-lambda11*t)*((exp(-lambda1*t)*exp(-
lambda2*t)*exp(-lambda3*t)*exp(-lambda4*t)*exp(-lambda5*t) - 1)*(exp(-
lambda6*t)*exp(-lambda7*t)*exp(-lambda8*t)*exp(-lambda9*t)*exp(-
lambda10*t) - 1) - 1),t,0,inf)

```

```

BP=[double(BP1),double(BP2),double(BP3),double(BP4),double(BP5),double
(BP6),double(BP7),double(BP8),double(BP9),double(BP10),double(BP11)];

```

```

end

```


2. Natvig Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayısını Bulmak İçin Geliştirilen Sayaç

```
function [ sonuc ] = IN_max_bilesen_bul( )
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur

load('IN_verileri.mat');
% ara sonuç bulunuyor
for i=1:100
    max=-1;
    min=10;
    for j=2:12
        if max<IN(j,i)
            max=IN(j,i);
            bilesen=j;
        end
    end
    arasonuc(i,1)=i;
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;
    arasonuc(i,3)=max;
end
% bileşen sayısı hesaplanıyor
sonuc(2,11)=0;
for i=1:100
    if arasonuc(i,2)==1
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==2
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==3
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==4
        sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==5
        sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==6
        sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==7
        sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==8
        sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==9
        sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==10
        sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==11
        sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;
    end
end
end
```

```

bar(sonuc(1,:));
grid;
title('Natvig Önem Ölçüm Sonuçları');
xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca,'XTickLabel',{'B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8','B9','B10','B11'})

```

end

3. Barlow-Proschan Önem Ölçümü İçin En Önemli Bileşen Olma Sayısını Bulmak İçin Geliştirilen Sayaç

```

function [ sonuc ] = BP_max_bilesen_bul( )
%bileşenlerin max değerlerini bularak bir dizi oluşturur

load('BP_verileri.mat');
% ara sonuç bulunuyor
for i=1:100
    max=-1;
    min=10;
    for j=2:12
        if max<BP(j,i)
            max=BP(j,i);
            bilesen=j;
        end
    end
    arasonuc(i,1)=i;
    arasonuc(i,2)=bilesen-1;
    arasonuc(i,3)=max;
end
% bileşen sayısı hesaplanıyor
sonuc(2,11)=0;
for i=1:100
    if arasonuc(i,2)==1
        sonuc(1,1)=sonuc(1,1)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==2
        sonuc(1,2)=sonuc(1,2)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==3
        sonuc(1,3)=sonuc(1,3)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==4
        sonuc(1,4)=sonuc(1,4)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==5
        sonuc(1,5)=sonuc(1,5)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==6
        sonuc(1,6)=sonuc(1,6)+1;
    end
    if arasonuc(i,2)==7
        sonuc(1,7)=sonuc(1,7)+1;
    end
end

```

```
if arasonuc(i,2)==8
    sonuc(1,8)=sonuc(1,8)+1;
end
if arasonuc(i,2)==9
    sonuc(1,9)=sonuc(1,9)+1;
end
if arasonuc(i,2)==10
    sonuc(1,10)=sonuc(1,10)+1;
end
if arasonuc(i,2)==11
    sonuc(1,11)=sonuc(1,11)+1;
end
end

bar(sonuc(1,:));
grid;
title('Barlow-Proschan Önem Ölçüm Sonuçları');
xlabel('Bileşen Adı')
ylabel('Max Adet')
set(gca, 'XTickLabel', {'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B10', 'B11'})

end
```