
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ELEKTRİK İLETİM HATLARININ GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ VE ÇALIŞAN GÜVENLİĞİNE ETKİLERİ

Yunus KARA

DOKTORA TEZİ

KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yunus KARA

04/08/2021

ELEKTRİK İLETİM HATLARININ GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ VE ÇALIŞAN GÜVENLİĞİNE ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

Yunus KARA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

Teknolojinin gelişmesinden dolayı, tüm sektörlerin daha kaliteli ve daha yüksek güvenilirliğe sahip ürün ve hizmet sunma kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Özellikle, elektrik enerjisi, gaz ve petrol boru hattı, ulaşım, telekomünikasyon ve su gibi sektörlerin kesintiye uğramadan devam etmesi istenen bir durumdur. Güvenilirlik, bir sistemin veya sistem bileşenlerinin belirlenen süre içerisinde, belirtilen koşullarda işlevini yerine getirme yeteneğidir. Elektrik iletim sistemlerinin en önemli kriterlerinden birisi sistem üzerindeki enerjiyi limitler dahilinde sürekli tutabilmek ve mümkün olan en az kesintiye gitmektir. Güvenilirlik, sistemin uygun çalışma aralığının tespit edilip gerekli müdahalenin yapılması gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Elektrik iletim sistemlerinde sürekliliği, maliyeti ve bakım süreçlerinin etkinliğinin artırılması için güvenilirlik merkezli bakım ön plana çıkmıştır. Elektrik iletim sistemleri bakım çalışmaları çoğunlukla düzeltici bakım olarak, arıza ortaya çıktığında müdahale şeklinde olmaktadır. Bu durum sisteme ve ekipmana zarar verirken, aynı zamanda maliyet planlaması, kesinti sıklığının ve süresinin artması, çevresel zararlar oluşturması ve düzeltici bakım ekiplerinin daha fazla risk altında kalmaları gibi birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Güvenilirlik merkezli bakım elektrik iletim sistemlerinin devre dışı kalmasını en aza indirmek suretiyle, yüksek güvenlik, uygun maliyet, çevreye daha az etki ve çalışanların risk altında kalma sürelerini azaltarak çalışan güvenliğinin artırılmasını hedefler. Bu çalışmada elektrik iletim sistemlerinin bakım ve işletim faaliyetlerinin güvenilirlik merkezli bakım ön planda tutularak yapıldığında, iletim hattının belirlenen limitler içerisinde en az süre kesintiye gidebileceğini, yapılan müdahalelerin risk altında çalışma süresine etkisini gösterebilme hedefi ile Türkiye Elektrik İletim AŞ, Kayseri 11. Bölgesine ait 380 kV'lık iletim hattı 2014-2020 yılları arası arıza kayıt verilerini kullanılarak güvenilirlik analizi yapılmıştır. Çalışmada arıza verileri yük tevzi bilgi sistemi ve bölge müdürlüğü veri kayıtlarından faydalanılmıştır. Arıza verilerinin hangi istatistiksel dağılımdan geldiğini belirlemek için uyum iyiliği testi uygulanarak, verilerin dağılımlara olan benzerliği belirlenmiş ve güvenilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Fiderlerin güvenilirliğinin tüm bölgenin güvenilirliğine etkisini ortaya koyabilmek için hata ağacı analizi ile değerlendirme yapılmıştır. Düşük skorlu fiderler için yapılan bakım beklenilenin üzerinde olup, zaman maliyet, çevre ve çalışan güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Çalışma, güvenilirlik merkezli bakım faaliyetleri üzerine yapılan diğer çalışmalar benzerlik gösterirken, bakım çalışmalarında bulunan çalışanların güvenliğine üzerine etkileri yönünden benzerlik göstermemektedir. Kayıt altına alınan veriler, güvenilirlik dikkate alınarak kayıt altına alınırsa, ileride yapılacak çalışmalar için doğruluğu yüksek veriler elde edilmiş olunacaktır ve bu veriler sayesinde kolaylıkla güvenilirlik merkezli bakım faaliyetlerine geçmek kolaylaşacaktır.

Bilim Kodu	:	112302
Anahtar Kelimeler	:	Güvenilirlik, Uyum iyiliği testi, Çalışan güvenliği, Elektrik iletim hattı, Arıza veri analizi, Hata ağacı analizi
Sayfa Adedi	:	174
Danışman	:	Prof. Dr. Mehmet Rahmi CANAL

RELIABILITY ASSESSMENT OF ELECTRIC TRANSMISSION LINES AND EFFECTS ON EMPLOYEE SAFETY

(Ph. D. Thesis)

Yunus KARA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2021

ABSTRACT

Due to the development of technology, it has become inevitable that all sectors provide products and services with higher quality and higher reliability. In particular, sectors such as electric power, gas and oil pipelines, transport, telecommunications and water are expected to continue without interruption. Reliability is the ability of a system or system components to function under specified conditions within a specified time. One of the most important criteria of electricity transmission systems is to be able to keep the energy on the system continuously within the limits and to go to the least possible interruption. Reliability offers important advantages such as determining the appropriate operating range of the system and making the necessary intervention. Reliability-centered maintenance has come to the fore in order to increase the continuity, cost and efficiency of maintenance processes in electrical transmission systems. Electrical transmission systems maintenance work often occurs as corrective maintenance and is in the form of intervention when a fault occurs. While this situation damages the system and equipment, it also has many negative effects such as cost planning, increased frequency and duration of power cut, environmental damage, and putting corrective maintenance teams at greater risk. Reliability-centered maintenance ensures high safety and cost-effectiveness by minimizing the failure of electrical transmission systems, has less impact on the environment and reduces employee exposure time, and aims to increase employee safety. In this study, reliability analysis was carried out by using the fault record data of the 380 kV transmission line belonging to the 11th Region of Kayseri, Turkey Electricity Transmission Company(TEIAS), between the years 2014 and 2020 with the aim of showing that the transmission line can be interrupted for the least amount of time within the determined limits when the maintenance and operation activities of the electrical transmission systems are carried out by keeping the reliability-centered maintenance in the foreground, and that the interventions have an effect on the working time under risk. In the study, fault data, load distribution information system and regional directorate data records were used. A goodness of fit test was applied and the similarity of the data to the distributions was determined and reliability evaluation was made in order to determine from which statistical distribution the failure data came. In order to reveal the effect of the reliability of the feeders on the reliability of the whole region, an evaluation was made by fault tree analysis. Maintenance for low-score feeders is higher than expected and negatively affects time, cost, and environment and employee safety. While the study is similar to other studies on reliability-centered maintenance activities, it does not show similarity in terms of its effects on the safety of employees involved in maintenance activities. If the recorded data is recorded considering reliability, high accuracy data will be obtained for future studies and it will be easier to switch to reliability-based maintenance activities due to these data.

Science Code	:	112302
Key Words	:	Reliability, Goodness-of-fit, Employee safety, Power transmission line, Fault data analysis, Fault tree analysis
Page Number	:	174
Supervisor	:	Prof. Dr. Mehmet Rahmi CANAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, destekleyen, yönlendiren ve motivasyon veren tez danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Rahmi CANAL'a (İnönü Üviversitesi Mühendislik Fakültesi), değerli zamanlarını hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. İbrahim SEFA'ya (Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi), Doç. Dr. Fatih Emre BORAN'a (Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi), Türkiye Elektrik İletim AŞ. Kayseri Bölge Müdürlüğüne, Mühendis Seyfi YAŞAR'a (TEİAŞ Kayseri Bölge Müdürlüğü) ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

HARİTALARIN LİSTESİ xxi

SİMGELER VE KISALTMALAR xxii

1. GİRİŞ 1

2. GÜVENİLİRLİK 11

2.1. Güvenilirlik ile İlgili Kavramlar 12

2.1.1 Kalite 12

2.1.2 Güvenilirlik 13

2.1.3 Sürdürebilirlik 14

2.1.4 Kullanılabilirlik 15

2.1.5 Güvenlik ve risk 15

2.1.6 Ortalama arızaya düşme zamanı (MTTF) 16

2.1.7 Ortalama tamir süresi (MTTR) 17

2.1.8 Arızalar arası ortalama süre (MTBF) 17

2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) 18

2.2.1 Düzeltici bakım 18

2.2.2 Önleyici bakım 19

2.2.3 Kestirimci bakım 20

3. GÜVENİLİRLİK MATEMATİĞİ 21

Sayfa

3.1. Kümeler, Boolean Cebri ve Olasılık 21
3.2. Matematiksel Tanımlamalar 22
3.2.1 Olasılık yoğunluk fonksiyonu 22
3.2.2 Kümülatif dağılım fonksiyonu 23
3.2.3 Ortama değer 24
3.2.4 Laplace dönüşümü 24
4. GÜVENİLİRLİKTE KULLANILAN OLASILIK DAĞILIMLARI 25
4.1. Ayrık Olasılık Dağılımları 25
4.1.1 Binom dağılımı 25
4.1.2 Poission dağılımı 26
4.1.3 Geometrik dağılım 27
4.2. Sürekli Olasılık Dağılımları 28
4.2.1 Üstel dağılım 28
4.2.2 Normal dağılım 30
4.2.3 Log-normal dağılım 30
4.2.4 Weibull dağılımı 32
4.2.5 Gama dağılımı 33
5. HATA VERİSİ 35
5.1 Parametrik Olmayan Yöntemler 35
5.2 Parametrik Yöntemler 36
5.2.1 Uyum iyiliği testi 36
6. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ UYGULAMA ÇALIŞMASI 41
6.1 Elektrik İletim Şebekeleri 41
6.2 Arıza Verilerinin Toplanması 44

Sayfa

6.3. Verilerin Uyum İyiliği Testi 55

6.4. Güvenilirlik Değerlendirmesi 104

6.5. Hata Ağacı Analizi 146

6.5.1 Hata ağacının oluşturulması 146

6.5.2 Hata ağacının değerlendirilmesi 151

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 159

KAYNAKLAR 163

ÖZGEÇMİŞ 175

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Önemli Boolean Kuralları..... 22

Çizelge 6.1. Atatürk Güney fiderine ait 2014-2019 yılları arası arıza MTBF süreleri. 45

Çizelge 6.2. Atatürk Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri. 46

Çizelge 6.3. Tufanbeyli fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri 47

Çizelge 6.4. Kozan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri 47

Çizelge 6.5. Kozan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri 47

Çizelge 6.6. Konya4 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri 48

Çizelge 6.7. Temelli Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri. 49

Çizelge 6.8. Temelli Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri. 49

Çizelge 6.9. Elbistan A fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 50

Çizelge 6.10. Elbistan B fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri 50

Çizelge 6.11. Sincan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 51

Çizelge 6.12. Sincan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 51

Çizelge 6.13. Gölbaşı Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 51

Çizelge 6.14. Gölbaşı Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 52

Çizelge 6.15. Keban Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri. 52

Çizelge 6.16. Keban Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri. 53

Çizelge 6.17. Elbistan fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 53

Çizelge 6.18. Kangal TES fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri ... 54

Çizelge 6.19. Kayabaşı fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri..... 55

Çizelge 6.20. Atatürk Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları..... 57

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.21. Atatürk Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 59

Çizelge 6.22. Tufanbeyli Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 62

Çizelge 6.2 3. Kozan 1 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 64

Çizelge 6.24. Kozan 2 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 67

Çizelge 6.25. Konya4 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 69

Çizelge 6.26. Temelli Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 72

Çizelge 6.27. Temelli Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 74

Çizelge 6.28. Elbistan A Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 77

Çizelge 6.29. Elbistan B Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 79

Çizelge 6.30. Sincan 1 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 82

Çizelge 6.31. Sincan 2 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 84

Çizelge 6.32. Gölbaşı Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 87

Çizelge 6.33. Gölbaşı Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 89

Çizelge 6.34. Keban Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 91

Çizelge 6.35. Keban Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 94

Çizelge 6.36. Elbistan Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 97

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.37. Kangal TES Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 99

Çizelge 6.38. Kayabaşı Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları 102

Çizelge 6.39. Atatürk Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 108

Çizelge 6.40. Kozan 1 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 112

Çizelge 6.41. Kozan 2 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 114

Çizelge 6.42. Konya4 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 116

Çizelge 6.43. Temelli Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 118

Çizelge 6.44. Temelli Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 120

Çizelge 6.45. Elbistan A fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 122

Çizelge 6.46. Elbistan B fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 124

Çizelge 6.47. Sincan 1 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 126

Çizelge 6.48. Sincan 2 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 128

Çizelge 6.49. Gölbaşı Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 130

Çizelge 6.50. Gölbaşı Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 132

Çizelge 6.51. Keban Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 134

Çizelge 6.52. Keban Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 136

Çizelge 6.53. Elbistan fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 138

Çizelge 6.54. Kangal TES fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 140

Çizelge 6.55. Kayabaşı fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları 142

Çizelge 6.56. TEİAŞ 11. Bölge Tüm Fiderler için güvenilirlik değerlendirme sonuçları 145

Çizelge 6.57. Hata ağacı diyagramında kullanılan geometrik semboller ve mantık kapıları 147

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Arıza oluşumu küvet eğrisi 10

Şekil 2.2. MTTF, MTTR ve MTBF'nin vektörel gösterimi 16

Şekil 6.1. Elektrik üretim, iletim ve dağıtım şematik gösterimi 42

Şekil 6.2. Atatürk Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 57

Şekil 6.3. Atatürk Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi... 58

Şekil 6.4. Atatürk Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 58

Şekil 6.5. Atatürk Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 59

Şekil 6.6. Atatürk Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 60

Şekil 6.7. Atatürk Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi ... 60

Şekil 6.8. Atatürk Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 61

Şekil 6.9. Atatürk Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 61

Şekil 6.10. Tufanbeyli Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi ... 62

Şekil 6.11. Tufanbeyli Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 63

Şekil 6.12. Tufanbeyli Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi.. 63

Şekil 6.13. Tufanbeyli Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 64

Şekil 6.14. Kozan 1 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 65

Şekil 6.15. Kozan 1 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 65

Şekil 6.16. Kozan 1 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 66

Şekil 6.17. Kozan 1 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi . 66

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.18. Kozan 2 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 67

Şekil 6.19. Kozan 2 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 68

Şekil 6.20. Kozan 2 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 68

Şekil 6.21. Kozan 2 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi . 69

Şekil 6.22. Konya4 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 70

Şekil 6.23. Konya4 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 70

Şekil 6.24. Konya4 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 71

Şekil 6.25. Konya4 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi .. 71

Şekil 6.26. Temelli Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 72

Şekil 6.27. Temelli Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 73

Şekil 6.28. Temelli Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 73

Şekil 6.29. Temelli Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 74

Şekil 6.30. Temelli Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 75

Şekil 6.31. Temelli Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 75

Şekil 6.32. Temelli Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 76

Şekil 6.33. Temelli Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 76

Şekil 6.34. Elbistan A Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi.... 77

Şekil 6.35. Elbistan A Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 78

Şekil 6.36. Elbistan A Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi .. 78

Şekil 6.37. Elbistan A Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 79

Şekil 6.38. Elbistan B Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 80

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.39. Elbistan B Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 80

Şekil 6.40. Elbistan B Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi .. 81

Şekil 6.41. Elbistan B Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 81

Şekil 6.42. Sincan 1 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 82

Şekil 6.43. Sincan 1 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 83

Şekil 6.44. Sincan 1 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 83

Şekil 6.45. Sincan 1 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 84

Şekil 6.46. Sincan 2 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 85

Şekil 6.47. Sincan 2 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 85

Şekil 6.48. Sincan 2 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 86

Şekil 6.49. Sincan 2 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 86

Şekil 6.50. Gölbaşı Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 87

Şekil 6.51. Gölbaşı Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 88

Şekil 6.52. Gölbaşı Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 88

Şekil 6.53. Gölbaşı Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 89

Şekil 6.54. Gölbaşı Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 90

Şekil 6.55. Gölbaşı Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 90

Şekil 6.56. Gölbaşı Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 91

Şekil 6.57. Gölbaşı Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 91

Şekil 6.58. Keban Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 92

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.59. Keban Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi... 93

Şekil 6.60. Keban Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 93

Şekil 6.61. Keban Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 94

Şekil 6.62. Keban Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi. 95

Şekil 6.63. Keban Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 95

Şekil 6.64. Keban Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 96

Şekil 6.65. Keban Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 96

Şekil 6.66. Elbistan Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 97

Şekil 6.67. Elbistan Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 98

Şekil 6.68. Elbistan Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 98

Şekil 6.69. Elbistan Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi ... 99

Şekil 6.70. Kangal TES Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi ... 100

Şekil 6.71. Kangal TES Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 100

Şekil 6.72. Kangal TES Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi . 101

Şekil 6.73. Kangal TES Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 101

Şekil 6.74. Kayabaşı Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 102

Şekil 6.75. Kayabaşı Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 103

Şekil 6.76. Kayabaşı Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi 103

Şekil 6.77. Kayabaşı Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi..... 104

Şekil 6.78. Atatürk Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 106

Şekil 6.79. Atatürk Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi..... 107

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.80. Atatürk Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 107

Şekil 6.81. Atatürk Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 108

Şekil 6.82. Atatürk Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 109

Şekil 6.83. Atatürk Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 109

Şekil 6.84. Tufanbeyli fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi..... 111

Şekil 6.85. Tufanbeyli fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 111

Şekil 6.86. Tufanbeyli fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 112

Şekil 6.87. Kozan 1 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi..... 113

Şekil 6.88. Kozan 1 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 113

Şekil 6.89. Kozan 1 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 114

Şekil 6.90. Kozan 2 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi..... 115

Şekil 6.91. Kozan 2 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 115

Şekil 6.92. Kozan 2 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 116

Şekil 6.93. Konya4 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 117

Şekil 6.94. Konya4 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 117

Şekil 6.95. Konya4 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 118

Şekil 6.96. Temelli Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 119

Şekil 6.97. Temelli Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi..... 119

Şekil 6.98. Temelli Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi..... 120

Şekil 6.99. Temelli Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 121

Şekil 6.100. Temelli Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi..... 121

Şekil 6.101. Temelli Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 122

Şekil 6.102. Elbistan A fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 123

Şekil 6.103. Elbistan A fideri tehlike fonksiyonu eğrisi..... 123

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.104. Elbistan A fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 124

Şekil 6.105. Elbistan B fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 125

Şekil 6.106. Elbistan B fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 125

Şekil 6.107. Elbistan B fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 126

Şekil 6.108. Sincan 1 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 127

Şekil 6.109. Sincan 1 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 127

Şekil 6.110. Sincan 1 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 128

Şekil 6.111. Sincan 2 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 129

Şekil 6.112. Sincan 2 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 129

Şekil 6.113. Sincan 2 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 130

Şekil 6.114. Gölbaşı Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 131

Şekil 6.115. Gölbaşı Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 131

Şekil 6.116. Gölbaşı Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 132

Şekil 6.117. Gölbaşı Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 133

Şekil 6.118. Gölbaşı Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 134

Şekil 6.119. Gölbaşı Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 134

Şekil 6.120. Keban Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 135

Şekil 6.121. Keban Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 135

Şekil 6.122. Keban Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 136

Şekil 6.123. Keban Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 137

Şekil 6.124. Keban Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 137

Şekil 6.125. Keban Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 138

Şekil 6.126. Elbistan fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 139

Şekil 6.127. Elbistan fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 139

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.128. Elbistan fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 140

Şekil 6.129. Kangal TES fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 141

Şekil 6.130. Kangal TES fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 141

Şekil 6.131. Kangal TES fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 142

Şekil 6.132. Kayabaşı fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi 143

Şekil 6.133. Kayabaşı fideri tehlike fonksiyonu eğrisi 143

Şekil 6.134. Kayabaşı fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi 144

Şekil 6.135. TEİAŞ Kayseri 11. Bölge 380 kV hat şeması 148

Şekil 6.136. TEİAŞ 11. Bölgesine ait hata ağacı diyagramı 150

Şekil 6.137. VE kapısı giriş ve çıkışlarının gösterimi 152

Şekil 6.138. VEYA kapısı giriş ve çıkışlarının gösterimi 152

Şekil 6.139. Yeşilhisar TM hata ağacı diyagramı 153

Şekil 6.140. Ürgüp Kapasitör hata ağacı diyagramı 154

Şekil 6.141. Kayseri Kapasitör hata ağacı diyagramı 155

Şekil 6.142. Deçeko TM hata ağacı diyagramı 156

Şekil 6.143. Tepe olay ara olay hata ağacı diyagramı 157

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 6.1. ENTSO-E Türkiye 380 kV iletim hattı haritası 43

Harita 6.2. ENTSO-E Teiaş 11. Bölgeyi kapsayan harita..... 44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
$\cup$	Birleşim Kümesi
$\cap$	Kesişim Kümesi
s	Laplace Dönüşüm Değişkeni
λ	Sabit Hata Oranı
e	Doğal Logaritma Tabanı
D	Kolmogorov-Simirnov test istatistik değeri
W	Shapiro-Wilk Test İstatistiği
α	Anlamlılık Düzeyi
p	Kritik Değer
μ	Lokasyon Parametresi
σ	Ölçek Parametresi

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CDF	Kümülatif Yoğunluk Fonksiyonu
ENTSO-E	Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Birliği
FTA	Hata Ağacı Analizi
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
PDF	Probability Density Function
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RCM	Reliability Centered Maintenance
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	Trafo Merkezi

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
YBTS	Yük Tevzi Bilgi Sistemi

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmenin ve teknolojik gelişmelerin getirdiği yeni bir çalışma hayatının hakim olduğu ve bu çalışma hayatında hayati öneme sahip olan enerji, ulaşım, bilgi teknolojileri, telekomünikasyon ve su temini gibi alt yapıya bağlı sektörlerin kesintiye uğramadan devam etmesi istenen bir durumdur. Bu sektörlerden birinin durması çalışma yaşamının ve günlük hayatın durmasına kadar yansıması olmaktadır.

Hayati öneme sahip bu sektörlerde kullanılan tüm sistem ve ekipmanların yanında üretim ve hizmet sektöründeki bütün iş kollarında işin yapılması esnasında önem arz eden kritik sistemler, kritik araçlar ve tehlike oluşturma potansiyeli olan tüm sistem ve araçlarında istenilen düzeyde düzenli olarak çalışması beklenilmektedir.

Bir sistemin yada bileşeninin belirtilen görevleri belirli bir süre boyunca yerine getirme yeteneği [1] güvenilirlik olarak tanımlanmaktadır. Güvenilirlik tanımında her ne kadar istenilen görevi yerine getirme yeteneği şeklinde tanımlansa da güvenilirlik beraberinde güvenliği, emniyeti, ekonomiyi, verimliliği, çevresel iyileştirmeleri ve çalışanların iyilik halini sağlama gibi birçok faktörü açığa çıkarır. Güvenilirlik, bileşenlerin, ürünlerin ve büyük ve karmaşık sistemlerin en önemli kalite özelliklerinden biridir [2]. Belirtilen bu faktörler aynı zamanda rekabet edebilmede öne çıkmayı sağlamayı sağlayabildiğinden dolayı güvenilirlik değerlendirmesi daha da önemli hale getirmiştir.

Güvenilirlik bir ekipmanın veya sistemin tasarlanan ömrünü çalışma koşulları altında işlevini hatasız ve düzgün bir şekilde yapma ölçüsüdür. Bu açıdan bakıldığında ekipmanların veya sistemlerin beklenilen ömürlerinden daha kısa sürede işlevlerini yitirmeleri güvenilirliklerinin düşük olduğu anlamına gelir. Düşük güvenilirlik birçok tehlike kaynağı oluşturabileceği şeklinde yorumlanabilir. Çünkü bir ekipmanın veya sistemin beklenilenden daha kısa ömrünü tamamlaması verimini, güvenliğini, ekonomiyi ve çevresel birçok faktörü etkileyeceği kaçınılmazdır.

Problem durumu / Konunun tanımı

Güvenilirlik, bir sistemin veya sistem bileşenlerinin çalışma şartları altında beklenilen süre içerisinde görevini yerine getirme yeteneği olarak bilinmektedir. Beklenen süreden daha kısa sürede işlevini yitirmesi güvenilirliğin düşmesi anlamına gelmektedir. Düşük güvenilirlik planlanan zamandan önce sisteme veya ekipmana müdahale demektir. Sisteme erken müdahale istenen bir durum olmayıp, sistemin duraksamasına, istem dışı durmasına, çevresel sorunlara, sistemi oluşturan ekipmanların ömürlerinin kısalmasına, verimin düşmesine ve ekipmanların yenilenmesi gerektiğinden ekonomik kayıplara, erken müdahale gerektirdiği için daha fazla iş gücüne ve en önemlisi sistemin durması tehlikeli bir durumu barındıracağından dolayı güvenlik ve emniyet tehlikesi olabileceği, bu tehlike durumunda sisteme müdahale edecek kişi ve kişilerin güvenlik ve sağlık yönünden tehlikeye atabileceği sorunlarını beraberinde getirmektedir.

Modern teknoloji ile yüksek sermayeli karmaşık ve kapasitesi yüksek ekipman ve sistemler tasarlama ve üretim süreci eğilimdedir. Üretim süreçlerini garanti altına almak için bakım faaliyetlerinin geleneksel yöntem ile yürütülmesi kritik ekipmanların değiştirilmesi veya gözden geçirilmesi için daha fazla iş yoğunluğu ile yapılırdı [3]. Bakım eğer az sayıda yapılırsa maliyetli arızalar ve düşük performans neticesinde güvenilirlik azalır. Eğer çok sayıda bakım çalışması yapılırsa güvenilirlik artar ancak bakım maliyetleri çok yükselir [4]. Sistemin kesinti süresi ve planlanmamış kesintiler, tesis üretkenliğini büyük ölçüde etkiler; bu nedenle, hata teşhisi ve durum izleme ile birlikte güvenilirlik, kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve güvenlik (Reliability, Availability, Maintainability and Safety: RAMS) disiplinleri kritik sektörlerde uygulaması bir zorunluluk haline gelmiştir. Maliyet, güvenlik ve kullanılabilirlik açısından hangi bakım işleminin en uygun çözüm olduğunu belirlemek için sisteme eksiksiz bir güvenilirlik merkezli bakım (RCM) prosedürü uygulanmasıyla tespit edilir [5]. RCM daha düşük maliyetle daha yüksek performans vaad eden ve en önemli ekipmanları daha iyi şekilde muhafaza ederek güvenilirliği artırır [6].

RCM'de hedef sistemin güvenilirliğini belirleme, müdahale zamanlaması ve zayıf noktaları tespit etme olarak belirtilebilir. RCM ekipman koruması değil, sistem işlevini korumak için kullanılır [7]. RCM'nin daha az arıza ve onarım-arıza süresini azaltmak için, önleyici bakım yoluyla işlevselliği ekonomik bir şekilde koruma ve güvenliği sağlama gibi iki amacı vardır [8,9]. RCM ile yapılan bakım stratejileri sayesinde sağlık, güvenlik ve sürdürebilirlik

gelişmiştir [10]. Güvenilirlik çalışması olan çalışma yerlerinin daha güvenli çalışma ortamı sağladığı görülmüştür [11]. Bakım ve arıza çalışmaları ile kazalar arasında güçlü bir ilişki olduğu nettir [12]. RCM uygulaması ile bakım çalışması yapan firmalar ile RCM uygulaması hiç yapmayan yada çok düşük düzeyde yapan firmalara göre daha iyi güvenlik, üretkenlik, karlılık ve aynı zamanda çalışanların morali ve işe bağımlılığını artıran sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağladıklarını göstermişlerdir [13]. Bakım ve bakım çalışmaları tüm çalışanlar için ciddi potansiyeli olan bir risk kaynağı olarak düşünülmelidir [14]. Arızalara karşı hazırlıklı olma çalışan güvenliği için önemli bir kriterdir [15]. Çalışanların ve genel insanların korunması önleyici bakım çalışmaları ve güvenilirlik iki önemli olgudur [16]. Güvenilirlik iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları için önemli bir araçtır [17]. Güvenilirlik çalışmaları, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün yüksek olduğu ülkelerde daha belirgindir [18]. Bu belirtilenlerden yola çıkılarak güvenilirlik faaliyetlerinin veya güvenilirlik merkezli bakım faaliyetlerinin yerine getirilmemesi, öngörülmeyen çok sayıda arıza, bakım ve tamir çalışmalarına, çalışanların daha fazla risk altında kalmasına, bakım çalışmalarına daha fazla para ve zaman ayrılmasına ve çalışanların moral ve motivasyonunu sağlayan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının ve iş sağlığı ve güvenliği kültürünün önemsenmemesine sebep olarak sorunları artırmaktadır.

Literatür araştırması

Güvenilirlik 2. Dünya Savaşında karmaşık ekipmanların kullanıldığı ve yüksek arıza oranlarının ortaya çıkmasıyla başladı [19]. Güvenilirlik başlangıçta nükleer enerji ve havacılık gibi tehlikeli sistemlerin tasarımı ve düzenlemesine odaklanırken, sonrasında kaza önleme, güvenliği sağlama ve koruyucu bir yaklaşıma dayanmıştır [20]. Güvenilirlik neredeyse bütün mühendislik alanlarında kullanılan bir terim haline gelmiştir. [21]'de inşaat ve inşaat mühendisliği alanında kullanılan ekipman ve tesislerin güvenilirliğini incelemek ve arızaları makul bir doğruluk içerisinde ve zamanında tahmin etmek için MTBF verileri kullanılarak güvenilirlik analizini modellemiştir. [22]'de katı atık değerlendirmesinde güvenli radyoaktif bertarafı için güvenilirlik temelli risk değerlendirmesi yapılmıştır. [23] ve [24]'te uçaklar için nagivasyon ve yörüngede kalışları üzerine elektronik ekipmanların güvenilirliği, sürdürebilirliği ve güvenliği üzerine önerilerde bulunmuşlardır. [25]'te otomotiv sektörü garanti politikalarının belirlenmesi ve yedek parça yönetimi için güvenilirlik tahmini sayesinde önerilerde bulunmuştur. Ayrıca [26]'da güvenilirlik ile otomotiv sektöründe gerçek saha verileri kullanarak garanti süresinin belirlenmesinde çok

gerçekçi sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir. [27]'de bir maden işletmesindeki kırma tesisinin arıza zamanı ve onarım zamanı verileri toplanarak istatistiksel olarak güvenilirlik değerlendirmesi ile güvenilirliği artırma ve sistematik bakım planlaması yönetimi geliştirmiştir.

Mühendislik alanlarının tamamında uygulama bulan güvenilirlik elektrik-elektronik alanında da çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Elektrik-elektronik alanındaki güvenilirlik çalışmaları elektronik aygıt güvenilirliği ve güç sistemleri şeklinde ikiye ayrılabilir. [28]'de MOSFET aygıtının termal modellemesi ile arızalanma ve çevresinde bulunan diğer devre ekipmanlarına ısıtma etkisi araştırılarak güvenilirlik çalışması yapılmıştır. [29]'da transistörlerin anahtarlamadaki güvenilirliğini geliştirebilmek için transistörlerin boyutlandırılması üzerine yapılan çalışmayı sunmuştur. [30] ve [31]'de aydınlatma için kullanılan LED'lerin kullanım ömrünü belirlemeye yönelik güvenilirlik çalışmalarını sunmuşlardır. Elektrik güç sistemlerine yönelik çalışmalarda literatürde oldukça fazladır. [32] derleme makalesinde üç güvenilir veri tabanını (IEEE, Science Direct ve Web of Science) kullanarak yaptığı araştırmada güç sistemlerinin büyük ilgi gördüğünü belirtmiştir. 2007-2017 yılları arasında yapılan çalışmaları kapsayan çalışmaya göre toplamda 507 adet güç sistemlerinin güvenilirliği ile ilgili çalışma olduğunu bildirmiştir. [33]'de güç sistemleri koruma elemanlarının arızaları ve güç sistemi koruma elemanlarından kaynaklanan kesintilerin değerlendirilmesi üzerine koruma elemanları üzerine güvenilirlik modeli oluşturmuştur. [34]'te iletim hatlarının güç dağıtım noktalarında oluşan arızalar dikkate alınarak, güç dağıtım noktalarında bulunan ekipmanların önem derecelerini ortaya çıkarabilmek için hata ağacı kullanarak güvenilirlik değerlendirmesi önermiştir. [35]'te elektrik dağıtım sistemlerinin arıza ve onarım modellerini belirlemek için dağıtım sisteminin kesinti verileri kullanarak yapılan analiz ile bir dağıtım fiderinin Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı İndeksinin (SAIFI) güvenilirlik üzerine etkisi sunulmuştur. [36]'da akıllı şebeke sistemlerinin tüketici kaynaklı tüketici güvenilirlik endeksleri üzerine etkisi belirtilmiştir. [37]'de yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretim sistemlerinin güvenilirlik analizi ve toplam enerji sistemlerine etkisi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. [38]'de enerji iletim sistemleri bileşenlerinin önem sıralamasını ölçme, bakım ve yatırım planlamasında güvenilirlikten faydalanma için öneri sunmuştur.

Güvenilirlik ile elektrik güç sistemleri ve diğer birçok alanda bakım planlaması çalışması bulunmaktadır. [39]'da elektrik üretiminde zorunlu kesintilere yol açan beklenmedik arızalar

için kullanılan ekipmanların MTBF ve MTTR verileri kullanılarak önleyici bakımın düzgün bir şekilde yapılabilmesi için Güvenilirlik Merkezli Bakımın (RCM) uygun bir yaklaşım olduğunu sunmuştur. [40]'da karmaşık güç sistemlerinin bir bakım standardı oluşturmak ve işletme maliyetini azaltmak için RCM uygulaması üzerine çalışmıştır. [41]'de yüksek voltajlı transformatör merkezlerinde bakım sayısının azaltılmasının, beklenmedik kesinti sayısının artmasına sebep olduğunu bundan dolayı güvenilirlik merkezli bakım çalışmalarının önemine değinmiştir. [42]'de güç sistemlerinin güvenilirliğini geliştirmek için RCM'ye dayalı bakım stratejisi üzerine eğilmiş ve arıza verilerinin toplanarak istatistiksel yaşam süresi ile dayanıklılık arasında ilişkisi konusunda çalışmalar yapmıştır. [43]'te elektrik iletim sistemi güç transformatörleri için güvenilirlik merkezli donanım yönetimi sürecinin oluşturulması, geliştirilmesi ve bakım planlamasının maliyet-etkin bir şekilde işletilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Güvenilirlik çalışmalarında değerlendirme sürecinde istatistiksel yöntemlere sıklıkla başvurulmuştur. [20]'de kaza senaryolarını olasılık yaklaşımları ile değerlendirme sistem güvenilirliği için etkili bir yol olmuştur ve güvenilirlik mühendisliği kaza senaryolarının meydana gelme olasılığının değerlendirilmesinde en uygun rolü üstendiğini belirtmiştir. [44]'te olasılıksal yaklaşımları kullanarak ön tasarım sırasında güvenilirlik hesaplamaları çalışmıştır. [45]'te iki parametreli weibull modeli ile atık su arıtma tesisinde işletme ve bakım maliyetlerini en aza indirmek için güç üretim sistemi güvenilirliğini değerlendirmiştir. [46]'te aynı marka ve modele sahip yirmi dört dizel kompresörün MTBF ölçüsü kullanılarak iki parametreli weibull dağılımı ile güvenilirlik değerlendirmesi ve beklenen ilk hata zamanını tahmin etmiştir. [47]'da elektrikli araçların güç dağıtım sistemlerinin güvenilirlik performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir olasılık yaklaşımı önermiştir. [48]'de dağıtım transformatörlerinin geçmiş arıza verilerini kullanarak bileşen güvenilirliğini hesaplayabilmek için weibull dağılımlı istatistiksel güvenilirlik modeli önermiştir. [49]'de güvenilirlik değerlendirmesinde kullanılan log-normal, weibull, gama ve üstel dağılımlar arasında en uygun modeli bulmaya yönelik çalışmayı gerçekleştirmiştir. [50]'da güvenilirlik değerlendirmesinde öneme sahip olan ve pozitif çarpıklık gösteren verilerin değerlendirilmesinde kullanılan weibull, log-normal ve genelleştirilmiş üstel dağılımlar arasındaki ayrımı incelemiştir. [51]'de bir trafo merkezinde ekipman arızası ve ömrünü tamamlayan ekipmanların değişimi için arıza sıklığı üzerinden güvenilirlik değerlendirilmesi önerilmiştir.

Bir sistemin ekipmanlarının oluşturduğu arızaların tüm sistemin güvenilirliğine verdiği etkilerin değerlendirilmesi hata ağacı analizi (FTA) ile gerçekleştirilir. [52]'de demiryolu güç sistemlerinde, güvenilirliğin tüm sistem düzeyinde değerlendirilmesi ve kritik bileşenleri belirleyebilmek için hata ağacı analizi kullanılmış ve güç sistemlerinin güvenilirlik ve bakım faaliyetlerinde kritik bileşen etkisinin önemi vurgulanmıştır. [53]'de sürekli çalışan üretim tesisinde kritik bileşen tespiti için hata ağacı analizi ile niteliksel değerlendirme yapmıştır. [54]'te hata ağacının sistem içerisindeki her bir bileşenin hata olasılıklarından sisteme olan etkisinin olasılığını belirleme için hata ağacı modeli geliştirmiştir. [55]'te bir gaz boru hattının arıza verileri ile temel olayların, en üst olayın başarısızlığa neden olma olasılığını hata ağacı ile değerlendirmiştir. [56]'te özellikle otomotiv sektöründe geri çağırmalara neden olan ürünün bir bileşeninin veya alt sistemlerinin arızalanmasından kaynaklanan sorunların, bilgisayar destekli bir hata ağacı yöntemi oluşturup, bu yöntemin tasarım mühendisleri için destekleyici olduğunu belirtmiştir.

Araştırmanın amacı

Bir sisteme gerek bakım sayısını artırarak gerekse arıza oluşması sebebiyle planlanandan önce müdahale edilmesi, ekonomik kayıplara, daha fazla iş gücüne, daha fazla malzeme kullanımının yanında bakım ve arıza için çalışanların tehlike altında çalışması daha fazla risk oluşumuna sebep vermektedir. Sistemin arıza yapmadan uzun ömürlü çalışması verim ve maliyetin yanında çalışan sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenli bir ortam sağlayabilmek için RAMS önem kazanmıştır. RAMS önleyici bakımın temel ilkesi olup, bakım süresini, arıza sayısını ve risk seviyesini düşürmede, sistem çalışma süresini uzatmada etkilidir. RAMS çalışmalarının önleyici avantajı sayesinde, çalışanların sağlığı ve güvenliği proaktif önleme yaklaşımı ile örtüşmektedir. RAMS çalışmalarının en önemli adımı RCM çalışmalarıdır. RCM, bakımı planlarken güvenirliğe odaklanan, önleyici ve düzeltici bakım arasında bir denge bulan, en uygun maliyetli çözüme ulaşmak için doğru zamanlama yapan yapısal bir yaklaşımdır [57]. Sisteme önleyici bakım ile müdahale zamanı, gözleme dayalı bir çalışma ile belirlenebilir [58]. Böylelikle bakım sıklığı uzatılır ve maliyetler arasında bir denge kurulur [9].

RCM'nin önleyici bakım faaliyetleri yoluyla güvenliği ve işlevselliği en ekonomik şekilde sağlama gibi temel amacı vardır [59]. RCM'nin uygulanması açık bir şekilde güvenilirliğin

analiz edilmesi ile sağlanır [60]. Bir sistem veya sistemi oluşturan ekipmanların güvenlik veya arıza kaynaklı bir kesinti meydana getiren olaylar bir dizi oluşturacaktır. Oluşan bu olaylar dizisinin olasılıksal yöntemlerle, meydana gelme olasılığının tahmini olarak yapılan güvenilirlik analizi güvenlik ve maliyeti olumlu yönde etkiler [60]. Geçmiş verilerin kayıt altına alınması, özellikle tamir edilebilir sistemlerde arızalar arası ortalama süre (MTBF) ve ortalama tamir süresi (MTTR) güvenilirliği ölçme için önemli parametrelerdir [60-66].

Güvenilirlik çalışmalarda kullanılan verinin kalitesine bağlıdır. Sistem güvenilirlik modelleri veri dizisinin istatistiksel dağılım modellerine uyarlama amacı ile olasılık teorisine uyarlanmasıdır. Modelleme işlemi veri analizi ile oluşturulur. Veri analizinin amacı güvenilirlik fonksiyonu ve tehlike fonksiyonu elde etmektir. Parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerle yapılan analizlerde, parametrik olmayan yöntemlerle veri dizisinin az veya olmadığı durumlarda saha gözlemlerine dayanan ve uygulanması kolay olan yöntemdir. Parametrik yöntemlerde ise istatistiksel bir modelleme için uyum iyiliği testi gereken ve çoğunlukla tercih edilen yöntemdir [67-69].

Elektrik iletim hatlarının sürekli enerjili kalması istenir. Hat üzerindeki enerjinin kesilmesi istenmeyen durumdur. Hatların sürekli enerjili kalmasını sağlamak ve mümkün olan en kısa sürede kesintiyi bitirmek esastır. Belirtilen koşulların sağlanması güvenlik ve ekonomik ikilem arasında kalmaktadır. Elektrik iletim hatlarının sürekliliğini sağlayabilmek için kestirimci bakım çalışması yapmak daha doğru olacaktır. Kestirimci bakım için güvenilirlik çalışması yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmanın amacı TEİAŞ Kayseri 11. Bölgesi sorumluluğunda bulunan elektrik iletim hatlarının arıza kayıtları kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapılması ve mevcut sisteme müdahale ile güvenilirlik değerlendirmesi arasındaki sisteme müdahalenin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Mevcut bakım ve onarım çalışmalarında sisteme müdahale gereğinden önce veya gereğinden sonra yapılıyor olması ekonomik kayıplara ve çalışanların risk altında çalışma süresinin uzamasına sebebiyet verebileceğinin gösterilmeye çalışılmasını hedeflemektir.

Araştırmanın önemi

Güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken parametrik yöntemlere başvurmak doğru sonuçlara ulaşmak için daha iyi bir yaklaşımdır. Parametrik yöntem adından da anlaşılacağı gibi parametrelerle karakterize edilir. Parametreler pratikte bilinmemektedir ve bu nedenle

verilerden tahmin edilmelidir [70]. Güvenilirlik zamana bağımlıdır [71]. Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde IEEE P1366 standardında belirtilen SAIDI, CAIDI, SAIFI, CAIFI ve MAIFI gibi kullanım yerleri farklı zamana bağlı güvenilirlik endeksleri vardır [72, 73]. Belirtilen endekslere ulaşabilmek için en yaygın olarak kullanılan MTBF ve MTTR değerleri ile bir veri seti oluşturularak olasılıksal tahmini ile güvenilirlik değerlendirilmesinde kullanılır [70, 73-76]. Oluşturulan veri setinin bir dağılım modeline uyup uymadığının testi, uyum iyiliği testi ile gerçekleştirilir [77-79]. İyi uydurulmuş bir dağılım modeli ile model parametrelerinin tahmini, sistem davranış sürecini tahmin etme ve güvenilirlik değerlendirmesine olanak sunar [70, 80, 81]. Uygun dağılım ve parametreler tahmin edildikten sonra güvenilirlik oranı, hata oranı ve ortalama hataya düşme gibi güvenilirlik değerlendirmeleri gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada veri seti oluşturmak için TEİAŞ Kayseri 11. Bölge elektrik iletim sistemine ait arızalar arası süre olan MTBF verileri mevcut arıza kayıtlarından ayıklanarak elde edilmiştir. Çalışmada 380 kV iletim hattının seçilmesinin nedeni 154 kV'luk iletim hatlarına göre 380 KV'luk iletim hatlarının önem seviyesinin yüksek olması ayrıca dağıtım hatları ve üretim sistemlerine göre arıza kayıtlarının düzenli olması ve dağıtım hatlarına göre insan faaliyetlerinden daha az etkilenmelerinden dolayı iletim hattı çalışmada tercih edilmiştir. TEİAŞ mevcut arıza ve bakım çalışmalarını geleneksel yöntemlerle yapmaktadır. Geleneksel yöntemle yapılan çalışmalarda farklı amaçlar içinde olsa da birçok veri kayıt altına alınmıştır. Ancak önleyici bakım veya güvenilirlik merkezli bakım çalışmaları yapılmadığı için harici bir veri kaydı oluşturulmamıştır. İletim hattı bakım çalışmaları güvenilirlik merkezli yapıldığında ekonomik, zaman ve çalışanların güvenliği ve iyilik hallerinin sağlanması gibi birçok avantaj sunmaktadır. 11. Bölge arızalar arası zaman verileri kullanılarak geleneksel yöntemle yapılan bakım çalışmalarındaki veriler ile güvenilirlik değerlendirmesi yaparak bir farkındalık oluşturma ve farklılıkları ortaya çıkararak bakım çalışmalarındaki eksikliği gösterebilme ve güvenilirlik merkezli çalışmaların sunduğu fırsatları gösterebilmenin önemi belirtilmeye çalışılmıştır.

Varsayımlar / Sayıltılar

Sistemin arıza kayıtlarında çok kısa süreli (bir dakikadan daha kısa) arıza kayıtları sistem tarafından arıza kaydı olarak kaydedilmiş olup, tekrar hiçbir müdahale gerektirmeden sistem normale dönmüş olduğu için bu arızalar göz ardı edilmiş ve güvenilirlik değerlendirmesine

etkisi yansıtılmamıştır. Ayrıca ekipman ömründe erken arıza ve yıpranma süreçleri bilinmediğinden bütün arızaların faydalı ömür süresinde olduğu varsayılmıştır.

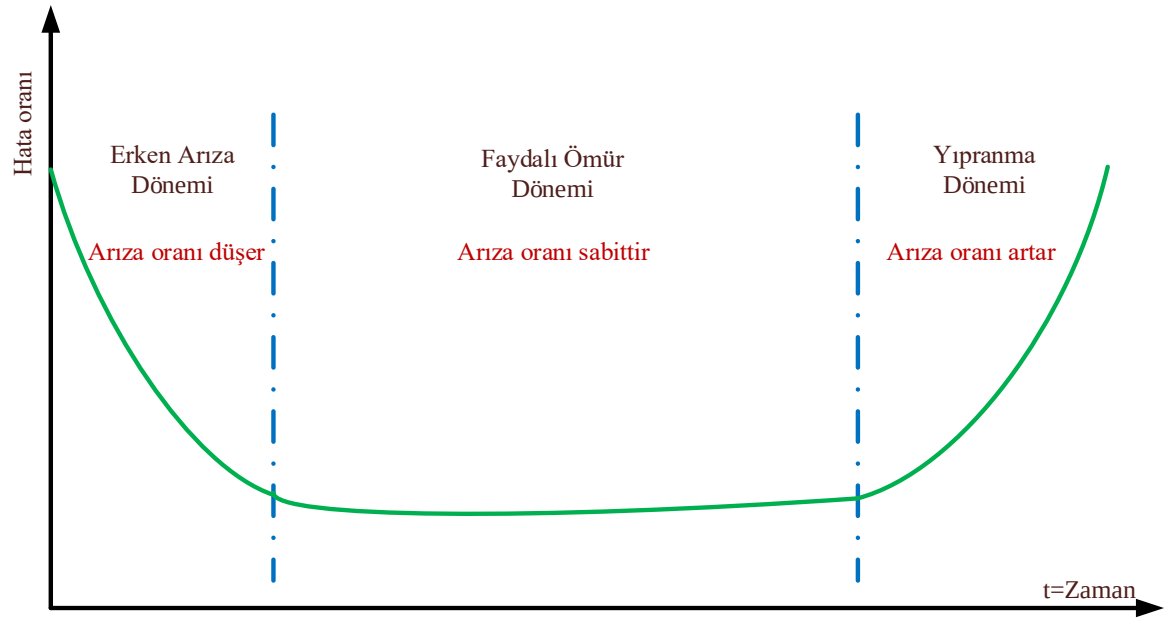
Sınırlılıklar

Çalışmada özellikle veri elde edilmesi sürecinde arıza kaynağının nedeni, hangi ekipmanlarda olduğu, yük miktarı, erken arıza döneminde mi, yıpranma döneminde mi yoksa faydalı ömür döneminde mi meydana geldiği, ayrıca mevsimsel, meteorolojik ve coğrafi bilgilerin eksikliğinden dolayı arızalar bir bütün olarak değerlendirilmiş ve belirtilen sınırlılıklar dahil edilmemiştir. Ayrıca çalışma bölgesinde elde edilen MTBF verilerinin niteliği açısından olasılıksal olarak güvenilirlik değerlendirmesine uygun olduğundan, çalışmada istatistiksel yaklaşım olarak güvenilirlik değerlendirmesi uygulanmış, diğer güvenilirlik yaklaşımlarına başvurulmamıştır.

2. GÜVENİLİRLİK

Mühendislik tasarımı ile oluşturulan sistemlerin belirli bir süre sonrasında arızaya düşmesi kaçınılmazdır. Arızalar; küçük maliyetli sorunlardan kişisel yaralanmalara, önemli ekonomik kayıplara, tekil ve çoğul ölümlere ve önemli çevresel etkilere sebep olabilir. Arızaların nedenleri; insan kaynaklı hatalar, mühendislik tasarım hataları, yanlış kullanım ve yetersiz veya yanlış bakım yöntemlerinden kaynaklanır. Bir ürünün veya hizmetin tüm tarafları arızanın oluşumunu geciktirme ve tekrarını azaltmaya çalışırlar. Mühendislik sistemlerinde arızaların neden ve nasıl meydana geldiğini bilmek ve ne sıklıkla meydana gelebileceğini tahmin etmek önemlidir. Güvenilirlik arızaların minimum düzeyde olmasını sağlamak amacıyla arıza ve emniyet kavramları ile ilgilenir. Güvenilirlik performansın artırılması için arıza olasılıklarından faydalanarak oluşabilecek riskli sonuçları azaltmaya yönelik çalışmalara yönelir.

Güvenilirlik tüm mühendislik alanlarında kendine yer bulmuştur. Bütün mühendislik sistemlerinde arızaların birçok nedeni vardır. Güvenilirlik değerlendirilmesinde ana hedef başarısızlıkları araştırmak, ölçmek, karakterize etmek ve analiz etmektir.



Şekil 2.2. Arıza oluşumu küvet eğrisi

Bir ürünün veya ekipmanın yaşam karakteristiği küvet eğrisi olarak adlandırılan eğri ile karakterize edilir. Küvet eğrisi güvenilirlik teorilerinde yer alan “erken arıza”, “faydalı ömür” ve “yıpranma” olarak adlandırılan üç evreden oluşur [82]. Şekil 2.1’de gösterilen küvet eğrisinde birinci aşama olan erken arıza döneminde üretim hatası ve doğası gereği zayıf elemanlar nedeniyle oluşan hızlı arızalardır, ikinci aşamada arıza oranı hızla düşer ve oldukça sabit hale gelir, üçüncü aşamada ise yıpranma nedeniyle tehlike oranı tekrar yükselir [81]. Güvenilirlik çalışmalarının çoğunluğu ikinci aşamaya odaklanmıştır [83]. Birinci ve üçüncü aşama için hata değerlendirmesi çok karmaşık durumlar olup değerlendirme aşaması sekiz parametre ile değerlendirilecek kadar karmaşık yapıya sahiptir [84]. Birinci aşama daha çok kalite kontrol uygulamaları kullanılarak hata oranını düşürme çalışması yapılarak güvenilirlik artırılmaya çalışılmaktadır. İkinci aşamada ise mevcut güvenilirliği bulamak için ölçme, değerlendirme ve iyi bakım uygulamaları en uygun çözüm yöntemidir. Bir malzemenin veya bir ekipmanın doğası gereği zamanla ömrü azalacağından dolayı hata(arıza) oranları artacak ve paralelinde güvenilirlik düşecektir. Buradan anlaşılacağı üzere hata oranı ile güvenilirlik birbirlerine ters orantılı durumlardır. Güvenilirliği yüksek tutabilmek için sistem hataya düşmeden müdahale yaparak sağlanır. Müdahale zamanı gelişi güzel olarak yapılmaktansa öngörme yapılarak müdahale edilmesi daha doğrudur.

2.1. Güvenilirlik ile İlgili Kavramlar

2.1.1. Kalite

Uluslararası standardizasyon örgütü (ISO), kaliteyi “bir ürün veya hizmetin belirtilen veya beklenilen ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetine dayanan ve değer katan; davranış, tutum faaliyet ve proses ile sonuçlanan bir kültürü tanımlar [85]. Kalite yapısal özellikler takımının şartlarını yerine getirme derecesi, kullanıma ve şartlara uygunluktur [86]. Güvenilirlik açısından bakıldığında ekipmanların kalibrasyonu, hata tespiti ve düzeltilmesi gibi bir sıra prosedür hakkında güvence sağlar. Kalite prosedürleri iyi bir şekilde izlendiği ve uygulandığı sürece, etkili bir kalite süreci izlendiği ve böyle bir organizasyonda hizmetlerin iyileşmesi ve düzeltici, önleyici eylemlerde bulunma olasılığı artacaktır. Ancak prosedürler iyi uygulanmazsa sadece belgelendirme yapmaktan öte geçemeyecektir.

Uluslararası standardizasyon örgütü ürün veya hizmetin nasıl sürekli iyileştirileceği ve sürekli aynı kalitede devam edeceğine dair standartlar yayınlar. Bugün dünya genelinde

yüzlerce ülkede milyonlarca kuruluş tarafından ISO standartları uygulanmaktadır. Kalite standartlarının uygulanmasında en önemli amaç sürekli aynı kalitede kalmaktır. Değişkenlik kalite ve güvenilirliğin düşmanıdır [87]. Dolayısıyla süreci kontrol etmek ve iyileştirmek hem kaliteyi hem de güvenilirliği artırmak için yararlı olmuştur. Ancak güvenilirliğin sadece kalite yaklaşımları ile iyileşemeyeceği özellikle istatistiksel araçlarla güvenilirlik çalışmalarında önemli rol oynamaktadır.

2.1.2. Güvenilirlik

IEEE standart sözlük tanımına göre güvenilirlik "bir sistem veya sistem bileşeninin, belirtilen işlevleri belirtilen şartlar altında belirli bir süre boyunca yerine getirme yeteneği"[1] olarak tanımlanır. Tanımdaki unsurlar; yetenek, belirtilen işlev, şartlar ve belirli süredir. Belirtilen işlev performansla ilgilidir, belirtilen şartlar genellikle çevresel çalışma şartlarına atıfta bulunur, belirli süre beklenen operasyon süresini sağlayan görev süresi olarak adlandırılır.

Matematiksel olarak güvenilirlik, rastgele bir arızaya kadar geçen sürenin (T), görev süresine (t) eşit veya büyük olma olasılığıdır. Tanımlanan Güvenilirlik Eşitlik 2.1'de gösterilmiştir.

$$R(t) = P(T > t) \qquad t \geq 0 \tag{2.1}$$

Arıza olasılığı, F(t), sistemin t anında başarısız olma olasılığı olarak tanımlanır. F(t) genellikle Arızaların Kümülatif Dağılım Fonksiyonu olarak tanımlanır [88]. Arızanın kümülatif yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 2.2'de gösterilmiştir.

$$F(t) = P(T \leq t) \quad t \geq 0 \tag{2.2}$$

F(t), arıza olma olasılığı, güvenilirlik ise hayatta kalma olasılığı olduğuna göre birbirlerini tamamlayan faktörlerdir. Bu ifade matematiksel olarak Eşitlik 2.3'te gösterilmiştir.

$$R(t) = 1 - F(t) \tag{2.3}$$

F(t) fonksiyonun türevi; olasılık yoğunluk fonksiyonu eşdeğeri olan arıza yoğunluk fonksiyonu f(t)'yi verir. Bu ifade Eşitlik 2.4'te verilmiştir.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \tag{2.4}$$

Arızaların giderilme süreci tasarımdan başlayıp, üretimi, yapımı ve çalıştırılması gibi tüm süreçleri kapsar. Dolayısıyla tasarımcılar, üreticiler ve kullanıcılar arızanın oluşumunu ve sıklığını azaltmaya çalışırlar. Bazı tasarımlarda bozulma süreci tam anlaşılmamaktadır. Dolayısıyla bozulma süreci doğası gereği olasılıksal bir süreçtir.

Güvenilirlik ölçütleri genellikle; arıza oranı/sıklığı, arızaya kadar geçen ortalama süre, arızalar arasındaki ortalama süre vs'dir. Güvenilirlik imalat, enerji, ulaşım, sağlık, iletişim ve askeri uygular gibi çok geniş mühendislik alanlarında başvurulan disiplinler arası bir çalışma alanıdır.

Güvenilirlik ile kalite arasındaki kavramsal farkı anlamak önemlidir. Kalite t=0 anında yani çalışmaya başlamadan önce yapılan çalışmalar, güvenilirlik ise çalışma esnasında zaman içerisindeki kalite olarak yorumlanmaktadır [67].

2.1.3. Sürdürebilirlik

Bir sistem veya sistemi oluşturan elemanın belirli bir süre içerisinde onarılabilme olasılığı olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle sürdürebilirlik arızalanan ekipmanın ilk durumuna dönme olasılığıdır [89].

Arıza oluştuktan sonra düzeltici bakım olarak adlandırılan bakım ile bir sistemi ya da sistemi oluşturan ekipmanların işlevini yerine geri getirebilecek bakım uygulamaları ile sağlanmaktadır. Sürdürebilirlikte arıza olasılığını azaltmak veya arızaları azaltmak için önleyici veya öngörücü bakımda kullanılabilir.

Önleyici bakım maliyet politikalarına dayalı, arıza oranlarıyla ekipman arızalanmasının üstesinden gelebilen düzeltici bakım metodolojisine göre yenilikçi ve avantajlar sunan bir metodolojidir [90]. Düzeltici bakım sadece onarım ihtiyaçlarını karşılarken, önleyici bakım; onarım maliyetini, kesinti süresini, bakımın etkisini ve bakımdaki kusurları bulmaya yönelik

ihtiyaçları karşılar. Bu açıdan bakıldığında düzeltici bakıma olan ihtiyacı azaltmak önleyici bakım metodolojisi uygulanması gerekir.

Güvenilirliği artırmak ve arıza oranını azaltmak için bakım stratejilerinin bilimsel yöntemlere dayanması önemlidir. Her iki bakım stratejisinin uygulanacağı durumlar olacaktır. Güvenirliğe dayalı bakım stratejilerinin birleştirilmesi ile arıza süresi azaltma ve maliyeti azaltmaya yönelik fırsatçı ve kestirimci bakım stratejileri geliştirilmiştir[91].

2.1.4. Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik bir ürünün veya bir sistemin çalışır durumda olma olasılığıdır. Tamir edilemez sistemlerde kullanılabilirlik ile güvenilirlik aynı olasılıklara sahiptir. Ancak tamir edilebilir sistemlerde, arıza oluştuktan sonra onarım ile tekrar hizmete alınabilir, böylelikle arızanın etkisi ortadan kaldırılır. Tamir edilebilir sistemlerde güvenilirlik değişmez ancak kullanılabilirlik değişir. Tamir edilebilir sistemlerde güvenilirlik ve bakım artırılarak maksimum kullanılabilirlik elde edilebilir [89].

Bir sistemin kullanılabilirliği büyük A harfi ile edilip Eşitlik 2.5'te gösterilmiştir.

$$A = \frac{Çalışma\ Süresi}{Çalışma\ Süresi + Kapalı\ kalma\ Süresi} \tag{2.5}$$

Çalışma süresi sistemin güvenilirliğine bağlıdır, kapalı kalma süresi ise bakıma bağlıdır. Bu nedenle kullanılabilirlik hem güvenilirlik hem de sürdürebilirlik ile ilişkilidir. Sistemlerin güvenilirliğini, sürdürebilirliğini ve kullanılabilirliğini belirlemek için güvenilirlik merkezli bakım kullanılan tekniklerden en önemlisidir [92].

2.1.5. Güvenlik ve risk

Güvenlik kişisel koruma, ekipman koruma ve çevre koruma olmak üzere üç koruma görevi üstlenir. Bu bağlamda güvenlik insan koruması ve belirlenen görev gereksinimlerine göre ekipman ve çevrenin hasar görmesini engellemek olarak tanımlanır [93]. Yeterli güvenlik seviyesine ulaşma iş güvenliğinin kilit adımıdır. Güvenliği sağlamak için risk değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Modern iş güvenliği çalışmalarında proaktif

yaklaşımlar önem kazanmıştır. Proaktif yaklaşım bir arıza veya kaza olmadan önleme politikası ile değerlendirme yapmaktır.

Risk en basit olarak iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanır. Eşitlik 2.6'da görüldüğü üzere olayların beklenen sıklığı(olasılığı) ve olayların beklenen şiddeti ile hesaplanır[94].

$$Risk = Olayların\ Beklenen\ Sıklığı\ x\ Olayların\ Beklenen\ Şiddeti \tag{2.6}$$

Risk ve güvenlik birbiriyle ilişkilidir. Risk ne kadar yüksekse güvenlik o kadar düşüktür. Risk değerlendirmesi, mühendislik uygulamalarında neredeyse hiçbir ayrım olmaksızın güvenlik değerlendirmesi olarak ta adlandırılır [67]. Düşük güvenlik güvenilirliği, sürdürebilirliği ve kullanılabilirliği etkileyen etmendir. Düşük güvenlik güvenilirliğin ana hedefi olan ekonomiklik ve çalışanın ve çevrenin güvenliğinin düşmesine sebep olacaktır.

2.1.6. Ortalama arızaya düşme zamanı (MTTF)

Bir arıza oluşmadan önce sistemin başarılı bir şekilde çalışması için beklenen (ortalama) süredir [88, 95]. Güvenilirlik aslında bir arıza yoğunluğu işlevi olduğundan, güvenilirlik işlevinin yapılabilmesi için ortalama süre, yani bir arızanın ortaya çıkması için geçen ortalama süre olup, arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF olarak bilinir[96]. Bir rastgele değişkenin ortalama veya beklenen değeri olasılık yoğunluk fonksiyonun integralidir[88]. Bu ifade Eşitlik 2.7'de gösterilmiştir.

$$MTTF = \int_0^\infty t.f(t)dt \tag{2.7}$$

Burada; f(t)= olasılık yoğunluk fonksiyonu, t: zamandır.

Eşitlik 2.7'deki f(t) yerine eşitlik 2.4'deki f(t) eşitliği yazılırsa, Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9 elde edilir.

$$MTTF = -\int_0^\infty t.R(t)dt \tag{2.8}$$

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \tag{2.9}$$

2.1.7. Ortalama tamir süresi (MTTR)

Bir ekipman parçası veya bir sistem arızalandığında hizmet dışı kalır. Tamir edilinceye kadar veya değiştirilinceye kadar ekipman veya sistem kullanılamayacaktır. Onarım veya değiştirme yoluyla geçen süre onarım süresi olarak adlandırılır. Arıza durumu ortaya çıktığında sistem çalışır durumdan, çalışamaz duruma geçecektir. Onarım aracılığı ile sistemi tekrar çalışır duruma getirmek için geçen süre; Ortalama Tamir Süresi, MTTR olarak adlandırılır[96].

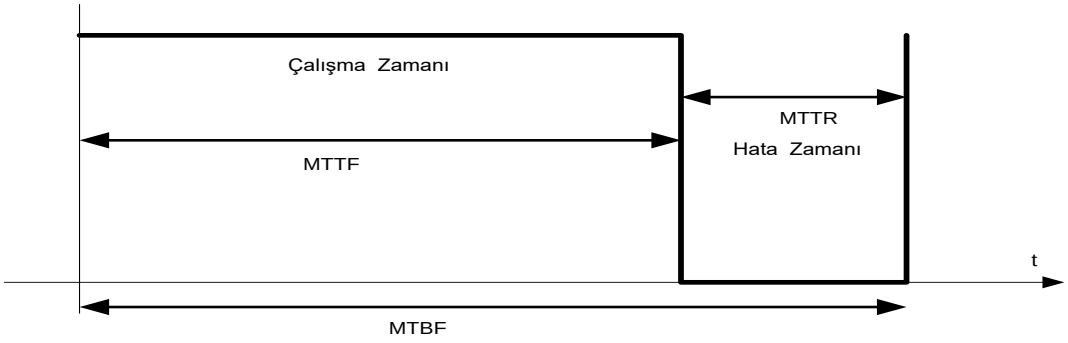
2.1.8. Arızalar arası ortalama süre (MTBF)

Arızalar arası ortalama süre bir çok endüstride kullanılan en yaygın güvenilirlik terimidir [97]. Arızalar arası ortalama süre güvenilirlik ve kullanılabilirlik gibi birçok kavramın değerlendirilmesinde kullanılan temel veridir. Arızalar arası ortalama süre saat birimiyle ifade edilir. MTBF değeri ne kadar büyükse, ürün veya sistemin güvenilirliği o kadar yüksektir. Güvenilirlik ve MTBF arasındaki ilişki Eşitlik 2.10'da gösterilmiştir [97].

$$R = e^{-\left(\frac{zaman}{MTBF}\right)} \tag{2.10}$$

MTBF aktif bakım stratejilerinin uygulandığı bakım tekniklerinde kullanılmaktadır, ayrıca MTBF verisi, saha veri ölçümleri veya saha arıza verileni kullanır [98].

MTBF, ortalama tamir süresi, MTTR ve Ortalama arızaya düşme zamanı, MTTF'nin toplamından oluşur. $MTBF = MTTF + MTTR$



Şekil 2.3. MTTF, MTTR ve MTBF'nin vektörel gösterimi

MTBF, MTTF ve MTTR önemli güvenilirlik ölçütleridir [99]. MTBF onarılabilir sistemlerde genellikle değiştirebilir sistemlerdeki MTTF ile karıştırılmakla birlikte, MTTR'nin onarılabilir sistemlerdeki hesaplama zorluğu ve MTTR'nin MTTF'ye göre çok çok küçük olduğundan dolayı onarılabilir sistemlerde MTTF=MTBF olarak kabul edilir [98, 100]. Dolayısıyla onarılabilir sistemlerde MTTF yerine, MTBF yazılabilir [64, 101].

2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM)

1970'li yıllarda ABD ordusu tarafından benimsenen güvenilirlik merkezli bakım (RCM), sistem işlevini ve arıza modunu sistematik olarak dikkate alır ve güvenilirlikle ilgili kriterlere dayalı olarak önleyici bakım görevlerini optimize eder. Güvenilirlik merkezli bakım uçak endüstrisinde maliyet azaltma ve kullanılabilirliği iyileştirme başarısı, onu petrol, enerji ve nükleer endüstri gibi bir çok sektörde yaygın olarak uygulanabilir hale getirmiştir [102]. RCM üretim tesislerinde kullanılmasının ardından, son zamanlarda elektrik gücünün iletimi ve dağıtımı için RCM metodolojisinin araştırılması desteklenmeye başlanmış olup, RCM'nin kökeni bakım planı ve başarısızlık üzerine kurulmuştur [103]. Günümüzde bakım kaçınılmaz bir maliyet kaynağı olup, ürün kalitesini artırmada, tesis güvenilirliğini sağlamada faydalar sunarken toplam üretim maliyetine %15-%70 gibi bir yük bindirir. Dolayısıyla iyi bir bakım politikası seçilmelidir [104]. Literatürde en çok kullanılan bakım türleri; düzeltici, önleyici ve kestirimci bakımlardır.

2.2.1. Düzeltici bakım

Düzeltici bakımın ana özelliği sadece bir arıza meydana geldiğinde eylem gerektirmesi, arıza meydana gelene kadar herhangi bir müdahale olmamasıdır [104, 105]. Düzeltici bakım maliyet açısından en kötü yöntem olmasına rağmen, geçmiş yıllarda uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmiş ve halen günümüzde pek çok endüstriyel uygulamalarda uygulama alanı bulabilmektedir [43]. Düzeltici bakım doğası gereği sadece arıza olduğunda müdahale gerektirdiği için reaktiftir [106]. Arızalı bir lambanın değiştirilmesi, kopmuş bir borunun onarımı ve durmuş bir motorun onarımı düzeltici bakıma örnektir.

Düzeltici bakımın avantaj ve dezavantajları maddeler halinde yazılabilir[43]. Bunlar;

Üstünlükleri:

- Makineleşmemiş endüstriler için düşük maliyet,
- Az insan gücü gereksinimi,

Sakıncaları:

- Beklenmedik anda oluşan arızanın getirdiği parasal kaybın yüksekliği,
- Plansız arızanın neden olduğu iş gücü kaybının yüksekliği,
- Plansız arızanın neden olduğu başka arızaların varlığı,
- Zaman kaybı,
- Değişim veya onarım bedelidir.

2.2.2. Önleyici bakım

Önleyici bakım bileşen güvenilirlik özelliklerine dayanmaktadır. Söz konusu bakım elemanının davranışını analiz etmeyi ve bakım mühendisleri için bir bakım programı yapmaya olanak sunar. Önleyici bakım, arıza oranlarıyla ilgili bir sıklıkta kontrol, değiştirme ve revizyon belirler ve özellikle bileşen aşınması ile ilgili sorunların üstesinden gelir [104]

Önleyici bakım, cihazların ve sistemlerin, üretici firmalarının öngördüğü periyodik aralıklarla, öngörülen şekilde gerçekleştirilen ve arıza oluşumunu geciktiren bir koruyucu bakım işlemidir. Test, ölçme, ayarlama, parça değiştirme gibi faaliyetlerin genel adı olarak da bilinir. Önleyici bakımın onarıcı bakımdan, en büyük farkı, bakım yapmak için arıza olmasının beklenmesine gerek olmamasıdır. Tahribatsız deneyler, periyodik kontrol ve önceden bakım planlama gibi teknikler, önleyici bakım görevlerine örnek olarak verilebilir. Önleyici bakım, onarıcı bakıma göre malzeme ve sistem ömrünün, tahminlere daha yakın değerde olmasını sağlayabilme açısından daha uygun bir bakım yöntemi olarak düşünülür [43].

Üstünlükleri:

- Malzeme veya sistem ömrünün uzaması,
- Enerjide ve zamanda kazanç sağlaması,

- Donanıma veya sisteme bağlı arızaların azalması,
- Kesintisiz üretime olanak sağlaması,
- Onarıcı bakıma göre daha karlı olması.

Sakıncaları:

- Beklenmedik arızalar meydana geldiğinde onarıcı bakıma gerek duyulması,
- Planlı ve yoğun çalışma gerektirmesi,
- Gereksiz donanım bakımının yapılma olasılığı ve buna bağlı olarak zaman kaybı, insan gücü kaybı ve para kaybı olasılığı.

2.2.3. Kestirimci bakım

Kestirimci bakım, öncelikle bakım çalışmalarını daha proaktif hale getirmek için arıza belirtilerini erken tespit ederek bakımı yapılacak sistemin arızasını öngörmeyi içerir [107]. Kestirimci bakım, güvenilirlik, emniyet, kullanılabilirlik, verimlilik, kalite, çevre ve çalışan güvenlik ve sağlığını korumak için birçok sektör tarafından benimsenmiştir. Kestirimci bakım, ölçme, gözlemleme, ve arızaların meydana gelme olasılığı saptanarak arıza olmadan bakım yapılmasıdır [43].

Kestirimci bakımın diğer yöntemlere göre üstünlükleri maddeler halinde yazılabilir [43]. Bunlar;

- Önleyici bakıma göre %12 -%18 oranında daha ekonomiktir,
- Ürün kalitesinde artış sağlar,
- Bakıma ayrılan zamanın kısalmasını sağlar,
- Çevre ve işgücü sağlığına katkısı vardır,
- Malzeme veya sistem tabanlı arızalarda azalmayı sağlar,
- Beklenmedik arıza oluşumunun neredeyse tamamen ortadan kalkmasını sağlar.

3. GÜVENİLİRLİK MATEMATİĞİ

Mühendislikte matematik uygulamaları ile yaşanılan problemlere çözüm bulmada önemli rol oynamaktadır. Son yıllarda olasılık dağılımları ve stokastik süreçler gibi matematiksel kavramlar sayesinde güvenilirlik ve hata analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde güvenilirlik değerlendirilmesinde kullanılan küme, boolean cebri, olasılık, olasılık fonksiyonları, olasılık dağılımları ve hata verileri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Kümeler, Boolean Cebri ve Olasılık

Küme belirli özelliklere sahip öğeler topluluğudur [67, 93]. Basit olarak küme tanımlanmış herhangi bir liste, koleksiyon veya nesne sınıfı olarak tanımlanır. Kümeler olasılık teorilerinde önemli rol oynar. Olasılığın omurgasında kümeler bulunur ve olaylar olasılıkta bir küme kabul edilen verilerdir. Kümeler A, B, C… gibi büyük harflerle simgelenir. Birden fazla kümenin bir araya getirilerek her bir elemanın bir kez yazılması ile birleşim kümesi oluşur. Birleşim kümesi "+" veya "∪" sembolleri ile simgelenir. A ve B kümeleri C kümesinde birleştirilirse Eşitlik 3.1'deki gibi gösterilir.

$$A + B = C \text{ veya } A \cup B = C \tag{3.1}$$

İki veya daha fazla kümenin ortak elemanlarının gösterildiği kümeye kesişim kümesi denir. Kesişim kümesi "." veya "∩" sembolleri ile gösterilir. A ve B kümesinin D kümesinde kesişimi olan ortak elemanlarını Eşitlik 3.2'de gösterilmiştir.

$$A.B = D \text{ veya } A \cap B = D \tag{3.2}$$

Kümeler ve kümelerle yapılan işlemler için olasılıklar kuramı üzerine boolean cebri çok değerlidir. Kümelerle ilgili bazı önemli boolean kuralları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Önemli Boolean Kuralları [108]

Kural Tanımı	Kural
Özdeşlik Kuralı	$A = A$ $\bar{A} = \bar{A}$
Değişim Kuralı	$A.B = B.A$ $A + B = B + A$
Birleşme Kuralı	$A.(B.C) = A.B.C$ $A + (B + C) = A + B + C$
Denklik Kuralı	$A.A = A$ $A + A = A$
Çift Değil Kuralı	$\bar{\bar{A}} = A$
Tümleyici Kuralı	$A.\bar{A} = 0$ $A + \bar{A} = 1$
Kesişim Kuralı	$A.1 = A$ $A.0 = 0$
Birleşim Kuralı	$A + 1 = 1$ $A + 0 = A$
De Morgan's Kuralı	$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$ $\overline{A + B} = \bar{A}.\bar{B}$
Dağılım Kuralı	$A.(B + C) = (A.B) + (A.C)$ $A + (B.C) = (A + B).(A + C)$
Emilim (Gereksizlik) Kuralı	$A.(A + B) = A$ $A + (A.B) = A$
Benzetme Kuralı	$A.(\bar{A} + B) = A.B$ $A + (\bar{A}.B) = A + B$

3.2. Matematiksel Tanımlamalar

Güvenilirlik, kalite ve güvenlik çalışmalarında kullanılan ve faydalı olduğu düşünülen matematiksel ifadeler; kümülatif dağlım fonksiyonu, olasılık yoğunluk fonksiyonu, beklenen değer ve laplace dönüşümleri gibi matematiksel tanımlamalardır.

3.2.1. Olasılık yoğunluk fonksiyonu

Olasılık yoğunluk fonksiyonu; güvenilirlik endekslerinin olasılık dağılımları ile hesaplanmasın da ve risk analizlerinin önemli bir parçasıdır [108]. Olasılık yoğunluk fonksiyonu PDF veya f(t) simgeleri ile simgelenir. Sürekli değişkenli olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 3.3'te gösterilmiştir.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \tag{3.3}$$

Burada;

t: zaman (Sürekli değişken),

f(t): olasılık yoğunluk fonksiyonu (Güvenilirlik çalışmalarında hata yoğunluk fonksiyonunu ifade eder),

F(t): Kümülatif dağılım fonksiyonudur.

3.2.2. Kümülatif dağılım fonksiyonu

Kümülatif dağılım fonksiyonu güvenilirliği tamamlayıcısıdır. Başarısızlık oranı modellemesi yapıyorsanız kümülatif dağılım fonksiyonunu kullanırsınız, hayatta kalma modellemesi yapıyorsanız güvenilirlik fonksiyonu kullanırsınız [109]. Buradan da anlaşılacağı üzere kümülatif dağılım fonksiyonu ile güvenilirlik fonksiyonları birbirini bire tamamlayan zıt fonksiyonlardır. Kümülatif dağılım fonksiyonu CDF veya F(t) simgeleri ile simgelenir. Sürekli değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonu Eşitlik 3.4'te gösterilmiştir.

$$F(t) = \int_{-\infty}^{t} f(t)dt \tag{3.4}$$

Burada;

F(t): Kümülatif dağılım foksiyonunu

f(t): Olasılık yoğunluk fonksiyonunu,

t: Zamanı ifade eder.

$t = \infty$ olması durumunda eşitlik 3.4 çözümlemesi yapıldığında sonuç 1 olacaktır. Bunun anlamı kümülatif dağılım fonksiyonu eğrisi altında kalan alan her zaman 1 olacak ve

kümülatif dağılım fonksiyonu başarısızlık modellemesinde kullanıldığı için hiçbir ekipman veya sistem sonsuz ömürlü olmayacak belirli bir süre sonunda hataya düşecektir.

3.2.3. Ortama değer

Bir dağılımın ağırlık merkezidir ve merkezi eğilimin çok yaygın bir ölçüsüdür [110]. Ortalama güvenilirlik çalışmalarında beklenen değer olarak ta karşımıza çıkmaktadır. Ortalama değer E(t) simgesi ile simgelenir. Ortalama değer Eşitlik 3.5'te gösterilmiştir.

$$E(t) = \int_{-\infty}^{\infty} tf(t)dt \tag{3.5}$$

Burada;

E(t): Ortalama değeri,

f(t): Olasılık yoğunluk fonksiyonu,

t: Zamanı ifade eder.

3.2.4. Laplace dönüşümü

Güvenilirlik ve hata analizlerini gerçekleştirirken, birinci dereceden doğrusal diferansiyel denklemler ile çözümler bulunması gerekebilir. Bu denklemlerin çözülebilmesi için laplace dönüşüm kullanılması etkili bir yöntem olarak kabul edilebilir [93]. Güvenilirlik ve hata dönüşümlerinde kullanılan laplace dönüşümüne ait denklem Eşitlik 3.6'da gösterilmiştir.

$$f(s) = \int_{0}^{\infty} f(t)e^{-st}dt \tag{3.6}$$

Burada;

s: Laplace dönüşüm değişkeni,

f(s): f(t)'nin laplace dönüşümünü ifade eder.

4. GÜVENİLİRLİKTE KULLANILAN OLASILIK DAĞILIMLARI

Güç sistemlerinin güvenilirlik analizi üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında olasılıkların analizi yapılarak değerlendirilir. İletim sistemlerinin güvenilirlik analizi yapılarak sistemin çalışmasını etkileyecek riskleri gidermeyi karşılar. Bir sistemin çalışma koşulları stokastiktir ve verilen koşulları temsil etmek için kullanılan modellerde bunu yansıtmalıdır [111].

Elektrik güç sistemleri güvenilirlik endekslerinin değerlendirilmesinde deterministik ve olasılıksal yöntemler geliştirilmiştir. Deterministik yöntemler geleneksel yöntemler olup, daha çok saha deneyimine dayanan tecrübe ve gözlemleri göz önünde bulunduran yöntemlerdir [112]. Olasılıksal yöntemler ise deterministik yöntemlerin üstesinden gelemeyeceği süreçlerin üstesinden gelebilmek için analitik ve olasılık dağılımların kullanıldığı yöntemlerdir.

Güvenilirliğin olasılıksal olarak değerlendirilmesinde kullanılan birçok olasılık dağılımı vardır. Bunlardan en çok kullanılanları normal, log-normal, weibull, gama ve üstel dağılımlarıdır [113, 114]. Dağılımlar kesikli (ayrık) ve sürekli olasılık dağılımları olmak üzere ikiye ayrılmıştır ve güvenilirlik değerlendirmelerinde çoğunlukla sürekli olasılık dağılımları kullanılmaktadır [115].

4.1. Ayrık Olasılık Dağılımları

4.1.1. Binom dağılımı

Binom dağılımı ayrık rastgele değişkenin olduğu sistemlerde kullanılan bir dağılımdır. Genellikle olaylar başarılı veya başarısız şeklindeki sistemlerde tercih edilir [116]. Binom dağılımı Bernoulli dağılımı olarak ta bilinmektedir.

Dhillion [116] binom dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(x)* Eşitlik 4.1'de tanımlamıştır.

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!}\, p^x q^{n-x} \tag{4.1}$$

Burada;

x: n denemedeki oluşum sayısı, x=0, 1, 2, ….,n

p: denemelerdeki başarı olasılığı,

q: denemelerdeki başarısızlık olasılığıdır.

Dhillion [116] binom dağılımı için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(x)* Eşitlik 4.2'de tanımlamıştır.

$$F(x) = \sum_{i=0}^{x} \frac{n!}{i!(n-i)}\, p^i\, q^{n-i} \tag{4.2}$$

Burada;

F(x): n denemede x veya daha az hata olma olasılığıdır.

Dhillion [116] binom dağılımına ait ortalama değeri E*(x)* Eşitlik 4.3'te tanımlamıştır.

$$E(x) = \sum xf(x) = n.p \tag{4.3}$$

Dhillion [116] binom dağılımına ait güvenilirlik değeri R*(x)* Eşitlik 4.4'te tanımlamıştır.

$$R(x) = \sum_{x=i}^{n} \binom{n}{i} p^i q^{n-i} \tag{4.4}$$

4.1.2. Poission dağılımı

Ayrık rastgele değişkenlerin olduğu sitemlerde kullanılan dağılımdır. Aynı türden bir dizi olayın meydana geldiği, gerçekleşme olasılığı yüksek ancak belirli bir zaman aralığında meydana gelme olasılığı küçük olduğu durumlarda kullanılır [116]. Poission dağılımı, binom dağılıma benzer şekilde kullanılmasına rağmen, örneklem büyüklüğünün bilinmediği olayları ele almak için kullanılır [117].

Pham [117] poission dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(x)* Eşitlik 4.5'te tanımlamıştır.

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \tag{4.5}$$

Burada;

λ: Sabit hata oranı (poission dağılım parametresidir),

x: 0, 1, 2, ……

Dhillion [116] poission dağılımı için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) F(x) Eşitlik 4.6'da tanımlamıştır.

$$F(x) = \sum_{i=0}^{x} \frac{\lambda^i e^{-\lambda}}{i!} \tag{4.6}$$

Dhillion [116] poission dağılımına ait ortalama değeri E(x) Eşitlik 4.7'de tanımlamıştır.

$$E(x) = \lambda \tag{4.7}$$

Pham [117] poission dağılımı için güvenilirlik değeri R(x) Eşitlik 4.8'de tanımlamıştır.

$$R(x) = \sum_{x=0}^{x} \frac{(\lambda x)^x e^{-\lambda x}}{x!} \tag{4.8}$$

4.1.3. Geometrik dağılım

Bir cihazın kullanım ömrünü güvenilirlik açısından modellemek için kullanılan ayrık bir dağılımdır [118].

Pham [117] geometrik dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(x)* Eşitlik 4.9'da tanımlamıştır.

$$f(x) = p.q^{x-1} \tag{4.9}$$

Burada;

p: denemelerdeki başarı olasılığı,

q: denemelerdeki başarısızlık olasılığıdır.

Pham [117] geometrik dağılım için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(x)* Eşitlik 4.10'da tanımlamıştır.

$$F(x) = 1 - q^x \tag{4.10}$$

Pham [117] geometrik dağılım için ortalama değer *E(x)'i* Eşitlik 4.11'de tanımlamıştır.

$$E(x) = \frac{1}{p} \tag{4.11}$$

Sarhan [118] geometrik dağılım için güvenilirlik fonksiyonunu *R(x)'i* Eşitlik 4.12'da tanımlamıştır

$$R(x) = q^x \tag{4.12}$$

4.2. Sürekli Olasılık Dağılımları

4.2.1. Üstel dağılım

Üstel dağılım, güvenilirlik ve risk değerlendirmesinde en yaygın kullanılan dağılımdır. Sabit tehlike oranına sahiptir. Sistemin yararlı ömrünü modellemek için kullanılır (Verma ve ark., 2016). Pham [117] olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(t),* bir ayrık kümenin her bir elemanının olasılığını veya sürekli bir değişkenin sonuç aralığını veya olası değerlerini tanımlayan matematiksel bir fonksiyondur olarak tanımlamış ve üstel dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 4.13'te tanımlamıştır.

$$f(t) = \lambda e^{\lambda t} \qquad 0 < t < \infty, \quad f(t) = 0 \quad t < 0 \tag{4.13}$$

Pham [117] kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF) *F(t)*, rastgele bir *T* değişkeninin bazı t değerlerinden daha düşük veya bu değere eşit değerler alma olasılığını veren bir fonksiyondur olarak tanımlamış ve üstel dağılım için kümülatif yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 4.14'te tanımlamıştır.

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - e^{-\lambda t} \tag{4.14}$$

Güvenilirlik fonksiyonu *R(t)* zamana bağlı değişen bir fonksiyon olup, kümülatif fonksiyonun tamamlayıcısıdır. Başarısız olma zamanının modellenmesi durumunda, kümülatif yoğunluk fonksiyonu başarısızlık olasılığını ve güvenilirlik fonksiyonu hayatta kalma olasılığını temsil eder. Pham [117] üstel dağılım için güvenilirlik fonksiyonunu Eşitlik 4.15'te tanımlamıştır.

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \tag{4.15}$$

Tehlike fonksiyonu *h(t)* olasılık yoğunluk fonksiyonunun güvenirliğe oranıdır. Pham [117] üstel dağılım için tehlike fonksiyonunu Eşitlik 4.16'da tanımlamıştır.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \tag{4.16}$$

Ortalama değer *E(t)* bir dağılımın ortalama değeridir. Verma ve ark. (2016) üstel dağılım için ortalama değeri Eşitlik 4.17'de tanımlamışlardır.

$$E(t) = \int_0^\infty t f(t) = \frac{1}{\lambda} \tag{4.17}$$

Varyans *Var(t)* Varyans, bir değişken kümesinin o kümedeki ortalama değerden ortalama uzaklığını belirleyen istatistiksel bir ifadedir. Verma ve ark. [81] üstel dağılım için varyans Eşitlik 4.18'de tanımlamışlardır.

$$Var(t) = E(T^2) - (Ort)^2 = \left(\int_0^\infty t^2 f(t)dt\right) - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 = \frac{2}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2} \tag{4.18}$$

4.2.2. Normal dağılım

Normal dağılım istatistikte ve olasılık alanlarında en önemli ve en yaygın kullanılan dağılımdır. Gauss dağılımı olarak bilinmektedir. Normal dağılım güvenilirlik çalışmalarında banyo küveti eğrisinin yorgunluk ve yaşlanmanın modelleneceği aşınma bilgilerini temsil etmek için kullanılır [67].

Pham [117] normal dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(t)* Eşitlik 4.19'da tanımlamıştır.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, \qquad -\infty \leq t \leq +\infty \tag{4.19}$$

Pham [117] normal dağılım için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(t)* Eşitlik 4.20'de tanımlamıştır.

$$F(t) = \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \tag{4.20}$$

Pham [117] normal dağılım için güvenilirlik fonksiyonu R(t) Eşitlik 4.21'de tanımlamıştır.

$$R(t) = \int_{t}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \tag{4.21}$$

Burada integral çözümlemesi için z dönüşümü yapılır. Z dönüşümü Eşitlik 4.22'de tanımlanmıştır.

$$z = \frac{t-\mu}{\sigma} \tag{4.22}$$

Z dönüşümü yerine konularak kümülatif yoğunluk fonksiyonu yeniden ifade edilmesi Eşitlik4.23'te tanımlanmıştır.

$$\emptyset(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \tag{4.23}$$

Pham [117] normal dağılım için tehlike fonksiyonunu h(t) Eşitlik 4.24'te tanımlamıştır.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\emptyset(z)} \tag{4.24}$$

4.2.3. Log-normal dağılım

Sürekli pozitif değer alan değişkenin doğal logaritması alınmış normal dağılımdır. Log-normal dağılım metallerin arızalanma döngüleri, transistörlerin ve yatakların ömürleri ve onarım sürelerini modellemek için kullanılır. Ayrıca hızlandırılmış ömür testlerinde de sıklıkla kullanılır [67].

Pham [117] log-normal dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(t)* Eşitlik 4.25'te tanımlamıştır.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right)^2}, \qquad 0 < t \tag{4.25}$$

Pham [117] log-normal dağılım için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(t)* Eşitlik 4.26'da tanımlamıştır.

$$F(t) = \Phi\left[\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right] \tag{4.26}$$

Burada Φ standart normal dağılım kümülatif yoğunluk fonksiyonudur.

Pham [117] log-normal dağılım için güvenilirlik fonksiyonu R(t) Eşitlik 4.27'de tanımlamıştır.

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right] \tag{4.27}$$

Pham [117] normal dağılım için tehlike fonksiyonunu h(t) Eşitlik 4.28'te tanımlamıştır.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right)^2}}{1-\Phi\left[\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right]} \tag{4.28}$$

Pham [117] log-normal dağılım için ortalama değeri Eşitlik 4.29'da tanımlamışlardır.

$$E(t) = e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \tag{4.29}$$

Pham [117] log-normal dağılım için varyans Eşitlik 4.30'da tanımlamışlardır.

$$Var(t) = e^{(2\mu+\sigma^2)}\left(e^{\sigma^2} - 1\right) \tag{4.30}$$

4.2.4. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı, farklı dağıtım şekillerinin modellenmesindeki esnekliği nedeniyle güvenilirlik hesaplamasında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Lambaların, rölelerin, kapasitörlerin, germanyum transistörlerinin, bilyalı yatakların, otomobil lastiklerinin ve bazı motorların arızalanmasına zaman modellemek için kullanılabilir. Güvenilirlik analizinde en kullanışlı dağıtım fonksiyonu olmasının yanı sıra, arıza tiplerinin sınıflandırılmasında, sorun giderme, önleyici bakım ve muayene faaliyetlerinin programlanmasında da kullanılır [67].

Pham [117] weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(t)* Eşitlik 4.31'de tanımlamıştır.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad , \qquad 0 < t \tag{4.31}$$

Pham [117] weibull dağılımı için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(t)* Eşitlik 4.32'de tanımlamıştır.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \tag{4.32}$$

Pham [117] weibull dağılımı için güvenilirlik fonksiyonu R(t) Eşitlik 4.33'de tanımlamıştır.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \tag{4.33}$$

Pham [117] weibull dağılımı için tehlike fonksiyonunu h(t) Eşitlik 4.34'te tanımlamıştır.

$$h(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \tag{4.34}$$

Verma ve ark. [67] weibull dağılımı için ortalama değeri E(t) Eşitlik 4.35'te tanımlamışlardır.

$$E(t) = \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{4.35}$$

Burada Γ(x) gama fonksiyonudur ve Eşitlik 4.36'da tanımlanmıştır.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1}\, e^{-y} dy \tag{4.36}$$

Verma ve ark. [67] weibull dağılımı için varyans Var(t) Eşitlik 4.37'de tanımlamışlardır.

$$Var(t) = \sigma^2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\beta})\right] \tag{4.37}$$

4.2.5. Gama dağılımı

Gama dağılımı, kısmi hataların olabileceği durumlar için güvenilirlik analizinde, yani bir öğenin başarısız olmasından önce belirli bir sayıda kısmi hatanın meydana gelmesi gerektiğinde veya arıza süresi üstel olarak dağıtıldığında ikinci başarısızlığa kadar geçen süre için kullanılır [67].

Verma ve ark. [67] gamma dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) *f(t)* Eşitlik 4.38'de tanımlamıştır.

$$f(t) = \Gamma(t; \alpha, \beta) = \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\beta t} \ , \qquad 0 \leq t \ , \qquad \Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1}\, e^{-x} dx \tag{4.38}$$

Verma ve ark. [67] gamma dağılımı için kümülatif yoğunluk fonksiyonunu (CDF) *F(t)* Eşitlik 4.39'da tanımlamıştır.

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(x)} t^{\alpha-1} e^{-\beta t} dt \tag{4.39}$$

Verma ve ark. [67] gamma dağılımı için ortalama değeri E(t) Eşitlik 4.40'da tanımlamışlardır.

$$E(t) = \frac{\alpha}{\beta} \tag{4.40}$$

Verma ve ark. [67] gamma dağılımı için varyans Var(t) Eşitlik 4.41'de tanımlamışlardır.

$$Var(t) = \frac{\alpha}{\beta^2} \tag{4.41}$$

5. HATA VERİSİ

Güvenilirlik verilerinin eksikliği ve yanlışlığı güvenilirlik değerlendirme uygulamalarındaki temel zorluklardır[119]. Herhangi bir güvenilirlik değerlendirme aşamasında güvenilirliği etkileyen en önemli etken kullanılan verilerin kalitesine bağlıdır [67]. Güvenilirlik çalışmalarında veri geçmiş hata verileridir. Dolayısıyla geçmiş hata verileri eksiksiz ve doğru olması durumunda güvenilirliğin daha doğru tahmin edilmesini ve paralelinde alınabilecek düzeltici önlemler, tasarımlar ve üretim sürecindeki iyileşmeler, bakım stratejilerinin belirlenmesi, çalışanların güvenliği ve çevre güvenliğinin sağlanmasını ve planlanmasını sağlayacaktır. Bu nedenle arıza verilerinin amacına uygun olarak toplanması ve depolanması güvenilirlik değerlendirmesinin temelinde yer alır.

Güvenilirlik çalışmalarında verilerin doğru olması önemli olmasına rağmen hangi verilerin toplanacağı ve kayıt altına alınacağı tartışmalıdır. Diğer bir deyişle hangi veri ile daha güvenilir bir güvenilirlik değerlendirilmesinin yapılacağı ve oluşturulan güvenilirlik değerlendirme modelini destekleyeceği verilerin veri kaynağı olarak kullanılacağı konusudur. Bir ürünün veya sistemin güvenilirliğini değerlendirmek için üç temel veri ortaya çıkmaktadır, bunlar; saha arıza verileri, arızalı veya arızasız hizmet ömrü verileri ve mühendislik test verileridir. Bunlarda saha arıza verileri gerçek verileri temsil ettikleri için en anlamlı veri kaynağını oluşturmaktadırlar [119]. Saha verilerinde her ne kadar arıza öncesi ve arıza anındaki operasyonel ve çevresel koşullar tam olarak bilinmese de diğer verilerden üstündür.

Arıza verilerinin kayıt altına alınması ve güvenilirlik değerlendirilmesinde kullanılması veri analizi olarak adlandırılmakta olup istatistiksel bir uygulamadır. Arıza veri analizinin amacı güvenilirlik ve tehlike oranı fonksiyonlarını elde etmektir. Hata veri analizi parametrik olmayan yöntemler ve parametrik olan yöntemler olmak üzere iki farklı yaklaşımla yapılır [67].

5.1. Parametrik Olmayan Yöntemler

Genellikle sahada deneyimli kişilerden alınan verilerle gerçekleştirilir. Bu yöntemde veriler deneysel arıza verileri, saha deneyimlerinden ve testlerden elde edilen verilerdir. Parametrik

olmayan yöntem genellikle yeterli verinin olmadığı durumlarda uygun teorik dağılım seçmek için ön veri analizi için uygundur. Parametrik olmayan yöntem gözlemlenen verileri analiz eden, temel parametreler kullanmadan varsayımdan tahmine ulaşan yöntemdir [88]. Bu yöntem aynı zamanda hata verilerinin hiçbir parametrik yaklaşıma uymadığında uygulama bulur [67].

Parametrik olmayan yöntemlerde güvenilirlik hesaplaması matematiksel olarak N bileşenli bir sistemin t zaman sonra bozulmayan ekipman sayısının toplam ekipman sayısına bölümü ile elde edilir. Aynı şekilde bozulan ekipman sayısının toplam ekipman sayısına bölünmesi ile tehlike oranı bulunur. Parametrik olmayan yöntemlerle güvenilirlik oranı Eşitlik 5.1'de ve tehlike oranı Eşitlik 5.2'de gösterilmiştir.

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{N} \tag{5.1}$$

$$F(t) = \frac{n_f(t)}{N} \tag{5.2}$$

Burada;

$n_s(t)$: t zaman sonra bozulmayan ekipman sayısını,

$n_f(t)$: t zaman sonra bozulan ekipman sayısını ifade eder.

5.2. Parametrik Yöntemler

Bu yöntem genellikle tercih edilen yöntem olup, teorik olasılık dağılımları olan normal, üstel, weibull vb. dağılımlara uyan ve adından da anlaşılacağı üzere dağılım parametrelerini karakterize eden yöntemlerdir. Parametrik yaklaşımda hedef, arıza verilerinin hangi dağılıma uyduğunu ve uyan dağılım ile ilgili parametrik tahmini yapmaktır. Verilerin bir dağılıma uyup uymadığını tespit etmek için uyum iyiliği (Goodness of-fit) testleri uygulanır [78, 79].

5.2.1. Uyum iyiliği testi

Parametrik yaklaşımda uygun dağılım seçimi için yapılan istatistik bir testtir. Uyum iyiliği testi verilerin belirli bir olasılık dağılımına uygun olup olmadığını belirleyen istatistiksel testlerdir. Uyum iyiliği testi verilerin belirli veya kısmen belirtilmiş bir olasılık dağılımından gelip gelmediğini test eder [120].

Rastgele verilerin bir dağılıma uyup uymadığını belirlemek için; sıfır hipotezi (H_0) ve alternatif hipotez (H_1) tanımlanır.

H_0= Verilerin olasılık dağılım ile farkı yoktur. (Belirtilen dağılımdır)

H_1= Verilerin olasılık dağılımı arasında fark vardır. (Belirtilen dağılım değildir) [67].

Bir verinin belirli bir olasılık dağılımına sahip olduğuna dair sıfır hipotezinin uygunluk testi elde edilmesine yönelik klasik yaklaşım, rastgele değişkenlerin olası değerlerini sınırlı sayıda bölgeye ayırmaktır. Daha sonra her bir bölgeye giren örnek değerlerin sayısı belirlenir ve belirtilen olasılık dağılımı altındaki teorik beklenen sayılarla karşılaştırılır ve önemli ölçüde farklı olduklarında sıfır hipotezi reddedilir [121]. Uyum iyiliğinde verilerin istatistiksel değerlendirmesi yapılırken, verilerin dağılım modeli ile arasındaki farkı değerlendirir ve bu farkın küçük olması istenir. Değerlendirme sonunda belirtilen değerden küçük ise H_0 kabul edilir, değilse H_1 kabul edilir [67, 122].

Veri değerlendirmede uyum iyiliği önemli ve ilk adım olarak ifade edilebilir. Literatürde çok fazla uyum iyiliği testi bulunmaktadır. Bunlar; Kolmogorov-Simirnov, Anderson-Darling, Cramer-von Missses, Pearson Ki-kare, Shapiro-Wilk, Shapiro-Francia, Weisberg-Bingham, D'Agustino, Fillibun ve Jarque-Bera olarak verebilir [123]. Bu testlerden en popüler olanları Ki-kare, Kolmogorov-Simirnov, Anderson-Darling ve Shapiro-Wilk testleridir [124, 125].

<u>Ki Kare Testi</u>

Ki-kare, aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal dağılımlı bir ana kütleden her biri diğerlerinden bağımsız olarak seçilen n elemanlı bir öğeye ait değerlerin kareleri toplamı demektir [126]. Ki-kare testi gözlenen frekanslarla beklenen frekanslar arasındaki farkın

istatistik olarak anlamlı olup olmadığı temeline dayanır [127]. Hesaplama ile elde edilen ki-kare değeri x^2 ile ifade edilir ve Eşitlik 5.3'te tanımlanmıştır.

$$x^2 = \frac{\sum(Gözlenen - Beklenen)^2}{Beklenen} \tag{5.3}$$

Ki-kare testi değerlendirilmesinde alfa (α) anlamlılık düzeyi olarak bir yüzde ifade ile tanımlanır, örneğin güven düzeyi %95 ise alfa anlamlılık düzeyi 0,05 olarak tanımlanmış olur. Literatürde güven düzeyi %90, %95, %98 ve %99 gibi değerler alırken buna bağlı alfa anlamlılık düzeyi ise 0,1, 0,05, 0,02 ve 0,01 değerlerini alır. Eğer ki-kare test sonucu belirlenen alfa anlamlılık değerinde küçükse, H_0 hipotezi kabul edilir, değilse H_1 hipotezi kabul edilir.

Kolmogorov-Simirnov Testi

Kolmogorov-Simirnov (KS) testi uyum iyiliği testlerinden en çok kullanılanlardan biridir [124]. Kolmogorov-Simirnov testi gözlenen verinin kümülatif dağılım fonksiyonu ile beklenen verinin kümülatif yoğunluk fonksiyonu arasındaki farkın mutlak değerinin en büyüğüdür [128]. Kolmogorov-Simirnov test istatistiği D ile simgelenir. D değeri Eşitlik 5.4'te gösterilmiştir.

$$D = max|F_G - F_B| \tag{5.4}$$

Burada;

D: Kolmogorov-Simirnov test istatistik değeri,

F_G: Gözlenen Kümülatif yoğunluk fonksiyonu,

F_B: Beklenen Kümülatif yoğunluk fonksiyonudur.

Kolmogorov-Simirnov test istatistiğinde karar verme süreci ölçek sayısı ve ki-kare testinde olduğu gibi yüzdelik güven ile oluşturulan $D_{n\alpha}$ kritik değer tablosundan alınan değer D

değeri ile karşılaştırılır. Eğer $D \leq D_{n\alpha}$ ise, H_0 hipotezi kabul edilir, eğer $D > D_{n\alpha}$ ise H_1 hipotezi kabul edilir [129].

Anderson- Darling Testi

Uyum iyiliği testi olarak Anderson Darling testi, kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) ve ampirik olasılık yoğunluk fonksiyonu (EDF) arasındaki Anderson-Darling istatistiğini hesaplayarak örneğin belirli bir dağılıma ait olup olmadığını belirlemek için kullanılır [130]. Anderson-Darling uyum iyiliği testi yaygın olarak kullanılmaktadır ve iyi güç özelliklerine sahiptir [131]. Anderson-Darling uyum iyiliği testi ile p değerinin hesaplanmasında, (normal, lognormal, üstel, weibull, logistik vb.) dağılımlardan yararlanarak daha hassas bir test avantajına sahiptir. Belirtilen her bir dağılım için p değerinin hesaplanması dezavantaj olmasına rağmen Minitab gibi yazılımlar bunu avantaja çevirmişlerdir.

Küçükten büyüğe sıralanmış n adet veri $x_1 \leq x_2 \leq \cdots \leq x_n$ olsun, n adet veri için Anderson- Darling eşitliği Eşitlik 5.6 ve Eşitlik 5.7'de gösterilmiştir.

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{+\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 / [F(x)\{1 - F(x)\}] dF(x) \tag{5.6}$$

Burada Fn (x) ve F (x; 0) sırasıyla EDF ve CDF'tir.

$$A_n^2 = -n - (1/n) \sum_{i=1}^{n} (2i - 1) \ln(u_i) + \ln(1 - u_{n-i+1}) \tag{5.7}$$

Burada $u_i = F(x_i); i = 1,2, \dots, n'dir.$

Hesaplanan test istatistiği daha sonra güven düzeyi olan yüzdelik dilimine göre alfa anlamlılık değeri ile karşılaştırılır. Güven düzeyi, testin önem derecesine ve örnek boyutuna bağlıdır [67, 130, 132] Genel olarak, test istatistiği alfa anlamlılık değerinden düşükse, sıfır hipotezi (H_0) kabul edilir, aksi takdirde alternatif hipotez (H_1) kabul edilir.

Shapiro-Wilk Testi

Shapiro-wilk (1965) tarafından önerilen bu test, örneğe ait sıra istatistiklerinin uygun bir lineer bileşenin kareler toplamına bölümüyle elde edilir [133]. Son yıllarda Shapiro- wilk testi diğer testlere kıyasla iyi güç özellikleri nedeniyle tercih edilen test haline gelmiştir[134]. Shapiro-wilk test istatistiği W ile simgelenir. W değerinin bulunmasına ait ifade Eşitlik 5.8'de gösterilmiştir.

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i x_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{5.8}$$

Burada;

$a = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n) = \frac{m'V'}{(m'V^{-\prime}V^{-\prime})^{1/2}}$ olarak ifade edilir.

Burada;

m: Standart normal dağılımda n adet sıra istatistiğinin beklenen değerlerinin tümü,

V: Sıra istatistiklerinin kovaryans matrisidir.

Shapiro-wilk testlerinde karar verme süreci, güven düzeyine göre ve alfa anlamlılık düzeyine göre oluşturulan p değeri tablosu ile W karşılaştırılır. Eğer $W < p$ ise, H_0 hipotezi kabul edilir, eğer $W > p$ ise H_1 hipotezi kabul edilir[135].

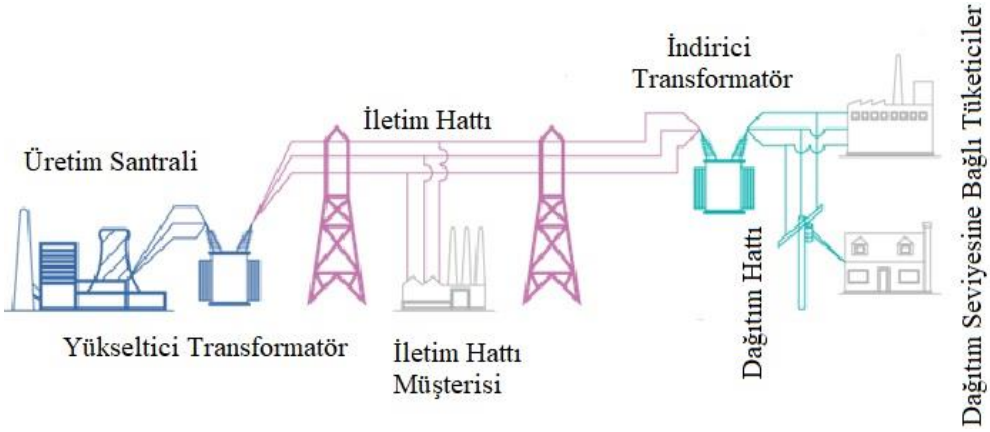
6. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu çalışma Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) Genel Müdürlüğü, Kayseri 11. Bölge sorumluluğunda bulunan 380kV'luk enerji iletim hatlarına ait 4 trafo merkezi ve 19 adet güvenilirlik değerlendirilmesi üzerine yapılmıştır.

Modern dünyada elektriğin günlük yaşam içerisindeki vazgeçilmez konumu, elektriği karşılanması gereken temel insani ihtiyaçlardan biri haline getirmiştir. Bu durum, beslenmeden barınmaya, ulaşımdan ısınmaya elektriğin ekonomik, kesintisiz, güvenilir ve çevreye duyarlı bir şekilde tüketiciye ulaştırılması hedefini doğurmaktadır. Kısaca elektriğe erişim olarak tanımlanabilecek bu hedef üretim, iletim ve dağıtım aşamalarını barındırmaktadır. Ülkemizde TEİAŞ tarafından yürütülen iletim faaliyeti, üretilen elektriğin tüketiciye dağıtımını sağlayan ve dağıtım şebekesine aktarımından sorumlu kritik faaliyeti ifade etmektedir [136].

6.1. Elektrik İletim Şebekeleri

Elektrik iletim şebekeleri, Hidroelektrik Santralleri (HES), Termik Elektrik Santralleri (TES), Rüzgar Elektrik Santralleri (RES), Güneş Elektrik Santralleri (GES) ve Nükleer santraller gibi elektrik üretim kaynakları ile üretilen elektrik enerjisinin kayıplarını azaltmak amacıyla yükseltilerek tüketicilere dağıtılmak üzere dağıtım hatlarına kadar iletmeyi hedefleyen enerji nakil sistemleridir. Elektrik enerjisi üretim merkezlerinde yükseltici trafo aracılığı ile yükseltilerek iletim hatlarına aktarılır ve enerji ihtiyacının olduğu yerleşim yerlerine yakın trafo merkezlerinde indirici trafolarla gerilim seviyesi düşürülerek dağıtım hatlarına aktarılır. Şekil 6.1'de elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım kısımları gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Elektrik üretim, iletim ve dağıtım şematik gösterimi

Ülkemizde elektrik iletim şebekeleri TEİAŞ tarafından yapılmaktadır. Aralık 2020 itibariyle TEİAŞ 9 yük tevzi merkezi, 22 bölge müdürlüğü, 753 trafo merkezi, 71 097 km enerji iletim hattı uzunluğu ve 11 adet komşu ülkeler ile enterkonneksiyon bağlantısına sahiptir [136]. TEİAŞ, yük tevzi merkezleri vasıtasıyla SCADA sistemi kullanarak elektrik iletim şebekesi üzerinde izleme, kontrol ve yönetme görevi yapmaktadır [137]. Yük tevzi merkezleri toplamda 9 bölgeye ayrılarak, Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS) adı verilen bir veri tabanı aracılığı ile Türkiye elektrik şebekesinin anlık yük durumlarını, izleme, analiz etme, istatistiki verileri toplama, raporlama, tahmin etme ve bilgilendirme gibi amaçları mevcuttur [138].

TEİAŞ ülkemizde elektrik iletim şebekelerini, tüketicilere kaliteli ve güvenilir bir enerji iletmek için hem 154 kV hem de 380 kV enterkonnekte şebeke sistemlerinde yapmaktadır. Ayrıca TEİAŞ, Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri Birliğine (ENTSO-E) 2010 yılından itibaren üye olup, birlikte çalışmaktadır. ENTSO-E sistemi ile komşu ülkelerde bulunan enerji iletim hatları ile bağlantısını oluşturan 9 adet 380 kV'luk ve 2 adet 154 kV'luk olmak üzere toplam 11 bağlantı ve 2 adet 380 kV'luk hat yapım aşaması devam etmektedir. Ülkemizin 380 kV hat şemasını, trafo merkezlerini ve ENTSO-E sistemine bağlantılarını gösteren Harita 6.1'de gösterilmiştir.



Harita 6.1. ENTSO-E Türkiye 380 kV iletim hattı haritası[139]

Kayseri 11. Bölge Müdürlüğü; TEİAŞ genel müdürlüğü bünyesinde bulunan 22 bölgeden biri olarak Kayseri, Sivas, Nevşehir, Niğde, Kırşehir ve Yozgat sınırları içerisinde bulunan iletim hatlarını kapsayan bölgeden sorumludur. 11. Bölgede toplam 36 079 km^2 alana, 5461 km iletim hat uzunluğu ve 47 trafo merkezi ile hizmet vermektedir. 11. Bölgede 154 kV ve 380 kV'luk iletim hatları mevcuttur. Çalışmamızda bölge sorumluluğunda bulunan 380 kV'luk iletim sistemlerine ait toplam 4 trafo merkezi ve 19 fider hattına sahip sistem arıza bilgileri kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan bölgeye ait iletim hattı şeması ENTSO-E sistem görüntüsünü içeren Harita 6.2'de gösterilmiştir.



Harita 6.2. ENTSO-E Teiaş 11. Bölgeyi kapsayan harita[139]

Çalışma 11. Bölge sorumluluğunda bulunan 380 kV'luk tüm fiderlerin arıza kayıtları baz alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışma üç aşamada değerlendirilmiştir. Birinci aşama arıza verilerinin toplanması, ikinci aşama arıza veri setinin hangi olasılık dağılıma uyduğunu bulmak için yapılan uyum iyiliği testi ve üçüncü aşama ise ikinci aşamada belirlenen dağılım ile güvenilirlik değerlendirmesi yapılması şeklindedir.

6.2. Arıza Verilerinin Toplanması

TEİAŞ Genel Müdürlüğü Kayseri 11. Bölge Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan 380 kV Yeşilhisar trafo Merkezi, Ürgüp Kapasitör Trafo Merkezi, Kayseri kapasitör trafo merkezi ve Deçeko Trafo Merkezlerinde bulunan 19 adet fiderin son 6 yılına ait (2014-2020) arızalar arası ortalama süre (MTBF) veri analizinde kullanılmak üzere, yük tevzi bilgi sitemi verilerinden ve bölge müdürlüğünde kurumsal olarak tutulan araç görevlendirmesi, çalışan görevlendirmesi vb. evrak ve çizelgelerinden, bakım, gözlem gibi enerji iletiminin durdurulması durumları arıza olarak kabul edilmeyip, sadece beklenmeyen bir şekilde arıza kaydına düşen iletim sisteminin enerji iletimini durduran kayıtlar ayıklanarak arıza verisi olarak kabul edilmiştir.

Yük tevzi bilgi sistemi kayıtlarında yer alan çok kısa süreli genellikle 1 dk'dan daha kısa süreli saniyeler süren enerji iletim hattı arızları yer almaktadır. Bu arızalar hiçbir müdahale olmadan tekrar normal gerilim ve frekansta iletime dönen kayıtlar olup arıza olarak kabul edilmemiştir. Yük tevzi bilgi sistemi merkezinden veya bölge müdürlüğünden otomatik veya manuel olarak müdahale gerektiren duraksamalar arıza olarak kabul edilmiş ve değerlendirmede kullanılmıştır. Ayrıca arazi yapısı ve genel genel meteorolojik hava durumu gibi çevresel koşullar göz ardı edilmiştir.

Çalışmada arıza verisi olarak kabul edilen verilerin ayıklanmasından sonra, veriler tarih sıralamasına göre herbir arıza arasındaki süre saat cinsinden hesaplanarak arızalar arası süre tablosu bütün fiderler için ayrı ayrı yapılmıştır.

Yeşilhisar TM Atatürk Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Atatürk Güney fiderine ait 2014-2019 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
27.03.14	2148	13.05.15	96	05.04.16	93	27.12.18	980
30.03.14	70	17.05.15	96	28.04.16	573	15.01.19	456
18.04.14	462	05.07.15	1189	28.07.16	2162	16.01.19	17
03.05.14	352	30.07.15	596	31.12.16	3754	28.04.19	2442
02.06.14	719	08.08.15	215	10.04.17	2394	02.05.19	96
27.09.14	2809	12.08.15	98	14.04.17	94	13.05.19	264
11.02.15	3291	12.09.15	751	21.04.17	168	27.05.19	337
20.02.15	224	01.10.15	457	01.05.17	241	15.06.19	460
20.03.15	662	15.10.15	315	02.05.17	24	20.09.19	2340
24.03.15	102	13.01.16	2173	25.09.17	3512	26.10.19	857
18.04.15	593	25.01.16	277	19.01.18	2774	25.12.19	1425
21.04.15	72	21.02.16	646	11.04.18	1970	13.01.20	461
23.04.15	50	13.03.16	506	23.04.18	291	21.01.20	204
02.05.15	211	18.03.16	120	22.05.18	703		
04.05.15	48	30.03.16	289	02.09.18	2481		
09.05.15	123	01.04.16	47	16.11.18	1799		

Yeşilhisar TM Atatürk Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Atatürk Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-17	1820	2015-05-01	96	2016-04-17	113	2017-05-11	29
2014-03-20	153	2015-05-04	72	2016-04-19	46	2017-05-17	146
2014-03-28	208	2015-05-11	167	2016-04-28	216	2017-05-20	68
2014-03-30	35	2015-05-13	49	2016-05-02	95	2017-05-29	216
2014-05-04	851	2015-05-18	120	2016-05-03	26	2017-06-02	96
2014-05-08	80	2015-06-14	658	2016-05-21	447	2017-06-07	118
2014-05-11	74	2015-06-18	86	2016-05-24	56	2017-06-19	289
2014-05-16	120	2015-07-15	647	2016-05-31	169	2017-07-04	371
2014-06-02	419	2015-07-20	121	2016-06-04	96	2017-07-19	347
2014-08-30	2126	2015-07-30	249	2016-07-03	693	2017-09-25	1636
2014-09-13	352	2015-08-21	528	2016-07-07	99	2017-10-10	354
2014-09-16	53	2015-09-29	927	2016-07-14	176	2017-10-19	223
2014-11-04	1184	2015-10-13	332	2016-08-07	563	2017-10-23	94
2014-11-11	163	2015-11-12	720	2016-09-17	1007	2017-10-24	26
2014-11-20	222	2015-11-18	148	2016-10-13	607	2017-11-02	233
2014-12-02	282	2015-12-07	456	2016-12-27	1804	2018-01-19	1864
2015-01-18	1128	2015-12-09	48	2017-03-08	1700	2018-02-28	951
2015-02-19	767	2015-12-17	192	2017-03-24	384	2018-03-18	430
2015-03-02	279	2015-12-24	168	2017-03-31	168	2018-04-07	481
2015-03-08	124	2015-12-30	139	2017-04-03	72	2018-07-25	2624
2015-03-20	294	2016-01-04	135	2017-04-06	72	2018-09-13	1198
2015-04-03	336	2016-02-07	806	2017-04-13	173	2018-10-20	881
2015-04-11	187	2016-02-13	140	2017-04-18	115	2019-01-16	2115
2015-04-12	29	2016-02-21	192	2017-04-20	46	2019-03-23	1583
2015-04-15	69	2016-02-27	146	2017-04-21	25	2019-09-05	3995
2015-04-17	46	2016-03-09	264	2017-04-27	144	2019-12-24	2643
2015-04-22	126	2016-03-12	72	2017-04-29	48	2020-01-02	198
2015-04-25	72	2016-03-18	144	2017-05-02	72		
2015-04-26	24	2016-04-04	409	2017-05-07	117		
2015-04-27	24	2016-04-12	200	2017-05-10	72		

Yeşilhisar TM Tufanbeyli TES fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Tufanbeyli TES fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
13.05.2014	3290	2017-04-26	3407	2017-09-27	93	2019-04-04	1879
2014-09-19	3098	2017-05-05	216	2017-12-12	1822	2019-04-08	96
2015-01-02	2520	2017-05-10	120	2018-04-29	3316	2019-04-16	192
2016-03-09	10363	2017-05-20	240	2018-05-19	480	2019-04-18	47
2016-03-28	456	2017-08-19	2184	2018-11-16	4361	2019-11-28	5377
2016-12-05	6053	2017-09-23	840	2019-01-15	1441	23.02.2020	2100

Yeşilhisar TM Kozan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Kozan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2017-12-27	12539	2018-02-18	740	2019-01-03	4806	2019-10-26	5193
2018-01-18	529	2018-06-17	2862	2019-03-24	1906	2019-12-25	1435

Yeşilhisar TM Kozan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Kozan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2018-02-14	4945	2018-12-11	837	2019-01-18	53	2019-12-27	4695
2018-02-18	88	2019-01-03	573	2019-04-21	2222	2020-01-05	213
2018-06-17	2865	2019-01-09	126	2019-06-11	1221		
2018-11-06	3399	2019-01-16	184	2019-06-14	73		

Yeşilhisar TM Konya4 fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Konya4 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-08	1701	2015-10-30	337	2017-05-21	1416	2018-06-10	257
2014-03-21	329	2015-11-16	409	2017-06-17	646	2018-07-26	1104
2014-05-02	991	2015-12-15	695	2017-06-25	192	2018-08-16	504
2014-05-12	241	2015-12-21	140	2017-06-27	45	2018-08-20	115
2014-05-28	401	2015-12-30	217	2017-07-05	196	2018-09-04	338
2014-08-30	2256	2016-01-08	218	2017-07-26	503	2018-09-07	94
2014-09-06	147	2016-02-19	1008	2017-08-17	530	2018-09-10	54
2014-09-13	170	2016-02-26	171	2017-08-26	213	2018-09-14	94
2014-09-18	113	2016-03-08	282	2017-08-31	125	2018-09-19	118
2014-09-22	96	2016-03-25	386	2017-09-09	219	2018-09-22	74
2014-10-03	286	2016-03-29	101	2017-09-12	77	2018-09-25	74
2014-10-13	218	2016-04-01	72	2017-09-15	72	2018-10-02	170
2014-10-15	53	2016-04-13	288	2017-09-18	69	2018-10-13	258
2014-11-10	641	2016-05-30	1124	2017-09-20	47	2018-10-21	214
2014-12-11	725	2016-08-23	2039	2017-09-25	141	2018-10-30	196
2015-03-17	2190	2016-08-30	169	2017-10-06	244	2018-11-18	456
2015-03-21	93	2016-09-12	316	2017-10-09	70	2018-12-05	410
2015-04-22	773	2016-09-16	92	2017-10-14	122	2018-12-29	574
2015-05-19	648	2016-09-21	120	2017-10-19	138	2019-03-26	2092
2015-05-25	143	2016-09-28	170	2017-10-22	55	2019-05-12	1127
2015-06-04	236	2016-10-06	189	2017-11-15	577	2019-07-08	1365
2015-06-20	388	2016-10-08	51	2017-11-26	262	2019-08-23	1103
2015-06-28	192	2016-10-24	385	2018-01-24	1418	2019-09-23	763
2015-07-28	719	2016-11-18	600	2018-02-11	432	2019-09-24	26
2015-08-21	577	2016-11-20	64	2018-02-13	45	2019-10-15	485
2015-09-12	546	2016-11-24	80	2018-04-23	1660	2019-12-07	1269
2015-09-16	76	2016-12-02	196	2018-04-30	168	2019-12-09	54
2015-09-23	171	2016-12-24	527	2018-05-04	96	2019-12-11	42
2015-10-13	479	2016-12-29	114	2018-05-08	96		
2015-10-16	73	2017-03-23	2020	2018-05-30	534		

Yeşilhisar TM Temelli Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Temelli Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	*MTBF (Saat)*	*Tarih*	*MTBF (Saat)*	*Tarih*	*MTBF (Saat)*	*Tarih*	*MTBF (Saat)*
2014-03-10	1756	2014-12-21	2234	2015-05-19	315	2016-04-19	743
2014-03-23	330	2015-02-12	1275	2015-05-26	164	2016-04-28	236
2014-04-01	198	2015-03-17	790	2015-06-08	312	2016-06-02	821
2014-04-02	25	2015-03-21	97	2015-08-03	1361	2016-07-14	1016
2014-04-04	44	2015-03-29	196	2015-08-08	106	2016-08-29	1097
2014-04-07	75	2015-04-03	120	2015-08-25	410	2016-11-09	1729
2014-04-18	264	2015-04-15	284	2015-12-01	2347	2017-04-01	3436
2014-04-20	48	2015-04-21	148	2016-01-04	832	2017-06-17	1842
2014-04-24	95	2015-04-28	163	2016-01-23	446	2018-04-17	7297
2014-06-21	1403	2015-05-01	77	2016-02-19	655	2019-04-11	8616
2014-09-16	2076	2015-05-04	67	2016-03-18	663	18.03.2020	8204
2014-09-18	67	2015-05-06	49	2016-03-19	24		

Yeşilhisar TM Temelli Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Temelli Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-10	1757	2014-09-27	407	2015-07-26	1131	2016-03-22	91
2014-04-02	551	2014-10-20	556	2015-08-13	452	2016-03-24	57
2014-04-15	330	2014-12-17	1396	2015-09-01	455	2016-04-04	259
2014-04-18	50	2015-01-10	590	2015-09-30	683	2016-04-07	68
2014-04-23	125	2015-03-09	1373	2015-10-05	112	2016-04-12	124
2014-05-03	244	2015-03-20	283	2015-11-15	1006	2016-04-27	358
2014-05-07	90	2015-04-28	912	2015-11-30	343	2016-06-16	1201
2014-05-13	145	2015-04-30	53	2015-12-01	39	2017-04-03	6999
2014-05-25	286	2015-05-04	96	2015-12-31	703	2017-11-02	5116
2014-05-27	48	2015-05-11	168	2016-01-23	554	2019-05-11	13314
2014-07-13	1147	2015-05-26	359	2016-02-27	839	2019-10-27	4050
2014-09-10	1398	2015-06-09	331	2016-03-18	480	28.03.2020	3666

Ürgüp Kapasitör TM Elbistan A fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Elbistan A fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-07-10	4698	2015-10-04	293	2016-07-09	314	2017-07-01	773
19.02.2015	3906	2015-10-08	100	2016-07-27	451	2017-07-12	262
2015-02-04	1007	2015-10-15	170	2016-08-19	542	2017-09-08	1409
2015-02-13	216	2015-12-05	1224	2016-08-28	204	2017-10-23	1059
2015-04-03	1181	2016-01-11	886	2016-09-08	284	2017-10-26	77
2015-04-20	408	2016-01-28	408	2016-09-20	290	2018-02-08	2528
2015-04-27	168	2016-02-29	769	2016-09-29	198	2018-03-17	883
2015-06-01	843	2016-03-04	99	2016-10-11	284	2018-04-07	494
2015-06-10	230	2016-03-11	187	2016-10-28	432	2018-10-26	4850
2015-06-27	394	2016-03-25	335	2016-11-20	552	2019-05-24	5052
2015-07-11	334	2016-04-09	341	2017-01-11	1248	2019-07-11	1157
2015-07-23	292	2016-04-19	242	2017-03-28	1807	2019-12-12	3922
2015-09-03	1008	2016-04-25	144	2017-04-01	91	25.12.2019	326
2015-09-13	245	2016-05-12	404	2017-04-20	461		
2015-09-18	120	2016-05-27	365	2017-05-23	806		
2015-09-21	82	2016-06-26	718	2017-05-30	156		

Ürgüp Kapasitör TM Elbistan B fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Elbistan B fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-09-01	5960	2015-09-13	197	2016-04-15	1048	2017-06-05	843
2015-01-19	3351	2015-09-18	120	2016-04-19	84	2017-06-15	236
2015-03-25	1563	2015-09-28	493	2016-04-29	240	2017-07-18	802
2015-04-06	288	2015-10-12	327	2016-05-10	282	2017-09-12	1334
2015-04-10	99	2015-11-20	943	2016-05-18	173	2017-10-23	1226
2015-04-18	188	2015-11-28	170	2016-05-27	214	2017-10-28	134
2015-05-31	1032	2015-12-11	291	2016-06-05	215	2018-03-17	3346
2015-06-05	120	2015-12-21	253	2016-08-09	1563	2018-07-12	2801
2015-07-19	1056	2016-01-21	730	2016-09-28	1200	2019-05-13	7331
2015-08-13	596	2016-02-01	286	23.03.2017	4248	2020-03-04	7100
2015-09-05	555	2016-03-03	723	2017-05-01	912		

Ürgüp Kapasitör TM Sincan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11. Sincan 1 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2015-02-24	10171	2015-09-02	810	2016-04-01	1278	2018-04-20	199
2015-04-12	1126	2015-09-04	59	2016-06-01	1472	2020-02-20	16392
2015-07-19	2363	2015-09-22	424	2017-02-19	6313		
2015-07-23	91	2015-12-10	1891	2018-04-02	9764		
2015-07-30	180	2016-02-07	1434	2018-04-12	228		

Ürgüp Kapasitör TM Sincan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12. Sincan 2 fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2015-01-08	9050	2015-09-04	59	2016-04-27	216	2018-04-02	3270
2015-07-23	4699	2016-02-07	3746	2016-08-09	2494	2018-04-20	424
2015-07-30	171	2016-02-22	347	2017-09-29	9997	2020-03-03	16398
2015-09-02	810	2016-04-18	1346	2017-11-17	1160		

Kayseri Kapasitör TM Gölbaşı Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. Gölbaşı Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-05-04	3058	2015-05-11	1132	2015-08-07	948	2018-10-13	12779
2015-03-25	7810	2015-06-28	1150	2017-04-28	15133	3.3.20 0:00	12168

Kayseri Kapasitör TM Gölbaşı Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.14. Gölbaşı Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-18	1927	2015-05-23	290	2017-06-27	610	2019-04-14	4138
2014-04-10	553	2015-06-09	408	2017-06-30	66	2019-07-16	2231
2014-04-26	384	2015-06-16	172	2017-08-06	890	2019-08-27	1006
2014-05-04	193	2015-08-13	1410	2017-08-17	253	2019-09-10	340
2014-06-15	1012	2015-09-11	688	2018-01-05	3400	2019-10-08	670
2015-03-25	6796	2015-11-11	1453	2018-04-30	2741	2020-03-03	3527
2015-05-10	1115	2017-06-02	13658	2018-10-23	4244		

Kayseri Kapasitör TM Keban Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.15. Keban Güney fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-29	2208	2015-05-12	116	2016-12-14	1356	2018-09-14	342
2014-04-27	695	2015-05-19	149	2017-01-30	1135	2018-09-30	401
2014-05-11	338	2015-11-07	4147	2017-05-07	2317	2019-01-16	2570
2014-05-26	374	2016-05-04	4274	2017-07-13	1613	2019-04-19	2238
2014-07-05	956	2016-05-11	182	2017-08-12	715	2019-05-25	880
2014-08-18	1048	2016-05-27	370	2017-09-10	701	2019-06-18	569
2014-08-28	238	2016-06-09	316	2017-09-13	67	2019-08-06	1182
2015-01-06	3139	2016-06-21	299	2018-05-10	5746	2019-09-25	1204
2015-03-30	1987	2016-08-17	1358	2018-06-01	530	2019-12-05	1700
2015-05-08	932	2016-10-18	1496	2018-08-30	2168	2020-02-27	2120

Kayseri Kapasitör TM Keban Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.16. Keban Kuzey fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-05-08	3146	2015-09-29	192	2018-04-22	832	2019-07-29	266
2014-05-23	374	2015-10-15	378	2018-05-01	224	2019-08-17	457
2014-08-29	2341	2016-05-07	4921	2018-05-19	433	2019-09-13	636
2014-09-28	719	2016-05-27	467	2018-06-06	430	2019-09-30	409
2014-10-11	322	2017-03-31	7409	2018-07-04	683	2019-10-10	242
2015-01-07	2114	2017-04-08	187	2018-07-31	641	2019-11-12	797
2015-02-20	1048	2017-05-11	798	2018-09-20	1217	2019-12-27	1064
2015-05-29	2365	2017-06-01	499	2019-01-15	2821	2020-03-03	1612
2015-06-21	542	2017-07-22	1220	2019-02-19	828		
2015-08-03	1028	2017-09-16	1342	2019-03-30	931		
2015-09-21	1183	2018-03-18	4392	2019-07-18	2651		

Kayseri Kapasitör TM Elbistan fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.17. Elbistan fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-04-01	2264	2015-01-05	2621	2016-06-14	1964	2017-09-20	648
2014-04-18	408	2015-02-13	931	2016-08-06	1279	2018-06-14	6419
2014-05-02	336	2015-03-17	770	2017-03-09	5149	2020-03-03	15062
2014-05-15	308	2015-04-16	715	2017-04-02	586		
2014-05-17	50	2015-11-07	4939	2017-06-24	1994		
2014-09-18	2974	2016-03-24	3307	2017-08-24	1444		

Deçeko TM Kangal TES fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18. Kangal TES fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-07-10	4676	2015-08-29	365	2016-10-26	330	2018-05-26	318
2014-07-17	173	2015-09-14	372	2016-11-16	498	2018-06-01	139
2014-07-27	256	2015-09-30	396	2016-11-27	284	2018-06-23	518
2014-10-28	2225	2015-10-05	114	2016-12-06	216	2018-07-01	187
2014-11-12	356	2015-10-16	262	2016-12-14	191	2018-07-14	317
2014-11-17	131	2015-10-20	102	2016-12-28	332	2018-08-04	504
2014-11-30	294	2015-10-28	179	2017-01-21	574	2018-08-19	352
2014-12-05	134	2015-11-17	491	2017-01-31	228	2018-09-01	334
2015-01-02	664	2015-12-10	554	2017-03-04	779	2018-10-01	707
2015-01-07	122	2015-12-23	314	2017-03-14	238	2018-11-18	1147
2015-01-11	107	2015-12-30	158	2017-04-23	962	2018-12-11	563
2015-01-15	74	2016-01-06	168	2017-04-30	164	2018-12-21	230
2015-01-21	158	2016-01-27	508	2017-05-17	416	2019-01-07	419
2015-01-28	166	2016-02-01	128	2017-06-08	529	2019-01-15	192
2015-02-10	296	2016-02-14	304	2017-06-14	142	2019-01-28	296
2015-02-21	276	2016-02-21	162	2017-06-27	304	2019-02-06	217
5.3.15 0:00	290	2016-02-28	168	2017-07-11	343	2019-02-19	320
8.3.15 0:00	67	2016-03-13	336	2017-08-01	488	2019-03-28	893
2015-03-20	281	2016-03-16	88	2017-08-18	421	2019-04-01	94
2015-04-01	287	2016-03-21	110	2017-09-12	592	2019-04-14	318
2015-04-08	175	2016-04-02	283	2017-10-08	618	2019-04-29	362
2015-04-11	86	2016-04-21	479	2017-10-19	274	2019-05-19	467
2015-04-18	149	2016-04-25	76	2017-10-27	203	2019-06-24	868
2015-04-28	240	2016-05-17	528	2017-10-30	50	2019-06-28	98
2015-05-08	239	2016-05-23	158	2017-11-21	536	2019-07-07	203
2015-05-13	132	2016-06-08	383	2017-12-16	593	2019-08-20	1068
2015-05-21	188	2016-06-25	407	2017-12-30	356	2019-08-27	162
2015-05-25	100	2016-07-02	166	2018-01-20	493	2019-09-07	260
2015-05-31	132	2016-07-21	450	2018-02-08	445	2019-09-23	400
2015-06-03	83	2016-07-26	124	2018-02-17	238	2019-11-11	1158
2015-06-09	139	2016-08-03	182	2018-02-28	246	2019-12-01	481
2015-06-18	229	2016-08-15	299	2018-03-13	308	2019-12-17	397
2015-07-01	304	2016-08-23	181	2018-03-24	275	2020-01-23	887
2015-07-25	578	2016-09-09	409	2018-04-05	284		
2015-08-01	150	2016-09-19	250	2018-05-07	780		
2015-08-14	326	2016-10-12	556	2018-05-13	136		

Deçeko TM Kayabaşı fiderine ait 2014-2020 yılları arasında olan ve belirtilen özelliklere sahip arızalar ayıklanmış ve arızalar arası süreler saat cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.19. Kayabaşı fiderine ait 2014-2020 yılları arası arıza MTBF süreleri (saat)

Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)	Tarih	MTBF (Saat)
2014-03-27	1060	2015-04-18	413	2016-05-07	299	2018-06-26	1385
2014-04-25	949	2015-04-30	292	2016-05-22	349	2018-09-13	1186
2014-05-01	972	2015-05-06	292	2016-06-03	286	2018-09-17	85
2014-05-22	502	2015-08-12	2491	2016-09-20	2633	2018-10-11	580
2014-05-28	146	2015-08-20	194	2016-09-30	227	2018-12-27	1856
2014-06-26	695	2015-09-02	322	2017-04-15	4153	2019-04-03	2318
2014-07-10	344	2015-09-23	496	2017-04-27	865	2019-04-23	480
2014-07-16	138	2015-11-25	1510	2017-10-02	3791	2019-05-05	288
2014-09-25	1705	2015-12-05	241	2018-01-05	2284	2019-09-25	3445
2014-10-01	138	2015-12-18	307	2018-01-28	557	2020-04-03	4572
2015-03-16	3401	2016-04-15	2858	2018-04-28	2154		
2015-03-31	962	2016-04-25	240	2018-05-29	745		

TEİAŞ Kayseri 11. Bölgesinde bulunan 380kV'luk tüm fiderlere ait arıza verileri elde edildikten sonra elde edilen verilerin hangi olasılık dağılımdan geldiğini belirleyen uyum iyiliği testi aşamasına geçilmiştir.

6.3. Verilerin Uyum İyiliği Testi

Bilinmeyen bir veri setinin hangi dağılıma ait olduğunu araştırmak için yapılan teste uyum iyiliği testleri adı verilir. Uyum iyiliği testlerinde, herhangi bir sıklık dağılımından elde edilen veya gözlenen veriler, kitle dağılımı (normal, üstel, poission, binom, weibull …) deneysel sıklıklar ile karşılaştırılır. Buna göre H_0 yokluk hipotezi ve H_1 seçenek hipotez,

H_0: Sıklık dağılımı ile olasılık dağılımı arasında fark yoktur. Örneklem dağılım ile deneysel dağılım arasında fark yoktur.

H_1: Sıklık dağılımı ile olasılık dağılımı arasında fark vardır. Örneklem dağılım ile deneysel dağılım arasında fark vardır. Şeklinde ifade edilir [79].

Uyum iyiliği veri değerlendirmede ilk adım olarak ifade edilebilir. Uyum iyiliğinde verilerin istatistiksel değerlendirmesi yapılırken, verilerin dağılım modeli ile arasındaki farkı değerlendirir ve bu farkın küçük olması istenir. Değerlendirme sonunda belirtilen değerden küçük ise H_0 kabul edilir, değilse H_1 kabul edilir [67, 122].

Literatürde fonlarca farklı uyum iyiliği testi mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları; Kolmogorov-Simirnov, Anderson-Darling, Cramer-von Missses, Pearson Ki-kare, Shapiro-Wilk, Shapiro-Francia, Weisberg-Bingham, D'Agustino, Fillibun ve Jarque-Bera olarak verebilir [123].

Çalışmada uyum iyiliği testi olarak Anderson-Darling uyum iyiliği testi seçilmiştir. Arıza verileri tarihsel sıralamaya göre sıralanmışken, Anderson-Darling test istatistiğinde sürelerin büyüklüğüne göre aritmetik büyüklük olarak sıralanmıştır. Anderson-Darling test istatistiği bölüm 5.2.1.3'te belirtildiği şekilde değerlendirilir. Değerlendirme sonucunda AD test istatistiği, alfa(α) anlamlılık düzeyinin önemine göre p kritik değeri ile karşılaştırılır. p değeri hesaplamasında, (normal, lognormal, weibull, lognormal vb) dağılımlardan yararlanarak hassas bir sonuç sunarken, uygulamada zorluklar mevcuttur. Ancak minitab gibi istatistik yazılımlar bunu avantaj olarak sunmuştur.

Veri setinin uyum iyiliği test sonucunda, verilerin istatistiksel dağılımlardan farklı olup olmadığını belirlemek için p değeri, anlamlılık düzeyi (α) ile karşılaştırılır. Anlamlılık düzeyi (α), uyum iyiliği testi değerlendirme sürecinde seçilen bir değer olup test sonucunda p değeri ile karşılaştırılır. Anderson-Darling testinde genellikle anlamlılık düzeyi, α=0,05 değeri kullanılır. Bunun yanında anlamlılık düzeyi (α), değeri 0,2, 0,1, 0,05, 0,02 ve 0,01 değerlerine eşit olabilir [67, 130, 140]. Bu değerler sıfır hipotezinin reddedilmesinde yapılan hatanın yüzde cinsinden ifadesidir. Örneğin alfa değeri 0,1 seçildiğinde, değerlendirmenin %10'luk bir toleransla sıfır hipotezinin reddedilmesi anlamına gelmektedir. Anlamlılık düzeyi (α) değeri seçilen, p değeri ise hesaplanabilen bir değerdir. p değeri istatistiksel olarak farklı yöntemlerle hesaplanabilir ancak yorumlar aynıdır. Eğer p değeri alfadan küçükse sıfır hipotezi reddedilir, p değeri alfaya eşit veya büyükse sıfır hipotezi kabul edilir [141]. Bu çalışmada önem derecesi α=0,05 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.1'de verilen Atatürk Güney Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

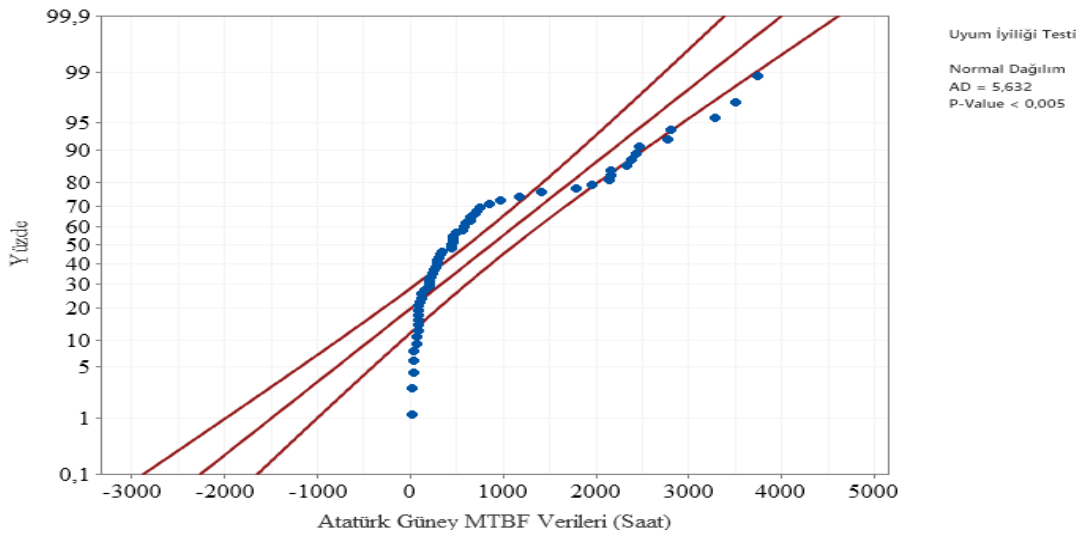
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20. Atatürk Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

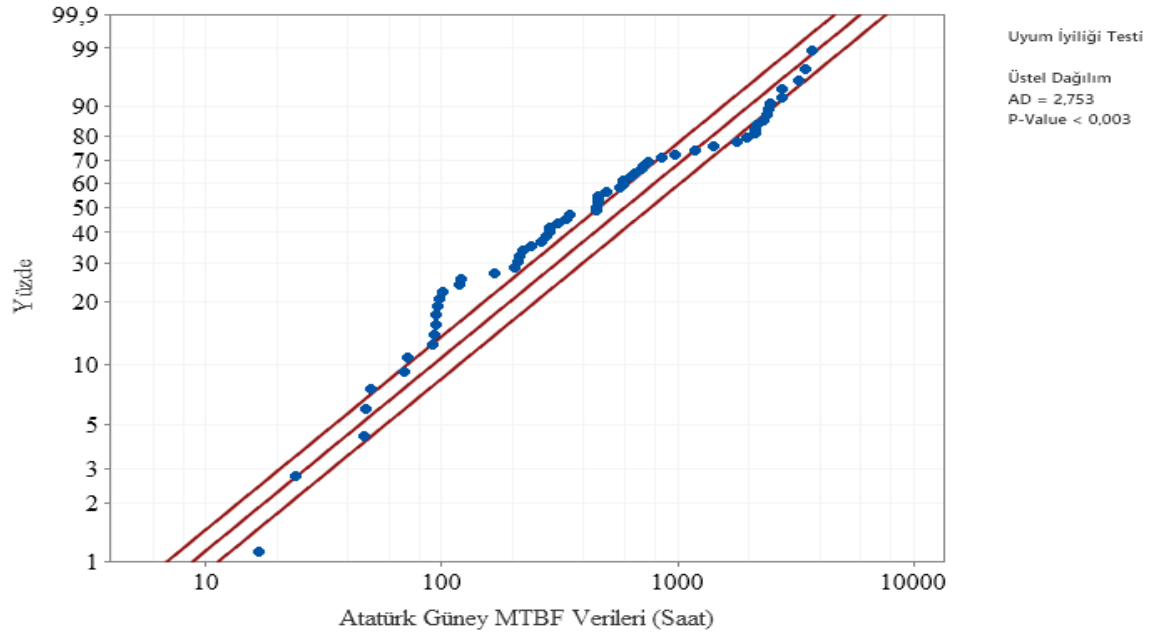
Dağılım	AD	p
Normal	5,632	<0,005
Üstel	2,753	<0,003
Weibull	0,963	0,015
Log-normal	0,540	0,160

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

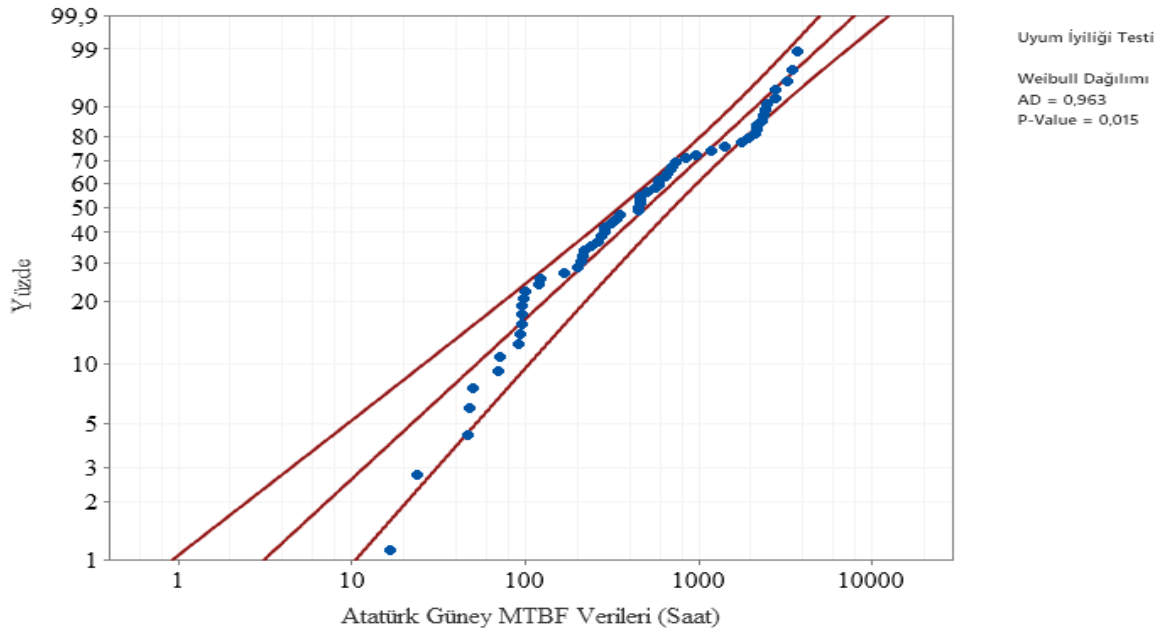
Çizelge 6.20'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,015'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,16'ya eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,16> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Atatürk- Güney fiderine ait verilerin Log-normal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Atatürk Güney fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.2'de, üstel dağılım için Şekil 6.3'te, weibull dağılımı için Şekil 6.4'te ve lognormal dağılım için Şekil 6.5'tegösterilmiştir.



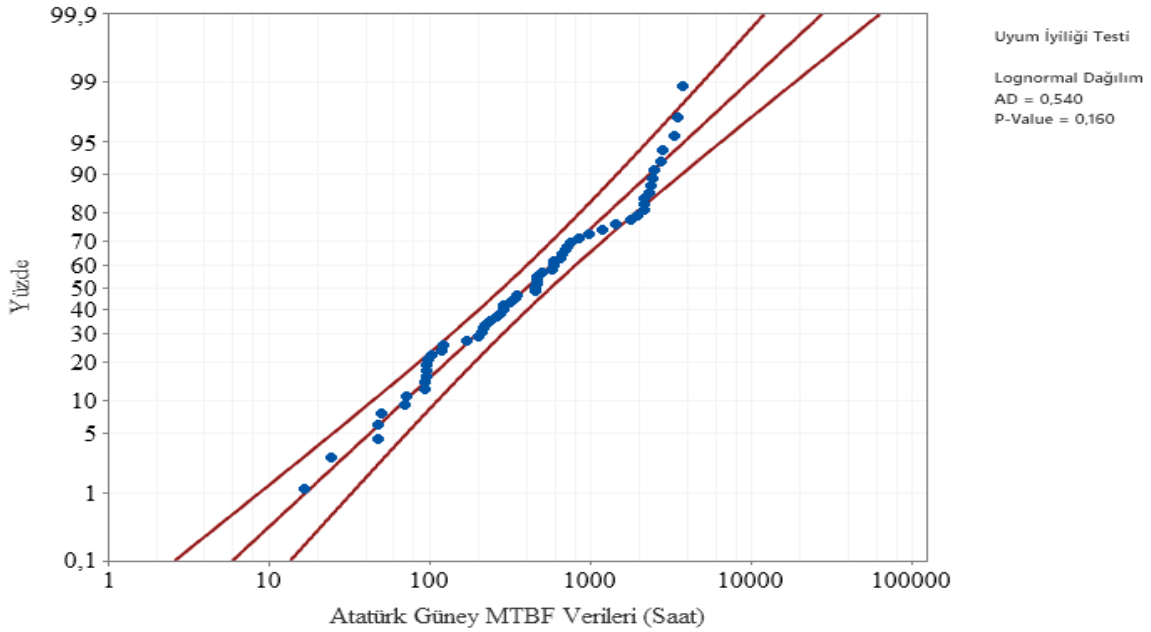
Şekil 6.2. Atatürk Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.3. Atatürk Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.4. Atatürk Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.5. Atatürk Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.2'de verilen Atatürk Kuzey Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.21'de gösterilmiştir.

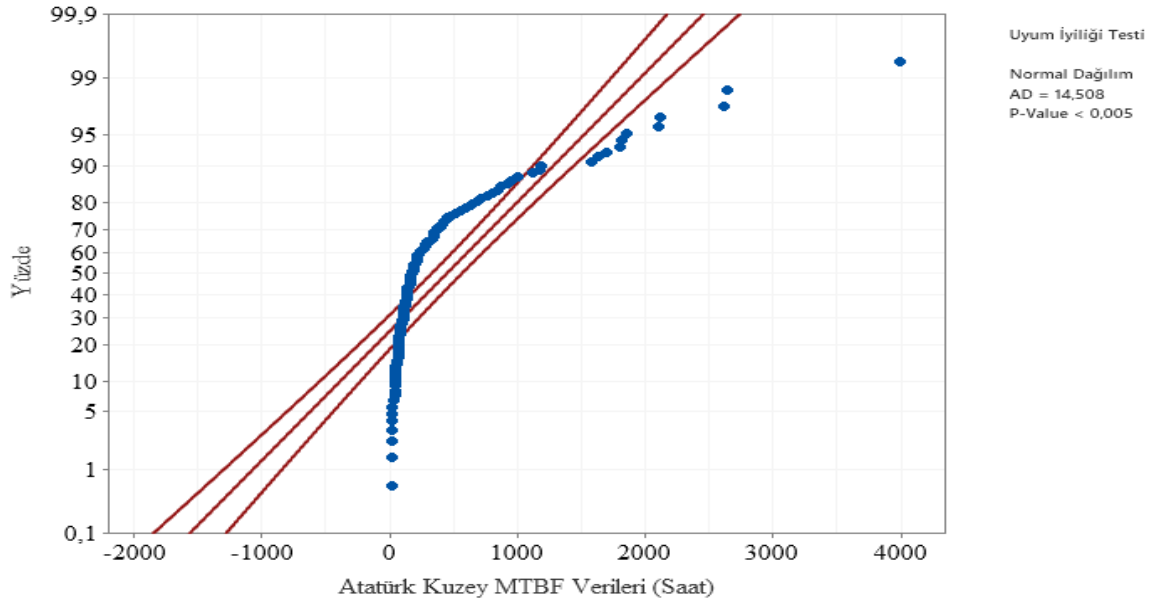
Çizelge 6.21. Atatürk Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	14,508	<0,005
Üstel	6,260	<0,003
Weibull	2,727	0,010
Log-normal	0,722	0,058

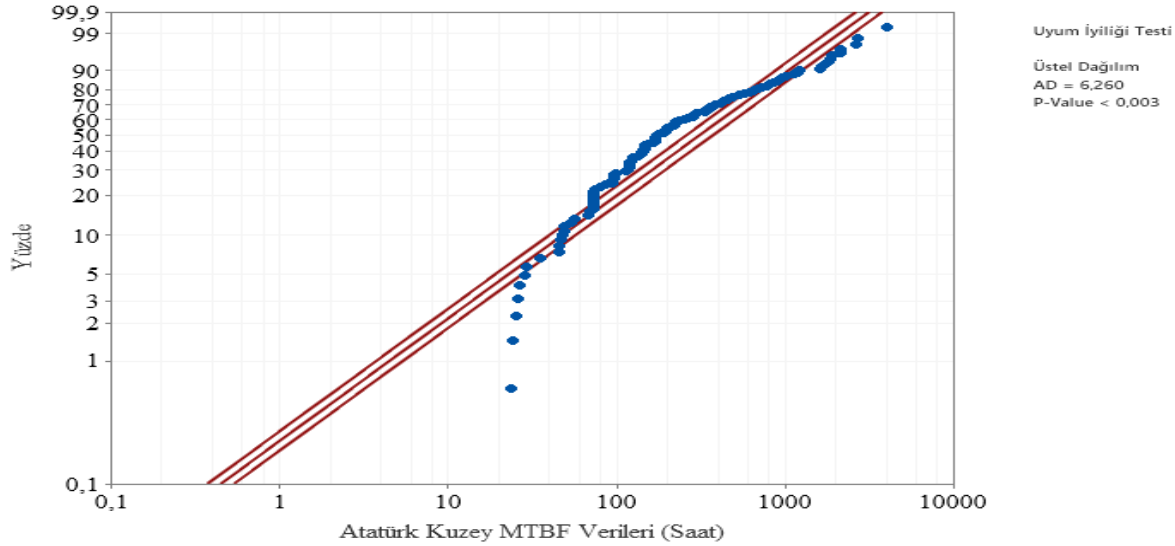
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.21'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,01'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,058'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,058> α=0,05 olduğu

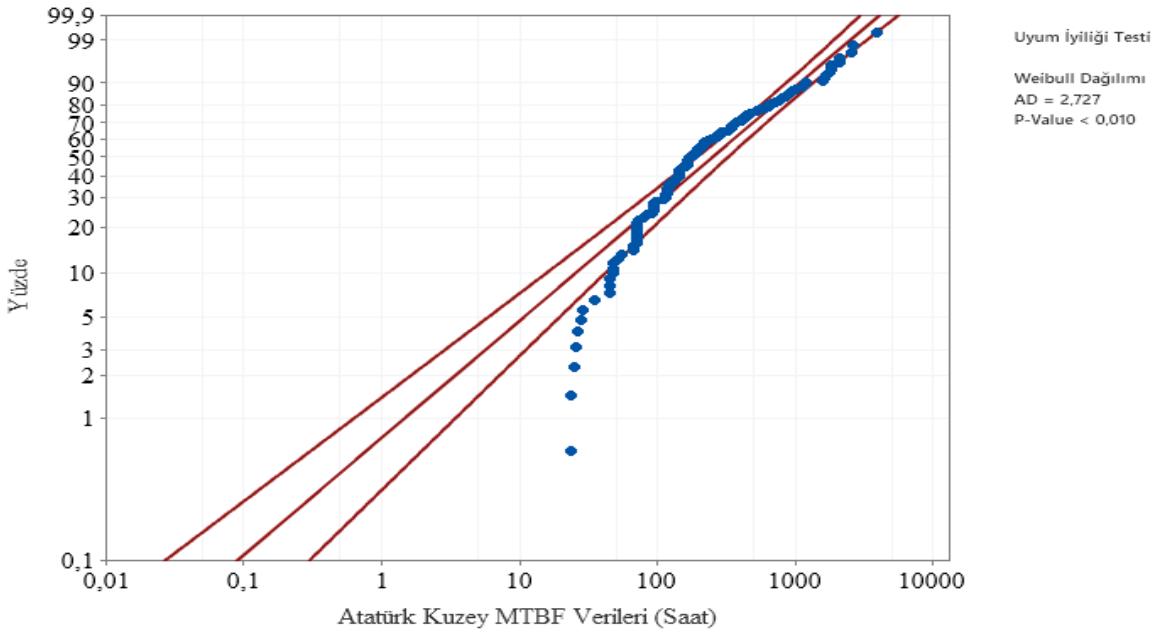
için sıfır hipotezi (H_0: Atatürk Kuzey fiderine ait verilerin lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Atatürk Kuzey fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.6'da üstel dağılım için Şekil 6.7'de, weibull dağılımı için Şekil 6.8'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



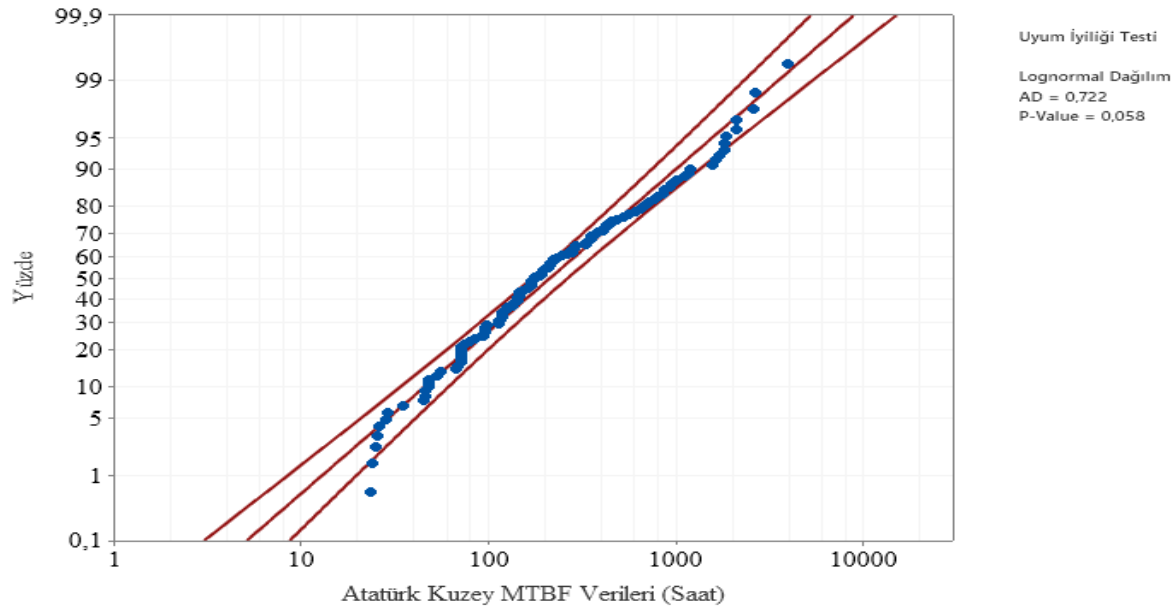
Şekil 6.6. Atatürk Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.7. Atatürk Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.8. Atatürk Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.9. Atatürk Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.3'te verilen Tufanbeyli Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

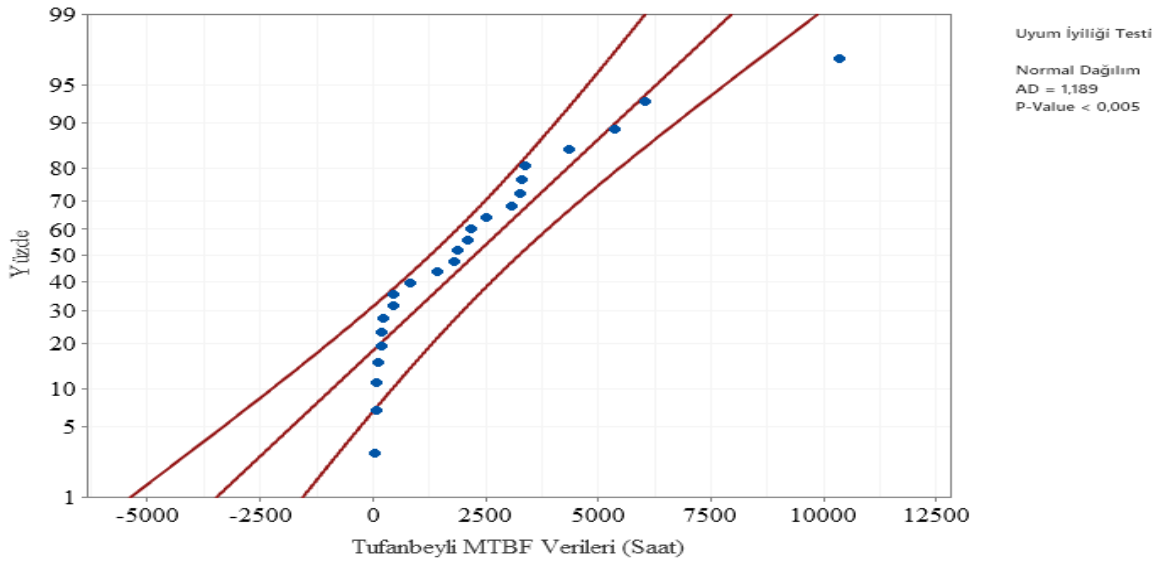
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.22. Tufanbeyli Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

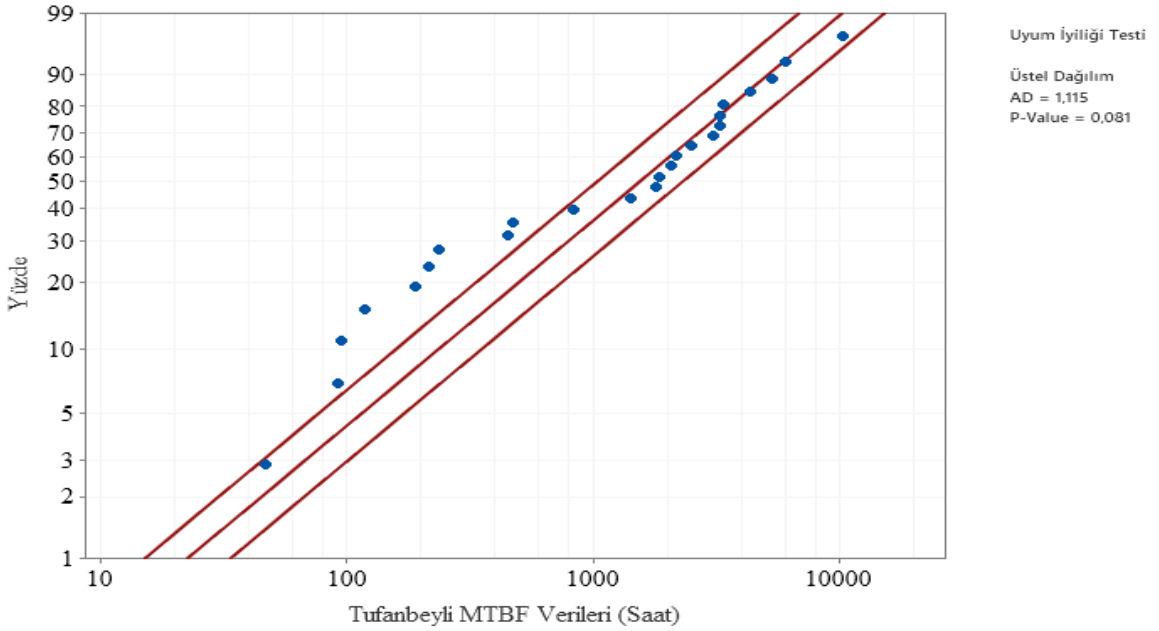
Dağılım	AD	p
Normal	1,189	<0,005
Üstel	1,115	0,081
Weibull	0,530	0,189
Log-normal	0,798	0,033

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

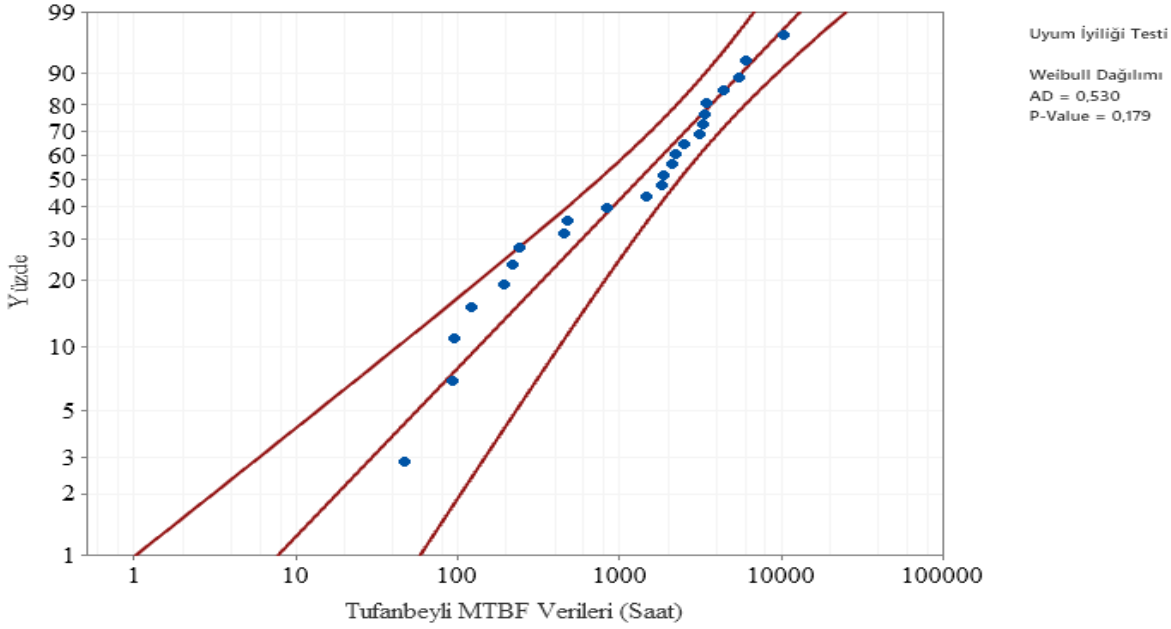
Çizelge 6.22'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,081'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,189'a eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,033'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,189> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Tufanbeyli fiderine ait verilerin Weibull olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Tufanbeyli fiderine ait veriler normal, üstel ve log-normal olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.10'da üstel dağılım için Şekil 6.11'de, weibull dağılımı için Şekil 6.12'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.13'te gösterilmiştir.



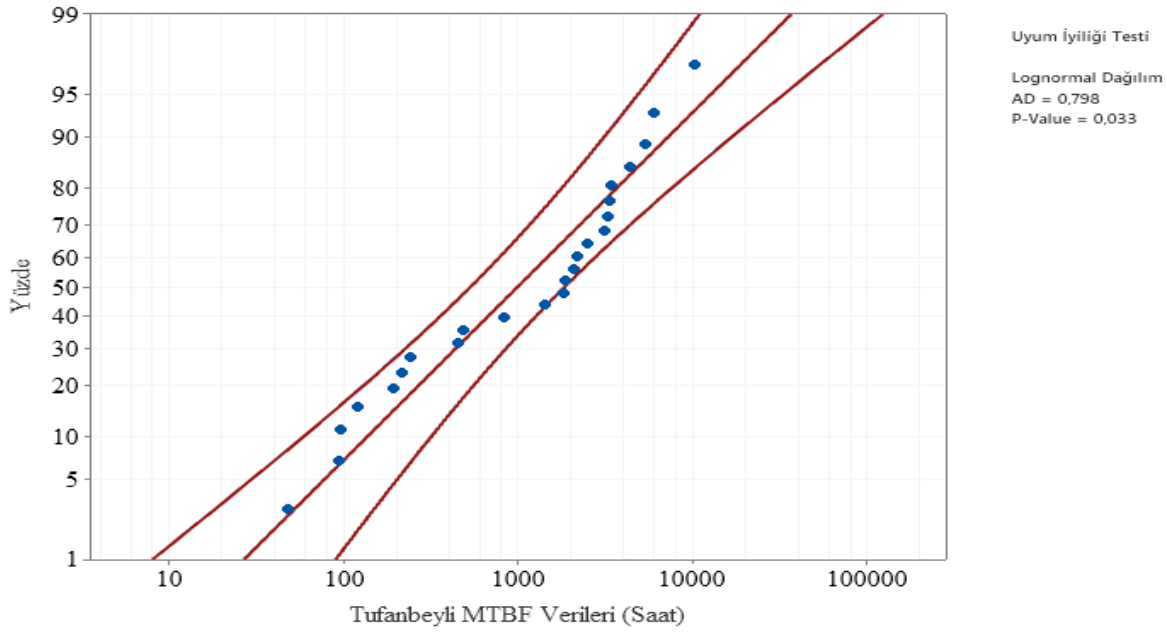
Şekil 6.10. Tufanbeyli Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.11. Tufanbeyli Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.12. Tufanbeyli Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.13. Tufanbeyli Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım weibull dağılımdır.

Çizelge 6.4'te verilen Kozan 1 Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.23'de gösterilmiştir.

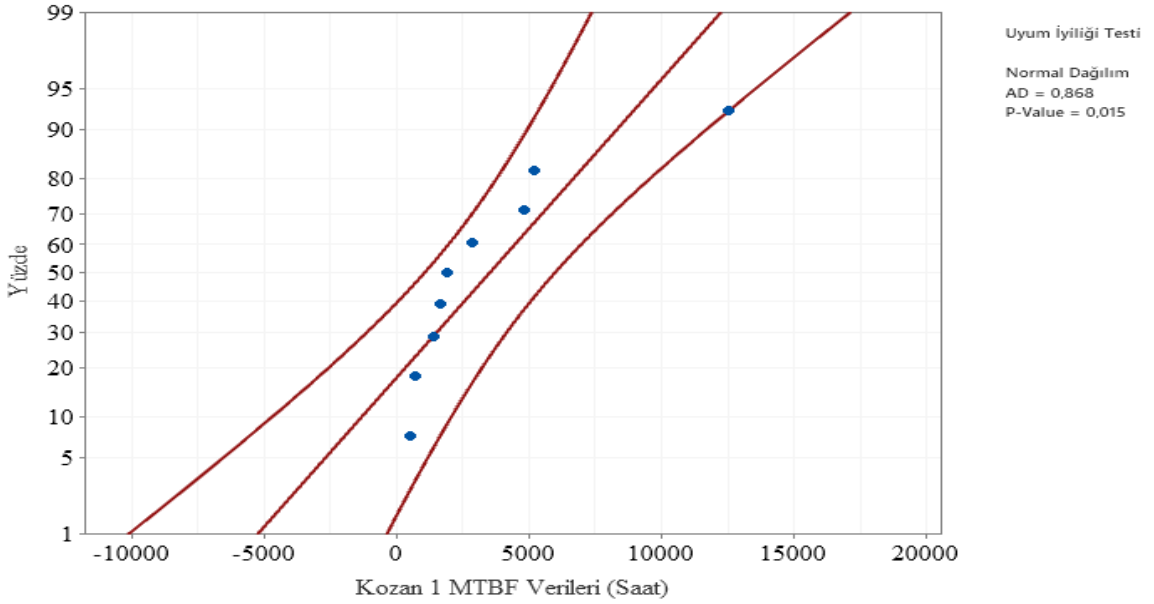
Çizelge 6.23. Kozan 1 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	0,868	0,015
Üstel	0,263	0,855
Weibull	0,277	0,250
Log-normal	0,156	0,927

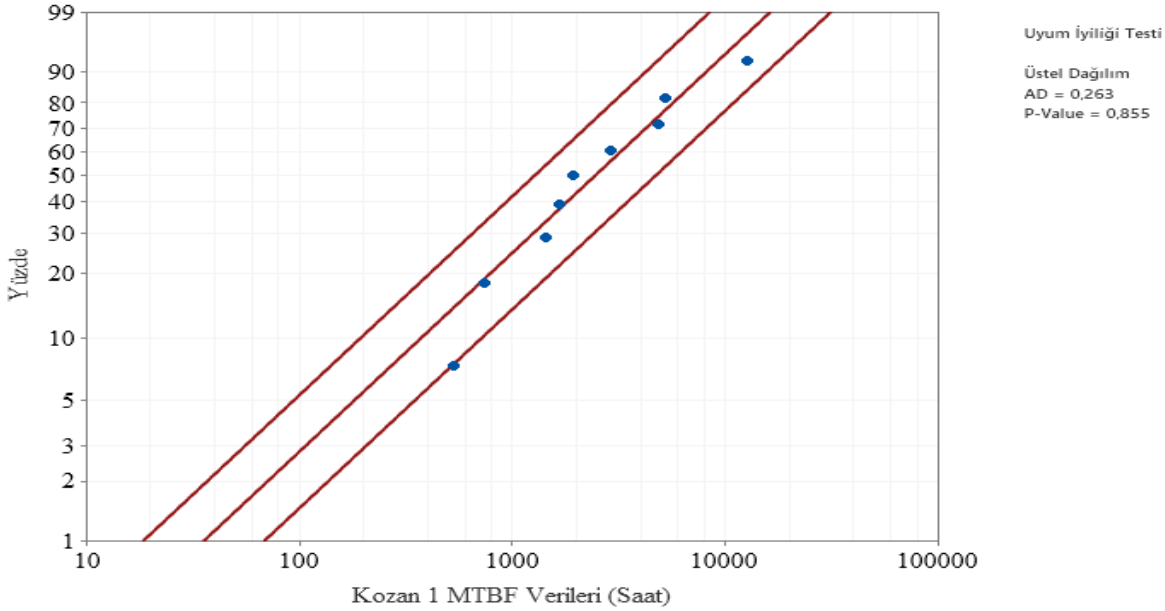
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.23'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,015'e eşit olduğu, üstel dağılımda 0,855'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,250'ye eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,927'ye eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,927> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Kozan 1 fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım

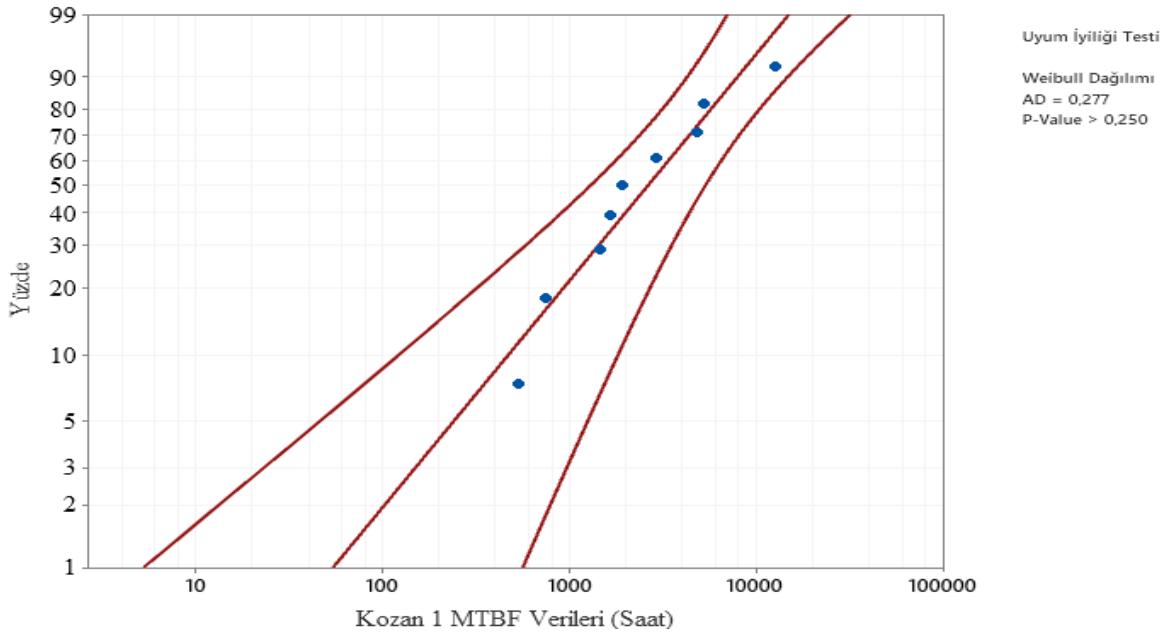
ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Kozan 1 fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.14'te üstel dağılım için Şekil 6.15'te, weibull dağılımı için Şekil 6.16'da ve log-normal dağılım için Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



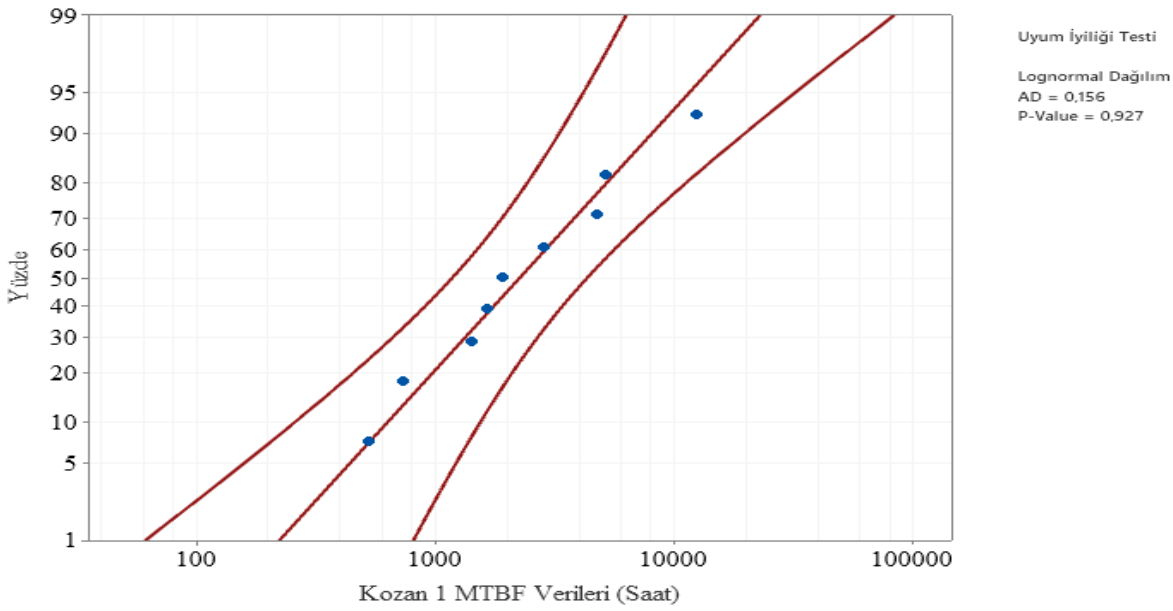
Şekil 6.14. Kozan 1 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.15. Kozan 1 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.16. Kozan 1 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.17. Kozan 1 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.5'te verilen Kozan 2 Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

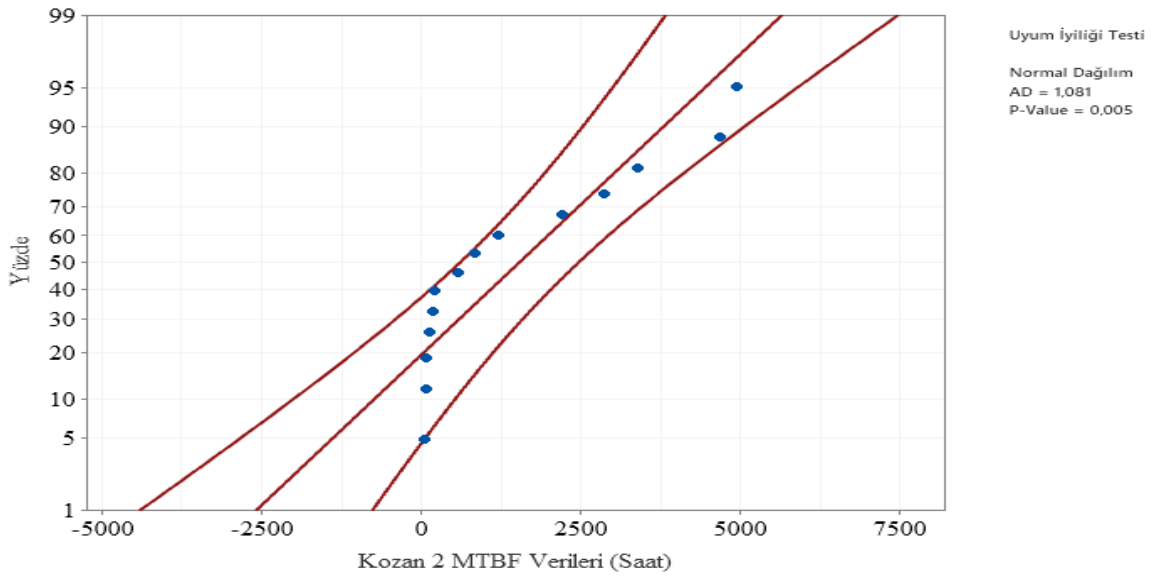
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.24'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 24. Kozan 2 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

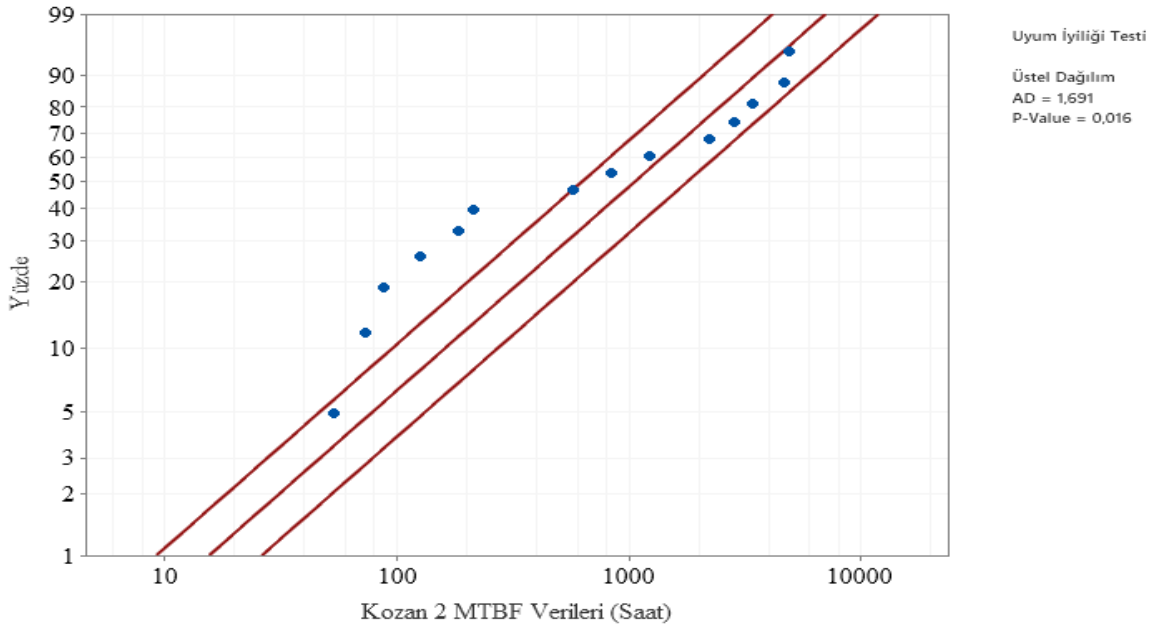
Dağılım	AD	p
Normal	1,081	0,005
Üstel	1,691	0,016
Weibull	0,508	0,193
Log-normal	0,455	0,227

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

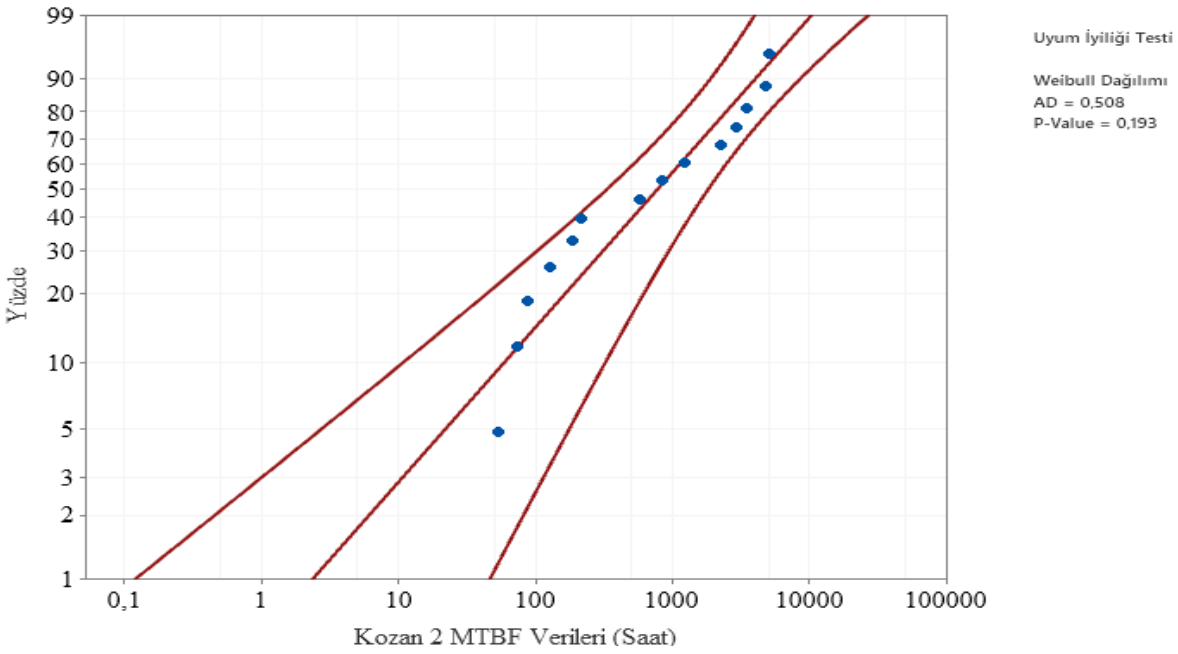
Çizelge 6.24'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'e eşit olduğu, üstel dağılımda 0,016'ya eşit olduğu, weibull dağılımında 0,193'ye eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,227'ye eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,227> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Kozan 2 fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Kozan 2 fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.18'de üstel dağılım için Şekil 6.19'da, weibull dağılımı için Şekil 6.20'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.21'de gösterilmiştir.



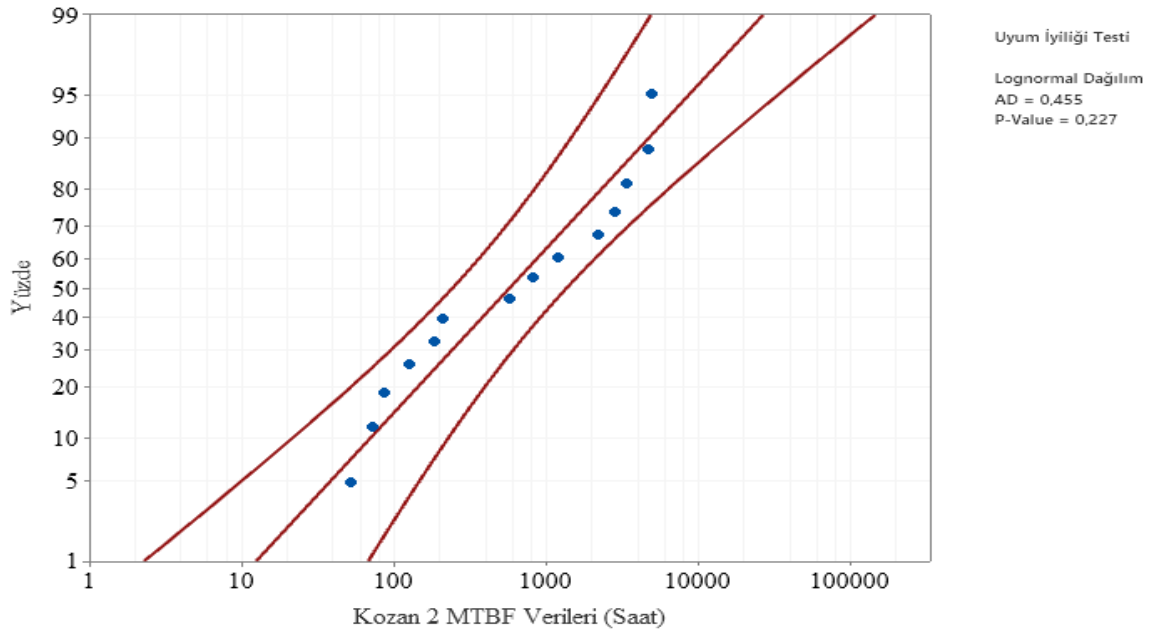
Şekil 6.18. Kozan 2 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.19. Kozan 2 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.20. Kozan 2 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.21. Kozan 2 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.6'da verilen Konya4 Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.25'de gösterilmiştir.

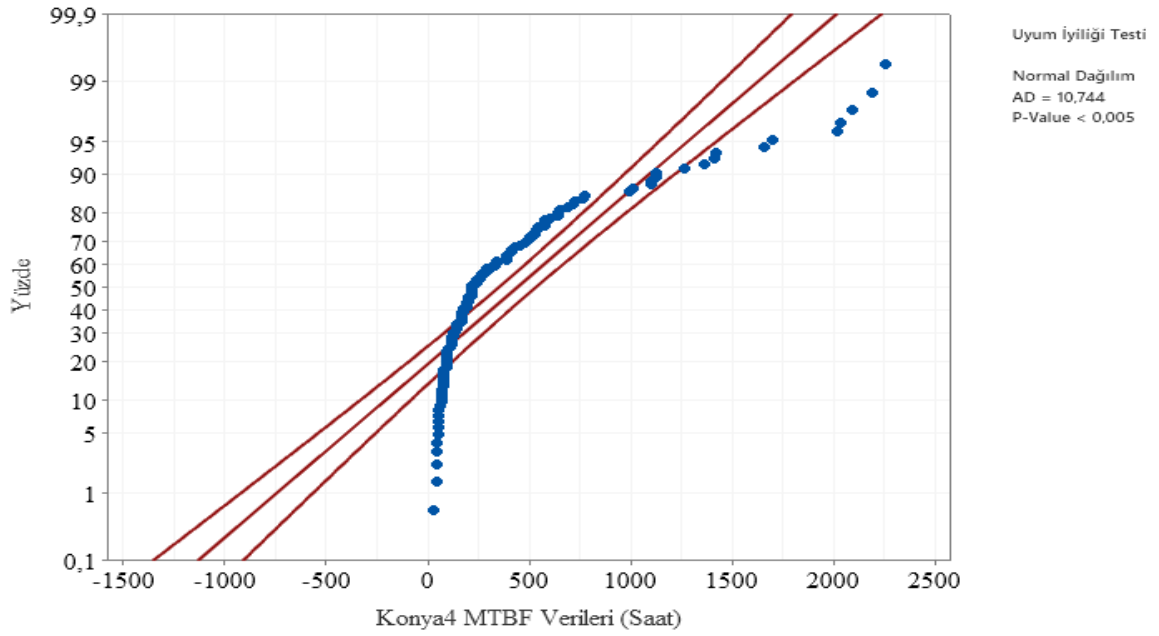
Çizelge 6.25. Konya4 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	10,744	<0,005
Üstel	2,253	0,005
Weibull	2,006	<0,01
Log-normal	0,629	0,099

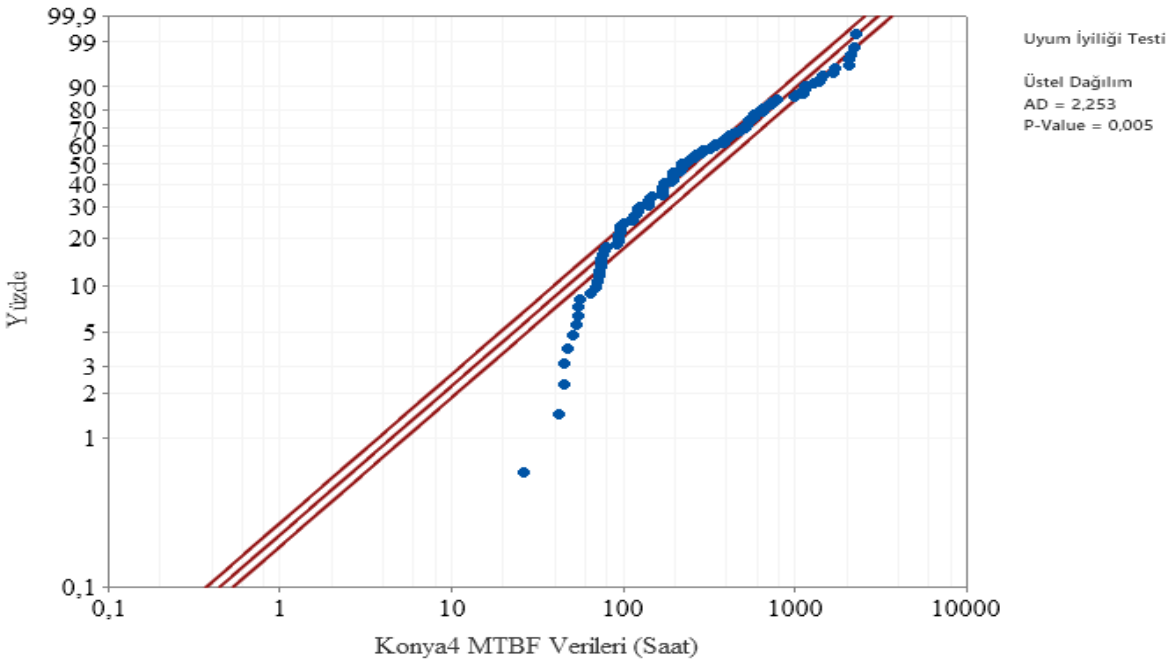
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.25'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,005'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,01'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,099'a eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,099> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Konya4 fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden

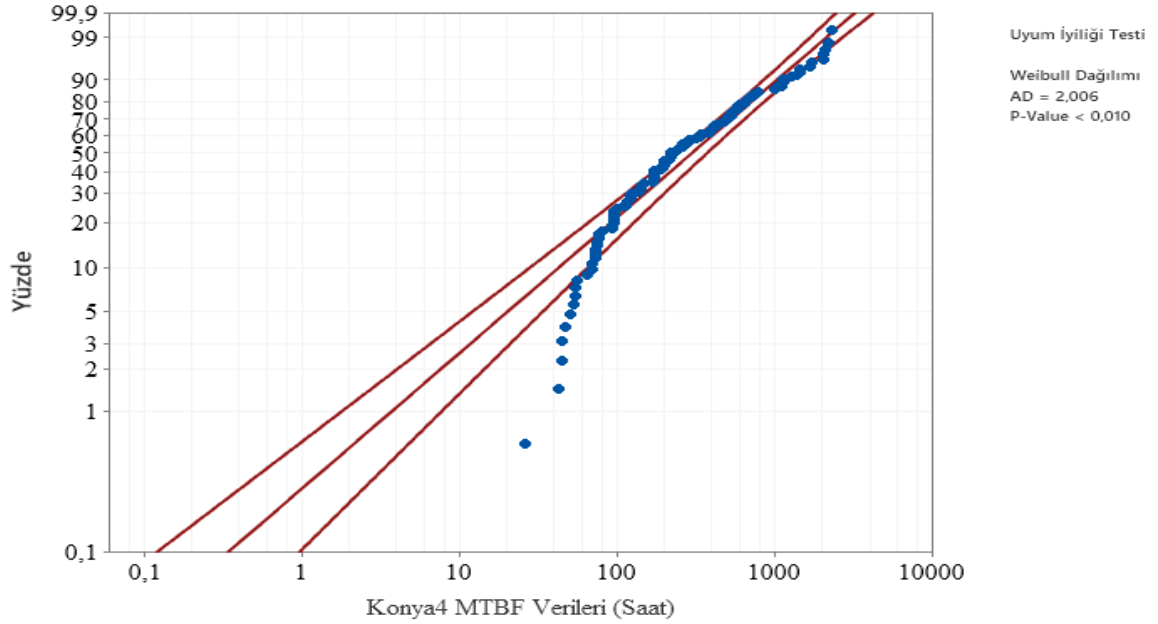
geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Konya fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.22'de üstel dağılım için Şekil 6.23'te, weibull dağılımı için Şekil 6.24'te ve log-normal dağılım için Şekil 6.25'te gösterilmiştir.



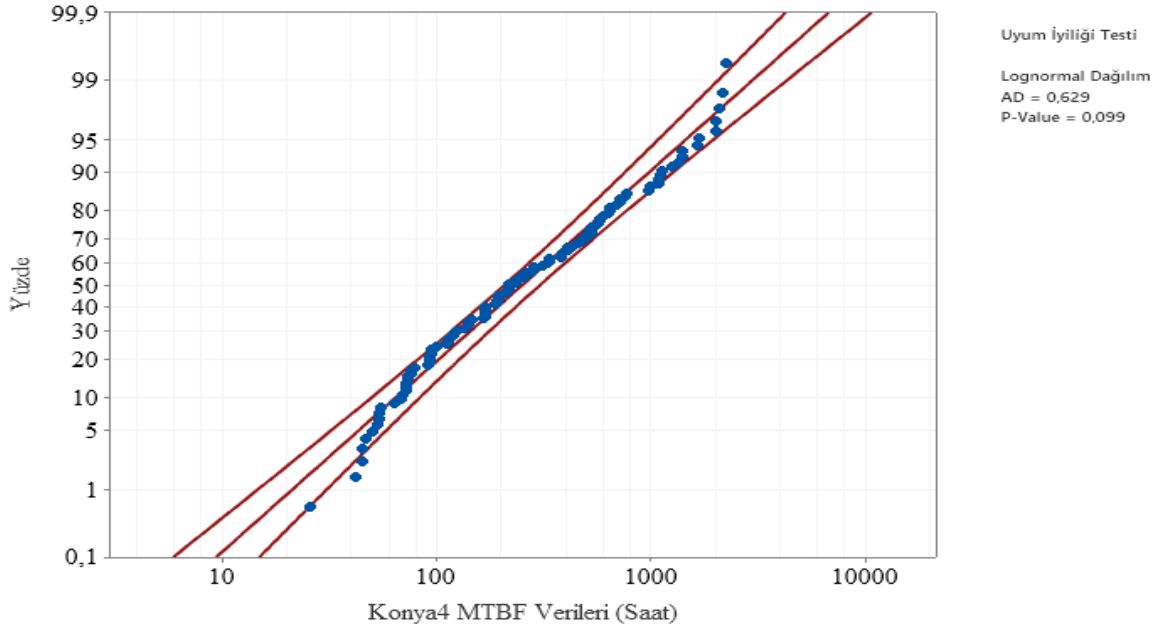
Şekil 6.22. Konya4 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.23. Konya4 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.24. Konya4 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.25. Konya4 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.7'da verilen Temelli Güney Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

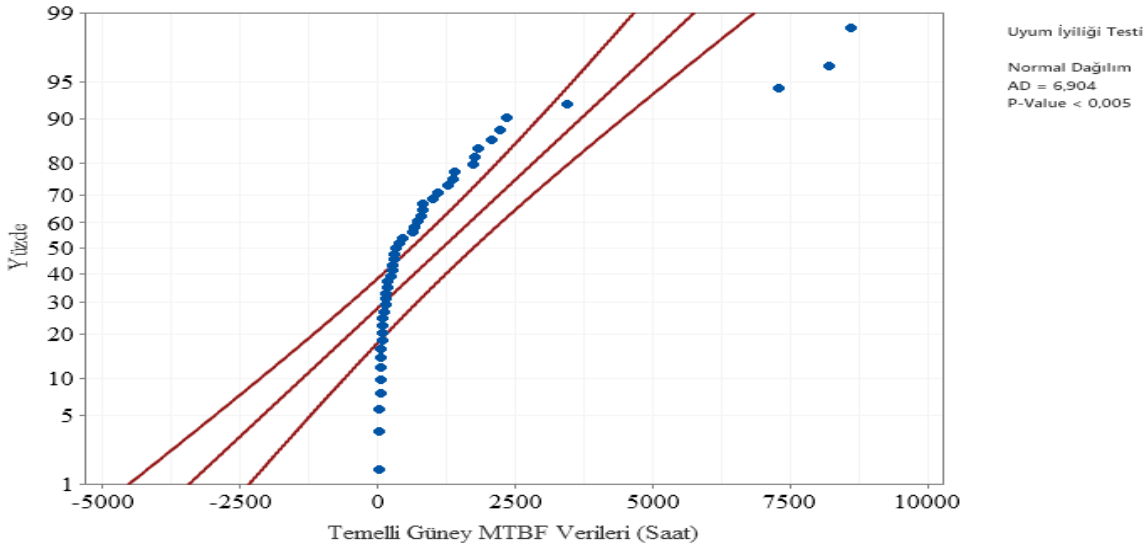
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.26'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.26. Temelli Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

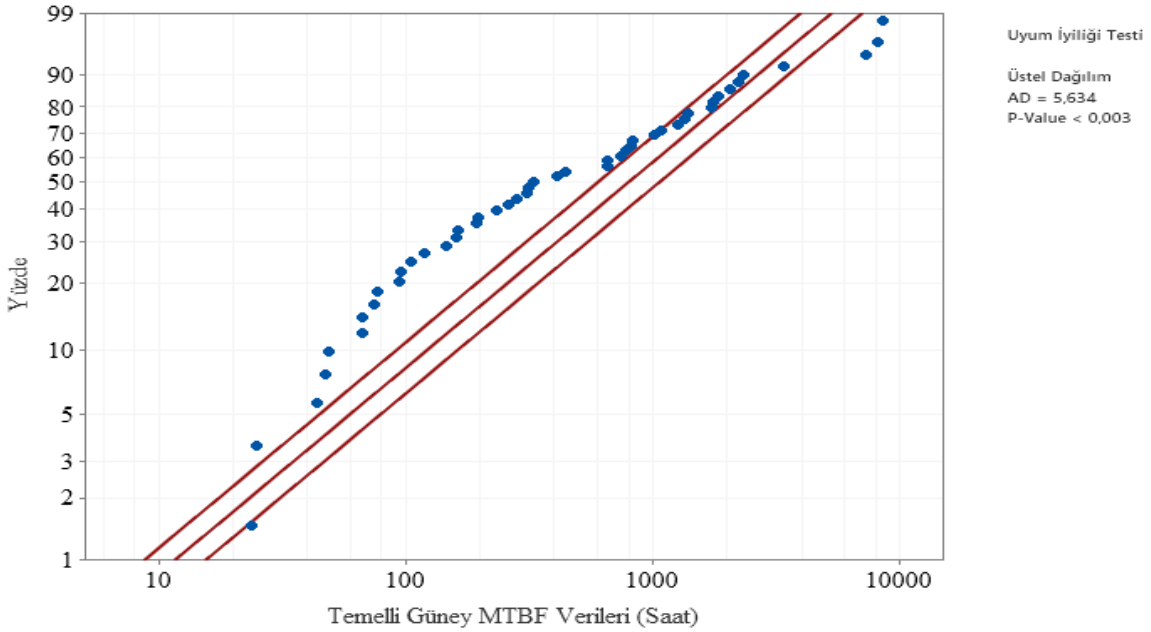
Dağılım	AD	p
Normal	6,904	<0,005
Üstel	5,634	<0,003
Weibull	0,680	0,074
Log-normal	0,302	0,563

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

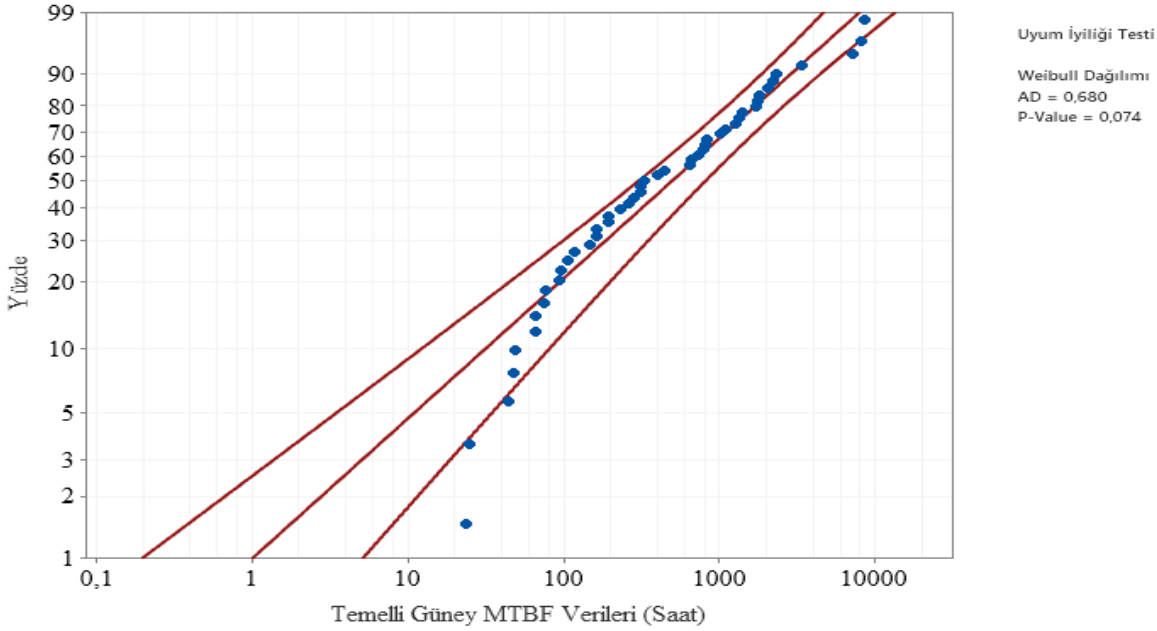
Çizelge 6.26'da görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,074'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,563'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,563> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Temelli Güney fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Temelli Güney fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.26'da üstel dağılım için Şekil 6.27'de, weibull dağılımı için Şekil 6.28'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.29'de gösterilmiştir.



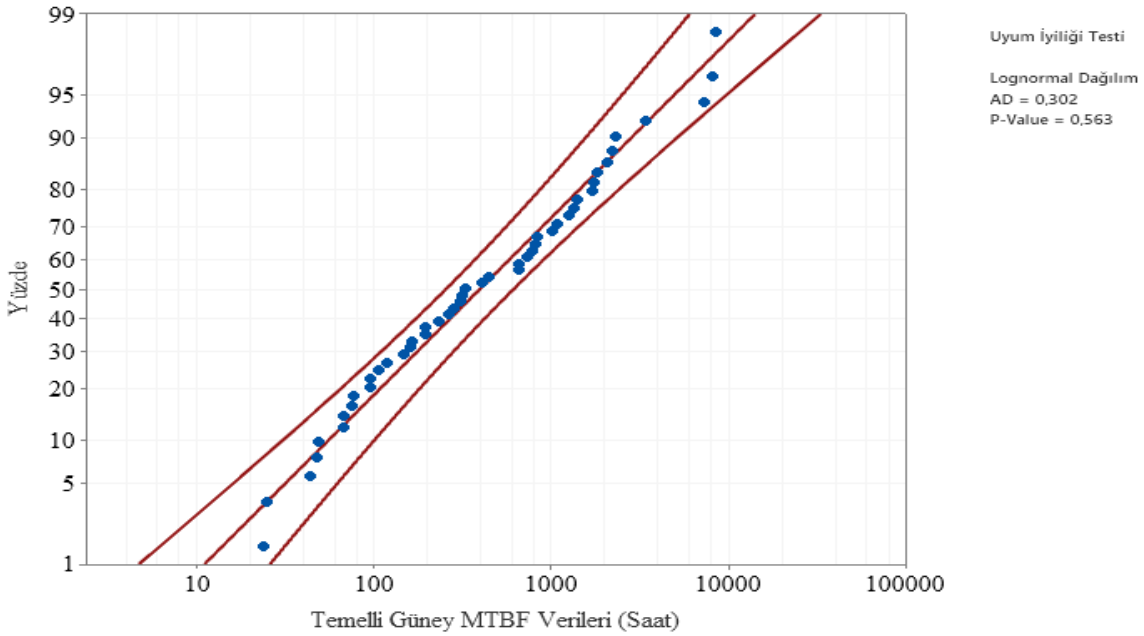
Şekil 6.26. Temelli Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.27. Temelli Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.28. Temelli Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.29. Temelli Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.8'de verilen Temelli Kuzey Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.27'de gösterilmiştir.

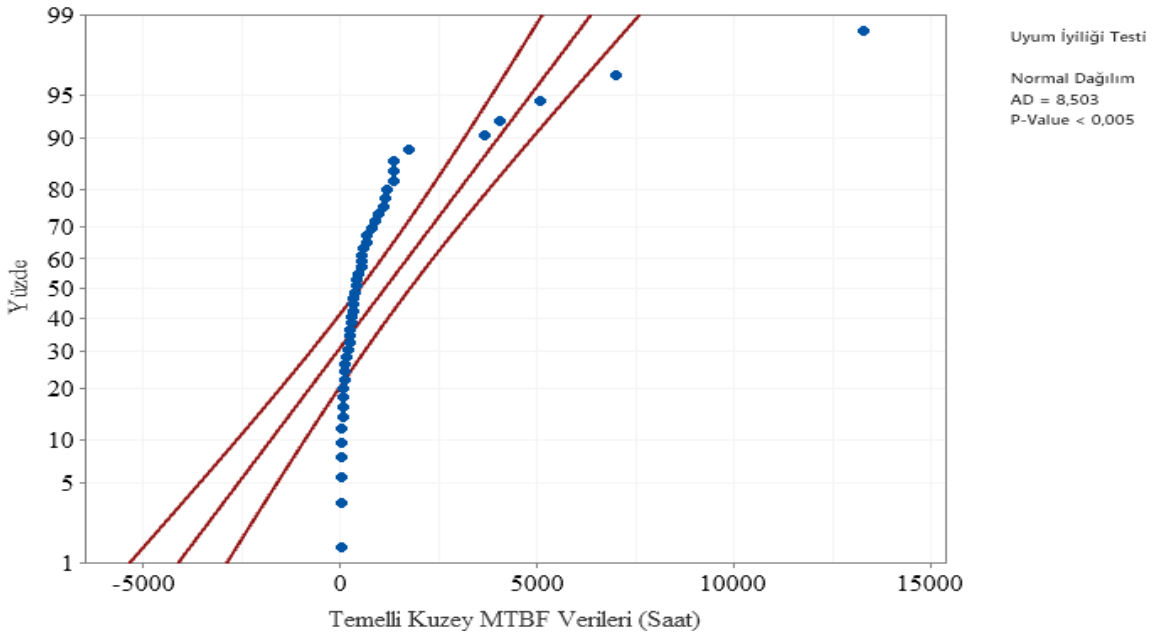
Çizelge 6.27. Temelli Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	8,503	<0,005
Üstel	5,235	<0,003
Weibull	1,105	<0,01
Log-normal	0,297	0,576

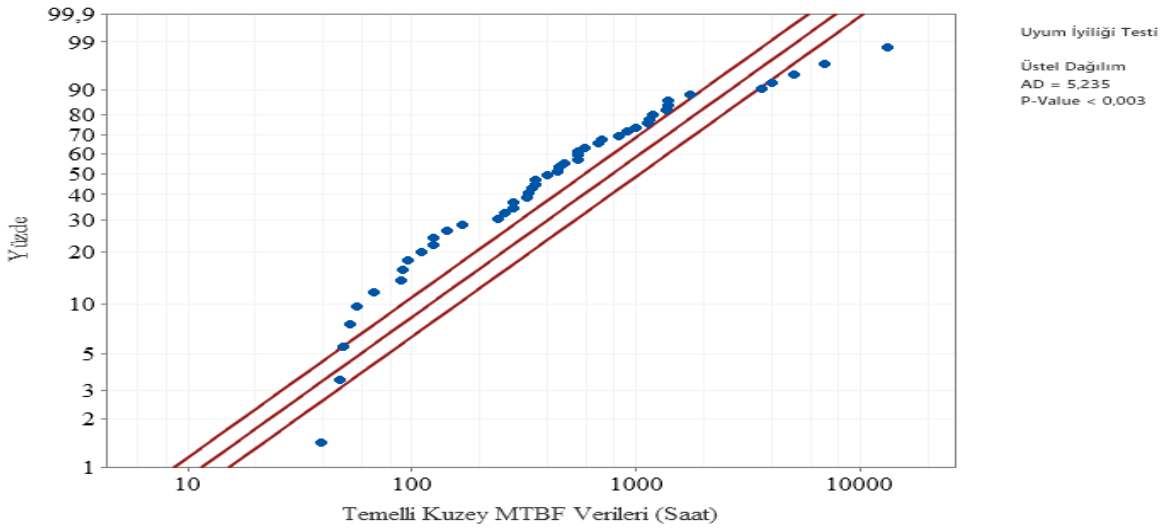
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.27'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,01'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,576'ya eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,576>

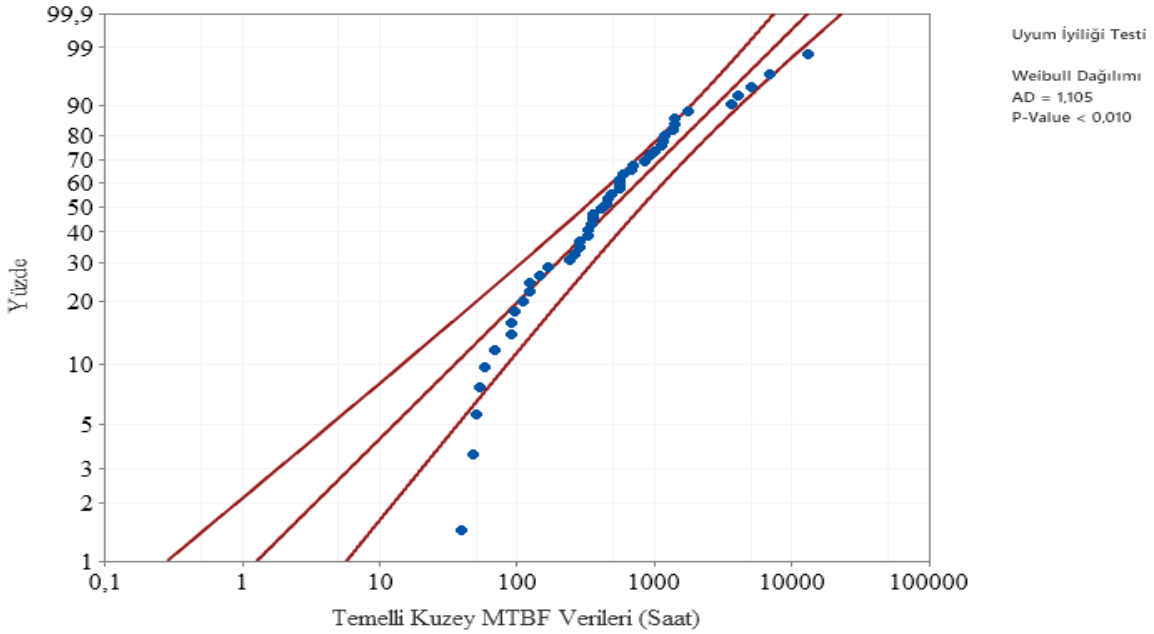
α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Temelli Kuzey fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Temelli Kuzey fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.30'da üstel dağılım için Şekil 6.31'de, weibull dağılımı için Şekil 6.32'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.33'te gösterilmiştir.



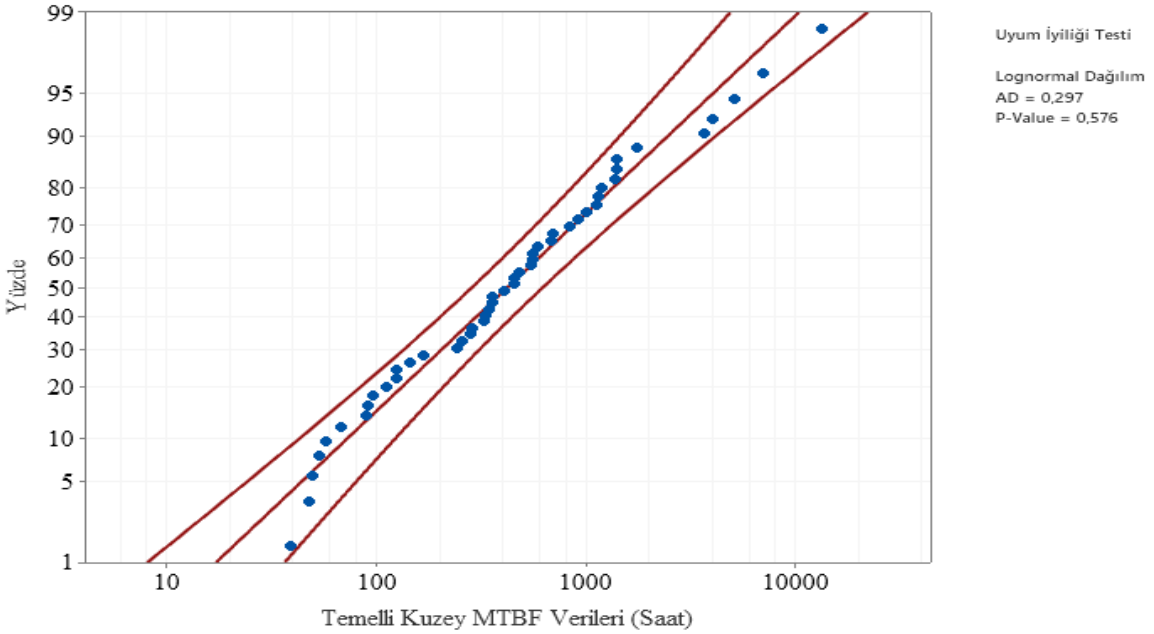
Şekil 6.30. Temelli Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.31. Temelli Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.32. Temelli Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.33. Temelli Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.30, Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.9'da verilen Elbistan A Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

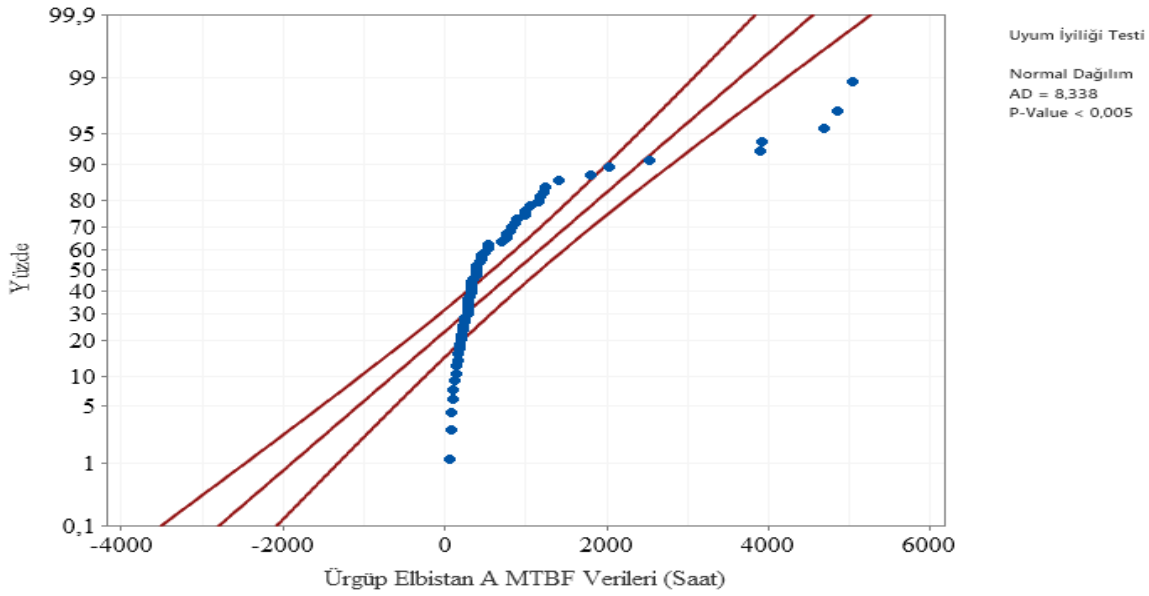
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.28. Elbistan A Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

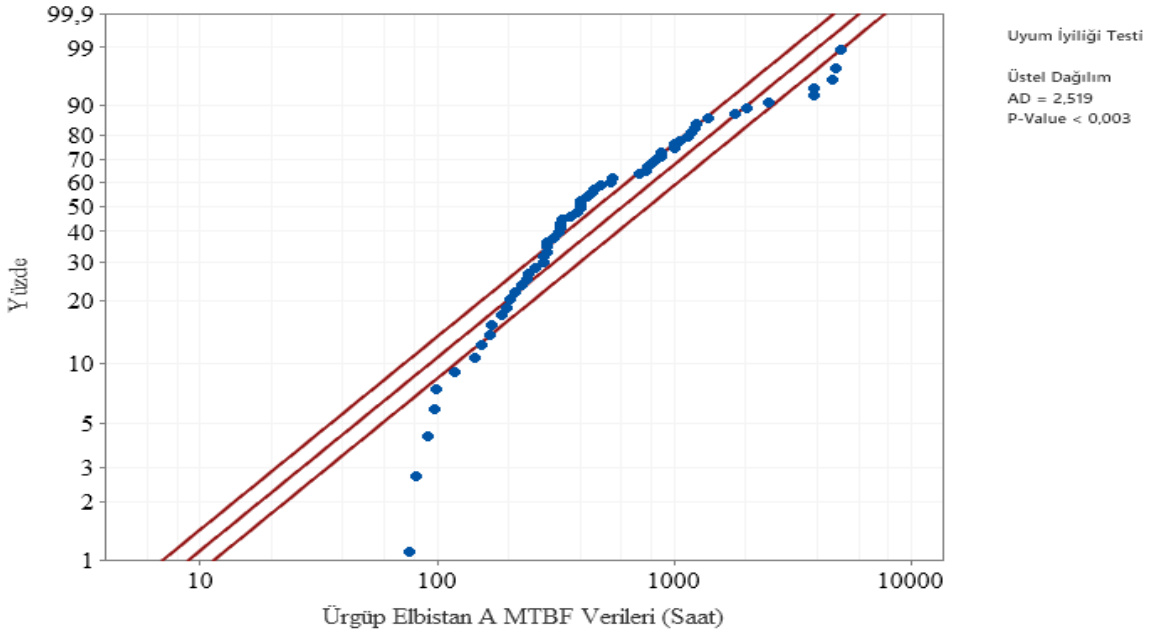
Dağılım	AD	p
Normal	8,338	<0,005
Üstel	2,519	<0,003
Weibull	1,190	<0,01
Log-normal	0,597	0,116

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

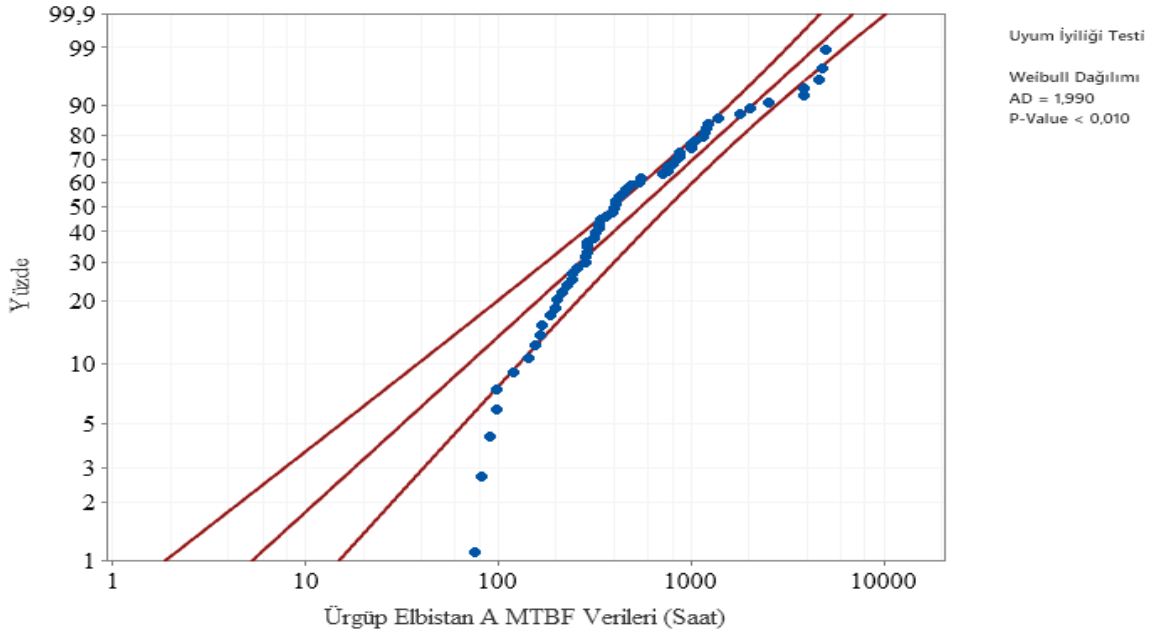
Çizelge 6.28'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,01'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,116'ya eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,116> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Elbistan A fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Elbistan A fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.34'te üstel dağılım için Şekil 6.35'te, weibull dağılımı için Şekil 6.36'da ve log-normal dağılım için Şekil 6.37'de gösterilmiştir.



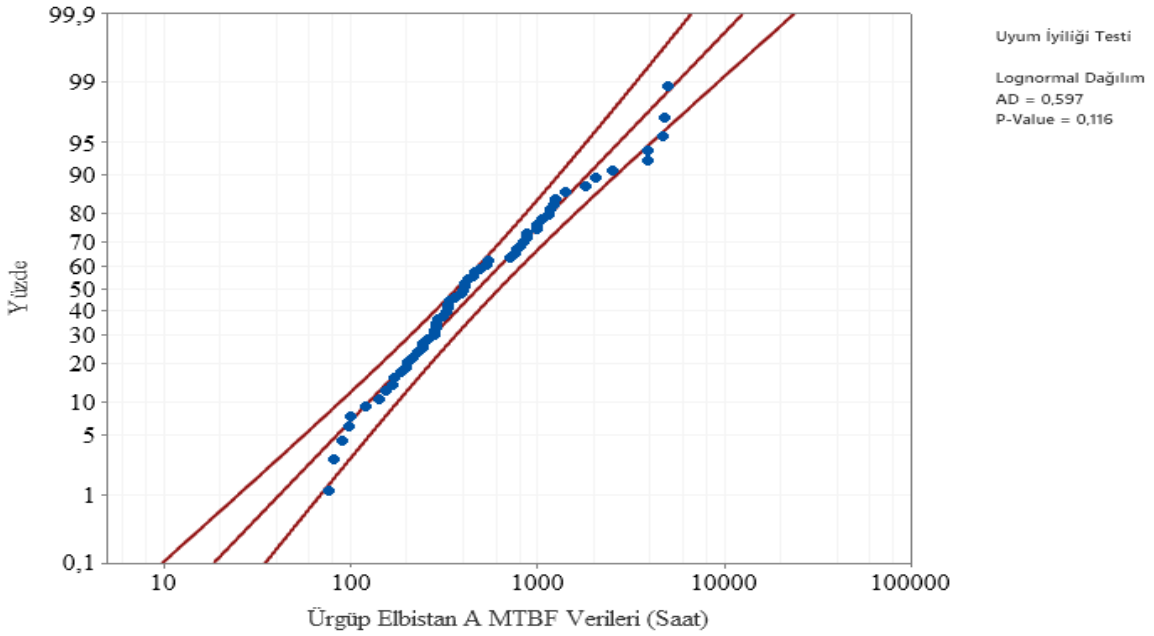
Şekil 6.34. Elbistan A Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.35. Elbistan A Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.36. Elbistan A Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.37. Elbistan A Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.10'da verilen Elbistan B Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.29'da gösterilmiştir.

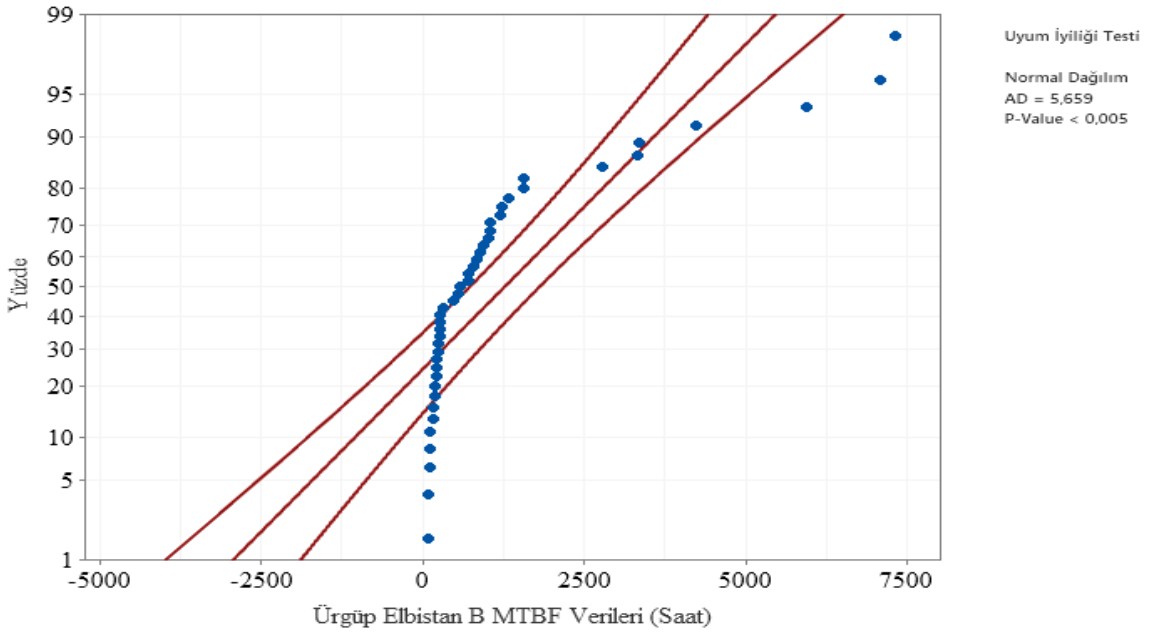
Çizelge 6.29. Elbistan B Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	5,569	<0,005
Üstel	2,699	<0,003
Weibull	1,237	<0,01
Log-normal	0,612	0,104

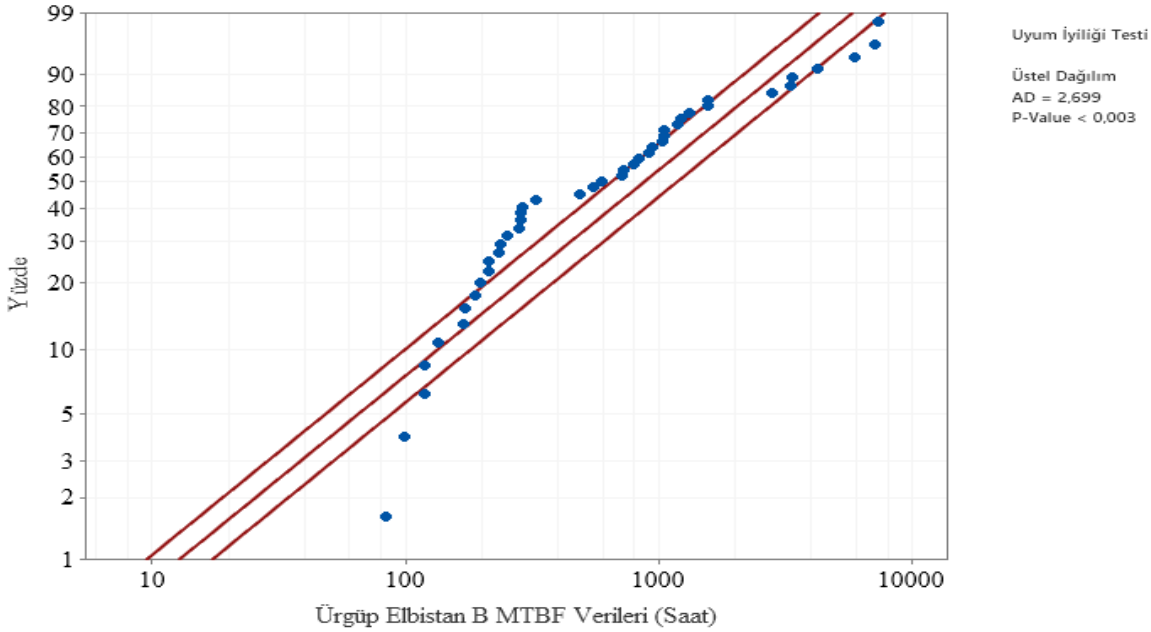
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.29'da görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,01'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,104'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,104> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Elbistan B fiderine ait verilerin Lognormal olasılık

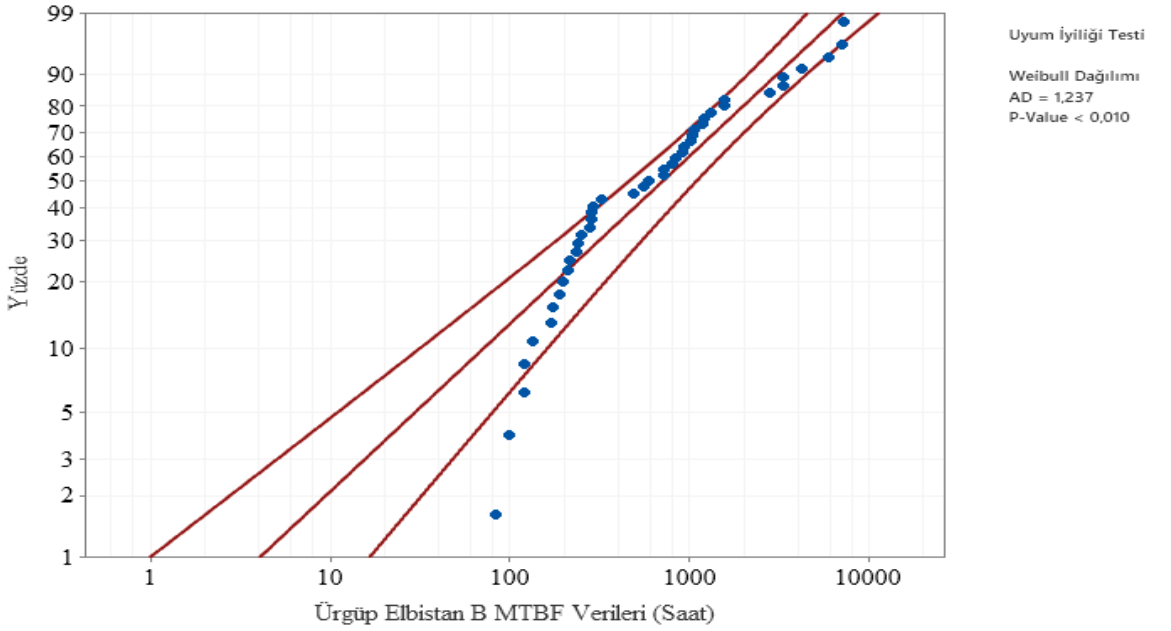
dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Elbistan B fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.38'de üstel dağılım için Şekil 6.39'da, weibull dağılımı için Şekil 6.40'da ve log-normal dağılım için Şekil 6.41'de gösterilmiştir.



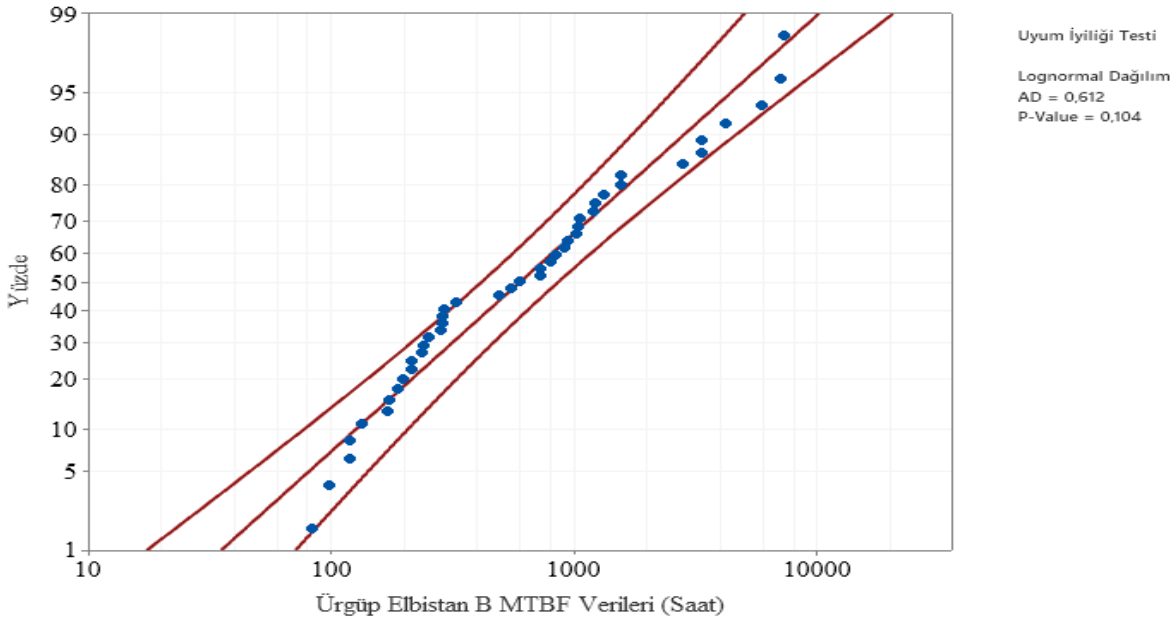
Şekil 6.38. Elbistan B Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.39. Elbistan B Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.40. Elbistan B Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.41. Elbistan B Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.38, Şekil 6.39, Şekil 6.40 ve Şekil 6.41'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.11'de verilen Sincan 1 Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

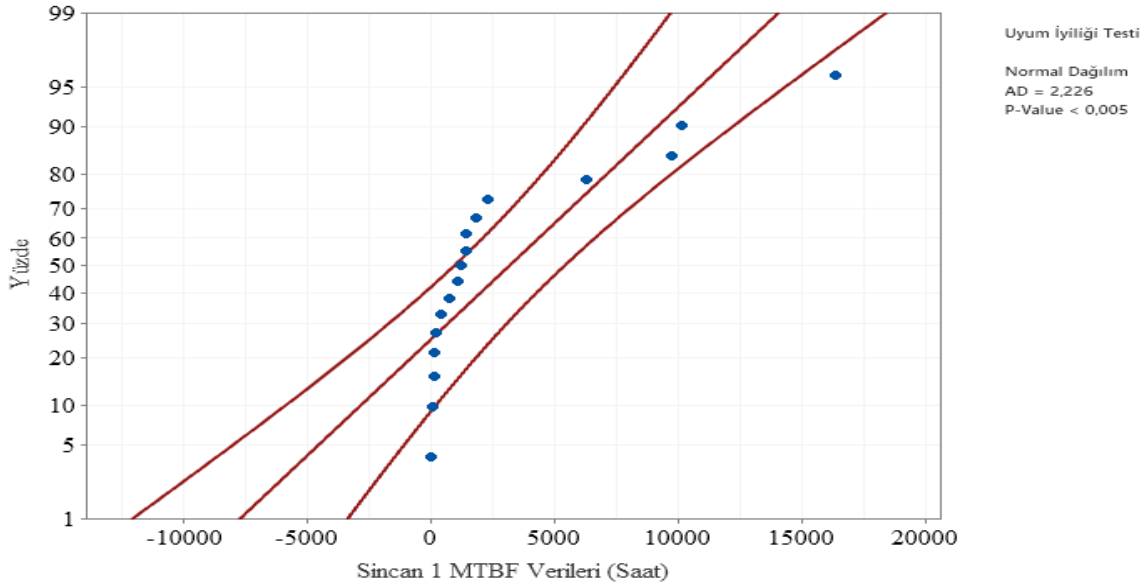
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.30. Sincan 1 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

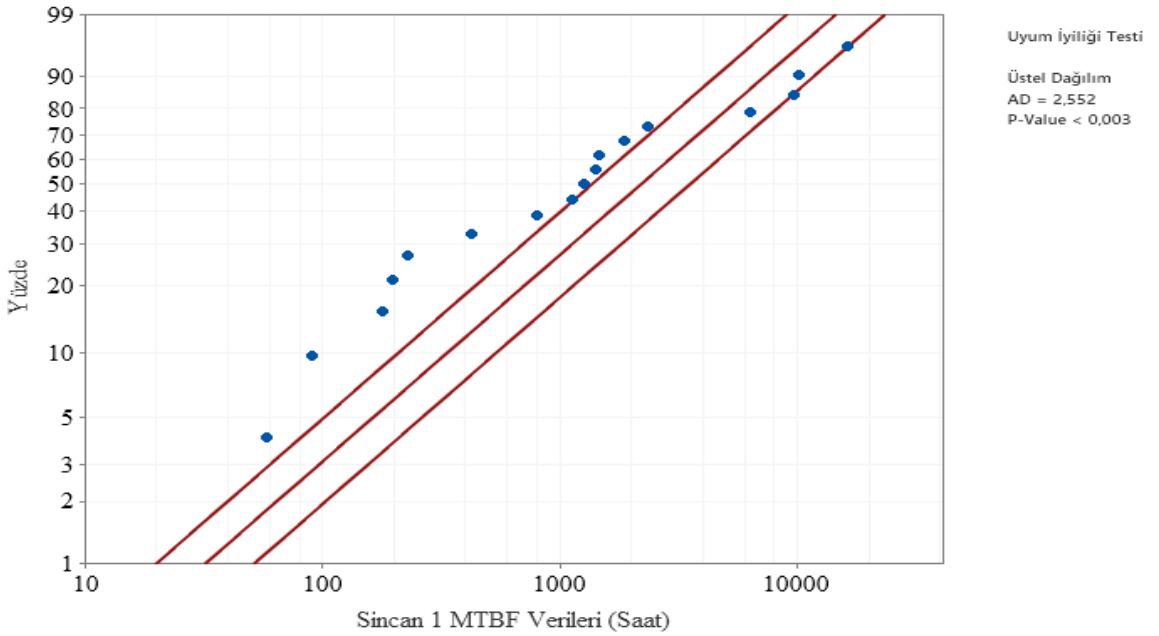
Dağılım	AD	p
Normal	2,226	<0,005
Üstel	2,552	<0,003
Weibull	0,387	0,25
Log-normal	0,257	0,676

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

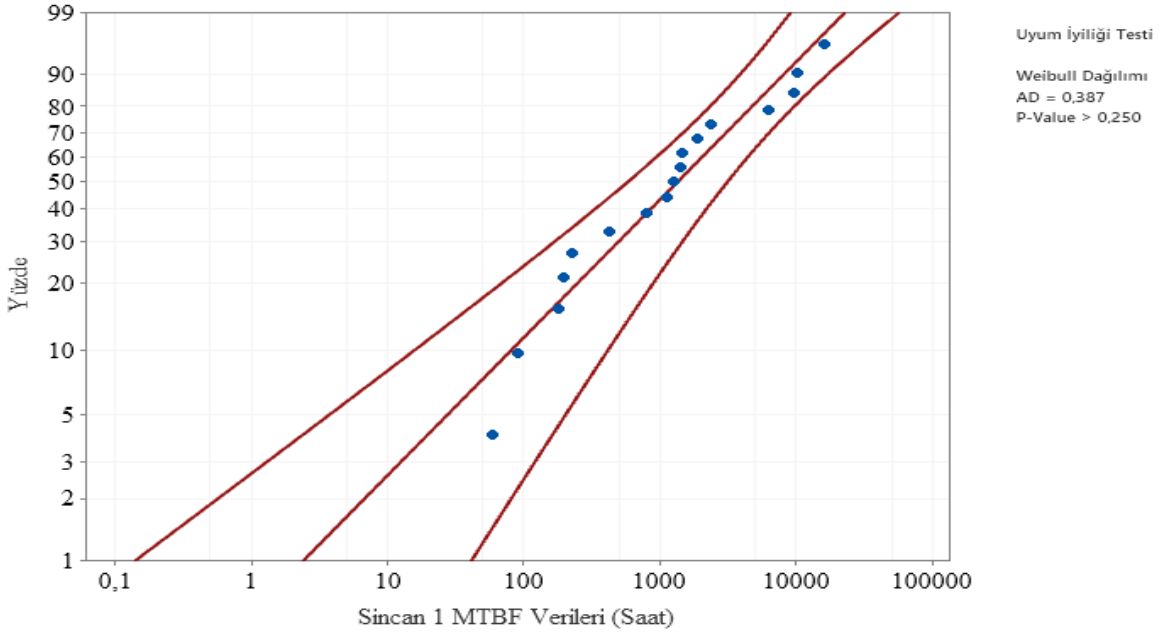
Çizelge 6.30'da görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,25'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,676'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,676> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Sincan 1 fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Sincan 1 fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.42'de üstel dağılım için Şekil 6.43'te, weibull dağılımı için Şekil 6.44'te ve log-normal dağılım için Şekil 6.45'te gösterilmiştir.



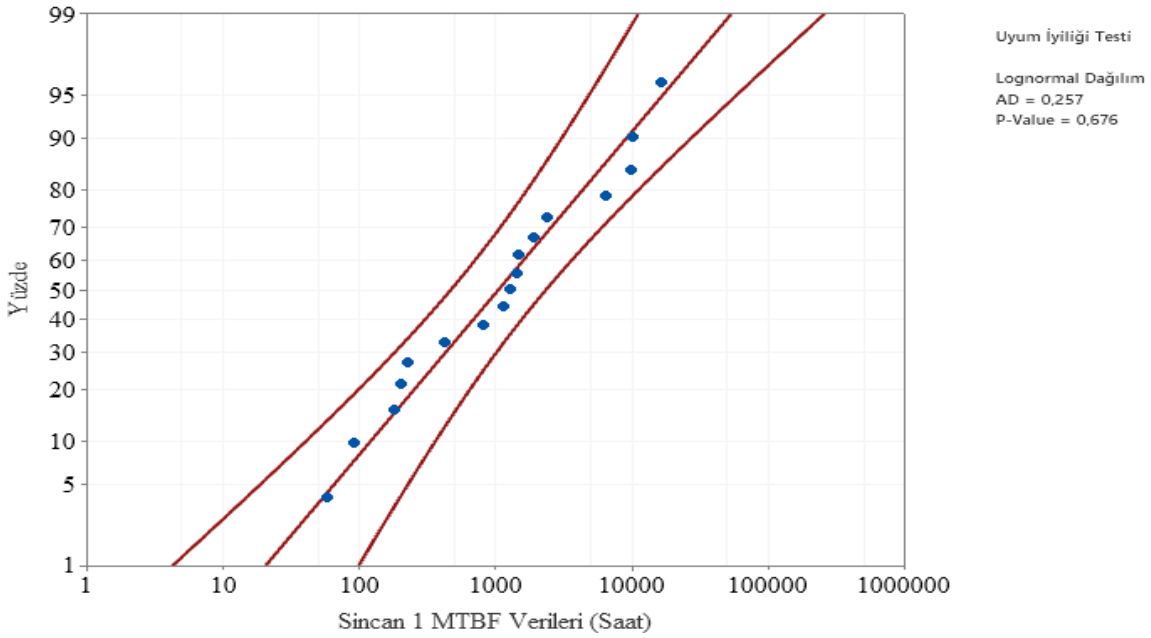
Şekil 6.42. Sincan 1 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.43. Sincan 1 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.44. Sincan 1 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.45. Sincan 1 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.42, Şekil 6.43, Şekil 6.44 ve Şekil 6.45'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.12'de verilen Sincan 2 Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.31'de gösterilmiştir.

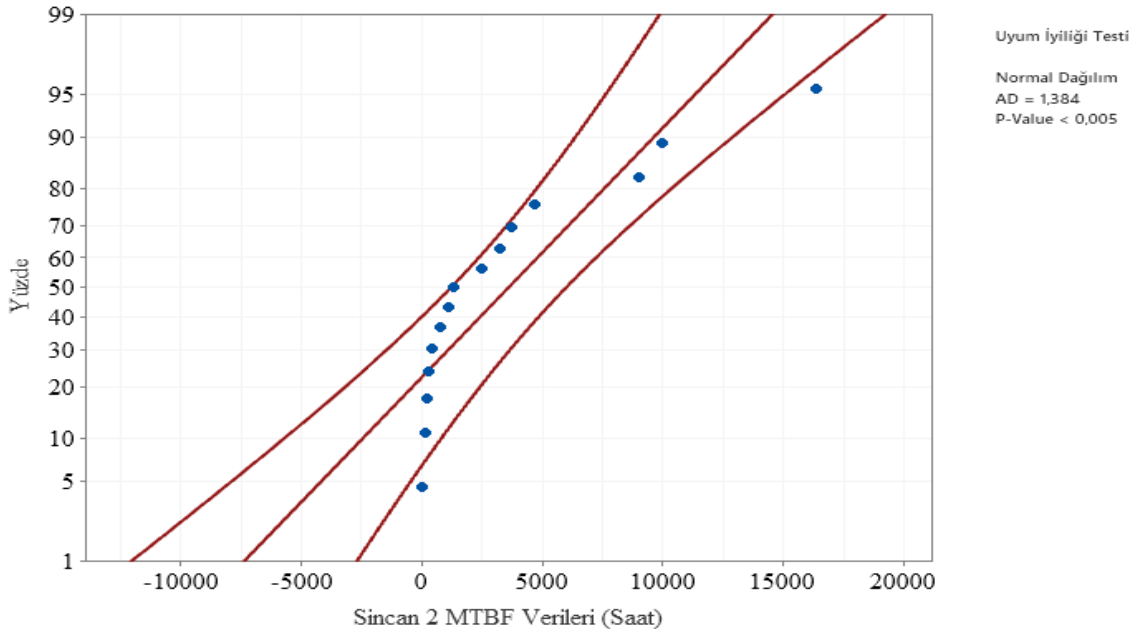
Çizelge 6.31. Sincan 2 Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	1,384	<0,005
Üstel	1,296	0,047
Weibull	0,196	0,25
Log-normal	0,181	0,896

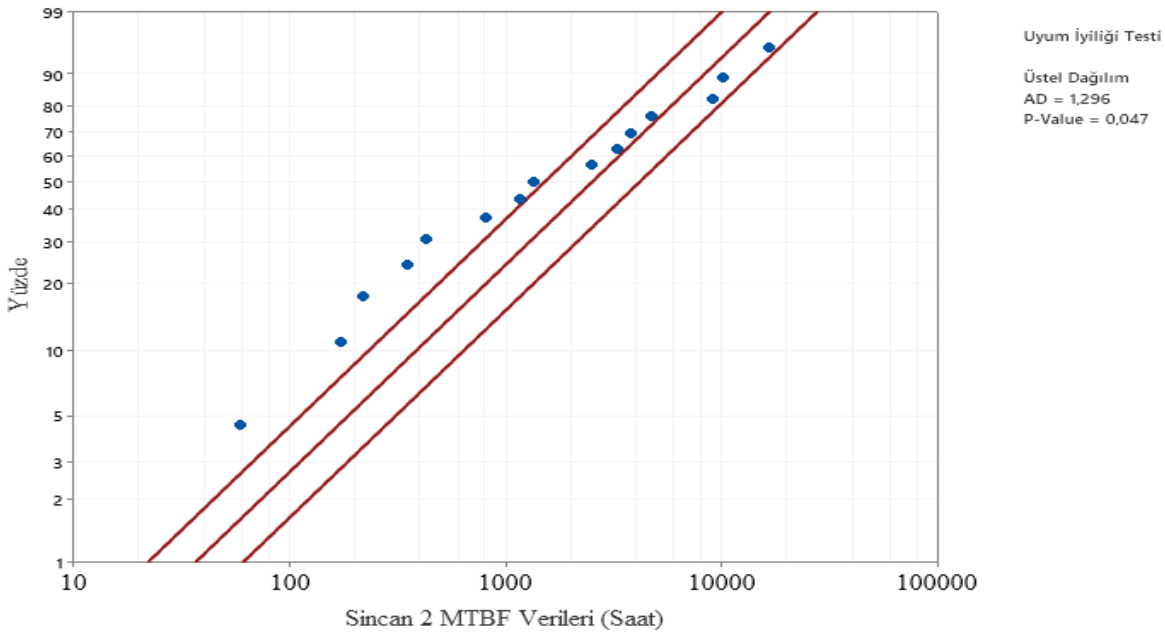
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.31'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,047'ye eşit olduğu, weibull dağılımında 0,25'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,896'ya eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,896> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Sincan 2 fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım

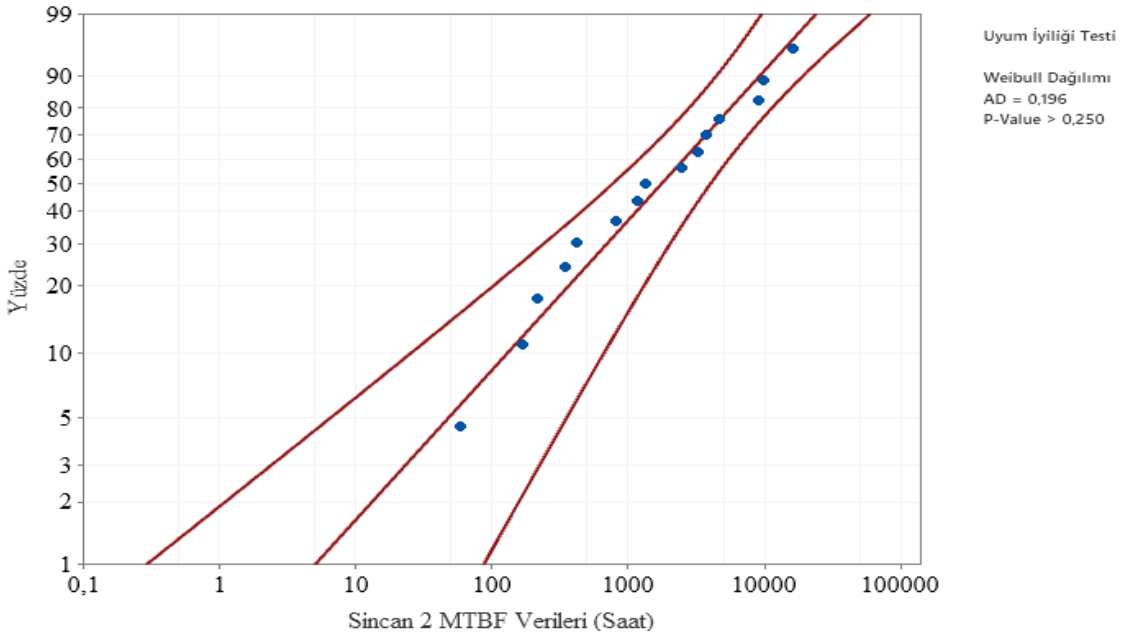
ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Sincan 2 fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.46'da üstel dağılım için Şekil 6.47'de, weibull dağılımı için Şekil 6.48'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.49'da gösterilmiştir.



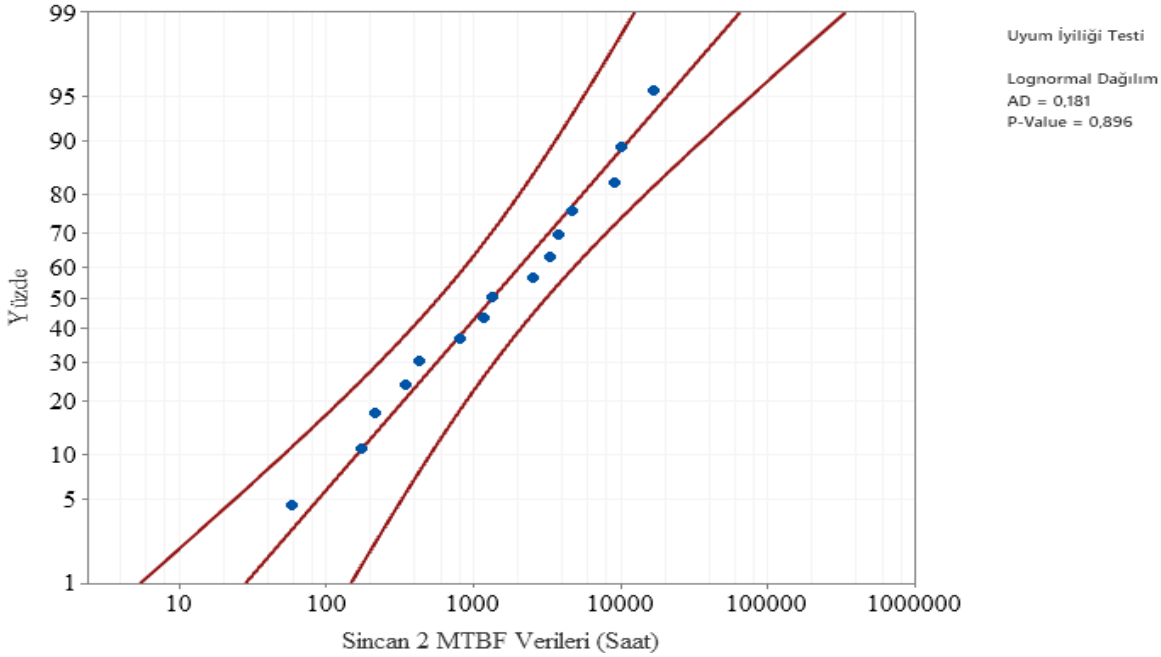
Şekil 6.46. Sincan 2 Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.47. Sincan 2 Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.48. Sincan 2 Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.49. Sincan 2 Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.46, Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49'da görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.13'te verilen Gölbaşı Kuzey Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

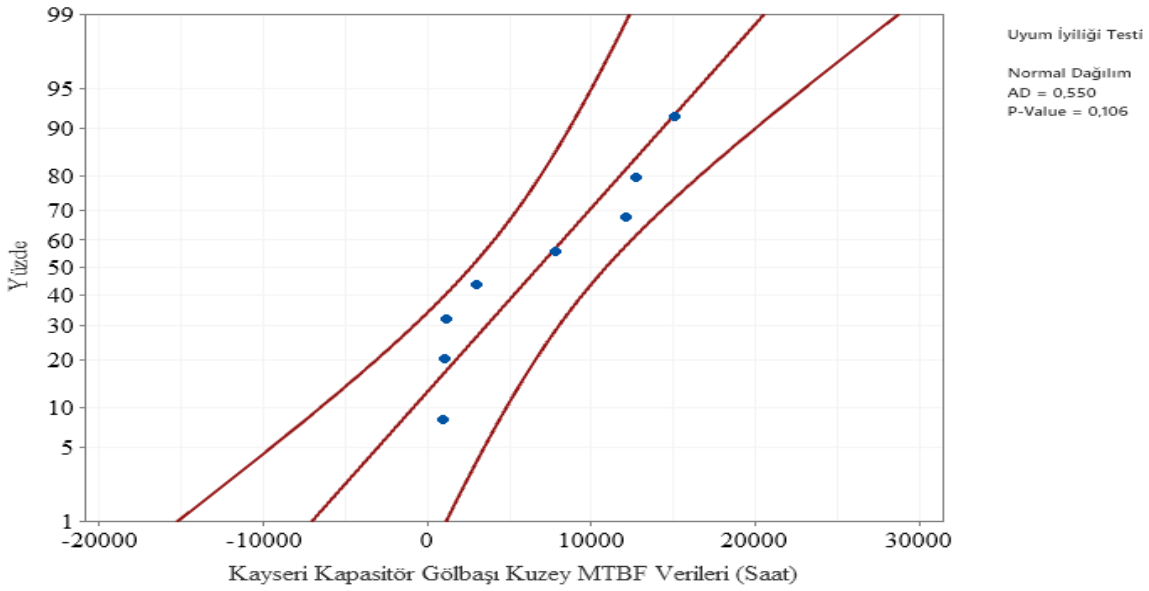
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.32'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.32. Gölbaşı Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

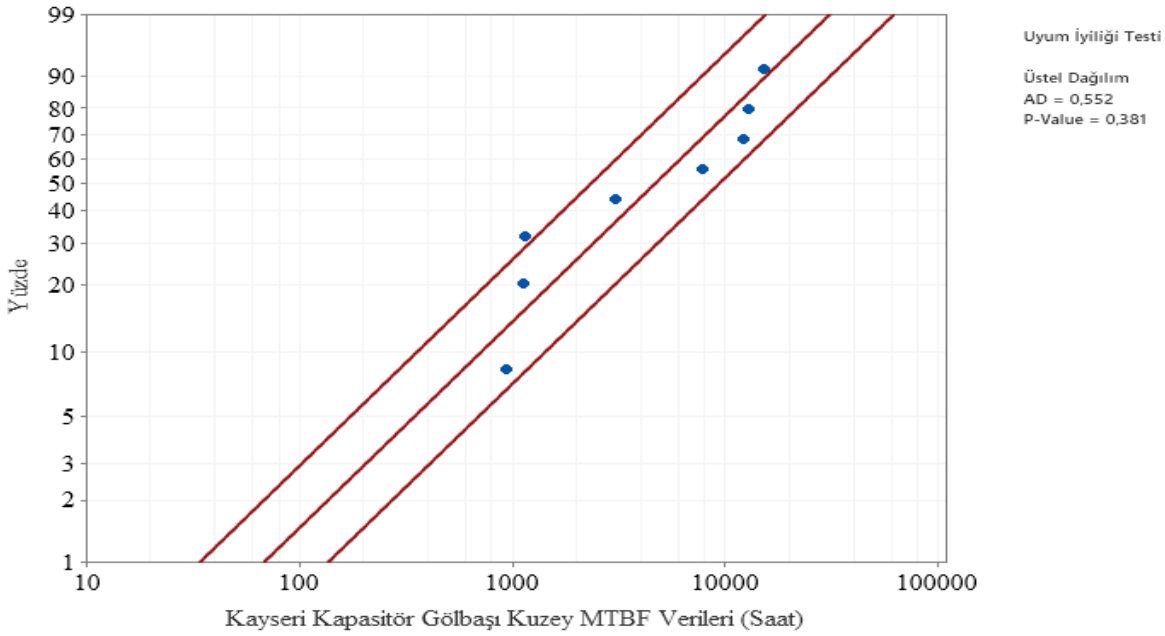
Dağılım	AD	p
Normal	0,550	0,106
Üstel	0,552	0,381
Weibull	0,629	0,085
Log-normal	0,569	0,094

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

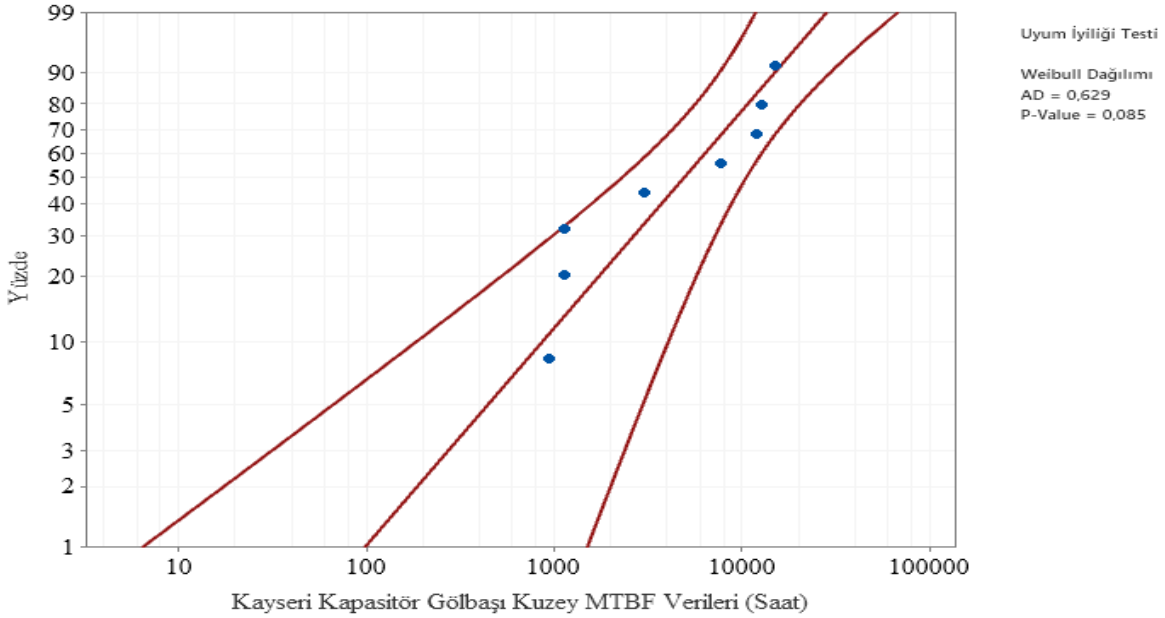
Çizelge 6.32'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,106'ya eşit olduğu, üstel dağılımda 0,381'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,085'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,091'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p değeri> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Gölbaşı Kuzey fiderine ait verilerin normal, üstel, weibull ve lognormal olasılık dağılımları ailesinden geldiğini) kabul edilir. Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.50'de üstel dağılım için Şekil 6.51'de, weibull dağılımı için Şekil 6.52'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.53'te gösterilmiştir.



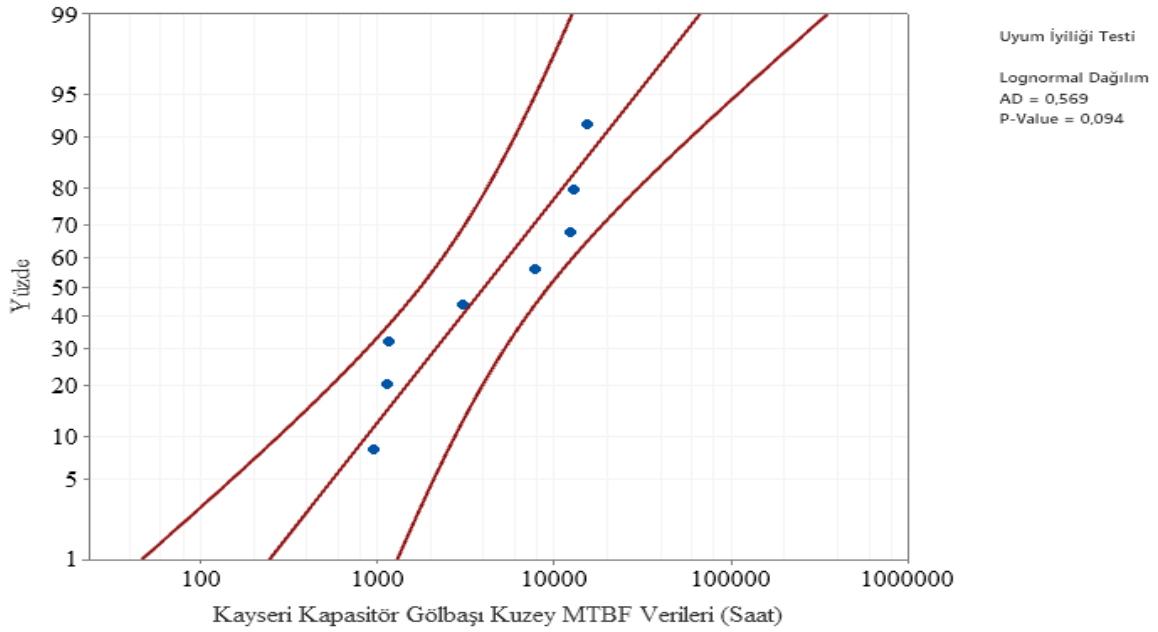
Şekil 6.50. Gölbaşı Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.51. Gölbaşı Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.52. Gölbaşı Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.53. Gölbaşı Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.50, Şekil 6.51, Şekil 6.52 ve Şekil 6.53'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) bütün dağılımların uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.14'de verilen Gölbaşı Güney Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.33'te gösterilmiştir.

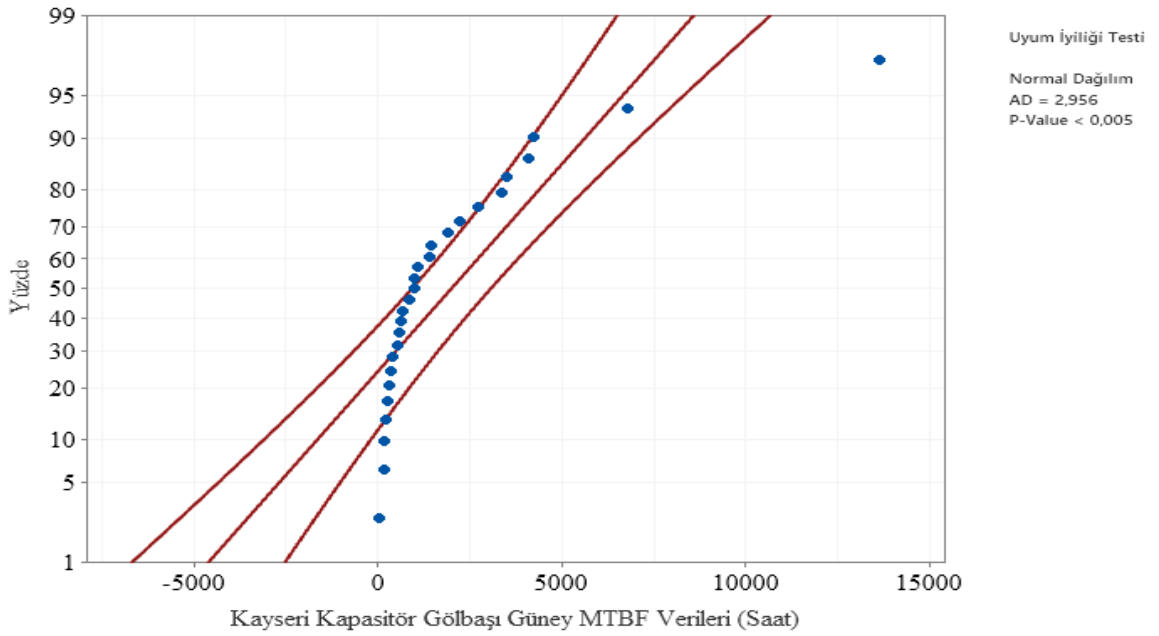
Çizelge 6.33. Gölbaşı Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	2,956	<0,005
Üstel	0,865	0,164
Weibull	0,376	0,25
Log-normal	0,108	0,993

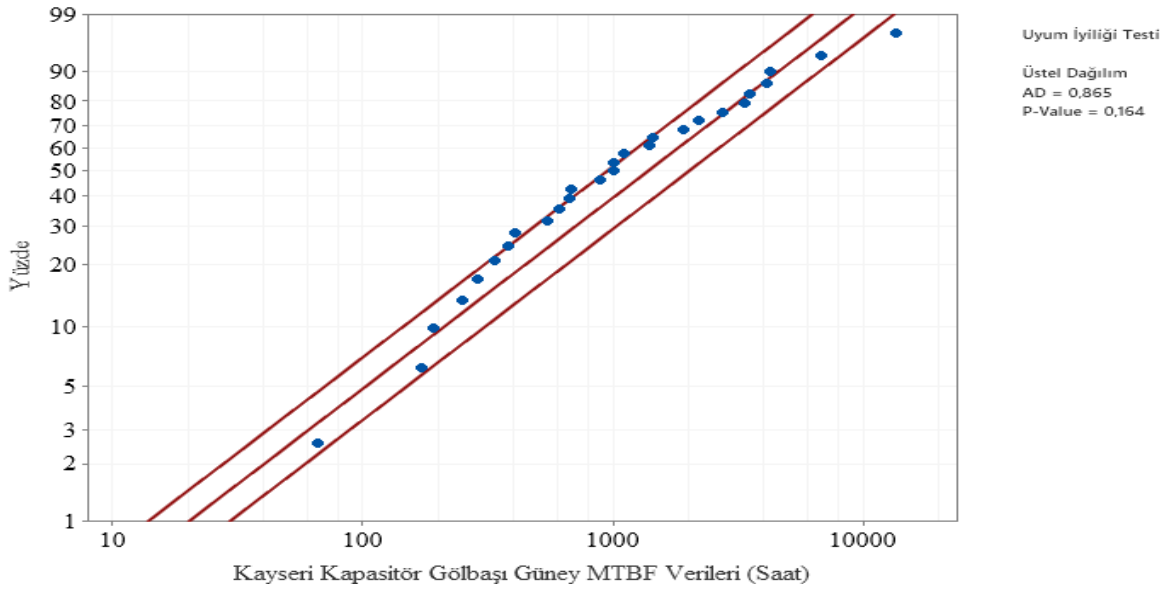
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.33'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,164'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,25'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,993'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,993> α=0,05 olduğu

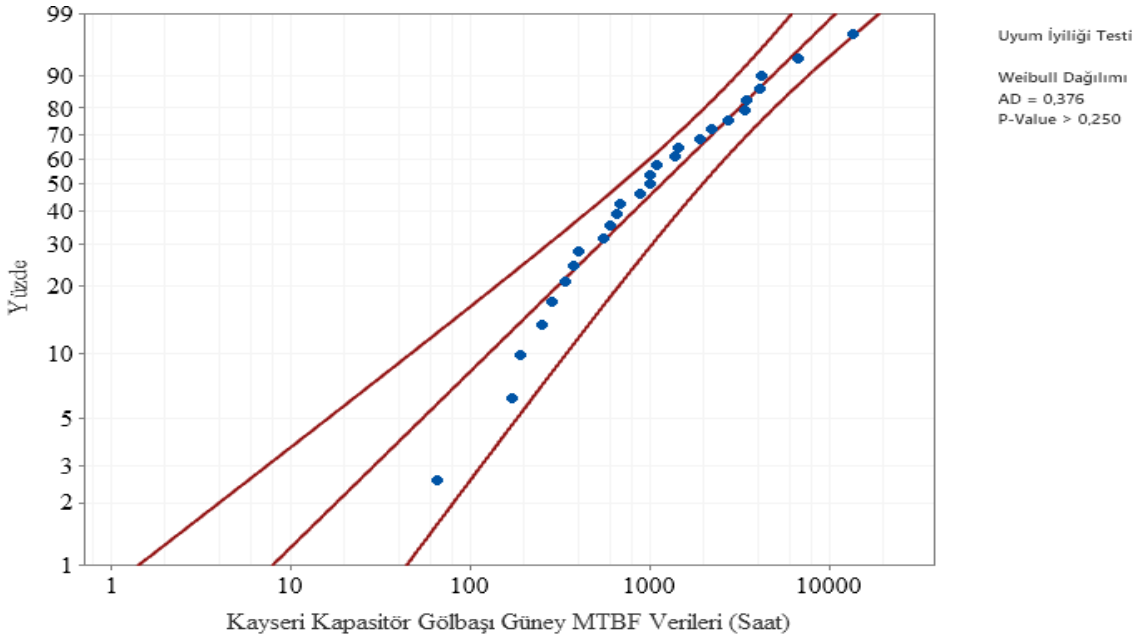
için sıfır hipotezi (H_0: Gölbaşı Güney fiderine ait verilerin Lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Gölbaşı Güney fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.54'te üstel dağılım için Şekil 6.55'te, weibull dağılımı için Şekil 6.56'da ve log-normal dağılım için Şekil 6.57'de gösterilmiştir.



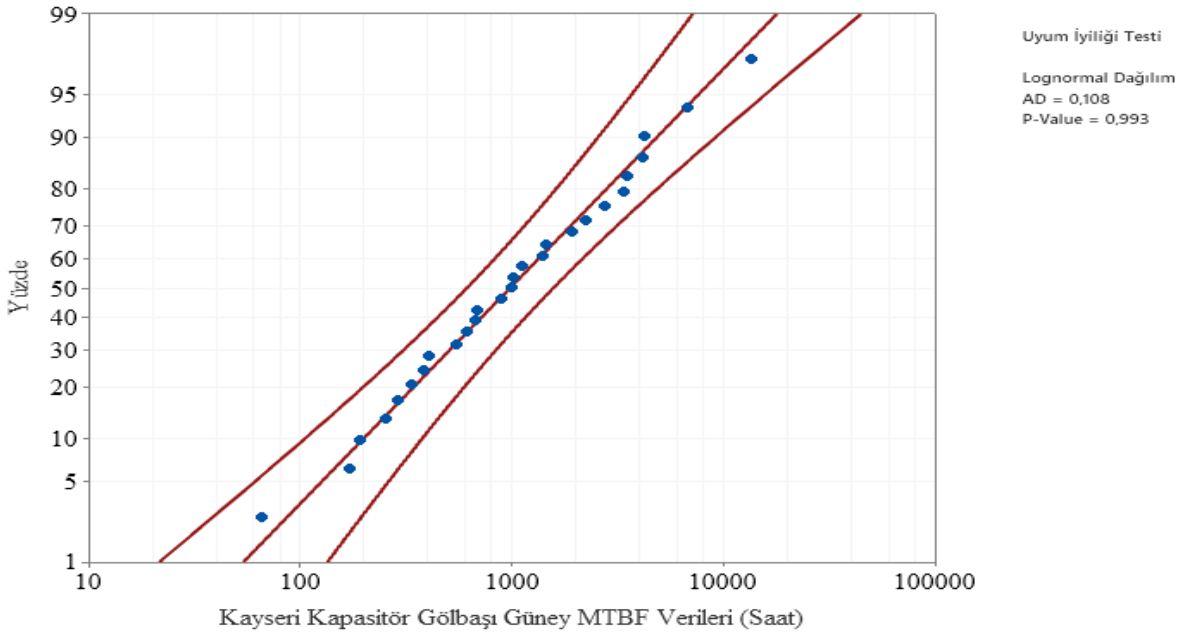
Şekil 6.54. Gölbaşı Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.55. Gölbaşı Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.56. Gölbaşı Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.57. Gölbaşı Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.54, Şekil 6.55, Şekil 6.56 ve Şekil 6.57'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.15'te verilen Keban Güney Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

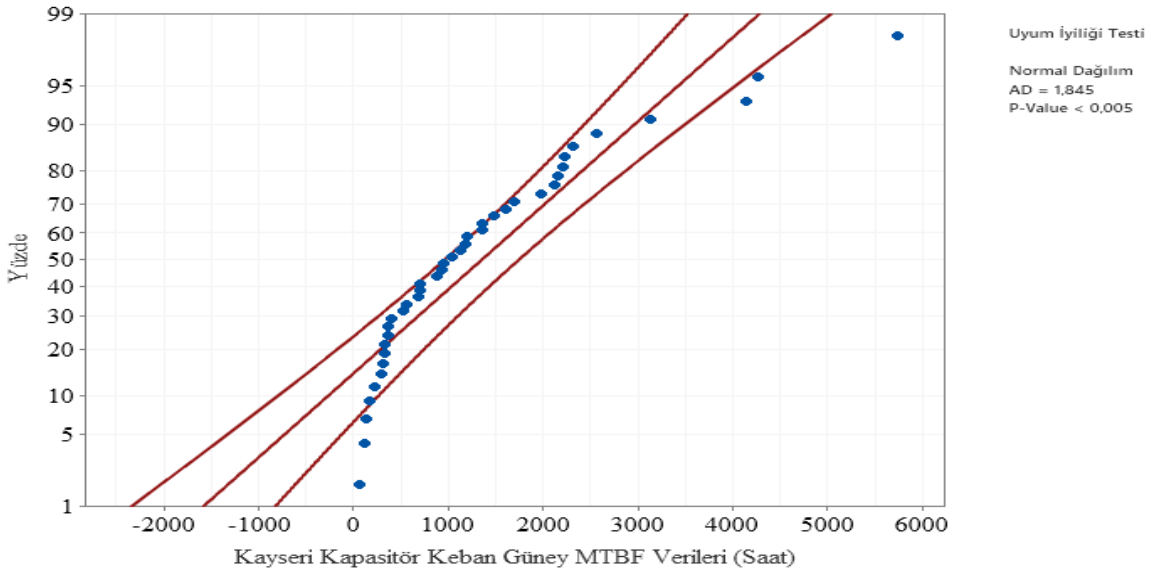
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.34. Keban Güney Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

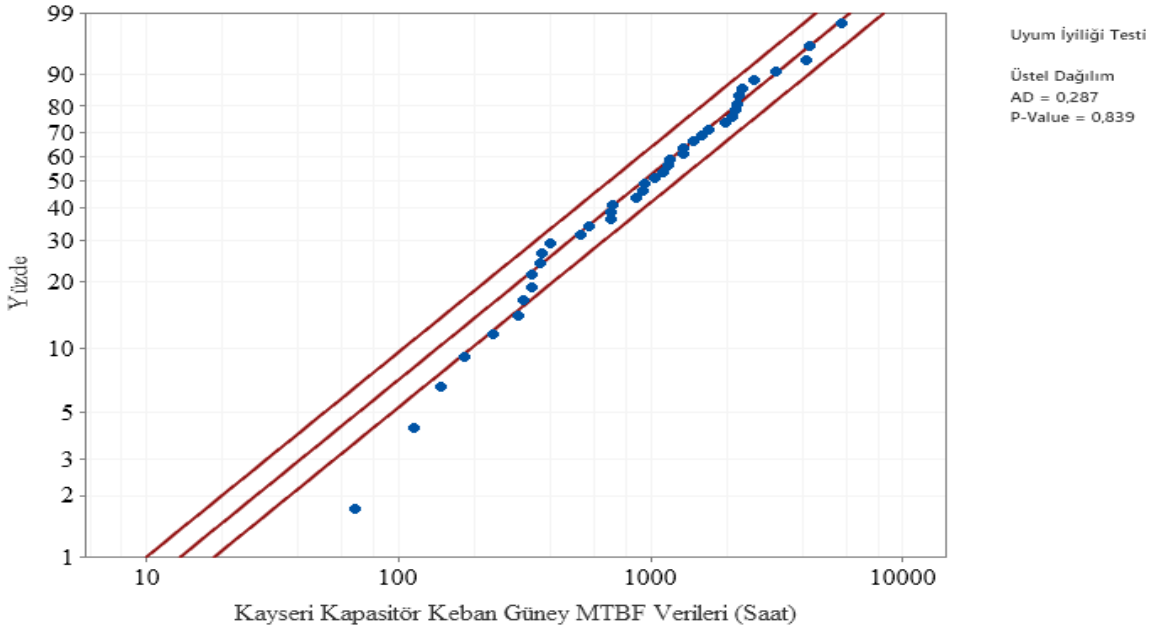
Dağılım	AD	p
Normal	1,845	<0,005
Üstel	0,287	0,839
Weibull	0,206	0,25
Log-normal	0,327	0,509

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

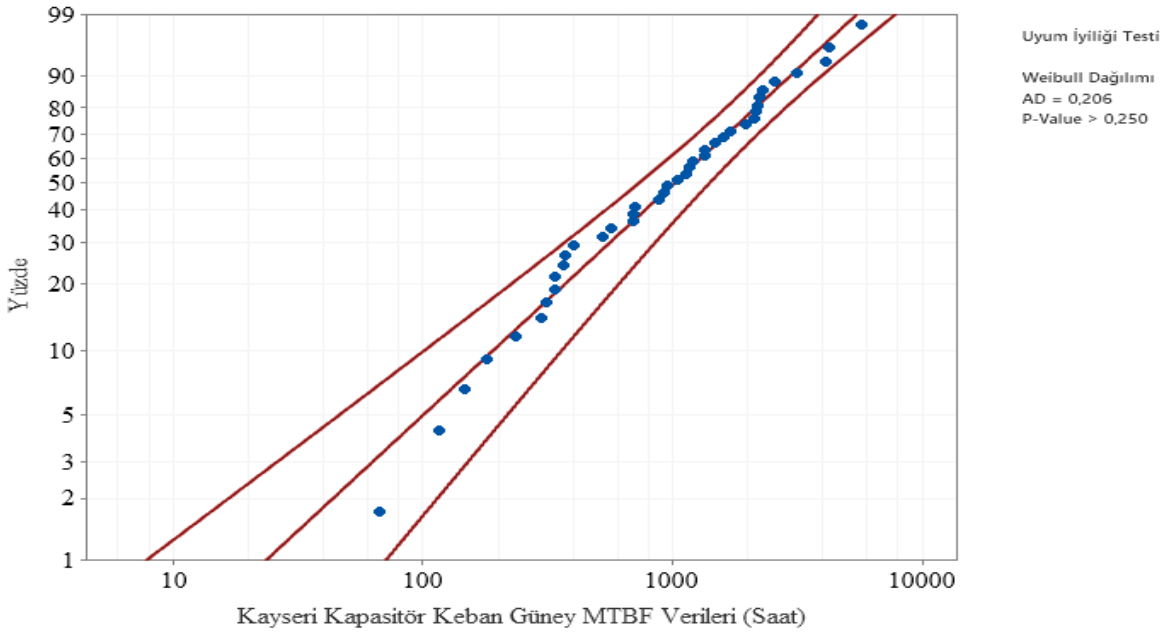
Çizelge 6.34'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,287'ye eşit olduğu, weibull dağılımında 0,25'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,509'a eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,839> α=0,05 ve p=0,839> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Keban Güney fiderine ait verilerin üstel ve lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Keban Güney fiderine ait veriler normal ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.58'de üstel dağılım için Şekil 6.59'da, weibull dağılımı için Şekil 6.60'ta ve log-normal dağılım için Şekil 6.61'de gösterilmiştir.



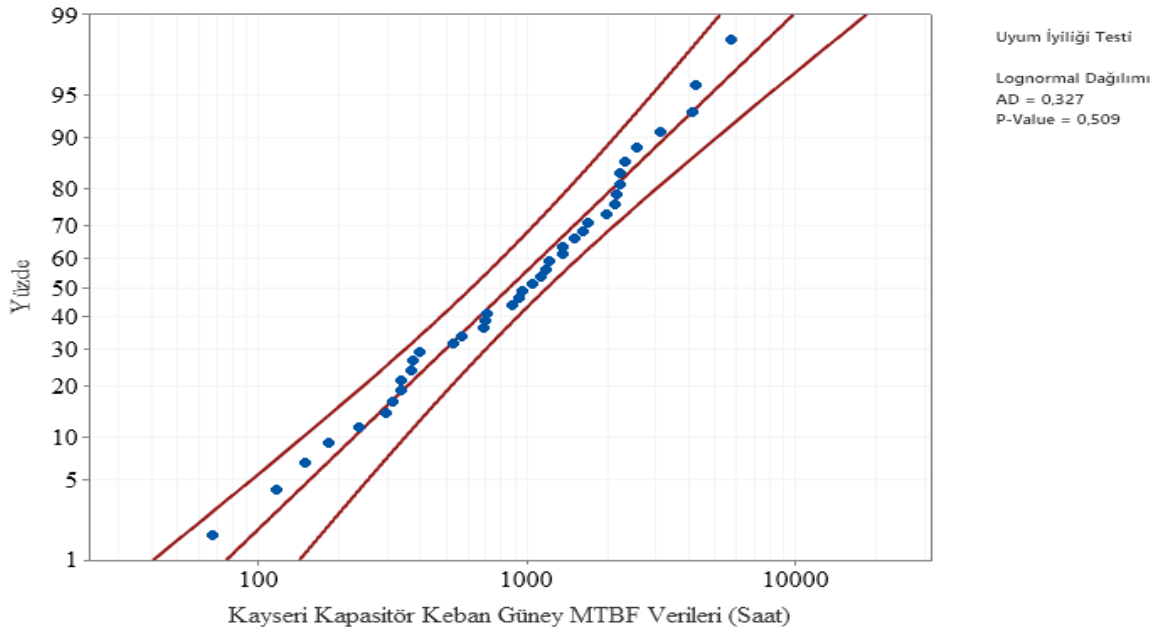
Şekil 6.58. Keban Güney Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.59. Keban Güney Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.60. Keban Güney Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.61. Keban Güney Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.58, Şekil 6.59, Şekil 6.60 ve Şekil 6.61'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.16'da verilen Keban Kuzey Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.35'te gösterilmiştir.

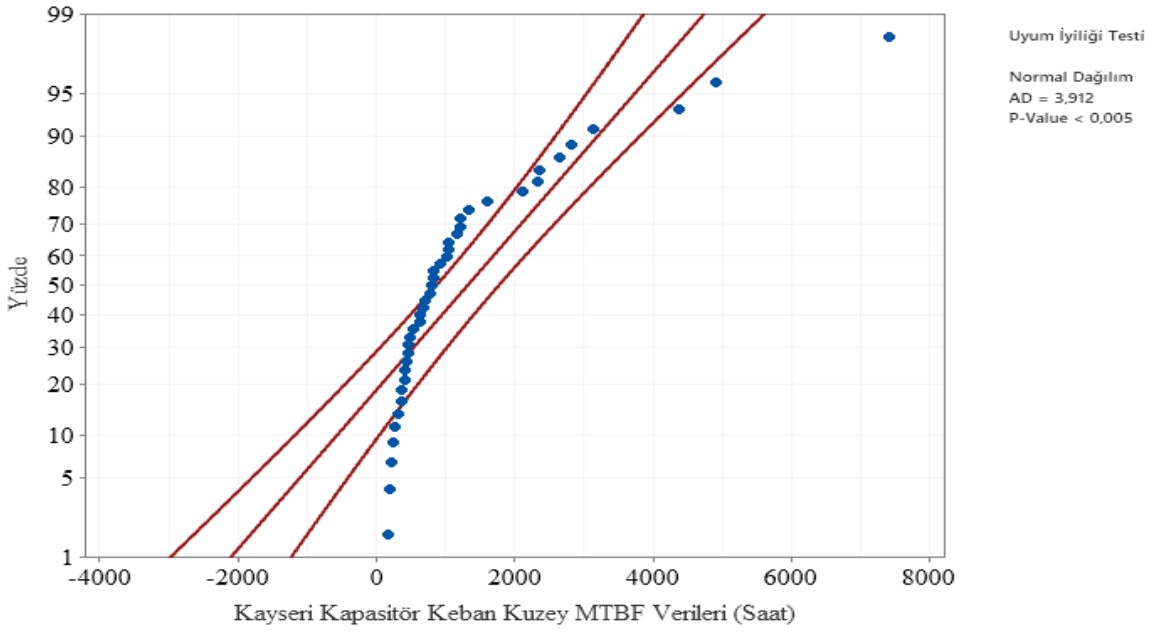
Çizelge 6.35. Keban Kuzey Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	3,912	<0,005
Üstel	1,049	0,1
Weibull	1,041	<0,01
Log-normal	0,294	0,584

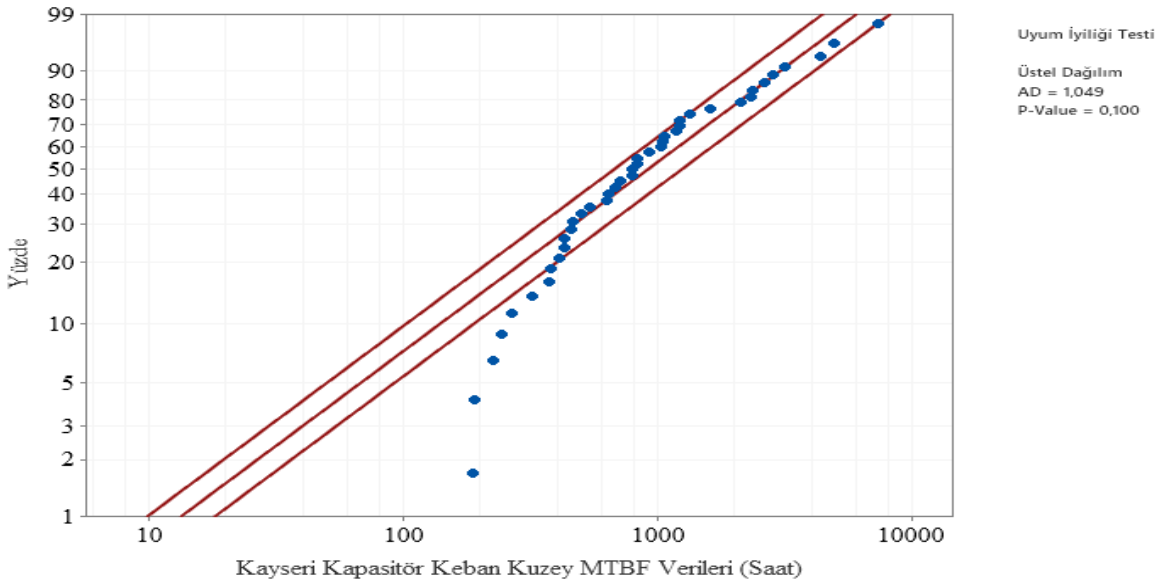
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.35'te görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,1'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,01'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,584'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,584> α=0,05 olduğu

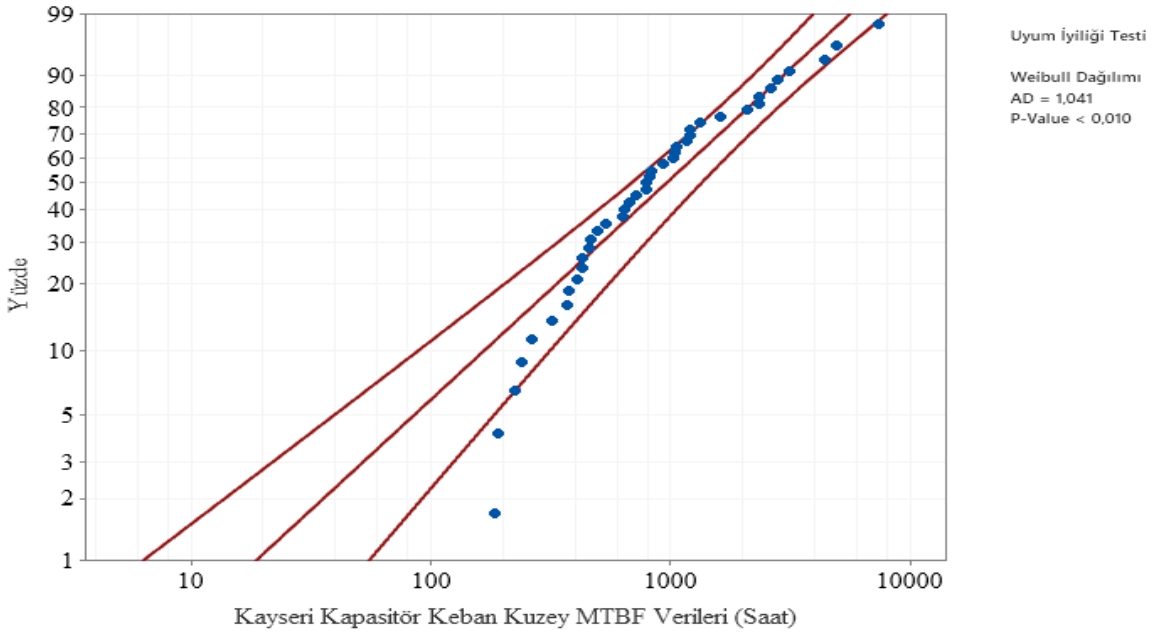
için sıfır hipotezi (H_0: Keban Kuzey fiderine ait verilerin lognormal olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Keban Kuzey fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.62'de üstel dağılım için Şekil 6.63'te, weibull dağılımı için Şekil 6.64'te ve log-normal dağılım için Şekil 6.65'te gösterilmiştir.



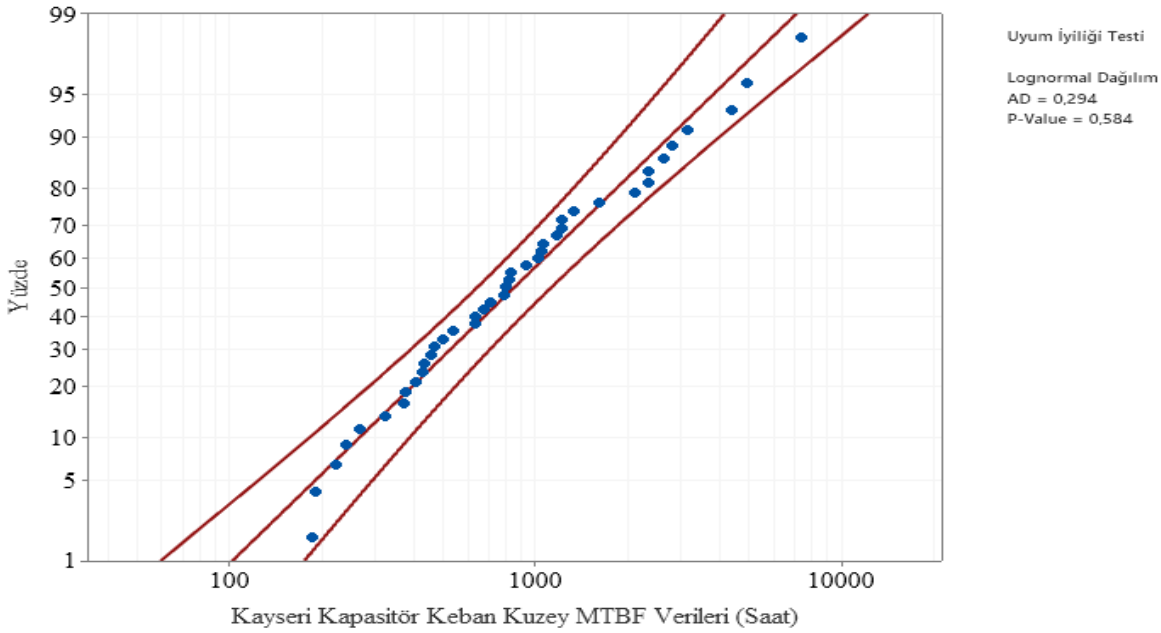
Şekil 6.62. Keban Kuzey Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.63. Keban Kuzey Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.64. Keban Kuzey Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.65. Keban Kuzey Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.62, Şekil 6.63, Şekil 6.64 ve Şekil 6.65'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.17'de verilen Elbistan Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

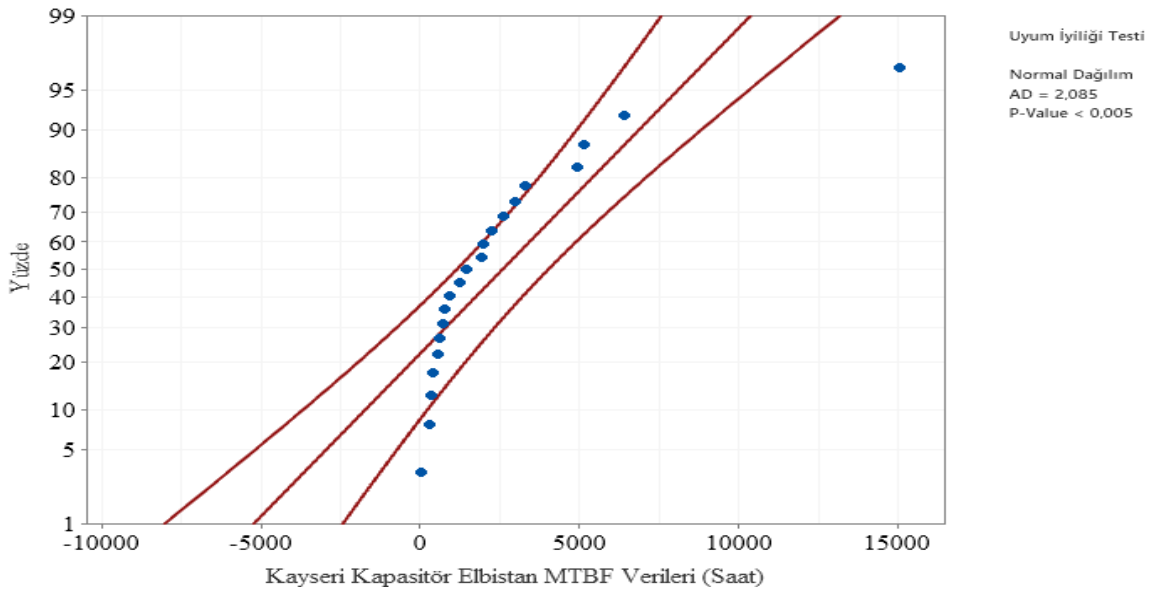
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.36'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.36. Elbistan Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

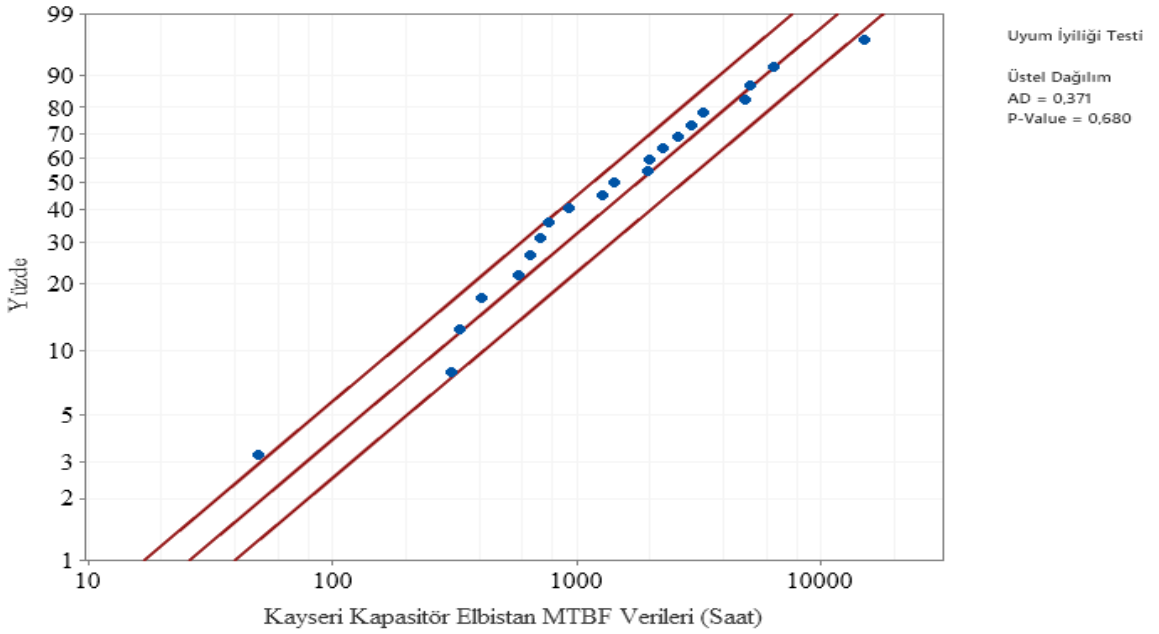
Dağılım	AD	p
Normal	2,085	<0,005
Üstel	0,371	0,68
Weibull	0,233	0,25
Log-normal	0,193	0,882

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

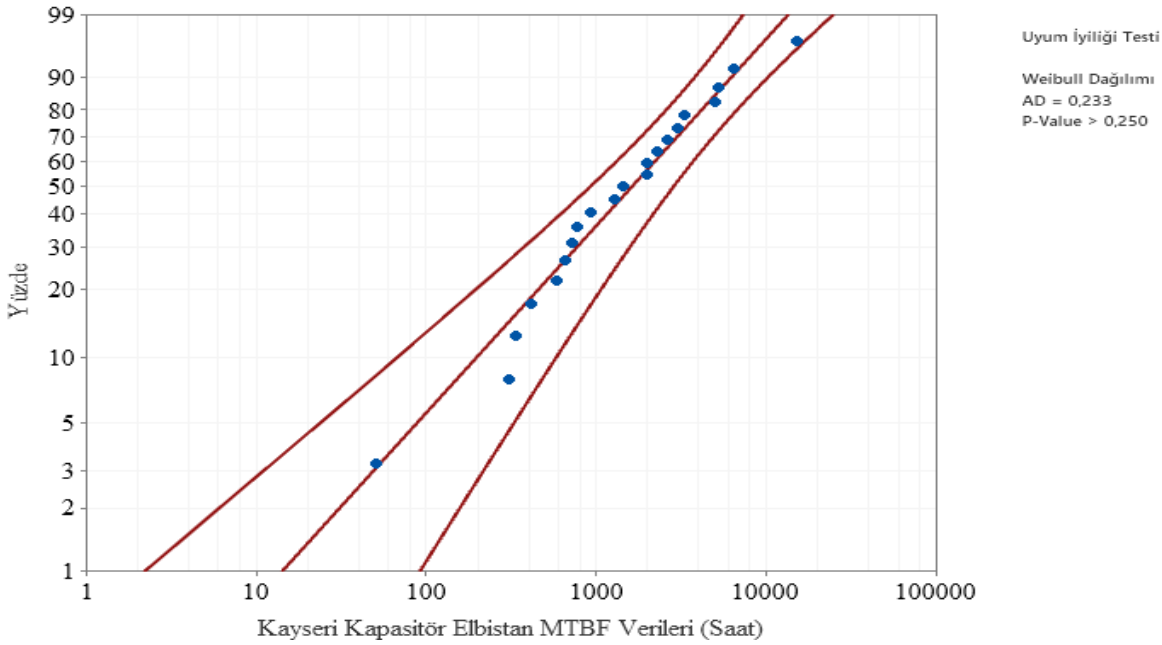
Çizelge 6.36'da görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,68'e eşit olduğu, weibull dağılımında 0,25'e eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,882'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,884> α=0,05 ve p=0,68> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Elbistan fiderine ait verilerin lognormal ve üstel olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Elbistan fiderine ait veriler normal ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.66'da üstel dağılım için Şekil 6.67'de, weibull dağılımı için Şekil 6.68'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.69'da gösterilmiştir.



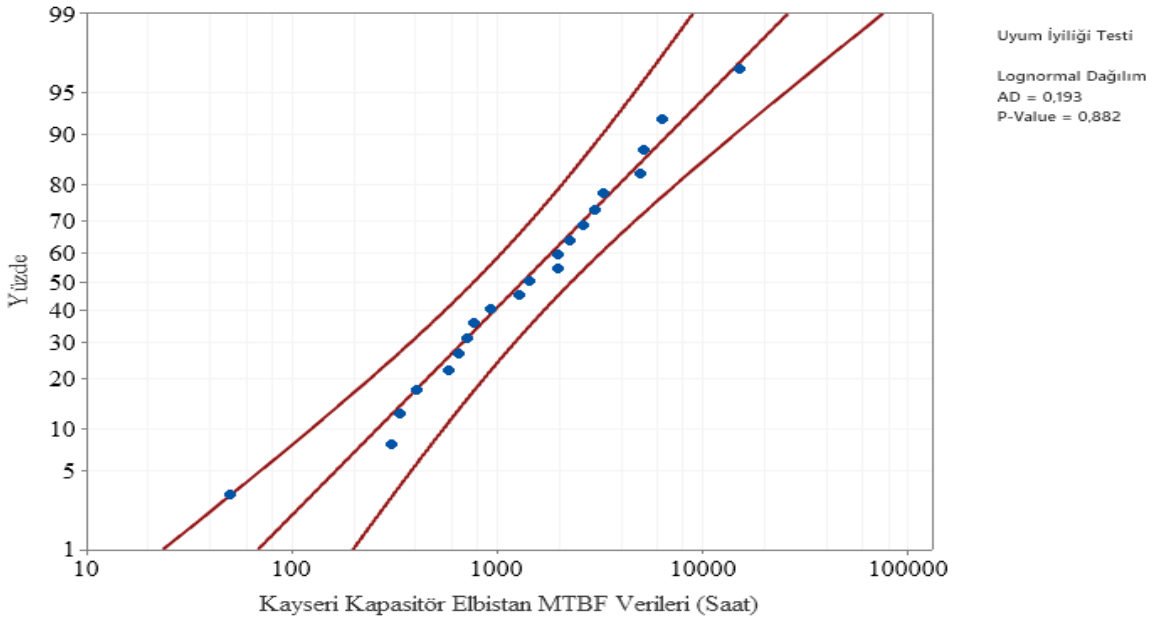
Şekil 6.66. Elbistan Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.67. Elbistan Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.68. Elbistan Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.69. Elbistan Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.66, Şekil 6.67, Şekil 6.68 ve Şekil 6.69'da görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal ve üstel dağılımdır.

Çizelge 6.18'de verilen Kangal TES Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.37'da gösterilmiştir.

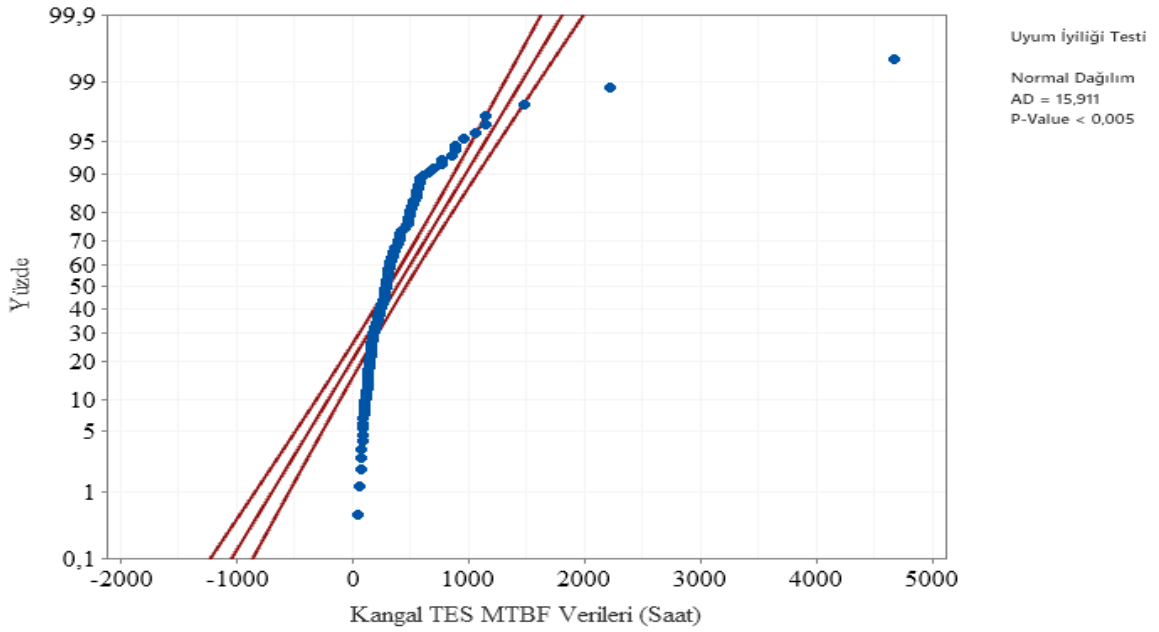
Çizelge 6.37. Kangal TES Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

Dağılım	AD	p
Normal	15,911	<0,005
Üstel	7,590	<0,003
Weibull	4,506	<0,001
Log-normal	0,366	0,431

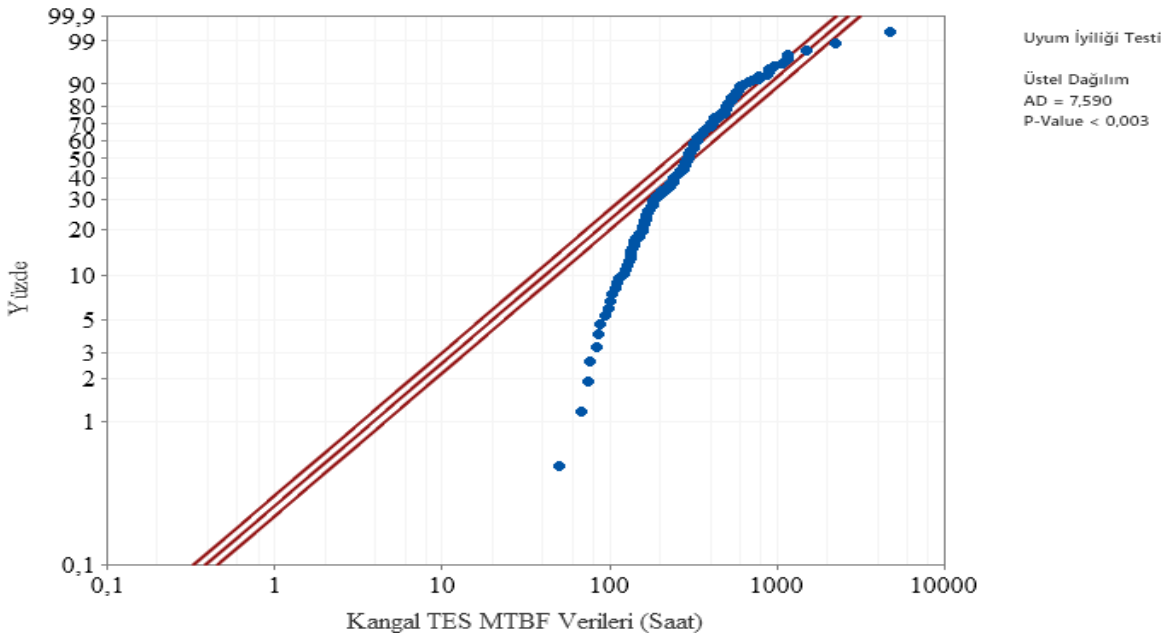
* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.37'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,003'ten küçük olduğu, weibull dağılımında 0,001'den küçük olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,431'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,431> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Kangal TES fiderine ait verilerin lognormal olasılık

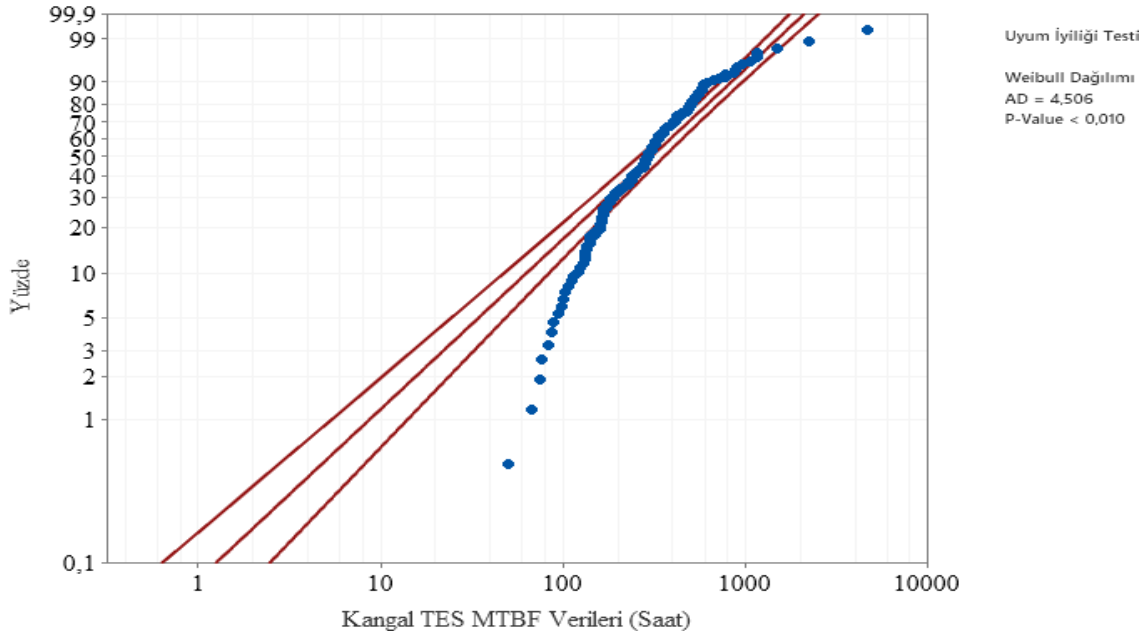
dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Kangal TES fiderine ait veriler normal, üstel ve weibull olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.70'de üstel dağılım için Şekil 6.71'de, weibull dağılımı için Şekil 6.72'de ve log-normal dağılım için Şekil 6.73'te gösterilmiştir.



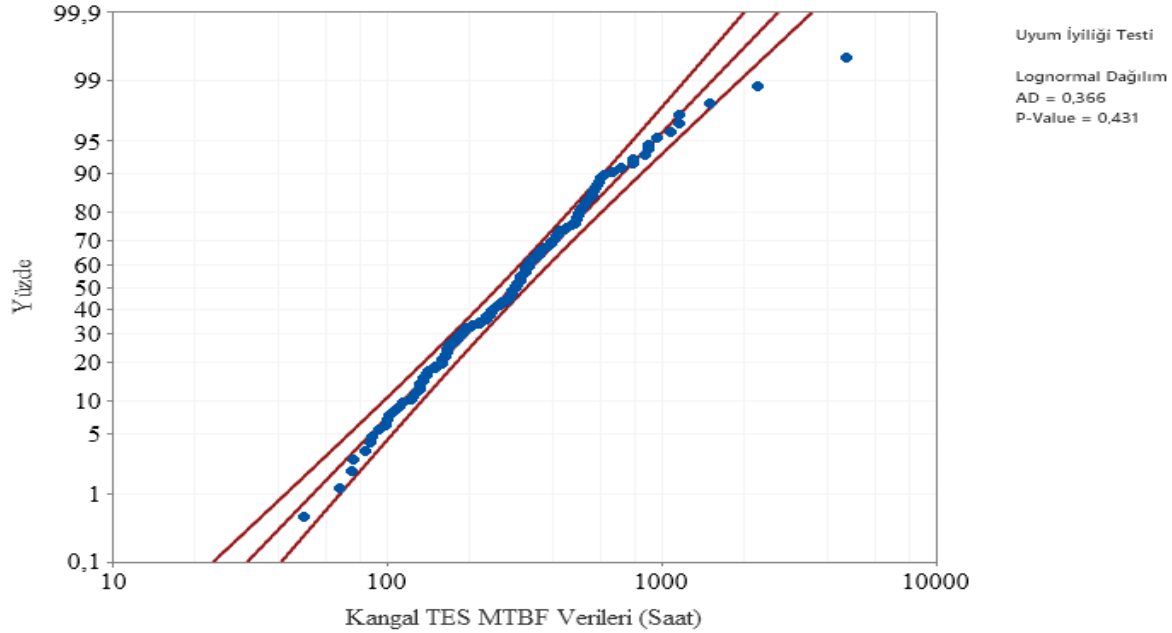
Şekil 6.70. Kangal TES Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.71. Kangal TES Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.72. Kangal TES Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.73. Kangal TES Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.70, Şekil 6.71, Şekil 6.72 ve Şekil 6.73'te görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

Çizelge 6.19'da verilen Kayabaşı Fiderine ait 2014-2020 yılları arasındaki MTBF verilerinin en iyi hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek için Minitab 19 istatistik programı

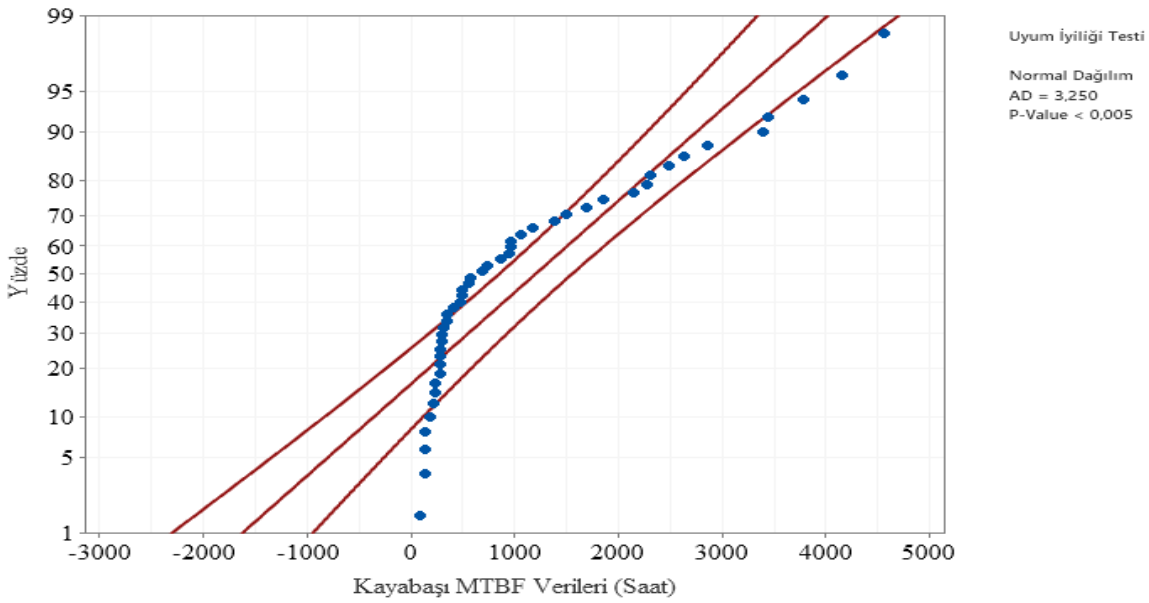
kullanılmıştır. Normal, üstel, weibull ve log-normal dağılımları Anderson- Darling uyum iyiliğine göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.38'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.38. Kayabaşı Fiderine ait dağılımlara ait Anderson- Darling uyumluluk sonuçları

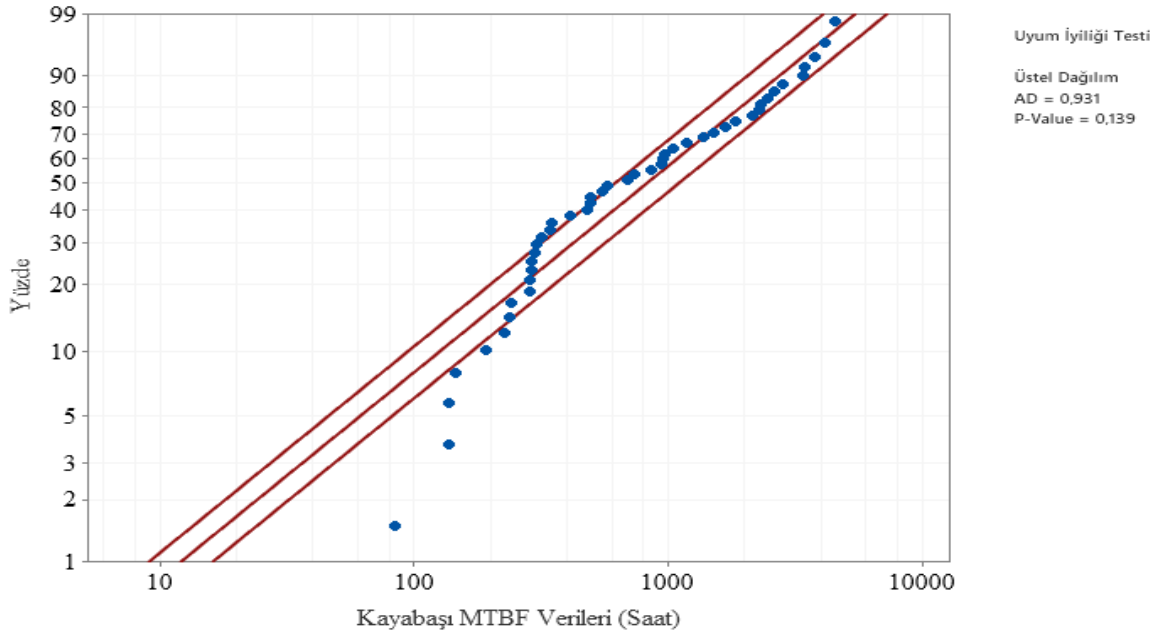
Dağılım	AD	p
Normal	3,25	<0,005
Üstel	0,931	0,139
Weibull	0,985	0,012
Log-normal	0,620	0,1

* Anderson- Darling testinde α=0,05 olarak seçilmiştir.

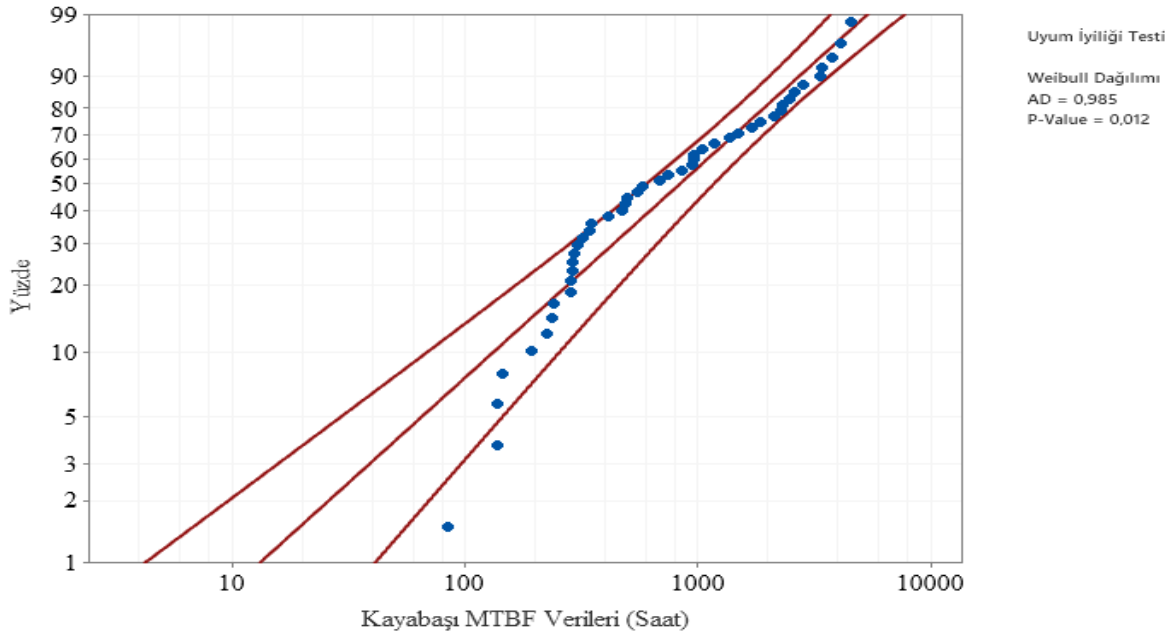
Çizelge 6.38'de görüleceği üzere p değeri, normal dağılımda 0,005'ten küçük olduğu, üstel dağılımda 0,139'a eşit olduğu, weibull dağılımında 0,012'ye eşit olduğu ve log-normal dağılımda ise 0,1'e eşit olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre p=0,1> α=0,05 ve p=0,139> α=0,05 olduğu için sıfır hipotezi (H_0: Kayabaşı fiderine ait verilerin lognormal, weibull ve üstel olasılık dağılım ailesinden geldiğini) kabul edilir, H_1 hipotezi ise red edilir (H_1: Kayabaşı fiderine ait veriler normal olasılık dağılım dağılımları ile arasında fark vardır). Anderson-Darling ile yapılan uyumluluk testi eğrileri; normal dağılım için Şekil 6.74'te üstel dağılım için Şekil 6.75'te, weibull dağılımı için Şekil 6.76'da ve log-normal dağılım için Şekil 6.77'de gösterilmiştir.



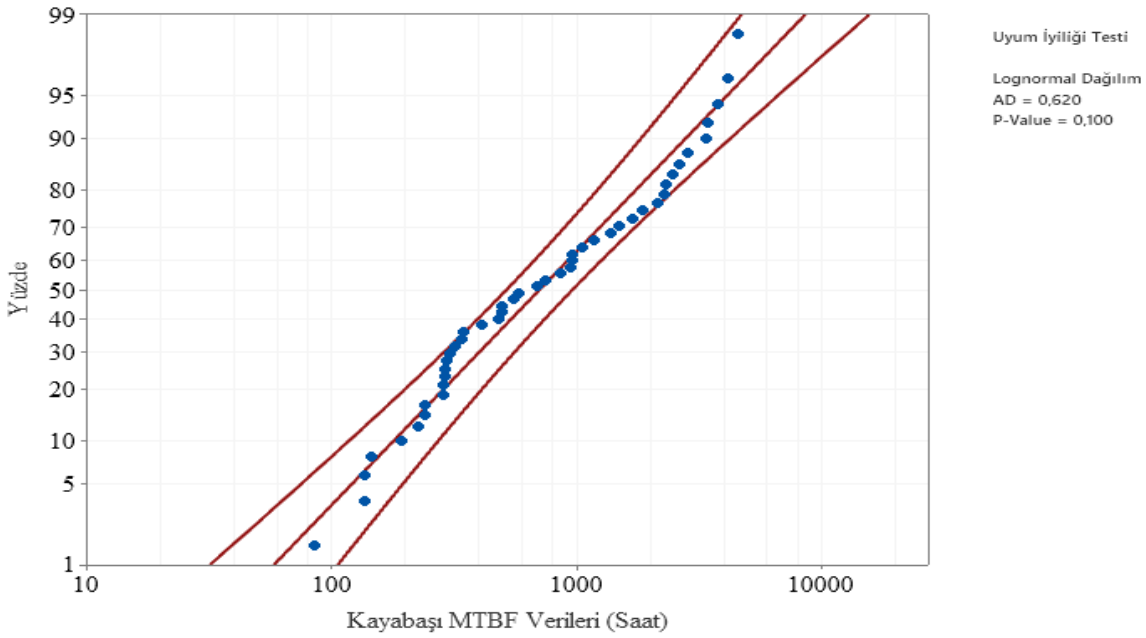
Şekil 6.74. Kayabaşı Fideri normal dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.75. Kayabaşı Fideri üstel dağılım Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.76. Kayabaşı Fideri weibull dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi



Şekil 6.77. Kayabaşı Fideri lognormal dağılımı Anderson- Darling uyumluluk eğrisi

Şekil 6.74, Şekil 6.75, Şekil 6.76 ve Şekil 6.77'de görüldüğü gibi Anderson-Darling testi ile yapılan uyumluluk eğrileri, %95 olarak belirlenen güven aralığında (Confidence Interval, CI) en uyumlu dağılım lognormal dağılımdır.

6.4. Güvenilirlik Değerlendirmesi

Bölüm 6.3'de tüm fiderlere ait MTBF verilerinin güvenilirlik çalışmaları için kullanılması gereken en uygun dağılımlar belirlenmişti. Bu bölümde belirlenen dağılımlara uygun olarak, Bölüm 4.2'de tanımlanan dağılımlara ait eşitlikler aracılığı ile ilgili fiderin dağılım parametreleri bulunur ve güvenilirlik değerlendirilmesi yapılır. Bu bölümde yapılan hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Atatürk Güney fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bölüm 4.2.3'te lognormal dağılımına ait güvenilirlik değerlendirilmesinde kullanılan Eşitlikler 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29'da tanımlanmıştır. Lognormal dağılım parametrik bir dağılım olup öncelikle lognormal dağılımın parametreleri olan lokasyon parametresi (μ) ve ölçek parametresi (σ) hesaplaması yapılır.

Lokasyon parametresi μ, Eşitlik 6.1'de tanımlanmıştır.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} lnt_i}{n} \quad (6.1)$$

Ölçek parametresi σ, Eşitlik 6.2'de tanımlanmıştır.;

$$\sigma = \sqrt{\frac{n\sum_{i=1}^{n}(lnt_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} lnt_i\right)^2}{n(n-1)}} \quad (6.2)$$

Eşitlik 6.1 ve Eşitlik 6.2 kullanılarak yapılan hesaplamalarda lokasyon parametresi ve ölçek parametresi sırasıyla μ= 6,00233 ve σ= 1,35336 olarak bulunmuştur.

Lognormal dağılıma göre olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) Eşitlik 6.3'e göre değerlendirildiğinde;

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right)^2} = 0{,}00182 \quad (6.3)$$

olarak bulunmuştur.

Lognormal dağılıma göre kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF) Eşitlik 6.4'e göre değerlendirildiğinde;

$$F(t) = \Phi\left[\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right] = 0{,}08112 \quad (6.4)$$

olarak bulunmuştur.

Lognormal dağılıma göre güvenilirlik fonksiyonu R(t) Eşitlik 6.5'e göre değerlendirildiğinde;

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{lnt-\mu}{\sigma}\right] = 1 - 0{,}08112 = 0{,}91888 \quad (6.5)$$

olarak bulunmuştur.

Log-normal dağılıma göre tehlike fonksiyonu h(t) Eşitlik 6.6'ya göre değerlendirildiğinde;

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0{,}00182}{0{,}91888} = 0{,}00198 \quad (6.6)$$

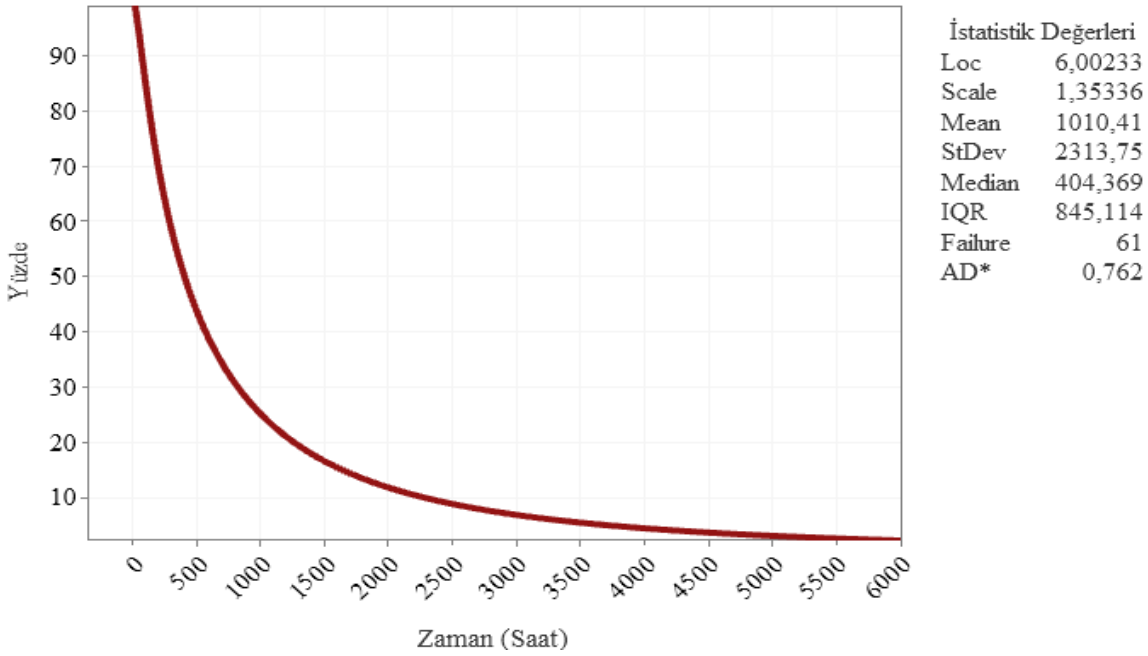
olarak bulunmuştur.

Log-normal dağılıma göre ortalama değer E(t) Eşitlik 6.7'ye göre değerlendirildiğinde;

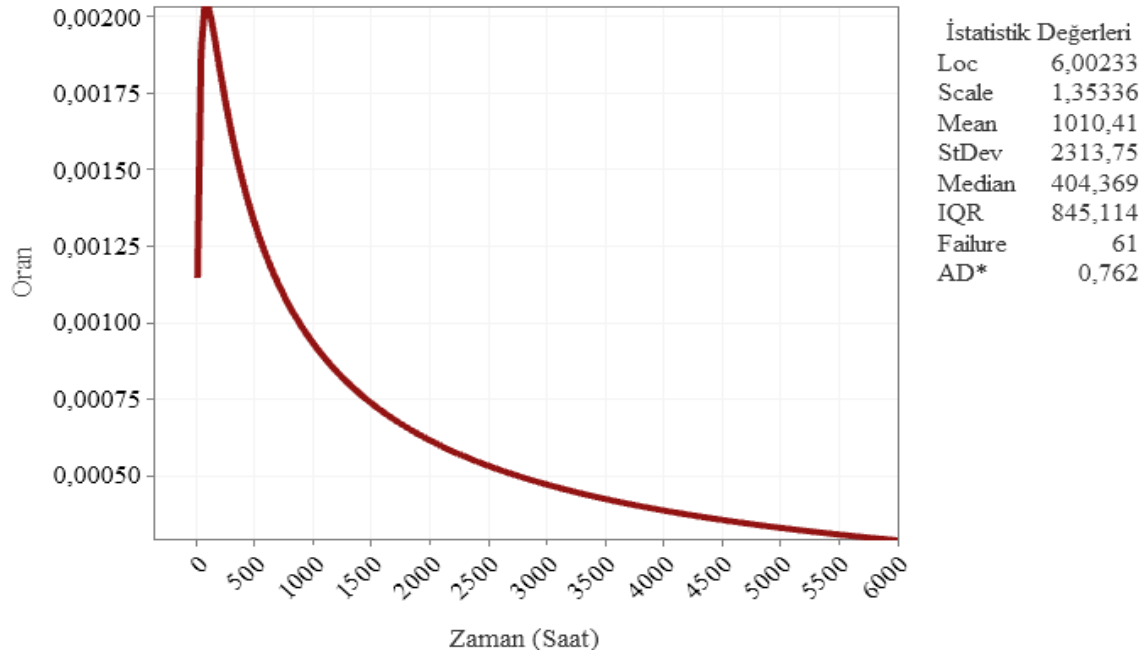
$$E(t) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} = e^{6{,}91812} = 1010{,}41\ saat \quad (6.7)$$

olarak bulunmuştur.

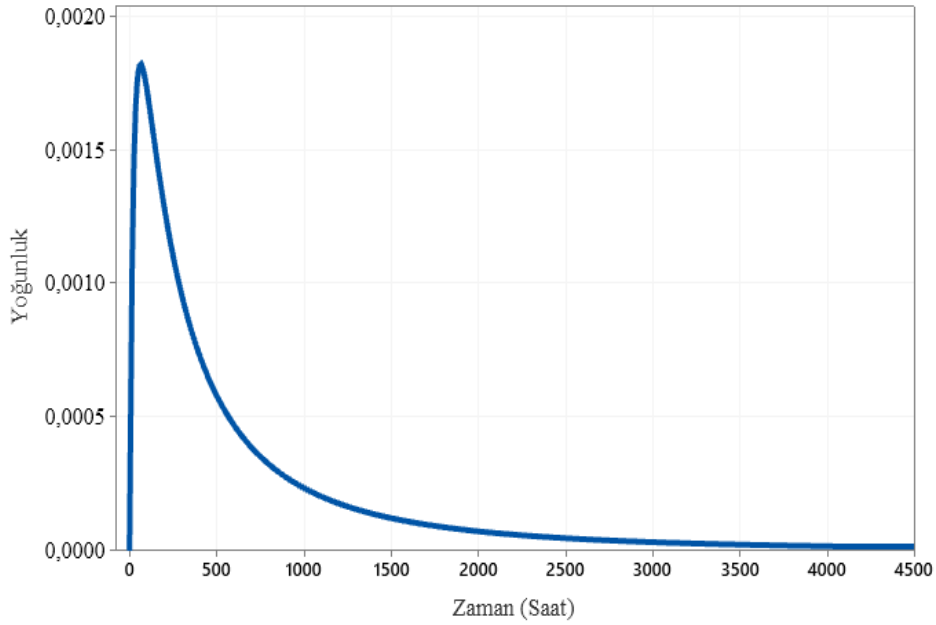
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.78'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.79'da Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.80'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.78. Atatürk Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.79. Atatürk Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.80. Atatürk Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

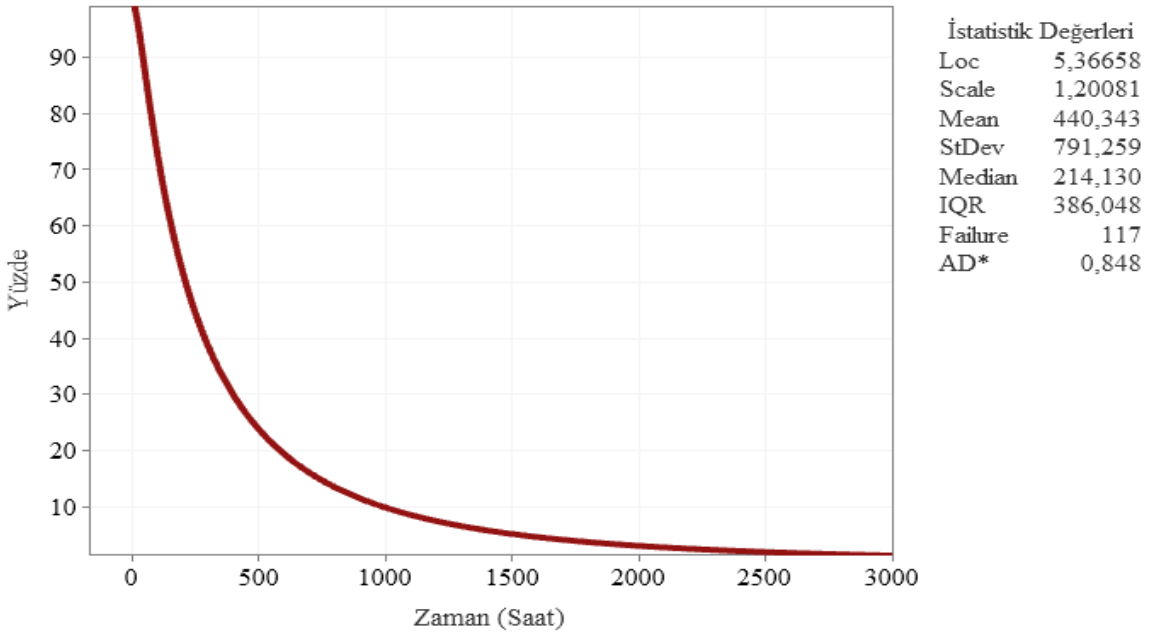
Şekil 6.78 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 5000 saate kadar güvenilirlikte normal bir düşüşün olduğu, Şekil 6.79 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 420 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.80 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 1650 saat altında olduğu görülmektedir.

Atatürk Kuzey fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.39'da gösterilmiştir.

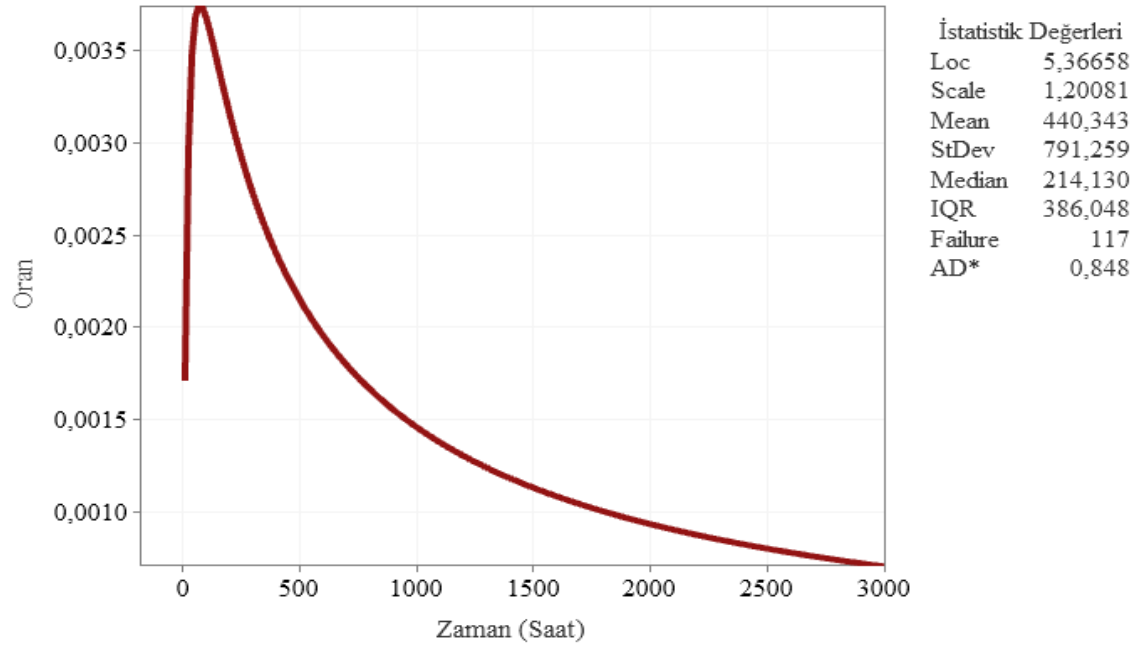
Çizelge 6.39. Atatürk Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	5,36658
Ölçek parametresi	σ	120081
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00250
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,30736
Güvenilirlik	R(t)	0,69263
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00361
Ortalama değer	E(t)	440,3428

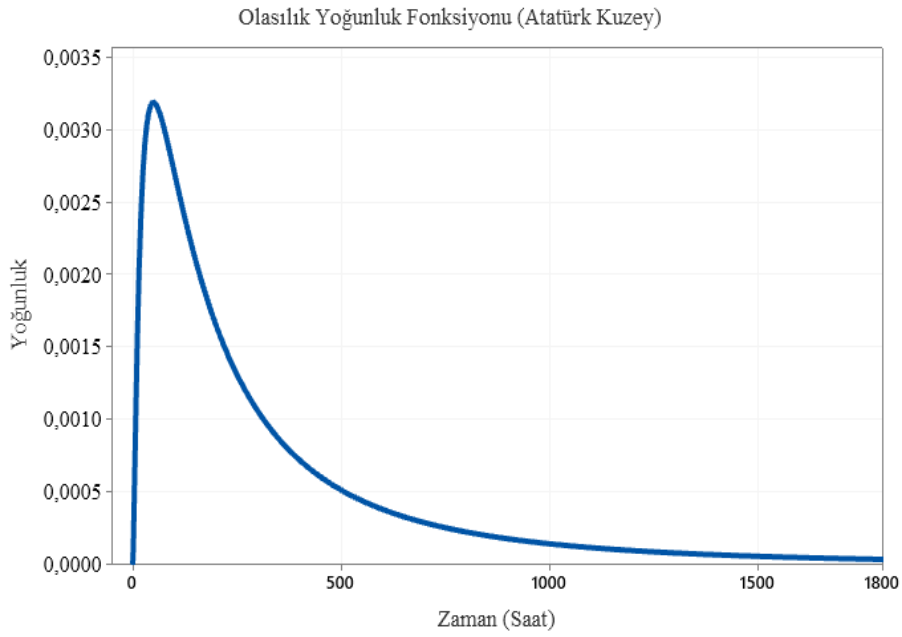
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.81'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.82'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.83'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.81. Atatürk Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.82. Atatürk Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.83. Atatürk Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

Şekil 6.81 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 400 saate kadar güvenilirlikte çok hızlı bir düşüşün olduğu, Şekil 6.82 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 210 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.83 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 750 saat altında olduğu görülmektedir.

Tufanbeyli fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak weibull dağılımı olarak belirlenmişti. Bölüm 4.2.4'te weibull dağılımına ait güvenilirlik değerlendirilmesinde kullanılan Eşitlikler 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 ve 4.35'te tanımlanmıştır. Weibull dağılım parametrik bir dağılım olup şekil parametresi (β) ve ölçek parametresi (α) olarak simgelenir.

Weibull dağılıma göre olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) Eşitlik 6.8'e göre değerlendirildiğinde;

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} = 0{,}00086 \tag{6.8}$$

olarak bulunmuştur.

Weibull dağılıma göre kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF) Eşitlik 6.9'a göre değerlendirildiğinde;

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} = 0{,}02532 \tag{6.9}$$

olarak bulunmuştur.

Weibull dağılıma göre güvenilirlik fonksiyonu R(t) Eşitlik 6.10'a göre değerlendirildiğinde;

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} = 0{,}97468 \tag{6.10}$$

olarak bulunmuştur.

Weibull dağılıma göre tehlike fonksiyonu h(t) Eşitlik 6.11'e göre değerlendirildiğinde;

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0{,}00086}{0{,}97468} = 0{,}000881248 \tag{6.11}$$

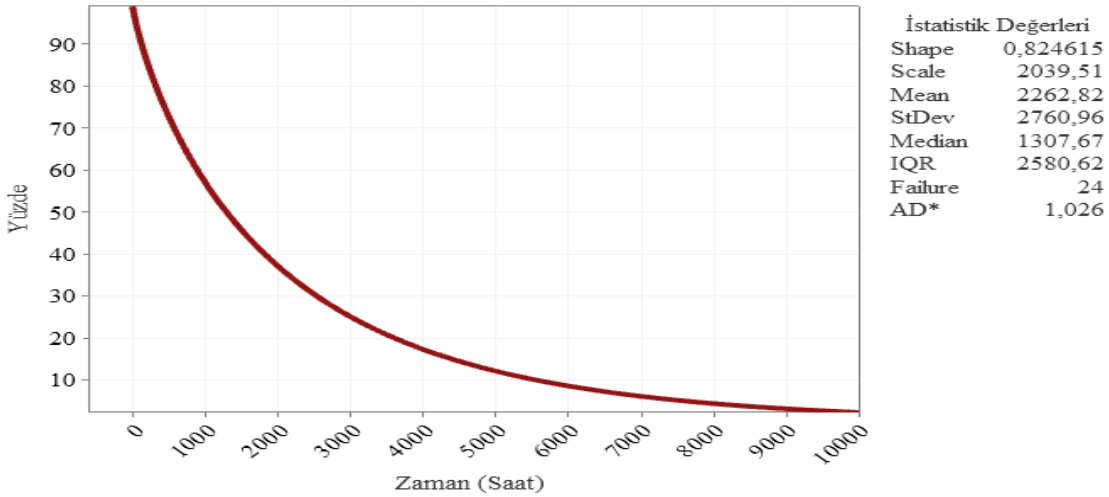
olarak bulunmuştur.

Log-normal dağılıma göre ortalama değer E(t) Eşitlik 6.12'ye göre değerlendirildiğinde;

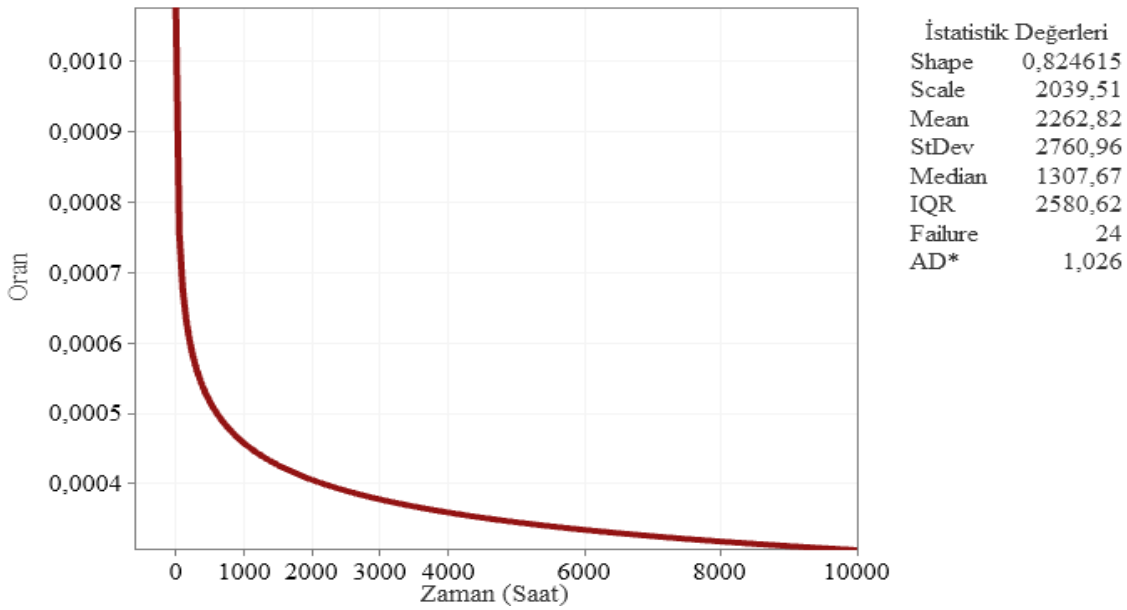
$$E(t) = \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 2262{,}82\ saat \tag{6.12}$$

olarak bulunmuştur.

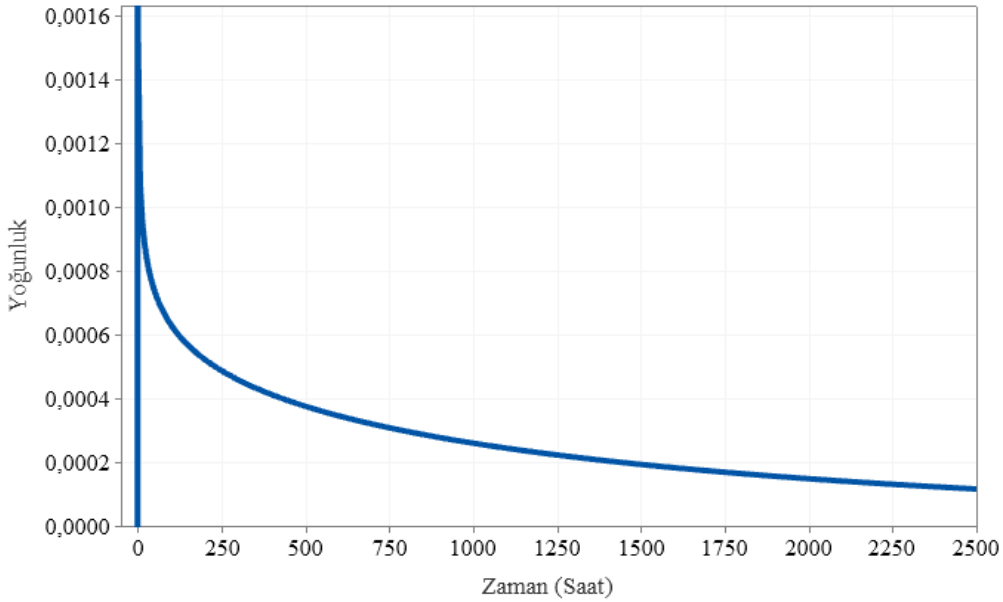
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.84'te Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.85'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.86'da Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.84. Tufanbeyli fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.85. Tufanbeyli fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.86. Tufanbeyli fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

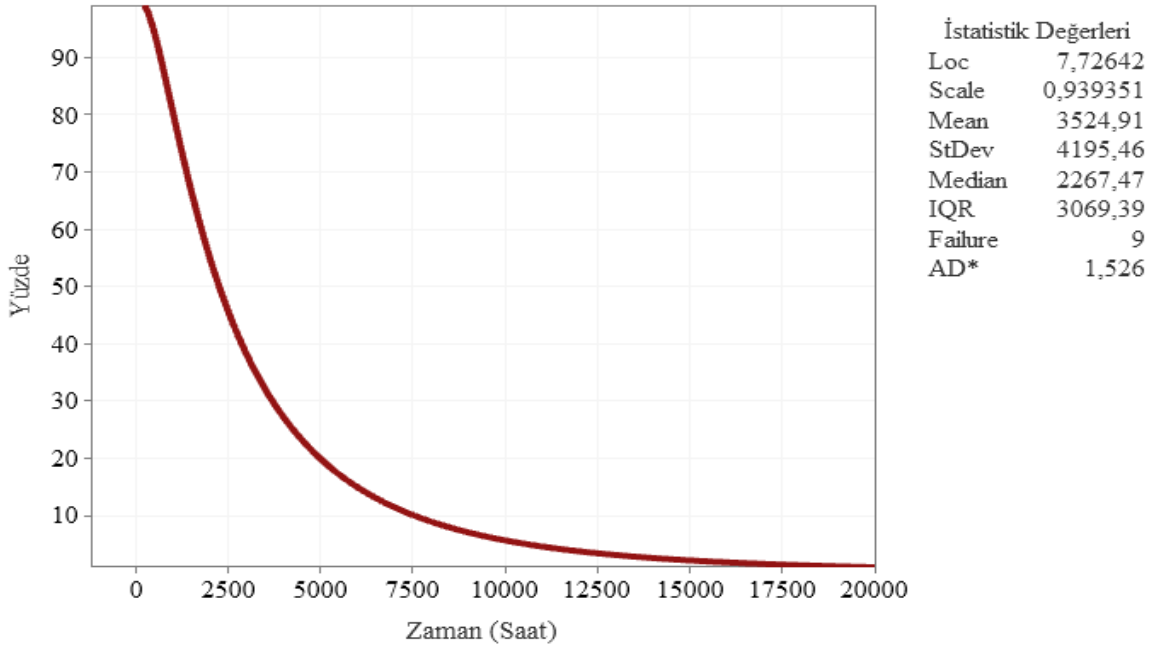
Şekil 6.84 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 10000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.85 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 1300 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.86 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde şekil parametresinin büyük olmasından dolayı sağa çarpık olup oluşan arızaların ,%85'inin 4400 saat altında olduğu görülmektedir.

Kozan 1 fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.40'da gösterilmiştir.

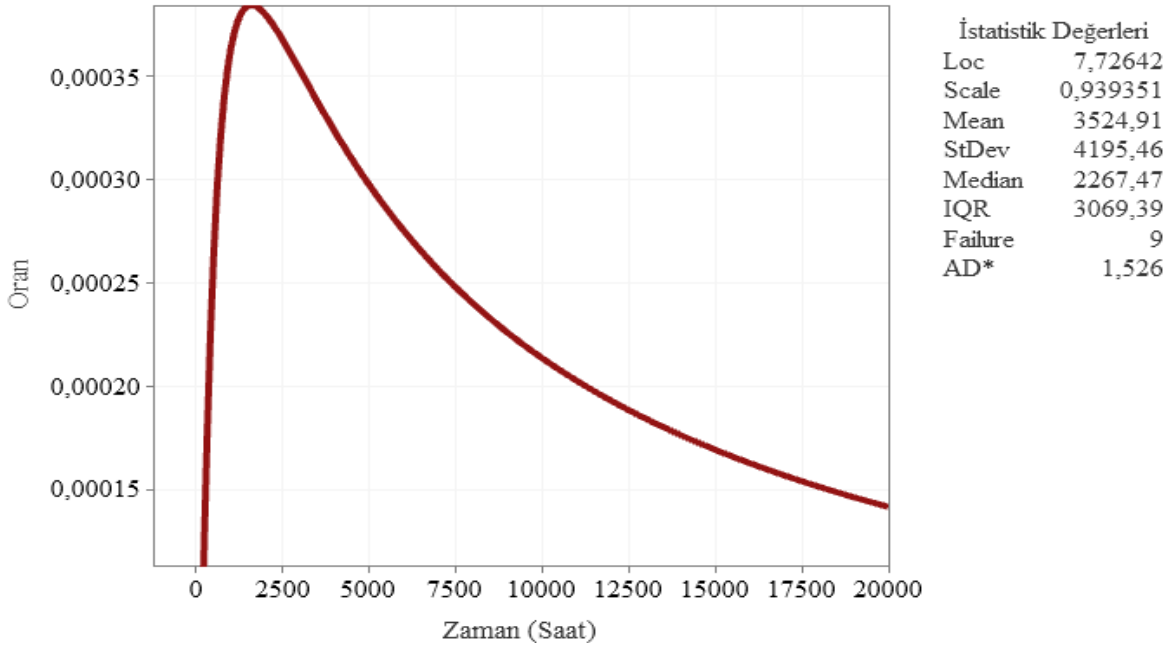
Çizelge 6.40. Kozan 1 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,72899
Ölçek parametresi	σ	1,99857
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00174
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,01685
Güvenilirlik	R(t)	0,98314
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00177
Ortalama değer	E(t)	3524,91

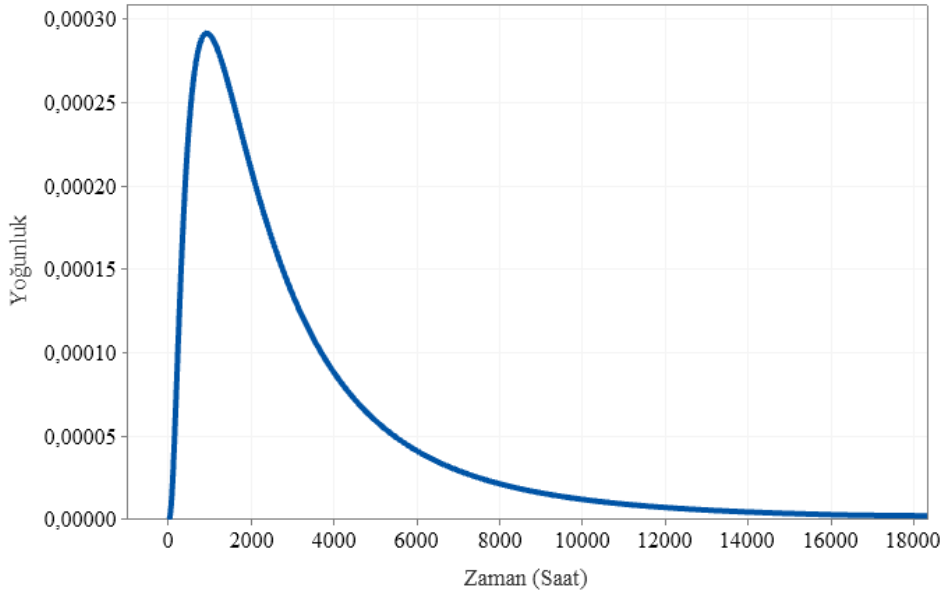
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.87'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.88'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.89'da Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.87. Kozan 1 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.88. Kozan 1 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.89. Kozan 1 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

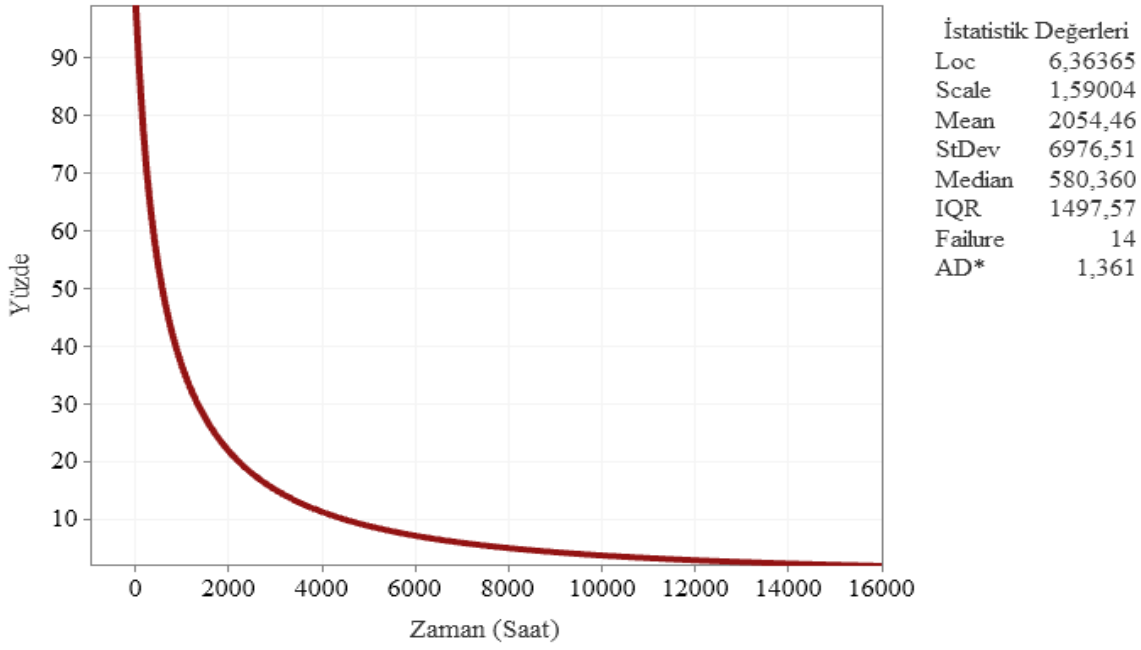
Şekil 6.87 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 17500 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.88 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 2300 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.89 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 6000 saat altında olduğu görülmektedir.

Kozan 2 fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.41'de gösterilmiştir.

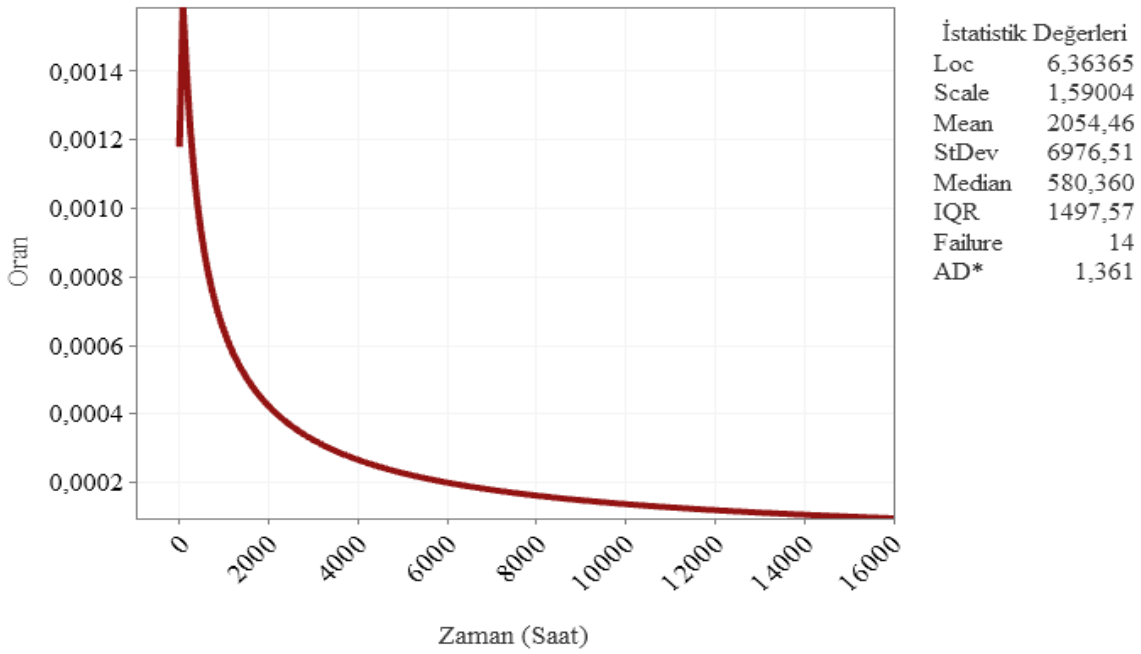
Çizelge 6.41. Kozan 2 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,36365
Ölçek parametresi	σ	1,59004
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00115
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00958
Güvenilirlik	R(t)	0,99042
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00116
Ortalama değer	E(t)	2054,46

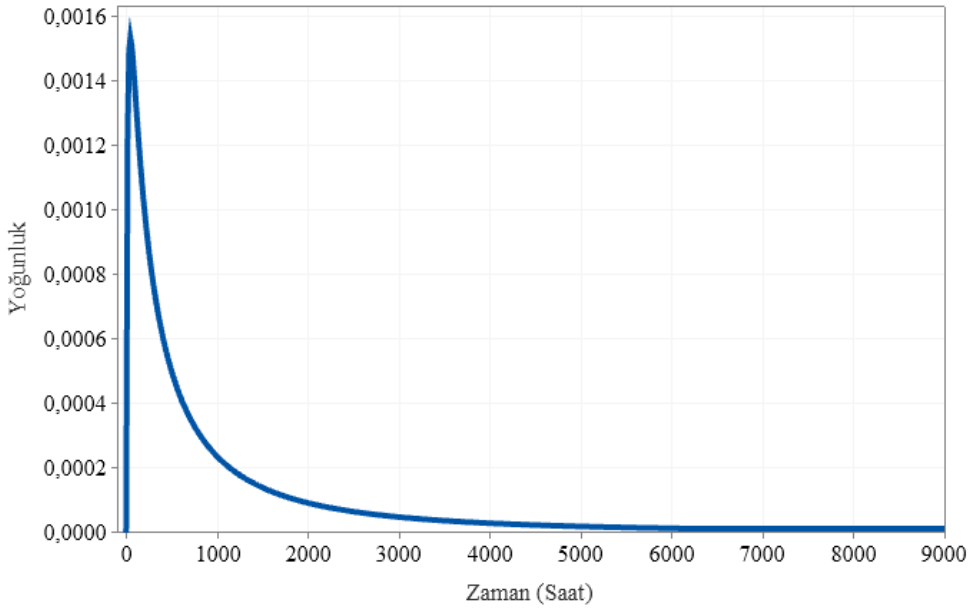
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.90'da Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.91'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.92'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.90. Kozan 2 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.91. Kozan 2 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.92. Kozan 2 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

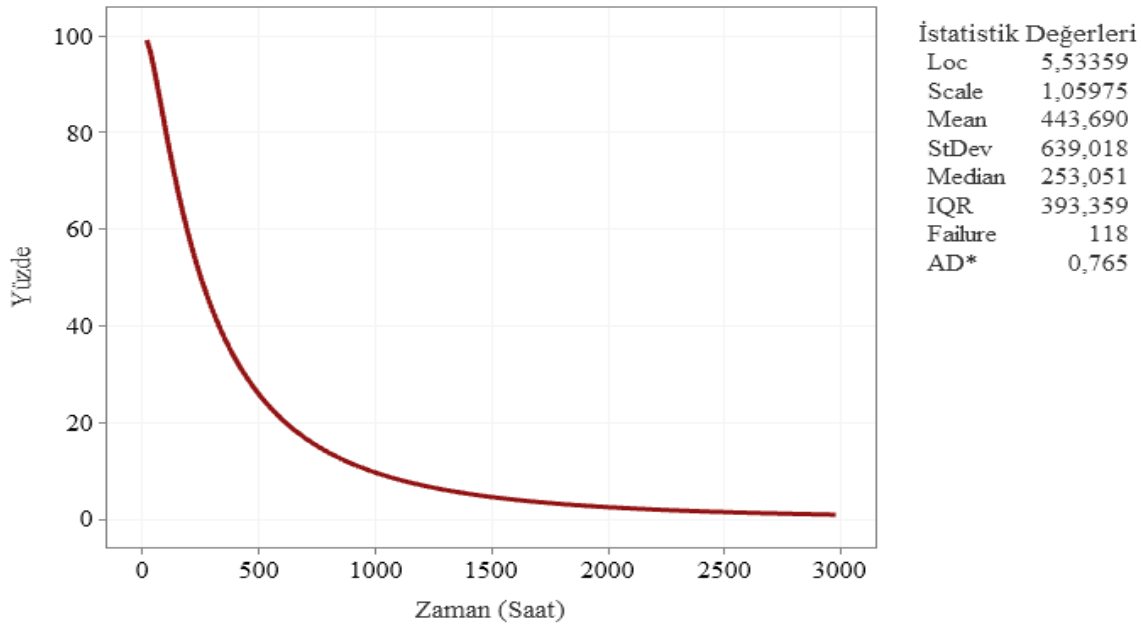
Şekil 6.90 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 12000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.91 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 600 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.92 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 3000 saat altında olduğu görülmektedir.

Konya4 fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.42'de gösterilmiştir.

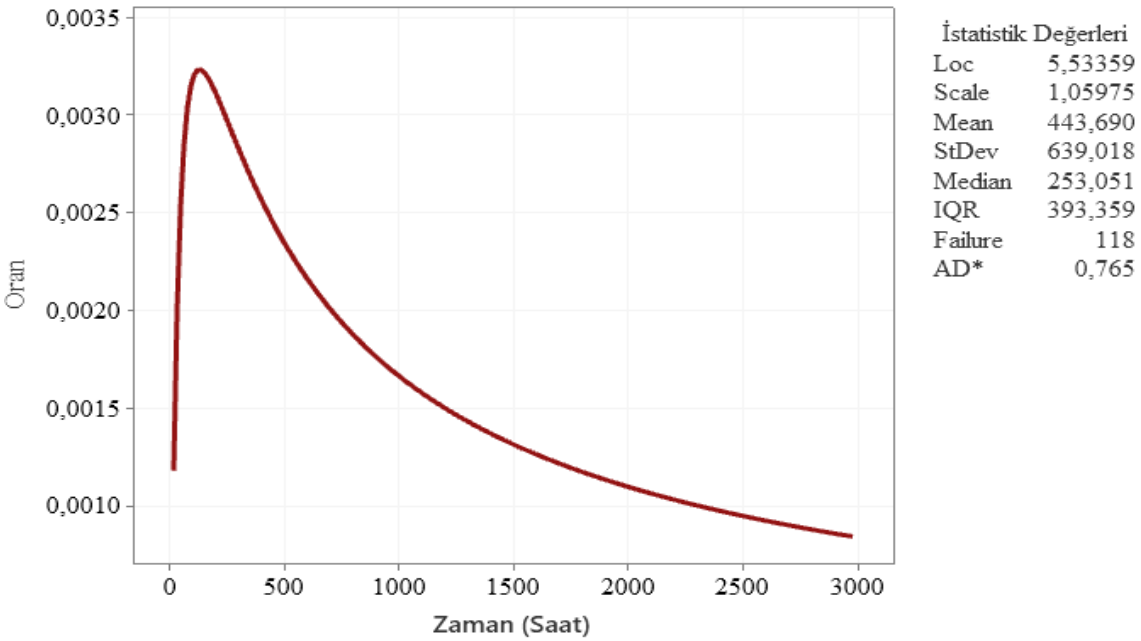
Çizelge 6.42. Konya4 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	5,53359
Ölçek parametresi	σ	1,05975
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00246
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,23579
Güvenilirlik	R(t)	0,76420
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00322
Ortalama değer	E(t)	443,69

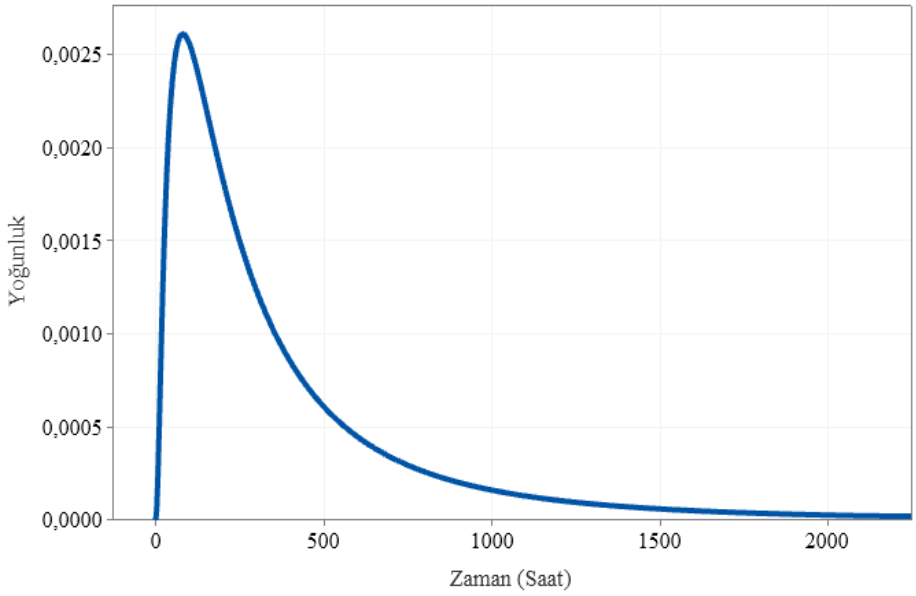
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.93'te Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.94'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.95'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.93. Konya4 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.94. Konya4 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.95. Konya4 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

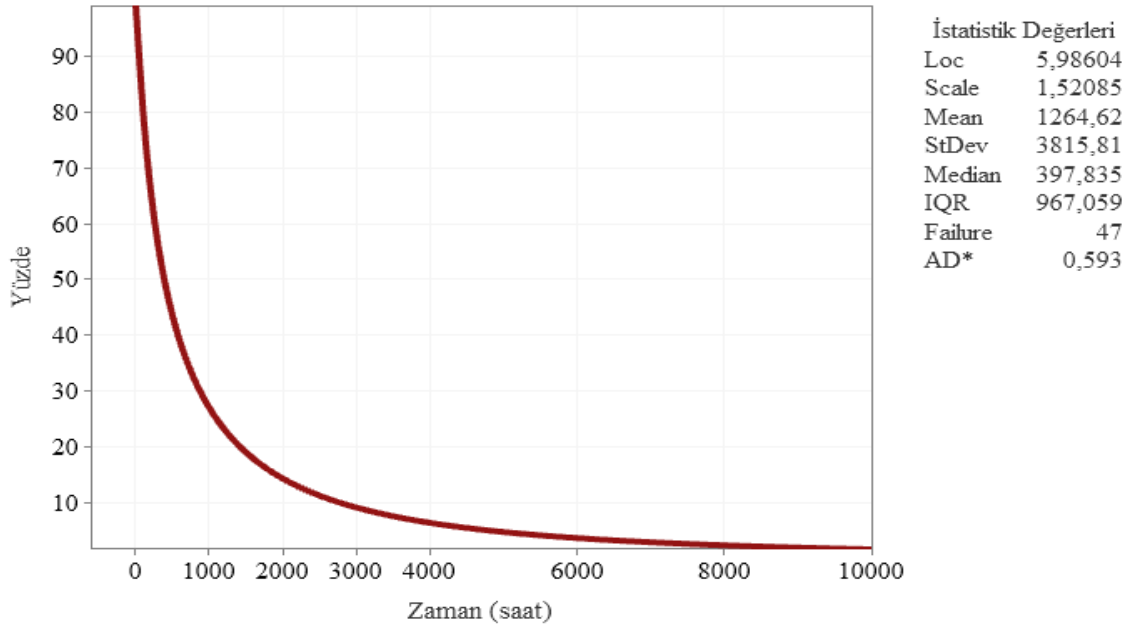
Şekil 6.93 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik 500 saate hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.94 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 250 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.95 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 1200 saat altında olduğu görülmektedir.

Temelli Güney fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.43'te gösterilmiştir.

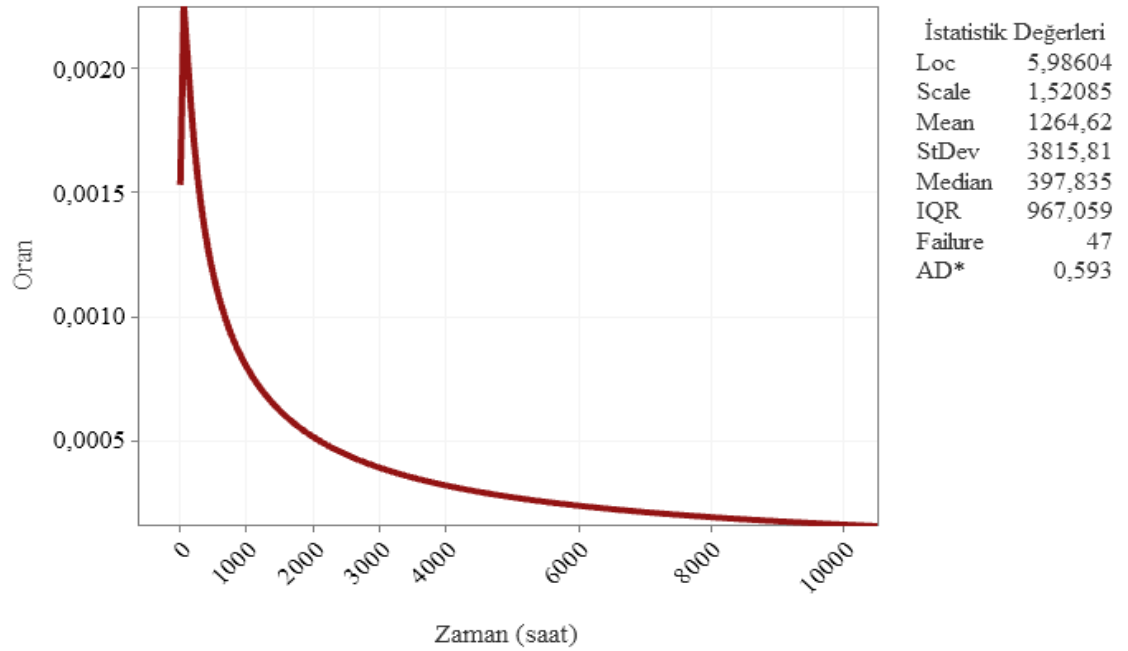
Çizelge 6.43. Temelli Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	5,98603
Ölçek parametresi	σ	1,52084
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00208
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,08009
Güvenilirlik	R(t)	0,91990
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00226
Ortalama değer	E(t)	1264,61

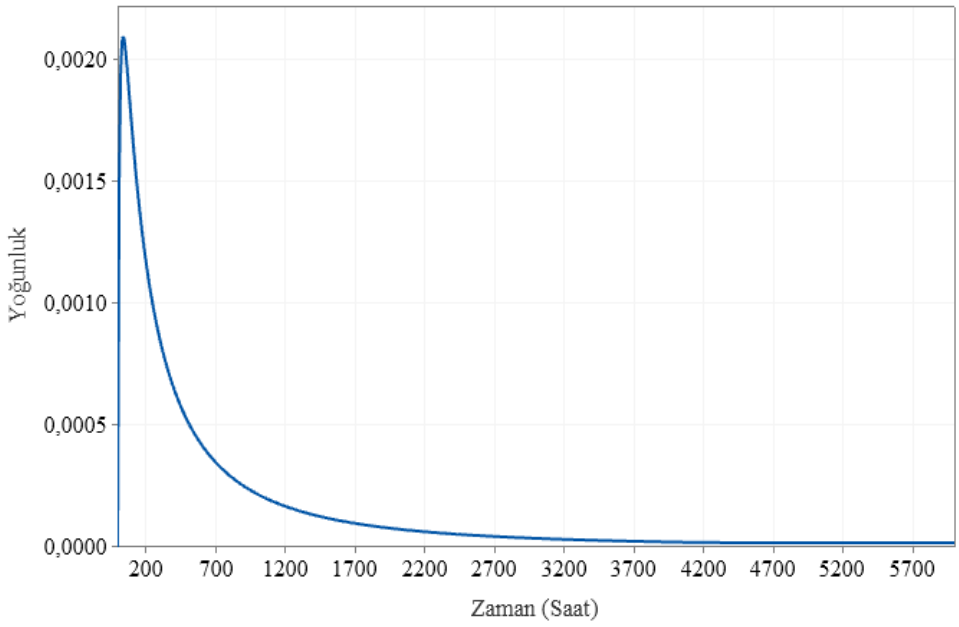
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.96'da Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.97'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.98'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.96. Temelli Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.97. Temelli Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.98. Temelli Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

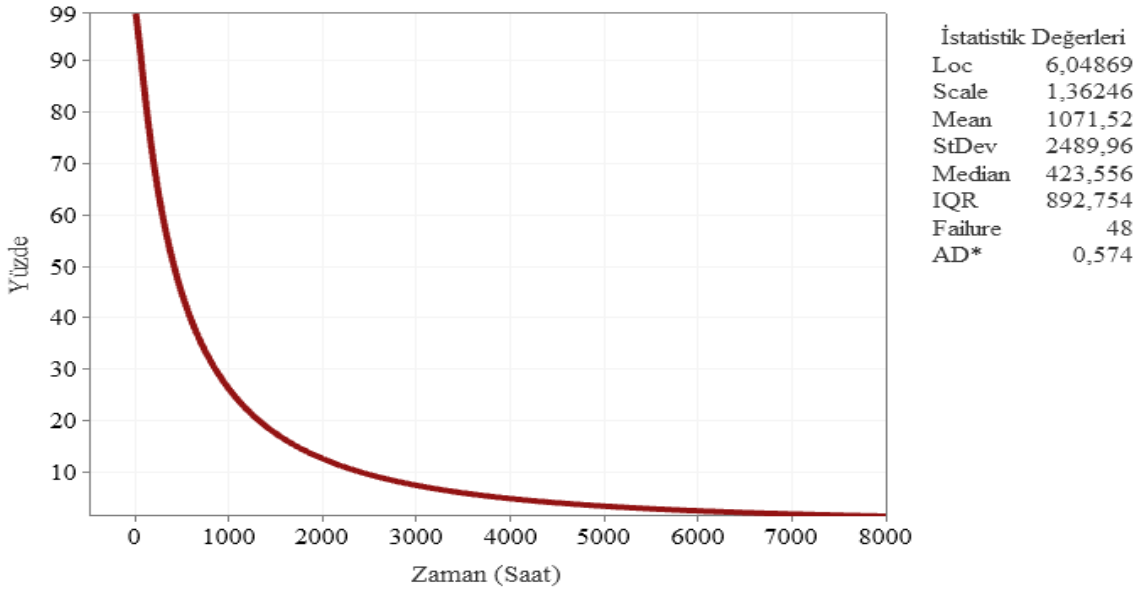
Şekil 6.96 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 8000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.97 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 400 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.98 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 1900 saat altında olduğu görülmektedir.

Temelli Kuzey fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.44'te gösterilmiştir.

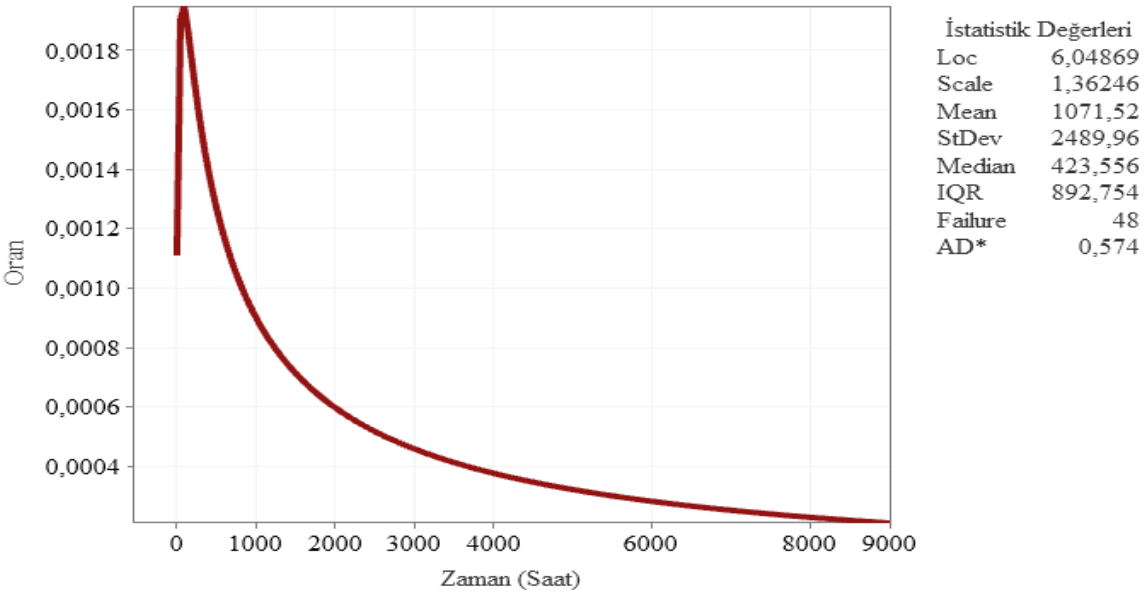
Çizelge 6.44. Temelli Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,04869
Ölçek parametresi	σ	1,36246
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00170
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,05499
Güvenilirlik	R(t)	0,94500
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00179
Ortalama değer	E(t)	1071,51

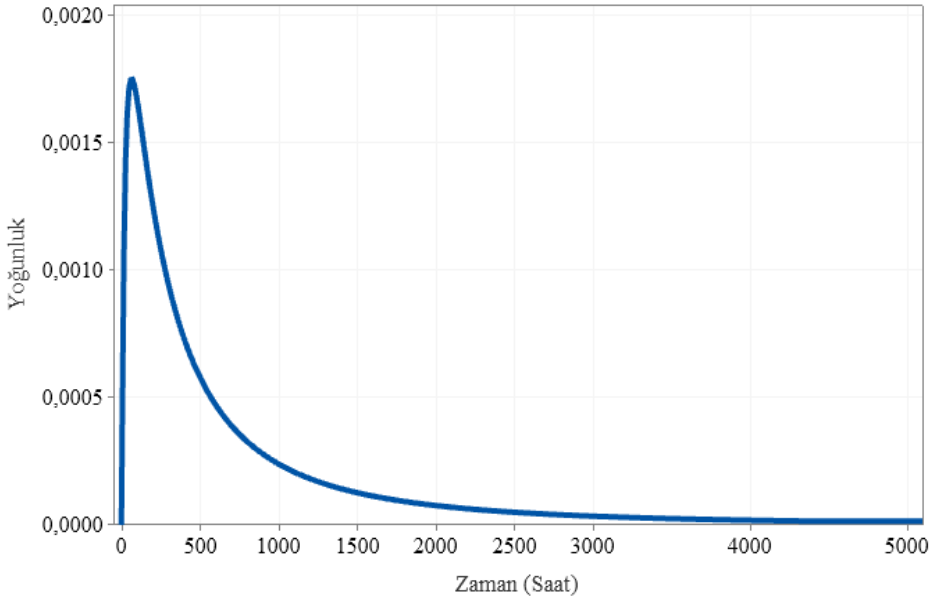
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.99'da Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.100'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.101'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.99. Temelli Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.100. Temelli Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.101. Temelli Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

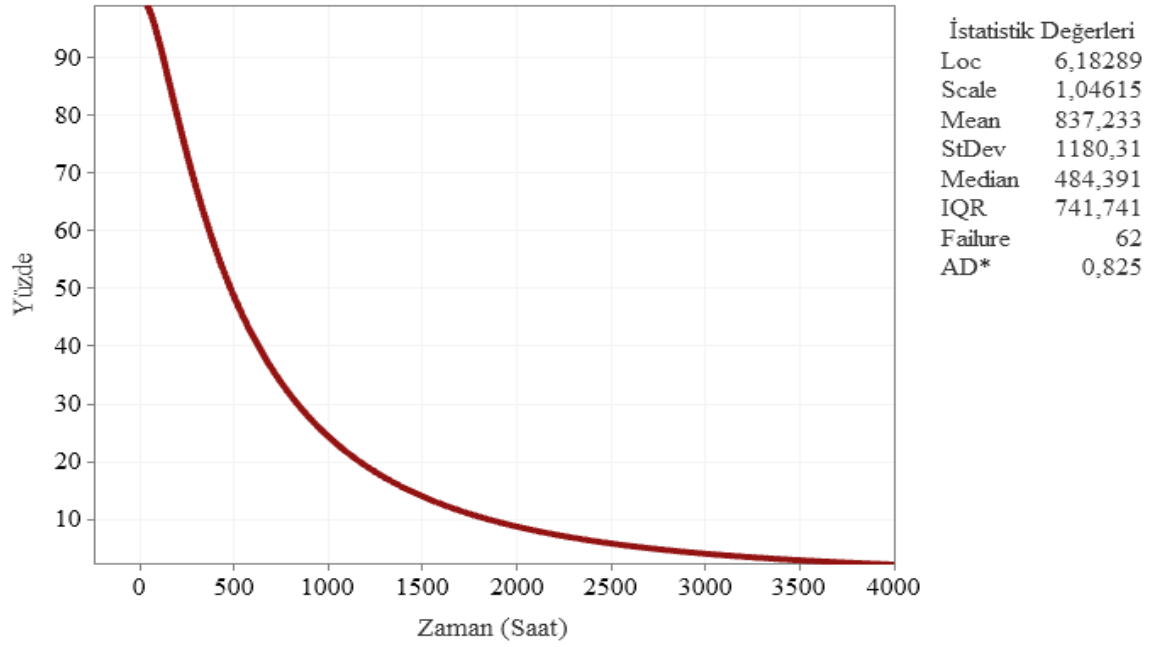
Şekil 6.99 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 8000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.100 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 450 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.101 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 1800 saat altında olduğu görülmektedir.

Elbistan A fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.45'te gösterilmiştir.

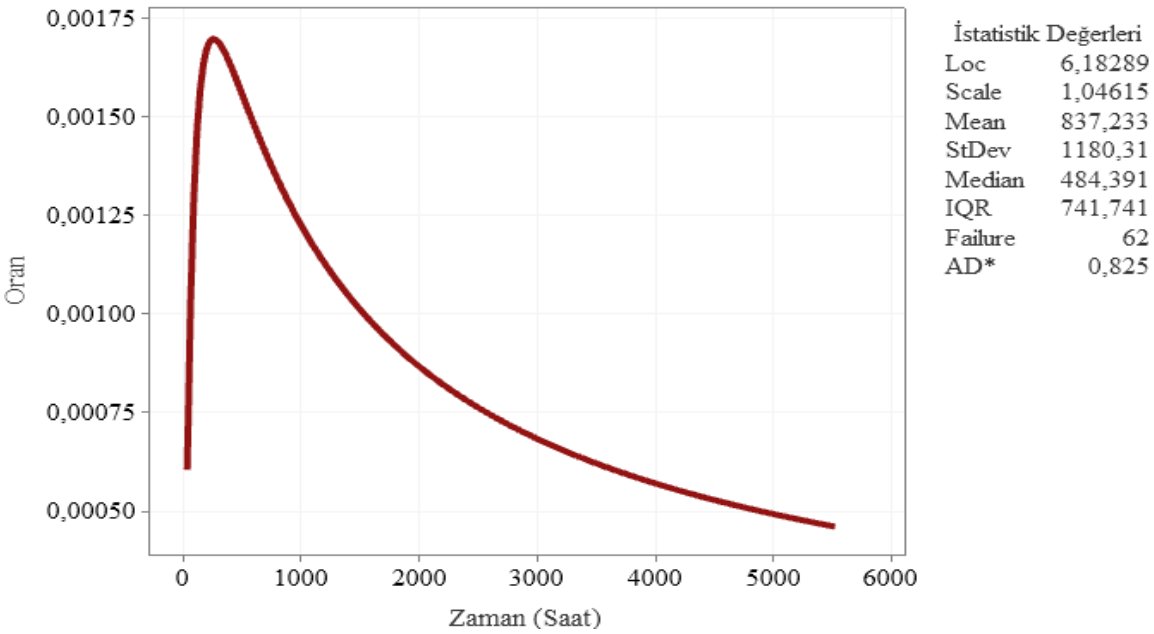
Çizelge 6.45. Elbistan A fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,18289
Ölçek parametresi	σ	1,04614
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00089
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,02470
Güvenilirlik	R(t)	0,97529
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00091
Ortalama değer	E(t)	837,232

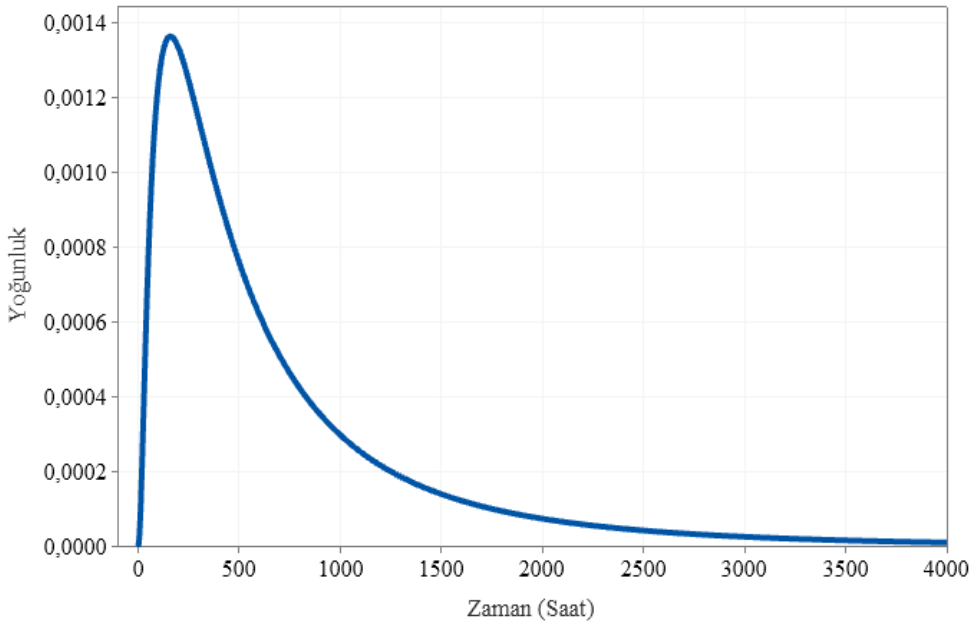
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.102'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.103'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.104'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.102. Elbistan A fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.103. Elbistan A fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.104. Elbistan A fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

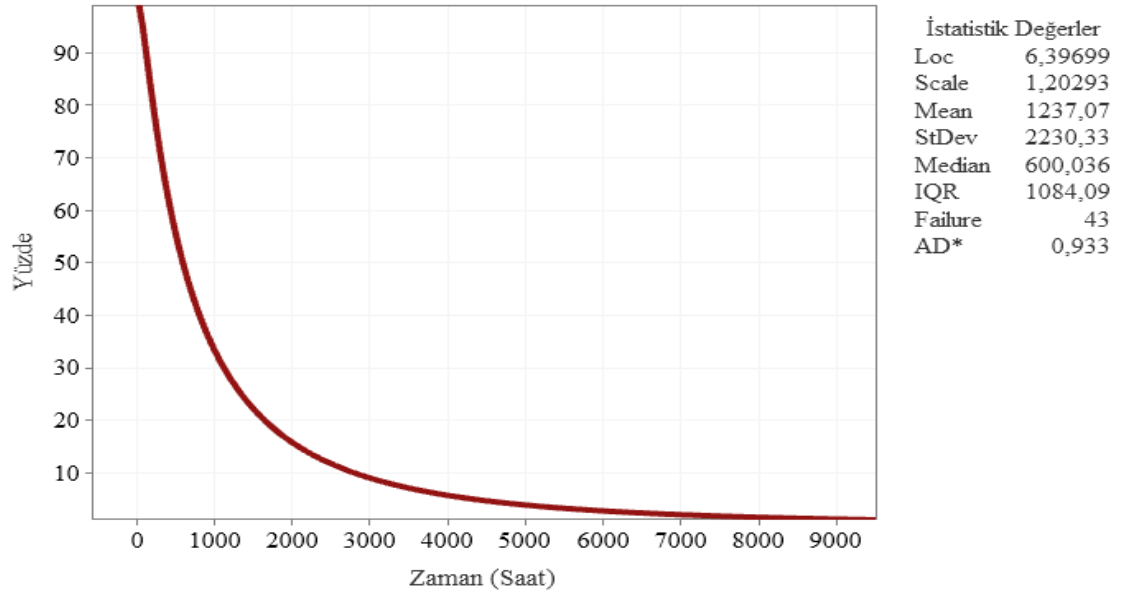
Şekil 6.102 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 3500 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.103 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 500 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.104 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 1500 saat altında olduğu görülmektedir.

Elbistan B fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.46'da gösterilmiştir.

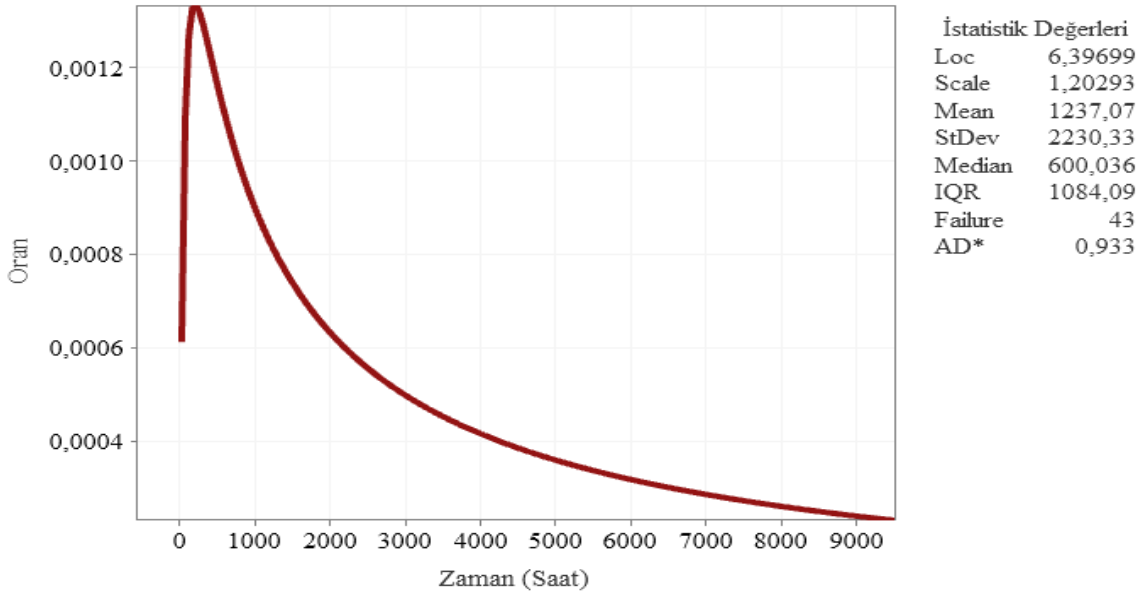
Çizelge 6.46. Elbistan B fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,39698
Ölçek parametresi	σ	1,20292
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00069
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,01422
Güvenilirlik	R(t)	0,98578
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00070
Ortalama değer	E(t)	1237,07

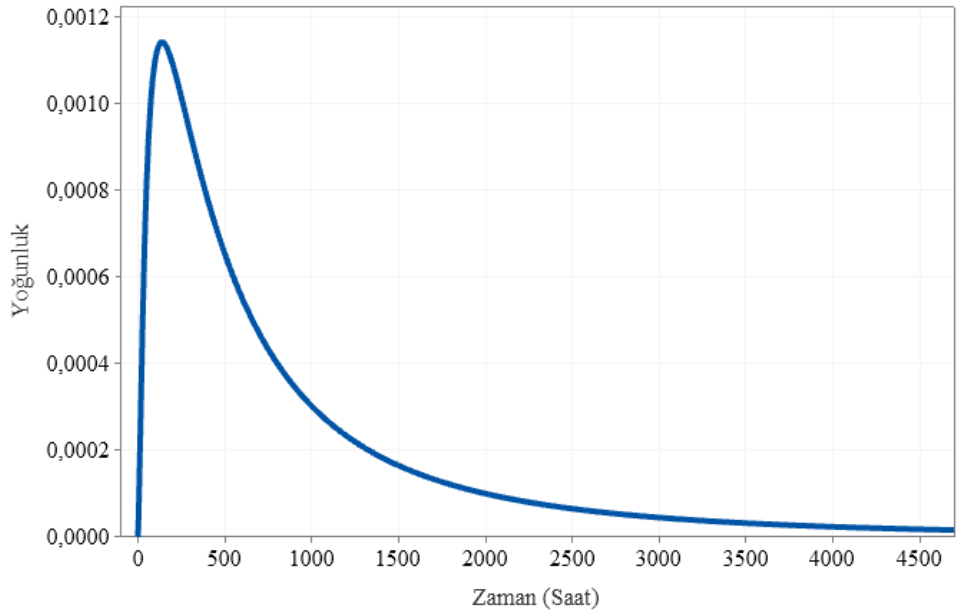
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.105'te Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.106'da Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.107'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.105. Elbistan B fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.106. Elbistan B fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.107. Elbistan B fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

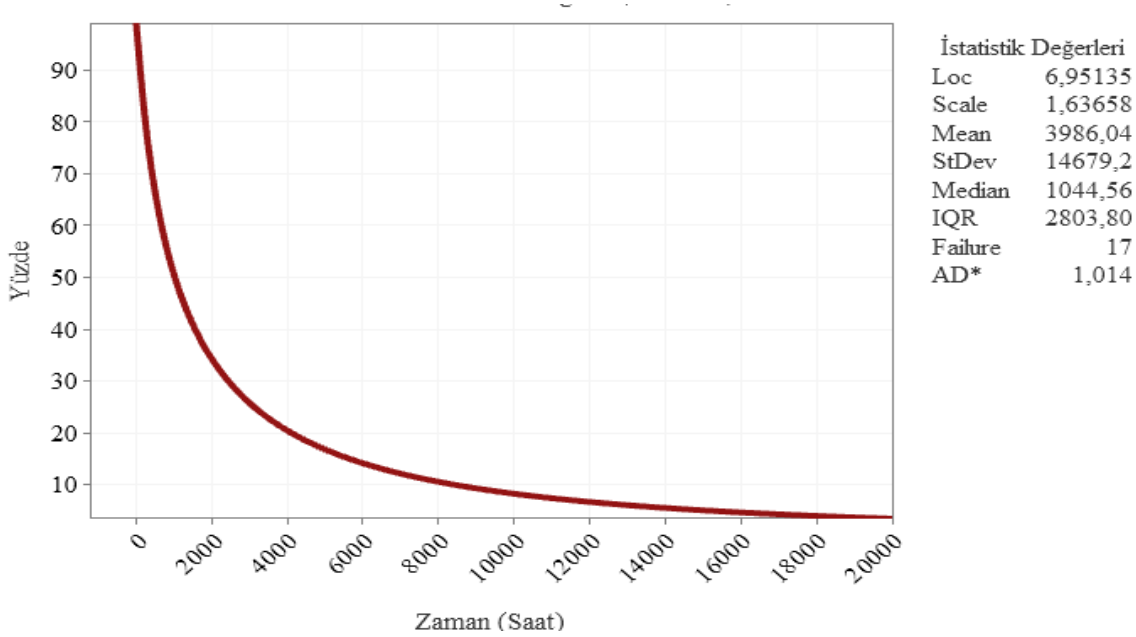
Şekil 6.105 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 4000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.106 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 600 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.107 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 2100 saat altında olduğu görülmektedir.

Sincan 1 fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.47'de gösterilmiştir.

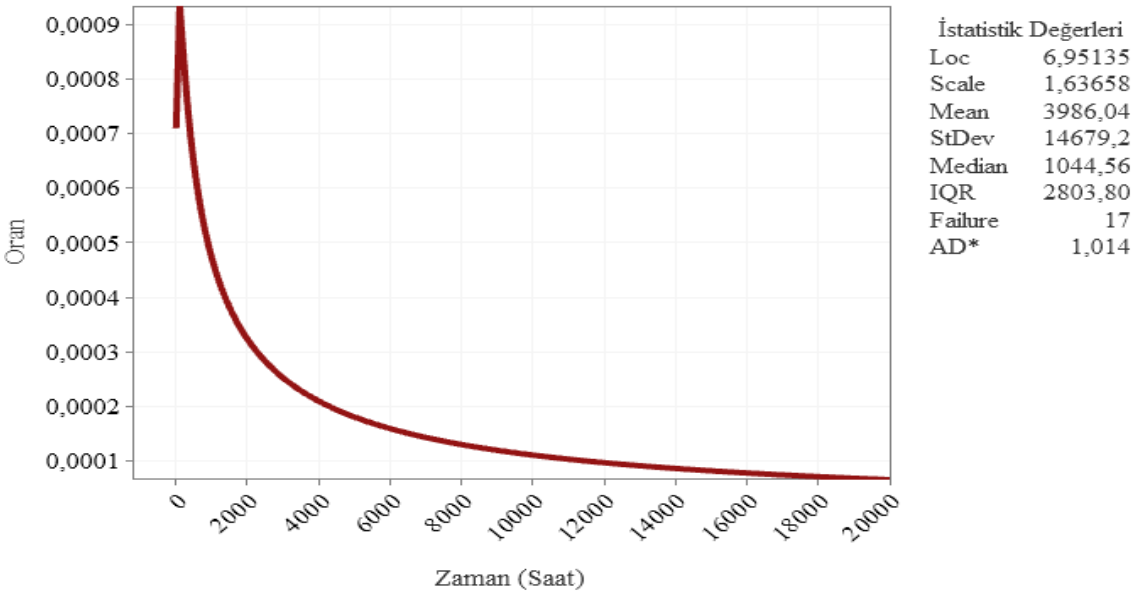
Çizelge 6.47. Sincan 1 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,95135
Ölçek parametresi	σ	1,63658
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00060
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00593
Güvenilirlik	R(t)	0,99407
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00060
Ortalama değer	E(t)	3986,04

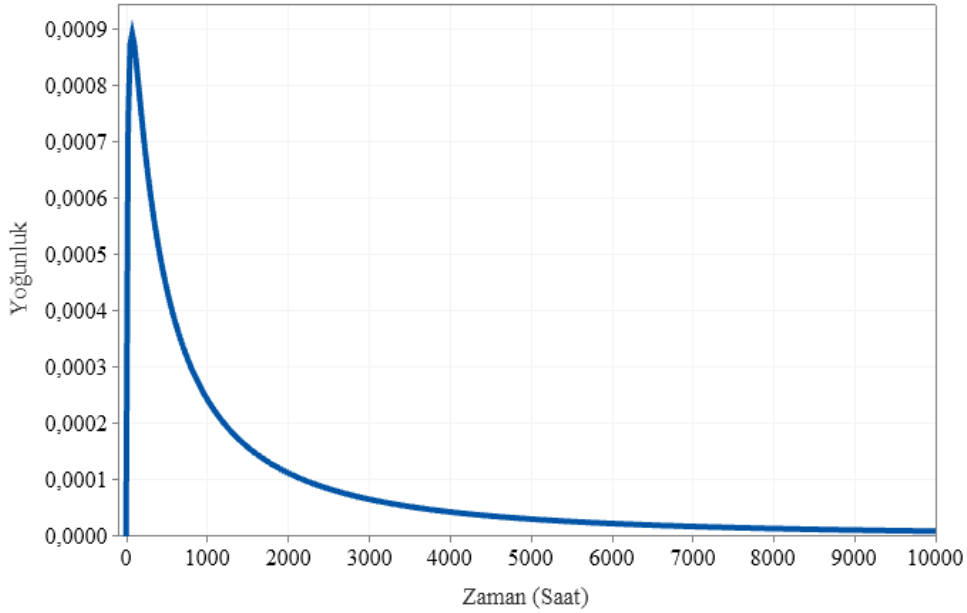
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.108'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.109'da Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.110'da Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.108. Sincan 1 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.109. Sincan 1 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.110. Sincan 1 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

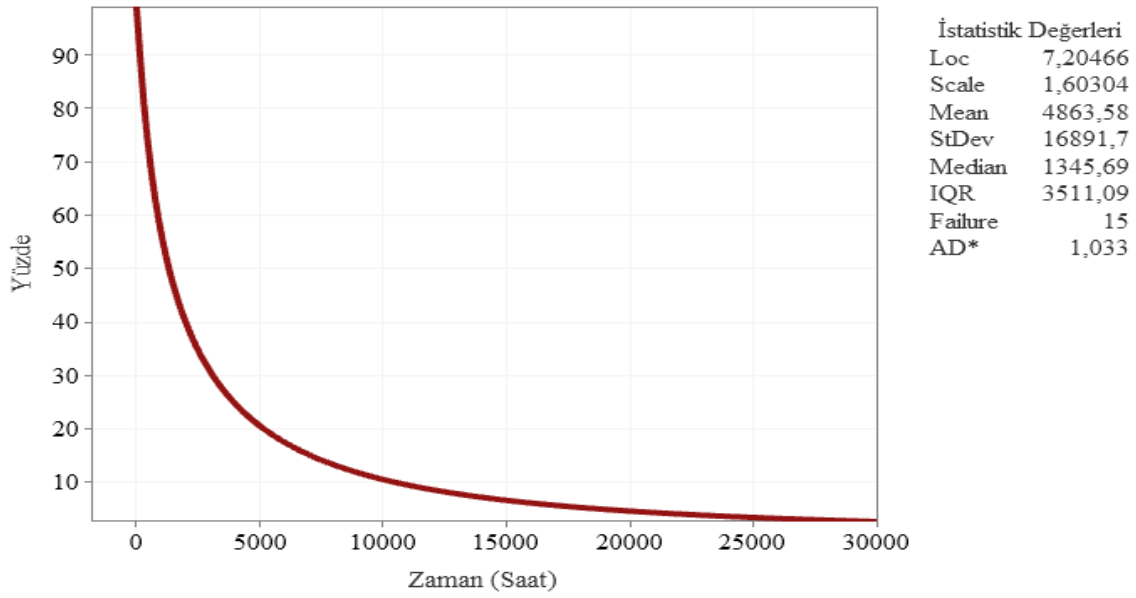
Şekil 6.108 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 18000 saate normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.109 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 1050 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.110 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 5700 saat altında olduğu görülmektedir.

Sincan 2 fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.48'de gösterilmiştir.

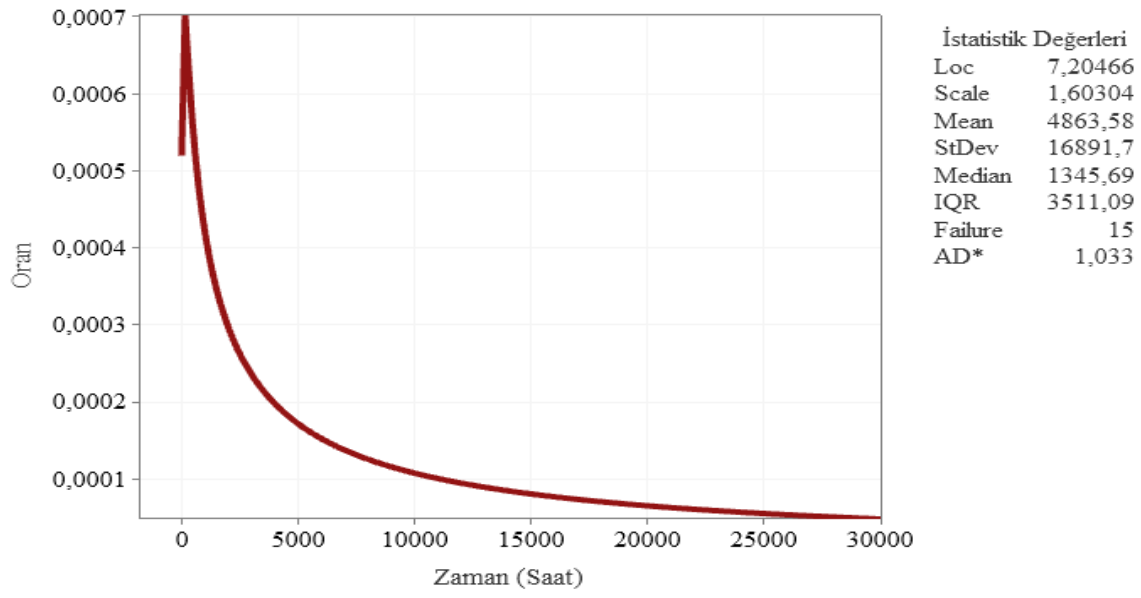
Çizelge 6.48. Sincan 2 fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	7,20466
Ölçek parametresi	σ	1,60304
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00032
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00252
Güvenilirlik	R(t)	0,99748
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00033
Ortalama değer	E(t)	4863,58

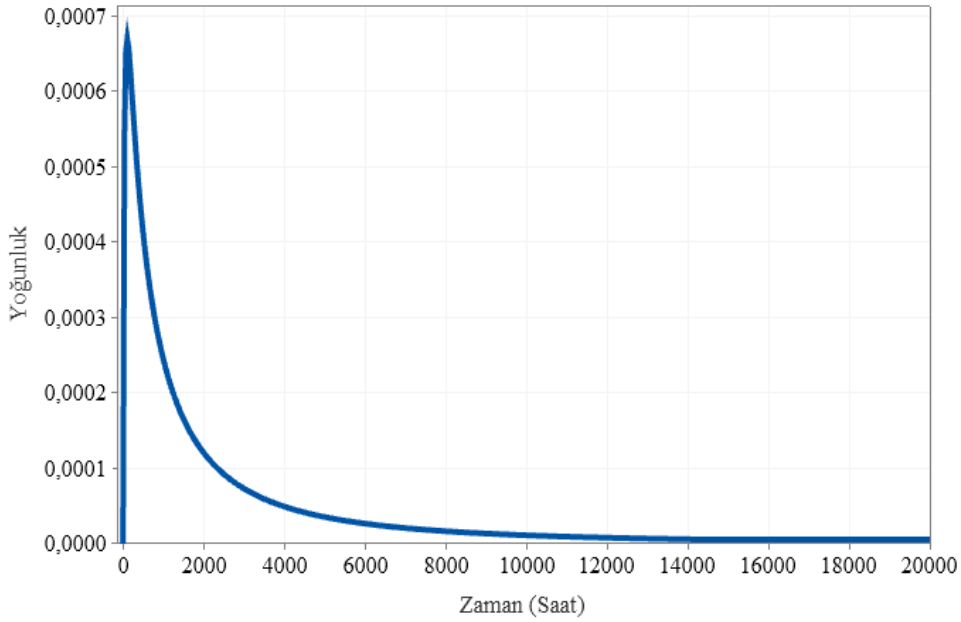
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.111'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.112'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.113'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.111. Sincan 2 fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.112. Sincan 2 fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.113. Sincan 2 fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

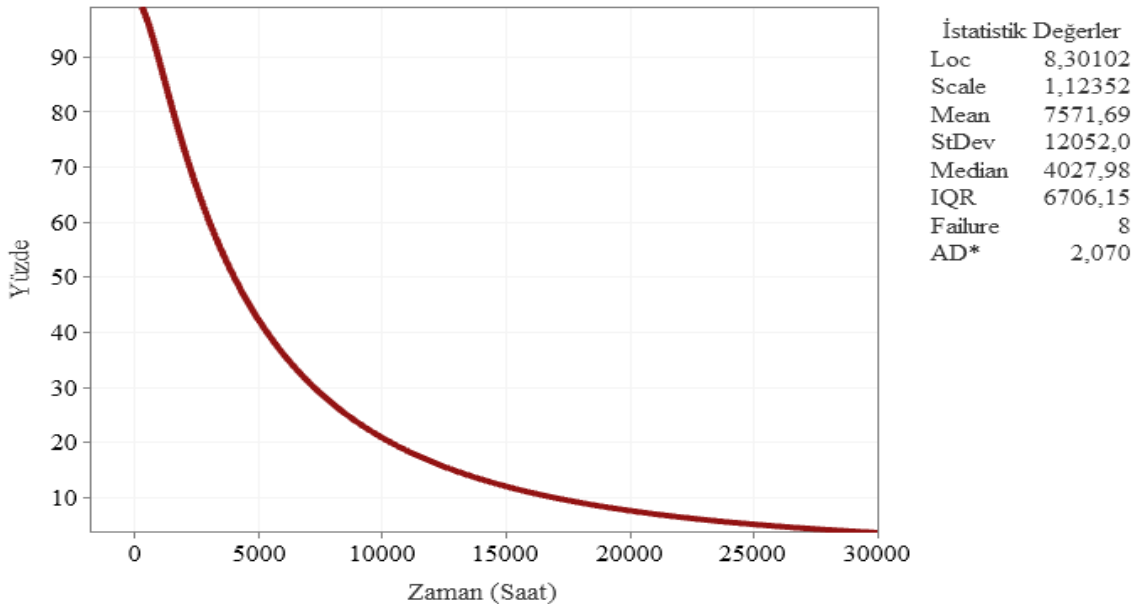
Şekil 6.111 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 30000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.112 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 1350 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.113 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 7100 saat altında olduğu görülmektedir.

Gölbaşı Kuzey fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.49'da gösterilmiştir.

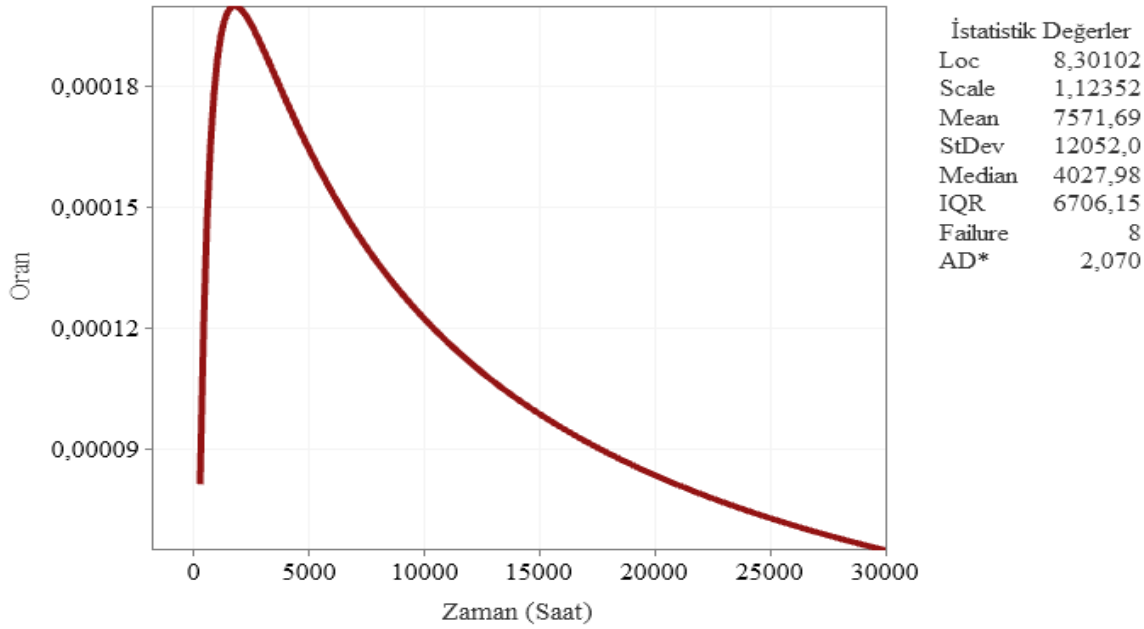
Çizelge 6.49. Gölbaşı Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	8,30102
Ölçek parametresi	σ	1,12352
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00024
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00172
Güvenilirlik	R(t)	0,99828
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00024
Ortalama değer	E(t)	7571,69

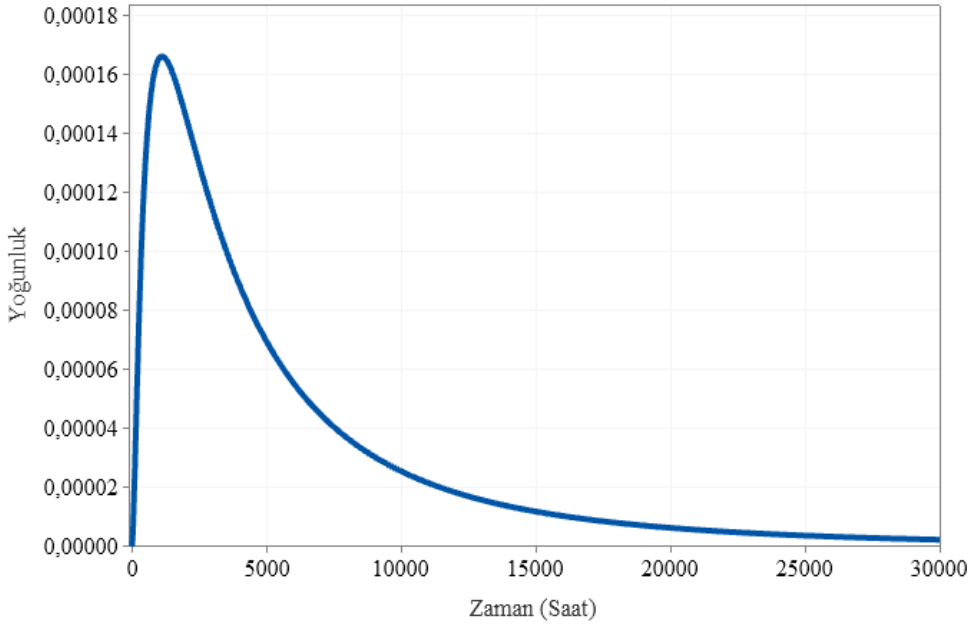
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.114'te Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.115'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.116'da Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.114. Gölbaşı Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.115. Gölbaşı Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.116. Gölbaşı Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

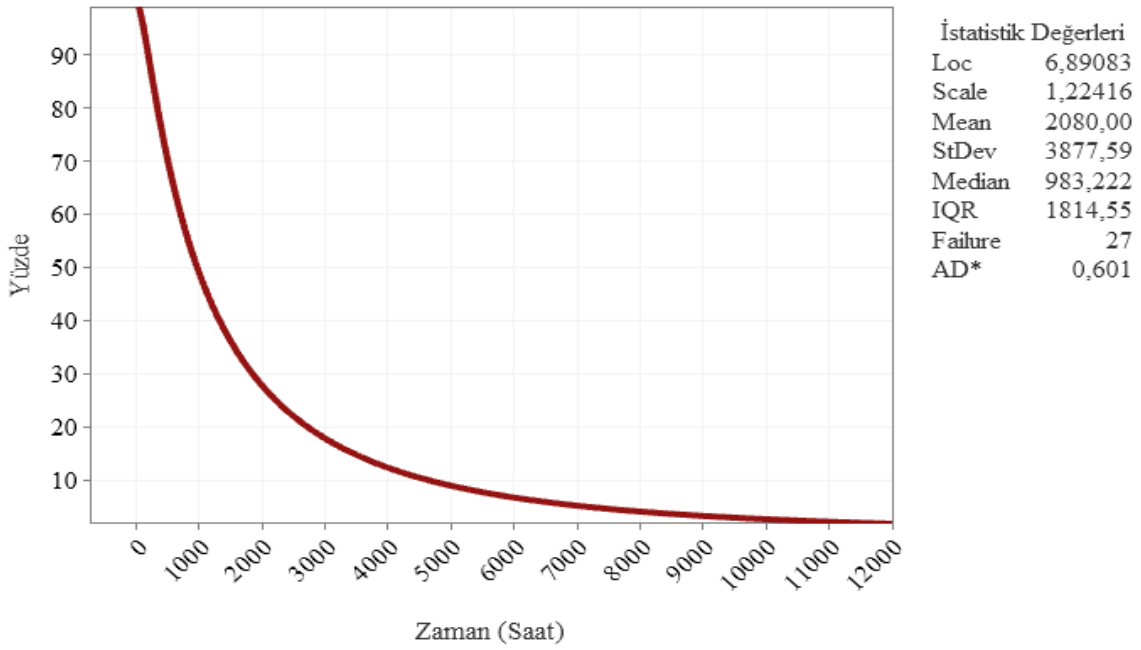
Şekil 6.114 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 30000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.115 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 4000 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.116 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 12900 saat altında olduğu görülmektedir.

Gölbaşı Güney fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.50'de gösterilmiştir.

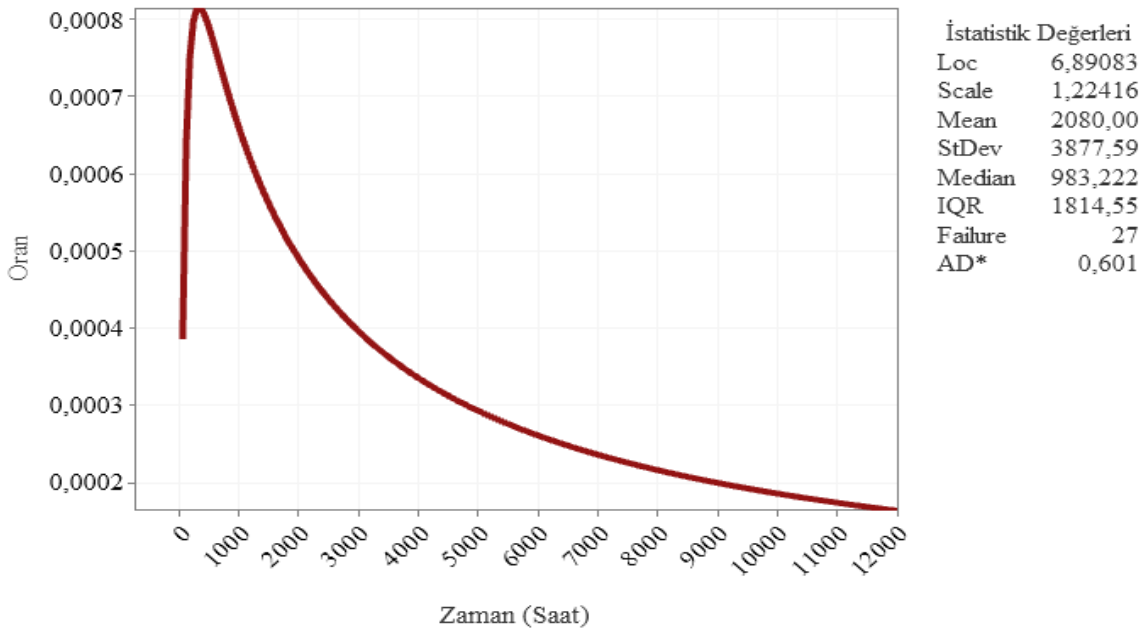
Çizelge 6.50. Gölbaşı Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,89083
Ölçek parametresi	σ	1,22416
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00016
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00166
Güvenilirlik	R(t)	0,99834
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00016
Ortalama değer	E(t)	2080,01

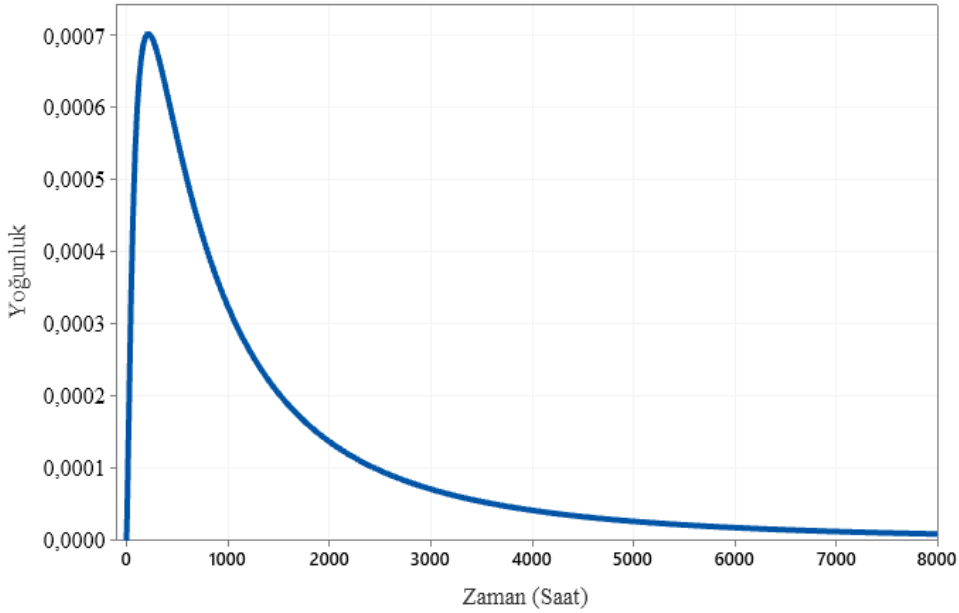
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.117'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.118'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.119'da Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.117. Gölbaşı Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.118. Gölbaşı Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.119. Gölbaşı Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

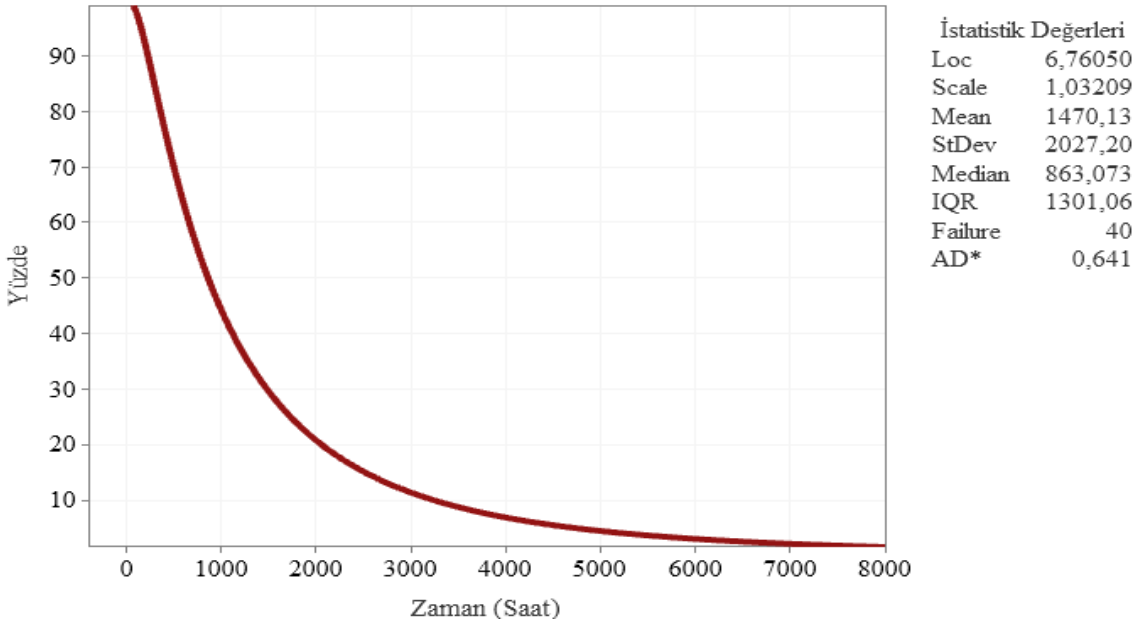
Şekil 6.117 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 11000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.118 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 950 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.119 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 3500 saat altında olduğu görülmektedir.

Keban Güney fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.51'de gösterilmiştir.

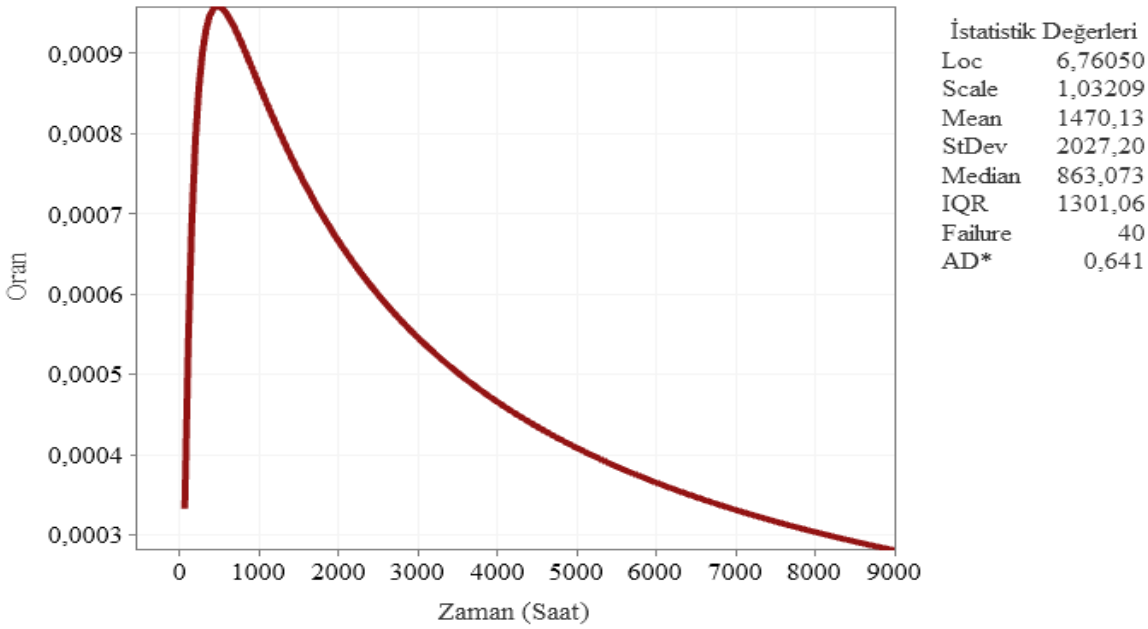
Çizelge 6.51. Keban Güney fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,76049
Ölçek parametresi	σ	1,03209
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00012
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00146
Güvenilirlik	R(t)	0,99854
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00012
Ortalama değer	E(t)	1470,13

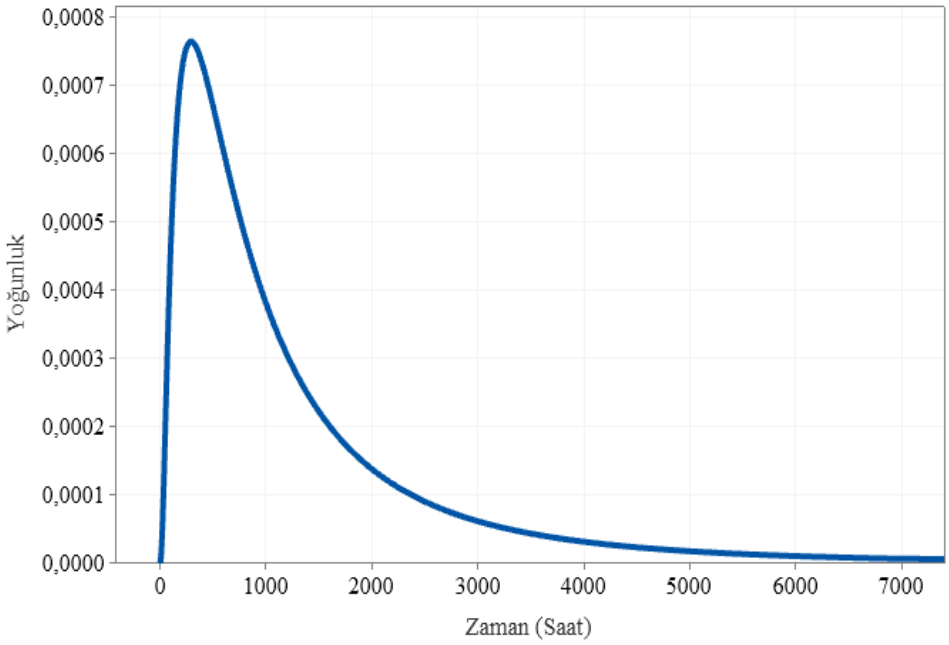
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.120'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.121'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.122'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.120. Keban Güney fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.121. Keban Güney fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.122. Keban Güney fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

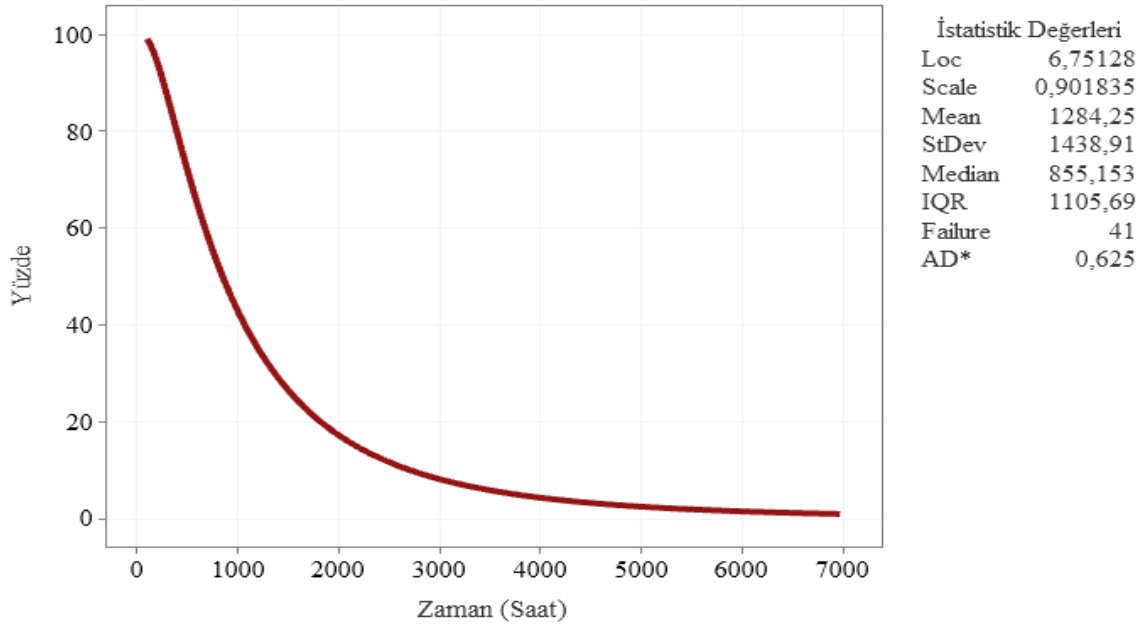
Şekil 6.120 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 7000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.121 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 850 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.122 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 2500 saat altında olduğu görülmektedir.

Keban Kuzey fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.52'de gösterilmiştir.

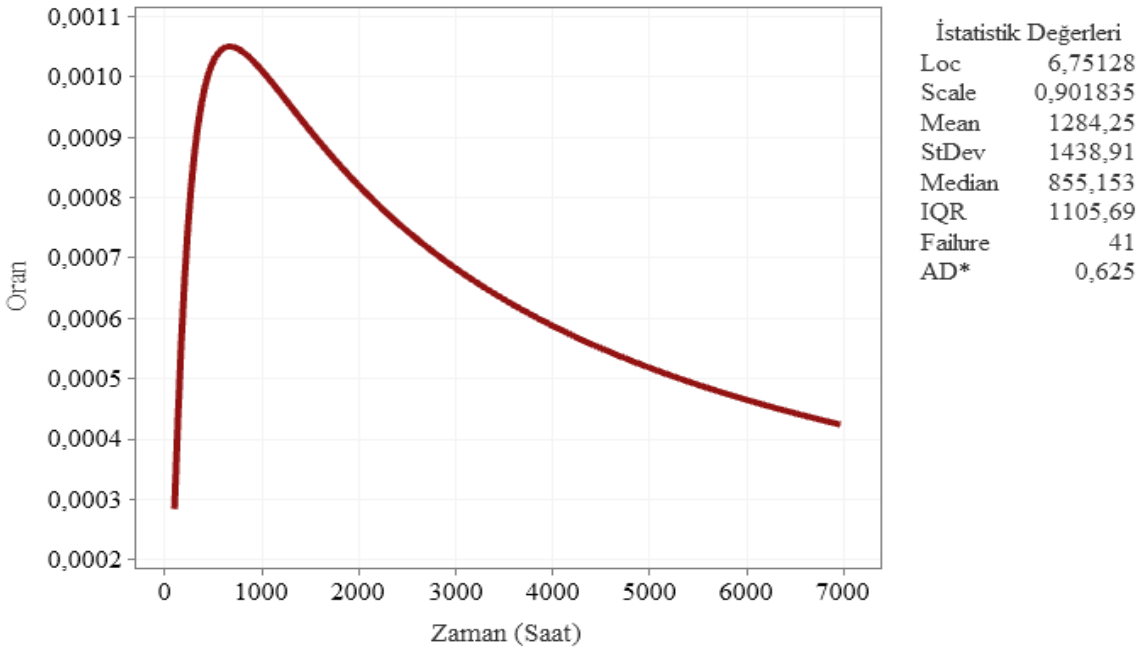
Çizelge 6.52. Keban Kuzey fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,75128
Ölçek parametresi	σ	0,90184
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	3,709E-05
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00038
Güvenilirlik	R(t)	0,99962
Tehlike fonksiyonu	h(t)	3,71E-05
Ortalama değer	E(t)	1284,25

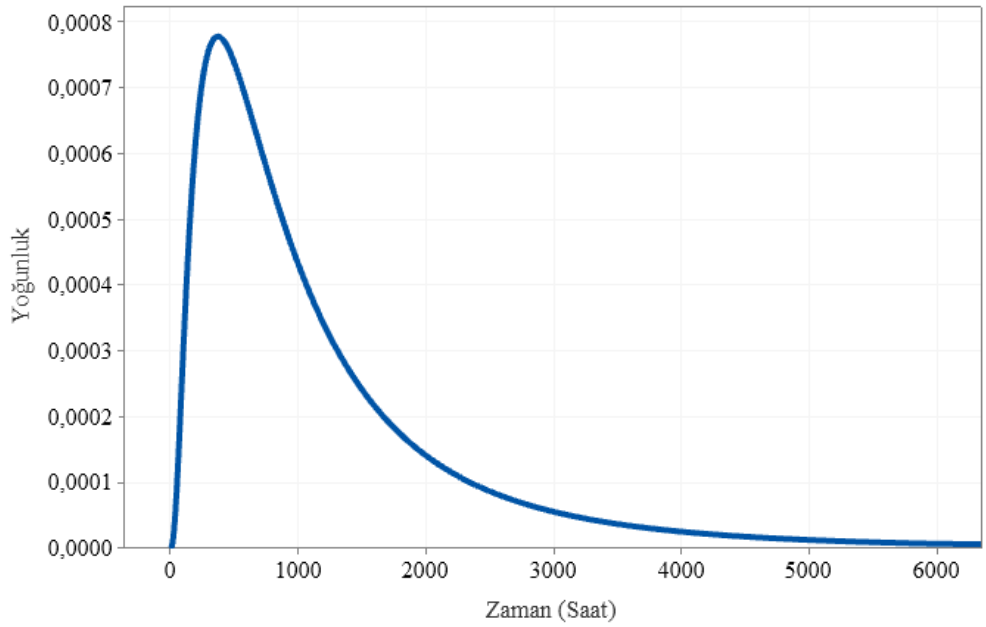
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.123'te Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.124'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.125'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.123. Keban Kuzey fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.124. Keban Kuzey fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.125. Keban Kuzey fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

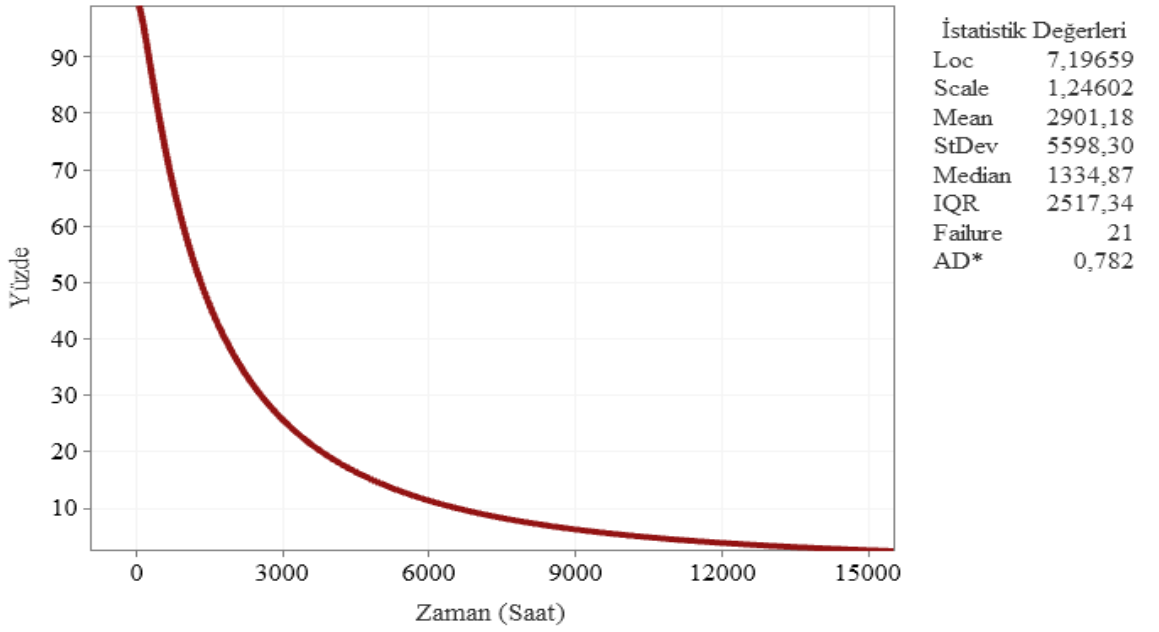
Şekil 6.123 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 7000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.124 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 850 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.125 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 2200 saat altında olduğu görülmektedir.

Elbistan fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.53'te gösterilmiştir.

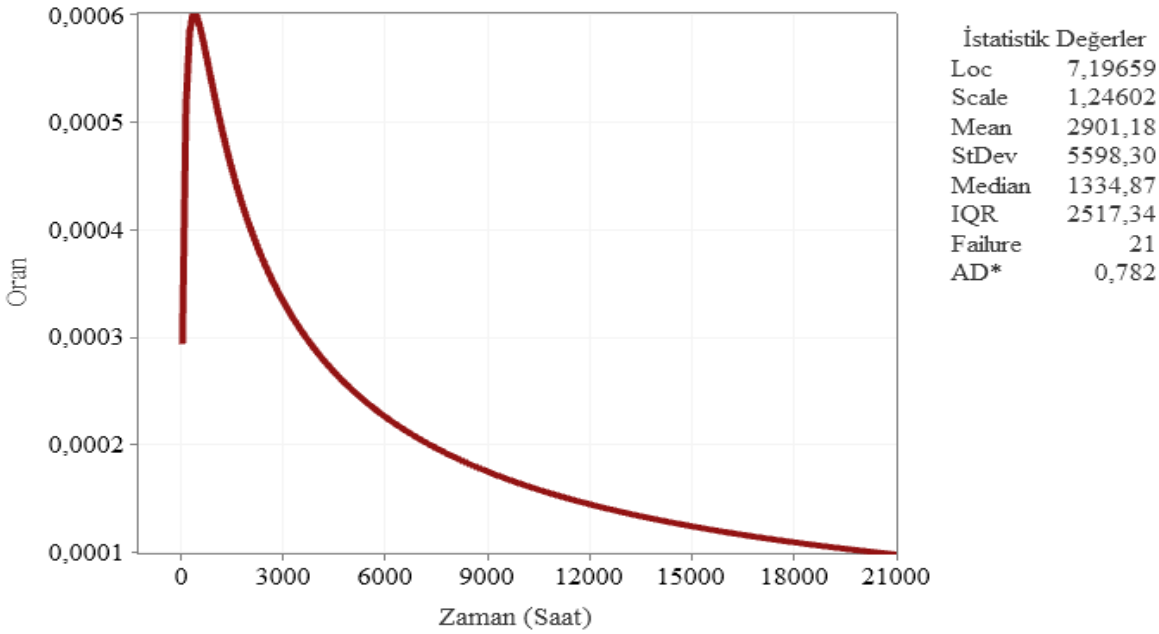
Çizelge 6.53. Elbistan fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	7,19659
Ölçek parametresi	σ	1,24602
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	5,92E-05
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00043
Güvenilirlik	R(t)	0,99956
Tehlike fonksiyonu	h(t)	5,92E-05
Ortalama değer	E(t)	2901,18

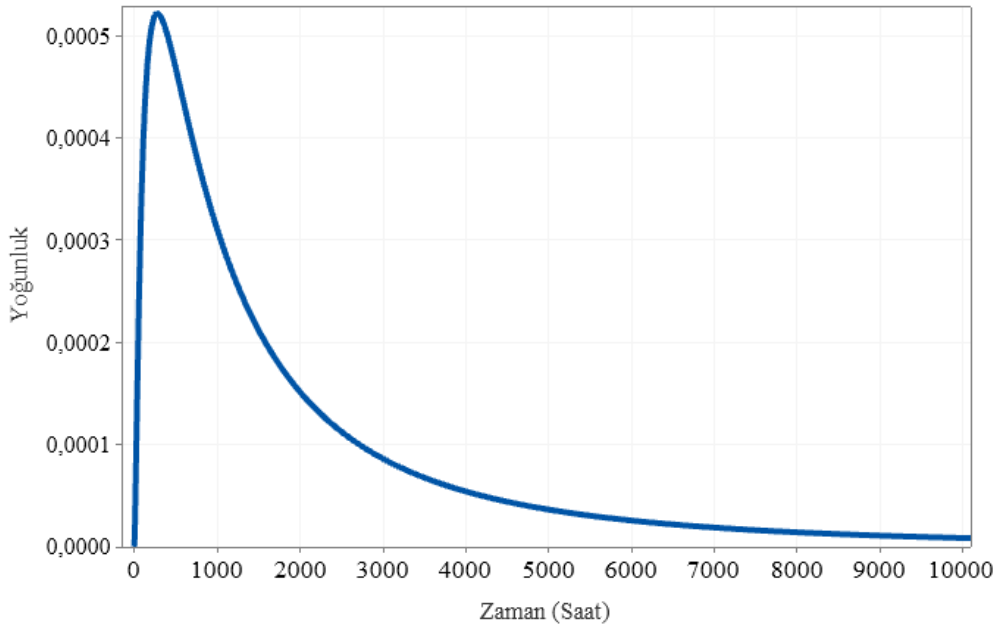
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.126'da Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.127'de Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.128'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.126. Elbistan fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.127. Elbistan fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.128. Elbistan fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

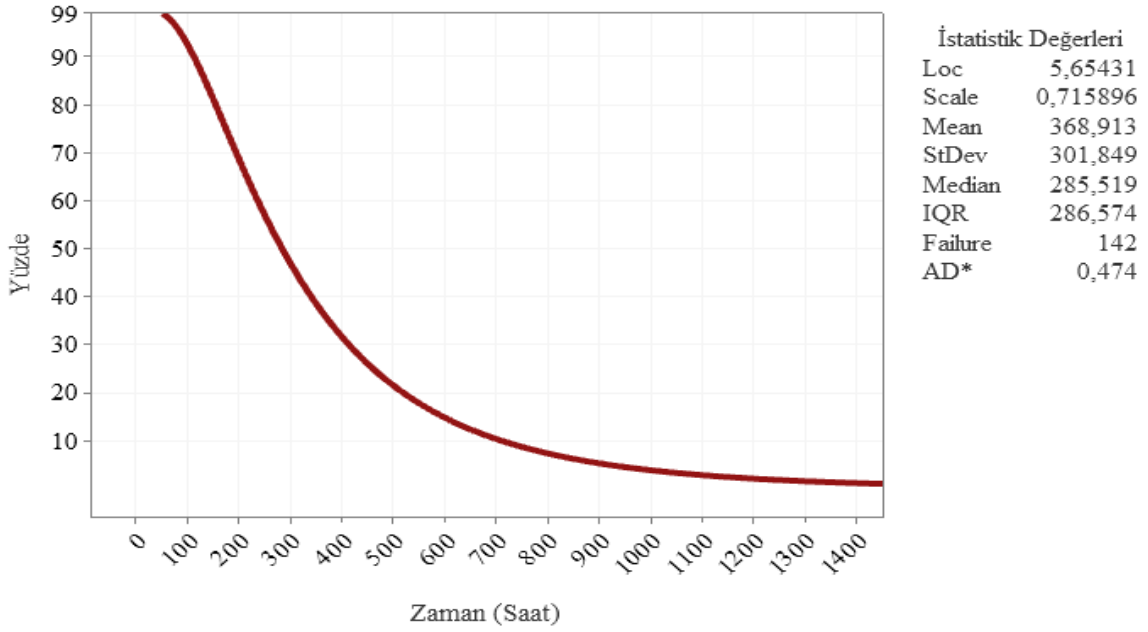
Şekil 6.126 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçmeyip yaklaşık 15 000 saate kadar normal bir hızla düşmekte olduğu, Şekil 6.127 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 1350 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.128 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 4850 saat altında olduğu görülmektedir.

Kangal TES fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.54'te gösterilmiştir.

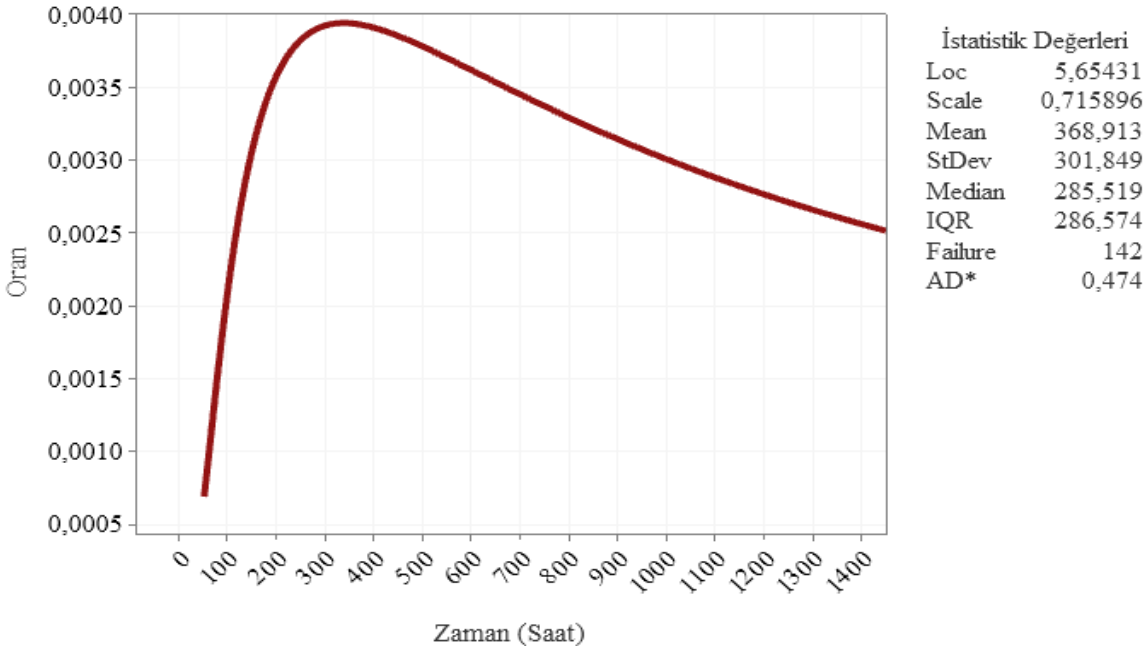
Çizelge 6.54. Kangal TES fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	5,65431
Ölçek parametresi	σ	0,71843
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00244
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,16546
Güvenilirlik	R(t)	0,83453
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00292
Ortalama değer	E(t)	369,58

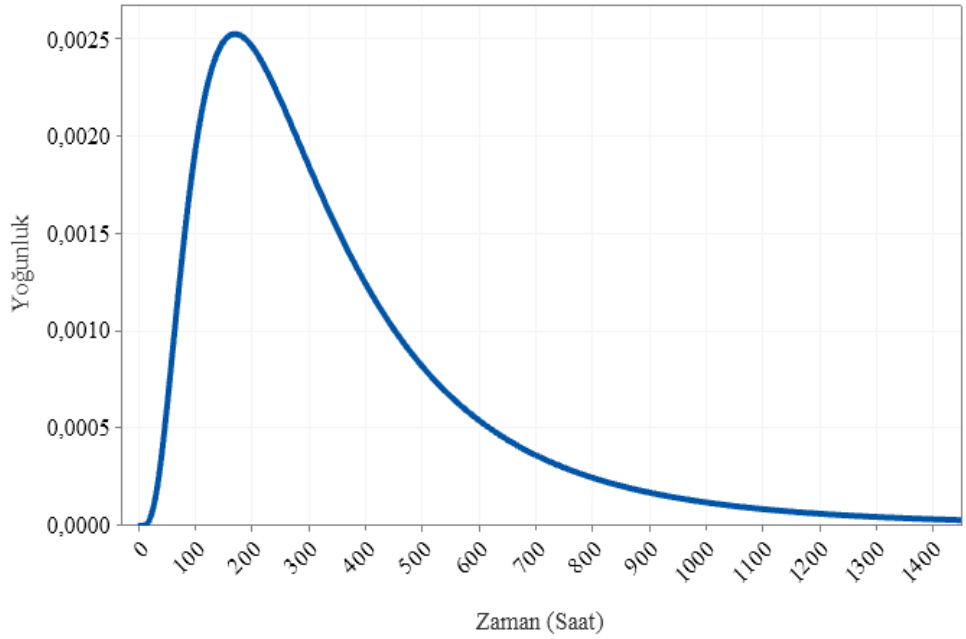
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.129'da Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.130'da Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.131'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.129. Kangal TES fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.130. Kangal TES fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.131. Kangal TES fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

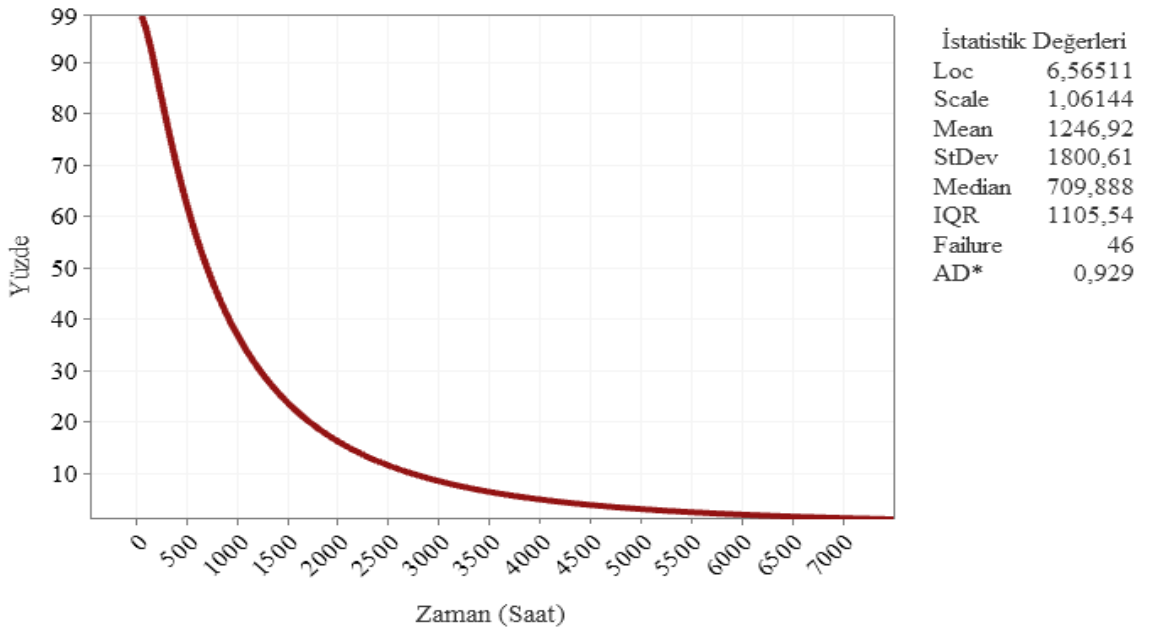
Şekil 6.129 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik çok hızlı düşüşe geçtiği 350 saate kadar hızlı düşmekte olduğu, Şekil 6.130 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 350 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.131 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 600 saat altında olduğu görülmektedir.

Kayabaşı fideri uyumluluk test sonucunda uygun dağılım olarak lognormal dağılım olarak belirlenmişti. Bu aşamadaki değerlendirmeler Atatürk Güney fideri ile aynı olduğundan Eşitlikler 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7 ile değerlendirilip Çizelge 6.55'te gösterilmiştir.

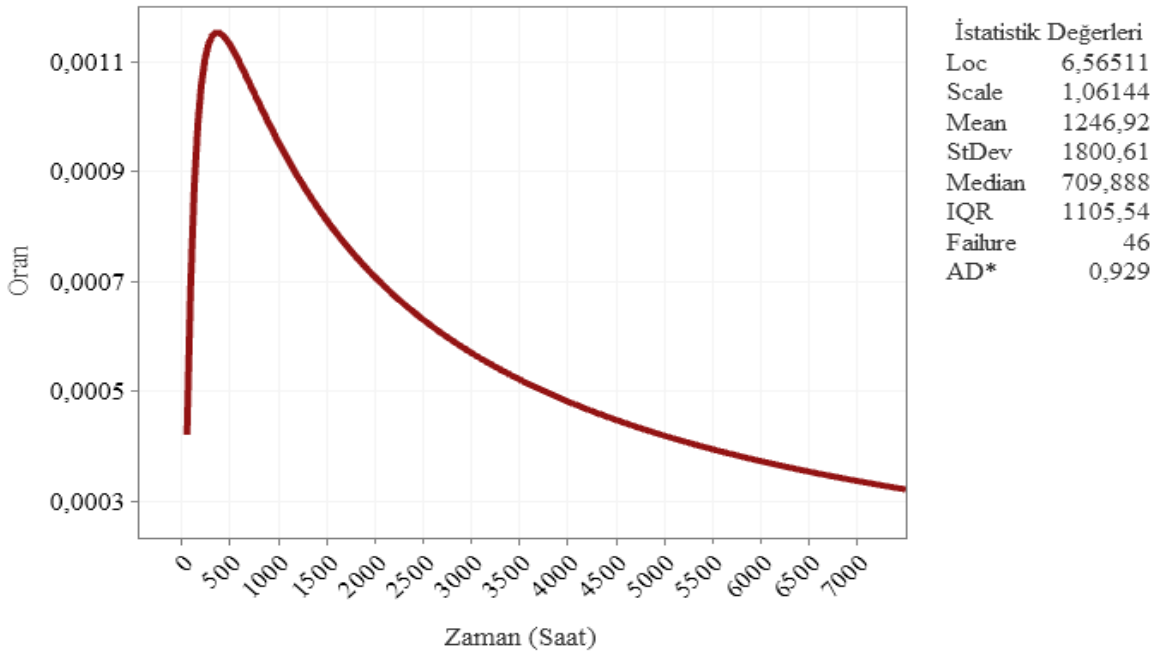
Çizelge 6.55. Kayabaşı fideri lognormal dağılımı güvenilirlik sonuçları

Değer	Simge/kısaltma	Sonuç
Lokasyon parametresi	μ	6,56510
Ölçek parametresi	σ	1,07316
Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF)	f(t)	0,00031
Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (CDF)	F(t)	0,00539
Güvenilirlik	R(t)	0,99461
Tehlike fonksiyonu	h(t)	0,00032
Ortalama değer	E(t)	1262,62

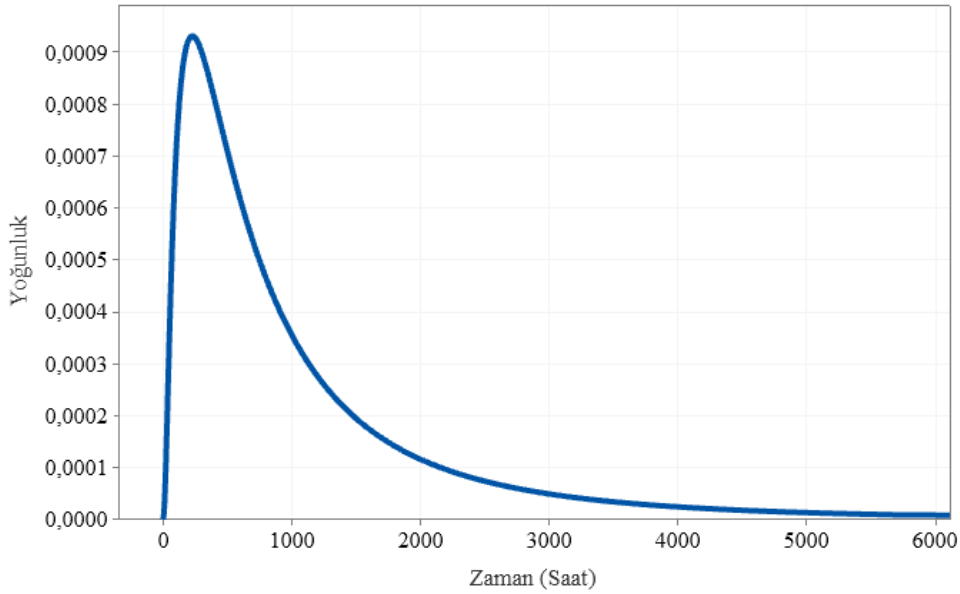
Minitab 19 programı kullanılarak güvenilirlik değerlendirmesi yapıldığında; Şekil 6.132'de Güvenilirlik Fonksiyonu Eğrisi, Şekil 6.133'te Tehlike Fonksiyonu Eğrisi ve Şekil 6.134'te Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.132. Kayabaşı fideri güvenilirlik fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.133. Kayabaşı fideri tehlike fonksiyonu eğrisi



Şekil 6.134. Kayabaşı fideri olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

Şekil 6.132 güvenilirlik fonksiyonu eğrisi incelendiğinde güvenirlik hızlı düşüşe geçmediği 6000 saate kadar normal hızda düşmekte olduğu, Şekil 6.133 tehlike fonksiyonu eğrisi incelendiğinde yaklaşık 710 saate kadar arıza olma tehlikesinin çok yükseldiği ve Şekil 6.134 olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi incelendiğinde oluşan arızaların %85'inin 2150 saat altında olduğu görülmektedir.

Kayseri 11. Bölge sorumluluğunda olan 380 kV'luk 4 trafo merkezinde bulunan 19 adet fider hattına ait tüm değerlendirmeler bölüm 6.2'deki gibi arıza verilerinin toplanması, bölüm 6.3'deki gibi uyum iyiliği değerlendirmelerinin yapılması ve bölüm 6.4'deki gibi güvenilirlik değerlendirmelerinin yapılması tek tek yapılması sonucunda, ortaya çıkan sonuçlar tablo halinde Çizelge 6.56'da sunulmuştur. Her bir fidere ait değerlendirme sürecindeki bilgiler ekte sunulmuştur.

Çizelge 6.56. TEİAŞ 11. Bölge Tüm Fiderler için güvenilirlik değerlendirme sonuçları

Trafo Merkezi/Fider Adı	Uygun Dağılım	f(t)	F(t)	E(t) Saat	R(t)
Yeşilhisar/Atatürk Güney	Lognormal	0,00182	0,08112	1010	0,91888
Yeşilhisar/Atatürk Kuzey	Lognormal	0,00250	0,30736	440	0,69264
Yeşilhisar/Tufanbeyli	Weibull	0,00086	0,02532	2263	0,97468
Yeşilhisar/Kozan1	Lognormal	0,00174	0,01685	6162	0,98315
Yeşilhisar/Kozan2	Lognormal	0,00115	0,00958	2054	0,99042
Yeşilhisar/Konya4	Lognormal	0,00246	0,23580	444	0,76420
Yeşilhisar/Temelli Güney	Lognormal	0,00208	0,08010	1265	0,91990
Yeşilhisar/Temelli Kuzey	Lognormal	0,00170	0,05500	1072	0,94500
Ürgüp/Elbistan A	Lognormal	0,00089	0,02470	837	0,97530
Ürgüp/Elbistan B	Lognormal	0,00070	0,01422	1237	0,98578
Ürgüp/Sincan 1	Lognormal	0,00060	0,00593	3986	0,99407
Ürgüp/Sincan 2	Lognormal	0,00032	0,00252	4864	0,99748
Kayseri Kapasitör/ Keban Güney	Lognormal	0,00012	0,00146	1470	0,99854
Kayseri Kapasitör/ Keban Kuzey	Lognormal	0,00004	0,00038	1284	0,99962
Kayseri Kapasitör/Gölbaşı Güney	Lognormal	0,00016	0,00166	2080	0,99834
Kayseri Kapasitör/Gölbaşı Kuzey	Üstel/ Lognormal	0,00024	0,00172	3994	0,99828
Kayseri Kapasitör/ Elbistan	Lognormal	0,00006	0,00043	2901	0,99957
Deçeko/Kangal TES	Lognormal	0,00244	0,16547	370	0,83453
Deçeko/Kayabaşı	Lognormal	0,00031	0,00539	1263	0,99461

Çizelge 6.56'daki değerler ile bölüm 6.3'te sunulan eğrilerde görüleceği üzere, program çıktısı olan istatistiki çizelgedeki değerler ile yapılan hesaplamalardaki yuvarlamadan kaynaklı değerler göz ardı edildiğinde eşit olduğu görülmektedir. Tüm fiderlerin güvenilirlik değerlendirme sonuçlarına bakıldığında on iki fiderin güvenilirliği %98 oranının üzerindedir, dört adet fiderin güvenilirliği %92-97 aralığındadır. Ancak özelikle Yeşilhisar Trafo Merkezi Atatürk Kuzey ve Konya4 fiderleri ve Deçeko trafo Merkezi Kangal TES fiderleri sırasıyla 0,69, 0,76 ve 0,83 güvenilirlik değerlerine sahiptir. Bu değerlerin küçük olduğu görülmektedir. Küçük güvenilirlik değerlerinin anlamsal olarak değerlendirilmesi sisteme müdahale hedeflenenden önce olacağıdır. Sisteme sadece arıza nedeniyle yapılan müdahaleler yıllık ortalama 2 678 saat/yıl değerine sahipken, bunun yaklaşık %10'u erken müdahaledir, özellikle belirtilen düşük güvenirliğe sahip olanlar için bu oran ortalama %19 oranında erken müdahale gerekebileceği görülmüştür. Erken müdahale, planlanan bakım planlamasının dışında onarım amaçlı müdahale getirebileceği ve beraberinde sistem ekipman güvenliğini düşürecek, zaman ve maliyeti artıracak ve tehlike altında çalışma süresi artacağı için çalışanlar için risk seviyesini artıracaktır.

6.5. Hata Ağacı Analizi

Hata ağacı analizi (FTA) tekniği ilk kıtalararası Minuteman füzenin fırlatma kontrol sisteminin analizini kolaylaştırmak için Bell Telefon Laboratuarlarında 1962 yılında geliştirilmiştir. Daha sonra Boeing Company tarafından benimsenmiş, geliştirilmiş ve kapsamlı bir şekilde uygulanmıştır. Bugün, FTA, sistem güvenilirliği ve güvenlik çalışmaları için en yaygın kullanılan tekniklerden biri haline gelmiştir. Özellikle, nükleer santraller, havacılık ve savunma alanlarındaki güvenlik sistemlerinin analizinde kullanılmaktadır [142].

Hata ağacı analizi, sistemle ilişkili istenmeyen bir olayı en önemli olay olarak kabul eden, arıza odaklı, tümden gelimli ve yukarıdan aşağıya bir yaklaşımdır. En önemli olaya yol açan arızaların çeşitli olası kombinasyonları olup mantık kapıları ile temsil edilir [81]. Hata ağacı sisteminin çalışması, sistemin istenmeyen durumlara yol açabilecek olayların kombinasyonlarını belirlemek ve değerlendirmek için bir araçtır [34]. Sistem tasarımında, geliştirilmesinde ve çalıştırılmasında güvenliği ve güvenilirliği değerlendirmek için dünya çapında önemli bir araç olarak kabul edilmektedir [34, 67, 81, 143]. Sistem hata ağacı ile temsil edilirken istenmeyen en önemli durum tepe olay olarak değerlendirilir. Tepe olayın gerçekleşmesini sağlayan istenmeyen diğer alt olaylar mantık kapıları ile tepe olaya entegre edilir. Temel olaylar hata ağacının istenmeyen olaylarını temsil eden uç kısımlarıdır.

Matematiksel olarak hata ağacı, boolean mantığına dayalı nitel ve nicel olarak değerlendirilir [144]. Niteliksel değerlendirme hata ağacının boolean sadeleştirme işlemlerine başvurarak en üst olaya sebep olan temel olayların bileşimleri olan minimal kesim kümelerinin kurulmasını sağlar [34, 145]. Nicelikse değerlendirme ise temel olayların gerçekleşme olasılıkları göz önüne alınarak tepe olayın gerçekleşme olasılığını hesaplamada kullanılır.

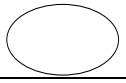
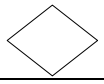
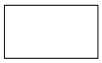
6.5.1. Hata ağacının oluşturulması

Hata ağacı bir akış diyagramından meydana gelen ve oluşturulması için öncelikle sistem veya sürecin kapsamlı bir şekilde öğrenilmesi gerekir. Sistem tam olarak tanımlandıktan sonra, sistemin tamamen durmasına sebep olacak “üst olay” tanımlanması yapılır. Üst olay en tepeye yerleştirilir ve bu olaya götüren sonraki ara olaylar ve temel olaylar olarak adlandırılan durumlar tanımlanır ve dallar ile birbirine bağlanır. Üst olaydan aşağıya doğru

inerken ‘bu olaya ne sebep olur?’ sorusu sorularak dallandırma yapılır [146]. Üst olayın gerçekleşmesine sebep olan ara ve alt olayların birleşimine minimum kesim kümesi adı verilir. Oluşturulan diyagram yapısı nitel ve nicel değerlendirme sonuçlarına göre riskleri azaltmak için önerilerde bulunur [144].

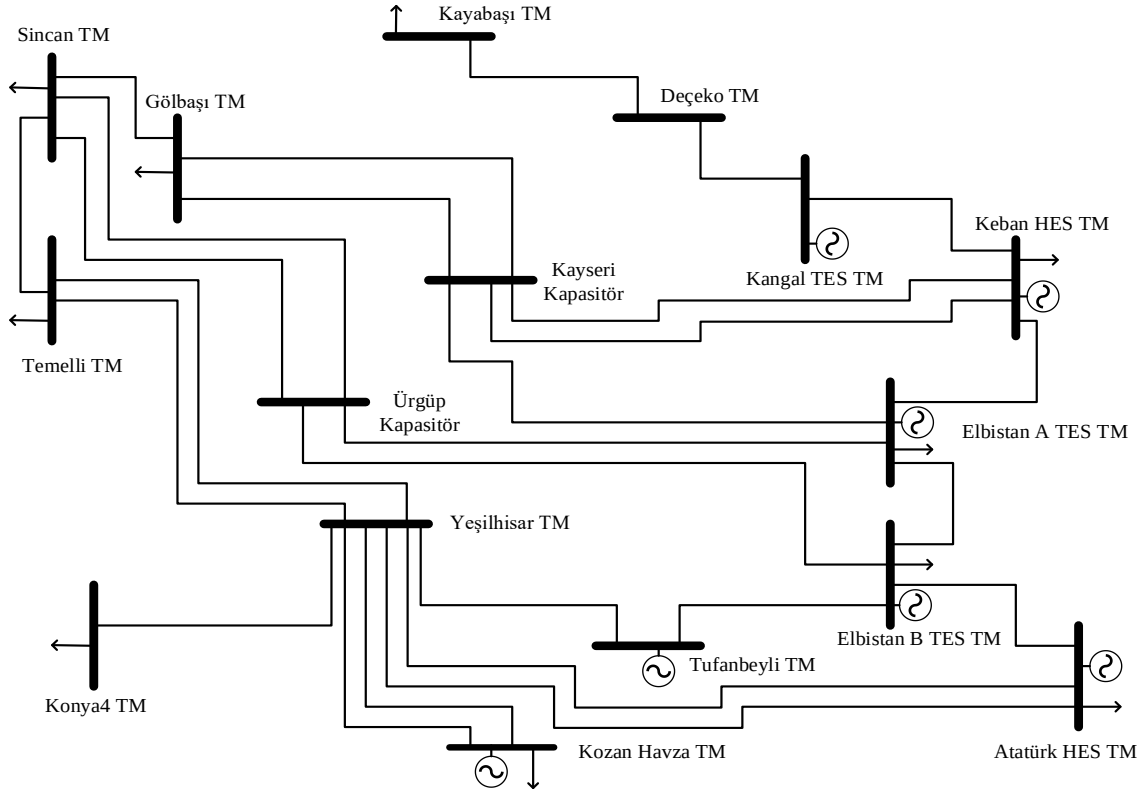
Sistemin inşası yapılırken geometrik şekillerden ve mantık kapılarından faydalanılır. Çizelge 6.4’te hata ağacı diyagramında kullanılan geometrik şekiller ve mantık kapı sembolleri gösterilmiştir. Hata ağacı diyagramı oluşturulurken VE, VEYA ve INHIBIT kapıları kullanılır veya bunların hiçbiri kullanılmayabilir[144]. VEYA kapısı girişlerden biri gerçekleştiğinde çıkış gerçekleşir. VE kapısı girişlerin tümünün gerçekleşmesi durumunda çıkış gerçekleşir. INHIBIT kapısı ise bir koşul gerçekleşmesi durumunda çıkış gerçekleşir.

Çizelge 6.57. Hata ağacı diyagramında kullanılan geometrik semboller ve mantık kapıları [144, 145, 147, 148]

Temel Olay Sembolleri		
Sembol	Sembol Adı	İşlevi
	Temel Olay (Daire)	Temel arıza veya hata
	Koşullu Olay (Oval)	Özel koşul veya kısıtlama gerektirecek durum. (INHIBIT kapısı ile birlikte kullanılır)
	Gelişmemiş Olay (Eşkenar Dörtgen)	Yetersiz sonucu olduğu veya bilgi bulunmadığı için daha fazla geliştirilmeyen bir olay
	Harici Olay (Ev)	Normalde gerçekleşmesi beklenen bir olay (arıza olayı değil)
Ara Olay Sembolleri		
	Ara Olay (Dikdörtgen)	Diğer olayların mantıksal birleşiminin bir sonucu olarak meydana gelen bir arıza olayı
Mantık Kapı Sembolleri		
	VE Kapısı	Tüm giriş hataları meydana gelirse çıkış hatası oluşur.
	VEYA Kapısı	Giriş hatalarından en az biri meydana gelirse çıkış hatası oluşur.
	ÖZEL VEYA Kapısı	Giriş hatalarından biri tam olarak meydana gelirse çıkış hatası oluşur.
	ÖNCELİKLİ VE Kapısı	Tüm giriş hataları belirli bir sırada meydana gelirse çıkış hatası oluşur.
	ENGELLEYİCİ Kapı	Özel bir koşulun yerine gelmesi halinde çıkış hatası oluşur. (Koşullu olay ile kapının sağında belirtilir)

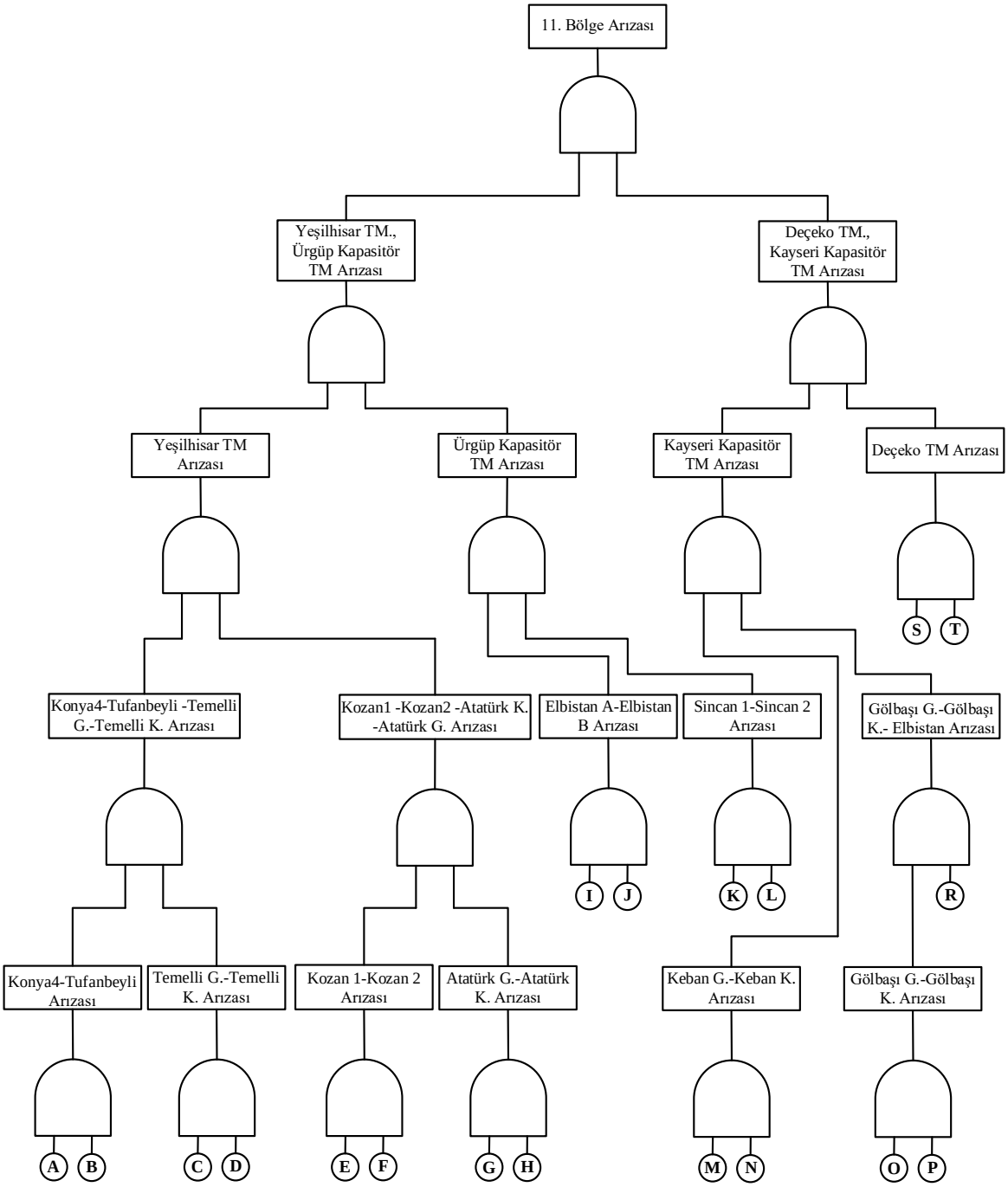
Çalışmamızda arıza verilerinin kullanıldığı TEİAŞ Kayseri 11. Bölge Müdürlüğünün tek hat enterkonnekte hat şeması şekil 6.137'de gösterilmiştir. İletim hatları elektrik enerjisini üretim merkezinden tüketim merkezlerine yakın trafo merkezlerine iletirler. Enterkonnekte elektrik şebekleri enerji devamlılığı ve tasarruf sağlama amacıyla tasarlanmıştır. Enterkonnekte şebeke sistemi hat miktarını azaltarak tasarruf sağlar. Enterkonnekte sistemler çok dağınık bölgelerde bulunan üretim imkanlarını birleştirerek enerji devamlılığı sağlar. Bunu yaparken elektrik iletim hatları bazen zıt yönlü (çift yönlü) akım taşıma özelliği ile üretimin durduğu bölgeye iletim sağlarlar[149]. Bu sayede üretimin durduğu, arıza oluşan veya enerji talebini bölgesel olarak karşılanamadığı durumlarda diğer bölgelerden enerji sağlanır.

Çalışma bölgemizde bulunan tüm 380 kV'luk iletim hatları ENTSO-E enterkonnekte iletim hattına dahil olduğu ve çift yönlü akım taşıma özelliklerine sahip olduklarından dolayı hata ağacı oluşturulurken tüm fider hatlarının arıza olasılıkları temel olay olarak kabul edilmiş olup giriş olarak değerlendirilmiştir. Şekil 6.135'te 11. Bölge 380kV iletim hattı şeması görülmektedir.



Şekil 6.135. TEİAŞ Kayseri 11. Bölge 380 kV hat şeması

11. Bölgeye ait hata ağacı oluştururken tepe olay olarak tüm bölgenin arızaya düşmesi olarak alınmıştır. Şekil 6.135'te 11. Bölgede bulunan dört trafo merkezinin (Yeşilhisar TM, Ürgüp Kapasitör, Kayseri Kapasitör ve Deçeko TM) her birinin arızaya düşmesi ara olay olarak alınmış ve dört trafo merkezinde bulunan her bir fiderin arıza olasılıkları ise temel olay olarak alınmıştır. Ayrıca hata ağacı değerlendirilmelerinde koşullu olasılık olarak değerlendirilebilecek coğrafik ve meteorolojik hatalar fiderlerin olasılıksal değerlendirilmesinde olduğu gibi ihmal edilmiştir. Sistemin detaylı incelenmesi sonucunda TEİAŞ Kayseri 11. Bölgesine ait arıza sebebiyle oluşabilecek durumlara ait hata ağacı diyagramı Şekil 6.136'da gösterilmiştir.



Şekil 6.136. TEİAŞ 11. Bölgesine ait hata ağacı diyagramı

Şekil 6.136'de büyük harflerle belirtilen temel olaylar, A: Konya4 fideri arıza olasılığını, B: Tufanbeyli fideri arıza olasılığını, C: Temelli Güney fideri arıza olasılığını, D: Temelli Kuzey fideri arıza olasılığını, E: Kozan1 fideri arıza olasılığını, F: Kozan2 fideri arıza olasılığını, G: Atatürk Kuzey fideri arıza olasılığını, H: Atatürk Güney fideri arıza olasılığını, I: Elbistan A fideri arıza olasılığını, J: Elbistan B fideri arıza olasılığını, K: Sincan1 fideri arıza olasılığını, L: Sincan2 fideri arıza olasılığını, M: Keban Güney fideri

arıza olasılığını, N: Keban Kuzey fideri arıza olasılığını, O: Gölbaşı Güney fideri arıza olasılığını, P: Gölbaşı Kuzey fideri arıza olasılığını, R: Elbistan fideri arıza olasılığını, S: Kangal fideri arıza olasılığını ve T: Kayabaşı fideri arıza olasılığını simgelemektedirler.

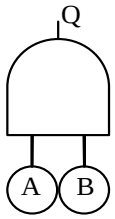
6.5.2. Hata ağacının değerlendirilmesi

Hata ağacı diyagramında tepe olay, ara olay ve temel olaylar belirlendikten sonra değerlendirme sürecine geçilir. Temel olaylar ve gelişmemiş ara olayların olma olasılığına dayanan bir hesaplama ile değerlendirilir. Değerlendirme süreci boolean mantığına dayanan nitel ve nicel analizlerle yapılır [144, 145]. Temel olay olarak kabul edilen 11. Bölgede bulunan dört tarafo merkezindeki her bir fiderin arızaya düşme ihtimali olasılık dağılımları yöntemleriyle bölüm 6.4'te değerlendirilmiş olup, değerlendirme sonucunda elde edilen ihtimaller, hata ağacının temel olayların gerçekleşme olasılığı olarak kabul edilmiştir.

Niteliksel analiz aşaması, hata ağacı diyagramının oluşturulmasından başlar. Diyagramda belirlenen ara olaylar, minimum kesim kümelerini oluşturur. Minimum kesim kümesi, bir üst olayın meydana gelmesi için temel olayların kombinasyonlarıdır. Minimum kesim kümesi boolean cebri kullanılarak kombinasyonlar oluşturulur [144, 145, 150]. Minimum kesim kümesinin azlığı yada çokluğu temsil edilen temel olayların kombinasyonları ile alakalıdır ve minimum kesim kümesinin fazlalığı daha fazla senaryonun dahil edildiği anlamına gelir.

Niceliksel analiz aşaması, temel olayların gerçekleşme olasılıkları göz önüne alınarak tepe olayın oluşma olasılığını matematiksel olarak hesaplanmasıdır. Bütün temel olaylar değerlendirme sürecinde bağımsız olduğu varsayılır ve minimum kesim kümelerinin ve tepe olayın gerçekleşme olasılığını verir. Temel olayların bazıları bağımsız olmayabilir. Bu durumda koşullu faktörlerin olasılıkları ile değerlendirilir [144, 145].

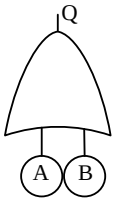
Değerlendirme sürecinde kullanılan VE mantık kapısı giriş olasılıklarının kesişimini temsil eder ve giriş olasılıklarının gerçekleşmesi durumunda çıkış olasılığı gerçekleştirilir. VE kapısı boolean işleminde '.' olarak gösterilir [67]. VE kapısının giriş ve çıkışlarını gösteren şema şekil 6.137'de gösterilmiştir. Boolean işlemine göre VE kapısı için birbirinden bağımsız girişler için matematiksel gösterimi Eşitlik 6.13'te gösterilmiştir.



Şekil 6.137. VE kapısı giriş ve çıkışlarının gösterimi

$$P(Q) = P(A.B) = P(A).P(B) \tag{6.13}$$

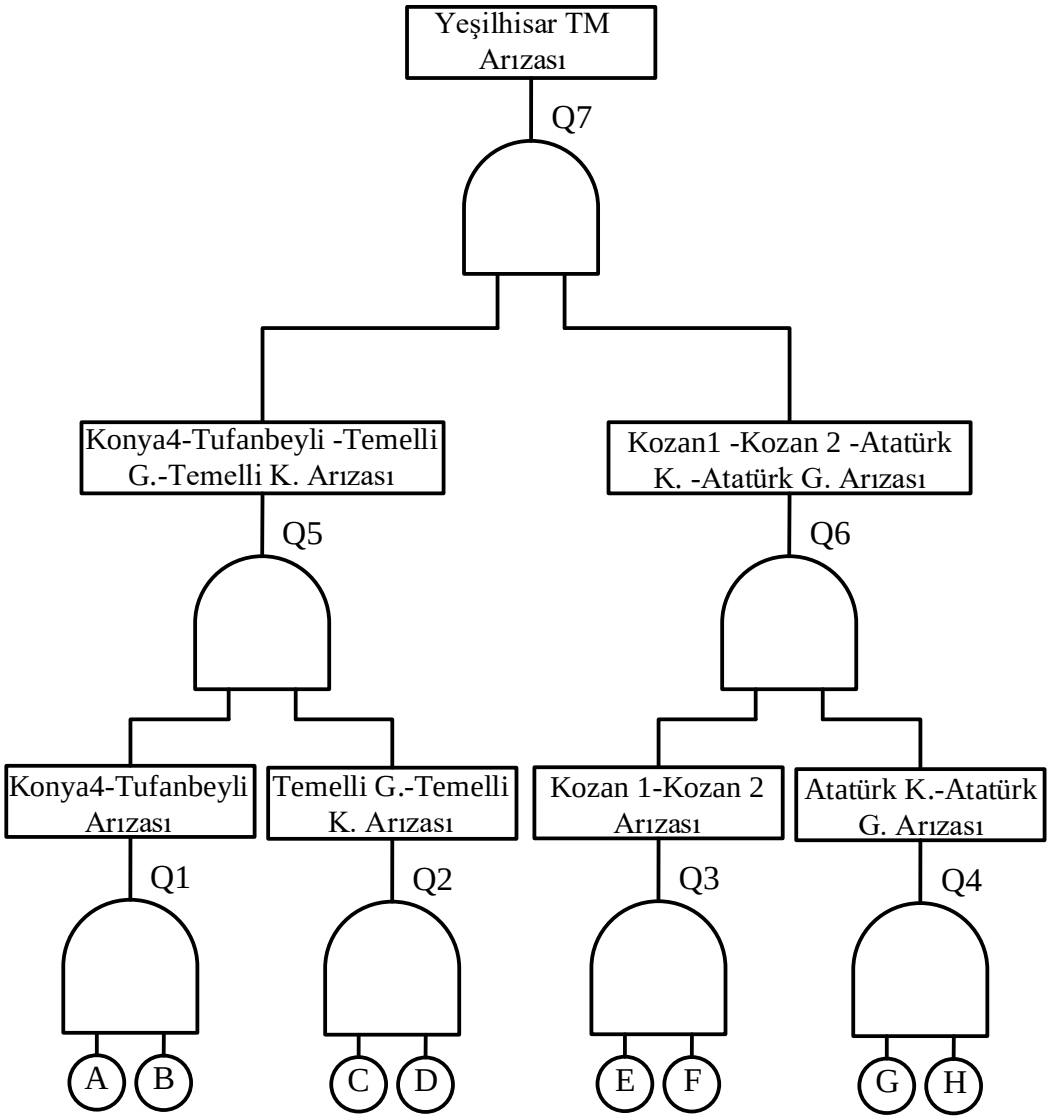
Değerlendirme sürecinde kullanılan VEYA mantık kapısı giriş olasılıklarının birleşimini temsil eder ve giriş olasılıklarının birinin gerçekleşmesi durumunda çıkış olasılığı gerçekleştirilir. VEYA kapısı boolean işleminde '+' olarak gösterilir [67]. VEYA kapısının giriş ve çıkışlarını gösteren şema şekil 6.138'de gösterilmiştir. Boolean işlemine göre VEYA kapısı için birbirinden bağımsız girişler için matematiksel gösterimi Eşitlik 6.14'te gösterilmiştir.



Şekil 6.138. VEYA kapısı giriş ve çıkışlarının gösterimi

$$P(Q) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B) \tag{6.14}$$

Değerlendirmede tepe olaya ulaşabilmek için ara olaylar olan kesişim kümelerinin oluşturulması gerekmektedir. Çalışmamızda ara olaylar dört trafo merkezinin her birinin arızaya düşmesi ara olay olarak analiz edilmiştir. Bir trafo merkezinin tümüyle arızaya geçmesi trafo merkezine gelen bütün fiderlerin arızalanması anlamını taşımaktadır. Belirtilen bu durum VE kapısındaki giriş olasılıklarının tümünün gerçekleşmesi durumunda çıkış oluşur durumu ile örtüşmektedir. Ayrıca güvenilirlik arızaya düşmeme olasılığı olarak tanımlanırken bunun tam tersi arızaya düşme olasılığı, 1'den güvenilirlik oranın farkının alınması ile elde edilir. Hata ağacı arızaya düşme olasılığını değerlendirme süreci olduğu için temel olay için güvenilirlik tersi olarak alınacaktır. Şekil 6.139'da Yeşilhisar TM'nin hata ağacı diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.1. Yeşilhisar TM hata ağacı diyagramı

Şekil 6.139'da oluşturulan Yeşilhisar TM hata ağacı diyagramının tepe olayın (Q7) gerçekleşmesi için boolean cebrine göre sadeleştirme işlemi Eşitlikler 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18'de gösterilmiştir.

$$Q7 = Q5.Q6 \tag{6.15}$$

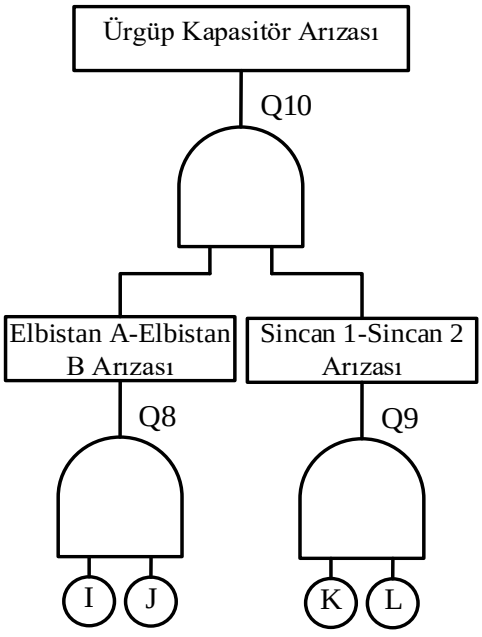
$$Q7 = (Q1.Q2).(Q3.Q4) \tag{6.16}$$

$$Q7 = \big((A.B).(C.D)\big).((E.F).(G.H)) \tag{6.17}$$

$$Q7 = A.B.C.D.F.G.H \tag{6.18}$$

olarak karşımıza çıkar. Olasılıksal olarak değerlendirme ise her bir temel olayın hataya düşme olasılığı olduğu ve bu oran güvenilirliğin tersi olduğundan dolayı Çizelge 6.56'da Yeşilhisar TM'ne ait fiderlerin güvenilirlik değerleri belirtilmiştir. Güvenilirliğin tersi (1-R), hataya düşme olasılığı olarak alınır. Buna göre; A: Konya4 fideri arıza olasılığı=1-0,7642=0,23580, B: Tufanbeyli fideri arıza olasılığı=1-0,97468=0,02532, C: Temelli Güney fideri arıza olasılığı=1-0,91990=0,08010, D: Temelli Kuzey fideri arıza olasılığı=1-0,94500=0,05500, E: Kozan1 fideri arıza olasılığı=1-0,98315=0,01685, F: Kozan2 fideri arıza olasılığı=1-0,99042=0,00958, G: Atatürk Kuzey fideri arıza olasılığı=1-0,69264=0,30736 ve H: Atatürk Güney fideri arıza olasılığı=1-0,91888=0,081112 olarak bulunmuştur. Bulunan hataya düşme olasılıkları Eşitlik 6.18'e göre değerlendirmeye yapıldığında Q7=A.B.C.D.E.F.G.H= (0,23580).(0,02532).(0,08010).(0,05500).(0,01685).(0,00958). (0,30736).(0,081112)= 1,05873E-10 olarak bulunur.

Yeşilhisar TM'de olduğu gibi diğer üç trafo merkezinin de hataya düşme olasılıkları da aynı işlemler uygulanarak tüm ara olay olasılıkları bulunur. Şekil 6.140'da Ürgüp Kapasitör'e ait hata ağacı diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.140. Ürgüp Kapasitör hata ağacı diyagramı

Şekil 6.140'da oluşturulan Ürgüp hata ağacı diyagramının tepe olayı (Q10) gerçekleşmesi için boolean cebrine göre sadeleştirme işlemi Eşitlikler 6.19, 6.20 ve 6.21'de gösterilmiştir.

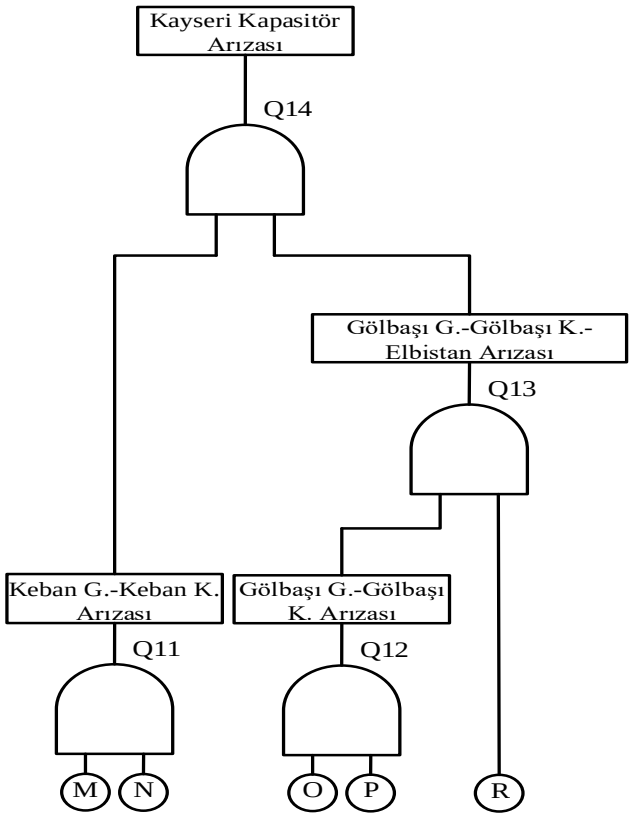
$$Q10 = Q8.Q9 \tag{6.19}$$

$$Q10 = (I.J).(K.L) \tag{6.20}$$

$$Q10 = I.J.K.L \tag{6.21}$$

Burada; I: Elbistan A fideri arıza olasılığı=1-0,97530=0,02470, J: Elbistan B fideri arıza olasılığı=1-0,98578=0,01422, K: Sincan1 fideri arıza olasılığı=1-0,99407=0,00593 ve L: Sincan2 fideri arıza olasılığı=1-0,99748=0,00252'dir. Eşitlik 6.21'e göre değerlendirmeye yapıldığında Q10 = I.J.K.L = (0,02470).(0,01422).(0,00593).(0,00252) = 5,23958E-09 olarak bulunur.

Şekil 6.141'de Kayseri Kapasitöre ait hata ağacı diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.141. Kayseri Kapasitör hata ağacı diyagramı

Şekil 6.141'de oluşturulan Kayseri Kapasitör hata ağacı diyagramının tepe olayı (Q14) gerçekleşmesi için boolean cebrine göre sadeleştirme işlemi Eşitlikler 6.22, 6.23, 6.24 ve 6.25'ta gösterilmiştir.

$$Q14 = Q11.Q13 \tag{6.22}$$

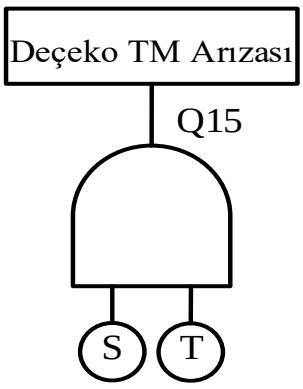
$$Q14 = Q11.(Q12.R) \tag{6.23}$$

$$Q14 = (M.N).((O.P).R) \tag{6.24}$$

$$Q14 = M.N.O.P.R \tag{6.25}$$

Burada; M: Keban Güney fideri arıza olasılığı=1-0,99854=0,00146, N: Keban Kuzey fideri arıza olasılığı=1-0,99962=0,00038, O: Gölbaşı Güney fideri arıza olasılığı=1-0,99834=0,00166, P: Gölbaşı Kuzey fideri arıza olasılığı=1-0,99828=0,00172 ve R:Elbistan fideri arıza olasılığı=1-0,99957=0,00043'tür. Eşitlik 6.25'e göre değerlendirmeye yapıldığında Q14 = M.N.O.P.R = (0,00146).(0,00038).(0,00166).(0,00172).(0,00043) = 6,793E-16 olarak bulunur.

Şekil 6.142'de Deçeko TM'ne ait hata ağacı diyagramı görülmektedir.



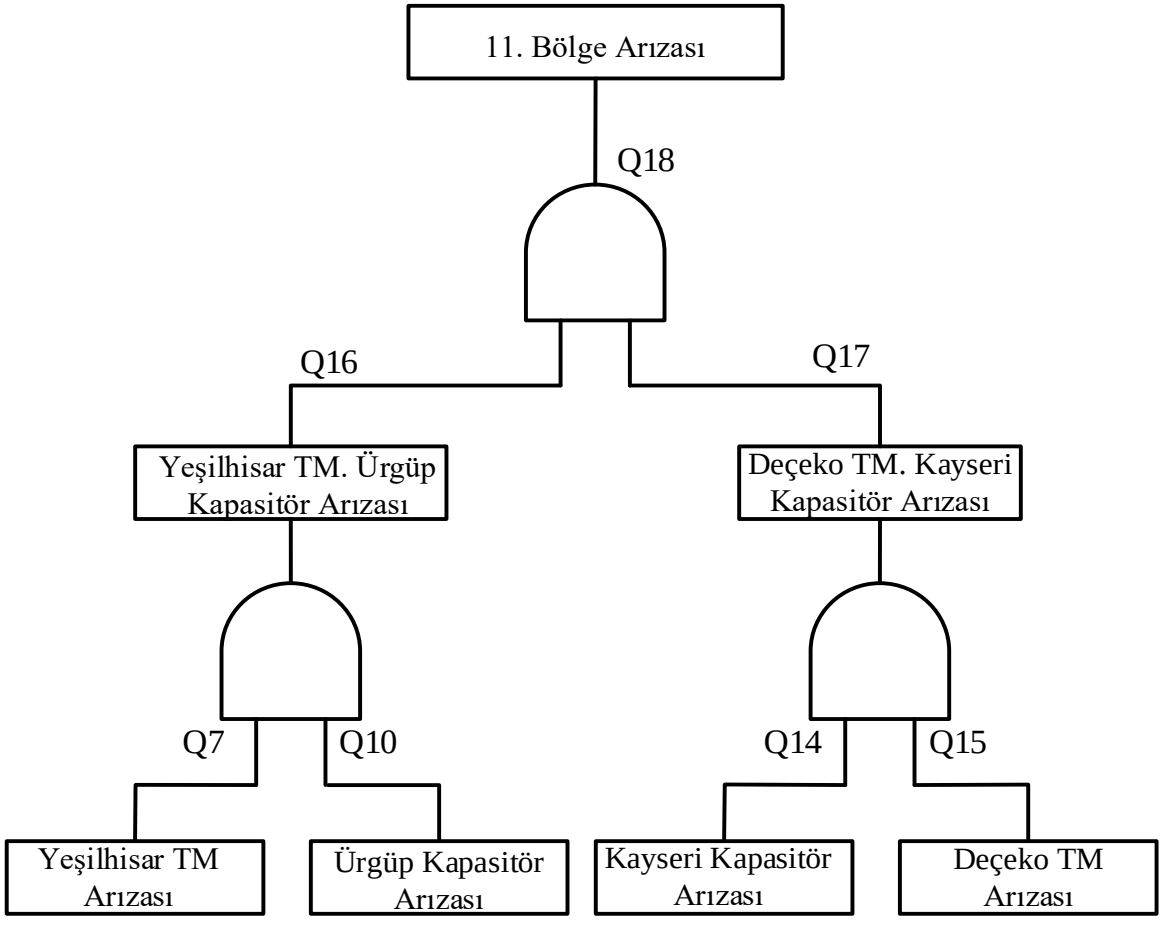
Şekil 6.22. Deçeko TM hata ağacı diyagramı

Şekil 6.142'de oluşturulan Deçeko TM hata ağacı diyagramının tepe olayı (Q15) gerçekleşmesi için boolean cebrine göre sadeleştirme işlemi Eşitlik 6.26'da gösterilmiştir.

$$Q15 = S.T \tag{6.26}$$

Burada; S: Kangal TES fideri arıza olasılığı=1-0,83453=0,16547 ve T: Kayabaşı fideri arıza olasılığı=1-0,99461=0,00539'dur. Eşitlik 6.26'ya göre değerlendirmeye yapıldığında Q15 = S.T = (0,16547).(0,00539) = 0,00089 olarak bulunur.

Ara olay olarak kabul edilen dört bölgenin hataya düşme olasılıkları bulunduktan sonra tepe olay olarak adlandırılan tüm bölgenin hataya düşme olasılığı için tepe olayın gerçekleşme ihtimali değerlendirilir. Şekil 6. 143'te ara olaylardan tepe olayı elde etmek için oluşturulan hata ağacı diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.143. Tepe olay ara olay hata ağacı diyagramı

Şekil 6.143'te simgelenen Q7, Q10, Q14 ve Q15 önceki adımlarda hesaplanan ve sırasıyla Yeşilhisar TM, Ürgüp Kapasitör, Kayseri Kapasitör ve Deçeko TM arızaya düşme

oranlarıdır. Şekil 6.143'te tepe olay (Q18) gerçekleşmesi için boolean cebri göre sadeleştirme işlemi Eşitlikler 6.27 ve 6.28'de gösterilmiştir.

$$Q18 = Q16.Q17 \tag{6.27}$$

$$Q18 = (Q7.Q10).(Q14.Q15) \tag{6.28}$$

Tepe olayın gerçekleşme ihtimali Eşitlik 6.28'e göre değerlendirildiğinde; Q18=Q7.Q10.Q14.Q15 = (1,05873E-10). (5,23958E-09). (6,793E-16). (0,00089) = 3,35934E-37 olarak bulunur.

Tepe olay olarak adlandırılan TEİAŞ Kayseri 11. Bölge Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan 380 kV iletim hattının tümüyle arızaya geçme oranı çok çok küçük bir değer olduğu görülmektedir. Aynı zamanda güvenilirlik değerinin, yani sistemin enerjili kalma olasılığının ise neredeyse 1'e eşit olduğu görülür. Bunun sebebi iletim hatlarının ENTSO-E sistemi ile koordineli enterkonnekte güç iletim sisteminin kullanıyor olmasıdır. Bir güç sisteminin kapasitesinin ve yeterliliğinin artırılması için başka güç sistemlerine bağlanması ile sağlanmakta olup, bu aynı zamanda güç sistemlerinin güvenilirliğinin iyileştirilmesini de doğrular [151, 152]. Hata ağacı analiz yöntemi ile değerlendirilen hataya düşme olasılığı tüketici açısından enerji devamlılığını ifade etmektedir. Güvenilirlik kavramının içinde barındırdığı, ekipman ömrü, maliyet, çevre ve çalışan güvenliği gibi kavramları karşılayamamaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TEİAŞ Genel Müdürlüğü Kayseri 11. Bölge Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan 380 kV'luk dört trafo merkezinde bulunan 19 adet fiderin güvenilirlik modeli oluşturulması, güvenilirliğe bağlı olarak çalışanların risk altında çalışma sürelerine etkisinin tespitinin yapılmasını ve tüm bölgenin hataya düşme olasılığının değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Güvenilirlik çalışmaları iletim hattı sistemlerinin sürekli enerjili kalmayı sağlamasının yanında, iletim sistemini oluşturan sistem ve ekipmanların ömürlerinin uzamasına, güvenilir bir çalışma alanı oluşmasına, onarımcı bakım sürelerinin kısalmasına ve zaman, maliyet, personel tasarrufu sağlamasına etki eden önemli bir faktördür. Çalışma bölgede bulunan 380 kV'luk fiderlerin arıza kayıtlarından faydalanılarak güvenilirlik değerlendirmeleri ve tüm bölgenin hataya düşme olasılığının değerlendirilmesi sürecini içermektedir.

Çalışma bölgesinde bulunan fiderlerin güvenilirlik değerlendirmeleri sürecinde fiderlerin her biri bir bileşen olarak değerlendirilmiştir. Güvenilirlik modeli oluşturulurken parametrik yöntemler kullanılmıştır. Parametrik yöntemler için veri kaynağı olarak bölge sorumluluğunda bulunan 19 adet fiderin arıza kaydı verileri yük tevzi bilgi sistemi ve TEİAŞ tarafından başka amaçlar için tutulan dokümanlardan ayıklama yöntemi ile arızalar arası ortalama süre olan MTBF aralıkları saat cinsinden veri olarak alınmıştır. Ayrıca verilerin elde edilmesinde, arıza kaynağının nedeni, hangi ekipmanlarda olduğu gibi teknik bilgilerin yanında mevsimsellik, hava durumu ve coğrafi bilgilerin eksikliği ve bu bilgilere erişilememesinden dolayı arızalar bir bütün olarak değerlendirilmiş ve bu sınırlılıklar içerisinde çalışmalar sürdürülmüştür.

Güvenilirlik değerlendirmesi elde edilen verilerin olasılıksal yönteme uymasından dolayı istatistiksel yöntemlere başvurulmuş olup, arıza kayıtlarından oluşan veri setinin hangi olasılık dağılımına benzediğini test etmek için uyum iyiliği testi uygulanmıştır. Uyum iyiliği testi olarak Anderson-Darling testi kullanılmış ve her bir fiderin arıza verilerinin hangi dağılımdan geldiği test sonucunda tespit edilmiştir. Uyum iyiliği testi ile tespit edilen dağılama göre literatürde bulunan çalışmalara paralel olarak parametreler hesaplanmış ve hataya düşme oranı, güvenilirlik oranı, tehlike oranı ve ortalama hataya düşme oranı belirlenmiştir.

Olasılıksal yöntemlerle yapılan güvenilirlik değerlendirmesi sonucunda; on iki fiderin güvenilirliği %98 oranının üzerindedir, üç adet fiderin güvenilirliği %92-95 aralığındadır ancak Yeşilhisar Trafo Merkezi Atatürk Kuzey ve Konya4 fiderleri ve Deçeko trafo Merkezi Kangal TES fiderleri sırasıyla 0,69, 0,76 ve 0,83 güvenilirlik değerlerine sahiptir. Bu değerlerin küçük olduğu görülmektedir. Küçük güvenilirlik değerlerinin anlamsal olarak değerlendirilmesi sisteme müdahale hedeflenenden önce olacağıdır. Sisteme sadece arıza nedeniyle yapılan müdahaleler yıllık ortalama 2 678 saat/yıl değerine sahipken, bunun yaklaşık %10'u erken müdahaledir, özellikle belirtilen düşük güvenirliğe sahip olan fiderler için bu oran ortalama %19 oranında erken müdahale gerekebileceği görülmüştür. Düşük güvenilirliğe sahip üç fiderin dışında kalan diğer fiderlere yapılan erken müdahale oranı %1,7 oranında kalmaktadır. Yapılan erken müdahale bakım ve işçilik maliyetlerini artırır, hattın devre dışı kalma süresini uzatır, çevre güvenliğini azaltır ve arızalanma yoluyla devre dışı kaldığından bilinmeyen tehlikeleri içerisinde barındırarak çalışanların risk altında çalışma süresini ve olasılığını artıracaktır.

Olasılıksal yöntemlerle yapılan güvenilirlik değerlendirmelerinden sonra tüm bölgenin hataya düşme olasılığını tespit etmek amacıyla hata ağacı diyagramı oluşturulmuş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Hata ağacı değerlendirmesi mantık kapıları ile yapılan boolean cebrine dayanan yöntemdir. Hata ağacı değerlendirmesinde bölgenin hataya düşme oranı neredeyse sıfıra yakın bir değer çıkmıştır. Hata oranının sıfıra yakın olması tüm bölgenin enerjisiz kalma durumunun aynı oranda sıfıra yakın olacağı şeklinde yorumlanabilir. Hata ağacı ile yapılan değerlendirme, sistemin enerjisiz kalması üzerine olduğu ve sonucun sıfıra yakın olması iletim hattı şebekesinin bağlantı yapısı ile alakalıdır. Bölgedeki iletim hattı sistemi enterkonneke şebeke sistemine bağlı olması ve enterkonnekte şebeke sistemiyle ilgili önceki çalışmalarda sunulan, enterkonnekte şebeke sistemindeki tüketici endeksli güvenilirlik değerlerinin yüksek olduğu sonucu benzerliği görülmektedir.

Bu ve benzeri çalışmalar için kayıt altına alınan verilerin niteliği son derece önemlidir. TEİAŞ Yük Tevzi Bilgi Sistemi üzerinden kayıt altına alınan veriler üzerine ilave çalışmalar yapılması özellikle ekipman bazlı, arıza oluşumu esnasındaki yük akış miktarı ve çevresel faktörlerin kaydının yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Mevcut durumda TEİAŞ tarafından kullanılan onarıcı bakımdan güvenilirlik değerlendirmesi yapılarak kestirimci bakıma geçilmesi durumunda zaman, maliyet, bakım

çalışmalarının oluşturduğu tehlike ve riskleri azaltması, sistemin enerjili kalma süresini, ekipman ömrünü ve çevre güvenliğini artırması açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma gerçek verileri kullanması, geniş bir çalışma sahası içermesi, istatistiksel bir yaklaşımla güvenilirlik değerlendirmesi yapması diğer birçok çalışmadan farklılık göstermektedir. Yük Tevzi Bilgi Sistemi amaçlarından birisi istatistiksel analiz yapmaktır. Yapılan bu uygulamanın TEİAŞ tarafından istatistik analizler açısından değerlendirilmesi Türkiye elektrik iletim sistemine katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, yapılan bu çalışmanın benzeri TEİAŞ bünyesinde bulunan diğer yirmi bir bölgenin tamamına veya bir kısmına uygulayarak, yapılan bu çalışma ile olan benzerlik ve farklılıklarının tespit edilmesinin fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Benzer yöntemlerle elektrik dağıtım hatları ve elektrik üretim sistemlerine güvenilirlik değerlendirilmesinin yapılmasının ilerleyen çalışmalara konu olabileceği, ayrıca istatistiksel olarak yapılan güvenilirlik değerlendirmesiyle bakım planlamasının uygulamaya geçmesi durumunda sağlayabileceği avantaj ve dezavantajların belirlenmesi, uygulama öncesi ve sonrası iletim hattı bakım ve onarım çalışanlarının iş kazası oranları ve risk oranlarının karşılaştırılması, çalışanlarının iyilik hallerinin ve işyerine aidiyetlerinin ölçümlemesi ilerleyen çalışmalara konu olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. IEEE Standards Coordinating Committee. (1990). *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology (IEEE Std 610.12-1990)*. (1st Edition). New York: IEEE Press, 61.

2. Elsayed, E.A. (2020). *Reliability Engineering.* (3rd Edition). Hoboken, New Jersey:John Wiley & Sons, 5-76.

3. Saraswat, S., and Yadava, G. (2008). An overview on reliability, availability, maintainability and supportability (RAMS) engineering. I*nternational Journal of Quality & Reliability Management*, 25(3), 330-344.

4. Endrenyi, J., Aboresheid, S., Allan, R. N., Anders, G. J., Asgarpoor, S., Billinton, R., and Singh, C. (2001). The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 16(4), 638-646.

5. Catelani, M., Ciani, L., Galar, D., and Patrizi, G. (2020). Optimizing maintenance policies for a yaw system using reliability-centered maintenance and data-driven condition monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(9), 6241-6249.

6. Ruijters, E., Guck, D., Drolenga, P., and Stoelinga, M. (2016, January). *Fault maintenance trees: reliability centered maintenance via statistical model checking.* Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (1-6), IEEE, Tucson, AZ.

7. Webb, J. C., Fontaine, M. D., Green, D. M., and Stoppello, P. A. (2013, June). *Reliability centered maintenance for electrical equipment critical to worker safety.* Paper presented at the Annual IEEE Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC) (157-164), IEEE, Charlotte, NC.

8. Afzali, P., F., Keynia, and Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy*, 171, 701-709.

9. Selvik, J.T., and T. Aven. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(2), 324-331.

10. Huang, L. J., Jiang, H., Chen, Y., and Chen, S. J. (2014). Using condition-based maintenance and reliability-centered maintenance to improve maintenance in nuclear power plants. *In Progress of Nuclear Safety for Symbiosis and Sustainability*, 177-185.

11. Adamyan, A., and He, D. (2002). Analysis of sequential failures for assessment of reliability and safety of manufacturing systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 76(3), 227-236.

12. Bertolini, M., Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., and Giacchetta, G. (2009). Development of risk-based inspection and maintenance procedures for an oil refinery. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 22(2), 244-253.

13. Chopra, A. Sachdeva, A., and Bhardwaj, A., (2020). Prevalent general and preventive maintenance practices in Indian process industry. *International Journal of Productivity and Quality Management,* 29(4), 542-557.

14. Costella, M. F., Dalcanton, F., Cardinal, S. M., Vilbert, S. S., and Pelegrini, G. A. (2020). Maintenance, occupational health and safety: a systematic review of the literature. *Gestão & Produção*, 27(2), 1-17.

15. Zwetsloot, G.I., Drupsteen, L., and de Vroome E.M. (2014). Safety, reliability and worker satisfaction during organizational change. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 27, 1-7.

16. Neitzel, D. K., and Neeser, D. (2007, June). *Preventative maintenance and reliability of low-voltage overcurrent protective devices.* Paper presented at the Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference (164-169), IEEE, Williamsburg, VA.

17. Sheehan, C., Donohue, R., Shea, T., Cooper, B., and De Cieri, H. (2016). Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. *Accident Analysis & Prevention,* 92, 130-138.

18. Zanko, M., and Dawson, P. (2012). Occupational health and safety management in organizations: A review. *International Journal of Management Reviews*, 14(3), 328-344.

19. Bernstein, J. B., Gurfinkel, M., Li, X., Walters, J., Shapira, Y., and Talmor, M. (2006). Electronic circuit reliability modeling. *Microelectronics Reliability,* 46(12), 1957-1979.

20. Zio, E. (2009). Reliability engineering: Old problems and new challenges. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 125-141.

21. Fan, Q., and Fan, H. (2015). Reliability analysis and failure prediction of construction equipment with time series models. *Journal of Advanced Management Science,* 3(3), 203-210.

22. Garrick, B.J. (2002). The use of risk assessment to evaluate waste disposal facilities in the United States of America. *Safety Science,* 40(1-4), 135-151.

23. Rao, P.K., and Balasubramanya, K. (1986). RAM analysis of a navigational system by Markov technique: A case study. *Microelectronics Reliability,* 26(3), 447-451.

24. Carlier, S., Coindoz, M., Deneuville, L., Garbellini, L., and Altavilla, A. (1996). Evaluation of reliability, availability, maintainability and safety requirements for manned space vehicles with extended on-orbit stay time. *Acta Astronautica*, 38(2), 115-123.

25. Limon, S., Yadav, O. P., Zuo, M. J., Muscha, J., and Honeyman, R. (2016). Reliability estimation considering usage rate profile and warranty claims. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 230(3), 297-308.

26. Suzuki, K., Alam, M., Yoshikawa, T., and Yamamoto, W. (2008, July). *Two methods for estimating product lifetimes from only warranty claims data.* Paper presented at the Second International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement (111-119), IEEE, Yokohama, Japan.

27. Barabady, J., and Kumar, U. (2008). Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(4), 647-653.

28. Castellazzi, A., Gerstenmaier, Y. C., Kraus, R., and Wachutka, G. K. (2006). Reliability analysis and modeling of power MOSFETs in the 42-V-PowerNet. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(3), 603-612.

29. Ibrahim, W., Beiu, V., and Beg, A. (2012). Optimum reliability sizing for complementary metal oxide semiconductor gates. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(3), 675-686.

30. Villanueva, I., Juarez, M. A., Martinez, P. R., Sosa, J. M., and Vazquez, G. (2015, November). *Comparative analysis of the reliability of drivers for power LED.* Paper presented at the IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (1-6). IEEE, Ixtapa, Mexico.

31. Ignacio, V., L. ázaro Isidro, and Juan, A. (2012) Reliability analysis of LED-based electronic devices. *Procedia Engineering*, 35, 260-269.

32. Abunima, H., Teh, J., Lai, C. M., and Jabir, H. J. (2018). A systematic review of reliability studies on composite power systems: a coherent taxonomy motivations, open challenges, recommendations, and new research directions. *Energies*, 11(9), 2417.

33. Yu, X., and Singh, C. (2002, July). *Power system reliability analysis considering protection failures.* Paper presented at the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, (2, 963-968), IEEE, Chicago, IL.

34. Volkanovski, A., Čepin, M., and Mavko, B. (2009). Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(6), 1116-1127.

35. Balijepalli, N., Venkata, S.S., and Christie, R.D. (2004). Modeling and analysis of distribution reliability indices. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(4), 1950-1955.

36. Aljohani, T.M., and Beshir, M.J. (2017). Distribution system reliability analysis for smart grid applications. *Smart Grid and Renewable Energy*, 8, 240-251.

37. Rusin, A., and Wojaczek, A. (2015). Trends of changes in the power generation system structure and their impact on the system reliability. *Energy*, 92, 128-134.

38. Setreus, J., Hilber, P., Arnborg, S., and Taylor, N. (2012). Identifying critical components for transmission system reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(4), 2106-2115.

39. Smith, A. M. (1992, January). *Preventive-maintenance impact on plant availability.* Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium 1992 Proceedings (177-180), IEEE, Las Vegas, NV.

40. Adjaye, R. E. (1994, April). *Design and optimised operation with reliability centred maintenance*. Paper presented at the Fifth International Conference on Electrical Safety in Hazardous Environments (165-171), IET, London.

41. Zdrallek, M. (2004, September). *Reliability centred maintenance strategy for high-voltage-networks.* Paper presented at the International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (332-337), Ames, IA.

42. Kim, H. S., Yang, H. J., Choi, Y. J., Hong, J. K., and Lee, H. S. (2008, April). *Development of a power facility management system using reliability-centered maintenance*. Paper presented at the International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (614-617), IEEE, Beijing, China.

43. Köksal, H.A., (2017). *Elektrik İletim Sistemi Güç Transformatörleri için Güvenilirlik Merkezli Donanım Yönetimi Sürecinin Kurulması ve Değerlendirilmesi.* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-26.

44. Bozkaya, K., (2006). *A study on the reliability analysis during preliminary design - a rocket motor example* Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

45. Gorjian Jolfaei, N., Jin, B., van der Linden, L., Gunawan, I., and Gorjian, N. (2020). Reliability modelling with redundancy-A case study of power generation engines in a wastewater treatment plant. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(2), 784-796.

46. Kumar, A. R., and Krishnan, V. (2017). A Study on System Reliability in Weibull Distribution. *Methods*, 5(3), 23-28.

47. Anand, M., Bagen, B., and Rajapakse, A. (2020). Probabilistic reliability evaluation of distribution systems considering the spatial and temporal distribution of electric vehicles. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105609.

48. Aravinthan, V., and Jewell, W. (2010, June). *Identifying worst performing components in a distribution system using weibull distribution.* Paper presented at the 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (77-82), IEEE, Singapore.

49. Roshan, S., Mohan, B. R., Kumar, M., and Vandanapu, N. (2017, September). *Model selection among log-normal, Weibull, Gamma and generalized exponential distributions.* Paper presented at the 6th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO) (321-325), IEEE, Noida, India.

50. Dey, A.K., and Kundu, D. (2009), Discriminating among the log-normal, Weibull, and generalized exponential distributions. *IEEE Transactions on Reliability*, 58(3), 416-424.

51. Ge, H., and Asgarpoor, S. (2012) Reliability and maintainability improvement of substations with aging infrastructure. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(4), 1868-1876.

52. Chen, S. Ho, T., and Mao, B. (2007). Reliability evaluations of railway power supplies by fault-tree analysis. *IET Electric Power Applications,* 1(2), 161-172.

53. Hessian, R. T., Salter, B. B., and Goodwin, E. F. (1990). Fault-tree analysis for system design, development, modification, and verification. *IEEE Transactions on Reliability*, 39(1), 87-91.

54. Tanaka, H., Fan, L. T., Lai, F. S., and Toguchi, K. (1983). Fault-tree analysis by fuzzy probability. I*EEE Transactions on reliability,* 32(5), 453-457.

55. Yuhua, D., and Datao, Y. (2005). Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2), 83-88.

56. Hiraoka, Y., Murakami, T., Yamamoto, K., Furukawa, Y., and Sawada, H. (2016). Method of computer-aided fault tree analysis for high-reliable and safety design. *IEEE Transactions on Reliability*, 65(2), 687-703.

57. Nilsson, J., and Bertling, L. (2007). Maintenance management of wind power systems using condition monitoring systems life cycle cost analysis for two case studies. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(1), 223-229.

58. Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H., and Chemweno, P. (2014). Modelling maintenance effects on manufacturing equipment performance: results from simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 52(11), 3287-3302.

59. Yssaad, B., and Abene, A. (2015). Rational reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 350-360.

60. Peruzzi, L., Salata, F., de Lieto Vollaro, A., and de Lieto Vollaro, R. (2014). The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings. *Energy and Buildings*, 68, 19-24.

61. Kim, C., and Lee, H.K. (1992). A Monte Carlo simulation algorithm for finding MTBF. *IEEE Transactions on Reliability*, 41(2), 193-195.

62. Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., and Probert, S. D. (2004). Reliability of the Afam electric power generating station, Nigeria. *Applied Energy*, 77(3), 309-315.

63. Topuz, E. (2009). Reliability and availability basics. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51(5), 231-236.

64. Krasich, M. (2009, January). *How to estimate and use MTTF/MTBF would the real MTBF please stand up?* Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium (353-359). IEEE, Fort Worth.

65. Guo, B., and Chen, J. (2013, October). *Analysis of MTBF/MTTR for logistics service system.* Paper presented at the Fourth International Conference on Transportation Engineering (ICTE), Safety, Speediness, Intelligence, Low-Carbon, Innovation (2868-2875), Chengdu, China.

66. Gupta, G., Mishra, R. P., and Jain, P. (2015, December). *Reliability analysis and identification of critical components using Markov model.* Paper presented at the International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (777-781), IEEE, Singapore.

67. Verma, A.K., Ajit, S., and Karanki, D.R. (2016). *Reliability and Safety Engineering*. (Second Edition). London: Springer, 19-72.

68. Kalaiselvan, C., and Rao, L.B. (2016). Comparison of reliability techniques of parametric and non-parametric method. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2), 691-699.

69. Kang, Y. J., Hong, J., Lim, O., and Noh, Y. (2017). Reliability analysis using parametric and nonparametric input modeling methods. J*ournal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 30(1), 87-94.

70. de Toledo, M. L. G., Freitas, M. A., Colosimo, E. A., and Gilardoni, G. L. (2015). ARA and ARI imperfect repair models: Estimation, goodness-of-fit and reliability prediction. *Reliability Engineering & System Safety*, 140, 107-115.

71. Arno, R., Friedl, A., Gross, P., and Schuerger, R. J. (2011). Reliability of data centers by tier classification. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48(2), 777-783.

72. Schuerger, R. Arno, R., and Dowling, N. (2016). Why existing utility metrics do not work for industrial reliability analysis. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(4), 2801-2806.

73. Ghiasi, M. Ghadimi, N., and Ahmadinia, E. (2019). An analytical methodology for reliability assessment and failure analysis in distributed power system. *SN Applied Sciences*, 1(1), 1-9.

74. Pievatolo, A., Tironi, E., and Valade, I. (2004). Semi-Markov processes for power system reliability assessment with application to uninterruptible power supply. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1326-1333.

75. Yang, X., and Wu, X. (2014). Mission reliability assessment of space TT&C system by discrete event system simulation. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(8), 1263-1273.

76. Amuta, E. O., Wara, S. T., Agbetuyi, A. F., Adoghe, U. A., and Olajube, A. (2021, February). *Reliability Assessment of an Off-Grid Hybrid Micro-Grid Power System (HMPS) for a Remote Community in Nigeria.* Paper presented at the 4th International Conference on Science and Sustainable Development (ICSSD) (655, 1, 012053). IOP Publishing, Ota, Nigeria.

77. Park, W.J., and Kim, Y.G. (1992). Goodness-of-fit tests for the power-law process. *IEEE Transactions on Reliability*, 41(1), 107-111.

78. Krit, M. (2014). *Goodness-of-fit tests in reliability: Weibull distribution and imperfect maintenance models*, Published Doctoral Dissertation, Université de Grenoble, Grenoble, 11-108.

79. Alptekin, D., (2018). *Deneysel Dağılım Fonksiyonuna Dayalı Yeni Uyum İyiliği Testleri.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-38.

80. Gaudoin, O., Yang, B., and Xie, M. (2003). A simple goodness-of-fit test for the power-law process, based on the Duane plot. *IEEE Transactions on Reliability*, 52(1), 69-74.

81. Verma, A.K. Ajit, S., and Karanki, D.R. (2010). *Reliability and safety engineering.* (Second Edition). London: Springer, 1-72.

82. Klutke, G.A., Kiessler, P.C., and Wortman, M.A. (2003). A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on Reliabilit*y, 52(1), 125-129.

83. Alvarez-Alvarado, M.S., and Jayaweera, D. (2018). Bathtub curve as a Markovian process to describe the reliability of repairable components. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(21), 5683-5689.

84. Wang, K. S., Hsu, F. S., and Liu, P. P. (2002). Modeling the bathtub shape hazard rate function in terms of reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(3), 397-406.

85. Türk Standardlari Enstitüsü. (2007). *TS EN ISO 9000 Kalite yönetim sistemleri - Temel esaslar,terimler ve tarifler.* Ankara:TSE, 11-56.

86. İç, Y. T., ve Yeşiloğlu, A. G. Bir İmalat Firmasında ISO 9001: 2015 Kalite Yönetim Sisteminin Kurulması. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(2), 58-74.

87. Meeker, W.Q., and Escoba, L.A. (2004). Reliability: The other dimension of quality. *Quality Technology & Quantitative Management*, 1(1), 1-25.

88. Bauer, E. Zhang, X., and Kimber, D.A. (2009). *Practical system reliability*. (1st Edition). Hoboken, New Jersey:John Wiley & Sons, 5-109.

89. Agrawal, A.K. Murthy, V., and Chattopadhyaya, S. (2019). Investigations into reliability, maintainability and availability of tunnel boring machine operating in mixed ground condition using Markov chains. *Engineering Failure Analysis*, 105, 477-489.

90. Lapa, C.M.F. Pereira, C.M.N., and de Barros, M.P. (2006). A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based in cost and reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(2), 233-240.

91. Zhang, C., Gao, W., Guo, S., Li, Y., and Yang, T. (2017). Opportunistic maintenance for wind turbines considering imperfect, reliability-based maintenance. *Renewable Energy*, 103, 606-612.

92. Morad, A.M. Pourgol-Mohammad, M., and Sattarvand, J. (2014). Application of reliability-centered maintenance for productivity improvement of open pit mining equipment: Case study of Sungun Copper Mine. *Journal of Central South University*, 21(6), 2372-2382.

93. Dhillon, B.S. (2004). *Reliability, quality, and safety for engineers.* (1st Edition). Boca Raton: CRC Press, 1-86.

94. Pandit, B. K. (2018). *Empirical Evaluation of Safety Leading Indicators in Construction*, Published Doctoral Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 11-96.

95. Wessels, W. (2010). *Practical reliability engineering and analysis for system design and life-cycle sustainment.* (1st Edition). Boca Raton: CRC Press, 42-225

96. Chowdhury, A., and Koval, D. (2011). *Power distribution system reliability: practical methods and applications.* (1st Edition). London:John Wiley & Sons, 1-96.

97. Torell, W., and Avelar, V. (2004). Mean time between failure: Explanation and standards. *White Paper*, 78, 6-7.

98. Chauhan, N.D., and Pancholi, N.H. (2013). Guidelines to understanding to estimate MTBF. *International Journal of Scientific Research & Development*, 1(3), 493-495.

99. Wang, D., and Trivedi, K.S. (2005). Computing steady-state mean time to failure for non-coherent repairable systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 54(3), 506-516.

100. Rohouma, W. Molokhia, I., and Esuri, A. (2007). Comparative study of different PV modules configuration reliability. *Desalination*, 209(1-3), 122-128.

101. Ellerman, P. (2012), Calculating reliability using FIT & MTTF: Arrhenius HTOL model. *MicroNote*, 1002, 1-6.

102. Guo, J., Li, Z., and Wolf, J. (2016, January). *Reliability centered preventive maintenance optimization for aircraft indicators.* Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (1-6). IEEE, Tucson, AZ.

103. Wilmeth, R.G., and Usrey, M.W. (2000). Reliability-centered maintenance: A case study. *Engineering Management Journal*, 12(4), 25-31.

104. Bevilacqua, M., and Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71-83.

105. Zaeri, M. S., Shahrabi, J., Pariazar, M., and Morabbi, A. (2007, December). *A combined multivariate technique and multi criteria decision making to maintenance strategy selection.* Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (621-625), Singapore.

106. Pintelon, L., and Parodi-Herz, A. (2008). *Maintenance: an evolutionary perspective, in Complex system maintenance handbook.* London: Springer, 21-48.

107. Selcuk, S. (2017). Predictive maintenance, its implementation and latest trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1670-1679.

108. Carpaneto, E., and Chicco, G. (2004). Evaluation of the probability density functions of distribution system reliability indices with a characteristic functions-based approach. *IEEE Transactions on power systems*, 19(2), 724-734.

109. Tobias, P. A., and Trindade, D. (2011). *Applied reliability*. (Third Edition). Boca Raton: CRC Press, 29-191.

110. Fosgerau, M., and Karlström, A. (2010). The value of reliability. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(1), 38-49.

111. Edimu, M., Gaunt, C. T., and Herman, R. (2011). Using probability distribution functions in reliability analyses. *Electric Power Systems Research*, 81(4), 915-921.

112. Billinton, R., Gao, Y., and Karki, R. (2010). Application of a joint deterministic-probabilistic criterion to wind integrated bulk power system planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(3), 1384-1392.

113. Nayak, P., Padmasali, A. N., and Kini, S. G. (2017, May). *Life estimation of high power LED using distribution based reliability analysis.* Paper presented at the 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT) (1626-1631). IEEE, Bangalore, India.

114. Modarres, M., Kaminskiy, M. P., and Krivtsov, V. (2016). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. (3rd Edition). Boca Raton: CRC press, 15-187.

115. Fiondella, L., and Xing, L. (2015). Discrete and continuous reliability models for systems with identically distributed correlated components. *Reliability Engineering & System Safety*, 133, 1-10.

116. Dhillon, B. S. (2007). *Human reliability and error in transportation systems.* (1st Edition). London: Springer, 15-115.

117. Pham, H. (2006). *Springer handbook of engineering statistics.* (1st Edition). London: Springer, 3-95.

118. Sarhan, A. M., and Kundu, D. (2008). Bayes estimators for reliability measures in geometric distribution model using masked system life test data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52(4), 1821-1836.

119. Misra, K.B. (2008), *Handbook of performability engineering.* (1st Edition). London: Springer, 3-95.

120. Ross, S. (2009). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists.* (4th Edition). New Delhi: Elsevier, 485-606.

121. Ross, S.M. (2014). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists* (5th Edition). London: Associated Press, 9-285.

122. Montgomery, D. C., Runger, G. C., and Hubele, N. F. (2009). *Engineering statistics.* (4th Edition). Hoboken, New Jersey:John Wiley & Sons, 4-428.

123. Dufour, J. M., Farhat, A., Gardiol, L., and Khalaf, L. (1998). Simulation-based finite sample normality tests in linear regressions. *The Econometrics Journal*, 1(1), 154-173.

124. Drezner, Z. Turel, O., and Zerom, D. (2010). A modified Kolmogorov-Smirnov test for normality. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 39(4), 693-704.

125. Arnold, T.B., and Emerson, J.W. (2011). Nonparametric goodness-of-fit tests for discrete null distributions. *R Journal*, 3(2), 34-39.

126. Dündar, D. (1987). Hipotez Testi ve Ki-Kare İle Bir Uygulama. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 45, 1-4.

127. Güngör, M. ve Bulut, Y. (2008). Ki-kare testi üzerine. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 7(1), 84-89.

128. Gamgam, H. (1985). *Bölünüme bağlı olmayan varyans çözümlemesi çoklu karşılaştırmalar ve tarımda uygulamaları.* Yayımlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniveristesi Fenbilimleri Enstitüsü, Ankara.

129. Bircan, H. Karagöz, Y., ve Kasapoğlu, Y. (2003). Ki-Kare ve Kolmogorov Smirnov Uygunluk Testlerinin Simulasyon ile Elde Edilen Veriler Üzerinde Karşılaştırılması. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(1), 69-80.

130. Han, D., Tan, X., and Shi, P. (2017, December). *Clutter distribution identification based on anderson-darling test*. Paper presented at the 3rd International Conference on Computer and Communications (ICCC) (830-834). IEEE, Chengdu, China.

131. Giles, D.E. (2001), A saddlepoint approximation to the distribution function of the Anderson-Darling test statistic. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 30(4), 899-905.

132. Tolikas, K. and Heravi, S. (2008). The Anderson-Darling goodness-of-fit test statistic for the three-parameter lognormal distribution. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 37(19), 3135-3143.

133. Yıldırım, N., (2013). *Normal dağılım için uyum iyiliği testleri ve bir simülasyon çalışması*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-23.

134. Öztuna, D. Elhan, A.H., and Tüccar, E. (2006). Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under different distributions. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 36(3), 171-176.

135. İnternet: Zaiontz, C. (2021). Shapiro-Wilk Original Test. Web: https://www.real-statistics.com/tests-normality-and-symmetry/statistical-tests-normality-symmetry/shapiro-wilk-test/, Erişim Tarihi:15.03.2021.

136. İnternet: TEİAŞ. (2021). Hakkımızda. Web: https://www.teias.gov.tr/tr-TR/, Erişim Tarihi: 15.02.2021.

137. Yeşil, M. (2018). *Türkiye elektrik iletim şebekesine VSC tabanlı bir HVDChattın entegrasyonu ve sistemin kararlılık analizleri*, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

138. İnternet: ybts. (2021). Yük Tevzi Bilgi Sistemi. Web: https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/ytbsbilgi.jsf, Erişim Tarihi: 16.03.2021.

139. İnternet: ENTSO-E. (2021). ENTSO-E Transmission System Map. Web: https://www.entsoe.eu/data/map/, Son Erişim Tarihi: 18.03.2021.

140. Jäntschi, L., and Bolboacă, S.D. (2018). Computation of probability associated with Anderson–Darling statistic. *Mathematics*, 6(6), 88, 1-17.

141. Parchami, A., Taheri, S. M., and Mashinchi, M. (2012). Testing fuzzy hypotheses based on vague observations: ap-value approach. *Statistical Papers*, 53(2), 469-484.

142. Xing, L., and Amari, S.V. (2008). *Fault tree analysis, in Handbook of performability engineering*. (1st Edition).London: Springer, 595-620.

143. Čepin, M., and Mavko, B. (2002). A dynamic fault tree. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(1), 83-91.

144. Pandey, M. (2005). *Fault Tree Analysis.Engineering and Sustainable Development.* (Online Edition). Waterloo: Waterloo University, 3-18.

145. Haasl, D. F., Roberts, N. H., Vesely, W. E., and Goldberg, F. F. (1981). *Fault tree handbook (NUREG-0492)*. (1st Edition). Washington: U.S. Government Printing Office, 1-136.

146. Vincoli, J.W. (2006). *Basic guide to system safety*. (2nd Edition). Hoboken, New Jersey:John Wiley & Sons, 139-151.

147. Lee, W. S., Grosh, D. L., Tillman, F. A., and Lie, C. H. (1985). Fault tree analysis, methods, and applications ₫ a review. *IEEE Transactions on Reliability*, 34(3), 194-203.

148. Xiang, J., Futatsugi, K., and He, Y. (2004, September). *Fault tree and formal methods in system safety analysis.* Paper presented at the Fourth International Conference on Computer and Information Technology, CIT'04 (1108-1115), IEEE, Wuhan, China.

149. Zhou, Q., and Bialek, J. W. (2005). Approximate model of European interconnected system as a benchmark system to study effects of cross-border trades. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 782-788.

150. Tang, Z., and Dugan, J. B. (2004, January). *Minimal cut set/sequence generation for dynamic fault trees.* Paper presented at the Annual Symposium Reliability and Maintainability, RAMS (207-213), IEEE, Los Angeles, CA.

151. Heshmati, A., Najafi, H. R., Aghaebrahimi, M. R., and Mehdizadeh, M. (2012). Wind farm modeling for reliability assessment from the viewpoint of interconnected systems. *Electric Power Components and Systems*, 40(3), 257-272.

152. El-Kady, M. A., Alaskar, B. A., Shaalan, A. M., and Al-Shammri, B. M. (2007). Composite reliability and quality assessment of interconnected power systems. *COMPEL-The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 26(1), 7



GAZİ GELECEKTİR...