

Akıllı Fabrikalarda Güvenilirlik Analizi Temelli Durumsal Farkındalığın Artırılması

Diler Öz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2021

Increasing Situational Awareness Based on Reliability Analysis in Smart Factories

Diler Öz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

July 2021

Akıllı Fabrikalarda Güvenilirlik Analizi Temelli Durumsal Farkındalığın Artırılması

Diler Öz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Telekomünikasyon - Sinyal İşleme Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Rifat Edizkan

Temmuz 2021

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Rifat Edizkan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Akıllı Fabrikalarda Güvenilirlik Analizi Temelli Durumsal Farkındalığın Artırılması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 02/07/2021

Diler Öz

ÖZET

Firmalar üretim hatlarından ve makinelerinden maksimum oranda yararlanabilmek için plansız makine duruşlarını minimum seviyeye düşürmek zorundadır. Plansız duruşların yoğun olduğu üretim tesislerinde öncelikle arızalarla ilgili detaylı bir analiz yapılmalı, analiz sonucuna bağlı olarak gerekli bakım faaliyetleri belirlenmelidir. Bu çalışmada, bir Minyatür Devre Kesici (Miniature Circuit Breaker, MCB) üretim hattındaki altı makine için gerekli bakım faaliyetlerinin belirlenmesinde güvenilirlik analizinden yararlanılmıştır. Güvenilirlik analizi ile birlikte üretim tesisindeki durumsal farkındalığın bakım açısından artırılması amaçlanmıştır. Güvenilirlik analizinde, makine bazlı arızalanma ve tamir süresi verileri kullanılmıştır. Bu veriler bir Üretim Yönetim Sistemi (Manufacturing Execution System, MES) ile elde edilmiştir. Anderson-Darling testi ile duruş verilerinin uygun olduğu olasılık dağılım modelleri belirlenmiş, parametrik olmayan veriler için de Kaplan-Meier analizi uygulanmıştır. Güvenilirlik analizi ile MCB üretim hattındaki makinelerin mevcut arıza oranları, arıza dağılımları ve yaşam olasılıkları hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler bakım yapılacak makinelerin önceliklendirilmesinde kullanılmıştır. Bakım faaliyetlerinde ön planda tutulması gereken arızalar, kümülatif etkilerine göre tespit edilmiştir. Böylece MCB üretim hattındaki darboğaz noktaları ve makineler için bakım faaliyetlerinde hangi arızalara önem verilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik Analizi, Durumsal Farkındalık, Arızalanma ve Tamir Süresi Verileri, Olasılık Dağılım Modelleri, Yaşam Olasılığı

SUMMARY

Companies need to reduce unplanned machine downtimes to minimum level in order to make maximum use of their production lines and machines. In production facilities where unplanned downtimes are common, first of all, a detailed analysis of the failures should be made and the necessary maintenance activities should be determined depending on the analysis result. In this study, reliability analysis was used to determine the required maintenance activities for six machines in a Miniature Circuit Breaker (MCB) production line. With the reliability analysis, it is aimed to increase the situational awareness in the production facility in terms of maintenance. Machine-based time to failure and time to repair data were used in the reliability analysis. These data were obtained with a Manufacturing Execution System (MES). When suitable, the probability distribution models for each failure was determined with the Anderson-Darling test, and Kaplan-Meier analysis was applied for non-parametric data. With the reliability analysis, information was obtained regarding the current failure rates, failure distributions and survival probabilities of the machines in the MCB production line. This information is used to prioritize the machines to be maintained. Failures that should be kept in the forefront in maintenance activities have been determined according to their cumulative effects. Thus, it has been determined that which failures should be given importance to in maintenance activities for the bottleneck points in MCB production line and machines.

Keywords: Reliability Analysis, Situational Awareness, Time to Failure and Time to Repair Data, Probability Distribution Models, Survival Probability

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Durumsal Farkındalık	5
2.2. Güvenilirlik.....	7
2.2.1. Güvenilirlik hesabı	9
2.2.2. Üretim hatlarında güvenilirlik hesabı	12
2.2.2.1. <u>Seri sistemler</u>	12
2.2.2.2. <u>Paralel sistemler</u>	13
2.2.2.3. <u>Seri-paralel sistemler</u>	14
2.2.3. Uyum iyiliği testi ve olasılık dağılım modelleri	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Minyatür devre kesiciler	19
3.1.2. Minyatür devre kesici üretim hattı	20
3.1.3. Minyatür devre kesici üretim hattı veri toplama	22
3.1.4. Analiz programı	24
3.2. MCB Üretim Hattında Güvenilirlik Analizi.....	25
3.3. Güvenilirlik Analizine Dayalı Durumsal Farkındalık	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. MCB Üretim Hattında Makine Bazlı Arıza Türleri ve Analizi.....	30
4.2. Arızalanma ve Tamir Süresi Verileri İçin Tanımlayıcı İstatistikler	35
4.3. Makine Bazında Güvenilirlik Hesabı	38
4.3.1. Olasılık dağılım modellerinin ve parametrelerinin belirlenmesi.....	39
4.3.2. Makine bazlı yaşam olasılıkları tahmini.....	44

İÇİNDEKİLER (devam)

4.4. Güvenilirlik Analizinin Bakım Faaliyetlerinde Değerlendirilmesi	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	58
EK AÇIKLAMALAR.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Endsley'nin durumsal farkındalık modeli (Endsley, 2000: Ghimire vd.nden (2016)).....	7
2.2. Bir bileşenin rastgele çalışma döngüsü (Panteli, 2013).....	10
2.3. Küvet eğrisi	11
2.4. n tane alt sistemden oluşan seri diziliş	12
2.5. n tane alt sistemden oluşan paralel diziliş	14
2.6. Seri-paralel sistemlere örnek	15
3.1. Siemens minyatür devre kesicinin iç yapısı	20
3.2. Minyatür devre kesici üretim hattı blok diyagramı	22
3.3. MES haberleşme yapısı	24
3.4. Güvenilirlik analizi uygulaması akış şeması	26
3.5. Güvenilirlik analizinin durumsal farkındalık modeli	29
4.1. M1, M2 ve M3 pareto grafikleri: a) M1 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, b) M2 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, c) M3 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri	32
4.2. M4, M5 ve M6 pareto grafikleri: a) M4 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, b) M5 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, c) M6 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri	33
4.3. M1, M2, M3 ve M6 için arızalanma sürelerine ait olasılık grafikleri: a) M1, b) M2, c) M3, d) M6	40
4.4. M2 ve M3 için tamir sürelerine ait olasılık grafikleri: a) M2, b) M3	43
4.5. M1 ve M2'nin arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M1'e ait grafikler, b) M2'ye ait grafikler	46
4.6. M3 ve M4'ün arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M3'e ait grafikler, b) M4'e ait grafikler	47
4.7. M5 ve M6'nın arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M5'e ait grafikler, b) M6'ya ait grafikler	48
4.8. M1 ve M2'nin tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M1'e ait grafikler, b) M2'ye ait grafikler	50
4.9. M3 ve M4'ün tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M3'e ait grafikler, b) M4'e ait grafikler	51
4.10. M5 ve M6'nın tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M5'e ait grafikler, b) M6'ya ait grafikler	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Makine bazlı oluşma sıklığına göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları.....	34
4.2. Makine bazlı duruş süresine göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları	35
4.3. Arızalanma sürelerinin makine bazlı tanımlayıcı istatistikleri	36
4.4. Tamir sürelerinin makine bazlı tanımlayıcı istatistikleri	38
4.5. Arızalanma süresi verilerine göre makine bazlı Anderson-Darling test istatistiği değerleri	39
4.6. Parametrik dağılım gösteren makine bazlı arızalanma süresi verilerine uygun dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri	41
4.7. Tamir süresi verilerine göre makine bazlı Anderson-Darling test istatistiği değerleri	42
4.8. Parametrik dağılım gösteren makine bazlı tamir süresi verilerine uygun dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri.....	44
4.9. Arızalanma süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahmini.....	45
4.10. Tamir süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahmini.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$R(t)$	Güvenilirlik Fonksiyonu
$F(t)$	Güvensizlik Fonksiyonu
$\lambda(t)$	Arıza Oranı Fonksiyonu
$f(t)$	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
R_s	Sistem Güvenilirliği
F_s	Sistem Güvensizliği

Açıklama

Kısaltmalar

IOT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MCB	Miniature Circuit Breaker (Minyatür Devre Kesici)
MES	Manufacturing Execution System (Üretim Yönetim Sistemi)
MLE	Maximum Likelihood Estimation (En Çok Olabilirlik Tahminleme)
MTTF	Mean Time to Failure (Ortalama Arızalanma Süresi)
MTTR	Mean Time to Repair (Ortalama Tamir Süresi)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Genel Ekipman Etkinliği)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PROFINET	Process Field Net (İşlem Alanı Ağı)
RAM	Reliability, Availability and Maintainability (Güvenilirlik, Elverişlilik ve Sürdürülebilirlik)
TTF	Time to Failure (Arızalanma Süresi)
TTR	Time to Repair (Tamir Süresi)

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Üretim süreçlerinde üretim ekipmanları, personeller ve zaman gibi sınırlı kaynaklardan verimli bir şekilde yararlanmak için güvenilirlik analizi önemli bir araçtır. Güvenilirlik analizi, özellikle bakım faaliyetlerinin planlanmasında sıklıkla kullanılır. Etkili planlama için öncelikle mevcut koşulların doğru anlaşılması gerekir. Üretim süreçleriyle direkt temas halinde olan üretim sorumlularının, üretim operatörlerinin ve bakım personellerinin performansları kritiktir. Bu nedenle bu kişilerin mevcut üretim performansını çok iyi bilmeleri önemlidir. Üretim hatlarının ve makinelerinin performansları ile ilgili bu kişilerde durumsal farkındalığın artırılması gerekmektedir. Durumsal farkındalığın artması için de üretim makineleri ve hatları için gerçeği yansıtan detaylı bilgilere ihtiyaç duyulur. Güvenilirlik analizinin üretim hatları ve makineleri için sunduğu detaylı sonuçlar bu doğrultuda ön plana çıkmaktadır. Özellikle akıllı fabrikalarda, manuel operasyonlar minimum seviyeye indirilmeye çalışıldığı için, üretim süreçlerinde operasyonel faaliyetlerde çalışan personel sayısı da minimum seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle az sayıdaki bu personellerde durumsal farkındalığın artması daha da önemli hale gelmektedir. Bununla birlikte güvenilirlik analizi sonucunda elde edilen veriler, otomatik çalışan sistemlerin daha fazla yer aldığı akıllı fabrikalarda, bakım karar mekanizması için önemli girdi oluşturur.

Durum farkındalığı, algılanan olaylarla ilgili bilgilerin anlamını belirlemeyi amaçlar ve son derece dinamik ortamlarda karar vermenin temelini oluşturur (Ghimire vd., 2016). Yeni üretim gerçekliğinde artan karmaşıklık ve üretim hızı ile birlikte operatörler için durumsal farkındalığın artması gereklidir (Lall vd., 2017). Çünkü üretim sistemlerinin sürekli verimli bir şekilde çalıştırılması için zamanla yarışan operatörlerin sorumlulukları yüksektir. Operatörlerle birlikte bakım çalışanları gibi üretim sürecinde bulunan bütün personellerde ekip olarak üretim için durum farkındalığının yüksek olması gerekir. Çünkü bir ekibin başarısı, ekip üyelerinin başarısına bağlıdır ve ekip üyelerinden herhangi birinin zayıf durumsal farkındalığı varsa, bu durum tüm ekibin başarısını olumsuz olarak etkileyebilecek kritik bir hataya yol açabilir (Panteli, 2013). Durumsal farkındalıkla ilgili çalışmalarda birçok kişi, durumsal farkındalık üzerine yoğun çalışmaları olan Mica Endsley'nin durumsal farkındalık modelini kullanmıştır. Bu durumsal farkındalık modeli

üç zihinsel seviyenin temsilidir: algılama, anlama ve tahmin (Endsley, 2000: Ghimire vd.nden (2016)). İlk seviyede mevcut duruma ait unsurlar algılanır. İkinci seviyede mevcut durum anlaşılır. Üçüncü seviyede ise gelecekteki durumun tahmini yapılır.

Üretim ekipmanlarından maksimum oranda yararlanmak ve üretim kapasitesini artırmak için plansız duruşları minimum seviyeye indirmek gerekir. Üretimde meydana gelen duruşlar, üretim oranını düşürmekle birlikte verimliliği de düşürür ve üretim planlamasını zorlaştırır (Seifoddini ve Djassemi, 2001: Koçak ve İşçioğlu'ndan (2018)). Üretim duruşlarının çoğunluğu hat veya makine kaynaklı teknik problemlerdir. Özellikle plansız duruşların çok sık olduğu üretim tesislerinde etkili bir bakım planlamasıyla duruşların büyük çoğunluğu önlenebilir. Plansız bir arıza, planlı bir bakım veya onarımdan önemli ölçüde daha yüksek onarım maliyetlerine neden olabilir (Tsarouhas, 2012). Plansız arızalar; duruş sırasındaki üretim kaybı, tamir ve ürün kalitesinin düşmesi gibi etkenlerden dolayı maliyetleri artırmaktadır (Uzun ve Özdoğan, 2011). Bakım sistemlerinin temel amacı; işletme kaynaklarının verimli ve etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak, bakım personelinin verimini yükseltmek ve plansız duruşları sıfıra yaklaştırmaktır (Ünal, 2009). Bakım planlaması yapılmadan önce mevcut durumun iyi analiz edilmesi gerekir. Çünkü bakım yapılacak noktaların tespitinin ve önceliklendirilmesinin doğru yapılmasıyla, verimlilik yüksek oranda artırılabilir. Bu amaç için güvenilirlik analizinden yararlanılabilir ve güvenilirlik merkezli bakım politikası uygulanabilir. Güvenilirlik merkezli bakım; onarıcı, periyodik ve kestirimci bakım uygulamalarının harmanlanmış halidir (Kuldaşlı, 2009). Gün geçtikçe ürünlerin karmaşıklaşması, rekabet, maliyetler, müşteri talepleri ve plansız arızalar gibi faktörlerden dolayı güvenilirliğin endüstride kullanımını artırmıştır (Atamer, 2009). Güvenilirlik analizi birçok açıdan makinelerin çalışma durumunu ortaya koyan analiz türüdür.

Güvenilirlik, ürün güvenilirliği ve sistem güvenilirliği olarak iki ana başlıkta incelenebilir (Uzuner, 2015). Ürün güvenilirliği, bir ürünün belirli bir süre boyunca düzgün çalışabilme olasılığıdır (Crowder vd., 1991: Omondi'den (2017)). Sistem güvenilirliği ise bir sistemin belirli bir süre boyunca işlevini düzgün şekilde yerine getirebilme olasılığıdır. Sistem, birden fazla alt bileşenden oluşan yapıdır. Üretim makineleri ve hatları birden fazla alt bileşenden oluşabilecekleri için sisteme örnek olarak gösterilebilir. Bir sistemde güvenilirliği en düşük olan alt bileşenin tespiti güvenilirlik analizi ile mümkündür ve bu

şekilde darboğazlar belirlenebilir (Barabady ve Kumar, 2008: Koçak ve İşçioğlu'ndan (2018)). Güvenilirlik değeri, sistemde meydana gelebilecek plansız arızaların sayısına bağlıdır ve plansız arızaların nedenlerinin ortadan kaldırılmasıyla artmaktadır (Ahmadivala, 2016). Düşük güvenilirlik seviyesi, üretim sisteminde plansız arızaların fazla olduğu anlamına gelir ve bu da düşük elverişlilik oranına neden olur (Tsarouhas, 2012).

Bu çalışmada, bir Minyatür Devre Kesici (Miniature Circuit Breaker, MCB) üretim hattında makine bazlı güvenilirlik analizi yapılmış, güvenilirlik analizi sonuçlarının bakım faaliyetlerinde değerlendirilmesi ve durumsal farkındalığın artırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda güvenilirlik analizinin durumsal farkındalık modeli oluşturulmuştur. Bu modelde durumsal farkındalık seviyeleri ve güvenilirlik analizinin aşamaları kavramsal olarak ilişkilendirilmiştir. Öncelikle MCB üretim hattının makine bazlı duruş verileri toplanmıştır. Güvenilirlik analizi, duruş verilerinden yararlanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan duruş verileri bir Üretim Yönetim Sistemi (Manufacturing Execution System, MES) ile elde edilmiştir. Her makine için elde edilen veriler ön işlemeden geçirilmiş, arızalanma ve tamir süreleri belirlenmiştir. Makine bazlı duruş verileri hazırlandıktan sonra arızaların duruş sıklığına ve süresine göre dağılımları incelenmiş, arızalanma ve tamir süreleri için tanımlayıcı istatistikler çıkarılmıştır. Bu aşamada makinelerin elverişlilik oranları da değerlendirilmiştir. Daha sonra güvenilirlik analizi için makine bazlı arızalanma ve tamir süresi verilerinin parametrik dağılım gösterip göstermediği kararlaştırılmıştır. Parametrik dağılım gösteren makine verileri için uygun olasılık dağılım modelleri belirlenmiş, olasılık dağılım modellerine ait fonksiyonlar kullanılarak makinelerin yaşam olasılıkları hesaplanmıştır. Parametrik dağılım göstermeyen makine verileri için yaşam olasılıklarının hesaplanmasında ise parametrik olmayan tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Güvenilirlik analizi ile makinelerin mevcut arıza oranları, arıza dağılımları ve yaşam olasılıkları hakkında bilgiler elde edilmiş, bakım yapılacak makinelerin önceliklendirilmesi bu bilgilerin değerlendirilmesiyle yapılmıştır. Bakım faaliyetlerinde ön planda tutulması gereken arızalar da kümülatif etkilerine göre belirlenmiştir. Bu şekilde MCB üretim hattındaki darboğaz noktaların ve üretim kapasitesini yüksek oranda düşüren arızaların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, durumsal farkındalık ve güvenilirlik analizi ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, MCB, MCB üretim hattı, veri

toplama yöntemi, analiz programı ve güvenilirlik analizinin uygulama yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, ele alınan yöntemin uygulama aşamaları ve sonuçlarına yer verilmiştir; makine bazlı arızaların dağılımları ve karakteristiği, olasılık dağılım modellerinin değerlendirilmesi, güvenilirlik analizinin sayısal sonuçları ve bakım faaliyetlerinde değerlendirilmesi konularına değinilmiştir. Son bölümde ise MCB üretim hattında uygulanan güvenilirlik analizinin sonuçları hakkında yorumlara ve sonuçların nasıl değerlendirilmesi gerektiği ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, durumsal farkındalık ve güvenilirlik konularına yer verilmiştir. İçerikte, çalışma konusuyla alakalı yapılan araştırmaların detayları yer almaktadır.

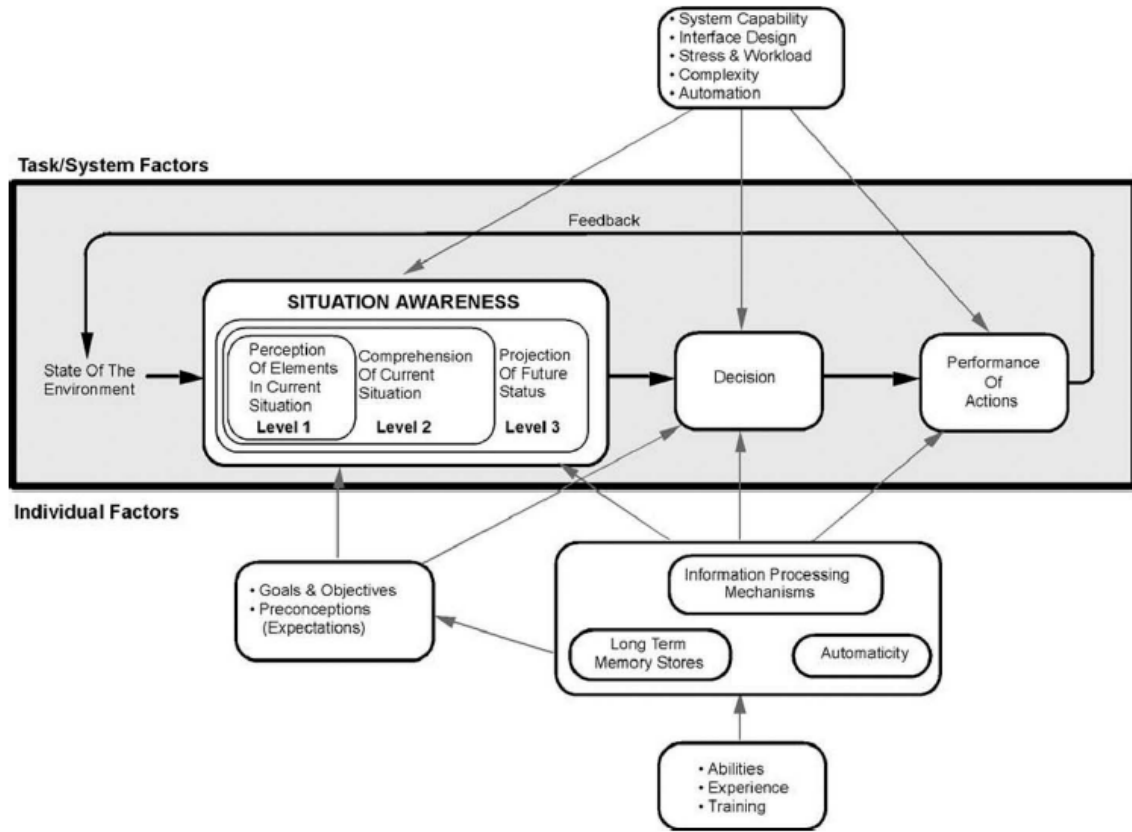
2.1. Durumsal Farkındalık

Durumsal farkındalık, çevredeki unsurların bir zaman ve mekan hacmi içinde algılanması, anlamlarının kavranması ve yakın gelecekteki durumlarının tahmin edilmesidir (Endsley, 2000: Ghimire vd.nden (2016)). Durumsal farkındalık, çevresinin ilgili unsurları ile etkileşim gerektiren bir şeyde insan seviyesinde veya herhangi bir sistem seviyesinde ele alınabilir. Üretim operatörleri, bakım personelleri veya üretim makineleri üretimde durumsal farkındalığın ele alınabileceği konulara örnek olabilir.

Durumsal farkındalık üzerine farklı alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Durumsal farkındalıkta algılanan durum “zihinsel” veya “bilişsel” bir model olabilir (Bolte vd., 2003: Panteli'den (2013)). Bu da durumsal farkındalığın insan seviyesinde veya bilişsel bir sistem seviyesinde ele alınabileceğini göstermektedir. Endüstride insan seviyesinde, özellikle operatörlerdeki durumsal farkındalık üzerine çalışmalara rastlanılmıştır. Endsley ve Kiris (1995), üretim operatörlerindeki döngü dışı performans sorununu ele almışlardır. Otomasyon sistemlerinin üretim süreçlerinde daha fazla yer almasıyla birlikte operatörlerdeki manuel işlere karşı durumsal farkındalığın azaldığını vurgulamışlardır. Lall vd. (2017), çalışmalarında üretim süreçlerindeki teknik destek sistemlerle operatörlerdeki durumsal farkındalığın artırılması gerekliliği konusunu ele almışlardır. Endüstri 4.0 ve gelişen üretim teknolojileri ile birlikte, operatörlerdeki artan hız ve görev karmaşıklığını verimli bir şekilde yönetebilmek için, operatörlerdeki durumsal farkındalığın artırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmalarla birlikte endüstride bilişsel sistemler seviyesinde durumsal farkındalık üzerine yapılan çalışmalar da mevcuttur. Panteli (2013), Bilgi ve İletişim Teknolojileri (Information and Communication Technology) güvenilirliğinin ve durum farkındalığının güç sistemi kesintileri üzerindeki etkisini konu olarak ele almıştır. Bu çalışmanın amacı, elektriksel olmayan olayların güç sistemi kesintileri riskine katkısını değerlendirmektir ve çalışmada, güvenilirlik ve durum

farkındalığı konusu birlikte ele alınmıştır. Ghimire vd. (2016), verimli proje yönetimi sağlamak için Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IOT) teknolojileriyle karar verme süresini azaltmayı amaçlamıştır. Hedef, mevcut üretim süreçlerinin üstünde dinamik bir durumsal farkındalık yapısı oluşturup, üretim alanında veya proje uygulamalarında devam eden süreçleri tespit etme ve bunlara ilişkin içgörü kazanma yeteneklerine sahip bir proje yönetimi sağlamaktır. Park vd. (2017), çalışmalarında Kestirimci Üretim Durum Farkındalığı (Predictive Manufacturing Situation Awareness) konusunu ele almışlar ve bunu akıllı üretim sistemlerini desteklemenin ilk adımı olarak görmüşlerdir. Daha kısa sürede daha düşük maliyetle daha yüksek kalite elde etmek gibi konularda, imalat endüstrisinde endüstriyel rekabet gücünü artırmak amacıyla bir tahmini üretim durum farkındalığı sistemi geliştirmeyi hedeflemişlerdir.

Durumsal farkındalık 3 seviyeden oluşmaktadır: mevcut durumdaki unsurların algılanması, mevcut durumun anlaşılması ve gelecekteki durumun tahmini. Şekil 2.1’de durumsal farkındalığın seviyeleri özetlenmektedir. Durumsal farkındalığın ilk seviyesi, çevredeki ilgili öğelerin durumunu, niteliklerini ve dinamiklerini algılamakla ilişkilidir (Endsley ve Kiris, 1995: Panteli’den (2013)). Yani ilk seviye, ilgili bilginin algılanmasını kapsar. Öncelikle sistemin veya kişinin ilgili bilgilere erişimi olması gerekir. Sonrasında bu bilgiler sistem veya kişiler tarafından tanınabilmelidir. Durumsal farkındalığın ikinci seviyesi, ilgili amaç ve hedeflerle ilişkili olarak algılanan verilerin ne anlama geldiğinin anlaşılmasını işaret eder (Panteli, 2013). Elde edilen bilginin doğru anlaşılması gerekmektedir. Durumsal farkındalığın üçüncü seviyesi ise, bir sistemin elemanlarının, mevcut durumlarına ve algılanan bilgilere dayalı olarak gelecekteki davranışlarının tahmin edilmesini ifade eder (Panteli, 2013). Özellikle bu seviyede dinamik süreçlerin yanlış varsayımlarla geleceğe yansıtılması durumu kritiktir. Örneğin; karmaşık sistemler yüksek seviyede bağılıklarla karakterize edilir. Bu da bir değişkenin tüm sistemi nasıl etkileyeceğinin tahmin edilmesini zorlaştırır.



Şekil 2.1. Endsley'nin durumsal farkındalık modeli (Endsley, 2000: Ghimire vd.nden (2016))

2.2. Güvenilirlik

Güvenilirlik, bir sistemin çalışma fonksiyonlarını, belirlenen çalışma koşulları altında belirli bir sürede yerine getirebilme olasılığıdır (Kuo ve Zuo, 2003: Koçak ve İşçioğlu'ndan (2018)). Güvenilirlik, hatasız çalışma olasılığının göstergesi olduğu için önemli bir parametredir. Güvenilirlik konusu ürün, makine, sistem, veya bir makinenin veya sistemin alt bileşeni için ele alınabilir.

Yapılan literatür araştırmasında güvenilirlik analiziyle ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanılmıştır ve farklı birçok üretim sürecinde güvenilirlik konusunun makine ve hat bazlı olarak ele alındığı görülmüştür. Özellikle, bakım ve üretim faaliyetlerine yön vermek amacıyla güvenilirlik analizinin ele alındığı çalışmalar literatürde çokça yer almaktadır. Liberopoulos ve Tsarouhas (2005), otomatik bir pizza hattının güvenilirlik analizini ele almıştır. Bu çalışmayla, ekme ve unlu mamul ve gıda ürünleri makine imalatçılara, ürettikleri ve işlettikleri üretim hatlarının tasarımını ve işletimini geliştirmeleri için

rehberlik etmeyi amaçlamışlardır. Ünal (2009), yaptığı bir çalışmada güvenilirlik odaklı bakım konusunu ele almıştır. Bu çalışmada bir çimento fabrikasındaki bakım politikasına değinmiş ve güvenilirlik odaklı bakıma geçişe yönelik öneriler sunmuştur. Tsarouhas ve Arvanitoyannis (2010), ekmek üretim hatlarında güvenilirlik ve sürdürülebilirlik analizi yapmıştır. Arıza ve tamir verileri ile hat ve makine seviyesinde yaptıkları çalışmayla mevcut koşulları değerlendirmeyi ve bakım faaliyetlerinin etkinliğini artırmayı hedeflemişlerdir. Uzun ve Özdoğan (2011), yaptıkları güvenilirlik analizi çalışması ile bir işletmedeki bakım politikasını belirlemeyi hedeflemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmayla makine alt bileşenlerinin önleyici bakım periyotlarını belirlemişlerdir. Tsarouhas (2012), gıda endüstrisindeki üretim hatlarının Güvenilirlik, Elverişlilik ve Sürdürülebilirlik (Reliability, Availability and Maintainability, RAM) analizi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmayla üretim sistemlerinin operasyonel performans ve bakım etkinliği ile iyileştirilmesi gereken kritik noktaları tanımlamayı amaçlamışlardır. Zhang vd. (2014), bir piston üretim hattının güvenilirlik analizi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada güvenilirlik ve sürdürülebilirlik konularıyla birlikte arıza kayıplarına dayalı önem ölçümü (failure losses-based importance measure) konusunu ele almışlardır. Uzuner (2015), bir akü üretim tesisinde güvenilirlik analizine bağlı olarak sistem tasarımı üzerine çalışmıştır. Bu çalışmayla birlikte üretim planlamasına yön vermeyi amaçlamıştır. Ahmadiyala (2016), bir simülasyon üzerinden kenar bantlama makinesi üreten bir işletmedeki mevcut güvenilirlik düzeyinin bulunması ve geliştirilmesi için çalışma yapmıştır. Çalışmasında Monte Carlo simülasyonunu kullanmıştır. Omondi (2017), güvenilirlik analizlerinde kullanılan weibull ve log-normal dağılımlarına odaklanmıştır. Yaptığı çalışmayla buzdolabı fan motorunun ömür süresini uzatmayı hedeflemiştir. Koçak ve İşçioğlu (2018), meyve suyu dolum hatlarının güvenilirlik analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Hat ve makine bazında yaptıkları güvenilirlik analizini iyileştirme noktalarını belirlemede ve bakım faaliyetlerini önceliklendirmede kullanmayı hedeflemişlerdir.

Bu çalışmalarla birlikte güvenilirlik analizine katkıda bulunmak ve güvenilirlik konusunun temellerini açıklamak için yapılan çalışmalara da rastlanılmıştır. Topçu (2007), Kaplan-Meier tahmin yöntemini ve Greenwood formülünü çalışmasında ele almıştır. Sansürlenmiş gözlemler için yaşam fonksiyonunun tahmininde Kaplan-Meier tahmin yöntemini ve elde edilen tahminin varyansını hesaplamak için kullanılan Greenwood formülünün tanıtılmasını amaçlamıştır. Türkan (2007), güvenilirlik analizinde kullanılan

istatistiksel dağılım modelleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada istatistiksel dağılım modellerinin kullanıldığı alanları ve her dağılım modeline ait özellikleri ele almıştır. Atamer (2009), mekanik bir sistemin ve bu sisteme ait bileşenlerin tasarım ve test aşamalarındaki güvenilirlik analizi üzerine çalışma yapmıştır. İnceoğlu (2013), sağ kalım analiz yöntemlerinden Yaşam Tablosu Analizi, Kaplan-Meier Analizi ve Cox Regresyon Analizi yöntemlerini ele almış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Karşılaştırma için karaciğer nakli yapılan hastalardan alınan gerçek verileri kullanmıştır.

2.2.1. Güvenilirlik hesabı

Güvenilirlik, bir makine veya sistemin, belirli koşullar altında, t süresi boyunca işlevini yerine getirebilme olasılığıdır (Tsarouhas, 2012). T Arızalanma Süresi (Time to Failure, TTF)'ni temsil eden sürekli rastgele bir değişken ise, $T \geq 0$ için güvenilirlik şu şekilde ifade edilebilir (Wang ve Pham, 2006: Tsarouhas'tan (2012)):

$$R(t) = P(T \geq t) \quad (2.1)$$

Eğer $F(t)$ bir sistemin güvensizliği ise,

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.2)$$

eşitliği elde edilir. Böylece güvensizlik, t süresinden önce sistemin arızalanma olasılığı olur.

$$F(t) = 1 - R(t) = P(T < t) \quad (2.3)$$

Aynı zamanda $F(t)$, arıza dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonudur.

Güvenilirlik teorisinde arıza oranı (risk oranı) fonksiyonu şu şekilde gösterilir:

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad (2.4)$$

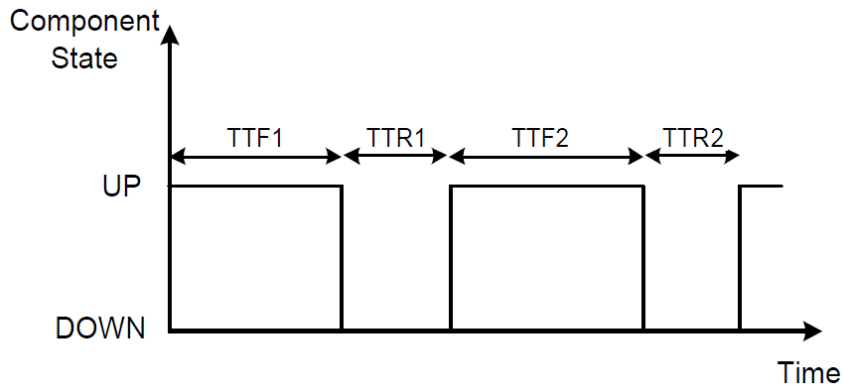
Burada $f(t)$, arıza dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonudur ve şu şekilde tanımlanır:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.5)$$

Ortalama $f(t)$ değeri, Ortalama Arızalanma Süresi (Mean Time to Failure, MTTF)'dir ve şu şekilde hesaplanır:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.6)$$

Güvenilirlik analizinde TTF ve Tamir Süresi (Time to Repair, TTR) verilerinden yararlanılır. Tipik bir çalışma-tamir durumları dizisi, bir TTF, ardından TTR, ardından TTF, ardından TTR vb. değerlerinin sıralı olarak örneklendirilmesiyle oluşturulur (Panteli, 2013). Şekil 2.2'de bir bileşen için rastgele çalışma döngüsü gösterilmektedir. Burada "UP" bileşenin çalıştığı durumu, "DOWN" ise bileşenin arızalı olduğu, yani tamir sürecinde olduğu durumu gösterir.

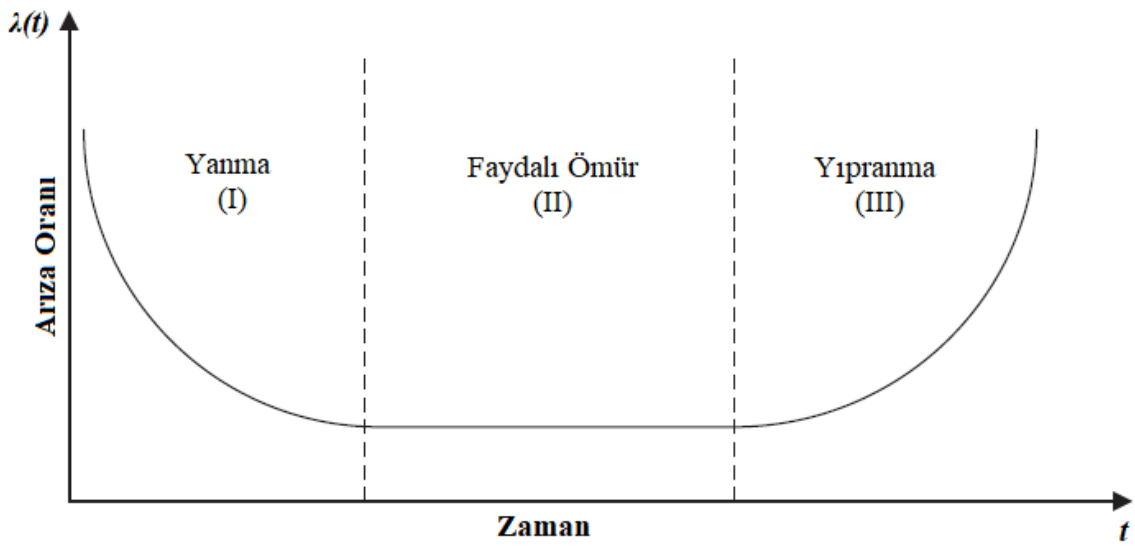


Şekil 2.2. Bir bileşenin rastgele çalışma döngüsü (Panteli, 2013)

Güvenilirlik, bir bileşenin fonksiyonlarını hasarsız bir şekilde yerine getirebilme olasılığı olduğundan, TTF değerleri ne kadar uzunsa güvenilirlik değeri o kadar yüksektir. Çünkü TTF değerlerinin yüksek olması demek, o bileşenin arızaya geçme sürelerinin uzun olduğu anlamına gelir. Bunun aksine TTR değerlerinin de kısa olması, o bileşen için o kadar iyidir. Çünkü bir bileşen arızalandığında tamir için ayrılan sürenin uzun olması

istenmez. Tamir süresi boyunca bileşenin fonksiyonlarından yararlanılamaz ve bu durum genellikle maliyeti artıran bir durum olarak karşımıza çıkar.

Arıza oranı $\lambda(t)$, yorulma hasarlarının, erken bozulmaların ve raslantısal hasarların açıklanması için kullanılabilir (Atamer, 2009). Arıza oranı fonksiyonu, bir bileşenin veya sistemin arıza oranını temsil eden zamana bağlı bir fonksiyondur ve şeklinden dolayı “küvet eğrisi (bathtub curve)” olarak adlandırılır (Tsarouhas, 2012). Şekil 2.3’te küvet eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Küvet eğrisi

Bir bileşen veya sistem için küvet eğrisi 3 bölgeye ayrılmaktadır: yanma (burn-in), faydalı ömür (useful life) ve yıpranma (wear-out). Birinci bölgede arıza oranı gittikçe azalmaktadır, çünkü bu bölgede arızalar, üretim kusurlarından, zayıf işçilikten ve zayıf kalite kontrolden kaynaklanmaktadır (Tsarouhas, 2012). Birinci bölgede kusurlar düzeltilir, zayıf bileşenler değiştirilir ve kullanıcı, ürünün kurulmasına, çalışmasına ve bakımına zaman geçtikçe alışır (Türkan, 2007). İkinci bölge, rastgele yükler, insan hatası, doğal arızalar ve kötüye kullanım nedeniyle arıza oranının sabit kaldığı faydalı ömür olarak karakterize edilir (Tsarouhas, 2012). Bu bölgedeki hasarlar rastlantısal olarak meydana geldiği için hasarların tahmini zordur (Atamer, 2009). Üçüncü bölge, arızaların nedeni yorgunluk, eskime, korozyon ve sürtünmeden kaynaklandığı için artan başarısızlık oranına sahiptir ve bu bölge yıpranma olarak adlandırılır (Tsarouhas, 2012). Bu aşama, bileşenin

arızalanmaya daha eğilimli olduğu yaşlanma sürecine uymaktadır (Uzuner, 2015). Küvet eğrisindeki 3 bölgede de arızalar temelde farklı nedenlere bağlıdır ve bu sebeple güvenilirliği artırmada her bölgenin tedbirleri farklıdır (Atamer, 2009).

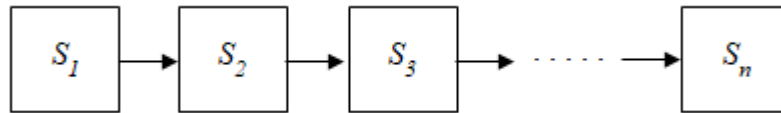
2.2.2. Üretim hatlarında güvenilirlik hesabı

Bir üretim hattının güvenilirliğini hesaplayabilmek için öncelikle o hatta güvenilirliği hesaplanabilecek en küçük sistemlere karar verilmelidir. Bu sistemler hattaki makineler, makinelerdeki istasyonlar vs. olabilir. Alt sistemlerin bağlantı şekillerine ve sıralamasına bağlı olarak hattın güvenilirliği hesaplanır. Bu doğrultuda bir hattın güvenilirliğini hesaplayabilmek için blok diyagramı yöntemi kullanılabilir.

Üretim hattının güvenilirliğini hesaplamadan önce, hat düzgün bir şekilde incelenmelidir. Hattı oluşturan alt sistemlere karar verilmeli ve bu alt sistemlerin dizilişleri tespit edilmelidir. Daha sonra hat, alt sistemlerin dizilişine göre blok diyagramı ile çizilmelidir.

2.2.2.1. Seri sistemler

Seri sistemlerde her alt sistem birbirine seri olarak bağlıdır. Şekil 2.4'te bir seri sisteme ait blok diyagramı gösterilmektedir. Her bir kutu bir alt sistemi temsil etmektedir ve alt sistemler işlem sırasına bağlı olarak baştan sona doğru sıralanmaktadır. n tane alt sisteme sahip bir yapıda alt sistemler sırasıyla $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ ile simgelenmektedir.



Şekil 2.4. n tane alt sistemden oluşan seri diziliş

Seri dizilişe sahip sistemlerde herhangi bir alt sistemin arızalanması, tüm sistemin arızalanmasına neden olur (Uzuner, 2015). Çünkü bir alt sistemdeki tıkanıklık, kendinden önceki ve sonraki alt sistemlerin işlevlerini devam ettirmelerini engellemektedir. Bundan yola çıkarak seri bir sistemin güvenilirliği;

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.7)$$

eşitliği ile hesaplanır (Türkan, 2007; Atamer, 2009). Bu eşitlikte $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ alt sistemlerinin güvenilirlik değerleri sırasıyla $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ile gösterilmektedir. Sistemin güvenilirliği ise R_s ile gösterilmektedir. Alt sistemin güvenilirliği, 0 ile 1 arasında bir değere sahip olduğundan alt sistem sayısı artıkcça sistemin güvenilirliğinin azalma ihtimali yükselir (Atamer, 2009). Bir seri sistemin güvensizliği;

$$F_s = 1 - [(1 - F_1) \times (1 - F_2) \times (1 - F_3) \times \dots \times (1 - F_n)]$$

$$F_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \quad (2.8)$$

eşitliği ile hesaplanır (Türkan, 2007). Bu eşitlikte $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ alt sistemlerinin güvensizlik değerleri sırasıyla $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ ile gösterilmektedir. Sistemin güvensizliği ise F_s ile gösterilmektedir.

2.2.2.2. Paralel sistemler

Paralel sistemlerde her alt sistem birbirine paralel olarak bağlıdır. Şekil 2.5'te bir paralel sisteme ait blok diyagramı gösterilmektedir. Her bir kutu bir alt sistemi temsil etmektedir. n tane alt sisteme sahip bir yapıda alt sistemler sırasıyla $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ ile simgelenmektedir.

Paralel sistemlerde, alt sistemler birbirine paralel bağlı olduğu için alt sistemlerden bazıları arızalı olsa dahi sistem tıkanmaz, çalışmaya devam eder (Uzuner, 2015). Sistemin çalışmasının tamamen durması için bütün alt sistemlerin arızalanması gerekir. Bu nedenle paralel sistemlerde alt sistemlerin sayısını artırmak, sistemin güvenilirliğini artırır (Türkan, 2007). Paralel sistemlerde sistemin tamamen durması için bütün alt sistemlerin arızaya geçmesi gerektiği için sistemin güvensizliği;

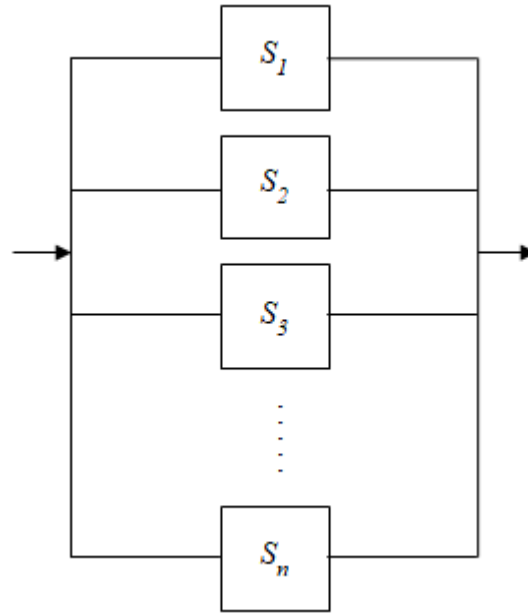
$$F_s = F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \times F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (2.9)$$

olarak hesaplanır (Atamer, 2009). Bu eşitlikte $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ alt sistemlerinin güvensizlik değerleri sırasıyla $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ ile gösterilmektedir. Sistemin güvensizliği ise F_s ile gösterilmektedir. Burdan yola çıkarak paralel sistemlerin güvenilirliği;

$$R_s = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times (1 - R_3) \times \dots \times (1 - R_n)]$$

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.10)$$

eşitliği ile hesaplanır (Türkan, 2007). Bu eşitlikte $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ alt sistemlerinin güvenilirlik değerleri sırasıyla $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ile gösterilmektedir. Sistemin güvenilirlik değeri ise R_s ile gösterilmektedir.

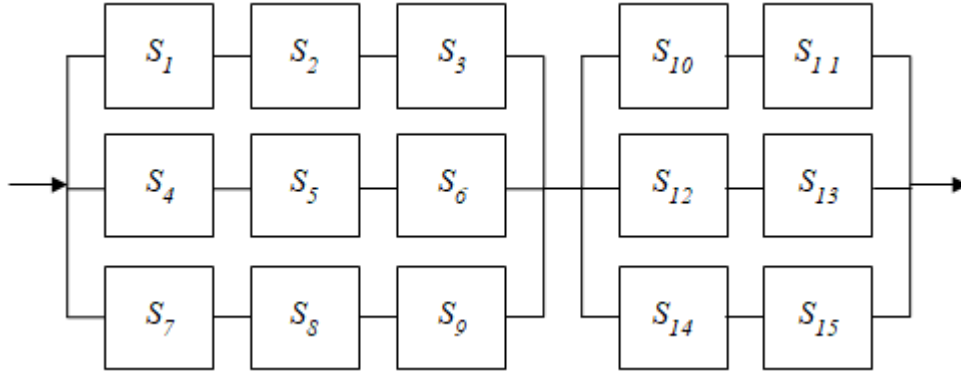


Şekil 2.5. n tane alt sistemden oluşan paralel diziliş

2.2.2.3. Seri-paralel sistemler

Alt sistemlerin hepsi birbirine sadece seri veya sadece paralel bağlı olmayabilir. Bir kısmı kendi içinde seri bağlı iken diğer alt sistemlere paralel bağlı olabilir. Bunun tam tersi

de mümkündür. Bu tarz sistemler hem seri bağlantı hem de paralel bağlantı içerdikleri için seri-paralel sistem olarak adlandırılır. Şekil 2.6'da seri-paralel sistemlere örnek bir blok diyagramı gösterilmektedir. Örnek blok diyagramında her bir kutu bir alt sistemi temsil etmektedir ve toplam 15 tane alt sistem vardır. Bu alt sistemler sırasıyla $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}$ ve S_{15} ile simgelenmektedir.



Şekil 2.6. Seri-paralel sistemlere örnek

Seri-paralel sistemlerde, seri ve paralel alt sistemlerin bulunduğu kısımların güvenilirlikleri öncelikle kendi içinde hesaplanır ve daha sonra diğer kısımlarla olan ilişkilerine bağlı olarak kademeli bir şekilde tüm sistemin güvenilirliği hesaplanır (Atamer, 2009). Şekil 2.6'daki örnek seri-paralel sistemin güvenilirlik hesaplama adımları aşağıda gösterilmektedir. Öncelikle alt seri sistemlerin güvenilirlikleri hesaplanır:

$$R_A = R_1 \times R_2 \times R_3 \quad (2.11)$$

$$R_B = R_4 \times R_5 \times R_6 \quad (2.12)$$

$$R_C = R_7 \times R_8 \times R_9 \quad (2.13)$$

$$R_D = R_{10} \times R_{11} \quad (2.14)$$

$$R_E = R_{12} \times R_{13} \quad (2.15)$$

$$R_F = R_{14} \times R_{15} \quad (2.16)$$

Bu eşitliklerde $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}$ ve S_{15} alt sistemlerinin güvenilirlik değerleri sırasıyla $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ ve R_{15} ile gösterilmektedir. S_1, S_2 ve S_3 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_A ile ifade edilmektedir. S_4, S_5 ve S_6 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_B ile ifade edilmektedir. S_7, S_8 ve S_9 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_C ile ifade edilmektedir. S_{10} ve S_{11} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_D ile ifade edilmektedir. S_{12} ve S_{13} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_E ile ifade edilmektedir. S_{14} ve S_{15} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvenilirlik hesabının sonucu R_F ile ifade edilmektedir. Bu durumda A, B ve C kısımları birbirine paralel bağlıdır. Yine aynı şekilde D, E ve F kısımları da birbirine paralel bağlıdır. Birbirine paralel bağlı olan bu bağlantıların güvenilirlikleri;

$$R_{ABC} = 1 - [(1 - R_A) \times (1 - R_B) \times (1 - R_C)] \quad (2.17)$$

$$R_{DEF} = 1 - [(1 - R_D) \times (1 - R_E) \times (1 - R_F)] \quad (2.18)$$

şeklinde hesaplanır. Son olarak ABC ve DEF kısımları hesaplamaya katılır. ABC ve DEF birbirine seri bağlıdır ve sistemin güvenilirliği;

$$R_s = R_{ABC} \times R_{DEF} \quad (2.19)$$

şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikte sistemin güvenilirliği R_s ile gösterilmektedir.

Benzer şekilde örnek sistemin güvensizliği de hesaplanabilir. Yine öncelikle alt seri sistemlerin güvensizlikleri hesaplanır:

$$F_A = 1 - [(1 - F_1) \times (1 - F_2) \times (1 - F_3)] \quad (2.20)$$

$$F_B = 1 - [(1 - F_4) \times (1 - F_5) \times (1 - F_6)] \quad (2.21)$$

$$F_C = 1 - [(1 - F_7) \times (1 - F_8) \times (1 - F_9)] \quad (2.22)$$

$$F_D = 1 - [(1 - F_{10}) \times (1 - F_{11})] \quad (2.23)$$

$$F_E = 1 - [(1 - F_{12}) \times (1 - F_{13})] \quad (2.24)$$

$$F_F = 1 - [(1 - F_{14}) \times (1 - F_{15})] \quad (2.25)$$

Bu eşitliklerde $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}$ ve S_{15} alt sistemlerinin güvensizlik değerleri sırasıyla $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}$ ve F_{15} ile gösterilmektedir. S_1, S_2 ve S_3 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_A ile ifade edilmektedir. S_4, S_5 ve S_6 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_B ile ifade edilmektedir. S_7, S_8 ve S_9 birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_C ile ifade edilmektedir. S_{10} ve S_{11} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_D ile ifade edilmektedir. S_{12} ve S_{13} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_E ile ifade edilmektedir. S_{14} ve S_{15} birbirine seri bağlıdır ve bu kısmın güvensizlik hesabının sonucu F_F ile ifade edilmektedir. Bu durumda A, B ve C kısımları birbirine paralel bağlıdır. Yine aynı şekilde D, E ve F kısımları da birbirine paralel bağlıdır. Birbirine paralel bağlı olan bu bağlantıların güvensizlikleri;

$$F_{ABC} = F_A \times F_B \times F_C \quad (2.26)$$

$$F_{DEF} = F_D \times F_E \times F_F \quad (2.27)$$

şeklinde hesaplanır. Son olarak ABC ve DEF kısımları hesaplamaya katılır. ABC ve DEF birbirine seri bağlıdır ve sistemin güvensizliği;

$$F_S = 1 - [(1 - F_{ABC}) \times (1 - F_{DEF})] \quad (2.28)$$

şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikte sistemin güvensizliği F_S ile gösterilmektedir.

2.2.3. Uyum iyiliği testi ve olasılık dağılım modelleri

Bir üretim makinesinin veya hattının güvenilirliğini hesaplayabilmek için arızalanma ve tamir süreleri verilerinden yararlanılır. Güvenilirlik, belirli bir süre sonra makine veya hattın arızaya geçmeme olasılığı olduğu için, güvenilirlik hesabı geçmiş arıza verilerinin dağılımına bağlı olarak yapılır. Bu nedenle güvenilirlik analizlerinde birtakım olasılık dağılım fonksiyonları kullanılır. Olasılık dağılım modelleri, aynı özelliklere sahip verilerin istatistiksel analizinin daha kolay yapılması için geliştirilmiş modellerdir (Akdeniz, 2002; Atamer'den (2009)).

Her olasılık dağılım modelinin farklı bir karakteristiği vardır. Bu nedenle güvenilirlik hesabında kullanılacak olasılık dağılım modeline doğru karar vermek önemlidir. Güvenilirlik hesabında kullanılacak olasılık dağılım modeli, güvenilirlik analizinde kullanılacak arıza verilerinin dağılım karakteristiğine bağlı olarak belirlenir. Makine ömür sürelerini gösteren veriler genellikle sürekli rastgele değişken özelliğe sahiptir ve bu nedenle bu verilerin ömür dağılımları da sürekli dağılımlardır (Atamer, 2009). Güvenilirlik analizlerinde Weibull, Üstel, Log-normal ve Normal dağılım modelleri yaygın olarak kullanılan dağılım modellerindedir (Atamer, 2009; Uzun ve Özdoğan, 2011).

Verileri temsil edecek bir olasılık dağılım modeli kullanmadan önce, o modelin yeterliliğini test etmek gerekir. Uyum iyiliği testi (goodness-of-fit test) ile olasılık dağılım modelinin yeterliliğine karar verilebilir (Woodruff ve Moore, 1988). Kolmogorov–Smirnov testi, Anderson–Darling testi, Chi-squared testi, Shapiro–Wilk testi ve Cramér–von Mises testi uyum iyiliği testlerine bazı örneklerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, materyal kısmında güvenilirlik analizinin yapıldığı ortama ve analiz için kullanılan araçlara yer verilirken, yöntem kısmında güvenilirlik analizi için kullanılan metodlara yer verilmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmada güvenilirlik analizi, MCB üretim hattında yapılmıştır. Bu bölümde, minyatür devre kesiciler, minyatür devre kesici üretim hattı, minyatür devre kesici üretim hattı veri toplama ve analiz programı konularına yer verilmiştir.

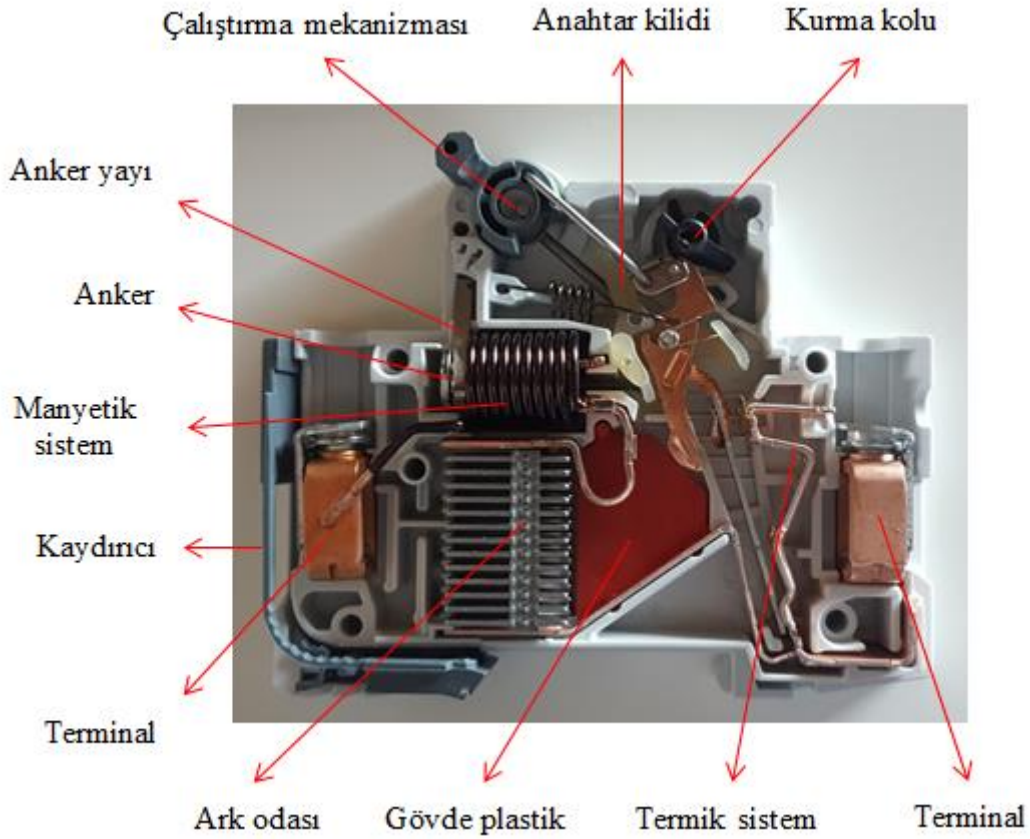
3.1.1. Minyatür devre kesiciler

Minyatür devre kesiciler; elektrik devresini, aşırı yük akımlarının ve kısa devre akımlarının etkilerine karşı koruyan cihazlardır. Binalar, sistemler ve özellikle insanlar için güvenilir koruma sağlar.

Minyatür devre kesiciler, bağlı oldukları hattı ve elektirik beslemesi o hattan yapılan cihazları aşırı akımlardan ve kısa devrelerden korumaktadır. Bir hatta, minyatür devre kesicinin tipine bağlı olarak olması gerekenden daha fazla yük çeken cihazlar bağlandığında ve çalıştırıldığında çekilen akım artar ve aşırı akım durumu oluşur. Örneğin; bir evde fırın, elektrik süpürgesi, saç kurutma makinesi, ütü, tost makinesi gibi yüksek akım çeken cihazlar aynı hatta bağlandığında ve aynı anda çalıştırıldığında, o hatta aşırı akımın oluşmasına sebep olur. Aşırı akımla birlikte kablolarda ve minyatür devre kesici terminallerinde aşırı ısınma meydana gelir. Aşırı ısınmaya bağlı olarak da yangın gibi tehlikeli bir riskle karşı karşıya kalınabilir. Bu durumda hattaki minyatür devre kesicinin görevi, enerjiyi kesmektir. Şekil 3.1'de bir Siemens minyatür devre kesicinin iç yapısı gösterilmektedir.

Minyatür devre kesiciler termik açma ve manyetik açma olmak üzere 2 şekilde açma yapabilir. Termik açma, minyatür devre kesiciden sürekli aşırı akımın geçmesi

sonucu gerçekleşen açma türüdür. Minyatür devre kesiciden sürekli aşırı akım geçtiğinde, termik sistem parçasındaki bimetal şerit ısınır ve bu ısınmaya bağlı olarak bükülür. Bimetal şeritin bükülmesi ile birlikte çalıştırma mekanizmasına bağlı olan mekanik sistem serbest kalır ve minyatür devre kesici kontaklarını açar. Manyetik açma ise, kısa devre durumlarında gerçekleşen açma türüdür. Minyatür devre kesicinin bağlı olduğu hatta kısa devre olduğunda, akım aniden yükselir. Akımın aniden yükselmesiyle birlikte manyetik sistem parçasındaki bobinde elektromanyetik alan oluşur. Elektromanyetik alanın oluşturmuş olduğu elektromanyetik kuvvet ile birlikte bobinin içine yerleştirilmiş anker parçası hareket eder. Anker, açma koluna vurarak çalıştırma mekanizmasına bağlı olan mekanik sistemin serbest kalmasına neden olur ve minyatür devre kesici kontaklarını açar.



Şekil 3.1. Siemens minyatür devre kesicinin iç yapısı

3.1.2. Minyatür devre kesici üretim hattı

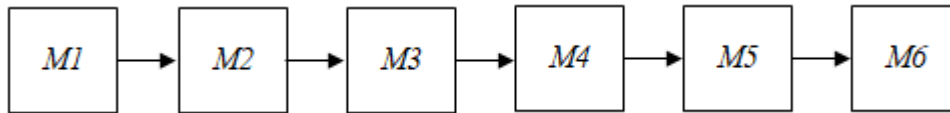
Güvenilirlik analizinin yapıldığı minyatür devre kesici üretim hattı toplam 11 makineden oluşmaktadır ve makinelerin hepsi birbirine seri bağlıdır. Bu makineler hattın

başından sonuna doğru sırasıyla; hat yükleme makinesi, manyetik sistem ve anker makinesi, kurma kolu ve kaydırıcı makinesi, anker yayı ve ark odası makinesi, kamera ve kapak makinesi, perçin makinesi, tampon makinesi, test makinesi, lazer baskı makinesi, koruma parçası makinesi ve paketleme makinesidir. Üretim akış yönüne göre hattın ilk makinesi hat yükleme makinesi iken, son makinesi paketleme makinesidir.

Hat yükleme makinesi, yarı mamul olarak gelen minyatür devre kesicilerin hatta otomatik olarak beslenmesini sağlayan makinedir. Minyatür devre kesiciler yarı mamul olarak şarjörler içinde dizili bir şekilde gelmektedir ve şarjörler bir robot aracılığı ile besleme istasyonlarına yerleştirilmektedir. Manyetik sistem ve anker makinesi, minyatür devre kesicinin manyetik sistem ve anker parçalarının montajını yapan makinedir. Kurma kolu ve kaydırıcı makinesi, minyatür devre kesicinin kurma kolu ve kaydırıcı parçalarının montajını yapan makinedir. Anker yayı ve ark odası makinesi, minyatür devre kesicinin anker yayı ve ark odası parçalarının montajını yapan makinedir. Kamera ve kapak makinesi, minyatür devre kesicinin içindeki parçaların varlığını ve konumlarını bir kamera ile kontrol eder. Bununla birlikte minyatür devre kesicinin kapağının montajını yapar. Perçin makinesi, minyatür devre kesicinin kapak ve gövdesini perçinleyen makinedir. Tampon makinesi, perçin makinesi ile lineer test makinesi arasında geçiş makinesidir. Barındırdığı hareketli raflara minyatür devre kesicileri dizer ve hat içinde tampon görevi görür. Eğer perçin makinesinde veya öncesinde bir arıza olursa, depoladığı minyatür devre kesiciler bitene kadar minyatür devre kesicileri göndererek, tampon makinesinden sonrasının ürünsüz kalmadan çalışmasını sağlar. Böylece hattın sürekli çalışır durumda kalması hedeflenir. Test makinesi, minyatür devre kesicilerin fonksiyonlarını doğru şekilde yerine getirip getirmediğini tespit etmek için birtakım testleri yapan makinedir. Test makinesi, minyatür devre kesicilerin termik açma ve manyetik açma zamanlamasını ve limitlerini test eder. Bununla birlikte minyatür devre kesicinin mekanik yapısının da düzgün çalışıp çalışmadığı test makinesinde test edilir. Her minyatür devre kesici tipi için bir reçete vardır. Test makinesi ürünün reçetesindeki parametrelere göre gerekli testleri yapar. Testler sonucunda düzgün bir şekilde çalıştığı tespit edilen cihazlar sağlam cihaz olarak bir sonraki makine olan lazer baskı makinesine gönderilir. Sağlam olmayan bozuk cihazlar ise makine tarafından ıskartaya ayrılır. Lazer baskı makinesi, minyatür devre kesicilerin üst ve yan yüzeylerine, ürün tipine bağlı olarak karakteristik bilgilerini ve firmanın bilgilerini içeren baskıları yapan makinedir. Koruma parçası makinesi, minyatür

devre kesicinin koruma parçasının montajını yapan makinedir. Bununla birlikte minyatür devre kesicinin yüksek gerilim testini de yapar. Paketleme makinesi, üretim akış yönüne göre hattın son makinesidir. Üretim süreci tamamlanan minyatür devre kesicilerin otomatik olarak paketlenmesini sağlar. Ürünler belirli adetler halinde sıralanıp kutulara yerleştirilerek paketleme işlemi gerçekleştirilir.

Tampon makinesi hattın ortasında depo görevi görmektedir. Operasyonel süreçler tampon makinesinin öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada, minyatür devre kesici üretim hattının tampon makinesinden önceki kısmı ele alınmıştır. Yani güvenilirlik analizinde, üretim akış yönüne göre minyatür devre kesici üretim hattının ilk 6 makinesi ele alınmıştır ve çalışmada bundan sonra ilk 6 makinelik kısım hat olarak ifade edilecektir. Üretim akış yönüne göre ilk 6 makine sırasıyla hat yükleme makinesi, manyetik sistem ve anker makinesi, kurma kolu ve kaydırıcı makinesi, anker yayı ve ark odası makinesi, kamera ve kapak makinesi ve perçin makinesidir. Yine bundan sonra bu çalışmada, hat yükleme makinesi, manyetik sistem ve anker makinesi, kurma kolu ve kaydırıcı makinesi, anker yayı ve ark odası makinesi, kamera ve kapak makinesi ve perçin makinesi sırasıyla M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 ile temsil edilecektir. Şekil 3.2’de minyatür devre kesici üretim hattına ait blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Minyatür devre kesici üretim hattı blok diyagramı

3.1.3. Minyatür devre kesici üretim hattı veri toplama

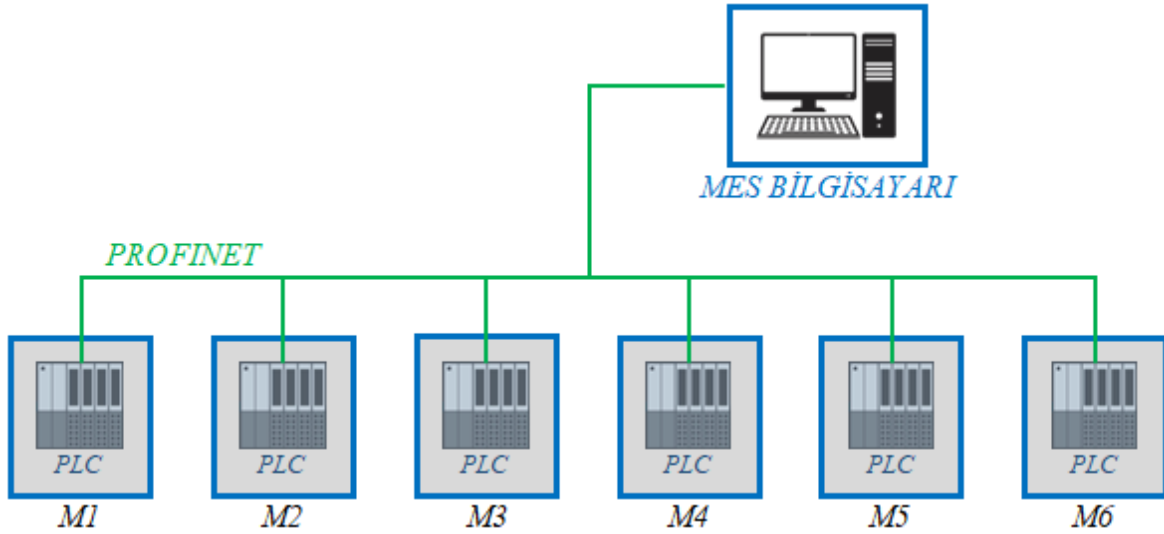
Çalışmanın yapıldığı üretim tesisi haftada 6 gün 3 vardiya olarak günde 24 saat çalışmaktadır, ancak minyatür devre kesici üretiminin yapıldığı hatta günlük vardiya sayısı üretim planına göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle güne bağlı olarak tek, iki veya üç vardiya çalışma yapılmaktadır.

Minyatür devre kesici üretim hattını oluşturan makineler modüler yapıdadır ve kendilerine ait bağımsız bir Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic

Controller, PLC) ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle makinelerden biri durduğunda diğerleri çalışmaya devam etmektedir, fakat çalışan makinelerdeki işlemi tamamlanmamış ürün kalmadığında otomatik olarak hattın üretimi de durmaktadır. Yani bir makinenin öncesinde herhangi bir yerde arıza varsa, o makine arızaya geçmeyecek, ancak bir süre sonra ürün de gelmediği için üretime devam edemeyecektir. Bu sebeple önceki makinelerden ürün gelene kadar beklemede kalacaktır. Yine aynı şekilde bir makinenin sonrasında herhangi bir yerde arıza varsa, o makine arızaya geçmeyecek, ancak makinedeki ürünler ilerleyemediği için de arızanın çözülmesini, barındırdığı ürünlerin makineden çıkmasını ve bir önceki makineden yeni ürünlerin gelmesini bekleyecektir. Hattın ortasındaki M6, M6'nın öncesindeki makinelerden birinde arıza olması durumunda, kendisinden sonra gelen makineleri besleyerek hattın tamamında üretim sürecinin aksamasını engellemektedir.

Minyatür devre kesici üretim hattı verileri bir MES ile toplanmakta ve analiz edilmektedir. Üretim verileri MES aracılığı ile otomatik olarak bir veri tabanına daha sonra analiz edilmek üzere kaydedilmektedir. PLC'lerden gelen verileri işlemek ve veri tabanına kaydetmek için bir bilgisayar kullanılmaktadır ve MES'i oluşturan yazılımlar bu bilgisayarda çalışmaktadır. Aynı zamanda bilgisayar, veri tabanı olarak kullanılmaktadır. MES için oluşturulmuş haberleşme yapısı Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Her makineye ait PLC, İşlem Alanı Ağı (Process Field Net, PROFINET) ile birbirine ve MES bilgisayarına bağlıdır. PROFINET, endüstriyel sistemlerden veri toplamak ve ekipmanları kontrol etmek için kullanılan, kısa sürede veri iletimini sağlayan ethernet tabanlı bir endüstriyel haberleşme çeşididir. PLC verileri MES bilgisayarına PROFINET üzerinden iletilmektedir.

MES ile veri tabanına vardiyalık olarak makine bazlı giren ürün adedi, çıkan ürün adedi, bozuk olarak ayrılan ürün adedi, Genel Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness, OEE) değeri, OEE'nin elverişlilik, performans ve kalite parametrelerinin değerleri ve duruş verileri kaydedilmektedir. Duruş verilerinde makine ismi, TTF, TTR, duruş mesajı, mesaj numarası gibi bilgiler bulunmaktadır. Güvenilirlik analizi çalışması da MES ile kaydedilen bu bilgilerden yararlanılarak yapılmıştır. Bir makine arızaya geçtiğinde, arızaya ait duruş mesajı MES bilgisayarını tarafından veri tabanına anlık olarak kaydedilmektedir.



Şekil 3.3. MES haberleşme yapısı

Güvenilirlik analizinde kullanılan veriler 2020 Mart ayına aittir. Veri tabanından duruş verileri çekildikten sonra, güvenilirlik hesaplamalarına başlamadan önce veriler ön işlemeden geçirilmiştir. Bu aşamada duruş verilerinden güvenilirlik analizinde kullanılacak kısımlar alınmış, kullanılmayacak kısımlar ise atılmıştır. Bu şekilde duruş verileri analize uygun bir şekilde düzenlenmiştir. Bununla birlikte planlı bakım, planlı duruş gibi makinelerin planlı olarak çalıştırılmadığı zamanlardaki duruş verileri de analize dahil edilmemiştir. Çünkü makineler, bırakıldıkları duruma bağlı olarak bu zamanlarda duruş mesajı üretebilmektedir. Verilerin bu şekilde ön işlemeden geçirilmesi önemlidir. Çünkü analize girmemesi gereken veriler, hatalı bir veri kümesinin oluşmasına neden olur ve analiz de buna bağlı olarak doğru sonucu vermez.

3.1.4. Analiz programı

Bu çalışmada yapılan bütün analizler Minitab 19 programında yapılmıştır. Minitab, verilerle ilgili hesaplamaları ve grafiklerin oluşturulmasını otomatik olarak yapan istatistiksel analiz yazılımıdır. Kapsamlı makine öğrenimi, istatistiksel analiz ve süreç iyileştirme araçları sunarak şirketlerin eğilimleri tespit etmesine, sorunları çözmesine ve verilerdeki değerli noktaları keşfetmesine yardımcı olur (Anonim, 2021).

Minitab ile kullanıcılar, veri analizine ve sonuçlarının yorumlanmasına detaylı bir şekilde odaklanabilir. Yazılım, altı sigma gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak

kullanılmaktadır (Anonim, 2020). Bu çalışmada, pareto grafiklerinin analizi, veriler için tanımlayıcı istatistiklerin analizi, uyum iyiliği testleri, olasılık dağılım modellerinin analizi ve parametrik olmayan analizler Minitab programı kullanılarak yapılmıştır.

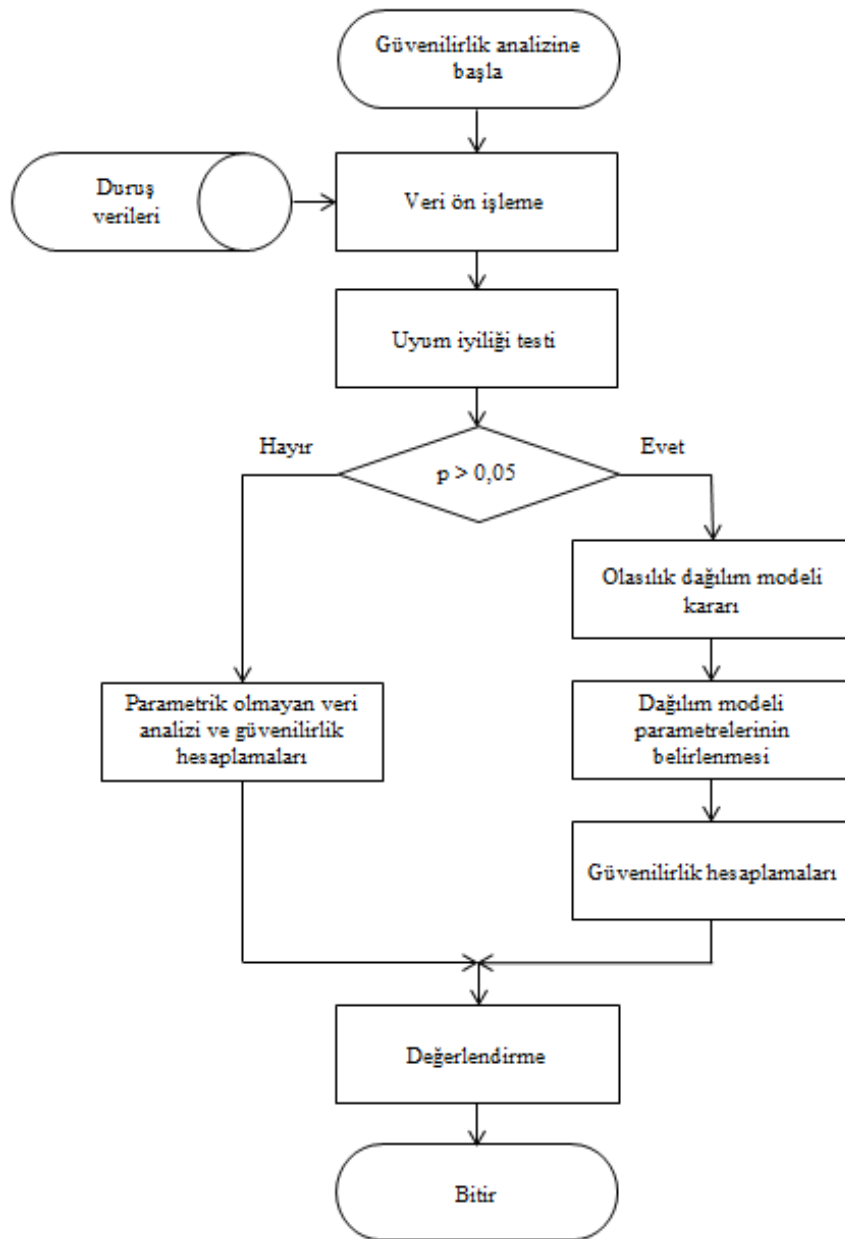
3.2. MCB Üretim Hattında Güvenilirlik Analizi

Güvenilirlik analizine başlamadan önce, ilk olarak güvenilirlik analizi yapılacak hat belirlenir. Bununla birlikte o hatta ele alınacak en küçük alt sistemlerin kararı verilir. Bu alt sistemler, hattı oluşturan makineler veya makinelerde alt operasyonların gerçekleştirildiği istasyonlar olabilir. Bu örneklerle birlikte daha küçük alt sistemlerde veya daha büyük alt sistemlerde güvenilirlik analizi yapmak mümkündür. Alt sistemler ne kadar küçük olursa güvenilirlik analizi o ölçüde detaylı sonuçlar verir. Bu çalışmada ele alınan alt sistemler MCB üretim hattını oluşturan makinelerdir.

Bir üretim hattında güvenilirlik analizi yapabilmek için duruş verilerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle analizin yapılacağı zaman dilimi için duruş verilerinin toplanması gerekir. Verilerin toplanması için farklı yöntemler kullanılabilir. Alt yapıya bağlı olarak duruş verilerini manuel veya otomatik olarak toplamak mümkündür. Duruş verilerinin manuel olarak toplanmasına örnek olarak, güvenilirlik analizinin yapılacağı hatta çalışan üretim sorumlularının, her duruşu manuel olarak bir yere kaydetmesi verilebilir. Duruş verilerinin otomatik şekilde toplanmasına örnek olarak ise, bir otomasyon sistemiyle makinelerden alınan arıza bilgilerinin, veri tabanına otomatik kaydedildiği bir yapı verilebilir. Özellikle akıllı fabrikalarda veriler bu şekilde toplanmaktadır. Güvenilirlik analizinde ele alınacak alt sistemin kararı, duruş verilerinin bağımsız olarak toplanabildiği alt sistemlere göre verilmelidir. Yani güvenilirlik analizinde ele alınacak en küçük alt birime ait bağımsız duruş verileri toplanabilmelidir. Eğer güvenilirlik analizinde ele alınacak alt sistem için duruş verileri toplamak mümkün değilse daha büyük alt sistemler seçilmelidir. Bu çalışmada kullanılan duruş verileri, bir MES ile veri tabanına otomatik olarak kaydedilmiştir.

Bir işletmenin üretim hatlarında veya makinelerinde güvenilirlik analizi gerçekleştirebilmek, birtakım disiplinsel çalışmaları gerekli kılmaktadır. Şekil 3.4'te bu çalışmada güvenilirlik analizi için takip edilen uygulama adımlarına ait akış şeması

gösterilmektedir. Öncelikle güvenilirlik analizinin yapılacağı hattaki makinelere ait duruş verileri, veri tabanından çekilir. Duruş verileri toplandıktan sonra bir ön işlemeden geçirilir. Bu aşamada veriler, güvenilirlik analizinde kullanılacak forma getirilir ve hatalı veriler çıkarılır. Güvenilirlik analizi duruş verilerinin TTF ve TTR değerleri kullanılarak yapıldığı için, bu değerlerin belirlenmesi önemlidir. Bununla birlikte duruş verilerinde ayıklama yapmak gerekebilir. Eğer analizde ele alınan sistem bilinçli olarak belirli zaman aralıklarında çalıştırılmıyorsa ve bu süreler makine arızası gibi düşünülüp verilere duruş kaydı olarak geçmişse, bu verilerin analize dahil edilmemesi gerekir.



Şekil 3.4. Güvenilirlik analizi uygulaması akış şeması

Duruş verileri güvenilirlik analizinde kullanılabilir hale getirildikten sonra uyum iyiliği testine sokulur ve uyum iyiliği testi sonucunda verilerin bir parametrik olasılık dağılımına uyum gösterip göstermediği belirlenir. Bir veya daha fazla parametrik olasılık dağılımına uygunluk gösteren veriler için olasılık dağılım modelinin kararı verilir. Daha sonra kararlaştırılan olasılık dağılım modelinin parametreleri o veri seti için belirlenir. Olasılık dağılım modelinin parametreleri de belirlendikten sonra olasılık dağılım modeline ait formüller ve parametreler kullanılarak güvenilirlik formülleri çıkartılır ve güvenilirlik hesaplamaları yapılır. Herhangi bir parametrik olasılık dağılıma uyumluluk göstermeyen duruş verileri için ise parametrik olmayan analiz yöntemleri ile güvenilirlik değerleri hesaplanır.

Bu çalışmada olasılık dağılım modellerinin yeterliliklerini tespit etmek için, en sık kullanılan uyum iyiliği testlerinden biri olan Anderson–Darling testi kullanılmıştır. Anderson-Darling testi ile Weibull, Lognormal, Exponential, Loglogistic, 3-Parameter Weibull, 2-Parameter Exponential, Smallest Extreme Value, Normal ve Logistic olasılık dağılım modelleri değerlendirilmiştir. Her makine için Anderson-Darling test istatistiği değeri $p > 0,05$ olan dağılımlar anlamlı kabul edilmiştir ve güvenilirlik analizi için o dağılım modeli kullanılmıştır. Anderson-Darling testi sonucunda, testin uygulandığı veri seti birden fazla parametrik olasılık dağılıma uygun olduğu sonucuna varılabilir. Bu durumda en yüksek uyumluluk gösteren dağılım modeli seçilebilir. Güvenilirlik analizinde kullanılacak olasılık dağılım modeli kararlaştırıldıktan sonra dağılım modelinin o veri seti için parametrelerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada parametrik dağılım modellerinin parametrelerinin tahminlemede En Çok Olabilirlik Tahminleme (Maximum Likelihood Estimation, MLE) yöntemi kullanılmıştır.

Duruş verileri parametrik olasılık dağılımlardan en az birine uyan makineler için seçilen dağılım modelinin olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları kullanılarak güvenilirlik formülü çıkartılır. Bu şekilde makine bazlı güvenilirlik hesaplamaları yapılabilir. Her makinenin kendine ait güvenilirlik formülü kullanılarak bazı örnek süreler için güvenilirlik değerleri elde edilir.

Her veri seti bir parametrik dağılıma uymayabilir. Parametrik olmayan, t_1, t_2, \dots, t_n şeklinde ifade edilen rastgele veri seti için en uygun yol, ampirik yaşam fonksiyonunun

veya ampirik dağılım fonksiyonunun grafiğini çizmektir (Topçu, 2007). Bu çalışmada herhangi bir parametrik dağılıma uymayan veriler için Kaplan-Meier analizi uygulanmıştır. Sağ kalım dağılımlarının şekil ile gösterilmesinde Kaplan-Meier analizi çok kullanışlıdır (İnceoğlu, 2013). Parametrik dağılımlar, parametrik olmayan dağılımlara göre daha doğru sonuçlar vermektedir, ancak yorum yapabilmek için parametrik olmayan verilerin de bu şekilde analize dahil edilmesi gerekmektedir. Duruş verileri parametrik olasılık dağılımlara uymayan makineler için uygulanan parametrik olmayan analiz sonucunda, veri setine bağlı olarak belirli örneklerde güvenilirlik değerleri hesaplanmaktadır. Güvenilirlik analizinde de bu örneklerde hesaplanan güvenilirlik değerleri ele alınır. Veriler parametrik dağılım göstermediği için her süre için güvenilirlik değeri hesaplamak mümkün olmamaktadır.

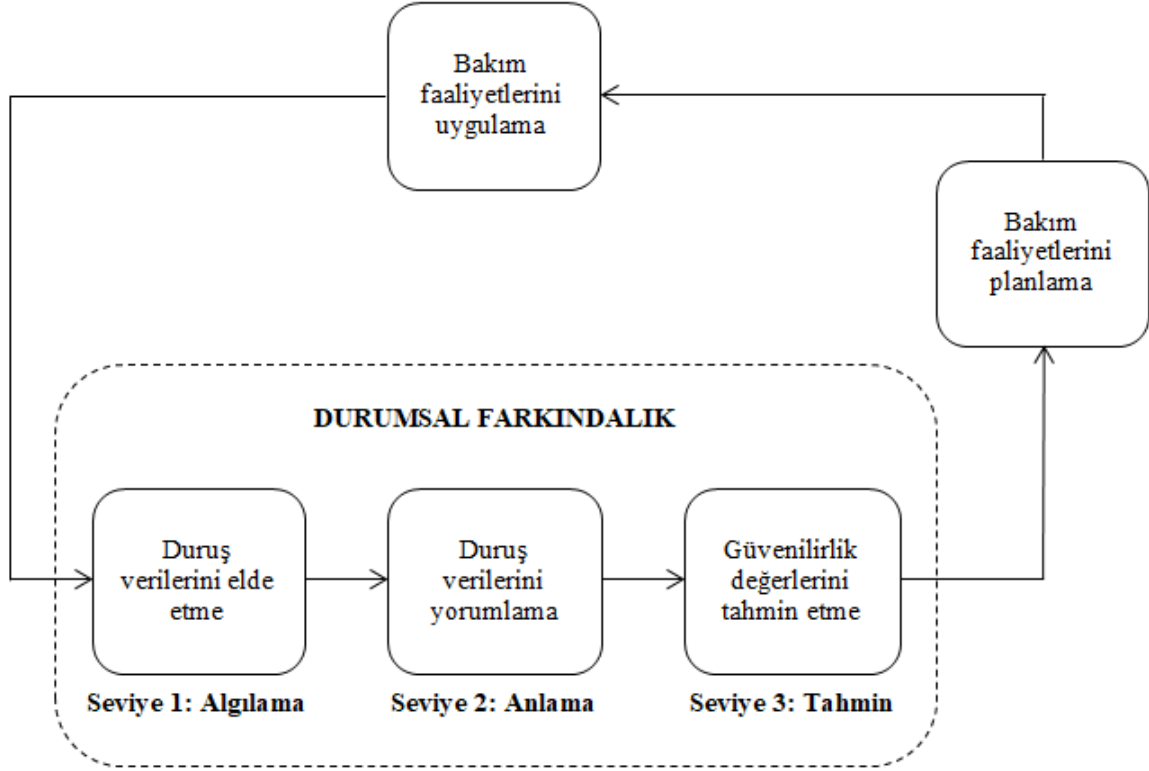
Bir işletmede güvenilirlik analizi yapmak, bakım faaliyetlerine yön vermek için önemlidir. Bu nedenle güvenilirlik hesaplamaları yapıldıktan sonra sonuçların, bakım faaliyetlerinin belirlenmesinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Değerlendirmeler sonucunda üretim performansını artırabilmek adına birtakım aksiyonlar alınabilir. Makineler arası güvenilirlik kıyasları yapılabilir ve güvenilirlik değerlerine bağlı olarak makine bazlı bazı aksiyonlar alınabilir.

3.3. Güvenilirlik Analizine Dayalı Durumsal Farkındalık

Üretim süreçlerinde güvenilirlik, üretim makinelerinin ve hatlarının çalışma performansını gösteren önemli bir ölçüttür. Çünkü güvenilirlik değeri, bir süre için ele alınan bileşenin veya sistemin arızasız olarak çalışma olasılığını gösterir.

Bir üretim tesisinde güvenilirlik analizinin yapılması, o işletmede durumsal farkındalığı artırır. Çünkü güvenilirlik analizi ile birlikte o işletmedeki üretim makineleri ve hatlarının çalışma performansları hakkında bilgi sahibi olunur. Güvenilirlik analizi, tanımı ve seviyeleri düşünüldüğünde durumsal farkındalık ile paralellik göstermektedir. Durumsal farkındalığın algılama, anlama ve tahmin şeklindeki adımları güvenilirlik analizinde de uygulanmaktadır. Şekil 3.5'te bu çalışmada kullanılan güvenilirlik analizinin durumsal farkındalık modeli gösterilmektedir. Güvenilirlik analizinde öncelikle ele alınacak bileşen veya sistemle ilgili arıza verileri elde edilir. Daha sonra elde edilen veriler ön işlemeden geçirilir, güvenilirlik analizinde kullanılacak hale getirilir ve verilerle ilgili

genel çıkarımlar yapılır. Güvenilirlik analizinin son adımında güvenilirlikle ilgili hesaplamalar gerçekleştirilir ve gelecekle alakalı olasılık tahminleri yapılır. Güvenilirlik analizi sonucunda elde edilen bilgiler bakım faaliyetlerinin planlanmasında kullanılır. Bakım faaliyetleri planlandıktan sonra da planlanan uygulamalar hayata geçirilir.



Şekil 3.5. Güvenilirlik analizinin durumsal farkındalık modeli

Güvenilirlik analizi, belirli periyotlarla tekrarlanması gereken bir analizdir. Bu da durumsal farkındalığın genel döngüsünde olması gereken bir durumdur. Güvenilirlik analizinde, ele alınan bileşenin özellikle yıpranma sürecinin tespiti için güvenilirlik hesaplarının periyodik olarak yapılması önemlidir. Çünkü güvenilirlik değeri eskiye göre ciddi bir düşüş gösteren sistem veya bileşenin, yıpranma sürecinde olması muhtemeldir. Bu durumun tespiti ve önlem ve düzeltme olarak gerekli aksiyonların alınması, o sistem veya bileşen için güvenilirlik değerini artıracaktır. Güvenilirliğin artması ile birlikte verimlilik artacak, üretim kapasitesi yükselecek ve maliyetler düşecektir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, MCB üretim hattında makine bazlı arıza türleri ve analizi, arızalanma ve tamir süresi verileri için tanımlayıcı istatistikler, makine bazında güvenilirlik hesabı ve güvenilirlik analizinin bakım faaliyetlerinde değerlendirilmesi konularına yer verilmiştir. MCB üretim hattında makine bazlı arıza türleri ve analizi ve arızalanma ve tamir süresi verileri için tanımlayıcı istatistikler bölümlerinde sunulan bilgiler üretim makinelerinin performanlarını detaylı bir şekilde değerlendirmede tek başlarına yeterli olmayabilir, ancak güvenilirlik analizinin sonuçlarını yorumlamada faydalıdır.

4.1. MCB Üretim Hattında Makine Bazlı Arıza Türleri ve Analizi

MCB üretim hatlarını oluşturan makineler ağırlıklı olarak pnömatik sistemlerden oluşmaktadır. Bu nedenle pnömatik pistonların hareketlerini yapamamalarından kaynaklanan duruşlar, arızaların büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Duruşlar birkaç saniye kadar kısa sürebilirken, birkaç saat de sürebilmektedir. Üretim operatörleri duruşların büyük bir bölümüne anlık olarak müdahale edebilmekte ve makineyi tekrar hızlı şekilde çalışır hale getirebilmektedir. Bu nedenle duruşların birçoğu kısa süreli duruştur.

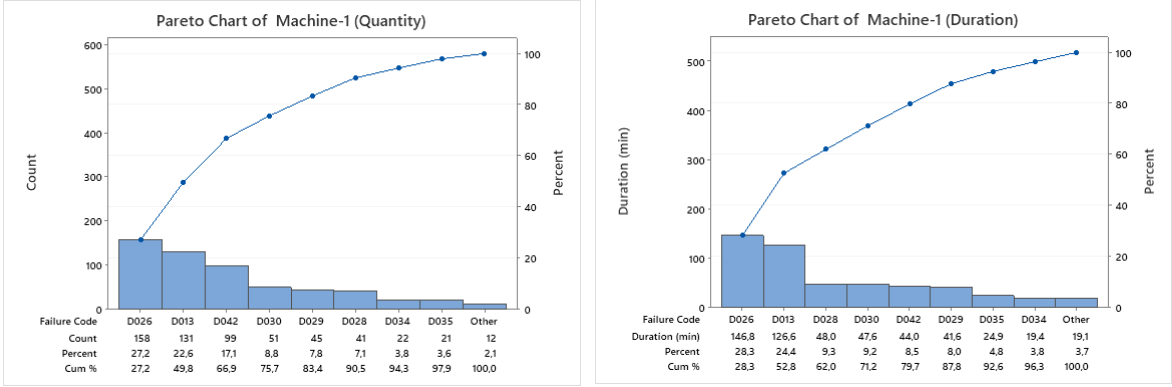
Makine arızaya geçtiğinde, arızanın karşılığında PLC tarafında oluşan duruş tanımı bazen arızanın asıl sebebini göstermez. Örneğin; bir pistonun hareket alanına bir parça takılırsa, piston hareketini tamamlayamaz ve bu durumda PLC tarafında, pistonun hareketini yapamadığına dair duruş kaydı oluşur. Bu duruş kaydı ilk bakışta pistonun kendisindeki bir arızaya işaret ediyormuş gibi gözükse de asıl arıza sebebi piston hareket alanına parçanın takılması, sıkışması veya akışı tıkayan bozuk parçaların varlığıdır. Yani pistondaki mekanik bir arıza değildir. Benzer şekilde, hava basıncının yetersiz olması ve piston üzerindeki sensörlerden birinin arızalanması gibi durumlarda, piston hareketleriyle ilgili oluşan duruş tanımları, arızanın asıl nedenini göstermeyen diğer örneklerdir. Bakım personelleri ve üretim operatörleri de bu tarzdaki duruş tanımlarından, arızaya neden olan asıl sebebi bulmak için yararlanmaktadır. PLC tarafında, pistonların hareketlerini zamanında doğru bir şekilde yapıp yapmadığı, pistonların üzerindeki sensörlerden gelen sinyallerin yazılımsal olarak yorumlanmasıyla kontrol edilmektedir. Pistonların hareketi

sonucunda piston sensörlerinin sinyalleri oluşturulmuş mantığa uygun şekilde, zamanında PLC'ye iletilmezse, makine duruşa geçer ve arıza olarak da bu mantık için oluşturulmuş duruş kodu aktif olur. M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 için sırasıyla 40, 59, 55, 69, 57 ve 42 adet duruş kodu bulunmaktadır.

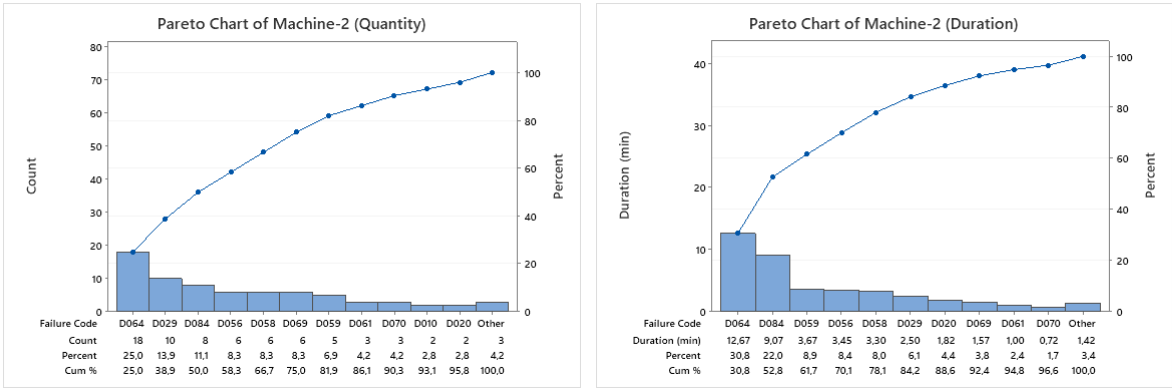
Makine duruşlarının dağılımları hem oluşma sıklığı hem de süre bazında ele alınmıştır. Şekil 4.1'de sırasıyla M1, M2 ve M3 için duruş sıklığına ve sürelerine göre pareto grafikleri gösterilmektedir. Verilerin toplandığı süre içerisinde M1 için 580 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk altı duruş, çoktan aza sıralandığında D026, D013, D042, D030, D029 ve D028 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 158, 131, 99, 51, 45 ve 41 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 518 dakika iken, süre bazında ilk altı duruş çoktan aza doğru D026, D013, D028, D030, D042 ve D029 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 146,8, 126,6, 48, 47,6, 44 ve 41,6 dakikadır.

M2 için 1 aylık süre içinde 72 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk altı duruş, çoktan aza sıralandığında D064, D029, D084, D056, D058 ve D069 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 18, 10, 8, 6, 6 ve 6 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 41 dakika iken, süre bazında ilk altı duruş çoktan aza doğru D064, D084, D059, D056, D058 ve D029 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 12,67, 9,07, 3,67, 3,45, 3,30 ve 2,50 dakikadır.

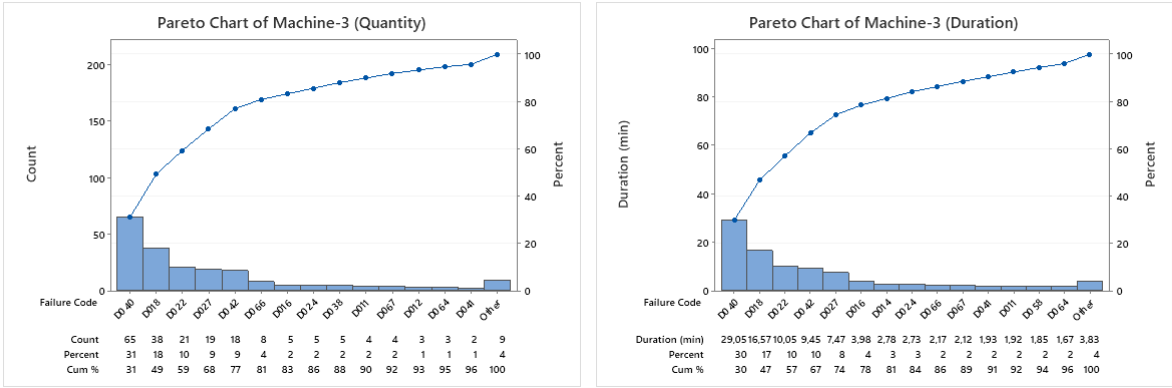
M3 için 1 aylık süre içinde 209 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk beş duruş, çoktan aza sıralandığında D040, D018, D022, D027 ve D042 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 65, 38, 21, 19 ve 18 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 98 dakika iken, süre bazında ilk beş duruş çoktan aza doğru D040, D018, D022, D042 ve D027 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 29,05, 16,57, 10,05, 9,45 ve 7,47 dakikadır.



(a)



(b)

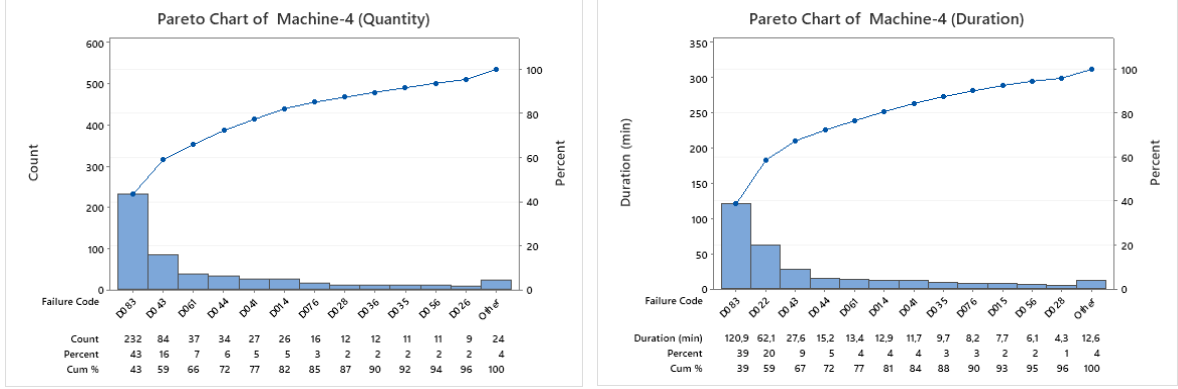


(c)

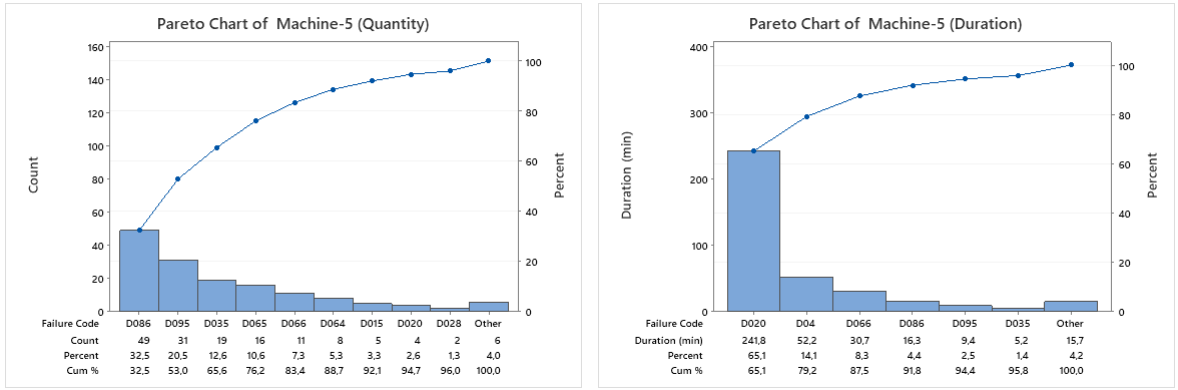
Şekil 4.1. M1, M2 ve M3 pareto grafikleri: a) M1 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, b) M2 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, c) M3 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri

M4, M5 ve M6 için duruş sıklığına ve sürelerine göre pareto grafikleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir. M4 için 1 aylık süre içinde 535 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk altı duruş, çoktan aza sıralandığında D083, D043, D061, D044, D041 ve D014 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 232, 84, 37, 34, 27 ve 26 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 312 dakika iken,

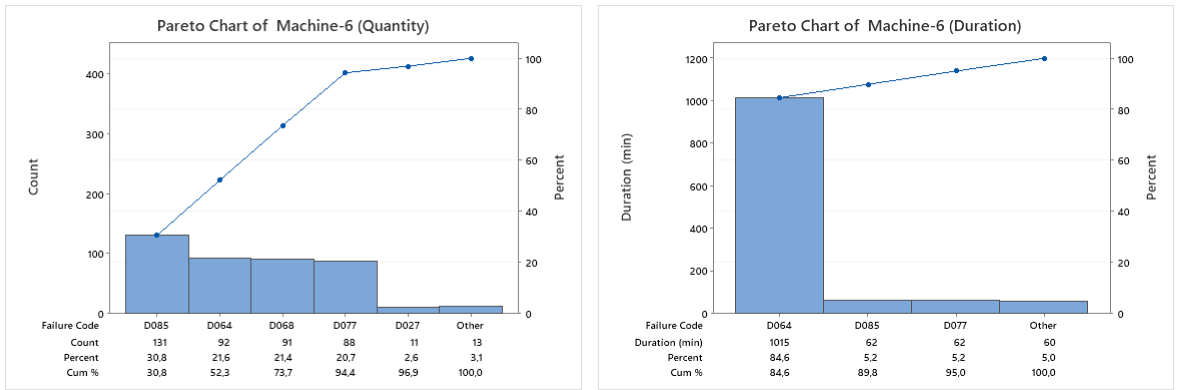
süre bazında ilk altı duruş çoktan aza doğru D083, D022, D043, D044, D061 ve D014 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 120,9, 62,1, 27,6, 15,2, 13,4 ve 12,9 dakikadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.2. M4, M5 ve M6 pareto grafikleri: a) M4 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, b) M5 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri, c) M6 için duruş sıklığına ve süresine göre pareto grafikleri

M5 için 1 aylık süre içinde 151 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk beş duruş, çoktan aza sıralandığında D086, D095, D035, D065 ve D066 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 49, 31, 19, 16 ve 11 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 371 dakika iken, süre bazında ilk beş duruş çoktan aza doğru D020, D04, D066, D086 ve D095 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 241,8, 52,2, 30,7, 16,3 ve 9,4 dakikadır.

M6 için 1 aylık süre için 426 adet arıza kaydı bulunmaktadır. En sık oluşan ilk dört duruş, çoktan aza sıralandığında D085, D064, D068 ve D077 kodlu duruşlardır. Bu duruşların sırasıyla 131, 92, 91 ve 88 kez oluştuğu görülmektedir. Arızaların sebep olduğu toplam duruş süresi ise yaklaşık 1200 dakika iken, süre bazında ilk üç duruş çoktan aza doğru D064, D085 ve D077 kodlu duruşlardır. Bu arızaların sebep olduğu toplam duruş süreleri sırasıyla 1015, 62 ve 62 dakikadır.

Çizelge 4.1’de oluşma sıklığına göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları makine bazlı olarak gösterilmektedir. Bu çizelge, makinelere ait arızaların duruş sıklığına göre oluşturulan pareto grafiklerinden elde edilmiştir. Makinelerin ve hattın performansını ve kullanım süresini artırmak için, arızaların gerçekleşme sebeplerini ortadan kaldırmaya yönelik yapılacak faaliyetlerde bu arızalar önceliklendirilebilir.

Çizelge 4.1. Makine bazlı oluşma sıklığına göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları

Makine	Duruşlar	Kümülatif Oran (%)
M1	D026, D013, D042, D030, D029, D028	90,5
M2	D064, D029, D084, D056, D058, D069	75
M3	D040, D018, D022, D027, D042	77
M4	D083, D043, D061, D044, D041, D014	82
M5	D086, D095, D035, D065, D066	83,4
M6	D085, D064, D068, D077	94,4

Çizelge 4.2’de duruş süresine göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları makine bazlı olarak gösterilmektedir. Bu çizelge, makinelere ait arızaların duruş süresine göre oluşturulan pareto grafiklerinden elde edilmiştir. Makinelerin ve hattın performansını ve kullanım süresini artırmak için, arızaların gerçekleşme sebeplerini ortadan kaldırmaya yönelik yapılacak faaliyetlerde Çizelge 4.1’deki arızalar ile birlikte bu arızalar da önceliklendirilebilir. Bazı arızaların etkisi oluşma sıklığı açısından yüksekken, bazılarının etkisi ise duruş süresi açısından yüksektir. Özellikle hem oluşma sıklığı hem de duruş süresi açısından etkisi yüksek arızaların gerçekleşme sebeplerinin ortadan kaldırılması makinelerde ve hatta ciddi performans ve kullanım süresi artışına sebep olacaktır.

Çizelge 4.2. Makine bazlı duruş süresine göre etkisi yüksek arızaların kümülatif oranları

Makine	Duruşlar	Kümülatif Oran (%)
M1	D026, D013, D028, D030, D042, D029	87,8
M2	D064, D084, D059, D056, D058, D029	84,2
M3	D040, D018, D022, D042, D027	74
M4	D083, D022, D043, D044, D061, D014	81
M5	D020, D04, D066, D086, D095	94,4
M6	D064, D085, D077	95

4.2. Arızalanma ve Tamir Süresi Verileri İçin Tanımlayıcı İstatistikler

Makinelerin arızalanma ve tamir sürelerini yorumlayabilmek için bazı tanımlayıcı istatistikler ortaya konulmaktadır. Çizelge 4.3’te her makine için arızalanma sürelerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri verilmiştir. Bu veriler; arıza adedi, arızalanma sürelerinin ortalama değeri, standart sapması, değişim katsayısı, minimum değeri, birinci çeyreklik değeri, üçüncü çeyreklik değeri, maksimum değeri, çarpıklık katsayısı ve basıklık katsayısıdır.

Çizelge 4.3. Arızalanma sürelerinin makine bazlı tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Arıza Sayısı	580	72	209	535	151	426
Ortalama (dk)	43,67	72,1	73,91	36,07	107,3	62,02
Standart Sapma	47,44	98,9	104,2	50,42	104,34	77,62
Değişim Katsayısı	1,0865	1,3714	1,4097	1,398	0,9727	1,2515
Minimum (dk)	1	1,2	1	1	1,18	1,07
1. Çeyreklik (dk)	10,91	6,8	8,52	4,37	20,6	8,72
3. Çeyreklik (dk)	58,67	85,6	85,57	46,43	171,08	80,43
Maksimum (dk)	335	393,4	475,37	401,2	424,75	452,67
Çarpıklık Katsayısı	2,11	1,91	2,27	2,87	1,07	2,16
Basıklık Katsayısı	5,99	2,98	4,98	11,31	0,45	5,23

Rastgele değişkenin standart sapması, varyansın karekökü olarak tanımlanır ve sıklıkla varyans yerine dağılımın yayılımını açıklamak için kullanılır. Bir rastgele değişkenin değişim katsayısı ise rastgele değişkenin standart sapmasının, ortalamasına oranıdır ve rastgele değişkenin değişkenliğinin boyutsuz bir ölçüsüdür (Tsarouhas ve Arvanitoyannis, 2010). Değişim katsayısının 1'den büyük olması o dağılımdaki değişkenliğin yüksek olduğunu göstermektedir (Koçak ve İşçioğlu, 2018). Çarpıklık, bir asimetri ölçüsüdür. Çarpıklık katsayısı negatifse sağa çarpık dağılım, pozitifse sola çarpık dağılım söz konusudur. Basıklık ise bir dağılımın normal dağılımdan ne kadar farklı olduğunu bir ölçüsüdür. Basıklık katsayısı negatifse basık bir dağılım, pozitifse tepe noktası daha keskin bir dağılım söz konusudur. Normal dağılımda çarpıklık ve basıklık katsayıları 0'dır.

Arızalanma sürelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde en çok arızalanan makine 580 arıza ile M1 iken, en az arızalanan makine 72 arıza ile M2'dir. Ortalama arızalanma süresi en yüksek makine 107,3 dakika ile M5 iken, en düşük makine 36,07 dakika ile M4'tür. Arızalanma sürelerinin dağılım değişkenliği açısından M3 1,4097

ile değişim katsayısı en yüksek, M5 0,9727 ile değişim katsayısı en düşük makinedir. Bunlarla birlikte arızalanma sürelerine göre makine bazlı birinci çeyreklik ve üçüncü çeyreklik değerleri de paylaşılmıştır. M1’de arızaların %25’i 10,91 dakika içinde, %75’i ise 58,67 dakika içinde, M2’de arızaların %25’i 6,8 dakika içinde, %75’i ise 85,6 dakika içinde, M3’te arızaların %25’i 8,52 dakika içinde, %75’i ise 85,57 dakika içinde, M4’te arızaların %25’i 4,37 dakika içinde, %75’i ise 46,43 dakika içinde, M5’te arızaların %25’i 20,6 dakika içinde, %75’i ise 171,08 dakika içinde ve M6’da arızaların %25’i 8,72 dakika içinde, %75’i ise 80,43 dakika içinde gerçekleşmesi beklenmektedir.

Çizelge 4.4’te her makine için tamir sürelerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri verilmiştir. Bu veriler; arıza adedi, tamir sürelerinin ortalama değeri, standart sapması, değişim katsayısı, minimum değeri, birinci çeyreklik değeri, üçüncü çeyreklik değeri, maksimum değeri, çarpıklık katsayısı, basıklık katsayısı ve elverişlilik değeridir. Elverişlilik, bir ekipmanın süre açısından çalışabilir durumda olma yüzdesi olarak tanımlanabilir ve şu şekilde hesaplanabilir (Liberopoulos ve Tsarouhas, 2005; Zhang vd., 2014):

$$\text{Elverişlilik} = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR}) \quad (4.1)$$

Elverişlilik formülünde MTTF ve Ortalama Tamir Süresi (Mean Time to Repair, MTTR) değerleri kullanılmaktadır.

Elverişlilik değeri ne kadar yüksekse, makinenin çalışma kapasitesinden yararlanma oranı da o kadar yüksektir. Özellikle duruş süresi uzun olan arızalar elverişlilik değerini ciddi şekilde düşürmektedir. Bununla birlikte bazı arızalar çok sık oluşmakla birlikte duruş süreleri kısa olabilmektedir. Bu tarz arızalar elverişlilik değerini çok düşürmeyebilir, ancak makinenin ve hattın performansını etkileyebilmektedir.

Tamir sürelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde ortalama tamir süresi en yüksek makine 2,82 dakika ile M6 iken, en düşük makine 0,467 dakika ile M3’tür. Tamir sürelerinin dağılım değişkenliği açısından M6 9,847 ile değişim katsayısı en yüksek, M3 0,8404 ile değişim katsayısı en düşük makinedir. Bunlarla birlikte tamir sürelerine göre makine bazlı birinci çeyreklik ve üçüncü çeyreklik değerleri de paylaşılmıştır. M1’de

arızaların %25'inin 0,3667 dakika içinde, %75'inin ise 1,05 dakika içinde, M2'de arızaların %25'inin 0,2 dakika içinde, %75'inin ise 0,7542 dakika içinde, M3'te arızaların %25'inin 0,2167 dakika içinde, %75'inin ise 0,6083 dakika içinde, M4'te arızaların %25'inin 0,183 dakika içinde, %75'inin ise 0,467 dakika içinde, M5'te arızaların %25'inin 0,15 dakika içinde, %75'inin ise 0,45 dakika içinde ve M6'da arızaların %25'inin 0,26 dakika içinde, %75'inin ise 0,65 dakika içinde tamir edilmesi beklenmektedir. Elverişliliği en yüksek makine 0,9937 ile M3 iken, en düşük makine 0,9565 ile M6'dır.

Çizelge 4.4. Tamir sürelerinin makine bazlı tanımlayıcı istatistikleri

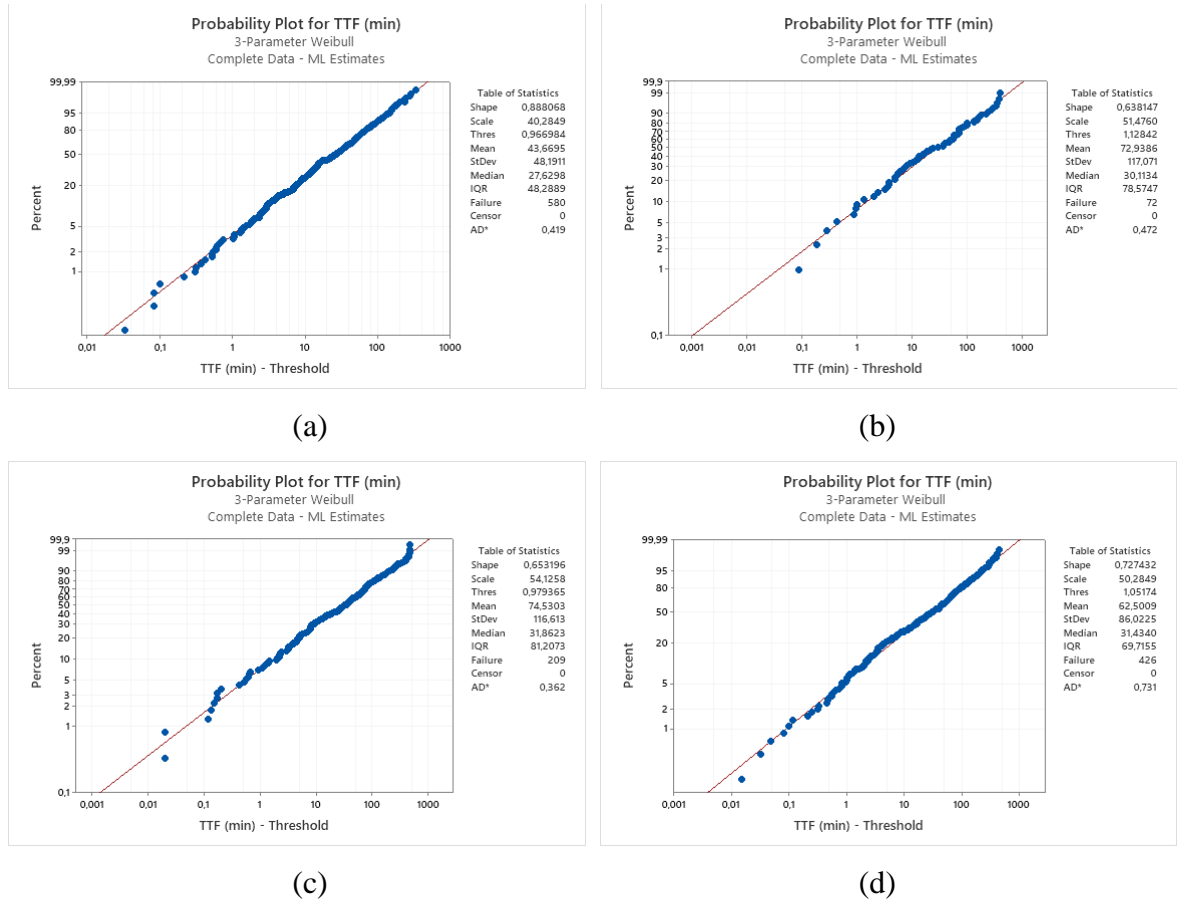
Özellik	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Arıza Sayısı	580	72	209	535	151	426
Ortalama (dk)	0,893	0,572	0,467	0,584	2,46	2,82
Standart Sapma	1,0568	0,6185	0,3923	2,781	20,09	27,73
Değişim Katsayısı	1,1833	1,0817	0,8404	4,7658	8,1717	9,847
Minimum (dk)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1. Çeyreklik (dk)	0,3667	0,2	0,2167	0,183	0,15	0,26
3. Çeyreklik (dk)	1,05	0,7542	0,6083	0,467	0,45	0,65
Maksimum (dk)	14,8667	3,8167	2,7833	62,083	241,48	450,27
Çarpıklık Katsayısı	6,39	2,81	2,96	20,5	11,48	14,08
Basıklık Katsayısı	66,05	10,61	12,88	450,37	136,11	207,16
Elverişlilik	0,9799	0,9921	0,9937	0,9841	0,9776	0,9565

4.3. Makine Bazında Güvenilirlik Hesabı

Bu bölümde, olasılık dağılım modellerinin ve parametrelerinin belirlenmesi ve makine bazlı yaşam olasılıkları tahmini konularına yer verilmiştir.

Anderson-Darling test istatistiği değerlerine göre makine bazlı arızalanma sürelerine uygun olasılık dağılım modelleri M1 için 3-parameter weibull, M2 için weibull, lognormal ve 3-parameter weibull, M3 için 3-parameter weibull ve M6 için 3-parameter weibull'dur. Güvenilirlik analizinde bu 4 makine için 3-parameter weibull olasılık dağılım modeli kullanılmıştır. M4 ve M5'in arızalanma süresi verileri için, Anderson-Darling test istatistiği değeri 0,05'ten büyük olan bir dağılım olmadığından, M4 ve M5'in arızalanma süresi veri kümesi parametrik olmayan dağılım olarak kabul edilmiş ve bu veriler için Kaplan-Meier analizi uygulanmıştır. M4 ve M5'in arızalanma süresi verilerine ait Kaplan-Meier analizi tahminlerine "Ek Açıklamalar" bölümünde yer verilmiştir.

Eğer seçilen olasılık dağılım modeli kullanılan veriler için uygunsa, verilere ait noktalar fit olan dağılım çizgisi boyunca çizgeye yakın düşmelidir. Şekil 4.3'te M1, M2, M3 ve M6 için arızalanma sürelerine ait olasılık grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.3. M1, M2, M3 ve M6 için arızalanma sürelerine ait olasılık grafikleri: a) M1, b) M2, c) M3, d) M6

3-Parameter weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (4.2)$$

Dağılımın parametreleri, şekil (β), ölçek (η) ve konum (γ)'dur. 3-Parameter weibull dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu ise,

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Çizelge 4.6'da arızalanma süresi verilerine göre parametrik dağılım gösteren makinelere ait olasılık dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Parametrik dağılım gösteren makine bazlı arızalanma süresi verilerine uygun dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri

Makine	Olasılık Dağılım Modeli	MLE Yöntemi ile Bulunan Dağılım Parametreleri
M1	3-Parameter Weibull	Şekil (β): 0,888068 Ölçek (η): 40,2849 Konum (γ): 0,966984
M2	3-Parameter Weibull	Şekil (β): 0,638147 Ölçek (η): 51,4760 Konum (γ): 1,12842
M3	3-Parameter Weibull	Şekil (β): 0,653196 Ölçek (η): 54,1258 Konum (γ): 0,979365
M6	3-Parameter Weibull	Şekil (β): 0,727432 Ölçek (η): 50,2849 Konum (γ): 1,05174

Makine bazlı tamir süresi verilerine uygun olasılık dağılım modelleri arızalanma süresi verilerinde de olduğu gibi Anderson-Darling testi ile belirlenmiştir. Anderson-

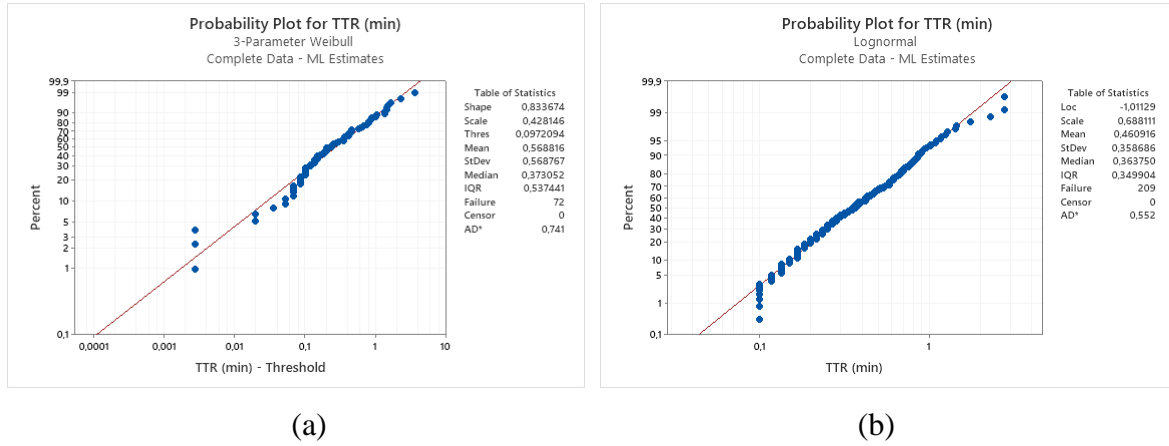
Darling testi ile her makineye ait tamir süreleri verileri için Weibull, Lognormal, Exponential, Loglogistic, 3-Parameter Weibull, 2-Parameter Exponential, Smallest Extreme Value, Normal ve Logistic dağılımları değerlendirilmiştir. Olasılık dağılım modellerine göre makine bazlı tamir sürelerinin olasılık grafikleri “Ek Açıklamalar” bölümünde verilmiştir. Olasılık dağılım modelinin değerlendirilen veri için uygunluğuna Anderson-Darling test istatistiği değerine göre karar verilmiştir. Buna göre her makine için Anderson-Darling test istatistiği değeri $p > 0,05$ olan dağılımlar anlamlı kabul edilmiştir ve güvenilirlik analizi için o dağılım modeli kullanılmıştır. Çizelge 4.7’de makine bazlı tamir sürelerine ait Anderson-Darling test istatistiği değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Tamir süresi verilerine göre makine bazlı Anderson-Darling test istatistiği değerleri

Dağılım	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Weibull	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lognormal	<0,005	0,017	0,231	<0,005	<0,005	<0,005
Exponential	<0,003	0,004	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Loglogistic	<0,005	0,008	0,022	<0,005	<0,005	<0,005
3-Parameter Weibull	<0,005	0,162	0,057	<0,005	<0,005	<0,005
2-Parameter Exponential	<0,01	0,022	0,204	<0,01	<0,01	<0,01
Smallest Extreme Value	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Normal	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Logistic	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Anderson-Darling test istatistiği değerlerine göre makine bazlı tamir sürelerine uygun olasılık dağılım modelleri M2 için 3-parameter weibull ve M3 için lognormal, 3-parameter weibull ve 2-parameter exponential’dır. Güvenilirlik analizinde M2 için 3-parameter weibull, M3 için lognormal olasılık dağılım modelleri kullanılmıştır. Şekil 4.4’te M2 ve M3 için tamir sürelerine ait olasılık grafikleri gösterilmektedir. M1, M4, M5 ve M6’nın tamir süresi verileri için, Anderson-Darling test istatistiği değeri 0,05’ten büyük olan bir dağılım olmadığından, M1, M4, M5 ve M6’nın arızalanma süresi veri kümesi

parametrik olmayan dağılım olarak kabul edilmiş ve bu veriler için Kaplan-Meier analizi uygulanmıştır. M1, M4, M5 ve M6'nın arızalanma süresi verilerine ait Kaplan-Meier analizi tahminlerine "Ek Açıklamalar" bölümünde yer verilmiştir.



Şekil 4.4. M2 ve M3 için tamir sürelerine ait olasılık grafikleri: a) M2, b) M3

Lognormal dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.4)$$

Dağılımın parametreleri, ölçek (σ) ve konum (μ)'dur. Lognormal dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu ise,

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Çizelge 4.8'de tamir süresi verilerine göre parametrik dağılım gösteren makinelere ait olasılık dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Parametrik dağılım gösteren makine bazlı tamir süresi verilerine uygun dağılım modelleri ve MLE yöntemi ile bulunan dağılım parametreleri

Makine	Olasılık Dağılım Modeli	MLE Yöntemi ile Bulunan Dağılım Parametreleri
M2	3-Parameter Weibull	Şekil (β): 0,833674 Ölçek (η): 0,428146 Konum (γ): 0,0972094
M3	Lognormal	Ölçek (σ): 0,688111 Konum (μ): -1,01129

4.3.2. Makine bazlı yaşam olasılıkları tahmini

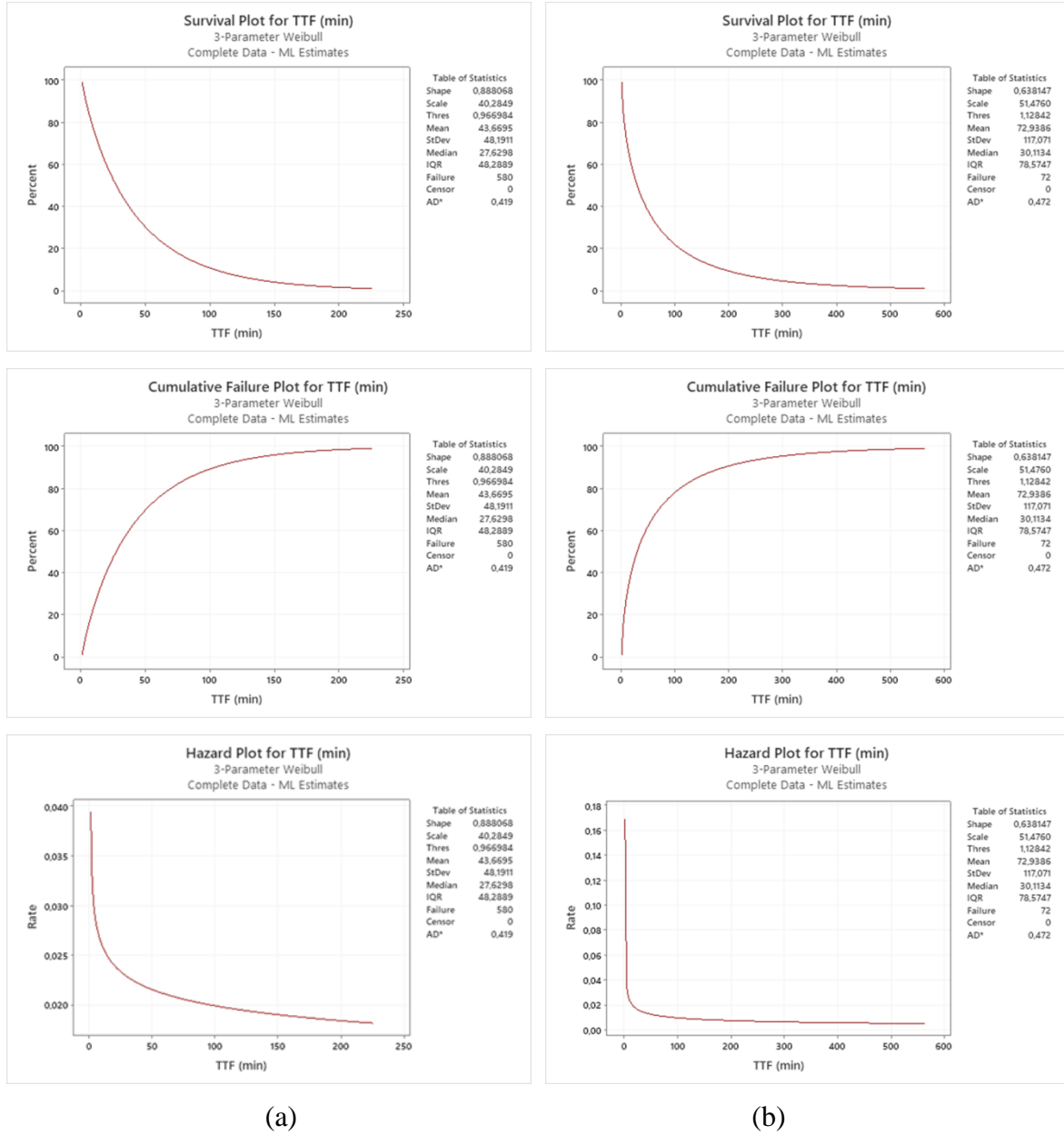
Arızalanma süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahminleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Arızalanma süresi verileri parametrik bir dağılıma uyan makinelerin yaşam olasılıkları, olasılık dağılım modeline ait kümülatif dağılım fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır. Arızalanma süresi verileri parametrik dağılıma uymayan makinelerin yaşam olasılıkları ise, Kaplan-Meier analizi ile hesaplanmıştır. Örnek süreler üzerinden hesaplanan yaşam olasılıkları değerleri, makineler arasında ve makinenin kendi içinde kıyaslanarak birtakım sonuçlara varılabilir. Bu çizelge, süreye bağlı olarak makinelerin arızalanmadan çalışabilme olasılıklarını göstermektedir. Örneğin; M1'in 30 dk'da arızalanmadan çalışma olasılığı 0,4735'tir. Çizelge incelendiğinde her makine için süre arttıkça, arızalanmadan çalışabilme olasılığı değerinin düştüğü görülmektedir. Zaten böyle olması da beklenen bir durumdur. Çünkü süre arttıkça, makinenin arızalanma olasılığı yükselir ve buna bağlı olarak arızalanmadan çalışabilme olasılığı da düşer.

Sağ kalım grafiği, bir ürünün, makinenin veya sistemin güvenilirlik işlevini gösterir. Yani belirli bir süreden sonra ele alınan ögenin düzgün çalışma olasılığını söyler. Sağ kalım grafiklerinde, süre arttıkça ele alınan ögenin güvenilirliği beklendiği gibi düşmektedir. Bu nedenle sağ kalım eğrisi aşağı doğru eğimlidir. Kümülatif arıza grafiği ise, ele alınan ögenin belirli bir süreye kadar başarısız olma olasılığını, yani arızalanma olasılığını gösterir. Kümülatif arıza grafiklerinde, süre arttıkça ele alınan ögenin başarısızlık olasılığı beklendiği gibi artmaktadır. Bu nedenle kümülatif arıza eğrisi yukarı doğru eğimlidir. Aynı süre için kümülatif arıza olasılığı değeri ile sağ kalım olasılığı değeri toplamı 1 olduğu için grafiklerden biri hakkında bilgi sahibi olduğunda, diğeri hakkında

da çıkarımlarda bulunulabilir. Arıza oranı grafiği, belirli bir zamandaki anlık arıza oranını göstermektedir. Artan arıza oranı eğrisi, zamanla arızalanma olasılığının daha yüksek olduğunu gösterir ve sistemin yıpranma sürecine işaret eder. Azalan arıza oranı eğrisi, arızalanma olasılığının sistemin erken kullanım dönemlerinde daha yüksek olduğunu gösterir ve sistemin yanma sürecine işaret eder. Sabit arıza oranı eğrisi ise, sistemin kullanım sürecinde arızalanma olasılığının eşit olduğunu gösterir ve sistemin faydalı ömrüne işaret eder. Şekil 4.5'te M1 ve M2'nin arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M1 ve M2 de azalan arıza oranı grafiklerine sahiptir.

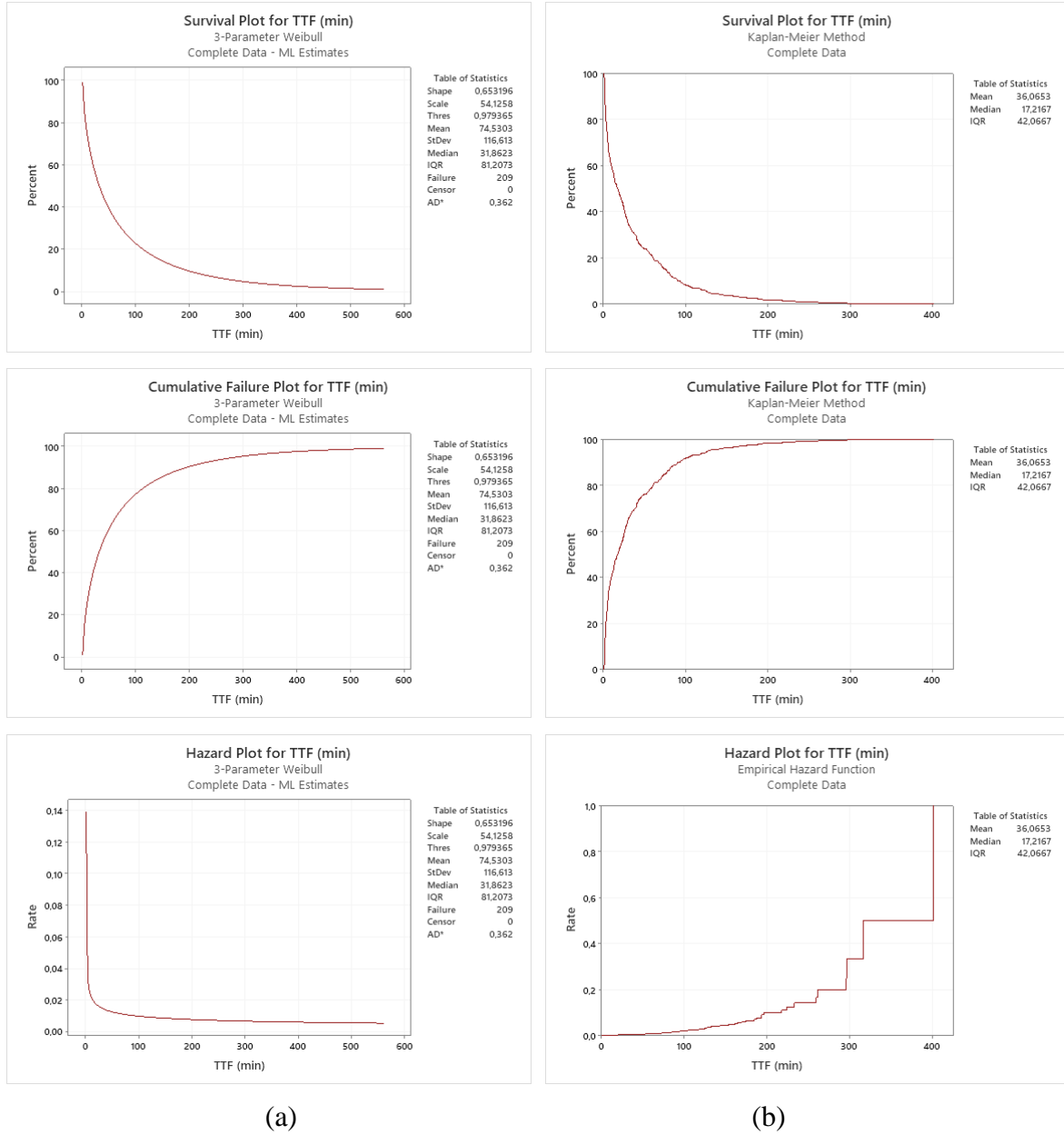
Çizelge 4.9. Arızalanma süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahmini

Zaman (dk)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
t = 2	0,9621	0,9286	0,928	0,8822	<0,9536 & >0,947	0,9459
t = 5	0,8785	0,8255	0,8328	<0,7178 & >0,714	<0,8676 & >0,8609	0,8546
t = 10	0,7671	0,7221	0,7333	<0,5963 & >0,5944	<0,8344 & >0,8278	0,7521
t = 20	0,5982	0,5903	0,6035	<0,4710 & >0,4692	<0,7682 & >0,7616	0,6116
t = 30	0,4735	0,5009	0,5140	<0,3495 & >0,3477	<0,7219 & >0,7152	0,5121
t = 40	0,3782	0,4335	0,4459	<0,2935 & >0,2916	<0,6291 & >0,6225	0,4359
t = 50	0,3040	0,3801	0,3917	<0,2393 & >0,2374	<0,5563 & >0,5497	0,3751
t = 60	0,2456	0,3364	0,3471	<0,2056 & >0,2037	<0,5364 & >0,5298	0,3254
t = 70	0,1992	0,2999	0,3097	<0,1720 & >0,1701	<0,5099 & >0,5033	0,2842
t = 80	0,1621	0,2690	0,2779	<0,1346 & >0,1327	<0,4702 & >0,4636	0,2495
t = 90	0,1323	0,2425	0,2506	<0,1028 & >0,1009	<0,4371 & >0,4305	0,2110
t = 100	0,1083	0,2194	0,2268	<0,0822 & >0,0804	<0,4238 & >0,4172	0,1947



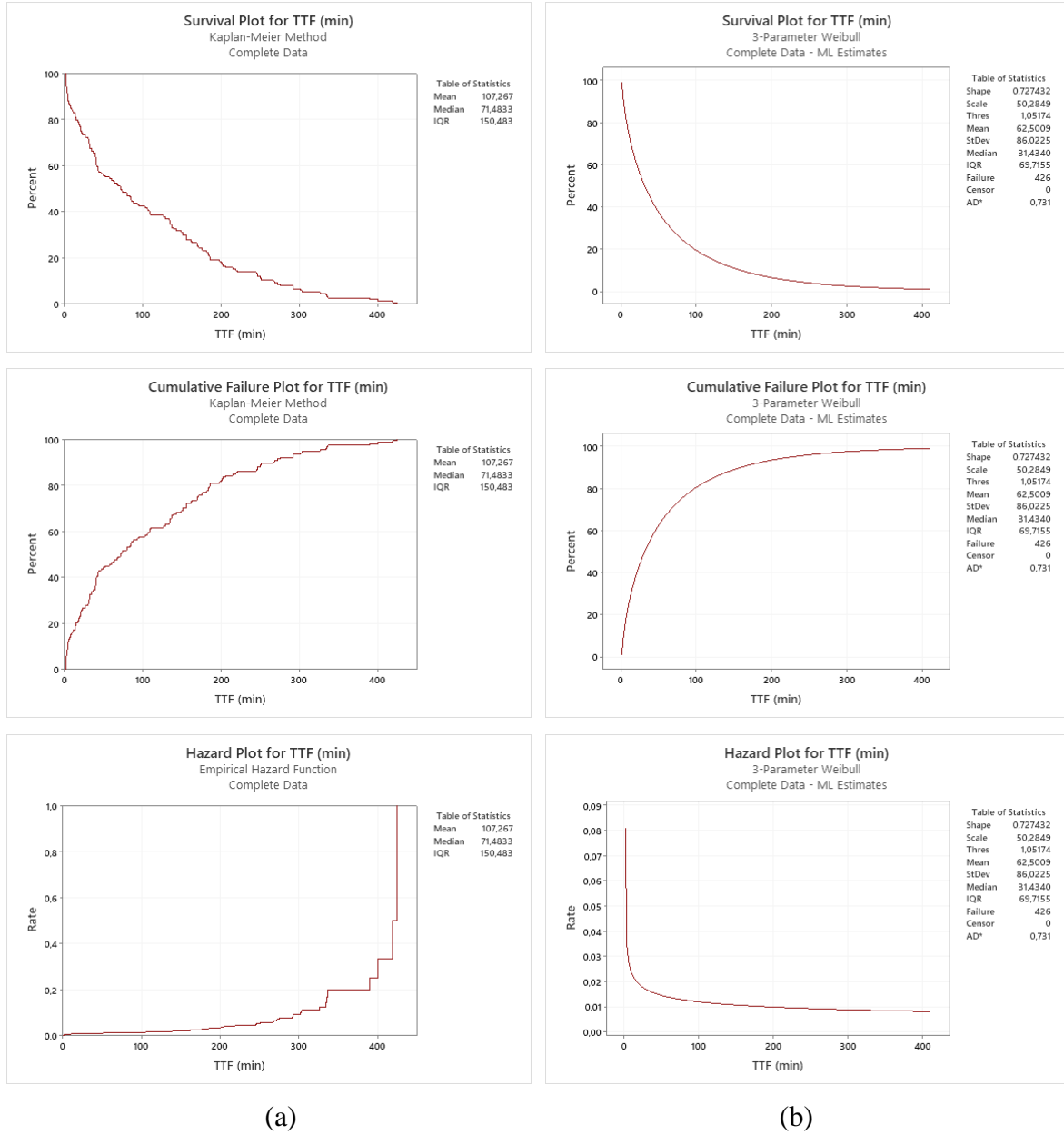
Şekil 4.5. M1 ve M2'nin arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M1'e ait grafikler, b) M2'ye ait grafikler

Şekil 4.6'da M3 ve M4'ün arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M3 azalan arıza oranı grafiğine sahip iken, M4 artan arıza oranı grafiğine sahiptir.



Şekil 4.6. M3 ve M4'ün arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M3'e ait grafikler, b) M4'e ait grafikler

Şekil 4.7'de M5 ve M6'nın arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M5 artan arıza oranı grafiğine sahip iken, M6 azalan arıza oranı grafiğine sahiptir.



Şekil 4.7. M5 ve M6'nın arızalanma süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M5'e ait grafikler, b) M6'ya ait grafikler

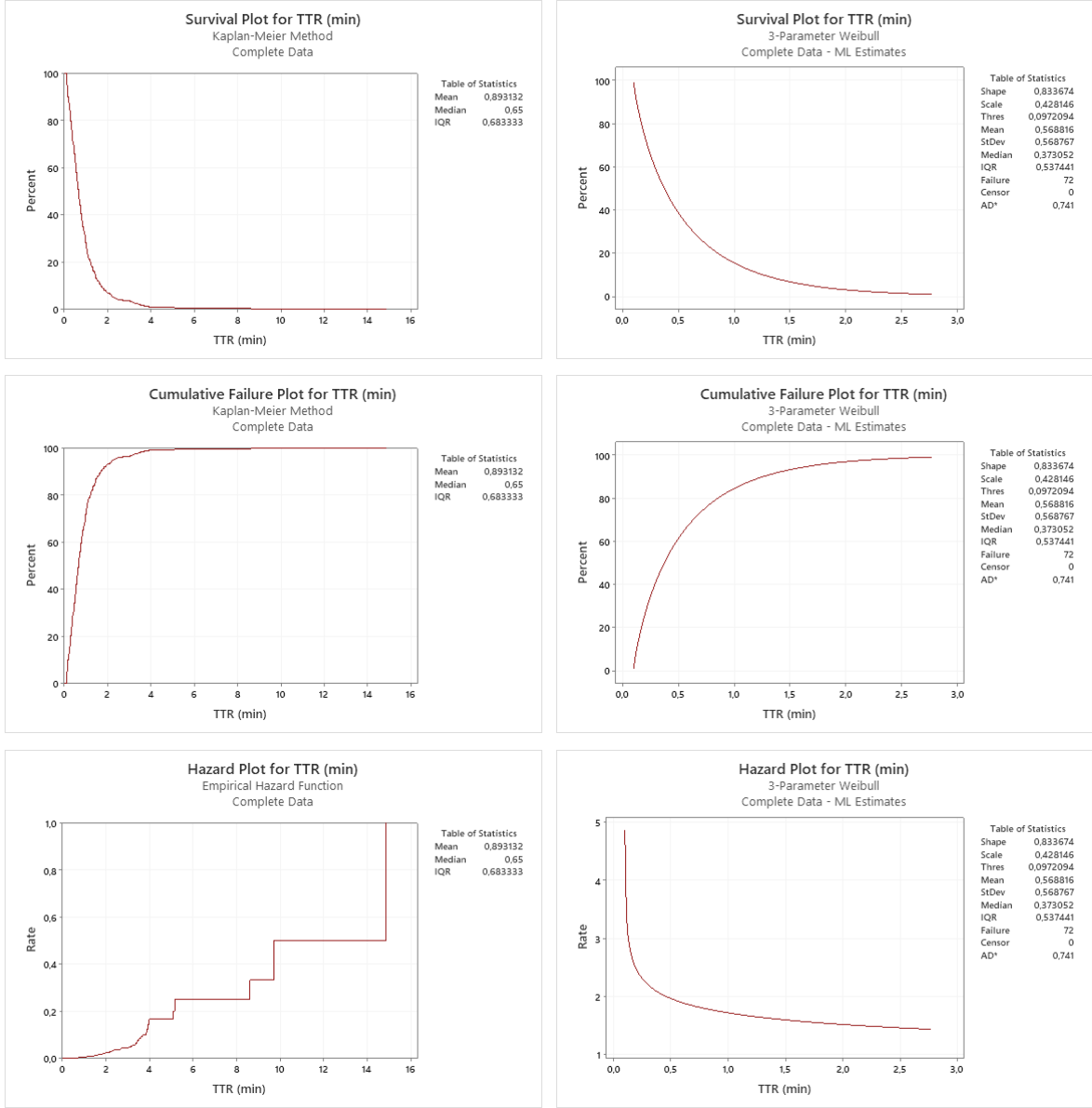
Tamir süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahminleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Tamir süresi verileri parametrik bir dağılıma uyan makinelerin yaşam olasılıkları, olasılık dağılım modeline ait kümülatif dağılım fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır. Tamir süresi verileri parametrik dağılıma uymayan makinelerin yaşam olasılıkları ise, arızalanma süresi verilerinde olduğu gibi Kaplan-Meier analizi ile hesaplanmıştır. Örnek süreler üzerinden hesaplanan yaşam olasılıkları değerleri, makineler arasında ve makinenin kendi içinde kıyaslanarak birtakım sonuçlara varılabilir. Bu çizelgeden yararlanarak, makineler arızalandığında süreye bağlı olarak tamir edilebilme

olasılıkları çıkartılır. Örneğin; M2 arızalandığında 1 dk'da tamir edilme olasılığı 0,8447 (1 - 0,1553)'dir. M3 arızalandığında ise, 1 dk'da tamir edilme olasılığı 0,9292 (1 - 0,0708)'dir. Bu şekilde her makine için süreye bağlı olarak tamir edilme olasılıkları hesaplandığında, süre artıkça, tamir edilme olasılığı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu şekilde bir sonucun çıkması da doğaldır. Çünkü süre artıkça tamir işleminin tamamlanma ihtimali de artar.

Çizelge 4.10. Tamir süreleri için makine bazlı yaşam olasılığı tahmini

Zaman (dk)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
t = 0,1	0,9776	0,9851	0,9697	0,9458	0,9404	0,9812
t = 0,2	0,8741	0,7376	0,8076	0,6561	0,5629	0,8662
t = 0,3	0,7966	0,5849	0,6103	0,4449	0,3642	0,6268
t = 0,4	0,7017	0,4728	0,4451	0,3159	0,2781	0,4272
t = 0,5	0,6362	0,3866	0,3219	0,2131	0,1987	0,3498
t = 1	0,2776	0,1553	0,0708	0,0729	<0,0795 & >0,0728	0,1244
t = 2	<0,069 & >0,672	0,0312	0,0066	<0,0243 & >0,0224	<0,0464 & >0,0397	<0,0376 & >0,0352
t = 3	<0,0362 & >0,345	0,0072	0,0011	<0,0168 & >0,015	<0,0265 & >0,0199	<0,0188 & >0,0164
t = 4	<0,0086 & >0,0069	0,0018	0,0002	<0,015 & >0,0131	<0,0265 & >0,0199	<0,0164 & >0,0141
t = 5	<0,0086 & >0,0069	0,0005	~0	<0,0075 & >0,0037	<0,0199 & >0,0132	<0,0117 & >0,0094
t = 10	<0,0017 & >0	~0	~0	<0,0037 & >0,0019	<0,0199 & >0,0132	<0,0117 & >0,0094
t = 15	0	~0	~0	<0,0019 & >0	<0,0199 & >0,0132	<0,0117 & >0,0094
t = 20	0	~0	~0	<0,0019 & >0	<0,0132 & >0,0066	<0,0117 & >0,0094
t = 30	0	~0	~0	<0,0019 & >0	<0,0132 & >0,0066	<0,0094 & >0,007

Şekil 4.8'de M1 ve M2'nin tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M1 artan arıza oranı grafiğine sahip iken, M2 azalan arıza oranı grafiğine sahiptir.

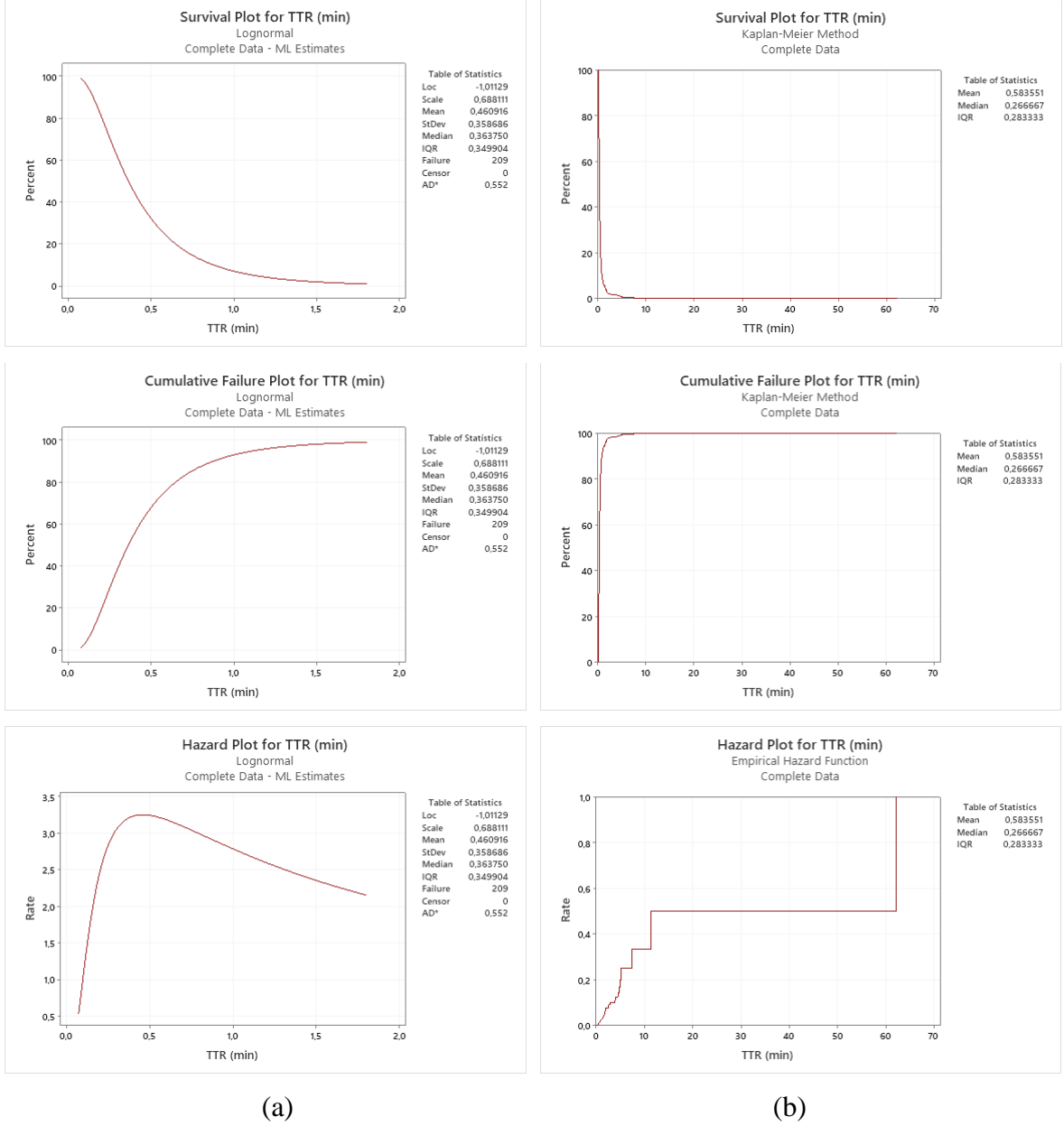


(a)

(b)

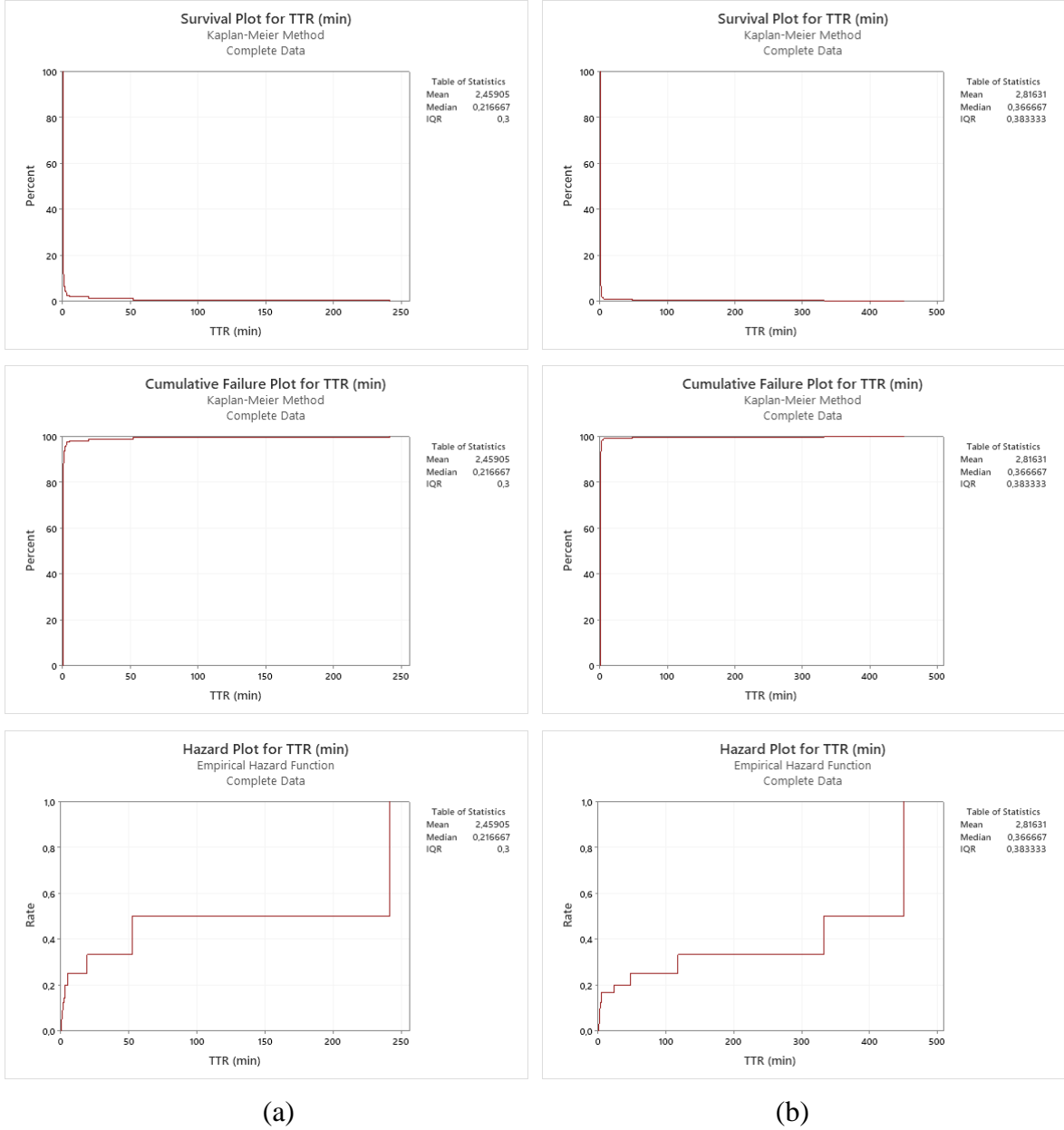
Şekil 4.8. M1 ve M2'nin tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M1'e ait grafikler, b) M2'ye ait grafikler

Şekil 4.9'da M3 ve M4'ün tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M3 önce artan sonra azalan arıza oranı grafiğine sahip iken, M4 artan arıza oranı grafiğine sahiptir.



Şekil 4.9. M3 ve M4'ün tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M3'e ait grafikler, b) M4'e ait grafikler

Şekil 4.10'da M5 ve M6'nın tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri gösterilmektedir. M5 ve M6 da artan arıza oranı grafiğine sahiptir.



Şekil 4.10. M5 ve M6'nın tamir süreleri için sağ kalım, kümülatif arıza ve arıza oranı grafikleri: a) M5'e ait grafikler, b) M6'ya ait grafikler

4.4. Güvenilirlik Analizinin Bakım Faaliyetlerinde Değerlendirilmesi

Üretim hatlarında arızaların minimum seviyeye indirilmesi üretim kapasitesinin ve verimliliğin artırılması açısından önemlidir. Arızaların minimum seviyeye indirilebilmesi için hat üzerinde detaylı analizler yapılmalı ve analiz sonucunda elde edilen verilerden etkili aksiyon listesi çıkartılmalıdır. Güvenilirlik analizi, hat ve makinelerin çalışma performansının mevcut ve gelecekteki durumu hakkında bilgi sahibi olmanın en etkili yöntemlerden biridir.

Arızalar, hem duruş sıklığına ve hem de duruş süresine göre ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bazı arızalar uzun süreli duruşlara sebep olurken, aynı zamanda sık sık gerçekleşebilmektedir. Bu tarz arızalar makine performansını ve makinenin kullanım kapasitesini en çok etkileyen arızalardır. Uzun süreli duruşlara neden olan arızalar, özellikle makinelerin elverişlilik oranını olumsuz olarak ciddi şekilde etkilemektedir. Sık sık oluşan arızalar ise, uzun süreli duruşlara sebep olmasa bile özellikle makine performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Arızaların sık sık oluşması, makinelerin üretim hızını düşürür ve ek işçilik yükü getirir. MCB üretim hattında yapılan çalışmada elverişlilik oranı en yüksek olan makine 0,9937 ile M3 iken, en düşük olan makine 0,9565 ile M6'dır. Bu sonuç da kapasite anlamında M3'ten en fazla yararlandığını, M6'dan ise en az yararlandığını göstermektedir.

Makinelerin arızalanma süreleri incelendiğinde, ortalama arızalanma süresi en düşük makine 36,07 dakika ile M4 iken, en yüksek makine 107,3 dakika ile M5'tir. Makinelerin tamir süreleri incelendiğinde, ortalama tamir süresi en düşük makine 0,467 dakika ile M3 iken, en yüksek makine de 2,82 dakika ile M6'dır. Tamir süresi yüksek olan makinelerin tamir sürelerinin düşürülmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Makinelere ait elverişlilik oranlarıyla tamir sürelerinin ortalama değerleri paralellik göstermiştir. M6'daki yüksek tamir süresi ortalaması makinenin elverişliliğini düşürmüş, M1'deki düşük tamir süresi ortalaması ise makinenin elverişliliğini olumsuz anlamda daha az etkilemiştir.

Güvenilirlik analizi sonucunda elde edilen güvenilirlik değerleri, makinelerin gelecekteki çalışma durumlarını tahmin etmek için önemli bir parametredir. Firma tarafından belirli süreler için belirli güvenilirlik değerleri hedef olarak belirlenebilir ve alınacak aksiyonlarla hedef güvenilirlik değerlerinin üzerine çıkmak amaçlanabilir. Yapılan çalışmadaki arızalanma süreleri için makine bazlı güvenilirlik değerleri incelendiğinde ve örnek olarak 60. dakikadaki değerler ele alındığında, M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 için güvenilirlik değerleri sırasıyla 0,2456, 0,3364, 0,3471, yaklaşık 0,204, yaklaşık 0,533 ve 0,3254'tür. Arızalanma süreleri için 60. dakikada güvenilirlik değeri en düşük makine M4 iken, en yüksek makine M5'tir. Arızalanma süreleri için güvenilirlik değerini özellikle sık sık oluşan arızalar olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle M4 için alınacak aksiyonlarda kümülatif oranı oluşma sıklığına göre %82 olan D083, D043,

D061, D044, D041 ve D014 kodlu duruşların oluşma nedenlerinin ortadan kaldırılması önceliklendirilmelidir.

Tamir süreleri için makine bazlı güvenilirlik değerleri incelendiğinde ve örnek olarak 1. dakikadaki değerler ele alındığında, M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 için güvenilirlik değerleri sırasıyla 0,2776, 0,1553, 0,0708, 0,0729, yaklaşık 0,076 ve 0,1244'tür. Dolayısı ile M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 makinelerinde arızaların 1 dakika içinde tamir edilebilme olasılıkları sırasıyla 0,7224, 0,8447, 0,9292, 0,9271, yaklaşık 0,924 ve 0,8756'dır. Tamir edilebilme olasılığı 1. dakikada en düşük makine M1 iken, en yüksek makine M3'tür. Tamir sürelerinde güvenilirlik değerinin yüksek olması negatif etki göstermektedir. Çünkü her zaman tamir süresinin kısa olması istenmektedir. Bundan dolayı tamir süresi için değerlendirmelerde bu mantık kullanılmalıdır. Tamir süresinin uzun olması, arızanın uzun sürdüğü anlamına gelmektedir. Bu nedenle M1 için alınacak aksiyonlarda kümülatif oranı duruş süresine göre %87,8 olan D026, D013, D028, D030, D042 ve D029 kodlu duruşların oluşma nedenlerinin ortadan kaldırılması önceliklendirilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz koşullarında üretim yapan firmalar diğer firmalarla rekabet edebilmek için bakım politikalarına önem vermek zorundadır. Hızlı ve verimli üretim yapabilmek ve karlılığı artırmak için bakım faaliyetlerinin önemi göz ardı edilemez bir gerçektir. Bakım, makinelerin ve hatların sürekli ve verimli bir şekilde çalışması için yürütülen çalışmaların bütünüdür. Bakım çalışmalarının sistematik bir şekilde yürütülebilmesi için doğru analizlerle personellerdeki farkındalığın artırılması ve makinelerin ve hatların mevcut performans parametrelerinin detaylı bir şekilde çıkartılması gerekir. Firmalar, birçok açıdan faydalı bilgiler sunan güvenilirlik analizini bakım politikalarının merkezine yerleştirebilir. Güvenilirlik analizi, üretim makinelerinin ve hatlarının mevcut ve gelecekteki çalışma durumları hakkında firmalara kılavuzluk etmektedir. Güvenilirlik analizi ile birlikte arıza dağılımları, arızaların istatistiksel özellikleri, sağ kalım olasılıkları, arıza oranları gibi bilgiler elde edilir.

Firmalar güvenilirlik analizi yapabilmek için öncelikle duruş verilerini sağlıklı bir şekilde elde edebilecekleri bir yapı oluşturmalıdır. Özellikle akıllı fabrikalarda duruş verileri bir veri tabanına otomatik olarak kaydedilebilmelidir. Hatta kaydedilen duruş verilerinden güvenilirlik hesaplamaları otomatik olarak yapılabilir. Güvenilirlik analizini destekleyen istatistiksel bilgileri içeren raporlar da sistem tarafından otomatik olarak oluşturulabilir.

Bu çalışmada güvenilirlik analizi, seri bir hat olan MCB üretim hattında gerçekleştirilmiştir. Seri hatlarda bir makine durduğunda hattın geri kalanı da duracağı için darboğaz noktaların belirlenmesi çok önemlidir. Çünkü hattın performansını o hattaki en kötü performansa sahip makine belirlemektedir. MCB üretim hattında darboğaz noktaları makine ve arıza bazında belirlenmiştir. Özellikle en uzun süreli ve en sık arızaların olduğu makine elemanları darboğaz olan makinelerin darboğaz noktalarıdır.

Makinelerin değerlendirilme kriterlerinden biri elverişlilik oranlarıdır. Bu çalışmada her makinenin kullanım kapasitesi çıkartılmıştır ve elverişlilik açısından darboğaz makine belirlenmiştir. Makinelerin elverişlilik oranını özellikle uzun süreli

duruşlar olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle elverişlilikte en problemlı makinelerin kümülatif oranı duruş süresine göre yüksek olan arızalara öncelik verilmelidir. Hattın elverişlilik oranı makinelerden bağımsız olarak hesaplanamadığı için hattın maksimum elverişlilik oranı, elverişlilik oranı en düşük olan makinenin değeridir. Üretim planlamasında maksimum kapasite buna göre belirlenebilir.

Makinelerin değerlendirilme kriterlerinden diğeri de güvenilirliktir. Çalışmada her makinenin arızalanma ve tamir süreleri için güvenilirlikleri hesaplanmıştır. Tamir süreleri güvenilirlik değerlerinden de tamir edilebilirlik olasılıkları çıkarılmıştır. Arızalanma süreleri güvenilirlik değerleri açısından darboğaz makine belirlenmiştir. Arızalanma süreleri güvenilirliğinde özellikle sık sık oluşan arızalar problem teşkil etmektedir. Bu nedenle arızalanma süreleri güvenilirliğinde darboğaz olan makineler için kümülatif oranı oluşma sıklığına göre yüksek olan arızalara öncelik verilmelidir. Bu arızaların oluşma nedenleri ortadan kaldırılmalıdır. Bununla birlikte tamir edilebilirlik açısından da en problemlı makine belirlenmiştir. Tamir edilebilirlik olasılıklarında da uzun süren arızalar büyük problem teşkil etmektedir. Arızalanma süreleri güvenilirliğinde darboğaz makineler için alınacak aksiyonlara benzer şekilde tamir edilebilirlikte problemlı makineler için kümülatif oranı duruş süresine göre yüksek olan arızalara öncelik verilmelidir. Bu arızaların oluşma nedenlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik aksiyonlar alınmalıdır.

Bakım faaliyetleri sınırlı zaman, personel, ekipman ve bütçelerle yürütüldüğü için yüksek verim elde edebilmek adına darboğaz noktaların tespiti çok kritiktir. Doğru tespitlerle mevcut kaynaklar doğru bir şekilde değerlendirilebilir. Bununla birlikte üretim ve bakım personellerin farkındalığı ve iş birliği çok önemlidir. MCB üretim hattında görüldüğü üzere arızaların tamir sürelerinin büyük çoğunluğu kısadır. Çünkü bu tarz arızalara anlık olarak genellikle makine operatörleri müdahale etmekte ve kısa sürede sorunları çözmektedir. Arızaların giderilmesinde bu doğrultuda makine operatörlerinin tecrübelerinden ve bilgi birikiminden yararlanılmalıdır. Ayrıca operatörlerin bilgi birikimini artıracak eğitimler organize edilmelidir. Arızalar kısa süreli bile olsa oluşma nedenlerinin ortadan kaldırılmasının çok önemli olduğu unutulmamalıdır.

Seri hatlarda, performansı en kötü olan makine hattın total performansında belirleyici olduğu için seri hatlarda makineler arası dengeleme yapmak hayli önemlidir. Bu

doğrultuda her makine için güvenilirlik ve elverişlilik gibi performans kriterlerinde ortak bir hedef verilmelidir. Makinelerin de bu hedeflerin altına düşmemesi için çaba gösterilmelidir.

Yapılan çalışma gösteriyor ki güvenilirlik analizi üretim makinelerinin ve hatlarının performansları ile ilgili birçok açıdan detaylı sonuçlar üretmektedir. Bu durum çalışanlarda üretim makineleri ve hatları için durumsal farkındalığı artırmaktadır. Bu farkındalık yönetici seviyesinde de operatörler gibi üretim personelleri ve bakım çalışanları gibi teknik personellerde de yükselmektedir. Güvenilirlik analizi öncesinde makinelerin verimlilikleri, darboğaz noktaları, en çok sorun olan arızalar ile ilgili bilgiler kısıtlı ve göreceli iken, güvenilirlik analizi ile birlikte bu bilgiler daha somut ve kesin olarak ortaya konulmaktadır. Bununla birlikte gelecek ile ilgili de öngörüler sunmaktadır. Günümüzde üretim hızının yükselmesiyle birlikte üretim sistemlerinde gelecekte oluşabilecek sorunların tahmini önceden aksiyon alabilmek adına büyük önem arz etmektedir. Güvenilirlik analizinin bu ihtiyaçları büyük ölçüde karşılayarak üretimdeki durumsal farkındalığın artmasına da katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, MCB üretim hattından toplanan makine bazlı duruş verilerine yönelik güvenilirlik analizi yapılmış ve analiz sonucuna göre bakım faaliyetleri için birtakım öneriler sunulmuştur. Bir sonraki adım, öneriler doğrultusunda bakım faaliyetlerinin uygulanmasıdır, ancak bu adım bu çalışmanın kapsamında yer almamaktadır. Firmanın öneriler doğrultusunda bakım faaliyetlerini yönetmesi ve sonrasında belirli bir zaman aralığı için güvenilirlik analizini tekrar gerçekleştirmesi uygun olacaktır. Böylece önceki ve sonraki durum kıyaslanabilir, darboğaz noktalarındaki durum ve makinelerin performanslarındaki değişiklikler daha net gözlemlenebilir. Bu süreç döngüsel bir süreç olup, devamlı tekrar edilmelidir. Her iyileşmeden sonra hedefler gerçekçi bir şekilde artırılmalı ve kusursuz performansa yakın bir noktaya gelmek arzulanmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmadivala, M., 2016, A simulation based approach for reliability evaluation and optimization of time-dependent systems: a case study of production systems (Barin Plast Company), M.Sc. thesis, İstanbul Şehir University, 79 p. (unpublished).
- Anonim, 2020, Minitab, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Minitab>, erişim tarihi: 15.05.2021.
- Anonim, 2021, Minitab Industry Solutions, <https://www.minitab.com/en-us/industry/>, erişim tarihi: 15.05.2021.
- Atamer, Ş., 2009, Makine elemanlarında güvenilirlik ve ömür analizleri, Yüksek Lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72 s. (yayımlanmamış).
- Endsley, M.R., Kiris, E.O., 1995, The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation, *Human Factors*, 37(2): p.381-394.
- Ghimire, S., Luis-Ferreira, F., Nodehi, T., Jardim-Goncalves, R., 2016, IoT based situational awareness framework for real-time project management, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(1): p.74-83.
- İnceoğlu, F., 2013, Sağlık analizi yöntemleri ve karaciğer nakli verileri ile bir uygulama, Yüksek Lisans tezi, İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 142 s. (yayımlanmamış).
- Koçak, A., İşçioğlu, F., 2018, Meyve suyu dolun hatlarında güvenilirlik analizi, *Journal of Yaşar University*, 13(50): s.185-196.
- Kuldaşlı, E.D., 2009, Elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik temelli bakım, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 49 s. (yayımlanmamış).
- Lall, M., Torvatn, H., Seim, E.A., 2017, Towards industry 4.0: increased need for situational awareness on the shop floor, *IFIP International Federation for Information Processing*, H. Lödding (Eds.), p.322-329.
- Liberopoulos, G., Tsarouhas, P., 2005, Reliability analysis of an automated pizza production line, *Journal of Food Engineering*, 69(1): p.79-96.
- Omondi, B.A., 2017, Weibull and log-normal distributions in reliability analysis applications, M.Sc. thesis, Anadolu University, 55 p. (unpublished).
- Panteli, M., 2013, Impact of ICT reliability and situation awareness on power system blackouts, Doctor of philosophy, The University of Manchester, 270 p. (unpublished).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Park, C.Y., Laskey, K.B., Salim, S., Lee, J.Y., 2017, Predictive situation awareness model for smart manufacturing, 20th International Conference on Information Fusion, p.1-8.
- Topçu, Ç., 2007, Greenwood ve Kaplan-Meier metodu yardımı ile varyans tahmini, Yüksek Lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 48 s. (yayımlanmamış).
- Tsarouhas, P., 2012, Reliability, availability and maintainability analysis in food production lines: a review, International Journal of Food Science and Technology, 47(11): p.2243-2251.
- Tsarouhas, P.H., Arvanitoyannis, I.S., 2010, Reliability and maintainability analysis of bread production line, Critical reviews in Food Science and Nutrition, 50(4): p.327-343.
- Türkan, A.H., 2007, Güvenilirlik analizinde kullanılan istatistiksel dağılım modelleri, Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 s. (yayımlanmamış).
- Uzun, A., Özdoğan, A., 2011, Güvenirlik analizlerine dayalı önleyici bakım planlanması, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20(1): s.303-320.
- Uzuner, M., 2015, Bir işletmede güvenilirlik analizlerine dayalı sistem tasarımı, Yüksek Lisans tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 96 s. (yayımlanmamış).
- Ünal, G., 2009, Güvenilirlik merkezli bakım ve bir endüstriyel uygulama, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 113 s. (yayımlanmamış).
- Woodruff, B.W., Moore, A.H., 1988, Application of goodness-of-fit tests in reliability, Handbook of Statistics, P.R. Krishnaiah, C.R. Rao (Eds.), p.113-120.
- Zhang, D., Zhang, Y., Yu, M., Chen, Y., 2014, Reliability defects identification of serial production systems: application to a piston production line, Arabian Journal for Science and Engineering, 39(12): p.9113-9125.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: M1 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-B: M2 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-C: M3 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-D: M4 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-E: M5 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-F: M6 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-G: M1 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-H: M2 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-I: M3 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-J: M4 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-K: M5 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-L: M6 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic

Ek Açıklama-M: M4 Arızalanma Verilerinin Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Ek Açıklama-N: M5 Arızalanma Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

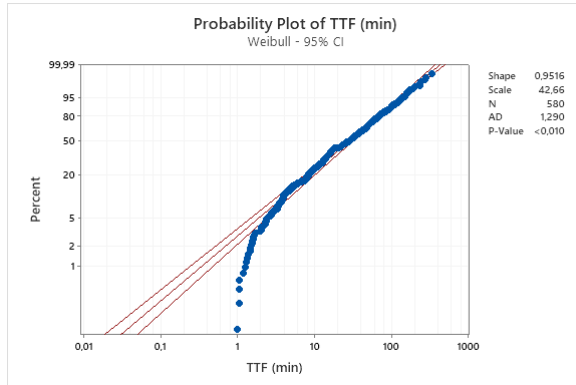
Ek Açıklama-O: M1 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Ek Açıklama-P: M4 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

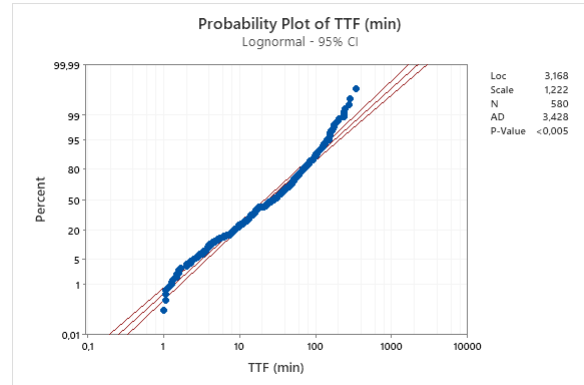
Ek Açıklama-Q: M5 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Ek Açıklama-R: M6 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

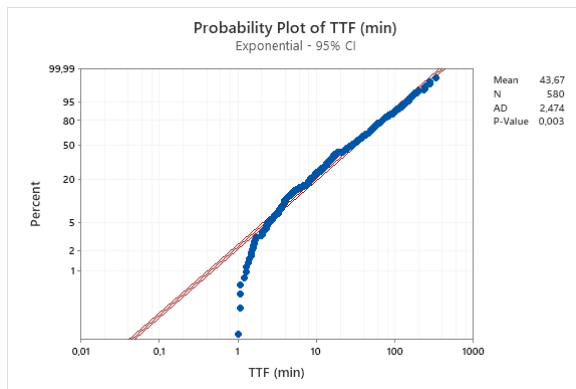
Ek Açıklama-A: M1 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



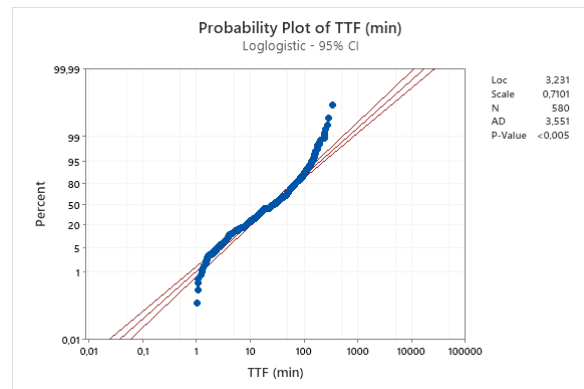
(a)



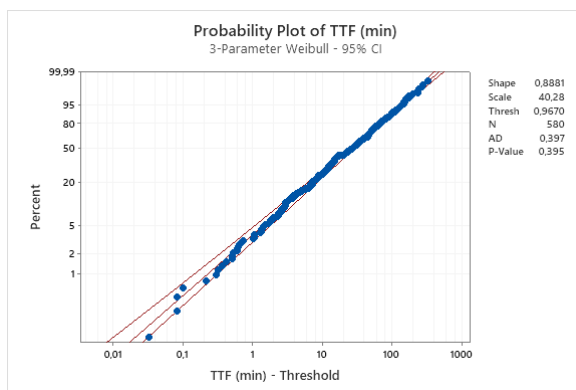
(b)



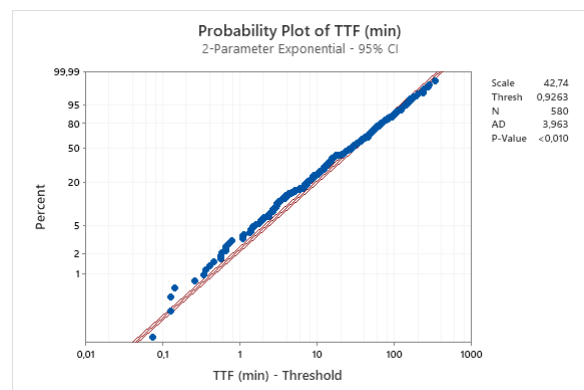
(c)



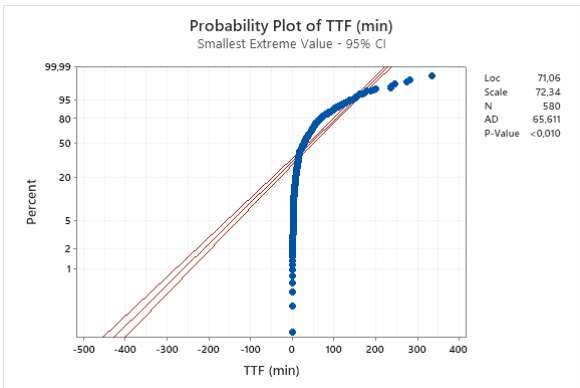
(d)



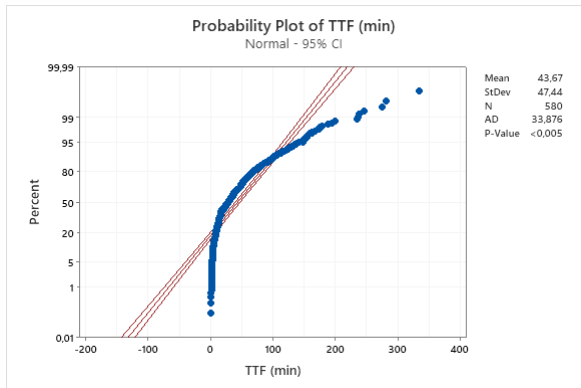
(e)



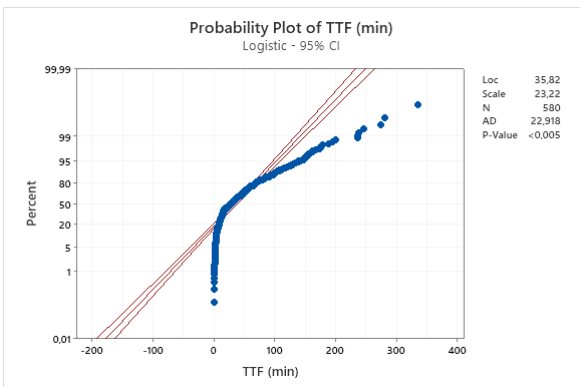
(f)



(g)

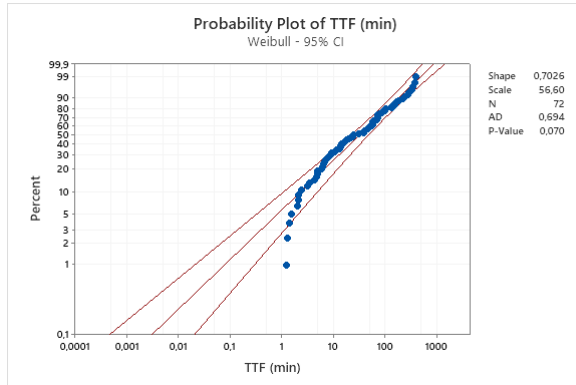


(h)

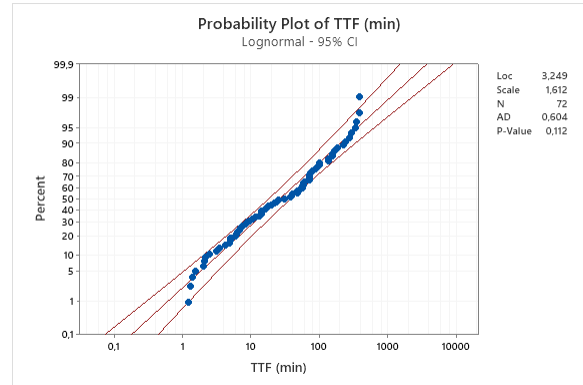


(i)

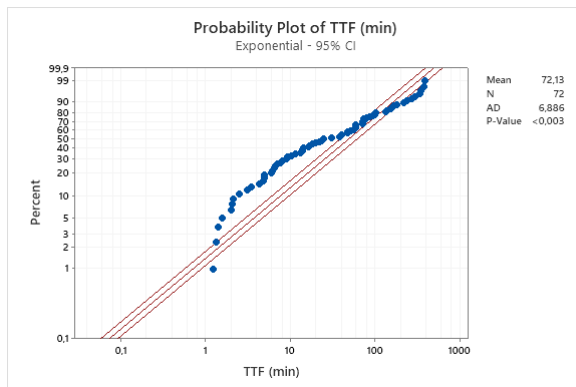
Ek Açıklama-B: M2 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



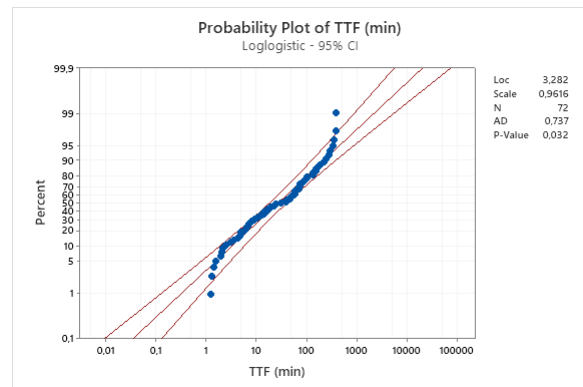
(a)



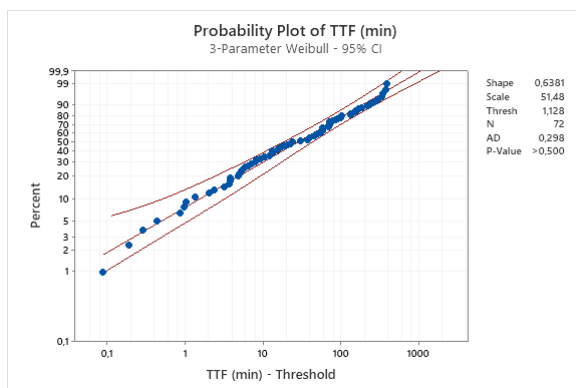
(b)



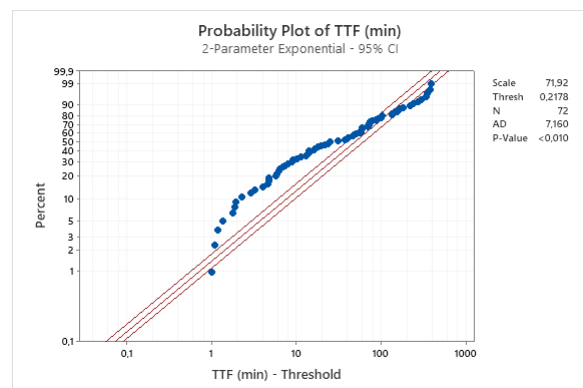
(c)



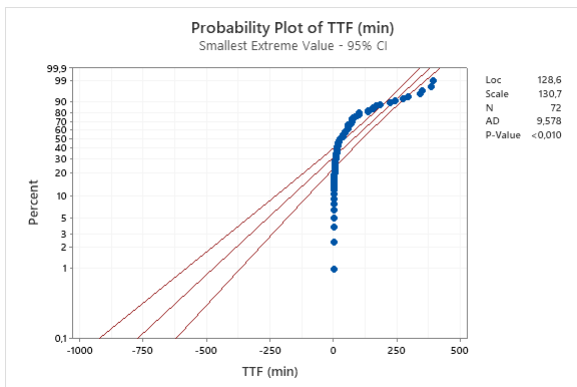
(d)



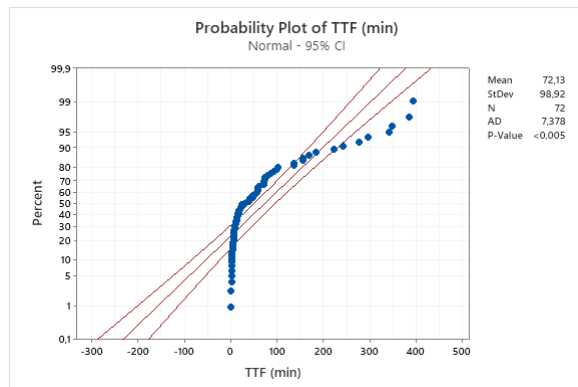
(e)



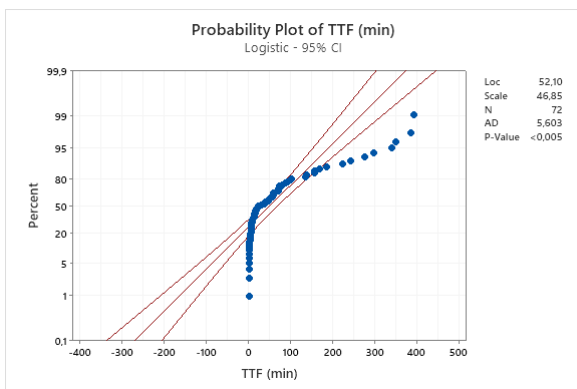
(f)



(g)

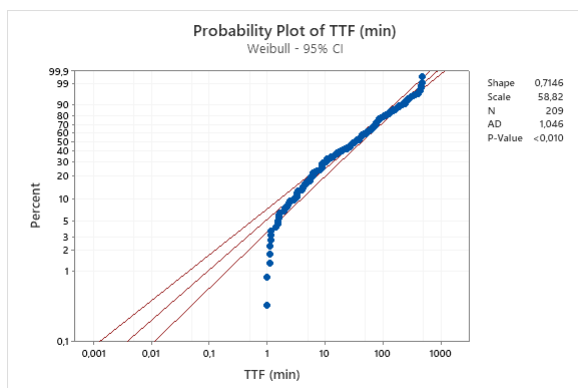


(h)

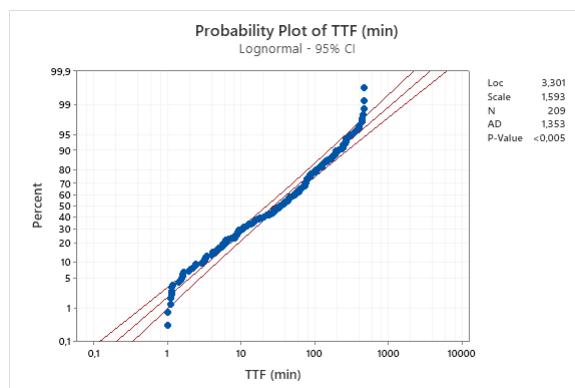


(i)

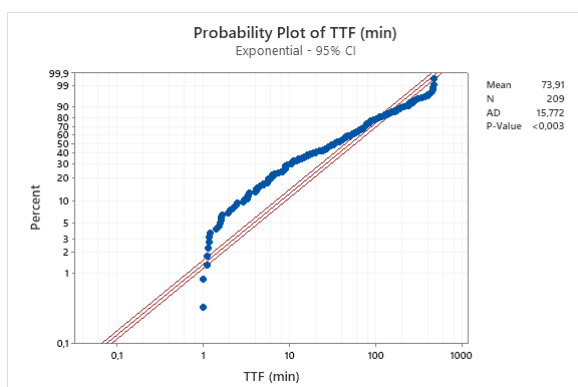
Ek Açıklama-C: M3 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



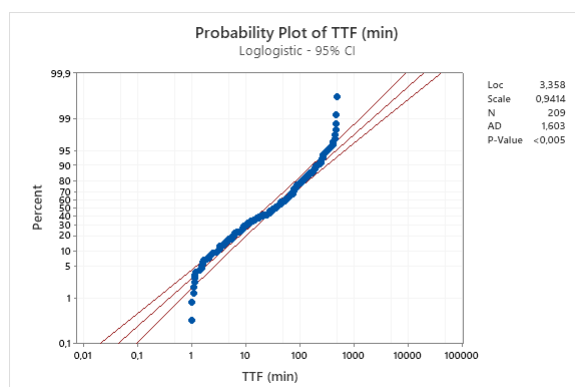
(a)



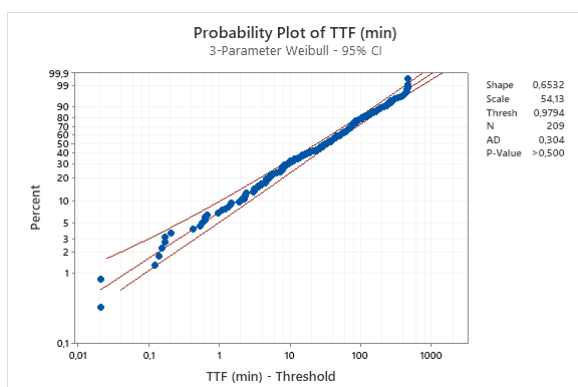
(b)



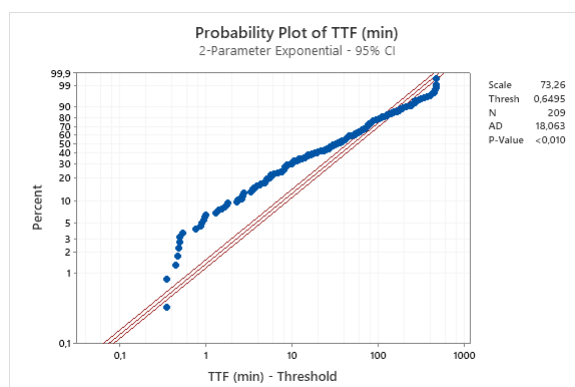
(c)



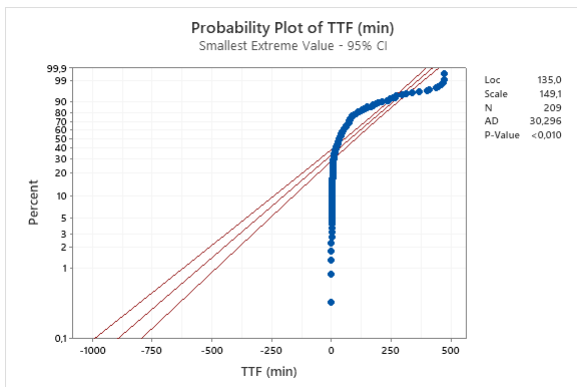
(d)



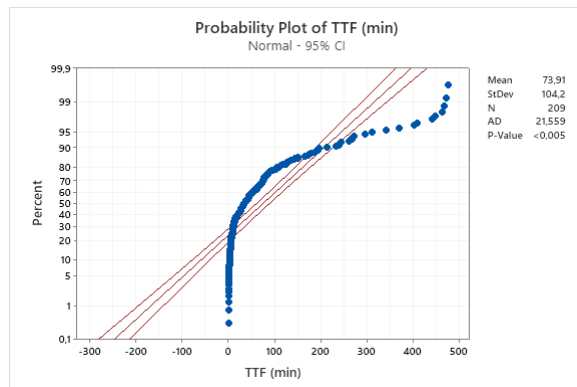
(e)



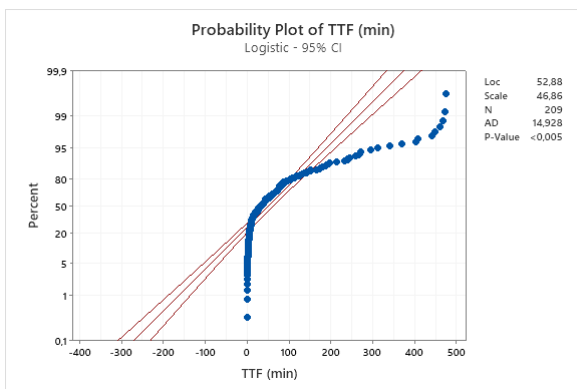
(f)



(g)

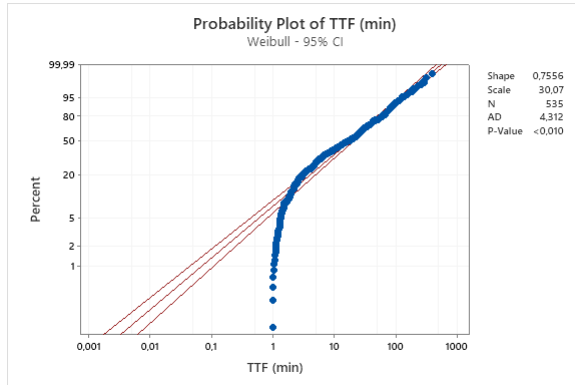


(h)

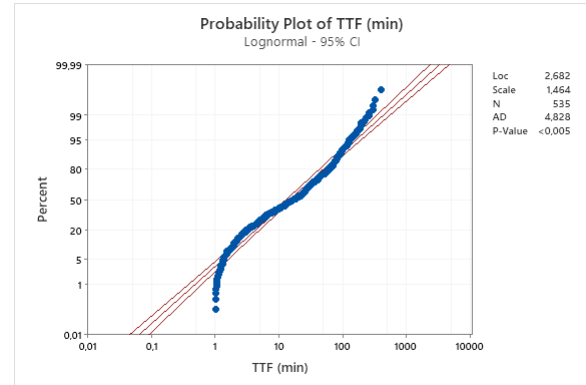


(i)

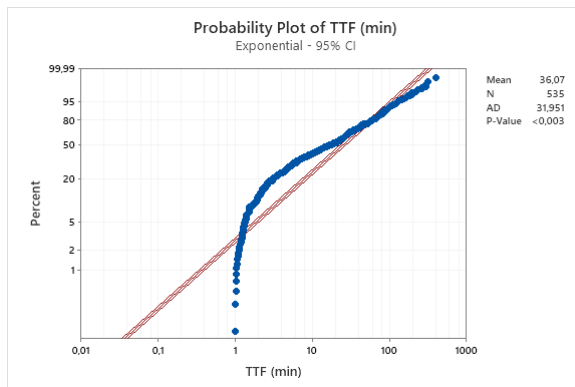
Ek Açıklama-D: M4 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



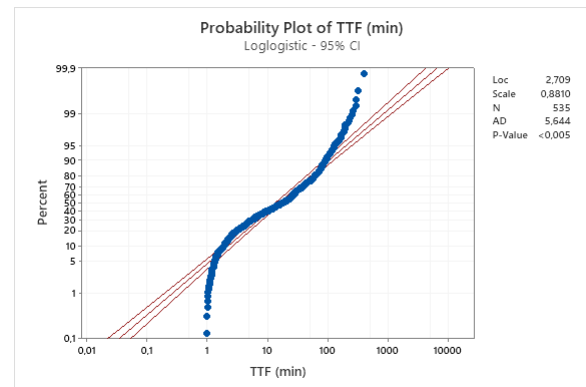
(a)



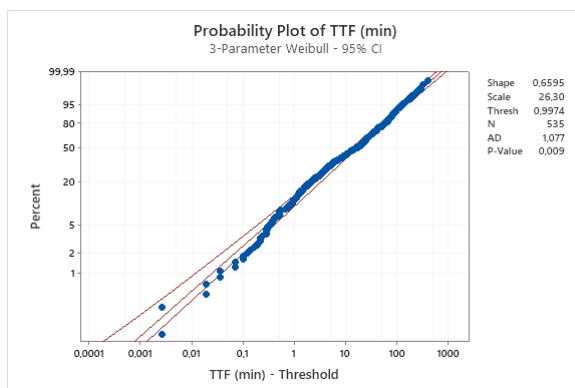
(b)



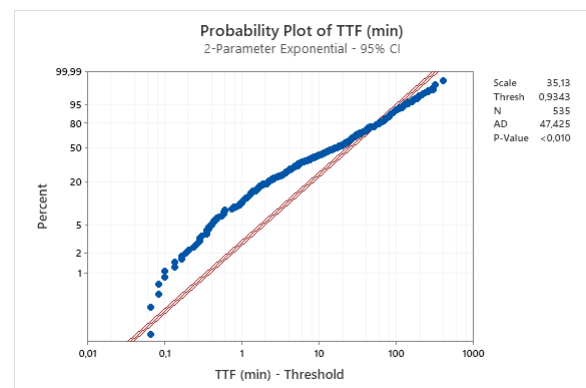
(c)



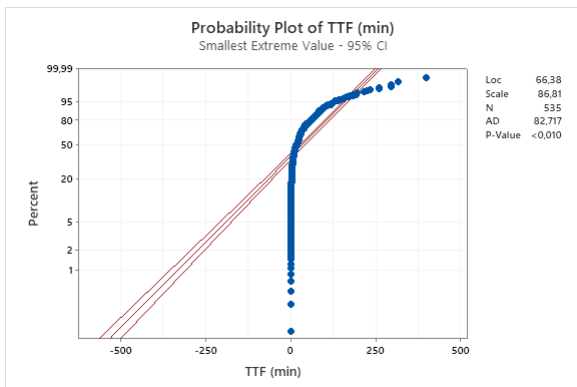
(d)



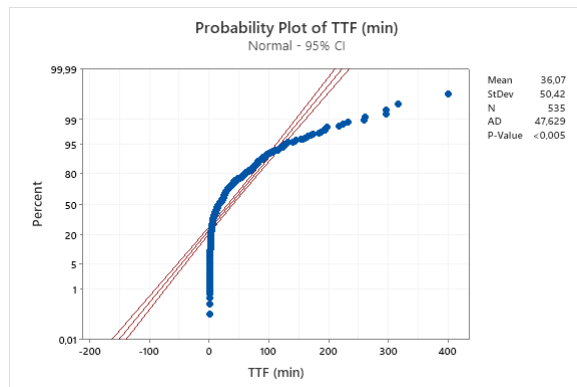
(e)



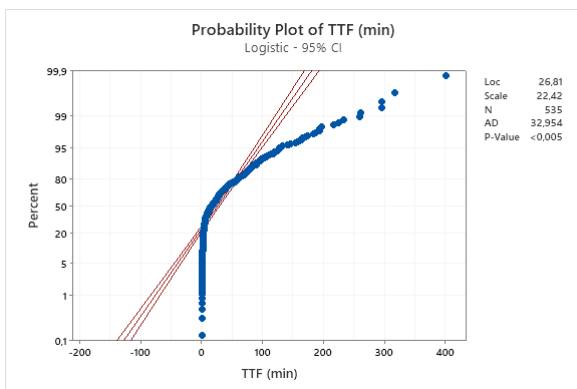
(f)



(g)

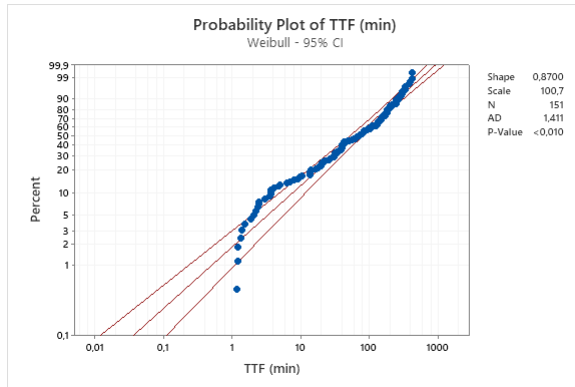


(h)

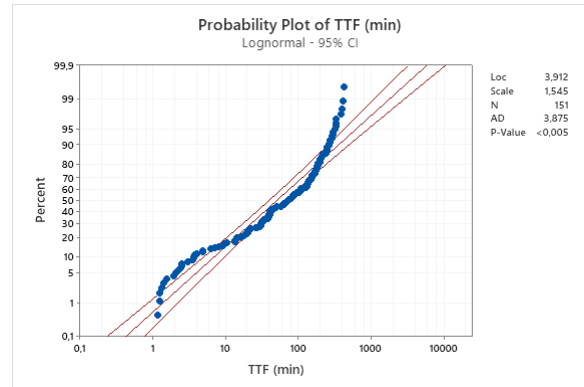


(i)

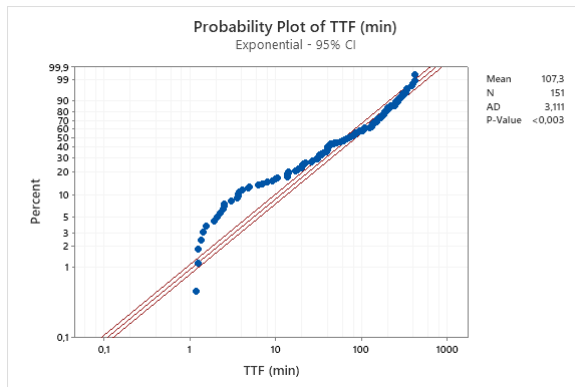
Ek Açıklama-E: M5 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



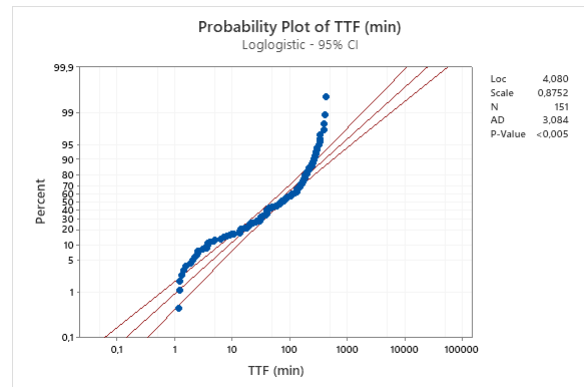
(a)



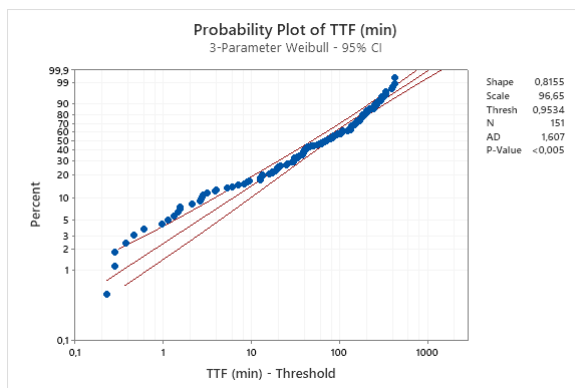
(b)



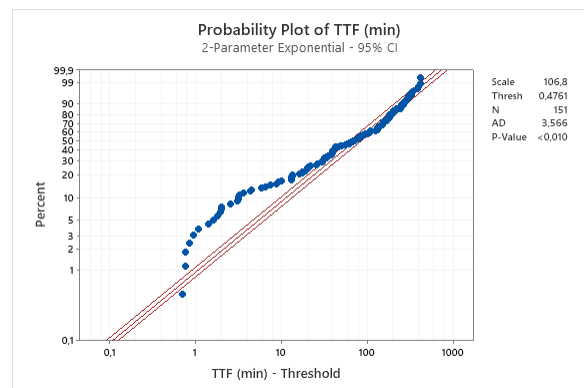
(c)



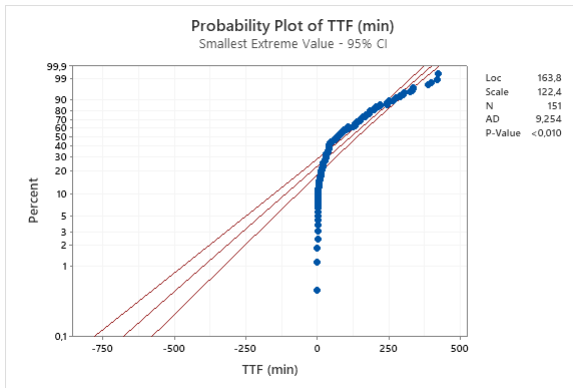
(d)



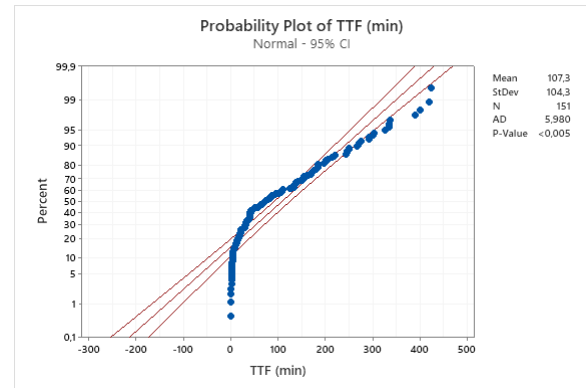
(e)



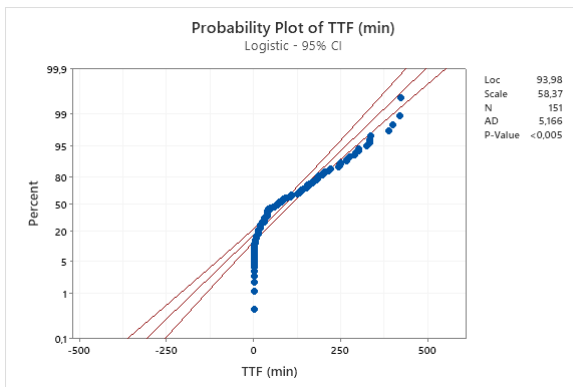
(f)



(g)

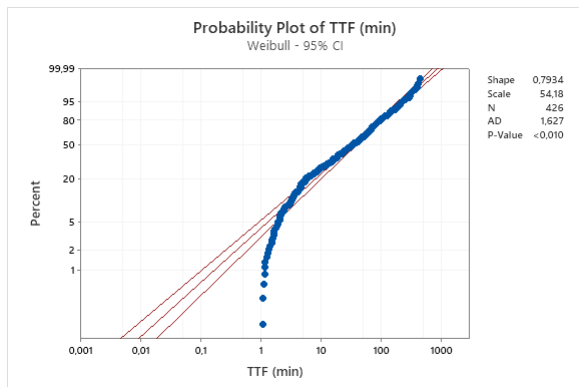


(h)

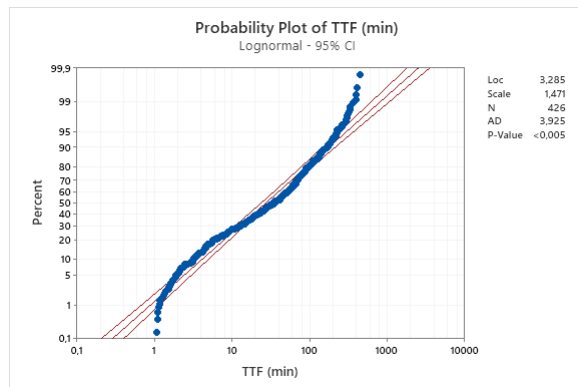


(i)

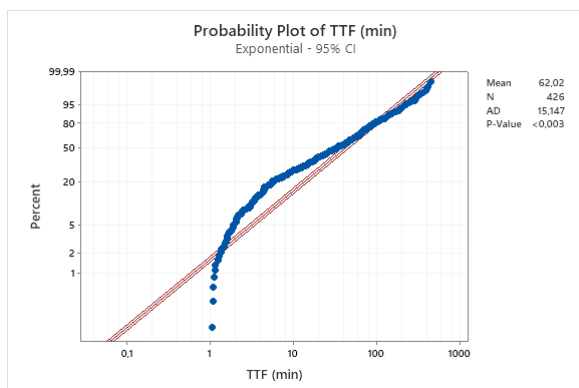
Ek Açıklama-F: M6 Arızalanma Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



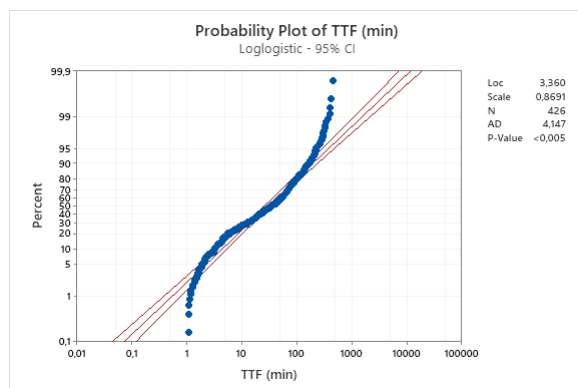
(a)



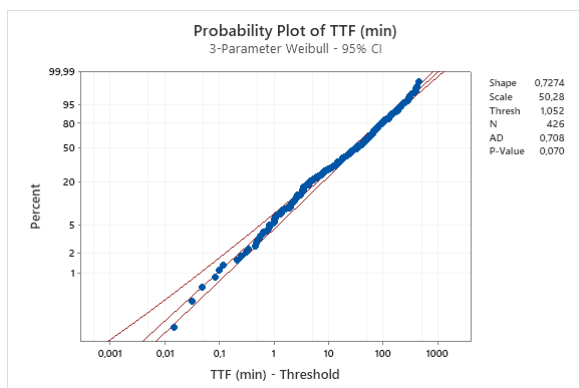
(b)



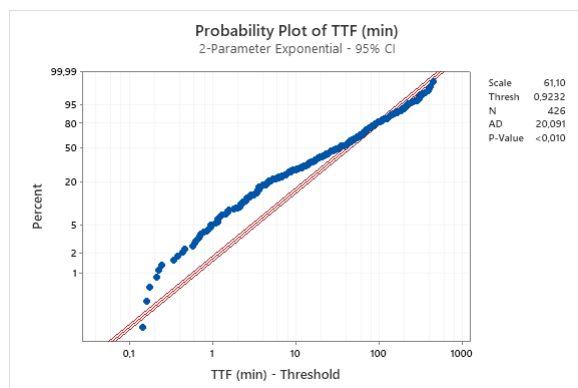
(c)



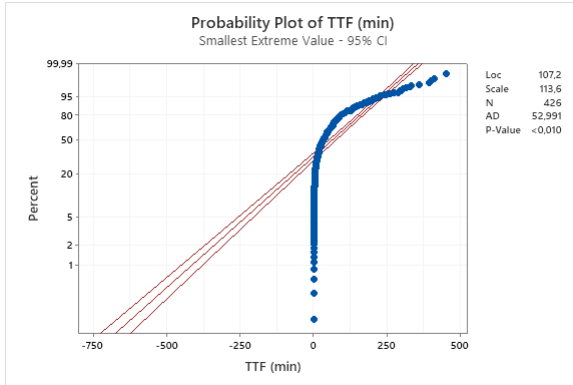
(d)



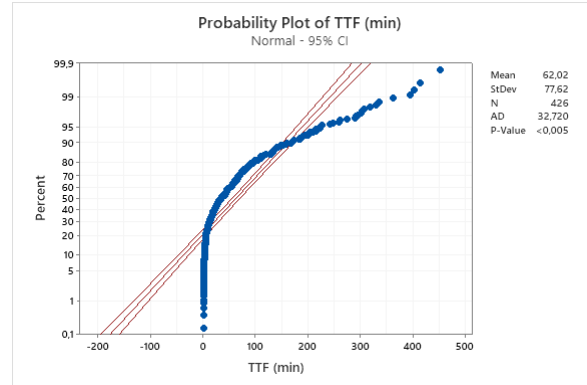
(e)



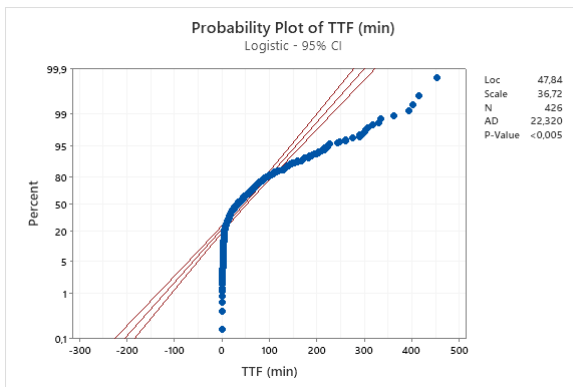
(f)



(g)

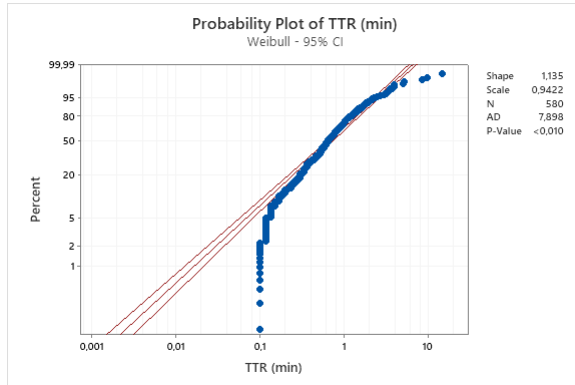


(h)

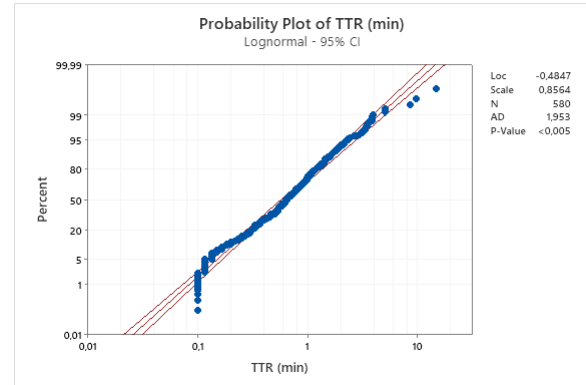


(i)

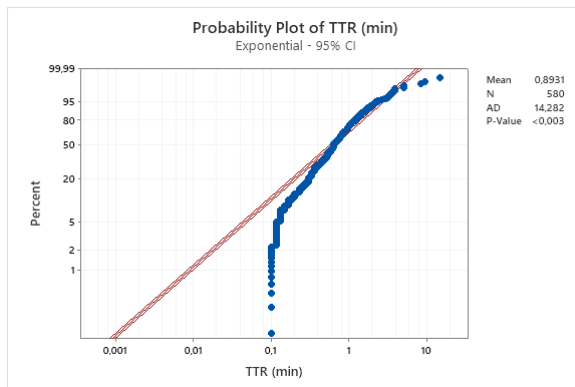
Ek Açıklama-G: M1 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



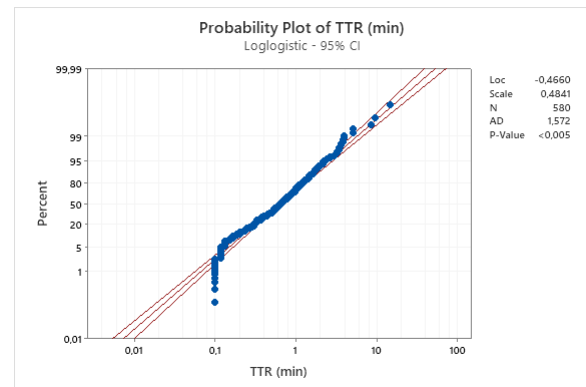
(a)



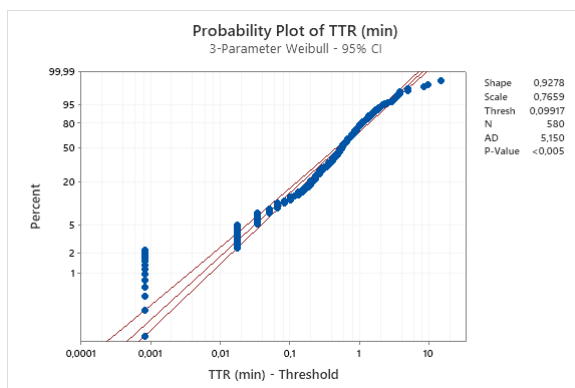
(b)



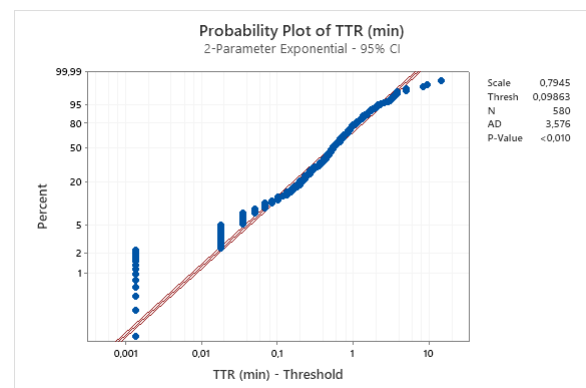
(c)



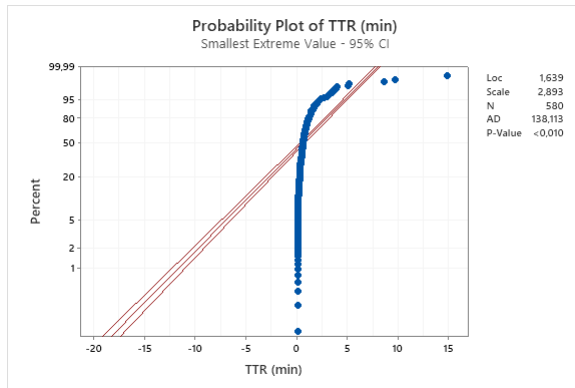
(d)



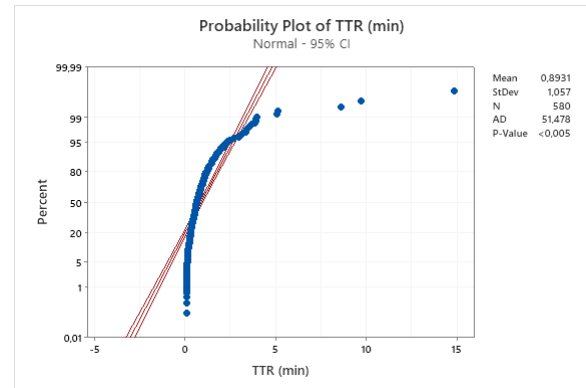
(e)



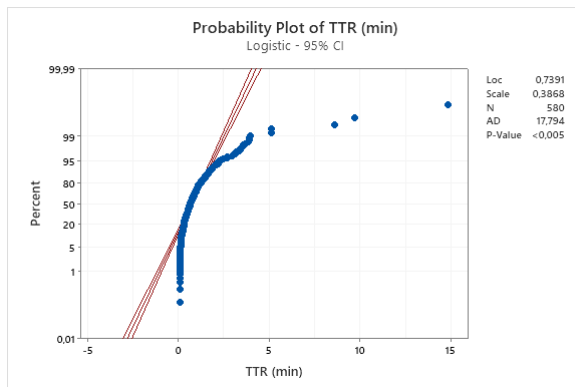
(f)



(g)

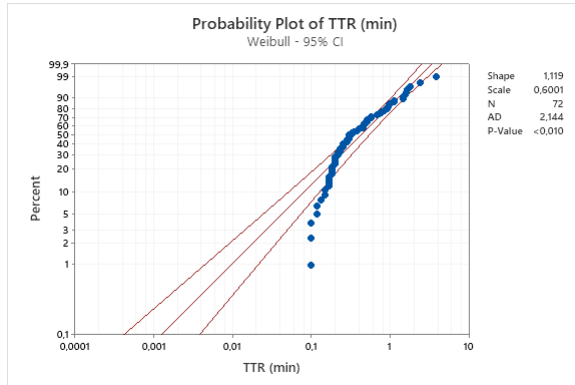


(h)

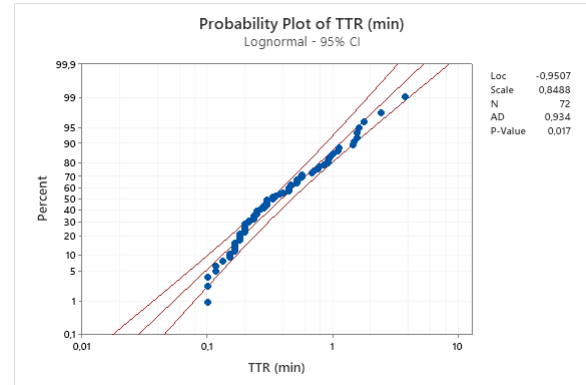


(i)

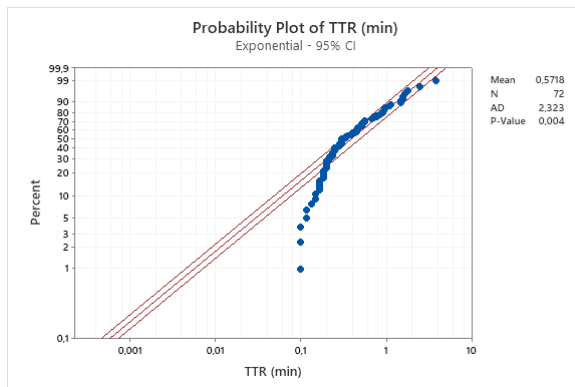
Ek Açıklama-H: M2 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



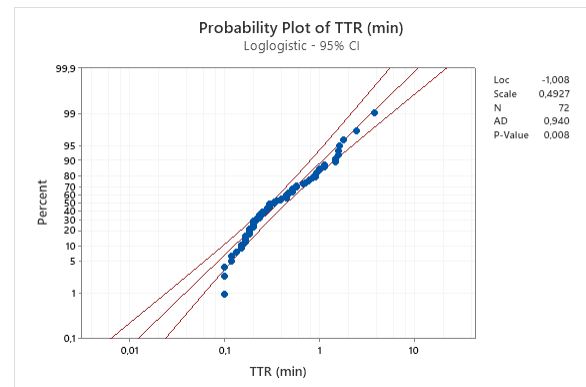
(a)



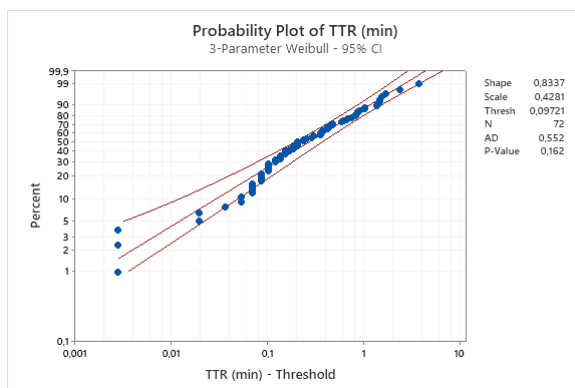
(b)



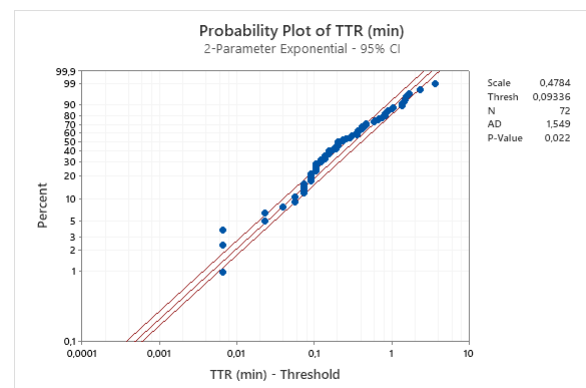
(c)



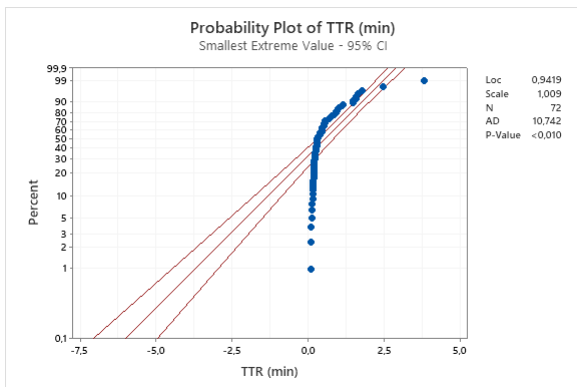
(d)



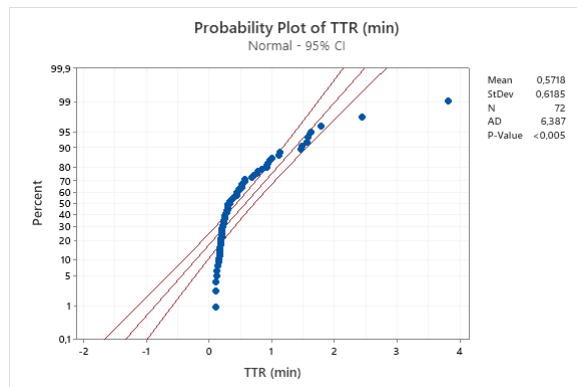
(e)



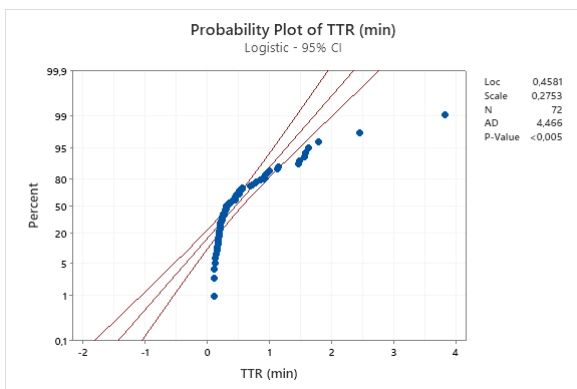
(f)



(g)

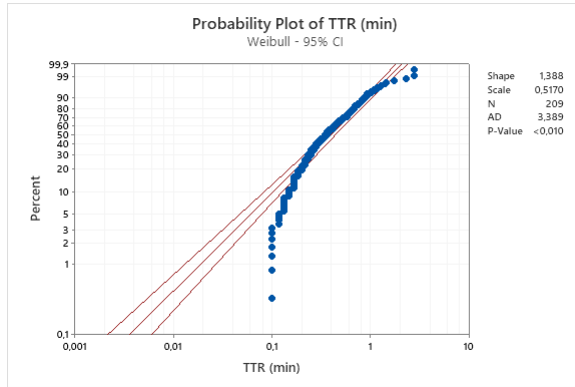


(h)

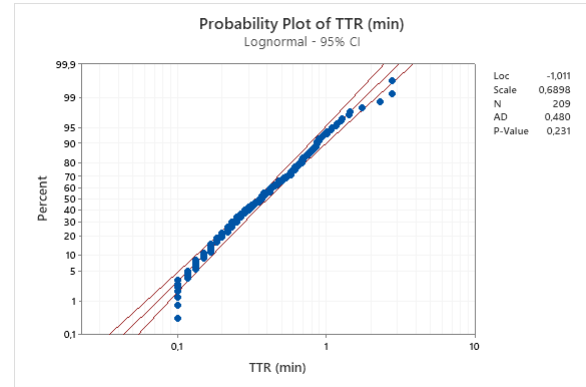


(i)

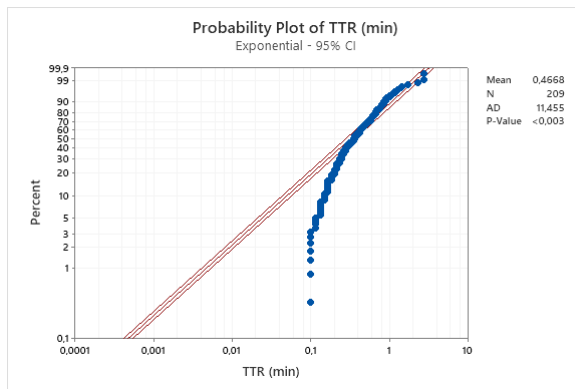
Ek Açıklama-I: M3 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



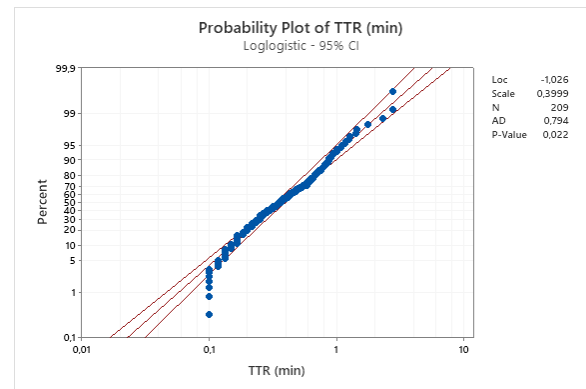
(a)



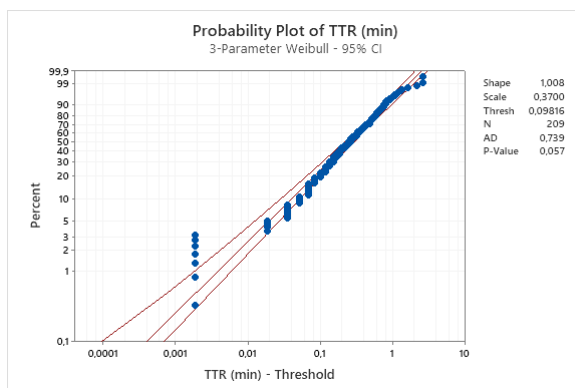
(b)



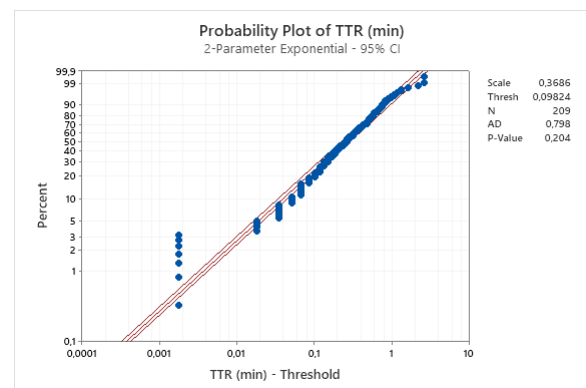
(c)



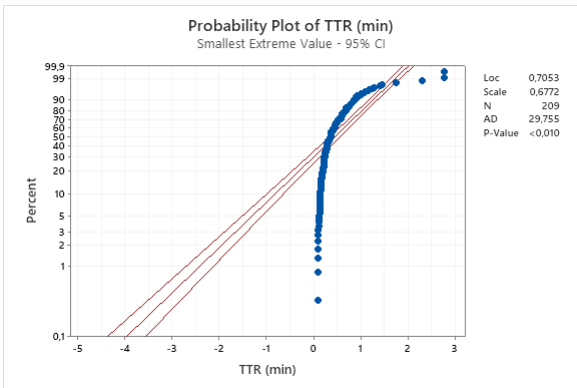
(d)



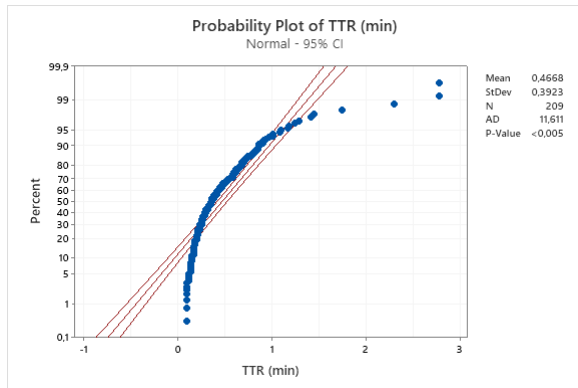
(e)



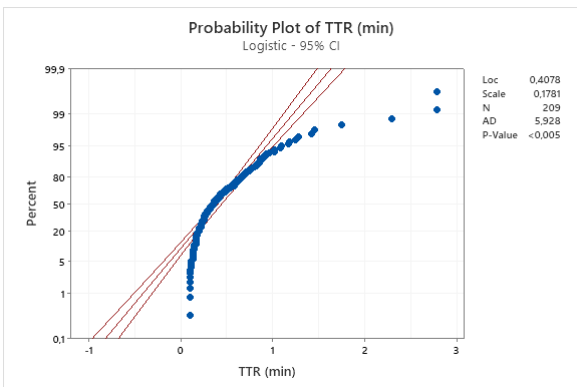
(f)



(g)

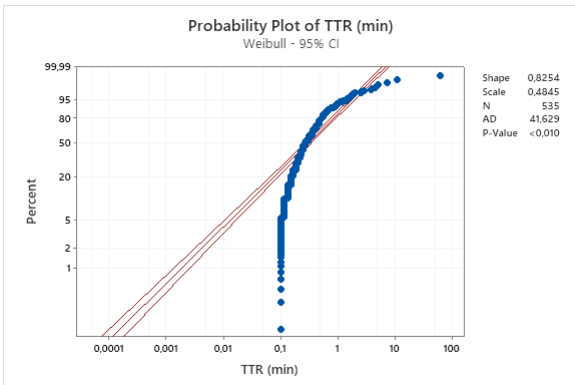


(h)

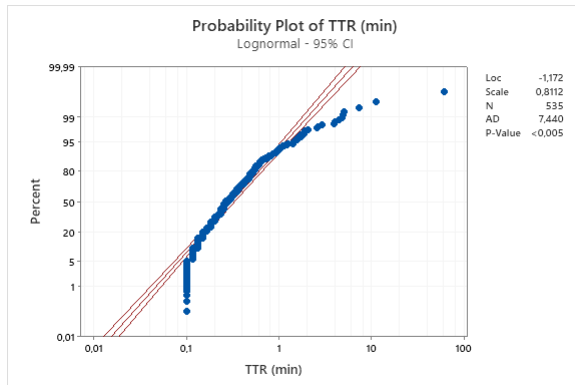


(i)

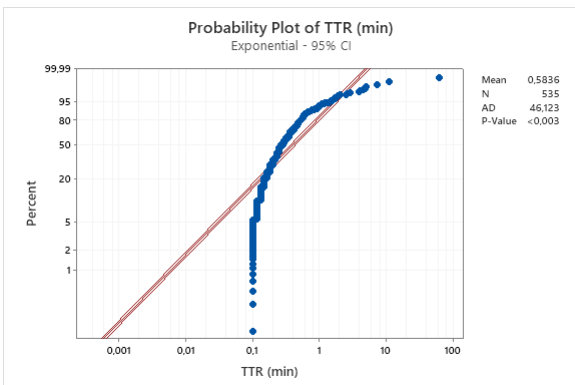
Ek Açıklama-J: M4 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



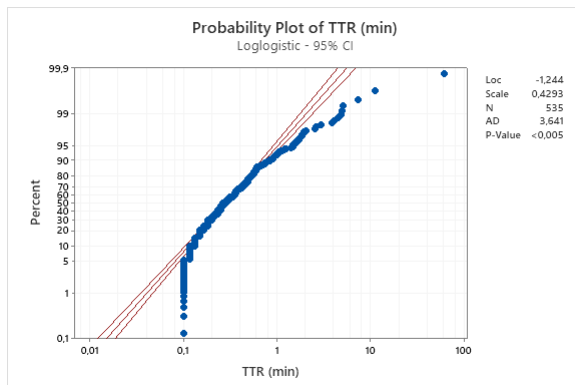
(a)



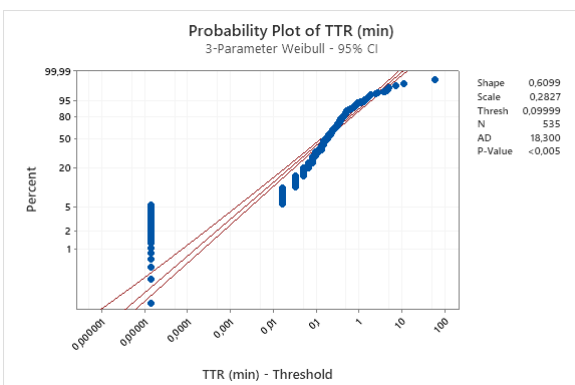
(b)



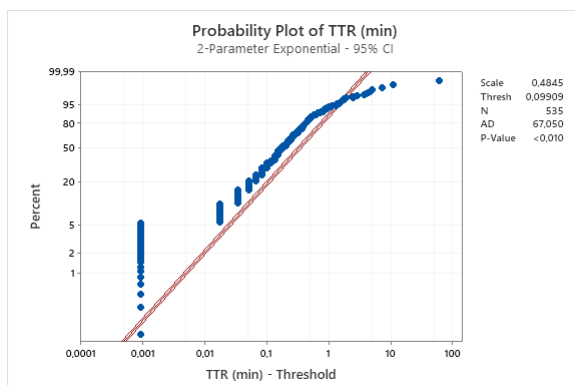
(c)



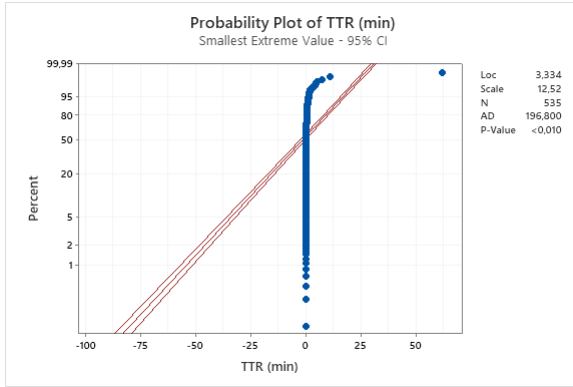
(d)



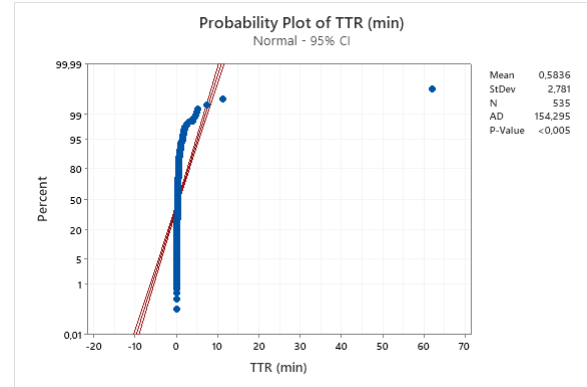
(e)



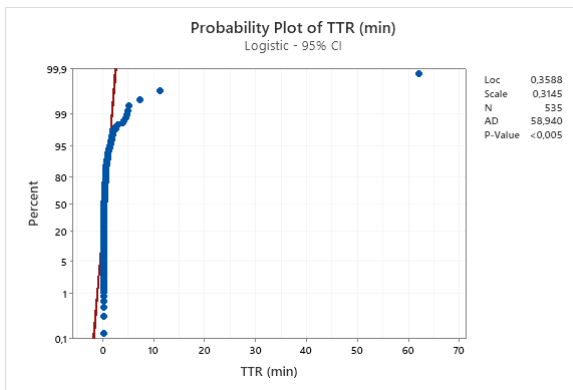
(f)



(g)

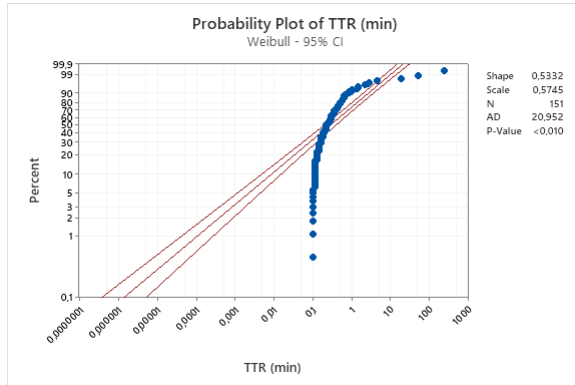


(h)

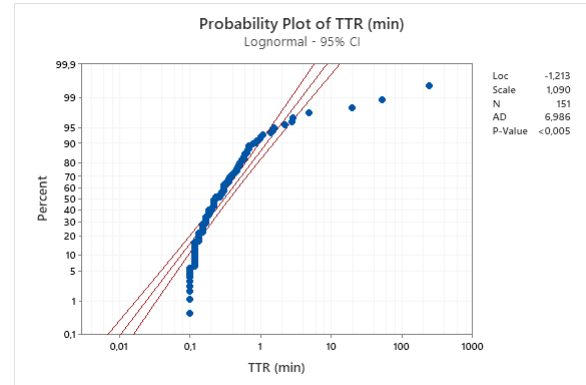


(i)

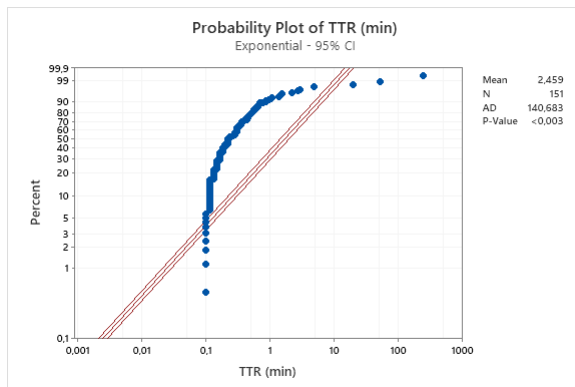
Ek Açıklama-K: M5 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



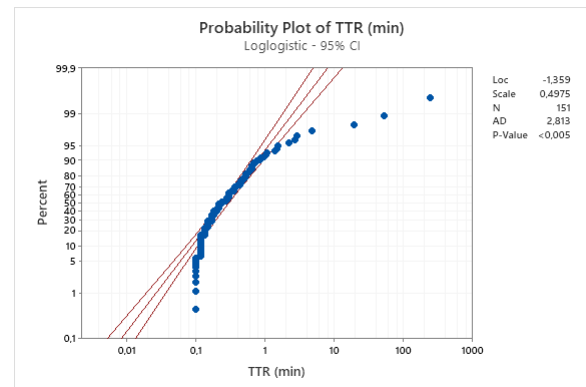
(a)



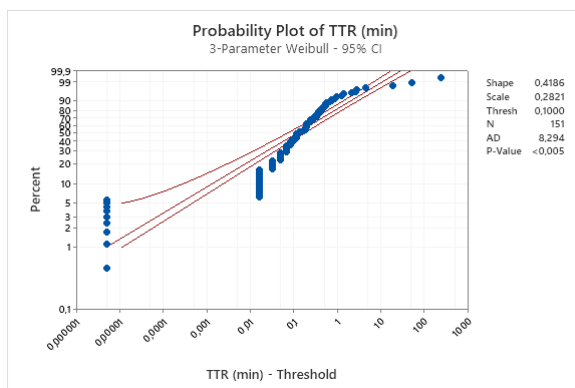
(b)



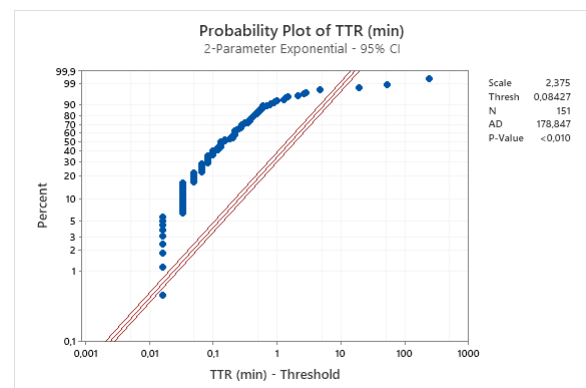
(c)



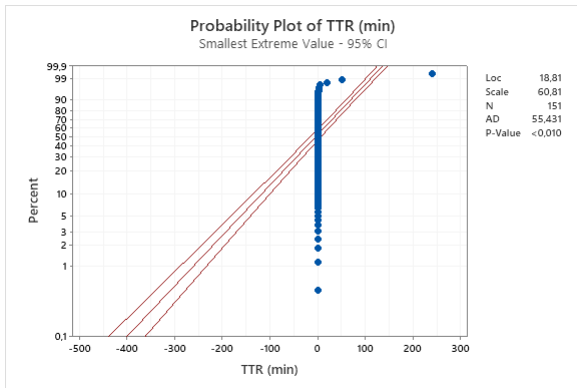
(d)



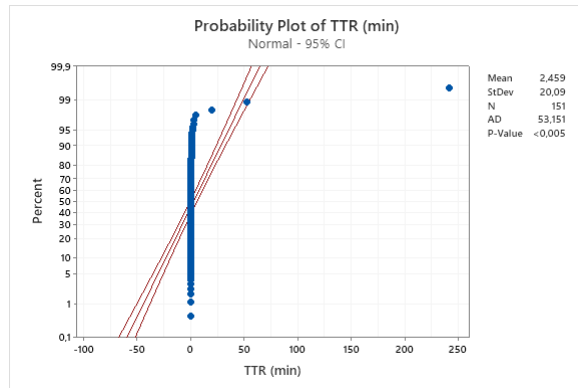
(e)



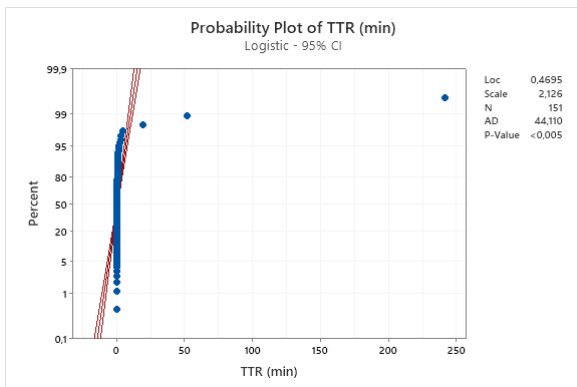
(f)



(g)

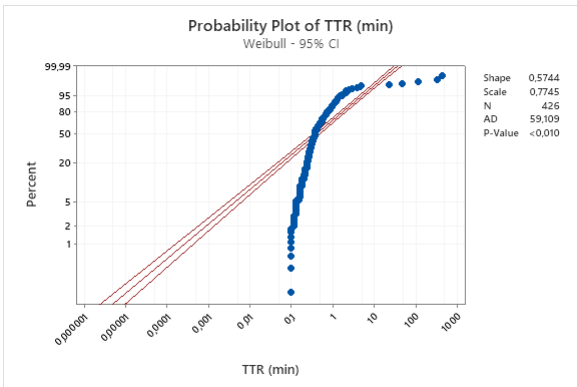


(h)

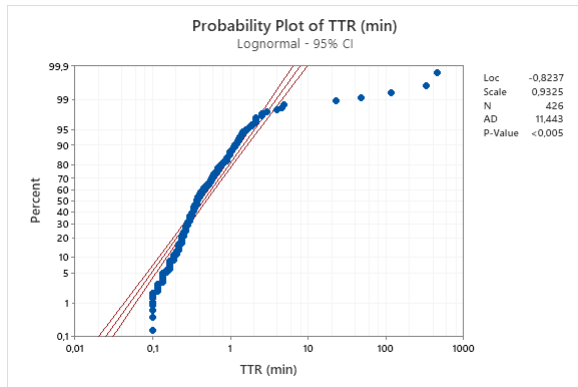


(i)

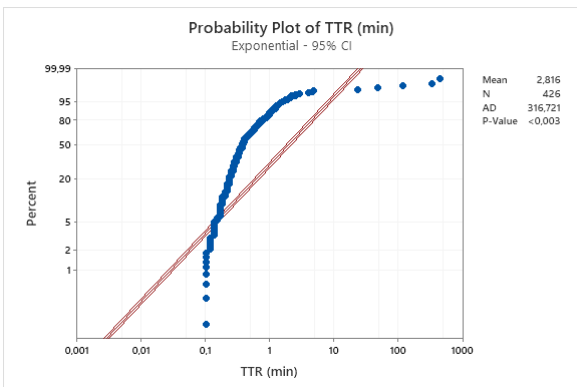
Ek Açıklama-L: M6 Tamir Sürelerinin Olasılık Dağılım Modellerine Göre Olasılık Grafikleri: a) Weibull, b) Lognormal, c) Exponential, d) Loglogistic, e) 3-Parameter Weibull, f) 2-Parameter Exponential, g) Smallest Extreme Value, h) Normal, i) Logistic



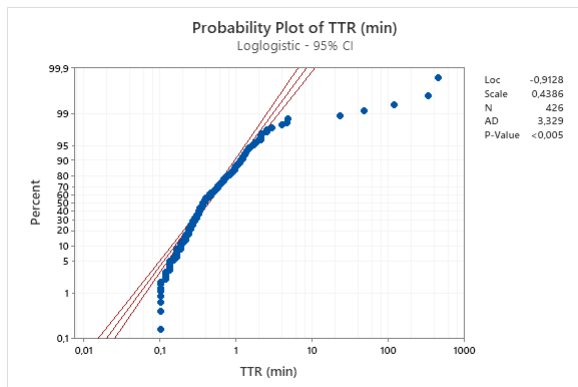
(a)



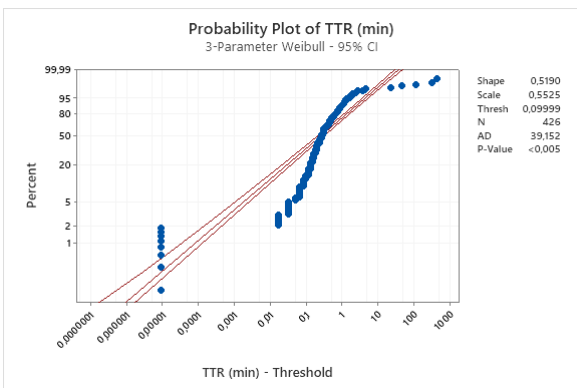
(b)



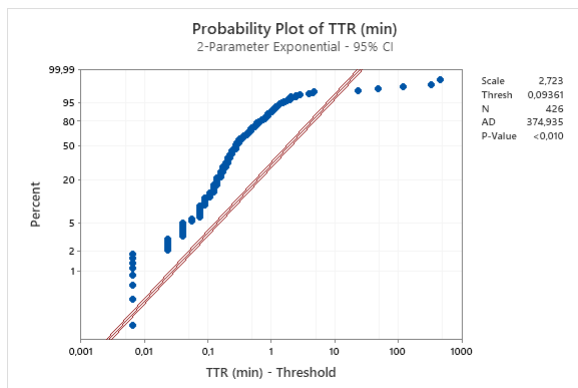
(c)



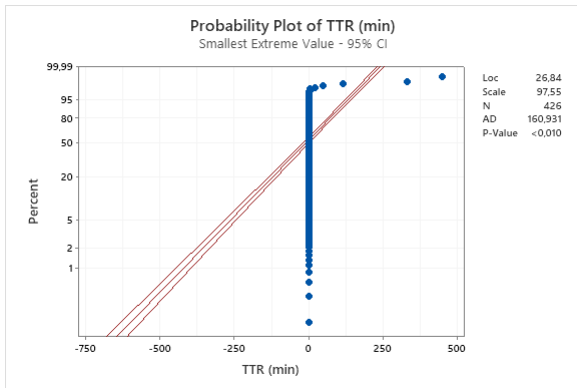
(d)



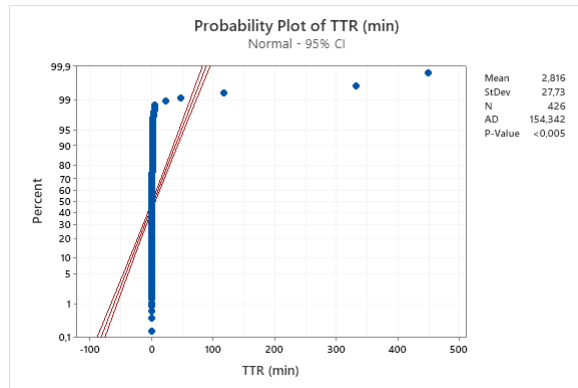
(e)



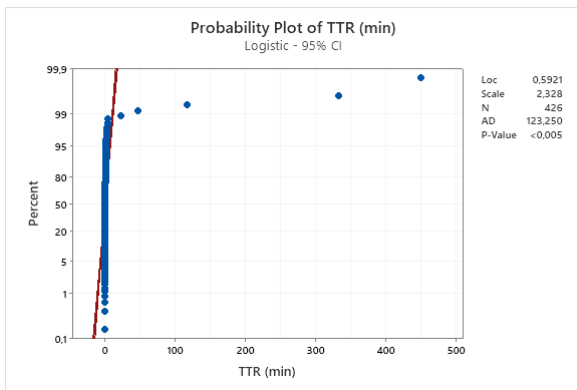
(f)



(g)



(h)



(i)

Ek Açıklama-M: M4 Arızalanma Verilerinin Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	Upper
1,000	535	2	0,996262	0,0026384	0,991090	1,00000
1,017	533	2	0,992523	0,0037243	0,985224	0,99982
1,033	531	2	0,988785	0,0045527	0,979862	0,99771
1,067	529	2	0,985047	0,0052471	0,974763	0,99533
1,100	527	2	0,981308	0,0058553	0,969832	0,99278
1,117	525	1	0,979439	0,0061352	0,967414	0,99146
1,133	524	1	0,977570	0,0064019	0,965023	0,99012
1,167	523	1	0,975701	0,0066570	0,962654	0,98875
1,183	522	1	0,973832	0,0069016	0,960305	0,98736
1,200	521	1	0,971963	0,0071370	0,957974	0,98595
1,217	520	3	0,966355	0,0077956	0,951076	0,98163
1,233	517	1	0,964486	0,0080015	0,948803	0,98017
1,283	516	4	0,957009	0,0087694	0,939822	0,97420
1,300	512	2	0,953271	0,0091248	0,935387	0,97116
1,317	510	1	0,951402	0,0092964	0,933181	0,96962
1,333	509	2	0,947664	0,0096284	0,928792	0,96653
1,350	507	1	0,945794	0,0097891	0,926608	0,96498
1,367	506	2	0,942056	0,0101010	0,922258	0,96185
1,383	504	1	0,940187	0,0102525	0,920092	0,96028
1,400	503	2	0,936449	0,0105470	0,915777	0,95712
1,433	501	1	0,934579	0,0106903	0,913627	0,95553
1,483	500	1	0,932710	0,0108311	0,911482	0,95394
1,500	499	2	0,928972	0,0111055	0,907206	0,95074
1,517	497	3	0,923364	0,0115007	0,900824	0,94591
1,533	494	3	0,917757	0,0118778	0,894477	0,94104
1,667	491	2	0,914019	0,0121200	0,890264	0,93777
1,717	489	2	0,910280	0,0123553	0,886064	0,93450
1,750	487	1	0,908411	0,0124705	0,883969	0,93285
1,817	486	1	0,906542	0,0125842	0,881878	0,93121
1,833	485	1	0,904673	0,0126963	0,879789	0,92956
1,850	484	2	0,900935	0,0129161	0,875620	0,92625
1,883	482	1	0,899065	0,0130238	0,873539	0,92459
1,900	481	1	0,897196	0,0131302	0,871462	0,92293
1,917	480	1	0,895327	0,0132352	0,869387	0,92127
1,933	479	1	0,893458	0,0133389	0,867314	0,91960
1,950	478	2	0,889720	0,0135425	0,863177	0,91626
1,967	476	2	0,885981	0,0137412	0,859049	0,91291
2,000	474	2	0,882243	0,0139351	0,854931	0,90956
2,050	472	1	0,880374	0,0140304	0,852875	0,90787
2,083	471	1	0,878505	0,0141246	0,850821	0,90619
2,117	470	2	0,874766	0,0143097	0,846720	0,90281
2,133	468	1	0,872897	0,0144007	0,844672	0,90112
2,167	467	1	0,871028	0,0144906	0,842627	0,89943
2,200	466	3	0,865421	0,0147546	0,836502	0,89434
2,217	463	1	0,863551	0,0148406	0,834464	0,89264
2,233	462	2	0,859813	0,0150099	0,830394	0,88923
2,267	460	2	0,856075	0,0151757	0,826331	0,88582
2,317	458	3	0,850467	0,0154177	0,820249	0,88069
2,450	455	2	0,846729	0,0155749	0,816203	0,87726
2,467	453	2	0,842991	0,0157289	0,812163	0,87382
2,483	451	1	0,841121	0,0158047	0,810145	0,87210
2,533	450	2	0,837383	0,0159539	0,806114	0,86865
2,550	448	1	0,835514	0,0160274	0,804101	0,86693
2,567	447	2	0,831776	0,0161723	0,800079	0,86347
2,583	445	1	0,829907	0,0162436	0,798070	0,86174
2,600	444	1	0,828037	0,0163142	0,796062	0,86001
2,617	443	1	0,826168	0,0163841	0,794056	0,85828
2,650	442	2	0,822430	0,0165218	0,790048	0,85481
2,700	440	1	0,820561	0,0165896	0,788046	0,85308
2,767	439	1	0,818692	0,0166568	0,786045	0,85134
2,800	438	2	0,814953	0,0167892	0,782047	0,84786
2,967	436	1	0,813084	0,0168544	0,780050	0,84612
3,017	435	1	0,811215	0,0169190	0,778054	0,84438

3,033	434	3	0,805607	0,0171090	0,772074	0,83914
3,050	431	2	0,801869	0,0172326	0,768094	0,83564
3,083	429	1	0,800000	0,0172935	0,766105	0,83389
3,150	428	1	0,798131	0,0173538	0,764118	0,83214
3,167	427	1	0,796262	0,0174136	0,762132	0,83039
3,217	426	2	0,792523	0,0175313	0,758163	0,82688
3,283	424	1	0,790654	0,0175893	0,756180	0,82513
3,300	423	1	0,788785	0,0176468	0,754198	0,82337
3,333	422	1	0,786916	0,0177036	0,752217	0,82161
3,367	421	1	0,785047	0,0177600	0,750238	0,81986
3,450	420	1	0,783178	0,0178158	0,748259	0,81810
3,483	419	1	0,781308	0,0178711	0,746282	0,81634
3,500	418	1	0,779439	0,0179258	0,744305	0,81457
3,517	417	1	0,777570	0,0179800	0,742330	0,81281
3,567	416	2	0,773832	0,0180868	0,738382	0,80928
3,717	414	1	0,771963	0,0181395	0,736410	0,80752
3,750	413	1	0,770093	0,0181916	0,734439	0,80575
3,817	412	1	0,768224	0,0182432	0,732468	0,80398
3,900	411	1	0,766355	0,0182943	0,730499	0,80221
3,967	410	2	0,762617	0,0183951	0,726563	0,79867
4,117	408	1	0,760748	0,0184447	0,724597	0,79690
4,150	407	2	0,757009	0,0185425	0,720667	0,79335
4,200	405	1	0,755140	0,0185907	0,718703	0,79158
4,283	404	1	0,753271	0,0186384	0,716740	0,78980
4,367	403	2	0,749533	0,0187324	0,712818	0,78625
4,383	401	1	0,747664	0,0187787	0,710858	0,78447
4,400	400	1	0,745794	0,0188246	0,708899	0,78269
4,450	399	1	0,743925	0,0188700	0,706941	0,78091
4,567	398	1	0,742056	0,0189149	0,704984	0,77913
4,600	397	1	0,740187	0,0189594	0,703027	0,77735
4,617	396	1	0,738318	0,0190034	0,701072	0,77556
4,650	395	1	0,736449	0,0190470	0,699117	0,77378
4,667	394	1	0,734579	0,0190902	0,697163	0,77200
4,683	393	1	0,732710	0,0191329	0,695211	0,77021
4,700	392	1	0,730841	0,0191752	0,693259	0,76842
4,783	391	2	0,727103	0,0192584	0,689357	0,76485
4,833	389	1	0,725234	0,0192994	0,687408	0,76306
4,867	388	2	0,721495	0,0193801	0,683511	0,75948
4,900	386	1	0,719626	0,0194198	0,681564	0,75769
4,967	385	1	0,717757	0,0194591	0,679618	0,75590
5,017	384	2	0,714019	0,0195365	0,675728	0,75231
5,133	382	1	0,712150	0,0195746	0,673784	0,75051
5,150	381	1	0,710280	0,0196122	0,671841	0,74872
5,267	380	1	0,708411	0,0196495	0,669899	0,74692
5,283	379	1	0,706542	0,0196863	0,667958	0,74513
5,400	378	1	0,704673	0,0197228	0,666017	0,74333
5,417	377	1	0,702804	0,0197589	0,664077	0,74153
5,500	376	1	0,700935	0,0197945	0,662138	0,73973
5,533	375	1	0,699065	0,0198298	0,660200	0,73793
5,583	374	1	0,697196	0,0198647	0,658262	0,73613
5,617	373	1	0,695327	0,0198992	0,656325	0,73433
5,667	372	1	0,693458	0,0199333	0,654389	0,73253
5,733	371	1	0,691589	0,0199670	0,652454	0,73072
5,750	370	2	0,689720	0,0200007	0,650518	0,72892
5,900	368	1	0,687850	0,0200333	0,648586	0,72711
6,017	367	1	0,685981	0,0200658	0,646653	0,72531
6,017	367	1	0,684112	0,0200980	0,644721	0,72350
6,117	366	2	0,680374	0,0201613	0,640858	0,71989
6,167	364	3	0,674766	0,0202534	0,635070	0,71446
6,200	361	2	0,671028	0,0203129	0,631215	0,71084
6,250	359	1	0,669159	0,0203422	0,629289	0,70903
6,267	358	1	0,667290	0,0203711	0,627363	0,70722
6,300	357	1	0,665421	0,0203996	0,625438	0,70540
6,483	356	1	0,663551	0,0204277	0,623514	0,70359
6,500	355	1	0,661682	0,0204555	0,621590	0,70177
6,517	354	1	0,659813	0,0204829	0,619667	0,69996
6,583	353	1	0,657944	0,0205100	0,617745	0,69814
6,667	352	1	0,656075	0,0205368	0,615823	0,69633
6,700	351	2	0,652336	0,0205892	0,611982	0,69269

6,933	349	1	0,650467	0,0206148	0,610063	0,69087
7,133	348	1	0,648598	0,0206402	0,608144	0,68905
7,183	347	1	0,646729	0,0206651	0,606226	0,68723
7,350	346	1	0,644860	0,0206898	0,604309	0,68541
7,383	345	1	0,642991	0,0207141	0,602392	0,68359
7,650	344	3	0,637383	0,0207849	0,596646	0,67812
7,750	341	1	0,635514	0,0208078	0,594731	0,67630
7,883	340	1	0,633645	0,0208304	0,592818	0,67447
7,950	339	1	0,631776	0,0208526	0,590905	0,67265
8,167	338	1	0,629907	0,0208745	0,588993	0,67082
8,233	337	1	0,628037	0,0208961	0,587082	0,66899
8,317	336	1	0,626168	0,0209174	0,585171	0,66717
8,400	335	1	0,624299	0,0209383	0,583261	0,66534
8,417	334	1	0,622430	0,0209588	0,581351	0,66351
8,533	333	2	0,618692	0,0209990	0,577534	0,65985
8,700	331	1	0,616822	0,0210186	0,575627	0,65802
8,800	330	2	0,613084	0,0210568	0,571814	0,65435
8,900	328	1	0,611215	0,0210754	0,569908	0,65252
9,367	327	1	0,609346	0,0210936	0,568003	0,65069
9,483	326	2	0,605607	0,0211292	0,564195	0,64702
9,533	324	2	0,601869	0,0211635	0,560390	0,64335
9,617	322	1	0,600000	0,0211801	0,558488	0,64151
9,817	321	1	0,598131	0,0211965	0,556587	0,63968
9,983	320	1	0,596262	0,0212125	0,554686	0,63784
10,150	319	1	0,594393	0,0212282	0,552786	0,63600
10,300	318	2	0,590654	0,0212586	0,548988	0,63232
10,517	316	1	0,588785	0,0212734	0,547090	0,63048
10,533	315	1	0,586916	0,0212878	0,545193	0,62864
10,567	314	1	0,585047	0,0213019	0,543296	0,62680
10,717	313	1	0,583178	0,0213157	0,541400	0,62496
10,900	312	1	0,581308	0,0213291	0,539504	0,62311
11,050	311	1	0,579439	0,0213423	0,537609	0,62127
11,117	310	1	0,577570	0,0213552	0,535715	0,61943
11,200	309	1	0,575701	0,0213677	0,533821	0,61758
11,317	308	1	0,573832	0,0213799	0,531928	0,61574
11,700	307	1	0,571963	0,0213918	0,530035	0,61389
11,900	306	1	0,570093	0,0214034	0,528144	0,61204
11,917	305	1	0,568224	0,0214147	0,526252	0,61020
12,200	304	1	0,566355	0,0214257	0,524362	0,60835
12,317	303	1	0,564486	0,0214363	0,522472	0,60650
12,333	302	1	0,562617	0,0214467	0,520582	0,60465
12,417	301	1	0,560748	0,0214567	0,518693	0,60280
12,467	300	1	0,558879	0,0214665	0,516805	0,60095
12,550	299	1	0,557009	0,0214759	0,514917	0,59910
12,650	298	1	0,555140	0,0214850	0,513030	0,59725
12,667	297	1	0,553271	0,0214938	0,511144	0,59540
12,833	296	1	0,551402	0,0215024	0,509258	0,59355
13,100	295	1	0,549533	0,0215105	0,507373	0,59169
13,117	294	1	0,547664	0,0215184	0,505488	0,58984
13,233	293	1	0,545794	0,0215260	0,503604	0,58798
13,383	292	2	0,542056	0,0215403	0,499838	0,58427
13,533	290	1	0,540187	0,0215469	0,497956	0,58242
13,750	289	1	0,538318	0,0215533	0,496074	0,58056
13,767	288	1	0,536449	0,0215594	0,494193	0,57870
13,817	287	1	0,534579	0,0215651	0,492313	0,57685
13,933	286	1	0,532710	0,0215706	0,490433	0,57499
14,033	285	1	0,530841	0,0215757	0,488553	0,57313
14,117	284	1	0,528972	0,0215806	0,486675	0,57127
14,333	283	1	0,527103	0,0215851	0,484797	0,56941
14,467	282	1	0,525234	0,0215893	0,482919	0,56755
14,683	281	2	0,521495	0,0215969	0,479166	0,56382
15,150	279	1	0,519626	0,0216002	0,477291	0,56196
15,650	278	1	0,517757	0,0216032	0,475415	0,56010
15,833	277	1	0,515888	0,0216060	0,473541	0,55823
15,917	276	1	0,514019	0,0216084	0,471667	0,55637
16,133	275	1	0,512150	0,0216105	0,469794	0,55451
16,167	274	1	0,510280	0,0216123	0,467921	0,55264
16,250	273	1	0,508411	0,0216138	0,466049	0,55077

16,317	272	1	0,506542	0,0216150	0,464177	0,54891
16,450	271	1	0,504673	0,0216159	0,462306	0,54704
16,683	270	1	0,502804	0,0216165	0,460436	0,54517
16,750	269	1	0,500935	0,0216168	0,458566	0,54330
17,217	268	1	0,499065	0,0216168	0,456697	0,54143
17,883	267	1	0,497196	0,0216165	0,454829	0,53956
17,983	266	1	0,495327	0,0216159	0,452961	0,53769
18,000	265	1	0,493458	0,0216150	0,451093	0,53582
18,033	264	1	0,491589	0,0216138	0,449226	0,53395
18,250	263	1	0,489720	0,0216123	0,447360	0,53208
18,367	262	1	0,487850	0,0216105	0,445495	0,53021
18,633	261	1	0,485981	0,0216084	0,443630	0,52833
18,850	260	1	0,484112	0,0216060	0,441765	0,52646
18,900	259	1	0,482243	0,0216032	0,439901	0,52458
18,983	258	1	0,480374	0,0216002	0,438038	0,52271
19,067	257	1	0,478505	0,0215969	0,436176	0,52083
19,083	256	1	0,476636	0,0215933	0,434313	0,51896
19,383	255	1	0,474766	0,0215893	0,432452	0,51708
19,417	254	1	0,472897	0,0215851	0,430591	0,51520
19,800	253	1	0,471028	0,0215806	0,428731	0,51333
20,517	252	1	0,469159	0,0215757	0,426871	0,51145
20,533	251	2	0,465421	0,0215651	0,423154	0,50769
20,600	249	1	0,463551	0,0215594	0,421296	0,50581
20,817	248	1	0,461682	0,0215533	0,419439	0,50393
21,183	247	1	0,459813	0,0215469	0,417582	0,50204
21,200	246	1	0,457944	0,0215403	0,415726	0,50016
21,717	245	1	0,456075	0,0215333	0,413870	0,49828
21,817	244	1	0,454206	0,0215260	0,412015	0,49640
22,067	243	1	0,452336	0,0215184	0,410161	0,49451
22,183	242	1	0,450467	0,0215105	0,408307	0,49263
22,400	241	1	0,448598	0,0215024	0,406454	0,49074
22,417	240	1	0,446729	0,0214938	0,404602	0,48886
22,450	239	1	0,444860	0,0214850	0,402750	0,48697
22,483	238	1	0,442991	0,0214759	0,400899	0,48508
22,517	237	1	0,441121	0,0214665	0,399048	0,48320
23,333	236	1	0,439252	0,0214567	0,397198	0,48131
23,383	235	1	0,437383	0,0214467	0,395348	0,47942
23,400	234	1	0,435514	0,0214363	0,393500	0,47753
23,450	233	1	0,433645	0,0214257	0,391651	0,47564
23,650	232	1	0,431776	0,0214147	0,389804	0,47375
23,917	231	1	0,429907	0,0214034	0,387957	0,47186
23,950	230	1	0,428037	0,0213918	0,386110	0,46996
23,983	229	1	0,426168	0,0213799	0,384264	0,46807
24,467	228	1	0,424299	0,0213677	0,382419	0,46618
24,583	227	1	0,422430	0,0213552	0,380575	0,46429
24,667	226	1	0,420561	0,0213423	0,378731	0,46239
25,117	225	1	0,418692	0,0213291	0,376887	0,46050
25,133	224	1	0,416822	0,0213157	0,375044	0,45860
25,150	223	1	0,414953	0,0213019	0,373202	0,45670
25,183	222	1	0,413084	0,0212878	0,371361	0,45481
25,283	221	1	0,411215	0,0212734	0,369520	0,45291
25,300	220	1	0,409346	0,0212586	0,367680	0,45101
25,367	219	1	0,407477	0,0212436	0,365840	0,44911
25,667	218	1	0,405607	0,0212282	0,364001	0,44721
25,750	217	1	0,403738	0,0212125	0,362163	0,44531
25,883	216	1	0,401869	0,0211965	0,360325	0,44341
26,133	215	1	0,400000	0,0211801	0,358488	0,44151
26,350	214	1	0,398131	0,0211635	0,356651	0,43961
26,483	213	1	0,396262	0,0211465	0,354815	0,43771
26,500	212	1	0,394393	0,0211292	0,352980	0,43580
26,533	211	1	0,392523	0,0211116	0,351145	0,43390
26,633	210	1	0,390654	0,0210936	0,349311	0,43200
26,650	209	1	0,388785	0,0210754	0,347478	0,43009
26,933	208	1	0,386916	0,0210568	0,345645	0,42819
27,033	207	1	0,385047	0,0210378	0,343813	0,42628
27,167	206	1	0,383178	0,0210186	0,341982	0,42437
27,233	205	1	0,381308	0,0209990	0,340151	0,42247
27,400	204	1	0,379439	0,0209791	0,338321	0,42056

27,567	203	1	0,377570	0,0209588	0,336492	0,41865
27,967	202	1	0,375701	0,0209383	0,334663	0,41674
28,650	201	1	0,373832	0,0209174	0,332835	0,41483
28,667	200	1	0,371963	0,0208961	0,331007	0,41292
28,683	199	1	0,370093	0,0208745	0,329180	0,41101
28,783	198	1	0,368224	0,0208526	0,327354	0,40909
28,950	197	1	0,366355	0,0208304	0,325528	0,40718
29,000	196	1	0,364486	0,0208078	0,323703	0,40527
29,183	195	1	0,362617	0,0207849	0,321879	0,40335
29,217	194	2	0,358879	0,0207380	0,318233	0,39952
29,300	192	1	0,357009	0,0207141	0,316411	0,39761
29,567	191	1	0,355140	0,0206898	0,314589	0,39569
29,750	190	1	0,353271	0,0206651	0,312768	0,39377
29,850	189	1	0,351402	0,0206402	0,310948	0,39186
29,950	188	1	0,349533	0,0206148	0,309128	0,38994
30,417	187	1	0,347664	0,0205892	0,307310	0,38802
30,467	186	1	0,345794	0,0205631	0,305491	0,38610
30,733	185	1	0,343925	0,0205368	0,303674	0,38418
30,817	184	1	0,342056	0,0205100	0,301857	0,38225
31,417	183	1	0,340187	0,0204829	0,300041	0,38033
31,950	182	1	0,338318	0,0204555	0,298226	0,37841
32,100	181	1	0,336449	0,0204277	0,296411	0,37649
32,200	180	1	0,334579	0,0203996	0,294597	0,37456
32,517	179	1	0,332710	0,0203711	0,292784	0,37264
32,667	178	1	0,330841	0,0203422	0,290971	0,37071
33,067	177	1	0,328972	0,0203129	0,289159	0,36878
33,233	176	1	0,327103	0,0202833	0,287348	0,36686
33,417	175	1	0,325234	0,0202534	0,285538	0,36493
34,200	174	1	0,323364	0,0202231	0,283728	0,36300
34,217	173	1	0,321495	0,0201923	0,281919	0,36107
34,283	172	1	0,319626	0,0201613	0,280111	0,35914
34,400	171	1	0,317757	0,0201298	0,278303	0,35721
34,433	170	1	0,315888	0,0200980	0,276496	0,35528
34,733	169	1	0,314019	0,0200658	0,274690	0,35335
34,933	168	1	0,312150	0,0200333	0,272885	0,35141
37,117	167	2	0,308411	0,0199670	0,269277	0,34755
37,183	165	1	0,306542	0,0199333	0,267474	0,34561
37,317	164	1	0,304673	0,0198992	0,265671	0,34367
37,567	163	1	0,302804	0,0198647	0,263870	0,34174
38,617	162	2	0,299065	0,0197945	0,260269	0,33786
38,883	160	1	0,297196	0,0197589	0,258470	0,33592
39,650	159	1	0,295327	0,0197228	0,256671	0,33398
39,950	158	1	0,293458	0,0196863	0,254873	0,33204
40,133	157	1	0,291589	0,0196495	0,253076	0,33010
40,367	156	1	0,289720	0,0196122	0,251280	0,32816
40,583	155	1	0,287850	0,0195746	0,249485	0,32622
40,733	154	1	0,285981	0,0195365	0,247690	0,32427
40,833	153	1	0,284112	0,0194980	0,245897	0,32233
40,950	152	1	0,282243	0,0194591	0,244104	0,32038
40,967	151	2	0,278505	0,0193801	0,240520	0,31649
41,433	149	1	0,276636	0,0193400	0,238730	0,31454
41,583	148	1	0,274766	0,0192994	0,236940	0,31259
41,967	147	1	0,272897	0,0192584	0,235151	0,31064
42,133	146	1	0,271028	0,0192170	0,233363	0,30869
42,200	145	1	0,269159	0,0191752	0,231576	0,30674
42,600	144	1	0,267290	0,0191329	0,229790	0,30479
42,800	143	2	0,263551	0,0190470	0,226220	0,30088
43,483	141	1	0,261682	0,0190034	0,224436	0,29893
43,617	140	1	0,259813	0,0189594	0,222653	0,29697
43,817	139	1	0,257944	0,0189149	0,220871	0,29502
44,667	138	1	0,256075	0,0188700	0,219090	0,29306
45,700	137	1	0,254206	0,0188246	0,217310	0,29110
45,717	136	1	0,252336	0,0187787	0,215531	0,28914
46,317	135	1	0,250467	0,0187324	0,213752	0,28718
46,433	134	1	0,248598	0,0186856	0,211975	0,28522
47,217	133	1	0,246729	0,0186384	0,210198	0,28326
47,600	132	1	0,244860	0,0185907	0,208423	0,28130
48,467	131	1	0,242991	0,0185425	0,206648	0,27933

49,233	130	1	0,241121	0,0184938	0,204874	0,27737
49,750	129	1	0,239252	0,0184447	0,203101	0,27540
52,117	128	1	0,237383	0,0183951	0,201330	0,27344
52,333	127	1	0,235514	0,0183449	0,199559	0,27147
52,350	126	1	0,233645	0,0182943	0,197789	0,26950
53,467	125	1	0,231776	0,0182432	0,196020	0,26753
53,767	124	1	0,229907	0,0181916	0,194252	0,26556
54,267	123	1	0,228037	0,0181395	0,192485	0,26359
55,333	122	1	0,226168	0,0180868	0,190719	0,26162
55,567	121	1	0,224299	0,0180337	0,188954	0,25964
55,833	120	2	0,220561	0,0179258	0,185427	0,25569
55,867	118	1	0,218692	0,0178711	0,183665	0,25372
56,583	117	1	0,216822	0,0178158	0,181904	0,25174
56,933	116	1	0,214953	0,0177600	0,180144	0,24976
57,767	115	1	0,213084	0,0177036	0,178386	0,24778
58,833	114	1	0,211215	0,0176468	0,176628	0,24580
59,300	113	1	0,209346	0,0175893	0,174871	0,24382
59,467	112	1	0,207477	0,0175313	0,173116	0,24184
59,500	111	1	0,205607	0,0174727	0,171362	0,23985
60,133	110	1	0,203738	0,0174136	0,169608	0,23787
60,200	109	1	0,201869	0,0173538	0,167856	0,23588
60,617	108	1	0,200000	0,0172935	0,166105	0,23389
60,783	107	1	0,198131	0,0172326	0,164356	0,23191
60,867	106	1	0,196262	0,0171711	0,162607	0,22992
61,217	105	1	0,194393	0,0171090	0,160859	0,22793
61,383	104	1	0,192523	0,0170463	0,159113	0,22593
61,600	103	1	0,190654	0,0169830	0,157368	0,22394
62,183	102	1	0,188785	0,0169190	0,155624	0,22195
64,083	101	1	0,186916	0,0168544	0,153882	0,21995
66,283	100	1	0,185047	0,0167892	0,152140	0,21795
66,617	99	1	0,183178	0,0167233	0,150400	0,21595
67,000	98	1	0,181308	0,0166568	0,148662	0,21396
67,100	97	1	0,179439	0,0165896	0,146924	0,21195
67,467	96	1	0,177570	0,0165218	0,145188	0,20995
68,917	95	1	0,175701	0,0164533	0,143453	0,20795
69,450	94	1	0,173832	0,0163841	0,141720	0,20594
69,933	93	1	0,171963	0,0163142	0,139987	0,20394
70,117	92	1	0,170093	0,0162436	0,138257	0,20193
70,183	91	1	0,168224	0,0161723	0,136527	0,19992
70,850	90	1	0,166355	0,0161002	0,134799	0,19791
70,883	89	1	0,164486	0,0160274	0,133073	0,19590
71,467	88	1	0,162617	0,0159539	0,131348	0,19389
71,683	87	1	0,160748	0,0158797	0,129624	0,19187
72,500	86	1	0,158879	0,0158047	0,127902	0,18986
72,783	85	1	0,157009	0,0157289	0,126181	0,18784
73,100	84	1	0,155140	0,0156523	0,124462	0,18582
73,800	83	1	0,153271	0,0155749	0,122745	0,18380
75,117	82	1	0,151402	0,0154967	0,121029	0,18177
75,850	81	1	0,149533	0,0154177	0,119315	0,17975
75,900	80	1	0,147664	0,0153379	0,117602	0,17773
76,667	79	1	0,145794	0,0152572	0,115891	0,17570
76,700	78	1	0,143925	0,0151757	0,114181	0,17367
77,517	77	1	0,142056	0,0150932	0,112474	0,17164
77,683	76	1	0,140187	0,0150099	0,110768	0,16961
77,833	75	1	0,138318	0,0149257	0,109064	0,16757
78,500	74	1	0,136449	0,0148406	0,107362	0,16554
79,283	73	1	0,134579	0,0147546	0,105661	0,16350
80,650	72	1	0,132710	0,0146675	0,103962	0,16146
80,750	71	1	0,130841	0,0145796	0,102266	0,15942
80,900	70	1	0,128972	0,0144906	0,100571	0,15737
80,917	69	1	0,127103	0,0144007	0,098878	0,15533
81,633	68	1	0,125234	0,0143097	0,097187	0,15328
81,700	67	1	0,123364	0,0142176	0,095498	0,15123
82,150	66	1	0,121495	0,0141246	0,093812	0,14918
83,117	65	1	0,119626	0,0140304	0,092127	0,14713
83,833	64	1	0,117757	0,0139351	0,090445	0,14507
84,683	63	1	0,115888	0,0138387	0,088764	0,14301
85,033	62	1	0,114019	0,0137412	0,087087	0,14095

85,733	61	1	0,112150	0,0136424	0,085411	0,13889
88,517	60	1	0,110280	0,0135425	0,083738	0,13682
89,217	59	1	0,108411	0,0134413	0,082067	0,13476
89,717	58	1	0,106542	0,0133389	0,080398	0,13269
89,750	57	1	0,104673	0,0132352	0,078732	0,13061
89,783	56	1	0,102804	0,0131302	0,077069	0,12854
90,450	55	1	0,100935	0,0130238	0,075408	0,12646
90,850	54	1	0,099065	0,0129161	0,073750	0,12438
93,767	53	1	0,097196	0,0128069	0,072095	0,12230
93,917	52	1	0,095327	0,0126963	0,070443	0,12021
94,433	51	1	0,093458	0,0125842	0,068793	0,11812
94,983	50	1	0,091589	0,0124705	0,067147	0,11603
96,600	49	1	0,089720	0,0123553	0,065504	0,11394
96,633	48	1	0,087850	0,0122385	0,063863	0,11184
97,217	47	1	0,085981	0,0121200	0,062227	0,10974
97,533	46	1	0,084112	0,0119998	0,060593	0,10763
99,950	45	1	0,082243	0,0118778	0,058963	0,10552
101,800	44	1	0,080374	0,0117540	0,057336	0,10341
103,350	43	1	0,078505	0,0116283	0,055714	0,10130
105,083	42	1	0,076636	0,0115007	0,054095	0,09918
105,833	41	1	0,074766	0,0113711	0,052479	0,09705
107,550	40	1	0,072897	0,0112394	0,050868	0,09493
107,717	39	1	0,071028	0,0111055	0,049262	0,09279
111,100	38	1	0,069159	0,0109695	0,047659	0,09066
114,583	37	1	0,067290	0,0108311	0,046061	0,08852
117,817	36	1	0,065421	0,0106903	0,044468	0,08637
119,083	35	1	0,063551	0,0105470	0,042880	0,08422
119,383	34	1	0,061682	0,0104011	0,041297	0,08207
119,933	33	1	0,059813	0,0102525	0,039719	0,07991
124,317	32	1	0,057944	0,0101010	0,038146	0,07774
125,033	31	1	0,056075	0,0099466	0,036580	0,07557
126,033	30	1	0,054206	0,0097891	0,035019	0,07339
126,167	29	1	0,052336	0,0096284	0,033465	0,07121
127,617	28	1	0,050467	0,0094642	0,031918	0,06902
128,567	27	1	0,048598	0,0092964	0,030378	0,06682
130,767	26	1	0,046729	0,0091248	0,028845	0,06461
132,700	25	1	0,044860	0,0089492	0,027320	0,06240
140,450	24	1	0,042991	0,0087694	0,025803	0,06018
143,100	23	1	0,041121	0,0085850	0,024295	0,05795
145,983	22	1	0,039252	0,0083958	0,022797	0,05571
153,567	21	1	0,037383	0,0082014	0,021309	0,05346
157,733	20	1	0,035514	0,0080015	0,019831	0,05120
161,117	19	1	0,033645	0,0077956	0,018366	0,04892
164,167	18	1	0,031776	0,0075833	0,016913	0,04664
165,483	17	1	0,029907	0,0073640	0,015473	0,04434
169,967	16	1	0,028037	0,0071370	0,014049	0,04203
174,617	15	1	0,026168	0,0069016	0,012641	0,03970
184,717	14	1	0,024299	0,0066570	0,011252	0,03735
187,800	13	1	0,022430	0,0064019	0,009882	0,03498
193,650	12	1	0,020561	0,0061352	0,008536	0,03259
193,733	11	1	0,018692	0,0058553	0,007215	0,03017
196,750	10	1	0,016822	0,0055601	0,005925	0,02772
217,717	9	1	0,014953	0,0052471	0,004669	0,02524
224,483	8	1	0,013084	0,0049129	0,003455	0,02271
233,467	7	1	0,011215	0,0045527	0,002292	0,02014
259,850	6	1	0,009346	0,0041600	0,001192	0,01750
261,267	5	1	0,007477	0,0037243	0,000177	0,01478
296,100	4	1	0,005607	0,0032284	0,000000	0,01194
296,783	3	1	0,003738	0,0026384	0,000000	0,00891
317,233	2	1	0,001869	0,0018674	0,000000	0,00553
401,200	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,00000

Ek Açıklama-N: M5 Arızalanma Verilerinin Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	Upper
1,183	151	1	0,993377	0,0066006	0,980441	1,00000
1,233	150	2	0,980132	0,0113560	0,957875	1,00000
1,333	148	1	0,973510	0,0130684	0,947896	0,99912
1,417	147	1	0,966887	0,0145612	0,938348	0,99543
1,550	146	1	0,960265	0,0158962	0,929109	0,99142
1,917	145	1	0,953642	0,0171106	0,920106	0,98718
2,083	144	1	0,947020	0,0182284	0,911293	0,98275
2,267	143	1	0,940397	0,0192664	0,902636	0,97816
2,433	142	1	0,933775	0,0202369	0,894111	0,97344
2,483	141	1	0,927152	0,0211492	0,885701	0,96860
2,500	140	1	0,920530	0,0220106	0,877390	0,96367
3,050	139	1	0,913907	0,0228268	0,869168	0,95865
3,550	138	1	0,907285	0,0236025	0,861025	0,95354
3,667	137	1	0,900662	0,0243416	0,852954	0,94837
3,700	136	1	0,894040	0,0250473	0,844948	0,94313
3,750	135	1	0,887417	0,0257224	0,837002	0,93783
4,083	134	1	0,880795	0,0263692	0,829112	0,93248
4,833	133	1	0,874172	0,0269897	0,821273	0,92707
4,950	132	1	0,867550	0,0275858	0,813483	0,92162
6,333	131	1	0,860927	0,0281589	0,805737	0,91612
7,083	130	1	0,854305	0,0287105	0,798033	0,91058
8,017	129	1	0,847682	0,0292418	0,790369	0,90499
9,250	128	1	0,841060	0,0297538	0,782743	0,89938
9,900	127	1	0,834437	0,0302475	0,775153	0,89372
10,533	126	1	0,827815	0,0307239	0,767597	0,88803
13,633	125	1	0,821192	0,0311837	0,760073	0,88231
13,650	124	1	0,814570	0,0316276	0,752581	0,87656
13,850	123	1	0,807947	0,0320563	0,745118	0,87078
14,183	122	1	0,801325	0,0324704	0,737684	0,86497
14,217	121	1	0,794702	0,0328705	0,730277	0,85913
16,850	120	1	0,788079	0,0332570	0,722897	0,85326
18,067	119	1	0,781457	0,0336304	0,715543	0,84737
18,450	118	1	0,774834	0,0339912	0,708213	0,84146
19,800	117	1	0,768212	0,0343398	0,700907	0,83552
20,083	116	1	0,761589	0,0346765	0,693625	0,82955
20,533	115	1	0,754967	0,0350016	0,686365	0,82357
20,600	114	1	0,748344	0,0353155	0,679127	0,81756
21,317	113	1	0,741722	0,0356185	0,671911	0,81153
22,533	112	1	0,735099	0,0359109	0,664715	0,80548
25,983	111	1	0,728477	0,0361929	0,657540	0,79941
26,750	110	1	0,721854	0,0364647	0,650385	0,79332
30,117	109	1	0,715232	0,0367266	0,643249	0,78721
30,450	108	1	0,708609	0,0369788	0,636132	0,78109
30,700	107	1	0,701987	0,0372215	0,629034	0,77494
31,133	106	1	0,695364	0,0374549	0,621954	0,76877
31,517	105	1	0,688742	0,0376791	0,614892	0,76259
31,550	104	1	0,682119	0,0378943	0,607848	0,75639
32,100	103	1	0,675497	0,0381007	0,600821	0,75017
34,050	102	1	0,668874	0,0382984	0,593811	0,74394
34,100	101	1	0,662252	0,0384875	0,586818	0,73769
36,533	100	1	0,655629	0,0386682	0,579841	0,73142
38,883	99	1	0,649007	0,0388406	0,572881	0,72513
38,950	98	1	0,642384	0,0390047	0,565936	0,71883
39,600	97	1	0,635762	0,0391608	0,559008	0,71252
39,900	96	1	0,629139	0,0393089	0,552095	0,70618
40,250	95	1	0,622517	0,0394490	0,545198	0,69984
40,383	94	1	0,615894	0,0395813	0,538316	0,69347
40,533	93	1	0,609272	0,0397059	0,531449	0,68709
40,767	92	1	0,602649	0,0398227	0,524598	0,68070
40,833	91	1	0,596026	0,0399320	0,517761	0,67429
42,733	90	1	0,589404	0,0400337	0,510939	0,66787
42,850	89	1	0,582781	0,0401279	0,504132	0,66143
42,933	88	1	0,576159	0,0402146	0,497340	0,65498

43,850	87	1	0,569536	0,0402940	0,490562	0,64851
46,883	86	1	0,562914	0,0403660	0,483798	0,64203
49,183	85	1	0,556291	0,0404307	0,477049	0,63553
51,567	84	1	0,549669	0,0404882	0,470314	0,62902
57,317	83	1	0,543046	0,0405383	0,463593	0,62250
59,667	82	1	0,536424	0,0405813	0,456886	0,61596
62,867	81	1	0,529801	0,0406171	0,450193	0,60941
63,800	80	1	0,523179	0,0406457	0,443515	0,60284
66,800	79	1	0,516556	0,0406671	0,436850	0,59626
67,733	78	1	0,509934	0,0406814	0,430200	0,58967
71,283	77	1	0,503311	0,0406885	0,423563	0,58306
71,483	76	1	0,496689	0,0406885	0,416941	0,57644
73,450	75	1	0,490066	0,0406814	0,410332	0,56980
74,067	74	1	0,483444	0,0406671	0,403738	0,56315
79,383	73	1	0,476821	0,0406457	0,397157	0,55649
79,767	72	1	0,470199	0,0406171	0,390591	0,54981
83,333	71	1	0,463576	0,0405813	0,384038	0,54311
84,767	70	1	0,456954	0,0405383	0,377500	0,53641
84,983	69	1	0,450331	0,0404882	0,370976	0,52969
85,683	68	1	0,443709	0,0404307	0,364466	0,52295
88,333	67	1	0,437086	0,0403660	0,357970	0,51620
92,867	66	1	0,430464	0,0402940	0,351489	0,50944
95,550	65	1	0,423841	0,0402146	0,345022	0,50266
102,850	64	1	0,417219	0,0401279	0,338569	0,49587
105,917	63	1	0,410596	0,0400337	0,332131	0,48906
106,700	62	1	0,403974	0,0399320	0,325708	0,48224
108,583	61	1	0,397351	0,0398227	0,319300	0,47540
108,867	60	1	0,390728	0,0397059	0,312906	0,46855
109,667	59	1	0,384106	0,0395813	0,306528	0,46168
126,117	58	1	0,377483	0,0394490	0,300165	0,45480
128,517	57	1	0,370861	0,0393089	0,293817	0,44790
133,533	56	1	0,364238	0,0391608	0,287485	0,44099
134,217	55	1	0,357616	0,0390047	0,281168	0,43406
134,317	54	1	0,350993	0,0388406	0,274867	0,42712
135,167	53	1	0,344371	0,0386682	0,268583	0,42016
136,583	52	1	0,337748	0,0384875	0,262314	0,41318
137,117	51	1	0,331126	0,0382984	0,256062	0,40619
139,050	50	1	0,324503	0,0381007	0,249827	0,39918
143,433	49	1	0,317881	0,0378943	0,243609	0,39215
149,117	48	1	0,311258	0,0376791	0,237409	0,38511
151,317	47	1	0,304636	0,0374549	0,231226	0,37805
151,600	46	1	0,298013	0,0372215	0,225060	0,37097
155,267	45	1	0,291391	0,0369788	0,218914	0,36387
155,867	44	1	0,284768	0,0367266	0,212785	0,35675
156,167	43	1	0,278146	0,0364647	0,206676	0,34962
161,850	42	1	0,271523	0,0361929	0,200586	0,34246
162,550	41	1	0,264901	0,0359109	0,194517	0,33528
169,250	40	1	0,258278	0,0356185	0,188467	0,32809
169,617	39	1	0,251656	0,0353155	0,182438	0,32087
171,083	38	1	0,245033	0,0350016	0,176431	0,31363
175,183	37	1	0,238411	0,0346765	0,170446	0,30638
176,033	36	1	0,231788	0,0343398	0,164483	0,29909
181,550	35	1	0,225166	0,0339912	0,158544	0,29179
183,483	34	1	0,218543	0,0336304	0,152629	0,28446
184,117	33	1	0,211921	0,0332570	0,146738	0,27710
185,217	32	1	0,205298	0,0328705	0,140873	0,26972
185,767	31	1	0,198675	0,0324704	0,135035	0,26232
185,800	30	1	0,192053	0,0320563	0,129224	0,25488
197,950	29	1	0,185430	0,0316276	0,123442	0,24742
200,400	28	1	0,178808	0,0311837	0,117689	0,23993
200,950	27	1	0,172185	0,0307239	0,111968	0,23240
202,083	26	1	0,165563	0,0302475	0,106279	0,22485
205,633	25	1	0,158940	0,0297538	0,100624	0,21726
214,917	24	1	0,152318	0,0292418	0,095005	0,20963
218,933	23	1	0,145695	0,0287105	0,089424	0,20197
220,650	22	1	0,139073	0,0281589	0,083882	0,19426
245,217	21	1	0,132450	0,0275858	0,078383	0,18652
246,250	20	1	0,125828	0,0269897	0,072929	0,17873

246,817	19	1	0,119205	0,0263692	0,067523	0,17089
250,767	18	1	0,112583	0,0257224	0,062168	0,16300
251,317	17	1	0,105960	0,0250473	0,056868	0,15505
267,000	16	1	0,099338	0,0243416	0,051629	0,14705
268,650	15	1	0,092715	0,0236025	0,046455	0,13898
272,283	14	1	0,086093	0,0228268	0,041353	0,13083
275,750	13	1	0,079470	0,0220106	0,036330	0,12261
292,383	12	1	0,072848	0,0211492	0,031396	0,11430
292,433	11	1	0,066225	0,0202369	0,026562	0,10589
301,800	10	1	0,059603	0,0192664	0,021841	0,09736
303,683	9	1	0,052980	0,0182284	0,017253	0,08871
326,683	8	1	0,046358	0,0171106	0,012821	0,07989
334,583	7	1	0,039735	0,0158962	0,008579	0,07089
335,683	6	1	0,033113	0,0145612	0,004573	0,06165
337,067	5	1	0,026490	0,0130684	0,000876	0,05210
390,383	4	1	0,019868	0,0113560	0,000000	0,04212
400,833	3	1	0,013245	0,0093034	0,000000	0,03148
419,733	2	1	0,006623	0,0066006	0,000000	0,01956
424,750	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,00000

Ek Açıklama-O: M1 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	Upper
0,1000	580	13	0,977586	0,0061464	0,965539	0,989633
0,1167	567	16	0,950000	0,0090497	0,932263	0,967737
0,1333	551	14	0,925862	0,0108788	0,904540	0,947184
0,1500	537	7	0,913793	0,0116542	0,890951	0,936635
0,1667	530	9	0,898276	0,0125517	0,873675	0,922877
0,1833	521	5	0,889655	0,0130099	0,864156	0,915154
0,2000	516	9	0,874138	0,0137728	0,847144	0,901132
0,2167	507	2	0,870690	0,0139327	0,843382	0,897997
0,2333	505	9	0,855172	0,0146130	0,826532	0,883813
0,2500	496	7	0,843103	0,0151020	0,813504	0,872703
0,2667	489	7	0,831034	0,0155595	0,800538	0,861530
0,2833	482	6	0,820690	0,0159286	0,789470	0,851909
0,3000	476	14	0,796552	0,0167155	0,763790	0,829314
0,3167	462	6	0,786207	0,0170236	0,752841	0,819573
0,3333	456	15	0,760345	0,0177249	0,725605	0,795085
0,3500	441	5	0,751724	0,0179384	0,716566	0,786883
0,3667	436	15	0,725862	0,0185224	0,689559	0,762165
0,3833	421	9	0,710345	0,0188348	0,673429	0,747260
0,4000	412	5	0,701724	0,0189967	0,664491	0,738957
0,4167	407	3	0,696552	0,0190900	0,659136	0,733967
0,4333	404	4	0,689655	0,0192099	0,652005	0,727306
0,4500	400	7	0,677586	0,0194077	0,639548	0,715625
0,4667	393	11	0,658621	0,0196889	0,620031	0,697210
0,4833	382	4	0,651724	0,0197824	0,612951	0,690497
0,5000	378	9	0,636207	0,0199762	0,597054	0,675359
0,5167	369	9	0,620690	0,0201475	0,581201	0,660178
0,5333	360	13	0,598276	0,0203564	0,558378	0,638174
0,5500	347	11	0,579310	0,0204985	0,539134	0,619487
0,5667	336	3	0,574138	0,0205319	0,533896	0,614380
0,5833	333	12	0,553448	0,0206424	0,512990	0,593907
0,6000	321	7	0,541379	0,0206902	0,500827	0,581931
0,6167	314	11	0,522414	0,0207405	0,481763	0,563064
0,6333	303	8	0,508621	0,0207583	0,467935	0,549306
0,6500	295	11	0,489655	0,0207569	0,448972	0,530338
0,6667	284	11	0,470690	0,0207257	0,430068	0,511311
0,6833	273	3	0,465517	0,0207119	0,424923	0,506112
0,7000	270	10	0,448276	0,0206500	0,407803	0,488749
0,7167	260	4	0,441379	0,0206182	0,400968	0,481790
0,7333	256	8	0,427586	0,0205425	0,387324	0,467849
0,7500	248	3	0,422414	0,0205099	0,382215	0,462612
0,7667	245	10	0,405172	0,0203846	0,365219	0,445125
0,7833	235	9	0,389655	0,0202495	0,349967	0,429343
0,8000	226	4	0,382759	0,0201825	0,343202	0,422316
0,8167	222	4	0,375862	0,0201113	0,336445	0,415280
0,8333	218	4	0,368966	0,0200357	0,329696	0,408235
0,8500	214	11	0,350000	0,0198051	0,311183	0,388817
0,8667	203	5	0,341379	0,0196889	0,302790	0,379969
0,8833	198	5	0,332759	0,0195656	0,294411	0,371106
0,9000	193	1	0,331034	0,0195400	0,292737	0,369332
0,9167	192	6	0,320690	0,0193804	0,282705	0,358675
0,9333	186	2	0,317241	0,0193248	0,279366	0,355117
0,9500	184	6	0,306897	0,0191505	0,269362	0,344431
0,9667	178	8	0,293103	0,0189005	0,256059	0,330148
0,9833	170	6	0,282759	0,0186994	0,246109	0,319409
1,0000	164	3	0,277586	0,0185942	0,241142	0,314030
1,0167	161	10	0,260345	0,0182211	0,224632	0,296058
1,0333	151	3	0,255172	0,0181022	0,219693	0,290652
1,0500	148	4	0,248276	0,0179384	0,213117	0,283434
1,0667	144	8	0,234483	0,0175922	0,200003	0,268963
1,0833	136	3	0,229310	0,0174557	0,195098	0,263523
1,1000	133	3	0,224138	0,0173155	0,190200	0,258076
1,1167	130	4	0,217241	0,0171227	0,183682	0,250801
1,1333	126	1	0,215517	0,0170733	0,182054	0,248980

1,1500	125	2	0,212069	0,0169734	0,178802	0,245336
1,1667	123	3	0,206897	0,0168201	0,173930	0,239863
1,1833	120	2	0,203448	0,0167155	0,170686	0,236210
1,2000	118	1	0,201724	0,0166625	0,169066	0,234382
1,2167	117	3	0,196552	0,0165007	0,164211	0,228893
1,2333	114	5	0,187931	0,0162212	0,156138	0,219724
1,2500	109	2	0,184483	0,0161057	0,152916	0,216049
1,2667	107	3	0,179310	0,0159286	0,148091	0,210530
1,3000	104	1	0,177586	0,0158685	0,146485	0,208688
1,3167	103	5	0,168966	0,0155595	0,138470	0,199462
1,3333	98	4	0,162069	0,0153017	0,132078	0,192060
1,3667	94	1	0,160345	0,0152358	0,130483	0,190206
1,3833	93	2	0,156897	0,0151020	0,127297	0,186496
1,4000	91	1	0,155172	0,0150341	0,125706	0,184639
1,4167	90	3	0,150000	0,0148266	0,120940	0,179060
1,4333	87	2	0,146552	0,0146849	0,117770	0,175334
1,4500	85	8	0,132759	0,0140892	0,105144	0,160373
1,4667	77	1	0,131034	0,0140114	0,103573	0,158496
1,5000	76	2	0,127586	0,0138532	0,100434	0,154738
1,5167	74	1	0,125862	0,0137728	0,098868	0,152856
1,5333	73	2	0,122414	0,0136096	0,095739	0,149088
1,5500	71	1	0,120690	0,0135267	0,094178	0,147202
1,5667	70	1	0,118966	0,0134429	0,092618	0,145313
1,6000	69	1	0,117241	0,0133582	0,091060	0,143423
1,6167	68	3	0,112069	0,0130984	0,086397	0,137741
1,6333	65	3	0,106897	0,0128298	0,081751	0,132042
1,6667	62	2	0,103448	0,0126455	0,078664	0,128233
1,6833	60	1	0,101724	0,0125517	0,077123	0,126325
1,7000	59	1	0,100000	0,0124568	0,075585	0,124415
1,7167	58	2	0,096552	0,0122636	0,072516	0,120588
1,7333	56	2	0,093103	0,0120656	0,069455	0,116752
1,7500	54	1	0,091379	0,0119647	0,067929	0,114830
1,7667	53	1	0,089655	0,0118625	0,066405	0,112905
1,8167	52	1	0,087931	0,0117590	0,064884	0,110978
1,8333	51	1	0,086207	0,0116542	0,063365	0,109049
1,8500	50	3	0,081034	0,0113311	0,058826	0,103243
1,8667	47	1	0,079310	0,0112204	0,057319	0,101302
1,9167	46	1	0,077586	0,0111081	0,055815	0,099358
1,9333	45	2	0,074138	0,0108788	0,052816	0,095460
1,9500	43	1	0,072414	0,0107615	0,051322	0,093506
1,9833	42	2	0,068966	0,0105217	0,048343	0,089588
2,0333	40	1	0,067241	0,0103989	0,046860	0,087623
2,1000	39	1	0,065517	0,0102742	0,045380	0,085654
2,1167	38	1	0,063793	0,0101475	0,043904	0,083682
2,1500	37	1	0,062069	0,0100186	0,042433	0,081705
2,1667	36	2	0,058621	0,0097542	0,039503	0,077739
2,1833	34	1	0,056897	0,0096185	0,038045	0,075749
2,2000	33	2	0,053448	0,0093395	0,035143	0,071753
2,2667	31	1	0,051724	0,0091960	0,033700	0,069748
2,2833	30	1	0,050000	0,0090497	0,032263	0,067737
2,3500	29	1	0,048276	0,0089003	0,030832	0,065720
2,3667	28	1	0,046552	0,0087479	0,029406	0,063697
2,4500	27	2	0,043103	0,0084329	0,026575	0,059632
2,6667	25	1	0,041379	0,0082699	0,025171	0,057588
2,6833	24	1	0,039655	0,0081031	0,023773	0,055537
2,7000	23	1	0,037931	0,0079321	0,022384	0,053478
2,9667	22	1	0,036207	0,0077566	0,021004	0,051410
3,0333	21	1	0,034483	0,0075765	0,019633	0,049332
3,1167	20	1	0,032759	0,0073912	0,018272	0,047245
3,1500	19	1	0,031034	0,0072005	0,016922	0,045147
3,2000	18	1	0,029310	0,0070038	0,015583	0,043038
3,2167	17	1	0,027586	0,0068008	0,014257	0,040915
3,3500	16	1	0,025862	0,0065906	0,012945	0,038779
3,3833	15	1	0,024138	0,0063728	0,011647	0,036628
3,4167	14	1	0,022414	0,0061464	0,010367	0,034461
3,4667	13	1	0,020690	0,0059105	0,009105	0,032274
3,5167	12	1	0,018966	0,0056638	0,007865	0,030066
3,5833	11	1	0,017241	0,0054050	0,006648	0,027835

3,6833	10	1	0,015517	0,0051321	0,005458	0,025576
3,8500	9	1	0,013793	0,0048428	0,004301	0,023285
3,9000	8	1	0,012069	0,0045340	0,003182	0,020956
3,9167	7	1	0,010345	0,0042014	0,002110	0,018579
3,9833	6	1	0,008621	0,0038386	0,001097	0,016144
5,1000	5	1	0,006897	0,0034364	0,000161	0,013632
5,1500	4	1	0,005172	0,0029786	0,000000	0,011010
8,6167	3	1	0,003448	0,0024341	0,000000	0,008219
9,7333	2	1	0,001724	0,0017227	0,000000	0,005100
14,8667	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,000000

Ek Açıklama-P: M4 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	Upper
0,1000	535	29	0,945794	0,0097891	0,926608	0,964981
0,1167	506	25	0,899065	0,0130238	0,873539	0,924592
0,1333	481	29	0,844860	0,0156523	0,814182	0,875538
0,1500	452	26	0,796262	0,0174136	0,762132	0,830392
0,1667	426	21	0,757009	0,0185425	0,720667	0,793352
0,1833	405	30	0,700935	0,0197945	0,662138	0,739731
0,2000	375	24	0,656075	0,0205368	0,615823	0,696326
0,2167	351	12	0,633645	0,0208304	0,592818	0,674472
0,2333	339	28	0,581308	0,0213291	0,539504	0,623113
0,2500	311	29	0,527103	0,0215851	0,484797	0,569409
0,2667	282	17	0,495327	0,0216159	0,452961	0,537694
0,2833	265	13	0,471028	0,0215806	0,428731	0,513325
0,3000	252	14	0,444860	0,0214850	0,402750	0,486970
0,3167	238	17	0,413084	0,0212878	0,371361	0,454807
0,3333	221	8	0,398131	0,0211635	0,356651	0,439610
0,3500	213	16	0,368224	0,0208526	0,327354	0,409095
0,3667	197	16	0,338318	0,0204555	0,298226	0,378410
0,3833	181	8	0,323364	0,0202231	0,283728	0,363001
0,4000	173	4	0,315888	0,0200980	0,276496	0,355279
0,4167	169	13	0,291589	0,0196495	0,253076	0,330101
0,4333	156	6	0,280374	0,0194198	0,242312	0,318436
0,4500	150	8	0,265421	0,0190902	0,228005	0,302837
0,4667	142	9	0,248598	0,0186856	0,211975	0,285221
0,4833	133	14	0,222430	0,0179800	0,187190	0,257670
0,5000	119	5	0,213084	0,0177036	0,178386	0,247783
0,5167	114	7	0,200000	0,0172935	0,166105	0,233895
0,5333	107	5	0,190654	0,0169830	0,157368	0,223940
0,5500	102	6	0,179439	0,0165896	0,146924	0,211954
0,5667	96	9	0,162617	0,0159539	0,131348	0,193886
0,5833	87	2	0,158879	0,0158047	0,127902	0,189855
0,6000	85	7	0,145794	0,0152572	0,115891	0,175698
0,6167	78	6	0,134579	0,0147546	0,105661	0,163498
0,6333	72	2	0,130841	0,0145796	0,102266	0,159417
0,6500	70	2	0,127103	0,0144007	0,098878	0,155328
0,6667	68	2	0,123364	0,0142176	0,095498	0,151231
0,6833	66	1	0,121495	0,0141246	0,093812	0,149179
0,7000	65	1	0,119626	0,0140304	0,092127	0,147125
0,7167	64	2	0,115888	0,0138387	0,088764	0,143011
0,7500	62	3	0,110280	0,0135425	0,083738	0,136823
0,7667	59	1	0,108411	0,0134413	0,082067	0,134756
0,7833	58	2	0,104673	0,0132352	0,078732	0,130613
0,8167	56	2	0,100935	0,0130238	0,075408	0,126461
0,8333	54	2	0,097196	0,0128069	0,072095	0,122297
0,8667	52	2	0,093458	0,0125842	0,068793	0,118122
0,9167	50	4	0,085981	0,0121200	0,062227	0,109736
0,9333	46	2	0,082243	0,0118778	0,058963	0,105523
0,9500	44	2	0,078505	0,0116283	0,055714	0,101296
0,9667	42	1	0,076636	0,0115007	0,054095	0,099176
1,0000	41	2	0,072897	0,0112394	0,050868	0,094926
1,0333	39	2	0,069159	0,0109695	0,047659	0,090659
1,0500	37	1	0,067290	0,0108311	0,046061	0,088518
1,0667	36	1	0,065421	0,0106903	0,044468	0,086373
1,1000	35	1	0,063551	0,0105470	0,042880	0,084223
1,1333	34	1	0,061682	0,0104011	0,041297	0,082068
1,1833	33	1	0,059813	0,0102525	0,039719	0,079908
1,2333	32	1	0,057944	0,0101010	0,038146	0,077742
1,2500	31	1	0,056075	0,0099466	0,036580	0,075570
1,4000	30	1	0,054206	0,0097891	0,035019	0,073392
1,4167	29	1	0,052336	0,0096284	0,033465	0,071208
1,4667	28	2	0,048598	0,0092964	0,030378	0,066819
1,4833	26	1	0,046729	0,0091248	0,028845	0,064613
1,5333	25	1	0,044860	0,0089492	0,027320	0,062400
1,5667	24	1	0,042991	0,0087694	0,025803	0,060178

1,6000	23	1	0,041121	0,0085850	0,024295	0,057948
1,6167	22	1	0,039252	0,0083958	0,022797	0,055708
1,6500	21	1	0,037383	0,0082014	0,021309	0,053458
1,7167	20	1	0,035514	0,0080015	0,019831	0,051197
1,7333	19	1	0,033645	0,0077956	0,018366	0,048924
1,7500	18	1	0,031776	0,0075833	0,016913	0,046639
1,8500	17	1	0,029907	0,0073640	0,015473	0,044340
1,8667	16	1	0,028037	0,0071370	0,014049	0,042026
1,9000	15	1	0,026168	0,0069016	0,012641	0,039695
1,9333	14	1	0,024299	0,0066570	0,011252	0,037346
2,0500	13	1	0,022430	0,0064019	0,009882	0,034977
2,5667	12	1	0,020561	0,0061352	0,008536	0,032586
2,6167	11	1	0,018692	0,0058553	0,007215	0,030168
2,9500	10	1	0,016822	0,0055601	0,005925	0,027720
3,9167	9	1	0,014953	0,0052471	0,004669	0,025237
4,0833	8	1	0,013084	0,0049129	0,003455	0,022713
4,5000	7	1	0,011215	0,0045527	0,002292	0,020138
4,8000	6	1	0,009346	0,0041600	0,001192	0,017499
4,9333	5	1	0,007477	0,0037243	0,000177	0,014776
5,1000	4	1	0,005607	0,0032284	0,000000	0,011935
7,3833	3	1	0,003738	0,0026384	0,000000	0,008910
11,2500	2	1	0,001869	0,0018674	0,000000	0,005529
62,0833	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,000000

Ek Açıklama-Q: M5 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI	
					Lower	Upper
0,100	151	9	0,940397	0,0192664	0,902636	0,978159
0,117	142	16	0,834437	0,0302475	0,775153	0,893721
0,133	126	9	0,774834	0,0339912	0,708213	0,841456
0,150	117	10	0,708609	0,0369788	0,636132	0,781086
0,167	107	10	0,642384	0,0390047	0,565936	0,718832
0,183	97	7	0,596026	0,0399320	0,517761	0,674292
0,200	90	5	0,562914	0,0403660	0,483798	0,642030
0,217	85	10	0,496689	0,0406885	0,416941	0,576437
0,233	75	3	0,476821	0,0406457	0,397157	0,556485
0,267	72	3	0,456954	0,0405383	0,377500	0,536407
0,283	69	5	0,423841	0,0402146	0,345022	0,502660
0,300	64	9	0,364238	0,0391608	0,287485	0,440992
0,317	55	2	0,350993	0,0388406	0,274867	0,427119
0,333	53	1	0,344371	0,0386682	0,268583	0,420159
0,350	52	4	0,317881	0,0378943	0,243609	0,392152
0,367	48	3	0,298013	0,0372215	0,225060	0,370966
0,383	45	2	0,284768	0,0367266	0,212785	0,356751
0,400	43	1	0,278146	0,0364647	0,206676	0,349615
0,433	42	3	0,258278	0,0356185	0,188467	0,328089
0,450	39	3	0,238411	0,0346765	0,170446	0,306375
0,467	36	2	0,225166	0,0339912	0,158544	0,291787
0,483	34	2	0,211921	0,0332570	0,146738	0,277103
0,500	32	2	0,198675	0,0324704	0,135035	0,262316
0,517	30	1	0,192053	0,0320563	0,129224	0,254882
0,533	29	2	0,178808	0,0311837	0,117689	0,239927
0,567	27	2	0,165563	0,0302475	0,106279	0,224847
0,583	25	1	0,158940	0,0297538	0,100624	0,217257
0,600	24	2	0,145695	0,0287105	0,089424	0,201967
0,633	22	2	0,132450	0,0275858	0,078383	0,186517
0,650	20	1	0,125828	0,0269897	0,072929	0,178727
0,667	19	1	0,119205	0,0263692	0,067523	0,170888
0,683	18	2	0,105960	0,0250473	0,056868	0,155052
0,767	16	1	0,099338	0,0243416	0,051629	0,147046
0,850	15	1	0,092715	0,0236025	0,046455	0,138975
0,867	14	1	0,086093	0,0228268	0,041353	0,130832
0,967	13	1	0,079470	0,0220106	0,036330	0,122610
1,017	12	1	0,072848	0,0211492	0,031396	0,114299
1,067	11	1	0,066225	0,0202369	0,026562	0,105889
1,367	10	1	0,059603	0,0192664	0,021841	0,097364
1,467	9	1	0,052980	0,0182284	0,017253	0,088707
1,533	8	1	0,046358	0,0171106	0,012821	0,079894
2,217	7	1	0,039735	0,0158962	0,008579	0,070891
2,717	6	1	0,033113	0,0145612	0,004573	0,061652
2,867	5	1	0,026490	0,0130684	0,000876	0,052104
4,750	4	1	0,019868	0,0113560	0,000000	0,042125
19,333	3	1	0,013245	0,0093034	0,000000	0,031479
52,217	2	1	0,006623	0,0066006	0,000000	0,019559
241,483	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,000000

Ek Açıklama-R: M6 Tamir Verilerine Ait Kaplan-Meier Analizi Tahminleri

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	Upper
0,100	426	8	0,981221	0,0065769	0,968330	0,994111
0,117	418	5	0,969484	0,0083336	0,953150	0,985817
0,133	413	9	0,948357	0,0107223	0,927342	0,969372
0,150	404	3	0,941315	0,0113875	0,918995	0,963634
0,167	401	13	0,910798	0,0138100	0,883731	0,937865
0,183	388	11	0,884977	0,0154580	0,854679	0,915274
0,200	377	8	0,866197	0,0164944	0,833869	0,898526
0,217	369	15	0,830986	0,0181574	0,795398	0,866574
0,233	354	19	0,786385	0,0198577	0,747465	0,825305
0,250	335	15	0,751174	0,0209466	0,710119	0,792228
0,267	320	18	0,708920	0,0220090	0,665783	0,752057
0,283	302	15	0,673709	0,0227161	0,629186	0,718232
0,300	287	20	0,626761	0,0234336	0,580831	0,672690
0,317	267	15	0,591549	0,0238155	0,544872	0,638227
0,333	252	17	0,551643	0,0240955	0,504417	0,598870
0,350	235	9	0,530516	0,0241799	0,483125	0,577908
0,367	226	18	0,488263	0,0242184	0,440796	0,535730
0,383	208	12	0,460094	0,0241478	0,412765	0,507423
0,400	196	14	0,427230	0,0239671	0,380255	0,474205
0,417	182	7	0,410798	0,0238364	0,364080	0,457517
0,433	175	4	0,401408	0,0237495	0,354860	0,447957
0,450	171	9	0,380282	0,0235204	0,334183	0,426381
0,467	162	5	0,368545	0,0233728	0,322735	0,414355
0,483	157	2	0,363850	0,0233097	0,318164	0,409536
0,500	155	6	0,349765	0,0231057	0,304479	0,395052
0,517	149	7	0,333333	0,0228396	0,288568	0,378098
0,533	142	2	0,328638	0,0227579	0,284034	0,373243
0,550	140	7	0,312207	0,0224515	0,268202	0,356211
0,567	133	9	0,291080	0,0220090	0,247943	0,334217
0,583	124	5	0,279343	0,0217384	0,236736	0,321949
0,600	119	3	0,272300	0,0215673	0,230029	0,314572
0,617	116	4	0,262911	0,0213285	0,221108	0,304714
0,633	112	4	0,253521	0,0210771	0,212211	0,294832
0,650	108	3	0,246479	0,0208801	0,205555	0,287403
0,667	105	2	0,241784	0,0207446	0,201125	0,282443
0,683	103	9	0,220657	0,0200918	0,181278	0,260036
0,700	94	2	0,215962	0,0199367	0,176887	0,255038
0,717	92	2	0,211268	0,0197777	0,172504	0,250031
0,733	90	2	0,206573	0,0196149	0,168128	0,245017
0,750	88	3	0,199531	0,0193630	0,161580	0,237481
0,767	85	4	0,190141	0,0190124	0,152877	0,227405
0,800	81	1	0,187793	0,0189221	0,150707	0,224880
0,817	80	2	0,183099	0,0187380	0,146373	0,219824
0,833	78	1	0,180751	0,0186442	0,144209	0,217293
0,850	77	2	0,176056	0,0184531	0,139889	0,212224
0,883	75	6	0,161972	0,0178502	0,126986	0,196958
0,900	69	2	0,157277	0,0176388	0,122705	0,191849
0,917	67	2	0,152582	0,0174219	0,118436	0,186728
0,933	65	1	0,150235	0,0173113	0,116305	0,184164
0,950	64	2	0,145540	0,0170857	0,112053	0,179027
0,967	62	6	0,131455	0,0163712	0,099368	0,163542
0,983	56	1	0,129108	0,0162463	0,097266	0,160950
1,000	55	2	0,124413	0,0159911	0,093071	0,155755
1,017	53	1	0,122066	0,0158607	0,090979	0,153152
1,033	52	3	0,115023	0,0154580	0,084726	0,145321
1,083	49	1	0,112676	0,0153198	0,082650	0,142702
1,100	48	3	0,105634	0,0148920	0,076446	0,134822
1,117	45	1	0,103286	0,0147450	0,074387	0,132186
1,133	44	2	0,098592	0,0144436	0,070283	0,126901
1,150	42	1	0,096244	0,0142892	0,068238	0,124250
1,167	41	1	0,093897	0,0141322	0,066198	0,121595
1,200	40	2	0,089202	0,0138100	0,062135	0,116269
1,217	38	1	0,086854	0,0136446	0,060112	0,113597

1,233	37	1	0,084507	0,0134763	0,058094	0,110920
1,250	36	2	0,079812	0,0131301	0,054078	0,105547
1,267	34	1	0,077465	0,0129521	0,052079	0,102850
1,283	33	1	0,075117	0,0127705	0,050088	0,100147
1,300	32	2	0,070423	0,0123963	0,046126	0,094719
1,333	30	1	0,068075	0,0122034	0,044157	0,091993
1,367	29	1	0,065728	0,0120062	0,042196	0,089259
1,383	28	2	0,061033	0,0115985	0,038300	0,083766
1,400	26	1	0,058685	0,0113875	0,036366	0,081005
1,450	25	2	0,053991	0,0109497	0,032530	0,075452
1,550	23	1	0,051643	0,0107223	0,030628	0,072658
1,583	22	1	0,049296	0,0104887	0,028738	0,069853
1,683	21	1	0,046948	0,0102486	0,026862	0,067035
1,700	20	1	0,044601	0,0100014	0,024999	0,064203
1,750	19	1	0,042254	0,0097466	0,023151	0,061356
1,850	18	1	0,039906	0,0094836	0,021319	0,058494
1,900	17	1	0,037559	0,0092117	0,019504	0,055613
2,067	16	1	0,035211	0,0089300	0,017709	0,052714
2,100	15	1	0,032864	0,0086377	0,015934	0,049793
2,117	14	2	0,028169	0,0080163	0,012457	0,043881
2,133	12	1	0,025822	0,0076843	0,010761	0,040883
2,533	11	2	0,021127	0,0069675	0,007471	0,034783
2,900	9	1	0,018779	0,0065769	0,005889	0,031670
3,950	8	1	0,016432	0,0061594	0,004360	0,028504
4,550	7	1	0,014085	0,0057093	0,002894	0,025275
4,800	6	1	0,011737	0,0052181	0,001510	0,021964
23,000	5	1	0,009390	0,0046727	0,000231	0,018548
47,317	4	1	0,007042	0,0040515	0,000000	0,014983
117,683	3	1	0,004695	0,0033119	0,000000	0,011186
332,617	2	1	0,002347	0,0023447	0,000000	0,006943
450,267	1	1	0,000000	0,0000000	0,000000	0,000000