

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR İŞLETMEDE GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI
SİSTEM TASARIMI**

MERVE UZUNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
2015**

**BİR İŞLETMEDE GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI
SİSTEM TASARIMI**

**A SYSTEM DESIGN BASED ON RELIABILITY ANALYSIS IN
A COMPANY**

MERVE UZUNER

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2015

“Bir İşletmede Güvenilirlik Analizlerine Dayalı Sistem Tasarımı” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 03/02/2015 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Berna DENGİZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yusuf Tansel İç

ONAY

...../02/2015

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÜR

Eğitimim süresince ilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, tez çalıőmam süresince bilimsel katkıları ile bana her zaman yardımcı ve yol gösterici olan değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Berna DENGİZ'e sonsuz teőekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalıőmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen, firma hakkında bilgi ve deneyimlerini paylaşarak sürecin doğru ve hızlı ilerlemesine yardımcı olan Yiğit Akü A.Ő. firmasından TPM Mühendisi Sayın Kübra TAMYÜKSEL'e teőekkürü bir borç bilirim.

Benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, her zaman sürecin büyük resmini görmemde bana yardımcı olan ve bana kendimi őanslı hissettiren sevgili ailemin her bir üyesine en içten teőekkürlerimi ve őükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatımdaki yardımsever tavrı ve tez çalıőmam sürecindeki destekleyici yaklaşımı ile her zaman yanımda olan Sayın Mustafa Taylan şAHİN'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

İsimlerini yazamadığım ancak yardımlarını ve desteklerini hep hissettiğim herkese sonsuz teőekkür ve saygılarımı sunarım.

ÖZ

BİR İŞLETMEDE GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİNE DAYALI SİSTEM TASARIMI

Merve UZUNER

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada, Yiğit Akü A.Ş. akü üretim sisteminde, belli bir tip akünün üretildiği üretim hattında var olan problemler belirlenmiş ve verimlilik artışı sağlayacak yeni tasarım(lar) önerilmiştir.

Akü üretim sisteminde, üretim aşamalarının çoğunda oluşabilecek kimyasal reaksiyonlar nedeniyle aküler etkilenebilmektedir. Bu nedenle akü üretim sistemleri çok dikkatli ve özenli olarak çalışılması gereken alanlardır.

Akü üretim aşamalarının hassas ve dikkatli olarak gerçekleştirilebilmesi için hem sistem içerisinde görevli operatörlerin hem de sistemde çalışan makinelerin sürece uygun ve düzgün şekilde çalışmaları gerekmektedir. Bunun yanı sıra, üretim sisteminin işlevlerini doğru ve düzgün bir şekilde yerine getirebilmesi yani güvenilirliğin dolayısıyla kullanılabilirlik oranının yüksek olması sonucu üretilen ürünün doğru ve amacına uygun olarak çalışması beklenir.

Sistemin ve sistem bileşenlerinin nitelikli çalışma zamanları ve oranlarını analiz etmek için kullanılacak yöntemlerden biri güvenilirliktir. Güvenilirlik kavramı, ürünlerin ve sistemlerin güvenilirliği olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Ürün güvenilirliği, nihai ürünün amacına uygun olarak çalışmasını ifade etmek için kullanılırken, sistem güvenilirliği ise bir sistemin amacına uygun olarak çalışmasını ifade etmektedir.

Bilindiği gibi akü, araçların ana güç elemanıdır. Aküde oluşabilecek herhangi bir arızanın (uygun çalışmamanın) kişi ya da kişilerin hayatında herhangi bir aksaklığa yol açmadan kısa bir sürede ortadan kaldırılması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle güvenilirliklerinin ve kullanılabilirliklerinin yüksek olması istenir.

Ürünlerin güvenilirliklerinin yüksek olabilmesi için üretim sistemlerinin güvenilirlik tahminleri önem kazanmaktadır. Sistem tasarımının güvenilirlik değerlendirmesine

dayalı olarak yapılması üretim sistemlerinde son yıllarda kullanılmakta olan bir yaklaşımdır.

Bu tez kapsamında; sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirlikleri ayrı ayrı hesaplanmış ve sistemin güvenilirlik eşitliği güvenilirlik blok diyagramları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen güvenilirlik eşitliği kullanılarak daha güvenilir dolayısıyla kullanılabilirliği daha yüksek bir tasarım elde edilmiş ve sistemin bu yolla iyileştirilmesi sağlanmıştır. Ele alınan sistemde hammadde kısıtı olmaması nedeniyle kullanılabilirlik değerine bağlı olarak haftalık üretim miktarı tahmin edilemeyeceği için bu aşamada benzetim yönteminden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen bulgularla Yiğit Akü A.Ş., ürün güvenilirlikleri ve bununla bağlantılı olarak sisteminin güvenilirliği hakkında bilgi sahibi olacak, bu güvenilirlik değerlerini mümkün olduğunca yüksek seviyede tutmak için tasarımlarını değiştirme çabası içinde olacaktır. Bu tezde, benzetim modeli, mevcut ve önerilen yeni tasarımlardan üretilebilecek ürün sayılarını önceden tahmin edebilmek amacıyla kullanılmıştır.

Ayrıca, kullanılması önerilen yöntemlerle üretim sisteminin genel kullanılabilirliği ve üretim planlaması dikkate alınarak üretim planının hangi oranda gerçekleşebileceği bilgisi de elde edilebilmektedir. Bu sayede, uygulamada, firmanın üretim bölümü ile planlama bölümü arasındaki koordinasyonun yürütülmesine yardımcı olacak bilgi sağlanabilmektedir.

Bu çalışma, kullandığı yöntemler açısından üretim sistemlerinde ilk birkaç uygulamadan biri olup imalat sektöründe çalışan mühendislerin benzer yöntemleri kullanmasında rehber olacaktır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Akü, güvenilirlik, sistem güvenilirliği, kullanılabilirlik, benzetim, sistem benzetimi

Danışman: Prof. Dr. Berna DENGİZ, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

A SYSTEM DESIGN BASED ON RELIABILITY ANALYSIS IN A COMPANY

Merve UZUNER

Baskent University Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering

In this study, problems are identified and new design(s) has been proposed to ensure increased efficiency for a particular type of battery production line in the battery production system of Yigit Battery Corporation.

Batteries can be influenced by the chemical reaction occurring in the majority of production in the battery production systems. Therefore battery production systems need to be studied very carefully and conscientiously.

Both workers and machines in system should work properly and correctly to work carefully and sensitively of battery production process. In addition, it is expected to work in accordance with right and scope of the products which are produced in the process, if the production system's functions are performed correctly and properly, in other words the process has high reliability and so high availability.

One of the methods can be used to analyze the quality and rate of system and system components' run-time periods is reliability. The concept of reliability can be identified two main part, product reliability and system reliability. Product reliability is used for working according to the purpose of the final product. System reliability is used for working according to the purpose of the system.

As is known, the battery is the main power component of the vehicles. Any failure of the battery (not to work appropriately) could not be eliminate in a short time without causing any disruption on a somebody's life. Therefore, it is desired to have high reliability and availability.

For having a high product reliability, reliability estimations of production systems are important. Performing system design based on reliability assessment is an approach which is used in production systems in recent years.

In this thesis, system components's reliability are calculated and system reliability equation is obtained using reliability block diagram. More reliable and so high availability system design is obtained with using the equation and in this way system improvement is ensured. In the considered system, there is not any supply constraints about raw material and soweekly production amount could not be estimated using availability. Therefore, in this part, simulation method was used.

Yigit Battery Company will have a knowledge about product reliability and system reliability with the findings of this study, and so, it is made an effort to keep a high reliability level as possible. In this thesis, simulation model is used to predict the number of products that can be produced in current system design and proposed new designs.

In addition, in according to overall system availability and production plan, it can be had a knowledge about production plan's realization with these proposed methods. Thus, in practice, this knowledge can be provided to help company to conduct of coordination between the production department and planning department.

In this study, one of the few applications is used these methods in the production systems and it will be guide working engineers in manufacturing sector using similar methods.

KEYWORDS: Battery, reliability, system reliability, availability,simulation, system simulation

Advisor: Prof. Dr. Berna DENGİZ, Baskent University, Department of Industrial Engineering.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
1.GİRİŞ	1
2.PROBLEM VE FİRMA TANITIMI	4
2.1 Problem Tanımı.....	4
2.2 Firma Tanıtımı.....	5
3.GÜVENİLİRLİKLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
3.1 Güvenilirlik Kavramı	6
3.2 Başarısızlık Fonksiyonu	7
3.3 Sistem Güvenilirliği.....	9
3.4 Kullanılabilirlik Kavramı	11
3.5 Sistem Güvenilirliği Analiz Yöntemleri.....	11
3.6 Güvenilirlik Blok Diyagramı Yöntemi	15
3.6.1 Seri sistemler	15
3.6.2 Paralel sistemler	17
3.6.3 Paralel-Seri sistemler.....	18
3.6.4 Seri-Paralel sistemler.....	18
3.6.5 Karışık-Paralel sistemler.....	19
3.6.6 N bileşen içinde ardışık k bileşenin bozuk olmasına dayalı sistemler ...	19
3.7 Güvenilirlik Konusunda Üretim Sistemlerinde Yapılmış Çalışmalar	20
4.BENZETİM KAVRAMI VE KULLANIM ALANLARI	22
5.UYGULAMA.....	24
5.1 Yalın Üretim	24
5.2 Yiğit Akü A.Ş. Firmasında Yalın Üretim ve İlgili Çalışmalar.....	26
5.3 Yapılan Uygulama Hakkında Bilgilendirme	26
5.4 İncelenen Akü Tipine Ait Sistem Tanıtımı	28
5.4.1 Oksit giderimi	32
5.4.2 Hamur karma	32
5.4.3 Asit hazırlama	32
5.4.4 Şerit	32
5.4.5 Exmet.....	32
5.4.6 Kütleme	33

5.4.7 Montaj hattı	33
5.4.8 Sulu şarj hattı	35
5.4.9 Etiketleme	35
5.4.10 Sevkiyat	36
5.5 Sistem Bileşenlerinin Arızalanma Dağılımları ve Parametreleri	36
5.6 Sistemin Bakım Oranı	39
5.7.1 Mevcut sistemin güvenilirlik blok diyagramı	41
5.7.2 Mevcut sistemin güvenilirlik değeri	48
5.7.3 Mevcut sistemin kullanılabilirlik değeri	52
5.7.4 Mevcut sistemin benzetim modeli	53
5.7.5 Mevcut sistemin benzetim modeli sonuçları.....	55
5.8 Önerilen Sistemin Güvenilirliği ve Kullanılabilirliği	58
5.8.1 Önerilen sistemin güvenilirlik blok diyagramı	58
5.8.2 Önerilen sistemin güvenilirlik değeri.....	60
5.8.3 Önerilen sistemin kullanılabilirlik değeri	61
5.8.4 Önerilen sistemin benzetim modeli	62
5.8.5 Önerilen sistemin benzetim modeli sonuçları.....	64
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR LİSTESİ	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Başarısızlık fonksiyonunun zamanla değişimi	9
Şekil 3.2 Sistem güvenilirliği modelleme teknikleri	12
Şekil 3.3 Bir seri sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği	15
Şekil 3.4 Bir paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği	17
Şekil 3.5 Bir paralel-seri sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği.....	18
Şekil 3.6 Bir seri-paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği.....	19
Şekil 3.7 İki farklı karışık-paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği	19
Şekil 3.8 Örnek bir sistem gösterimi	20
Şekil 4.1 Sistem boyutu ve rassallık ilişkisi altında benzetim tercihi	22
Şekil 5.1 Verimlilik artışı sağlayacak sistem tasarımı için izlenen işlem adımları .	27
Şekil 5.2 İncelenen akü tipinin üretim süreci adımları.....	29
Şekil 5.3 İncelenen akünün üretim hattı gösterimi	31
Şekil 5.4 Mevcut sistemin ilk güvenilirlik blok diyagramı gösterimi	43
Şekil 5.5 Mevcut sistemin ikinci güvenilirlik blok diyagramı gösterimi.....	45
Şekil 5.6 Mevcut sistemin son güvenilirlik blok diyagramı gösterimi.....	47
Şekil 5.7 Önerilen sistemin güvenilirlik blok diyagramı	59

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 Arıza dağılımları ve ilgili diğer fonksiyonlar.....	36
Çizelge 5.2 Her bir bileşene ait uygun dağılım ve dağılım parametre değeri	38
Çizelge 5.3 Her bir bileşene ait üstel dağılım parametre değeri	39
Çizelge 5.4 Sistemin bakım oranı hesaplaması.....	41
Çizelge 5.5 Çizelge 5.2 doğrultusunda hazırlanan her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu	49
Çizelge 5.6 Çizelge 5.3 doğrultusunda hazırlanan her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu	51
Çizelge 5.7 Sistem bileşenleri ve operatörler ile ilgili bilgiler	54
Çizelge 5.8 Sistemdeki işlem süreleri ile bilgiler	55
Çizelge 5.9 Mevcut sistemin 5 tekrarının performans ölçütü değerleri	57
Çizelge 5.10 Sistem bileşenleri ve operatörler ile ilgili bilgiler.....	63
Çizelge 5.11 Önerilen sistemin performans ölçütü değerleri	64
Çizelge 5.12 Mevcut ve önerilen sisteme ait kullanılabilirlik değeri ve ürün sayıları	65

1. GİRİŞ

Günümüz küresel rekabet şartlarında sektörde kalıcı olmak isteyen firmalar, daha az maliyetle daha fazla ürün üretebilmek üzerine çalışmalar yaparken aynı zamanda ürün ve sistem karmaşıklığıyla da baş etmek zorunda kalmaktadır.

Ortak bir amaca hizmet eden çok sayıda bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan bileşenler topluluğu, sistem olarak nitelendirilir. Günümüz dünyasının modern teknolojileri ve iş hayatının ihtiyaç duyduğu rekabetçi özellikler, ürün üretiminde kullanılan makinelerin ve makinelerin oluşturduğu sistemlerin karmaşılaşmasına yol açmıştır. Karmaşık hale gelen sistemlerde yaşanan sorunların çözümünde, yaşanabilecek sorunların öngörülebilir olması ve dolayısıyla engellenebilir olması basit yapıdaki sistemlere göre oldukça zor bir iştir. Bu tür süreçlerin yönetilmesi; farklı mesleki disiplinlerdeki kalifiye işgücü istihdamını gerektirmenin yanı sıra sistemin gerekliliklerini ve yeterliliklerini iyi analiz edebilen ve bu analizler doğrultusunda sistemde yapılabilecek olası iyileştirmeleri ortaya koyabilen kişilerin varlığıyla gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenecek Yiğit Akü firmasının akü üretim sistemi de karmaşık bir yapı içermektedir. Akü üretim sistemi, özellikle akünün, üretim aşamalarının çoğunda kimyasal reaksiyonlara karşı oldukça kolay etkilenebilir olması sebebiyle çok dikkatli ve özenli olarak yürütülmelidir.

Akü üretim aşamalarının hassas ve dikkatli olarak gerçekleştirilebilmesi için hem sistem içerisinde görevli operatörlerin, hem de sistemde çalışan makinelerin sürece uygun ve düzgün şekilde çalışmaları gerekmektedir. Ancak üretim sisteminin işlevlerini doğru ve düzgün bir şekilde yerine getirmesi sonucu, üretilen ürünün doğru ve amacına uygun olarak çalışması beklenebilir.

Üretim tesisinde, çalışan görevlilerin üretim sürecine uygun olarak düzgün çalışabilmesini sağlamak amacıyla çalışma ve dinlenme zamanları yasalarca belirlenen çerçeveye uygun olarak uygulanmaktadır. Ancak operatörler dışında sürece dahil olan makinelerin de, özellikle büyük oranda makinelerin çalıştığı Yiğit Akü üretim sisteminde, uygun ve düzgün olarak çalışması çok önemlidir.

Sistemin ve sistem bileşenlerinin nitelikli çalışma zamanları ve oranlarını analiz etmek için kullanılacak yöntemlerden biri güvenilirliktir. Güvenilirlik, ürünlerin ve sistemlerin güvenilirliği olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Ürün güvenilirliği, nihai ürünün amacına uygun olarak çalışmasını ifade etmek için kullanılırken, sistem güvenilirliği ise bir sistemin amacına uygun olarak çalışmasını ifade etmektedir.

Firmalar, rekabetçi piyasa ortamında, müşterilerine mümkün olan en yüksek seviyede güvenilir ürünler sunmak zorundadır; aksi halde müşteri memnuniyetinin sağlanamaması sonucu firma ürünleri müşteriler tarafından tercih edilmemeye, ürünlerin pazarda alıcı bulamaması gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle ürünlerin kullanımında yaşanabilecek olumsuzlukların kısa süre içerisinde ortadan kaldırılamadığı durumlarda müşteri memnuniyetsizlikleri firmaları çok daha büyük oranda etkilemektedir.

Özellikle akü gibi aracın ana güç elemanında oluşabilecek memnuniyetsizliklerin kısa bir sürede ortadan kaldırılması, kişi ya da kişilerin hayatında aksaklıklara yol açmaksızın halledilebilmesi mümkün olmadığı için ürünlerin güvenilirlik değerleri ve güvenilirlik çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

Ürünlerin güvenilirlik özelliklerinin yüksek olabilmesi için ürün geliştirmenin önceki aşamalarında güvenilirlik tahminin yapılması ve sistem tasarımının güvenilirlik değerlendirmesine dayalı olarak yapılması literatürde karşılaşılan bir olgudur [1].

Ürün ve sistem güvenilirliğinin birbiriyle olan bu ilişkisi göz önüne alınarak, bu tez çalışması kapsamında, mevcut fabrika yerleşimindeki sistem güvenilirliğinin hesaplanması ve bu güvenilirliğin artırılabilmesi için yapılabilecek değişimler üzerinde durulmuştur.

Özet olarak, günümüz ürün/servis piyasasında ürünlerinin tercih edilmesini isteyen firmaların, ürünlerinin tercih edilirliliğini arttırmak için ürün güvenilirlikleri ve bununla bağlantılı olarak sistem güvenilirlikleri hakkında bilgi sahibi olup bu güvenilirlik değerlerini mümkün olduğunca yüksek seviyede tutmaları gerekmektedir.

Tezin ikinci bölümünde, tez kapsamında ele alınacak problemin açıklaması yapılarak tez konusu ve tezin yürütüleceği Türkiye'nin akü üretimde öncü

kuruluşlarından olan ve tez çalışması kapsamında uygulama yapılan Yiğit Akü A.Ş. firması hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde, güvenilirlik kavramı hakkında bilgilendirme yapıp kullanılabilirlik kavramı ile ilişkisi açıklanmaktadır. Buna ek olarak, sistem güvenilirliğinin kullanım amaçları, kullanım yerleri, sistem güvenilirliği hesaplama notasyonları ve teknikleri incelenmektedir ve bu konuda yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölümde, benzetim kavramı ve benzetim yönteminin kullanım alanları ve sebepleri hakkında bilgi verilmektedir.

Beşinci bölümde, öncelikle tez kapsamında ele alınan akü tipi için sistemin işleyişi hakkında bilgi verilmekte ve ardından sırasıyla mevcut sistemin ve mevcut sistem analizleri sonucu önerilen sistemin, güvenilirlik analizleri ve benzetim modeli ile analizleri yapılmaktadır.

Altıncı bölümde, mevcut sistemin ve önerilen sistemin analizleri sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte ve tezin bir bütün olarak değerlendirilmesi yer almaktadır.

2. PROBLEM VE FİRMA TANITIMI

2.1 Problem Tanımı

Yiğit Akü A.Ş. firmasında, akü üretim sürecinde toplam verimlilik yönetimi ve toplam verimli bakım yaklaşımları uygulanmakta olup, süreç etkinliğinin en büyüklenmesi, üretim kayıplarının en küçüklenmesi amaçlanmıştır; ürün kalitesinin artırılması, makine arızalanmalarının öngörülmesi ve önleyici bakım prensibi benimsenmiştir.

Bu doğrultuda, firma yönetimi verimlilik hesaplamaları yapmış ve verimlilik artışının sağlanabilmesi üzerine çalışmalar yürütmüştür. Ürün kalitesinde artışın sağlanması, ekipman etkinliğinin artırılması ve kayıpların elimine edilerek kârın en büyüklenmesi gibi firma için rekabetçi özelliklerin oluşturulması amacıyla tercih edilen bu yönetim ve bakım sistemleri ile ilgili fabrika çalışanları ve yönetim kademesinde farkındalık yaratılmış ve yapılan çalışmalar sonucu yapılması gereken yatırımlar ve alınması gereken önlemler hayata geçirilmiştir.

Bu yönetim anlayışı çerçevesinde önemsenen ekipman verimliliği ile güvenilirlik arasında yakın bir ilişki mevcuttur. Ekipman verimliliğinin artırılması, sistemin arızalanmadan çalışması ile ilgilidir. Güvenilirlik analizlerinin temelinde de arızalar arası zaman aralıkları bulunmaktadır. Arızalar arası geçen sürenin uzun olması, sistemin arızalanmadan çalışma süresinin uzun olması anlamına gelmektedir ve bu sayede daha fazla ürün üretilebilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla sistem verimliliği artmış olmaktadır. Üretim firmalarının performansı ve buna bağlı olarak rekabet gücü, üretim imkanlarının güvenilirliğine ve bununla bağlantılı olarak kullanılabilirliğine bağlıdır [2].

Bu tezin konusu, sistemin seçilen belli bir tip akünün üretim hattının güvenilirlik ve buna bağlı olarak kullanılabilirlik yönünden incelenmesi ve kullanılabilirliğin artırılmasıdır. Böylece sistem iyileştirilerek verimlilik artışı sağlanabilecektir. Bu iyileştirmenin uygulamada gözlemlenmesi ve örneklenmesi amacıyla ayrıca benzetim tekniğinden yararlanılacaktır. Böylece, iyileştirilmiş sistem üzerinde iyileştirme sonucu elde edilen verimliliğin mevcut sisteme göre hangi oranda elde edildiği de belirlenecektir. Benzetim modelinin çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda iyileştirme ortaya konabilecek ve bu yönde yeni tasarıma

geçilip geçilmeyeceği kararı firma yönetimince verilebilecektir. Yeni tasarımın güvenilirlik ve kullanılabilirlik değerlerinin yeniden hesaplanarak mevcut sistem ile önerilen sistemin karşılaştırılmalarının yapılması sağlanacaktır.

2.2 Firma Tanıtımı

Yiğit Akü A.Ş. firmasının resmi web adresinden elde edilen bilgilere göre (<http://www.yigitaku.com/firmamiz>), 1976 yılında Hamit Yiğit, Mahmut Yiğit ve Eyüp Yiğit kardeşler tarafından kurulan Yiğit Akü, bugün 5 kıtada 72 ülkeye ihracat yapan global bir şirkettir. Yıllık 7 milyon adet akü üretim kapasitesine sahip olan firma, Türkiye içinde 100 ana bayi ve 6000 tali bayi ile hizmet vermektedir. Dünya akü sektöründe Platin, Tunç, Macpower, Helden, Distalong markalarıyla birlikte boy gösteren Yiğit Akü A.Ş., 35 yılı aşan üretim hayatı boyunca, Ar-Ge çalışmaları sonucunda geliştirdiği inovatif ürünleriyle sektörde fark yaratan, sektöre değer katan bir şirkettir.

40.000 metrekarelik alanda 620 personel ile çalışan firma, bayilerindeki çalışanları da eklendiğinde Türkiye’de önemli bir istihdam alanı yaratmaktadır. Türkiye dışında, ortaklık ve iş birlikleriyle, Ortadoğu ve Afrika Bölgeleri dahil toplam 4 fabrikada faaliyet gösteren firma, Türk Silahlı Kuvvetleri’ne gerçekleştirdiği akü tedarikinin yanı sıra, 2008 yılından bu yana Fransa, İspanya, Kanada ve Şili ordularına da akü tedariki gerçekleştirmektedir. İç piyasada %20’nin üzerinde bir pay ile yoluna devam eden Yiğit Akü A.Ş., yaklaşık 110 milyon dolarlık bir ciro ile 2013 yılını tamamlamıştır.

Firma, Türkiye İhracatçılar Meclisi’nin “2013 İhracat İlk 1000” raporunda ilk 500’de 316. sırada yer alarak büyük bir başarı elde etmiş olup 2012 yılında uluslararası marka değerlendirme şirketi Brand Finance’ın hazırladığı “Türkiye’nin en değerli markaları” listesinde, 13 milyon dolarlık marka değeri ile ilk 100’de yer almıştır. %100 Türk sermayesi olarak kurulan ve kaliteli/çevre dostu ürünler üretmek için son teknoloji ile donatılmış üretim tesisleri kuran Yiğit Akü A.Ş., Türkiye’nin Ar-Ge şampiyonları” listesinde 250 firma arasında 99. sırada, Ankara firmaları arasında ise 10. sırada bulunmaktadır.

3. GÜVENİLİRLİKLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Güvenilirlik Kavramı

Güvenilirlik (Reliability), Elsayed [3, s. 4-5]'e göre, "Ürünün veya hizmetin belirli bir zaman diliminde (ürün ömrü) ürün tasarım aşamasında, ürün için uygun olduğu düşünülen çalışma koşulları altında (sıcaklık veya volt gibi) bozulmaksızın çalışma olasılığı güvenilirliktir. Diğer bir deyişle, güvenilirlik, düzgün bir şekilde işleyen sistemin başarısının bir ölçüsü olarak kullanılabilir."

Elsayed [3, s. 5], güvenilirlik tanımı ve tahminini şu şekilde açıklamıştır: " n_0 özdeş bileşenin ürün tasarım aşamasında, ürün için uygun olduğu düşünülen çalışma koşulları altında teste tabi tutulduğu varsayalım. $(t-\Delta t, t)$ zaman aralığı süresince, $n_f(t)$ adet arızalı bileşen ve $n_s(t)$ adet çalışan bileşen olsun. Bu durumda, $n_f t + n_s t = n_0$ olmaktadır. Güvenilirlik, çalışmanın birikimli olasılık fonksiyonu ile açıklanabilir ve t zamanında güvenilirlik, $R(t)$, (3.1) numaralı eşitlikte görüldüğü gibi yazılır:

$$R t = \frac{n_s t}{n_s t + n_f t} = \frac{n_s t}{n_0} \quad (3.1)$$

Diğer bir deyişle, t rassal değişkeni arızalanma anını belirttiğinde, t anındaki güvenilirlik fonksiyonu, güvenilirliğin birikimli dağılım fonksiyonu olarak (3.2) numaralı eşitlikteki gibi gösterilebilir:

$$R t = P t > t \quad (3.2)$$

Arızaların birikimli dağılım fonksiyonunun, $F(t)$,

$$F t = P t \leq t \quad (3.3)$$

olduğu bilindiğinden, arızaların birikimli dağılım fonksiyonu, $F(t)$, $R(t)$ 'nin tümleyicisidir.

$$R t + F t = 1 \quad (3.4)$$

Arızalanma zamanı t anındaki olasılık fonksiyonu $f(t)$ ise, güvenilirlik fonksiyonu, güvenilirlik birikimli dağılım fonksiyonu,

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(\zeta) d\zeta \quad (3.5)$$

gibi yazılabilir.”

(3.5) numaralı eşitliğin t 'ye göre türevi alınarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d(1 - F(t))}{dt} = -f(t) \quad (3.6)$$

Güvenilirlik, ürün güvenilirliği ve sistem güvenilirliği olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınış yönü itibariyle sistem güvenilirliği üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

3.2 Başarısızlık Fonksiyonu

Elsayed [3, s. 6]'de başarısızlık fonksiyonu (Hazard function/Hazard rate) şu şekilde açıklanmıştır: “Verilen bir zaman aralığında $[t_1, t_2]$ bileşenin arızalanma olasılığı, güvenilirlik fonksiyonu cinsinden ifade edilecek olursa,

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = R(t_1) - R(t_2) \quad (3.7)$$

$[t_1, t_2]$ aralığındaki arızalanma oranı (failure rate), aralığın başlangıcında t_1 zamanı öncesinde gerçekleşen hiçbir arızalanmanın olmadığı durum için, ilgili aralıkta birim zamanda ortaya çıkan arızalanma olasılığı olarak tanımlanır.

$$\frac{R(t_1) - R(t_2)}{t_2 - t_1} \quad (3.8)$$

t_1 yerine t ve t_2 yerine de $t + \Delta t$ yazılıp 3.8 nolu eşitlik tekrar yazılırsa,

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (3.9)$$

Başarısızlık fonksiyonu, Δt değeri sıfıra yaklaştığında arızalanma oranının türevi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle, başarısızlık oranı ya da anlık arızalanma oranı aşağıdaki gibi gösterilir.

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{1}{R(t)} - \frac{d}{dt} R(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{d}{dt} (1 - F(t)) \quad (3.10)$$

ve buradan da,

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.11)$$

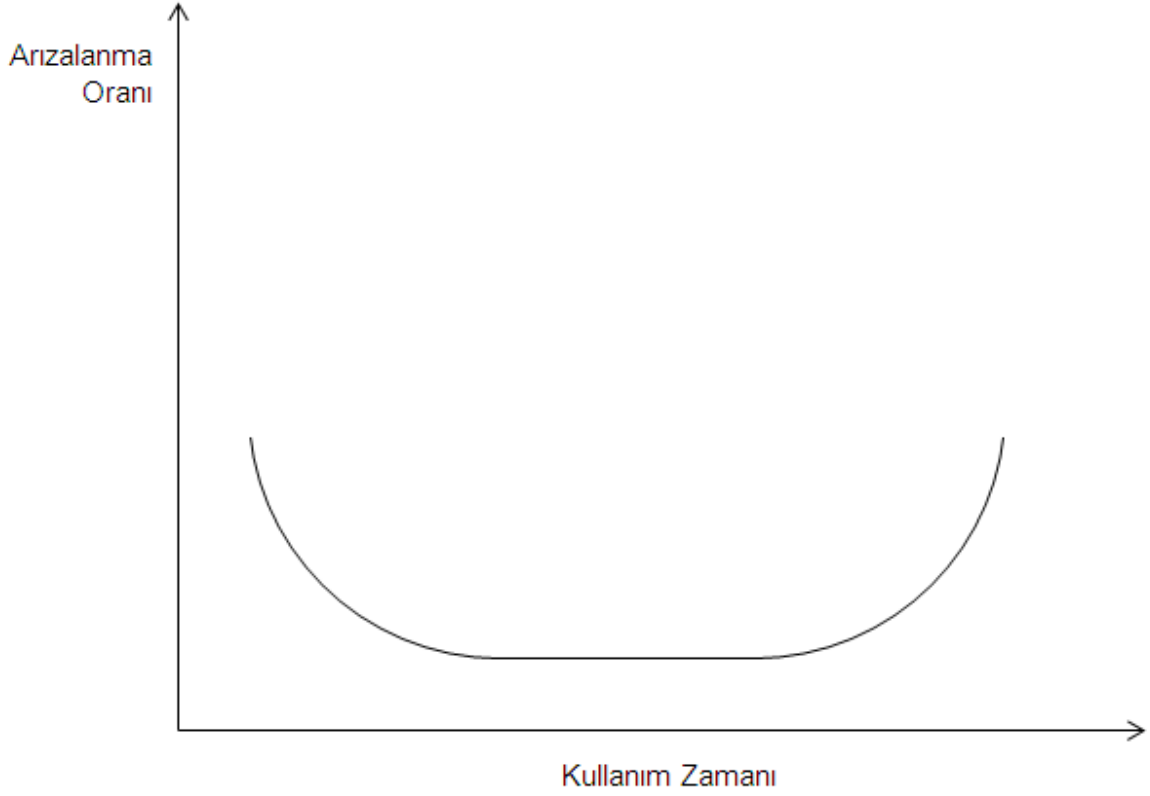
eşitliği yazılabilir. Başarısızlık fonksiyonu ya da başarısızlık oranı adlandırılan bu olgu aynı zamanda anlık arızalanma oranı olarak da bilinmektedir ve t anında hiçbir arızalanma yokken t ile (t+dt) aralığında arızanın ortaya çıkmasının koşullu olasılığını ifade etmektedir.”

Zio [4, s. 49-51]'da başarısızlık fonksiyonunu şu şekilde özetlenmiştir: “Bir bileşenin başarısızlık sürecini izlemek için ilgilenilecek bilgilerden biri de zaman aralığının başlangıcı olan t zamanına kadar herhangi bir arızalanmanın olmadığı bilindiğinde dt zaman aralığında arızalanma olasılığıdır. Bu olasılık dt zaman aralığının bir ürünü olarak ifade edilmektedir ve koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak başarısızlık fonksiyonu ya da arızalanma oranı olarak adlandırılmaktadır.

T, bir bileşenin arızalanma zamanı olmak üzere,

$$h_T(t) dt = P(t < T \leq t + dt | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + dt)}{P(T > t)} = \frac{f_T(t) dt}{R(t)} \quad (3.12)$$

Prensip olarak, başarısızlık fonksiyonu, bir bileşenin ömrünün 3 farklı aşamasını gösteren bir ‘banyo küveti’ eğrisi (bath-tub curve) şekil 3.1’de görüldüğü gibi olmaktadır: ilk aşama zamanla azalan bir arızalanma oranına uymaktadır ve yeni doğan ölümü (infant mortality) ya da yanma (burn in) süreci özelliklerini gösterir ve bunun sonucu olarak daha fazla bileşen varlığını sürdürmekte, daha azı arızalanma olasılığı haline gelir (bu süreç garanti analizinin merkezidir); ikinci aşama kullanım ömrü olarak nitelendirilir, arızalanma oranının zamandan bağımsızlığına uymaktadır: bu süreçte, arızalanmalar bileşenin kullanım süresinden etkilenmeden rassal zamanlarda meydana gelmektedir; son olarak, son aşamada arızalanma oranı zamanla bir artış göstermektedir ve bu aşama, zaman geçtikçe bileşenin arızalanmaya daha eğilimli hale geldiği tersine çevrilemez bir yaşlanma sürecinin gelişimine uymaktadır.”



Şekil 3.1 Başarısızlık fonksiyonunun zamanla değişimi [4]

3.3 Sistem Güvenilirliği

Sistem, Elsayed [3, s. 69]'e göre, “Bir sistem (ya da ürün), istenen işlevleri kabul edilebilir güvenilirlik ve performans düzeyinde yerine getirebilmek için özel bir tasarımla bir araya gelen bileşenler topluluğudur. Kullanılan bileşenlerin tipi, kalitesi ve tasarımı, sistem performansı ve güvenilirliği üzerinde doğrudan etkilidir.” Distefano and Puliafito [5, s. 1381]'ya göre, “Sistem güvenilirliğinin asıl amacı, sistemi oluşturan bileşenlerin, alt birim ve/veya birimlerin yaşam dağılımlarına dayalı olarak tüm sistemin arızalanma zamanlarını/sürelerini gösteren bir model(yaşam dağılımı) oluşturmaktır.”

Sistem güvenilirliğinin hesaplanmasındaki önemli unsurlardan biri, sistem bileşenlerinin arızalanmaları sonrası tamir edilebilir olup olmamasıdır. Çünkü güvenilirlik hesaplamalarındaki arızalanma sürelerinin dağılımı bu özelliğe göre değişiklik göstermektedir. Sistem bileşenleri arızalanma sonrası tamir edilebilir özellik gösteriyorsa, arızalanmalar arası zamanlar (Time Between Failure) dikkate alınarak dağılım bulunmakta; arızalanma sonrası tamir edilemez özellikte ise

arızaların gerçekleşme zamanları (Time To Failure) dikkate alınarak dağılım bulunmaktadır.

Bu unsurla ilgili olarak Elsayed [3, s. 52]'de şu bilgiler yer almaktadır: "Sistem güvenilirliği hesabında kullanılan ölçümlerden birisi ortalama arızalanma zamanlarıdır. Sistem tamir edilemez özellikte olduğunda ardışık iki arızalanma arasındaki beklenen zamanı tanımlamak, arızalanmaların ortalama gerçekleşme zamanı (Mean Time To Failure) ile ilgilidir. Benzer olarak, sistem tamir edilebilir özellikte ise bu tanım, arızalanmalar arası ortalama geçen zaman (Mean Time Between Failure) ile ilgilidir.

n adet özdeş tamir edilemez sistem düşünülün ve her birinin arızalanma zamanları gözlenmiş olsun. Gözlenen bu arızalanma zamanları t_1, t_2, \dots, t_n olarak kabul edilsin. Arızaların ortalama gerçekleşme zamanı tahmini, $MTTF$,

$$MTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (3.13)$$

t_i rassal bir değişken olduğu için, beklenen değeri şu şekilde belirlenir,

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (3.14)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.15)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3.16)$$

3.15 ve 3.16 numaralı eşitliklerin 3.14 numaralı eşitlikte yerine konulmasıyla elde edilen eşitlik,

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt = - \int_0^{\infty} t dR(t) = t R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.17)$$

$R(\infty)=0$ ve $R(0)=1$ olduğu için, 3.16 numaralı eşitliğin ilk bölümü sıfır olmakta ve eşitlik,

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.18)$$

şeklinde olmaktadır.”

3.4 Kullanılabilirlik Kavramı

Kullanılabilirlik (Availability) Zio [4, s. 89]'ya göre, "Sistemin kullanılabilirliği, sistemin bakım sürecinin dışındaki zamanı/süreyi ifade etmektedir.”

Bu doğrultuda, sistem arızalanmalarının en küçüklenmesi sistem bileşenlerinin kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Sistem bileşenlerinin kullanılabilirliklerinin artırılması ise verimlilik artışına doğrudan katkı sağlayacak bir durumdur.

Kullanılabilirlik kavramı farklı özelliklere göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamalarla ilgili olarak Elsayed [3, s.180-181]'de şu bilgiler verilmiştir: Kullanılabilirlik, ele alınan zaman aralığı ya da bozuk kalma zamanının türü (tamir ya da bakım) dikkate alınarak sınıflandırılabilir. Zaman aralığına ait kullanılabilirlik, anlık (noktasal) kullanılabilirlik, ortalama çalışma zamanı kullanılabilirliği ve durağan durum kullanılabilirliğini içermektedir. Bozuk kalma türüne göre kullanılabilirlikler ise bileşenin doğası gereği sahip olduğu kullanılabilirlik, elde edilen kullanılabilirlik ve operasyonel kullanılabilirlik sınıflarını içermektedir.

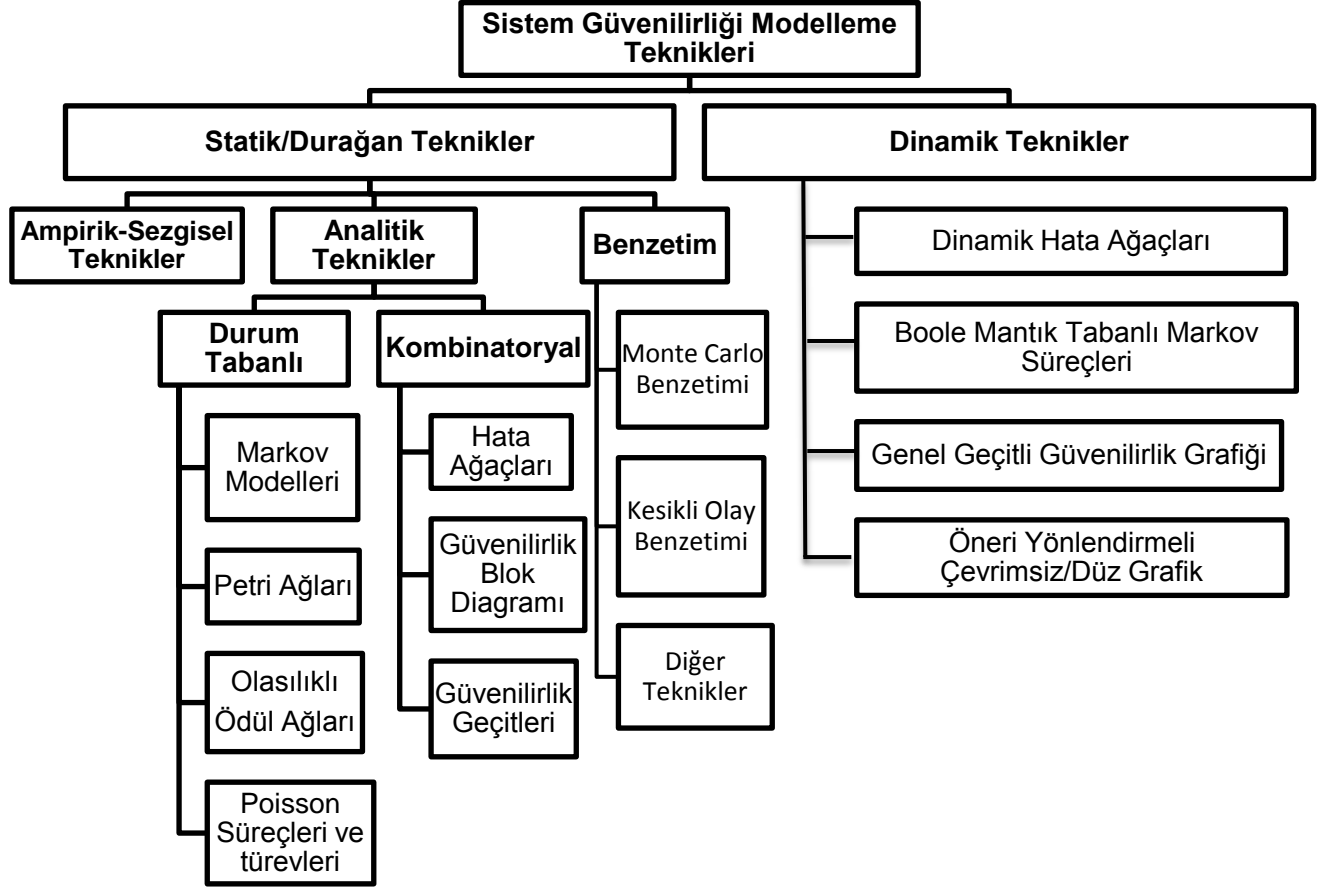
3.5 Sistem Güvenilirliği Analiz Yöntemleri

Sisteme ait özellikler, sistem güvenilirliği hesaplamak için kullanılacak yöntemlerin seçiminde doğrudan etkili olmaktadır. Bu sebeple, bir sistemin güvenilirlik hesabındaki önceliklerden biri, sistemin iyi şekilde anlaşılıp analiz edilebilmesi ve buna bağlı olarak kullanılacak güvenilirlik analiz yöntem veya yöntemlerinin doğru bir şekilde hazırlanmasıdır. Aksi halde hesaplama sonuçları, sistemin gerçek güvenilirlik değerlerini yansıtmamakta ve yanıltıcı olabilmektedir.

Sistemin güvenilirlik analizi, Elsayed [3, s. 69]'e göre, “Sistem tasarımı yapıldıktan sonra, güvenilirlik değerlendirilmeli ve kabul edilebilir güvenilirlik seviyesi ile karşılaştırılmalıdır. Eğer istenilen sağlanmamışsa, tasarım tekrar gözden geçirilerek yeni tasarım yapılmalı ve güvenilirlik tekrar hesaplanmalıdır. Bu tasarım süreci, istenen performansı ve güvenilirlik düzeyini karşılayana kadar devam etmektedir.”

Sistemin dinamik veya durağan bileşenlere sahip olması ya da yedek birimlerin varlığı gibi özellikler güvenilirlik hesaplama yöntemi seçimini etkilemektedir.

Sistem güvenilirliğinin analizi ve gösterimi ile ilgili olarak kullanılan yöntemler, Distefano and Puliafito [5, s.1381-1383]'da anlatılmaktadır. Bu yöntemler, Şekil 3.2'de tablolaştırılarak görsel hale getirilmiştir.



Şekil 3.2 Sistem güvenilirliği modelleme teknikleri

Şekil 3.2'deki teknikler incelendiğinde sistemin durağan ya da dinamik olup olmaması durumu dikkate alınmıştır. Durağan bölümde sadece yapısal güvenilirlik ilişkileri modellenebilirken dinamik bölümde yapısal güvenilirlik ilişkilerinin modellenebilmesinin yanında dinamik-bağımlı davranışları da gösterebilme kapasitesine sahip yöntemler sıralanmıştır [5].

Distefano [6, s. 127]'ya göre, "Sistemde en az bir dinamiklik mevcutsa sistem dinamik bir sistem olarak kabul edilmektedir. Ancak, tüm birimlerin durağan özellikte olduğu halde, eğer birimlerin birbirlerini etkilemeleri söz konusuysa ya da sistem yapısı/dizilimi değişebilir özellikteyse, bu durumda sistem yine dinamik özellikte olabilmektedir."

Kombinatorial yöntemler dışındaki durağan teknikler içinde yer alan yöntemler, güçlü birer güvenilirlik analiz yöntemi olmakla birlikte karmaşık sistem tasarımları üzerine modellenmelerinin zor olması sebebiyle kullanıcı dostu oldukları söylenememektedir [5].

Kombinatorial yöntemler ise, sistemi modellenebilecek hale yakın olarak oluşturabilen, diğer yöntemlere nazaran daha kolay anlaşılabilir olmasına rağmen, birimlerin bağımsızlık varsayımı ile kullanılır [5].

Distefano and Puliafito [5, s. 1382]'ya göre, "Güvenilirlik analizleri temelinde 3 yaklaşım bulunmaktadır:

- i. Ampirik yaklaşım,
- ii. Analitik yaklaşım,
- iii. Benzetim

Ampirik-sezgisel yöntemler genellikle sistemin gelecekteki davranışı ile ilgili olarak bilgisayar bağlantılı değerlendirme ve tahmin yapmak için kullanılmaktadır. Analitik ve/veya benzetim teknikleri tercih edilmektedir, çünkü bu yöntemler, daha doğru ve spesifik değerlendirme (geçici, durağan durum, parametrik vb.) yapmamıza olanak vermektedir. Analitik yaklaşım, sistemin mevcut birimlerinin arızalanma olasılıklarının kullanılması temeline dayanmaktadır, burada amaç tüm sistemin arızalanma olasılığının elde edilmesidir. Bir sistemin arızalanma olasılığı, sadece mevcut birimlerin arızalanma olasılıklarına bağlı değildir; aynı zamanda sistemi oluştururken birbirleriyle olan bağlantı durumlarına da bağlıdır. Analitik yöntemler, durum tabanlı ve kombinatorial olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Durum tabanlı yöntemler, durum ve durum geçişleri kavramları üzerine kurulmuştur. Sistem durumu, birimlerin arızalanmış ya da arızalanmamış durumlarının bir kombinasyonudur. Durum geçişleri, ilerleyen zaman içerisinde sistemin durumundaki değişiklikleri göstermektedir. Bu sebeple, durum tabanlı modellerde, sistem durumları hakkında varsayım yapılabilir ve bu varsayımlar, numaralandırılmış, belirlenmiş ve tek bir karşılığı olan birimlerin mevcut olduğu/bulunduğu düşünülerek yapılmaktadır. Bu tür modeller, sistem için farklı güvenilirlik metriklerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ancak, durum tabanlı modellerin hassas bir şekilde analizi çok karmaşık olabilmekte ve bu

sebeple bu yaklaşım çoğu sistem için uygun olmamaktadır. Kombinatoryal modeller, mevcut birimlerin verilen arızalanma olasılıkları doğrultusunda, sistemin çalışmaya devam edebileceği yol sayılarını vermektedir. En yaygın olarak kullanılan kombinatoryal modellerden hata ağaçları yöntemi, birim arızalanmaların hangi bileşimlerinin sistem arızalanmasına sebep olduğunu göstermek için Boole geçitlerini kullanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem olan güvenilirlik blok diyagramı yönteminde ise, sistemin çalışıyor olduğu durumda hangi bileşen kombinasyonunun uygun bir şekilde çalıştığını gösteren bir mantık diyagramı düzenlenir. Giriş ve çıkış noktalarını bağlayan en az bir yol mevcutsa sistem, uygun bir şekilde çalışmaya devam etmektedir. Güvenilirlik geçitleri yöntemi ise sistem bileşenlerinin ayrıt olarak gösterildiği yönlü bir grafikdir. Analitik yaklaşımlara cazip bir alternatif benzetim yöntemidir çünkü belirli bir kısıtlama olmaksızın herhangi bir güvenilirlik dağılımının modellenmesine imkan sunmaktadır. Ancak benzetim, her zaman bir çözüm garanti etmez fakat çözüm varsa ona yakınsar. Diğer bir dezavantajı ise çözümdeki doğruluğu/kesinliği sağlamak için uzun bir hesaplama zamanı gerektirmesidir. Fakat varyans azaltma teknikleri kullanılarak, hesaplama zamanı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Güvenilirlik/Kullanılabilirlik değerlendirmesinde en yaygın kullanılan benzetim teknikleri Monte Carlo ve Kesikli Olay Benzetimidir. Güvenilirlik blok diyagramları, güvenilirlik geçitleri, hata ağaçları yöntemleri yaygın olarak kullanılmasına rağmen, birimler arası stokastik bağımsızlık varsayımı nedeniyle modelleme kapasitesi sınırlıdır. Diğer yandan, durum tabanlı yöntemler ve/veya benzetim yöntemi gibi düşük seviyeli yöntemler bu tür yönlerde değerlendirmeye izin vermektedir ancak bu tür tekniklerin başlıca dezavantajı, kullanımlarının zor olmasıdır. Sistem güvenilirliği analizinde kullanılacak bir yöntemin gücü, sistemin modeli ile gerçekteki durumu arasındaki benzerliğe bağlıdır. Bu sebeple, başarılı bir yaklaşım, kombinatoryal yöntemlerle dinamik davranışların dikkate alınmasıyla elde edilmiştir.”

Bu tez kapsamında, bileşenlerin bağımsızlığı varsayımı altında güvenilirlik analizi için kullanılacak yöntem, durağan teknikleri arasından seçilmiştir. Durağan teknikler arasında hem kullanıcı dostu ve modelleme kolaylığı yönüyle hem de karmaşık sistemlerin dahi modellenmesine olanak sağlayan kısa zamanda çözümü bulabilen kombinatoryal yöntemler tercih edilmiştir.

En yaygın kullanılan kombinatoryal güvenilirlik analiz yöntemlerinden olan güvenilirlik blok diyagramı yöntemi ile sistemin güvenilirlik analizi kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

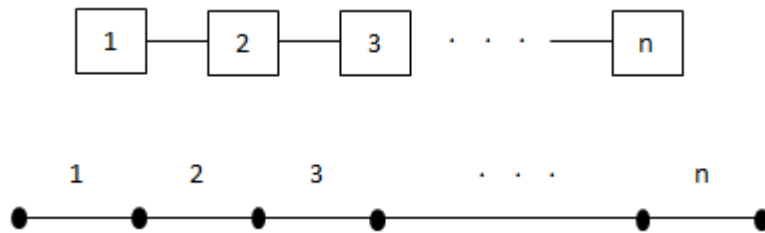
3.6 Güvenilirlik Blok Diyagramı Yöntemi

Sistem güvenilirliğini hesaplanmasında güvenilirlik blok diyagramı kullanılmadan önce, ele alınacak sistem incelenmeli ve sistem bileşenleri ve birbirleriyle olan dizilişleri belirlenmelidir. Ardından birimler bloklar yardımıyla gösterilerek, sistem dizilişine uygun olacak şekilde blokların çizimi yapılmalıdır.

Elsayed [3, s. 70-72]'e göre, "Sistem güvenilirliği hesaplamada ilk adım, güvenilirlik blok diyagramları oluşturmaktır. Bu, sistem bileşenlerinin ve nasıl bağlandıklarının grafiksel gösterimidir. Bir blok (dikdörtgen) bileşenlerin ya da alt sistemleri detaylı olarak göstermez. İkinci adımda, blok diyagrama karşılık gelen güvenilirlik grafiği oluşturulur. Bu grafik, yolu belirten blokların hat şeklinde gösterimidir. Sistemin, güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği oluşturulduktan sonra, tüm sistemin güvenilirliği belirlenmelidir. Bu güvenilirlik grafiği sadece seri sistemler, paralel sistemler gibi basit olabilir; seri-paralel, paralel-seri ve k-out-of-n sistemleri gibi karmaşık olabilir."

3.6.1 Seri sistemler

Sistem, seri olarak bağlanmış n adet bileşenden oluşmaktadır. Bu tür sistemlerde bir birimin arızalanması, sistemin arızalanmasına sebep olmaktadır. Sistemin güvenilirlik değeri, her bir birimin çalışma olasılığının çarpımıyla elde edilmektedir. Şekil 3.3'te seri bağlı bir sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği gösterilmiştir:



Şekil 3.3 Bir seri sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği

Elsayed [3, s. 73-74]'e göre, "Seri sistemler, seri bağlanmış n bileşenden (alt sistemden) oluşmaktadır. Herhangi bir bileşendeki arızalanma, tüm sistemin arızasına yol açmaktadır. Sistem güvenilirliğini belirlemek için, sistemdeki her birimin başarılı olasılığının sistemin değerlendirildiği anda biliniyor olduğu varsayılın ve kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibi olsun:

x_i = Çalışan i. birim

\bar{x}_i = Arızalanmış i. birim

P_{x_i} = i. birimin çalışma olasılığı

$P_{\bar{x}_i}$ = i. parçanın çalışmama olasılığı

R = Sistemin güvenilirliği

P_f = Sistemin güvenilmezliği ($P_f = 1 - R$)

n bileşenden oluşan sistemin başarılı olması/çalışması için tüm birimlerin çalışması gerekir. Sistem güvenilirliği,

$$R = P_{x_1} P_{x_2} \dots P_{x_n} \quad (3.19)$$

ya da,

$$R = P_{x_1} P_{x_2} P_{x_3} \dots P_{x_n} \quad (3.20)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bir bileşenin arızalanmış olmasının diğer bileşenlerin arıza oranlarını etkilemesi, 3.19 numaralı eşitlikteki koşullu olasılıkla gösterilmiştir. Sistem bileşenlerinin arızalanmaları bağımsız olduğunda ise güvenilirlik,

$$R = P(x_1)P_{x_2} \dots P_{x_n} \quad (3.21)$$

ya da,

$$R = \prod_{i=1}^n P(x_i) \quad (3.22)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu hesaplamalara alternatif olarak, sistemin güvenilirliği, sistemin arızalanma olasılığının hesaplanıp birleşiminden çıkarılmasıyla bulunabilir. Dolayısıyla,

$$P_f = P_{x_1} + P_{x_2} + \dots + P_{x_n} \quad (3.23)$$

olmaktadır ve “+” işareti olayların bileşimini ifade etmektedir. Olasılığın temel kurallarından, A veya B olayının gerçekleşme olasılığı aşağıdaki gibidir:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB) \quad (3.24)$$

3.23 numaralı eşitlik dikkate alınarak 3.22 numaralı eşitlik tekrar yazıldığında,

$$P_f = P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n) - P(x_1x_2) + P(x_1x_3) + \dots + \dots + (-1)^{n-1}P(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.25)$$

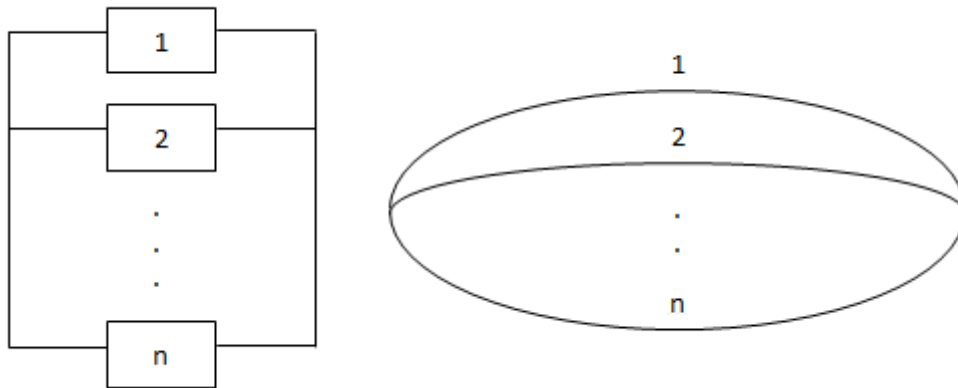
olmaktadır ve sistem güvenilirliği,

$$R = 1 - P_f \quad (3.26)$$

olmaktadır. Seri sistemlerin güvenilirliği, en düşük güvenilirliğe sahip bileşenin güvenilirliğinden daha düşük veya eşittir.”

3.6.2 Paralel sistemler

Paralel bağlı sistemlerde, bileşenler ya da birimler paralel bağlıdır. Bu durum, bir veya daha fazla yolda arızalanma mevcut olsa dahi diğer yol(lar) ile sistemin çalışmasını sürdürmesine olanak tanır. Paralel sistemlerde güvenilirlik, herhangi bir yolun kullanılma olasılığına eşittir. Şekil 3.4’te paralel bağlı bir sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği gösterilmiştir:



Şekil 3.4 Bir paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı ve güvenilirlik grafiği örneği

Rausand and Hoyland [7, s. 124]'a göre paralel sistemler, “n adet bileşenden en az birinin çalışır durumda olduğunda sistemin çalıştığı sistemlerdir.

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) \quad (3.27)$$

Örnek olarak 2 adet bileşenden oluşan bir sistem düşünüldüğünde,

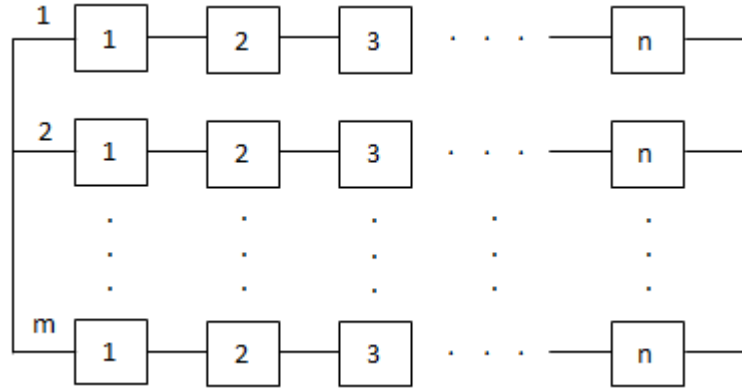
$$R = 1 - (1 - x_1)(1 - x_2) \quad (3.28)$$

eşitliği elde edilmekte ve bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılmaktadır:”

$$R = x_1 + x_2 - x_1x_2 \quad (3.29)$$

3.6.3 Paralel-Seri sistemler

Paralel-seri bir sistem, m adet paralel yoldan oluşmaktadır ve her bir yol üzerinde, seri olarak bağlanmış n birim vardır. Bu tür sistemlerin güvenilirlik değerleri, seri ve paralel sistemlerin güvenilirlik hesaplamalarından faydalanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.5'te paralel-seri özellikteki bir sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği gösterilmiştir:

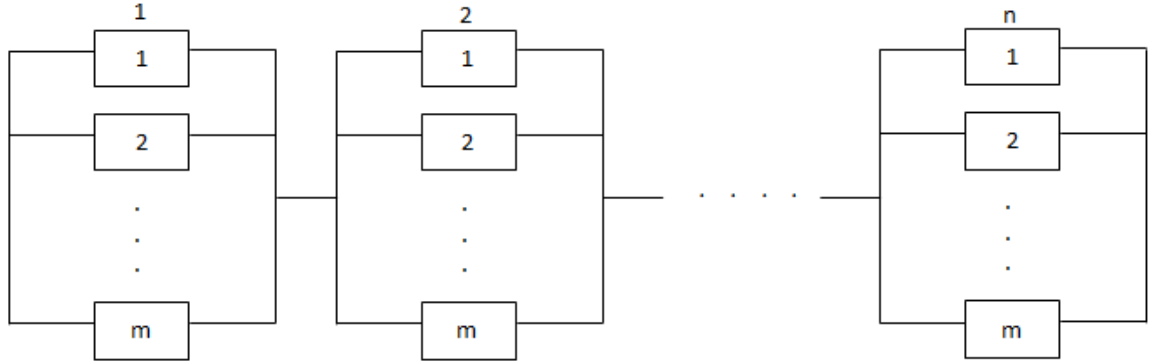


Şekil 3.5 Bir paralel-seri sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği

3.6.4 Seri-Paralel sistemler

Genel bir seri-paralel sistem, her bir alt sisteminde m adet paralel birim olan seri şekilde bağlanmış n adet alt sistemden oluşur. Bu tür sistemlerin güvenilirlik değerleri, seri ve paralel sistemlerin güvenilirlik hesaplamalarından faydalanılarak

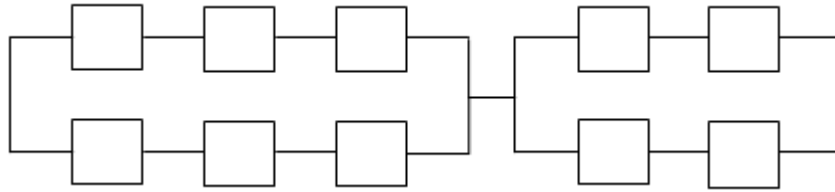
hesaplanmaktadır. Şekil 3.6'da seri-paralel özellikteki bir sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği gösterilmiştir:



Şekil 3.6 Bir seri-paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği

3.6.5 Karışık-Paralel sistemler

Karışık-paralel sistem birimlerinin, seri ve paralel şekilde bağlanmış olmaları dışında özel bir düzenleri yoktur. Bu tür sistemlerin de güvenilirlik değerleri, seri ve paralel sistemlerin güvenilirlik hesaplamalarından faydalanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.7'de 10 adet birimden oluşan karışık-paralel özellikteki sisteme ait güvenilirlik blok diyagramları örneği gösterilmiştir:



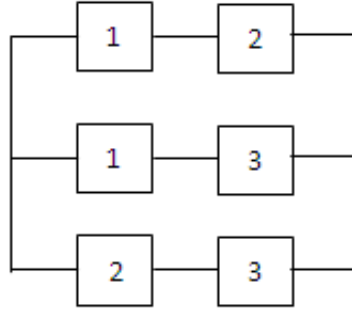
Şekil 3.7 İki farklı karışık-paralel sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı örneği

3.6.6 N bileşen içinde ardışık k bileşenin bozuk olmasına dayalı sistemler

Seri sistemler n adet seri bağlı bileşenden oluşmaktadır ve bu tür sistemlerde, bir ya da daha fazla bileşenin arızalanması, sistemin arızalanmasına neden olur. Ancak Ardışık k-out-of-n adı verilen bu tür sistemlerde en az k adet bileşen arızalanana kadar meydana gelen bu arızalanmalar sistemi etkilememektedir. Bahsedilen bu k adet bileşenin, sistem içinde ardışık olarak sıralanmış olması gerekmektedir. Bu tür sistemlerin güvenilirlik hesaplamaları, seri ve paralel

sistemlerin güvenilirlik hesaplamalarından daha karmaşık olmakla birlikte geliştirilmiş bir formül yardımıyla yapılmaktadır.

Rausand and Hoyland [7, s. 125]'a göre şekil 3.8'de yer alan ve 3 bileşen içinde ardışık 2 tane bileşenin arızalı olma durumuna bağlı olarak sistemin güvenilirliği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:



Şekil 3.8 Örnek bir sistem gösterimi [7]

$$R = x_1x_2 \cup x_1x_3 \cup x_2x_3 = 1 - (1 - x_1x_2)(1 - x_1x_3)(1 - x_2x_3) \quad (3.30)$$

$$R = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 - x_1^2x_2x_3 - x_1x_2^2x_3 - x_1x_2x_3^2 \quad (3.31)$$

$$R = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 - 2x_1x_2x_3 \quad (3.32)$$

3.7 Güvenilirlik Konusunda Üretim Sistemlerinde Yapılmış Çalışmalar

Güvenilirlik kelimesi ilk olarak, kişilik özelliklerini betimlemek amacıyla 1800'lü yıllarda kullanılmıştır. 1816 yılındaki bu ilk kullanımın ardından barındırdığı nitel ve nicel çağrışımlar dolayısıyla günümüz teknolojik dünyasını kuşatmıştır [8]. Güvenilirlik kelimesinin kullanılabilirliği ve bilinirliği her geçen yıl çok daha fazla oranda artış göstermektedir. Örneğin günümüzde anahtar kelime olarak güvenilirlik girildiğinde popüler arama motorlarından Google'da yaklaşık 185 milyon sonuç listelenmektedir, ancak 2004 yılında listelenen sonuç sayısı sadece 12,5 milyon kadardır [8].

Güvenilirlik, genel olarak çok farklı alanlarda ve çok farklı disiplinlerde kullanılmaktadır ancak bu tez çalışması kapsamında incelenen bölüm, üretim sistemlerindeki güvenilirliktir. Sistem güvenilirlik analizi birçok amaçla uygulanmaktadır. Bu amaçlardan biri, sistemin sorunsuz ve işlevine uygun olarak

çalışabilmesi için büyük önem arz eden bakım zamanlarının belirlenmesidir. Bu konudaki çalışmalardan biri olan Uzun ve Özdoğan [9]'ın çalışmasında, bir cam üretim tesisindeki her bir bileşenin güvenilirlik fonksiyonu hesaplanmış olup sistem güvenilirliği güvenilirlik blok diyagramı yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ardından, bu fonksiyonlar ve eşitlik yardımıyla herhangi bir zaman için makinelerin ve sistemin güvenilirlik değerleri elde edilmiştir. Sistemin güvenilirlik değeri üzerinde en fazla etkisi bulunan makine seçilerek bu makine için en iyi önleyici bakım periyodu hesaplanmıştır. Bu çalışmada incelenen konu, önleyici bakım zamanlarının belirlenebilmesi için güvenilirlik analizlerinin kullanılmış olmasıdır.

Bakım zamanlarıyla ilgili olarak güvenilirlik hesaplanmasının yapıldığı bir diğer çalışmada [10], uçağın yapısal parçalarının üretim hattının arızalanma verileri elde etmiş olup bu veriler ışığında verilere uygun arızalanma dağılımı hesaplanmıştır. Güvenilirlik hesaplamaları doğrultusunda bakım planlarının iyileştirilmesinde kullanılabileceğinden ve mevcut sistemin analizi için yardımcı olduğundan bahsedilmiştir.

Güvenilirlik analizinin amaçlarından bir diğeri de üretim hatlarının ya da sistemlerin mevcut arızalanma durumlarının analiz edilmesi ve bu analiz ışığında hat yerleşiminde değişiklikler yapılmasıdır. Zhang et al. [11], çalışmasında bir hücreli imalat biriminde hata ağaçları yöntemi kullanarak arızalanmaların sistemi etkileme boyutunu incelemektedir. Sistemde yer alan her bir alt sistemin arızalanma oranları hesaplanmış olup, bu alt sistemlerin mevcut sistemi etkileme boyutu incelenmiştir. Ardından, sistem üzerinde en büyük etkiye sahip sistem bileşeni belirlenerek sistem güvenilirliğinin artırılması için önerilerde bulunulmuştur.

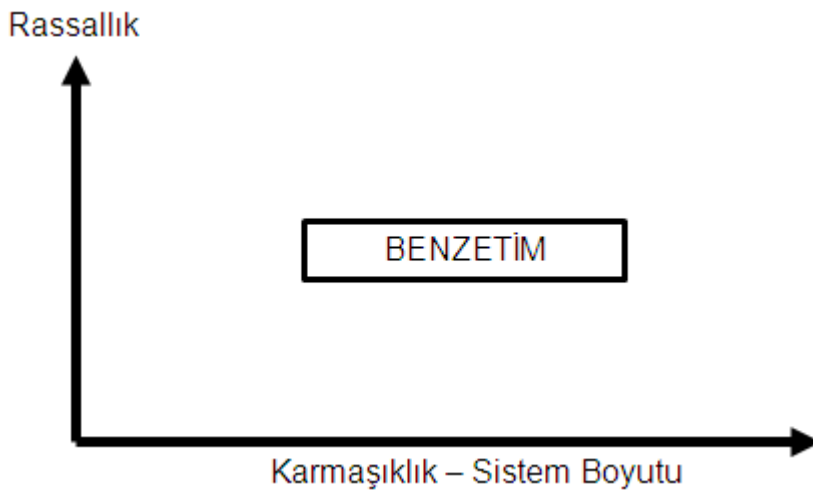
Güvenilirliğin büyük önem taşıdığı üretim sistemlerinden biri de gıda sektörüdür. Gıda sektöründe son yıllarda yapılan güvenilirlik çalışmalarının özetlendiği Tsarouhas [12], çalışmasında başarısızlık riski yüksek olan makinelerin tespitinin sağlanmasına imkan vermesi ve böylelikle bakım politikasının iyileştirilmesinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Sürekli bakım gerektiren, bakım politikalarının önemli olduğu, mevcut durumun sürekli iyileşmesi ve geliştirilmesi gereken gıda sektöründe, güvenilirlik ve başarısızlık oranı modelleri, mevcut durum analizi ve gelecekte alınacak kararların yarar ve zararlarının belirlenmesi hususunda kullanılmaktadır.

4. BENZETİM KAVRAMI VE KULLANIM ALANLARI

Benzetim, sistemin değişen koşullar altındaki tavrının gözlemlenebilmesi için sistem tasarımı ve analizinde kullanılan güçlü analiz araçlarından biridir. Sistemin çalışması ile ilgili koşullar, uygun olarak modellenir ve böylelikle karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizi yapılır. Genel anlamda, benzetim modeli, sistem işleyişinin bir taklididir.

Benzetimin ilk kullanımı MS 400'lü yıllara dayanmaktadır. Ancak modern benzetim anlayışının ortaya çıkışı bilgisayar öncesi zamanlarda, 1770'li yıllarda başlamıştır. Benzetim kullanımı 1940'lı yıllardan itibaren bilgisayar tabanlı olarak büyük gelişim göstermiş olup günümüzde yaygın olarak kullanılan bir araç haline gelmiştir [13].

Benzetimin günümüzde çok çeşitli alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasının sebeplerinden biri, sistem karmaşıklığı ve olasılıklı durumların varlığında kolaylıkla kullanılabilen ve bilimsel olarak karar verme sürecine katkı sağlayan bir yöntem olmasıdır. Günümüzdeki sistem boyutu ve karmaşıklığı, sistem hakkında alınacak kararların doğruluğu ve yeterliliği açısından büyük bir problem oluşturmaktadır. Bu zorlukların yanında, sistem içerisinde yer alan olasılıklı olarak değişebilen durumların varlığı sebebiyle sistem analizi süreci çok daha zor hale gelmektedir. Sistemlerin rassallık ve karmaşıklık boyutuna bağlı olarak kullanım durumunu şekil 4.1 açıklamaktadır. Bu şekilde görüldüğü gibi, sistemin karmaşıklığı ve rassallığı arttıkça benzetim kullanım gereksinimi doğmaktadır.



Şekil 4.1 Sistem boyutu ve rassallık ilişkisi altında benzetim tercihi [14]

Benzetim, sisteme uygun şekilde bir benzetim modeli geliştirildikten ve bu modelin geçerliliği gösterildikten sonra, gerçek sistem hakkındaki çeşitli sorulara (what-if) cevap aramak için kullanılmaktadır [14]. Benzetim yöntemi kullanımının tercih edilme sebepleri ve tercih edildiği bazı durumlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Ele alınacak sistemin üzerinde çalışma ve/veya deney yapılmasına uygun olmadığı durumda, benzetim modeli kurulduktan sonra, önerilen yeni tasarımların veya yeni politikaların analizinde kullanılabilir. Yani sistemin davranış analizi için kullanılabilir. Ayrıca, sistemden veri elde etmenin maliyet ya da başka kaygılar sebebiyle mümkün olmadığı durumlarda benzetim modelinden veri elde edilmesi tercih edilmektedir.
- Sistemin henüz tasarım aşamasında olduğu durumda sistem analizine yardımcı olmak amacıyla kullanılabilir.
- Problemin analitik çözümünün mümkün olmadığı ya da analitik metotların uygulanmasının tercih edilmediği durumlarda benzetim yöntemi tercih edilmektedir.
- Problemin analitik çözümü mümkün olmasına rağmen matematiksel modelin verebileceği sonuçlar dışında farklı sonuçlarla ilgilenilmekteyse tercih edilmektedir çünkü analitik modeller ile kısıtlı sayıda performans ölçütleri hesaplanabilmektedir. Ancak, benzetim modelleri ile akla gelebilen herhangi bir performans ölçütü tahmin edilebilmektedir.
- Karmaşık sistemler üzerinde detaylı araştırmalar yapılmak istendiğinde benzetim yöntemi tercih edilmektedir çünkü, analitik modellerde çözüme ulaşabilmek için birçok basitleştirici kabullerin yapılması gerekmektedir. Benzetim modellerinde böyle bir kısıtlama bulunmamaktadır.

5. UYGULAMA

5.1 Yalın Üretim

Günümüz rekabet koşullarında, firmaların rekabet koşullarını arttırabilmek için etkin bir yönetim anlayışının mevcut olması ve bu anlayış ve bilincin üretimde görevli bir operatörden firmanın en yetkili kişisine varıncaya kadar benimsenmiş olması gerekmektedir. Benimsenen bu anlayış çerçevesinde, firmaların iş ve süreçlerini revize etmeleri, yaklaşımın gerekliliklerini yerine getirmeleri gerekmektedir. Bu sayede, nihai ürünün piyasa şartlarındaki yerinde iyileşmelerin gözlemlenmesi beklenmektedir.

Dünya genelinde uygulanmakta olan bu yönetim anlayışlardan biri de Yalın Üretim anlayışıdır. Sigma Center danışmanlık firmasına göre (<http://www.sigmacenter.com.tr/yalin-uretim.html>), günümüz dünyasının rekabetçi ve küresel özelliği dolayısıyla, hangi firma kalitesini yükseltir, maliyetlerini düşürür ve ürününü piyasaya daha hızlı sunarsa, pazarı da o firma yönlendirmektedir . Sigma Center danışmanlık firmasına göre (<http://www.sigmacenter.com.tr/yalin-uretim.html>), yalın yönetimin dünya genelinde böylesine yaygın olmasının sebeplerinden biri, tüm bu üç hedefin de aynı anda gerçekleşmesine olanak sağlamasıdır. Yalın Üretim, süreçlerdeki israfları elemine ederek maliyet ve üretim zamanını düşüren ve kaliteyi artıran sistematik bir yaklaşımdır. İlk olarak Toyota Motor Şirketi tarafından 1950'li yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir [15]. Yalın düşüncenin temelindeki prensip, daha az kaynakla daha çok ürün elde etmek, değer yaratmak, israf ve kayıpları elimine etmektir.

Bu anlayışa ait metodoloji adımları aşağıdaki gibidir;

- Değerin tanımlanması,
- Değer akışı haritalandırması ve kayıpların belirlenmesi,
- Sürekli değer akışı,
- Sadece müşteri isteğini zamanında yapmak (Çekme sistemi),
- Sürekli iyileştirme

Yalın düşüncede her türlü faaliyet, değer kavramına göre değerlendirilmektedir. Değer kavramı, nihai kullanıcı tarafından tanımlanmakta ve nihai kullanıcı gözünde

değer kabul edilmeyen her türlü faaliyet israf olarak görülmektedir. Değerin tanımlanması aşamasının ardından değer akışının analiz edilmesi gelmektedir. İncelenen sürecin tüm aşamaları yani hammaddenin gelmesi aşamasından nihai ürünün fabrikadan sevki aşamasına kadar tanımlanmaktadır. Böylelikle, süreçte yer alan israf ve kayıplar ortaya çıkartılmaktadır. Nihai ürün üzerinde katma değer yaratmayan ve ürünün üretilmesinde zorunlu olmayan iş ve işlemler belirlenerek süreçten elimine edilir. Bu sayede, gereksiz maliyetler belirlenmiş yok edilmiş olacaktır. Değer akışı haritasının kökeni, yalın üretimin etkin bir şekilde kullanıldığı Toyota Motor Şirketi tarafından malzeme ve bilgi akışı olarak adlandırılan görsel bir harita tekniğine dayanmaktadır [16]. Günümüzde ise bilgi, malzeme ve para akışı olmak üzere 3 tip akış mevcuttur [17]. Bir sonraki aşamadaki amaç, nihai kullanıcının tanımladığı değeri, istenen kalitede ve istenen zamanda, en ucuza üretmek için tanımlanan israf ve kayıpların elemine edilerek kesintisiz bir akışın sağlanmasıdır. Çekme sistemi, nihai kullanıcının ürünü istediği zaman almasına olanak vermekte ve nihai kullanıcılardan gelen herhangi bir ürün talebi olmadığı takdirde üretim yapılmamasını sağlayan bir sistemdir. Bu sistemde, önce talep gelmekte ve talebin gelmesinin ardından üretime başlanmaktadır. Son aşama olan sürekli iyileştirme aşamasında, sistemin tüm bu özelliklerini koruyarak sürekli iyileştirilmesi ve mümkün olan en iyi yapıya kavuşması hedeflenerek çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sürekli iyileştirme çalışmaları, birçok farklı teknikle yürütülebilmektedir. Bu amaçla kullanılan tekniklerden bazıları aşağıda listelenmiştir:

- 5S İşyeri Organizasyonu Yönetimi
- Toplam Kalite Yönetimi
- İstatistiksel Süreç Kontrolü
- Taguchi Yöntemi
- 6 Sigma Yaklaşımı
- Hızlı Kalıp Değişimi ve Ayar Zamanı Kısaltma Yönetimi
- Poka Yoke Yöntemi
- Toplam Verimli Bakım

5.2 Yiğit Akü A.Ş. Firmasında Yalın Üretim ve İlgili Çalışmalar

Yiğit Akü A.Ş. firması yalın üretim yaklaşımını benimsemiş olup bu amaçla sürekli iyileştirme çalışmalarını gerçekleştirmektedir. Örneğin toplam verimli bakım yönetimi çerçevesinde fabrika genelinde, üretim sistemindeki bileşenlere ait arızalanma ve tamir verileri düzenli olarak kaydedilmekte ve bu verilerin kullanılmasıyla her bir bileşenin ve sistemin toplam verimliliği hesaplanmaktadır. Ayrıca önleyici bakım faaliyetlerinin yapılması amacıyla makinelere ait bakım planlamaları da firma bünyesinde yapılmaktadır.

5.3 Yapılan Uygulama Hakkında Bilgilendirme

Tez kapsamında, güvenilirlik temelli analiz ile verimlilik artışı sağlayacak sistem tasarımı elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu tasarımın elde edilmesi için destek amaçlı analizler benzetim tekniği kullanılarak benzetim modeli ile yapılmıştır. Böylece, sorunlu birimler belirlenerek gerekli iyileştirmelerin yapıp verimlilik artışı sağlayacak, güvenilirliği daha yüksek bir sistem elde edilmiş olacaktır. Bu doğrultuda, öncelikle mevcut sistemin durumu farklı yöntemlerle analiz edilmiş olup bu analizler doğrultusunda mevcut sisteme bazı öneriler geliştirilmiştir. Ardından, önerilen sistem de aynı yöntemlerle analiz edilmiş olup elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan uygulama çalışmasına ait detaylı süreç adımları şekil 5.1'de gösterilmektedir.

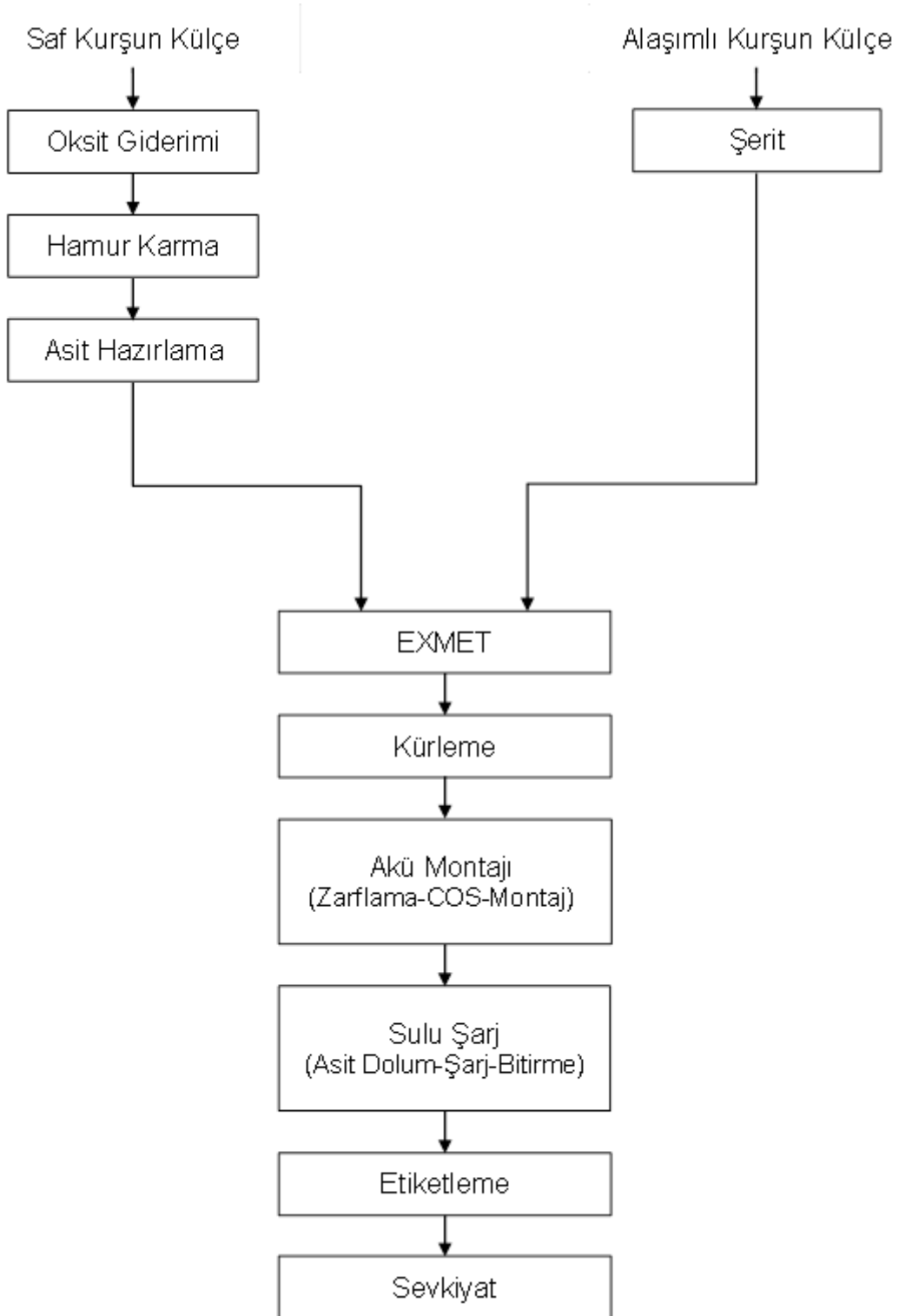


Şekil 5.1 Verimlilik artışı sağlayacak sistem tasarımı için izlenen işlem adımları

5.4 İncelenen Akü Tipine Ait Sistem Tanıtımı

Yiğit Akü A.Ş. firması, benimsediği yönetim anlayışı gereğince, fabrika içerisindeki süreçleri detaylıca incelemiş olup süreç analizlerini yapmıştır. Firma, ihracat yaptığı nihai ürünler içinden seçilen bir ürün için nihai ürün üzerinde katma değer yaratan veya üretim için zorunlu olan iş ve işlemleri belirlemiş ve bu ürüne ait değer akışı haritasını kağıt üzerinde oluşturmuştur. Bu sayede, belirtilen ürün için katma değer oluşturan ve katma değer oluşturmamasına rağmen sürecin ilerleyebilmesi için gerekli olan işlemler belirlenmiş ve gereksiz adımlar süreçten çıkarılmıştır. Fabrika için herhangi bir yarar sağlamayan maliyetler elimine edilerek ürün başına düşen kâr miktarının artması sağlanabilmiştir.

Tez kapsamında dikkate alınan akü tipi, değer akışı haritasının hazırlanmış olduğu bu aküdür. Değer akışı haritası yardımıyla, ilgili akünün üretim süreçleri net olarak bilinmektedir. Ayrıca mevcut tüm süreçlerin ürüne olan katkı boyutu da sahip olunan bilgiler arasındadır. Bu akü tipinin Yiğit Akü fabrikası içerisindeki üretim süreci aşamaları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 İncelenen akü tipinin üretim süreci adımları

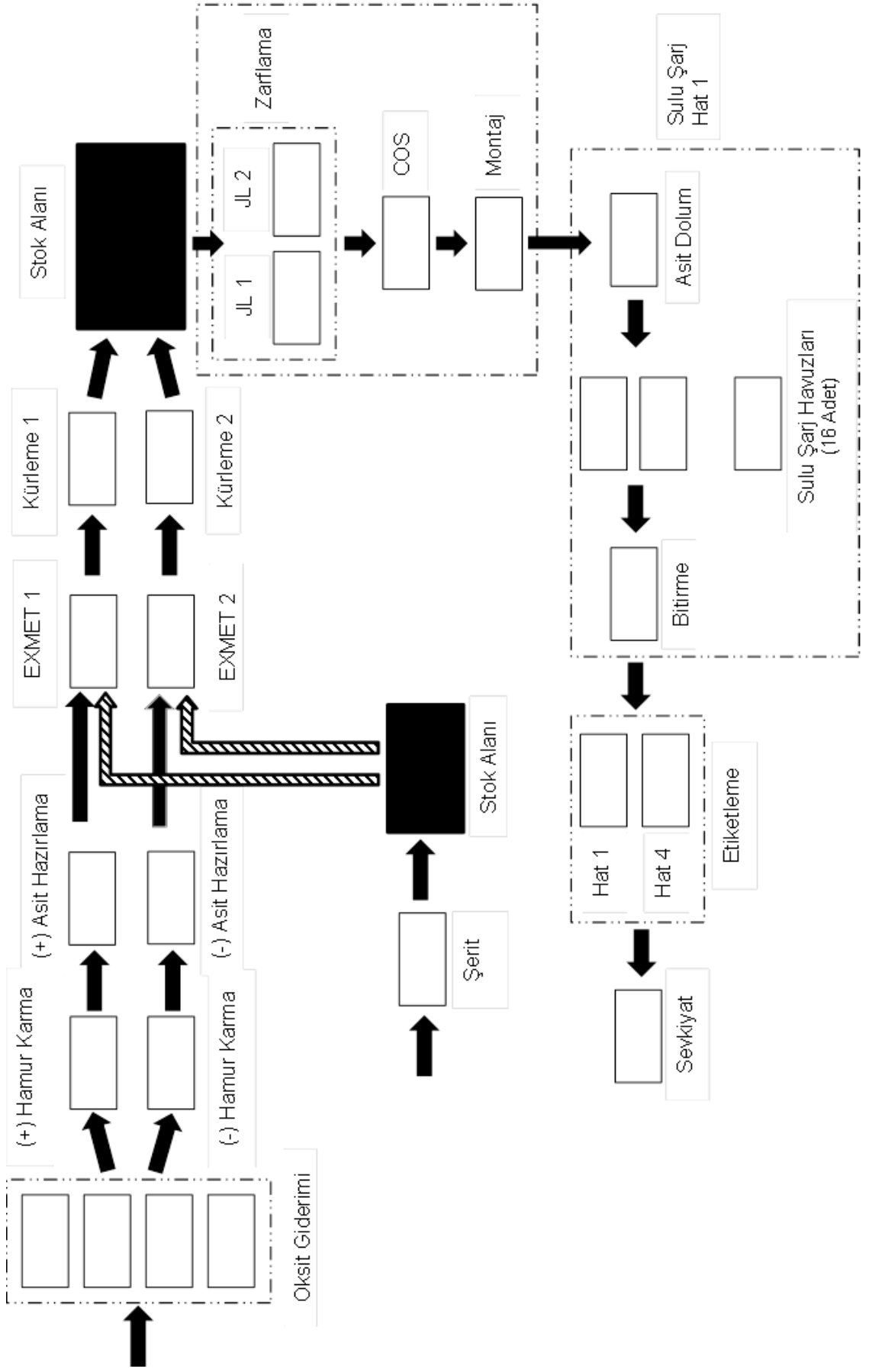
İncelenen akü tipinin Şekil 5.2'deki üretim süreci aşamaları detaylıca incelenmiş olup, üretimi boyunca hangi hatlar ve hangi birimlerinde işlem gördüğü, bu birim ve hatların özellikleri hakkında gerekli inceleme ve araştırma yapılmıştır. Böylelikle, bu akü tipi için hammaddenin geliş aşamasından ürünün sevkiyatına kadar geçen

sürede fabrika içerisinde tabii tutulduğu tüm işlemler ve üretiminde kullanılan birimler detaylıca görülmüştür. Bu akü tipinin üretimi esnasında fabrika içerisinde kullanılan birimler Şekil 5.3'te görülmektedir.

Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, incelenen akü tipinin üretimi için iki tür hammadde kullanılmaktadır. Saf kurşun külçeler tedarikçi firmadan getirilip sırasıyla oksit giderme, hamur karma ve asit hazırlama işlemlerine tabii tutulur. Alaşımli kurşun külçeler ise yine tedarikçi firmadan teslim alınarak şerit biriminde işlem görür. Asit hazırlamadan ve şeritten gelen yarı ürünler sırasıyla EXMET (Expanded Metal teknolojisini kullanan makine), kütleme işlemlerine tabii tutulup montaj ve sulu şarj işlemleri ardından etiketleme ve sevkiyat için hazır hale getirilmektedir.

Üretilen akü tiplerinin çok farklı özelliklerde olabilmesine karşılık temel olarak aküler, pozitif ve negatif özellikteki birimlerin belli sayılarda bir araya getirilmesi ve çeşitli kimyasal süreçler sonrasında elde edilen kapalı bir kutu olarak düşünülebilmektedir. Şekil 5.3'te daha detaylı olarak görüldüğü üzere, incelenen akü tipinin üretiminde, gelen saf kurşun külçeleri oksit giderme işlemi yapıldıktan sonra pozitif ve negatif olmak üzere iki ayrı hamur karma makinesine gönderilmektedir. Ardından yine pozitif ve negatif özellikte olmak üzere iki ayrı asit hazırlama birimine gelen yarı ürünler burada işlem görmektedir. Alaşımli kurşun külçelerin şerit makinesinde işlenmelerinin ardından şerit makinesinden gelen plakaların asit hazırlamadan gelen hamurların pozitif veya negatif olma koşuluna göre ilgili EXMET makinesinde işlem görmesi sağlanmaktadır. 1 numaralı EXMET makinesinden çıkan ürünler 1 numaralı kütleme biriminde; 2 numaralı EXMET makinesinden çıkan ürünler 2 numaralı kütleme biriminde işlem görmektedir. 1 ve 2 numaralı kütlemeden gelen ürünler ise belli sayılarda birleştirilerek sırasıyla montaj ve sulu şarj hatlarında işlem görmektedir. Kütleme işleminin ardından plakaların belli sayılarda birleştirilmesiyle tek bir tip ürün elde edileceğinden dolayı montaj hattı içerisindeki zarflamanın paralel iki kaynağından boş olanında işlem görebileceklerdir. Aynı zamanda montaj ve sulu şarj hatları sonrasında etiketleme biriminde yer alan paralel iki hattan boş olanda işlem almaları sağlanabilecektir. Ardından akülerin sevkiyatı yapılmaktadır.

Üretim sürecinde yer alan her bir birimin hangi amaçla ve nasıl kullanıldığına dair bilgilendirme bu bölümün devam eden başlıklarında yapılmaktadır.



Şekil 5.3 İncelenen akünün üretim hattı gösterimi

5.4.1 Oksit giderimi

Sistem içerisindeki ilk işlem birimlerinden olan oksit giderimi biriminde, tedarikçi(ler)den temin edilen saf kurşun külçeleri işlem görmektedir. Yaklaşık 400 °C'de eritilen saf kurşun külçeleri karıştırıcının içerisine atılmaktadır. Karışımdan elde edilen kurşun oksit, hamur karma birimine gönderilmektedir.

5.4.2 Hamur karma

Sistem içerisinde hem pozitif hem de negatif hamur üretimi gerçekleştirilmektedir.. Hamur karma birimlerinde, kurşun okside su, asit ve diğer eklenmesi gereken malzemeler eklenerek karıştırılmaktadır.

5.4.3 Asit hazırlama

Bu birimde, ilerleyen süreçlerde gerekli olacak asit çözeltisi hazırlanmaktadır. Hamur karma biriminde üretilen pozitif ve negatif hamurlar, hazırlanan bu asit çözeltisiyle kaplanmaktadır.

5.4.4 Şerit

Şerit hattı, besleme potasından ve üretim hattından oluşmaktadır. Besleme potaları pozitif ve negatif alaşımların hazırlanması için kullanılmaktadır. Besleme potalarına, üretimi yapılacak şerit bobininin alaşım değerlerine göre (saf kurşun, kalay, kalsiyum miktarları) ilgili alaşımlar eklenmektedir. Bu alaşımlar, potalarda eritilerek sıvı hale getirilmekte ve hat mekanizması sayesinde sıvı kurşun burada şerit şeklini almaktadır. Şerit şeklini alan kurşun, hat içerisindeki haddelemeye doğru ilerlemekte ve 7 adet haddeye maruz kalarak kalınlığı istenilen ölçüye getirilmektedir. Haddelemelerden ve kesme işleminden geçen şerit sarılmak üzere sarım rulolarına aktarılmaktadır. Hattın sonunda bulunan sarım ruloları, şeridi sararak bobin haline getirilmesini sağlamakta ve palete koymaktadır.

5.4.5 Exmet

Yiğit Akü firması, akü üretiminde expanded-metal teknolojisi kullanmaktadır. Bu teknoloji, yaklaşık 10 günlük sürecin tamamının 3 günde tamamlanmasına olanak sağlamaktadır. Fabrika bünyesinde var olan tüm süreçlerin tek bir hatta

birleştirildiği en son üretim teknolojisidir. Bu süreçte önce şerit üretilmekte ve ardından üretilen şerit, expanded'da baskı-gergi işleminin sonunda plakalar üretilmektedir. Dolayısıyla, şerit makinesinde bobine sarılmış şeritler, expanded hattına getirilir ve makineye takılır. Şerit, ilk önce EXMET makinesinin Matrix bölümüne gelmekte ve burada baskı-gergi işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra Performer makinesine gelmekte ve bu makinede şeritlerin ızgara halini alması sağlanmaktadır. Performer makinesinden çıkan şeritler sıvama hattına gelmekte ve Hopper vasıtasıyla şerit ızgaraların üzerine hamur sıvanmaktadır. Izzaralar, sıvanan hamurun ızgaralardan dökülmesini önlemek için özel bir kâğıt ile kaplanmakta ardından kesme istasyonunda şerit plakaların kesilmesi işlemi yapılmaktadır. Kesilen plakalar fırına sokulmakta ve fırından çıkan plakalar, Sticker bölümüne gelerek otomatik olarak paletlere dizilmektedir.

5.4.6 Kürleme

Paletlere dizilen plakalar kürlenmek için kür odalarına alınmaktadır. Bu birimde kürleme ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Plakaların kürlenmesiyle hamur nemlenmektedir. Hamurların kurutulmasıyla da iç yapısı oluşmaktadır. Kür ve kurutma işlemleri sonucunda plakanın tanecik yapısı istenilen formata dönüştürülür. Plakaların kür odalarında kalma süresi 26 saattir. Ardından kür odalarının devamındaki bekleme alanında 24 saat beklemektedirler. Bu işlemlerden sonra çıkan plakaya ham plaka denir. Kür işlemi biten ham plakalar yarı mamul olarak satılabilmekte veya sulu şarjlı akü üretiminde kullanılmaktadır.

5.4.7 Montaj hattı

Montaj hattı, sırasıyla zarflama, COS (Cost-On-Strap) ve montaj birimlerinden oluşmaktadır.

Zarflama biriminde, plakaların sayılması, akü kapasitesine göre zarflanıp gruplanması işlemleri yapılmaktadır. COS makinesinde ise hizalama, fırçalama, kaynatma işlemleri yapılmaktadır. Zarflama istasyonunda gruplanmış plakalar, COS makinesine getirilmekte ve COS makinesinin sepetindeki hücrelere gruplanmış plakalar çalışanlar tarafından yerleştirilmektedir. COS makinesi, gruplanmış plakaları sıkıştırarak aynı hizaya getirmekte ve ardından sepet ters çevrilmektedir. Gruplanmış ve hizalanmış haldeki plakalar yani diğer adıyla

“eleman”lar, COS makinesinin fırçalama bölümüne gelmektedir. Burada plakaların kulak kısımları fırçalanarak flax adlı bir kimyasal, kaynak işleminin daha güçlü olması için püskürtülmektedir. Sepet tekrar döndürülerek grift oluşturma bölümüne gelmektedir. Burada elemanların kulakları kalıplarda erimiş halde bulunan kurşuna daldırılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin ardından sepet tekrar çevrilmekte ve seri bağlı olacak şekilde kutulara yerleştirilmektedir.

Montaj biriminde ise gelen tüm akülerin tüm gözlerine kısa devre kontrolü yapılmaktadır. Hücrelerinde kısa devre bulunan aküler kısa devre kontrol cihazı tarafından belirlenmekte ve hattan çıkarılmaktadır. Hattan çıkarılan akülerde, kısa devre olan hücre ya da hücreler operatör tarafından kontrol edilir ve gerekli işlemlerin yapılmasının ardından akü tekrar kısa devre kontrol hattına sokulur. Kısa devre kontrolünü geçen aküler punta kaynak makinesine gelmektedir. Punta kaynak makinesinde gözler birbirine seri bağlı olacak şekilde punta kaynağı yapılmaktadır ve burada herhangi bir hata meydana gelirse makine tarafından akü hattan ayrılmakta, hatalı punta kaynağı temizlenmekte ve tekrar puntalama işlemine devam edilmektedir. Puntalama işleminin sorunsuzca tamamlanmasının ardından akü kutusuyla kapağının birleştirilmesi işlemi yapılmaktadır. Operatör, akü tipine uygun kapağı kutunun üstüne yerleştirip gerekli düzeltmeleri yapmaktadır. Bu işlemlerin ardından, kutu kapama makinesi tarafından kutuyla kapak dışarı hava sızdırmayacak şekilde birleştirilmektedir. Kapak kapama işleminin bitmesinden sonra akü kutup başı kaynatma makinesine gelerek kutup başları makine tarafından kaynatılmaktadır. Kutup başı kaynatma işlemi biten akü basınç kontrolüne tabi tutulmaktadır ve bu işlemin amacı kutu ile kapak arasında sızdırmazlığın olup olmadığının kontrol edilmesidir. Sızdırma hatası olan aküler, montaj hattının dışına alınır ve hatanın sebebi belirlenir. Hatanın giderilmesinin ardından tekrar basınç kontrolüne tabi tutulmaktadır. Akünün fabrikadan kuru şarjlı olarak çıkması gerekiyorsa, bu birimde buşonları, etiketleri ve varsa aksesuarları takılmakta, garanti etiketleri yapıştırılıp ambalajlanmaktadır. Eğer akünün sulu şarjlı olarak fabrikadan çıkması gerekiyorsa bu durumda akü, üretim hattında ilerlemeye devam etmekte ve sırasıyla sulu şarj hattı, etiketleme ve sevkiyat birimlerine gönderilmektedir.

5.4.8 Sulu şarj hattı

Sulu şarj hattı, asit dolum, şarj havuzları ve bitirme birimlerinden oluşmaktadır. Bu hattaki ilk iş birimi, akülerin içerisine asitlerin dolum işlemlerinin yapıldığı birimdir. Montaj hattından çıkmış şarj olmamış akülerin asit dolumu sağlanmaktadır. Asit dolum biriminde asidi dolan aküler şarj edilmek üzere şarj havuzlarına gitmektedir. Şarj havuzlarına gelen aküler, şarj programındaki süre kadar şarj edilmektedir. Bu şarj esnasında, suyun yoğunlaşmasıyla asidin elektrolit yoğunluğu istenen seviyeye gelmekte ve böylece akü şarj işlemi tamamlanmaktadır.

Bitirme biriminde dolum seviyeleme makinesi, seviyeleme makinesi, seviye test makinesi, yıkama kurutma makinesi, kutup başı fırçalama makinesi, HRD test makinesi, vazelinleme makinesi, dielektrik makinesi ve markalama makinesi olmak üzere toplam 9 adet farklı makine bulunmaktadır. Sulu şarj yapılmış olan aküler, bitirme biriminin ilk cihazı olan dolum seviyeleme makinesine, şarj sonrasındaki eksik asidi tamamlamak için gelmektedir. Ardından ek bir kontrol olarak fazla asidi çekmek amacıyla seviyeleme makinesine gelmektedir. Üçüncü adımda ise, aküdeki eksik ya da fazla asidi ölçmek için seviye test makinesine gelmektedir ve aküler buradan yıkama-kurutma makinesine taşınmaktadır. Yıkama kurutma makinesinde akünün üzerindeki asit ve kirler temizlenmektedir. Bu temizlik işlemi sonrasında aküler, şarj esnasında akünün kutup başları üzerinde olabilecek olası oksit tabakasını temizlemek için kutup başı fırçalama makinesine gelmektedir ve buradan HRD Test cihazına gönderilmektedir. HRD test cihazında amaç, açık devre voltajı ve final voltajını ölçmektir. Ardından, vazelinleme işlemi gerçekleştirilir. Aküler, kutup başları korozyonunu engellemek için vazelinlenmektedir. Bitirme biriminin en son adımı olan markalama işleminde ise her bir aküye dört haneli kod basılmakta ve kodun ilk iki hanesi üretim gününü, üçüncü hane ayı ve son hane ise hat numarasını göstermektedir. Bitirme biriminin ardından aküler, etiketleme ve sevkiyat birimlerine gönderilmektedir.

5.4.9 Etiketleme

Bu birimde, sulu şarj hattından çıkan sulu şarjlı aküler, akü tipine göre etiketlenmekte ve sevkiyat birimine gönderilmektedir.

5.4.10 Sevkiyat

Sevkiyat biriminde, etiketleme biriminde etiketlenmiş olan aküler görevli operatörler tarafından sevkiyatı sağlayacak olan tırlara yüklenmesini ve son kullanıcıya teslim edilmek amacıyla fabrikadan gönderilmesi sağlanmaktadır.

5.5 Sistem Bileşenlerinin Arızalanma Dağılımları ve Parametreleri

Mevcut sistemin güvenilirlik hesaplamalarının yapılabilmesi amacıyla Şekil 5.1’de belirtildiği gibi öncelikle, ele alınan sistem bileşenlerinin arızalanma verilerinin temin edilmesi gerekmektedir. Yapılan görüşmeler sonucu, fabrika genelinde yapılan önleyici bakımlar sayesinde, bazı makinelerde herhangi bir arızalanma ile karşılaşmadığı bilgisi elde edilmiştir. Bu sebeple, bu makinelerde arızalanma olmadığı varsayımı yapılarak bu makinelere ait güvenilirlik değeri 1 olarak dikkate alınmıştır [3]. Ayrıca sulu şarj bölümünde arızalanma verileri asit dolum, şarj havuzları ve bitirme birimlerinin toplam değerleri olarak kaydedildiği için bu üç birim sulu şarj hat olarak dikkate alınarak yapılmaktadır. Sistemde yer alan ve arızalanma verileri mevcut olan bileşenlere ait veriler kullanılarak uygun arızalanma dağılım ve dağılım parametrelerinin bulunmasıyla sistemin güvenilirlik değeri hesaplanabilmektedir. En yaygın görülen arızalanma dağılımları üstel, lognormal, normal ve weibull dağılımları olup bu dağılımlarla ilgili temel eşitlikler çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Arıza dağılımları ve ilgili diğer fonksiyonlar [3], <http://infohost.nmt.edu/~olegm/484/Chap4-1.pdf>

	Üstel	Lognormal	Normal	Weibull
f(t)	$\lambda e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp -\frac{1}{2} \frac{\ln t - \mu}{\sigma}^2$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp -\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}$	$\frac{\beta t^{\beta-1}}{\theta^\beta} \exp -\frac{t}{\theta}^\beta$ <i>β : şekil parametresi</i> <i>θ : ölçek parametresi</i>
F(t)	$1 - e^{-\lambda t}$	$P T \leq t = P Z \leq \frac{\ln t - \mu}{\sigma}$	$P t \leq t = P(t \leq \frac{t - \mu}{\sigma})$	$1 - e^{-\frac{t}{\theta}^\beta}$
R(t)	$e^{-\lambda t}$	$P T > t = P Z > \frac{\ln t - \mu}{\sigma}$	$P t > t = P(t > \frac{t - \mu}{\sigma})$	$e^{-\frac{t}{\theta}^\beta}$

Arızalanma verilerinin temin edilmesi ve düzenlenmesi sonucu elde edilen verilerin bağımsız ve benzer şekilde (independent and identically distributed –iid) dağılım gösterdiği varsayılmıştır. Bu varsayım altında, her bir makinenin arızalanmalar arası geçen ortalama zamanına ait uygun dağılım araştırılmıştır. Tez kapsamında çalışmaların yürütüldüğü sisteme ait 2013 yılı arızalanma verileri temin edilmiştir. 2013 yılına ait bu verilerin bazı makineler için yeterli gözlem sayısına sahip olmaması sebebiyle, makinelerin arızalanma dağılımları ve parametrelerinin hesaplanmasında iki farklı yol izlenecektir. İzlenecek ilk yol, bazı makinelerin arızalanmaları ile ilgili gözlem sayıları az olmasına rağmen, her bir makinenin kendi arızalanma verisi kullanılarak arızalanma dağılımlarının hesaplanması ve bu dağılıma uygun parametrenin bulunmasıdır. İkinci yol ise, gözlem sayılarındaki yetersizlik göz önüne alınarak makinelerin arızalanma verilerinin literatürde çok sık karşılaşılan arızalanma dağılımlarından olan üstel dağılıma uygunluk gösterdiği varsayımı altında makinelerin arızalanma dağılımlarına uygun parametrelerin bulunmasıdır.

5.5.1 Sistem bileşenlerinin arızalanma dağılımları

Bu bölümde, bazı makinelerin arızalanmaları ile ilgili gözlem sayıları az olmasına rağmen, her bir makinenin kendi arızalanma verisi kullanılarak arızalanma dağılımlarının hesaplanması ve bu dağılıma uygun parametrenin bulunması incelenecektir. Verilere uygun dağılımın belirlenmesi aşamasında, en yaygın görülen arızalanma dağılımları arasında araştırma yapılmış olup her bir makineye ait arızalanma verileri kullanılarak uygun dağılımın araştırılması ve parametre değerinin hesaplanması MINITAB istatistiksel analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, mevcut olan arıza gözlem sayıları dikkate alınarak uygun dağılımı ve parametresini seçmek amacıyla kullanılacak tahmin yöntemine karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla her bir makinenin arızalanma gözlem sayısı incelenmiştir. Uygun dağılım ve parametrenin hesaplanması aşamasında, gözlem sayısının yeterince büyük olduğu durumlarda en çok olabilirlik yöntemi; gözlem sayısının az olduğu durumlarda ise en küçük kareler yöntemi kullanılmalıdır([http://reliawiki.org/index.php/Parameter_Estimation#Analysis_of_Right_Censored .28Suspended.29 Data](http://reliawiki.org/index.php/Parameter_Estimation#Analysis_of_Right_Censored_Data)). Arızalanma verileri kullanılarak her bir bileşen için arızalanmalar arasında geçen zamanlar hesaplanmıştır. Arızalanmalar

arası geçen zamanlar MINITAB paket programındaki güvenilirlik analizleri bölümünde analiz edilmiş ve uygun dağılımın tahmin edilmesinde kullanılan yöntem, arızalanma gözlem sayılarının büyüklüğüne göre en küçük kareler yöntemi ya da en çok olabilirlik yöntemi olarak seçilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, MINITAB paket programında yapılan analizler ve kullanılan tahmin yöntemleri Ek-1’de gösterilmiştir.

MINITAB paket programında yapılan analiz sonuçları doğrultusunda, makinelere ait arızalanma dağılımları ve dağılım parametre değerleri çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Her bir bileşene ait uygun dağılım ve dağılım parametre değeri

Makine Adı	Gözlem Sayısı	Uygun Dağılım Adı	Dağılım Parametreleri
Oksit 1	6	Üstel	$\lambda = 1,8943$
Oksit 2	7	Weibull	$\theta = 30336,7$ $\beta = 0,527059$
Oksit 3	7	Weibull	$\theta = 18237,2$ $\beta = 0,217291$
Oksit 4	0	-	-
Hamur Karma	0	-	-
Asit Hazırlama	0	-	-
Şerit	21	Lognormal	$\mu = 7,58902$ $\sigma = 1,39677$
Exmet	326	Lognormal	$\mu = 6,91924$ $\sigma = 0,986716$
Kürleme	0	-	-
Zarflama JL 1	47	Weibull	$\theta = 2422,92$ $\beta = 0,949754$
Zarflama JL 2	17	Lognormal	$\mu = 7,21767$ $\sigma = 1,28288$
COS	147	Lognormal	$\mu = 6,9346$ $\sigma = 0,835447$
Montaj	187	Weibull	$\theta = 1418,75$ $\beta = 1,3511$
Sulu Şarj Hat	62	Üstel	$\lambda = 0,00019$
Etiketleme 1	0	-	-
Etiketleme 4	0	-	-

5.5.2 Sistem bileşenlerinin arızalanma zamanlarının üstel dağıldıkları varsayımı

Bu bölümde, bazı makinelere ait arızalanma gözlem sayılarının az olması nedeniyle bölüm 5.5.1’de elde edilen dağılımlar yerine aynı analizler 2. ve 3. sırada uygun bulunan dağılımın üstel dağılım olması dikkate alınarak üstel dağıldıkları varsayımı ile de yapılmıştır. Her bir bileşen için parametre değerlerinin hesaplanması MINITAB istatistiksel analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arızalanmalar arası geçen ortalama zamanlara ait parametre tahmini en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılmıştır. MINITAB paket programında yapılan analizler Ek-2’de gösterilmiştir. Üstel dağılımın parametre değerleri çizelge 5.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Her bir bileşene ait üstel dağılım parametre değeri

Makine Adı	Üstel Dağılım Parametresi
Oksit 1	0,000019
Oksit 2	0,000024
Oksit 3	0,000022
Oksit 4	-
Hamur Karma	-
Asit Hazırlama	-
Şerit	0,000091
Exmet	0,000265
Kürleme	-
Zarflama JL 1	0,000342
Zarflama JL 2	0,000146
COS	0,000548
Montaj	0,000851
Sulu Şarj Hat	0,000182
Etiketleme 1	-
Etiketleme 4	-

5.6 Sistemin Bakım Oranı

Sistemin bakım oranının hesaplanması aşamasında, her bir sistem bileşenine ait toplam arızalanma sayıları ve bakım süreleri dikkate alınmıştır. Her bir bileşene ait arızalanmaların ortalama gerçekleşme zamanlarının hesaplanmasının ardından sisteme ait arızalanmaların ortalama gerçekleşme zaman değeri bulunmaktadır. Bu değer 1 sayısına bölünmesiyle de sistemin bakım oranı hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalar, veri elde edilebilen bileşenler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar, λ_i , i'inci bileşenin arızalanma oranı olmak üzere, aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmaktadır [18]:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.1)$$

$$MTTR_{sistem} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \lambda_i MTTR_i \quad (5.2)$$

$$Bakım Oranı = \frac{1}{MTTR_{sistem}} \quad (5.3)$$

(5.1) ve (5.2) numaralı eşitliklerin kullanılmasıyla ele alınan sistem ve sistem bileşenlerinin bakım oranları hesaplanmış ve çizelge 5.4'te gösterilmiştir. (5.3) numaralı eşitlikte görüldüğü üzere, bakımlar arası geçen ortalama zaman (MTTR) değerinin hesaplanmasının ardından bu değer 1 sayısına bölünmesiyle sisteme ait bakım oranı elde edilmektedir.

Çizelge 5.4 Sistemin bakım oranı hesaplaması

Makine Adı	Toplam Arızalı Kalma Süresi (dk)	Toplam Arızalanma Sayısı	$MTTR_i$	λ_i	λ	$MTTR_{sistem}$	Bakım Oranı
Oksit 1	785	6	130,8333	0,000019	0,002490	62,403211	0,016025
Oksit 2	1100	7	157,1429	0,000024			
Oksit 3	535	7	76,4286	0,000022			
Oksit 4	-	-	-	-			
Hamur Karma	-	-	-	-			
Asit Hazırlama	-	-	-	-			
Şerit	2550	21	121,4286	0,000091			
Exmet	26676	326	81,8282	0,000265			
Kürleme	120	3	40,0000	0,000000			
Zarflama JL 1	1550	47	32,9787	0,000342			
Zarflama JL 2	659	17	38,7647	0,000146			
COS	9209	147	62,6463	0,000548			
Montaj	12117	187	64,7968	0,000851			
Sulu Şarj Hat	2842	62	45,8387	0,000182			
Etiketleme 1	-	-	-	-			
Etiketleme 2	-	-	-	-			

5.7 Mevcut Sistemin Güvenilirliği ve Kullanılabilirliği

Bu bölümde, öncelikle incelenen akü tipine ait sistemin güvenilirlik blok diyagramı oluşturulmuştur. Ardından, bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonları dikkate alınarak hazırlanan güvenilirlik diyagramına göre sistemin güvenilirlik değeri hesaplanmıştır. Daha sonra, güvenilirlik ve bakım oranı ile ilgili bilgiler sistemin kullanılabilirliği hesaplanmıştır. Ardından, mevcut sisteme uygun olarak benzetim modeli oluşturulmuş olup çıktı analizi yapılmıştır. Elde edilen güvenilirlik, kullanılabilirlik değerleri ve ilgilenilen performans ölçütleri doğrultusunda sistemin analizi yapılmış olup sistem için öneriler geliştirilmiştir.

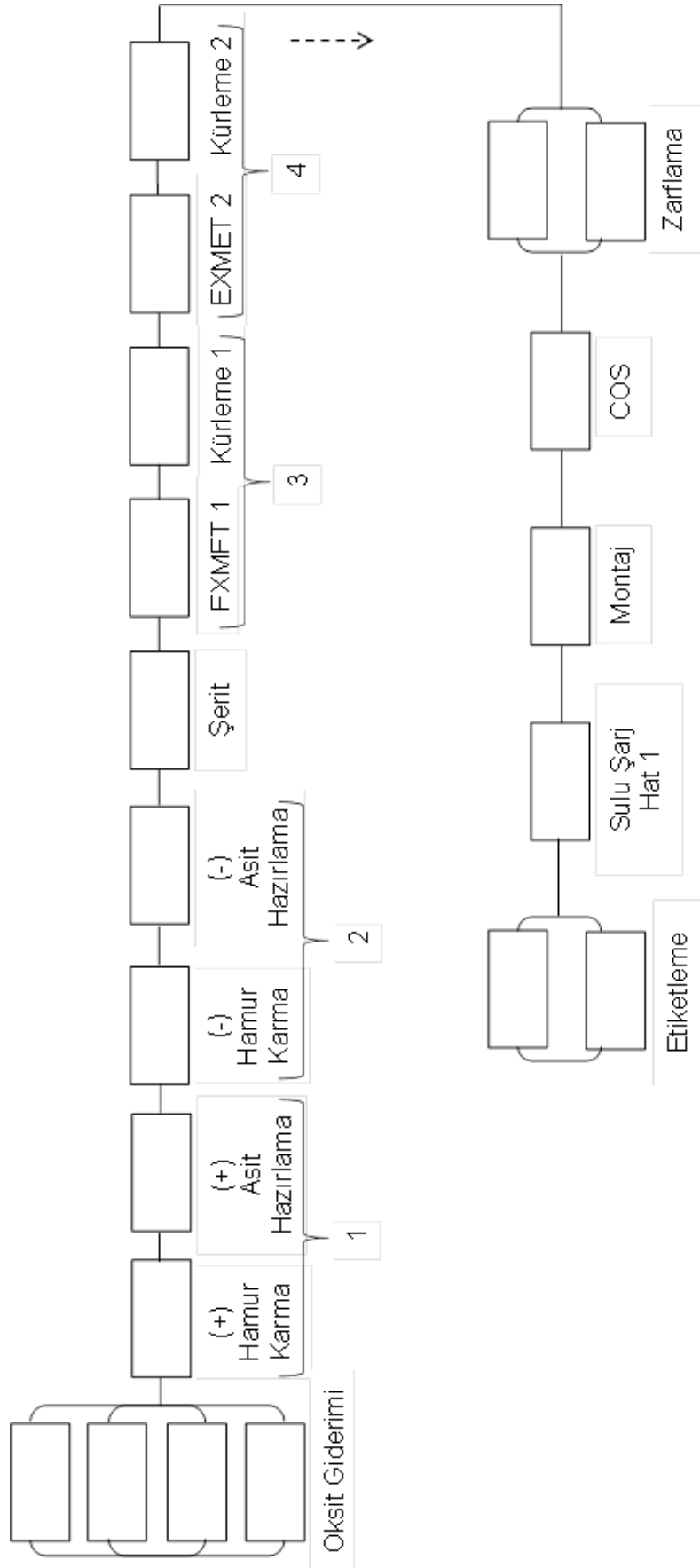
5.7.1 Mevcut sistemin güvenilirlik blok diyagramı

Mevcut sisteme ait güvenilirlik blok diyagramlarının oluşturulması aşamasında, üretim süreci adımları ve süreçte yer alan birimlerin birbirleriyle olan ilişkileri göz

önüne alınmıştır. Bu amaçla, farklı blok diyagramı oluşumları incelenmiş olup mevcut sistemi en doğru şekilde ifade eden dizilim uygun blok diyagramı olarak seçilmiştir. Güvenilirlik blok diyagramı oluşumu ve güvenilirlik hesaplamalarında operatör/çalışan harici makine ve benzeri özellikteki birimler dikkate alındığından ötürü, sadece operatörlerin çalışmakta olduğu sevkiyat birimi dikkate alınmamıştır. Öncelikle, şekil 5.3'te görülen sistemin, yerleşimi ve özellikleri doğrultusunda birbirleriyle paralel ve seri bağlı özellikte olan birimler belirlenmiştir. Şekil 5.3'te görüldüğü üzere, şerit birimine farklı tür hammadde gelmektedir ancak şerit biriminde yarı ürün haline gelen maddeler, sistemde diğer hammadde girişinin sağlandığı ve belli bazı işlemlere tabi tutulduğu üretim sürecine dahil olmaktadır. Dolayısıyla, şerit biriminde meydana gelebilecek herhangi bir arızalanma tüm sistemin etkileyeceği için, şerit birimi sistemde seri bağlı olarak dikkate alınmıştır. Yine şekil 5.3'te görüldüğü üzere biri pozitif biri negatif akü birimlerinin üretim aşamasında görevli olan ikişer adet hamur karma, asit hazırlama, EXMET ve kütleme birimleri mevcuttur ve pozitif birimler kendileri için ayrılan işlem birimlerinden; negatif birimler ise kendileri için ayrılan işlem birimlerinden işlem almak zorundadır. Montaj hattında pozitif ve negatif birimler montajlandığı için montaj hattı ve devamına gelen ürünler tek tiptir ve paralel kaynaklı birimlerde hangi kaynaktan işlem aldıkları herhangi bir farklılık yaratmamaktadır. Bu durumlar ışığında oluşturulan ilk blok diyagram yapısı aşağıda şekil 5.4'te gösterilmiştir:

görmeye devam edebilmektedir. Aynı şekilde, 2 numaralı yolda meydana gelebilecek olası bir arızalanma 1 numaralı yolu etkilememektedir ve yarı ürünler 1 numaralı yolu izleyerek işlem almaya devam edebilmektedir. Ancak, sistemin gerçek yapısında 1 numaralı yolu sadece pozitif birimler kullanabilmektedir ve 2 numaralı yolu izleyebilmeleri mümkün değildir, yani paralellik söz konusu değildir. Aynı şekilde, 2 numaralı yolu sadece negatif birimler kullanabilmektedir ve 1 numaralı yolda işlem almaları mümkün değildir. Benzer şekilde, şekil 5.4'teki gösterimde, 3 numaralı yolda meydana gelebilecek olası bir arızalanma 4 numaralı yolu etkilememekte ve yarı ürünler 4 numaralı yolu izleyerek sistemde işlem görmeye devam edebilmektedir. Aynı şekilde, 4 numaralı yolda meydana gelebilecek olası bir arızalanma 3 numaralı yolu etkilememektedir ve yarı ürünler 3 numaralı yolu izleyerek işlem almaya devam edebilmektedir. Ancak, sistemin gerçek yapısında böyle bir durum mevcut değildir. Çünkü 3 numaralı yolu sadece pozitif birimler kullanabilmektedir ve 4 numaralı yolu izleyebilmeleri mümkün değildir. Aynı şekilde, 4 numaralı yolu sadece negatif birimler kullanabilmektedir ve 3 numaralı yolda işlem almaları mümkün değildir.

Bu ilk gösterimin sistemi doğru olarak yansıtamaması sebebiyle sistemi doğru şekilde temsil edebileceği düşünülen başka bir güvenilirlik blok diyagramı oluşturulmuş ve sistemi doğru bir şekilde temsil etme yeteneği incelenmiştir.



Şekil 5.5 Mevcut sistemin ikinci güvenilirlik blok diyagramı gösterimi

Şekil 5.5'te yer alan ikinci blok diyagramı gösterimine göre, pozitif ve negatif birimlerin ayrı ayrı işlem aldığı hamur karma, asit hazırlama, EXMET ve kütleme birimleri birbirlerine seri bağlı olarak düşünülmüştür. Bu durumda, 1 numaralı bölümde herhangi bir arızalanma meydana geldiğinde 2 numaralı bölümün de uygun şekilde çalışmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Oysaki sistemin gerçek yapısında böyle bir durum söz konusu değildir. Çünkü 1 numaralı bölüm olan pozitif hamur karma ve pozitif asit hazırlama birimlerinde meydana gelebilecek herhangi bir arızalanma, 2 numaralı bölüm olan negatif hamur karma ve negatif asit hazırlama birimlerini etkilememektedir. Aynı şekilde, 3 numaralı bölümde herhangi bir arızalanma meydana geldiğinde, 4 numaralı bölümün de etkilendiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Oysaki sistemin gerçek yapısında böyle bir durum söz konusu değildir. Çünkü 3 numaralı bölüm olan EXMET 1 ve kütleme 1 birimlerinde meydana gelebilecek herhangi bir arızalanma, 4 numaralı bölüm olan EXMET 2 ve kütleme 2 birimlerini etkilememektedir.

Sisteme ait hazırlanan ikinci blok gösteriminin de sistemi doğru olarak yansıtamaması sebebiyle başka bir sistem güvenilirlik blok diyagramı oluşturulmuş ve sistemi doğru bir şekilde temsil etme yeteneği yeniden incelenmiştir.

diyagramlarında, yarı ürünlerin kendilerine ait olmayan, yani mevcut sistemde işlem almalarının mümkün olmadığı yollara kaynakların paralel bağlı gösterimi sebebiyle gittikleri tespit edilmişti. Bunu önlemek için çizilen ikinci gösterimde, kaynaklar seri bağlı olarak dikkate alınmış ancak bu durumda da yarı ürünler hem kendilerine ait olan hem de kendilerine ait olmayan birimlerden işlem alıyormuş gibi gösterilmiş olmuştur. Sonuç olarak, pozitif veya negatif birimlerde meydana gelebilecek olası arızalanmaların yarı ürünlerin paralel kaynaklara sapmasına sebep olmaması gerektiği, sadece ilgili türe ait birimin etkilendiği ve gösterimin bu doğrultuda hazırlanması gerektiği düşünülmüştür. Ancak, incelenen akü tipi içerisinde hem pozitif hem negatif birimlerin belli adet bulunması gerekmekte olduğu için, bu iki birimin herhangi birinin üretilmemesi yani herhangi bir türe ait birimlerde herhangi bir arızalanma yaşanması, sistemin tamamını etkilemektedir. Bu sebeple, pozitif ve negatif birimlerin ayrı ayrı işlem aldığı hamur karma, asit hazırlama, EXMET ve kütleme birimleri tek birimler halinde gösterilmiştir. Yani pozitif ve negatif hamur karma birimleri tek bir hamur karma birimi olarak; pozitif ve negatif asit hazırlama birimleri tek bir asit hazırlama birimi olarak; pozitif ve negatif EXMET birimleri tek bir EXMET birimi olarak; pozitif ve negatif kütleme birimleri tek bir kütleme birimi olarak gösterilmiştir. Bu sayede, ilk iki blok diyagramında ortaya çıkan tutarsız işleyiş ortadan kaldırılmış ve blok diyagram gösterimi mevcut sistemle uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 5.6'daki blok gösterimi diyagramı ile örneğin pozitif hamur karma ve negatif hamur karma birimlerinde ortaya çıkan arızaların ve yapılan bakımların sayısı tek birim gibi dikkate alınarak güvenilirlik, bakım oranı ve kullanılabilirlik değerleri hesaplanmıştır. Böylece bağımsız iki bileşen olan pozitif hamur karma ve negatif hamur karma bileşenlerinde herhangi biri arızalandığında sistem etkileneceği için aynı işi yapan ancak pozitif ve negatif olarak yapan aynı amaçlı bileşenler birleştirilerek blok diyagramına son şekli verilmiştir.

5.7.2 Mevcut sistemin güvenilirlik değeri

Mevcut sisteme ait güvenilirlik, çizelge 5.2 ve çizelge 5.3'te yer alan duruma göre ayrı ayrı hesaplanacaktır. Arızalanma dağılımlarının parametre değerleri ve çizelge 5.1 doğrultusunda, çizelge 5.5'te her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu,

her bir bileşene ait uygun dağılım ve dağılım parametre değeri kullanılarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.5 Çizelge 5.2 doğrultusunda hazırlanan her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu

Makine Adı	Güvenilirlik Fonksiyonu
Oksit 1	$e^{-1,8943t}$
Oksit 2	$e^{-\frac{t}{30336,7}^{0,527059}}$
Oksit 3	$e^{-\frac{t}{18237,2}^{0,217291}}$
Oksit 4	1
Hamur Karma	1
Asit Hazırlama	1
Şerit	$P_z > \frac{\ln t - 7,58902}{1,39677}$
Exmet	$P_z > \frac{\ln t - 6,91924}{0,986716}$
Kürleme	1
Zarflama JL 1	$e^{-\frac{t}{2422,92}^{0,949754}}$
Zarflama JL 2	$P_z > \frac{\ln t - 7,21767}{1,28288}$
COS	$P_z > \frac{\ln t - 6,9346}{0,835447}$
Montaj	$e^{-\frac{t}{1418,75}^{1,3511}}$
Sulu Şarj Hat	$e^{-0,00019t}$
Etiketleme 1	1
Etiketleme 4	1

Şekil 5.6'daki sistem güvenilirlik blok diyagramı ve çizelge 5.5'deki bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonları dikkate alınarak sisteme ait güvenilirlik değeri ve arızalanma oranı hesaplanabilmektedir. Mevcut sistem için, bu durumda sistemin arızalanma oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [19].

$$Failure Rate = -\ln R(t) / T \quad (5.4)$$

Sistemin bir haftalık yani 6 günlük çalışması ile ilgilenildiği ve arızalanma verilerinin birimi dakika olduğundan dolayı zaman yani T değeri $6 \times 24 \times 60 = 86400$ olarak ele alınacaktır. Bu durumda elde edilen güvenilirlik eşitliği ve arızalanma oranları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 R t = & 1 - \left(1 - e^{-1,8943t} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{30336,7}^{0,527059}} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{18237,2}^{0,217291}} \right) \left(1 - 1 \right) \\
 & \times 1 \times 1 \times P z > \frac{\ln t - 7,58902}{1,39677} \times P z > \frac{\ln t - 6,91924}{0,986716} \times 1 \\
 & \times 1 - \left(1 - e^{-\frac{t}{2422,92}^{0,949754}} \right) \left(1 - P z > \frac{\ln t - 7,21767}{1,28288} \right) \\
 & \times P z > \frac{\ln t - 6,9346}{0,835447} \times e^{-\frac{t}{1418,75}^{1,3511}} \times e^{-0,00019t} \\
 & \times 1 - 1 - 1 - 1 \tag{5.5}
 \end{aligned}$$

$$\text{Failure Rate} = - \ln R t / T = 0,002864 \tag{5.6}$$

Arızalanma dağılımlarının parametre değerleri ve çizelge 5.1 doğrultusunda, çizelge 5.6'da her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu, her bir bileşene ait üstel dağılım parametre değeri kullanılarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 Çizelge 5.3 doğrultusunda hazırlanan her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu

Makine Adı	Güvenilirlik Fonksiyonu
Oksit 1	$e^{-0,000019t}$
Oksit 2	$e^{-0,000024t}$
Oksit 3	$e^{-0,000022t}$
Oksit 4	1
Hamur Karma	1
Asit Hazırlama	1
Şerit	$e^{-0,000091t}$
Exmet	$e^{-0,000265t}$
Kürleme	1
Zarflama JL 1	$e^{-0,000342t}$
Zarflama JL 2	$e^{-0,000146t}$
COS	$e^{-0,000548t}$
Montaj	$e^{-0,000851t}$
Sulu Şarj Hat	$e^{-0,000182t}$
Etiketleme 1	1
Etiketleme 4	1

Şekil 5.6'daki sistem güvenilirlik blok diyagramı ve çizelge 5.6'daki bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonları dikkate alınarak sisteme ait güvenilirlik değeri hesaplanabilmektedir. Mevcut durumda sistemin güvenilirlik değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 R(t) = & 1 - \left(1 - e^{-0,000019t} \right) \left(1 - e^{-0,000024t} \right) \left(1 - e^{-0,000022t} \right) \left(1 - 1 \right) \times 1 \times 1 \\
 & \times e^{-0,000091t} \times e^{-0,000265t} \times 1 \\
 & \times \left(1 - e^{-0,000342t} \right) \left(1 - e^{-0,000146t} \right) \times e^{-0,000548t} \times e^{-0,000851t} \\
 & \times e^{-0,000182t} \times 1 - 1 - 1 - 1
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Buna ek olarak istenilen bir zaman için her bir bileşenin ayrı ayrı güvenilirlik değerlerinin bulunması ve ardından bu değerlerin bileşenlerin birbirlerine bağlanma şekillerine göre kullanılmasıyla da sistem güvenilirliği belli bir an için

bulunabilmektedir. Ancak, sistem güvenilirliğinin herhangi bir an için bu şekilde hesaplanması t için dikkate alınan dönemle ilgili bir değerdir [20]. Oysa, sistemlerde genel olarak ortalama değerler açıklayıcı bilgi oluşturur. Bu sebeple, güvenilirlik değerinin hesaplanmasında, (5.7) numaralı eşitlikteki formül kullanılarak güvenilirlik hesaplaması yapılmıştır. Bu durumda, sistemin güvenilirlik fonksiyonundan yararlanılarak aşağıdaki işlemler sonucu sistem kullanılabilirlik oranı hesaplanabilecektir.

$$R(t) = e^{-2083 \times 10^{-6}t} + e^{-2279 \times 10^{-6}t} - e^{-2425 \times 10^{-6}t} \quad (5.8)$$

olarak elde edilmektedir. Bu durumda arızalar arası geçen ortalama zaman (MTBF ile MTBF değerleri birbirine eşit olup kullanıldığı sistemlerin türleri farklıdır),

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{2083 \times 10^{-6}} + \frac{1}{2279 \times 10^{-6}} - \frac{1}{2425 \times 10^{-6}} = 506,4946 \quad (5.9)$$

olarak bulunmaktadır. Sistemin arızalanma oranı ise,

$$Failure Rate = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{506,4946} = 0,001974 \quad (5.10)$$

(5.10) numaralı eşitlikteki gibi elde edilmektedir.

5.7.3 Mevcut sistemin kullanılabilirlik değeri

Mevcut sisteme ait güvenilirlik fonksiyonundan elde edilen arızalanmalar arası geçen ortalama zaman değerine ek olarak, sistemde bakımlar arası geçen ortalama zaman değerinin de kullanılması ile mevcut sisteme ait kullanılabilirlik (availability) değeri hesaplanabilecektir.

Rausand and Hoyland [7, s. 7]'da gösterildiği üzere, ortalama kullanılabilirlik oranı (5.11) numaralı eşitlikte gösterildiği üzere hesaplanmaktadır.

$$A_{av} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (5.11)$$

Ortalama kullanılabilirlik oranı, hem (5.6) numaralı eşitlikteki hem de (5.10) numaralı eşitlikteki arızalanma oranı kullanılarak hesaplanacaktır. Bu durumda,

(5.6) numaralı eşitlikte hesaplanan ve her bir bileşenin veri setine uygun olarak hesaplanan dağılım ve parametre değerleriyle yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen arızalanma oranı kullanılarak hesaplanan ortalama kullanılabilirlik oranı aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} Sistem_{kullanilabilirlik} &= \frac{1/0,002864}{(1/0,002864 + 62,4032)} = \frac{349,1620}{(349,1620 + 62,4032)} \\ &= \mathbf{0,848376} \end{aligned} \quad (5.12)$$

(5.10) numaralı eşitlikte hesaplanan ve her bir bileşenin arızalanma dağılımının üstel dağılım varsayımı altında hesaplanan ortalama kullanılabilirlik oranı ise (5.13) numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$Sistem_{kullanilabilirlik} = \frac{506,4946}{(506,4946 + 62,4032)} = \mathbf{0,890309} \quad (5.13)$$

Elde edilen kullanılabilirlik değerleri sonucu, varsayım altında hesaplanan değerlerin, herhangi bir varsayım yapılmadan hesaplanan değerlerden yaklaşık olarak %5 oranında farklılık gösterdiği görülmektedir.

5.7.4 Mevcut sistemin benzetim modeli

Yiğit Akü A.Ş. firması oluşabilecek ekstra talep ve özel durumlar harici genel olarak haftalık 6 gün 24 saat olmak üzere toplam 3 vardiya içinde üretim faaliyetini sürdürmektedir. Sistemi tam olarak yansıtabilecek özellikte olan benzetim modelinin oluşturulması aşamasında, sistemle ilgili bilgiler ve özellikler göz önüne alınmış ve benzetim modeli bu doğrultuda oluşturulmuştur. Çizelge 5.7'de yer alan çizelgede, sistemde yer alan bileşenlerin sayıları ve bu bileşenlerde çalışmakta olan operatör sayıları gösterilmektedir:

Çizelge 5.7 Sistem bileşenleri ve operatörler ile ilgili bilgiler

Bileşen Adı	Bileşen Sayısı	İlgili Bileşende Çalışan Operatör Sayısı/Vardiya
Oksit	4	4
Hamur Karma	2	2
Asit Hazırlama	2	2
Şerit	1	2
Exmet	2	2
Kürleme	2	2
Zarflama	2	4
COS	1	1
Montaj	1	1
Asit Dolum	1	1
Sulu Şarj Havuzu	160	0
Bitirme	1	2
Etiketleme	1	3
Sevkiyat	0	5

Benzetim modelinin oluşturulması aşamasında dikkat edilen bir diğer özellik ise sisteme ait işlem süreleri olmaktadır. Bileşenlere ait işlem süreleri ve hammaddelerin sisteme varışlararası zaman aralığı süresi, çizelge 5.8'de gösterilmiştir:

Çizelge 5.8 Sistemdeki işlem süreleri ile bilgiler

	Mevcut Sistem Süreleri (sn)
Varişlar Arası Zaman Aralığı	22,7
Oksit	22,7
Hamur Karma	1560
Asit Hazırlama	2
Şerit	TRIA(0.01945,0.02463,0.02909)
Exmet	TRIA(0.00209,0.00428,0.00429)
Kürleme	93600
Kürleme Bekleme	86400
Zarflama	2,9
COS	TRIA(0.22986,0.27159,0.31368)
Montaj	TRIA(0.05723,0.08919,0.11566)
Asit Dolum	2
Sulu Şarj Havuzları	1080
Bitirme	TRIA(0.07064,0.077,0.08414)
Etiketleme	24

Yiğit Akü A.Ş. firması fabrika kapasitesi doğrultusunda önceden belirlenmiş bazı birimlerin önünde stok tutarak çalışan bir firmadır. Bu doğrultuda, sistemde yer alan stok miktarları ve stok alanları da benzetim modeline eklenmiştir. Stok tutma yerleri ve stok miktarları, firmanın oluşturmuş olduğu değer akışı haritasında gösterilmektedir ve benzetim modeli bu bilgilere uyularak oluşturulmuştur. Benzetim modelinde ilgilenilen performans ölçütü değerleri, iki farklı hammaddeye ait sistemde ortalama kalış zamanları ve sistemden çıkan ortalama akü sayısıdır.

Sistem, bu bilgiler doğrultusunda ARENA benzetim yazılımı kullanılarak modellenmiş olup benzetim modeline ait model ve experiment bileşenleri ile sonuçları, Ek-3'te verilmiştir.

5.7.5 Mevcut sistemin benzetim modeli sonuçları

Yiğit Akü A.Ş. üretim sisteminde yer alan olasılıklı işlem süreleri sebebiyle sistemin olasılıklı bir özellikte olduğu düşünülmüş ve izleyen aşamalar bu durum göz önüne alınarak yapılmıştır. Yiğit Akü A.Ş. üretim sistemi, 3 vardiyalı olarak

genellikle 6 gün 24 saat çalışmaktadır. Sistemin, herhangi bir bitiş olayı olmaksızın aralıksız çalışması sebebiyle bitişsiz özellikte olduğu görülmüş ve oluşturulan benzetim modeli kullanılarak yapılan çıktı analizi, bu durum göz önüne alınarak bitişsiz sistemler için kullanılan yöntemler göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu sebeple, ilgilenilen performans ölçütlerinden zamana bağlı olan performans ölçütleri için çıktı analizi yapılabilir.

Bitişsiz sistemler için çıktı analizi yapılırken öncelikle sistemin başlangıç durumu yanlılığından kurtarılması gerekmektedir. Başlangıç koşulları, sistemin ilerleyen zaman içerisinde bulunacağı durumu etkilemekte ve bu sebeple analizin daha doğru yapılabilmesi için başlangıç koşullarının yarattığı yanlılığın ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Bitişsiz sistemlerin çıktı analizi amacıyla kullanılan bazı yöntemler aşağıda sıralanmıştır [21];

- Benzetime denge durumu koşulunu gösteren bir başlangıç koşulu ile başlamak
- Benzetim modelini başlangıç yanlılığının etkisini ortadan kaldıracak kadar uzun çalıştırmak.
- Başlangıç periyodunu tahmin etmek ve bu periyotta kaydedilen gözlemleri sildikten sonra denge durumu parametresini tahmin etmek.

Yiğit Akü A.Ş. firması bünyesinde incelenen sistem içerisinde belirli alanlarda ara stoklarla çalışması sebebiyle, sistem denge durumunda çalıştırılmıştır. Bu sebeple, başlangıç yanlılığının belirlenmesine gerek duyulmamıştır. Ardından küme ortalamaları yöntemi ile gerekli analizlerin yapılmasına karar verilmiştir.

Ancak, sistemde yer alan olasılıklı süreçlerin zamanları sabit zamanlı süreçlerin yanında çok küçük olduğundan sistem olasılıklı değil belirli gibi çalışmakta ve performans ölçütlerinin sonuçları aynı çıkmaktadır ya da çok düşük bir farklılık göstermektedir. Farklılık gösteren performans ölçütü değeri için varyans değerlerinin çok küçük çıkmış olması sebebiyle 5 denemenin yapılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle sadece 5 tekrar yapılarak bu durum gösterilmiştir. Bu çalışmada bu nedenle benzetim modelinin belirli model olduğu varsayımı ile model, güvenilirlik analizine bağlı yapılan tasarım için üretim miktarındaki

değişikliği görmek amacıyla kullanılmıştır. Sistemin belirli olarak davrandığını göstermek üzere yapılan 5 denem sonuçları Çizelge 5.9'da gösterilmektedir:

Çizelge 5.9 Mevcut sistemin 5 tekrarının performans ölçütü değerleri

	Sistemde Ortalama Kalma Zamanları		Üretilen Ürün Sayısı
	Saf Kurşun	Alaşımli Kurşun	
Tekrar 1	179210	179210	7171
Tekrar 2	179210	179210	7171
Tekrar 3	179210	179210	7171
Tekrar 4	179210	179210	7171
Tekrar 5	179210	179210	7171

Sisteme uygun olarak oluşturulan benzetim modeli içinde ilgilenilen performans ölçütü değerleri benzetim modelinin 5 tekrarı yapılarak, şekil 5.9'da verilmiştir. Her iki hammaddenin sistemde ortalama kalma süreleri birbirine eşit olup, tekrar sonuçları da aynıdır. Aslında, şerit, EXMET; COS; montaj ve bitirme birimlerinde stokastiklik var olmasına rağmen işlem zamanları çok küçüktür. Kütleme ve kütleme sonrası bekleme birimlerinde ise işlem süresi sabit olup toplam 50 saattir. Bu nedenle, bu sistemde benzetim modeli stokastik model gibi davranmayıp her defasında aynı değeri vererek belirli bir benzetim modeli gibi çalışmaktadır. İlgilenilen bir diğer performans ölçütü, sistemde üretilen ortalama akü sayısıdır. Şekil 5.9'da görüldüğü üzere sistemde üretilen ortalama akü sayısı 7171 adettir.

Benzetim modeli ile sistemin davranışı incelenerek darboğazlar belirlenmiştir. Yığılmaların yaşandığı birimlerden biri sulu şarj hattı üzerinde işlem vermekte olan sulu şarj havuzlarıdır. Yapılan 5 tekrar sonucu sulu şarj havuzları önündeki kuyrukta ortalama 91 akü beklemektedir. Sulu şarj hattındaki diğer iş birimlerinden olan asit dolum biriminin önündeki kuyrukta bekleyen akü sayısı 1'den küçük olmaktadır ve diğer bir iş birimi olan bitirme biriminin önündeki kuyrukta bekleme yoktur. Bu birim önünde yığılmalar yaşanması nedeniyle sadece şarj havuzları biriminde iyileştirme yapılmasına ve bu iyileştirmenin sonuçlarının araştırılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, mevcut sisteme ek olarak şarj havuzları sayısının 2 katına çıkartılarak sistemin tüm analizlerinin tekrarlanmasına ve sonuçların

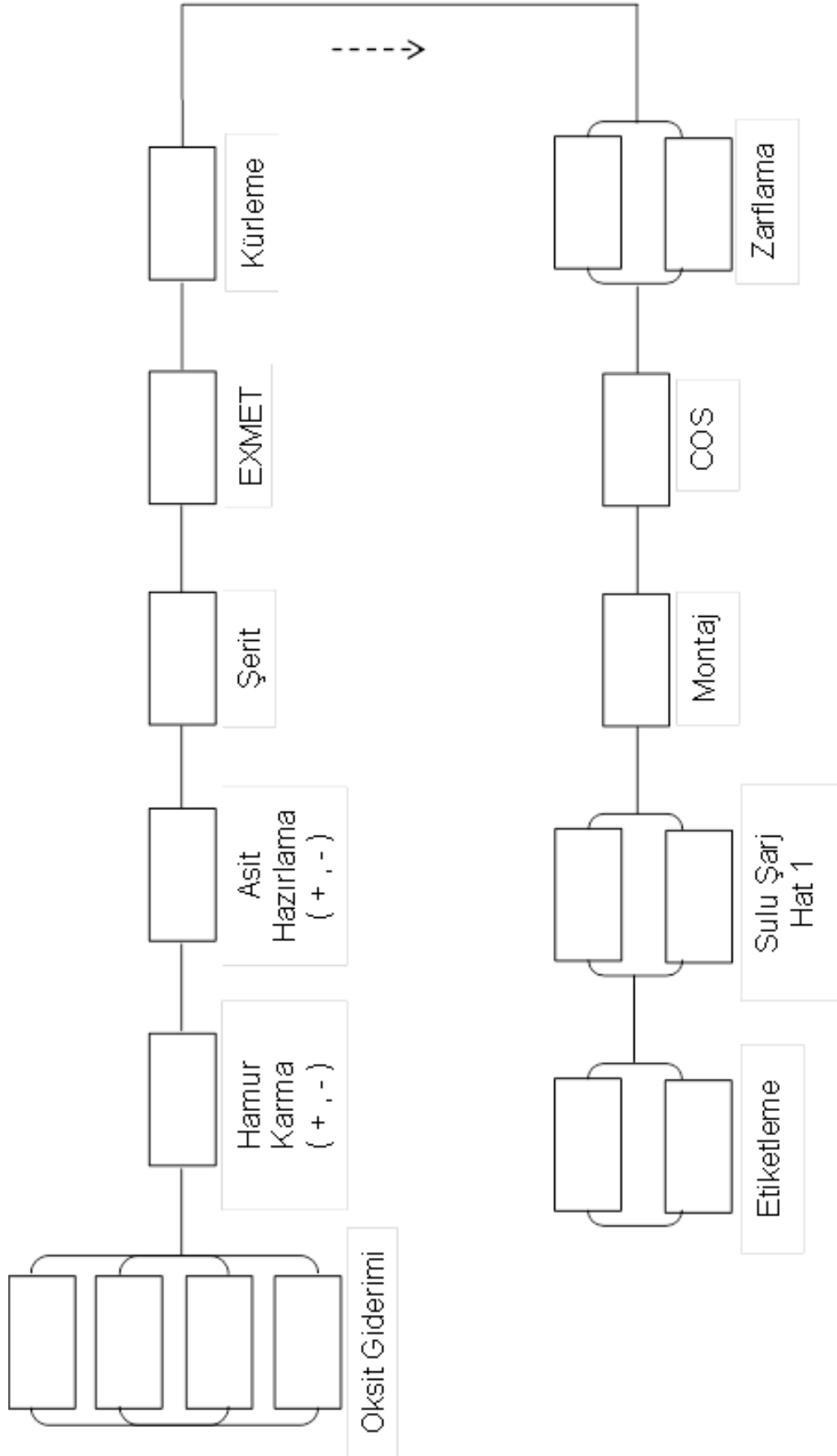
mevcut sistem sonuçlarıyla karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Şarj havuzlarının sayısının iki katına çıkarılması yani havuz hattına paralel bir hat eklenmesi, sistem güvenilirliğini de arttıracak olup dolayısıyla sistem kullanılabilirliğinin de artmasını sağlayacaktır.

5.8 Önerilen Sistemin Güvenilirliği ve Kullanılabilirliği

5.7 numaralı bölümdeki güvenilirlik ve kullanılabilirlik hesapları bu bölümde, önerilen sistem için yapılmıştır. Önerilen sistem için güvenilirlik blok diyagramı oluşturulmuştur. Ayrıca, önerilen sisteme uygun olarak benzetim modeli oluşturulmuştur.

5.8.1 Önerilen sistemin güvenilirlik blok diyagramı

Önerilen sistemin t güvenilirlik blok diyagramının oluşturulması için mevcut sistemin güvenilirlik blok diyagramında şarj havuzları birimine ek bir kaynak koyulması gerekmektedir. Ancak, sulu şarj hattının arızalanma verileri iş birimleri bazında bulunmadığından, mevcut sisteme ait güvenilirlik blok diyagramında tüm sulu şarj hattı tek bir birim olarak düşünülmüştü. Sulu şarj hattında yer alan iş birimlerinin önündeki kuyruklardaki beklemler göz önüne alındığında sulu şarj havuzları dışındaki diğer iki iş birimine paralel birimler koymak gereksiz olmaktadır. Bu sebeple, önerilen sistem içerisinde sadece sulu şarj havuzlarına paralel bir kaynak koyulacak olsa da, güvenilirlik blok diyagramında sulu şarj hattına paralel bir hat koyuluyormuş gibi düşünülerek blok diyagramı oluşturulacaktır. Bu durumda, önerilen sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı, şekil 5.7'de gösterilmektedir:



Şekil 5.7 Önerilen sistemin güvenilirlik blok diyagramı

5.8.2 Önerilen sistemin güvenilirlik değeri

Önceki bölümlerde, mevcut sistem ile ilgili olarak arızalanma dağılımları ve parametre değerleri ve çizelge 5.1 doğrultusunda hesaplanan her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu, çizelge 5.5 ve çizelge 5.6'da gösterilmiştir. Sistemin şekil 5.6'daki güvenilirlik blok diyagramı dikkate alınarak güvenilirlik eşitliği yazılmış olup sisteme ait arızalanma oranları ve kullanılabilirlik değerleri hesaplanmıştır.

Bu bölümde, mevcut sistem için izlenen adımlar, sırasıyla önerilen sistem için de izlenecektir. Önerilen sisteme ait güvenilirlik, hem çizelge 5.2 hem de çizelge 5.3'te yer alan duruma göre ayrı ayrı hesaplanacaktır. Arızalanma dağılımlarının parametre değerleri ve çizelge 5.1 doğrultusunda, çizelge 5.5'te her bir bileşene ait güvenilirlik fonksiyonu, her bir bileşene ait uygun dağılım ve dağılım parametre değeri kullanılarak gösterilmektedir.

Şekil 5.7'deki sistem güvenilirlik blok diyagramı ve çizelge 5.5'deki bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonları dikkate alınarak sisteme ait güvenilirlik değeri ve arızalanma oranı hesaplanabilmektedir.

Sistemin bir haftalık yani 6 günlük çalışması ile ilgilenildiği ve arızalanma verilerinin birimi dakika olduğundan dolayı zaman yani T değeri $6 \times 24 \times 60 = 86400$ olarak ele alınacaktır. Bu durumda elde edilen güvenilirlik eşitliği ve arızalanma oranları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 R t = & 1 - \left(1 - e^{-1,8943t} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{30336,7}^{0,527059}} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{18237,2}^{0,217291}} \right) \left(1 - 1 \right) \\
 & \times 1 \times 1 \times P z > \frac{\ln t - 7,58902}{1,39677} \times P z > \frac{\ln t - 6,91924}{0,986716} \times 1 \\
 & \times 1 - \left(1 - e^{-\frac{t}{2422,92}^{0,949754}} \right) \left(1 - P z > \frac{\ln t - 7,21767}{1,28288} \right) \\
 & \times P z > \frac{\ln t - 6,9346}{0,835447} \times e^{-\frac{t}{1418,75}^{1,3511}} \times 1 \\
 & \times 1 - 1 - 1 - 1
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

$$\text{Failure Rate} = - \ln R t / T = 0,002675 \tag{5.15}$$

Şekil 5.7'deki sistem güvenilirlik blok diyagramı ve çizelge 5.6'daki bileşenlerin güvenilirlik fonksiyonları dikkate alınarak sisteme ait güvenilirlik değeri hesaplanabilmektedir. Önerilen sistemin güvenilirlik değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 R(t) = & (1 - e^{-0,000019t}) (1 - e^{-0,000024t}) (1 - e^{-0,000022t}) (1 - 1) \times 1 \times 1 \\
 & \times e^{-0,000091t} \times e^{-0,000265t} \times 1 \\
 & \times (1 - e^{-0,000342t}) (1 - e^{-0,000146t}) \times e^{-0,000548t} \times e^{-0,000851t} \\
 & \times (1 - e^{-0,000182t}) (1 - 1) \times (1 - 1) (1 - 1) (1 - 1) \quad (5.16)
 \end{aligned}$$

Önceki bölümlerde açıklanan sebepler dolayısıyla, güvenilirlik değerinin hesaplanmasında, (5.10) numaralı eşitlikteki formül kullanılarak güvenilirlik hesaplaması yapılmıştır. Bu durumda elde edilen güvenilirlik fonksiyonu:

$$R(t) = e^{-1901 \times 10^{-6}t} + e^{-2097 \times 10^{-6}t} - e^{-2243 \times 10^{-6}t} \quad (5.17)$$

olarak elde edilmektedir. Bu durumda arızalar arası geçen ortalama zaman (MTBF ile MTBF değerleri birbirine eşit olup kullanıldığı sistemlerin türleri farklıdır),

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{1901 \times 10^{-6}} + \frac{1}{2097 \times 10^{-6}} - \frac{1}{2243 \times 10^{-6}} = 557,0792 \quad (5.18)$$

olarak bulunmaktadır. Sistemin arızalanma oranı ise,

$$Failure\ Rate = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{557,0792} = 0,001795 \quad (5.19)$$

(5.19) numaralı eşitlikteki gibi elde edilmektedir.

5.8.3 Önerilen sistemin kullanılabilirlik değeri

Önerilen sisteme ait güvenilirlik fonksiyonundan elde edilen arızalanmalar arası geçen ortalama zaman değerine ek olarak, sistemde bakımlar arası geçen ortalama zaman değerinin de kullanılması ile önerilen sisteme ait kullanılabilirlik (availability) değeri hesaplanabilmektedir.

Rausand and Hoyland [7, s. 7]'da gösterildiği üzere, ortalama kullanılabilirlik oranı (5.11) numaralı eşitlikte gösterildiği üzere hesaplanmaktadır.

Ortalama kullanılabilirlik oranı, hem (5.6) numaralı eşitlikteki hem de (5.10) numaralı eşitlikteki arızalanma oranı kullanılarak hesaplanacaktır. Bu durumda, (5.6) numaralı eşitlikte hesaplanan ve her bir bileşenin veri setine uygun olarak hesaplanan dağılım ve parametre değerleriyle yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen arızalanma oranı kullanılarak hesaplanan ortalama kullanılabilirlik oranı aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} Sistem_{kullanilabilirlik} &= \frac{1/0,002675}{(1/0,002675 + 62,4032)} = \frac{373,8318}{(373,8318 + 62,4032)} \\ &= \mathbf{0,853040} \end{aligned} \quad (5.20)$$

(5.10) numaralı eşitlikte hesaplanan ve her bir bileşenin arızalanma dağılımının üstel dağılım varsayımı altında hesaplanan ortalama kullanılabilirlik oranı ise (5.21) numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$Sistem_{kullanilabilirlik} = \frac{557,0792}{(557,0792 + 62,4032)} = \mathbf{0,899266} \quad (5.21)$$

Elde edilen kullanılabilirlik değerleri sonucu, varsayım altında hesaplanan değerlerin, herhangi bir varsayım yapılmadan hesaplanan değerlerden yaklaşık olarak %4 oranında farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmış olup bu farkın anlamlı bir farklılık olup olmadığı, hesaplamalar için geçirilen süreye ve bu sürenin yarattığı maliyete göre değişiklik göstermektedir.

5.8.4 Önerilen sistemin benzetim modeli

Önerilen sistem için de firma, oluşabilecek ekstra talep ve özel durumlar harici genel olarak haftalık 6 gün 24 saat olmak üzere toplam 3 vardiya içinde üretim faaliyetini sürdürmektedir. Sistemi tam olarak yansıtabilecek özellikte olan benzetim modelinin oluşturulması aşamasında, sistemle ilgili mevcut ve değiştirilen bilgiler, özellikler göz önüne alınmış ve benzetim modeli bu doğrultuda oluşturulmuştur. Çizelge 5.10'da yer alan çizelgede, sistemde yer alan bileşenlerin sayıları ve bu bileşenlerde çalışmakta olan operatör sayıları gösterilmektedir:

Çizelge 5.10 Sistem bileşenleri ve operatörler ile ilgili bilgiler

Bileşen Adı	Bileşen Sayısı	İlgili Bileşende Çalışan Operatör Sayısı/Vardiya
Oksit	4	4
Hamur Karma	2	2
Asit Hazırlama	2	2
Şerit	1	2
Exmet	2	2
Kürleme	2	2
Zarflama	2	4
COS	1	1
Montaj	1	1
Asit Dolum	1	1
Sulu Şarj Havuzu	320	0
Bitirme	1	2
Etiketleme	1	3
Sevkiyat	0	5

Çizelge 5.8’de gösterilen, bileşenlere ait işlem süreleri ve hammaddelerin sisteme varışları arasında zaman aralığı süresi herhangi bir değişiklik göstermemiş olup benzetim modelinde aynı şekilde kullanılmıştır.

Sistemde yer alan stok tutma yerleri ve stok miktarlarında herhangi bir değişiklik yapılmamış olup firmanın oluşturmuş olduğu değer akışı haritasına uygun olarak benzetim modeli oluşturulmuştur. Benzetim modelinde ilgilenilen performans ölçütü değerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmamış olup, yine iki farklı hammaddeye ait sistemde ortalama kalış zamanları ve sistemden çıkan ortalama akü sayısı ile ilgilenilmektedir.

Sistem, bu bilgiler doğrultusunda ARENA benzetim yazılımı kullanılarak tekrar modellenmiştir.

5.8.5 Önerilen sistemin benzetim modeli sonuçları

Önerilen sistem için de mevcut sisteme ait tüm özellikler geçerli olduğu için sistemin, belirli bir sistem gibi çalışmakta görülmüş ve oluşturulan benzetim modeli kullanılarak yapılan çıktı analizi, bu durum göz önüne alınarak yapılmıştır.

Mevcut sistem için yapılan çıktı analizi, önerilen sistem için aynı yöntemler kullanılarak ve aynı işlem adımları izlenerek yapılmıştır.

Onerilen sistemde de, sistemde yer alan olasılıklı süreçlerin zamanları sabit zamanlı süreçlerin yanında çok küçük olduğundan sistem olasılıklı değil belirli gibi çalışmakta ve performans ölçütlerinin sonuçları aynı çıkmaktadır ya da çok düşük bir farklılık göstermektedir. Farklılık gösteren performans ölçütü değeri için varyans değerlerinin çok küçük çıkmış olması sebebiyle 5 denemenin yapılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle sadece 5 tekrar yapılarak bu durum gösterilmiştir. Bu çalışmada bu nedenle benzetim modelinin belirli model olduğu varsayımı ile model, güvenilirlik analizine bağlı yapılan tasarım için üretim miktarındaki değişikliği görmek amacıyla kullanılmıştır. Sistemin belirli olması nedeniyle tek tekrar yapılmış olup performans ölçütü değerleri çizelge 5.11’de gösterilmektedir:

Çizelge 5.11 Önerilen sistemin performans ölçütü değerleri

	Sistemde Ortalama Kalma Zamanları		Üretilen Ürün Sayısı
	Saf Kurşun	Alaşımli Kurşun	
Tekrar 1	179210	179210	7411

Sistemde üretilen ortalama akü sayısının değeri, çizelge 5.11’de görüldüğü üzere 7411 adet olmuştur ve bu %3,35 artış sağlanmıştır. Bunun sebebi, sisteme paralel bir kaynak eklenmesi nedeniyle, sistem kullanılabilirliğinin artmış olmasıdır. Ayrıca mevcut sistemde, yığılmaların yaşandığı sulu şarj havuzları önündeki kuyrukta ortalama bekleyen akü sayısının 91 adetten 6 adete düşmüştür.

Mevcut ve önerilen sistemin kullanılabilirlik değerleri ve üretilen ürün sayıları çizelge 5.12’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.12 Mevcut ve önerilen sisteme ait kullanılabilirlik değeri ve ürün sayıları

	Kullanılabilirlik Değeri		Üretilen Ürün Sayısı
	Veriye Uygun Dağılımla	Arızalanma Dağılımlarının Üstel Olduğu Varsayımıyla	
Mevcut	0,848376	0,890309	7171
Önerilen	0,853040	0,899266	7411

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, kullanılması önerilen yöntemlerle üretim sisteminin güvenilirliği ve genel kullanılabilirliği üzerinden üretim planlaması dikkate alınarak bu üretim planının hangi oranda gerçekleşebileceği bilgisi elde edilebilmektedir. Bu sayede, uygulamada, firmanın üretim bölümü ile planlama bölümü arasındaki koordinasyonun yürütülmesine yardımcı olacak bilgi sağlanabilecektir.

Planlama bölümü, mümkün olduğunca daha fazla sayıda ürün üretmek isteyen bir bölüm iken üretim bölümü ise makine kullanılabilirliği değeri ölçüsünde planlama bölümünün isteklerini karşılamaktadır. Ele alınan sistemde hammadde kısıtı olmaması nedeniyle kullanılabilirlik değerine bağlı olarak haftalık üretim miktarı tahmin edilemeyeceği için bu aşamada benzetim yönteminden yararlanılmıştır. Benzetim tekniğinden yararlanılarak sistemin gerçekte ne kadar ürün üretebildiğinin tahmini yapılabilmektedir. Bu nedenle, hesaplanan kullanılabilirlik karşılığı üretilen ürün sayısı, benzetim tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir. Kullanılabilirlik değerinin artışı, daha önce de belirtildiği gibi sistemde üretilen ürün sayısını arttıran bir faktördür ve bu sebeple farklı senaryolar ve sonuçları benzetim tekniğinden yararlanarak elde edilebilmektedir.

Bu tez kapsamında, öncelikle, ele alınan problemin açıklaması yapılarak tez konusu ve tez çalışması kapsamında uygulama yapılan Yiğit Akü A.Ş. firması hakkında bilgi verilmiştir. Ardından, güvenilirlik kavramı hakkında bilgilendirme yapılmış olup güvenilirlik ve kullanılabilirlik kavramlarının birbirleriyle olan ilişkisi açıklanmıştır. Sistem güvenilirliğinin ve kullanılabilirliğinin analizi ve benzetim tekniği kullanılmıştır.

Uygulama bölümünde sırasıyla mevcut sistemin güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizleri yapılmış, benzetim tekniği ile sistem incelenmiş, darboğazlar belirlenmiş ve ürün sayıları elde edilmiştir. Sistem güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini arttıracak dolayısıyla ilgilenilen performans ölçütlerinin değerlerini arttıracak bir sistem önerilmiştir.

Önerilen sistemde kullanılabilirlik oranı %89,0309'dan %89,9266'ya çıkarılmıştır. Böylece üretilen akü sayısında %3,35'lik artış ile 240 akülük bir üretim artışı

sağlanmıştır. Sistem kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla önerilen sisteme eklenecek sulu şarj havuzunun maliyeti düşük olduğu için bu tezde ayrıca bir maliyet analizi yapılmamıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda iki veya daha çok yıla ilişkin arızalanma verileri temin edilerek her bir makine için yeterli sayıda arızalanma gözlemine sahip olarak her bir makinenin arızalanma dağılımlarının daha güvenilir bir şekilde hesaplanması gerçekleştirilebilir. Ayrıca, sulu şarjdan sonraki birimlerde de paralel birimler koyularak kullanılabilirlik artışı ve üretim artışının nasıl değiştiği incelenebilir.

.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] CATELANI, M., CIANI, L., LUONGO V., Improved RBD analysis for reliability assessment in industrial application, Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2014 IEEE International, s. 670 - 674, 2014.
- [2] MUCHIRI, P. N., PINTELON, L., MARTIN, H. and DE MEYER, A. M., Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries, International Journal of Production Research, vol.48, no.20,s. 5905-5924, 2010.
- [3] ELSAYED, Elsayed A., Reliability engineering, 1st Edition, Addison Wesley Longman, 1996.
- [4] ZIO, Enrico, An introduction to the basics of reliability and risk analysis, 1st Edition, Series of Quality, Reliability and Engineering Statistics Vol. 13, World Scientific, 2007.
- [5] DISTEFANO S., PULIAFITO A., Reliability and availability analysis of dependent–dynamic systems with DRBDs, ESREL 2007, The 18th European Safety and Reliability Conference Proceedings, Reliability Engineering & System Safety, vol.94, no.9, s. 1381–1393, 2009.
- [6] DISTEFANO S., How to capture dynamic behaviours of dependable systems, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, vol.24, no.2, s. 127-150, 2009.
- [7] RAUSAND, Marvin and HOYLAND Arnljot, System reliability theory, models, statistical methods, and applications, 2nd Edition, Wiley interscience, 2004.
- [8] SALEH J.H., MARAIS K., Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering, Reliability Engineering & System Safety, vol.91, no.2, s. 249-256, 2006.

- [9] UZUN A., ÖZDOĞAN A., Güvenilirlik analizlerine dayalı önleyici bakım planlanması, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, cilt 20, sayı 1, s. 303-320, 2011.
- [10] LI H., YUAN R., HUANG, H., Reliability analysis of an automated aircraft structural parts production line, Proceedings of Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), s. 1-8, 2013.
- [11] ZHANG C., SUN J., LIN S., Reliability analysis and improvement for Li/MnO₂ cell production line based on fault tree analysis, Proceedings of the 2011 Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM) on IEEE, vol. part 2, s.1132-1135, 2011.
- [12] TSAROUHAS P., Reliability, availability and maintainability analysis in food production lines: a review, International Journal of Food Science&Technology, vol 2012, no. 47, s. 2243-2251, 2012.
- [13] GOLDSMAN D., NANCE R.E., WILSON J.R., A brief history of simulation revisited, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu, eds., s. 567-574, 2010.
- [14] Dengiz, B., END 320 Benzetim dersi notları, 1. ders, <http://www.baskent.edu.tr/~bdengiz/>
- [15] ŞAHİN, F., Manufacturing competitiveness: Different systems to achieve the same results, Production and Inventory Management Journal, vol. 41, no.1, s. 56-65, 2000.
- [16] MARTIN, Karen and OSTERLING Mike, Value Stream Mapping, McGraw-Hill, 2014.
- [17] Koç Baban, P., END 587 Endüstri mühendisliğinde özel konular dersi notları, 7. Ders
- [18] Johnson Space Center Center, Mean time to repair predictions, .
oce.jpl.nasa.gov/practices/at2.pdf

- [19] Reliability Analysis Center, Understanding series and Parallel Systems
Reliability, Selected Topics in Assurance Related Technologies, vol.11, no.5
- [20] FARACI V., Calculating Failure Rates Series/Parallel Networks, The Journal
of Alion's, System Reliability Center, 2006.
- [21] Dengiz, B., END 320 Benzetim dersi notları, 12. ders,
<http://www.baskent.edu.tr/~bdengiz/>

Ek-1 Her Bir Bileşen için Kullanılan Tahmin Yöntemi, Uygun Dağılımı ve Dağılım Parametreleri

Makine Adı	1. Sıradaki Uygun Dağılım	2. Sıradaki Uygun Dağılım	3. Sıradaki Uygun Dağılım	4. Sıradaki Uygun Dağılım
Oksit 1	Üstel	Weibull	Lognormal	Normal
Oksit 2	Weibull	Lognormal	Üstel	Normal
Oksit 3	Weibull	Lognormal	Üstel	Normal
Oksit 4	-	-	-	-
Hamur Karma	-	-	-	-
Asit Hazırlama	-	-	-	-
Şerit	Lognormal	Weibull	Üstel	Normal
Exmet	Lognormal	Üstel	Weibull	Normal
Kürleme	-	-	-	-
Zarflama JL 1	Weibull	Üstel	Lognormal	Normal
Zarflama JL 2	Lognormal	Weibull	Üstel	Normal
COS	Lognormal	Üstel	Weibull	Normal
Montaj	Weibull	Lognormal	Üstel	Normal
Sulu Şarj Hat	Üstel	Lognormal	Weibull	Normal
Etiketleme 1	-	-	-	-
Etiketleme 4	-	-	-	-

Makine Adı	Veri Setindeki Arızalanma Sayısı	Kullanılan Yöntem
Oksit 1	6	En Küçük Kareler Yöntemi
Oksit 2	7	En Küçük Kareler Yöntemi
Oksit 3	7	En Küçük Kareler Yöntemi
Oksit 4	7	En Küçük Kareler Yöntemi
Hamur Karma	0	-
Asit Hazırlama	0	-
Şerit	21	En Küçük Kareler Yöntemi
Exmet	326	En Çok Olabilirlik Yöntemi
Kürleme	0	-
Zarflama JL 1	47	En Çok Olabilirlik Yöntemi
Zarflama JL 2	17	En Küçük Kareler Yöntemi
COS	147	En Çok Olabilirlik Yöntemi
Montaj	187	En Çok Olabilirlik Yöntemi
Sulu Şarj Hat	62	En Çok Olabilirlik Yöntemi
Etiketleme 1	0	-
Etiketleme 4	0	-

Distribution Analysis: OKSiT 1 TBF

Variable: OKSiT 1 TBF

Censoring Information Count
Uncensored value 6

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Exponential

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	52790,7	23381,4	22159,2	125766

Log-Likelihood = -70,342

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,004

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	52790,7	23381,4	22159,2	125766
Standard Deviation	52790,7	23381,4	22159,2	125766
Median	36591,7	16206,8	15359,6	87174,0
First Quartile (Q1)	15186,9	6726,42	6374,79	36180,5
Third Quartile (Q3)	73183,5	32413,6	30719,1	174348
Interquartile Range (IQR)	57996,5	25687,1	24344,3	138168

Distribution Analysis: OKSiT 2 TBF

Variable: OKSiT 2 TBF

Censoring Information Count
Uncensored value 7

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0,527059	0,249449	0,208448	1,33266
Scale	30336,7	23107,0	6817,42	134994

Log-Likelihood = -79,744

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 1,828

Correlation Coefficient = 0,979

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	55305,0	59731,2	6659,44	459294
Standard Deviation	115021	183840	5015,17	2637948
Median	15134,3	12708,9	2918,59	78478,9

First Quartile (Q1)	2853,33	3921,18	193,015	42180,6
Third Quartile (Q3)	56378,4	45500,1	11591,8	274204
Interquartile Range (IQR)	53525,1	44697,0	10417,1	275022

Distribution Analysis: OKSiT 3 TBF SON				
Variable: OKSiT 3 TBF SON				
Censoring Information Count				
Uncensored value	7			
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Weibull				
Parameter Estimates				
		Standard	95,0% Normal CI	
Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper
Shape	0,217291	0,194638	0,0375477	1,25748
Scale	18237,2	36383,1	365,446	910112
Log-Likelihood = -72,509				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 2,153				
Correlation Coefficient = 0,895				
Characteristics of Distribution				
		Standard	95,0% Normal CI	
	Estimate	Error	Lower	Upper
Mean (MTTF)	1126449	8575573	0,372888	3,40286E+12
Standard Deviation	13795241	140910452	0,0278737	6,82752E+15
Median	3376,14	6996,87	58,1230	196107
First Quartile (Q1)	58,9949	287,018	0,0042619	816631
Third Quartile (Q3)	81996,3	225253	376,228	17870492
Interquartile Range (IQR)	81937,3	225369	373,464	17976890

Distribution Analysis: ŞERİT TBF				
Variable: ŞERİT TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value	21			
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Lognormal				
Parameter Estimates				
		Standard	95,0% Normal CI	
Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper
Location	7,58902	0,304801	6,99162	8,18642
Scale	1,39677	0,219544	1,02644	1,90072
Log-Likelihood = -195,931				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 1,474				
Correlation Coefficient = 0,937				

Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	5242,27	2266,58	2246,41	12233,5
Standard Deviation	12878,9	9410,88	3075,30	53934,8
Median	1976,38	602,402	1087,48	3591,84
First Quartile (Q1)	770,401	261,064	396,526	1496,79
Third Quartile (Q3)	5070,18	1718,12	2609,62	9850,72
Interquartile Range (IQR)	4299,78	1570,23	2101,83	8796,20

Distribution Analysis: EXMET TBF				
Variable: EXMET TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value	326			
Estimation Method: Maximum Likelihood				
Distribution: Lognormal				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	6,91924	0,0546491	6,81213	7,02635
Scale	0,986716	0,0350781	0,920304	1,05792
Log-Likelihood = -2737,095				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 3,350				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1645,90	106,470	1449,91	1868,39
Standard Deviation	2112,59	222,861	1717,99	2597,82
Median	1011,55	55,2805	908,806	1125,92
First Quartile (Q1)	519,939	30,9629	462,661	584,309
Third Quartile (Q3)	1968,00	117,196	1751,19	2211,64
Interquartile Range (IQR)	1448,06	98,6273	1267,10	1654,86

Distribution Analysis: ZARFLAMA JL 1				
Variable: ZARFLAMA JL 1				
Censoring Information Count				
Uncensored value	47			
Estimation Method: Maximum Likelihood				
Distribution: Weibull				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0,949754	0,0965505	0,778179	1,15916

Scale	2422,92	397,015	1757,37	3340,53
Log-Likelihood = -414,522				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 7,848				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	2479,94	381,425	1834,52	3352,43
Standard Deviation	2612,18	471,714	1833,54	3721,47
Median	1647,19	298,636	1154,57	2349,99
First Quartile (Q1)	652,569	159,669	403,977	1054,13
Third Quartile (Q3)	3417,43	530,287	2521,26	4632,14
Interquartile Range (IQR)	2764,86	427,403	2042,17	3743,30

Distribution Analysis: ZARFLAMA JL 2 TBF				
Variable: ZARFLAMA JL 2 TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 17				
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Lognormal				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	7,21767	0,311143	6,60784	7,82750
Scale	1,28288	0,226265	0,907938	1,81265
Log-Likelihood = -150,748				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 1,443				
Correlation Coefficient = 0,930				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	3104,33	1320,95	1348,23	7147,77
Standard Deviation	6350,62	4575,88	1547,00	26070,0
Median	1363,31	424,183	740,879	2508,64
First Quartile (Q1)	573,857	198,873	290,948	1131,86
Third Quartile (Q3)	3238,79	1122,42	1642,08	6388,09
Interquartile Range (IQR)	2664,93	1012,96	1265,14	5613,51

Distribution Analysis: COS 5 TBF				
Variable: COS 5 TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 147				
Estimation Method: Maximum Likelihood				
Distribution: Lognormal				

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	6,93460	0,0689065	6,79955	7,06966
Scale	0,835447	0,0487242	0,745205	0,936617

Log-Likelihood = -1201,542

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,719

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1456,20	116,543	1244,80	1703,51
Standard Deviation	1463,23	204,675	1112,36	1924,76
Median	1027,21	70,7814	897,441	1175,74
First Quartile (Q1)	584,701	44,6375	503,444	679,074
Third Quartile (Q3)	1804,61	137,768	1553,82	2095,88
Interquartile Range (IQR)	1219,91	115,030	1014,07	1467,55

Distribution Analysis: MONTAJ HAT 5 TBF SON

Variable: MONTAJ HAT 5 TBF SON

Censoring Information Count
 Uncensored value 187

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	1,35110	0,0739666	1,21364	1,50414
Scale	1418,75	81,0854	1268,41	1586,92

Log-Likelihood = -1514,466

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 5,645

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1300,79	71,2951	1168,30	1448,31
Standard Deviation	973,197	67,0146	850,329	1113,82
Median	1081,67	68,6858	955,092	1225,03
First Quartile (Q1)	564,194	49,4060	475,214	669,834
Third Quartile (Q3)	1806,76	98,2262	1624,14	2009,91
Interquartile Range (IQR)	1242,56	73,4723	1106,59	1395,24

Distribution Analysis: SULUŞARJ HAT 1 TBF

Variable: SULUŞARJ HAT 1 TBF

Censoring Information Count

Uncensored value 62

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Exponential

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	5297,16	672,740	4129,91	6794,32

Log-Likelihood = -593,645

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0,809

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	5297,16	672,740	4129,91	6794,32
Standard Deviation	5297,16	672,740	4129,91	6794,32
Median	3671,71	466,308	2862,63	4709,46
First Quartile (Q1)	1523,90	193,535	1188,10	1954,60
Third Quartile (Q3)	7343,42	932,616	5725,27	9418,92
Interquartile Range (IQR)	5819,53	739,080	4537,17	7464,32

Ek-2 MINITAB Üstel Dağılım Varsayımına Ait Analiz Sonuçları

Distribution Analysis: OKSİT 1 TBF

Variable: OKSİT 1 TBF

Censoring Information Count
Uncensored value 6

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Exponential

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Lower	95,0% Upper
Mean	52790,7	23381,4	22159,2	125766

Log-Likelihood = -70,342

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,004

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Lower	95,0% Upper
Mean (MTTF)	52790,7	23381,4	22159,2	125766
Standard Deviation	52790,7	23381,4	22159,2	125766
Median	36591,7	16206,8	15359,6	87174,0
First Quartile (Q1)	15186,9	6726,42	6374,79	36180,5
Third Quartile (Q3)	73183,5	32413,6	30719,1	174348
Interquartile Range (IQR)	57996,5	25687,1	24344,3	138168

Distribution Analysis: OKSİT 2 TBF

Variable: OKSİT 2 TBF

Censoring Information Count
Uncensored value 7

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Exponential

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Lower	95,0% Upper
Mean	41893,2	17442,1	18524,6	94741,3

Log-Likelihood = -80,269

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,151

Characteristics of Distribution

Standard 95,0% Normal CI

	Estimate	Error	Lower	Upper
Mean (MTTF)	41893,2	17442,1	18524,6	94741,3
Standard Deviation	41893,2	17442,1	18524,6	94741,3
Median	29038,2	12090,0	12840,3	65669,7
First Quartile (Q1)	12051,9	5017,79	5329,19	27255,4
Third Quartile (Q3)	58076,3	24179,9	25680,5	131339
Interquartile Range (IQR)	46024,4	19162,2	20351,3	104084

Distribution Analysis: OKSiT 3 TBF

Variable: OKSiT 3 TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 7				
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
		Standard	95,0% Normal CI	
Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper
Mean	45333,9	20555,8	18640,6	110252
Log-Likelihood = -79,916				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 3,868				
Characteristics of Distribution				
		Standard	95,0% Normal CI	
	Estimate	Error	Lower	Upper
Mean (MTTF)	45333,9	20555,8	18640,6	110252
Standard Deviation	45333,9	20555,8	18640,6	110252
Median	31423,0	14248,2	12920,7	76420,5
First Quartile (Q1)	13041,7	5913,54	5362,58	31717,4
Third Quartile (Q3)	62846,1	28496,4	25841,4	152841
Interquartile Range (IQR)	49804,3	22582,9	20478,8	121124

Distribution Analysis: ŞERİT TBF

Variable: ŞERİT TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 21				
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
		Standard	95,0% Normal CI	
Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper
Mean	11048,5	3029,62	6455,02	18910,9
Log-Likelihood = -208,811				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 10,106				

Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	11048,5	3029,62	6455,02	18910,9
Standard Deviation	11048,5	3029,62	6455,02	18910,9
Median	7658,27	2099,97	4474,28	13108,0
First Quartile (Q1)	3178,47	871,566	1856,99	5440,33
Third Quartile (Q3)	15316,5	4199,94	8948,55	26216,1
Interquartile Range (IQR)	12138,1	3328,37	7091,56	20775,8

Distribution Analysis: EXMET TBF

Variable: EXMET TBF				
Censoring Information		Count		
Uncensored value		326		
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	1823,96	106,086	1627,45	2044,20
Log-Likelihood = -2743,469				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 11,020				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1823,96	106,086	1627,45	2044,20
Standard Deviation	1823,96	106,086	1627,45	2044,20
Median	1264,28	73,5329	1128,07	1416,93
First Quartile (Q1)	524,722	30,5189	468,189	588,081
Third Quartile (Q3)	2528,55	147,066	2256,13	2833,87
Interquartile Range (IQR)	2003,83	116,547	1787,94	2245,79

Distribution Analysis: ZARFLAMA JL 1 TBF

Variable: ZARFLAMA JL 1 TBF				
Censoring Information		Count		
Uncensored value		47		
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	2922,73	461,334	2145,02	3982,40
Log-Likelihood = -415,210				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 9,076				

Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	2922,73	461,334	2145,02	3982,40
Standard Deviation	2922,73	461,334	2145,02	3982,40
Median	2025,88	319,772	1486,82	2760,39
First Quartile (Q1)	840,817	132,718	617,085	1145,67
Third Quartile (Q3)	4051,76	639,545	2973,63	5520,78

Distribution Analysis: ZARFLAMA JL 2 TBF

Variable: ZARFLAMA JL 2 TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 17				
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	6855,16	2086,66	3775,01	12448,5
Log-Likelihood = -160,950				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 7,824				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	6855,16	2086,66	3775,01	12448,5
Standard Deviation	6855,16	2086,66	3775,01	12448,5
Median	4751,64	1446,36	2616,64	8628,65
First Quartile (Q1)	1972,11	600,295	1086,00	3581,21
Third Quartile (Q3)	9503,27	2892,73	5233,28	17257,3
Interquartile Range (IQR)	7531,17	2292,43	4147,27	13676,1

Distribution Analysis: COS TBF

Variable: COS TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value 147				
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	1823,21	160,913	1533,60	2167,51
Log-Likelihood = -1232,107				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 8,852				

Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1823,21	160,913	1533,60	2167,51
Standard Deviation	1823,21	160,913	1533,60	2167,51
Median	1263,75	111,536	1063,01	1502,41
First Quartile (Q1)	524,505	46,2917	441,188	623,555
Third Quartile (Q3)	2527,50	223,072	2126,02	3004,81
Interquartile Range (IQR)	2003,00	176,781	1684,83	2381,26

Distribution Analysis: MONTAJ TBF

Variable: MONTAJ TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value	187			
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	1175,00	81,7922	1025,15	1346,76
Log-Likelihood = -1528,280				
Goodness-of-Fit				
Anderson-Darling (adjusted) = 12,937				
Characteristics of Distribution				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	1175,00	81,7922	1025,15	1346,76
Standard Deviation	1175,00	81,7922	1025,15	1346,76
Median	814,448	56,6940	710,577	933,503
First Quartile (Q1)	338,027	23,5301	294,916	387,439
Third Quartile (Q3)	1628,90	113,388	1421,15	1867,01
Interquartile Range (IQR)	1290,87	89,8579	1126,24	1479,57

Distribution Analysis: SULU ŞARJ HAT 1 TBF

Variable: SULU ŞARJ HAT 1 TBF				
Censoring Information Count				
Uncensored value	62			
Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))				
Distribution: Exponential				
Parameter Estimates				
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	5499,95	711,739	4267,82	7087,80
Log-Likelihood = -593,689				

Goodness-of-Fit
Anderson-Darling (adjusted) = 0,791

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	5499,95	711,739	4267,82	7087,80
Standard Deviation	5499,95	711,739	4267,82	7087,80
Median	3812,28	493,340	2958,23	4912,89
First Quartile (Q1)	1582,24	204,755	1227,78	2039,03
Third Quartile (Q3)	7624,55	986,680	5916,46	9825,78
Interquartile Range (IQR)	6042,31	781,925	4688,68	7786,74

Ek-3 Mevcut Sistemin Benzetim Modeli ve Birinci Tekrarın Sonuçları

Model Bileşeni

0\$	CREATE,	1:5.675:MARK(TimeIn1):NEXT(4\$);
4\$	STATION,	Oksit;
35\$	QUEUE,	OksitQ;
1\$	SEIZE,	1,Other: Oksit_Operator,1: Oksit_Makine,1:NEXT(2\$);
2\$	DELAY:	22.7,,Other:NEXT(3\$);
3\$	RELEASE:	Oksit_Operator,1: Oksit_Makine,1;
38\$	COUNT:	OksitGiderilenUrunSayisi,1;
51\$	BRANCH,	1: With,0.50,48\$,Yes: With,0.50,50\$,Yes;
48\$	STATION,	PozitifHamurKarma;
Pozitif	QUEUE,	PozitifHamurKarmaQ;
45\$	SEIZE,	1,Other: PozitifHamurKarma_Operator,1: PozitifHamurKarma_Makine,1:NEXT(46\$);
46\$	DELAY:	1560,,Other:NEXT(47\$);
47\$	RELEASE:	PozitifHamurKarma_Operator,1: PozitifHamurKarma_Makine,1;
49\$	COUNT:	PozitifKarilanHamurSayisi,1;
78\$	STATION,	PozitifAsitHazirlama;
79\$	QUEUE,	PozitifAsitHazirlamaQ;
75\$	SEIZE,	1,Other: PozitifAsitHazirlama_Operator,1: PozitifAsitHazirlama_Makine,1:NEXT(76\$);
76\$	DELAY:	2,,Other:NEXT(77\$);
77\$	RELEASE:	PozitifAsitHazirlama_Operator,1: PozitifAsitHazirlama_Makine,1;
80\$	COUNT:	AsitliPozitifHamurSayisi,1;
AsitliPozitifHamur	QUEUE,	AsitliPozitifHamurQ:DETACH;
50\$	STATION,	NegatifHamurKarma;
Negatif	QUEUE,	NegatifHamurKarmaQ;
104\$	SEIZE,	1,Other: NegatifHamurKarma_Operator,1: NegatifHamurKarma_Makine,1:NEXT(105\$);
105\$	DELAY:	1560,,Other:NEXT(106\$);
106\$	RELEASE:	NegatifHamurKarma_Operator,1: NegatifHamurKarma_Makine,1;
103\$	COUNT:	NegatifKarilanHamurSayisi,1;
110\$	STATION,	NegatifAsitHazirlama;

111\$ QUEUE, NegatifAsitHazirlamaQ;
107\$ SEIZE, 1,Other:
NegatifAsitHazirlama_Operator,1:
NegatifAsitHazirlama_Makine,1:NEXT(108\$);

108\$ DELAY: 2,,Other:NEXT(109\$);

109\$ RELEASE: NegatifAsitHazirlama_Operator,1:
NegatifAsitHazirlama_Makine,1;

81\$ COUNT: AsitliNegatifHamurSayisi,1;
AsitliNegatifHamur QUEUE, AsitliNegatifHamurQ:DETACH;

40\$ CREATE, 1:22.7:MARK(TimeIn2):NEXT(41\$);

41\$ STATION, Serit;
42\$ QUEUE, SeritQ;
5\$ SEIZE, 1,Other:
Serit_Operator,2:
Serit_Makine,1:NEXT(6\$);

6\$ DELAY:
TRIA(0.01945,0.02463,0.02909),,Other:NEXT(7\$);

7\$ RELEASE: Serit_Operator,2:
Serit_Makine,1;

39\$ COUNT: SeritIslemAlanUrunSayisi,1;
58\$ BRANCH, 1:
With,0.50,SeritExmet1Giden,Yes:
With,0.50,SeritExmet2Giden,Yes;
SeritExmet1Giden QUEUE, SeritExmet1GidenQ:DETACH;
SeritExmet2Giden QUEUE, SeritExmet2GidenQ:DETACH;
MATCH: PozitifGelen,MontajKabul:
NegatifGelen,MontajKabul;

MontajKabul STATION, Montaj;
113\$ COMBINE: 2,Last;

123\$ CREATE, 104:518400:NEXT(114\$);

114\$ COUNT: MontajaGirecekAkuSayisi,1;
12\$ QUEUE, ZarflamaQ;
13\$ SEIZE, 1,Other:
Zarflama_Operator,1:
Zarflama_Makine,1:NEXT(14\$);

14\$ DELAY: 2.9,,Other:NEXT(15\$);

15\$ RELEASE: Zarflama_Operator,1:
Zarflama_Makine,1;

COS9 QUEUE, COSQ;
16\$ SEIZE, 1,Other:
COS_Operator,1:
COS_Makine,1:NEXT(17\$);

17\$ DELAY:
TRIA(0.22986,0.27159,0.31368),,Other:NEXT(18\$);

18\$ RELEASE: COS_Operator,1:
COS_Makine,1;

19\$ QUEUE, MontajQ;

20\$ SEIZE, 1,Other:
 Montaj_Operator,1:
 Montaj_Makine,1:NEXT(21\$);

21\$ DELAY:
 TRIA(0.05723,0.08919,0.11566),,Other:NEXT(22\$);

22\$ RELEASE: Montaj_Operator,1:
 Montaj_Makine,1;

84\$ COUNT: MontajdanCikanAkuSayisi,1;

85\$ STATION, SuluSarj;
 86\$ QUEUE, AsitDolumQ;
 87\$ SEIZE, 1,Other:
 AsitDolum_Operator,1:
 AsitDolum_Makine,1:NEXT(88\$);

88\$ DELAY: 2,,Other:NEXT(89\$);

89\$ RELEASE: AsitDolum_Operator,1:
 AsitDolum_Makine,1;

29\$ QUEUE, SuluSarjQ;
 30\$ SEIZE, 1,Other:
 SuluSarj_Makine,1:NEXT(31\$);

31\$ DELAY: 64800,,Other:NEXT(32\$);

32\$ RELEASE: SuluSarj_Makine,1;
 23\$ QUEUE, BitirmeQ;
 24\$ SEIZE, 1,Other:
 Bitirme_Operator,2:
 Bitirme_Makine,1:NEXT(25\$);

25\$ DELAY:
 TRIA(0.07064,0.077,0.08414),,Other:NEXT(26\$);

26\$ RELEASE: Bitirme_Operator,2:
 Bitirme_Makine,1;

90\$ STATION, Etiketleme;
 91\$ QUEUE, EtiketlemeQ;
 92\$ SEIZE, 1,Other:
 Etiketleme_Operator,3:
 Etiketleme_Makine,1:NEXT(93\$);

93\$ DELAY: 24,,Other:NEXT(94\$);

94\$ RELEASE: Etiketleme_Operator,3:
 Etiketleme_Makine,1;

102\$ COUNT: SevEdilecekToplamAkuSayisi,1;

27\$ STATION, Sevkiyat;
 101\$ GROUP, ,Temporary:1602,Last:NEXT(97\$);

97\$ QUEUE, SevkiyatQ;
 98\$ SEIZE, 1,Other:
 Sevkiyat_Operator,5:NEXT(99\$);

99\$ DELAY: 0,,Other:NEXT(100\$);

100\$ RELEASE: Sevkiyat_Operator,5;

95\$ TALLY: OrtalamaSure_Saf,INT(TimeIn1),1;
 112\$ TALLY: OrtalamaSure_Alasimli,INT(TimeIn2),1;
 96\$ COUNT: SevEdilenToplamTirSayisi,1;
 117\$ SPLIT::NEXT(28\$);

28\$ DISPOSE: No;

MATCH: AsitliPozitifHamur,Exmet1Kabul:
 SeritExmet1Giden,Exmet1Kabul;

Exmet1Kabul STATION, Exmet1;
 118\$ COMBINE: 2,Last;
 52\$ QUEUE, Exmet1Q;
 11\$ SEIZE, 1,Other:
 Exmet1_Operator,1:
 Exmet1_Makine,1:NEXT(10\$);

10\$ DELAY:
 TRIA(0.00209,0.00428,0.00429),,Other:NEXT(43\$);

43\$ RELEASE: Exmet1_Operator,1:
 Exmet1_Makine,1;

44\$ COUNT: Exmet1IslemAlanUrunSayisi,1;
 36\$ GROUP, ,Temporary:2400,Last:NEXT(8\$);

8\$ STATION, Kurlemel;
 9\$ QUEUE, KurlemelQ;
 59\$ SEIZE, 1,Other:
 Kurlemel_Operator,1:
 Kurlemel_Makine,1:NEXT(60\$);

60\$ DELAY: 93600,,Other:NEXT(61\$);

61\$ RELEASE: Kurlemel_Operator,1:
 Kurlemel_Makine,1;

65\$ QUEUE, KurlemelBeklemeQ;
 66\$ SEIZE, 1,Other:
 KurlemelBeklemeAlani,1:NEXT(67\$);

67\$ DELAY: 86400,,Other:NEXT(68\$);

68\$ RELEASE: KurlemelBeklemeAlani,1;
 115\$ COUNT: KurlemeBeklemeAlanilGrupSayisi,1;
 73\$ SPLIT::NEXT(82\$);

82\$ COMBINE: 6,Last;
 PozitifGelen QUEUE, PozitifBirimQ:DETACH;
 MATCH: AsitliNegatifHamur,Exmet2Kabul:
 SeritExmet2Giden,Exmet2Kabul;

Exmet2Kabul STATION, Exmet2;
 119\$ COMBINE: 2,Last;
 57\$ QUEUE, Exmet2Q;
 54\$ SEIZE, 1,Other:
 Exmet2_Operator,1:
 Exmet2_Makine,1:NEXT(53\$);

53\$ DELAY:
 TRIA(0.00209,0.00428,0.00429),,Other:NEXT(55\$);

55\$ RELEASE: Exmet2_Operator,1:
Exmet2_Makine,1;
56\$ COUNT: Exmet2IslemAlanUrunSayisi,1;
37\$ GROUP, ,Temporary:1650,Last:NEXT(33\$);

33\$ STATION, Kurleme2;
34\$ QUEUE, Kurleme2Q;
62\$ SEIZE, 1,Other:
Kurleme2_Operator,1:
Kurleme2_Makine,1:NEXT(63\$);

63\$ DELAY: 93600,,Other:NEXT(64\$);

64\$ RELEASE: Kurleme2_Operator,1:
Kurleme2_Makine,1;
69\$ QUEUE, Kurleme2BeklemeQ;
70\$ SEIZE, 1,Other:
Kurleme2BeklemeAlani,1:NEXT(71\$);

71\$ DELAY: 86400,,Other:NEXT(72\$);

72\$ RELEASE: Kurleme2BeklemeAlani,1;
116\$ COUNT: KurlemeBeklemeAlani2GrupSayisi,1;
74\$ SPLIT::NEXT(83\$);

83\$ COMBINE: 5,Last;
NegatifGelen QUEUE, NegatifBirimQ:DETACH;

120\$ CREATE, 1:2:NEXT(110\$);

121\$ CREATE, 10:518400:NEXT(118\$);

122\$ CREATE, 46:518400:NEXT(119\$);

124\$ CREATE, 1781:518400:NEXT(90\$);

125\$ CREATE, 1602:518400:NEXT(27\$);

126\$ CREATE, 1:2:NEXT(78\$);

Experiment Bileşeni

PROJECT, "YukseklisansTezi", "Merve
Uzuner", , Yes, No, Yes, Yes, Yes, Yes, Yes, No, Yes, No, No;

ATTRIBUTES: TimeIn1, DATATYPE (Real) :
TimeIn2, DATATYPE (Real) ;

QUEUES: SeritExmet2GidenQ, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :
EtiketlemeQ, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :
PozitifBirimQ, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :
AsitliPozitifHamurQ, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :
Kurleme1Q, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :
COSQ, FirstInFirstOut,, AUTOSTATS (Yes,,) :

Kurleme2Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 PozitifAsitHazirlamaQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 NegatifAsitHazirlamaQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 Kurleme2BeklemeQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 SevkiyatQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 MontajQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 Kurleme1BeklemeQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 BitirmeQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 AsitDolumQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 Exmet1Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 PozitifHamurKarmaQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 SeritQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 Exmet2Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 SeritExmet1GidenQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 OksitQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 NegatifBirimQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 ZarflamaQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 NegatifHamurKarmaQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 SuluSarjQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
 AsitliNegatifHamurQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,);

RESOURCES:

Exmet1_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

COS_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Etiketleme_Operator,Capacity(6),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

AsitDolum_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Kurleme1_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

PozitifHamurKarma_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

SuluSarj_Makine,Capacity(160),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

PozitifHamurKarma_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Serit_Operator,Capacity(2),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Bitirme_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Montaj_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

PozitifAsitHazirlama_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Exmet1_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Kurleme1BeklemeAlani,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS
(Yes,,):

NegatifAsitHazirlama_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AU
TOSTATS(Yes,,):

NegatifHamurKarma_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOS
TATS(Yes,,):

Oksit_Makine,Capacity(4),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Kurleme2_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Ye
s,,):

Zarflama_Operator,Capacity(2),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Ye
s,,):

Kurleme2BeklemeAlani,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS
(Yes,,):

Exmet2_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,
,):

NegatifHamurKarma_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUT
OSTATS(Yes,,):

Kurleme2_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,
,):

NegatifAsitHazirlama_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,
AUTOSTATS(Yes,,):

Sevkiyat_Operator,Capacity(5),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Ye
s,,):

AsitDolum_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Y
es,,):

Serit_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Oksit_Operator,Capacity(4),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,
):

Etiketleme_Makine,Capacity(2),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Ye
s,,):

COS_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Exmet2_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,)
:

PozitifAsitHazirlama_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AU
TOSTATS(Yes,,):

Montaj_Makine,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,)
:

Bitirme_Operator,Capacity(2),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes
,,):

Kurlemel_Operator,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Zarflama_Makine,Capacity(2),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS: Kurlemel,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Kurleme2,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
SuluSarj,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
PozitifAsitHazirlama,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Exmet1,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Exmet2,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Etiketleme,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Oksit,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Montaj,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
NegatifHamurKarma,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Serit,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
Sevkiyat,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
PozitifHamurKarma,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
NegatifAsitHazirlama,,,,AUTOSTATS(Yes,,);

COUNTERS: SevEdilecekToplamAkuSayisi,,Replicate:
MontajaGirecekAkuSayisi,,Replicate:
AsitliPozitifHamurSayisi,,Replicate:
KurlemeBeklemeAlani2GrupSayisi,,Replicate:
AsitliNegatifHamurSayisi,,Replicate:
Exmet2IslemAlanUrunSayisi,,Replicate:
KurlemeBeklemeAlani1GrupSayisi,,Replicate:
SevEdilenToplamTirSayisi,,Replicate:
Exmet1IslemAlanUrunSayisi,,Replicate:
NegatifKarilanHamurSayisi,,Replicate:
PozitifKarilanHamurSayisi,,Replicate:
SeritIslemAlanUrunSayisi,,Replicate:
MontajdanCikanAkuSayisi,,Replicate:
OksitGiderilenUrunSayisi,,Replicate;

TALLIES:
OrtalamaSure_Saf,"C:\OrtalamaSure_Saf_MevcutSistemVSMaraStoklu5Rep.dat":

OrtalamaSure_Alasimli,"C:\OrtalamaSure_Alasimli_MevcutSistemVSMaraStoklu5Rep.dat";

DSTATS: NQ(PozitifBirimQ):
NR(Etiketleme_Makine):
NR(PozitifHamurKarma_Operator):
NQ(ZarflamaQ):
NR(Oksit_Operator):
NR(NegatifAsitHazirlama_Operator):
NQ(Exmet1Q):
NR(Kurleme2BeklemeAlani):
NQ(SuluSarjQ):
NR(Kurleme2_Makine):
NR(Exmet1_Operator):
NR(PozitifAsitHazirlama_Makine):
NQ(EtiketlemeQ):
NQ(Kurleme2BeklemeQ):
NQ(NegatifHamurKarmaQ):
NR(PozitifAsitHazirlama_Operator):
NR(Kurlemel_Makine):
NQ(SevkiyatQ):

NR (Kurleme2_Operator) :
 NQ (OksitQ) :
 NR (Kurleme1BeklemeAlani) :
 NQ (Exmet2Q) :
 NQ (COSQ) :
 NR (Serit_Makine) :
 NQ (PozitifAsitHazirlamaQ) :
 NR (Zarflama_Makine) :
 NR (Zarflama_Operator) :
 NQ (Kurleme1Q) :
 NR (NegatifHamurKarma_Operator) :
 NR (Etiketleme_Operator) :
 NR (SuluSarj_Makine) :
 NQ (AsitDolumQ) :
 NR (Exmet2_Makine) :
 NR (COS_Operator) :
 NR (AsitDolum_Operator) :
 NR (Kurleme1_Operator) :
 NR (Montaj_Makine) :
 NQ (SeritQ) :
 NQ (NegatifBirimQ) :
 NR (Bitirme_Makine) :
 NR (NegatifAsitHazirlama_Makine) :
 NQ (Kurleme2Q) :
 NQ (NegatifAsitHazirlamaQ) :
 NQ (PozitifHamurKarmaQ) :
 NQ (Kurleme1BeklemeQ) :
 NR (Exmet1_Makine) :
 NR (NegatifHamurKarma_Makine) :
 NR (PozitifHamurKarma_Makine) :
 NR (Serit_Operator) :
 NR (Exmet2_Operator) :
 NQ (MontajQ) :
 NR (Sevkiyat_Operator) :
 NQ (BitirmeQ) :
 NR (Montaj_Operator) :
 NR (COS_Makine) :
 NR (Bitirme_Operator) :
 NR (Oksit_Makine) :
 NR (AsitDolum_Makine) ;

REPLICATE, 5,0.0,518400,Yes,Yes,0.0,,,24.0,Seconds,No,No,,,No,No;

Sonuç

ARENA Simulation Results

Merve - License: 2957001005

Summary for Replication 1 of 5

Project: YuksekLisansTezi

Run execution date : 2/ 8/2015

Analyst: Merve Uzuner

Model revision date: 2/ 8/2015

Replication ended at time : 518400.0 Seconds

Base Time Units: Seconds

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
OrtalamaSure_Saf	1.7921E+05	(Insuf)	.00000	5.1840E+05	3
OrtalamaSure_Alasimli	1.7921E+05	(Insuf)	.00000	5.1840E+05	3

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
NQ(PozitifBirimQ)	22.431	(Insuf)	.00000	210.00	210.00
NR(Etiketleme_Makine)	.10949	(Insuf)	.00000	2.0000	2.0000
NR(PozitifHamurKarma_Operator)	.99995	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(ZarflamaQ)	.34366	.37504	.00000	328.00	102.00
NR(Oksit_Operator)	3.9999	(Corr)	.00000	4.0000	4.0000
NR(NegatifAsitHazirlama_Operator)	1.0000	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(Exmet1Q)	6.7203E-08	(Insuf)	.00000	4.0000	4.0000
NR(Kurleme2BeklemeAlani)	.63914	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(SuluSarjQ)	92.294	(Corr)	.00000	350.00	350.00
NR(Kurleme2_Makine)	.86137	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(Exmet1_Operator)	7.8299E-05	9.4582E-07	.00000	1.0000	1.0000
NR(PozitifAsitHazirlama_Makine)	1.0000	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(EtiketlemeQ)	37.505	(Corr)	.00000	1779.0	1779.0
NQ(Kurleme2BeklemeQ)	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
NQ(NegatifHamurKarmaQ)	22737.	(Corr)	.00000	45446.	45446.
NR(PozitifAsitHazirlama_Operator)	1.0000	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(Kurleme1_Makine)	.69655	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(SevkiyatQ)	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
NR(Kurleme2_Operator)	.86137	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000

NQ(OksitQ)	6.5396E-08 (Corr)	.00000	1.0000	.00000
NR(Kurleme1BeklemeAlani)	.50000 (Insuf)	.00000	1.0000	.00000
NQ(Exmet2Q)	1.7431E-06 (Insuf)	.00000	22.000	22.000
NQ(COSQ)	2.8809E-04 2.5521E-04	.00000	1.0000	.00000
NR(Serit_Makine)	.00108 1.0705E-06	.00000	1.0000	.00000
NQ(PozitifAsitHazirlamaQ)	165.63 (Corr)	.00000	332.00	332.00
NR(Zarflama_Makine)	.00612 (Insuf)	.00000	2.0000	2.0000
NR(Zarflama_Operator)	.00612 (Insuf)	.00000	2.0000	2.0000
NQ(Kurleme1Q)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000
NR(NegatifHamurKarma_Operator)	.99996 (Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(Etiketleme_Operator)	.32847 (Insuf)	.00000	6.0000	6.0000
NR(SuluSarj_Makine)	83.035 (Corr)	.00000	160.00	160.00
NQ(AsitDolumQ)	.13219 .14382	.00000	92.000	.00000
NR(Exmet2_Makine)	7.8553E-05 1.1628E-06	.00000	1.0000	1.0000
NR(COS_Operator)	5.7478E-04 5.0892E-04	.00000	1.0000	.00000
NR(AsitDolum_Operator)	.00422 (Insuf)	.00000	1.0000	.00000
NR(Kurleme1_Operator)	.69655 (Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(Montaj_Makine)	1.8431E-04 1.6335E-04	.00000	1.0000	.00000
NQ(SeritQ)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000
NQ(NegatifBirimQ)	77.350 (Insuf)	.00000	330.00	.00000
NR(Bitirme_Makine)	8.6929E-05 8.7199E-05	.00000	1.0000	.00000
NR(NegatifAsitHazirlama_Makine)	1.0000 (Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NQ(Kurleme2Q)	.49825 (Insuf)	.00000	2.0000	1.0000
NQ(NegatifAsitHazirlamaQ)	165.63 (Corr)	.00000	332.00	332.00
NQ(PozitifHamurKarmaQ)	22599. (Corr)	.00000	45233.	45233.
NQ(Kurleme1BeklemeQ)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000
NR(Exmet1_Makine)	7.8299E-05 9.4582E-07	.00000	1.0000	1.0000
NR(NegatifHamurKarma_Makine)	.99996 (Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(PozitifHamurKarma_Makine)	.99995 (Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
NR(Serit_Operator)	.00215 2.1411E-06	.00000	2.0000	.00000
NR(Exmet2_Operator)	7.8553E-05 1.1628E-06	.00000	1.0000	1.0000
NQ(MontajQ)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000
NR(Sevkiyat_Operator)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000
NQ(BitirmeQ)	.00000 (Insuf)	.00000	.00000	.00000

NR(Montaj_Operator)	1.8431E-04	1.6335E-04	.00000	1.0000	.00000
NR(COS_Makine)	5.7478E-04	5.0892E-04	.00000	1.0000	.00000
NR(Bitirme_Operator)	1.7386E-04	1.7440E-04	.00000	2.0000	.00000
NR(Oksit_Makine)	3.9999	(Corr)	.00000	4.0000	4.0000
NR(AsitDolum_Makine)	.00422	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
SevkEdilecekToplamAkuSayisi	2365	Infinite
MontajaGirecekAkuSayisi	1198	Infinite
AsitliPozitifHamurSayisi	259200	Infinite
KurlemeBeklemeAlani2GrupSayisi	3	Infinite
AsitliNegatifHamurSayisi	259200	Infinite
Exmet2IslemAlanUrunSayisi	11469	Infinite
KurlemeBeklemeAlani1GrupSayisi	3	Infinite
SevkEdilenToplamTirSayisi	3	Infinite
Exmet1IslemAlanUrunSayisi	11397	Infinite
NegatifKarilanHamurSayisi	332	Infinite
PozitifKarilanHamurSayisi	332	Infinite
SeritIslemAlanUrunSayisi	22838	Infinite
MontajdanCikanAkuSayisi	1094	Infinite
OksitGiderilenUrunSayisi	91345	Infinite

