



T.C.  
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİMÜLASYON YAKLAŞIMINI KULLANARAK RAM  
(RELIABILITY, AVAILABILITY AND MAINTAINABILITY)  
ANALİZİ YAPILMASI ÖRNEĞİ**

**Ali ÖZKAN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

**İSTANBUL-2019**

T.C.  
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİMÜLASYON YAKLAŞIMINI KULLANARAK RAM  
(RELIABILITY, AVAILABILITY AND MAINTAINABILITY)  
ANALİZİ YAPILMASI ÖRNEĞİ**

**Ali ÖZKAN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

**İSTANBUL-2019**

**T.C.**  
**ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ**  
**SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Anabilim Dalı : İş Sağlığı ve Güvenliği  
Program : İş Sağlığı ve Güvenliği  
Öğrenci No : 174203037  
Öğrenci Adı Soyadı : Ali ÖZKAN

“Simülasyon Yaklaşımını Kullanarak RAM (Reliability, Availability and Maintainability) Analizi Yapılması Örneği” isimli çalışma aşağıdaki jüri tarafından 23.08.2019 tarihinde yapılan sınavda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Dr. Öğretim Üyesi Süreyya YILMAZ  
(Üsküdar Üniversitesi)

İmza 

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN  
(Üsküdar Üniversitesi)

İmza 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ayşenur GÜL  
(Işık Üniversitesi)

İmza 

**ONAY**

Bu tez, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

**Doç.Dr. Türker Tekin ERGÜZEL**  
**Enstitü Müdür V.**

## ÖZET

Bu çalışmada tesis güvenilirliğine vurgu yapılmış ve güvenilirlik kavramı üzerinde durulmuştur. RAM analizi bir güvenilirlik yöntemi olarak incelenmiş, kullanım alanları ve faydaları vurgulanmıştır. RAM analizinin metotları anlatılmış ve simülasyon yaklaşımını kullanarak örnek bir petrokimya tesisi projelendirilmiştir. Uygulama sonucunda, üretim sürekliliği ve iş güvenliği yönünden güvenilir bir tesis oluşturulması için tasarım aşamasında alınması gereken önlemler hakkında raporlanma yapılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın yapılması için kok gazından katran üreten bir tesisin projesi incelenmiş, tasarım öncesi üretim süreci, ekipmanların arıza ve bakım verileri lisanslı MAROS programında simüle edilmiştir. Simülasyon programı tasarlanması düşünülen tesisin güvenilirlik yüzdesini, kritik ekipmanların önem sırasına göre isimlerini ve bu ekipmanların ayrı ayrı güvenilirliklerini vermiştir.

Elde edilen bu sonuç proje mühendislerine düşünülen durum ve kritik ekipmanlarla ilgili yorumlar yapma imkanını vermiştir. Mühendisler öncelikle durumu analiz ederek güvenilir bir tesise sahip olup olmayacaklarını anlayabilmişlerdir. Ayrıca tesisdeki kritik ekipmanların sırasıyla isimlerinin ve sağlıklı çalışma süreleri ile elde edilen güvenilirliklerinin belirlenmesi ile bundan sonraki süreçte bu ekipmanlara verilecek olan önem seviyesi anlaşılmış ve sağlıklı bakım planlaması yapılabilmektedir. Böylece proje mühendisleri aldıkları geri bildirim ile bir değerlendirme yaparak güvenli ve verimli bir tesis tasarlanması ve gelecek planlanması yolunda fikir edinebilmişlerdir.

İlave olarak, projelendirilen katran üretim tesisinin olası iş güvenliği riskleri incelenerek yüksek risklerin azaltılması için tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınması için önerilerde bulunulmuştur. RAM Analizi sonucu elde edilen raporlarla, yapılması önerilen iyileştirmelerin özellikle bakım zamanlarında gerçekleşen iş kazalarını azaltmadaki etkisi araştırılmıştır. Kritik ekipmanların belirlenmesi ve bakım planlamalarının daha sağlıklı yapılabilmesi ile iş güvenliğinde daha proaktif yaklaşım sergilenebilmesi mümkün olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güvenilirlik, RAM Analizi, Kritik Ekipman, MAROS Yazılımı, Katran Üretimi

## ABSTRACT

In this study, the reliability of the facility is emphasized and the concept of reliability is emphasized. RAM analysis is examined as a reliability method and its usage areas and benefits are emphasized. The methods of RAM analysis are described and a sample petrochemical plant is designed using the simulation approach. As a result of the implementation, it is aimed to report on the measures to be taken at the design stage in order to create a reliable facility in terms of production continuity and work safety.

In order to carry out the study, the project of a plant producing tar from coke gas was examined and pre-design production process, equipment breakdown and maintenance data were simulated in licensed MAROS program. The simulation program gives the percentage of reliability of the plant that is planned to be designed, the names of the critical equipments in order of importance and the reliability of these equipments separately.

This result gives the project engineers the opportunity to comment on the situation and critical equipment. Engineers are first able to analyze the situation and see if they will have a reliable facility. In addition, the determination of the names of the critical equipment in the plant and the reliability obtained by their healthy working time respectively, the importance level that will be given to these equipments in the future process has been understood and healthy maintenance planning can be made. Thus, with the feedback they receive, the project engineers will be able to obtain an idea for designing a safe and efficient facility and planning the future.

In addition, the possible occupational safety risks of the projected tar production facility are examined and recommendations are made to take the necessary measures at the design stage in order to reduce the high risks. With the reports obtained as a result of RAM Analysis, the effect of proposed improvements on reducing work accidents, especially during maintenance times, is investigated. By identifying critical equipment and making maintenance plans healthier, a more proactive approach to occupational safety has been achieved.

**Keywords:** Reliability, RAM Analysis, Critical Equipment, MAROS Software, Tar Production

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmalarımın en başından sonuna kadar benden desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN'a, Öğr. Gör. Atilla UÇAN'a, Öğr. Gör. Efari BAHÇEVAN'a, benden bu zor süreçte manevi desteğini esirgemeyip motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan sevgili eşim Çiğdem ÖZKAN'a ve bu vesile ile emeği geçen herkese gerçekten çok teşekkür ediyorum.



## BEYAN

Bu çalışmanın kendi tez çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.



30/09/2019

Ali ÖZKAN

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>BEYAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLOLAR DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
2.1. Tesis Yönetimi .....	3
2.2. Tesis Güvenilirliği.....	4
2.2.1. Güvenilirlik Analizi .....	6
2.2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) .....	7
2.3. RAM Analizi.....	9
2.3.1. RAM Analizinde Önemli Tanımlamalar.....	10
2.3.2. RAM Analizi Aşamaları .....	14
2.3.3. RAM Analizi Tarihçesi.....	15
2.3.4. RAM Analizi Kullanım Alanları.....	15
2.3.5. RAM Analizi Faydaları.....	16
2.4. RAM Analizi Metotları.....	18
2.4.1. Analitik Yaklaşım .....	18
2.4.2. Simülasyon Yaklaşımı .....	18
2.5. RAM Analizinde Simülasyon Yöntemleri.....	19
2.5.1. MAROS Yazılımı .....	20
2.5.2. TARO Yazılımı.....	22
2.6. Simülasyon Yazılımları Hakkında Bilgilendirme.....	22
2.6.1. Simülasyon Yazılımı Felsefesi.....	22
2.6.2. Olaylar.....	24
2.6.3. Yaşam Döngüsü Senaryosu .....	26
2.6.4. Sistem Modellemesi.....	27
2.6.5. Simülasyon Yaklaşımı .....	27
2.6.6. Simülasyon Analiz Seviyeleri.....	29



2.6.7. Tesis Performansına Etkisi.....	31
2.6.8. Simülasyon Yazılımı Sistem Yapı Taşları .....	32
2.6.9. Simülasyon Nasıl Çalışır? .....	35
2.6.10. Simülasyon Modelleme Yapısının Temelleri.....	35
2.6.11. Simülasyon Modeli Anahtar Parametreleri Tanımlamaları.....	37
2.6.12. Genel Hatlarıyla Simülasyon Programı.....	37
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>41</b>
3.1. Katran Üretimi.....	41
3.2. Katran Üretimi ve Bakımı İş Güvenliği Riskleri.....	46
3.3. MAROS Yazılımı.....	48
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>51</b>
4.1. MAROS Simülasyon Modellemesi Bulguları.....	51
4.2. Katran Üretim Miktarı Bulguları.....	58
<b>5. TARTIŞMA.....</b>	<b>60</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>63</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>



## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1:</b> Sistem çalışma ve arıza çevrimi .....	12
<b>Tablo 2:</b> MAROS'un ana girdi ve çıktıları .....	21
<b>Tablo 3:</b> Ekipman arıza ve bakım bilgileri .....	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Elektrik-elektronik komponentler için kuvvet arıza oranı eğrisi .....	8
Şekil 2: Mekanik komponentler için arıza oranı eğrisi .....	8
Şekil 3: Sistem çalışma ve arıza süreci .....	12
Şekil 4: RAM analizi aşamaları.....	14
Şekil 5: Proje yaşamında RAM analizi .....	16
Şekil 6: Simülasyon prosedürü işleyişi .....	19
Şekil 7: Süreç akış ağı .....	20
Şekil 8: Olay şeması .....	25
Şekil 9: Düzensiz, düzenli ve koşullu olaylar .....	25
Şekil 10: Analiz seviyeleri .....	29
Şekil 11: Tesis performansını etkileyen faktörler .....	31
Şekil 12: Simülasyon yazılımı sistem yapı taşları.....	32
Şekil 13: Proses düğüm çizelgesi .....	33
Şekil 14: Bakım ile ilgili tanımlamalar .....	39
Şekil 15: Kok gazından katran üretim prosesi.....	42
Şekil 16: Amonyaklı su ile soğutma kesiti ve üstten görünüşü.....	43
Şekil 17: Katran dekanteri (ayırıcı) .....	44
Şekil 18: Elektrofiltre .....	45
Şekil 19: Egzosterde kok gazı patlama riski .....	46
Şekil 20: Katran üretimi ana görünüm .....	51
Şekil 21: Ham kok gazının soğutulması ile oluşan katran üretim süreci .....	52
Şekil 22: Ham kok gazının soğutulması ve ilave işlemlere tabi tutulması ile olan katran üretim süreci .....	53
Şekil 23: Üretim etkinliği, proses güvenilirliği ve kritik ekipmanlar.....	54
Şekil 24: Proses kritik ekipmanların güvenilirliği.....	55
Şekil 25: Proses aylık ortalama üretim.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BCM</b>	Business Continuity Management (İş Sürekliliği Yönetimi)
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditure (Yatırım Harcamaları)
<b>EDT</b>	Equipment Down Time (Ekipman Çalışmama Zamanı)
<b>FMEA</b>	Failure Mode and Effect Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
<b>LCC</b>	Life Cycle Cost (Yaşam Döngü Maliyeti)
<b>MAROS</b>	Maintainability Availability Reliability Operability Simulation (Sürdürülebilirlik Kullanılabilirlik Güvenilirlik İşlenebilirlik Simülasyon)
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failure (Ortalama Arızalar Arası Süre)
<b>MTTF</b>	Mean Time To Failure (Ortalama Arıza Süresi)
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair (Ortalama Tamir Süresi)
<b>NPV</b>	Net Present Value (Net Bugünkü Değer)
<b>OPEX</b>	Operational Expenses (Faaliyet Giderleri)
<b>RCM</b>	Reliability-Centered Maintenance (Güvenilirlik Merkezli Bakım)
<b>RAM</b>	Reliability, Availability and Maintainability (Güvenilirlik, Kullanılabilirlik ve Sürdürülebilirlik)
<b>RBD</b>	Reliability Block Diagram (Güvenilirlik Blok Diyagramı)
<b>TARO</b>	Total Asset Review Optimization (Toplam Varlık Gözden Geçirme Optimizasyonu)

# 1. GİRİŞ

Geçmişten bu güne kadar meydana gelen iş kazalarının sebepleri incelendiğinde tesis sorunlarının önemli bir etken olduğu görülmektedir. İş kazaları tesisin herhangi bir ekipmanında meydana gelen ani reaksiyon (patlama, yangın, gaz yayılımı vs.) sonucu olmakla birlikte, planlı veya plansız bakımlara harcanan zamanlarda da meydana gelmektedir. Tüm bu kaza nedenlerinin yapılan risk analizi ve değerlendirme yöntemlerinde bilinmesi ve çalışma/bakım esnasında alınan önlemlere rağmen kazaların olması ve acı sonuçlarla karşılaşılmasının önüne geçilememektedir.

Üretim tesisleri her ne kadar iş güvenliği odaklı çalışmayı prensip edinseler de ortada bir gerçek var ki o da iş sürekliliğinin sağlanarak üretim ve satış yapılması gerekliliğidir. Peki o zaman ne yapılacak? Kaza nedenlerine bakıldığında çözümün tesis güvenliğinin sağlanması ve insan müdahalesinin minimuma indirilmesi gerekliliği ortaya çıkıyor. Bu ikisini sağladığımız zaman iş kazaları önemli oranda azalacaktır. İş kazalarının azalması için tesislerin güvenli olması ve minimum insan müdahalesinin olması demek iş sürekliliğinin de sağlanması demektir. İş sürekliliği sağlanmadığı zaman gereksiz zaman harcamaları, işgücü maliyeti, ek bakım maliyeti gibi tasarruf kalemleri ortaya çıkmakla birlikte tesislerin durmadan çalışarak geçirildiği zamanlarda daha fazla ve verimli üretim yapılması mümkündür.

Mevcut kurulu tesislerde bu değişikliklerin yapılması zordur, zaman alır, üretim zararı uğratar ve ciddi maliyet kalemleri getirir. Mevzuatlara uyum çerçevesinde özellikle patlayıcı gaz ihtiva eden ve bulunduğu çevreye de zarar verebilen firmalar kendilerini modernize etme sürecine gitmektedirler.

Güvenilir ve sürekli çalışan bir tesis olunması ve bakım harcamalarının minimize edilmesi için tesislerin kurulmadan önce tasarım aşamasında gerekli önlemler alınmalıdır. Öncelikle tesis güvenliği sağlanmalı, özellikle gazlar ve tehlikeli kimyasalların kullanımı kaynaklı patlama, yangın, gazdan etkilenme gibi risklerin bertarafı veya minimize edilmesi için gerekli tasarım düşünülmelidir. Ayrıca, kurulması planlanan tesisin tüm ekipmanlarının adlandırılarak kritik ekipmanların belirlenmesi, her ekipman için planlı ve plansız bakım sürelerinin tespit edilmesi, bu sürelerin azaltılması için ekipmanın ona göre dizayn edilmesi, bakımlara harcanan işgücü ve diğer aletlerin maliyeti gibi hesaplamaların yapılması gerekir. Yani daha tasarım aşamasında bir bakım yönetim

sistemi düşünölmelidir. Bakım demek maliyet, işgücü ve zaman kaybı ve dolayısıyla iş kazası ile sonuçlanabilen aktiviteler demektir.

Tasarım aşamasında tüm bu hesaplamalar yapıldıktan sonra yüksek riskli bölgeler ve işler için yetkili kadronun önceden oluşturulması sağlanır. Ayrıca, tesisin bir güvenilirlik oranı ortaya çıkar ve güvenilir bir tesis kurulması için gerekli alt yapı hazırlanmış olur. Bu yapılan çalışmalar proaktif bir iş güvenliği planlaması ve bir güvenilirlik analizi olmakla birlikte RAM analizi olarak kısaca tanımlanır.

Bu tezin amacı; kok kömürü üreten bir tesiste ortaya çıkan kok gazından yan ürün olarak katran üretimi sistemi projesi üzerinde simölasyon yaklaşımı kullanarak RAM analizi yapılması, tesisin tümü ve ekipmanlar için çıkan güvenilirlik değeri ve belirlenen kritik ekipmanlara göre yorumlar yaparak proje mühendislerine tesis ve ekipmanlar hakkında önerilerde bulunmaktır. Böylece tesis yöneticilerinin daha tasarım aşamasında bir değerlendirme yaparak daha güvenli ve verimli bir tesis olma yolunda fikir edinmeleri amaçlanmaktadır.

## 2. GENEL BİLGİLER

Tez konusu ile ilgili yapılan genel literatür çalışması genelden özele doğru verilmeye çalışılmıştır. Konunun önemi ve gerekliliğinin kavranması açısından güvenilirlik sistemlerinin tasarımdan satışa kadar olan süreçteki önemi vurgulanacaktır.

### 2.1. Tesis Yönetimi

Bir tesisin maliyetini azaltmak için 2 türlü yönetim şekli benimsenebilir. Risk Yönetimi ve Tesis Yönetimi. Konumuza odaklanmak için biz daha çok tesis yönetimi konusunun detaylarını araştıracağız.

Bir tesisi yönetmek için 7 önemli başlık dikkati çekmektedir: İşletme, bakım, kritik ekipman, güvenilirlik merkezli bakım (RCM), risk odaklı teftiş, yaşam döngüsü maliyet analizi ve güvenilirlik (RAM) analizi. (DNV GL Software 2016)

Konuyu biraz daha açarsak tesis yönetiminde bakım kaynaklarının seviyeleri ve kullanılabilirliği, ekipman güvenilirliği, yedek parçaları da kapsayan bakım gereksinimleri, gaz dağıtımının yapılabilirliği, gaz talebi gereksinimleri, bakım ve prosese dayalı birimlerin devreye girme süresi, birim maliyetler ve esneklik gibi parametreler tesis yönetimini etkilemektedirler. Bu bağlamda, ileride detaylı olarak açıklayacağımız RAM analizi önemli ve etkin kararlar alınması için kullanıcının elini güçlü kılan bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Performansın tahmin edilmesine yönelik girişimler üretimi artırıp maliyetleri kısmayı kolaylaştırmak için yapılmaktadır. Bu sürecin ana yapı taşları sırasıyla aşağıdaki işlemlerdir:

1. Yatırım fırsatlarının değerlendirilerek önceliklendirilmesi,
2. Sistem tasarımı, tesis operasyonları ve bakım stratejilerinin optimize edilmesi.

Yatırım getirisi için sırasıyla şu işlemler uygulanır: (DNV GL Software 2016)

1. Gelişmiş RAM araçlarının kullanılması
2. Varlığın ömrü boyunca üretimin artırılması
3. İşletme maliyetlerinin azaltılması
4. Bakım sözleşmeleri

## 5. Hata modları olası etkisi ve sonuçlarının daha iyi anlaşılması

Petrol ve gaz endüstrisinde gelişmiş RAM analizi araçları büyük petrol ve gaz şirketlerine projelerini geliştirmek için yardımcı olurlar.

### 2.2. Tesis Güvenilirliği

Dünyamızda artık iş sürekliliği planlarının önemi daha fazla anlaşılmaktadır. İş modeli ne olursa olsun organizasyonlar artık global, karmaşık ve riskli sistemleri işletmekte ve yönetmektedir. İşletmelerin gelişimini ekonomik, sosyal, politik, doğal ve çevresel olaylar etkileyebilir. Ancak temeli iyi kurulmuş organizasyonlar bu tehlikeleri sağlıklı bir şekilde bertaraf edecektir. Bunları yapmanın yolu ise iş sürekliliği yönetimi programlarından (BCM) geçer. Bu programların en etkin olan yapılarından biri güvenilirlik mühendisliği ve modellemelerinden geçer. (Faertes 2015)

Güvenilirlik mühendislik bazında ele alınabilir. Mühendislerin sorumluluğunda olan muhtelif makinelerin veya sistemlerin planlanması, üretimi ve işletimi konularını içeren bir tanımlama yapılması gerekir. Sistemleri ve makineleri kullanan kullanıcılar açısından bakıldığında, kullanılan ekipmanın %0 ile %100 arasında puanlanarak "ne derece güvenilir?" sorusuna yanıt alınması faydalı olacaktır. (Özkılıç 2016)

Başlangıçta deneyimlere dayanarak değerlendirilen güvenilirlik, bugün artık mühendisliğin ve işletmeciliğin her alanında uygulanabilen bir bilim dalı haline gelmiştir. Bir dizi indisler tanımlanarak sistemlerin/makinelerin hangi koşullarda devre dışı kalacağı ve bu durumların yol açacağı olumsuzluklar belirlenmeye çalışılmaktadır. Diğer yanda ise tasarım maliyeti hesaplanmakta ve güvenilirlik-maliyet arasındaki ekonomik denge kurulmaya çalışılmaktadır. (Özkılıç 2016)

Risk değerlendirmesinin temel aşamalarından biri, ele alınan sisteme ait deneyime ve geçmiş bilgiye sahip olmaktır, kuşkusuz geçmişte kazanılmış bilgi ve deneyim temel bir bilgi kaynağıdır. Fakat yeni veya az bilinen bir sistem söz konusu olduğunda bu amaçla geliştirilmiş bir veya birkaç risk analizi yöntemi uygulamak gerekir. (Özkılıç 2016)

Sistem güvenliğinin analizi için güvenilirlik teorisi ve olasılık hesaplamaları çoğu risk değerlendirme yöntemi uygulamaları ve özellikle de bakım çalışmaları için büyük önem taşır. (Özkılıç 2016)



Güvenilirlik mühendisliği ve risk değerlendirme teknikleri ve modelleri iş sürekliliği yönetimi programlarını oluşturmak için kullanılan güçlü teknik araçları ve iyi tanımlanmış anahtar performans göstergelerini sunar. Maliyeti azaltmak ve karlılığı yükseltmek amaçlanır. (Faertes 2015)

Endüstride yeni yatırımlar azalmakla birlikte bakım için farklı çözümlere talep ise artmaktadır. Zamanımızda yatırımlar daha çok bakım yöntemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. (Tolvanen 2011)

Proses endüstrisinde ekipmanlar eskidikçe bakımın önemi gittikçe artmaktadır. Bakım bir maliyet olduğu için çoğunlukla tasarruf tedbirleri çerçevesinde ihmal edilebilmektedir. Bakımın etkinliği burada önem kazanmakta olup bakımı daha etkili yapmak için yeni araçlar geliştirilmiştir. (Tolvanen 2011)

Petrol ve gaz endüstrisi sürekli ihtiyaçlarını artırmış ve yüksek teknolojik sistemler ve daha yüksek rekabet ile tedarikçilerini talepleri karşılayabilmeleri için kullanılabilirlik ve verimliliğini artırmaları yönünde zorlamıştır. (Corvaro ve ark. 2016)

Endüstriyel sistemlerin çoğunluğu tamir edilebilir ve birden fazla alt sistemleri vardır. Her alt sistem çeşitli kompleks parçalardan oluşur ve muhtemelen sistemin yaşaması onun kurucu parçalarına bağlıdır. Gelişmiş teknoloji, kompleks sistemler ve ürün kalitesindeki ısrardaki gelişmeler ile endüstrilerdeki güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin önemi en üst seviyeye ulaşmıştır. Tesis yöneticileri önemli bir önleyici bakım kararları ile karşılaştığı için bunlar tesis performans ve güvenilirliğini etkilemektedir. Bundan dolayı güvenilirlik ve bakım çalışması proses işletiminde önemli rol oynamaktadır. (Garg 2012)

Güvenilirlik teknolojileri metotlarının kullanıldığı yerlerde iş güvenliği en önemli alandır. Güvenilirlik analizinin en önemli başvurulma alanı risk değerlendirmedir. Risk analizi, projenin tüm aşamalarında sistem tasarımı için ve üretim süreci boyunca önemli bir girdi olmuştur. Bazı problemlerin karmaşık olması en iyi çözümleri üretmek ve doğru kararlar verebilmek için kantitatif metotlar gereklidir. Konu hakkında uzman kişilerin görüşlerine göre risk değerlendirme kullanımı da gereklidir. (Michelsen 1998)

Güvenilirlik sistemleri, sistemlerin kullanılabilirlik ve iş güvenliğine uygun olması için gereklidir. Tasarım, test ve bakım aşamalarında sistemlerin güvenilirliğinin doğru tespit edilebilmesi için uygun metotlara ihtiyacımız vardır. İş Güvenliği sistemleri

teknik standartlarının operasyon boyunca sürdürülebilir kılınması önemli bir görevdir ve güvenilirlik metotları bu amaca ulaşılması için önemli görev üstlenmektedir. ( Michelsen 1998)

Güvenilirlik teknolojilerindeki rekabetin çoğu şirketlerdeki iş güvenliği departmanlarına yoğunlaşmıştır. Bundan dolayı iş güvenliği sistemleri tasarım ve bakımında gelişmiş metotlara başvurulmuştur. Güvenilirlik datası da burada önemli bir konudur. (Michelsen 1998)

### **2.2.1. Güvenilirlik Analizi**

Bir güvenilirlik analizi bakım için bir destek fonksiyonudur ve amacı seçilmiş bir nesnenin güvenilirlik, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirliğini incelemektir. Güvenilirlik analizi ürün servisinin bir parçası olarak potansiyel bir seçenektir. (Tolvanen 2011)

Güvenilirlik analizi risk analizi için kullanışlı bir araç ve iş güvenliği sistemlerinin tasarımı olarak devreye alınmıştır. Bunun için kullanılan metotlarda uygun veri bulunamayışı bir sorun olmuştur. Hatta daha da önemlisi bu metotları başlatmakla görevli uygun personel de bulunamamıştır. Bunun bir sebebi sunulmuş olan modellerin ve metotların karmaşık olmasıdır. Güvenilirlik teknolojisini teşvik etmek için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur: (Michelsen 1998)

- Endüstri ile yakın iletişim
- Sistem modellemesinden ziyade endüstrinin karşılaştığı belirgin problemlere odaklanmak
- Problemi olanların başvurduğu çözüm metotlarının gelişimi

Güvenilirlik, risk analizi, üretim kullanılabilirliği çalışmaları ve sistemlerin tasarımı çalışmaları için kullanışlı bir araçtır. Kullanılabilirlik, birçok endüstriyel sistemler için önemli bir performans ölçüm metodudur. Ayrıca tesis arızaları genellikle uygun olmayan bakımlardan ve ileride olabilecek problemleri tahmin edemeden kaynaklanır. Sistem davranışı bilgisi ve yedek parçalar uygun bakım stratejisi oluşturmak için önemlidir. Bundan dolayı sürdürülebilirlik sistemlerin performansını karşılamak için anahtar rol oynar. Güvenilirlik/Kullanılabilirlik hedeflerine minimum mali girdilerle ulaşmak için her alt sistem ve parçaları hatasız çalışmalı ve üstün performans sergilemelidir. Sistem performansı sistem ve parçaların güvenilirlik ve kullanılabilirliğine, bakım etkinliğine ve operatörlerin teknik uzmanlığına bağlıdır.

Sistem güvenilirlik ve kullanılabilirliğini geliştirmek için bakım stratejilerini geliştirmek önemlidir. Ayrıca, sistemin kullanılabilirliği onun güvenilirlik ve sürdürülebilirliğini geliştirmekle gelişir. Sistemin güvenilirlik ve sürdürülebilirliği ise hata oranları ve arıza sürelerinin azaltılması ile geliştirilebilir. (Sharma ve Kumar 2009)

Güvenilirlik analizi, basit anlamda bir sistemin parçalarının ve birimlerinin bozulma oranlarının analizidir. Bu analizlerde kullanılan genel modeller vardır. (Özkılıç 2016)

### **2.2.2. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM)**

Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability-Centered Maintenance), operasyonun gerekli güvenlik, ulaşılabilirlik ve ekonomisini verimli ve etkili bir şekilde başarmak için, hata yönetimi politikalarını tanımlamak ve seçmek için kullanılan bir metottur.

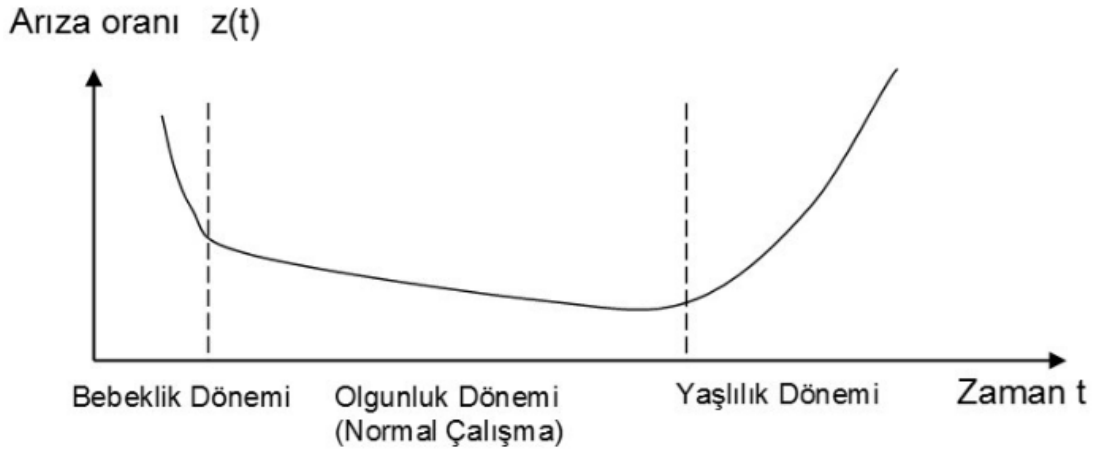
RCM; hata yönetimi politikaları, hataların sonuçlarını azaltmak için bakım aktiviteleri, operasyon değişiklikleri, tasarım modifikasyonları ve diğer aktiviteleri içerebilir.

RCM, ekipman için, belirlenebilen ve bu hatalardan sorumlu bozulma mekanizmasının güvenlik, operasyon ve ekonomik sonuçları doğrultusunda uygulanabilir ve etkili önleyici bakım gereklilikleri ve yönetim aksiyonları tanımlamaya yarayan bir karar prosesi sağlar.

RCM bakım etkinliğini artırır ve yüksek kontrol ve farkındalık derecesi ile bakım yönetimi mekanizması sağlar. En uygun önleyici ve düzeltici bakım görevlerini belirler.

RCM analizi yaparken güvenilirlik analizi yöntemlerinden faydalanılabilir. Bir sistemin yaşam dönemi banyo kuvvet eğrisi denilen sistematikle izah edilebilir.

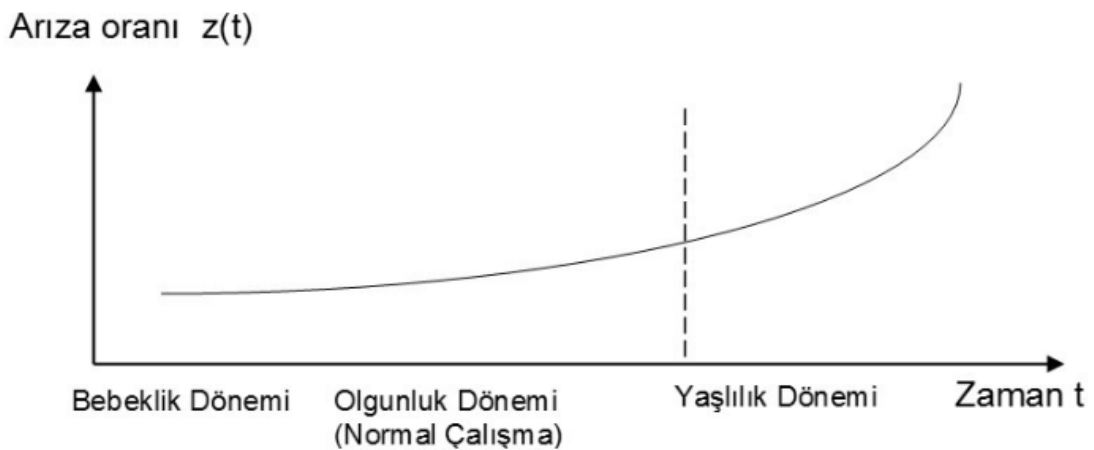
Şekil 1: Elektrik-elektronik komponentler için küvet arıza oranı eğrisi



(Özkılıç 2016)

Banyo küveti eğrisi üç bölgede incelenir. Birinci bölge “bebeklik dönemi veya çocukluk dönemi” adını alır; ekipmanın kurulduğu andan itibaren yüksek bir arıza oranı gösterdiğini ve bu oranın zamanla sabitlendiğini belirtir. Tasarım, imalat ve kurulum hataları arıza oranının yüksek olmasında önemli etkindir. Bu dönemde arızalarla mücadele edilir. Ortadaki bölge “Olgunluk Dönemi” adını alır, düşük değerde ve sabit bir arıza oranı gösterir. Bu süre içerisinde arızalar, rastgele meydana gelir. Sistem veya ekipmanın en verimli çalıştığı dönemdir. RCM uygulamaları olgunluk dönemine geçişte etkili fayda sağlar. Genellikle “Yaşlılık Dönemi” denilen son dönem ise, giderek artan bir arıza oranı ile karakterize edilir. Ekipmanın ekonomik ömrü bitmektedir. (Özkılıç 2016)

Şekil 2: Mekanik komponentler için arıza oranı eğrisi



(Özkılıç 2016)

Mekanik ekipmanlar, banyo küveti eğrisinden farklı bir karakteristik sergiler. Malzeme yorulması, mekanik ekipmanların arıza oranının artmasının en önemli

nedenlerinden biridir. Erken dönemlerde ekipman tamamen yenidir ve arıza görülme olasılığı oldukça düşüktür. Sonraki dönemlerde yorulma ve diğer yaşlanma belirtileri ortaya çıkmaya başladıkça arıza oranı önemli ölçüde artma eğilimindedir. (Özkılıç 2016)

### **2.3. RAM Analizi**

Süregelen rekabet ve pazarın globalize olmasından dolayı petrokimya tesisleri üretim aktiviteleri ve ilgili operatörler, maliyetleri etkin kılmak için baskı altına girmektedirler. Bu bağlamda operatörler tesislerini emniyetli, minimum maliyetle ve maksimum gelire çalıştırmak zorunluluğunu kendilerinde hissetmektedir.

Rekabet ortamında kalabilmek, zamanında ve düzgün üretebilmek için firmalar güvenilirlik ve sürdürülebilirlik konularını şirket araştırmalarının bir parçası olarak ürün ve servislerin kalitesini artırmak için izlemekte ve uygulamaktadırlar. Bir şirket eğer sistemleri güvenilir ve kullanılabilir değilse hızlı cevap stratejisi veremez. Bu nedenle birçok şirket bakımlarını etkin yönetmeye önem vermiştir. Bir şirket eğer sistemleri güvenilir ve kullanılabilir değilse başarıyı yakalayamaz. Bundan dolayı artık sistemlerin güvenilirlik, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirlik (RAM) ini yaparken yeni yaklaşımların olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Organizasyonların performansı ve sürekliliği parçaların ve sistemlerin bütünüyle güvenilirliği ve sürdürülebilirliği üzerine olmaktadır. RAM, tasarım sürecinde ekipman performansını farklı seviyelerde ölçen bir mühendislik aracıdır. RAM, hem operasyon hem de iş güvenliği konularını dikkate alarak gelişen süreç veya sistemleri yönetmeyi amaçlamaktadır. RAM analizinde anahtar konular ortalama hata zamanı (MTTF), ekipman çalışmama zamanı (EDT) ve sistem kullanılabilirliği değerleri gibi konulardır. (Sharma ve Kumar 2006)

Güvenilirlik analizi petrol ve gaz endüstrisinde 3 önemli konuya değinmiştir: (Michelsen 1998)

1. Kavramsal tasarımda üretim kullanılabilirlik çalışmaları (RAM analizi)
2. İş Güvenliği (risk analizi, güvenlik sistemleri kullanılabilirliği)
3. Bakım (kritiklik analizi, yaşam döngü maliyeti)

RAM Analizi; Güvenilirlik (Reliability), Kullanılabilirlik (Availability) ve Sürdürülebilirlik (Maintainability) kelimelerinin kısaltmasıdır. Tesisin performansını tahmin etmek için kullanılan bir metodolojidir. Petrol ve gaz endüstrisinde 3 önemli

faktör önemlidir: Ekipman Güvenilirliği, Operasyonel (işletim) mantık ve bakım stratejileri.

RAM analizinde iş güvenliği uygulamaları standartlaştırılmıştır. Böylece risk analizine daha az ihtiyaç duyulmaktadır. (Michelsen 1998)

Petrol ve gaz endüstrisindeki güvenilirlik metotlarının kullanımı için bir diğer önemli aşama ise bakımdır. Bakım, tüm işletme operasyonları için önemli bir maliyet kaynağıdır ve bakım optimizasyonunda etkili ve güvenilir kriter bulmak için araştırmalar yapılmalıdır. Bakım planlamasında güvenilirlik metotlarını kullanmak için birkaç yaklaşım mevcuttur fakat uygulamasının zor olduğu görünmektedir. Bakım planlayıcılara güvenilirliği satmak zordur. Bunun ana sebepleri eğitim ve yetki (bakım disiplindeki zayıf geleneksel yaklaşım) zayıflığı, metotların karmaşıklığı ve bakım optimizasyonundaki güvenilirlik çalışmalarının maliyet-etkin olmasındaki şüphelerdir. (Michelsen 1998)

Bakım planlamasında güvenilirlik metotlarının başarısında veri toplama ve analizi çok önemlidir. Buradaki problem, veri tabanı kalitesinin gerekli bilgiye erişmek için birçok kişiye bağlı olmasıdır. Bu durum işi zorlaştırır çünkü zaman ve kaynak gerektirir. (Michelsen 1998)

Kritiklik, bir hata türünün oluşum sıklığıyla ve etkisi ile ilgili bir ölçümdür. (Özkılıç 2016). Bir diğer tanıma göre kritiklik, hatanın ortaya çıkma ve müşteriye ulaşmadan bu hatanın saptanabilmesi ihtimallerinin çarpımıdır. Ek kalite planlaması gerektiren hataların önceliklerini belirlemede kullanılır. (Çevik ve Baran 2007)

Kritiklik Analizi ise hata türlerinin, hatanın önem ve oluşma olasılığı ile birlikte değerlendirilmesidir. (Özkılıç 2016)

### **2.3.1. RAM Analizinde Önemli Tanımlamalar**

#### **2.3.1.1. Güvenilirlik**

Bir nesnenin belirli bir süre ve koşullarda hatasız olarak performansını sağlaması olasılığıdır. Hatanın belirli süreden önce olmama durumudur. (Akkaya 2013)

Güvenilirlik, belirli işletme şartlarında bir sistemin verilen zaman içinde görevini yerine getirme olasılığı olarak da tanımlanabilir. (Tolvanen 2011)

Güvenilirlik analizi RAM metodolojisine dayanır. RAM, ekipmanın toplam bağımlılığını ölçmek için kullanılan bir metottur. Analiz kalitatif bir araştırmadır ve amacı sistem hatalarını, sebep sonuç ilişkileri ve sonuçlarını istatistiksel veri kullanarak çözmektir. (Tolvanen 2011)

Güvenilirlik, belirli bir zaman aralığında belirlenmiş durumlarda bir bileşenin istenen fonksiyonu yerine getirme ihtimalidir. (Özkılıç 2016)

### **2.3.1.2. Kullanılabilirlik**

Bir sistemin sağlıklı çalışma süresidir. Genellikle bir zamanın yüzdesi ile ifade edilir. Herhangi bir zamanda sistemin çalışır durumda olması ve istenilen hizmetleri verebilmesidir.

Sistem sürekli çalıştırılacağı zaman yüksek kullanılabilirliğe sahip bir şekilde tasarlanmalıdır. Kullanılabilirlik kavramı sürekli olarak çalıştırılacak ve tamir edilebilir sistemler için geliştirilmiştir. Bir sistem, iki mümkün sürede düşünülür: işletim süresi ve tamir süresi. Kullanılabilirlik herhangi bir t zamanında bir sistemin bütün fonksiyonlarını yerine getirecek şekilde çalıştırılma olasılığı olarak tanımlanır. Yani kullanılabilirlik, güvenilirlik ve sürekliliğin bir birleşimidir. Zaman akışı içinde kullanılabilirliğin gelişimi veya ortalama kullanım düzeyi ile ilgilenilmesine bağlı olarak, iki kullanılabilirlik kavramından yararlanılmaktadır: (Özkılıç 2016)

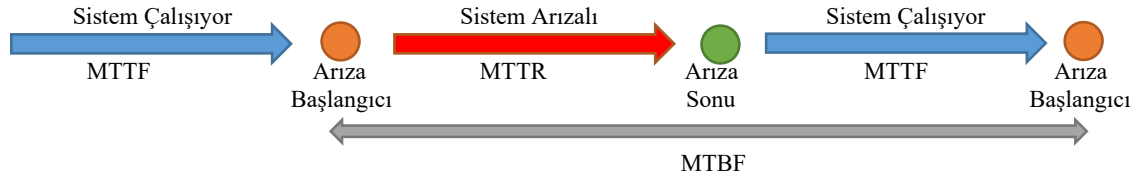
- Öngörülebilir anlık kullanılabilirlik,
- Ortalama kullanılabilirlik.

Kullanılabilirlik, sistemlerin çalışmaya başlamadan önceki hazır durumlarıdır. Sistemlerin tamiri için geçen zaman ve önleyici bakım çalışmaları sistemleri kullanılabilir durumdan çıkarmaktadır. Ondan dolayı güvenilirlik ile sürdürülebilirlik birbirlerini etkilemekle birlikte her ikisi kullanılabilirlik ve maliyetleri etkilemektedir. (O. Akkaya, 2013)

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{[(\text{Planlanmış Üretim Zamanı} - \text{Kapalı Zamanlar}) / \text{Planlanmış Üretim Zamanı}] * 100$$

$$\text{Kullanılabilirlik} = (\text{Çalışılan Gerçek Süre} / \text{Çalışılabilir Potansiyel Süre}) * 100$$
 olarak hesaplanabilir.

**Şekil 3: Sistem çalışma ve arıza süreci**



**Tablo 1: Sistem çalışma ve arıza çevrimi**

	Çalışma Süresi (MTTF)	Arıza Süresi (MTTR)				
Sistemin Test Edilmesi	Sistemin Normal Çalışması	Arıza ve Bakımcının Çağırılması	Arıza Araştırması	Yedek Parçanın Temini	Arızanın Giderilmesi	Sistemin Test Edilmesi
	İki Arıza Arasında Geçen Süre (MTBF)					

(Özkılıç 2016)

Ortalama arızalar arası süre (MTBF-Mean Time Between Failure): Tamir edilebilir araçlar için bir güvenilirlik ölçümüdür. Ünitelerin kendi limitlerinde sağlıklı bir şekilde performanslarını gösterdikleri ortalama zamandır. Verilen bir zaman aralığında, sistemin bütün parçalarının belirlenmiş görevleri yerine getirmeleri sırasında, çalışma sürelerinin ortalamasıdır. MTBF kavramına güvenilirlik literatüründe çok sık karşılıılır; tamir edilebilir ve bozulan parçaları değiştirilerek çalıştırılabilir sistemlere tatbik edilir. (O. Akkaya 2013; Ö. Özkılıç 2016)

Ortalama çalışma süresi (MTTF-Mean Time To Failure): Sistemin gerekli fonksiyonlarının hepsini yerine getirdiği zamandır. Bu zaman sistemin elde edilebilirliğini ve güvenilirliğini artırır. Tamir edilemeyen araçlar için önemli güvenilirlik ölçütüdür. Arıza olana kadar geçen süredir. (O. Akkaya 2013; Ö. Özkılıç 2016)

MTBF ve MTTF kavramları birbirine benzerdir ama aynı değildir. MTBF, onarım yapılan malzeme grubuna veya sisteme uygulanır. Bu, toplam operasyon süresinin gerçekleşmeme sayısına bölünmesinden türetilmiş ortalama zamandır. Bundan farklı olarak, MTTF onarılamayacak durumdaki sistemlere uygulanır. (Özkılıç 2016)

Ortalama arıza süresi (MTTR-Mean Time To Repair): Sürdürülebilirliğin temel ölçütüdür. Aksaklıklar yüzünden sistemin kullanılmadığı ortalama zamanı ifade eder. Bu



zaman tamir için geçen süreyi ve tamircinin sistemin yanına gelmesi ile parçaları değiştirme süresini de kapsar (O. Akkaya 2013; Ö. Özkılıç 2016)

Yaşam döngüsü hesaplamasında sistemin sağlıklı çalıştığı süre arıza olana kadar geçen süre (MTTF) ve sistemin arızalı kaldığı süre tamir süresi (MTTR) olarak adlandırılır.

$MTBF = MTTF + MTTR$ 'dir. Tam olarak ortalama ömrü temsil eder.

$Kullanılabilirlik = \frac{MTTF}{(MTTF+MTTR)} = \frac{MTTF}{MTBF}$

### **2.3.1.3. Sürdürülebilirlik**

Bir parça veya sistemi tamir etme süresidir. Genellikle ortalama arıza süresi (MTTR) olarak ifade edilir. Sistem arızalandığı zaman, arızanın giderilerek en kısa sürede tekrar işletmeye geçebilme olasılığıdır.

Sürdürülebilirlik, tamir edilebilir nesnelere ilgili bir ifadedir. Tamir edilemeyen nesnelere tek kullanımlıktır ve atılır. Sistemler arıza yaptığında tamir edilir ve bunun için bir işgücü harcanır. Tüm tamir ve bakım işlemlerinin kolay yapılabilmesi sistemlerin sürdürülebilirliğini gösterir. (Akkaya 2013)

Sürdürülebilirlik ortalama tamir zamanı (MTTR) olarak ölçülür. Tamir için gereken zaman 3 aşamada düşünülebilir: Tamiri yapacak kişinin ve ekipmanların bulunması ve gelmesi, toplam tamir bakım süresi, iş başladıktan sonra yedek parça beklemekten kaynaklı gecikmeler. (Akkaya 2013)

Sistemin sürdürülebilirliği ile ilgili bilgilerin, sistemin tasarımcısı tarafından hazırlanan bakım prosedürlerinde yer alması gerekmektedir. (Özkılıç 2016)

Arıza süresi (MTTR) yukarıdaki tabloda belirtildiği gibi beş temel aşamadan oluşmaktadır. Aktif tamir ve arızanın tespit süresi, tamiri yapan kişinin eğitimi ve yeteneğine bağlıdır. Malzemenin temini ve bakımıcının bulunması gibi etkenlerden kaynaklanan gecikme, işletmenin yönetsel organizasyonuna bağlıdır. (Özkılıç 2016)

### **2.3.1.4. Güvenlik**

Bir sistemin dışarıdan gelen saldırı vb. gibi etkilere dayanabilme ölçüsüdür. Sistemin kendisinden kaynaklı olmamakla birlikte dış müdahalelerin de her zaman

olabileceği ve düşünülerek gerekli tasarımların analiz aşamasında düşünülmesine fayda sağlar. (Özkılıç 2016)

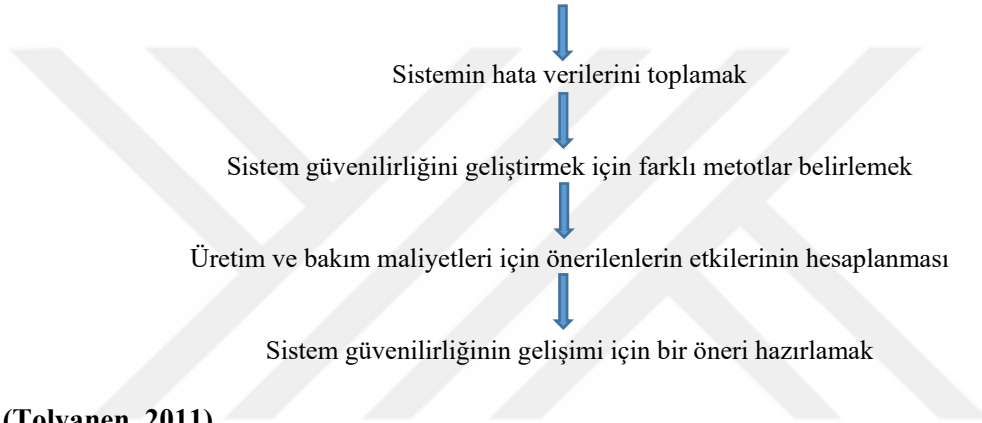
### 2.3.1.5. İş Güvenliği

Sistemin insana ve çevreye zarar vermeden çalışması ölçüsüdür. Az hata ve süreklilik ile çalışılması amaçlanan sistemin, tasarım aşamasında insana da zarar vermeyecek şekilde çalışması amaçlanır. (Özkılıç 2016)

### 2.3.2. RAM Analizi Aşamaları

#### Şekil 4: RAM analizi aşamaları

Sistemin güvenilirlik model diyagramını oluşturmak ve diyagrama dayalı güvenilirlik modeli oluşturmak



(Tolvanen, 2011)

RAM modellemelerinde aşağıdaki maddelerin doğruluğu kabul edilir: (Sharma ve Kumar 2009)

- Arıza ve tamir oranları sabit farz edilir ve istatistiksel olarak bağımsızdır.
- Tamir edilebilen üniteler yeni kabul edilir.
- Arıza durumlarına karşı tamir veya yerine koyma yapılır.
- Her alt sistem için ayrı bir tamir aktivitesi oluşturulur.
- Her alt sistem işletim veya bakım durumlarında kalır.

RAM analizindeki önemli bir aşama güvenilir ve düzgün sonuç elde etmek için gerekli olan uygun verilerin toplanması, yüksek kalite arıza ve tamir verilerinin toplanmasıdır. (Choi ve Chang 2016)

### **2.3.3. RAM Analizi Tarihçesi**

Son 40 yıldır güvenilirlik analizi risk analizi, üretim kullanılabilirlik çalışmaları ve sistemlerin tasarımı için kullanışlı bir araç olarak kullanılmaktadır. (Sharma ve Kumar 2006)

Güvenilirlik analizi yıllarca genel olarak risk analizinde, üretim kullanılabilirlik çalışmaları ve güvenlik sistemlerinin tasarımında kullanılmıştır. Analiz metotlarını araştırmada güvenlik konularından ziyade üretim süresince bakım ve üretim planlama dikkate alınmıştır. İlave olarak verilerin nasıl bulunacağı da araştırılmıştır. (Michelsen 1998)

RAM analizi yıllarca önemli ekipmanların hata adetlerini düşürmek için şirketler tarafından kullanılmıştır.

RAM analizi ilk olarak NASA ve Amerikan hava kuvvetleri tarafından uygulanmıştır. Daha sonraları özellikle ev aletleri üreticileri tarafından ürünün garanti periyodu boyunca maliyetleri düşürmek için geliştirilmiştir. (Akkaya 2013)

### **2.3.4. RAM Analizi Kullanım Alanları**

RAM analizi petrol ve gaz endüstrisinde sistemlerin kullanılabilirliğini ölçmek için kullanılır. Tasarım aşamasında kullanımı oldukça yaygındır. Uzay, nükleer güç ve proses endüstrilerinde uygulanabilmektedir. (Wang 2012)

RAM analizi daha önceleri kavramsal tasarım fazı standartların ve önemli gereksinimlerin sağlanmasına yarayan mühendislik tasarımlarında kullanılıyordu. Ancak şu an kavramsal tasarım fazlarında RAM analizi kullanılabilmektedir. (Wang 2012)

RAM analizi bir sistemin gelecekteki kullanılabilirliğini tahmin etmek ve ekipmanın performansını artıran değişiklikler yapmak için kullanılır. (Akkaya 2013)

Günümüzde birçok şirket RAM analizini tasarım aşamasında uygulamak için güvenilirlik programları hazırlamaktadır. RAM analizinden gelecek sonuçlara göre üreticiler güvenilirliği artırmak için proje veya üründe gerekli değişiklikleri yapmaktadırlar. Ürünün satılmasından sonra yapılacak olan tamir ve düzeltmeler ürün veya şirketin piyasadaki ününü olumsuz etkilemektedir. Ondan dolayı RAM analizi hemen hemen tüm mühendislik alanlarında uygulanabilmektedir. Tamir edilebilen ve

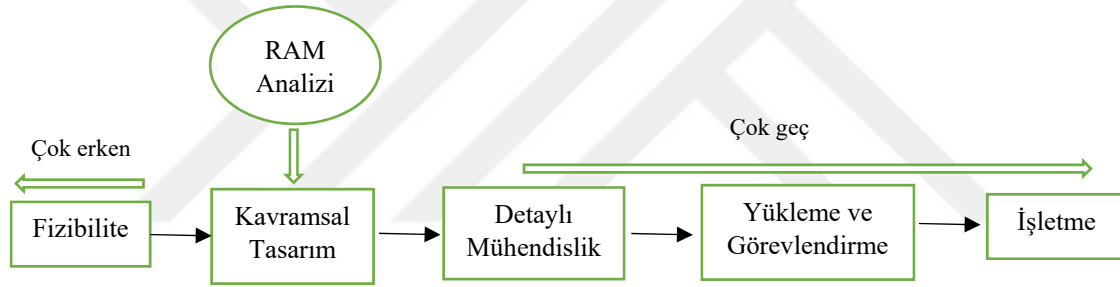
edilemeyen tüm malzemeler için günümüzde güvenilirlik analizi MTTF ve MTBF temelinde yapılmaktadır. (Akkaya 2013)

Risk değerlendirme, RAM analizi, güvenilirlik merkezli bakım, riske dayalı teftiş ve insan güvenilirlik teknikleri iş sürekliliği yönetim programlarında anahtar destek aracı olarak dikkate alınmalıdır. (Faertes 2015)

RAM analizi bakım kararlarının alınma aşamasında önemlidir ve bundan dolayı karlı ve emniyetli üretim tesislerinin yönetimi için gereklidir. (Naseri ve ark. 2016)

RAM bir mühendislik aracı olarak tasarım proseslerinde farklı seviyelerde ekipman performansını inceler ve sistemin performansını geliştirmek ve tahmin etmek için kullanılır. Operasyon ve iş güvenliği konularını belirler ve gelişmenin başladığı sistem veya prosesteki bölgeleri belirlemeyi amaçlar. (Sharma ve Kumar 2009)

**Şekil 5: Proje yaşamında RAM analizi**



(Wang 2012)

Şekil 5 bir projenin yaşam döngüsünü göstermektedir. Görüldüğü üzere RAM analizini uygulamak için en uygun zaman kavramsal tasarım zamanıdır. Bunun yapılması ile detaylı mühendislik çalışmaları öncesi sistem optimize edilebilir. Tasarım, işletme ve bakım stratejileri seçilir. Mühendislik fazı başladığı zaman önemli değişiklikler yapmak çok maliyetli ve olanaksız olacaktır. (Wang 2012)

### 2.3.5. RAM Analizi Faydaları

Endüstriyel sistemler genellikle karmaşıktır ve tamir edilebilirdir. Ancak bazı durumlarda arıza ve tamir verileri yetersiz olabilir. Bu gibi durumlarda RAM analizi optimum performansı yakalamak için herhangi bir tasarım modifikasyonunda önemli rol oynar. Bununla birlikte, bu tip sistemlerin RAM parametrelerini istenilen seviyeye getirmek eldeki bilgi ve kesin olmayan verilerle zordur. (Sharma ve Kumar 2009)

RAM, prosesin toplam kullanılabilirlik performansında ekipman oranını araştırmak için çok kullanışlı bir araçtır. Bu metot ekipman kritikliliğini ve maliyeti sistem kullanılabilirlik performansını dikkate alarak gözlemler. (Tolvanen 2011)

Güvenli ürün üretmek bakım olasılıklarının düşürülmesi de en önemli amaçlardan birisidir. (Akkaya 2013)

Bir RAM çalışması amaçları görmek ve yeni platformlar veya süreç tesisleri tasarımının erken safhalarında tasarımı görmek için kullanılır. (Michelsen 1998)

RAM analizi banyo küvet eğrisinde hataların çoğunun yapıldığı ilk kısmı kısaltmıştır. Bundan dolayı üreticiler RAM analizinin özellikle tasarım periyodlarındaki faydalarına inanmaktadırlar. RAM analizine verilen önem, güvenilirlik konusunun okullarda ders olarak okutulmasına da etki etmiştir. Güvenilirlikle ilgili uluslararası toplantılar, konferanslar ve eğitimler düzenlenmektedir. Kompleks sistemlerin güvenilirlik hesaplamalarını yapmak için bazı ticari yazılımlar da geliştirilmiştir. (Akkaya 2013)

RAM analizi yapıldığında tasarım yapılandırması, bakım çizelgeleri ve lojistik planlamaları optimize edilerek sistemin kullanılabilirliği belirlenir. (Wang 2012)

Bir sistemin RAM analizi, tasarım modifikasyonları yaparken, gerektiğinde minimum hataya ulaşmada veya hatalar arası ortalama zamanı artırmada (MTBF) ve buna bağlı olarak sürdürülebilirlik gerekliliklerini planlamada, güvenilirliği optimize etmede ve ekipman kullanılabilirliğini maksimize etmede kullanılabilir. (Sharma ve Kumar 2006)

RAM analizinin bir sistemde olması yöneticilere aşağıdaki faydaları sağlar: (Sharma ve Kumar 2006)

- MTBF ve MTTR gibi bakım planlaması için önemli olan güvenilirlik karakteristiklerini anlamayı sağlar.
- Arızayı, arıza sıklığını, arıza pozisyonlarını, arıza modlarını anlayarak sistemde FMEA'yı başlatmayı sağlar.
- MTTR verilerine göre bakım gereksinimleri belirlenir ve bakım süresi en etkin bir şekilde değerlendirilir.
- Sistemin RAM gereksinimlerini çözmeye yarar.

## **2.4. RAM Analizi Metotları**

RAM analizinde 2 tür yaklaşım vardır: Analitik ve Simülasyon Yaklaşımı.

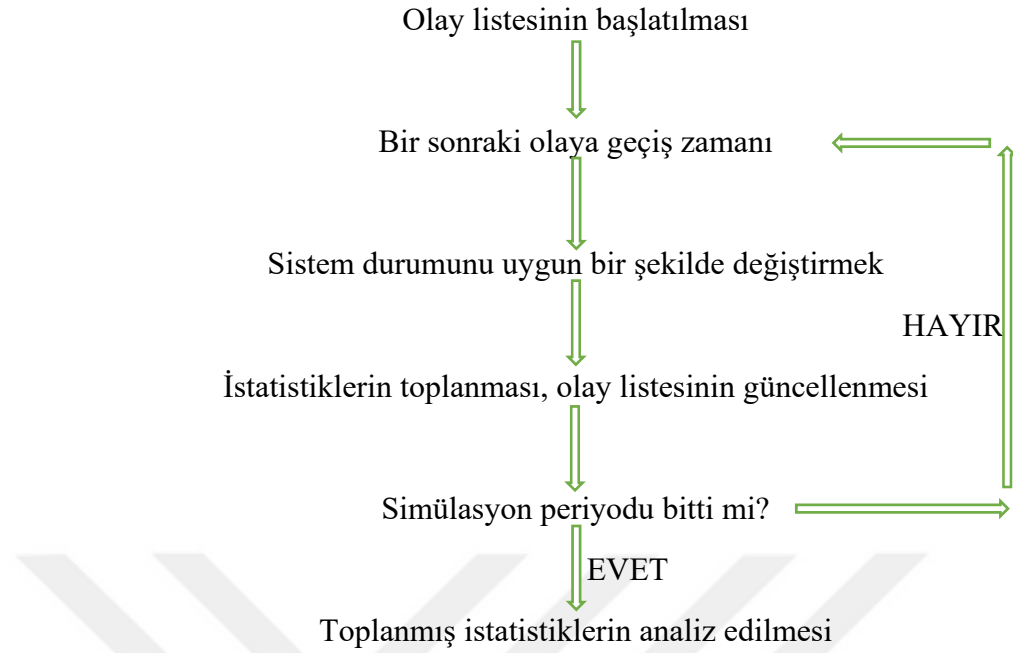
### **2.4.1. Analitik Yaklaşım**

Analitik yaklaşım önceden tanımlanmış formüller üzerine kurulmuştur. Kavramsal tasarım fazlarında uygulanması kolay olabilir fakat büyük ve kompleks sistemlerde kullanımı oldukça zayıftır. Arıza durumlarına hemen müdahale edildiği ve bakım yapılan ekipmanın yeni ekipman kadar iyi olduğu varsayımlarına dayanır. Kritik sistemlerin güvenliği için yeterli değildir. Asimptotik Yaklaşım ve Markov Analizi gibi çeşitleri vardır. Bakım stratejilerini modellemede Markov Analizi daha yaygın kullanılmaktadır ve işlem süresi daha uzundur. Sistem karmaşıklıklaştıkça bu süre uzamakta ve Markov Analizi yerine Simülasyon Yaklaşımı'nı kullanmak daha uygun olabilmektedir. Genel olarak Markov detaylı sonuçların geçerli olduğu proje gelişim fazlarında küçük ve orta ölçekli sistemler için uygundur. (Wang 2012)

### **2.4.2. Simülasyon Yaklaşımı**

Simülasyon yaklaşımı daha fazla esnek ve kabiliyetli olmakla birlikte kompleks sistemlerin modellenmesinde kullanılır. Simülasyon yapılarak daha detaylı ve kesin sonuçlar elde edilebilir. Simülasyon yaklaşımı Monte Carlo simülasyonu olarak belirtilmektedir. Bu yaklaşım öncelikli olarak dinamik sistemlerin davranışını modellemek için kullanılır. Bu sistemler arıza, bakım, planlı denetim gibi rastgele olaylardan etkilenir. Simülasyon süresini korumak için bu yaklaşım sadece kritik parçaları dikkate alır. (Wang 2012)

**Şekil 6: Simülasyon prosedürü işleyişi**



(Wang 2012)

Tipik bir simülasyon prosedürü Şekil 6’da gösterilmiştir. Analitik yaklaşımla kıyaslandığında simülasyon yaklaşımı çok esnektir. Karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve hava şartları, üretim profili, bakım felsefesi gibi farklı faktörlerin iyileştirilmesinde kullanılmaya uygundur. Her işletim yılının üretimi dikkate alınırsa, elde edilen sonuçlar zamana bağlı ve gerçek üretim kullanılabilirliğini yansıtmaktadır. Detaylı bir RAM çalışması gerektiğinde sadece simülasyon yaklaşımı yapılarak verimli sonuçlar elde edilebilir. Ancak veri toplama sürecinin çok zaman alması veya yetersiz olması simülasyon yaklaşımında başarısızlığa sebep olabilir. (Wang 2012)

## 2.5. RAM Analizinde Simülasyon Yöntemleri

Simülasyon yaklaşımını yapmak için bazı yazılım araçları geliştirilmiştir. Miriam Regina, MAROS ve Extendsim bunlardan en önemlileridir (Wang 2012).

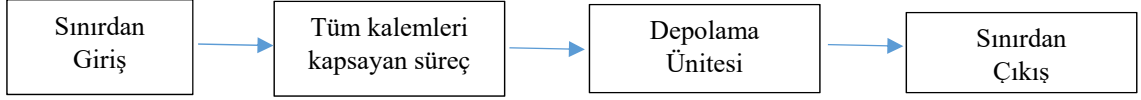
Bu simülasyon tekniği direkt simülasyon metodu olarak bilinir. Dijital sistem modeli farklı bir bölgeden diğerine olaylar dizininin meydana gelmesi ile taşınmaktadır.(Faertes 2015)

Simülasyonun ilerlemesi bir olayın olmasından diğer olayın olmasına, modellenmiş sistemin simülasyon süresi bitene kadarki basamaklardır. (Faertes 2015)

### 2.5.1. MAROS Yazılımı

MAROS (Maintainability Availability Reliability Operability Simulation) Jardine Dn associates Ltd. tarafından geliştirilmiş olan bir simülasyon aracıdır. Akış ağı yaklaşımı ve Monte Carlo simülasyonunun birleşimini ifade eder. (Wang 2012)

Şekil 7: Süreç akış ağı



(Wang 2012)

Şekil 7’de gösterildiği gibi akış ağı güvenilirlik blok diyagramlarından (RBD) oluşmaktadır. Üretim sisteminin çıktılarını ifade eder. Her bir alt sistemin çıktıları değişirse sistemin toplam çıktısı da değişir. Model içinde sistemin sınırları, depolama ve bakım kuralları gibi bilgiler vardır. (Wang 2012)

Simülasyona başlamak için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç olacaktır: (Wang 2012)

- Simülasyon uzunluğu: sistemin yaşam döngüsü
- Cevapların sayısı: daha fazla cevap demek sonuçların daha düzgün olması demektir
- Çıktı raporları: ihtiyaca göre çeşitli raporlar seçilebilir

Girdi parametreleri ve çıktı raporları Excel’de elde edilebilir.



**Tablo 2: MAROS'un ana girdi ve çıktıları**

Model Girdisi	Simülasyon Çıktısı
Ekonomi	Üretim Analizi
<ul style="list-style-type: none"><li>• Birim maliyetler, ürün fiyatı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kullanılabilirlik</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• CAPEX (Capital Expenditure-Yatırım Harcamaları)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Üretim etkinliği</li></ul>
Üretim	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ekipman kritikliliği</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rezervuar (depo) azalması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sözleşme/üretim eksiklikleri</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tesis devreye alımı veya kaldırılması</li></ul>	
Operasyon	Net bugünkü değer (NPV) nakit akışı
<ul style="list-style-type: none"><li>• Malzeme güvenilirliği</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fazlalık</li></ul>	Bakım analizleri
Bakım	<ul style="list-style-type: none"><li>• İşgücü harcaması</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kaynaklar, bakım önceliği</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Seferberlik frekansı</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• İş vardiyaları, kampanya/fırsat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Planlı bakım çizelgesi</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lojistik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yedek/iş gücü kullanımı</li></ul>
Ulaşım	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tur/döngü gecikmeleri</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Hava faktörleri</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Servis aracı</li></ul>	

(Wang 2012)

MAROS, aynı anda hem kullanılabilirlik hem de karlılık için optimizasyon fırsatları elde edilmesinde etkilidir. Ekonomik verilerde iyileşme sağlayabilir. Geniş çeşitlilikteki karmaşık parçaların, sistem davranışlarının ve işletme ve bakım uygulamalarının modellenmesinde etkilidir. (Wang 2012)

MAROS bir Yaşam Döngü Maliyet Analizi'dir (Life Cycle Cost - LCC Analizi). Ağırlıklı olarak petrokimya tesislerinde kullanılır. LCC analizi, RAM analizi, ekonomik ve risk analizi gibi analizleri içeren bir analizdir. LCC analizinin temel amacı bir ürünün araştırma geliştirme, yapım, işletim, bakım ve atma maliyetleri gibi temel yaşam döngüsü boyunca karşılaştığı maliyetlerini ölçmektir. LCC analizinin bir parçası olan RAM analizi simülasyon ve analitik yaklaşımları kullanılarak yapılabilir. (Wang 2012)

## 2.5.2. TARO Yazılımı

MAROS üzerine geliştirilmiş bir diğer simülasyon aracı da TARO (Total Asset Review Optimization)'dur. MAROS'un tüm fonksiyonlarına ilave olarak TARO aşağıdaki konularda daha etkin kullanılabilir: (Wang 2012)

- Çoklu ürün veya çoklu akışların yönetiminde
- Detaylı bakım analizlerinin yapılarak bakım ekiplerinin yapılmasında
- Daha detaylı OPEX (Faaliyet Giderleri) profillerinin desteklenmesinde

## 2.6. Simülasyon Yazılımları Hakkında Bilgilendirme

Birbirlerine yakın mantıkta çalışan MAROS ve TARO gibi programların çalışma anlayışı hakkında aşağıda daha detaylı bilgiler verilmiştir:

### 2.6.1. Simülasyon Yazılımı Felsefesi

İlgili simülasyon yazılımları, simülasyon teknikleri kullanarak bir sistemin performansını tahmin eder. Burada sözü edilen performans bakım etkinliğidir. Araştırma altındaki bir sistemin güvenilirlik, bakım ve işletme kuralları yaşam döngüsü senaryolarını oluşturmak için olay odaklı algoritma kullanılır. Yaşam döngüsü simülasyonu ve tasarım yaklaşımı bazı önemli faydalar sağlamaktadır:

- Büyük ve karmaşık sistemlerde diğer metotlar tarafından elde edilemeyen detayların bir seviyeye kadar analiz edilebilmesi sağlanır.
- Simülasyon yazılımları bir sistemi optimize etmek için yeterlilik sağlayan bir tasarım aracıdır.
- Sistem basit ve kullanılabilir; kullanıcıların analist olmasına gerek yoktur.

Yazılım, tüm tedarik zinciri ağının modellemesini yapar. Modellemede sistemin karmaşıklığı, üretim ve talep profilleri, çeşitliliği ve tüm bireysel yapılar dikkate alınır. Bu model sonuçta analiz edilebilir, parametreler değiştirilebilir, performans etkisi değerlendirilebilir ve böylece anahtar performans değerlerinin optimizasyonu desteklenebilir. (Faertes 2015)

Yazılım, önerilen sistemlerin tipik yaşam döngüsü senaryolarını yapmakta ve olayın akışına göre simülasyon teknikleri oluşturmaktadır. Bunların en önemli gücü çoklu hammadde ve akış sistemlerini yönetebilme kabiliyetidir. (Faertes 2015)

Bir yaşam döngüsü senaryosu, gerçekte bir sistemin davranışı ifade eden olayların kronolojik sıralamasıdır. Yazılım, herhangi bir sistemde bu senaryolara bir numara verir. (Faertes 2015)

Bir sistemde yaşam döngüsü senaryoları oluşturulmadan önce bazı temel sistem detaylarının yazılım tarafından anlaşılması gerekir. Bu, sistem üzerindeki mantık modellenmesinde ana elementlerin tanımlanması ile yapılır. (Faertes 2015)

Yazılım sonuçları tüm gaz ağ sistemi için belirli bir sürede ortalama üretim etkinlik değerlerini hesaplar. Ayrıca etkinliğin maliyet değerlerini de gösterir. (Faertes 2015)

MAROS ve TARO DNV GL yazılımlarıdır. DNV GL yazılımları, petrol ve gaz endüstrisi, petrokimya ve kimya endüstrisi için performans analiz aracıdır. Yazılımlar birçok karmaşık ve ilişkili olmayan parametreleri tek bir modelde birleştirirler: (DNV GL Software 2016)

- Ünitelerin güvenilirliği
- Ünitelerin kapasitesi
- Çoklu ürün akışları ve kazançlar
- Depolama
- Operasyonel esneklik ve tank seviye yönetimi
- Transport ve lojistik
- Bakım stratejisi

DNV GL yazılımları, tesisin verilen yaşam döngüsü içerisinde başarılabilir performansı tahmin edebilmek için olaylara endeksli simülasyon teknolojisini kullanmaktadırlar. (DNV GL Software 2016)

DNV GL yazılımları, tesis sahipleri ve operatörlerin karmaşık sistemleri modelleyebilmelerini ve kantitatif performans analizi yaparak tesislerinin tasarım, işletme ve bakım kararlarını alabilmelerini sağlarlar. Bu yazılımların en önemli gücü karmaşık işletme stratejileri ile çoklu hammadde ve ürün akışlarını yönetebilme yetenekleridir. (DNV GL Software 2016)

Bir yaşam döngüsü senaryosu, gerçek zamanda bir sistemin davranışında olayların kronolojik sıralamasıdır. DNV GL yazılımları, herhangi bir sistem için farklı

senaryolar üretebilirler. Olaylar, sistem hayatındaki önemli anlardır ve sistemin etkinliğini belirler. (DNV GL Software 2016)

Bir sistemde yaşam döngüsü senaryolarını üretmeden önce DNV GL yazılımlarının bazı temel sistem detaylarını anlaması gerekir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.2. Olaylar**

Olaylar, bir sistemin yaşam süresinde gerçekleşen ve sistemin davranışını etkileyen faaliyetleri içerir. Bir sistem, rutin işleyişte farklı olaylarla karşılaşabilir. Örneğin ekipman arızası ve tamiri, rutin muayene ve bakım gibi. Yazılımlarda olaylar aşağıdaki krokideki gibi karakterize edilebilir. Bir olayı tanımlayan toplam 6 önemli parametre vardır: (DNV GL Software 2016)

Çalışma Süresi – Arıza gerçekleşene kadar geçen süre (Time To Failure)

Arıza Tamir Edilme Süresi - Toplam duruş zamanı (Time To Repair)

Arızada Kapasite Kaybı – Arıza kaynaklı ilk kayıplar (Capacity Loss At Failure)

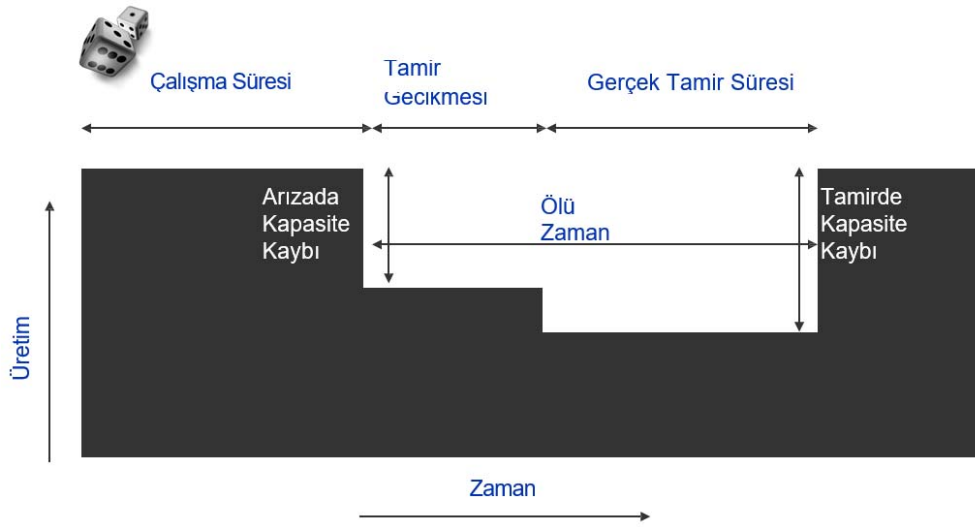
Tamirde Kapasite Kaybı - Arızanın tamiri süresindeki kayıplar (Capacity Loss At Repair)

Tamir Gecikmesi – Tamire başlama öncesi hazırlık evresi (Delay In Commencing Repair)

Gerçek Tamir Süresi – Hazırlık sonrası yapılan tamir işlemleri (Actual Repair Time)

Bir sistem çalışırken arıza olduğunda anlık sistem duruşu olacağı için arıza kaynaklı kapasite kaybı olacaktır. Gerekli tamir işlemleri başlayana kadar bir süre geçecektir. Tamir başladıktan sonra ilave kapasite kayıpları olabilir. Tamirat bittikten sonra ise eski kapasite değerine ulaşılabacaktır. (DNV GL Software 2016)

Şekil 8: Olay şeması



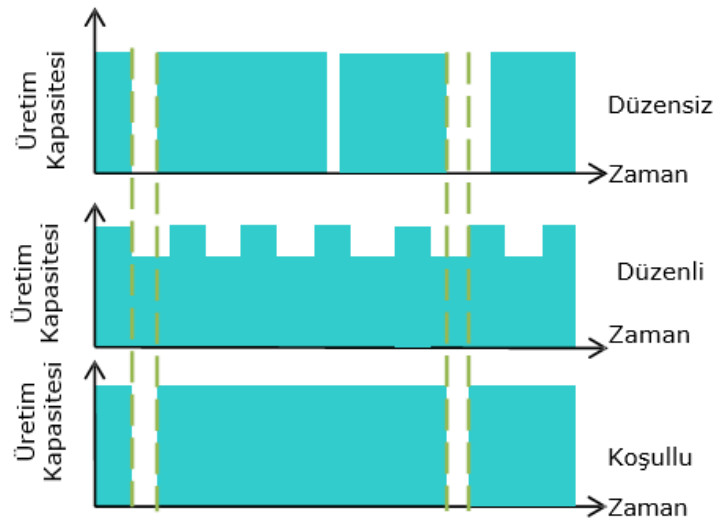
(DNV GL Software 2016)

$$\text{Üretim Etkinliği} = (\text{Üretilen Gerçek Miktar} / \text{Üretilebilir Gerçek Miktar}) * 100$$

Simülasyon prosesi farklı yaşam döngülerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Ortalama üretim etkinliği ise tüm yaşam döngülerinin değerleri alınarak hesaplanır. (DNV GL Software 2016)

$$\text{Ortalama Üretim Etkinliği} = (\text{Tüm Yaşam Döngülerinde Üretilen Gerçek Miktar} / \text{Tüm Yaşam Döngülerinde Üretilebilir Gerçek Miktar}) * 100$$

Şekil 9: Düzensiz, düzenli ve koşullu olaylar



(DNV GL Software 2016)

Olaylar başlangıç mekanizmalarına bağlı olarak sınıflara ayrılır: Düzenli olmayan (düzensiz) olaylar, düzenli olaylar ve koşullu olaylar. Düzensiz olaylar planlanmamış ve

rastgele olan olaylardır. Sistemdeki ekipman arızaları en yaygın olanlarıdır. Düzenli olaylar planlı aktivitelerdir. Ekipmanın rutin denetim ve bakımı, sistem parçalarının devreye alınması veya iptal edilmesi örnek olarak verilebilir. Koşullu olaylar diğer olayların olmasıyla başlayan özel bir grup olaylardır. Bu olaylar, bireysel olaylar ve sistem performans ve yönetimindeki olay gruplarının arasındaki bağılılığı tanıtmak için güçlü bir mekanizmadır. (DNV GL Software 2016)

Olaylar mantık modelinin elementlerinden meydana gelir. Bu elementler ekipman arıza modlarıyla, teftiş ve bakım çizelgeleriyle ilişkilidir. (DNV GL Software 2016)

Tesis içindeki sistemlerin arızalanması durumunda bakım harcaması yapılır. Bakım esnasında bu harcamalara ilave olarak sistem duruşu kaynaklı elde edilemeyen bir gelir vardır. Biz buna kaçan kar fırsatı diyoruz. Yani bakım esnasında bakım harcaması + kaçan kar fırsatı değeri sistemin toplam zararını gösterir.

Yazılımlar, proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarına uygulanabilirler. Proje aşamalarındaki zorlukların aşılmasında destek verirler. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.3. Yaşam Döngüsü Senaryosu**

Bir yaşam döngüsü senaryosu, bir sistemin gerçek zamanda davranışını simgeleyen olayların kronolojik sıralamasıdır. Simülasyon yazılımları herhangi bir sistem için farklı senaryoların sınırsız bir numarasını oluşturabilir. Yaşam döngüsü senaryoları gruplarını analiz ederken sistem performansı ile ilgili istatistikler ortaya çıkarılır. (DNV GL Software 2016)

Bir sistem belirli bir ürünün üretilmesi, servis hizmeti sağlanması, çok özel bir fonksiyonu yerine getirmek gibi temel spesifikasyonlar ve gereksinimleri karşılamak için tasarlanır. (DNV GL Software 2016)

Performans karakteristikleri, sistemin tasarım gereksinimlerini karşılama yeteneği ve bu gereksinimlere ulaşılması için nasıl davranılacağı hakkında sonuç veren bir grup istatistiki değerdir. Performans karakteristiklerinin neleri kapsadığı hakkında belirli bir kural yoktur Simülasyon yazılımları 3 ana konuya odaklanır: (DNV GL Software 2016)

- Yaşam döngüsü profilleri, histogramlar, yıllık raporlar ve istatistiksel analizler kapsayan kullanılabilirlik/verimlilik verileri

- Tasarım eleştirisi: Sistem zayıflığının tanımlanması, üretimde darboğazlar, tasarım fazlası ve zayıflığın etkileri
- Sistem bakımı: bakım stratejileri, servisler ve ekipman, yedek parça stokları, işletim maliyetleri.

#### **2.6.4. Sistem Modellemesi**

Bir sistem için yaşam döngüsü senaryolarının oluşturulmasından önce yazılım için kullanıcının araştırdığı temel sistem detaylarını anlamak gereklidir. Bu duruma bir sistem mantık modeli ile başlanır. Simülasyon yazılımları modelleme süreçleri aşağıdaki fazlara sahiptir: (DNV GL Software 2016)

Faz-1: Tesis Üretim Operasyon Tanımlaması (besleme tedarikleri, kazançlar, malzeme dengeleri, karışım kuralları, satış akışları, talep kısıtlamaları, yığın taşıma lojistiği, tampon seviye yönetimi işletme kuralları, oran yönetimi işletme kuralları)

Faz-2: Proses ve Ekipman Tanımlaması (ekipman düzeni, fazlalık, güvenilirlik ve temel bakım verileri)

Faz-3: Tesis Destek Lojistikleri ve Bakım Stratejisi (bakım kaynakları (bakım ekipleri, parçalar, takımlar vs.), yer, seferberlik zamanları, revizyon planları vs.)

Faz-4: Ekonomik Analiz (sermaye harcamaları, işletme harcamaları, nakit akış üretimi vs.)

#### **2.6.5. Simülasyon Yaklaşımı**

DNV GL yazılımlarında uygulanan simülasyon tekniği olay oluşumuna dayalıdır ve direkt simülasyon metodu olarak bilinmektedir. Sistem olayların oluş sıralamasına göre çalışmaktadır. Simülasyon süreci basamak basamak ilerlemekte olup bir olayın olmasından diğer olayın olması aşamalarına kadar sürer. (DNV GL Software 2016)

Yaşam döngüsü senaryoları simülasyon boyunca sistem modellemesini sürekli izlenen verilerin açıklanması ile yapmıştır. Bir simülatörün başarısı olayları yönetebilmesi ve uygun aksiyonlar alması ile olmaktadır. Yazılım etkili ve zeki bir olay yönetim algoritmasına sahiptir. (DNV GL Software 2016)

Simülasyon yaklaşımı alternatif analiz metotları içerisinde önemli avantajlara sahiptir: (DNV GL Software 2016)

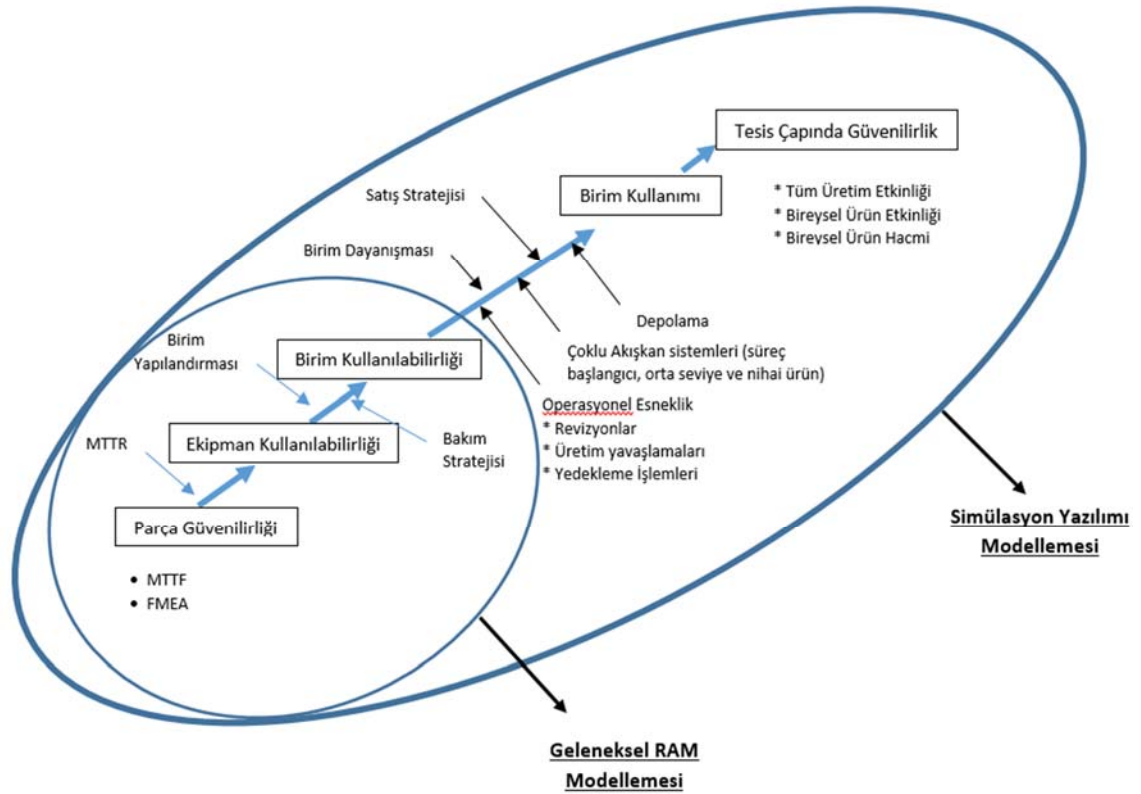
- Simülasyon yazılımı sistemin yaşam ömrü boyunca sürekli değişiklikler içeren dinamik analizler yapar. Ekipman fonksiyonelliği, farklı arıza modları ve sonuçları, eş zamanlı/ardışık/şartlı olaylar, işletme ve bakım felsefeleri, servis ve personelin kullanılabilirliği, tampon depoların durumu konuları incelenir. Nihai olarak, böyle durumlarda belirleyici metotlar (kararlı hal kullanılabilirliği, hata ağaçları, güvenilirlik blok diyagram teknikleri) kullanarak performans karakteristiklerini hesaplama işlemleri fiilen mümkün değildir.
- Simülasyon teknikleri sistem ömrü üzerinde verimlilik profili gibi sonuçların dağılımını sağlamaktadır. Halbuki bilinen metotların çoğu ilk hata zamanı ve beklenen hata sayısı gibi tek bir değer sağlamaktadır. Sistem davranışı tam olarak daha fazla kavrama (anlama) dağılım sonuçlarının elde edilmesi ile anlaşılabilir yönlendirilebilir. Ayrıca kullanıcının sistemle ilişkili olarak performans tutarlılığından bazı şeyler kavranabilir.
- Performans simülatörünü kullanmanın bir önemli avantajı ise kullanıcı sistemin iyi ve kötü noktaları hakkında doğru bilgiler elde edilir. Bu bilgiler sistemin tasarımı veya işletimi ile alakalı olabilir. Bu kavrama kullanıcıya sistemi geliştirmesi için yardımcı olur.
- Model oluşturulduktan sonra tasarım değişikliği kolaylıkla değerlendirilebilir. Bilinen bir soru olan “olursa sonra ne olur?” sorusu cevaplanabilir. Performans optimizasyonu oldukça hızlı bir süreçtir.

DNV GL yazılımları, hammaddelerin farklı imkanlar kullanılarak dağıtım noktasından satış noktalarına iletilmesi için olay odaklı bir simülasyon araçlarıdır. (DNV GL Software 2016)



## 2.6.6. Simülasyon Analiz Seviyeleri

Şekil 10: Analiz seviyeleri



(DNV GL Software 2016)

Geleneksel RAM Analizi'nde, tesiste kullanılan parçaların güvenilirliği, arızasız çalışma süresi (MTTF) ve hata türü etkileri analizi (FMEA) ile ilgili iken ekipman ve birimin kullanılabilirliği, tamirat süresi (MTTR), birim yapılandırması ve bakım stratejisi ile ilgilidir. (DNV GL Software 2016)

Simülasyon Yazılımı Modellemesi ise buna ilave olarak birim kullanımında operasyonel esneklik, birim dayanışması, satış stratejisi, çoklu akışkan sistemleri ve depolamayı kapsarken, tüm tesis çapında üretim ve ürün etkinliği ve ürün hacmini de kapsayan geniş bir tesis kullanım ve güvenilirlik uygulamalarını içermektedir. (DNV GL Software 2016)

### 2.6.6.1. Analizin Amaçları ve Detayları

Simülasyon analizinin temelde aşağıdaki amaçları olduğu ifade edilmiştir: (DNV GL Software 2016)

- Çalışma süresi / kullanılabilirlik in belirlenmesi

- Performansı geliştirmek için sistem modifikasyonlarının tanımlanması
- Bakım iş yükünün tahmin edilebilmesi
- Yedek parça optimizasyonu

Hazırlanan bir modelde aşağıdaki detayların olması da verimli bir çalışma açasından önemlidir: (DNV GL Software 2016)

- Ekipmanlar
- MTTF & MTTR ler (Ekipman performans verileri veya arşiv/genel veri kaynaklarından)
- Planlı bakım (yenileme)
- Bakım cevap süreleri
- Kaynak kısıtlamaları
- Yeniden başlatma zamanları

#### **2.6.6.2. Tesis Çapında Güvenilirlik Analizi**

Müşterilere ürün tedarigi yapabilmek için ekipman/birim güvenilirliğinin etkisi aşağıdaki parametreler dikkate alınarak değerlendirilir: (DNV GL Software 2016)

- Network (Ağ) yapılanması
- Ekipman/Birim performansı
- Tesis kapasitesi / maksimum kapasite
- Depolama
- Lojistik konuları
- İşletme stratejileri
- Bakım stratejileri

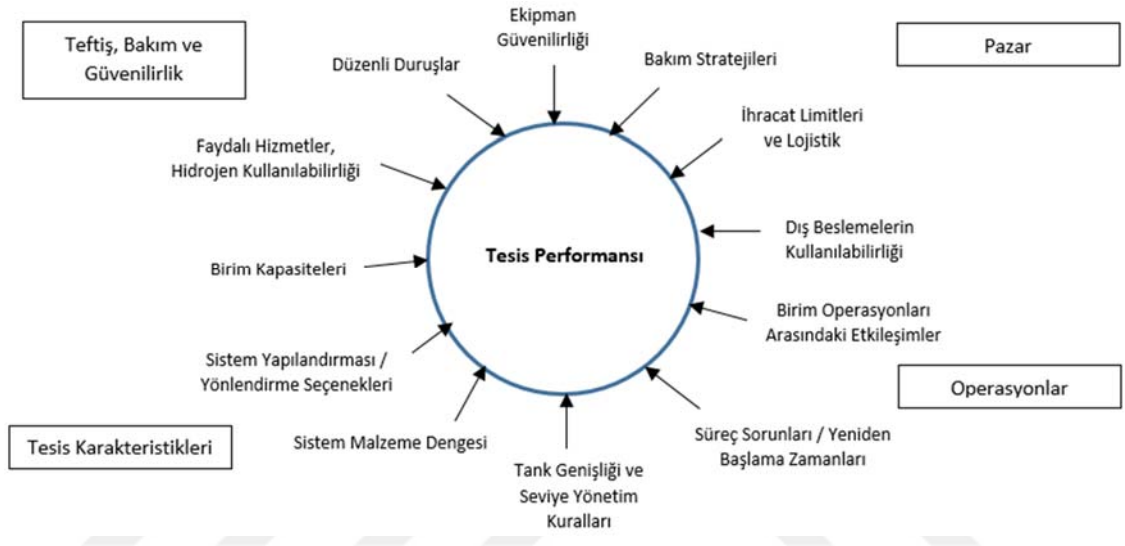
Simülasyon Yazılımı, işletme güvenilirliğini, tesis kapasitesini, depolama ve lojistik konularını da kapsayan tüm çalışmalara olanak tanır. Model, işletme kullanıcılarının zihinlerindeki aşağıdaki tipik sorulara cevap bulmasını amaçlamaktadır: (DNV GL Software 2016)

- Ekipman / Birim güvenilirliği üretim üzerinde nasıl etki eder?
- Ekipman güvenilirliğini iyileştirirsem ne olur?
- Ekipman performansı beklenenden daha kötü ise ne olur?
- Güvenilirliği artırmak için ekipman yedeği bulundurmalı mıyım?

- Optimum depolama genişliği, birim kapasitesi ve birim güvenilirliği nedir?
- Kapasite aşımını azaltarak CAPEX değerini düşürürsem benzin üretimindeki etkisi ne olur?
- Planlı modernizasyonun üretimdeki etkisi ne olur? Yeni üretim tesisleri eklemenin ve olan tesisleri elden çıkarmanın etkisi nedir?

### 2.6.7. Tesis Performansına Etkisi

Şekil 11: Tesis performansını etkileyen faktörler

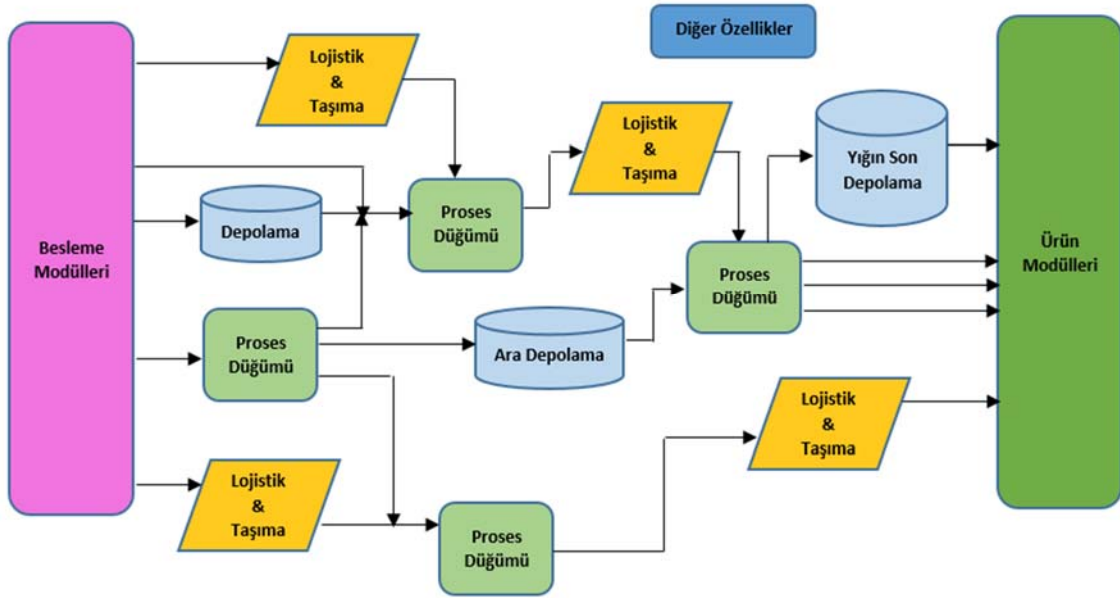


(DNV GL Software 2016)

Tesis performansı 4 önemli basamak altında etkilenmektedir. Tesisin ana karakteristiği, operasyonlar, teftiş/bakım/güvenilirlik işlemleri ve pazar faaliyetleri altında Şekil 11’de belirtilen 12 adet faktöre göre tesisin performansı etkilenmektedir. Simülasyon analizinde bu değerler kullanılabilen bir modelleme için sistem performansı açısından önemli bir girdi oluşturmaktadır.

## 2.6.8. Simülasyon Yazılımı Sistem Yapı Taşları

Şekil 12: Simülasyon yazılımı sistem yapı taşları



(DNV GL Software 2016)

DNV GL simülasyon modellemesi Şekil 12’de verilen süreç sıralamasına göre oluşmaktadır. Sistemin başlangıcında ilk besleme yapılır ve ürün üretim prosesleri, ara depolamalar, ürün taşınması, yığın depolama gibi süreçlerden sonra nihai ürün elde edilir ve satışa sunulur. Bu yapı taşlar aşağıda daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

### 2.6.8.1. Besleme Modülleri

Her sistemin besleme yöntemleri farklıdır ve çeşitli kanallardan beslenebilirler. Bir sistemi harekete geçirmek için yapılması gereken beslemeler aslında o sistemin üretim profillerinde tanımlanmıştır. Sistemin beslemesi belirli periyotlara ve dönemsel şartlara göre ayrı ayrı tanımlanmıştır. Sözü edilen bu kaynak, belirli olan her üretim verisi için değişkenlik arz edebilir. (DNV GL Software 2016)

Proseslerin beslemeleri önceliklendirilebilir. Bazı durumlarda sisteme çoklu besleme yapılması gerekebilir. Çoklu besleme durumlarda beslemeler öncelik sırasına göre devreye alınmak durumundadır. Ayrıca birim besleme öncelikleri ilk akış/son akış depolama şartlarına bağlı olarak değişebilir. (DNV GL Software 2016)

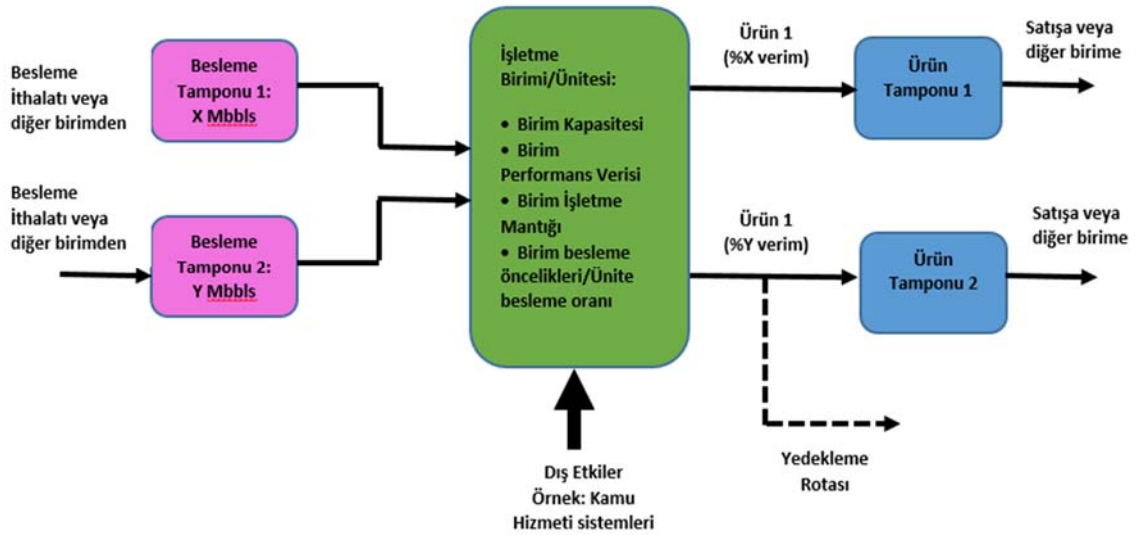
İlave olarak unutulmamalıdır ki, her birimin ihtiyacı olan bir besleme modülü olabilir. O yüzden birim besleme oranları tanımlı ise önceden karışım hazırlanarak ilgili

birime sevkiyatı sağlanabilir. Eğer bir karışım parçası ilk akış şartlarına göre değişirse diğer besleme parçaları orantılı olarak ayarlanır. (DNV GL Software 2016)

Acil durumlarda hammadde tedariksiz müşterisiz kalınmaması ve sistemin sürekliliği açısından beslemeler için birkaç yedekleme rotaları modellenmesi mümkün olup satılması planlanan ürün için farklı müşteri portföyü tanımlanabilir. Proses içinde normalde kapalı olan rotalar da tanımlanarak akış güzergahına destek verilebilir. (DNV GL Software 2016)

### 2.6.8.2. Proses Dügümleri

Şekil 13: Proses düğüm çizelgesi



(DNV GL Software 2016)

Üretim sürecinin işlediği süreç proses sürecidir, bu sürece yapılan besleme ve sonrasında çıkan ürün sistematığı Şekil 13'te gösterilmiştir.

Proses düğüm performans verileri ve işletim birimlerinde aşağıdaki elementler kullanılır: (DNV GL Software 2016)

- Paralel Bloklar (sürece beraber hizmet ederler)
- Planlı Olaylar (revizyon, planlı bakım, periyodik işlemler gibi)
- Planlanmamış Olaylar (farklı arıza ve bakım dağılımları, değişebilen arızalar)
- Koşullu Olaylar

### **2.6.8.3. Depolama Tankları**

Süreç içinde ara ve nihai ürünlerin geçici olarak stoklandığı yerlerdir. Besleme aşamasında, süreç ortasında, ihracat amaçlı ve yığma amaçlı depolama tankları vardır. (DNV GL Software 2016)

Tank seviyeleri izlenebilmektedir. Tank seviyesi belirli bir değerin altına düşer veya üstüne çıkarsa duruma göre tankın boşaltımı veya dolumu tank seviye kontrol sistemleri tarafından otomatik olarak durdurulur. Eğer tank dolu ise beslemeden gelen kaynak kısaltılabilir veya tank beslemesi baştan yönetilebilir. Tank seviye başlatıcıları ağın herhangi bir yerindeki bağımsız olayları başlatabilir (örneğin operasyonun modunu değiştirmek için). Tanktaki seviye gemilerin veya büyük kayıkların varışını kontrol için kullanılır. (DNV GL Software 2016)

Yığın tankları belirli bir sürede tutulması ve test edilmesi aşamaları ile gölge tanklar kurulması gibi uygulamalar da bu sistemin avantajlarından biridir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.8.4. Lojistik & Taşımacılık**

Lojistik, ithalat, ihracat ve ara taşımacılık için tanımlanır. Ürünlerin sevk edildiği rıhtımlar ve limanlar vardır. Yazılım, gemilerin rıhtıma yanaşmasını kısıtlayabilir. Sadece gündüz saatlerinde rıhtıma yanaşılması gibi varış ve ayrılış zaman kontrolü yapılabilir. İşletme zamanları değişken olabilir. Yükleme/boşaltma oranı takip edilebilir. Transfer ekipmanları arızaları, işletme kesintileri ve rıhtıma yanaşma gecikmeleri de sistemin takibi açısından takip edilebilen önemli verilerdir. (DNV GL Software 2016)

Taşımacılık işlemleri demiryolu, büyük kayak, gemi veya tanker ile yapılabilir. Bu taşıma sistemleri farklı büyüklüklerde ve hızları farklı olduğu için nakliye süreleri de farklıdır. Nakliye süresi ne kadar uzun ise arıza oranları da o kapsamda fazla olacaktır. Uzayan nakliyeler yeni yeni arıza modları olarak karşımıza çıkacaktır. Nakliye işlemlerinin sağlıklı olabilmesi için yıllık dağıtım planı yapılabilir ve model buna müsaade etmektedir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.8.5. Diğer Konular**

DNV GL Simülasyon Modeli sistem yapı taşlarını oluşturan diğer önemli konular aşağıda sıralanmıştır: (DNV GL Software 2016)

- Düzenli ve düzensiz olarak yapılan bakım harcamalarının kaynakları ve bunların birimler arası lojistiğinin sağlanması
- Özellikle bakım zamanlarında ihtiyaç duyulan yedek parçaların kontrolü
- Tamir ve bakım stratejilerinin belirlenmesi
- Tamir/bakım çalışmalarının aktive edilmesi olan seferberlik gecikmelerinin önceden planlanabilmesi
- Finansal analiz yapılabilmesi (besleme & ürün fiyatları, bakım & yedek parça maliyetleri gibi)
- Simülasyon sonuçlarının Excel/Word/Powerpoint olarak raporlanabilmesi

### **2.6.9. Simülasyon Nasıl Çalışır?**

Simülasyon sistemi senaryolar üzerine kurulmuştur. Bir döngü üzerine kurulan bu senaryolar yaşam döngü senaryosu olarak adlandırılır. Bir yaşam döngü senaryosu bir sistemin gerçek zamandaki davranışı olaylarının kronolojik sıralamasıdır. (DNV GL Software 2016)

Simülasyon yazılımı verilen bir sistem için senaryolar oluşturabilir. Belirli veriler girildikten sonra simülasyonun çalıştırılması sonucu yaşam döngüsü senaryoları grupları analiz edilerek sistem performansı ile ilişkili olan istatistikler elde edilebilir. Elde edilen sonuçlara göre ise sistemin etkinliği ölçülür ve gelecek planlaması ona göre yapılır. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.10. Simülasyon Modelleme Yapısının Temelleri**

Modellemenin temel parametreleri 5 adet basamak halinde aşağıda belirtilmiştir:

#### **2.6.10.1. Başlangıç Parametreleri**

Modellemeye başlangıçta bir sistem atanmalı ve bu sistemin bir ömrü olmalıdır. Model genelde uzun ömürlü sistemlere göre dizayn edilmiştir. Yapılması istenen simülasyon belirli sayıda tekrar olacak şekilde düşünülmelidir. Yani bir simülasyon sayısı olmalıdır. Burada önemli bir konu ise bu modellemeler normalde sistem daha devreye girmeden tasarım aşamasında yapılmalıdır. Sistemin tabiki başlangıçta öngörülen bir kapasitesi vardır. Bu da belirtilmelidir ve bu “model tasarım kapasitesi” olarak adlandırılır. Başlangıçta yapılacak en son şey ise tasarım aşamasındaki süreç modellemede çizilmeli ve modele özgü bir görürüm ortaya çıkarılmalıdır. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.10.2. Ağ ve Dügümler**

Hazırlanan üretim sürecine ilave olarak üretim sonrasında sevkiyatın takip edeceği rota da belirlenmelidir. Burada ürünün ara ve ana depoları, limanda alacağı pozisyonlar, gemilerin rıhtıma yanaşması, yığın bir şekilde yapılan nakliye süreçleri gibi parametreler bir ağ ve düğüm yapısı üzerinde ifade edilebilir. Tüm bu kısımların kapasiteleri, hammaddeden sevkiyata kadar olan süreçteki besleme öncelikleri, elde edilecek getiriler, ihracat rotası, ürün sıra numaraları belirlenmiş olmalıdır. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.10.3. Performans Verileri**

Daha önceki konularda ifade ettiğimiz simülasyon olaylarındaki planlı, plansız ve şartlı olaylara ait tüm performans verileri düşünülmüş olmalıdır. Tasarım aşamasında olaylarla ilgili elde edilebilecek bu veriler model için önemli girdi değeridir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.10.4. Model Çıktısı**

Modelde çıktı olarak ilgili ünitelerin kullanım değerleri elde edilir. Kuracağımız tesisin üretim ve depolama performansı en baştan anlaşılabilir. Elde edilecek gelir/maliyet dengesine göre kar/zarar oranları da belirlenmiş olacaktır. Sonuç olarak bu model başlangıç aşamasında tesis kuruculara güvenli bir tesis oluşumunda yol gösterecektir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.10.5. Simülasyon Modellemesi - Sorular**

Gelişmiş simülasyon modelinin aşağıdaki sorulara cevap vermesi beklenir: (DNV GL Software 2016)

- Elde edilmiş besleme kullanımı nedir?
- Elde edilmiş proses ünite ve son ünite kullanılabilirlik ve kullanımı nedir?
- Tüm 3 ürün için elde edilmiş üretim nedir?
- Bu sistem için yıllık gelir nedir?
- Hassasiyet analizi (depolama tank genişliğinin etkisi, özel ürün satışlarına izin vermenin etkisi, her ünite için gelişmiş güvenilirliğin etkisi)



### **2.6.11. Simülasyon Modeli Anahtar Parametreleri Tanımlamaları**

Yazılımın verimli çalışması kullanılabilirlik ve kullanım değerleri ile ölçülebilir. Kullanılabilirlik, sistemin fonksiyonlarını yerine getirebildiği toplam zamanın bir kısmı olarak dikkate alınabilir. (DNV GL Software 2016)

$Kullanılabilirlik = \text{Çalışma Zamanı} / \text{Toplam Zaman}$

Sistem üzerindeki her bir birimin kullanılabilirlik değerleri farklı olabilir.

Kullanılabilirlik, bir ünitenin kapasitesinin yüzdesi olarak, maliyetler dikkate alınmadan, gerçekleşen ortalama çıktı olarak da tanımlanabilir. (DNV GL Software 2016)

Kullanım ise ünite kapasitesinin yüzdesi olarak gerçekleşen gerçek ortalama çıktıdır. (DNV GL Software 2016)

Kullanım maliyetlerini sistemdeki besleme/hammadde tedariki yetersizlikleri, ihracat/işlenmiş ürün satışı kısıtlamaları ve süreçteki herhangi bir ünitenin kullanılmaması artırmaktadır. (DNV GL Software 2016)

Simülasyon yazılımı sisteme mümkün olduğu kadar fazla ürünü göndermeyi amaçlamaktadır. Eğer işlenmiş ürün satışında kısıtlama var ise tank dolu tutulur yoksa tank normalde boştur. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.12. Genel Hatlarıyla Simülasyon Programı**

#### **2.6.12.1. Maliyet Verileri ve Ekonomik Analiz**

Ürün gelirleri ve besleme maliyetlerine odaklanır. CAPEX (yatırım harcamaları) ve diğer OPEX'ler (faaliyet giderleri-yedek parça, işgücü gibi) tanımlanır. (DNV GL Software 2016)

Buna göre sistemde döngü (simülasyon) sayısı tanımlanır. Maliyet verileri genellikle \$ olarak tanımlanır. Sistemdeki akışkan ve ara/nihai ürün tonajları da önemlidir. (DNV GL Software 2016)

#### **2.6.12.2. Model Animasyonu**

Model animasyonu öncelikle bir simülasyonu çalıştırma ihtiyacı olan bir simülasyon gözden geçirme tesisidir. Model içerisinde her Düğüm'de Düğüm İsmi, Sıra Numarası, Kapasite, Kullanılabilirlik (%), Kullanım (%) ve Çıktı gibi değerler listelenecektir. (DNV GL Software 2016)

Model animasyon görünümündeki her Tampon ağında Tampon İsmi, Sıra Numarası, Maksimum Hacim, Gerçek Seviye (%), Beslemeye giren akış ve Beslemeden çıkan akış değerleri listelenecektir. (DNV GL Software 2016)

### **2.6.12.3. Nakliye Lojistiği**

Programda İthalat, İhracat ve İ Nakliye/Taşımacılık olarak tanımlamalar yapılabilir. (DNV GL Software 2016)

Nakliye Lojistik modelinde 2 tip Dűđüm kullanılır: Rıhtımlar ve Yığın Taşımacılık Kaynakları

Rıhtımlarda ithalat ve ihracat ürünleri için aşağıdaki bilgiler bulunur: (DNV GL Software 2016)

- Gemi yanařması kısıtlamaları kaynaklı varıř ve ayrılıř zaman kontrolű (örneđin sadece gűndűz vakti gemilerin yanařtırılması)
- Deđiřebilen iřletme zamanları, yűkleme/bořaltma oranı
- Transfer ekipman arızaları, işletme duruşları, yanaşma gecikmeleri

Demiryolu, Mavna, Gemi/Tanker gibi Yığın Taşımacılık kaynakları için aşağıdaki bilgiler bulunur: (DNV GL Software 2016)

- Bűyűklűk ve numara
- Rıhtıma yanaşma ve karaya çıkma zamanları
- Yűkleme/bořaltma oranı
- Deđiřken nakliye sűreleri
- Uzayan nakliye sűreleri ile sonuçlanan nakliye arıza modları
- Talep halinde kapalı filolar ve kaynaklar

### **2.6.12.4. Bakım**

Siműlasyon programı bakım modellemesi de yapabilmektedir. Bunun için bakım ekibi, yetkinlikleri, gerekli olan yedek parçalar gibi kaynakların tanımlaması, bakım için bir lokasyon belirlenmesi, bakım gecikmelerinin dikkate alınması ve takip edilmesi, bakım sűrecinin ve durumun izlenerek takip edilmesi, onarımın etkinliği ve sonuçlar gibi parametreler takip edilmektedir. (DNV GL Software 2016)

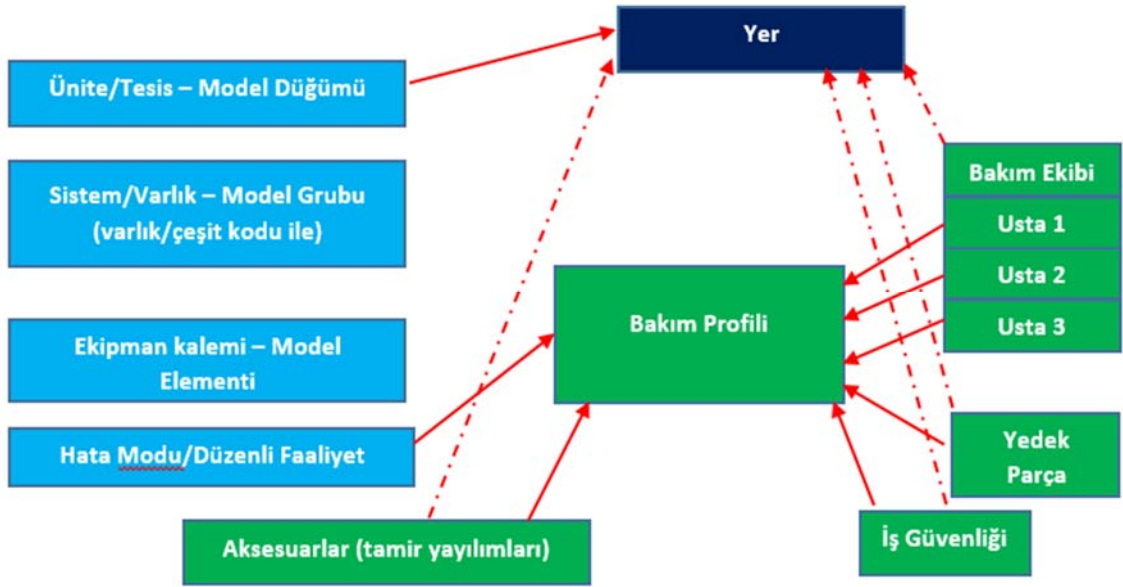
#### 2.6.12.4.1. Bakım İle İlgili Konular

Bir ekipman arızalandığı zaman, tamir işlemleri için bir miktar önemli lojistik ve stratejik konulara cevap bulmak gerekir. Aşağıda bunlar belirtilmiştir: (DNV GL Software 2016)

- Gerekli işlemler nerede yapılacak?
- Hangi yedek parçalar gereklidir?
- Ne kadar işgücü gereksinimi olacak?
- Başka ne gibi kaynak desteği gereklidir?
- İş ne kadar önemlidir?
- İşin yapılacağı yere gitmek için hangi kaynaklar gereklidir?
- Bu süre zarfında yapılabilecek başka bakım aktiviteleri olabilir mi?
- Bazı diğer taktiksel konular da vardır. Kesin arızaları azaltmak için ekipman yerleştirme/bakım planlaması daha iyi midir?

#### 2.6.12.4.2. Bakım İle İlgili Tanımlamalar

Şekil 14: Bakım ile ilgili tanımlamalar



(DNV GL Software 2016)

Bakım ekibi, yedek parçalar ve ekipmanlar gibi kaynaklar belirgin bir yere ayrılmıştır. Tüm tesis düğümleri bir yere bağlı olmalıdır. Yer, çeşitli yerler arasında seyahat sürelerinin detaylı modellenmesine izin vermektedir. (DNV GL Software 2016)

Bakım ekibi ise farklı yetkinliklerden oluşan gruptur. Modellemede ekip tanımlanırken isim, yetenek tipi ve numarası (örneğin 2 montajcı, 1 elektrikçi, 1 alet teknisyeni), tercihli kısıtlamalar (vardiyalar, işe başlama gecikmeleri gibi) ve maliyetler (işe başlama /iş bırakma + her yetkinlik için saatlik oranlar) gibi bilgiler belirlenir. (DNV GL Software 2016)

Yedek parçalar tanımlanırken ismi, stok numarası, işe başlama zamanı, ikmal seviyesi ve tekrar stoklama süresi oranı, ve maliyetler (birim ve işe başlama maliyeti) belirlenmelidir. (DNV GL Software 2016)

Aksesuarlar bir tamiratı yapmak için ilave kaynakları ve dağılımları ifade etmektedir. İsim, mevcut numara, tercihli kısıtlamalar (kullanılabilirlik pencereleri, işe başlama gecikmeleri vs.) ve maliyetler (işe başlama /iş bırakma + günlük oranlar) ile tanımlanırlar. (DNV GL Software 2016)

Bir iş tayin edilirken işyerinde iş güvenliği kaynakları da diğer kaynaklar gibi olmalıdır fakat fiziksel olarak işin içinde değildirler. Bu kaynaklar isim, mevcut numara tercihli kısıtlamalar (kullanılabilirlik pencereleri, işe başlama gecikmeleri vs.) ve maliyetler (işe başlama /iş bırakma + günlük oranlar) ile tanımlanırlar. (DNV GL Software 2016)

Bakım profilleri bir tamiratı gerçekleştirmek için gerekli olan birleştirilmiş kaynakları tanımlar. İsim, tamiratlar için öncelikler (acil/fırsat bakımı), her gerekli yeteneğin numarası (bakım ekibinden seçilmiş), gerekli olan yedek parçalar, aksesuarlar ve iş güvenliği kaynaklarının numarası ile tanımlanırlar. (DNV GL Software 2016)

Her bir yetenek ve aksesuar için 'yedekleme' seçeneklerini ve gündüz/gece vardiya seçeneklerini modellemek için alternatif bir kaynak tanımlanabilir. (DNV GL Software 2016)

Her bakım profili bir arıza moduna, planlı aktivite veya şartlı elemente bağlanmıştır. (DNV GL Software 2016)

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Tez içeriğinde uygulama RAM analizi simülasyon programı olarak MAROS yazılımı kullanılmıştır. Üretim süreci olarak kok kömürü üretiminde ortaya çıkan kok gazından katran üretimi tasarlanarak incelenmiştir.

#### 3.1. Katran Üretimi

Kömür harmanının, yüksek sıcaklıkta koklaştırılması işlemi sonucunda; kok ve ham kok gazı oluşur. Kok gazı, bir gaz ve buhar sistemidir. Ham kok gazı; maden kömürü harmanının kok kamaralarında, termik parçalanma sırasında oluşan ilk gaz ürünleridir. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

Şarj edilen kömür niteliğine bağlı olarak; kok gazının bileşiminde ve bileşenlerin miktarında, ortam sıcaklığının yükselmesiyle önemli derecede değişiklikler olur. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

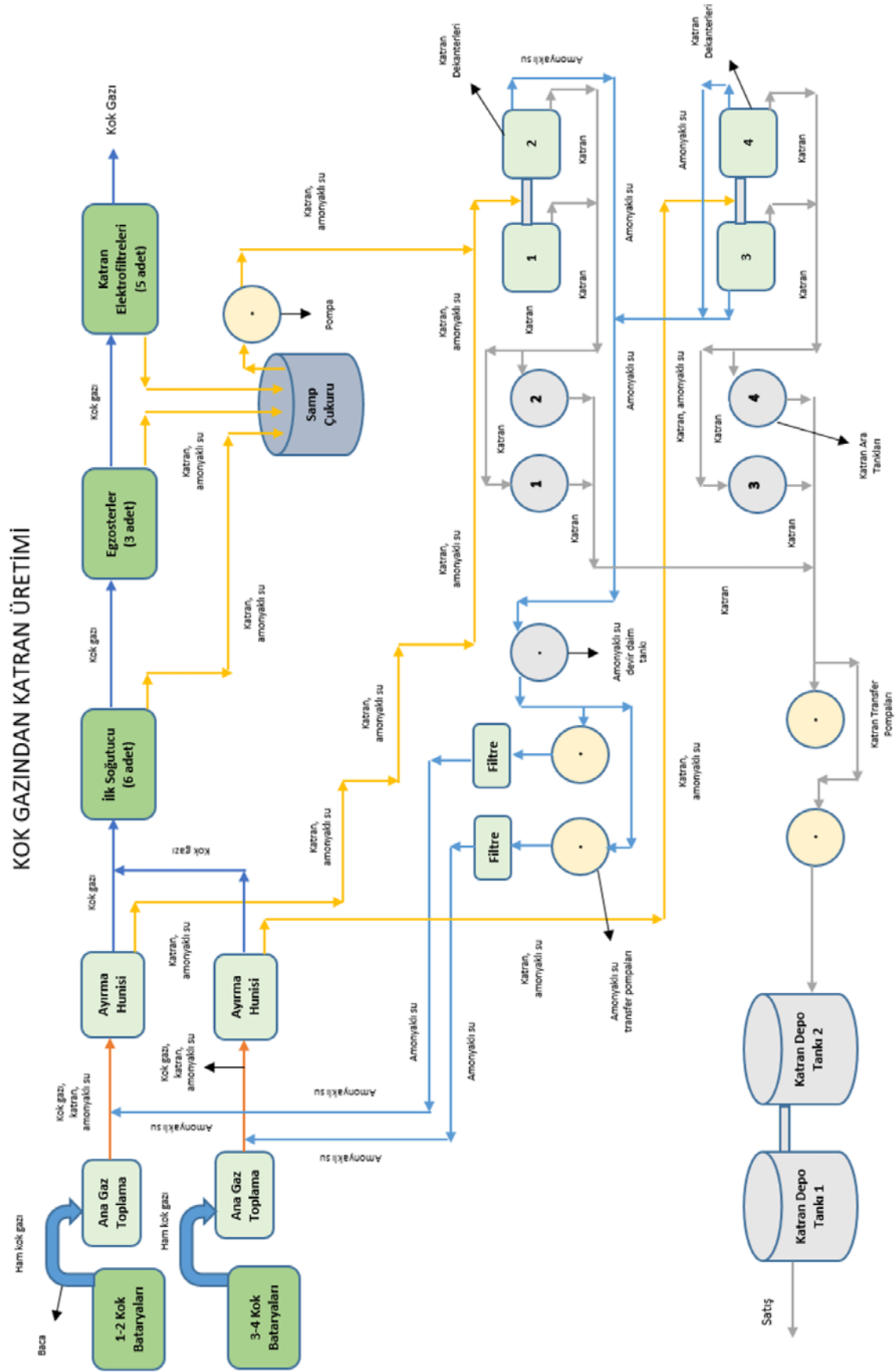
Kömür azotunun %15'ini amonyak oluşturur. 600°C civarında oluştuğu zannedilmektedir. 700°C'de bir miktarı ayrıştığından azalma görülür. (Çakır 2006)

Katran, kok kömürü üretmek amacıyla olan kok üretim tesislerinde proses gereği çıkan yan üründür. Kok kömürü kok bataryaları denilen fırınlarda üretilir. Bataryalardan çıkan kok gazının tesisin ilgili birimlerinde kullanılabilmesi için bazı süreçlerden geçmesi gerekir. Saf kok gazı elde etme süreci denilen bu aşamalarda katran yan ürün olarak üretilir ve satılır. Şekil 15'te katran üretim süreci projelendirilmiştir. Fizibilite sonrası yapılan bu şema üzerinde RAM analizi modellemesi yapılmıştır.

Katran, siyah-koyu kahverengimsi renkte ve içinde organik bileşenleri olan akışkan bir maddedir. Katranın yapısı, koklaştırılan kömürün cinsine, koklaşma sıcaklığına ve kok fırınlarının yapısına bağlıdır. Kuru kömürün %3-4'ü kadarı katran olup, özgül ağırlığı 1,10-1,25 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Katran yakıt olarak kullanılması durumunda kalorifik değeri 9.000 kcal/kg'dır.

Kok kömürü üretiminde uçucu madde miktarındaki ani artış 350-450°C arasında olur. Bu ilk kritik sıcaklıktır. 350°C'de, kok gazının hacimce %55-65'ini oluşturan hidrojen (H<sub>2</sub>) oluşmaya başlar. Kok gazı içinde bulunan alevlenir kimyasallar; hidrojen (%57), metan (%22), karbonmonoksit (%6), etan (%1,7) ve etilen (%0,6) dir. (Özdemir 2015)

Şekil 15: Kok gazından katran üretim süreci



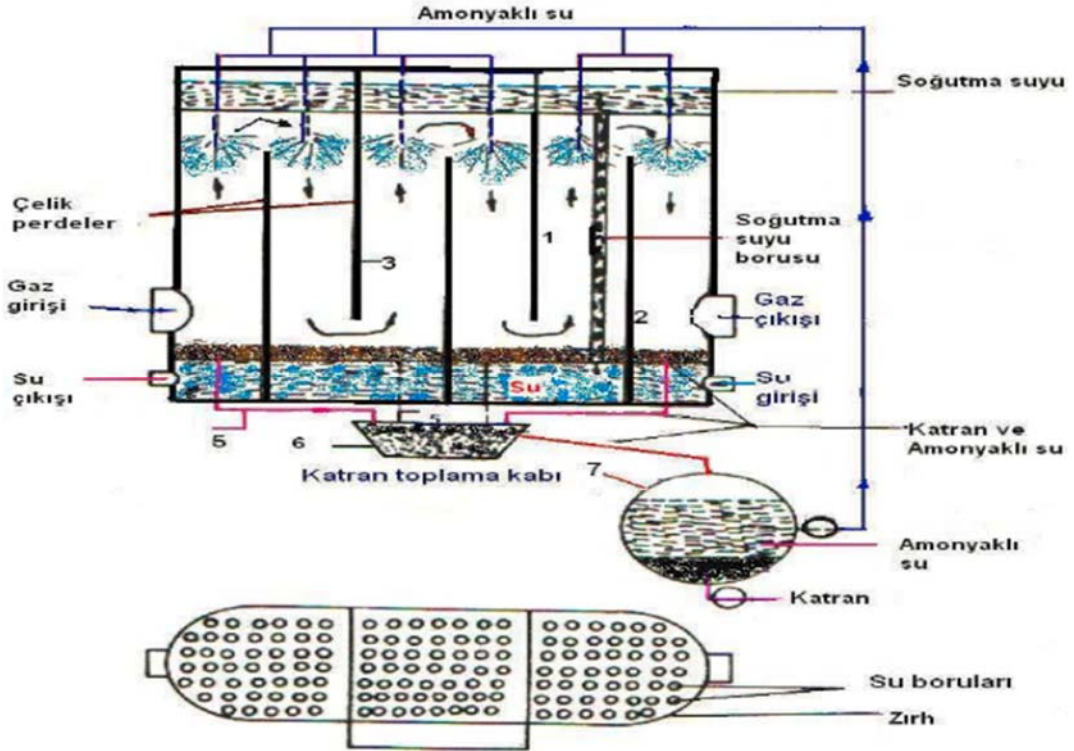
Katran üretim sürecinin aşağıdaki gibi olması tasarlanmıştır:

Kok Bataryalarında koklaşma esnasında çıkan ham kok gazı 850°C civarında ana toplama borusunda toplanır. Gazın burada bileşimi sabitleşmiştir ve bu sayede gazın yan ürünler bölümüne sürekli olarak aynı bileşimde gönderilmesi sağlanır. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

Ana ham gaz toplama borusundan yan ürünlere gelen kok gazının bileşiminde su buharı (kömür harmanların nemi+bağıl nem) (%62), katran buharı (%25), aromatik hidrokarbonlar (%7), amonyak (%2), hidrojen sülfür (%3), naftalin (%1) ve siyanürlü bileşikler (çok az) bulunmaktadır. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

Katan üretimi, amonyaklı su ile katranı kok gazından ayırıştırarak çevrime sokma sürecini içermektedir. Diğer bileşimler kok kazının içinde kalmakla birlikte diğer süreçleri ilgilendirmektedir, katran üretimi ile ilgisi yoktur. Katran üretiminde ilk olarak, gaz toplama borusunda biriken ham kok gazının üzerine çevrimden gelen amonyaklı su püskürtülerek gaz 85°C'ye soğutulur. Şekil 16'da şematik olarak gösterilmiştir. Püskürtülen sudaki amonyak miktarı 2000 ppm'dir. Oranı patlama limitlerinin altında kalan amonyak tehlike ihtiva etmemektedir.

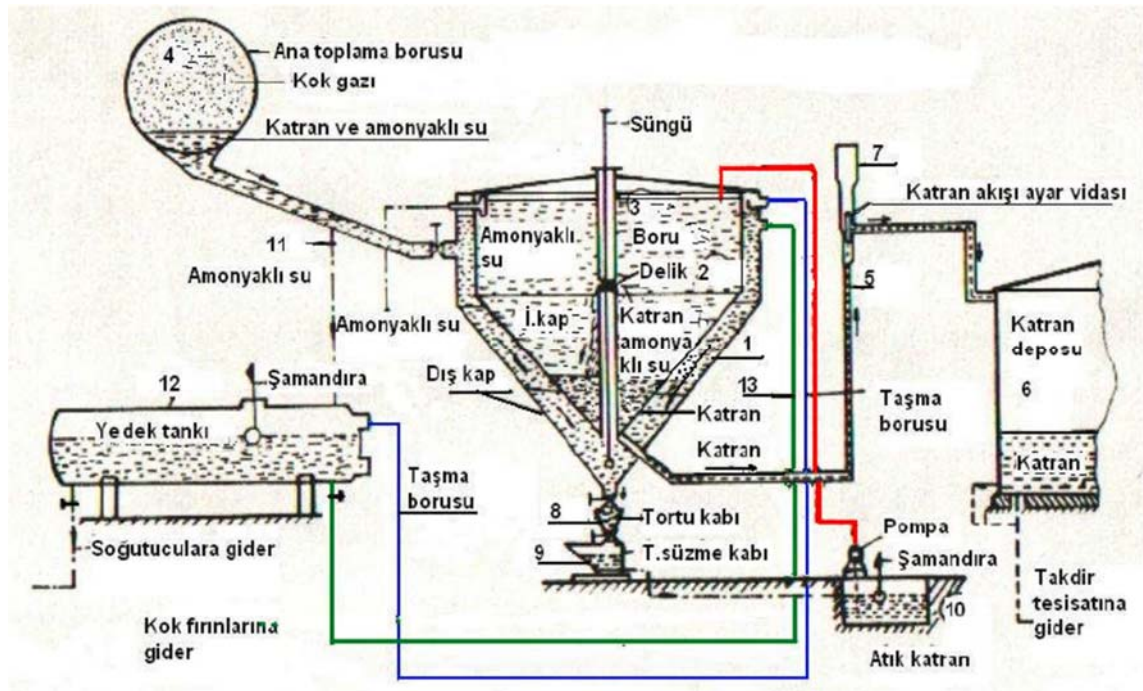
Şekil 16: Amonyaklı su ile soğutma kesiti ve üstten görünüşü



(T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

Soğutma sonrası katran buharları %60-70 oranında yoğuşur. Katı parçacıklar gazdan ayrılır. Böylece gazın hacmi küçülmüş olur. Soğutma sonrası yoğunlaşan katran + amonyaklı su, mevcut 4 adet katran dekanterlerine doğal akışıyla gelir. Katranın ayrılması işlemi ve gazın hacminin küçülmesi boru hatlarının daha temiz olmasını sağlar. Katran, dekanterlerde dinlendirilerek yoğunluk farkı ile amonyaklı sudan ayrılır ve akışkan olarak 70-80°C civarında ara tanklarda depolanır. Dekanterlerde katran dibine çöker, amonyaklı su ise üstte kalır. Katran-Amonyaklı Su Dekanteri (Ayrıcı) Şekil 17’de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 17: Katran dekanteri (ayırıcı)



(T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

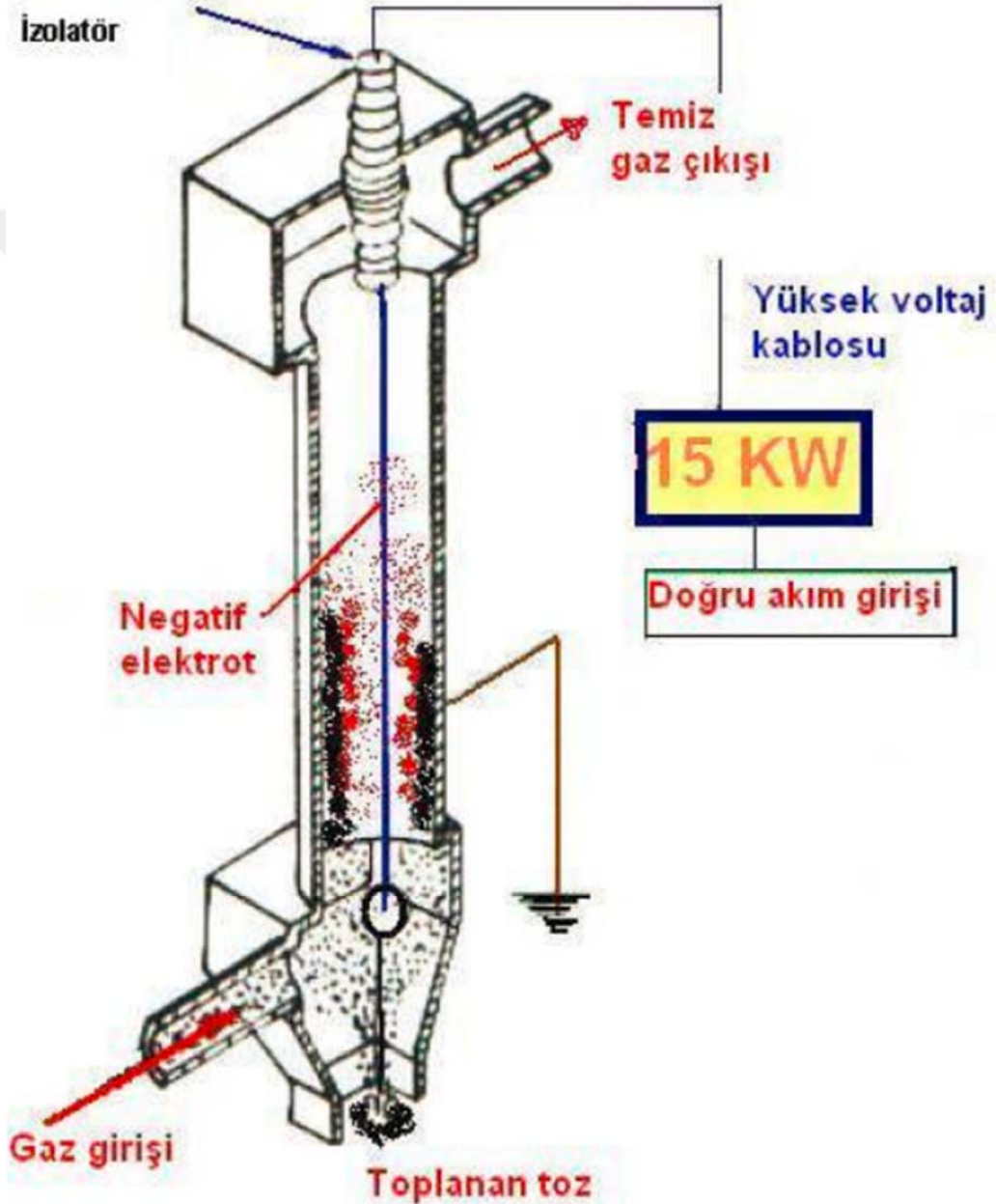
Ayrıca dekanterlerden gelen bu katrana ham kok gazı içinde bulunan ve İlk Soğutuculardan, Egzoster-Booster gövdelerinden ve Katran Elektrofiltrelerinden toplama çukuruna kendi akışıyla akan katran da eklenir. Örneğimizde ilk soğutucu 6 adet, egzosterler 3 adet ve elektrofiltreler 5 adet (4’ü aktif 1’i yedek) olarak belirtilmiştir.

İlk soğutucularda gaz soğutucu akımla endirekt temas ettirilerek 36-38°C’ye kadar soğutulur. Böylece gaz içerisinde kalmış katranın %15-20’si daha gazdan ayrıştırılır. İlk soğutuculardan sonra egzosterlere gelen kok gazı basınçlandırılarak katranın %7-8’i daha gazdan ayrıştırılır. Egzosterler; Kok bataryalarından ham kok gazının emilmesini sağlamaktadır. Boosterler ise gazometre (kok gazını depolamak amacı



ile kullanılan cihaz) girişinden (+) basınçta gaz emer ve kok gazını diğer ünitelere pompalar. Basınçlandırma işlemi sonrası gaz sıcaklığı 5-15°C artar. Bütün bu işlemlerden sonrası gaz içinde çok az miktarda katran kalır. Bu katranın alınması için elektrofiltreler kullanılır. Uygulanan 45000 Volt gerilim ile gazdaki katranın %98-99'u alınır. Elektrofiltreler Şekil 18'de görüldüğü gibidir.

Şekil 18: Elektrofiltre



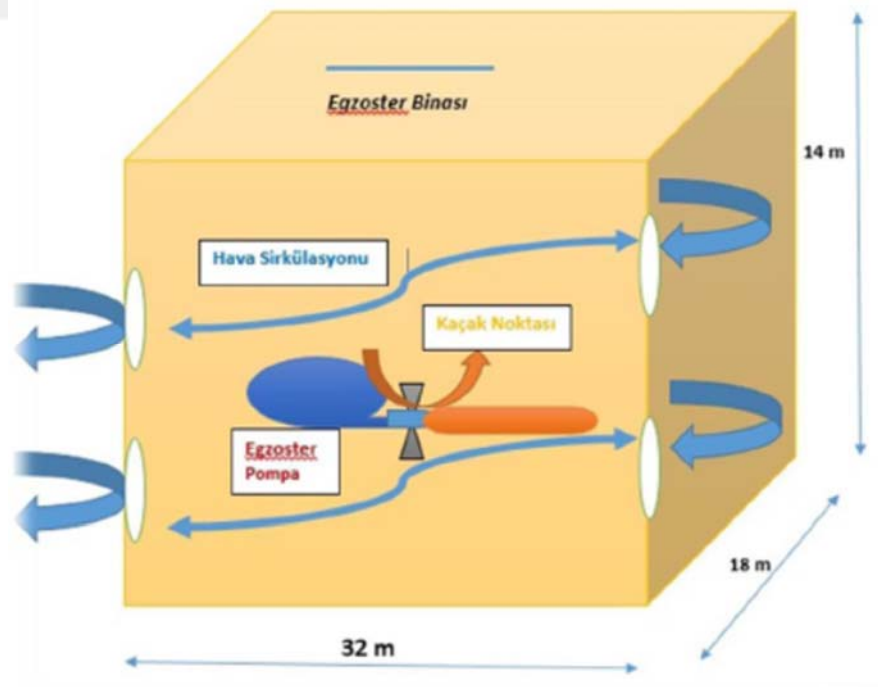
(T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

### 3.2. Katran Üretimi ve Bakımı İş Güvenliği Riskleri

Katran üretim sürecinin işletilmesi ve bakım yapılması esnasında iş güvenliği riskleri analiz edilmiştir.

Süreç içinde döngü halinde olan kok gazı, içerisindeki hidrojen ve metan başta olmak üzere karbonmonoksit, etan ve etilen gazlarından dolayı patlayıcı, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır. Havadan hafif olduğu için ortamda dağılır ve kokulu olduğu için varlığı hemen hissedilir. Sürecin girdi ürünü ham kok gazı, çıktı ürünü ise katran ve saf kok gazıdır. Katran üretim sürecinde kok gazının patlama riski en yüksek olan yer, gazın basınçlandırılmasının yapıldığı egzosterlerdir. Şekil 19’da gösterilen kapalı oda içinde bulunan egzosterin flanş ve borusunda olası kok gazı kaçağında havalandırmanın kötü olduğu düşünülürse en küçük bir kıvılcımda yüksek patlama riski vardır. Bu varsayımlara göre yapılan hesaplamalarda kok gazının bu bölgede alt patlama limiti yapılan bir çalışmaya göre %4,51 olarak bulundu. Kapalı alan ve kötü havalandırmadan dolayı bölge Zone 0 yani patlayıcı gaz ortamının sürekli bulunduğu bölge olarak değerlendirilebilir. (Özdemir 2015)

Şekil 19: Egzosterde kok gazı patlama riski



(Özdemir 2015)

Samp çukuru vs. gibi kapalı alanlar özellikle temizlik çalışmalarında önemli riskler ihtiva eder. Kapalı alan ortam havası gaz ve oksijen ölçümleri yapılmadan yapılacak çalışmalar çok risklidir.

Bir diğer patlama riski ise elektrofiltrelerdedir. Uygulanacak gerilimin çok yüksek olması durumunda kıvılcım çıkabilir ve patlamalar olabilir. Ayrıca, cihaza hava girmesi patlamalara sebep olabilir. (Çakır 2006)

Çalışanlar ortamdaki kimyasallardan etkilenebilirler. Özellikle egzoster gibi kapalı alanlarda ve bakım çalışmalarında ortama kok gazı yayılımı olacağı için çalışanların gaza maruz kalma riski vardır. Kok gazı borularında yapılan çalışmalarda pörç işlemi denilen yanıcı maddelerin borulardan temizlenmesi işleminde azot gazı kullanılır. Boğucu bir gaz olduğu için bu gazın kullanımı da özellikle kapalı alanlarda önemli riskler ihtiva etmektedir. Zehirlenme veya boğulma gibi vakalarla karşı karşıya kalınabilir.

Amonyaklı su çevriminden gelen amonyak, depolanan tanklardan ve boru hatlarından gelen katran, katran buharı ve yağlar çalışanlara cilt ve solunum yoluyla olumsuz etki edebilir, mesleki hastalıklara davetiye çıkarabilir, göze temas halinde kalıcı hasar veren iş kazası olabilir. Amonyak zehirli ve aşındırıcı bir gaz olup havadan ağırdır. Solunum yollarında tahribata neden olur. Tüm bu kimyasallara temizlik, işletme ve bakım çalışmalarında maruz kalınabilir.

Katran üretim sistemi sürecinde yüksek ortamlardan dolayı yüksekte düşme, hareketli ekipmanlara vücudun başta el olmak herhangi bir uzvun temas etmesi, özellikle dar alanda çalışmalardan kaynaklı olarak ergonomik rahatsızlıklar, su buharı başta olmak üzere yüksek ısıya maruz kalma, zemindeki uygunsuzluklardan veya tesisin doğal çalışma şartlarından kaynaklı olarak ayak burkulmaları, bel incinmeleri gibi iş kazaları ve meslek hastalıkları olabilir.

Yüksek gerilim uygulayan elektrofiltrelerde iki elektrik akımı arasında oluşan yüksek potansiyel farkı bir elektrik alan oluşturur ve manyetik alandan etkilenme riski ortaya çıkar. Elektrofiltreler başta olma üzere elektriksel ekipmanlarda elektrik arkına maruz kalma ve elektrik çarpması riskleri vardır.

Tesis içinde bulunan borulardaki basınçlı sulara maruz kalma, sıcak su yanmaları, toz solunması, göze toz kaçması (kok, kömür tozu), cisim arasına sıkışma, cisim

çarpması, düşmesi, sıçraması kazaları, kaygan, yağlı, tozlu veya bozuk zemin kaynaklı düşmeler de bölgede görülebilecek risklerdendir.

Acil durum riskleri kapsamına giren yangın, patlama, enerji kesilmesi, gaz/buhar/kimyasal kaçaqları, deprem, sel, kuraklık, fırtına, don ve buzlanma gibi riskler her zaman vardır.

### 3.3. MAROS Yazılımı

MAROS yazılımı ile ilgili teorik bilgiler Genel Bilgiler kısmında verilmiştir.

MAROS programında katran üretim sürecinin modellenmesi yapılır. Ancak modelin sonuç verebilmesi için sürecin başından sonuna kadar olan tüm tesislerin MTTF (arızalar arası ortalama süre) ve MTTR (ortalama tamir süresi) değerlerinin öngörülerek bilinmesi gerekir. Modelde kullanılmak üzere süreç ile ilgili rakamsal teknik bilgiler ve katran üretim süreci tesisleri ile ilgili arıza değerleri aşağıda belirtilmiştir:

Kok Fabrikaları çalışmasında bir süreklilik olacağı ve kok gazı akışının hiç kesilmeyeceği öngörülmüştür. Kok bataryaları yapısı gereği hiç durmaz ve bakıma girmez. Ortalama ömürleri 35-40 senedir. Bu veriye dayanarak modelleme yapılırken katran üretim tesisi ömrünün 40 yıl olacağı öngörülmüştür. Tasarlanan ekipmanlarla ilgili aşağıdaki açıklamalar teorik olarak yapılmıştır:

- Bacalar (dik baca) toplam 156 adet olup 2 yılda 1 bir kısmı temizlik amaçlı bakıma girer ve bakım 1 hafta sürer. Bu sırada süreç durmaz gaz akışı devam eder.
- Ana Gaz Toplama, Ayırma Hunisi sürekli çalışır ve bakımı yoktur.
- 6 adet İlk Soğutucu'nun 1 tanesi yılda 1 bakıma girer ve 2 hafta sürer. Bu sırada diğer 5'i çalışır.
- 3 adet Egzoster'in 1 tanesi 5 yılda 1 bakıma girer ve 1 ay sürer. Bu sırada diğer 2'si çalışır.
- 5 adet Katran Elektrofiltreleri'nin 1 tanesi yedektir dolayısı ile 4 tanesi çalışır ve 4 adet olarak baz alınacaktır. Bu 4 tanenin 1 tanesi 4 ayda 1 arıza verir ve 1 hafta süren bir plansız bakım gerçekleşir. Bu sırada diğer 3'ü çalışır. Diğer 3 filtre çalıştığı için sistem durmaz.
- 1-2 Katran Dekanterleri'nin (2 adet) 1 tanesi 3 yılda 1 bakıma girer ve 1 ay sürer. Bu sırada diğeri çalışır.

- 3-4 Katran Dekanterleri'nin (2 adet) 1 tanesi 3 yılda 1 bakıma girer ve 1 ay sürer. Bu sırada diğeri çalışır.
- 4 adet Katran Toplama Tankları'nın 1 tanesi 4 yılda 1 temizlik amaçlı bakıma girer ve 2 hafta sürer. Bu sırada diğeri 3'ü çalışır.
- Amonyaklı Su Devir Daim Tankı sürekli çalışır ve bakımı yoktur.
- 2 adet Amonyaklı Su Transfer Pompaları'nın 1 tanesi 2 yılda 1 bakıma girer ve 2 hafta sürer. Bu sırada diğeri çalışır.
- 4 adet Amonyaklı Su Filtresi'nin 1 tanesi 6 ayda 1 bakıma girer ve 1 gün sürer. Bu sırada diğeri 3'ü çalışır.
- 2 adet Katran Transfer Pompaları'nın 1 tanesi 6 ayda 1 bakıma girer ve 2 hafta sürer. Bu sırada diğeri çalışır.
- 2 adet Katran Depo Tankları'nın 1 tanesi 4 yılda 1 bakıma girer ve 1 ay sürer. Bu sırada diğeri çalışır.

Ekipmanlarla ilgili MTTF ve MTTR değerleri aşağıdaki Tablo 3'te özetlenmiştir:

**Tablo 3: Ekipman arıza ve bakım bilgileri**

KATRAN ÜRETİMİNDE EKİPMANLARIN ARIZA VE BAKIM BİLGİLERİ			
EKİPMAN ADI	MTTF	MTTR	ALIşMA DURUMU
Bataryalar (4 adet)	0	0	40 yıl mr
Bacalar (156 adet)	2 yıl	1 hafta	Bir kısmı bakımda iken diğerleri faal
Ana Gaz Toplama	0	0	40 yıl mr
Ayırma Hunisi	0	0	40 yıl mr
İlk Soğutucu (6 adet)	1 yıl	2 hafta	1 adet bakımda iken 5 adet faal
Egzosterler (3 adet)	5 yıl	1 ay	1 adet bakımda iken 2 adet faal
Katran Elektrofiltreleri (4 adet)	4 ay	1 hafta	1 adet bakımda iken 3 adet faal
Katran Dekanterleri (4 adet)	3 yıl	1 ay	1 adet bakımda iken 3 adet faal
Katran Toplama Tankları (4 adet)	4 yıl	2 hafta	1 adet bakımda iken 3 adet faal
Amonyaklı Su Devir Daim Tankı	0	0	40 yıl mr
Amonyaklı Su Transfer Pompaları (2 adet)	2 yıl	2 hafta	1 adet bakımda iken 1 adet faal
Amonyaklı Su Filtresi (4 adet)	6 ay	1 gün	1 adet bakımda iken 3 adet faal
Katran Transfer Pompaları (2 adet)	6 ay	2 hafta	1 adet bakımda iken 1 adet faal
Katran Depo Tankları (2 adet)	4 yıl	1 ay	1 adet bakımda iken 1 adet faal

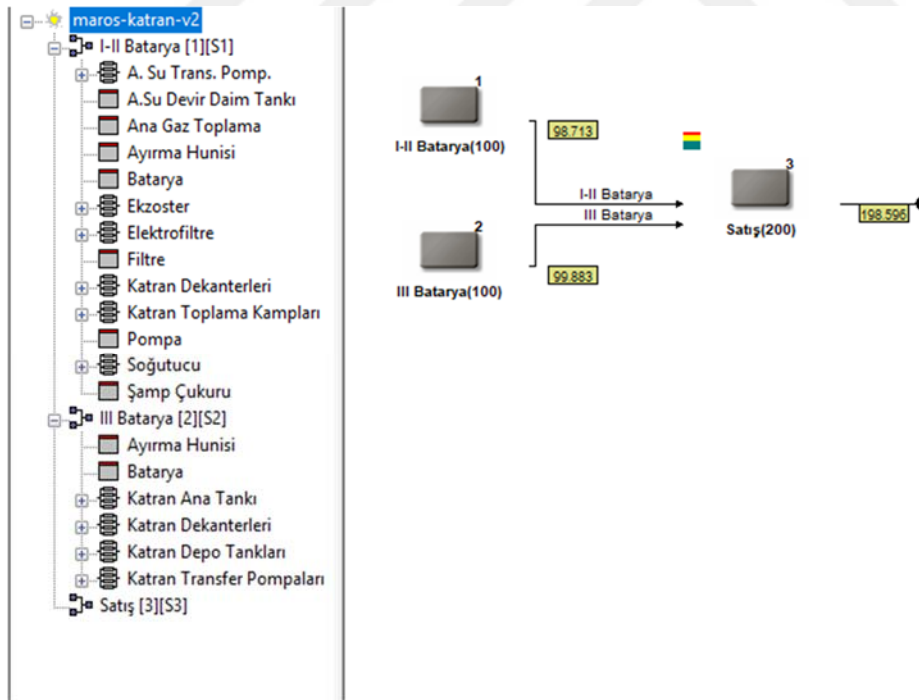
## 4. BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonunda 2 önemli kaynaktan bulgular elde edilmiştir. İlki, projesi çizilen üretim sürecinin MAROS simülasyon programında modellenmesi sonrasında elde edilenler, diğeri ise düşünülen tesisin üretim kapasitesine bağlı olarak elde edilmesi öngörülen ürün miktarlarıdır.

### 4.1. MAROS Simülasyon Modellemesi Bulguları

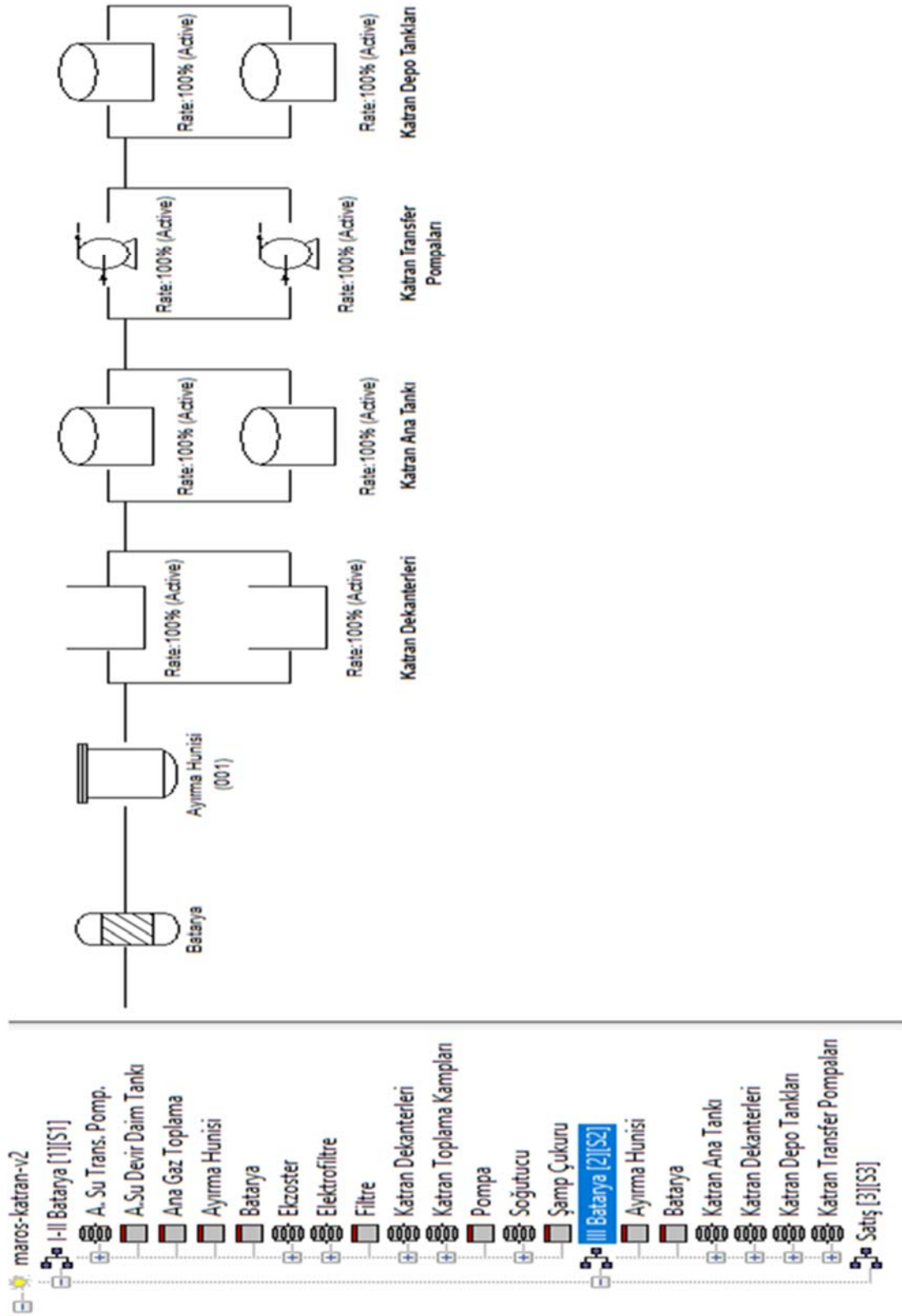
Katran üretim prosesi ve ekipmanların arıza bilgileri MAROS programında uygulandıktan sonra Şekil 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 elde edilir. Sisteme 40 yıl ömür verilmiş ve 100 adet simülasyon döngüsü öngörülmüştür. Programın başlangıcında bu değerler girilmiş ve süreç çizilmiştir. MAROS programı bize toplam sistemin güvenilirliğini ve her ekipmanın ayrı ayrı kritikliliğini ve güvenilirliğini rakam olarak vermiştir. Aşağıdaki şekillerde raporlar sunulmuş ve gerekli açıklamalar altlarına yapılmıştır.

Şekil 20: Katran üretimi ana görünüm



Şekil 20’de bataryalardan gelen kok gazının katrana dönüştürülerek satışa sunulması taslak olarak gösterilmiştir. Üretim sürecinden bilindiği üzere 2 ayrı katran üretim süreci işlemekte, ilk sürecin güvenilirliği %98,713 ve ikinci sürecin güvenilirliği %99,883 olarak tespit edilmiştir. Toplam güvenilirlik değerini bu iki değer aritmetik ortalaması verecektir.

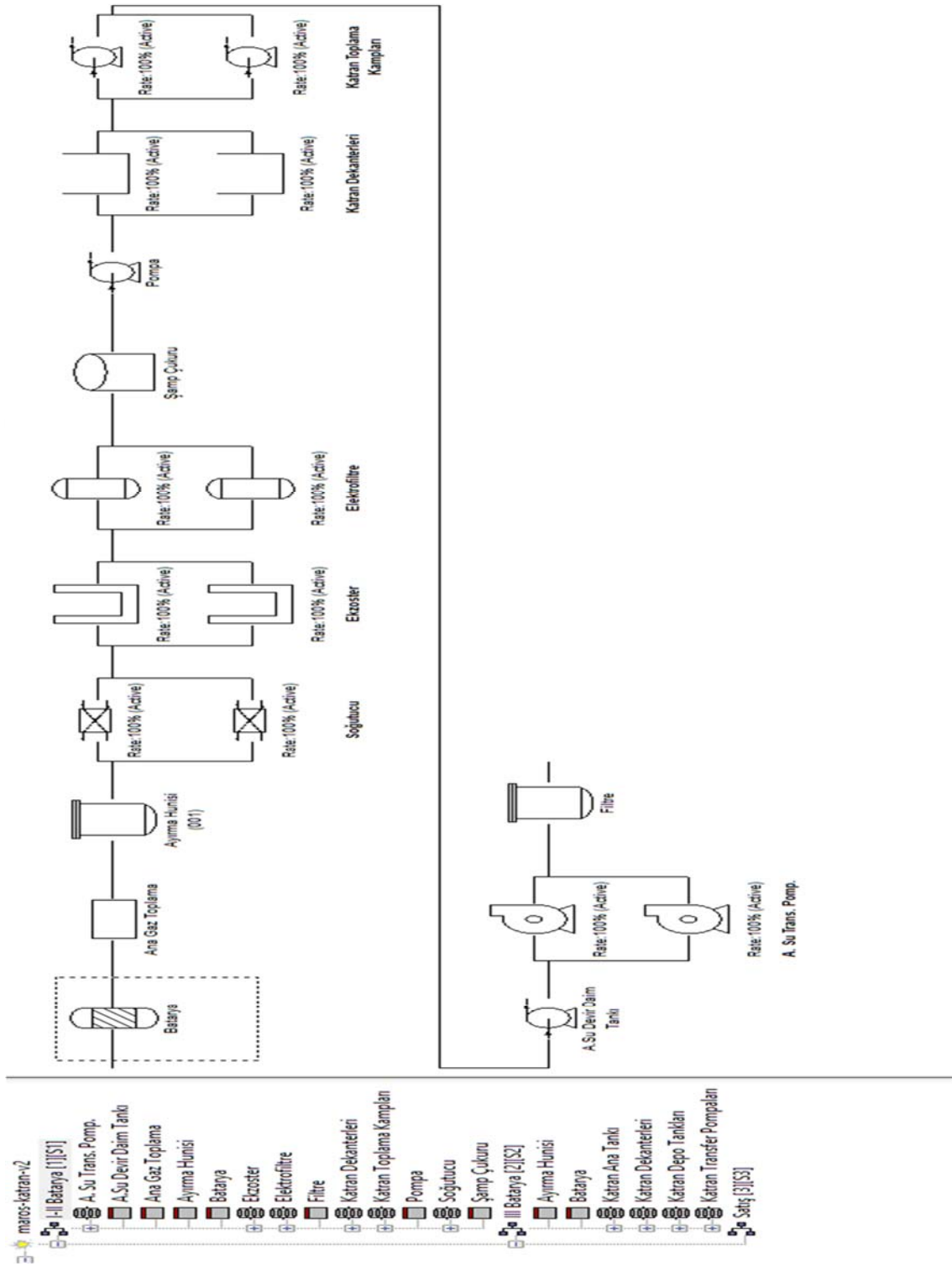
Şekil 21: Ham kok gazının soğutulması ile oluşan katran üretim süreci



Şekil 21'de ham kok gazından ilk soğutma sonrası ayrılan katran+amonyaklı suyun katran dekanterlerine gitmesi ve orada katranın ayrışması süreci simülasyon programında gösterilmiştir.



Şekil 22: Ham kok gazının soğutulması ve ilave işlemlere tabi tutulması ile olan katran üretim süreci



Şekil 22’de ham kok gazından ilk soğutma sonrası yoluna devam eden kok gazının soğutucu, egzoster ve elektrofiltrelerde işlemlerden geçmesi, böylece elde edilen katran+amonyaklı suyun şamp (depo) çukurunda toplanarak katran dekanterlerine gitmesi ve orada katranın ayrışması süreci simülasyon programında gösterilmiştir.

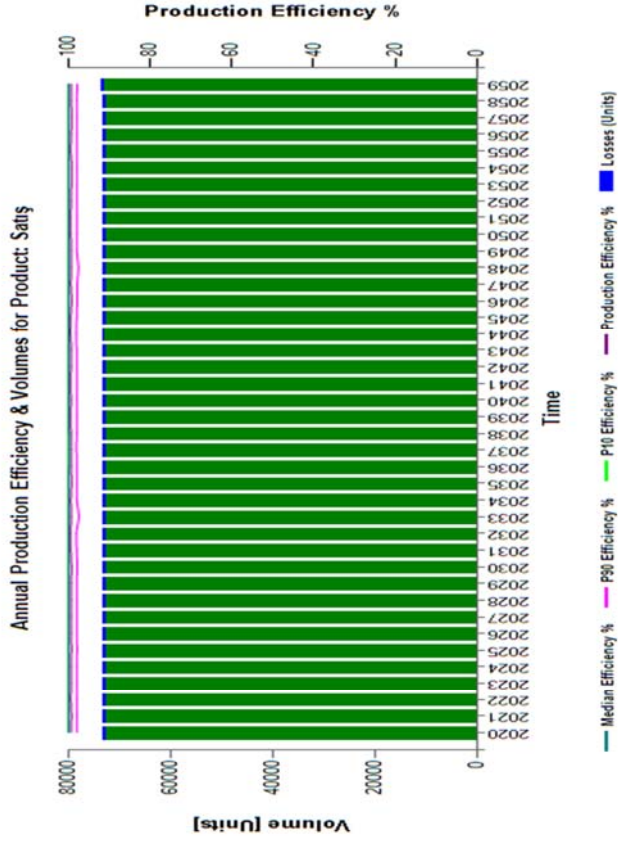
Şekil 23: Üretim etkinliği, proses güvenilirliği ve kritik ekipmanlar

Based on a 100 simulation cycle run with a 40 year life the average production efficiency is 99.298% within a standard deviation of +/- 0.145%.

The average volume produced over life is 2899505 units starting with 72504 Units in year 2020 declining to 72439 Units in year 2059.

The average loss over life is 20495 Units averaging at 512.369 Units per year.

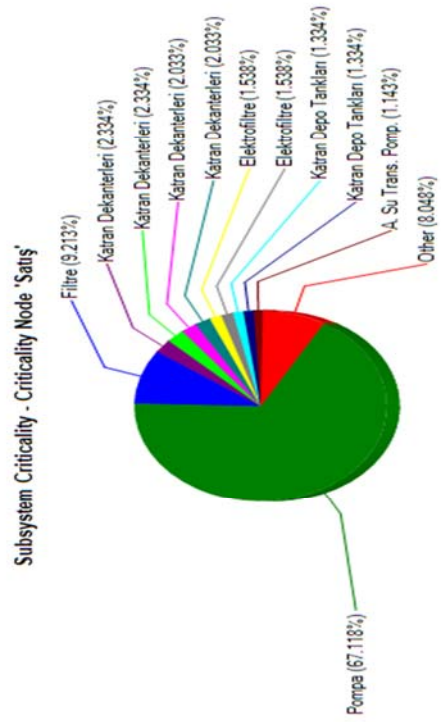
The produced volume of Satış was 2899505 units.



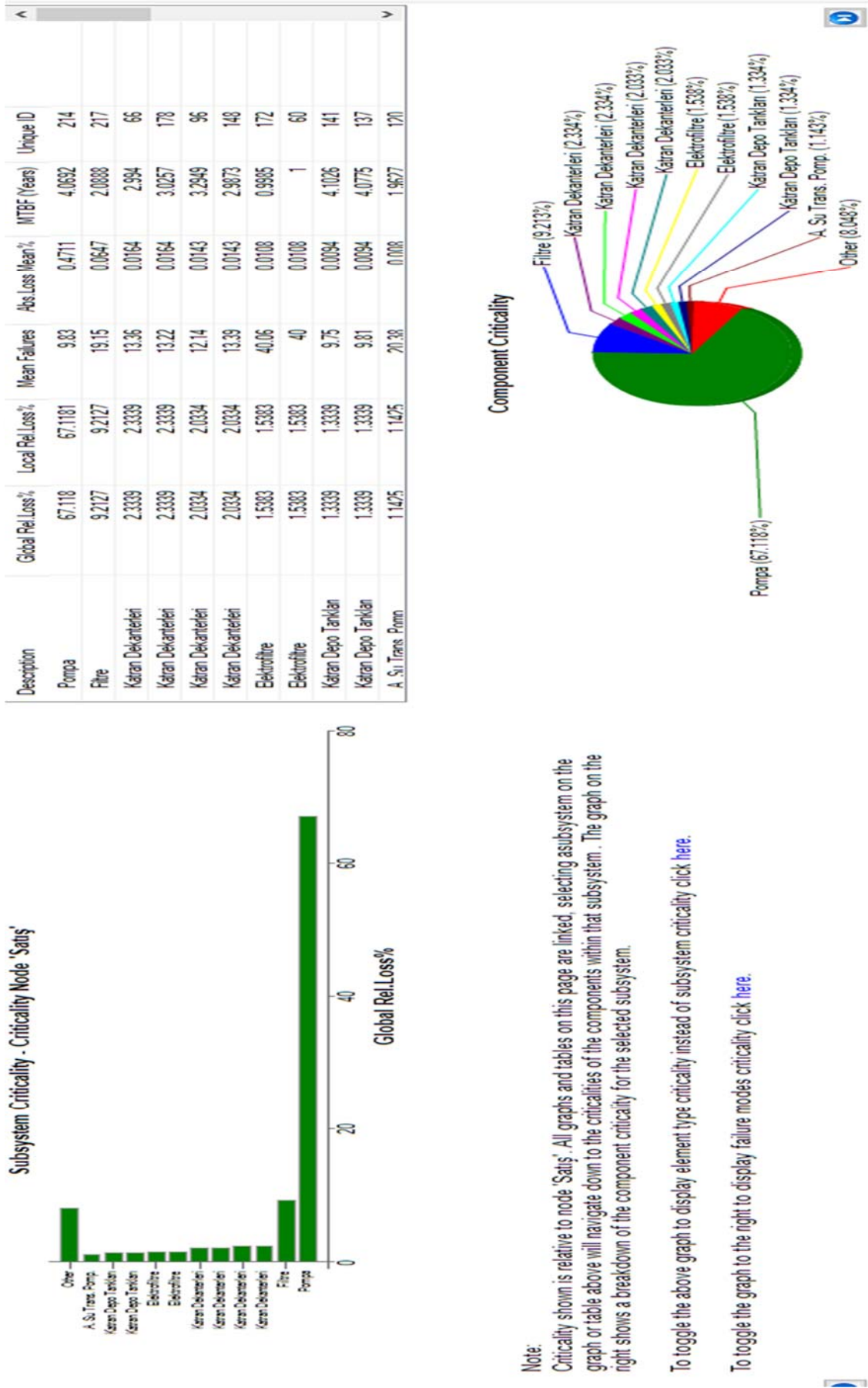
Note:  
The performance simulator analyses a system's ability to produce and export product, taking account of equipment failures and maintenance logistics, and reports this in terms of a production efficiency.

The production efficiency relates the total volume of product produced to that which would have been produced had all equipment run without failure throughout the system life. Production efficiency is calculated as follows:

$$\text{Production Efficiency} = \frac{\text{Actual Production}}{\text{Potential Production}} \times 100\%$$



Şekil 24: Proses kritik ekipmanların güvenilirliği



Şekil 23'te detaylı grafiklerle gösterildiği üzere modellemede simülasyon döngüsü 100 ve sistem ömrü ise 40 yıl alınmıştır. Modelleme sonucunda ortalama güvenilirlik %99,298 standart sapma ise %0,145 olarak gerçekleşmiştir.

2020 yılından başlatılan üretim sürecinde ilk yıl net 72.504 birim katran üretilmesi ve 40 yılın sonunda yani 2059 yılında net 72.439 birim katran üretileceği öngörülmüştür. 40 yılın sonunda toplam üretilen miktar ise net 2899505 birim olarak tespit edilmiştir. 40 yılda ortalama kayıp olarak 20.495 birim tespit edilmiştir. Bu da her sene ortalama 512,369 birim kayıp olarak yansımaktadır.

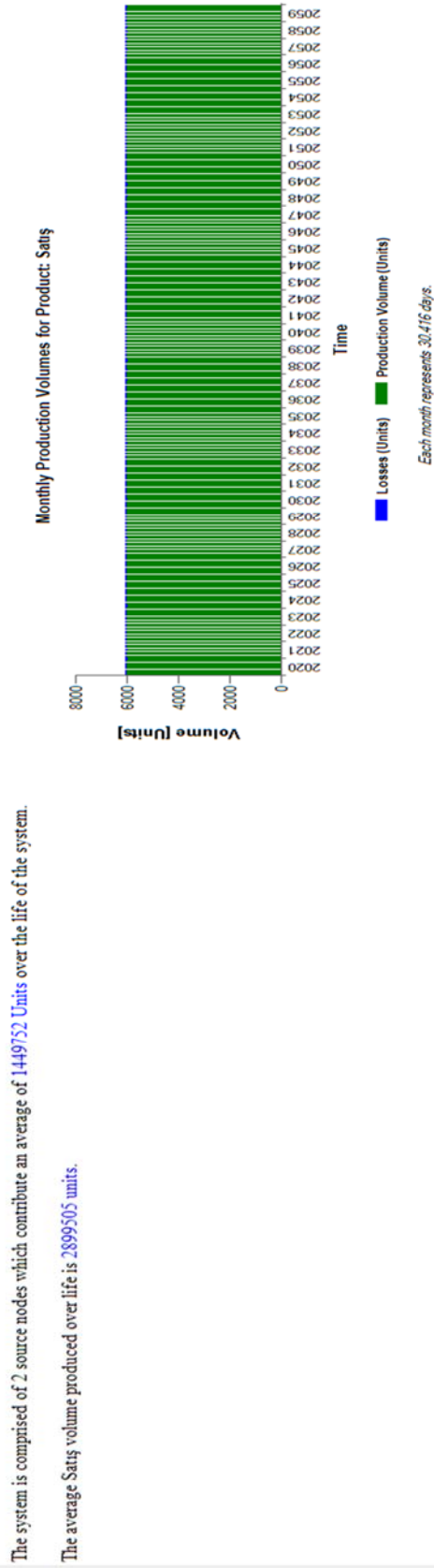
Üretim Etkinliği (Güvenilirlik) = (Üretilen Gerçek Miktar / Üretilen Gerçek Miktar) \* 100 formülüne göre model tarafından otomatik hesaplanmıştır.

$$\text{Üretim Etkinliği (Güvenilirlik)} = 2.899.505 / (2.899.505 + 20.495) * 100 = \%99,298$$

Simülasyon modellemesi sonucunda kritik ekipmanlar belirlenmiştir. Kritik ekipman, arıza yapabilecek ve arıza olduğunda sistemin durmasına sebebiyet verebilecek ekipman olarak tanımlanabilir. Ekipmanların her biri ile ilgili kritiklik değeri pasta grafiğinde verilmiş olup önem sırasına göre de yatay şemada gösterilmiştir. Bir ekipmanın kritikliği, bir hatanın olma sıklığı ve etkisi ile ilgili bir ölçüm olduğu için, kritiklik oranı yüksek olan ekipmanlar üzerinde daha fazla hassasiyet gösterilmelidir. Toplam 100 üzerinden sıralama yapıldığında pompanın %67,118'lik oranla en kritik ekipman olduğu ortaya çıkmaktadır. Bundan sonra sırasıyla en kritik ekipmanlar; filtre (%9,2), katran dekanterleri (%2,33), elektrofiltreler (%1,53), katran depo tankları (%1,33) ve amonyaklı su transfer pompaları (%1,14) olarak tespit edilmiştir. Alınan rapor bize %8'lik diğer ekipmanları da söylemektedir ancak bu orana giren ekipmanlar fazla sayıda olduğu için değer yüksek gibi görünmektedir.

Şekil 24'te kritik ekipmanların güvenilirlikleri elde edilmiştir. Ekipman güvenilirliği ile MTBF (arızalar arası ortalama süre) değeri arasında doğru orantı vardır. Yani bu değer arıza yapabilen ekipmanların sağlıklı çalıştığı süreyi kapsar. Tablodaki MTBF değerlerine bakılırsa en yüksek güvenilirliği olan ekipmanın 4 yıl ile katran depo tankları ve pompa olduğunu görebiliriz. Bundan sonra sırasıyla en güvenilir (etkin) ekipmanlar; katran dekanterleri (3 yıl), filtre ile amonyaklı su transfer pompaları (2 yıl) ve elektrofiltreler (1 yıl) olarak tespit edilmiştir.

Şekil 25: Proses aylık ortalama üretim



Şekil 25'teki verilere göre net üretim miktarı aylık olarak yaklaşık 6000 birim civarında olacaktır.

## 4.2. Katran Üretim Miktarı Bulguları

Tasarıma alınması istenen üretim tesisinde bataryalardan çıkan ham kok gazı miktarının 50.000 Nm<sup>3</sup>/h, ham kok gazı içerisindeki katran miktarının ise 50 g/Nm<sup>3</sup> olması öngörülmektedir. Tesisin amacı bu katran miktarını minimum fire ile gazdan ayırıştırıp satmaktır.

Süreç içerisindeki ekipmanların ayırıştırma kapasiteleri de dikkate alındığında ekipmanlarda ayırıştırılan katran miktarlarının toplam gaz hacmine oranla aşağıdaki değerlerde olması beklenmektedir:

- Ana gaz toplamada amonyaklı suyla soğutma sonucunda 35 g/Nm<sup>3</sup> (%70),
- İlk soğutucuda işlem sonucunda 8 g/Nm<sup>3</sup> (%16),
- Egzosterlerde işlem sonucunda 4 g/Nm<sup>3</sup> (%8),
- Katran elektrofiltrelerinde işlem sonucunda 2,5 g/Nm<sup>3</sup> (%5),
- Toplamda 49,5 g/Nm<sup>3</sup> (%99).

Ham kok gazındaki katranın %1'inin ayırıştırılmadığı düşünülürse bu değer de 0,5 g/Nm<sup>3</sup> olması beklenmektedir.

Gazın hacmine göre katranın miktarı ve saatlik kok gazı hacmi bilindiğine göre günlük katran üretim miktarını brüt olarak aşağıdaki hesaplamalarla bulabiliriz:

Saatte üretilen toplam ham kok gazı miktarı = 50.000 Nm<sup>3</sup>/h

Saatte üretilen toplam katran miktarı = (50 g/Nm<sup>3</sup>)\*(50.000 Nm<sup>3</sup>/h) = 2.500.000 g/h

Günlük üretilen toplam katran miktarı = (2.500.000 g/h)\*(24 h/gün) = 60.000.000 g/gün

Günlük üretilen brüt toplam katran miktarı = 60 ton/gün olarak bulunur.

Buna göre süreç içerisindeki ekipmanların ayırıştırma kapasiteleri de dikkate alındığında ekipmanlarda ve toplamda üretilen katran miktarının günlük olarak aşağıdaki değerlerde olması beklenmektedir:

- Ana gaz toplamada amonyaklı suyla soğutma sonucunda 42 ton/gün (%70)
- İlk soğutucuda işlem sonucunda 9,6 ton/gün (%16)
- Egzosterlerde işlem sonucunda 4,8 ton/gün (%8)
- Katran elektrofiltrelerinde işlem sonucunda 3 ton/gün (%5)
- Toplamda **59,4 ton/gün (%99) = 21.681 ton/yıl**

Ham kok gazındaki katranın %1'inin ayrıştırılmadığı düşünülürse bu değerin de 0,6 ton/gün = 219 ton/yıl olması beklenmektedir.

Yıllık 21.681 ton net katran üretiminin tesisin durmadan %100 güvenilirlikle çalıştığı varsayıldığında elde edilmesi beklenir. Ancak yaptığımız RAM analizinde tesisin %99,298 oranında güvenilir olduğu tespit edildiğine göre aşağıdaki net üretim miktarları bulunur:

Yıllık Katran Üretim Miktarı =  $(21.681 \text{ ton/yıl} * 99,298)/100 = \mathbf{21.528 \text{ ton/yıl}}$

40 Yıllık Katran Üretim Miktarı  $(21.528 \text{ ton/yıl} * 40 \text{ yıl}) = \mathbf{861.150 \text{ ton}}$  olarak bulunur.

Yıllık Katran Fire Miktarı =  $(219 \text{ ton/yıl} * 99,298)/100 = \mathbf{217 \text{ ton/yıl}}$

40 Yıllık Katran Fire Miktarı  $(217 \text{ ton/yıl} * 40 \text{ yıl}) = \mathbf{8680 \text{ ton}}$  olarak bulunur.

## 5. TARTIŞMA

Güvenilirlik analizi özünde RAM analizi, iş güvenliği ve bakım konularını da kapsayan geniş bir çalışmadır. (O. Michelsen, 1998). Bir tesisi yönetmek için önemli olan başlıklardan 3 tanesi bakım, kritik ekipman ve güvenilirlik (RAM) analizidir. (DNV GL Software 2016). Aslında bu çalışmalar yapılmadan bir tesisin yönetilmeye çalışılması sadece geleneksel yaklaşım içerir ve iş kazaları ile gereksiz maddi ve zaman kayıplarının baştan kabullenilmesi anlamına gelir ki bu da günümüz dünyasında kabul edilebilir bir durum değildir. Çalışma, özünde bu yaklaşıma dayanarak yapılmıştır.

Mevcut sistemin ve kullanılan ekipmanların %0 ile %100 arasında puanlanarak "ne derece güvenilir?" sorusuna yanıt alınması gereklidir. (Özkılıç 2016). Simülasyon yaklaşımı kompleks sistemlerin modellenmesinde kullanılır. (Wang 2012). Simülasyon prosesi farklı yaşam döngülerinin bir araya gelip değerlerinin alınması sonucu ortalama üretim etkinliği hesaplanır ve gelecek planlaması ona göre yapılır. (DNV GL Software 2016). Bu bilgilere dayanarak bu çalışmada kok gazından katran üretecek bir tesis tasarlanmadan önce incelendi ve katran üretim sürecinde olması öngörülen verilere dayanarak simülasyon modeli bir RAM analizi yapıldı. Yapılan çalışma sonucunda düşünülen sistemin bir güvenilirlik oranı ve kritik ekipmanları belirlendi. Sistem güvenilirliği %99,29 çıktı. Bu oran arızasız ve kesintisiz çalışma süresi olduğuna göre aslında yüksek bir orandır. Bu oranın daha yüksek olması gerektiğini düşünenler olabilir ancak buradaki kaybın net üretim değeri üzerinden %0,71 olduğu, net üretimin de brüt üretim değeri üzerinden %1 kayıp sonrası ortaya çıktığı düşünülürse 40 yılın sonunda bu arıza oranı normal sayılabilir. Kok gazı içerisinde çıkarılmayan % 1'lik katranı gazın içerisinde söküp almak için ileriki yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte tesis/ekipman yenilemeleri gerekebilir.

Güvenirlilik, belirli bir zaman aralığında belirlenmiş durumlarda bir bileşenin istenen fonksiyonu yerine getirme ihtimalidir. (Özkılıç 2016). Ortalama arızalar arası süre (MTBF-Mean Time Between Failure), tamir edilebilir araçlar için bir güvenilirlik ölçümüdür. (Akkaya 2013). Simülasyonu yapılan edilen sistemin etkin çalışacağı elde edilen yüksek güvenilirlik oranı ile belirlenmiştir. Öngörülen verilere göre çıkan bu değer, durumu görmek için elimizde bir kayıt olmuştur. Değer daha da düşük çıkabilirdi. Düşük çıkarsa idi fizibilite çalışmalarına tekrar başlanması talep edilecekti. İlave olarak, pompa başta olmak üzere ana ekipmanların toplamda %92'lik bir oranda kritik olduğu



belirlendi. Ayrıca bu ekipmanların güvenilirlikleri de MTBF değerleri baz alınarak belirlenmiş oldu. Kritik ekipmanlar konusu daha önemlidir çünkü bu ekipmanlarda meydana gelebilecek bir arızanın sistemi daha fazla etkileyebileceği düşünüldüğünde orta ve uzun vadede gerekli modernizasyon yatırımlarının bu ekipmanlar üzerinde yoğunlaşması gerekecektir. Belirlenen MTBF'ler ise hangi kritik ekipmanın kaç yıl sonra arıza yapacağını bize vermiştir. Kritik ekipmanlar hakkında elde edilen bu bilgiler tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır.

Özellikle tasarım, test ve bakım aşamalarında sistemlerin iş güvenliğine uygun olması için güvenilirlik sistemleri önemli bir gerekliliktir. Güvenilirlik metotları, iş güvenliğinin sürdürülebilir olması için önemli görev üstlenmektedir. Ayrıca şu da önemlidir ki günümüzdeki güvenilirlik teknolojileri iş güvenliğine yoğunlaşmış ve özellikle tasarım ve bakımında gelişmiş metotlara başvurulmuştur. (Michelsen 1998). Bu varsayımına göre, kullandığımız simülasyon modelinden elde edilen raporların da dolaylı olarak iş güvenliğine katkı sağlayacağı aşikardır. 3.2'de bahsedilen katran üretim sisteminde tesisin kendi yapısından kaynaklı riskler iş güvenliğine uygun tasarım yapılarak azaltılabilir. Ancak personelerin fiziksel olarak çalıştığı işler olan temizlik ve bakım kaynaklı riskler RAM analizi ile azaltılabilir. Bunun sebebi RAM analizi ile risklerin önceden tespit edilebilir olmasıdır. Şu da ayrıca düşünülebilir ki RAM analizi yapılmaz ise öngörülemeyen riskler zamanla ortaya çıkabilir ve ileriki zamanlarda sıkıntılar yaşanabilir.

Halbuki RAM analizinde iş güvenliği uygulamaları standartlaştırılmıştır. Böylece risk analizine daha az ihtiyaç duyulacaktır. (Michelsen 1998). Kritik ekipmanlar üzerinde yapılacak iyileştirmeler bakım sıklığını azaltacağı için daha az riskli ve standart bir iş güvenliği yaklaşımı sergileneceği açıktır.

Mekanik ekipmanlarda malzeme yorulmasından dolayı ilerleyen dönemlerde yorulma ve diğer yaşlanma belirtileri ortaya çıktığı için arıza oranı artma eğilimindedir. (Özkılıç 2016). RAM analizi bakım kararlarının alınma aşamasında önemlidir ve karlı ve emniyetli üretim tesislerinin yönetimi için gereklidir. (Naseri ve ark. 2016). Yaptığımız bu çalışma sonucu %92'lik öneme giren kritik ekipmanlara daha çok odaklanması gerekeceğinden bu ekipmanların tasarım aşamasında ömürleri daha uzun olacak şekilde modernize edilmesi arıza oranlarını en baştan düşürecektir. Sistem devreye girdikten sonra ekipmanlara yapılacak bakım planlaması ile birlikte bir ömür verilmesi, ömrünün

takip edilmesi ve yaşlanmasına müsaade etmeden gerekli aksiyonların alınması sağlanacaktır.

RAM analizini en uygun uygulama zamanı tasarım zamanıdır. Mühendislik fazı başladığı zaman önemli değişiklikler yapmak çok maliyetli ve olanaksız olacaktır. (Wang 2012). Yaptığımız çalışmada güvenilirliğin yüksek değil de düşük çıkması durumunda tesisin kurulamayacağı anlaşılacaktır. Ancak yine de düşük güvenilirlikle tasarlanacak bir sistemde, yapılamayan değişikliklerin yapılması için ileri aşamalarda çareler düşünülecek ve alternatif çözümler üzerinde çalışmalar yapılmak zorunda kalınacaktır. En azından kritik ekipmanlar üzerinde çok acil revizyonlar devreye alınarak güvenilirliğin bir nebze olsun yukarıya çıkarılması düşünülecektir. Bu da teyit etmiş oluyor ki RAM analizi kesinlikle tesis kurulmadan tasarım aşamasında yapılmalıdır ve tüm ekipman ömür, arıza, planlı ve plansız bakım verileri, tamir süreleri ile işçilik ve malzeme giderleri hesaplanmalıdır.

Bu çalışmada “Genel Bilgiler” kısmında bahsedilen banyo küvet eğrisine göre yeni sistemlerde ekipmanlar genelde bebeklik dönemi denilen ilk günlerde arıza yapmaktadır. Tasarım zamanında yapılan RAM analizi bu kısmı kısaltmıştır. (Akkaya 2013). Yani bebeklik dönemi çabuk geçmektedir ve az arıza yapan olgun bir tesis haline gelmektedir.

Tezde önerilen sistemin aksini iddia etmek geleneksel bir yaklaşımdır. Aksi fikirler iddia edebilir ki zaten uzman kişilerce fizibilitesi yapılan ve tasarlanan sistemlerin gerçek sorunlarının çalışmaya başladıktan sonra ortaya çıkacağını, sistemin ve ekipmanların güvenilirliklerinin o zaman anlaşılacağını, özellikle bakım uygulamalarının baştan o kadar kolaylıkla öngörülemediğini söyleyebilir. Tezde önerilen simülasyon modeli ise aslında bu işle yoğrulmuş uzman kişilerin tecrübesinin önemine ilave olarak, tesisin sanki çalışıyormuş gibi simülasyon modelinin çıkarılarak uzmanların da gözünden kaçabilecek durumların önceden görülmesini amaçlamaktadır. Aslında RAM analizinde çatışan bir durum yoktur. Zaten mevcutta yapılan fizibilite ve tasarım çalışmaları uzmanlarca yapılır. Ancak takdir edilmelidir ki sistemler her zaman gelişmekte, yeni yeni ekipmanlar ortaya çıkmakta, uzman kişiler de sürekli bir şeyler öğrenmektedir. İşte önerilen modelleme tecrübe ile yeniliğin tam kombinasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kullandığımız program bize 3 önemli veri vermekte ve tesis tasarımcılara gelecek planlamaları hakkında önemli fikirler vermektedir.

Öncelikle, yapılan işlem bir güvenilirlik analizidir ve düşünülen katran üretim sisteminin %99,29 oranında güvenilir (etkin) olduğunu vermiştir. Burada elde edilen güvenilirlik değeri sistemin sürekli ve arızasız çalışma, üretim süreci güvenilirliğidir. Direkt olarak iş güvenliği güvenilirliği olmadığı için elde edilen oranı değerlendirmek yöneticilere bağlıdır ve sübjektiftir. Biz burada bu oranın yeterince yüksek olduğunu, tesisin güvenilir olduğunu ve tasarım aşamasına geçilebileceğini söyleyeceğiz. Tesisin kurulum sonrası yetkililerinin yapacağı iş bu güvenilirlik değerini aşağı çekmemek olmalıdır. Çünkü o süreç başladığı zaman geri dönülemez bir yola girilebilir. Bunu sağlamak için ise aşağıda anlatacaklarımıza özen gösterilmesi gerekir.

Diğer konu ise kritik ekipmanların belirlenmesi idi. Kritik ekipmanlar bir tesis için önemli olan, arıza yapabilecek ve arıza olduğunda sistemi etkileyebilecek ekipmanlardır. Yaptığımız modelleme bize kritik ekipmanları en önemliden önemsizlere doğru sıralamıştır. Nihai hedef olan ürün satışı başta olmak üzere tesisin sağlıklı çalışmasını etkileyen en önemli faktörler kritik ekipmanlardır. Aslında %92'lik dilime giren bu ekipmanların hepsi kritiktir. Çünkü bunlar ana ekipmanlardır. Bir tanesinin çalışmaması süreci durdurur. Oranların farklılık arz etmesi sadece sıralama gereğidir. Yine de sonuç olarak pompa % 67 ile en kritik ekipman olarak belirlenmiştir. Birde bu dilime girmeyen ve “diğer” olarak adlandırılan ekipmanlar %8'lik kritik öneme sahiptir. Oran yüksek gibi görülebilir ancak çok fazla ekipmanı içeren bu kısım için zaman kaybetmektense diğer %92'lik orana giren ana ekipmanlar üzerine yoğunlaşmak en doğrusu olacaktır.

Kritik ekipmanlar üzerine nasıl yoğunlaşılacak? Bu ekipmanların da güvenilirlik değerleri modelleme sonucunda bulunmuştur. Bizim için en güvenilir ekipman en uzun süre arızasız çalışan ekipmandır. MTBF değeri baz alınan güvenilirlik süreleri 1 yıl ile 4 yıl arasında değişiyor. Yapılması gereken iş ekipmanların kritiklik değerleri ile güvenilirlikleri arasında bağlantı kurularak her ekipmanı ayrı ayrı değerlendirmektir. Tesis için en kritik ekipman olan pompanın güvenilirlik değerinin 4 yıl olması, kritikliği % 1,53 ile az olan elektrofiltrelerin güvenilirlik değerinin sadece 1 yıl olması önemli konulardır. %67'lik oranda kritik olan pompanın 4 yıl arızasız çalışabilmesi sistem

sürekliliği için çok önemlidir. Daha önce de belirtildiği gibi bu ekipmanların hepsi kritiktir. MTBF değerleri dikkate alınarak bu kritik ekipmanların sağlıklı çalışma süresi değerlendirilmeli ve bakım planlamaları ona göre yapılmalıdır.

İşin en önemli kısmı ise bu durumun iş güvenliğine etkisidir. RAM analizinde risk değerlendirmenin standart olması öngörülür. Her kritik ekipmanın bakım zamanları elde edilmiştir ve yapılan planlamalar çerçevesinde riskler belirlenir. Bunlar en baştan bellidir ve değişmezdir. İşgücü, eğitilmiş personel ve ekipman ihtiyacı en baştan planlı bir şekilde belirlenmiş olur ve sağlıklı bir bakım süreci geçirilir. Tabii ki bu bakımları ne kadar sık yaparsak o kadar risk alınmış olur. Onun için her ekipmanın MTBF değerlerinin yani güvenilirliklerinin artırılması gerekir. Kritik ekipmanlar üzerinde iyileştirmeler yapılması ve gerektiğinde ekipmanın yenilenmesi gerekir. Aldığımız rapor bize bunu söylemektedir. Yapılacak bu iyileştirmeler orta ve uzun vadede bakım sıklığını azaltacağı için daha az riskli ve standart bir iş güvenliği yaklaşımı sergilenecektir.

Gaz patlamaları da baştan öngörülmeli ve tasarım aşamasında önlemler alınmalıdır. Katran üretim sisteminde en riskli bölge egzoster odasının içi olmak üzere tüm kok gazı iletim hatları ve bağlantı bölgeleri standartlara uygun üretilmek üzere tasarlanmalıdır. Öncelikle boru hatları uygun bir şekilde topraklanmalı ve bu değerler yıllık olarak ölçülerek kontrol edilmelidir.

Gaz kaçağı olabilecek yerlerde gazın etki alanı (Zone) hesap edilerek bu alan içerisindeki ekipmanlarda statik elektrik oluşmaması için ilgili cihazlar exproof olarak seçilmelidir. Ayrıca exproof ekipmanlar da gövdeden topraklanmalı, antistatik boya ile boyanmalı, paslanmaz olarak seçilmeli ve ekipmanların bakımının yetkili firmalarca yapılması konusunda planlama yapılmalıdır. Bu ekipmanların bakımını kendimiz yapacak ise anti statik elbise kullanılması da önemli bir zorunluluktur.

Tasarım aşamasında ekipman güvenliği ne kadar etkili olursa olsun, patlayıcı ortamlarda çalışanlar gerekli izinleri aldıktan sonra çalışmalıdırlar. Özellikle bakım çalışmalarında personel üzerindeki statik elektriği gidermek için egzoster girişlerine bakır levhalar yerleştirilmesi, “EX PATLAYICI ORTAM” uyarı levhası asılması ve personelin anti statik elbise giymesi gerekir.

Elektrofiltrelerde uygulanacak yüksek gerilimin fazla olması durumunda kıvılcım çıkması ve sonrasında patlama olabileceğini düşünerek tasarım aşamasında bu riskin bertarafı için çalışma yapılmalıdır. Kıvılcım çıkarmayan veya yüksek gerilimin belli

değerin üzerinde uygulanamadığı bir tesis tasarlanması yapılabilir. Ayrıca, ortaya çıkacak olan manyetik alandan etkilenmenin olmaması için gerekli tasarım yapılmalıdır.

Şekil 15'te RAM analizi yapmak için tasarladığımız süreçte elektrofiltreler egzosterlerden sonra gelmektedir. Tasarlanan katran üretim sistemlerinde elektrofiltreler egzosterin emme tarafına ön soğutuculardan sonra da yerleştirilebilir. Bu şekilde olması halinde elektrofiltreler vakum altında çalıştığından cihaza kolaylıkla hava girebilir ve kolay patlama olabilir. Böyle düşünülen sistemlerde cihaza hava girişini önleyecek sağlam bir izolasyon yapılması gerekir. Bizim tasarladığımız süreçte elektrofiltrelerin egzosterden sonra basma tarafına inşa edilmesi halinde cihaz basınç altında olacak ve dışarıdan hava emilmesi imkansız olacaktır. Bu durumda gaz kaçağı kolaylıkla tespit edilebilir. Elektrofiltrede gazın temizlenmesi daha etkin olarak yapılabilir.

Sistemin tasarlanması yapılırken acil durum olasılıkları da dikkate alınmalıdır. Acil durum senaryoları önceden belirlenmeli ve bu ihtimallerin gerçekleşmemesi için tesis tasarımı ona göre yapılmalıdır. Öncelikle yangın ve patlama riskini azaltacak tedbirler alınmalıdır. Ayrıca kok gazı ve buhar kaçaklarının olmayacak şekilde dizayn yapılması, enerji kesilmesi gibi acil durumlarda devreye girebilecek pompa, kompresör vs. gibi ekipmanların düşünülmesi gerekir. Yangın riski yüksek yerlerde, elektrik odalarında otomatik sulu veya gazlı söndürme sistemleri tasarlanmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

(DNV GL Software, 2016) USER MANUAL, TARO, Safely and Responsibly Analyse and Improve Production Efficiency. Oslo, Norveç, DNV GL Software

(DNV GL Software, 2017) TARO Training Course Advanced RAM analysis for the downstream industry. Oslo, Norveç, DNV GL Software

(DNV GL Software, 2016) Maros and Taro e-learning centre. Oslo, Norveç, DNV GL Software.  
[https://www.youtube.com/playlist?list=PL2EsH0WLHwszPBoEOizgc\\_nKLotGFjAuz](https://www.youtube.com/playlist?list=PL2EsH0WLHwszPBoEOizgc_nKLotGFjAuz) (Ulaşım 10 Ocak 2019)

AKKAYA, O. (2013) Reliability Availability and Maintainability Analysis in Naval Ships. Thesis (M.Sc). Istanbul Technical University

CHOI H, CHANG D. (2016) Reliability and availability assessment of seabed storage tanks using fault tree analysis. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801816300877> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

CORVARO, F, GIACCHETTA, G, MARCHETTI, B, RECANATI, M. (2016) Reliability, Availability, Maintainability (RAM) study, onreciprocating compressors API 618.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405656116301523> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

ÇAKIR, A.M. (2006) Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÇEVİK, O, ARAN, G. (2007) Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Piston Üretiminde Bir Uygulama.  
<https://dergipark.org.tr/download/article-file/289386> (Ulaşım: 28 Ağustos 2019)

FAERTES, D. (2015) Reliability of Supply Chains and Business Continuity Management.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915016051> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

GARG, H. (2012) Reliability analysis of repairable systems using Petri nets and vague Lambda-Tau methodology.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019057812000882> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

MICHELSEN, O. (1998) Use of reliability technology in the process industry.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832098830111> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

NASERI, M, BARALDI, P, Compare M, Zio E. (2016) Availability assessment of oil and gas processing plants operating under dynamic Arctic weather conditions.

ÖZDEMİR, E. (2015) Kok Prosesi Egzosterlerde Patlamadan Korunma Dökümanı Hazırlanması  
[http://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/6e3ba88ecba182a\\_ek.pdf?tipi=2&turu=H&sube=1](http://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/6e3ba88ecba182a_ek.pdf?tipi=2&turu=H&sube=1) (Ulaşım: 28 Ağustos 2019)

ÖZKILIÇ, Ö. (2016) FMEA / FMECA - Hata Modu ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis- Failure Mode and Critically Effects Analysis)  
<https://www.linkedin.com/pulse/g%C3%BCvenilirlik-nedirdependabilityreliability-centred-rcm-%C3%B6zkili%C3%A7/> (Ulaşım: 28 Ağustos 2019)

ÖZKILIÇ, Ö. (2016) GÜVENİLİRLİK Nedir?(Dependability/Reliability) (Reliability Centred Maintenance - RCM). <https://www.linkedin.com/pulse/g%C3%BCvenilirlik-nedirdependabilityreliability-centred-rcm-%C3%B6zkili%C3%A7/> (Ulaşım: 20 Mayıs 2019)

SHARMA, R.K, KUMAR, S. (2006) Performance modeling in critical engineering systems using RAM analysis. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832007001317> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

SHARMA, S.P, KUMAR, D. (2009) RAM analysis of repairable industrial systems utilizing uncertain data. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494609002737> (Ulaşım: 18 Şubat 2019)

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (2011) Metalürji Teknolojisi Katran Üretimi. Ankara, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Katran%20%C3%9Cretimi.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Katran%20%C3%9Cretimi.pdf) (Ulaşım: 25 Şubat 2019)

TOLVANEN, P. (2011) A Reliability Analysis For The Grinding Process. Thesis (Bachelor's). JAMK University of Applied Sciences

WANG, L. (2012) Production Assurance and Life Cycle Cost Evaluation of Offshore Development Projects in the Conceptual Design Phase. Thesis (Master). Norwegian University



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ÖZKAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmaniye / 20.01.1977  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (e-posta) : [mraozkan@yahoo.com](mailto:mraozkan@yahoo.com)

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 2000  
Yüksek Lisans : Southampton Institute Marketing Management Pgd 2002

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Ataylar Makine, Planlama Mühendisi, 2003-2004

: Erdemir, Öneri Sistemleri Mühendisi, 2004-2012

: Erdemir, İş Güvenliği Uzmanı, 2012-Halen

Diğer Konular :

Aile, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı “A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı” belgesine sahiptir.