



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMBİNE ÇEVİRİM SİSTEMİ KONDENSER ARIZA
ANALİZİ VE AÇIK DENİZ PLATFORMU
UYGULAMALARINA İLİŞKİN BİR ÖN DEĞERLENDİRME**

FURKAN ERTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZ ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ORDU 2023

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

FURKAN ERTAN

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

KOMBİNE ÇEVİRİM SİSTEMİ KONDENSER ARIZA ANALİZİ VE AÇIK DENİZ PLATFORMU UYGULAMALARINA İLİŞKİN BİR ÖN DEĞERLENDİRME

FURKAN ERTAN

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 70 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖZKAN UĞURLU)

Açık deniz platformları, deniz/okyanus yatağının altından fosil yakıtlar gibi doğa kaynaklarının keşfi ve/veya çıkarılması için mürettebatı ve makineleri barındıran büyük deniz yapılarıdır. Bu yapılarda meydana gelebilecek arıza ve/veya kazalar yüksek maliyetli ekonomik kayıplara ya da çevresel felaketlere yol açabilmektedir. Bu sebeple bu yapıların işletme&bakım yönüyle mükemmeliyetçi bir yaklaşım sergilemesi hem ekonomik hem de çevresel anlamda kaçınılmazdır. Kombine çevrim sisteminin tanımı, verimliliği ve sistemi oluşturan bileşenler bu çalışmada ele alınacaktır. Sistem bileşenlerinden biri olan deniz suyu soğutmalı kondenser ekipmanında ortaya çıkan arızaya ilişkin analiz, çeşitli yaklaşımlarla ortaya koyulacaktır. Bu çalışma, sonuçları itibariyle sistemi kullanan paydaşlara da katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Son yıllarda özellikle Karadeniz ve Akdeniz’de yürütülen petrol ve türevlerine ilişkin arama çalışmalarında kaydedilen ilerlemeler fiziki olarak sonuca ulaştığında, burada kullanılacak olan ekipmanların etkin bir şekilde çalıştırılması ‘enerji arzı’ na yönelik yürütülen faaliyetlere de katkı sağlayacaktır. Arıza analizi, Bayes Ağı ve Bulanık Mantık ile oluşturulan hibrit sistem ile yapılmış olup, ilave analizör kurulumu ve sistemin operatörden bağımsız olarak durabilmesi gibi iyileştirmelerin olumlu etkisi analiz sonuçlarında da kendini göstermiştir. Deniz suyunun agresif yapısından kaynaklı ortaya çıkan yıkıcı etkilere bu çalışmada yer verilmiş, hem deniz üstünde hem de deniz suyu ile çalışan sistem veya tesislerde işletme ve bakım faaliyetleri açısından fayda sağlayabilecek önemli bilgi, tespit ve tavsiyeler de bu çalışma içerisinde detaylı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Açık Deniz Platformları, Bulanık Mantıklı Bayes Ağı, Kombine Çevrim Sistemleri, Kondenser arızası.

ABSTRACT

COMBINED CYCLE SYSTEM CONDENSER FAILURE ANALYSIS AND A PRELIMINARY EVALUATION FOR OFFSHORE PLATFORM APPLICATIONS

FURKAN ERTAN

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

DEPARTMENT OF MARITIME TRANSPORTATION ENGINEERING

MASTER THESIS, 70 PAGES

(SUPERVISOR: PROF. DR. ÖZKAN UĞURLU)

Offshore platforms are large sea structures that house crews and machinery for the exploration and/or drilling of natural resources such as fossil fuels below the sea/ocean bed. Any malfunctions and/or accidents that may occur in these structures can lead to costly economic losses or environmental disasters. For this reason, it is inevitable for these structures to display a perfectionist approach in terms of operation&maintenance, both economically and environmentally. The definition of the Combined cycle system, its efficiency and the components that make up the system will be discussed in this study. The analysis of the failure of the seawater cooled condenser equipment, which is one of the system components, will be presented with various approaches. This study aims to contribute to the stakeholders who use the system in terms of its results. When the progress made in the exploration studies for petroleum and its derivatives, which have been carried out especially in the Black Sea and the Mediterranean in recent years, reaches physical results, the effective operation of the equipment to be used here will also contribute to the activities carried out for 'energy supply'. The failure analysis was made with the hybrid system created with Bayesian Network and Fuzzy Logic, and the positive effect of the improvements such as additional analyser installation and capability of the system shutdown independently from the operator showed itself on the analysis results. The destructive effects arising from the aggressive nature of sea water are included in this study, and important information, determinations and recommendations that can be beneficial in terms of operation and maintenance activities both on the sea and in systems or facilities operating with sea water are presented in detail in this study.

Keywords: Bayesian Network with Fuzzy Logic, Combined Cycle Sytems, Condenser Failure, Offshore Platforms,

TEŐEKKÖR

Tez konumun belirlenmesi, alıőmanın yűrűtűlmesi ve yazımı esnasında baőta danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Őzkan Uęurlu'ya ve tez yazım aőamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli uzmanlara teőekkűr ederim.

Aynı zamanda, manevi desteklerini her an űzerimde hissettięim ailem ve bu tezin yazım sűrecinde hayatını kaybeden kıymetli babama teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
EKLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1 Açık Deniz Platform Uygulamaları.....	2
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1 Basit Çevrim, Kombine Çevrim Kavramları.....	8
2.2 Basit Çevrim, Kombine Çevrim Verim Hesaplamaları.....	10
2.3 Kombine Çevrim Bileşenleri.....	12
2.3.1 Gaz Türbini.....	12
2.3.2 Buhar Türbini.....	13
2.3.3 Kondenser.....	14
2.3.4 Jeneratör.....	18
2.3.5 Atık Isı Kazanı.....	18
2.4 Kondenser Arızaları.....	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1 Çalışmanın Kapsamı.....	23
3.2 Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Metotlar.....	24
3.2.1 Bayes Ağı.....	24
3.2.2 Bulanık Mantık Tabanlı Bayes Ağı.....	25
3.2.3 Uzman Görüşünden Olasılık Elde Edilmesi.....	26
3.2.4 Bulanıklaştırma.....	26
3.2.5 Birleştirme Aşaması.....	27
3.2.6 İlave Analizör ve Sistemin Otomatik Durma Özelliği.....	28
3.3 Çalışmanın Aşamaları.....	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	31
4.1 Kondenserde Yaşanan Arıza (Vaka Olayı).....	31
4.2 Kondenser Boru Arıza Analizi ve Yapılan İyileştirmelerin Etkileri.....	36
4.2.1 Ağ Yapısının Oluşturulması.....	36
4.2.2 Ağ Yapısındaki Düğümlerin Olasılıklarının Hesaplanması.....	36
4.2.3 Modelin Geçerliliği (Aksiyom Test).....	37
4.2.4 Hassasiyet Analizi ve Bulgular.....	40
4.3 Yapılan İyileştirmeler.....	45
4.3.1 Analizör Kurulumu.....	45
4.3.2 Mantıksal Programlama.....	46
4.4 Açık Deniz Platform Uygulamalarına İlişkin Ön Değerlendirme.....	51
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	56
6. KAYNAKLAR	61
EKLER	64
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Açık Deniz Platform Yapıları.....	1
Şekil 1.2 Deniz/Okyanus Yatağında Var Olan Petrol Türevleri.....	2
Şekil 1.3 Açık Deniz Platformları Güç Üretim Metotları.....	6
Şekil 2.1 Basit Çevrim Gaz Türbini.....	8
Şekil 2.2 Kombine Çevrim Sistem Konfigürasyonu	9
Şekil 2.3 Rankine Çevrimi (OEM Eğitim dokümanı)	9
Şekil 2.4 Isı Denge Diyagramı.....	10
Şekil 2.5 Örnek Gaz Türbini modeli.....	12
Şekil 2.6 Örnek Buhar Türbini modeli	13
Şekil 2.7 Kondenser yapısı ve konfigürasyondaki yeri	14
Şekil 2.8 Kondenser shell (kabuk) ve boru demeti	16
Şekil 2.9 Çarpmalı elek.....	17
Şekil 2.10 Su Haznesi	17
Şekil 2.11 Kondenser Boru Temizleme Sistemi	17
Şekil 2.12 Jeneratör iç kısmı.....	18
Şekil 2.13 Atık Isı Kazanı segmentleri (OEM Eğitim dokümanı).....	19
Şekil 2.14 Kondenser Arızası incelemeleri.....	20
Şekil 2.15 Kondenser Arıza Analizi görselleri	21
Şekil 2.16 Kondenser Arıza Analizi boru (tüp) görselleri	22
Şekil 4.1 Plug (tapa) uygulaması	31
Şekil 4.2 Akustik Darbe Yansıma Ölçümü testleri.....	32
Şekil 4.3 Kondenser Üst/Alt Su Haznesi	33
Şekil 4.4 Yüksek Basınç Buhar Türbini gövde.....	34
Şekil 4.5 Kondenser Su Haznesi'nde düşen plug	35
Şekil 4.6 Kontrol Bakım aktiviteleri.....	35
Şekil 4.7 Aksiyom Test 2.....	39
Şekil 4.8 Kondenser Arıza Analizi Ağ Yapısı	44
Şekil 4.9 Kondenser Arıza Tespiti için analizör kurulumu.....	46
Şekil 4.10 Kondenser Takip Sistemi görseli.....	50
Şekil 4.11 Açık Deniz Platformuna kombine çevrim optimal konfigürasyonu.....	52
Şekil 4.12 Açık Deniz Platformuna kombine çevrimi entegrasyonu.....	53
Şekil 4.13 Açık Deniz Platformunda geliştirilmiş Kondenser uygulaması	53

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 2023 Ocak dünyada aktif olan açık deniz petrol/gaz platformları listesi .	5
Çizelge 4.1 Uzman grubu ağırlık faktörleri	36
Çizelge 4.2 Uzman Değerlendirmeleri Sözel Ölçeklendirme.....	37
Çizelge 4.3 Aksiyom Test 1	38
Çizelge 4.4 Hassasiyet Analizi 1	40
Çizelge 4.5 Hassasiyet Analizi 2	40
Çizelge 4.6 Hassasiyet Analizi 3	40
Çizelge 4.7 Hassasiyet Analizi 4	41
Çizelge 4.8 Hassasiyet Analizi 5-6	41
Çizelge 4.9 Hassasiyet Analizi 7	41
Çizelge 4.10 Hassasiyet Analizi 8-9	42
Çizelge 4.11 Hassasiyet Analizi 10	42
Çizelge 4.12 Hassasiyet Analizi 11	43
Çizelge 4.13 Hassasiyet Analizi 12	43
Çizelge 4.14 Birleşik Aksiyon Seviyesi tablosu	49
Çizelge 4.15 Aksiyon Seviyesi/Kalan Süre tablosu.....	49

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

bar	: Basınç birimi (bar)
BP	: British Petrol
BN	: Bayes Ağı
°C	: Santigrat derece
CC	: Katyonik İletkenlik
CCP	: Kombine Çevrim gücü
CDP	: Kondens Çıkış Pompası
CO₂	: Karbondioksit
CPT	: Koşullu Olasılık Tablosu
Cu	: Bakır
CuNi	: Bakır-Nikel Alaşım
DAG	: Yönlendirilmiş döngüsüz grafik
DCS	: Dağıtımlı Kontrol Sistemi
EPRI	: Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü
°F	: Fahrenheit derece
GEN	: Jeneratör
GT	: Gaz Türbini
GTP	: Gaz Türbini gücü
h	: Entalpi
hHPI	: HP Giriş Buhar Entalpisi
hHPO	: HP Çıkış Buhar Entalpisi
hIPI	: IP Giriş Buhar Entalpisi
hLPI	: LP Giriş Buhar Entalpisi
hLPO	: LP Çıkış Buhar Entalpisi
HP	: Yüksek Basınç
HPIP	: Yüksek Basınç Türbin Giriş Gücü
HPOP	: Yüksek Basınç Türbin Çıkış Gücü
HPP	: Yüksek Basınç Türbin Gücü
HRSG	: Atık Isı Kazanı
HV_L	: Alt ısı değer
H₂S	: Hidrojen sülfür
IP	: Orta Basınç
IPLPP	: IP&LP Türbin Gücü
IPP	: IP Türbin Gücü
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
kW	: Kilowatt
LP	: Düşük Basınç
LPOP	: LP Çıkış (Kondenser Giriş) Gücü
LPP	: LP Türbin Gücü
m	: Kütleli debi
mHPI	: HP Giriş Kütleli Debi
mHPO	: HP Çıkış Kütleli Debi

mIPI	: IP Giriş Kütlesel Debi
mLPI	: LP Giriş Kütlesel Debi
mLPO	: LP Çıkış Kütlesel Debi
mg/l	: milligram/litre
MIC	: Mikrobiyal etkili korozyon
mm	: Milimetre
MW	: Megawatt
Na	: Sodyum
NO₂	: Azot Dioksit
η	: Verim
η_{sc}	: Basit Çevrim Verimi
η_{cc}	: Kombine Çevrim Verimi
OFNP	: Açık Deniz Yüzer Nükleer Santral
OEM	: Orijinal Ekipman Üreticisi
pH	: pH (Asitlik-Bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi)
P_{NG}	: Doğalgaz gücü
ppm	: Milyonda bir birim parçacık
ppb	: Milyarda bir birim parçacık
psig	: Basınç birimi (psi-gauge)
PV	: Fotovoltaik
s	: Saat
SCP	: Basit Çevrim gücü
SCC	: Gerilim Korozyonu Çatlağı
SO₂	: Kükürt Dioksit
STP	: Buhar Türbini toplam gücü
μS/cm	: Mikrosiemens/Santimetre (İletkenlik birimi)
TiO₂	: Titanyum dioksit
W_μ	: Uzmanların Ağırlık Faktörü

EKLER LİSTESİ

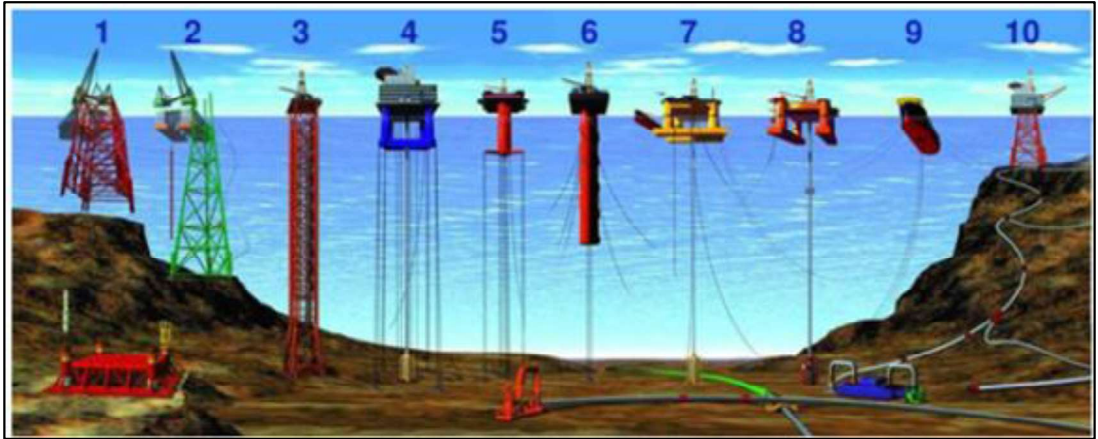
	<u>Sayfa</u>
EK 1: Kondenser Tüp Arıza Analizi Dosyası_Excel	65
EK 2: Kondenser Tüp Arıza Analizi Dosyası_Genie	69

1. GİRİŞ

Açık deniz platformları, okyanus petrol ve/veya gaz kaynaklarının farklı derinliklerde araştırılması, sondajı, üretimi, depolanması ve taşınması için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2017). Küresel enerji üretiminin yaklaşık %30'u açık deniz kaynaklarından sağlanmaktadır (Anonim, 2023). Bu yapıların işletme-bakım faaliyetleri yönüyle ciddi önem arzeden yapılar olduğu, hem teknik hem de çevresel açıdan önemli felaketselere yol açabileceği bilinmektedir.

İlk açık deniz platformu 1947'de Louisiana kıyılarında 6 metre su derinliğine kurulmuş olup bugün dünya çapında 1 800 metreye kadar su derinliklerinde 7 000'den fazla açık deniz platformu olduğu bilinmektedir. Platformların su derinliklerine bakıldığında 350 metre'den küçük olanlar sığ su, 350 ile 1 500 metre arasında olanlar derin su, 1 500 metre'nin üzerinde olanlar ultra derin su olarak sınıflandırılır. (Zhang ve ark., 2019).

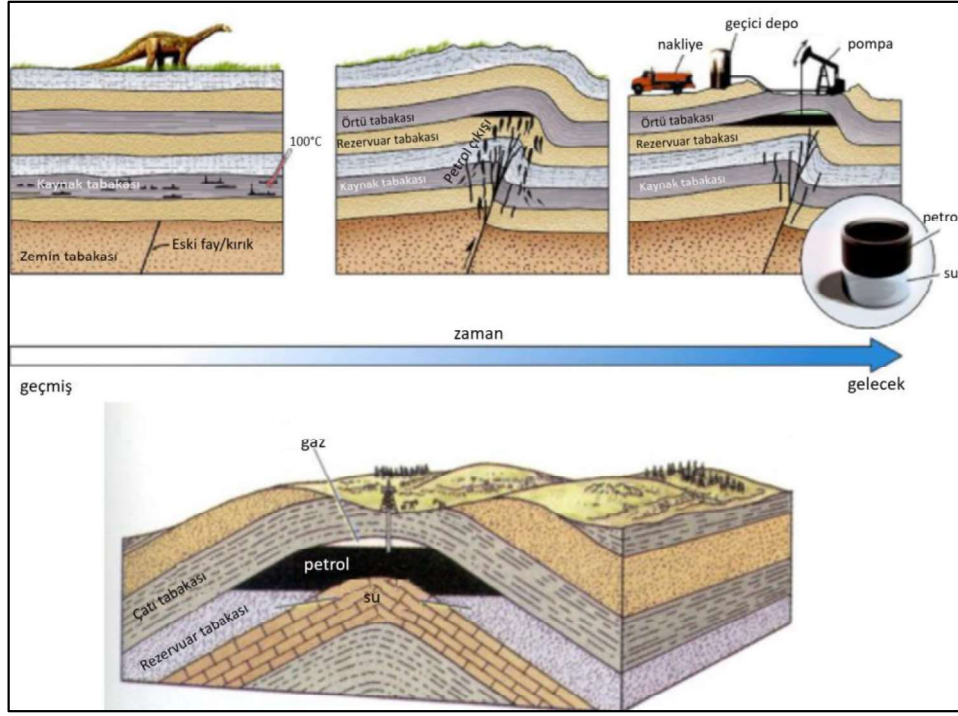
Petrol ve gazın sondajını ve çıkarılmasını desteklemek için çeşitli açık deniz yapıları bulunmaktadır. Şekil 1.1'de gösterilen bu yapıların tipleri, su derinliği, kuyu tipi, çevresel koşullar (dalgalar, rüzgar ve akıntı vb.), borda ekipmanları, inşaat planları ve maliyet gibi birçok faktöre bağlı olarak çeşitlenmektedir (Shukla ve ark., 2016).



Şekil 1.1 Açık Deniz Platform Yapıları (Shukla ve ark., 2016)

1-2 Geleneksel sabit platformlar, 3 Sabit Kuleler, 4-5 Telle sabitlenen platformlar, 6 Direkli platformlar, 7-8 Yarı Dalgıç platformlar, 9 Hareketli üretim, depolama ve boşaltma tesisi, 10 Denizaltı bağlama tesisi

Şekil 1.2’de görüleceği üzere, deniz/okyanus yatağında yıllar öncesinde var olan petrol türevleri zamanla fayların hareketliliği ile yüzeye daha yakın bölgelere çıkmakta ve burada yoğunluk farkıyla gaz, petrol türevleri ve su tabakalar halinde ayrılmaktadır. Daha sonra petrol türevleri sondaj çalışmalarıyla çıkarılmakta, boru hatları ve/veya gemilerle enerji arzına katkı sunmaktadır (Boland, 2013).



Şekil 1.2 Deniz/Okyanus Yatağında Var Olan Petrol Türevleri (Boland, 2013)

Açık denizlerde farklı derinliklerden petrol ve türevlerini çıkartmak için kurulan platformlarda oluşabilecek sorun, problem ve arızalar hem teknik hem de çevresel açıdan zorlayıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışma, açık deniz platformlarında kullanılan ekipman(lar) ile ilgili uzman görüşleri ile arıza analizini, oluşabilecek yıkıcı etkileri ve alınabilecek önlemleri içermektedir, aynı zamanda bu konuda yapılacak çalışmalara fayda sağlamayı amaçlamaktadır.

1.1 Açık Deniz Platform Uygulamaları

Petrol arama ve üretim faaliyetleri çok fazla belirsizlik içermektedir. Petrol sahasının zenginliğini belirlemek ve değerlendirmek için arama sondajları yapıldıktan sonra, çeşitli kuyu sahalarında üretilecek petrol miktarları ortaya çıkabilir. Muhtemel maliyet tahminlerini aşan hatalara tabidirler. Bu nedenle, üretim aşamasında bile yapılacak çok fazla keşif vardır. Mevcut petrol miktarları hakkında daha iyi bilgi

edinildiğinde planların değiştirilmesi muhtemeldir. Ayrıca, mühendislik uygulamalarında karşılaşılan olağan belirsizlikler, araziye ait bilgilerin yanı sıra açık denizde veya deniz altında çalışmanın zorlukları süreci karmaşıklarlaştırır. Bu nedenle, petrol arama ve üretimi için her zamankinden daha fazla matematiksel programlama modelleri, stratejileri keşfetmek, bunların fizibilitesini ve maliyetini değerlendirmek ve bunları karşılaştırmak için tasarlanmış karar yardımcı araçları en uygun çözüm olarak görülmelidir (Hansen ve ark., 1990).

Haugland ve Hallefjord'un (1988) belirttiği gibi, bir açık deniz petrol sahası geliştirme kararı alındıktan sonra, bazıları üretim sisteminin tasarımıyla ilgili, bazıları ise işleyişiyle ilgili olmak üzere birçok karar alınması gerekir. Tasarım düzeyinde, en önemli kararlardan bazıları platform sayısı, kuyu sayısı, platformların konumu ve boyutu, kuyuların konumu ve kuyuların platformlara atanmasıdır. Orta düzeyde, kararlar, platform operasyonunun programlanması, kuyu operasyonunun programlanması ve terk etme zamanıdır. Son olarak, operasyon düzeyinde kararlar, zaman içindeki üretim oranları, zaman içindeki enjeksiyon oranları ve geliştirilmiş petrol geri kazanımı ile ilgilidir.

Açık deniz petrol sahalarının optimal gelişimi ve kullanımı için çeşitli modeller literatürde bulunabilir. Devine (1973), çift tamamlamalı petrol kuyularının (yani, tek bir delikten birlikte üretilen iki petrol hedefi) sondaj maliyetini en aza indirme sorununu tartışır. Üretim kuyularının bulunması sorunu Rosenwald ve Green (1974) tarafından incelenirken, minimum maliyetli bir sondaj programı belirleme sorunu Lilien (1973) tarafından ele alınmıştır. Babayev (1975), petrol ve gaz sahalarının işletilmesini optimal bir kontrol problemi olarak formüle etmiştir. Beale (1983), Scicon ve BP Petroleum Development Ltd. tarafından BP'nin bir açık deniz gaz sahası için alternatif geliştirme planlarını incelemesine yardımcı olmak için geliştirilmiş bir modeli açıklar. Bu model, rezervuar üretimi, kompresör ve boru hattı kapasitesi kısıtlamalarını dikkate alır ve Kuzey Denizi'ndeki West Sole gaz sahasına uygulanmıştır (Hansen ve ark., 1990).

Petrol platformlarının operasyonları esnasında ortaya çıkan emisyon değerleri de ayrıca irdelenmesi gereken önemli bir unsurdur. Bu bağlamda yapılan çalışmalar ve izleme sistemleri, çevresel koşullara etki düzeyini ortaya koymaktadır. Meksika'daki hava kirleticileri için literatürde rapor edilen uluslararası emisyon faktörlerinden (kükürt oksitler, nitrojen oksitler, karbon monoksit ve partikül madde) bir emisyon envanteri oluşturulması için çalışmalar yapılmıştır. Toplam hidrokarbonlar ve hidrojen sülfür gibi diğer hava kirleticileri toksik özellikleri nedeniyle sisteme dahil edilmiştir. Bu araştırmanın ilk ve ana faaliyeti, Meksika Petrol Endüstrisinin Campeche Sound'daki petrol ve gaz tesisleri için bir Emisyon Envanteri'nin geliştirilmesi olmuştur. Atasta ve Dos Bocas'ta ölçülen SO₂ ve NO₂ konsantrasyonları için hava kalitesi standartlarının aşıp aşılmadığını ve eğer öyleyse, ikinci görevin ne sıklıkta ve ne kadar olduğunun doğrulanması sağlanmıştır. Emisyon Envanteri, 174 platformu, Atasta'daki yeniden sıkıştırma istasyonunu, ham petrolün depolanması ve işlenmesi için Dos Bocas deniz terminalini ve Cayo Arcas'taki aktarma istasyonunu içeren açık deniz gaz ve petrol sahalarının kurulumlarını değerlendirdi. Ortam havasına salınan hava kirleticilerinin toplam kütlesi yılda yaklaşık 660 000 ton olarak hesaplanmıştır. Kuzeydoğu ve güneybatıdaki iki lokasyondan birincisinin, bölgede yayılan kükürt oksitlerin çoğundan ve ardından hidrokarbonlardan sorumlu olduğu bulundu. Hem Atasta yeniden sıkıştırma istasyonu hem de Dos Bocas Deniz Terminali, çalışmanın yapıldığı Meksika sahasında toplam emisyonların %52'si ile nitrojen oksit emisyonlarına ana katkıda bulunanlardı (Villasenor ve ark., 2003).

Petrol sızıntılarının iki ana kaynağı olan gemiler ve petrol platformları, konumlarına ve dağılımlarına göre farklı seviyelerde potansiyel etkilere sahiptir; özellikle petrol platformları, kaza meydana geldiğinde büyük ekolojik ve ekonomik kayıplar getirebilirler. Örneğin, 2011 yılının Temmuz ayında Penglai petrol platformunda ciddi bir petrol sızıntısı kazası meydana gelmişti. Bu kazada, Bohai Denizi'ne bol miktarda petrol ve petrol türevleri denize sızdı. Bu nedenle petrol platformlarının dağıtımını izlemek ve gözetim altında tutmak çok önemlidir. Genel olarak, ilgili kurumlar petrol platformunun konum verilerine sahipken, veriler kamuya açık değildir. Petrol platformlarının konum verilerine ihtiyaç duyulduğunda, bu sorunla başa çıkmak için farklı alternatiflerin kullanılması gerekir (Lang ve ark., 2011). Olsgard, Norveç kirlilik kontrol kurumu tarafından sağlanan tarihsel

istatistiksel verileri kullanmıştır (Olsgard ve Gray, 1995). Birkaç araştırmacı petrol şirketlerinin verilerini kullanmıştır (Rahman ve Safuan, 2012; Hosny ve ark., 2012). Şimdiye kadar, optik uydu verileri aracılığıyla petrol platformlarının yerini belirlemeye odaklanan birkaç makale bulunmaktadır. Gerçek zamanlı ve büyük ölçekli mekansal bilgi sağlama yeteneği nedeniyle, uydu uzaktan algılama, gemilerin yanı sıra açık deniz petrol platformlarını izlemek için etkili bir yaklaşımdır (Xing ve ark., 2015).

2023 yılı Ocak ayı itibariyle, dünya üzerinde aktif olan 227 adet açık deniz petrol/gaz platformlarına ait dağılım ve lokasyonlar Çizelge 1.1’ deki gibidir.

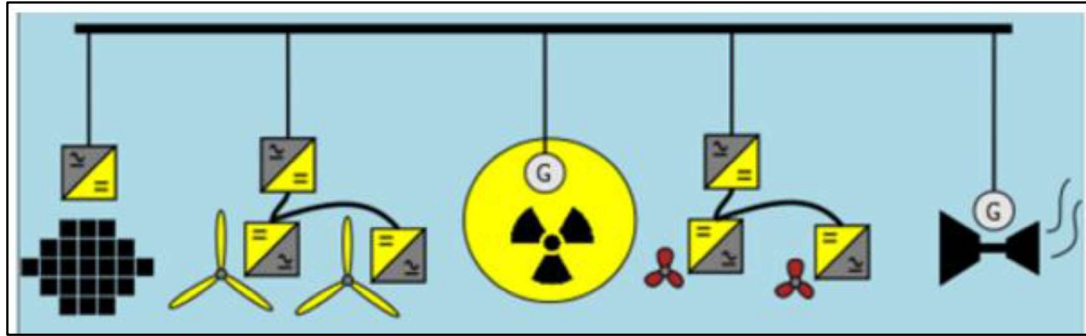
Çizelge 1.1 2023 Ocak dünyada aktif olan açık deniz petrol/gaz platformları listesi (Anonim, 2023)

Bölge	Ülke	Kuyu tipi	Yıl	Ay	Sayı
Afrika	Angola	Petrol	2023	4	9
Afrika	Kamerun	Petrol	2023	4	3
Afrika	Kongo	Petrol	2023	4	2
Afrika	Gabon	Petrol	2023	4	1
Afrika	Gana	Petrol	2023	4	1
Afrika	Libya	Petrol	2023	4	1
Afrika	Mozambik	Petrol	2023	4	0
Afrika	Nijerya	Petrol	2023	4	3
Afrika	Senegal	Petrol	2023	4	2
Asya-Pasifik	Brunei	Petrol	2023	4	1
Asya-Pasifik	Çin	Gaz	2023	4	3
Asya-Pasifik	Çin	Petrol	2023	4	43
Asya-Pasifik	Çin	Karışık	2023	4	1
Asya-Pasifik	Hindistan	Petrol	2023	4	14
Asya-Pasifik	Hindistan	Gaz	2023	4	2
Asya-Pasifik	Endonezya	Petrol	2023	4	5
Asya-Pasifik	Endonezya	Karışık	2023	4	1
Asya-Pasifik	Malezya	Petrol	2023	4	6
Asya-Pasifik	Yeni Zelanda	Karışık	2023	4	1
Asya-Pasifik	Tayland	Gaz	2023	4	10
Asya-Pasifik	Vietnam	Petrol	2023	4	2
Avrupa	Almanya	Petrol	2023	4	1
Avrupa	İtalya	Gaz	2023	4	1
Avrupa	Hollanda	Gaz	2023	4	1
Avrupa	Norveç	Petrol	2023	4	16
Avrupa	Türkiye	Gaz	2023	4	2
Avrupa	Birleşik Krallık	Gaz	2023	4	2
Avrupa	Birleşik Krallık	Petrol	2023	4	12

Çizelge 1.1 2023 Ocak dünyada aktif olan açık deniz petrol/gaz platformları listesi (Anonim, 2023) (devamı)

Bölge	Ülke	Kuyu tipi	Yıl	Ay	Sayı
Latin Amerika	Brezilya	Petrol	2023	4	12
Latin Amerika	Meksika	Petrol	2023	4	25
Latin Amerika	Trinidad Tobago	Petrol	2023	4	1
Orta Doğu	Mısır	Gaz	2023	4	2
Orta Doğu	Mısır	Petrol	2023	4	6
Orta Doğu	Kuveyt	Petrol	2023	4	1
Orta Doğu	Katar	Petrol	2023	4	3
Orta Doğu	Katar	Gaz	2023	4	6
Orta Doğu	Suudi Arabistan	Petrol	2023	4	8
Orta Doğu	Suudi Arabistan	Gaz	2023	4	2
Orta Doğu	Birleşik Arap Emir.	Gaz	2023	4	2
Orta Doğu	Birleşik Arap Emir.	Petrol	2023	4	12
Orta Doğu	Birleşik Arap Emir.	Petrol	2023	4	1

Açık Deniz Petrol Platformları'nın ihtiyaç duydukları güç üretimini çeşitli yollarla elde etmek mümkündür. Bu güç üretim sistemleri arasında yaygın olarak; fosil yakıtlar sayesinde gaz türbini ve dizel motorlar, nükleer enerji kaynakları, rüzgar, güneş ve dalga/gelgit/termal enerji gibi alternatifler Şekil 1.3' te gösterildiği gibi kullanılmaktadır.



Şekil 1.3 Açık Deniz Platformları Güç Üretim Metotları (Itikia ve ark., 2019)

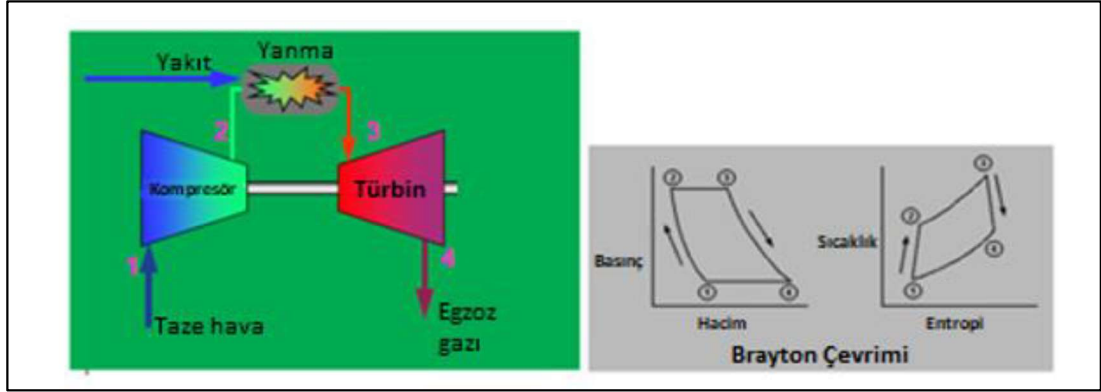
Açık deniz rüzgar enerjisi, daha iyi rüzgar potansiyeli elde etmek ve aynı zamanda karada fosil yakıt üretimini ikame etmek amacıyla giderek daha derin ve daha uzak deniz sahalarına doğru genişlemektedir. Ancak, gelecekte şebeke ölçeğinde elektrik depolaması gerçekleşene kadar, gaz yakıtlı üretim ihmal edilmemelidir. Okyanus gelgiti, dalga ve termal enerji gücü, enerjiyi su gelgitten, dalgadan ve hatta güneşin sıcaklığından dönüştürerek güç üretmek için çok sayıda yaratıcı ve yenilikçi tasarımlar getirmiştir. Açık deniz güneş enerjisi, güneş kollektörleri ve fotovoltaik

(PV) hücreleri konsantre ederek kullanan sistemlerdir. Fosil yakıt gücü, fosil yakıtlı enerji gemileri, gemilerde monte edilmiş enerji üretim tesisleridir. Petrol, yüksek enerji depolama kapasitesi nedeniyle denizcilik endüstrisinde önemli ve geleneksel bir enerji kaynağıdır. Ancak petrol, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir güç kaynağı değildir. Sonuç olarak, hidrojen ve doğal gaz gibi diğer alternatif yakıtlar araştırılmaktadır. Yüzen bir termik santral tarafından salınan baca gazlarının bir karbon yakalama ve depolama planına enjekte edilmesi konsepti, cesaret verici maliyet değerlendirme sonuçlarını ortaya koymaktadır. Açık deniz yüzer nükleer santraller (OFNP), açık deniz yüzer platformlara, mavnalara veya gemilere monte edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. OFNP, birkaç ülke tarafından devam eden araştırma ve geliştirmenin bir nesnesidir. Bu ülkeler hem nükleer reaktör teknolojisinde geleneksel uzmanlığa hem de OFNP'nin kritik bileşenlerinin (küçük ve orta ölçekli nükleer reaktörler ve açık deniz yüzer platformlar) geliştirilmesi için güçlü hükümet desteğine sahiptir (Itikia ve ark., 2019).

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Basit Çevrim, Kombine Çevrim Kavramları

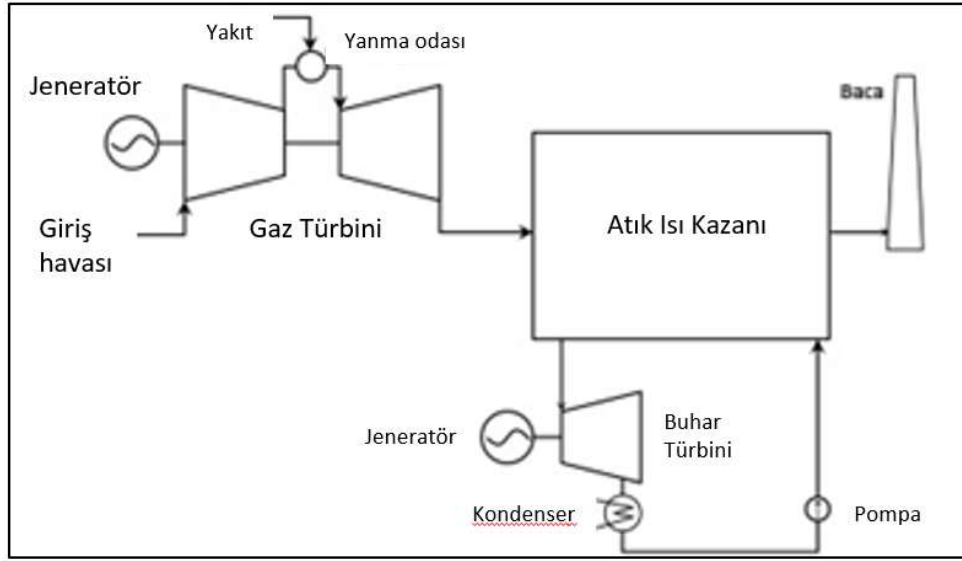
Günümüzde kullanılan modern Brayton Makineleri'nin neredeyse tamamı türbinli olup, bunun en çok kullanılan tipi gaz türbinleridir. Temel olarak Şekil 2.1'de gösterilen; kompresör, yanma odası ve türbin kısımlarından oluşan gaz türbinleri Basit Çevrim'in ana unsurudur.



Şekil 2.1 Basit Çevrim Gaz Türbini (Anonim, 2020)

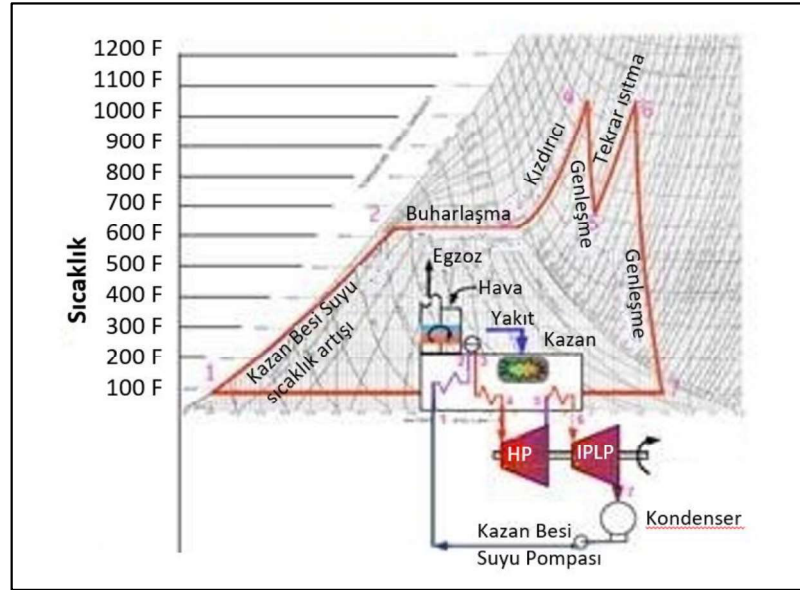
Kompresör'de sıkıştırılan hava, yanma odasında yakıtla birleşir. Burada yanma olayının gerçekleşmesinden sonra çıkan egzoz gazı türbinden geçerek güç üretilir.

Kombine Çevrim ise adında anlaşılacağı gibi, birden fazla çevrimin birlikte çalıştığı bir sistemdir. Yukarıda 'Basit Çevrim' sistemini açıklarken sistemin ana unsuru olan Gaz Türbini'nin çevriminden (Brayton Çevrimi) bahsettik. Kombine çevrimde ise sisteme entegre olan Atık Isı Kazanı ve Buhar Türbini bulunmaktadır. Yani artık sistemde hem gaz hem de buhar çevrimi adı altında iki çevrimin varlığından söz edilir. Bu iki çevrimin birlikte çalıştığı Şekil 2.2'de gösterilen 'Kombine Çevrim' olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 Kombine Çevrim Sistem Konfigürasyonu (Shiozaki ve ark., 2021)

Atık Isı Kazanı ve Buhar Türbini'nin sisteme entegre olması termodinamikte 'Rankine Çevrimi' ile ifade edilir. Netice itibariyle, Gaz Türbini (Brayton Çevrimi) ve Atık Isı Kazanı-Buhar Türbini (Rankine Çevrimi – Şekil 2.3) kombinasyonu ile 'Kombine Çevrim' sistemi ortaya çıkmaktadır.



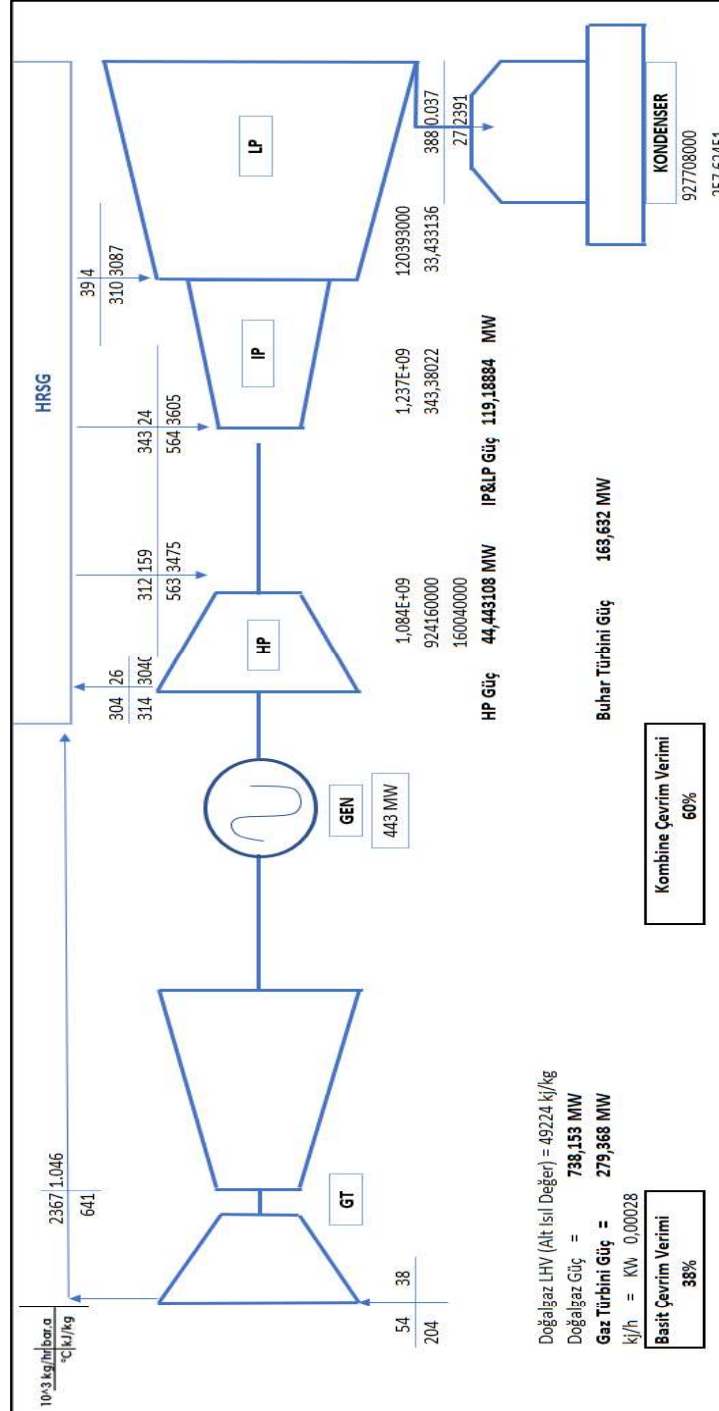
Şekil 2.3 Rankine Çevrimi (OEM Eğitim dokümanı)

Kombine çevrim sistemi, gaz türbininden çıkan egzoz gazlarını buhara dönüştürerek aynı sıcak gazlardan iki kez elektrik üretir. Bu düzenlemenin avantajı, tesisin genel verimliliğinin - giren ısı enerjisine kıyasla çıkan elektrik enerjisi - basit

gaz türbini çevrimine göre büyük ölçüde geliştirilmiş olmalıdır. Kombine Çevrim sistemi ile sistemin ısıl verimi %60'lara kadar çıkmaktadır.

2.2 Basit Çevrim, Kombine Çevrim Verim Hesaplamaları

Aşağıda, Şekil 2.4'te 443 MW Güç kapasiteli bir sistemin Basit ve Kombine Çevrim karşılaştırmalı verim hesaplamaları sunulmaktadır.



Şekil 2.4 Isı Denge Diyagramı

Doğalgazın Isıl Değeri = 49224 kJ/kg

Doğalgazın Kütlesel Debisi = 54000 kg/h

$$1 \frac{kJ}{s} = 0.000278 kW \quad (2.1)$$

$$1000 kW = 1 MW \quad (2.2)$$

$$P_{ng} = \dot{m} \times HVL \quad (2.3)$$

$$P_{ng} = [49224 \times 54000 \times 0.000278] \div 1000 = 738.15 MW \quad (2.3a)$$

$$HPP = HPIP - HPOP \quad (2.4)$$

$$HPIP = \dot{m}HPI \times hHPI \quad (2.4a)$$

$$HPOP = \dot{m}HPO \times hHPO \quad (2.4b)$$

$$HPP = \left\{ \left[\left(\frac{312000 kg}{s} \times \frac{3475 kJ}{kg} \right) - \left(\frac{304000 kg}{s} \times \frac{3040 kJ}{kg} \right) \right] \times 0.000278 \right\} \div 1000 \quad (2.4c)$$

$$HPP = 44.4 MW \quad (2.4d)$$

$$IPLPP = IPP + LPP - LPOP \quad (2.5)$$

$$IPP = \dot{m}IPI \times hIPI \quad (2.5a)$$

$$IPP = \frac{343000 kg}{s} \times \frac{3040 kJ}{kg} \quad (2.5b)$$

$$LPP = \dot{m}LPI \times hLPI \quad (2.5c)$$

$$LPP = \frac{39000 kg}{s} \times \frac{3087 kJ}{kg} \quad (2.5d)$$

$$LPOP = \dot{m}LPO \times hLPO \quad (2.5e)$$

$$LPP = \frac{388000 kg}{s} \times \frac{2391 kJ}{kg} \quad (2.5f)$$

$$IPLPP = \left\{ \left[\left(\frac{343000 kg}{s} \times \frac{3040 kJ}{kg} \right) + \left(\frac{39000 kg}{s} \times \frac{3087 kJ}{kg} \right) - \left(\frac{388000 kg}{s} \times \frac{2391 kJ}{kg} \right) \right] \times 0.000278 \right\} \div 1000 \quad (2.5g)$$

$$IPLPP = 119.18 MW \quad (2.5h)$$

$$STP = HPP + IPLPP \quad (2.6)$$

$$STP = 44.4 MW + 119.18 MW = 163.6 MW \quad (2.6a)$$

$CCP = 443 \text{ MW}$ olduğundan

$$GTP = 443 \text{ MW} - 163.6 \text{ MW} = 279.4 \text{ MW} \quad (2.7)$$

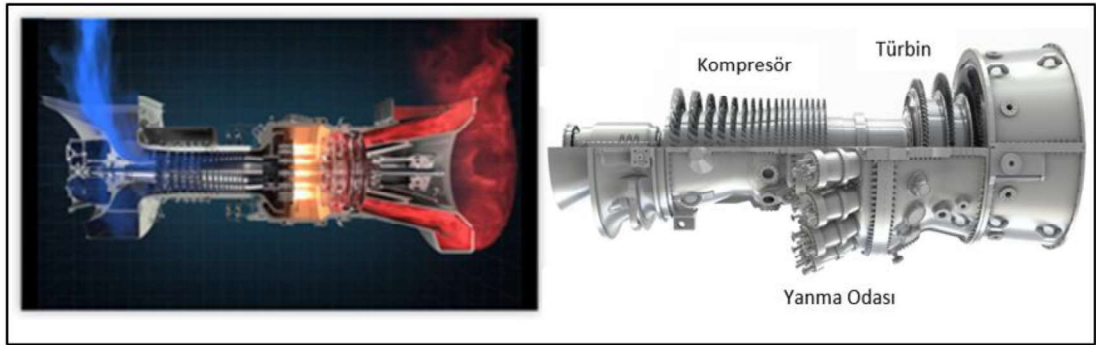
$$\eta_{SC} = \frac{GTP}{PNG} = \frac{279.4}{738.15} = \%38 \quad (2.8)$$

$$\eta_{CC} = \frac{CCP}{PNG} = \frac{443}{738.15} = \%60 \quad (2.9)$$

2.3 Kombine Çevrim Bileşenleri

2.3.1 Gaz Türbini

Gaz türbini endüstrisi günden güne ve lokasyondan lokasyona değişiklik gösterdiğinden kullanılan standart koşullar, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından belirlenen ve $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.013 bar ve $\%60$ bağıl nemdir. Kompresöre giren hava daha yüksek bir basınca sıkıştırılır. Isı eklenmez, ancak sıkıştırma hava sıcaklığını yükseltir, böylece kompresörün tahliyesindeki hava daha yüksek sıcaklık ve basınçta olur. Kompresörden ayrıldıktan sonra hava yakıtın enjekte edildiği yanma odasına girer ve yanma işlemi sabit basınçta gerçekleşir. Birincil yanma bölgesinde yüksek yerel sıcaklığa ulaşılsa da, yakma sistemi karıştırma, yakma, seyreltme ve soğutma sağlamak üzere tasarlanmıştır. Böylece, yanma karışımı yanma sisteminden çıkıp türbine girdiğinde, ortalama karışım sıcaklığındadır. Gaz türbininin türbin bölümünde, sıcak gazların enerjisi işe dönüştürülür (Poullikkas, 2005).



Şekil 2.5 Örnek Gaz Türbini modeli (Anonim, 2023)

Şekil 2.5'te gösterilen örnek gaz türbini modeli bileşenleri temel olarak 3 kısımdan oluşur.

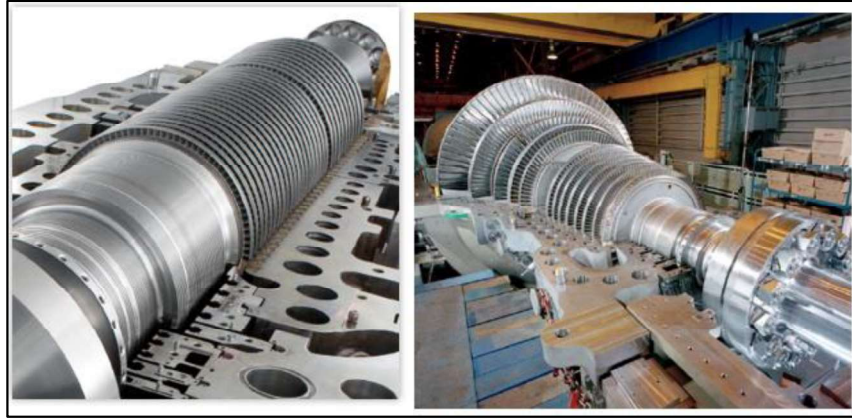
1- Kompresör: Birçok kademedan oluşan, hareketli ve hareketsiz kanatlara sahip olan, sistemdeki havayı basınçlandıran kısımdır.

2-Yanma Odası: Kompresör tarafından sağlanan bol miktarda hava ile yakıtın karıştırılarak yakıldığı kısım.

3- Türbin: Sabit ve hareketli kanatları ile beraber sıcak gazdaki termal enerjiyi mekanik enerjiye çevirir.

2.3.2 Buhar Türbini

Buhar Türbinleri, yüksek sıcaklık ve basınca sahip buharın enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Ele aldığımız sistemde buhar türbini, atık ısı kazanından elde ettiği 3 farklı basınçtaki buharı, bunlar HP-IP-LP (yüksek-orta-düşük basınç), türbin kanatlarından geçirmek suretiyle mekanik enerjiye çevirmektedir. Şekil 2.6, yukarıda bahsi geçen basınç kademelerini ve örnek bir buhar türbini modelini göstermektedir.



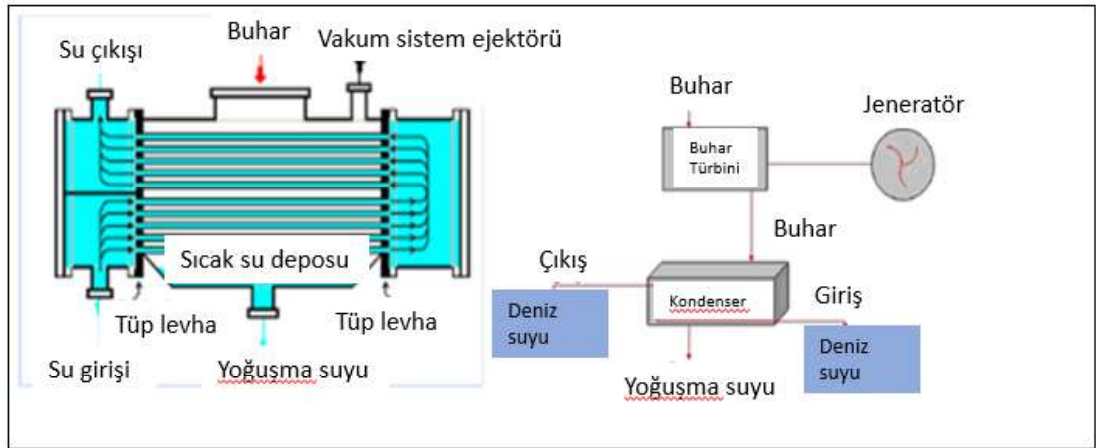
Şekil 2.6 Örnek Buhar Türbini modeli

Petrol ve gaz platformları enerji yoğunluğu olan sistemlerdir ve petrol özelliklerine, ihracat özelliklerine ve saha ömrüne bağlı olarak her tesis birkaç ila birkaç yüz MW arasında enerji kullanır (Nguyen ve ark., 2016). İhtiyaç olan enerjinin verimliliğini artırmak için çeşitli teknolojiler araştırılmıştır. Bu teknolojilerden bir tanesi de sisteme buhar çevrimini eklemek olarak gösterilmiştir. Mevcut gaz türbinlerinden çıkan egzoz gazındaki enerjiyi buhar üretmek suretiyle kullanıp, ardından da buhar türbini kanatlarında enerjiye çevirmek buradaki yaklaşımlardan bir tanesidir. Bu sayede Gaz Türbinleri daha düşük kapasitede çalışabilecek, daha düşük emisyon değerlerine sahip olabilecek ve daha verimli bir durumda işletilebileceklerdir.

2.3.3 Kondenser

Buhar Türbini'nden çıkan buhar, kondenserde soğutulur ve suya dönüşür (Şekil 2.7). Kondenser boruları içerisinden geçen deniz suyu buharın soğutulmasını sağlar. Kondenser'de yoğuşma sayesinde oluşan su, pompalarla atık ısı kazanına gönderilir ve buhar oluşum süreci tekrar başlar.

Buhar kondenseri, bir elektrik üretim tesisindeki performansı önemli ölçüde etkileyen bileşenlerden biridir. Kondenserin termal performansındaki bozulma, sadece güç üretimini değil, aynı zamanda bir bütün olarak ünitenin termal performansını da etkiler. Kondenser termal performansından sorumlu olan parametreler; soğutma suyu kütsel debisi, sıcaklık, ısı transfer alanı, boru tıkanması, kısmen doldurulmuş su bölmesi ve hava kaçağıdır. Ünite yükündeki değişime göre soğutma suyu debisi ve kondenser basıncı değişir. Kondenser girişindeki soğutma suyu sıcaklığı, yıllık sıcaklık döngüsündeki farklılığa göre değişir. Çalışma sırasında kondenser performansı, egzoz buharı ve soğutma suyu parametrelerindeki farklılıklara bağlı olarak değişebilir.



Şekil 2.7 Kondenser yapısı ve konfigürasyondaki yeri (Zeytin, 2007)

Üreticiler ve araştırmacılar, akış düzenlemesi, boru konfigürasyonu ve malzeme modifikasyonu gibi tasarım yönlerine dayalı olarak yüzey kondenslerinin performansını artırmak için çok çaba sarf ettiler. Son yıllarda, soğutma suyu sıcaklığının, soğutma suyu akış hızının, kondenser vakumunun buhar kondenslerinin termal performansı üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır.

Zhao ve ark., (2013), kondenser performansını, kondenser basıncı ve temizlik faktörü olmak üzere iki endeksle analiz etti. Laković ve ark., (2010), soğutma suyu parametrelerinin (akış hızı ve sıcaklık) kondenser performansı üzerindeki etkisini ve dolayısıyla enerji verimliliği üzerindeki etkisini sundu. Kondenser alt soğutmasının buhar sıkıştırılmalı sistem performansı üzerindeki etkisi Pottker ve Hrnjak (2012) tarafından araştırılmıştır. Kondenser soğutma suyu akış hızındaki değişim ile çevrim verimliliği üzerindeki etkiler Anozı ve ark., (2010) tarafından araştırılmıştır. Qureshi ve Zubair (2005), deneyden elde edilen kirlenme verilerine dayanarak evaporatif soğutucu ve kondenser performansını gösterdi. Sonuçlar, kondenserde kirlenme nedeniyle etkinlikteki düşüşün yaklaşık %75 olduğunu ortaya koydu. Putman ve Harpster (2000) tarafından kondenser geri basıncının ekonomik etkisi araştırılmış ve ısı oranı ve güç üretimi üzerindeki etkisi ile sunulmuştur. Literatürde, tasarım ve tasarım dışı koşullar için toplam ısı transfer katsayısı, soğutma suyu akış hızı, ısı transfer alanı, tıkanma modeli fonksiyonu ile etkinlik yöntemine dayalı kondenser performansını araştırmak veya değerlendirmek için girişimlerde bulunulmuştur (Pattanayaka ve ark., 2019).

Ele alacağımız sistemdeki kondenserin temel işlevleri, buhar türbininden çıkan egzoz buharını yoğuşturmak, kondensi sıcak kuyuda depolamak ve yoğuşmayan gazları sistemden uzaklaştırmaktır. Kondenser yatay - eksenel akışlı buhar düzeni, soğutma ortamı olarak deniz suyu kullanan dönüş suyu kutusu ile iki geçiştir. Tüp malzemesi titanyum kaplı tüp levhalı titanyumdur.

Kondenser Sıcak Su Deposu (Hotwell): Deniz suyu soğutma etkisiyle yoğuşan buhar bu kısımda toplanır ve akabinde pompalarla atık ısı kazanına tekrar buhar oluşturmak için gönderilir.

Kondenser Shell (Kabuk): Kondenser ana parçası olan, boru demetini içinde barındıran ve bu borulardan deniz suyunun geçtiği kısımdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Kondenser shell (kabuk) ve boru demeti

Tüp levhalar (Tubesheet): Tüpler boyunca mümkün olan en düşük buhar hızını sağlayacak şekilde tasarlanmış ve düzenlenmiştir. Tüplerin dağılımı, buhar tüplerin üzerinden geçerken ve buhar tüp demetinin merkezine doğru geçerken düzgün bir basınç düşüşüne izin verir.

Destek Plakaları: Destek plakaları, kondenser borularına bir destek sağlar ve kabuk (shell) için bir iç destek görevi görür. Simetrik aralıklarla yerleştirilmişlerdir, miktarı var olabilecek titreşim problemlerini ortadan kaldırmaya yeterlidir.

Tüpler: Buharı yoğuşturan deniz suyunun geçtiği borulardır.

Çarpmalı elek: Bu elek, boru demetinin buhar girişine en yakın boruları olası darbelere veya su damlalarına karşı koruma amacına sahiptir. Bu su damlacıkları, özellikle dolandırma (bypass) tahliye boruları olmak üzere kondensere deşarj olan borulardaki yoğuşmalar, kontrolsüz su akışları ve geçici olarak türbin egzoz buharı kalitesi ile ortaya çıkar (Şekil 2.9).

Su Hazneleri (Waterboxes): Kondenserde deniz suyunun verildiği ve oradan borulara geçtiği kısımdır (Şekil 2.10).

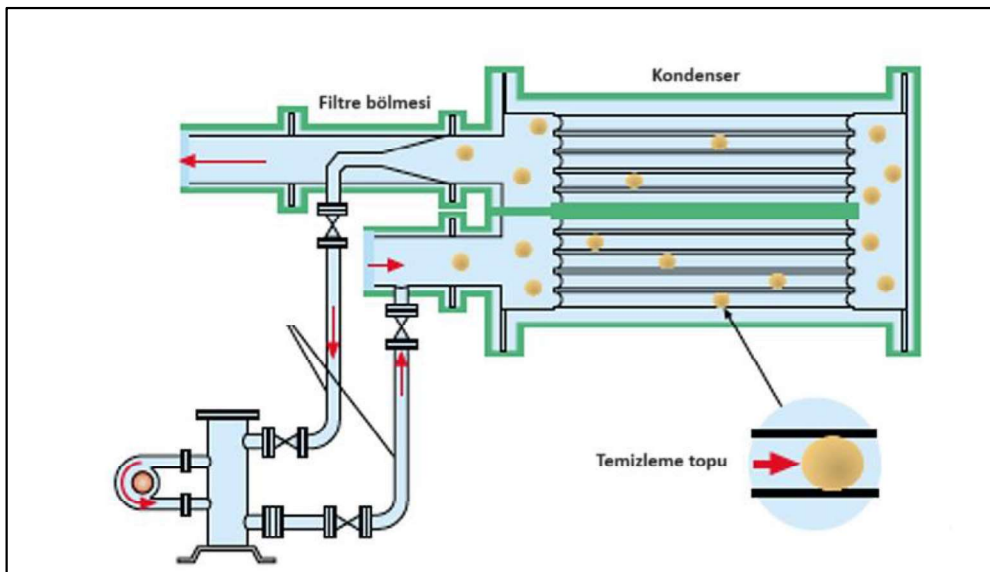


Şekil 2.9 Çarpmalı elek



Şekil 2.10 Su Haznesi

Kondenser Tüp (Boru) Temizleme Sistemi: Kondenser borularının otomatik olarak temizlenmesi için kurulan sistemdir. Kondenser boru çaplarına uygun olarak seçilen toplarla yapılan temizleme sistemidir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Kondenser Boru Temizleme Sistemi (Anonim, 2023)

2.3.4 Jeneratör

Gaz ve Buhar Türbinleri'nden üretilen enerji, jeneratör üzerinden elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu sayede tesisin ihtiyaç duyduğu elektrik sağlanmış olur. Açık Deniz platformlarda ve elektrik üretim tesislerinde bu sistemler kullanılmaktadır.

Basitçe iletken bir ekipmanın, manyetik bir alan içerisinde hareket ettirilmesi veya döndürülmesiyle elektrik üretilir. Örnek bir model olması açısından jeneratörün iç kısmı yada manyetik alanın oluşturulduğu kısım aşağıda Şekil 2.12' de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Jeneratör iç kısmı

2.3.5 Atık Isı Kazanı

Kombine Çevrim tesislerinin mevcut teknolojilerle yüksek ısıl verimleri elde etmesi için, performansları optimize edilerek HRSG (Heat Recovery Steam Generator – Atık Isı Kazanı) döngüsüne gereksinimleri vardır. Bu, işletim parametrelerinin en iyi şekilde seçilmesiyle yapılabilir: kütle akış oranları, sıcaklık profilleri, işletim basıncı değerleri, ısı eşanjörlerinin verimliliği, vb.. İşletim parametreleri, HRSG'yi tüm ayrıntılarıyla tasarlamak için kesinlikle gerekli olan bilgilerdir (Franco ve ark., 2001).

Atık Isı Kazanları, Gaz Türbini egzoz gazındaki ısıyı kullanarak buhar üretimi sağlarlar. Buhar Türbini'nin ihtiyacı olan buhar burada üretilir. Farklı buhar basınçları buhar türbininin çeşitli kademelerinde kullanılarak enerji verimliliği artırılır.

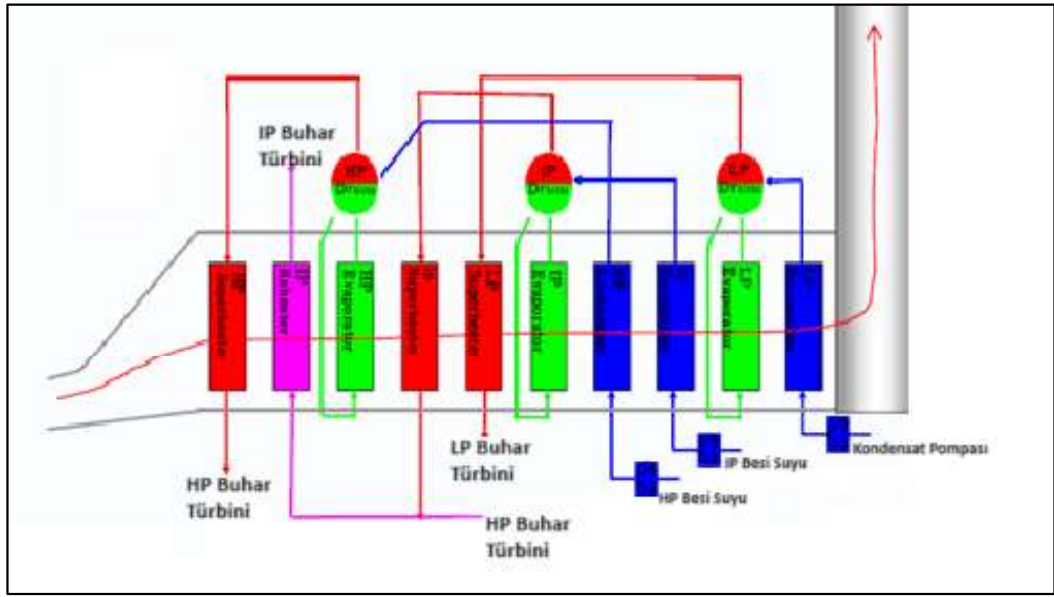
Atık Isı Kazanı'nı oluşturan ve buhar oluşumunu sağlayan kısımlar aşağıda açıklanmıştır.

Ön Isıtıcı (Economizer): Kazanın su fazındaki bölümüdür. Buradan giren su, domlar (drumlar) vasıtasıyla Buharlaştırıcı kısmına geçer.

Buharlaştırıcı (Evaporator): Kazanın su-buhar fazındaki bölümüdür. Suyun faz değiştirip buhara dönüşmeye başladığı kısımdır.

Kızdırıcı (Superheater): Kızgın buharın, yani doymuş buhar sıcaklığından yüksek bir sıcaklığa sahip olan buharın kazanda bulunduğu bölümdür. Buradan çıkan buhar, buhar türbinine girer.

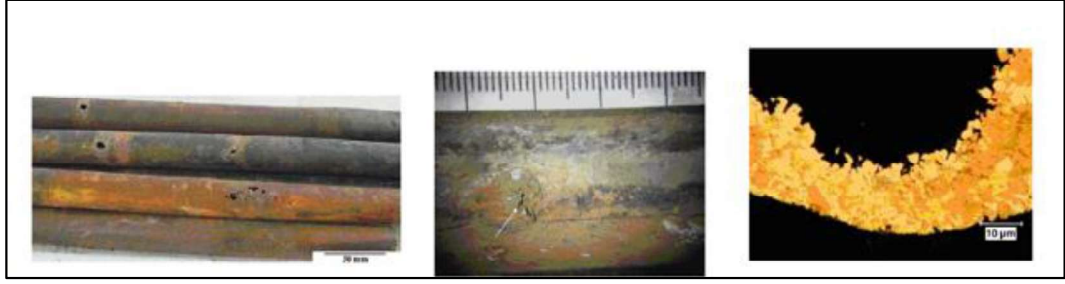
Gelişmiş bir Atık Isı Kazanı'na ait Yüksek-Orta-Düşük Basınç (HP-IP-LP) kademeleri ve Ön Isıtıcı, Buharlaştırıcı ve Kızdırıcı kısımları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Atık Isı Kazanı segmentleri (OEM Eğitim dokümanı)

2.4 Kondenser Arızaları

Bir enerji santralının yoğuşma suyu sisteminde kullanılan bakır-çinko alaşımlı borular 5 ila 6 yıllık bir süre içerisinde arızalanmıştır. Böyle bir sistemin hizmet ömrünün yaklaşık 20 yıl olması beklendiğinden, boruların erken arızalanmasının olası nedenlerini belirlemek için bir araştırma yapılmıştır. Görsel inceleme, hasarın genellikle delik şeklinde olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan ileri boyuttaki incelemeler (Şekil 2.14), nispeten kısa sürede hasar gören bu boruların, çinkosuzlaşma korozyonuna dayanıklı olmayan bakır-çinko alaşımlarından yapıldığını ortaya çıkarmıştır (Zeytin, 2007).



Şekil 2.14 Kondenser Arızası incelemeleri (Zeytin, 2007)

Titanyum, deniz suyuna karşı dayanımı, mükemmel mukavemet/ağırlık oranı ve biyo uyumluluğu nedeniyle ısı eşanjörleri ve kondenser tüpleri gibi deniz suyu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu mükemmel özellikler, sorunsuz ve uzun süreli hizmet ömrü sağlar. 15 yıllık çalışma rejiminden sonra, titanyumdan borulardan yapılmış bir kondenser borusunda hasar/delik bulunmuştur. Kondenser, Ağustos 1995'te hizmete girmiş ve Aralık 2010' da arıza gözlemlenmiştir. Tüp malzemesi 25.4 mm dış çap ve 1.24 mm kalınlıkta titanyum 2. Sınıftır. Kondenser dış kabuk ortamı, 40 psig buhar basıncına dayanıklıdır ve vakum altında çalışmaktadır. Öte yandan, boru tarafı ortamı, 40 psig'de deniz suyu ile çalışmaktadır. Gövde tarafı tasarım sıcaklığı 232 °C (450 °F), boru tarafı tasarım sıcaklığı ise 74 °C (165 °F)'dir. Deniz suyuna karşı korozyon direnci, esas olarak TiO₂'den oluşan çok ince bir oksit filminin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu film bozulabilir ve borular, türbülanslı akış koşulları altında erozyon-korozyon hasarına uğrayarak duvardan sızıntılara neden olabilir. Bu tür koşullar, tüpler organik tortularla kirlendiğinde ve/veya sertleştirilmiş minerallerle karşılaştığında veya deniz suyu askıda katı maddeler içerdiğinde ortaya çıkabilir. Boru tıkanması ayrıca ısı transferi kaybına ve tortu korozyonuna neden olabilir. Mevcut durumda, tüpün tamamen tıkanması nedeniyle, boru duvar kalınlığı boyunca ısı transferi büyük ölçüde azalmış ve boru aşırı ısınmaya maruz kalmıştır. Bu aşırı ısınma, termal oksidasyon yoluyla iç tüp yüzeyinde oksit filminin büyümesine yol açmış (Şekil 2.15) ve iç yüzeydeki oksit film, boruda çatlama sebebinde olmuştur (Shalaby ve ark., 2011).

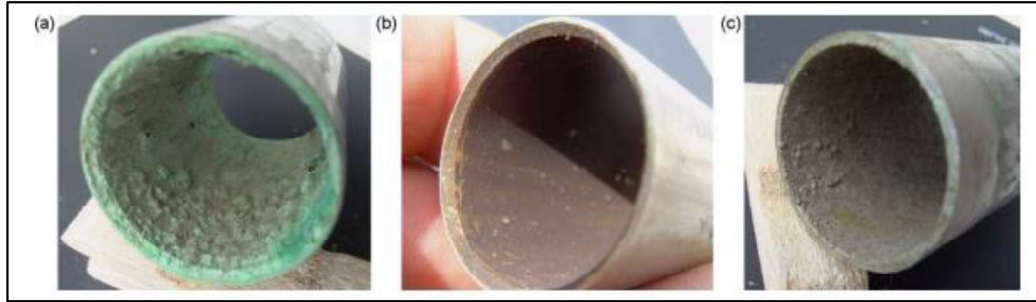


Şekil 2.15 Kondenser Arıza Analizi görselleri (Shalaby ve ark., 2011)

Eşanjör boruları arızası için temel olaylar, titreşim nedeniyle aşınma, kirlilik sorunları, CO₂ varlığı, H₂S, kavitezyon, yüksek akışkan hızı, kum varlığı, zayıf malzeme, yüksek sıcaklık, yüksek basınç, yabancı madde, sıvıdaki partiküller, uygun olmayan filtreler, yüzey birikintileri, uygun olmayan filtre temizliği, zayıf boru malzemesi, akışkan çekiçlemesi, korozyon, metal erozyonu, boruların çatlaması, boruların bükülmesi, boru yapısının bozulması, kirlenme, boruların tıkanması ve tüp sızıntısı gibi olaylardır. Eşanjör borularının bağımsız nedensellik araştırmasında, 5 elemanın hassas olduğu kaydedilmiştir. Bu 5 elemandan 2'si en hassas olanıdır: zayıf boru malzemesi ve yüksek sıcaklık. Ayrıca, yüksek basınç, akışkan çekiçlemesi ve titreşimden kaynaklanan aşınma için ısı eşanjör borularının arızalanma olasılığının aynı olduğu da keşfedilmiştir (Deyab ve ark., 2018).

Son yıllarda ısı değiştirici sistemlerde bakır alaşımlarının erken arızalanmasından kaynaklanan birçok ekipman sorunu, bu malzemelerin mikrobiyal etkili korozyonunu (MIC) izlemeyi ve kontrol etmeyi amaçlayan testleri teşvik etmiştir. Mevcut çalışma, deniz suyuyla soğutulan tesis sistemlerinde yaygın olarak kullanılan CuNi 70/30 alaşımı üzerinde büyüyen koruyucu oksit tabakalarının oluşumuna odaklanmıştır. Klorlama işlemlerinin olumlu rolünü belgelemiştir. Ölçümler, farklı koşullar altında tesislerde ve pilot devrelerde gerçekleştirilmiştir. CuNi 70/30 numunelerinde biyofilm büyümesinin ve korozyon süreçlerinin çevrimiçi izlenmesi için hem yenilikçi elektrokimyasal sensörleri hem de geleneksel ölçüm sistemleri içeren ve özel veri toplama yazılımı tarafından yönlendirilen entegre bir donanım sistemi kullanılmıştır. Bu entegre sistem aynı zamanda suyun bazı fiziko-

kimyasal parametrelerinin (akış, sıcaklık, bulanıklık, oksidanlar) ölçülmesine de izin vermiştir. Deniz suyuna maruz bırakılmadan önce ve sonra alaşım numuneleri tartılmış ve kimyasal ve metalografik analizlere tabi tutulmuştur. Sonuçlar, günde birkaç kez 0.5-1 saat süreyle 0.4-0.8 mg/l kalıntı içermeyen oksidan ile kısa klorlama işlemlerinin Cu bazlı alaşım üzerinde koruyucu bir tabaka oluşumunu desteklediğini doğrulamıştır. Bu katmanın, iyi kurulmuşsa, deniz suyu özellikle agresif hale geldiğinde bile lokal korozyonu önleyebildiği görülmüştür.



Şekil 2.16 Kondenser Arıza Analizi boru (tüp) görselleri (Cristiani ve ark., 2008)

Şekil 2.16'da (a) kloruz test hattında 161 gün süreyle maruz bırakılan boru (tüp); (b) klorlu test hattında 161 gün maruz bırakılan boru (tüp); (c) 497 gün maruziyet: 256 gün klorlu hatta, ardından 241 gün kloruz hatta (Cristiani ve ark., 2008).

İncelenen arızalardan birinde, petrokimya rafinerisinde deniz suyu ile çalışan bir kondenser arızasında deniz suyu hızı, demir eksikliği, çamur birikmesi ve biyolojik kirlilik gibi etmenlerin bu arızaya yol açtığı belirlenmiş ve öneriler ortaya koyulmuştur (Pandey, 2006).

Shen ve ark., (2016), bir nükleer güç santralinde Titanyum malzeme borulardan oluşan kondenser boru arızasının, malzeme yorulmasından kaynaklı olduğunu analiz ettiler ve yüksek sıcaklıktaki buhar ortamında titanyum tüplerin yorulma direncinin azaldığını ve bunu önlemek için değişken çalışma koşullarından ve hava birikiminden kaçınılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, kondenserde yaşanabilecek arızaların analizini, Kombine Çevrim Sistemi üzerinde doğabilecek sorunları ve bunların (yıkıcı) etkilerini, vaka olayı referans alınarak ortaya konan iyileştirmeleri ve bu iyileştirmelerin sonuca etkilerini ve son olarak da açık deniz platform uygulamalarına ilişkin bir ön değerlendirmeyi kapsamaktadır. Bu çalışma sırasında Bayes ağı ve Bulanık Mantık kullanılarak yapılan analizle arızanın yıkıcı etkileri ortaya koyulmuş ve iyileştirmelerin detaylı anlatımları ile ne gibi kazanımlar sağlandığı ifade edilmiştir. Kapsamı oluşturan çerçeve üç üsurdan oluşmakta olup, bunlar; analiz, iyileştirmeler, sonuç/değerlendirme olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda çalışmanın kapsamına ait her unsurun kendi detay kısımları aşağıda açıklanmıştır. Açık Deniz Platformları için yapılan değerlendirme literatür çalışmaları ile desteklenmiştir. Arıza analizi ve sonuçları hem hesaplamalar hem de fiili uygulamalarla ortaya koyulmuştur. Bu kapsam, içerik ve sonuçları itibariyle işletmeler için referans alınabilecek bilgileri içermektedir. Bu bilgilerin hayata geçirilmesi, sistemi güçlü kılacak, operator hatasının olası sonuçlarını bertaraf edebilecek ve paydaşlar için referans alınabilecek bir noktaya taşıyacaktır. 8 kişi ile yapılan Uzman Değerlendirmeleri, yapılan çalışmanın kapsamını ve sonuçlarını değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Ortalama tecrübesi 18 yılı aşkın olan uzman değerlendirmeleri de bu sistem üzerinde yapılan çalışmanın ne kadarlık bir tecrübe ile değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Vaka çalışmasında ortaya çıkan arızanın etkilerini ortadan kaldırmak ve sistemi tekrar faal hale getirmek aylar sürdüğü, maliyet olarak milyon dolarlık maliyetlere yol açtığı için, kapsamın içeriğini, yapılan çalışmaların ne denli bir arızayı ele aldığını ve nasıl çözüm yolları sunduğunu iyi anlatmak gereklidir. Bu sebeple içerik itibariyle ortaya konan detayların ve gösterimlerin hayata geçirilen gerçek bir çalışmanın ürünü olması bu anlatımı değerli kılmıştır. Netice itibariyle, aşağıda verilen ve bu kapsamı oluşturan bilgi, değerlendirme ve analizler hem kondenser arızalarını önleme hem de Kondenser ekipmanını bünyesinde barındıran işletme/tesisleri güvenilir operasyonu temin etme noktasında daha iyi bir noktaya taşıyacaktır.

3.2 Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Metotlar

3.2.1 Bayes Ağı

Bayes ağı (BN), Bayes teoremine dayalı olarak bir dizi rastgele değişkenin koşullu bağımlılık yapısını ölçen olasılıklı bir grafik modeldir (Liu ve ark., 2016). Bir Bayes ağı, bir dizi ayrık değişkenin birleşik olasılık dağılımını grafiksel olarak temsil eder. Bir BN modelinin yapısında, her durumun bir meydana gelme olasılığı vardır ve bu, değişkenin potansiyel ana düğümlerinin durumlarına bağlıdır, yani söz konusu değişkenle doğrudan bağlantısı olan değişkenlere bağlıdır (Hanninen ve ark., 2014).

$$P(A|B) = [P(A)P(B|A)]/P(B) \quad (3.1)$$

$P(A|B)$ = B olayı gerçekleştiğinde A olayının gerçekleşme olasılığı

$P(A)$ = A olayının gerçekleşme olasılığı

$P(B|A)$ = A olayı gerçekleştiğinde B olayının gerçekleşme olasılığı

$P(B)$ = B olayının gerçekleşme olasılığı

Bayes yaklaşımında, oluşum modelini anlamak ve üst ve alt olayları yorumlamak için düğümler ve kenarlar kullanılarak bir Yönlendirilmiş Döngüsüz Grafik (DAG) oluşturulur. Oluşturulan modelde, yön okları (kenarlar) aracılığıyla değişkenler arasındaki istatistiksel ilişki, gerçek olaylarda olduğu gibi ağ modeline yansıtılır. Başka bir deyişle, bir ağ modelindeki düğümler, sonlu bir durum kümesine sahip değişkenleri temsil eder; kenarlar, düğümler (durumlar) arasındaki ilişkiyi ifade eder. Bayes ağ modellerinde, düğümler arasındaki nedensel ilişkiyi kurarken akıl yürütme de mümkündür. Bu nedenle, Bayes ağının oluşturulması, nitel bir yaklaşımı temsil eder. Kurulan ağda, her bir düğüme bağlı Koşullu Olasılık Tablosu (CPT) 'ndan oluşan ve sayısal değerlerin belirlenmesini kapsayan kısım nicel yaklaşımı temsil eder. Bayes ağlarını anlamak için öncelikle koşullu olasılık mantığının anlaşılması gerekir. Koşullu olasılık kavramı, bir olayın gerçekleşme olasılığının hesaplanmasında o olayla ilgili ek bilgilerin kullanılması gerektiği anlamına gelir ve nasıl kullanılacağını açıklar. Örneğin, A ve B, koşullu olasılıkla birbirine bağlı iki olay olsun ve A görüldüğünde B görünsün. Bu durumda A olayı gözlemlendiğinde, B olayının olasılık derecesi şu şekilde ifade edilebilir: $P(B|A)=p$. Bu bilgiye dayanarak, B olayı görüldüğünde, A olayının meydana gelme olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilebilir; (Uğurlu ve ark., 2020).

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, P(B) > 0 \quad (3.2)$$

$$P(A \cap B) = P(A|B) \times P(B) = P(B|A) \times P(A) \quad (3.3)$$

burada $P(A|B)=B$ olayı meydana geldiğinde, A olayının koşullu olasılığı, $P(A \cap B)=A$ ve B'nin birlikte görüldüğü olasılıkların kesişimi ve $P(B)=A$ olayından bağımsız olarak B olayının olasılığı (B olayının ilk olasılığı).

Koşullu olasılık kavramında Bayes teoreminin matematiksel ifadesi için, B olayı ile kesişen k sayıda A olayı olduğunu varsayıyoruz; B olayına verilen A_i olayının olasılığı biliniyor;

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) \times P(B|A_i)}{P(B)}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots, k \quad (3.4)$$

$$P(B) = P(A_1) \times P(B|A_1) + P(A_2) \times P(B|A_2) + \dots + P(A_k) \times P(B|A_k) \quad (3.5)$$

$P(A_i|B)$ = hipotezin arka olasılığı (A_i 'nin belirli bir "B" durumunda görülmesi muhtemeldir)

$P(A_i)$ = hipotezin önceden belirlenmiş olasılığı (B'den bağımsız), yani A olayının belirli bir "i" durumunda olma olasılığı

$P(B|A_i)$ = Belirli bir A_i koşulu gözlemlendiğinde B'nin koşullu olasılığı

$P(B)$ = A_i 'den bağımsız olduğunda B'nin olasılığıdır (ilk olasılık)

3.2.2 Bulanık Mantık Tabanlı Bayes Ağı

Bulanık mantığın amacı, üzerinde çalışılan konu ile ilgili analiz sürecinde sözel değerleri kullanarak belirsizliği yönetmek, modellemek ve ele almaktır (Zadeh, 1965). Klasik mantıkta, 0 veya 1 gibi iki zıt ve sınır değer bulunmaktadır. Bulanık mantıkta ise yalnızca 0 ve 1 değerleri yer almamakta ve bu iki sayı arasında 0,5 gibi ara değerlerde yer almaktadır (Klir ve Yuan, 1995). Bulanık mantıkta, kesin değerlere bağlı düşünce sisteminden ziyade, yaklaşık düşünce sistemi ve terimleri kullanılmaktadır (Zadeh, 1965). Bulanık mantık yaklaşımında genellikle bir uzmanın tecrübe veya bilgisinden yararlanılmaktadır. Uzman kişi; sözlü değişkenler olarak ifade edilen “uygun, uygun değil, alçak, biraz alçak, az, çok az, kısa, çok kısa” gibi günlük yaşantıda sıkça kullandığımız kelimelerle bir derecelendirme yapar, esnek bir denetleme mekanizması oluşturur (Saralioğlu ve ark., 2019).

Bulanık Mantık Tabanlı Bayes Ağı (FBN), istatistiksel verilerin olmadığı veya verilerin yetersiz olduğu durumlarda birçok farklı disiplinde (matematik, kimya, tıp, nükleer vb.) kullanılmaktadır (Kamal ve Aydın, 2021). Bulanık mantık sayesinde uzmanlara sadece kendi tecrübe, bilgi ve birikimleri ile ilgili değerlendirme yapmaları istenir ve bu sayede belirsizlikler nicelik olarak ortaya çıkarılır. Uzman görüşlerinden elde edilen bulanık nicelikler/değerler düğümlerin öncül, koşullu olasılıklarını oluşturmaya yarar.

3.2.3 Uzman Görüşünden Olasılık Elde Edilmesi

Yapılan çalışma için seçilen uzmanların konuyla ilgili bilgi, birikim ve tecrübeleri dikkate alınarak bir ağırlıklandırma aşaması gerçekleştirilir. Değerlendirmedeki farklılıkları yansıtmak için her uzmana 0 ile 5 arasında farklı bir puan verilir (Hsu ve Chen, 2013). Uzmanların ağırlık puanlarının Hesaplanması aşağıdaki denkleme göre yapılır (Rajakarunakaran ve ark., 2015).

$$\text{Uzmanların ağırlık faktörü (W}\mu\text{)} = \frac{\text{Uzmanın ağırlıklı puanı}}{\text{Uzmanların ağırlıklı puanları toplamı}} \quad (3.6)$$

3.2.4 Bulanıklaştırma

Uzman değerlendirmelerindeki belirsizliği 0 ile 1 arasındaki sayılarla ifade etmek suretiyle bu değerlendirmelerden elde edilen sözel veriler bulanıklaştırma aşamasında sayısal verilere dönüştürülür (Rajakarunakaran ve ark., 2015). Literatürde genellikle kullanılan yamuk ve üçgen bulanık sayıların gösterimi aşağıda ifade edilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{(x-a_1)}{a_2-a_1}, & a_1 < x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{(a_4-x)}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (3.7)$$

3.2.5 Birleştirme Aşaması

Hsu ve Chen'in önerisi üzerine farklı uzmanların görüşlerinden ortaya çıkan değerlendirmeleri birleştirmek amacıyla bir algoritma oluşturulmuştur.

$\tilde{A}_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14})$ ve $\tilde{A}_2 = (a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24})$ iki yamuk bulanık sayı kümesi,

\tilde{R}_1, \tilde{R}_2 : Bir çift uzman görüşü,

$S_{UV}(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2)$: İki farklı uzman görüşünün uzlaşma derecesi,

$S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)$: İki bulanık sayı kümesi arasındaki benzerlik derecesi,

$AA(E_u)$: Uzmanların ortalama uzlaşma derecesi,

$RA(E_u)$: Uzmanların göreceli uzlaşma derecesi,

$CC(E_u)$: Uzmanın Konsensus Katsayısı derecesi,

\tilde{R}_{AG} : Uzman kararlarının toplam sonucu.

I. Bir çift uzmanın E_U ($u = 1$ den M ' e). \tilde{R}_1 ve \tilde{R}_2 görüşlerinin benzerlik derecesini hesaplama $S_{UV}(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2)$

$$S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = 1 - (1/4) \sum_{i=1}^4 |a_{1i} - a_{2i}| \quad (3.8)$$

II. M tane Uzmanın ortalama uzlaşma derecesinin hesaplanması:

$$AA(E_u) = \frac{1}{M-1} \sum_{u \neq v}^M S(\tilde{A}_u, \tilde{A}_v) \quad (3.9)$$

III. M tane Uzmanın göreceli uzlaşma derecesi hesaplanması:

$$E_u (u = 1, 2, \dots, M) \text{ olarak } RA(E_u) = \frac{AA(E_u)}{\sum_{u=1}^M AA(E_u)} \quad (3.10)$$

IV. Uzmanın Konsensus Katsayısı derecesinin hesaplanması:

$$CC(E_u) = \beta \cdot w(E_u) + (1 - \beta) \cdot RA(E_u) \quad (3.11)$$

β ($0 \leq \beta \leq 1$) önerilen yöntemin esnetme katsayısıdır. Bu sayı $w(E_u)$ ' nin $RA(E_u)$ üzerindeki önemi gösterir. $\beta = 0$ olduğunda, uzmanın ağırlık faktörüne önem verilmez ve uzmanlar arasında homojen dağılım vardır anlamı çıkar. $\beta = 1$ olduğunda uzmanın, Konsensus Katsayısı (CC) derecesi ile Ağırlık Önemi aynıdır. (Qiao ve ark., 2020; Zarei ve ark., 2019a; Şakar ve Zorba, 2017).

V. Uzman kararlarının toplam sonucu \tilde{R}_{AG} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{R}_{AG} = CC(E_1) \times \tilde{R}_1 + CC(E_2) \times \tilde{R}_2 + \dots + CC(E_M) \times \tilde{R}_M \quad (3.12)$$

3.2.6 İlave Analizör ve Sistemin Otomatik Durma Özelliği

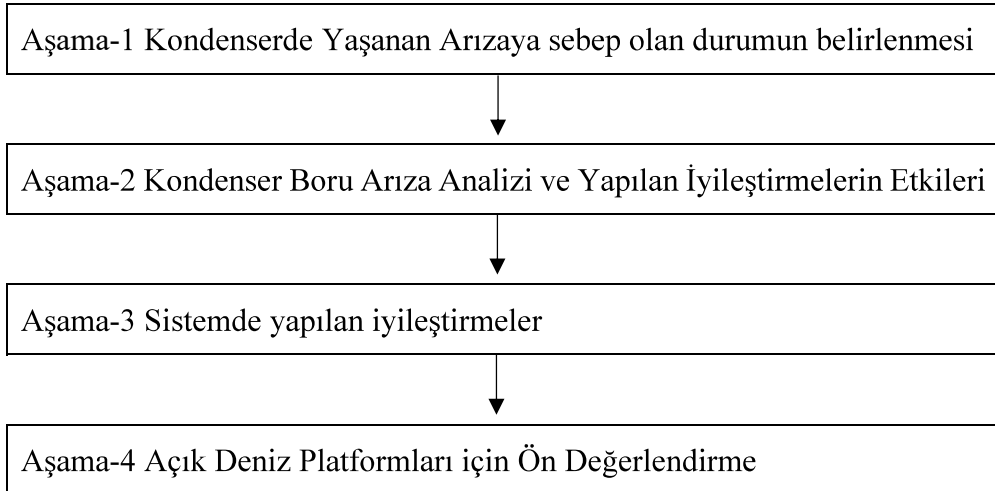
Bayes Ağı ve Bulanık Mantık yöntemiyle yapılan arıza analizi, sistemin iyileştirmeye açık yönlerini ortaya çıkarmayı ve Uzman Değerlendirmeleriyle ortaya çıkan ‘Yıkıcı Arıza’ olasılıklarını düşürmeyi hedeflemiş ve bunda teorik olarak başarılı olmuştur.

Diğer taraftan sistem üzerinde yapılan ve aşağıda detaylı anlatılan ‘İlave Analizör’ kurulumları ve ‘Sistemin Otomatik Durma’ özelliği pratik olarak sisteme adapte edilmiştir.

Burada kullanılan Bayes Ağı ve Bulanık Mantık ile oluşturulan hibrit analiz ve modelin geçerliliği aksiyom test ve hassasiyet analizleriyle doğrulanmıştır.

Sistemi koruyan en önemli iki ana unsur olan ‘Alarm Sistemi’ ve ‘Operatör’ çalışma rejimi yapılan iyileştirmelerle desteklenmiştir. Analizör kurulumları sistemin önemli bileşeni olan ‘Alarm sistemi’ ni güçlendirmiş olup, ‘Mantıksal Programlama’ sayesinde ortaya çıkarılan ‘Otomatik Durma’ özelliği de ‘Operatör’ün çalışma rejimini daha güçlü bir seviyeye taşımıştır. Bu sayede sistemin kendini koruyabilme kabiliyeti geliştirilmiş olup, olası ‘Yıkıcı Arıza’ ların önüne geçilmiştir. Bu sistem üzerinde kullanılan materyal ve metotların detaylı anlatımı aşağıda verilmiştir.

3.3 Çalışmanın Aşamaları



Aşama-1 Kondenserde Yaşanan Arızaya sebep olan durumun belirlenmesi

Bu kısımda, vaka olayında yaşanan kondenser arızasına giden süreçte kronolojik olarak yaşananlar anlatılmıştır. Bu arızaya sebep olan durum belirlenmiş ve nasıl bir arızaya yol açtığı ifade edilmiştir.

Kondenserde hasarlı olan boruların arıza öncesinde ‘Acoustic Eye’ test yöntemiyle tespiti yapılmış, hasarlı borular devre harici bırakılmak için körlenmiş fakat buna rağmen arıza yaşanmıştır. Yaşanan arızanın sitem üzerinde bıraktığı yıkıcı etki görselleriyle birlikte ortaya koyulmuştur.

Aşama-2 Kondenser Boru Arıza Analizi ve Yapılan İyileştirmelerin Etkileri

Çalışmanın bu kısmında sadece yaşanan arızayı değil, kondenser boru arızalarına sebep olabilecek sorunlara ilişkin Microsoft Excel veri tabanlı bir ön değerlendirme çalışması yapılmış ve GeNIe programında yapılacak olan analizin alt yapısı Uzman Değerlendirmeleriyle oluşturulmuştur. Oluşturulan Bayes ağı yapısı, Bulanık Mantık’la hibrit bir modele dönüştürülmüş ve koşullu olasılık değerleri hesaplanmıştır. Ortaya çıkan veriler Bayes ağı aksiyom testleri ve hassasiyet analizleriyle doğrulanmıştır.

Bayes ağı aksiyom 1, aksiyom 2, aksiyom 3 olmak üzere 3 farklı şekilde test edilebilmektedir (Pristrom ve ark., 2016). Ağın geçerliliği, bütün aksiyon testlerinin çalışıp çalışmadığına bağlıdır.

Bu çalışmadaki düğümler arasındaki ilişki, olasılık değerleri ve koşullu olasılık tabloları, veri tabanındaki arıza raporlarına ve istatistiksel verilere dayandığından güvenilir kabul edilmektedir. Bununla birlikte, modelin doğru bir şekilde kurulduğuna ve amaçlandığı gibi çalıştığına dair güven sağlamak için çalışmada hassasiyet analizi kullanılmıştır.

Aksiyom 1

Her üst düğümün ön olasılıklarındaki hafif bir artış/azalış, kesinlikle alt düğümün sonraki olasılıklarının görece artışına/azalmasına neden olmalıdır.

Aksiyom 2

Her üst düğümün olasılık dağılımlarındaki değişikliklerin alt düğümler üzerindeki etkisi tutarlı olmalıdır.

Aksiyom 3

Olasılık varyasyonlarının kombinasyon etkilerinin toplam etkisi, her zaman ana düğümler üzerindeki bireysel etkilerinden daha büyük olmalıdır.

Aşama-3 Sistemde yapılan iyileştirmeler

Bu kısımda sistem üzerinde yapılan analizör kurulumları ve mantıksal programlama özellikleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bir önceki aşamada ‘Yıkıcı Arıza’ koşullu olasılığına ciddi ölçüde pozitif etkisi olan bu iyileştirmelerin fiili olarak nasıl uygulandığı gösterilmiştir. Yapılan mantıksal programlama DCS (dağıtımli kontrol sistemi) kontrol sistemi üzerinde yazılım diliyle sisteme adapte edilmiş ve sistemin olası arıza durmunda kendini korumaya alması sağlanmıştır. Burada oluşabilecek olan Operatör hataları da bertaraf edilmeye çalışılmıştır.

Aşama-4 Açık Deniz Platformları için Ön Değerlendirme

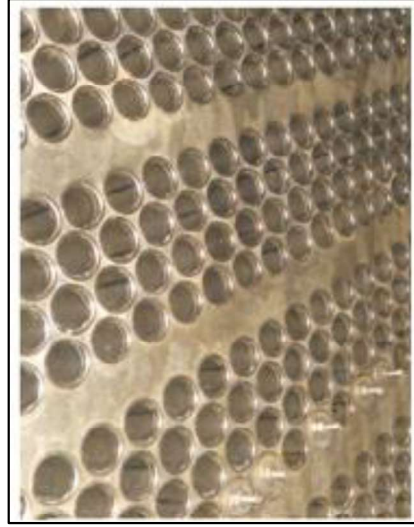
Yapılan çalışmaların Açık Deniz Platformları ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğu literatür çalışmalarıyla desteklenmiş ve Kombine Çevrim Sistemi'nin faydaları ele alınmıştır. Bu sistemin önemli bir bileşeni olan Kondenser ekipmanının proses şemaları üzerinde gösterimi aktarılmıştır. Bu sayede yaptığımız çalışma ve analizlerin Açık Deniz Platformları açısından göreceli değerlendirme fırsatı doğmuştur.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Kondenserde Yaşanan Arıza (Vaka Olayı)

Kondenser’de yaşanan arızaya giden yolda kronolojik sıralama aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir;

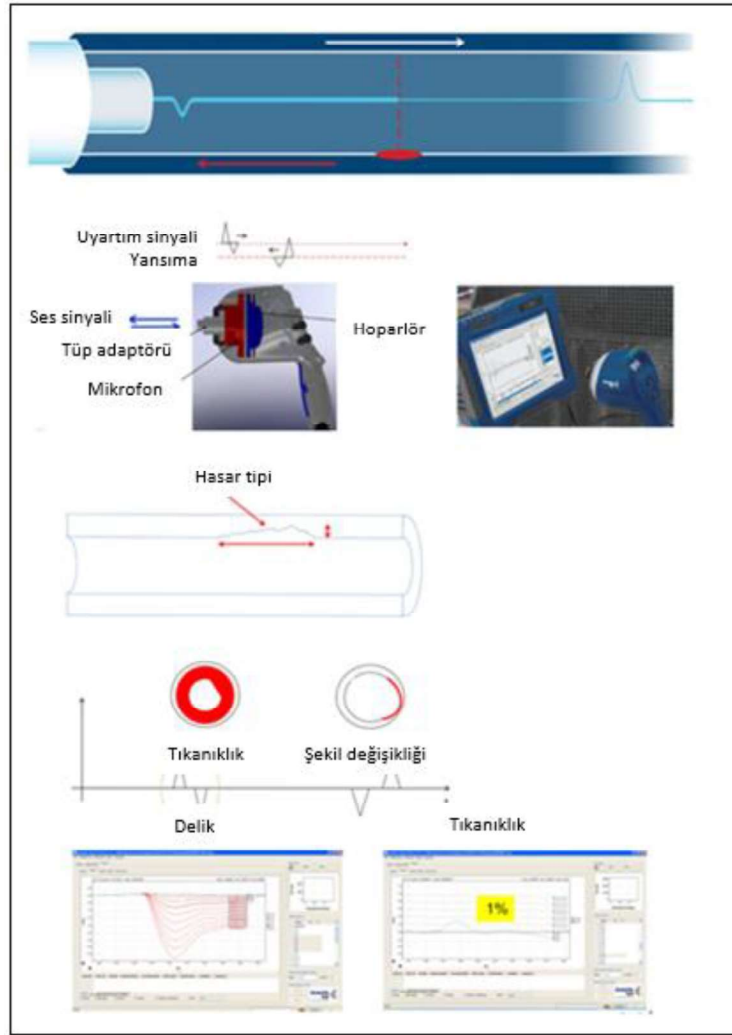
- Kondenser boruları kaçak testi için kondenser tüp levha bölgesi streç filmle kaplanmıştır. Akabinde kondenser buhar tarafı vakum pompası devreye alınarak vakuma geçirilmiştir.
- Kondenser vakuma geçirdikten sonra 12 adet boruda (tüp) streç film tabakası vakumun etkisiyle delinmiştir.
- 12 adet borunun patlak olduğu Boroskop cihazı ile teyit edilip doğrulanmıştır.
- Hasarlı borular (tüp) tapa ile körlenmiştir. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Plug (tapa) uygulaması

- Kombine çevrim sistemi devreye alınmış fakat kondenser sıcak su deposu (hotwell)’nda sodyum seviyesinin yükseldiği analizörler tarafından tespit edilmiştir.
- Kondenser tekrar boşaltılıp Akustik Göz (Acoustic Eye) testi için hazır hale getirilmiştir.

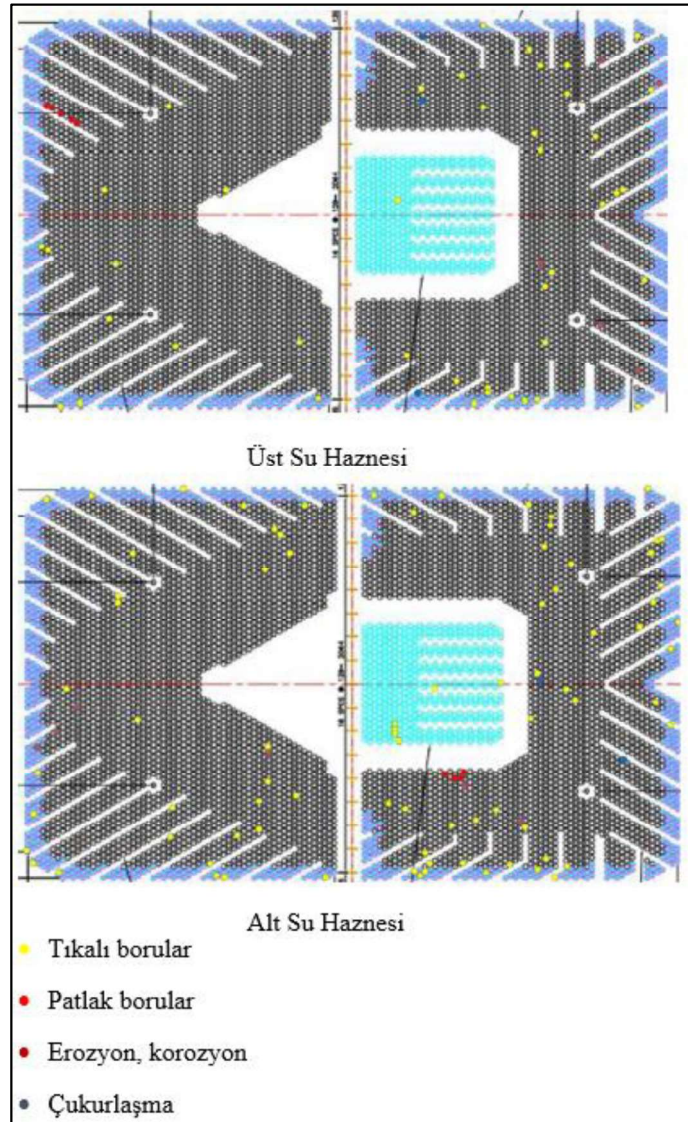
- Akustik Darbe Yansıma Ölçümü (Acoustic Pulse Reflectometry), tüplerde yayılan tek boyutlu akustik dalgaların ölçümüne dayanır. Boru şeklindeki sistemdeki enine kesit alanındaki herhangi bir değişiklik veya kusurları tespit etmek için daha sonra kaydedilen ve analiz edilen bir yansıma oluşturur. Bu test bir tahribatsız muayene yöntemidir. Bu teknoloji, denetçilerin yalnızca tüp arızalarının varlığını değil aynı zamanda konumlarını da belirlemesini sağlar. Akustik göz, bir tüpün tüm uzunluğu boyunca akustik bir darbe göndererek çalışır ve gerçek zamanlı olarak kusurları gösterir.



Şekil 4.2 Akustik Darbe Yansıma Ölçümü testleri

Şekil 4.2’de gösterilen bu yöntem ile boru içerisine prob aracılığıyla ses sinyali gönderilerek yansıyan sinyallerin analizi yapılarak arıza tespit edilir. Boru içerisindeki her kusurun kendine özgü bir imzası vardır. Yapılan analiz ile boru içerisindeki kusur ortaya koyulur ve bununla birlikte kusurun çeşidi hakkında da bilgi alınabilmektedir (çukurlaşma, korozyon, tıkanıklık v.s.).

Yapılan test neticesinde Şekil 4.3’te gibi bir boru hasar haritası ortaya çıkmıştır. 10 000’den fazla borudan hasarlı olanlar belirlenmiş ve bu borular körülenmiştir.



Şekil 4.3 Kondenser Üst/Alt Su Haznesi

- Kombine çevrim sistemi tekrar devreye alınmış ve sistem operasyon moduna geçmiştir.

- 3 yıllık düzenli çalışma rejiminden sonra sıcak su deposu (hotwell) sodyum seviyesi kombine çevrim sistemini devreye alma çalışmaları sırasında alarm vermiştir.
- Aynı esnada kombine çevrim sisteminin diğer bileşenlerinden de yoğun devreye alma sürecinde bazı alarmlar alınmış ve sıcak su deposu sodyum analizör alarm durumu incelenmek üzere kontrol edilmesi için raporlanmıştır.
- Belirli bir süre geçtikten sonra Yüksek Basınç Buhar Türbini buhar giriş basıncı yükselmeye başlamıştır.
- Akabinde yüksek basınç buhar türbini yatak vibrasyon alarmı alındığı için üniteye zorunlu duruş verilmiştir.
- Belirli bir soğuma süresi geçtikten sonra yüksek basınç buhar türbini giriş kısmı boroskop muayenesi yapılmış ve beyaz depozit görüntüleri elde edilmiştir.
- Yüksek Basınç Buhar Türbini açılarak kontrol edildiğinde Şekil 4.4'te görülebileceği üzere buhar fazına karışan tuzlu suyun etkisi ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.4 Yüksek Basınç Buhar Türbini gövde

- Kondenser boşaltılmış ve kontrol için girildiğinde daha önce körlenen borulardan bir tanesinin körü su haznesinde yerinden çıkmış/düşmüş vaziyette bulunmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Kondenser Su Haznesi'nde düşen plug

- Kondenser tüp levha bölgesi streçle sarılarak buhar tarafı vakuma alınmış ve bir borunun delik/patlak olduğu tespit edilmiştir. Düşen tapanın da bu boruya ait olduğu ortaya çıkmıştır.
- Kör tapa montaj/kontrol hatası, yanlış tip kör tapa seçimi bu duruma neden olabilecek sebepler olarak gösterilebilir. Diğer taraftan bu durumun operasyonel koşullara veya zamana bağlı olarak gerçekleşmiş olma ihtimali de değerlendirmeye alınabilir.
- Bu görüntüden sonra bütün su-buhar fazı bileşenleri boşaltılmış, Şekil 4.6'da görüleceği üzere kontrol ve bakım aktiviteleri başlatılmıştır.



Şekil 4.6 Kontrol Bakım aktiviteleri

4.2 Kondenser Boru Arıza Analizi ve Yapılan İyileştirmelerin Etkileri

4.2.1 Ağ Yapısının Oluşturulması

Kondenserde oluşan ‘Yıkıcı Arıza’ya neden olan faktörler belirlendikten sonra modelleme yapmak için Bayes Ağı (BN) yöntemi kullanılmıştır. BN yöntemi kullanarak ‘Yıkıcı Arıza’yı meydana getiren faktörlerin farklı koşullar altında aralarındaki ilişkileri değerlendirmek mümkün hale gelmiştir. Çalışmanın alt yapı dosyası öncelikle excel tabanlı oluşturulmuş (EK-1) akabinde Bayes ağının modellenmesi ve koşullu olasılıkların hesaplanmasında Bayes Fusion Genie 3.0 Akademik Bayes yazılımı kullanılmıştır (BayesFusion, 2017).

4.2.2 Ağ Yapısındaki Dğümlerin Olasılıklarının Hesaplanması

Bu çalışmada kullanılan olasılık değerleri Uzman görüşleri doğrultusunda elde edilmiştir. Çalışmadaki 8 kişilik uzman grubun profesyonel pozisyonu, mesleği ve tecrübeleri üzerinden yapılan heterojen puan dağılımı ile değerlendirmedeki ağırlıkları belirlenmiştir. Bu ağırlıklar belirlenirken 0’dan 5’e kadar ağırlık faktörleri belirlenmiştir. Uzman grubunun ağırlık faktörleri Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Uzman grubu ağırlık faktörleri

Tecrübe	20 yıl ve üzeri	5
	15-20 yıl	4
	10-15 yıl	3
	5-10 yıl	2
Meslek	Makine/Gemi Makinaları İşl. Mühendisi	5
	Elektrik/Elektronik Mühendisi	1
	Üst Düzey Yönetici	5
Profesyonel Pozisyon	Yönetici	4
	Baş Mühendis	3
	Mühendis	2

Uzman görüşleri ile yapılan değerlendirmelerde sayısal veriler elde etmek için uzmanlardan alınan sözel değerlendirmeler Çizelge 4.2’ de gösterildiği gibi ölçeklendirilmiştir. Sözel ölçeklendirmeler; çok düşük-düşük-orta düşük-orta-orta yüksek-yüksek-çok yüksek olarak ifade edilmiştir. Bu sayede uzmanların değerlendirmelerinin hem kolay hem de yeterli detay kırımında olması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2 Uzman Değerlendirmeleri Sözel Ölçeklendirme

Derecelendirme	Puanlama		
Çok Düşük (VL)	0	0,04	0,08
Düşük (L)	0,07	0,13	0,19
Orta Düşük (ML)	0,17	0,27	0,37
Orta (M)	0,35	0,5	0,65
Orta Yüksek (MH)	0,63	0,73	0,83
Yüksek (H)	0,81	0,87	0,93
Çok Yüksek (VH)	0,92	0,96	1

4.2.3 Modelin Geçerliliği (Aksiyom Test)

Aksiyom 1; Her arıza kategorisi ile ilişkili ebeveyn düğümlerdeki değişimin çocuk düğümlerine etkisi gözlemlenmiştir. ‘Boru Kaçağı’ olayının ebeveyn düğümleri ‘boru yıpranması&aşınması, kör tapa arızası ve dizayn hatası’dır. Örneğin boru yıpranması&aşınmasının uygunsuz olma durumunda boru kaçağı olasılığı %76’dan %87’ye yükselir. Boru yıpranması&aşınmasının uygun olma durumunda boru kaçağı olasılığı %53’e düşer. Benzer şekilde kör tapa arızası olması durumunda boru kaçağı olasılığı %94’e yükselirken kör tapa arızası olmaması durumunda %60’a düşmektedir. Yine, dizayn hatası olması durumunda boru kaçağı olasılığı %89’e yükselirken, olmaması durumunda bu oran %74’e düşmektedir. Çizelge 4.3, boru kaçağı, boru arızası, yıkıcı arıza için test değerlerini içermekte olup ebeveyn düğümdeki değişimler gerçek hayattaki gibi olasılık değerlerini etkilemiştir. Bayes ağında yer alan tüm çocuk düğümlere ve onların ebeveyn düğümlerine uygulanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar bayes ağının aksiyon 1 testi gereklerini yerine getirdiğini göstermiştir. Bu nedenle oluşturulmuş olan bayes ağı aksiyom 1 testleri ile uyumludur. Sonuçlar Genie veri tabanlı çalışma dosyasından elde edilmiştir (Ek-2).

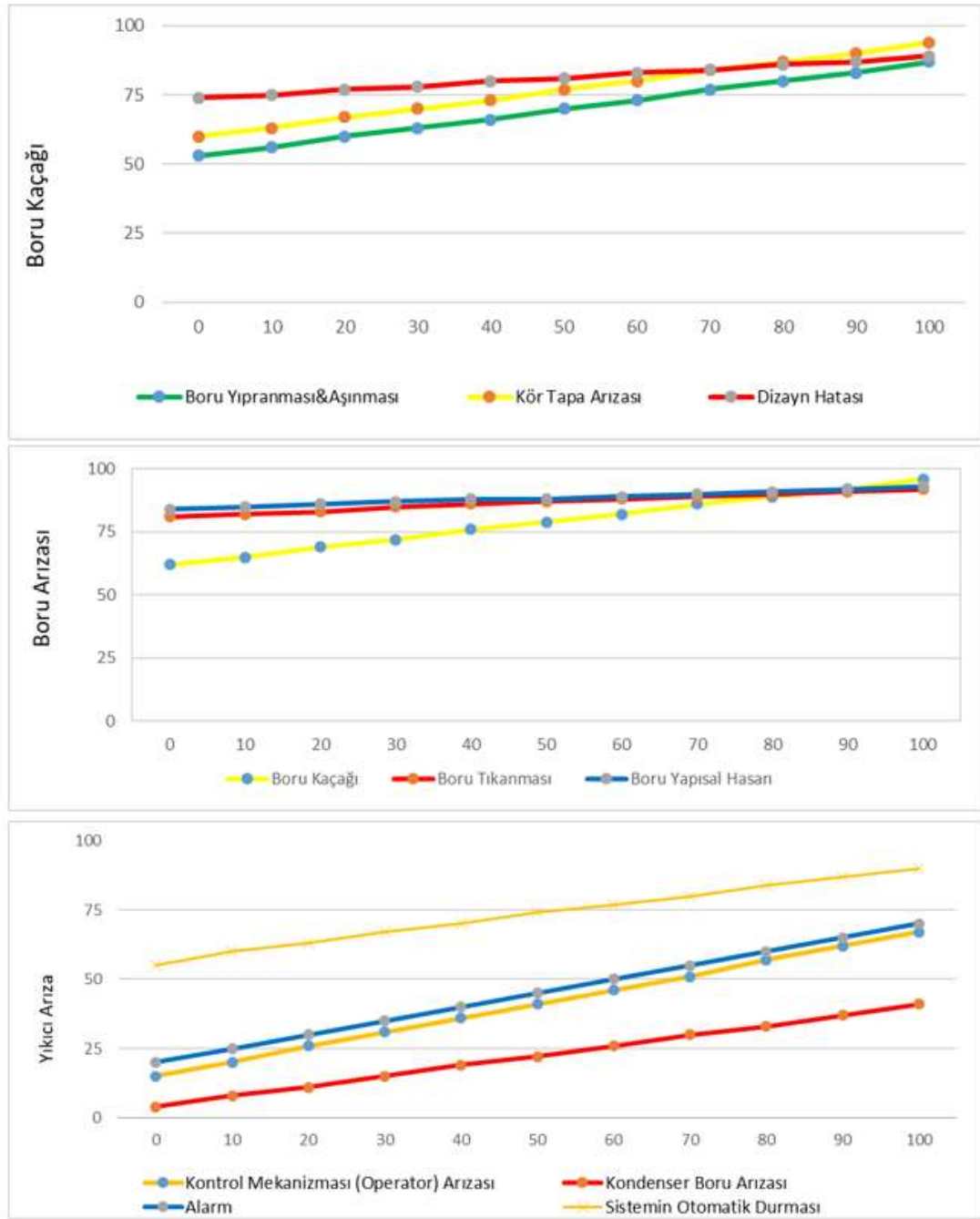
Çizelge 4.3 Aksiyom Test 1

Durum	Boru Yıpranması & Aşınması (Uygunsuz) (%)	Boru Kaçağı (Evet) (%)	Kör Tapa Arızası (Kötü) (%)	Boru Kaçağı (Evet) (%)	Dizayn Hatası (Var) (%)	Boru Kaçağı (Evet) (%)
Normal	69	76	49	76	18	76
En Kötü	100	87	100	94	100	89
En İyi	0	53	0	60	0	74

Durum	Boru Kaçağı (Uygunsuz) (%)	Kondenser Boru Arızası (Evet) (%)	Boru Tıkanması (Kötü) (%)	Kondenser Boru Arızası (Evet) (%)	Boru Yapısal Hasarı (Var) (%)	Kondenser Boru Arızası (Evet) (%)
Normal	76	88	61	88	43	88
En Kötü	100	96	100	92	100	93
En İyi	0	62	0	81	0	84

Durum	Kondenser Boru Arızası (Uygunsuz) (%)	Yıkıcı Arıza (Evet) (%)	Kontrol Mekanizması Hatası (Kötü) (%)	Yıkıcı Arıza (Evet) (%)	Alarm (Yok) (%)	Yıkıcı Arıza (Evet) (%)	Sistemin Oto. Durma Özelliği (Yok) (%)	Yıkıcı Arıza (Evet) (%)
Normal	88	36	41	36	87	36	21	36
En Kötü	100	41	100	67	100	80	100	45
En İyi	0	4	0	15	0	30	0	6

Aksiyom 2; Arıza kategorisi ile ilişkili ebeveyn düğüm olasılıklarındaki kademeli değişikliklerin her bir arıza olasılıklarındaki değişimin tutarlı olup olmadığının test edilmesidir. Şekil 4.7, boru kaçağı, boru arızası ve yıkıcı arıza aksiyom 2 test değişimlerini göstermektedir. Bu grafikler incelendiğinde eğrilerde uyumu bozan bir değer bulunmaması aksiyom 2 testini yerine getirdiğinin göstergesidir.



Şekil 4.7 Aksiyom Test 2

Aksiyom 3; Aksiyom 3 gerekliliklerin test örneği için ‘boru kaçağı’ çocuk düğümü seçilmiştir. Bu düğümün ebeveyn düğümleri olan; ‘boru yıpranması&aşınması’, ‘kör tapa arızası’ ve ‘dizayn hatası’ düğümleri birbirinden bağımsız olumsuz olasılıklarını ifade eden ‘var’, ‘var’, ‘var’ ifadeleri %100 seçildiğinde ‘boru kaçağı’ düğümünün ‘var’ durumu için olasılık değerleri sırasıyla; % 87 % 94, ve % 89 olarak gözlenmiştir. Bu dört ebeveyn düğüm birlikte % 100

olumsuz olasılıkları yapıldıklarında ise ‘boru kaçağı’ düğümünün olasılık değerinin (var) % 96 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuç aksiyon 3 testi ile uyumludur.

Aksiyom 3 testi tüm çocuk ve ebeveyn düğümlere uygulanmış ve çalışmanın Bayes ağının aksiyom 3 gerekliliklerini yerine getirdiği saptanmıştır.

Çalışmada kurulmuş olan Bayes ağı aksiyom 1, aksiyom 2 ve aksiyom 3 gerekliliklerini yerine getirmiştir. Bu nedenle çalışmanın sonuçlarının tutarlı olması beklenir.

4.2.4 Hassasiyet Analizi ve Bulgular

Çizelge 4.4 Hassasiyet Analizi 1

1	Yıkıcı Arıza (var) Nominal	Yıkıcı Arıza (var) Olasılık
Kondenser Boru Arızası var Kontrol Mekanizması Hatası yok Alarm eksikliği yok Sistemin otomatik durması yok	36	7

Sistem, kurulumdaki haliyle çalıştığında ve kondenser boru arızası olduğunda, Kontrol Mekanizması (Operatör) hatası ve Alarm Eksikliği yok iken Çizelge 4.4’te gösterildiği gibi ‘Yıkıcı Arıza’ olasılığı %7 çıkmaktadır. Fakat Çizelge 4.5’te görüleceği üzere, Kontrol Mekanizması (Operatör) Hatası var iken bu oran ciddi ölçüde artarak ‘Yıkıcı Arıza’ olasılığını %94’e çıkarmaktadır.

Çizelge 4.5 Hassasiyet Analizi 2

2	Yıkıcı Arıza (var) Nominal	Yıkıcı Arıza (var) Olasılık
Kondenser Boru Arızası var Kontrol Mekanizması Hatası var Alarm eksikliği yok Sistemin otomatik durması yok	36	94

Yine, ‘Alarm Eksikliği’ olması halinde, Çizelge 4.6’da görüleceği üzere ‘Yıkıcı Arıza’ olasılığı %90 gibi yüksek bir oran olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 4.6 Hassasiyet Analizi 3

3	Yıkıcı Arıza (var) Nominal	Yıkıcı Arıza (var) Olasılık
Kondenser Boru Arızası var Kontrol Mekanizması Hatası yok Alarm eksikliği var Sistemin otomatik durması yok	36	90

Bu durum, Alarm ve Kontrol Mekanizması'nın (Operatör) önemini ortaya koymaktadır.

Sistem üzerinde yapılan değişiklikler bu iki risk faktörünün 'Yıkıcı Arıza'daki etkisini minimize etmeyi amaçlamıştır. Bu riski azaltmak için 'Sistemin Otomatik Durması' ve 'Yedek Analizör Kurulumu' sisteme eklenmiş ve sistem revize edilmiştir.

Sistemin Otomatik Durma özelliği eklendikten sonra, aşağıdaki koşullarda 'Yıkıcı Arıza' olasılığı bulanık mantıkla yapılan hesaplamada Çizelge 4.7'de görüleceği üzere %94' ten %6' ya düşmektedir. Yapılan çalışmanın arıza riskini ciddi ölçüde düşürdüğü ortaya koyulmaktadır.

Çizelge 4.7 Hassasiyet Analizi 4

4	Yıkıcı Arıza (var) Nominal	Yıkıcı Arıza (var) Olasılık
Kondenser Boru Arızası var Kontrol Mekanizması Hatası var Alarm eksikliği yok Sistemin otomatik durması var	36	6

'Yedek Analizör Kurulumu' ise yukarıda önemini vurguladığımız 'Alarm Eksikliği' durumunu ortadan kaldırmaya yönelik iyileştirici bir diğer çalışmadır. Yedek Analizör Kurulumu, Alarm Eksikliği olasılığını Çizelge 4.8'de gösterildiği gibi %18'den, %4'e düşürmektedir.

Çizelge 4.8 Hassasiyet Analizi 5-6

5-6	Alarm (yok) Nominal	Alarm (yok) Olasılık
Analizör var, Yedek Analizör yok	13	18
Analizör var, Yedek Analizör var	13	4

Bayes Ağında 'Yıkıcı Arıza'nın düğümleri bireysel olarak irdeleğinde Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi 'Alarm ve Kontrol Mekanizması Hatası' önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 4.9 Hassasiyet Analizi 7

7	Yıkıcı Arıza (Var) Nominal	Yıkıcı Arıza (Var) Min.	Yıkıcı Arıza (Var) Max.
Sistemin Otomatik Durması	36	6	45
Alarm	36	30	80
Kondenser Boru Arızası	36	4	41
Kontrol Mekanizması (Operatör) Hatası	36	15	67

Yapılan çalışmalar, başlıca bu iki unsurdan kaynaklı ‘Yıkıcı Arıza’ olasılığını minimize etmeye yöneliktir. ‘Sistemin Otomatik Durması’ özelliği Operatör Hata yapsa bile, sistemi koruyacaktır. Diğer taraftan, Yedek Analizör Kurulumu ise alarmin varlığını güçlendirmeye yönelik yapılan çalışmadır.

Kondenser Boru Arızası’nın olasılıkları incelendiğinde yaşanan vaka çalışmasında gerçekleşen ‘Kör Tapa Arızası’ nin olması durumunda %94 gibi yüksek bir oranla Boru arızasına yol açtığını görmekteyiz. Bunun alt düğümleri incelendiğinde yine vaka çalışmasında ortaya çıkan ‘Yanlış Tip Kör Tapa Seçimi’ %88 gibi yüksek bir oranla karşımıza çıkmaktadır. Bu yüksek oranlar yapılan çalışmadaki bulguların gerçeklikle örtüştüğünü ortaya koymaktadır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 Hassasiyet Analizi 8-9

8	Boru Kaçağı (Var) Nominal	Boru Kaçağı (Var) Min.	Boru Kaçağı (Var) Max.
Boru Yıpranması&Aşınması	76	53	87
Kör Tapa Arızası	76	60	94
Dizayn Hatası	76	74	89
9	Kör Tapa Düşmesi (Var) Nominal	Kör Tapa Düşmesi (Var) Min.	Kör Tapa Düşmesi (Var) Max.
Kör Tapa Kontrol Eksikliği	33	22	43
Yanlış Tip Kör Tapa Seçimi	33	20	88

Yapılan incelemelerde sistemde bulunan ‘Kör Tapa’ ların genellikle devreye alma/test çalışmaları için uygun tipte olduğu, normal işletme koşulları için risk içerdiği görülmüştür. Yukarıdaki oranlar bu olguyu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.11’de görüleceği üzere Kirli Soğutma Suyu, 'Boru Tıkanması' vakasını ortaya çıkarabilecek en yüksek etkenli başlık olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan, 'Boru Temizleme Sistemi' nin uygun bir şekilde çalışıyor olması 'Boru Tıkanması' vakasını minimize edecek en güçlü bileşen olarak kendini göstermektedir.

Çizelge 4.11 Hassasiyet Analizi 10

10	Boru Tıkanması (Var) Nominal	Boru Tıkanması (Var) Min.	Boru Tıkanması (Var) Max.
Kontrol ve Bakım Eksikliği	61	52	75
Boru Temizleme Sistem Arızası	61	35	74
Kirli Soğutma Suyu	61	51	86

Boru Yapısal Hasarı'na neden olan etkenlere bakıldığında düğümlerin göreceli oranları arasında majör bir fark bulunmamaktadır. Çizelge 4.12'de, minimum olasılıklar %29-37 arasında, maksimum olasılıklar %72-80 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.12 Hassasiyet Analizi 11

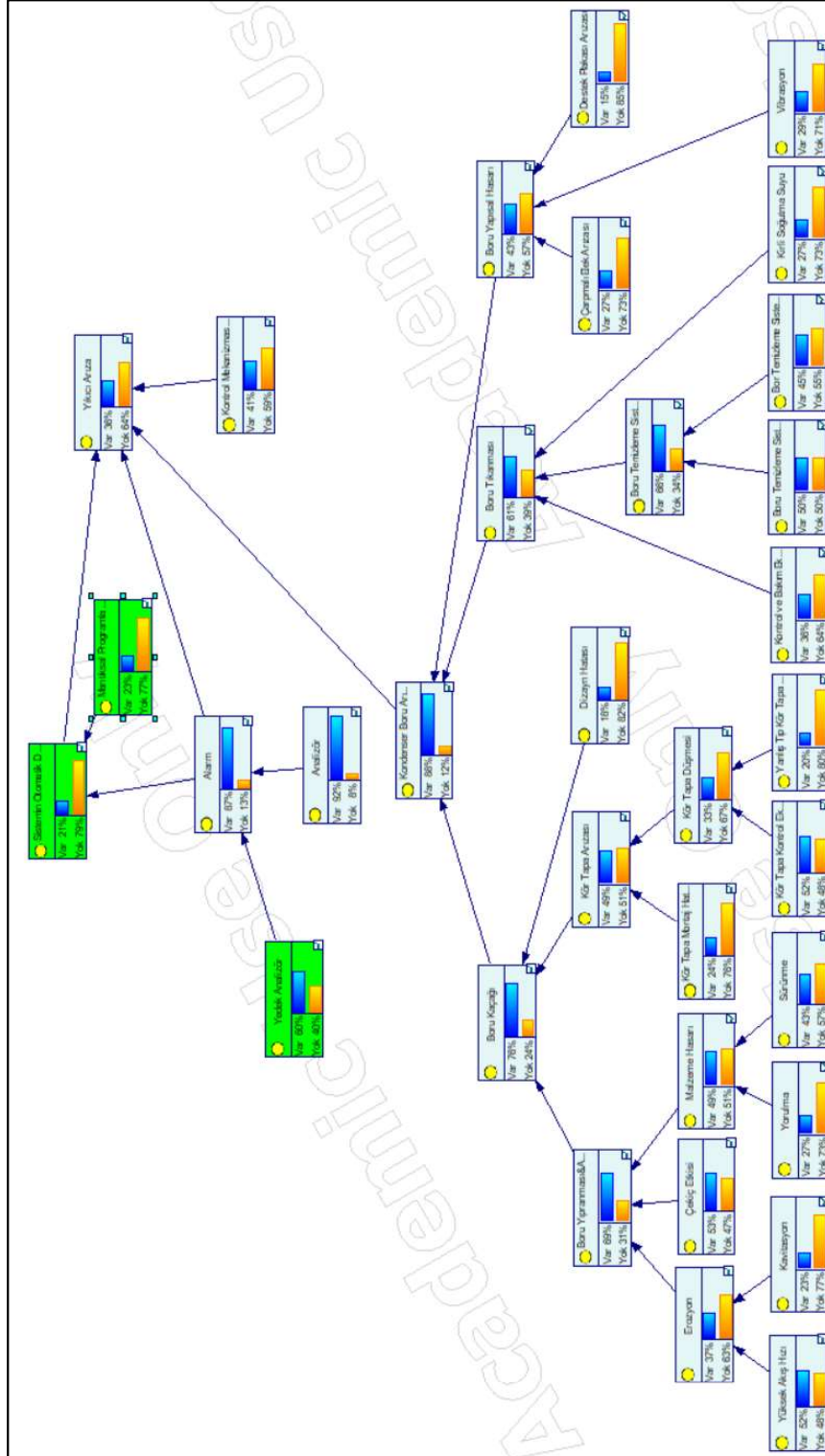
11	Boru Yapısal Hasarı (Var) Nominal	Boru Yapısal Hasarı (Var) Min.	Boru Yapısal Hasarı (Var) Max.
Çarpmalı Elek Arızası	43	29	80
Vibrasyon	43	30	72
Destek Plakası Arızası	43	37	75

Çizelge 4.13'te Boru Yıpranması&Aşınması'na en çok tesir eden olayı irdelediğimizde yine aralarında major farklılıklar olmamakla beraber, yorulma ve sürünmeye bağlı olarak 'Malzeme Hasarı' ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 4.13 Hassasiyet Analizi 12

12	Boru Yıpranması & Aşınması (Var) Nominal	Boru Yıpranması & Aşınması (Var) Min.	Boru Yıpranması & Aşınması (Var) Max.
Erozyon	69	60	85
Çekiç Etkisi	69	57	80
Malzeme Hasarı	69	50	90

Yapılan analiz çalışmalarına ve hesaplamalara ait excel tabanlı dosya Ek-1'de mevcuttur. Ayrıca EK-2 Genie analiz dosyasında olasılık hesaplamalarının çalışıldığı ağ yapısı Şekil 4.8'deki gibidir.



Şekil 4.8 Kondenser Arıza Analizi Ağ Yapısı

4.3 Yapılan İyileştirmeler

4.3.1 Analizör Kurulumu

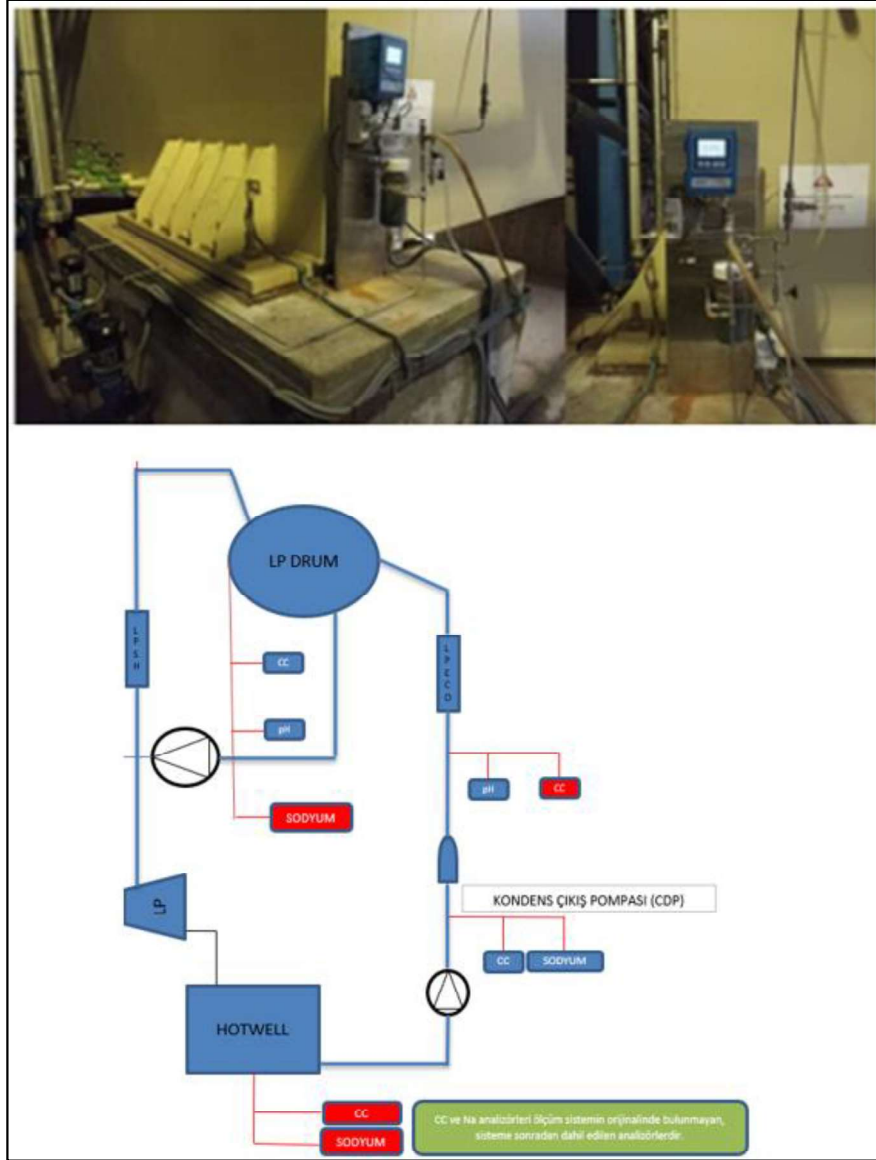
Kondenser tüplerinde kaçak olması halinde, buhar tarafı vakum altında olduğu için, deniz suyu, kondenserde yoğuşan buhar tarafına (sıcak su deposu (hotwell) tarafına) karışacaktır. Sıcak su deposundaki deniz suyunun HP-IP-LP drum (dom)'lara ve tüm prosese sirayet etmesi beklenmeden, direkt olarak sıcak su deposu içerisinde tespit edilmesi için bu bölgeye ve aynı zamanda kondensat pompa çıkışı ve LP drum'a ilave katyonik iletkenlik (CC) analizörü ilave Na (sodyum) analizörü eklenmiştir. Prosesin diğer noktalarında analizörler olmasına rağmen, hızlı tespit ve sistemin diğer bileşenlerinin etkilenmemesi için bu yöntem izlenmiştir. Deniz suyunun sıcak su deposuna karışması halinde iletkenlik değerleri yükselecek ve sisteme deniz suyunun karıştığı bölgeden erken alarm alınması sağlanacaktır. İlave eklenen analizörler Şekil 4.9'da kırmızı kutucuk içerisinde gösterilmiş olup, sistemi daha korunaklı ve daha erken uyarı verecek hale getirmiştir. Bu sayede;

1- Mevcut sistemdeki analizörler kondens çıkış pompası (CDP) çıkışında olduğundan, olası deniz suyu kaçağı durumunda, debisi 400 m³/h in üzerinde olan pompalar deniz suyu karışmış haldeki sıcak su depose (hotwell) suyunu HRSG (Atık Isı Kazanı) 'ye basmış olacaktır. Yani kazan suyu kirlenmiş olacaktır. Çalışmamızda yeni koyulan analizörler erken uyarı sistemi oluşturacaktır.

2- Mevcut sistemdeki analizörlerin devreye alma çalışmaları sırasında stabil değer göstermemesi ve buna bağlı oluşan zaman kaybı nedeniyle oluşan gecikme, yeni koyulan analizörlerle yedekli yapıyı oluşturmuş ve sistemi daha korunaklı ve güvenli hale getirmiştir.

3- Mevcut sistemde bulunan Sodyum (Na) analizörleri çift kanallı olduğundan, yaptığımız ölçümler 15 dakikada bir yapılmaktadır, bu nedenle olası kaçak durumunda CDP çıkışında diğer 15 dakikalık sürede Na değeri okunamamaktadır. Yeni konulan analizörler tek kanallı olduğundan sürekli ölçüm alınabilecektir.

4- Yeni kurulan sistemle, buhar türbinine buhar gitmeden durum tespiti için ilave analizörler devrede olmuş olacak, deniz suyu kaçağının yerinde tespiti sağlanmış olacak ve hem buhar türbini hem de atık ısı kazanı korunmuş olacaktır.



Şekil 4.9 Kondenser Arıza Tespiti için analizör kurulumu

4.3.2 Mantıksal Programlama

Kondenser tüplerinde oluşabilecek bir arıza-kaçak sonucu deniz suyunun sıcak su deposu ve oradan kazan suyuna geçmesi durumunda, deniz suyu varlığının en erken sürede teşhis edilmesi amacıyla kontrol sistemi üzerinde bir alarm sistemi oluşturulmuştur. Alarm sistemi, sıcak su deposu ve kondenser deşarj hattı ve sonrasında bulunan analizörlerden okunan parametreler kullanılarak oluşturulmuştur. Alarm sisteminin amacı; deniz suyu kaçağı sebebiyle bozulan su-buhar parametrelerinin kazan borularına ve türbin kanatlarına zarar vermeden teşhis edilmesi işinin ve analizör parametrelerinde okunan değerlerin seviyelerine göre ünitelerin ne

zaman devre dışı edilmesi gerektiği ile ilgili kararın yalnızca kontrol odası operatörünün dikkatine ve değerlendirmesine bırakılmamasıdır.

Operatörün kondenser boru kaçağı meydana geldiğinde kontaminasyon seviyesinin ne olduğuna karar vermesi için tek bir analize güvenmemesi, harekete geçmeden önce alınan verilerin gerçek olup olmadığını doğrulaması gerekmektedir. Burada operatörün, kaçağın miktarına göre dakikalar içerisinde karar vermesi gerekebilir, aksi takdirde bozulan su/buhar kimyasal parametreleri, su/buharın temasta olduğu ekipmanların kısa sürede içerisinde deformasyona uğramasına neden olabilir. Operatörün aksiyon seviyesi hakkında anında bilgilendirilmesi kritik bir gerekliliktir, çünkü bu bilgi operatörün kontaminasyon seviyesine göre doğru aksiyon almasını sağlayacaktır. Bu nedenle, aksiyon seviyesinin otomatik olarak belirlenmesi bu projenin önemli bir parçasıdır.

Karadeniz deniz suyunun iletkenliği 27k $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve sodyum içeriği 5 000-6 000 ppm dolaylarında seyretmektedir. Kondenser tüplerinde oluşan bir kaçak sebebiyle deniz suyunun proses suyuna sızması durumunda, proses suyu iletkenliği ve sodyum değeri hızla yükselecektir. Bu değerlerin yükselmesi sebebi ile ilk kirlenme hotwell de olacaktır, devamında hotwell çıkışındaki kondens deşarj pompaları ile LP ekonomizerden geçerek, LP drumuna ulaşacaktır. Bu prensipten yola çıkarak, ilk kontrol noktalarına, ilave analizörlerin yukarıda anlatıldığı gibi kurulumu yapılmıştır.

Alarm sistemi 2 adımda çalışacaktır.

a.) Kimyasal Onay' dan önce - Türbine buhar açmadan önce Kazan'ın korunması;

Devreye alma süresince, kazan suyu kimyasal parametreleri türbine buhar açılmasına uygun hale gelene kadar belirli bir süre beklenmektedir. Kimyasal Onay (Chemical confirm) sürecine kadar geçen sürede kondenser deşarj hattı ve sonrasında bulunan analizörler henüz stabil hale gelmemiş olacağı için tuz kaçağının kontrolü kondenser hotwelle sonradan eklenmiş olan ilave analizörlerle takip edilecektir.

b.) Kimyasal Onay' dan sonra - Türbine buhar açıldıktan sonra kazanın ve türbinin korunması;

b1.) Aksiyon seviyesinin hesaplanması

EPRI (Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü)'nin kılavuzuna göre, kondenser boru kaçağının bir sonucu olarak kondenserdeki kirlilik, dört eylem seviyesinde derecelendirilir ve her seviyede izin verilen çalışma süresi vardır. Aksiyon seviyesinin oluşması hem sodyum (Na) değerine hem de katyon iletkenliği (CC) değerine bağlıdır. Bu nedenle, Na ve CC değerleri aktif analog sinyallerinin EPRI'nin dört aksiyon seviyesini temsil eden dört ayrı değere dönüştürülmesi sağlanmıştır.

b2.) Katyon İletkenliği Aksiyon Seviyesi Belirleme

Sıcak su deposu (hotwell) bölgesi çıkışında yer alan katyonik iletkenlik (CC) analizörlerindeki iletkenlik değerinin yükselmesi durumunda;

- $0.20 \mu\text{S/cm} < \text{CC} \leq 0.35 \mu\text{S/cm}$ ise aksiyon seviyesi 1,
- $0.35 \mu\text{S/cm} < \text{CC} \leq 0.5 \mu\text{S/cm}$ ise aksiyon seviyesi 2,
- $0.50 \mu\text{S/cm} < \text{CC} \leq 1 \mu\text{S/cm}$ ise aksiyon seviyesi 3,
- $\text{CC} > 1 \mu\text{S/cm}$ ise aksiyon seviyesi 4 olarak belirlenir.

b3.) Sodyum İletkenliği Aksiyon Seviyesi Belirleme

Sodyum için belirlenmiş seviyelere göre hotwell bölgesinde yer alan Na analizöründen alınan sodyum değerinin yükselmesi durumunda;

- $3 \text{ ppb} < \text{Na} \leq 6 \text{ ppb}$ ise aksiyon seviyesi 1,
- $6 \text{ ppb} < \text{Na} \leq 12 \text{ ppb}$ ise aksiyon seviyesi 2,
- $12 \text{ ppb} < \text{Na} \leq 19 \text{ ppb}$ ise aksiyon seviyesi 3,
- $\text{Na} > 19 \text{ ppb}$ ise aksiyon seviyesi 4 olarak belirlenir.

Sodyum değerine göre aksiyon seviyesi 3'e ulaştığında en fazla 4 saat sonra buhar türbininin devre dışı edilmesi gereklidir. Bu seviyede çalışma süresinin kısa olması sebebiyle aksiyon seviyesi 3 için sınırlar $12 \text{ ppb} < \text{Na} \leq 19 \text{ ppb}$ olarak belirlenmiştir.

Aksiyon seviyesi 4'e ulaştığında sistemin hemen durdurulma talimatı otomatik olarak gelecektir.

b4.) Nihai Aksiyon Seviyesinin Belirlenmesi

Nihai aksiyon seviyesi, hem sodyum (Na) iletkenliği hem de katyon iletkenliği (CC) kullanılarak belirlenir. Aşağıdaki EPRI referansıyla alınan ve izelge 4.14' de gösterilen birleşik aksiyon seviyesi matrisi deneysel çalışmalara dayanmaktadır. Tablonun st satırđ sodyum (Na) analizrlerinden algılanan aksiyon seviyesidir ve sol sütun katyon iletkenlik (CC) analizrlerinden algılanan aksiyon seviyesidir. Tabloda beyaz renkle vurgulanan her kare, sodyum ve katyon iletkenlik lojjiği tarafından belirlenen aksiyon seviyesini temsil eder.

Çizelge 4.14 Birleşik Aksiyon Seviyesi tablosu (ref:EPRI)

		Na				
		0	1	2	3	4
CC	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	3	4
	2	0	1	2	3	4
	3	0	1	2	3	4
	4	0	3	3	3	4

Örneğin, CC aksiyon seviyesi 3' teyse ve Na aksiyon seviyesi 2' deyse, belirlenen son aksiyon seviyesi 2' dir. CC aksiyon seviyesi 4' teyse ve Na aksiyon seviyesi 1 ile 3 arasındaysa, belirlenen nihai aksiyon seviyesi 3' tür. Belirlenen nihai aksiyon seviyesi, kirlilik seviyesi alarmını ve kirlilik seviyesi zamanlama fonksiyonunu etkinleştirmek için kullanılacaktır.

b5.) Aksiyon Seviyesi Zamanlama

Çizelge 4.15'te gösterilen kalan süre, tesisin belirlenen nihai aksiyon seviyesinde buhar türbini devre dışı edilmeden çalışabileceği maksimum süreyi temsil eder. Kirlilik seviyesi arttıķa izin verilen çalışma süresi azalır. Kirlilik aksiyon seviyesi 4' e ulaştığında, izin verilen çalışma süresi sıfır olduğundan sistem derhal durdurulmalıdır.

Çizelge 4.15 Aksiyon Seviyesi/Kalan Süre tablosu (ref:EPRI)

Aksiyon seviyesi	1	2	3	4
Kalan Süre (saat)	100	24	4	0

Kondenserin kirlenmesinden kısa bir sonra aksiyon seviyesi 4' e ulaşması muhtemeldir. Bu nedenle, her aksiyon seviyesinde harcanan süreyi kaydetmek önemlidir. Operatörün buhar türbini durdurulmadan önce kalan süreyi belirleyebilmesi

için DCS' de kalan süreyi görüntüleyebilmesi oldukça önemlidir. Şekil 4.10' da görüleceği gibi “Kondenser Takip Sistemi” üzerinden bir aksiyon seviyesi oluşup oluşmadığını, hangi aksiyon seviyesinde olduğunu ve acil kapatma için kaç dakika süresinin kaldığını görmüş olacaktır.

Aksiyon seviyesi 1 Aksiyon seviyesi 2 Aksiyon seviyesi 3 Aksiyon seviyesi 4		Sodyum				
		0	1	2	3	4
CC	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	3	4
	2	0	1	2	3	4
	3	0	1	2	3	4
	4	0	3	3	3	4

Şekil 4.10 Kondenser Takip Sistemi görseli (ref:EPRI)

Bir aksiyon seviyesinde kalan süre, bir aksiyon seviyesinden diğerine geçerken o seviyede izin verilen sürenin tamamı değildir. Örneğin, kontaminasyon 21 saat sonra aksiyon seviyesi 2' den aksiyon seviyesi 3' e yükselirse, aksiyon seviyesi 3' te kalan süre 4 saat değildir. Aksiyon seviyesi 3' e ulaştıktan sonra kalan sürenin 4 saat olması bir anlam ifade etmez, yeni aksiyon seviyesinde kalan süre hesaplanırken önceki aksiyon seviyelerinde geçen süre de dikkate alınmalıdır. Bir kondenser sızıntısı olayı sırasında kalan süreyi hesaplamak için aşağıdaki algoritma geliştirilmiştir (Zhang, 2008). Aksiyon seviyesi 4 bu algoritmaya dahil değildir çünkü aksiyon seviyesi 4' te izin verilen süre sıfırdır. Aşağıdaki algoritmada zaman birimleri dakikadır.

$$t = \left(1 - \frac{a}{100 \times 60} - \frac{b}{24 \times 60} - \frac{c}{4 \times 60}\right) \times k \times 60 \quad (4.1)$$

t = kalan süre (dakika)

$$a = a_1 + a_2 + \dots + a_n ; \text{ aksiyon seviyesi 1' deki toplam çalışma süresi (dakika)} \quad (4.2)$$

$$b = b_1 + b_2 + \dots + b_n ; \text{ aksiyon seviyesi 2' deki toplam çalışma süresi (dakika)} \quad (4.3)$$

$$c = c_1 + c_2 + \dots + c_n ; \text{ aksiyon seviyesi 3' deki toplam çalışma süresi (dakika)} \quad (4.4)$$

k = Mevcut aksiyon seviyesinde izin verilen tüm süre (saat)

4.4 Açık Deniz Platform Uygulamalarına İlişkin Ön Değerlendirme

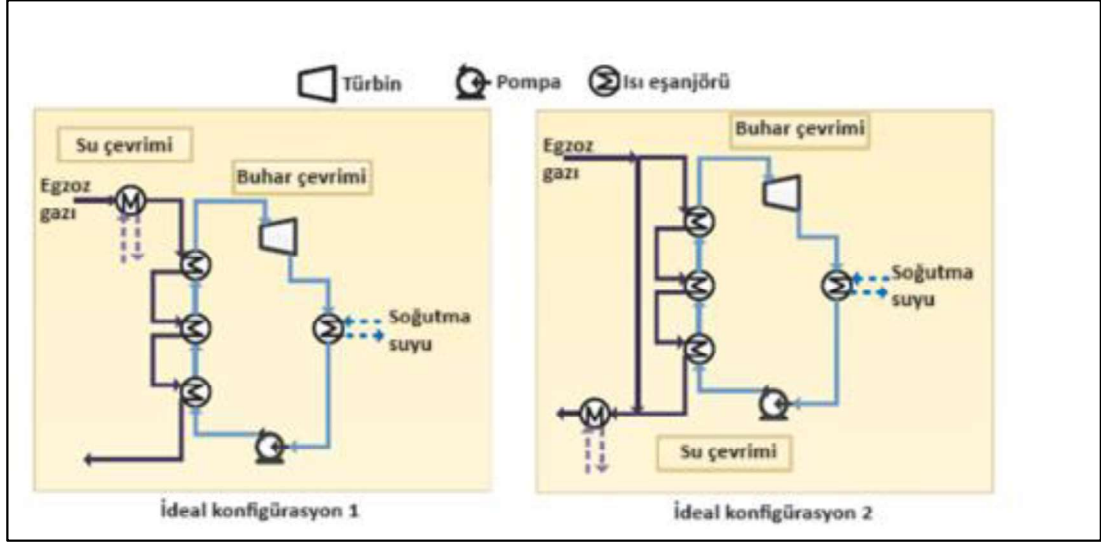
Açık deniz platformlarında gerek enerji üretiminde gerekse üretim prosesinin bir bileşeni olarak kullanılan buhar türbinleri ve buna bağlı veya bağımsız çalışan kondenserler, proses çevriminin ve enerji verimliliğinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır.

Literatür taraması sırasında ortaya konan bilgi ve değerlendirmeler ışığında bu ekipmanların üretim süreçleri üzerindeki etkisini görüyoruz.

Geliştirilmiş enerji verimliliği, açık deniz uygulamalarında önemi giderek artan bir konudur. Bunun bir nedeni, üretilen petrol veya doğal gaz birimi başına emisyonları azaltarak küresel ısınmayı azaltmaktır. Diğer bir nedeni ise herhangi bir petrol veya gaz sahasından zaman içinde azalan üretim profildir, yani birim üretim başına daha fazla enerji tüketileceğidir. Bu, üretilen petrol veya gaz birimi başına CO₂ emisyonlarını artırmanın yanı sıra üretim maliyetini de artıracaktır. Geliştirilmiş enerji verimliliğinin ilgili platformun ömrü boyunca önemi artacaktır. Açık deniz platformunun elektrik ihtiyacı, basit bir çevrimde çalışan gaz türbinleri tarafından üretilir. Bu gaz türbinlerinden çıkan sıcak egzoz gazı, ya doğrudan ya da egzoz ısısının bir kısmının proses amaçları için geri kazanılmasından sonra atmosfere salınır. Nguyen ve ark., (2013) Kuzey Denizi'nde bulunan genel bir petrol ve gaz platformu için bir ekserji analizi yaptı ve gaz türbini egzozunun ekserji kayıplarının yaklaşık %60'ını temsil ettiğini gösterdi. Egzoz ısısından daha fazla güç üretimi için ısı geri kazanımı için olasılıklar mevcuttur. Halihazırda birkaç açık deniz tesisinde, petrol platformunda elektrik üretiminin verimliliğini artırmak için uygulanan buharlı çevrimleri vardır (Walnum ve ark., 2013).

Petrol ve gaz platformları enerji yoğunluğu olan sistemlerdir ve petrol özelliklerine, ihracat özelliklerine ve saha ömrüne bağlı olarak her tesis birkaç ila birkaç yüz MW arasında enerji kullanır. Bu santrallerin enerji verimliliğini artırmak için çeşitli teknolojiler araştırılmıştır. Bu teknolojilerden bir tanesi de sisteme buhar çevrimini eklemek olarak gösterilmiştir. Mevcut Gaz Türbinleri'nden çıkan egzoz gazındaki enerjiyi buhar üretmek suretiyle kullanıp, ardından da Buhar Türbini'nde enerjiye çevirmek buradaki yaklaşımlardan bir tanesidir. Bu sayede Gaz Türbinleri daha düşük kapasitede çalışabilecek, daha düşük emisyon değerlerine sahip olabilecek

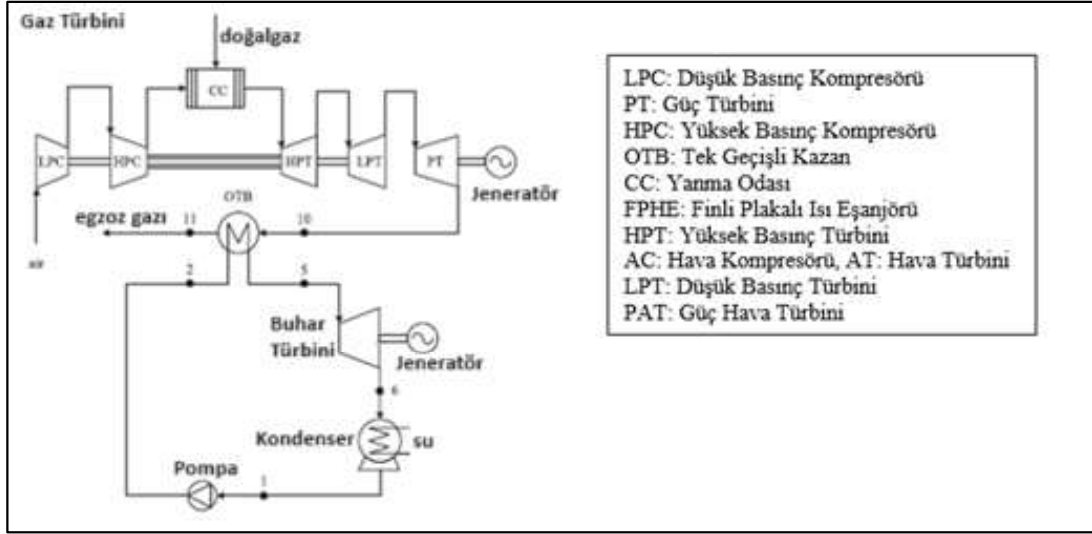
ve daha verimli bir durumda işletilebileceklerdir. Proses adımları Şekil 4.11’de gösterildiği gibi olacaktır;



Şekil 4.11 Açık Deniz Platformuna kombine çevrim optimal konfigürasyonu (Nyguen ve ark., 2016)

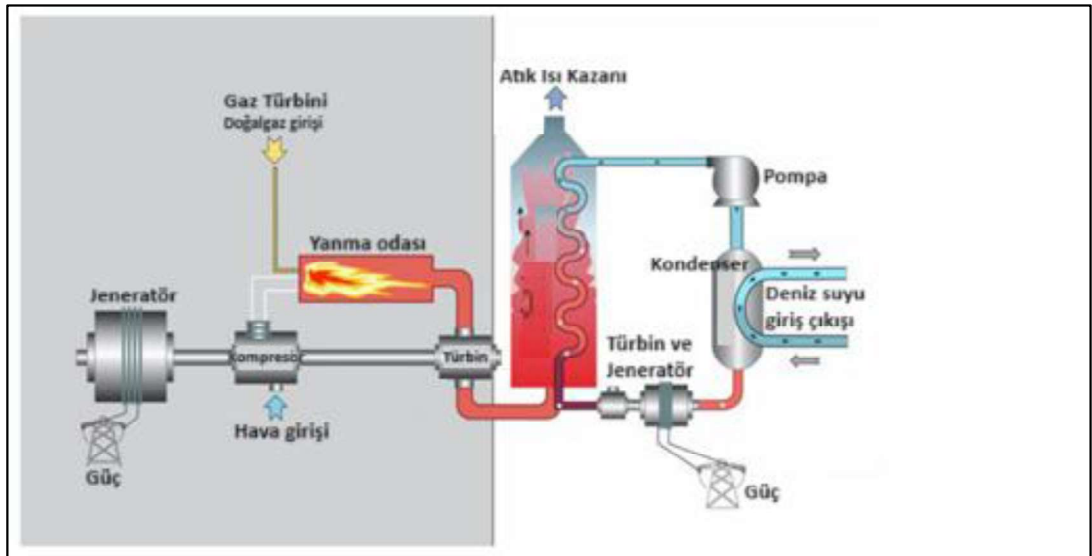
Yukarıda gösterilen her iki konfigürasyonda buhar türbininden çıkan buhar, kondenser veya ısı değıştircilerde yoğuşturulup tekrar sisteme geri verilmektedir. Buhar çevrimi sayesinde eklenen buhar türbini ve ısı değıştirciler yakıt tüketimini %20.2 civarında azaltacak, CO2 emisyonlarını da 450 ton/gün’den 360-370 ton/gün seviyelerine düşürecektir (Ngyuen ve ark., 2016).

Pierobon ve ark., (2014), mevcut ve gelecekteki açık deniz tesisleri için en uygun atık ısı geri kazanım teknolojisini bulmayı amaçlamayan çalışmalar yapmışlardır. Yıllık CO2 emisyonları, ağırlık ve ekonomik gelir gibi petrol ve gaz sektörüne göre uyarlanmış belirli işlevleri seçerek uygun tasarımları elde etmek amacıyla çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı kullanmışlardır. Test için Kuzey Denizi’nde bir açık deniz platformuna hizmet veren gaz türbini tabanlı güç sistemi referans alınmıştır. Bahis konusu bu çalışma çeşitli buhar çevrimlerini kıyaslamaya çalışmış olup, açık deniz platformları için yüksek verimli güç sistemlerini ele almıştır. Metodoloji, bir açık deniz petrol ve gaz platformunun gaz türbinlerine dayalı güç sisteminden atık ısının bir kısmını geri kazanmak için uygulanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Açık Deniz Platformuna kombine çevrimi entegrasyonu (Pierobon ve ark., 2014)

Mazetti ve ark., (2021), Açık Deniz Platformları üzerindeki sistemlerde geleneksel olmayan fakat uygulanabilir tasarımlarla, yapısal bileşenler üzerinde yapılan malzeme değişiklikleri ile, 16 MW ve 12 MW'lık açık deniz platform sisteminde sırasıyla %38 ve %52'lik genel ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Buhar üreten tüplerin çaplarının düşürülmesi ve geliştirilmiş kondenser tasarımı - çeliğin yerine alüminyum yapısal çerçevenin kullanılması- sayesinde çevrimin ağırlığı azaltılmış ve bu sayede açık deniz platformlarındaki uygulama potansiyeli (Şekil 4.13) büyük ölçüde iyileştirilmiştir.



Şekil 4.13 Açık Deniz Platformunda geliştirilmiş Kondenser uygulaması (Mazetti ve ark., 2021)

Yukarıdaki açıklamalarda ve örneklerde belirtildiği üzere, açık deniz petrol platformlarında enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalarda atık ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı, var olan sistemlere entegrasyonu, basit çevrimden kombine çevrime evrilmenin enerji verimliliği ve emisyon değerleri üzerine müsbet yönde etkileri vurgulanmıştır. Buhar çevrimlerinin sisteme entegre edilmesi ile bir gaz çevrimine su-buhar çevriminin eklenmesi şeklinde ortaya çıkan kombine çevrim mantığı detaylarıyla birlikte çalışmanın içeriğinde zaten ele alınmıştır. Akabinde, ekipman üzerindeki ortaya çıkan/çıkabilecek olan arıza analizi ve sonuçları ortaya konulmuştur.

Enerji üretim kapasitesi 400 MW'ın üzerinde olan ve bu kapasitenin %30'undan fazlasının buhar türbini üzerinden sağlandığı bir sistem üzerinde yapılan çalışmada kondenser boru arızasının ortaya çıkardığı yıkıcı arızanın maliyeti yaklaşık milyon dolar mertebelerinde olmuştur. Bu arıza bir açık deniz platformunda olduğu takdirde özellikle üretim prosesini etkilemesi durumunda maliyet çok daha yüksek olacaktır. Yapılacak olan erken müdahale ortaya çıkabilecek olan bu maliyetleri minimize edeceği gibi, emre amadelik ve sistem güvenilirliğini üst düzeyde tutmaya yönelik kazanımlar sağlayacaktır.

Özellikle yeni nesil, yüksek verimli, kombine çevrim sistemlerinin kullanıldığı, yüksek üretim kapasiteli açık deniz platformları, ortaya koyduğumuz çalışmanın sonuçları ile doğrudan ilintilidir. Bahis konusu çalışmanın Bayes Ağı'nda ortaya konan düğümlerdeki arıza çeşitleriyle karşılaşma olasılığı için proaktif yaklaşımlar sergilenmesi hem olası arızaların ortaya çıkmasını hem de bunlardan doğabilecek üretim kayıplarını engelleyecektir. Uzman değerlendirmeleri ve bulanık mantıkla ortaya çıkan olasılıklar değerlendirmeye açık olup, süreç sahibi işletmeler, sektör paydaşları ve bilimsel çalışma yapan kişi/kurumlar için fayda sağlayacak niteliktedir. Nitekim çalışmada ortaya konan sistemin faydaları, oluşabilecek arızanın yıkıcı etkiyle sonuçlanma Bayes olasılığını ciddi ölçüde düşüren verilerle desteklenmektedir.

Özellikle soğutucu medyanın deniz suyu olduğu kondenserlerin, olası arızaları sistemin etkin çalışmasını olumsuz yönde etkileyebileceğinden, işletme-bakım

faaliyetlerinin eksiksiz yapılması gerekmekte ve tesisin sürdürülebilir bir şekilde çalışması açısından dikkatle takip edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın başarısı, yalnızca bir güç santralının ekipmanı için pratik mühendislik probleminin çözülmesine yardımcı olmakla kalmayacak, aynı zamanda karmaşık hizmet koşulları altında çalışan bütün tesislerde kondenser ve/veya ısı değiştiricilerin arıza davranışlarının daha iyi anlaşılmasına da yol açacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

‘Bir zincirin ancak en zayıf halkası kadar güçlü olduğu’ sözü uluslararası alanda iyi bilinen bir kabuldür. Yapılan mühendislik çalışmaları, aslında bir malzemenin, bir ekipmanın veya bir sistemin gelişimine odaklanmakta ve ele aldığı konuyu daha da iyi bir noktaya taşımak için yıllardır analizler yapıp, her geçen gün gelişim kaydetmeyi amaçlamaktadır. Sürekli değişen ve gelişen dünyada, endüstriyel alanlarda yapılan mühendislik çalışmaları ve analizler, işleyen sistemlerin güvenilirliğini, sürdürülebilirliğini ve fizibilitesini korumaya ve geliştirmeye katkı sağlamalıdır. Bu durumun uygulamaya dökülemediği zamanda ise o sistemin varlığı ve devamlılığı sorgulanmaya mahkum olmaktadır. Sistemin zayıf halkasını güçlendirmek ve bunun neticesinde her geçen gün gelişim kaydetmeyi amaçlamak mühendislik çalışmalarının ana hedefi olmaktadır.

Enerji endüstrisi, dünya üzerinde sürekli değişen ve gelişen endüstrilerin başında gelmektedir. Gün geçtikçe kendini farklı enerji kaynaklarının kullanım gereksinimi ile güncelleyen enerji endüstrisi, verimi artırmaya ve birim enerji başına düşen maliyeti azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Sürdürülebilirlik ve rekabetçi olabilmeleri açısından, enerji endüstrisi alanında çalışan devletler ve firmalar yeni enerji kaynaklarını kullanmaya veya var olan kaynaklarda daha verimli üretim süreçleri üzerine odaklanmaya mecbur kalmaktadır.

Açık Deniz Platformları, enerji endüstrisinin ham madde kaynakları için üretim merkezlerinden biri olup, buradan çıkarılan petrol ve gaz türevleri dünyanın değişik lokasyonlarında enerji endüstrisini besleyen ve büyük yatırımlar gerektiren tesislerdir. Bu tesislerin güvenli bir şekilde çalıştırılması büyük önem ve dikkat gerektirirken, yapılan çalışmaların ve tesisin operasyonel faaliyetleri hem çevresel açıdan, hem de teknik açıdan mükemmeliyetçiliği zorunlu kılmaktadır. Aksi takdirde ortaya çıkabilecek kaza ve arızalar ciddi maddi ve manevi sorunlara yol açabilme kapasitesini bünyesinde barındırmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan konular bir kondenserde yaşanan arızayı analiz ederek, sistem üzerinde ortaya çıkabilecek sorunları adreslemekte ve alınabilecek aksiyonlarla bu durumdan nasıl kaçınılabileceği hususunda yol gösterici olabilecek düzeydedir. Zira, bahis konusu kondenser ekipmanı enerji endüstrisinin çeşitli ayakları olan, açık deniz

platformları, enerji santralleri, ve çeşitli fabrikalarda sıkça kullanılan ekipmanlardandır. Haglind ve ark., (2008)'nin gemiler için yaptığı çalışmalarda, Nord ve ark., (2014)'nin açık deniz platformlarında verimi artırmaya yönelik yaptığı çalışmalarda buhar türbini ve kondenser ekipmanının önemli bir bileşen olduğu görülmektedir. Benzer mantıkla çalışan ısı eşanjörleri de bu çalışmanın bir parçası olarak düşünülebilir. Bu ekipmanlarda soğutucu materyal olarak deniz suyu kullanılan sistemlerde, deniz suyunun agresif yapısı, olası arızaları tetikleyecek ve işletme-bakım faaliyetlerini daha da zorlaştırabilecek bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Vaka incelemesi referans alınarak yapılan bu çalışmada, Bayes ağı ve Bulanık Mantık kullanılarak analiz yapılmış ve GeNIe programı kullanılarak hesaplamalar ortaya çıkarılmıştır. 8 kişilik uzman değerlendirmeleri olasılıkları belirlemede rol oynamış ve kombine çevrim sistemi üzerindeki arızanın yıkıcı sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre ortaya çıkan sonuçları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- 1- Deniz suyu soğutmalı kombine çevrim kondenser arızası zamanında müdahale edilemediği takdirde yıkıcı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir.
- 2- Operasyon ve bakım faaliyetleri hem sistem güvenliğini korumalı hem de doğabilecek sorunlara karşı önlemler alacak şekilde konumlandırılmalıdır. Kusurlu operasyon süreci bakım faaliyetlerini, kusurlu bakım süreci de operasyon faaliyetlerini etkilemektedir.
- 3- Teknik proses için güvenli operasyona öncülük eden alarm sistemi ve kontrol mekanizması (operator) güçlü bir şekilde çalışmalı, sistemin emre amadeliği önceliğe alınmalıdır. Bu çalışmada yapılan iyileştirmeler bahis konusu sistem ve mekanizmaların güçlendirilmesini sağlamıştır.
- 4- Deniz suyu soğutmalı kombine çevrim kondenser arızaları sadece kondenser ekipmanını değil, kondenser ile entegre çalışan kazan ve buhar türbinlerini etkileyebilmektedir.
- 5- Kondenser'de oluşabilecek deniz suyu kaçaqları için boruların kontrolleri uygun bir şekilde yapılmalıdır. Çalışmamızda bu kontrollerin yapım yöntemleri açıklanmıştır.

- 6- Çalışmamızda ortaya çıkan analizlere göre Sistem, kurulumdaki haliyle çalıştığında ve kondenser boru arızası olduğunda, kontrol mekanizması (operatör) hatası ve alarm eksikliği yok iken 'yıkıcı arıza' olasılığı %7 çıkmaktadır. 'Kontrol mekanizması (operatör) hatası' var iken bu oran ciddi ölçüde artarak 'yıkıcı arıza' olasılığını %94'e çıkarmaktadır. 'Alarm eksikliği' olması halinde, 'yıkıcı arıza' olasılığı %90 gibi yüksek bir oran olarak karşımıza çıkmaktadır.
- 7- Çalışmanın bir başka çıktısı ise 'sistemin otomatik durma' özelliği eklendikten sonra, (kondenser boru arızası var, kontrol mekanizması (operatör) hatası var ve alarm eksikliği yok iken) 'yıkıcı arıza' olasılığı bulanık mantıkla yapılan hesaplamada %94'ten %6'ya düşmektedir. Yapılan çalışmanın arıza riskini ciddi ölçüde düşürdüğü ortaya koyulmaktadır.
- 8- 'Alarm eksikliği' durumunu ortadan kaldırmaya yönelik 'ilave/yedek analizör kurulumu' nun Alarm Eksikliği olasılığını %18'den %4'e düşürdüğü görülmüştür.
- 9- Yapılan çalışmada koyulan ilave analizörlerin, olası deniz suyu kaçağı durumunda erken teşhis için ciddi ölçüde fayda sağladığı ortaya koyulmuştur. Hem buhar türbini hem de atık ısı kazanı ve buna bağlı sistemler daha korunaklı bir takip sistemine kavuşmuştur.
- 10- Kirli soğutma suyunun 'boru tıkanması' vakasını ortaya çıkarabilecek en yüksek etkenli başlık olarak karşımıza çıktığı görülmüştür. 'Boru temizleme sisteminin uygun bir şekilde çalışıyor olması 'boru tıkanması' vakasını minimize edecek en güçlü bileşen olarak bu çalışmada kendini göstermektedir.
- 11- Maliyet kaygıları nedeniyle yapılabilecek iyileştirmeleri ötelemenin, özellikle büyük ölçekli üretim yapan ve kondenserin kritik ekipman olduğu tesislerde daha büyük maliyetlere yol açtığı görülmüştür.
- 12- Kondenser ekipmanının, açık deniz platformlarında yapılan verimi artırmaya yönelik çalışmalarda önemli bir bileşen olduğu literatür çalışmaları ile desteklenmiştir.

- 13- Çalışmamızda bahsi geçen arızanın maliyeti milyon dolarlar mertebesinde ve üretim kaybı da aylar mertebesinde olmuştur. Tesisin büyüklüğü ve ekipmanın kritikliği ölçüsünde bu sonuç değişkenlik gösterecektir.
- 14- Risk Analizleri'nde olasılık (likelihood) ve etki (impact) faktörleri dikkate alındığından, olasılıkları düşük olsa bile, etkilerin yüksek olduğu durumlarda, risk ölçüsü yüksek çıkmaktadır. Buradan hareketle, sonuçları/etkileri itibariyle yıkıcı olan (maddi, manevi) durumlar için tedbir alınması, sistemleri yıkıcı maddi arızalara karşı koruyacaktır. Vaka çalışmasında ortaya çıkan durum maddi yönüyle yıkıcı arıza etkisi bırakmıştır.
- 15- Yaşanan arıza sonrası buhar türbini son kademe kanatlarında SCC (gerilim korozyonu çatlaması) kontrolleri yapılmak durumunda kalınmış, ve ekipmanın bakım frekansı değişmiştir. Türbin kanat köklerinde stres ve korozyona bağlı çatlak riski ortaya çıkmıştır. Bu olasılık, ekipmanın ömrünü etkileyebileceği gibi (Banaszkiewicz ve Rehmus-Forc, 2015), buhar türbini üzerinde bir başka yıkıcı arıza olasılığını gündeme getirmiştir. SCC kontrollerinin yine ilave maliyet ve emre amadelik kaybını ortaya çıkardığı bir başka gerçektir. Yine bu çalışma sayesinde yaşanan arızanın ileride ne gibi sorunları tetikleyeceği ifade edilmiştir. Özellikle son kademe kanat veya kanat köklerinde oluşabilecek hasarlara ait kök sebep analiz çalışmaları göz önünde bulundurulmuştur (Mazur ve ark., 2006).
- 16- Açık deniz petrol platformlarında enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalarda atık ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı, var olan sistemlere entegrasyonu, basit çevrimden kombine çevrime evrilmenin enerji verimliliği ve emisyon değerleri üzerine müsbet yönde etki ettiği görülmüştür.
- 17- Operasyona uygun olmayan ve hasar tespiti yapılan borular uygun şekilde körlenmelidir. Körlenen boruların tapa kontrolleri belirli aralıklarla yapılmalıdır. Kör tapaların doğru seçilmesi, körleme yöntemlerinde doğabilecek olası seçim ve yöntemsel uygulama hataları göz önünde bulundurularak işletme bakım faaliyetleri yürütülmelidir. Her ne kadar orijinal ekipman üreticileri kör tapaların güvenilir olduğu iddiasında bulunsa da, yaşanan vaka olayı göz önüne alındığında bu tip ekipman/parça seçimlerinin

tekrar değerlendirilmesi veya montaj/kontrol kusurlarının göz ardı edilmemesi bu çalışmanın bir çıktısı olarak ortaya koyulmaktadır. Bu tip sistemlerde seçilen kr tapanların uygunluğu veya uygunsuzluğu ile ilgili atıfda bulunan çalışmalar bulunmaktadır (Gong ve ark., 2019).

- 18- Kr tapanın düşmesine ilişkin farklı teoriler üzerinde düşünülerek analizler yapılması bir sonraki çalışmalar için ilham kaynağı olabilir. Zira, burada operasyonel koşulların etkilerinin incelenmesi ayrı bir çalışma konusu olarak değerlendirilebilir.
- 19- Vaka olayı veya benzer olayların HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) analizi ile irdelenmesi sonraki çalışmalar için ilham kaynağı olabilir.
- 20- Basit ve kombine çevrim bileşenlerinin açık deniz platformlarına özgü farklı arıza analizleri sonraki çalışmalar için ilham kaynağı olabilir.
- 21- Açık deniz platformlarında kullanılan deniz suyu soğutmalı ısı eşanjörlerinin de bu arızalara konu olabileceği ifade edilmiştir. Farklı tesislerde ısı eşanjörleri ile ilgili çeşitli çalışma ve arıza analizleri sonraki çalışmalar için ilham kaynağı olabilir.
- 22- Özellikle yeni nesil, yüksek verimli, kombine çevrim sistemlerinin kullanıldığı, yüksek üretim kapasiteli açık deniz platformlarının Bayes Ağı'nda ortaya konan düğümlerdeki arıza çeşitleriyle karşılaşma olasılığı için proaktif yaklaşımlar sergilemesi hem olası arızaların ortaya çıkmasını hem de bunlardan doğabilecek üretim kayıplarını engelleyecektir. Çalışmada ortaya konan analiz, tespit ve iyileştirmeler ışığında, arızaların yıkıcı etkiyle sonuçlanma olasılığının ciddi ölçüde düştüğü bu çalışma içerisindeki verilerle desteklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, (2023). Cost saving for condenser tube cleaning system! <https://www.reliaspace.com/spp->(Erişim tarihi:16.11.2023)
- Anonim, (2020). Difference Between Rankine Cycle and Brayton Cycle. [https://www.differencebetween.com/difference-between-rankine-cycle-and-brayton-cycle/-](https://www.differencebetween.com/difference-between-rankine-cycle-and-brayton-cycle/)(Erişim tarihi:17.04.2023)
- Anonim, (2023). 9F gas turbine. <https://www.ge.com/gas-power/products/gas-turbines/9f->(Erişim tarihi:19.11.2023)
- Anonim, (2023). International Rig Count. [https://rigcount.bakerhughes.com/intl-rig-count/-](https://rigcount.bakerhughes.com/intl-rig-count/)(Erişim tarihi:10.04.2023).
- Aydın, M. & Kamal, B. (2022). A Fussy-Bayesian Approach on the Bankruptcy of Hanjin Shipping. *Journal of ETA Maritime Science*, 10, 1, 2-15.
- Banaszkiewicz, M. & Rehmus-Forc, A. (2015). Stress corrosion cracking of a 60 MW steam turbine rotor. *Engineering Failure Analysis*, 51, 55-68.
- Boland, G. (2013). NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration – *Oil and Gas Exploration*.
- Chen, ST., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J. & Chou, Y. (2013). A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA). *Safety Science*, 60, 105-114.
- Cristiani, P., Perboni, G. & Debenedetti, A. (2008). Effect of chlorination on the corrosion of Cu/Ni 70/30 condenser tubing. *Electrochimica Acta*, 54 (1), 100-107.
- Deyab, SM., Taleb-berrouane, M., Khana, F. & Yang, M. (2018). Failure analysis of the offshore process component considering causation dependence. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 220-232.
- Franco, A. & Russo, A. (2001). Combined cycle plant efficiency increase based on the optimization of the heat recovery steam generator operating parameters. *International Journal of Thermal Science*, 41(9), 843-859.
- Gong, Y., Ma, FQ., Xue, Y., Jiao, CS. & Yang, ZG. (2019). Failure analysis on leaked titanium tubes of seawater heat exchangers in recirculating cooling water system of coastal nuclear power plant. *Engineering Failure Analysis*, 101, 172-179.
- Haglund, F. (2008). A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships, Part I: Background and design. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3458-3467.
- Haglund, F. (2008). A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships, Part II: Previous work and implications. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3468-3475.
- Haglund, F. (2008). A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships, Part III: Fuels and emissions. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3476-3482.

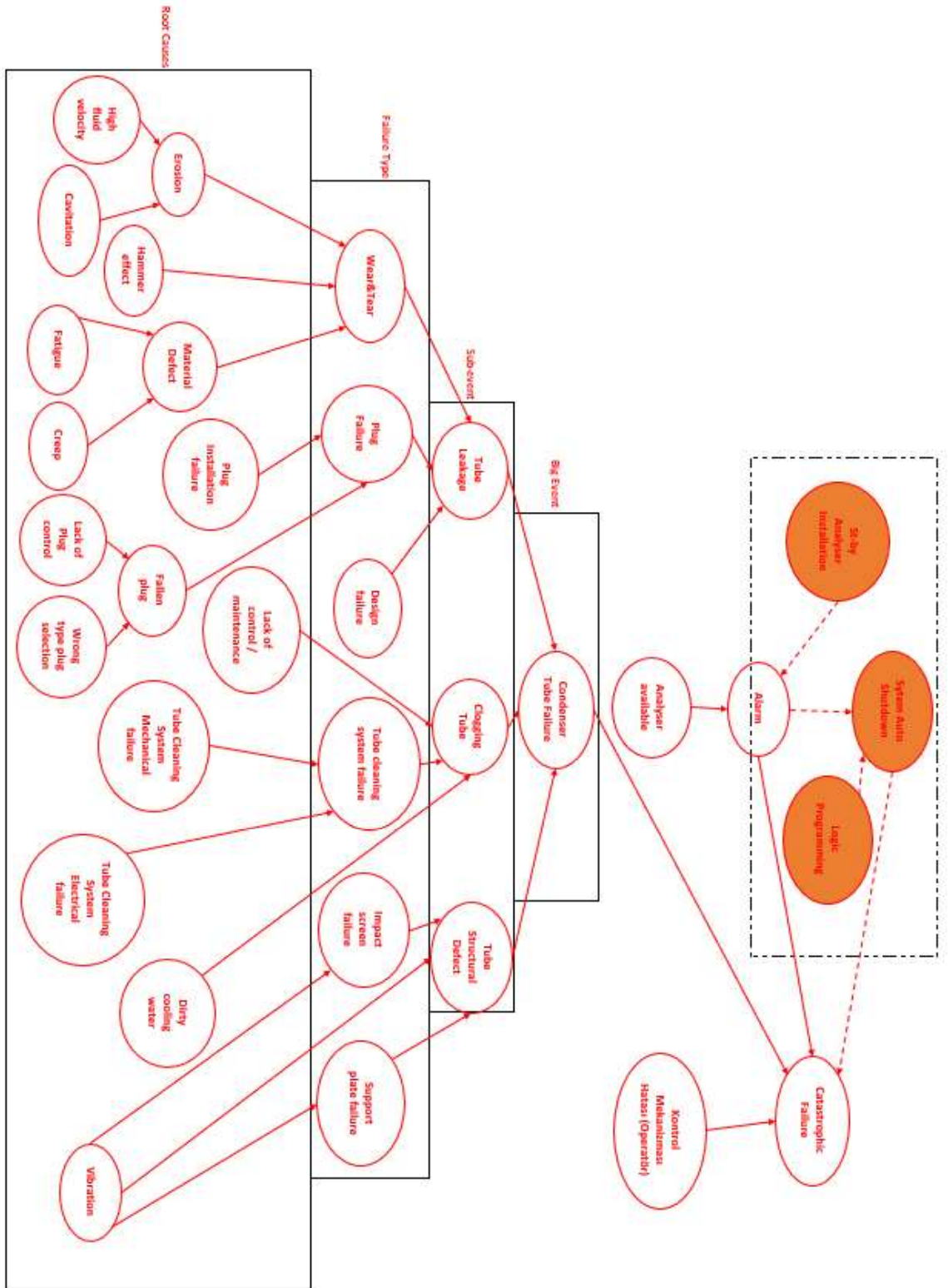
- Hanninen, M., Banda, OAV. & Kujala, P. (2014). Bayesian network model of maritime safety management. *Expert Systems with Applications*, 41(17), 7837-7846.
- Hansen, P., Luna Pedrosa Filho, E. & Carneiro Ribeiro, C. (1992). Location and sizing of offshore platforms for oil exploration. *European Journal of Operational Research*, 58(2), 202-214.
- Itikia, R., Di Santoa, SG., Itikib, C., Manjrekarc, M. & Chowdhuryc, BH. (2019). A comprehensive review and proposed architecture for offshore power system. *Electrical Power and Energy Systems*, 111, 79-92.
- Liu, S. & Xie, Y. (2015). Computational and Statistical Methods for Analysing Big Data with Applications. Academic press of Elsevier.
- Mazzetti, MJ., Hagen, B., Skaugen, G., Lindqvist, K., Lundberg, S. & Kristensen, O.A. (2021). Achieving 50% weight reduction of offshore steam bottoming cycles. *Energy*, 230, 120634.
- Mazur, Z., Illescas, RG., Romano, JA. & Rodriguez, NP. (2008). Steam turbine blade failure analysis. *Engineering Failure Analysis*, 15(1-2), 129-141.
- Nguyen, TV., Voldsund, M., Breuhaus, P. & Elmegaard, B. (2016). Energy efficiency measures for offshore oil and gas platforms. *Energy*, 117(2), 325-340.
- Nord, LO., Martelli, E. & Bolland, O. (2014). Weight and power optimization of steam bottoming cycle for offshore oil and gas installations. *Energy*, 76, 891-898.
- OEM (Orijinal Ekipman Üreticisi) Eğitim dokümanları
- Pandey, RK. (2006). Failure analysis of refinery tubes of overhead condenser. *Engineering Failure Analysis*, 13(5), 739-746.
- Pattanayaka, L., Padhib, BN. & Kodamasingh, B. (2019). Thermal performance assessment of steam surface condenser. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100484.
- Pierobon, L., Benato, A., Scolari, E., Haglind, F. & Stoppato, A. (2014). Waste heat recovery technologies for offshore platforms. *Applied Energy*, 136, 228-241.
- Pierobon, L., Nguyen, TV., Larsen, U., Haglind, F. & Elmegaard, B. (2013). Multi-objective optimization of organic Rankine cycles for waste heat recovery: Application in an offshore platform. *Energy*, 58, 538-549.
- Poullikkas, A. (2005). An overview of current and future sustainable gas turbine technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(5), 409-443.
- Sarialioğlu, S. & Uğurlu, Ö. (2019). Gemi Makine Dairesi Yangınlarının İnsan Faktörü Analiz Sınıflandırma Sistemi Ve Bulanık Hata Ağacı Yöntemleri İle Analizi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Sarialioğlu, S., Uğurlu, O., Aydın, M., Vardar, B. & Wang, J. (2020). A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS-PV&FFTA. *Ocean Engineering*, 217, 107992.
- Shalaby, HM., Al-Mazeedi, H., Gopal, H. & Tanoli, N. (2011). Failure of titanium condenser tube. *Engineering Failure Analysis*, 18(8), 1990-1997.

- Shen, S., Li, X., Zhang, P., Nan, Y. & Song, X. (2016). Failure Analysis and Fatigue Investigation on Titanium Tubes in a Condenser. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 16, 975-981.
- Shiozaki, S., Fujii, T., Takenaga, K., Ozawa, M. & Yamada, A. (2021). 6 - Gas turbine combined cycle. *Advances in Power Boilers*, 2, 305-344.
- Shukla, A. & Karki, H. (2016). Application of robotics in offshore oil and gas industry— A review Part II. *Robotics and Autonomous Systems*, 75(B), 508-524.
- Uğurlu, Ö., Uğurlu, F., Yıldız, S., Boran, M. & Wang, J. (2020). Analysis of fishing vessel accidents with Bayesian network and Chi-square methods. *Ocean Engineering*, 198, 106956.
- Villasenor, R., Magdaleno, M., Quintanar, A., Gallardo, JC., Lopez, MT., Jurado, R., Miranda, A., Aguilar, M., Melgarejo, LA., Palmerin, E., Vallejo, CJ. & Barchet WR. (2003). An air quality emission inventory of offshore operations for the exploration and production of petroleum by the Mexican oil industry. *Atmospheric Environment*, 37(26), 3713-3729.
- Walnum, HT., Neksa, P., Nord, LO. & Andresen T. (2013). Modelling and simulation of CO₂ (carbon dioxide) bottoming cycles for offshore oil and gas installations at design and off-design conditions. *Energy*, 59, 513-520.
- Xing, Q., Meng, R., Lou, M., Bing, L. & Liu, X. (2015). Remote Sensing of Ships and Offshore Oil Platforms and Mapping the Marine Oil Spill Risk Source in the Bohai Sea. *Aquatic Procedia*, 3, 127-132.
- Zeytin, HK. (2007). Failure analysis of cooling water pipes used in the condensation system of a gas turbine. *Materials Characterization*, 59(2), 167-172.
- Zhang, H. (2008). Otahuhu B Power Station condenser in-leakage analysis and condensate monitoring system. Massey University.
- Zhang, B., Han, Q., Zhang, X. (2017). Recent advances in vibration control of offshore platforms. *Nonlinear Dynamics*, 89, 755-771.
- Zhang, G., Qu, H., Chen, G., Zhao, C., Zhang, F. (2019). Giant discoveries of oil and gas fields in global deepwaters in the past 40 years and the prospect of exploration. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 4(1), 1-28.

EKLER

EK 1: Kondenser Tüp Arıza Analizi Dosyası_Excel

Tablo 1-Arıza analiz ağacı



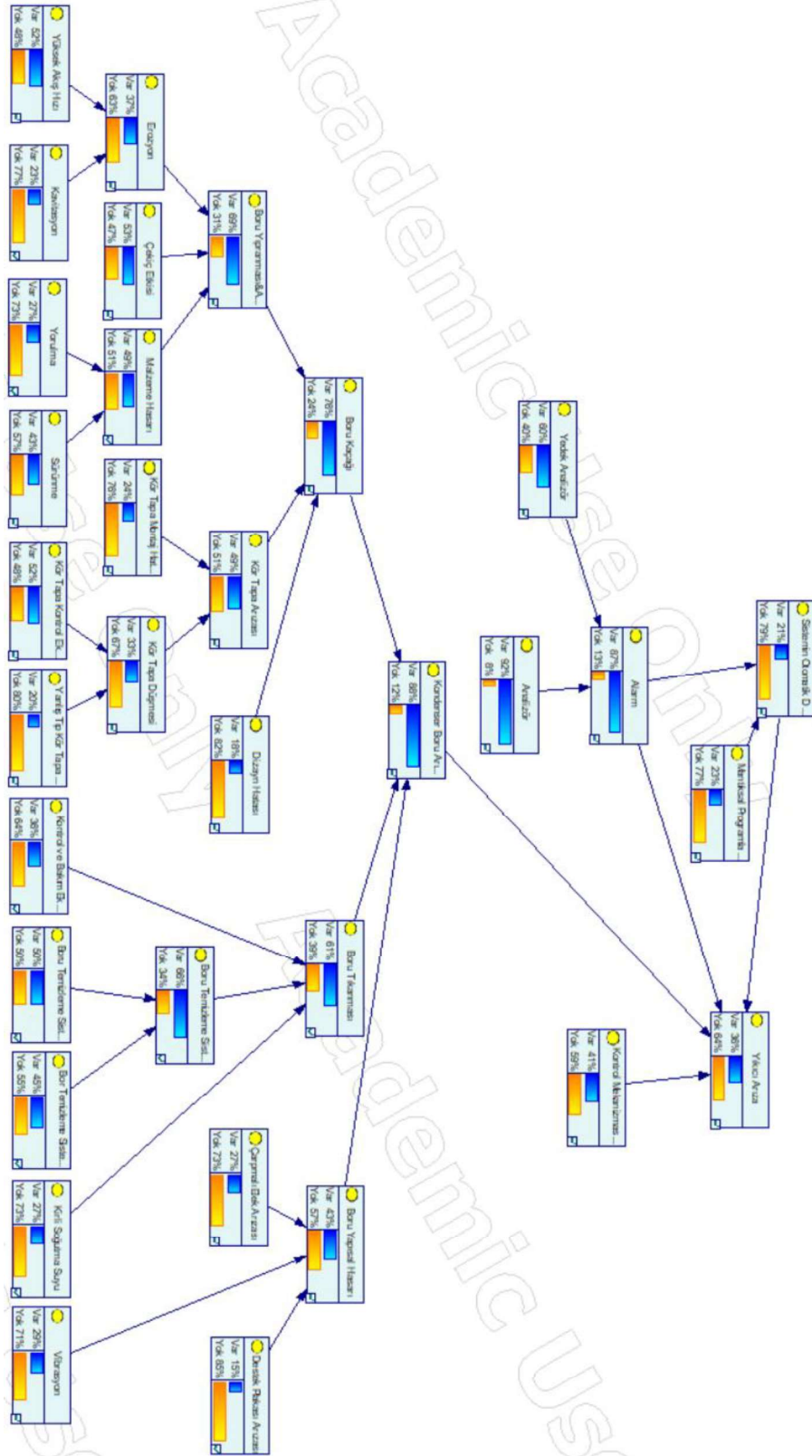
Tablo 2-Örnek Uzman Değerlendirme Tablosu

			Yüksek Akış Hızı	
			Var	Yok
		H1	H	
			Kavitasyon	
			Var	Yok
		H2	L	
			Erozyon	
	Yüksek Akış Hızı	Kavitasyon	Var	Yok
	+	-	H3	M
	+	+	H4	VH
	-	+	H5	H
	-	-	H6	VL
			Çekiç Etkisi	
			Var	Yok
		H7	H	
			Yorulma	
			Var	Yok
		H8	L	
			Sürünme	
			Var	Yok
		H9	L	
			Malzeme hasarı	
	Yorulma	Sürünme	Var	Yok
	+	-	H10	H
	+	+	H11	VH
	-	+	H12	H
	-	-	H13	VL
			Kör Tapa Kontrol Eksikliği	
			Var	Yok
		H14	M	
			Yanlış Tip Kör Tapa Seçimi	
			Var	Yok
		H15	L	
			Kör Tapa Düşmesi	
	Kör Tapa Kontrol Eksikliği	Yanlış Tip Kör Tapa Seçimi	Var	Yok
	+	-	H16	L
	+	+	H17	VH
	-	+	H18	H
	-	-	H19	VL
			Kör Tapa Montaj Hatası	
			Var	Yok
		H20	L	
			Kontrol/Bakım Eksikliği	
			Var	Yok
		H21	M	
			Boru Temizleme Sistemi Mekanik Arızası	
			Var	Yok
		H22	M	
			Boru Temizleme Sistemi Elektrik Arızası	
			Var	Yok
		H23	M	
			Kirli Soğutma Suyu	
			Var	Yok
		H24	M	
			Vibrasyon	
			Var	Yok
		H25	L	
			Boru Yıpranması&Aşınması	
Erozyon (Var/Yok)	Çekiç Etkisi (Var/Yok)	Malzeme hasarı (Var/Yok)	Var	Yok
+	+	+	H26	VH
+	+	-	H27	MH
+	-	+	H28	VH
+	-	-	H29	M
-	+	+	H30	VH
-	+	-	H31	M
-	-	+	H32	VH
-	-	-	H33	VL

Tablo 3-Uzman Değerlendirme Sonuçları

Kondenser Boru Arızası	Sistemin Otomatik Durması	Alarm	Kontrol Mekanizması Hatası (Operatör)		YIKICI ARIZA	
					Var	Yok
+	+	+	+	H89	0,061341285	0,938658715
+	+	+	-	H90	0,04	0,96
+	+	-	+	H91	0,948056192	0,051943808
+	+	-	-	H92	0,143785461	0,856214539
+	-	+	+	H93	0,935786374	0,064213626
+	-	+	-	H94	0,071900321	0,928099679
+	-	-	+	H95	0,96	0,04
+	-	-	+	H96	0,899106763	0,100893237
-	+	+	+	H97	0,04	0,96
-	+	+	-	H98	0,04	0,96
-	+	-	+	H99	0,04	0,96
-	+	-	-	H100	0,04	0,96
-	-	+	+	H101	0,04	0,96
-	-	+	-	H102	0,04	0,96
-	-	-	+	H103	0,04	0,96
-	-	-	-	H104	0,04	0,96

EK 2: Kondenser Tüp Arıza Analizi Dosyası_Genie



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Furkan Ertan
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Fakülte	Denizcilik
Bölümü	Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	17.06.2006
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı
Yayımlar	