

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GEMİ BUHAR KAZANLARINDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat BAKAL**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**ŞUBAT 2023**

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GEMİ BUHAR KAZANLARINDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat BAKAL  
(200022010)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

**ŞUBAT 2023**



T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Formu**

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı (200022010) numaralı öğrencisi Murat BAKAL'ın "Gemi Buhar Kazanlarında Isı Transferinin İncelenmesi" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 07.02.2023 tarihinde oluşturulan jüri tarafından *Oy Birliği* ile *Yüksek Lisans* tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

**Tez Savunma Tarihi:** 07/02/2023

**1) Tez Danışmanı:** Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

**2) Jüri Üyesi:** Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL

**3) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Hasan Bora USLUER

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Gemi Buhar Kazanlarında Isı Transferinin İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya 'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (07/02/2023).

Murat BAKAL





*Babama,*

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, gemilerde kullanılan buhar kazanlarındaki ısı transferi ve transfer sırasında verimi azaltan, ısı transferini olumsuz etkileyen faktörler incelenmiştir. Ayrıca ısı transferi sırasında oluşan ısı kayıpları yüzünden oluşan ek maliyetler irdelenmiştir.

Tez çalışma konumu belirlerken, benim de arzu ve taleplerimi dikkate alan, değerli zamanlarını benimle paylaşan, bana yardımcı olan, gerekli konularda beni yönlendiren saygıdeğer tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bülent İmamoğlu'na saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması için uygulama alanı olarak seçtiğim ve halen Teknik Müdür olarak çalışmakta olduğum Kopuzlar firmasının yöneticilerine, sahadaki yardımları için MV Selamet Gemi Baş Mühendisi Mustafa Kenan Sağkol'a, şirket Baş Mühendisleri İbrahim Efil ve Faruk Ocak'a yardımları için çok teşekkür ederim. Ayrıca kaynak taramak için yardım talep ettiğim bu güç ve stresli tez yazım aşamasında her an bana destek olan değerli ablam Şükran Bakal'a, eğitim ve kariyerim süresince bana her türlü konuda yardımcı olan değerli aile bireylerime de teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2023

Murat BAKAL

---

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	2
<b>2. BUHAR .....</b>	<b>4</b>
2.1 Buharın Tanımı ve Tarihsel Serüveni .....	4
2.2 Buharla İlgili Temel Kavramlar .....	7
2.3 Buharın Kullanım Alanları .....	9
2.4 Buharın Tercih Edilme Sebepleri .....	10
<b>3. BUHAR KAZANLARI.....</b>	<b>13</b>
3.1 Buhar Kazanları ile ilgili Temel Kavramlar ve Açıklamaları .....	13
3.2 Buhar Kazanı Tanımı ve Kazanlarla İlgili Standartlar .....	16
3.2.1 Buhar tesisatı .....	17
3.2.2 Buhar kazanlarının çalışma prensibi nasıldır?.....	18
3.2.3 Buhar kazanı kullanım alanları nelerdir?.....	19
3.3 Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması.....	19
3.3.1 Su borulu ana kazanlar (Water Tube Boilers) .....	21
3.3.1.1 Su borulu kazanların üstün tarafları:.....	22
3.3.1.2 Su borulu kazanların sakıncalı tarafları: .....	22
3.3.2 Alev-duman borulu ana kazanlar.....	23
3.3.2.1 Alev-duman borulu kazanların üstün tarafları .....	23
3.3.2.2 Alev-duman borulu kazanların sakıncalı tarafları .....	24
3.4 Reynolds Sayısı ve Borularda Akış Tipleri .....	25
<b>4. ISI TRANSFERİ .....</b>	<b>27</b>
4.1 Isı Transferi ile ilgili Temel Kavramlar .....	27
4.2 Isı Transferi Nedir? .....	29
4.3 Isı Transferi Çeşitleri.....	29
4.3.1 Isı İletimi (Kondüksiyon) .....	30
4.3.2 Isı Taşınımı (konveksiyon) .....	34
4.3.3 Isı Işınımı (Radyasyon) .....	37
4.4 Isı Transferinin Mühendislikte Kullanım Alanları.....	40
4.5 Isı Enerji Transferinde Kullanılan Akışkanlar: .....	41
<b>5. BUHAR KAZANLARINDA ISI TRANSFERİ.....</b>	<b>43</b>
5.1 Buhar Kazanlarında Verim Hesabı ve Verimi Etkileyen Faktörler .....	43

5.1.1 Eksik yanma nedeniyle olan ısı kaybı .....	47
5.1.2 Baca gazı içindeki su buharına bağlı gizli ısı kaybı .....	47
5.1.3 Fazla hava nedeniyle olan ısı kaybı .....	47
5.1.4 Baca gazı sıcaklığı ile olan ısı kaybı .....	48
5.1.5 Yakıt cinsi.....	49
5.1.6 Kazan besisi suyu nedeniyle olan ısı kaybı .....	49
5.1.6.1 Kazan besisi suyunun özelliğini belirleyen tanımlar.....	50
5.1.7 Yanma havası sıcaklığına bağlı olan ısı kaybı .....	52
5.1.8 Kazan yüzeyinden, borulardan olan ısı kaybı ve ısı yalıtım malzemeleri .	53
5.1.9 Buhar kazanlarındaki birikintinin ısı transferine ve verime etkisi: .....	55
5.2 Buhar Kazanlarında Depozitin (birikinti, kışır) Isı Transferi ve Verime Etkisi .....	56
5.2.1 Buhar kazanlarında kışır oluşumunun nedenleri .....	59
5.2.2 Yüzeylerde biriken kışırın enerji maliyeti ve yakıt sarfiyatına olan etkisi	61
5.2.3 Buhar kazanlarında birikinti (kışır) çeşitleri.....	62
5.2.4 Buhar kazanlarında birikinti (kışır) oluşumunun önlenmesi: .....	66
<b>6. UYGULAMA.....</b>	<b>70</b>
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı .....	70
6.1.1 Egzoz tarafı hava ile temizleme ve yıkama işlemleri .....	72
6.1.2 Kazan besisi suyunun ıslah çalışması.....	74
6.1.3 Oksijen korozyonunun önlenmesi .....	75
6.1.4 Vecom hidralize (Oksijen Tutucu) .....	76
6.1.5 Hotwell sıcaklık kontrolü .....	77
6.1.6 Wecom Alkalilik Test Prosedürleri .....	78
6.1.7 Klorür Test Prosedürleri .....	79
6.1.8 İlgili Personel Eğitimi.....	80
6.2 Uygulama Sonuçları ve Öneriler.....	81
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>84</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>91</b>

## KISALTMALAR

<b>ABMA</b>	: Amerikan Kazan Üreticileri Birliği (American Boiler Manufacturers Association)
<b>ASME</b>	: Amerika Makine Mühendisleri Birliği (American Society of Mechanical Engineers)
<b>EN</b>	: (Europeane Norm), Avrupa Standartlarının kısaltılmış şeklidir. EN Avrupa Birliği'nde Standartlar arasında uyumu sağlamak için oluşturulmuştur.
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standart Organizasyonu (International Organization for Standardization)
<b>İSGÜM</b>	: İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü
<b>İSGGM</b>	: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
<b>SI</b>	: Uluslararası Bilimler Sistemi
<b>TMMOB</b>	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
<b>TS</b>	: Türk Standardı
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>ISM</b>	: Uluslararası Güvenli Yönetim Kodu (International Safety Management)
<b>Mpa</b>	: Mega pascal (basınç birimi)
<b>Td</b>	: Doyma sıcaklığı
<b>Pd</b>	: Doyma basıncı
<b>K</b>	: Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
<b>B</b>	: Isı iletimi sıcaklık katsayısı (1/K)
<b>M</b>	: Metre (uzunluk birim ölçüsü)
<b>Atm</b>	: Atmosfer
<b>kPa</b>	: Kilo pascal (Metrik sistemde basınç birimi)
<b>psi</b>	: İngiliz sistemde basınç birimi
<b>L</b>	: Levha kalınlığı (mm)
<b>T<sub>1</sub></b>	: Levhanın yüzey sıcaklığı (°C)
<b>T<sub>2</sub></b>	: Levhanın yüzey sıcaklığı (°C)
<b>A</b>	: Levhanın yüzey alanını
<b>τ</b>	: Kayma gerilmesi
<b>μ</b>	: Akışkanın niteliğine bağlı dinamik viskozite değeri
<b>dA</b>	: Diferansiyel alan değeri
<b>dF</b>	: Diferansiyel kayma kuvveti
<b>y</b>	: Et kalınlığından olan mesafe
<b>μ</b>	: Newton tipi akışkanlar için kullanılan dinamik (Ns/m <sup>2</sup> veya kg/ms)
<b>p</b>	: Yoğunluk değeri
<b>v</b>	: Kinematik viskozite (m <sup>2</sup> /s)
<b>μ</b>	: Dinamik viskozite
<b>h</b>	: Isı taşıma katsayısı (W/m <sup>2</sup> C)
<b>A<sub>s</sub></b>	: Taşınımın olduğu yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
<b>T<sub>∞</sub></b>	: Yüzeyden gereği kadar uzaklıkta akışkan madde sıcaklığıdır (°C)

<b>T<sub>s</sub></b>	: yüzey sıcaklığı ve (°C)
<b>σ</b>	: Stefan-Boltzmann sabiti (SI birim sisteminde 5,6704.10 <sup>-8</sup> Watt/M <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
<b>E<sub>b</sub></b>	: Siyah cisim için yayma gücü
<b>T<sub>s</sub></b>	: Mutlak sıcaklık değeri
<b>Q</b>	: Isıl ışımayla yayılımı gerçekleşen ısı akımı, W (kcal /h)
<b>T</b>	: Cismin mutlak sıcaklık değeri (K)
<b>A<sub>s</sub></b>	: Cismin yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
<b>ε</b>	: Nesnenin yüzeyine ve rengine bağlı olarak değişen ısı ışıma katsayısı
<b>n</b>	: Verim
<b>mb</b>	: Ölçülen buhar debisi değeri (kg/h)
<b>ib</b>	: Buhar entalpi değeri (kcal/kg)
<b>ms</b>	: Ölçülen su debisi (kg/h)
<b>B</b>	: Ölçülen yakıt debisi (kg/h)
<b>is</b>	: Besi suyu entalpi değeri (kcal/kg)
<b>Hu</b>	: Yakıtın alt ısı sayısal değeri (kcal /kg)
<b>Re</b>	: Reynolds sayısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1: Bazı maddelerin ısı iletim katsayı değerleri .....	33
Çizelge 4.2: Bazı akışkan maddeler için ısı taşınım katsayıları .....	36
Çizelge 4.3: Bazı malzemeler için yayma katsayıları.....	40
Çizelge 5.1: Çeşitli maddelerin kaynama noktaları ve buharlaşma ısıları.....	45
Çizelge 5.2: Ülkelere göre su sertliğinin sınıflandırılması .....	50
Çizelge 5.3: Birikinti tipine göre termal iletkenlik değerleri.....	59
Çizelge 5.4: Kısır tabakasının kalınlığına göre değişen yakıt kaybı oranları .....	61
Çizelge 5.5: Kazan suyunda müsaade edilen silika değerleri.....	67
Çizelge 6.1: Kazan besi suyu ıslah değerleri .....	78

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Hero Motoru (Aeolipile) MS 1.yüzyıl.....	6
Şekil 2.2: Denis Papin' in sıvı maddeyi, buhara çeviren düdüklü tencereye benzeyen ilk icadı.....	6
Şekil 2.3: Su borulu buhar kazanı – 1867.....	7
Şekil 2.4: Suyun faz değişimleri.....	9
Şekil 3.1: Buhar kazanı genel şeması.....	17
Şekil 3.2: Su borulu kazan.....	22
Şekil 3.3: Alev duman borulu buhar kazanı bölümleri ve çalışma prensibi.....	24
Şekil 3.4: Akış çeşitleri.....	25
Şekil 4.1: Isı iletim yolları.....	30
Şekil 4.2: Katı levhada ısı transferi.....	31
Şekil 4.3: Işın yayan enerjinin bir yüzeydeki olası ışınım davranışları.....	38
Şekil 5.1: Buhar kazan sistemi şeması.....	43
Şekil 5.2: Buhar kazanlarındaki enerji kayıp noktaları.....	44
Şekil 5.3: Baca gazı sıcaklığının verime olan etkisi.....	49
Şekil 5.4: Yalıtımı yapılmayan (çıplak) borudan ısı kaybı [23].....	53
Şekil 5.5: Buhar kazanlarında oluşan kışır tabakası örneği.....	58
Şekil 5.6: Kalsiyum karbonatın ısıyla çözünürlüğünün azalması.....	60
Şekil 5.7: Kışır tabakası kalınlığının yakıt kaybına olan etkisi.....	62
Şekil 5.8: Kalsiyum karbonat birikintisi görünümü.....	63
Şekil 5.9: Kazan suyundaki silikata (SiO <sub>2</sub> ) bağlı olarak oluşan camsı kışır tabakası.....	64
Şekil 5.10: Depozit çeşidinin ısı transferine olan etkileri.....	65
Şekil 5.11: Su içindeki silikat ve diğer iyonları sudan yok eden ters ozmoz makinesi.....	68
Şekil 6.1: MV Selamet Gemisi.....	70
Şekil 6.2: Osaka dikey tip buhar kazanı.....	71
Şekil 6.3: Uygulama alanı buhar kazanı boru tamirat ve kaynak işlemi.....	72
Şekil 6.4: Kazan Boruları üzerinde biriken kurum ve küller.....	73
Şekil 6.5: Egzoz tarafı temizliğinde kullanılan aparat.....	74
Şekil 6.6: Vecom alkalilik test kiti.....	79
Şekil 6.7: Klörür test kiti.....	80
Şekil 6.8: Besi suyu kimyasal dozajlama ünitesi.....	83

## GEMİ BUHAR KAZANLARINDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Ekonomik ve sosyal açıdan, Dünya'daki yaşam şartlarında ve ülkelerin gelişiminde ilerlemeye en çok katkı sağlayan faktörlerden biri de enerjidir. Enerji kaynakları bilindiği gibi sonu olan birer kaynaktır. Bütün Dünya üzerinde enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Ters orantılı olarak da mevcut enerji kaynaklarımızın kapasitesi günden güne daha da azalmaktadır. Bu yüzden insanoğlu çözüm olarak alternatif yani yenilenebilir enerji kaynakları bulma ve enerji tasarrufu konularına ivedilik ile yönelmiştir. Günümüzdeki sanayi işletmelerinin çoğu, kalkınma planlarını, uzun vadeli yatırımlarını enerji üretimi ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamak için ne gibi araştırma ve yatırımlar yapılması gerektiğinin belirlenmesi ile ilgili konularda yapmaktadır. Bu tez çalışmasında da, endüstriyel tesisler ve gemiler için önemli bir yardımcı donanım olan buhar kazanlarında ısı transfer olayları ve kazanlarda oluşan birikintilerin (depozit, kireç taşı, kışır vb.) ısı transferine olan etkisi araştırılmış ve verimliliği artırmak maliyetleri düşürmek için yapılması gerekenler sırayla incelenmiştir.

Öncelikle, su ve buhar kavramı üzerinde durulmuş, buharın teknik özellikleri ve tarihçesi konu edilmiş daha sonra buhar kazanlarının genel özellikleri, çeşitleri ve üzerindeki yardımcı donanımlar tanıtılmış ve kazan verimi hesaplama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Buhar kazanlarındaki ısı transfer olaylarının daha iyi kavranması için termodinamik ve ısı transferi konularına kısa bir giriş yapılmış ısı transferi ile ilgili gerekli temel bilgiler verilmiş, çeşitli ısı transfer yolları anlatılmıştır. Kazanlarda ısı kaybına sebep olan olaylar ve sonuçları belirtildikten sonra bunların giderilmesi için gerekli olan adımlara yer verilmiştir.

Tez projesi uygulama alanı olarak da halen Teknik Müdür olarak görev yaptığım denizcilik firmamda sahada kullandığımız buhar kazanları üzerinde kışırın ısı transferi ve verime olan etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Gerekli ölçümler ve analizler sahada yapılarak kışırın etkileri ortaya koyulmuştur. Kazanlarda gerekli kimyasal depozit temizliği ve su şartlandırmaları yapıldıktan sonra sonuç olarak verim artışı ve yakıt sarfiyatına olan etkileri araştırılmış ve sonuçlar bölümünde raporlanmıştır.

Kışır ve birikintilere bağlı olarak gelişen ısı kayıpları ve sonucunda oluşan ilave maliyetlerin azaltılması, kazan verimliliğinin sürekliliğinin sağlanması için; firma içinde bu konu ile ilgili eğitim planlarının oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu eğitimlerin kazan üretimi yapan firmaların yetkili eğitim birimlerinden alınması, konuyla ilgili bakım talimatları ve planları gözden geçirilip eksik noktaların belirlenip giderilmesi yıllık hedeflere eklenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Buhar; Buhar Kazanı; Isı Transferi; Depozit; Kışır; Birikinti; Enerji Verimliliği*

## INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN SHIP STEAM BOILERS

### ABSTRACT

In economic and social terms, energy is one of the most contributing factors to progress in living conditions in the world and in the development of countries. As it is known, energy resources are sources with an end. The need for energy all over the world is increasing day by day. In an inverse proportion, the capacity of our existing energy resources is decreasing day by day. For this reason, mankind has urgently turned to the issues of finding alternative, renewable energy sources and energy saving as a solution. Most of today's industrial enterprises make their development plans, long-term investments on issues related to energy production and determination of what kind of research and investments should be made in order to ensure more efficient use of energy resources. In this thesis, heat transfer events in steam boilers, which are important auxiliary equipment for industrial facilities and ships, and the effect of deposits (deposit, scale, etc.) formed in the boilers on heat transfer have been investigated and what needs to be done to increase efficiency and reduce costs are examined in turn.

First of all, the concept of water and steam was emphasized, the technical characteristics and history of steam were discussed, then the general characteristics, types and auxiliary equipment of steam boilers were introduced and the calculation methods of boiler efficiency were mentioned. In order to better understand the heat transfer phenomena in steam boilers, a brief introduction to the topics of thermodynamics and heat transfer has been made, the necessary basic information about heat transfer has been given, and various heat transfer methods have been explained. After the events that cause heat loss in the boilers and their results are stated, the necessary steps to eliminate them are given.

As the application area of the thesis project, the effect of fouling on the heat transfer and efficiency on the steam boilers we use in the field in my maritime company, where I still work as the Technical Manager, has been examined in detail. Necessary measurements and analyzes were made in the field and the effects of fouling were revealed. After the necessary chemical deposit cleaning and water conditioning in the boilers, the effects on the increase in efficiency and fuel consumption were investigated and reported in the results section.

**Keywords:** *Steam; Steam Boiler; Heat Transfer; Deposit; Scale; Fouling; Energy Efficiency*

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Bilindiği üzere enerji, sanayileşmenin alt yapısını oluşturan en önemli yapı taşıdır. Ülkemizde de enerjiye olan ihtiyaç, nüfusun artış hızı, sanayideki ve teknolojideki yeni gelişmelere bağlı olarak artış göstermektedir. Mevcut enerji kaynaklarımız artan bu enerji ihtiyacına cevap verememektedir.

Tez çalışmamızın konusunu, halen günümüzde de önemini devam ettiren enerji ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması konusuna paralel olarak, gemi buhar kazanlarında ısı transferini ve ısı transferinde kayıplara neden olan etkenler ele alınmıştır. Ülkemizde üretilen enerjinin büyük çoğunluğu, yaklaşık olarak %33'ü sanayi işletmeleri tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle tesislerde; buhar kazanı ve buhar tesisatındaki kaybolan ısıyı tekrar geri kazanmak çok büyük önem arz etmektedir. Enerji kaynağımız ne olursa olsun enerji verimliliğini sağlayabilmek için sistemdeki enerjinin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Buda sistemi iyi tanımak sisteme giren enerjiyi ve çıkan enerjiyi iyi analiz etmek ve kayıplara neden olan noktaları tespit etmekle mümkündür.

Enerji, Ham petrol, odun, kömür, doğalgaz, talaş gibi yakıtların yakılmasıyla ya da güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilir. Eğer yakıtın yanması ile ortaya çıkan ısının enerjisinden yüksek oranlarda fayda sağlamayı başarırız, yakıt harcamalarımız az, buna bağlı olarak ta yaşadığımız dünyanın atmosferine saldıığımız atık gaz miktarları doğru orantılı olarak azalacaktır. Buradaki nihai hedefimiz, Her kademedeki üretim aşamalarında, harcamaların ve giderlerin aşağıya çekilmesi ve toplam üretim kapasitesinde herhangi bir azalmaya gitmeden daha düşük miktarlarda yakıt sarfiyatı ile dünyamızın ve yaşadığımız çevrenin daha az zarar görmesini sağlamaktır.

Katı sıvı veya gaz yakıtın bünyesinde barındırdığı kimyasal enerjiyi, yanma işlemiyle ısı enerjisine çeviren ve dönüştürülen bu ısı enerjisini de kazan içindeki ısı transfer akışkanına transfer eden makinaları buhar kazanı olarak tanımlıyoruz. Ortaya çıkan

bu ısı enerjisi, ısı transfer akışkanına ne kadar çok aktarılabilirse ve de kullanım sahasına ulaştırılırsa buhar kazanından o kadar çok verim elde edilir.

Doğadaki su enerjii taşıma özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden faydalanılarak tasarlanan makine sistemlerinde, yüksek harcamalarla suya transfer edilen ısı enerjisinin, bulunduğu konumdan farklı bir konuma taşınması sırasında olabilecek en verimli bir şekilde ısı transfer olayının gerçekleşmesi işletmelerin ana hedefidir. Bundan dolayı ısı transferini engelleyecek ya da ısı transferini herhangi bir şekilde azaltacak noktalar ve yahut ısı taşıyıcı sistemlerde ortaya çıkması muhtemel aksaklıklar en düşük seviyelerde tutulmaya çalışılır. Hiç durmadan aralıksız olarak çalışması için tasarlanan bu sistemler, sanayi kuruluşları için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle ısı transfer sistemlerine sahip sanayi kuruluşlarının, ani bir şekilde ve plansız olarak gerçekleşen bir sistem duruşuna gösterebileceği müsamahada yoktur. Sistemin çalışması her yönüyle iyi organize edilmeli ve sürekliliğinin de garanti altına alınması zorunludur. Çalışmamızda bu ısı transferini olumsuz etkileyen noktalar ön plana çıkarılmış ve çözüm noktaları sunulmuştur.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Birçok araştırmacı; kazanlarda ısı transferi ve verimliliği konusunda ilgili çok sayıda çalışma yapmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Çıtlak (2019), “Katı Yakıtlı Bir Kazanda Isı Transferi İyileştirmeleri ve Basınç Farkının Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi” konulu çalışmasında incelemiştir.

Akby (2019), “Akışkan Yataklı Buhar Kazanı Tesisinde Enerji Geri Kazanımına Yönelik Yapılan Uygulamaların Deneysel İncelenmesi” konulu deneysel çalışma yürütmüştür.

Durukafa (2010), buhar enerjisi kullanan endüstriyel bir tesisin, işletme sırasındaki enerji kayıplarını incelemiş, tespit edilen bu kayıpları ortadan kaldırmaya yönelik gerekli çalışmaları yaptıktan sonra tesis verimine olan etkilerini irdelemiştir. Yapılan bu iyileştirme çalışmalarının verimi %20 gibi yüksek bir oranında artırdığını tespit etmiştir.

Deniz (2012), İşletme için gerekli olan enerjii üretmek için, Demir Çelik Fabrikalarında (Kardemir) kurulan tesislerdeki, buhar enerjisi üretme hatlarında bulunan kondens toplardan ortama bırakılan kondens, ısı enerjisinin yeniden

sisteme dâhil edilebilmesi için uygulanabilecek yöntemleri araştırmıştır. Kondense bağlı olarak buhar hattında 410 kW'a yakın enerji ve 183 kW ekserji kaybolduğunu yaptığı çalışmalar sonucunda belgelemiştir. Kondens suyunun buhar kazanına tekrar geri kazandırılarak, ısının tekrar sisteme döndürülmesi oranının daha çok olacağını ve böylece senede 195.316 TL gibi bir geri kazanım elde edileceğini yaptığı çalışmalar ile ortaya koymuştur. 12.800 TL'lik bir yatırım maliyetini ile bu verimin kazanılabileceğini ve maliyetin geri ödeme süresinin de 24 gün gibi çok kısa bir sürede kendini amorti edeceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, düşük maliyetli bir yatırım ile buhar hatlarında enerji kayıplarının önüne geçilebileceğini göstermesi açısından önemli bir çalışmadır.

Vandani vd (2015), yaptığı çalışmada, işletmelerde ısı geri kazanım yöntemlerinin, sistemin genel performansına olan katkısını analiz etmek için, İran'da bulunan, buhar gücüyle çalışan santrali ve bu santralde uygulanmakta olan ısının tekrar geri kazanım sisteminin uyguma sonuçlarını incelemiş ve analizlerini yapmıştır. Vandani incelemelerinin sonucunda, blöf yoluyla gerçekleşen geri kazanım, net olarak elde edilen gücün ortalama olarak %0,72 oranda artarak daha verimli hale geldiğini çalışmaları ile ortaya koymuştur.

İpek (2018), Isı kaybı olan yüzeylerin, ısı yalıtım malzemesi ile iyi bir şekilde kaplanması yoluyla enerji kayıplarını önleme çalışmasında, otomotiv firmasında bulunan buhar sistemli bir kazanda ve aerogel adı verilen farklı bir yalıtım malzemesi ile ceketleme sistemi gerçekleştirerek kazana ait buhar tesisatında, yapılan tasarruf oransal olarak incelemiştir. Gerçekleştirilen bu yeni uygulama ile kazan ve tesisata ait yüzey sıcaklıklarında %76 oranında bir azalmanın olduğu analizler ve ölçümler ile de ortaya koyulmuştur. Böylece bu yüzeylerden kaynaklanan ısı kaybı sisteme dâhil edilerek yakıt olarak kullanılan doğalgazdan 6,55 m<sup>3</sup> /h tasarruf yapıldığı sonucu elde edilmiştir.

## 2. BUHAR

### 2.1 Buharın Tanımı ve Tarihsel Serüveni

Buhar kazanlarında ısı transferi konusunu işlemeden önce buharın kısaca bir tanımını yapalım. Katı veya sıvı durumdan sublimasyon veya buharlaşma vasıtasıyla buhar meydana gelir. Suyun buharlaşma olayıyla aynı miktarlarda katı parçacıkların veya sıvının gaz durumuna haline geldiği takibinde gaz fazından tekrar eski haline döndüğü dinamik denge durumu oluşur.

Tarih öncesi devirlerde ateşin bulunması ve günlük yaşantıda kullanılmasıyla eş zamanlı olarak su buharı da bilinmeye başlanmıştır. Yanan bir ateşin su ile söndürülmesi sonucunda, ya da yemek pişirme esnasında buhar doğal olarak oluşmuş ve böylece ilk olarak insanoğlu tarafından fark edilmişti. Teknik yönden su buharının gerçek gücünden faydalanılma fikri ise Arşimet'in buhar topunu tasarlamasına kadar gitmektedir.

Bilim insanları yüzyıllardır buharın taşıdığı potansiyel gücün farkında olmalarına rağmen, buhar gücünden gerçek anlamıyla yararlanmak ancak 17. yüzyılda mümkün olabilmıştır. MS 1. yüzyıl gibi çok erken bir zamanda bile Yunanlı bir bilim insanı olan İskenderiyeli Hero, insanlarda hayranlık uyandıran aeolipile adında, su buharının gerçek potansiyelini gösteren bir cihaz icat etmeyi başarmıştı. Bu cihazın çalışma şekli ise iki eğik ağızlığı olan bir küredeki suyun ısıtılmasıyla buharın bu ağızlıklardan dışarı çıkması şeklindeydi. Buhar bu iki eğik ağızlıklardan salındığında küre kendi eksenini etrafında dönüyordu. Tarihin o döneminde günlük hayatta kendine faydalı bir kullanım alanı bulamamasına rağmen aeolipile cihazının önemi buhar gücüyle yapılan deneylerin ilk ortaya çıkışını tetiklemiş olmasından gelmektedir. Şekil 2.1'de Aeolipile cihazı görülmektedir.

17. yüzyılda ilk buhar kazanının bulunmasıyla bu alanda daha büyük gelişmelere imza atıldı. 1679 yılında Fransız bilim insanı Denis Papin, sıvıyı buhara çeviren ve günümüzdeki düdüklü tencereye benzeyen cihazı tasarlamıştır. Bu ilk icat aslında gerçek anlamda düdüklü bir tencereden daha fazlası değildi. Fakat buna rağmen bu

dönüm noktasından sonra bir dizi yeni buluş sürekli birbirini izledi. Şekil 2.2’de Fransız bilim insanı Denis Papin’ in sıvıyı buhara çeviren, günümüzdeki düdüklü tencere mantığına benzer bir şekilde çalışan cihazı görülmektedir. Buharlı makinelerin sistematığı Rönesans döneminde yaşamış olan İtalyan polimat (hezarfen) Leonardo da Vinci’nin tasarımlarına kadar ulaşmaktadır. Bu konu üzerine hesaplamalar yapıp daha bilimsel olarak çalışan ilk kişi Leonardo da Vinci olarak bilinir.

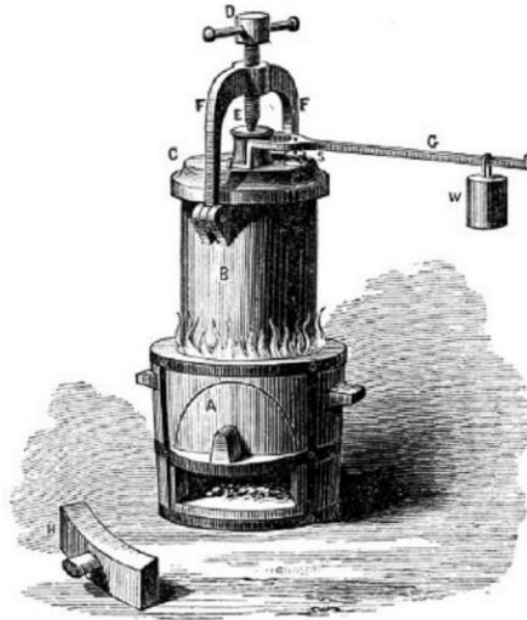
Avrupa’da 18. ve 19. yüzyıllarda Sanayi Devrimini (Endüstri Devrimi) başlatan en önemli gelişme, Thomas Newcomen ve Thomas Savery tarafından 1705 yılında icat edilen ilk buhar makinesinin, 1763-1767 yılında James Watt tarafından İskoçya’da büyük oranda geliştirilerek sanayide kullanılacak duruma geliştirilmesiyle olmuştur.

1807’de Robert Fulton adındaki İngiliz mühendis buharlı makineyi gemilere adapte ederek uyguladı ve ilk buharlı savaş gemisini yaptı. Okyanusları aşan ilk buharlı gemi yolculukları ise 1840 yılında düzenli olarak uygulanmaya başlandı. Buhar gücünden faydalanılarak yapılan makinelerin daha geliştirilmiş halleri, makineleşmiş endüstri diye bir kavramının doğmasına sebep olmuştur. Bu durumda gerçek anlamda makine çağına girişi sağlamıştır. Bütün bu olaylar doğrudan Avrupa’daki sermaye birikimini de artmasına sebep olmuştur. Endüstri Devrimi; başta Birleşik Krallık, Manchester’da ortaya çıkmış, bunu takiben Kuzey Amerika, Japonya’ya Batı Avrupa gibi yerlere yayılmış ve sonunda da bütün dünyaya ulaşmıştır. Sosyal, ekonomik, siyasal etkilerini katlanarak göstermeye başlamıştır.

Bu önemli mekanizma, Endüstri Devriminden buyana birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Endüstri Devrimi’nin başlamasında önemli bir rol oynamış olan buhar gücü, halen birçok kullanım alanı ile önemini korumaya devam etmektedir. Isıtma, elektrik üretimi, gıda, inşaat gibi birçok sektörde buharın gücünden yararlanılmaktadır. Buhardan yararlanan sanayi sektörlerinde buhar gücünün üretilmesi enerjinin en çok harcandığı süreçleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerjinin randımanlı kullanılması için gerekli çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmiştir.



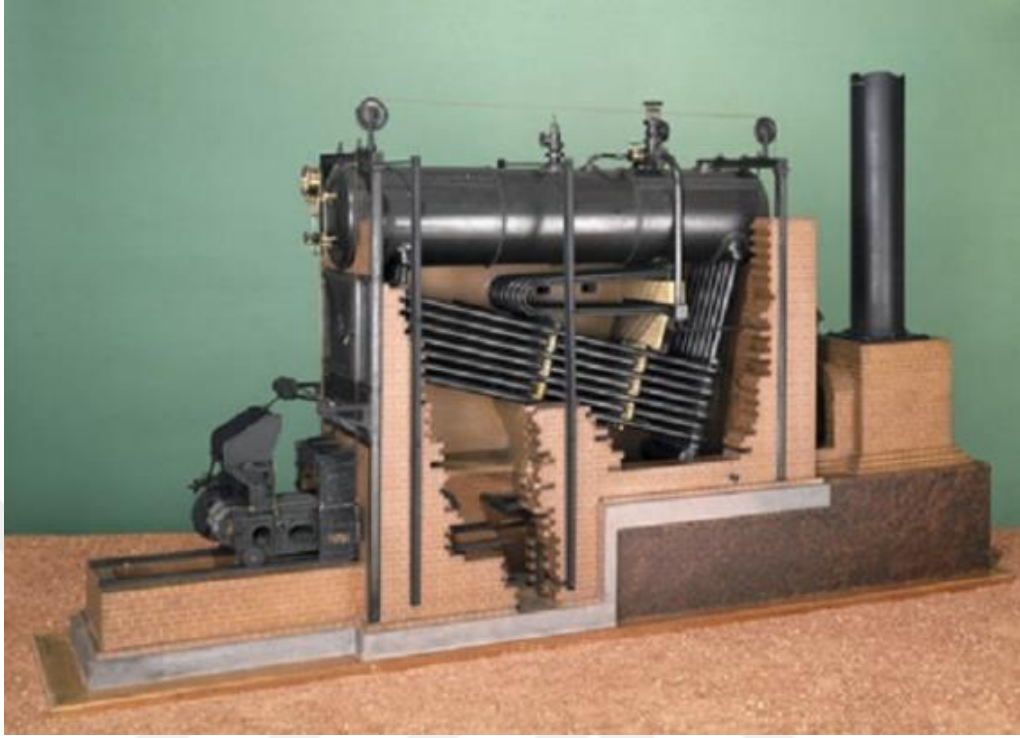
Şekil 2.1: Hero Motoru (Aeolipile) MS 1.yüzyıl



Şekil 2.2: Denis Papin' in sıvı maddeyi, buhara çeviren düdüklü tencereye benzeyen ilk icadı

Çalışma sistemi; suyun borularda dolaşarak buhar gücü elde edilme ilkesine dayanan su borulu kazanı, Stephen Wilcox ile George Babcock Amerika'da keşfederek buhar

vasıtası ile çalışan bu makineyi 1882'de elektrik üretimi amacıyla kullanmışlardır. Şekil:2.3' de bu makinenin görselini görmekteyiz.



Şekil 2.3: Su borulu buhar kazanı – 1867

## 2.2 Buharla İlgili Temel Kavramlar

Bu bölümdeki temel kavramlar ve prensipler Dünya'mızın 3/4 ünü kaplamakta olan su örneğinden açıklanacaktır. Bununla birlikte doğada saf olarak bulunan tüm maddelerin genellikle aynı özellikleri sergilemeye meyilli olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır.

**Saf madde:** Hiçbir yapıtaşında farklılık göstermeyen maddeler olarak tanımlanır. Örneğin hava bir karışımdır. Değişik gazların belirli oranlarda bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Hava, yapısının hiçbir noktasında farklılık göstermediği için de aynı zamanda saf madde olarak adlandırılır. Sıvı ile buharın bir araya gelmesi ile oluşan sıvı-buhar karışımı da saf bir maddedir, fakat su ve havanın bir araya gelmesi ile oluşan karışım ise saf bir madde oluşturmaz.

**Faz değişimi:** Katı haldeki maddelerin değişik etkenler ile sıvı veya gaz haline dönüşmesi olayına "faz değişimi" denir. Faz değişimi olayının meydana geldiği sıcaklık derecesi, basınç değerine göre değişme gösterir. Maddenin hallerinin meydana gelmesi sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişim gösteren bir olaydır.

Aşağıda Şekil 2.4'te suyun sıcaklık ve basınç değerlerine göre faz değişimleri görülmektedir.

**Doyma sıcaklığı:** Suyun kaynamaya başladığı sıcaklık basınca bağlıdır. Sabit basınç altında; suyu ısıttığımız zaman, sıcaklığı yükselmeye kaynamaya kadar devam ettiğini gözlemleyebiliriz. Buharlaşma fazındaki suyun sıcaklığı, buharlaşma olayı devam ettiği süre boyunca aynıdır. Basıncın her değerine karşılık gelen bir kaynama sıcaklığı vardır. Etki eden basınçta suyun buharlaşmaya başladığı sıcaklık anı doyma sıcaklığı ( $T_d$ ) olarak adlandırılır. Su  $100^\circ\text{C}$  sıcaklıkta buharlaşmaya (kaynamaya) başlar şeklinde ifade edilir. Bu gerçekte doğru bir ifade değildir. Atmosfer basıncı altında, açık bir kaptaki suya ısı verildiğinde, sıcaklık değeri önce  $100^\circ\text{C}$ 'ye çıkar. Tamamı buhar haline dönüşüncüye kadar sıcaklık değişmeyerek sabit kalır. Oluşan su buharının basınç değeri 1 atmosfer basıncıdır ( $14.7\text{ psi}$ ). Doğru ifade; su 1 atm basınçta,  $100^\circ\text{C}$ 'de kaynar şeklinde olmalıdır. Her bir 1000 m yükseklik artışı için doyma sıcaklığı yaklaşık olarak  $3^\circ\text{C}$  düşmektedir. Bunu bir örnekle anlatmak gerekirse, 850 m rakımlı Gaziantep ilimizde atmosfer basıncı yaklaşık olarak 98 kPa değerindedir ve doyma sıcaklığı da aşağı yukarı  $98^\circ\text{C}$  civarındadır. Buna göre ifade etmek gerekirse Gaziantep ilimizde suyun kaynama derecesi  $98^\circ\text{C}$ 'dir.

**Doyma basıncı:** Belirli bir sıcaklıkta suyun buharlaşmaya (kaynamaya) başladığı basınç ise doyma basıncı ( $P_d$ ) olarak tanımlanır. Doyma sıcaklığı, doyma basıncıyla doğru orantılı olarak artar. Bunun sonucunda daha yüksek basınç altındaki bir madde daha yüksek bir sıcaklıkta buharlaşmaya başlayacaktır. Günlük hayatta mutfaklarımızda da yüksek kaynama sıcaklıkları ile enerji tasarrufu ve daha kısa pişirme süreleri elde etmek mümkündür. Bu olaya düdüklü tencereyi örnek olarak verebiliriz. Düdüklü tencerede pişirme olayı gerçekleştirirken basınç değeri artacağından pişirme süresi buna bağlı olarak kısalmaktadır. Atmosfer basıncı deniz seviyesinden yükseğe çıktıkça giderek azalır. Basınç azaldığı zaman buna bağlı olarak doyma sıcaklığı da giderek azalır. Yemek pişirmede eğer düdüklü tencere kullanılmıyorsa bu durumda pişirme süresi daha uzun sürede olacaktır.

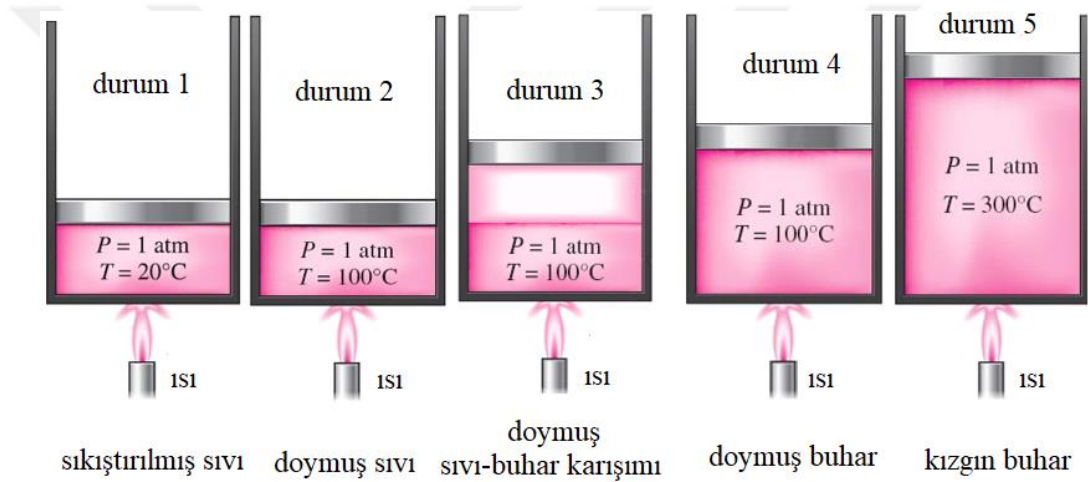
**Sıkıştırılmış sıvı:** Suyun sıcaklığı istenilen bir basınç değerinde, doyma sıcaklığının daha aşağısındaysa bu sıvılara denir. Bu terim suyun henüz buharlaşma aşamasına gelmediğini belirtir.

**Doymuş sıvı:** İçinde buhar zerresi olmamasıyla birlikte; sahip olduğu basınçta, sahip olduğu basınca karşılık gelen doyma sıcaklığına sahip olan sıvıdır. Bu sıcaklıkta su buharlaşmaya yeni başlamıştır ve bu noktada faz değişimi başlamaktadır.

**Doymuş buhar:** Suyun bütününe buhar fazında olduğu, istenilen basınçta o basınç değerine denk olan durumunu ifade eder. Bu fazda buharın yoğunlaşma sınırında olduğu gözlemlenir.

**Kızgın buhar:** Buhar; verilen bir basınçta, sıcaklığı eğer o basınç değerindeki doyma sıcaklığından daha büyükse kızgın buhar olarak adlandırılır [1].

**Gizli Isı:** Birim miktardaki suyu buhara dönüştürmek için ihtiyacımız olan ısı miktarıdır.



**Şekil 2.4:** Suyun faz değişimleri

### 2.3 Buharın Kullanım Alanları

Buhar uzun yıllardan beri insanoğlunun hizmetindeki en büyük güçlerden biridir. Buharın hem ısı enerjisinden hem de potansiyel enerjisinden değişik şekillerde faydalanılır. Kurutma, pişirme ve ısıtma, gibi işlemler için ısı enerjisi kullanılır. Buhar makinesi, buhar türbini gibi güç gerektiren makinalarda ise buharın potansiyel enerjisini mekanik enerjiye dönüşüm sağlanarak yararlanır.

- Buhar türbinleri gibi termik santrallerinde elektrik enerjisi elde etmek için,
- Kalorifer tesisatları gibi buhar gerektiren ısıtma sistemleri,
- Kimyasal süreçlerde,
- Gıda sektöründe pişirme/fırınlama süreçlerinde,
- İnşaat sektöründe,

- Endüstriyel çamaşırhane ve kuru temizleme tesislerinde,
- Endüstriyel yıkama ve boyama tesislerinde,
- Gübre endüstrisinde,
- Sağlık hizmetleri, ambalajlama ve gıda imalat sektörlerinde sterilizasyonun sağlanması amacıyla,
- Eskiden daha çok olmakla birlikte ulaşım sektöründe,
- Kâğıt üretim endüstrisinde,
- Ahşap işletmesi ve ahşap şekillendirilmesi gibi faaliyetlerde,
- Havalandırma sistemlerinin şartlandırılmasının sağlanmasında,
- Petrokimya tesislerinde,
- Rafinerilerde,
- Kauçuk ürünlerinde ve imalatında,
- Sterilizasyon amacı ile ilaç endüstrisinde [1].

#### **2.4 Buharın Tercih Edilme Sebepleri**

Endüstride buhar kullanımını tarih boyunca birçok noktada yaygındır. Tercih edilme sebeplerini başlıca şu şekilde sıralayabiliriz:

- İyi bir ısı taşıyıcısı olan buhar ile ısı transferi sırasında kayıplar düşük seviyelerdedir. Termodinamik özellikleri iyidir. Bu sistemlerde daha küçük çaptaki borularla ısı iletiminin gerçekleştirilmesinden dolayı, farklı bir akışkan kullanılan sistemlere kıyasla kaybolan ısı miktarı azdır.
- Buhar sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamak için gelişmiş ısı geri kazanım sistemleri kullanılır. Bu ısı geri kazanım sistemleri sayesinde flaş buharı ve kazan blöfü atmosfere atılmayarak buhar hattındaki kazan besleme tankına bağlanır. Böylelikle besi suyunun sıcaklığı artırılır. Ayrıca geri kazanılan flaş buhar düşük sıcaklıktaki ve düşük basınçlı ısıtma ihtiyaçları için kullanılır. Bu kazanımlar sayesinde buhar hattının verimliliği üst seviyelere ulaşır.
- Buharlı sistemlerde, aynı miktarlardaki ısı miktarını elde etmek için ısı transfer yağı ve sıcak su ve sistemlerinden daha küçük çaplı borulara ihtiyaç duyulur. Böylelikle daha az ilk yatırım maliyeti gereklidir. Montaj giderleri de böylelikle daha ucuz olur. Isı transferi sırasında ısı kayıplarına engel olmak için daha az yalıtım malzemesine ihtiyaç duyulur. Sıcak su ve ısı

transfer yağı sistemlerinde kullanılan devir daim pompalarına buhar sistemlerinde gerek yoktur. Buda ilk yatırım malzemelerini daha da azaltır. Akışkanın taşınması kendi basıncıyla gerçekleşir.

- Buhar; alev almaz ve yanmaz özellikleri sayesinde yanıcı ve patlayıcı çalışma ortamları için çok emniyetlidir. Bu yüzden bu ortamlarda tercih sebebidir. Buhar hatlarındaki sızdırmazlık; etkili, kaliteli ve standartlara uygun ürünler ile sağlanarak değişik ortamlarda emniyetle kullanılabilir.
- Buhar, steril, hijyenik ve saf bir akışkandır. Bu özelliklerinden dolayı özellikle gıda sanayinde çok tercih edilen dezenfeksiyon elemanıdır. Pişirme ve sterilizasyon süreçlerinde direkt olarak püskürtülerek kullanılabilir. Buharsız bir gıda endüstrisi düşünülemez.
- Buhar çevre dostu olan temiz bir enerji kaynağıdır. Çevre koruma ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağladığı için en önemli enerji kaynaklarından sayılır. Buharın yapısı sadece temiz ve saf su olduğundan daha iyi bir çevre dostu enerji kaynağı düşünmek mümkün değildir.
- Tanımlanabilen ve aynı zamanda da bilinen termodinamik özelliklere sahiptir. Buharın bu özelliklerini tablolardan veya Mollier diyagramından bulabiliriz. Eğer buharın iki tane özelliği bilinirse buna bağlı olarak diğer özellikleri de hesaplanarak bulunabilir veya diyagram ve tablolardan yararlanılarak elde edilebilir.
- Buharlı sistemlerde sistemin sıcaklık kontrolünü hassas biçimde ayarlamak mümkündür. Bu sıcaklık kontrolü basınç kontrolü sayesinde çok hassas olarak yapılır. Buradaki sabit yoğuşma sıcaklığı buharın basıncına bağlı olarak belirlenir.
- Isı geçiş yüzeylerindeki sıcaklıklar değişmez aynı kalır. Genellikle doymuş buharın yoğuşması fazında, buhardan ısı transferi meydana gelir. Isı transferi yüzeyince buhar tarafının sıcaklığının istikrarlı kalmasının sebebi bu işlemin sabit sıcaklıkta oluşmasından kaynaklanır.
- Buhar tesisattaki korozyon riskini azaltır.

Buharlı sistemlerinin en büyük dezavantajı ise hatta yüksek enerji ve basınç olduğundan dolayı iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri çok sıkı biçimde alınmalı ve

uygulanması sağlanmalıdır. Bahsi geçen dağıtım hatlarında kondens birikimine izin verilmemelidir. Bunu sağlamak için hat tesisat ve borularına gerekli miktarda eğim verilmelidir. Kondens hattının kurulum ve çalıştırılması güç ve masraflıdır.



### 3. BUHAR KAZANLARI

#### 3.1 Buhar Kazanları ile ilgili Temel Kavramlar ve Açıklamaları

**Brülör:** Kazanlarda kullanılan yakıtlardaki enerjiden ısı enerjisi olarak yararlanılmasını sağlamak için tasarlanan, ısı ihtiyacına göre gerekli oranlarda yakıt-hava karışımının kontrollü bir şekilde yanmasını sağlayan cihazlardır. Tanktan brülöre gelen yakıt, burada gerekli oranlarda hava ile birleşip, yanma olayı kazan içinde yanma odasında başlar. Böylece yakıttaki ısı enerjisi ısı transferi yoluyla kazan içindeki suya iletilmesiyle suyun ısınması gerçekleşmiş olur. Su hacimleri büyük olan kazan tiplerinde yakıt olarak sıvı veya gaz yakıt olarak tercih edilir [1].

**Yanma odası (hücresi):** Buhar kazanlarında; katı, sıvı ve gaz yakıtın yakıldığı, yanma olayının gerçekleştiği, kazanın kapalı bölümüne verilen addır.

**Baca:** Atık duman gazlarının kazandan uzaklaştırılması için tasarlanan kısımdır.

**Baca gazı, emisyon gazları:** Emisyon kelime anlamı olarak salınım manasına gelir. Bu yüzden yanma olayı sonrası açığa çıkan ve atmosfere salınan baca gazlarını tanımlamak amacı ile de kullanılmaktadır. Aynı amaçla baca gazı da atmosfere çıkan gazlar için kullanılan bir terimdir. Baca gazları bünyesinde; su buharı, azot, karbon monoksit, karbondioksit, sülfür oksit ve kükürt gibi yanma olayının çıktısı olarak yakıtın içeriğine bağlı olarak çeşitli zararlı maddeleri barındırabilmektedir.

**Rekuperatör:** Isı transfer olayını; havadan havaya olacak şekilde gerçekleştiren, ısının geri kazanılması için tasarlanan sistemlere denir. Daha açık bir ifade ile ifade etmek gerekirse sıcak bir gaz maddenin bünyesindeki ısı enerjisinin daha soğuk bir gaz maddeye ısı transferi yoluyla gerçekleştiren cihazlardır.

**Ekonomizer:** Baca yoluyla çıkan yüksek sıcaklıktaki atık gazların, bünyesinde barındırdığı ısı enerjisinin atmosfere atılmadan, ön ısıtmada kullanılarak kazan besi suyunun ısıtılmasını sağlar. Böylece de belli bir oranda yakıt tasarrufu hedeflenir. Bu yöntemle buhar kazanına yeni ilave edilen su ile kazanda mevcut buharlaşmakta olan su arasındaki sıcaklık farkı küçüldüğünden kazan malzemesinde meydana gelen ısıl gerilmelerin miktarı azalır veya tamamen ortadan kalkar. Bu işlem sayesinde, su

içinde bulunan gaz maddelerin çıkışı kolaylaşır bu da kazanın ısı veriminin daha da artmasını ve maliyetlerin düşmesine olanak sağlar.

**Kondens:** Buhar daha soğuk bir yüzeye karşılaştığında bünyesinde barındırdığı ısının bir kısmını ısı transfer yolu ile yitirir. Meydana gelen bu ısı azalması ile yüzeylerde küçük su damlacıkları meydana gelir. Oluşan bu damlacıklar kondens olarak adlandırılır. Yalıtımı standartlara uygun olarak çok iyi yapılmış bir buhar hattında bile, ısı kaybının önüne yüzde yüz geçmek mümkün değildir. Buda demek oluyor ki buhar hattında az da olsa sürekli bir ısı kaybı mevcuttur. Buna bağlı olarak da kondens damlacıkları az da olsa daima oluşur.

**Kondenstop:** Buhar enerjisinin kullanıldığı hatlarda ve cihazlardaki buhar kullanılmasından dolayı oluşan kondens damlacıklarının buharın içine karışarak ısı transferini azaltmasını engellemek ve olabilecek maksimum ısı transferini gerçekleştirmek için; istenmeyen kondensi buhar hattından uzaklaştırıp, buharı da mümkün olduğunca buhar hattı içinde tutmak gerekir. Ayrıyeten ısı transferine engel olan hava ve diğer gazların da ortamdan uzaklaştırılması şarttır. İşte kondenstop denen bu cihazlar bu amaç için tasarlanmıştır. Gaz, hava ve kondens damlacıkları bu cihazlar sayesinde ortamdan otomatik olarak uzaklaştırılır, aynı zamanda da buharın çalışma ortamında kalmasını sağlarlar.

**Blöf:** Basınç altındaki akışkanın tahliyesine denir.

**Yüzey blöf:** Kazanın çalışması sırasında su -buhar faz dengesi sırasında bu geçiş yüzeyine en yakın bölgeden gerçekleştirilen blöf işlemine verilen isimdir.

**Dip blöf:** Kazanın en dip su kısmından yapılan blöf işlemidir.

**Flaş buhar:** Doymuş buhar; kazanlardaki ısı transfer yüzeylerinden buharlaşma ısısını verme esnasında, aynı basınç değerinde kondense dönüşerek doymuş su entalpisini bu haliyle bünyesinde barındırır. Meydana gelen buhar flaş buhar terimiyle tanımlanır. Bu flaş buhar bünyesinde ciddi miktarda enerji barındırır. Dolayısı ile farklı ısı elde etme alanlarında kullanılabilir. Flaş buharın barındırdığı bu enerji eğer değerlendirilmeden atmosfere salınırsa büyük miktarlarda enerji israfına ve sistemin istenilen verim ile çalışmamasına sebep olur. Herhangi bir şekilde değerlendirildiğinde ise enerji ve sistem verimliğine olan katkıları çok büyük olacaktır ve bu durum da yine yakıt sarfiyatında azalmaya ve maliyetlerin düşmesine olanak sağlayacaktır.

**Flaş buhar tankı:** Kondens suyu ile oluşan flaş buharı birbirinden ayırtırmak için kullanılır.

**Besi Suyu Tankı:** Tesisteki kazanının, süreç boyunca değişik sebeplerle azalan suyunun yerine koyulması için sistemde bulundurulan teçhizattır.

**Su darbesi (koçu):** Buhar hatlarında sık karşılaşılan önemli bir problemdir. Boru hattındaki akışkanın, herhangi bir sebeple (örneğin ani enerji kesilmeleri sonrası pompaların kontrolsüz bir şekilde tekrar çalıştırılması gibi) hızında meydana gelen ani bir değişim veya tamamen durması, tesisatta basınç dalgalanmalarına sebep olur. Akışkanın hızındaki değişim ne kadar fazla ve kısa sürede olursa buna paralel olarak sistemde oluşan basınç farklılığı da orantılı olarak birdenbire ve de çok şiddetli olur. Büyük akış hızına sahip olan bir akışkan maddeyi birdenbire durdurmak, buhar hattında son derece büyük risk taşıyan basınç dalgalanmalarına yol açabilir. Bu olumsuz durum buhar boru hattında iş ve işçi güvenliği açısından belirlenen sınır değerleri aşarak istenmeyen durumlara sebebiyet verebilir. İşte bu yüzden kazan ve tesisat tasarımları ve hesaplamaları yapılırken bunun gibi istem dışı olayları da hesaba katarak standartlarda belirtilen emniyet sınırlarında imal edilmeli ve proje aşamasında bu olayın modellenmesi de yapılmalıdır.

Su darbesinin kazan ve tesisat üzerinde oluşturduğu zararlı etkiler usulüne göre incelenmediğinde, çeşitli olumsuzluklara hatta insan hayatı kayıplarına ve yüksek maddi hasarlara sebebiyet verebilir [2]. Bu olay sırasında tesisatta gürültülü bir ses oluşur. Meydana gelen bu ses boruya tos vuruluyormuş gibi bir sese benzer. Darbenin ismi de buradan esinlenerek verilmiştir.

**Degazör (Kazan besi suyu gaz alma cihazı):** Yüksek basınçlı buharlı sistemlerde, besi suyu tankındaki ergimiş olarak bulunan korozif gazları ayırmaya yarayan cihaza degazör denir. Degazör sistemi 0,2 bar basınç altında çalışır. Kazan buharı ve besi suyunun sıcaklık değeri 102°C 'ye kadar getirilir, yapılan bu ısıtma işlemiyle gerçekleşen oksijen ve karbondioksit gibi gazların ayrışması degazörden bu gazların dışarı atılması ile son bulur.

**Dom (Drum):** Buharlaştırıcı ile ekonomizer borularından gelen suyun toplanarak depolandığı yarısı buhar diğer yarısını da suyun oluşturduğu tanka dom denir.

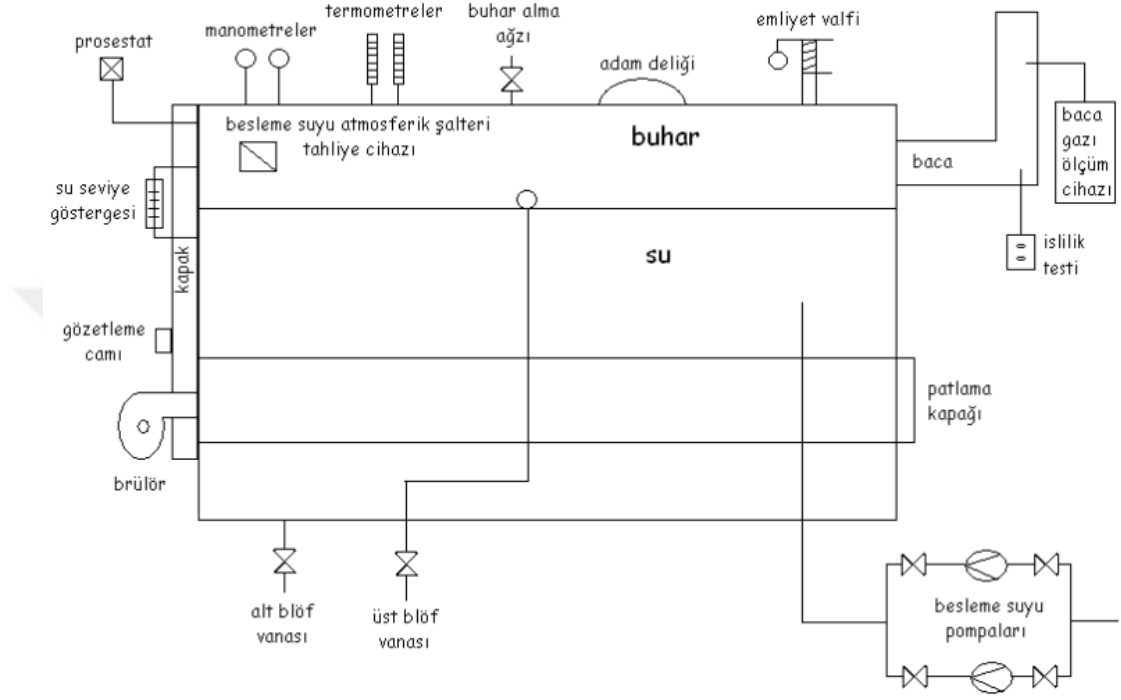
### 3.2 Buhar Kazanı Tanımı ve Kazanlarla İlgili Standartlar

Doğadaki doğalgaz, kömür, petrol vb. gibi fosil kaynaklı yakıtların bilinmeye başlamasıyla bu yakıtların enerjisinden yararlanmak amacıyla yakıttaki enerjiyi ısı enerjisine çeviren teçhizatlar tasarlandı. Fosil yakıtların yanması için belirli oranlarda hava ile karıştırılıp daha sonra yanma odasına gönderilmesi gerekir. Bu karışım sağlandıktan sonra (yakıt – hava) yanması sağlanır. Genel olarak buhar kazanlarını da, yakıttaki kimyasal enerjiyi yanma işlemi yoluyla ısı enerjisine dönüştüren veya nükleer enerji kaynağı, elektrik enerjisi gibi kaynakların yardımıyla kimyasal enerjiyi ısı enerjisine çeviren cihazlar olarak tanımlıyoruz. Kazanlar dönüşen bu yeni ısı enerjisini de taşıyıcı bir akışkana transfer eden aynı zamanda belirli bir çalışma basıncına sahip kapalı kaplardır. Hatta son zamanlarda güneş enerjili buhar kazanları da kullanılmaya başlanmıştır. Buhar kazanları aynı zamanda da birer basınçlı kap olduğu için, basınçlı kaplarla ilgili belirlenen bütün güvenli çalışma talimatları ve standartların sağlanması için alınacak bütün önlemler aşağı yukarı buhar kazanları için de geçerli olacaktır. Bu sebeple buhar kazanları, İSG şartlarını karşılayacak şekilde imal edilmeli, uygun güvenlik ve kontrol cihazları ile donatılmalı ve rutin bakımlarının ise hem standartlara hem de imalatçı firmanın bakım kılavuzlarına göre yapılıp, arızaları giderilmelidir. Kazanı işleten ve bakımlarını yapan personelinde mesleki eğitim almış yetkin kişiler olması güvenlik şartlarının sağlanması için önemlidir. Kazanların imalatındaki ham malzeme tercihinden, imalat işlemine kadar ki bütün aşamaları standartlarla güvence altına alınmıştır. Bu konu ile ilgili en geçerli standart çalışma ASME tarafından yayınlanan “Kazan ve Basınçlı Kap Kuralları-Boiler and Pressure Vessel Code” dir. Çoğunluk ülkeler tarafından kabul edilmiştir. İlave olarak kendisine uygulanma alanı bulan bir diğer çalışma Avrupa’da EN standartlarıdır. Bunlar ülkemizde TS EN olarak yürürlüğe girmekte ve uygulanmaktadır. EK A’de bu konu ile ilgili bazı standartların listesi verilmiştir [3].

İlgili standartlara göre tasarlanan ideal bir kazan aşağıdaki özellikleri içerir [4].

- Yapısının karmaşık olmaması ve kazanın imal edildiği malzemesinin (ısı transfer yüzeylerinin) ısıyı iyi bir şekilde suya geçirmelidir. Kazan tasarımında temel ilke, yanma işlemi ile ortaya çıkan ısı enerjisini mümkün olan en yüksek oranlarda suya transfer edebilmek olmalıdır.
- Gerekli miktarda buhar ve su boşluğunun bulunması gerekir.

- Ocakta gerçekleşen tam yanma ile en fazla şekilde ısı enerjisini elde etmek ve bu enerjinin suya transfer edilmesini sağlamak,
- İş ve işçi güvenliği bakımından gerekli emniyet şartlarını yerine getirmiş olmalıdır. Aşağıda şekil 3.1’de genel bir buhar kazanının şeması verilmiştir.



**Şekil 3.1:** Buhar kazanı genel şeması

**Kaynak:** (Bulut 2011)

### 3.2.1 Buhar tesisatı

Buhar tesisatını; buhar kazanı sistemi, yakıt yanma sistemi, buhar kullanım devresi, besi suyu besleme sistemi, kazan dairesindeki buhar devresi, kondens devresi, ısı verimiyle ilgili cihaz ve devreler gibi sistemlere ayırabiliriz.

Atmosferde hava ile temas halinde bulunan su, ısıveren kaynak ile ısıtıldığında suyun sıcaklık değeri zamanla yükselir. Bu değer belirli bir noktaya ulaştığı zaman buharlaşma olayı başlamış olur. Buharlaşmanın başladığı bu değere “kaynama noktası” veya “buharlaşma noktası” adı verildiğine yukarıda değinmiştik. Buhardan beklenen verim, başka bir deyişle; buharın miktar, kalite ve basınç değeri olarak istenilen şekilde sağlanması ancak ve ancak standartlara göre tasarlanmış, planlanmış ve de uygulanmış buhar sistemleri ile mümkündür. Buharı nihai kullanım noktasına gerekli olan basınçla taşımak, buhar dağıtım sistemlerinin ana hedefidir. Bu hedefin

tutturulabilmesi için buhar tesisatındaki basınç kayıpları takip edilmeli ve gerekli önlemler en kısa sürede devreye sokulmalıdır.

Gerekli hesaplamalar yapılmadan dağıtım hattındaki boru çaplarının küçük tutulması; doğal olarak buhar hattında yüksek basınç kayıplarına sebep olacaktır. Sonuç olarak buharın nihai kullanım yerine olması gerektiğinden daha düşük bir basınçta gelmesi sistem performansının azalmasına, kullanıma girecek buhar miktarının yetersiz kalmasına, sistemdeki aşınma risklerinin artmasına, buhar hızındaki dalgalanmalardan ve artıştan dolayı tesisatta gürültüler olmasına sebep olur. Tam tersi bir durumda da gerekli hesaplamalar yapılmadan dağıtım hattındaki boru çaplarının gereğinden büyük tutulması; boru çapına bağlı olarak vana, fittings vb. tesisat elemanlarının da büyümesinden dolayı tesisat kurulum maliyetlerinin gereksiz yerde artmasına sebep olur. İlâveten boru çaplarının büyümesine bağlı olarak kazan ve boru yalıtım malzemesi miktarları ve maliyetleri de otomatik olarak artar. Gereksiz yere boru dış yüzey alanlarının, çap büyümesine bağlı olarak büyümesinden dolayı ısı kayıplarının daha da artmasına sebep olur. Fazlalaşan bu ısı kayıplarından dolayı buhar hattında ilave kondens meydana gelmesine, bu fazla kondensin tahliye edilmesi için hattaki kondenstop adetlerinin yetersiz kalması sebebiyle artmasına ihtiyaç duyulur. Kondens hattaki kuru buhar derecesinin düşmesine sebep olur. Doymuş buhar hatlarında, buhar içerisinde bulunan su damlacıkları, tesisat borularında aşınmaya sebep olabilir [5].

### **3.2.2 Buhar kazanlarının çalışma prensibi nasıldır?**

Kazan sistemlerinde yakıt yanma odası olarak adlandırılan bölümde yakılır. Kazanın içerisine ise sıvı pompalanır. Yanma işlemi ile meydana çıkan ısı boru yüzeyinden transfer olarak boruların içindeki suyun kaynamasını sağlar. Belirli bir sıcaklık seviyesinin üstüne çıktığı zaman su kaynama noktasına ulaşır ve buhar oluşumu gerçekleşir. Yanma sonucunda ortaya çıkan zararlı atık gazların barındırdığı ısı sisteme kazandırıldıktan sonra, 110-160 °C'de filtre edilerek dışarıya atmosfere atılır. Kazanda üretilen buhar ise kullanım alanlarına yönlendirilir.

Buhar kazan sistemleri verimi yüksek olan ısıtma sistemlerdir. Yakıt olarak çok farklı yakıt tipleri ile çalışan buhar kazanları vardır. Bu kazanlarda suyu istenen sıcaklığa kadar getirmek zor bir işlem değildir. Doğa dostu olarak bilinen bu sistem

ile üretilen buhar ısınma sağlar. Üretilen buharı, borular ve bağlantı elemanları vasıtasıyla diğer kullanıma ihtiyaç duyulan alanlara aktarmak mümkündür.

Kazanların kullanım amaçlarına göre değişik özelliklere sahip yapılarda çok değişik şekillerde tasarım ve üretimi yapılabilir. Kazanlarda kurulum aşamasındaki giderler ve daha sonraki işletme giderleri yüksektir. Bu yatırımdan gerekli verimi elde etmek için, kazanı seçerken ne amaç ile kullanılacağı, ihtiyaç olan kapasite vb. gibi teknik noktalara göre kazan seçimi yapılmalıdır. Uzun süreli bir verim için kazanların işletilmesinde ve planlı ve plansız bakımlarına gerekli hassasiyet gösterilmelidir. Buhar kazanları doğru seçildikleri ve doğru işletme şartları sağlandığında verimleri de artar. Yukarıda bahsi geçen kazanımları yakalayabilmek amacıyla kazan seçimine çok dikkat edilmelidir. Enerji tüketimini olması gereken limitler içinde sabitlemek için, buhar kazanını kullanım yerine ve amacına uygun olarak tercih etmek gerekir. Buhar ihtiyacına göre kapasite belirlenmelidir. Yakıt, teçhizat ve kurulum aşamasındaki giderlerin gereksiz yere artmaması için ihtiyacın yüksek olmadığı alanlarda büyük kazanlar tercih edilmemelidir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için birkaç kazan tipi bir arada olarak kurulan kazan sistemlerini tercih etmek daha doğru bir tercih olacaktır. İşletmedeki alanların gereksinimlerini karşılayacak şekilde ayarlanabilen ve anlık buhar ihtiyaç miktarına uygun olarak farklı şekillerde çalıştırılabilen bu kazanlarla yüksek oranlarda verim sağlanması mümkündür.

### **3.2.3 Buhar kazanı kullanım alanları nelerdir?**

- Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için,
- Gıda işleme tesislerinde değişik amaçlar için,
- İnşaat malzemeleri endüstrisinde,
- Petrokimya, kâğıt ve ahşap endüstrisi alanlarında çokça kullanılır.
- Kalorifer tesisatı gibi buharlı ısıtma sistemlerinde konutları ısıtmak için buhar kazanlarından sıklıkla faydalanılır.

### **3.3 Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması**

Buhar kazanlarını; kullanım alanlarına ve sektöre, kazan basınçlarına, ihtiyaca yakıt tipine ve üretim teknolojisine göre çok farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

**Kullanım alanlarına bakılarak:**

- Sabit,
- Taşınabilir sabit olmayan,
- Lokomotif ve
- Gemi buhar kazanları olarak sınıflandırabiliriz.

**Kazanların basınç değerlerine bakılarak:**

- Alçak basınçlı kazanlar: Basınç değeri 10 MPa' dan daha az buhar üreten kazanlar düşük basınçlı ve orta basınçlı kazanlar olarak adlandırılır. Örneğin endüstriyel kazanlar bu tip kazanlardır.
- Yüksek basınçlı kazanlar: Basınç değeri 10 ila 14 MPa değerleri civarında üretim yapan kazanlar bu tip kazanlardır. Bunlara örnek olarak santral kazanlarını verebiliriz.
- Süper kritik basınçlı kazanlar: Basınç değeri 22.1 MPa'dan daha yüksek değerlerde buhar üreten kazanlardır [6].

**Yanma için kullanılan ocak tipine bakılarak:**

- Dıştan yanmalı,
- İçten yanmalı ocaklı,

**Yanma için harcanan yakıt çeşidine göre:**

- Gaz yakıt ile çalışan kazanlar (Örnek: Doğal gaz),
- Sıvı yakıt ile çalışan kazanlar (Örnek: Motorin, fuel-oil),
- Katı yakıt ile çalışanlar (Örnek: Odun, taş kömürü vb.),

**Kazanın imalat tipine bakılarak sınıflandırma;**

- Duman borulu kazanlar,
- Alev borulu kazanlar (fire tube boilers),
- Su borulu kazanlar (water tube boilers),
- Birleşik kazanlar (alev ve su boruları anı anda olan birleşik kazanlar (composite boilers) [7].

Tez konumuzu oluşturan gemilerde kullanılan kazanlar ise genellikle ana ve yardımcı kazanlar (main and auxiliary boilers) olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

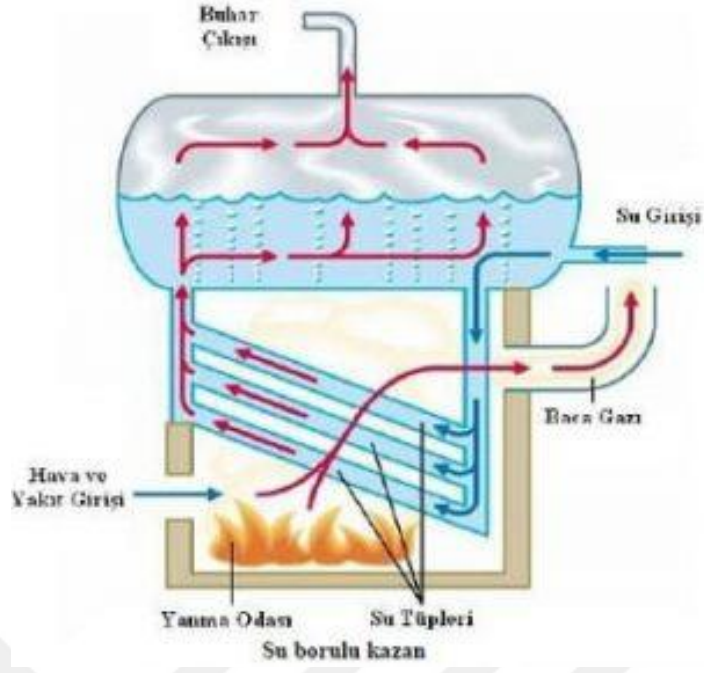
Geminin pervanesi türbin tarafından hareket ettiriliyorsa, bu gibi gemilerde buhar ana kazanlar tarafından üretilir. Buna karşılık pervane, dizel motoru tarafından tahrik edilen gemilerde ise yardımcı kazanlar işletmeye alınır.

Ana kazanların tipi genellikle su boruludur. Alev borulu olanlar ise, ana makinesi motorlu olan gemilerde tercih sebebidir. Bu iki kazan tipi, motorlu gemilerde yardımcı kazan olarak aynı anda kullanılırlar [7].

### **3.3.1 Su borulu ana kazanlar (Water Tube Boilers)**

İhtiyacımız olan buhar; yüksek sıcaklık ve basınç değerlerinde ise bu durumda su borulu kazanlar tercih edilir. Isı transfer suyunun aktığı boruların, ateş vasıtasıyla dış kısımlarından ısıtıldığı tiptir. Kazanda yakıtın yanması sonucunda oluşan sıcak gazlar, içerideki tüplerde dolaşan suya yanma sonucu oluşan ısıyı transfer ederek kızdırılmış yüksek basınca sahip buhar elde edilir. Bu tip kazanlarda boruların iç kısmında kazan taşı oluşabilir. Oluşan kazan taşının (kışır) temizlenmesi çok zor ve bazen de başarısız olduğu için bu tip kazanlarda besi suyu çok iyi arıtılmalı ve de şartlandırılmalıdır. Su borulu kazanlarda yapılarına ve çalışma şekillerine göre kendi içinde; düz ve kıvrılmış su borulu kazanlar, zoraki dolaşimli kazanlar gibi farklı alt gruplara ayrılırlar.

Su borulu kazanlar ile alev borulu kazanların işletme şekli birbirinin tam tersi bir süreçtir. İçerisinden su geçen tüpler yanma odasından geçer. Burada yakıt-hava karışımı yakılır. Oluşan ısı, boru içerisindeki suya geçerek suyu buharlaşma fazına geçirir. İlerleyen teknik sayesinde, yeni nesil cihazlarda su borularını dikey veya 90 dereceye yakın bir değerle yerleştirme imkânı bulunmuştur. Bu yeni tasarım ile bahsi geçen makinelerin verimleri daha da yükselmiştir. Ayrıca sıcak baca gazlarının atık ısısından maksimum derecede yararlanılmak için ekonomizer ve hava ısıtıcılarının da kullanılmaktadır. Aşağıda şekil 3.2’de su borulu buhar kazanının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.2:** Su borulu kazan

### 3.3.1.1 Su borulu kazanların üstün tarafları:

- Boru yırtılmaları karşısında içerideki suyun asgari kısmı süratle buharlaştığından daha az tehlikeli durumlar oluştururlar ve böylelikle patlamaya sebep olmazlar.
- Su hacimleri azdır. Buna rağmen ısıtma yüzey alanları fazladır. Bu durumda birim ısıtma yüzeyinden hızlı bir şekilde ısı transferi olduğu için buhar üretme hızları yüksektir.
- Yüksek kapasitede, basınçlarda ve sıcaklıklarda buhar üretimini sağlayacak şekilde imal edilmeleri mümkündür.
- Su dolaşım sistemleri diğerlerine göre daha üstündür.

### 3.3.1.2 Su borulu kazanların sakıncalı tarafları:

- Isı transfer yüzeylerinde depozitlerin oluşmaması için daha hassas bir besi suyu şartlandırılmasını zorunlu kılar.
- İlk imalat ve kurulum aşamasındaki maliyetleri çoktur.
- Dikkatli bir işletme becerisi gerektirir.
- Montaj için ihtiyaç duyulan alan büyük olduğu için kurulum için daha geniş yerlere ihtiyaç duyulur.

### 3.3.2 Alev-duman borulu ana kazanlar

Silindirik kazanlar için oluşturulan TS EN 12953-1 numaralı standartta; “İçinde su bulunan gövdenin içerisinde yer alan tertibatın parçasını oluşturan boruların içinden alevlerin ve/veya sıcak gazların geçtiği kapalı kap” şeklinde tanımlanmaktadır. İmalatları da yine bu standartlara göre yapılmaktadır. Alev borulu buhar kazanlarında, yanma olayı sonucunda ortaya çıkan atık baca gazları, boruların iç kısmından geçerek ısıtma işlemi sağlandığı için alev borulu kazan olarak isimlendirilmişlerdir [4]. Yukarıda tanımlanan kazan tipinde ısı transferi, içinden sıcak yanma gazlarının geçtiği dışında ise su olan borularla (tüpler) yapılır. Yanma gazlarına kazan içinde fazla bir mesafe aldırarak, barındırdıkları ısı mümkün olduğunca transfer edildikten sonra atık olarak bacaya gönderilir. Su ve buhar kovan bölümündedir. Buhar çıkışı ise dramın üzerindedir. Lokomotif, gemiler ve süreç ünitelerindeki tüpten sıcak gaz veya sıcak akışkan ürünün dolaştığı buhar kazanlarını örnek olarak verebiliriz.

Düşük kapasitede, düşük buhar basıncı değerlerinde çalışırlar. Büyük güç santrallerinde kullanılmazlar. Daha çok ısıtma sistemlerinde tercih edilirler. Sözü edilen kazanlarda kaynama olayı, suyun barındıran kazan kısmında gerçekleşir ve yalnızca doymuş buhar elde etmek için kullanılan kazan tipleridir [4].

#### 3.3.2.1 Alev-duman borulu kazanların üstün tarafları

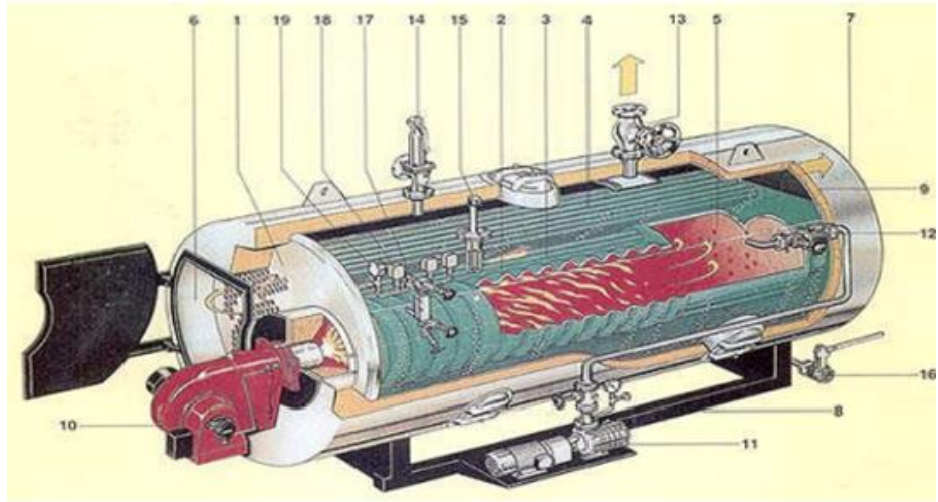
- Yapıları daha basittir
- Su borulu kazanlara göre suyun ıslah olayı karmaşık değildir.
- Bünyelerindeki yüksek su yükleme kapasitelerinden dolayı yük değişimlerine daha kolay uyum sağlarlar.
- İlk imalat ve kurulum maliyetleri daha azdır.
- Ebatları daha küçüktür. Kurulum yerinde özellikle daha az yüksekliğe ihtiyaç vardır.
- Küçük ebatlı olmalarından dolayı taşınma ve montajları daha kolaydır.
- Bu kazanlarda kazanın çalışma verimi yüksektir. Kazanda kullanılan yakıtın yakıldığı ocak veya külhanın bir tarafı dışında çevresi komple suyla çevrili olduğu için ısı transferi sırasında ısı kayıpları azdır.

### 3.3.2.2 Alev-duman borulu kazanların sakıncalı tarafları

- Bu kazanlarda suyun hacmi, su borulu kazanlara kıyasla daha fazladır. Bundan dolayı çok fazla suyu bünyelerinde depolarlar. Su devir daimî ise daha azdır. Bunun sonucu uzun sürelerde düşük miktarlarda buhar üretimi demektir. Bu kazanlardan elde edilen buharın basıncı maksimum 30 bar civarındadır. Sıcaklıkları da düşüktür
- Barındırdıkları yüksek kapasiteli sudan kaynaklı olarak, kazan dış çeperinde yırtılmalar, külhan çökmesi veya çok miktarda buharın ortaya çıkması gibi olumsuz durumlarda büyük zararlara neden olabilirler.
- Bu kazanlarda, suyun bulunduğu kısım ve birleşme kısımları, yanma odasının yüksek sıcaklığına maruz kaldığından dolayı patlama riski oluşturur.

Alev borulu kazanlarda, tasarımı oluşturan boru demetleri devamlı değişkenlik gösteren sıcaklıklara maruz kaldığı için dengesiz sıcaklık dağılımı nedeni ile bu durum boru demetlerinde istenmeyen metal gerilmelerini oluşturur [8].

Şekil 3.3'te alev-duman borulu buhar kazanının kısımları ve de çalışma biçimi verilmiştir.

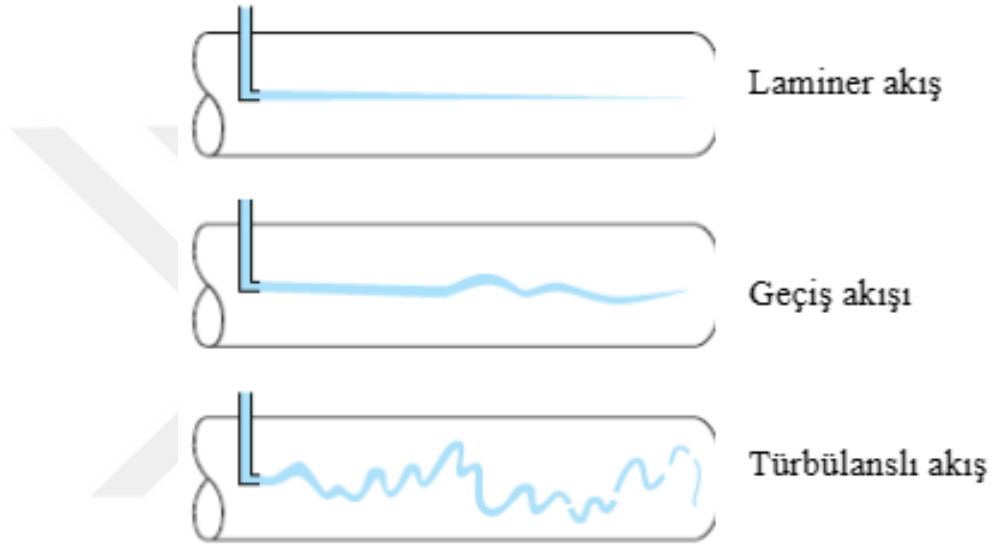


- |                               |                              |                             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 - Kazan gövdesi             | 2 - Külhan                   | 3 - Duman boruları 2. geçiş |
| 4 - Duman boruları 3. geçiş   | 5 - Su soğutmalı cehennemlik | 6 - Ön duman sandığı        |
| 7 - Duman gazı Çıkışı         | 8 - Kazan kaidesi            | 9 - İzolasyon               |
| 10 -Gaz veya fuel oil brülörü | 11 - Besi suyu pompası       | 12 - Besi suyu vanası       |
| 13 - Buhar vanası             | 14 - Emniyet vanası          | 15 - Su seviye şamandırası  |
| 16 - Blöf vanası              | 17 - Su seviye göstergesi    | 18 - Presostat              |
| 19 - Manometre                |                              |                             |

Şekil 3.3: Alev duman borulu buhar kazanı bölümleri ve çalışma prensibi

### 3.4 Reynolds Sayısı ve Borularda Akış Tipleri

Osborne Reynolds'un (1842-1912) bulduğu bu sayı, şekli belli olan bir geometriden ya da borudan akan akışkanın akış şeklini belirleyen sayısal değerdir. Laminer ve türbülanslı olarak iki tiptir. Hazırlanan deney düzeneği sayesinde borudan akan sıvı maddenin akış tipinin nasıl olduğu anlaşılmış daha sonra tekrar eden laboratuvar deneyleriyle, Reynolds sayısı adını alan bu sayı ile deney sonuçlarını genelleştirmiştir. Şekil 3.4'te akış çeşitleri görselleri seçilmiştir.



Şekil 3.4: Akış çeşitleri

Reynolds katsayısının değerine göre akış rejimleri aşağıdaki şekilde tanımlanır

$Re < 2300$  olduğu durumlarda Laminer akış

$2300 < Re < 4000$  arasında Geçiş rejimi

$Re > 4000$  durumlarında Türbülanslı akış

Deneyin uygulaması; akışkanın hızının ayarlanabildiği bir boru mekanizması ve bu borudan akan akışkana mürekkep püskürten basit bir düzeneden meydana gelir. Deney sırasında mürekkepli suyun davranışı gözlemlenip, akışkanın akış tipine bu gözlemden çıkan sonuca göre karar verilir. Laminer akışta mürekkep ince bir çizgi gibidir ve düzenlidir. Dağılma meydana gelmez. Tam tersi olan türbülanslı akışta ise mürekkep rastgele bir şekilde, çizgiselliğini yitirerek dağılır. Bu esnada bu iki akış bölgesi arasında tam tespit edilemeyen üçüncü bir akış noktası daha vardır. Bu noktadaki akış iki akış tipine de dâhil edilmeyen ara bir bölgedir. İşte bu bölge geçiş

evresi olarak adlandırılır. Aşağıdaki denklem 3.1'de Reynolds Sayısını hesapladığımız eşitlik verilmiştir.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

**V:** akışkanın hızı (m/s<sup>2</sup>)

**$\rho$ :** yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

**D:** akışkanın geçtiği borunun çapı (m)

**$\nu$ :** akışkanın kinematik viskozitesi (m<sup>2</sup>/s)

**$\mu$ :** akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)

Akış çeşitleri ve Reynolds katsayısı, yukarıdaki bağıntıdan da anlaşılacağı gibi akışkanın hızına, yoğunluğa, akışkanın viskozite değerine, borunun uzunluğuna bağlı olarak değişen birimsiz bir katsayıdır. Bu sayı akışkanın yoğunluğu, borunun uzunluğu ve akışkanın hızı ile doğru orantılı buna rağmen viskozite değeriyle ters orantılıdır. Buradan çıkarılan sonuç; yüksek yoğunluk ve viskoziteli akışkanlarda laminer akış daha fazla, akışkanlığı ve hızı yüksek akışkanlarda ise türbülanslı akışlar daha çok olur.

Bu akış tiplerine örnek vermek istersek, duman en güzel örneklerden biri olacaktır. Yanmakta olan maddeden çıkan duman ilk önce daha düzenli ve ince bir şekilde çıkar. Bu durum laminer akış türüne örnek verilebilir. Daha sonra ise hava akımının tesiriyle dağılır ve türbülanslı akışa geçer. Bu örnekleri günlük hayatımızda çoğaltabiliriz.

Uygulama gemisi kazanında Reynolds sayısının bulunabilmesi için veri toplamaya çalışılmış fakat kazanın tasarımı nedeniyle debimetre ve termometre olmaması gibi nedenlerden dolayı alev borularından geçen yanma gazlarının hızı, debisi ve sıcaklığı ölçülememiştir. Kazanın talimat kitabı incelendiğinde de bu konu ile ilgili olarak ekstra bilgi bulunamamış daha çok işletmeye yönelik yakıt harcaması, kazan basıncı, emniyet valf atma basınçları, kullanılacak olan yakıtın cinsleri gibi operasyonel bilgilerin verildiği görülmüştür.

## 4. ISI TRANSFERİ

Buhar kazanlarında ısı transferi konusunu detaylandırmadan ve ısı kayıp ve kazançlarını incelemeyen önce konunun daha iyi anlaşılması için ısı transferi ile ilgili temel bilgilerin tekrar hatırlanması faydalı olacaktır.

### 4.1 Isı Transferi ile ilgili Temel Kavramlar

**Sıcaklık:** Sistemlerin ölçülebilir ısı özelliğine denir. Kelvin, Selsiyus veya fahrenheit olarak ölçülür. SI birim sisteminde Kelvin'dir.

**Isı (Termal Enerji):** Sistemdeki elektron, molekül ve atomların kaotik davranışlarıyla meydana gelen, Joule cinsinden ölçülen bir enerji biçimidir.

Bir sistemin sıcaklığının sebebi termal enerjidir, belirli bir sistem için dâhili bir enerjidir. Mutlak sıfır derecesinin üzerindeki sıcaklıkta olan sistemlerin hepsi pozitif termal enerjiye sahiptir.

### **Termodinamik:**

Literatürde termodinamik terimi, İngiliz bilim insanı Lord Kelvin, 1849 tarihinde yayımladığı bir yayında ilk kez kullanmıştır. Latince therme (ısı) ve dynamis (güç) terimlerinden termodinamik kelimesi türetilmiş bir terimdir. Fizik biliminin enerji ve enerjinin şekil değiştirmesi ile ilgilenen alt dalıdır. Enerjinin bir konumdan başka bir konuma transferi, bir biçimden başka bir biçime dönüşümü ile ilgilenir şeklinde basitçe ifade edebiliriz [9].

Termodinamiğin bilinen dört tane ilkesi vardır. Bu dört ilkenin tamamı ısı ve enerjinin nasıl yer değiştirebileceği konusundadır. Önemli olan ikinci yasa ise, aynı zamanda entropi kavramını da kapsar.

### **Termodinamiğin yasaları:**

**1. Termodinamiğin sıfırıncı yasası:** 1930 tarihinde diğer termodinamik yasalarından farklı bir olay olduğu anlaşılınca "sıfırıncı yasa" olarak adlandırılmıştır. Eğer iki cisim ısı olarak kararlıysa yani ısı transferleri yoksa diğer bir tabirle sıcaklıkları

birbirinin aynısıysa sıcaklığını bilmediğimiz cismi, ilk olarak birinci cisme, takiben ikinci cisme (ya da işlemin tersini yaptığımızda) temas ettirdiğimizde, bu üç ögede herhangi bir ısı alışverişi gerçekleşmiyorsa, bütün cisimler aynı sıcaklıktadır denir.

**2.Termodinamiğin birinci yasası:** Enerjinin korunumu yasasıdır denir. Bu ilke enerji yok edilemez. Ancak şekil değiştirebilir. İç enerjideki değişimin ve yapılan işin toplamı, cisme veya sisteme yüklenen enerji miktarına eşittir. Bu yasaya göre ısı ve işte bir enerji çeşididir. Birinci yasanın en önemli ortaya koyduğu çıktı ise enerji her zaman korunur başka deyişle yoktan var edilemediği gibi varken de yok edilemez. Buhar makineleri, ısı üreten diğer makineler ve hayatımızı kolaylaştıran birçok cihaz bu yasadaki faydalanılarak yapılmaktadır.

**3.Termodinamiğin ikinci yasası (Entropi Yasası):** Entropiyi tanımlayan bu ilke termal işlemlerde enerjinin yönünü saptar. Suyun doğal ortamında yukarıdan aşağıya akması gibi ısı enerjisi de sıcak ortamdaki soğuk ortama yönelir. Entropi süreçte enerjinin yönünü belirler. Termal işlemlerin hepsinde entropi sıfırdır ya da pozitifdir. entropinin sıfır olduğu olaylarda işlem tersinir (geri döndürülebilir), pozitif olduğu durumlarda tersinmezdir (geri döndürülemez).

**4.Termodinamiğin üçüncü yasası:** Bir sistemin sıcaklığını durmadan azaltırsanız, en fazla mutlak sıfır olan **0 Kelvin'e** veya **-273.15 °C'ye** indirebileceğinizi söyler. Bu yasa mutlak sıfır noktasını tanımlar. Mükemmel bir kristalin entropisi mutlak sıfır sıcaklığında sıfırdır. Mutlak sıfır noktası cisimlerin entropisini tanımlamak için konulmuş olası en düşük sıcaklıktır. Gerçek hayatta mükemmel olmayan kristaller içinse sıcaklık mutlak sıfıra doğru yaklaşırken, entropi sıfırdan farklı bir sabit değere yaklaşır. Üçüncü yasa aynı zamanda bir maddenin mutlak sıfıra kadar ısıtılmasının da mümkün olmadığını söyler [9].

**Isıl iletkenlik katsayısı (k):** Bir malzemenin birim kalınlığı boyunca birim alandan birim sıcaklıkta ısı transfer hızına denir. (k) değeri ne kadar yüksekse malzemenin ısıyı o kadar iyi ilettiğini anlarız. (k) değeri düşük malzemeler ise yalıtkan olarak isimlendirilirler. Kristal ve metal malzemelerin ısı iletkenlikleri gaz maddelerin ısı iletkenliklerinden daha yüksektir.

## 4.2 Isı Transferi Nedir?

Isı transferi, makina mühendisliğinin, termodinamik ve akışkanlar mekaniği ile birlikte termal kısmının tamamlayıcısı olan ders ve aynı zamanda da bilim dalıdır.

Isı ve ısı enerjisi, bir nesnedeki moleküllerin aktivite seviyesini tanımlamak için kullandığımız terimlerdir. Molekülleri hızla hareket eden bir nesne sıcak olarak bilinirken, atomları daha yavaş hareket eden moleküllere sahip bir nesne soğuk olarak tanımlanır.

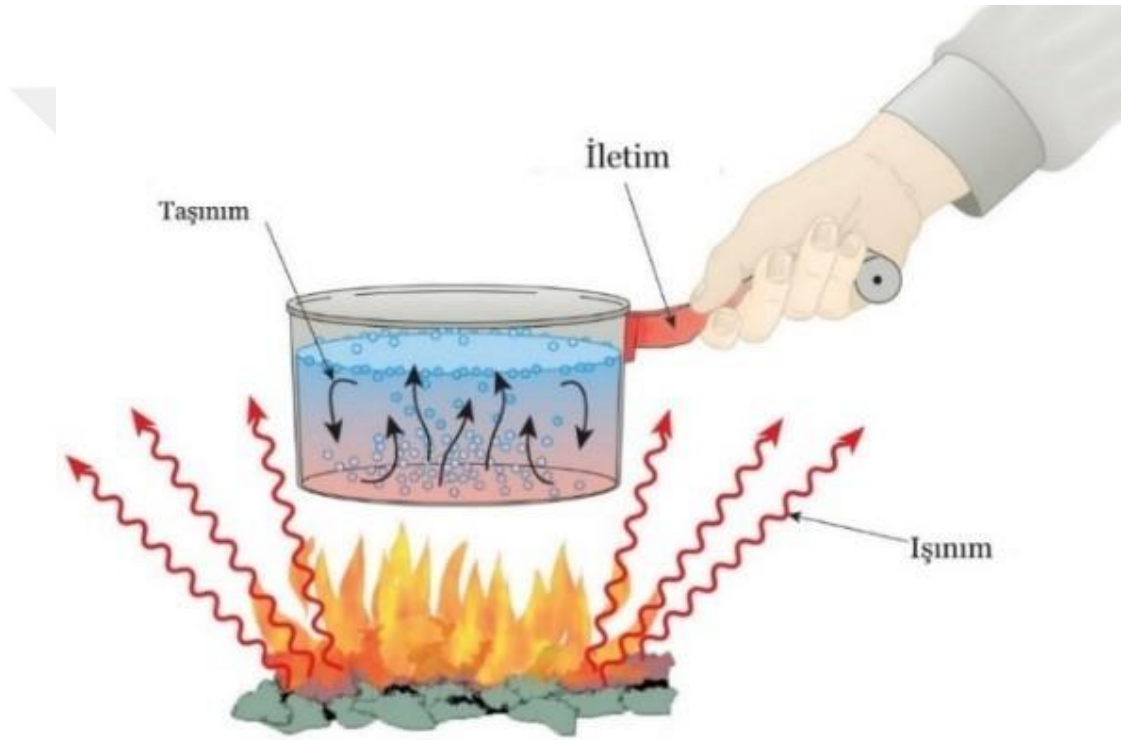
Isı enerjisi veya diğer bir deyimle termal enerji, nesnelar arasında aktarılabilir bir enerji çeşididir. Isı transferi, mevcut bir sistem ile bu sistemin çevresi arasında sıcaklık farkından dolayı akan ısının, değış tokuş edilmesi ile oluşan fiziksel bir termal enerjidir. Yani ısı, nesnelar arasındaki bu enerji transferini tanımlarken, sıcaklık ise nesneların bünyesinde bulunan enerjiyi tanımlar. Sıcaklık ve ısı akışı kavramları, ısı transferinin iki temel prensibidir. Mevcut termal enerji miktarı sıcaklık tarafından belirlenir ve ısı akışı termal enerjinin hareketini temsil eder. Başka bir deyişle Isı, iş yapma kabiliyetine sahiptir, bir nesnedeki moleküllerin içerdiği toplam kinetik ve potansiyel enerjidir. Sıcaklık ise yalnızca ısı derecesini ölçmek için kullanılır, nesnelarda bulunan moleküllerin ortalama kinetik enerjisidir. Isı enerjisi, sıcaklıktaki farklılık nedeniyle bir nesneden diğerine transfer olabilir. Aynı sıcaklıktaki iki nesne birbirine temas ettirildiğinde bir enerji transferi olmayacaktır. Çünkü nesnelardaki parçacıkların ortalama enerjileri aynıdır. Bir nesnenin sıcaklığı diğerinden daha yüksekse, her iki nesne aynı sıcaklığa ulaşana kadar sıcak olandan soğuk olana bir enerji transferi gerçekleşir. Bu durumda sıcaklıkları eşit iki madde arasında ısı aktarımı gerçekleşmez.

## 4.3 Isı Transferi Çeşitleri

Mikroskobik boyutta incelendiğinde, moleküllerin kinetik enerjisi direkt olarak termal enerji ile ilişkilidir. Sıcaklık yükseldikçe, moleküllerin doğrusal hareketi ve titreşimi ile ortaya çıkan termal hareketlilik de artar. Böylece, daha yüksek kinetik enerjinin oluştuğu bölgeler, enerjiyi daha düşük kinetik enerjiye sahip olan noktalara taşır. Termodinamiğin 2. Yasasına (entropi yasası) göre, eğer iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa ve dışardan herhangi bir etki yapılmazsa, ısının transfer yönü daima sıcaklığı yüksek ortamdan, sıcaklığı düşük olan ortama

doğrudur. Isının geçişi sadece ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olarak gerçekleşmez. Aynı zamanda, ortam ve yüzeylerinin özelliklerine de bağlıdır. Bu yüzden ısı transferi sistemini bağımsız üç ana başlık altında incelemek daha doğru olacaktır. Isı transferinin bütün çeşitlerinin ortak özelliği ise bir sıcaklık farkına ihtiyaç olmalarıdır

Isı transferi sırasında aşağıdaki ısı iletim yollarından biri veya hepsi bir arada olacak şekilde gerçekleşebilir. Günlük hayatta ısı geçişi ayrı ayrı olarak değil genellikle üç farklı geçişin bir bileşkesi şeklinde oluşmaktadır. Aşağıda şekil 4.1’ de ısınmın iletim yolları şekille gösterilmiştir.



**Şekil 4.1:** Isı iletim yolları

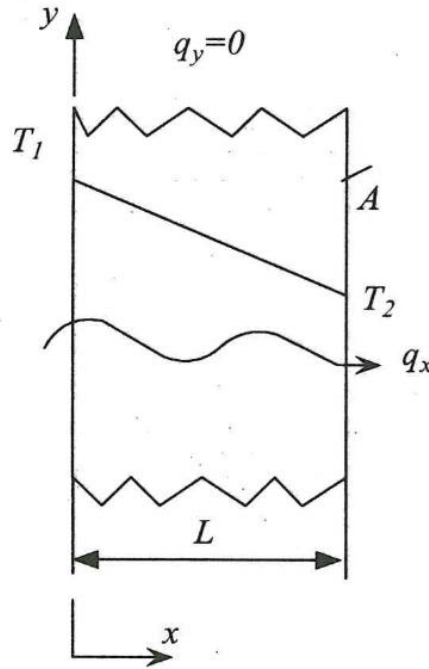
1. İletim (kondüksiyon-temasla)
2. Taşınım (konveksiyon-kütle hareketiyle)
3. Işınım (radyasyon)

#### **4.3.1 Isı İletimi (Kondüksiyon)**

Bir cismin farklı sıcaklıktaki bölgeleri arasında, birbirleriyle temas halindeki parçacıklardan, yüksek enerji seviyesinde bulunanlardan, düşük enerji seviyesinde bulunanlara doğru geçen enerji, iletimle ısı geçişi olarak ifade edilir. Isı transferini,

moleküller arasında gerçekleşen kinetik enerji akımı şeklinde tarif edebiliriz. Büyüklüğünü ise maddenin ısı iletim yeteneği ve o andaki sıcaklık farkı belirler.

Enerji geçişi katı, sıvı ve gaz ortamında gerçekleşebilir. Gazlarda ve sıvılarda iletim, serbest elektron ya da moleküllerin kendilerine özgü hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmalarıyla olur. Katılarda ise iletim, kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucunda meydana gelir. Bir levhadaki ısı transfer hızı, levha boyunca sıcaklık farkı ve ısı transfer alanı ile doğru orantılı, tabakanın et kalınlığı ile ters orantılıdır.



**Şekil 4.2:** Katı levhada ısı transferi

İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile hesaplanır. Yukarıdaki şekil 4.2’de gösterilen düz levha ısı transfer hesabı için örnek olarak alındı. Levhanın L kalınlığı levhanın diğer boyutlarına göre oldukça küçük ölçüdedir. Levhanın yüzeyinin alanı A ile gösterilmiştir,  $T_1$  ve  $T_2$  ise ( $T_1 > T_2$ ) kabulü ile levhanın yüzey sıcaklıkları olsun. Burada ısı transferi sıcak  $T_1$  yüzeyinden soğuk  $T_2$  yüzeyine doğru gerçekleşecektir. Sıcaklık zamanla değişmemektedir.

$$q = A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki 4.1'deki denklemde görüldüğü gibi, katı bir cisimden ısı transfer hızı ( $T_1 - T_2$ ) sıcaklık farkı ve levhanın A yüzeyi ile doğru, buna rağmen levha kalınlığı L ile ters orantılıdır. Orantı kat sayısı k, yukarıdaki ifadenin içerisine yerleştirilirse, aşağıdaki denklemde 4.2'de olduğu şekilde ifade edilir.

$$q = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (4.2)$$

Burada k ısı iletim katsayısı olarak tanımlanır ve malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin göstergesidir.

Termodinamiğin 2.yasası olan entropi yasasına göre, ısı transferi sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşecektir. Bundan dolayı ısı akışı ile sıcaklıklar arası fark zıt işaretlidir. (+) yöne doğru ısı transferi gerçekleştirmek amacıyla, yukarıda verilen (4.2) numaralı denklemin önüne (-) getirilmiştir. Bu denklemi aşağıda (4.3)'de gösterildiği gibi, ısı iletim katsayısının bir tanımı olarak yazılabiliriz.

$$k = - \frac{(q/A)L}{(T_2 - T_1)} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemdeki k ısı iletim katsayısının birimi SI birim sisteminde W/mK veya W/m°C 'dir.

**Isıl iletkenlik:** Isı transferi gerçekleşecek olan malzemenin birim et kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına gerçekleşen ısı transferinin hızıdır. Malzemenin ısıyı iletme yeteneğini malzemenin ısıl iletkenlik değeri belirler. Malzemenin kötü veya iyi bir ısıl iletken olduğunu ısıl iletkenlik değerine bakarak anlayabiliriz. Yüksek değerler iyi bir ısıl iletkenliği düşük değerler ise kötü bir ısıl iletkenliği ifade etmektedir. Katıların ısıyı akışkan maddelere göre daha iyi ilettiğini biliyoruz. Metaller gibi elektriği iyi ileten kondüktivite maddeler aynı şekilde iyi bir ısı iletimine sahiptirler. Gaz maddeler için ısıl iletkenlik; artan sıcaklığa bağlı olarak artmakta fakat artan molekül ağırlıkla ise ters orantılı olarak azalmaktadır. Isı iletim katsayısını, maddenin yapısı belirler. Aynı zamanda maddenin nemlilik derecesiyle de ilgilidir. Özellikle, ısı yalıtımının yapıldığı yüzeylerde nemin giderilmesi mutlaka gerekir. Bunu bir örnekle açıklayalım. Nemli haldeki maddelerin ısı iletim özelliğinin kuru haldeki maddelerden daha büyük olduğunu yukarıda açıklamıştık örneğin kuru haldeki kiremitin ısı iletim katsayısı 0,47 W /m. K olduğunu biliyoruz. Oysa nemli halde iken bu değer 1,05 W /m. K olmaktadır.

Alaşım maddelerin ısı iletim katsayıları ise genellikle, alaşımı oluşturan maddelerin ısı iletim katsayılarından daha küçük değerlerdedir. Bir örnekle açıklayacak olursak, bakırın (Cu) ısı iletim katsayısı  $k = 348,9 \text{ W /mK}$ , nikelin (Ni)  $k = 69,8 \text{ W /mK}$  olmasına karşın, % 60 Oranında bakır ve % 40 oranında nikelden oluşan alaşım halindeki bir maddenin ısı iletim katsayısı  $k = 22,7 \text{ W /mK}$ 'dir. Yine aynı Şekilde elik içindeki karbon miktarı arttıa ısı iletim katsayısının değeri küçülmektedir. Çizelge 4.1'de çok bilinen bazı katı maddelerin ve akışkanların ısı iletim katsayıları verilmiştir [10].

**Çizelge 4.1:** Bazı maddelerin ısı iletim katsayı değerleri

Normal Şartlarda Malzeme (298 K, 24.85°C)		Tipik ısıl iletkenlik (k) W/mK
Metal malzeme	Saf alüminyum	205-237
	Alüminyum alaşımı (6082)	170
	Pirinç (CZ 121 tipi)	123
	Pirinç (63% bakır)	125
	Pirinç (70% bakır)	109-121
	Saf bakır	353-386
	Bakır (C101 tipi)	388
	Hafif elik	50
	Paslanmaz elik	16
Gaz	Hava	0.0234
	Hidrojen	0.172
Diğerleri	Asbestos	0.28
	Cam	0.8
	Su	0.6
	Ağaç (yumuşak ya da sert ağaç)	0.07-0.2

Basınca göre değişimi sıcaklığa göre değişiminden daha az olması nedeniyle genellikle ihmal edilir. Bu sebeple, ısı iletim katsayısı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kabul edilebilir. Birçok durumda ısı iletim katsayısı aşağıda (4.4)'de verilen denklemde grldği gibi sıcaklığa göre lineer olarak değişir.

$$k(T) = k_0(1 + \beta T) \quad (4.4)$$

(4.4) formülündeki  $k_0 = k(T_0)$  olup,  $T_0$  referans sıcaklığıdır.  $\beta$  sabit bir değerdir ve ısı transferinin sıcaklık katsayısı olarak isimlendirilir. Birimi  $1/K$ 'dir. Isı geçişi Fourier ısı transfer yasasında  $k$  yerine yukarıdaki denklemde konulursa, aşağıdaki 4.5 numaralı denklem elde edilir.

$$q = \frac{(k_0 A)}{\Delta x} (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} (T_2^2 - T_1^2) \quad (4.5)$$

#### 4.3.2 Isı Taşınımı (konveksiyon)

Ortamdaki iletim ve ışımla ısı geçişinin yanında, durağan bir katı yüzeyle bu durağan yüzey üzerinden geçen akışkan arasında gerçekleşen ısı transferi varsa buna, ısı taşınımı (konveksiyon) denir. Buradaki hareket halindeki akışkan sıvı veya gaz madde olabilir. İletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar. Taşınım ile ısı geçişi akışkanın özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlı olarak değişir. Taşınımındaki ısı aktarım miktarı akışkan hareketine bağlı bir değerdir. Akışkan hareket hızı büyüdükçe ısı aktarımı da o kadar büyük olur. Taşınım, sıcaklıkları farklı hareketli bir ortam ile bu ortamı çevreleyen yüzey arasında gerçekleşir. Isı transferinin gerçekleşeceği sıcak yüzeye bitişik sıvı veya gaz katmanı yüzeyden ısı alarak ısındıkça yoğunluğu azalır (sabit basınçta, yoğunluk sıcaklıkla ters orantılıdır) ve hareketi artar. Yüzey yakınındaki daha soğuk sıvı, sıcak sıvının yerini alır ve böylelikle sürekli olarak soğuk akışkan ile sıcak akışkanın yer değiştirecek şekilde bir düzen oluşur. Burada, durağan yüzey ile hareket halindeki akışkan arasındaki sınır tabakasında sıcaklık farkından dolayı bir nevi ısı transferi oluşmaktadır. Taşınım ile ısı transferi zorlanmış taşınım ve doğal (serbest) taşınım olarak ikiye ayrılır.

**Zorlanmış taşınım:** Eğer sıvı veya gaz akışkan, yüzeyin üzerinden fan, pompa veya rüzgâr gibi başka bir etken vasıtasıyla akmaya zorlanıyorsa buna zorlanmış taşınım denir. Doğal taşınımında hareketi meydana getiren bir dış etki yoktur buna karşılık zorlanmış taşınımında akışkan hareketi dış etki ile oluşur [11].

**Doğal (serbest) taşınım:** Eğer sıvı veya gaz akışkan hareketi, akışkan içerisinde sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının doğurduğu, kaldırma kuvveti sebebiyle doğal olarak meydana geliyorsa bu tür ısı transferine doğal taşınım denir. Bir akışkanın faz değişimi içeren ısı transfer işlemleri, kaynama sırasında kabarcıkların yükselmesi veya yoğuşma sırasında sıvı damlarının yağması gibi, işlem esnasında oluşan akışkan hareketleri sebebiyle, aynı zamanda taşınım olarak düşünülür.

#### **Newton'un viskoz gerilimler yasası:**

Newton tipi akışkanlarda yani akış yönüne paralel yüzeydeki kayma gerilmesi ile o yüzeydeki hız değişim eğrisi her noktada doğru orantılı olan akışkan tiplerinde, viskoz gerilimler için bir boyutlu olarak, aşağıda (4.6)'da ki bağlantı yazılabilir.

Şekil değiştirme hızıyla kayma gerilmesi arasındaki bağlantıyı ilk defa diferansiyel denklemler ile Isaac Newton ifade ettiğinden bu doğrusal ilişkiye uyan akışkanlara Newton tipi akışkan denmiştir. Su, hava, alkol ve benzin gibi akışkanları bu tip akışkanlara örnek olarak verebiliriz.

$$\tau = \frac{dF}{dA} = \mu \frac{du}{dy} \quad (4.6)$$

**$\mu$ :** Akışkanın özelliği ile ilgili dinamik viskozite değeri,

**$y$ :** Cidardan olan mesafe,

**$dA$ :** Diferansiyel alanı,

**$dF$ :** Diferansiyel kayma kuvveti,

**$\tau$  :** Kayma gerilmesini gösterir.

**Viskozite:** Bir akışkanın akışkanlığa karşı göstermiş olduğu direncin ölçümüdür. İç direnç olarak da tanımlanır. Sıvı maddelerin viskozite değeri sıcaklıkla azalırken gazların viskozitesi ise sıcaklıkla artış gösterir. Akışkan iki tabakanın birbirine göre bağlı hareketi sırasında aralarında sürtünme kuvveti oluşur ve daha yavaş hareket eden tabaka, hızlı tabakayı yavaşlatmaya çalışır. Akışma karşı oluşun bu iç direnç, akışkanın iç yapışkanlığının bir ölçütü olan akışkan özelliği olan viskozite ile ölçülür. Viskozite, sıvılarda moleküller arası çekim kuvvetlerinden, gazlarda ise moleküllerin çarpışmasından kaynaklanan fiziksel bir olaydır. Birim boya karşı gelen kütle akış hızı dinamik viskozite olarak adlandırılır ve  $\mu$  ile gösterilir. Birimi  $Ns/m^2$  veya  $kg/ms$ 'dir. Aşağıda denklem (4.7)'de kinematik viskozite bağlantısı verilmiştir.

**$v$ :** Kinematik viskozite,

**$p$ :** Yoğunluk

**$\mu$ :** Dinamik viskozite

$$v = \frac{\mu}{p} \text{ (m}^2/\text{s)} \quad (4.7)$$

### Newton'un Soğuma Yasası

Taşınımın karmaşıklığına rağmen, taşınımın ısı transfer hızının sıcaklık farkıyla orantılı olduğu gözlenir ve Newton' un soğutma kanunu olarak ifade edilir. Aşağıda (4.8) numaralı denklem olarak verilmiştir.

$$Q_{taşınım} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (4.8)$$

Bu denklemde:

**h:** Isı transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>C)

**A<sub>s</sub>:** taşınımın olduğu yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

**T<sub>s</sub>:** Yüzey sıcaklığı (°C)

**T<sub>∞</sub>:** Yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta akışkan sıcaklığıdır (°C)

Isı taşınım katsayısını (h); birim yüzey alanından, birim sıcaklık farkında ve birim zamanda taşınan ısı miktarı olarak tanımlayabiliriz. Isı taşınım katsayısı akışkanın bir özelliği değildir ve hesapla bulunması çok karmaşık ve zor bir işlemdir. O yüzden ısı taşınım değeri deneysel olarak bulunan bir katsayıdır. Bu katsayı değeri, akışkanın temas ettiği durağan yüzeyin, yapılmış olduğu malzeme cinsi ve yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin ne şekilde olduğu (plaka boru vb), akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri (viskozite, ısı iletkenlik katsayısı, yoğunluk, ısı kapasitesi), akış hızının büyüklüğüne bağlı olarak değişen bir değerdir. Fakat pratikte mühendislik hesaplamalarında sabit olarak alınıp gerekli hesaplamalar yapılır.

Ayrıca, ısı taşınım katsayısı, yukarıda bahsettiğimiz doğal ısı taşınımı ve zorlanmalı ısı taşınımı türüne göre de farklı değerler alır. Farklı malzemelerin ısı taşınım katsayıları, çizelge: 4.2'de verilmiştir. Isı taşınım katsayısı değerinin transfer yüzeyleri üzerinde bölgesel olarak farklı değerler aldığından yukarıda bahsetmiştik. Bu sebeple mühendislik hesaplamalarında yüzey boyunca olan ortalama ısı taşınım katsayısı değer olarak alınır. Yüzey boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı, (4.9)'da ki denklem ile hesaplanır.

$$\bar{h} = \frac{1}{A} \int_A h dA \quad (4.9)$$

**Çizelge 4.2:** Bazı akışkan maddeler için ısı taşınım katsayıları

Akışkan malzeme	h Isı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	
	Doğal ısı taşınımı	Zorlanmalı ısı taşınımı
Gazlar	5-30	30-300
Yağlar	5-100	30-3.000
Su	30-300	300-10.000
Sıvı metaller	50-5.000	500-20.000
Kaynayan su	2.000-20.000	3.000-100.000
Yoğuşan su buharı	3.000-30.000	3.000-200.000

### 4.3.3 Isı Işınımı (Radyasyon)

Radyasyonu, ışık hızı ile uzay boşluğunda akan bir enerji gibi tarif edebiliriz. Bir kısım maddeler elektrik deşarjı, elektron bombardımanı veya belirli dalga boylarındaki ışına maruz kaldıklarında radyasyon yayarlar. Sıcaklık sebebiyle oluşan radyasyona ısı radyasyonu olarak adlandırıyoruz. Ve fiziğin ısı transferi konusuna giren bir konudur.

Işınım (radyasyon), sonlu sıcaklığa sahip bir cismin atom ve moleküllerinin elektronik düzenlerindeki değişmelerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yaydığı enerji anlaşılır. İletim ve taşınım ile ısı transferinin aksine, ışınım ile ısı transferi için fiziksel bir ortama ihtiyacı yoktur. Hatta ışınım ile ısı transferi boşluk ortamda daha etkili olarak gerçekleşir. Buna örnek olarak güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını verebiliriz. Isı ışınımında enerji, sıcak ve soğuk cisimler arasında doğrudan ya da dolaylı temas olmadan, elektromanyetik dalgalar yardımıyla yayılarak gerçekleşir. Bir maddenin sıcaklığının artması, o maddeyi oluşturan taneciklerin hareketinin artması bununla bağımlı olarak ışınım enerjisini de artması demektir.

Katı, sıvı ve gaz halindeki bütün cisimler, mutlak sıfırın ( $0K = -273^{\circ}C$ ) üstündeki sıcaklık değerlerinde elektro manyetik dalgalar biçiminde, enerjiyi yayar aynı zamanda da yutarlar. Doğadaki tüm maddeler yüzeylerine gelen ışınımı farklı oranlarda yayar, yutar ya da geçirirler.

Isısal ışınım (termal radyasyon) etrafımızı saran tüm çevreden yayılabilir. Işınım yayın bir enerji yüzeye çarptığında, bir miktarı yüzeyden yansiyabilir, bir kısmı yüzey tarafından emilebilir ve kalan miktarı da yüzeyden geçirilebilir.

Eğer ışınım yüzeyi geçerse az bir kalınlıkta yutulur ve iç enerjiye dönüşür. İşte bu tür cisimler opak (donuk) yüzey olarak adlandırılırlar. Donuk yüzeyler arasındaki bu olaya yüzey ışınımı adını alır.

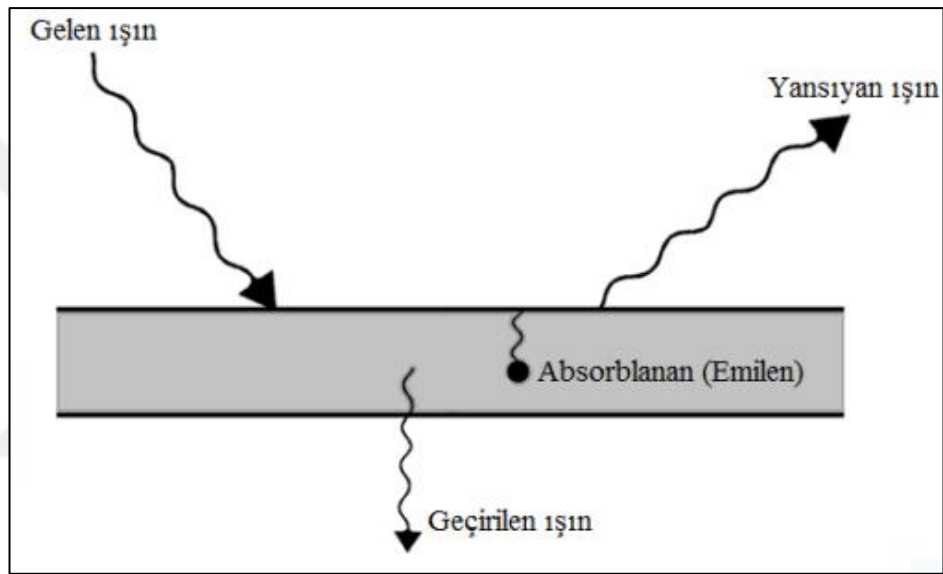
p: Yüzeyden yansıyan kısmın, yansıma katsayısı

$\alpha$ : Yüzeyden emilen kısmın, soğurma katsayısı

$\tau$ : Yüzeyden geçen kısmın, geçirgenlik katsayısı ile ifade edilir. Yüzeye ulaşan ışınımın büyüklüğünü 1 birim olarak kabul edersek;  $p+\alpha+\tau = 1$  olarak ifade edilir. Opak maddeler için geçirme katsayısı olarak  $\tau = 0$  alınır ve denklik  $p+\alpha=1$  şeklinde olur. Katıların birçoğu (cam hariç) ısısal ışınımı geçirme özelliği yoktur. Yani ısısal

ışınıma karşı opak (saydam olmayan) olarak davranır.  $\rho$ ,  $\alpha$  ve  $\tau$  bir ortamın her yönde ve dalga boyunda olan ortalama özellikleridir.

Koyu renkli cisimler, açık renkli cisimlere göre daha fazla radyasyonu emer, ayrıca pürüzlü ve kuru yüzeyli cisimler, pürüzsüz ve ıslak yüzeyli cisimlere göre daha fazla radyasyon emer. Siyah cisim olarak tanımlanan cisim ise mükemmel bir radyasyon yayma ve emme özelliğine sahiptir. Siyah cisim dalga boyu ve ışının yönüne bağlı olmaksızın gelen ışının tamamını emer. Siyah bir madde için ise  $\alpha=1$  alınır. Bahsi geçen cisme en yakın yüzeyler siyah karbon ve platindir. Aşağıda şekil 4.3'te ışın yayan enerjinin yüzeydeki ışınım olasılıkları verilmiştir.



**Şekil 4.3:** Işın yayan enerjinin bir yüzeydeki olası ışınım davranışları

Isıl ışınma konusu on dokuzuncu yüzyılda fizikçilerin en çok araştırma yaptığı fizik konularından biriydi. Josef Stefan, John Tyndall'ın deneysel verilerinden de yararlanarak 1879 yılında ısı ışınma şiddetinin sıcaklığın dördüncü kuvvetine bağlı olduğunu deneysel olarak gözlemlemeyi başardı. Daha sonra öğrencisi Ludwig Boltzmann, termodinamik yasalarını da kullanarak bu bilgiyi teorik olarak da ispatlayarak bilimselleştirdi. O yüzden yasa Stefan-Boltzmann kanunu olarak isimlendirilmiştir. Aşağıda (4.10)'da verilen denklem Stefan-Boltzmann Kanununun ifadesidir.

**Stefan-Boltzmann yasası:** T sıcaklığına sahip bir yüzeyden birim alanından birim zamanda yayılabilecek ışınım miktarı, yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır şeklinde ifade edilen bir fizik yasasıdır.

$$E_b = \sigma T^4 \quad (4.10)$$

Bu denklemde;

$\sigma$ : Stefan-Boltzmann sabiti,

$T_s$ : Mutlak sıcaklık değeri,

$E_b$ : Siyah cisim için yayma gücüdür.

**SI** birim sisteminde  $\sigma=5,6704.10^{-8}$ Watt /M<sup>2</sup> K<sup>4</sup> şeklindedir.

Sıcak bir cismin yaydığı ısı akımını, Stefan-Boltzmann'a göre hesaplamak istersek (4.11)'deki denklemi kullanırız.

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (4.11)$$

Bu denklemde;

**Q**: Isıl ışımayla yayılan ısı akımı, W (kcal /h),

**A<sub>s</sub>**: Cismin yüzey alanı, m<sup>2</sup>,

**T**: Cismin mutlak sıcaklığı K,

**ε**: Nesnenin yüzeyine ve rengine bağlı olarak değişen ısı ışıma katsayısıdır.

Bu katsayı koyu renkli cisimlerde 1'e yakın iken açık renkli olan cisimlerde daha düşük değerlerdedir. W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup> (kcal/m<sup>2</sup>.h.K<sup>4</sup> ) Çizelge 4.3'de bazı malzemeler için yayma katsayıları verilmiştir.

Gerçekte ışıyan her nesne aynı zaman çevresindeki nesnelerin ışıyanın da emer. Bu sebeple nesne çevre ile karşılaştırılabilir bir sıcaklıkta ise yasanın (4.12)'deki denklemi kullanılır;

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{ç}^4) \quad (w) \quad (4.12)$$

Net ışıyan ısı transferi: Bir yüzeyin yaydığı ışıyan ile soğurduğu ışıyan arasındaki farkı ifade eder. İki yüzey arasındaki net ışıyan ısı transfer hızını bulmak, yüzeylerin özelliklerine, birbirlerine göre yerleşme durumlarına ve yüzeyler arasındaki ortamın ışıyanla olan etkileşmesine bağlı olduğundan, genel olarak karmaşık bir meseledir.

Isı geçişi, doğada ve güncel yaşantımızda kullandığımız türlü cihazların çalışmasında örneklerini gördüğümüz fiziksel bir olaydır. Son zamanlara kadar ısı geçişi konusunda sahip olunan bilgiler son derece az ve çoğunlukla deneysel temele dayanmakta iken, günümüzde gelişen analitik çözüm tekniklerinin ve süper hızlı bilgisayarların varlığı nedeniyle, ısı transfer teorisi de hızla gelişmektedir. Bu

gelişimde, deneysel yöntemlerde sağlanan ilerlemeler ve teori deney arasındaki farkın kapanması da önemli rol oynamaktadır.

**Çizelge 4.3:** Bazı malzemeler için yayma katsayıları

300 K sıcaklıkta malzemelerin yayma katsayıları	
Malzeme adı	Yayma katsayısı
Alüminyum folyo	0,07
Anodize alüminyum	0,82
Parlatılmış bakır	0,03
Parlatılmış altın	0,03
Parlatılmış gümüş	0,02
Parlatılmış paslanmaz çelik	0,17
Siyah boya	0,98
Beyaz boya	0,90
Beyaz kâğıt	0,92-0,97
Asfalt döşeme	0,85-0,93
Kırmızı tuğla	0,93-0,96
İnsan derisi	0,95
Ağaç	0,82-0,92
Toprak	0,93-0,96
Su	0,96
Bitkiler	0,92-0,96

#### 4.4 Isı Transferinin Mühendislikte Kullanım Alanları

Isı transferi konusu günlük hayatımızda ve mühendislik dallarında geniş bir kullanım alanı bulur. En yaygın olarak karşımıza çıkan sektörler ve kullanım yerleri aşağıda liste halinde verilmiştir.

- Buhar kazanları, yoğuşturucular, nükleer reaktörler, buhar türbinleri, çeşitli pompalar ve kompresörler, ısı değiştirici makinaların tasarlanması esnasında ve hesaplarında,
- Kimyasal süreçlerin analizinde,

- Jet motorları, gaz türbinleri ve içten patlamalı motorların imalat esaslarının belirlenmesi, soğutma ve yanma süreçlerinin analizi
- Yapılarda havalandırma, soğutma ve ısıtma sistemlerinin projelendirilmesinde,
- Jeneratör, transformatör ve elektrik motoru vb. makinelerinin soğutma sistemlerinin tasarım ve uygulamaları,
- Meteorolojide hava olayları ile ilgili tahmin ve problemlerin çözümü,
- Havacılık ve uzay araştırmalarında karşılaşılan problemlerin çözümü,
- Güneş enerjisi gibi alternatif temiz enerji kaynakları ile ilgili olan uygulamalarda,
- Metalurji mühendisliği ile ilgili problemlerin çözümü,
- Bilgisayarların soğutma sistemleri [12].

#### 4.5 Isı Enerji Transferinde Kullanılan Akışkanlar:

Sıcak su, kızgın su, alçak ve yüksek basınçlı buhar, kızgın yağ ısı enerjisi naklinde kullanılan maddelerdir.

- **Sıcak sulu ısıtma sistemleri:** Çıkış suyu sıcaklığı 110 °C 'ye kadar olan sistemler TS 2796 veya DIN 4751 standartları referans alındığında bu gruba girerler. Pratikte bu değer 90–70 °C'dir. Su maliyeti çok ucuz bir madde olmasına rağmen ısıyı transfer kabiliyeti diğer akışkan maddelerden daha iyidir.
- **Kızgın sulu ısıtma sistemleri:** Çıkış suyu sıcaklığı 110 °C 'den daha yüksek olan sistemler TS 2736 veya DIN 4752 standartları referans alındığında bu gruba girerler.
- **Buhar ile ısıtma sistemleri:** Alçak basınçla ısıtma sistemi ve yüksek basınçla ısıtma sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

**Alçak basınçla ısıtma sistemi:** Sistemdeki buhar basıncı maksimum 1 bar ve bunun altında olan ısıtma sistemleridir.

**Yüksek basınçla ısıtma sistemi:** Sistemdeki buhar basıncının değeri 1 bar'ın üzerindeki ısıtma sistemleridir. Günümüzde yaşam alanlarının ısıtılması için buhar artık kullanılmamaktadır. Ancak hızlı ısıtılması gereken daha seyrek veya periyodik olarak kullanılan fuar, sergi ve konferans salonları gibi yerlerde bu seçenekte

düşünülebilir. Sıcak su ya da kızgın su ile yapılan ısıtma sistemleri avantajları sebebiyle buharın yerine tercih edilmelidir.

10 bar sistem basıncına ve buna karşılık olarak 180 °C işletme sıcaklıklarına kadar yüksek basınçlı buharlı ısıtma kullanılır. Eğer az miktarda ve kısıtlı bir alanda buhara ihtiyaç duyulursa o zaman buhar jeneratörleri tercih edilebilir.

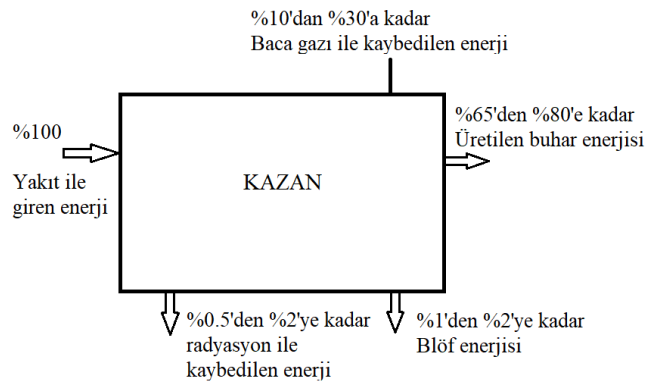
- **Kızgın yağ ile ısıtma sistemleri:** Kaynama sıcaklık değerleri 260 °C- 390 °C arasında olan yağlar, bu tip sistemler için ısı transfer yağı olarak kullanılır. Yüksek derecede çalışma sıcaklıklarına gereksinim olan otomotiv, kimya, ağaç, tekstil gibi sanayi kollarında endüstriyel ısıtma, kurutma, pişirme gibi süreçlerde kullanımları tercih edilir.

Yüksek sıcaklık isteyen süreçlerde ısı transfer akışkanı olarak kızgın yağ kullanılmasının sebebi; bu gibi yerlerde basınç ihtiyacının yüksek olmasıdır. Buradaki değerlerin fazla olması buhar ile çalışma olanağını ortadan kaldırmaktadır. Alternatif olarak kızgın yağ kazanları kullanılır. Sistemin maksimum basıncı 1 bar; sistem yüksek basınçlı olmadığından daha güvenlidir, korozyon tehlikesi de yoktur. Kızgın yağ sistemin toplam maliyeti, genellikle buharlı veya kızgın sulu sistemlerin maliyetinden daha düşüktür. Tesis yerel olarak ve sadece yüksek sıcaklık isteyen proses için kurulur [1].



en önemli noktadır. Kazanların ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle kazan seçimi yapılırken, hangi amaçla kullanılacaksa ona uygun bir seçim yapılmalı, bakım ve işletilmesinde de gereken maksimum ihtimam verilmelidir. Kazan tercihinde; Hangi amaçla kullanılacağı, hangi kapasite ile çalıştırılacağı, beklenen basınç ve sıcaklık değerleri, kazan besisi suyunun kazana giriş anındaki sıcaklık değeri, kullanılacak yakıtın cinsi, suyun sertlik derecesi ve yakıtın alt ısıl değeri, yakıtın fiyatı ve piyasada temin edilebilirliği gibi esaslar göz önüne alınarak ayrıntılı bir fizibilite çalışması yapılmalıdır. Kullanım yerine göre doğru seçim yapılmış, rutin kontrolleri, yıllık aylık ve günlük periyodik bakımları düzenli olarak ehil kişiler tarafından yapılan buhar kazanlarında verimliliği sağlamak çok daha kolaydır [13,14]. Maalesef İşletmelerde maksimum verimi yakalamak yerine daha çok kapasiteye dayalı bir işletme modeli uygulandığından, buhar kazanları tamamen operatör kontrolünde ve istenen miktarda buharı elde etmek amacıyla yüksek verim hedeflenmeden çalıştırılmaktadır [15].

Buhar kazanlarında yanma verimliliği, yanma sürecinin kalitesine ve de yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin kazan içerisindeki akışkana transfer miktarına bağlı olarak hesaplanır. Sanayi işletmelerinde ısı transferinin yönetiminde en can alıcı nokta, ısı dengliğidir. Normal şartlar altında bir sisteme verilen enerji miktarı ile çıkıştaki enerji miktarının enerjinin korunumu kanununa göre (Termodinamiğin Birinci Yasası) dengliğinin sağlanmaya çalışılmalıdır. Aşağıda şekil 5.2’de buhar kazanına giren toplam yakıt enerjisi ve üretilen buhar enerjisi (faydalı enerji) ve sistemdeki kayıp enerjiler görülmektedir [16].



**Şekil 5.2:** Buhar kazanlarındaki enerji kayıp noktaları

**Kaynak:** (Barma et al. 2017)

Buhar kazanlarında ısı verimliliğini direkt ve dolaylı olarak üzere iki farklı metot ile hesaplamak mümkündür.

**1-Dolaysız (direkt) verim hesaplama metodu:** Bu hesaplama yöntemi, yakıtla kazana giren enerji ile üretilen buharının enerjisinin oranı hesaplanarak yapılmaktadır. Bu yöntem ile kazan veriminin hesaplanabilmesi için yakıt debisinin ve üretilen doymuş buhar debisinin ölçülmesi gerekir.

Buhar kazanlarında direkt verimi hesaplamadan önce ağıdaki kavramları yeniden hatırlamak faydalı olacaktır.

**Buharlaşma ısı (entalpisi):** Verilen bir sıcaklıkta sıvının bir molünü buharlaştırmak yani gaz haline getirmek için gerekli toplam enerji miktarına o sıvının molar buharlaşma entalpisi (veya ısı) adı verilir. Sıvının kaynama sıcaklığında ölçülür ve genellikle joule /gram veya kJ/mol birimleri cinsinden ifade edilir. Suyun buharlaşma ısı 2257 joule/gram (yaklaşık 540 cal/g). Aşağıda çizelge 5.1’ de bazı maddelerin buharlaşma ısıları verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Çeşitli maddelerin kaynama noktaları ve buharlaşma ısıları

Madde türü	Kaynama noktası (C°)	Buharlaşma ısı (kJ/kg)	Buharlaşma ısı (cal/g)
Alüminyum	2450	11400	2723
Bakır	1187	5069	1211
Demir	3023	6340	1515
Etil alkol	78	850	203
Gümüş	2193	2336	558
Kurşun	1750	870	208
Su	100	2260	540
Cıva	357	295	70

**Alt ısı değer:** Bir birim yakıtın yanması sonucunda oluşan suyun buhar fazında olması durumunda elde edilen enerjidir. Direk verimi hesaplamak için;

$$\eta_{\text{kazan}} = \frac{\text{faydalı enerji}}{\text{verilen enerji}} \times 100 \quad (5.1)$$

$$n \text{ kazan} = \frac{mb \cdot ib - ms \cdot is}{B \cdot Hu} \quad (5.1)$$

Direk yöntemde; besi suyu ve buhar miktarı, besi suyu ve ara buharın sıcaklık ve basınçları, yakıt besleme miktarı ve de yakıt alt ısıl değeri ölçülüp verim hesap formülünde ölçülen değerler yerine koyularak verim direkt olarak hesaplanır. Formüldeki kısaltmaların detayı;

**n:** Verim

**mb:** Ölçülen buhar debisi (kg/h)

**ib:** Buhar entalpisi (kcal/kg)

**ms:** Ölçülen su debisi (kg/h)

**B:** Ölçülen yakıt debisi (kg/h)

**is:** Besi suyu entalpisi (kcal/kg)

**Hu:** Yakıtın alt ısıl değeri (kcal /kg)

**NOT:** Yakma havasının harici ısı ile ısıtılması durumunda, havanın taşıdığı ısı, yakıt ısısına eklenmelidir.

**1-Dolaylı verim hesaplama metodu:** Eğer buhar tarafının debisini ölçülemiyorsak indirekt verim hesap yöntemi ile kazan verimini hesaplamak mümkündür. Dolaylı yöntem, sisteme giren enerji ile prosesdeki hesaplanan toplam kayıplar arasındaki farka dayanmaktadır. Yakıtle kazana giren enerji % 100 kabul edilir ve kazandan çıkan/atılan enerjilerin oranları hesaplanıp toplanır. Giren enerji oranı ile kazandan çıkan/atılan enerjilerin oranları toplamı arasındaki fark dolaylı kazan verimi olarak tanımlanır, denklem (5.2)' de verilmiştir [14,17].

$$n \text{ kazan} = 100 - \text{Toplam kayıplar}(\%) \quad (5.2)$$

Kazan ısı kayıplarını; eksik yanma, fazla hava, baca gazında oluşan su buharı, baca gazı sıcaklığı, yakıt cinsi, kazan yükü, kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları, ısıtıcı yüzey kirliliği, blöfle atılan ısı enerjisi, yalıtım eksiklikleri ve borulardaki birikintiler olarak listeleyebiliriz.

Dolaylı verim hesaplamasının direkt verim hesaplamadan avantajlı yönü, enerji kayıplarının kazanın hangi bölümünden kaynaklandığı tespit edilebilmesini mümkün kıldığı için o kısımlara müdahale ederek kazan verimini daha kolay artırmak mümkün olmaktadır.

Bu bilgiler ışığında kazanlarda verimliliği ve ısı transferini engelleyen noktaları aşağıda verilen başlıklar altında toplamak mümkündür.

### **5.1.1 Eksik yanma nedeniyle olan ısı kaybı**

Kazandaki yanma havasının, gerekli minimum hava/yakıt oranının altında kalmasıyla tam yanma gerçekleşmez eksik yanma oluşur. Verimlilik de bu doğrultuda düşer. Katı ve sıvı yakıt içerisinde bulunan yanıcı maddelerin yanmayarak kül içinde kalması ya da baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit olarak atılması durumunda eksik yanma meydana gelmektedir. Bacadan atılan atık gazları hava ve çevre kirliliğine sebep olur. Baca gazı atık gazları standartlarda belirtilen değerlerin altında olmalı, çevreyi kirletmemelidir. Kül ve cüruf miktarı tam yanmamaya bağlı olarak artar ve artan cüruf miktarı kazan içerisinde havanın yayılımını engeller. Yanma veriminde elde edilen her % 1'lik bir iyileştirme, yakıtın kullanımında % 1'e varan bir tasarruf oranı anlamına gelmektedir.

### **5.1.2 Baca gazı içindeki su buharına bağlı gizli ısı kaybı**

Baca gazlarının içerdiği su buharının bünyesinde taşıdığı ısıdan dolayı meydana gelen kayıplar gizli ısı kaybı olarak tanımlanmaktadır. Yakıtlar; serbest nem şeklinde ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı bünyelerinde nem taşırlar. Bilindiği üzere su yanıcı bir madde değildir. Yanma olayı sırasında, yakıtın bünyesinde bulundurduğu nem, buharlaşarak açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu su buharı, kazanın ısı enerjisinin belli bir miktarının bacadan atmosfere bırakılmasına sebep olmaktadır. Yakıtta bulunan serbest nemin yanma işleminden önce mümkün olduğunca azaltılması enerji tasarrufu sağlamak için şarttır. İlave olarak gizli ısıdan dolayı kaybolan enerjiyi yeniden sisteme döndürmek için çığ noktası sıcaklığı altına kadar düşürülen baca gazları içindeki buhar yoğunlaştırma yolu ile ayrılır ve buradan kazanılan ısı tekrar sisteme katılır [18].

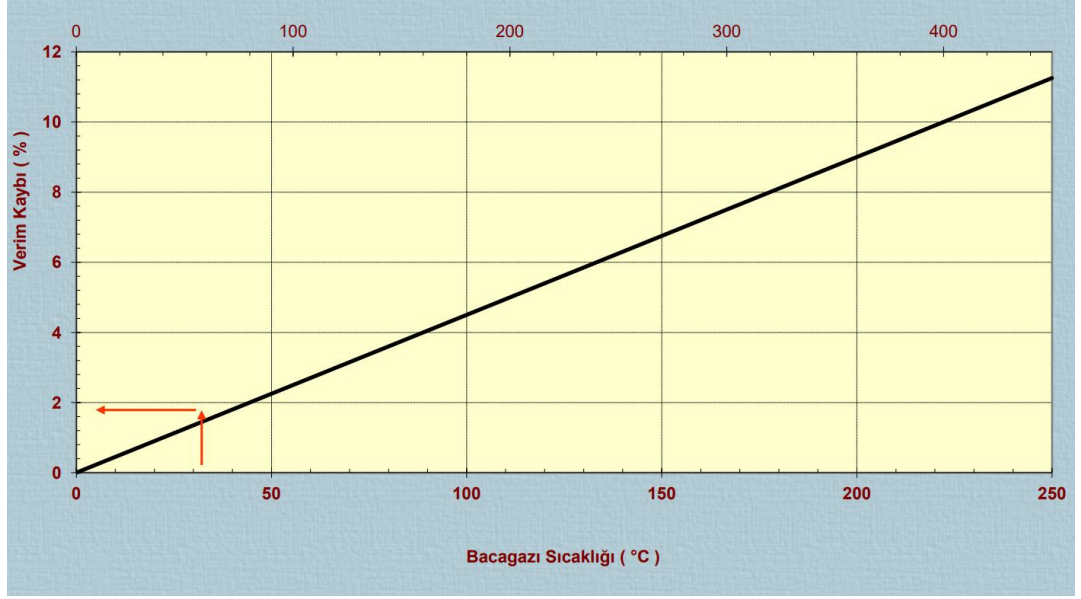
### **5.1.3 Fazla hava nedeniyle olan ısı kaybı**

Bütün yakıt tipleri için belirlenmiş bir referans hava/yakıt oranı vardır. Buna paralel olarak ta yakıt cinsine göre referans oksijen değerleri teorik olarak belirlenmiştir. Yakıt / hava oranını; çıkan egzoz gazlarının analizini yaparak ya da akış debilerini ölçerek hesaplayabiliriz.

Buhar kazanlarında, hava/yakıt oranı, yanma sistemlerinde herhangi bir problemle sebep olmayacak şekilde en az çalışma seviyesinde ayarlanmalıdır. Eğer hava/yakıt oranında hava miktarı olması gerektiğinden fazla olursa bu durum baca gazı miktarını arttırır ve artan bu miktardaki hava, baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerjii kendi üzerine alacağından daha fazla ısınıp baca yoluyla atmosfer ortamına atılmasına neden olur. Baca gazındaki artış, gaz debisinin artmasına bağlı olarak hızın da artmasına ve bu yüzden ısı transferinin düşüşüne yol açmaktadır. Bu gibi durumlar yüzünden hava miktarının mümkün olan en düşük seviyelerde tutulmaya çalışılması gerekir. Kazanlarda hava-yakıt oranının periyodik olarak kontrol edilip olması gereken değere revize edilmesi verimi arttırmanın en kolay yöntemlerinden biridir. Bunu sağlamak için; baca gazındaki O<sub>2</sub> seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir.

#### **5.1.4 Baca gazı sıcaklığı ile olan ısı kaybı**

Kazan verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de baca gazı sıcaklığıdır. Buhar kazanlarında yakıt ile sisteme giren ısı enerji suya yeterince aktarılamaz ise baca gazı ile atılmak zorunda kalır. Bu nedenle kazanlardaki en büyük enerji kayıp kaynağı baca gazından atılan enerjidir diyebiliriz. Baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde bacadan atmosfere fazladan enerji atılmış olur. Bu durumda kazan verimi düşer. Bacadan atılan enerjinin yüksek olmasının iki ana sebebi vardır. Birincisi ısı transfer yüzeylerinin yetersiz olmasıdır. Buda kazanların ilk kurulumunda fizibilite çalışmalarının ve ihtiyaca göre kazan seçmenin önemini bir kez daha bizlere ispatlıyor. Böyle durumlarda önlem olarak bacaya hava ön ısıtıcısı yerleştirmek ya da kızdırıcıları yerleştirerek baca gazının ısısından faydalanma yoluna gidilmelidir. İkincisi ise ısı transfer yüzeylerinde oluşan kirliliklerdir. Isı transfer yüzeyinde oluşan bu birikintilere oluşmadan önlem almak en doğru yoldur. Oluşması durumunda ise, kazana verilen besi suyunun sertliği kontrol edilmeli ve kazan boruları periyodik olarak temizlenmelidir. Baca gazının ölçümlerinde normal sıcaklığı aşan her 17 C°'lik fark verimde yaklaşık olarak %1'lik bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür [19,20]. Aşağıda şekil 5.3'te baca gazı sıcaklığının verime olan etkisini grafik olarak görmekteyiz.



**Şekil 5.3:** Baca gazı sıcaklığının verime olan etkisi

### 5.1.5 Yakıt cinsi

Farklı yakıtlar, farklı oranlarda karbon ve hidrojen ihtiva ettikleri için ısı değerleri, yanma sonucu baca gazındaki nem miktarları, kül, cüruf ve kurum miktarları değişmektedir. Buna bağlı olarak da kazan verimi değişmektedir.

Yakıtlara göre ortalama kazan verimleri:

Katı %60 <math>\eta\_{\text{kazan}}</math> <math>< \% 75</math>

Sıvı %70 <math>\eta\_{\text{kazan}}</math> <math>< \% 85</math>

Gaz %85 <math>\eta\_{\text{kazan}}</math> <math>< \% 95</math> [21].

### 5.1.6 Kazan besi suyu nedeniyle olan ısı kaybı

Buhar kazanlarının kesintisiz olarak sürekli şekilde buhar üretebilmesi için gereksinim duydukları su kaynağına kazan besi suyu denilmektedir. Kazandan çıkan buharın, ısıtılmış yoğuşum suyu şeklinde tekrar kazana dönünceye kadar geçirmiş olduğu devreler de buhar ve fid (besi) suyu devresi olarak adlandırılmaktadır.

Endüstriyel tesislerde kullanılan buhar kazanlarının kullanım alanlarında verimli bir şekilde çalışabilmesi için besi suyunda aranan bazı kritik özellikler bulunmaktadır. Bu özellikler TS 377 EN 12953-10 standardında tanımlanmıştır. Bu değerler Ek B 'deki tabloda verilmiştir.

Su içinde bulunan istenmeyen maddeler, erimiş, erimemiş (askıda) veya gaz halinde olarak üç temel formda bulunurlar. Kazan besi suyunda organik madde, yağ, gaz ve

sertlik oluşturan yabancı kimyasalların bulunmaması gerekir. İstenmeyen bu maddelerin suda olması halinde, cihazın su tarafında birikinti ve tabaka oluşturarak ısı transferini engeller. Bu olayın sonucunda sistemdeki cihazların korozyona uğraması veya köpüklenme ve kabarcıklar yaparak kızdıricılara su sürüklenmesi gibi olumsuz durumlar oluşur. Kazan Besi suyu bu özellikleri taşımadığı durumlarda çeşitli yöntemlerle TS 377 EN 12953-10 standarttaki değerler sağlanmaya çalışılmıdır. Çizelge 5.2’de bazı ülkelere göre suyun sertlik derecesi sınıflandırmaları verilmiştir [22].

**Çizelge 5.2:** Ükelere göre su sertliğinin sınıflandırılması

Ükelere Göre Su Sertliğinin Sınıflandırılması			
SU SERTLİĞİ	ALMAN	FRANSIZ	İNGİLİZ
Çok Yumuşak	0-4	0-7.2	0-5
Yumuşak	5-8	7.3-14.2	6-10
Orta Sert	9-12	14.3-21.5	11-15
Oldukça Sert	13-18	21.6-32.5	16-22.5
Sert	19-30	32.6-54	22.5-37.5
Çok Sert	30’dan fazla	54’ten fazla	37.5’ten fazla

#### 5.1.6.1 Kazan besi suyunun özelliğini belirleyen tanımlar

**İletkenlik:** Bir maddenin elektrik enerjisini iletme becerisidir. Buhar tesisatlarındaki iletkenlikten, suyun içerisinde çözülmüş olarak bulunan toplam iyon miktarına bağlı olarak değişen bir özellik kastedilmektedir. Sistem içerisindeki iyon miktarının belirlenen değerlerin üzerine çıkması ya da yine bu değer altına düşmemesi hedeflenmektedir. Suyun saflık değeri arttıkça iletkenlik değeri bununla ters orantılı olarak azalır. Direnç biriminin tersi olan iletkenliğin birimi  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Kazan besi sularında iletkenlik değerinin hangi sınırlar arasında olması gerektiği TS EN 12952-12 ve TS EN 12953-10 gibi uluslararası standartlar ile belirlenmiştir (bkz. EKA). Belirlenen bu değerlerin dışındaki iletkenlik değerleri, korozyon ve sürüklenme gibi istenmeyen olaylara sebep olur. Besleme suyunun iletkenlik değeri demineralizasyon ve ters ozmos gibi yöntemler ile olması gereken değerlere çekilebilir.

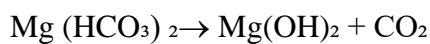
**Toplam çözünmüş katı madde:** Suyun içerisinde çözünmüş halde bulunan katı haldeki maddelerin toplamıdır. Bu maddelerin toplamı ile suyun iletkenliği arasında direkt olarak bir oran mevcuttur.

**Askıdaki Katı Maddeler:** Suyun içerisinde asılı olarak bulunan maddeler, suyu bulanık hale getirir ve suya bir renklilik de verir. Bu tip suları, filtreden geçirerek kazana besi suyu olarak verilmelidir. Eğer bu olay ihmal edilirse askıdaki maddeler kazan içinde yumuşak birikinti, gevşek çamura neden olur ayrıca köpürmeye de sebep olur.

**pH değeri:** Suyun asidik veya bazik olma durumunu ifade eder. Standartlarda belirtilen sınır değerlerin dışında ölçülen pH değerleri, buhar kazanı ve tesisatta asit veya kostik korozyonuna sebep olur. Bu olumsuz durumun giderilmesi için suya asit ya da kostik ilave edilerek pH değeri istenilen referans değer aralığına getirilir.

**Alkalinite:** Suyun özelliklerindedir ve birçok sanayi sektöründe istenmediği için ortadan kaldırılması gerekir. Suyun asidi etkisiz hale getirme yeteneğini ifade eder. Suyun alkalinitesini karbonat, bikarbonat ve hidrosit iyonlarının su içindeki miktarları oluşturur. Bunların miktarları (ppm CaCO<sub>3</sub>) cinsinden bulunur. Suyun “Alkalinite” değerinin yüksek olması buhar kazanları için zararlıdır. Alkalinite değerinin olması gerekenden az veya fazla olması, kazanda kostik kırılması, köpürme ve buhar-kondens sisteminde karbondioksitten dolayı korozyon gibi istenmeyen durumlara sebebiyet verir. Suya dealkalizasyon işlemi uygulanarak suyun alkalinitesi olması gereken değere aralığına çekilir.

**Geçici sertlik:** Kalsiyum ve magnezyum karbonat ve bikarbonatlarından dolayı meydana gelen sertliğe geçici sertlik denir. Pratikte karbonat sertliği olarak da adlandırılır. Geçici sertliği gidermek için suyun kaynatılması yeterlidir. Geçici sertliği meydana getiren kalsiyum ve magnezyum bikarbonat tuzları, ısı sayesinde ayrıştığında CaCO<sub>3</sub> ve Mg (OH)<sub>2</sub> meydana gelmektedir. Daha sonra bu iki bileşik su içinde çökerek sudan ayrılmaktadır. Oluşan her iki çözeltinin çözünürlük değeri sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir.



**Kalıcı sertlik:** Sudaki kalıcı sertlik, sudaki kalsiyum ve magnezyumun klorür, nitrat, sülfat, silikat ve fosfatlarından dolayı oluşan sertliktir. Bu tip sertliği suyu kaynatmakla gidermek mümkün değildir ve sertliğe kalıcı sertlik olarak adlandırılır. Sülfatlardan kaynaklanan kalıcı sertlik, sodyum karbonat ile giderilmektedir [23].

**Toplam sertlik:** Kalıcı sertlik ve geçici sertliğin toplamı olarak tanımlanabilir. Suyun içerdiği çözülmüş kalsiyum ve magnezyum tuzlarının miktarı, suyun sertliğinin ölçüsüdür. Suların sertliği, uygulamada yaygın olarak içerdikleri sertlik veren maddelerin  $\text{CaCO}_3$  cinsinden miktarı ile belirlenir. Yüksek sertlik, kazanda kışır oluşumuna neden olur. Suyun sertliği, kazana girmeden önce su yumuşatma işlemi ile giderilmesi gerekir.

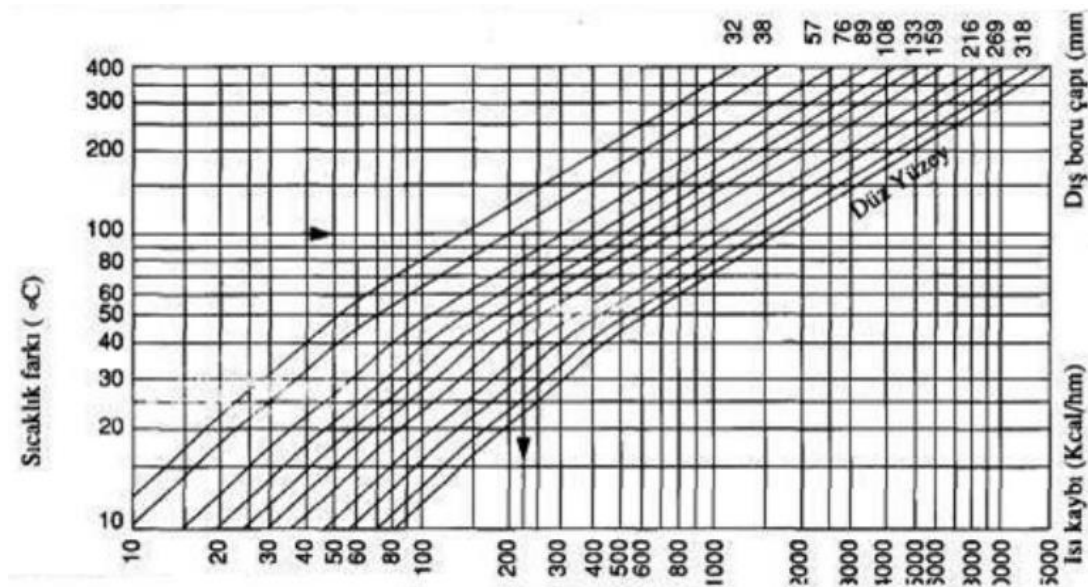
Buhar kazanı imalatçıları tarafından düzenlenen kullanma ve bakım kılavuzlarında belirtilen "Kazan Verimi" değeri, kazanı oluşturan kazan elemanları, buhar hattı boruları ve kazan gövdesi saçlarının yeni ve kirlenmemiş durumuna göre hesaplanmış olan ideal değerlerdir. Besi suyu olarak sert sular kullanılan buhar kazanları için kazan broşüründe belirtilen ideal verim değeri kısa bir süre sonra geçersiz bir değer haline gelecektir. Eğer Kazan veriminin daima yüksek olmasını sağlamak istiyorsak ki ekonomik olarak işletmelerin hedefi bu olmalıdır, buhar kazanı besi suyunun hazırlanması için gerekli cihazların da itina ile seçilmesi ve sonra da aynı itina ile işletilmesi gerekir. Buhar kazanının işletme verimi, ürettiği buharın saflık derecesi ve kazanın kullanım ömrü, kazanın imalat kalitesine bağlıdır. Fakat bu noktalardan daha etkili olan ve verimi direkt olarak etkileyen başka bir nokta, kazanın beslediği suyun saflık derecesidir. Bu yüzden buhar kazanı kullanılan bir tesiste, buhar kazanı seçimi ve buhar hattı tasarımı yanında aynı özenle kazan besi suyu hazırlama sistemi de projelendirilmeli ve bu kurulan sistemin doğru ve verimli işletilmesi için yetkin bir teknisyen işin başına yerleştirilmelidir.

#### **5.1.7 Yanma havası sıcaklığına bağlı olan ısı kaybı**

Kazan verimini artırmak için, bacadan çıkan salınım gazlarının ısını reküperatör cihazı sayesinde yanma havasına aktarabiliriz. Yanma havası bu gazların sayesinde ısıtılarak verim oranı artırılabilir. Yanma havasının  $56\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmasıyla verim %2 gibi bir oranda yükselir [24].

### 5.1.8 Kazan yüzeyinden, borulardan olan ısı kaybı ve ısı yalıtım malzemeleri

Isı yalıtımını en basit haliyle, enerji kazanmak için, ortamlardaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek ısı kayıplarını ve kazançlarını önlemek için alınması gereken önlemler olarak tanımlayabiliriz. Tesislerde kazan ve ısı transfer yüzeylerinde yalıtımın iyi yapılmadığından dolayı olan ısı kayıpları ve buna bağlı olarak da verim kayıpları yaşanmaktadır. Tesisatlar da ısı yalıtımı teknik bir konu olup uzmanlık gerektirir, Mevcut ortam şartlarına göre, hangi yalıtım malzemelerinin tercihen kullanılacağına iyi bilinmesi gerekir. Hesapsız yapılan tesisat yalıtımı boşa yapılan bir harcamadan öteye geçemeyebilir. Bu nedenle boruların soğuk, ılık ve sıcak olması durumuna göre hangi malzemelerin kullanılacağı aynı zamanda da yalıtımdan önce, kritik yalıtım kalınlığı hesapları da yapılmalıdır. Bu hesaplar sayesinde aşırı yalıtım hatalarından ve maliyetlerinden de kaçınılmış olunur. Standartlara ve ortam şartlarına göre uygun yalıtımı yapılmamış olan buhar hattı boruları enerji, dolayısıyla da para kayıplarına sebebiyet verirler. Şartlara uygun iyi şekilde yalıtımı yapılmış bir buhar borusu, yalıtımı yeterince yapılmayan bir buhar borusu ile karşılaştırıldığında, yalıtılmış borudan olan kayıplar aynı boyuttaki yalıtımsız bir borudan olan ısı kayıplarının yaklaşık olarak % 15-20'si kadardır [25]. Aşağıdaki şekil 5.4'teki grafikte en uygun boru dış çapı ve belirtilen basınca göre yalıtımsız bir borudan gerçekleşen ısı transferi sırasında meydana gelen ısı kayıpları yaklaşık olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Yalıtımı yapılmayan (çıplak) borudan ısı kaybı [23]

Tesisatlar ve endüstriyel uygulamalarda, içinden geçen akışkan maddenin sıcaklığına göre tesisatlar üç ana başlık altında toplanmaktadır.

1. **Soğuk hatlar:** Akışkan sıcaklığı +6 °C'den düşük hatlar
2. **Ilık hatlar:** Akışkan sıcaklığı +6 °C ile +100 °C arasındaki hatlar
3. **Sıcak hatlar:** Akışkan sıcaklığı +100 °C'den daha yüksek hatlar

Tesisatta ısı yalıtımı, sıcak hatlarda ısı kayıplarını, soğuk hatlarda ise ısı kazancını önlemek için yapılır. Kazan, tesisat boruları ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri genel olarak aşağıda sıralanmıştır;

- Kauçuk köpüğü
- Polietilen köpüğü
- Cam yünü – taş yünü – cam köpüğü
- Poliüretan
- Kalsiyum silikat

#### **Buhar, Kızgın Su Borularının Yalıtımı:**

Buhar borusu tesisatlarının yalıtımı diğer akışkan sıvı tesisatlarının yalıtımından daha farklıdır. Uzmanlık gerektiren bir konu olduğu için daha dikkatli bir şekilde ele alınmalı ve uygulanmalıdır. Bunun sebebi bu hatlarda buhar ile birlikte yüksek basınç faktörünün de devreye girmesidir. Buhar tesisatlarında yalıtım, tesisatı dış etkenlerden koruyarak aynı zamanda ısı yalıtımını da sağlar. Yalıtım malzemeleri aşağıda sıralanmıştır.

**Prefabrik Cam Yünü:** Çıplak halde ya da alüminyum folyo kaplı halde bulunurlar. Boru çaplarına göre farklı et kalınlıklarında üretilirler. İşletme sıcaklığını +250 °C'yi geçmeyen boru yalıtımlarında kullanılabilirler. Isı yalıtımının yanında titreşim ve ses yalıtımı sağlarlar.

**Cam Yünü:** Beyaz ve sarı renklerinin karışımı bir renge sahip, inorganik yapılı bir yalıtım malzemesidir. Lifli bir yapıya sahiptir. Silis kumunun 1250 °C'ye kadar ısıtılması ile elde edilir. +250 °C'den +550 °C sıcaklığa kadar olan boru sıcaklıklarının yalıtımı için uygundur. Mukavvaya veya galvanizli tele dikili beyaz camyünü veya taş yünü bu derecelerde kullanılır. Bu malzemelerin üzerine de galvaniz sac, alüminyum veya PVC kaplanır. Eğer mukavvalı camyünü kullanılacaksa mukavvanın yanıcılığı dikkate alınmalı ve yalıtım yüzey sıcaklığı mukavvaya zarar vermemelidir. Isı yalıtımının yanında titreşim ve ses yalıtımı sağlarlar. Piyasada levha halinde bulunur [24].

**Poliüretan:** Kimyasal yapısı, organik bileşenlerden oluşan bu yalıtım malzemesi yüksek sıcaklıklarda dahi erimez. Buhar hatları yalıtımı başta olmak üzere, her tip akışkanın taşıdığı borularda kullanılır. Piyasada köpük formda bulunur. Yalıtım için tek başına kullanılabilmesi gibi, diğer yalıtım malzemeleri ile bitlikte yardımcı malzeme olarak da kullanılabilir.

**Polietilen Köpüğü:** Esnek bir yapıya sahiptir. Buhar borusu ceketi ağırlıklı olmak üzere, birçok borunun yalıtımında kullanılırlar. Yapısında propilen ve etilen vardır. Plastik kökenli bir malzemedir. Polimer halde gözenekleri bulunur. Sanayide oldukça sık kullanılır. 25-40 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahiptirler. Isı yalıtımının yanı sıra ses yalıtımı ve titreşim azalmasına da fayda sağlarlar [26].

Isıtma Sistemlerinde Yalıtım Olmayışının Ortaya Çıkardığı Sorunlar;

Enerji kaybı, verimsiz çalışma ve buna bağlı olarak işletme maliyetinin artışı,

Kazan dairesinin sıcaklığının aşırı artmasından dolayı ortamdaki mevcut diğer sistemlerin zarar görmesi veya verimsiz çalışması (Örneğin; basınçlı hava kompresöründe verimin düşmesi),

Yüksek sıcaklıktaki akışkan veya buhar armatürlerinden, yalıtımsız yüzeylerdeki sıcaklıktan dolayı kaynaklanan iş kazalarının meydana gelmesi.

Isı yalıtma malzemelerinin görevlerini iyi bir şekilde yapabilmeleri için su ile temas etmemesi ve nemlenmemeleri gerekir. Su ile temaslarında yalıtımı sağlayan hava içeren boşlukları dolduğundan yalıtım görevini gereği şekilde yerine getiremezler. Bundan dolayı su emme özelliğinin olmaması gerekir [32].

#### **5.1.9 Buhar kazanlarındaki birikintinin ısı transferine ve verime etkisi:**

Tezin amacı ve ana konusunu oluşturması sebebi ile bu maddeyi daha detaylı olarak ana başlık altında incelenmiştir.

Diğer ısı kaybına sebep olan olaylar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

- Yakıtın özelliklerine bağlı olan ısı kaybı,
- Yakma sistemi tipine bağlı olan ısı kaybı,
- Kazan yüküne bağlı olan ısı kaybı,
- Blöf miktarı nedeniyle olan Isı kaybı,
- Kuru baca gazı nedeniyle olan ısı kaybı,

- Besi suyu sıcaklığına bağlı olan ısı kaybı,
- Kondens dönüşümüne bağlı olan ısı kaybı,
- Isıtıcı yüzey kirliliği. Kazanlarda kireçtaşı oluşur. Buda ısı transferini engeller ve ısı kaybı olur.
- Brülörün yakma havasının soğuk olması sebebiyle olan ısı kaybı [27].

## **5.2 Buhar Kazanlarında Depozitin (birikinti, kışır) Isı Transferi ve Verime Etkisi**

Su doğal ortamında hiçbir zaman saf madde olarak karşımıza çıkmaz. Yeryüzüne çıktığı kaynağın kimyasal yapısına göre farklı özellikler taşır. Su çözücü bir madde olduğu için de bulunduğu ortamdaki kimyasal tuzları çözer ve yapısına katar. Suyun yapısına aldığı Ca, Mg, silis, klorür, Fe, Sülfat gibi maddeler aynı zamanda da suyun kalitesini ve sertliğini belirler. Bünyesinde çözülmüş gazlar ve yukarıda saydığımız sertlik yapıcı maddeleri çözülmüş olarak bulunduran su, ısıtma ve soğutma sistemlerinde kireçlenmeye ve oksitlenmeye sebep olur.

Su buhar kazanı veya buhar jeneratörü gibi sistemlerin içinde kaynaması sonucunda ısı transferinin gerçekleştiği yüzeylerde kristal şeklinde kireç tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka depozit, kışır, birikinti, kazan taşı, scale (İngilizce) gibi çeşitli terimlerle tanımlanır. Denizcilik sektöründe daha çok kullanılması sebebi ile bu birikintilerden bahsederken tezin ileriki bölümlerinde kışır terimi tercihen kullanılacaktır. Buhar kazanlarındaki en önemli enerji kayıplarından bir tanesi de borularda oluşan bu kışır sebebi ile meydana gelen ısı transfer problemleridir.

Isı transfer yüzeylerinde herhangi bir birikinti, kir yağ veya kışır bulunmayan, yüzeyleri temiz buhar kazan sistemlerinde kazan çeliğinin ısı iletkenlik katsayısı ile doğru orantılı olarak ısı enerjisi direkt suya aktarıldığı için ideal şartlarda buhar üretimi gerçekleşmektedir. Kazan ısıtma yüzeylerinde meydana gelen birikintiler, kazanı pek çok yönden olumsuz olarak etkiler ve kazan verimini düşürür. İlk önce ısı transfer yüzeylerindeki iletkenlik değeri düşer. Buda yakıtın suyu ısıtma gücünü etkileyerek azaltır. İç yüzeylerde katman oluşumuna sebep olan bu birikintiler, ısının kazanın içine geçmesine engel oluşturduğu için doğal olarak su da yavaş ısınır. Burada ısı geçirgenliği oranı kışırın kimyasal yapısı ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Bu olumsuzluk daha uzun süren üretim sürelerine, fazla yakıt sarfiyatına ve

de düşük verimle çalışan bir sisteme yol açar. Kışır meydana geldiğinde, kazanlardaki suyun geri dönüşüm oranı ve sisteme kazandırılması zorlaşır diğer bir deyimle su verimsizliği oluşur.

Kışır kazan ısıtma yüzeylerinin su ile direkt temasını engeller. Ateş ile temas halindeki kazan iç çeperlerinde, ısı akışının bu şekilde kesilmesinden, yüksek ısı birikimi yaşanır. Çeperde biriken bu ısı, kazan borularının malzeme özelliklerinin kaybolmasına hatta patlamalara bile yol açabilir. Kazanlarda kışıra bağlı olarak gelişen bu malzeme özelliklerinin bozulmasına malzeme tavlanması denir. Tavlanma olayı sırasında boru malzemeleri akma sınırına gelir bu da borularda eriyerek açılmalara sebep olur.

Su borulu buhar kazanlarında boruların iç yüzeylerinde, alev borulu buhar kazanlarında ise ısı transfer borularının dış yüzeylerinde kışır oluşur. Kışır oluşumu su borulu kazanlarda suyun boruların içinden sıcak gazlarında boruların dışında gitmesi sebebiyle daha da önemlidir. Alev borulu kazanlarda olay bunun tam tersidir. Yani boruların içinden sıcak gaz dışından da su geçmektedir. Su borulu kazanlarda kışır oluşumuna sıfır tolerans gösterilir. Çünkü bu kazan borularında oluşacak olan 1.5 mm lik bir kışır tabakası bile kazan boru malzemesinin tavlanmasına ve bu yüzden de yırtılma ve açılmalara sebep olabilir.

Buhar kazanlarında kışır kalınlığı 1.5mm ye ulaştınca, metali örten kışır tabakası ile metalin ısı iletkenliği ve gerilmesi farklı olduğu için yavaş yavaş termal gerilmelerden dolayı mekanik tasarım bu durumu kaldıramayacak duruma gelmekte, borular ve flanş bağlantılarında gevşemelere bağlı su ve buhar kaçakları, sızıntıları oluşmaktadır. Oluşan tabaka kalınlığı arttıkça tesisat kaçakları gibi olumsuz olaylarda daha çok artacaktır. Aşağıda şekil 5.5'te kalın bir kışır tabakası görülmektedir.



**Şekil 5.5:** Buhar kazanlarında oluşan kışır tabakası örneği

Bu gibi sorunlar zamanla, uzun soluklu zorunlu makine duruşlarına, ısı transfer kayıplarına, girdi harcamalarının ve önleme maliyetlerinin artışına, ilave yatırım gereksinimine sebep olur. Kışıra bağlı olarak daralan boru iç çapları, sistem hacminin azalmasına, verimlilikte düşüşe, tahliye pompalarının yetersiz kalması gibi problemlere sebebiyet verecektir. Olumsuzluklar sistemdeki; emniyet valfleri, buhar valfleri, göstergeler gibi diğer kazan bağlantı elemanlarının da arızalanmasına neden olur.

Yukarıda anlattığımız bütün bu olumsuz etkileri aşağıdaki şekilde iki ana grupta toplayabiliriz.

#### **1-Termik iletkenliğin azalması:**

Meydana gelen kışır ve birikintiler kötü ısı ileticilerdir ve çeşitli iletkenlik değerlerinin gösterdiği gibi izole edici görevi görürler. Oluşan kışır, buhar kazanının sağırlaşmasına ve buhar üretiminin azalmasına neden olur. Ayrıca, oluşan kışır tabakası, yakıt sarfiyatını arttırarak buhar üretiminin birim maliyetini yükseltir.

Aşağıdaki çizelge 5.3'te görüldüğü gibi ısı transfer yüzeyindeki birikintiler ısının bir proses tarafından ısıtma suyuna transferini ciddi biçimde engeller. Termal iletkenlik temiz bir karbon çelik yüzeyde  $60 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindedir. Böylece birikintilerin ne derece ısıyı yalıtıtlıkları ve ısı transferine engel oldukları daha açık bir şekilde anlaşılabilir.

**Çizelge 5.3:** Birikinti tipine göre termal iletkenlik değerleri

Birikinti tipi	Termal iletkenlik (W/m°C)
Kalsiyum karbonat	2.25-2.94
Kalsiyum sülfat	2.25
Kalsiyum fosfat	2.6
Magnezyum fosfat	2.25
Demir oksit	2.94

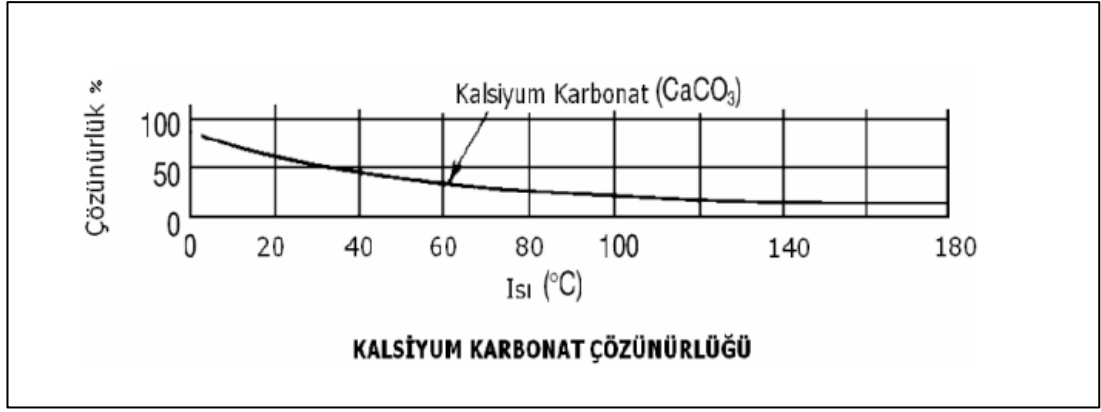
**2-Metal cidarında sıcaklık birikmesi:** Kışır tabakası ile kaplanmış olan bir cidar, ısı transferini engellediği için cidarın sıcaklığı zamanla yükselir. Bu olaya aşırı ısınma denir ve metal, mekanik özelliklerinden bir kısmını (elastikiyet vs.) kaybedebilir. Bunlar bölgesel şekil bozuklukları meydana getirip, boru patlamalarına sebep olurlar.

### 5.2.1 Buhar kazanlarında kışır oluşumunun nedenleri

Buhar kazanı sistemlerinde kışır oluşumunun iki ana sebebi vardır:

1. Yukarıda suyun doğada saf olarak bulunmadığından bahsetmiştik. İşte bu saf olmayan sular kaba su olarak tanımlanır. Kazana; kondens kaçakları ve besi suyu gibi faktörler ile giren bu maddeler sistemde kışır ve korozyon oluşumuna zemin hazırlar.

Buhar kazan besi suyu içinde bulunan çözülmüş katı maddelerin (kalsiyum ve magnezyum bikarbonat bileşikleri), buhar kazanındaki ısı etkisi ile çözünürlüklerinin azalarak daha zor çözünen veya çözünmeyen birleşikler oluşturması, boru yüzeylerine çökerek katılaşması ve de boruya yapışması kışır oluşumunda en önemli etkindir diyebiliriz. Bu olayı tanımlayan en iyi örnek su içinde bulunan bikarbonatların (geçici sertlik), buhar kazanlarında ısının etkisi karbonat (kalıcı sertlik) formuna dönerek çökmesi ile oluşan kireci verebiliriz ( $\text{CaCO}_3$ - kalsiyum karbonat). Şekil 5.6'da bu durum bir grafikte anlatılmıştır.

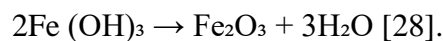
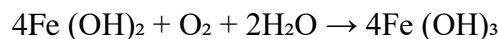
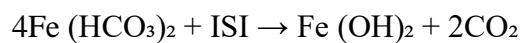
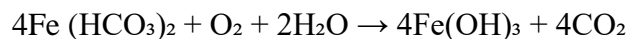


**Şekil 5.6:** Kalsiyum karbonatın ısıyla çözünürlüğünün azalması

Başka bir şekilde kışır oluşumu, besi suyunda toplam sertlik diye tabir edilen kalsiyum ( $Ca^{++}$ ) ve ( $Mg^{++}$ ) iyonlarının çeşitli anyonik iyonlarla (silikat  $SiO_2$ , Sülfat  $SO_4$  vb) oluşturacağı kristal yapıdaki bileşiklerin ısının etkisi ile çözünürlüklerinin azalması ve böylece ısı transfer yüzeylerinde yapışıp birikmesiyle yine kışır oluşacaktır.

Kazan metali üzerinde karbonat direkt olarak çökelti oluşturabilir. Farklı bir şekilde de kazan suyu içinde kazan yüzeylerinde birikerek sıkı olmayan bir çamur tabakası oluşturabilir. Kalsiyum sülfat ve silis genellikle gevşek çamur oluşturmaz kazan metali üzerinde doğrudan çöker. Bu tür bileşikler ortamdaki uzaklaştırmak daha zahmetli bir iştir. Silisyum sulara fazla oranlarda bulunmamasına rağmen sert ve camsı bir kışır tabakası oluşturduğu için ekstra önemlidir. Besleme suyuyla sisteme giren asılı veya çözülmüş olarak ortamda bulunan demir elementi de kazan metali üzerinde yığıntı oluşturur. Yağ ve süreçten gelen diğer kirletici maddeler de sudaki safsızlıkların birikinti oluşturma hızını artırır. Kendileri de metali üzerinde çökerek birikirler.

**2.** Buhar kazanlarındaki kışır oluşumunun ikinci önemli sebebi ise kazan besi suyu, buhar ve kondens hattındaki korozyonlar sonucunda ortaya çıkan demir oksit bileşiklerinin kazanda birikmesidir. Demir oksit birikintileri kırmızı veya siyah renkli atıklardır.



Korozyonun teknik ve ekonomik açıdan ihmal edilebilecek düzeye getirilmesi ya da zorunlu olan hallerde hepten önlenmesi için başvurulabilecek birçok önlem vardır. Bu önlemleri sırası ile malzeme seçimi, termodinamik ve mekanik koşulların yeniden oluşturulması, korozyon ortamına çok az miktarda eklendiğinde korozyon hızını azaltan kimyasal inhibitörler ve tasarım ölçütleri olarak dört başlık altında sıralamak mümkündür.

### 5.2.2 Yüzeylerde biriken kışırın enerji maliyeti ve yakıt sarfiyatına olan etkisi

Suyun taşıdığı mineraller belirli şartlarda yüzeylere çökerek kışır oluşturduğundan bir önceki başlıkta bahsetmiştik. Kalınlığı belli bir ölçüye eriştiğinde zararlı etkileri; ilk olarak ısı geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak yakıt harcaması artışı, sonra yüzeylerde ısı birikimi yüzünden metal yorgunluğu nihayetinde korozyona bağlı yırtılma ve patlama gibi tehlikeli boyutlara varmaktadır. Yapılan incelemelerde kışırın kimyasal yapısı ve niteliklerine bağlı olarak ısı transferine olan etkisi değişmekle beraber ortalama olarak aşağıdaki çizelge 5.4’de yüzeylerde oluşan kireç tabakasının et kalınlığının bağlı oluşan yakıt kayıplarını gösterilmiştir. Silisyum gibi bazı elementlerin oluşturduğu kışır tabakası ısı transferini daha çok engellediği ve giderilmesi daha zor olduğu için ilgili bölümde daha kapsamlı olarak ele alınmıştır.

**Çizelge 5.4:** Kışır tabakasının kalınlığına göre değişen yakıt kaybı oranları

KIŞIR KALINLIĞI (mm)	YAKIT KAYBI (%)
0,50	0,6
0,80	0,9
1,20	16,0
1,50	15,0
1,80	13,0
3,85	15,7
6,00	25,0

Kazanlarda kışır kalınlığının 2 mm ye ulaşmasından sonra termal gerilmelerin sebep olduğu yapı zorlanmaları başlar. Aynalar ile borular arasında bağlantı ve montaj problemleri meydana gelir. Bunun sebebi metali örten kışır tabakasının ısı iletkenliği değerinin ve gerilme gibi malzeme özelliklerinin metalden farklı olmasıdır. Bu durumda tesisattaki ayna-boru flanş kısımlarında sızırdırmalar başlayacaktır. Kalınlık arttıkça sızdıran borular fazlalaşacak ve akabinde problemler daha çoğalacaktır.

Kışır kalınlığı 4 mm ye ulaştığında metalin kristal yapısı bozulacağından ve sertleşme meydana geleceğinden kazan sistemi güvenilir olmaktan çıkacaktır. Külhan çökmesi, boru patlaması, ayna çatlakları gibi tehlikeler her an beklenecektir. Ayrıca kışır sebebi ile boru çeperinin daralması, hacim küçülmesi, verim düşüşü, tahliye pompalarının zorlanması gibi problemler de meydana çıkacaktır. Yukarıda çizelge 5.4’ deki veriler aşağıdaki şekil 5.7’de grafik olarak da görselleştirilmiştir.



**Şekil 5.7:** Kışır tabakası kalınlığının yakıt kaybına olan etkisi

Buhar kazanlarında kazanlardaki bu verim azalmasının ve yakıt sarfiyatındaki artışın önüne geçmek için en uygun yol suyun ekonomik bir yatırımla işletmede en uygun hale (su şartlandırması) getirilerek kullanımını sağlamaktır. Sonrasında işletmede kullanılan suyun neden olabileceği kireçlenme ve korozyon riskini tamamen ortadan kaldıracak koruyucu kimyasal kullanımı ile sistemin verimli çalışmasını sürekliliğini garanti altına almaktır.

Endüstriyel tesislerde buhar kazanı su şartlandırmasının eksik veya yanlış yapılması durumunda aşağıdaki sorunlar ortaya çıkar;

- Kireç oluşumuna,
- Korozyon oluşumuna,
- Bölgesel aşırı ısınmalara,
- Kazan suyu sürüklenmesine.

### 5.2.3 Buhar kazanlarında birikinti (kışır) çeşitleri

Buhar kazanlarında meydana gelen kışırın sebebinin besleme suyunun kimyasal içeriğidir. Bu kimyasal içeriğe göre ısı transfer yüzeylerinde meydana gelen kışır

tabakalarını aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz. Ve hepsinin ısı transferine olan etkisi farklı farklıdır. Aşağıda şekil 5.10'da grafik olarak bu olayı görmekteyiz.

**Kalsiyum Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ):** Halk arasında daha çok kireç taşı olarak isimlendirilen bir çeşit kimyasal bileşiktir. Besi suyuna bağlı olarak en çok karşımıza çıkan kışır çeşitidir. Kalsiyum karbonatın oluşma sebebi sudaki bikarbonatlardır. Kalsiyum karbonat kabuğunun görünümü beyaz veya beyazımsı bir renktedir. Kazandaki ısının etkisiyle bikarbonatlar karbonata dönüşür. Bu da kazan iç metalinde katman oluşturur. Besleme suyundaki kalsiyum miktarı fazla ise kalsiyumun çözünürlüğü çok az olduğu için derhal kazanın dibinde kalsiyum çökeltisi meydana gelir. Bu çöküntülerin oluşmasında sıcaklık ve yoğunluk gibi diğer çalışma şartları da önemlidir, şekil 5.8 'de birikinti gözükmemektedir.



**Şekil 5.8:** Kalsiyum karbonat birikintisi görünümü

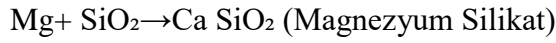
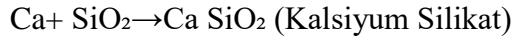
**Kalsiyum Sülfat ( $\text{CaSO}_4$ ):** Rengi beyazımsı veya bronz renktedir. Kalsiyum sülfat buhar kazanlarında, kalsiyum karbonattan daha seyrek olarak karşımıza çıkan bir kışır tipidir. Kalsiyum sülfatın ısı arttıkça çözünürlüğü azalır. Isının fazlalaşmasıyla, çökme hızı da artar. Bu yüzden de kazanın en sıcak kısımlarında ve çıplak alev yüzeylerinde kalsiyum sülfata bağlı olarak ortaya çıkan birikintilere rastlanır.

**Silikat ( $\text{SiO}_2$ ):** Doğada oksijenden sonra en fazla bulunan madde Silisyum' dur (Si), dolayısı ile silisyum 1 ile 100 ppm aralığında farklı oranlarda bütün doğal su kaynaklarında bulunan bir maddedir ve analizlerde çıkar. Burada bahsettiğimiz oran sudaki çözülmüş halde olan silisyum miktarıdır. İlave olarak su kaynaklarında asılı halde de silisyum bulunmaktadır. Asılı haldeki silisyum çeşitli kimyasallar yardımı ile koagülasyon yani çökertilerek ya da filtre yöntemiyle sudan ayrılabilir. Bu ayırma

işleminin çözülmüş haldeki silise etkisi yok denecek kadar azdır. Yüzey ve yeraltı sularında, silisyum 1 ile 107 ppm aralığında tespit edilmiştir.

Silisyum maddesi diğer bileşiklerle birleşerek değişik taşlar meydana getirir. Aşağıda örnekleri verilmiştir. Belli bir yoğunluktan sonra eğer buhar basıncı 60 Bar'ı geçerse silis çözülür. Buharda çözülmüş olan silis sonradan tekrar çökebilir.

Silisin oluşturduğu birikinti kabukları çok serttir. Camsı bir yapıya sahiptir ve de yüzeyden uzaklaştırılması oldukça zordur. Çok ince silis kabukları bile, ısı iletkenliğin çok düşmesine hatta tüp hasarlarına sebep olur. Ayrıca buhar kazanı suyundaki silikat miktarı fazlalığında, buhar beraber silikat da buhar hattına geçer ve tesisattaki buhar vanalarında kristalleşerek vanaların arızalanmasına sebep olur.



Magnezyum silikat beyazımsı bir tabakadır.

Aşağıda şekil 5.9'da kazan suyundaki silikata ( $\text{SiO}_2$ ) bağlı olarak oluşan camsı kıvrık tabakası görülmektedir.



**Şekil 5.9:** Kazan suyundaki silikata ( $\text{SiO}_2$ ) bağlı olarak oluşan camsı kıvrık tabakası

**Magnezyum ya da magnezyum taşları:** Sudaki magnezyum (Mg) oranı %20'yi geçmez. Sistemde Mg yalnız başına birikinti yapmaz. Birikim ve taşlar çoğunlukla magnezyumun silisyum ile bir araya gelerek bileşik oluşturması sonucunda oluşur.  $Mg + SiO_2 \rightarrow Ca SiO_2$  (Magnezyum Silikat)

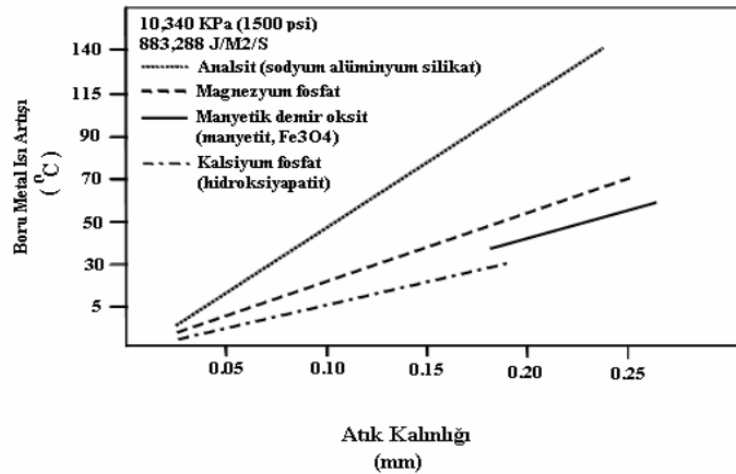
**Fosfat Taşları:** Daha önce kireçle saf hale getirilmiş ve trisodyum fosfat ilave edilmiş kazan sularında sert ve kalıcı trimagnezyum fosfat veya hidroksiapatit yani  $Ca_5(PO_4)_3 OH$  çöker.

**Demir Oksit:** Kaynağı çok derin olan ve iyi havalandırılmamış olan besleme suları demir ( $Fe^{++}$ ) içerebilir. İyi havalandırılmamış ve ( $Fe^{++}$ ) içeren bir su havada yükseltgenerek  $Fe(OH)_3$  olur. Bu da kazan içerisinde ve kondenslerde demir oksit oluşumuna yol açar. Demir oksit, kazan iç yüzeylerinde görülen korozyonun sebeplerindendir [29].

**Alümin:** Alüminyum taşlarının beraberinde Alümine rastlanır. Bunun sebebi killi asıtlılar (süspansiyon) veya alüminyum sülfatla koagüle edilmiş sonradan filtre edilmemiş sulardır.

**Sodyum (Na):** Na bileşikleri kazan içinde normalde birikim yapmazlar. Sodyuma bağlı oluşan depozitlerin oluşma sebebi genellikle, kararlı buhar örtüsü, kurumuş tüpler veyahut gözenekli yapıya sahip depozitlerin varlığı gibi sıra dışı olaylardır.

Yukarıdaki kimyasal birikintilerin ısı transferine olan etkileri farklıdır. Aşağıda şekil 5.10'da birikinti kimyasal yapısına göre ısı transferine olan etkisi grafiklerle gösterilmiştir.



**Şekil 5.10:** Depozit çeşidinin ısı transferine olan etkileri

#### **5.2.4 Buhar kazanlarında birikinti (kışır) oluşumunun önlenmesi:**

Buhar kazanlarında ısı transfer yüzeylerindeki birikintilerden kurtulmak için, buhar kazanları, eşanjörler ve boyler gibi makinelerde kimyasal su ıslahı ile kışırın meydana gelmesinin önüne geçilmelidir. Sistemdeki kışırın metal kısımlarda herhangi bir soruna yol açmadan yani korozyon başlamadan temizlenmesi ve ortamdaki uzaklaştırılması önemli bir konudur. Temizleme işlemi yapılırken kullanılan temizleme yöntemi ne olursa olsun kazana zarar vermeyecek şekilde uygun bir program ile yapılmalıdır. Kazan temizliği yapılırken kullanılan kimyasallar sistem kirliliğine göre özenle seçilip tecrübeli kişiler tarafından uygulanmalıdır. Bu kazanlarda yüksek verim oranı yakalamak ancak ve ancak düzenli bir kazan bakımı ve temizlik programıyla sağlanabilir.

Ayrıca buhar kazanı besisi suyu, buhar ve kondens sisteminin korozyondan korunarak buhar kazanına düşük demir içeren su temin edilmiş olur. ASME, EN, TS standartlarında belirtilen kazan besisi suyu oranlarının sağlanması, suda çözülmüş olarak bulunan katı madde yoğunluğunun sınır değerlerin altına indirilebilmesi için gerekli kazan blöflerinin de zamanında ve yeter miktarda uygulanması gerekir.

**Silikat (SiO<sub>2</sub>) oluşumunun önlenmesi:** Sanayi işletmelerindeki saf suyun içindeki silikat oranı, suyun sertlik derecesinin önemsendiği gibi dikkate alınmalıdır. Tesisteki şartlanmamış sudaki silikat miktarını mutlaka ilgili standartlara uygun hale getirmek gerekir.

Silisyum, 165 bar basıncın altında buharlaşan tek kazan suyu mineralidir. 28 bar gibi düşük basınçlarda bile buharlaşır. Bu da birçok türbinde ve kazanda depozit sorunlarına sebep olur.

Eğer kazan basıncı ve pH değeri istenilen seviyelerde değilse, silis taşlarının meydana gelme olasılığı da artar. Silis oranı, basıncın artması ile logaritmik olarak artarken, pH'ın artması ile düşer. Silisin buharda çözünürlüğü sıcaklık ile daha kolay hale gelir. Buharın kızdırıldığı durumda, silis in çözünürlüğü daha da artar.

Kazan suyundaki, silikat oranını güvenli seviyede tutmak, silisyum ve silisyuma bağlı kazan taşlarını önlemedeki en kolay, etkin ve masrafsız yöntemdir. Buda ancak, ilk önce yukarıda bahsedildiği gibi işletmeye gelen ham suyun analizindeki silikat miktarını standartlara uygun hale getirmek daha sonra kazan takviye suyunun

artılması ile veya kondensat hattının düzenli olarak kontrol edilmesi ve su analizlerinin yapılması ile sağlanır.

Amerikan Buhar Kazanı İmalatçıları Derneğinin (ABMA-American Boiler Manufacturers Association) tavsiye ettiği en yüksek silikat ( $\text{SiO}_2$ ) oranı miktarlarını aşağıdaki çizelge 5.5'te görmekteyiz. Dikkat edilmesi gereken nokta, sayısal veriler besi suyundaki değer değil, kazanın içindeki suyun olabilecek en yüksek silikat oranının miktarıdır.

**Çizelge 5.5:** Kazan suyunda müsaade edilen silika değerleri

<b>KAZAN BASINCI (kPa)</b>	<b>İZİN VERİLEN SİLİKA ppm (<math>\text{SiO}_2</math> olarak)</b>
0-103	150
110-1027	150
1034-2062	150
2068-3096	90
3103-4130	40
4137-5164	30
5171	20

Şayet silikat kazan suyu içerisine girmiş ise, en yaygın önleyici önlem blöf miktarını arttırarak yoğunluğunu çizelge 5.5'te verilen ABMA'nın tavsiye ettiği seviyelere indirmektir. Takiben silis artışına sebep olan durum hemen ortadan kaldırılmalıdır. Fakat bu yöntem ekonomik bir yöntem değildir. Özellikle buhar kazanından blöf esnasında eş zamanlı olarak sıcak su ile yüksek miktarda ısı enerjisi de atıldığı için kazan verimi düşmekte dolayısı ile de maliyetler ve yakıt giderleri artmaktadır.

Reçineli su yumuşatma cihazları ile sudaki sertlik kolayca giderilebilir. Oysa sudaki silikatın giderilmesi ancak ters ozmoz (Reverse Osmosis, RO) sistemi veya demineralize cihazları ile yapılabilir. Ters Ozmoz yöntemiyle hem sudaki silikat giderilmekte hem de sudaki sertliğin %99'unu ve diğer minerallerin yaklaşık %95'ini sudan ayırtmak mümkündür. Böylece proses için en ideal su üretilebilir. Besleme suyu %95 oranında minerallerinden arındırıldığında, doğru orantılı olarak blöf

miktarlarının oranları %95 seviyelerine ineceğinden ciddi miktarlarda tasarruf sağlanır

Sistemdeki silikatın giderilmesi için yapılacak yatırıma karar verebilmek için dolaylı kazan verimi hesabından faydalanılarak blöfler ile sistemden uzaklaştırılan suyun, enerji ve kimyasalların maddi değeri belirlenir. Bulunan değerler doğrultusunda silikatın ortamdaki uzaklaştırılması için yapılan yatırım harcamaları karşılaştırmalar sonucunda en doğru karar verilir. Silikatın giderilmesi için, bugün ki uygulanan en etkili işlem ters ozmoz yöntemidir. Aşağıda şekil 5.11 'de bahsi geçen ters ozmoz cihazı görülmektedir [30].



**Şekil 5.11:** Su içindeki silikat ve diğer iyonları sudan yok eden ters ozmoz makinesi

Kazan sularından silikat ve diğer istenmeyen mineraller ve aynı zamanda sudaki sertlik, çift reçineli klasik "Demineralize" sistemleriyle de ortadan kaldırılabılır. Günümüzde; ters ozmoz ile karşılaştırıldığında, bu uygulamayı yürütmek zordur. Bunun sebebi bu sistemi kurmak için daha fazla alana ihtiyaç vardır. Ayrıca, demineralize sisteminde iyon değiştirici reçinelerin doyumu giderilmesi sırasında sistem asit ve kostik gibi personel sağlığı için yüksek riskli kimyasallar tüketir. Bu işlem sırasında personelin özel iş güvenliği talimatlarına harfiyen uyması gerekir [31].

Kazan besleme suyuna belirli oranlarda eklenen fosfat, fosfonat ve polimer tabanlı depozit önleyici kimyasallar, suyun birikintiye neden olabilecek elementlerden arınmasına ve sistem için gerekli olan özelliklere kavuşmasına imkân tanır. Kazanlarda kimyasal temizliğe, genellikle diğer temizleme yöntemleri yetersiz kaldığında başvurulur. Kimyasal yöntemlerde, temizleyici olarak kullanılacak akışkan madde ile kazandaki kışırın tepkimeye girmesi sonucu birikintinin çözünmesi ve ortamdan uzaklaştırılması hedeflenir. Bu yöntemle, müdahale edilmesi zor veya imkânsız alanların temizlenmesi mümkündür. Kimyasal temizleme yöntemleri genellikle sistem durdurularak gerçekleştirilir. Kimyasal temizliğe başlamadan önce mevcut birikintinin kimyasal yapısı önceden belirlenmelidir. Organik (proses tarafı) ve inorganik (su tarafı) şeklinde sınıflandırılacak birikintinin kimyasal analiz sonuçlarına göre en uygun kimyasal çözücü madde ve uygulanacak metot seçilir. Kimyasal temizleme çözültisi ile sistem parçalarının uyumluluğu mutlaka kontrol edilmelidir. Çünkü kullanılan çözücü madde sisteme zarar verebilir ve aşınmalara sebep olabilir. Korozyon testlerini kimyasal temizlik işleminin başlamadan önce yapılması gerekir.

Organik asitler, mineral asitleri, alkali bazlar, kompleks kimyasallar, yükseltgeme ve indirgeme kimyasalları ve organik çözücüler kimyasal temizlikte kullanılan kimyasal maddelerdir.

## 6. UYGULAMA

### 6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Bu tez çalışmasında gemi buhar kazanlarında ısı transferinin incelenmesi ile ilgili olarak uygulama çalışmalarının yapılabilmesi için şekil 6.1’de fotoğrafı verilen K Ships firmasına ait MV Selamet gemisi seçilmiştir.



**Şekil 6.1:** MV Selamet Gemisi

MV Selamet gemisinde konu uygulamasının da üzerinde yapıldığı bir adet buhar kazanın ana amacı; gemi ağır yakıtı olan fuel oil ve marinegas oil yakıtının ısıtılmasını sağlamaktır. Gemideki makine sistemlerinin ısısını sabit tutmak, gemi yaşam mahallerine; çamaşırhane, mutfak gibi bölümlerin ısınma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması sağlamak amacıyla yine bu buhar kazanından faydalanılmaktadır.

Tezin uygulama bölümü için MV Selamet Gemisinde yapılan çalışmalarda analiz bilgilerinin toplanması ile ilgili faaliyetler 08.05.2022 tarihinde uygulanmaya başlanmış olup, 15.12.2022 tarihinde de sonlandırılmıştır. Ek C1-C8’de bu tarih aralıklarında geminin yakıt harcamaları ile ilgili raporlar verilmiştir.

Uygulamanın yapıldığı kazan marka ve modeli aşağıdaki gibidir;

OSAKA BOILER MFG. CO. LTD VERTICAL TYPE

OVS2 – 100/075-22W

Serial No: 12642

Yakıt tipi: Marine diesel oil, marine heavy fuel oil

Buhar kapasitesi:1000 kg/h

Buhar basıncı: 6 kg/cm<sup>2</sup>

Yakıt kapasitesi: 86 kg/h

Aşağıda şekil 6.2’de buhar kazanının fotoğrafı görülmektedir.



**Şekil 6.2:** Osaka dikey tip buhar kazanı

Kaynak: (MV Selamet Gemisi)

Konu çalışmalardaki kıyaslama; geminin tersane öncesi su ıslah değerlerinin kazan ve besi suyu sistemleri için kullandığımız kullanma kılavuzlarında belirtilen değerlerden uzak olması ve kazandaki yakıt tüketiminin anormal artışı nedeniyle, tersane döneminde kazan borularının dış yüzeylerinden geçen egzoz gazı duman bölgesinin basınçlı hava sistemi ile yıkamaları ve temizlikleri yapılmıştır. Bu işlemi müteakiben kazan suyu komple blöf edilmiş ve yerine saf su konulmuştur.

Ayrıca tersane döneminde ısıl gerilmelerden dolayı deforme olan bazı borular kontrollerde tespit edilmiş ve aynı özellikteki yeni borularla komple değişimi sağlanmıştır. Bütün korozyondan koruma ve giderilmesi programlarında, tesisatlar da oluşacak olan korozyon ile depozit olaylarının kontrol altında tutulması için sisteme

eklenen suyun analizlerinin doğru yapılması, uygun çalışmanın yapılması sağlanmıştır. Aynı zamanda suyu şartlandırmak için çeşitli kimyasallar kullanılmış ve bu şekilde kazan suyunun da iyileştirilerek standart değerler sağlanarak yakıt tüketimine etkileri bu çalışma ile değerlendirilmiştir. Şekil 6.3 'de kazana ait tamirat işlerinin fotoğrafları görülmektedir.



**Şekil 6.3:** Uygulama alanı buhar kazanı boru tamirat ve kaynak işlemi

### **6.1.1 Egzoz tarafı hava ile temizleme ve yıkama işlemleri**

Kazanın egzoz tarafında zamanla küller birikmekte buda ısı transfer yüzeylerinin ısı iletme kabiliyetini önemli bir derecede azaltmaktadır. Bu küller ortamdaki basınçlı hava yardımıyla uzaklaştırılır ve yine basınçlı su ile boruların yüzeyleri yıkama işlemine tabii tutulur. Aşağıda şekil 6.4'te yüzeylerde biriken kül ve kurum tabakaları görülmektedir.

### **Hava ile temizlik prosedürünün uygulanması**

- Temizlikte İSG kuralları gereği dikkat edilen hususlar: Temizleme esnasında, çalışan kişiyi tam olarak koruyacak emniyet gözlüğü, toz maskesi, kulak tıkacı, emniyet eldiveni ve çizme kullanıldı.

- Temizlikten evvel kazan stop edildi ve yavaş yavaş soğuması sağlandı. Kazan basıncı sıfırlandı.
- Çıkabilecek bir yangına müdahale etmek için yangın hortumu ve nozul hazırlandı. Hortumun yangın istasyonuna bağlantıları yapıldı.

**Kullanılan aletler:**

- Aşağıda şekil 6.5’te fotoğrafı verilen temizleme aparatı kullanıldı.
- Hava hortumu,
- 20 litrelik kovalar halinde 3 kova,
- Faraş,
- Seyyar yangın söndürücü.

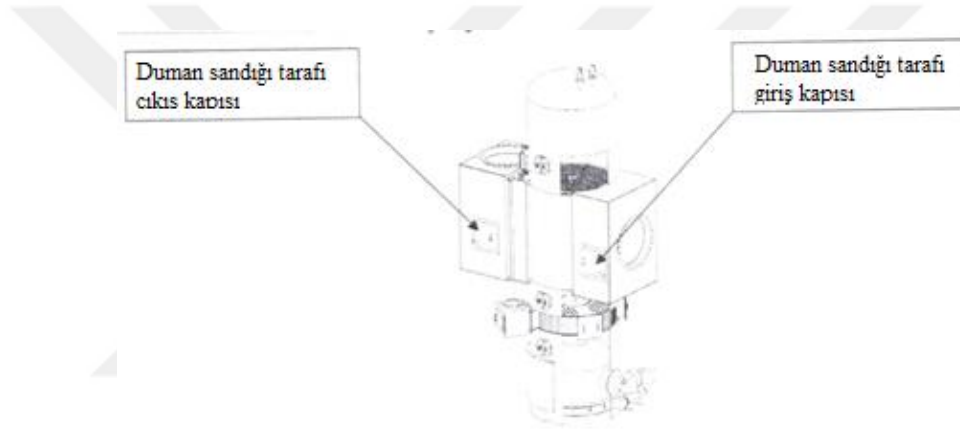
Hava ile temizleme işlemi uygulama prosedürü:



**Şekil 6.4:** Kazan Boruları üzerinde biriken kurum ve küller

- Egzoz gaz tarafının 2 tarafındaki temizleme kapakları açıldı ve kazanın gaz tarafına egzoz gaz giriş kısmından giriş yapıldı.

- Borular arasına temizleme aleti borusu sokuldu.
- Boruların arasına, stay boruları arasına ve boru aynalığine hava tutarak temizliğe başlandı. Temizleme işlemini duvardan kenarlardan boru merkezine doğru yapıldı.
- Gaz giriş kısmında temizlik bitince gaz çıkış kısmına doğru ilerleyerek aynı yöntemle temizliğe devam edildi.
- Ortamda uçuşan kurum yere (boru aynalığı üstüne) ininceye kadar takriben 15 dakika kadar beklenildi.
- Kurum yerde toplanınca gaz çıkış kısmından faraş kova veya çuval kullanarak kurumu mümkün olduğunca dışarı atıldı. Spreyle ıslatarak süpürme işlemi gerçekleştirildi.



**Şekil 6.5:** Egzoz tarafı temizliğinde kullanılan aparat

Bu temizlik işlemlerinin ardından komple blöf edilen kazana gemilerde bulunan deniz suyundan tatlı su üreten ve saf su olan sudan koyduk. Ardından kimyasal ilaçlama yaparak kazan değerlerini belirli ve istenilen seviyelere getirdik.

### 6.1.2 Kazan besi suyunun ıslah çalışması

Kazan besi suyunun ıslahı için aşağıdaki kimyasal madde kullanılmıştır.

VECOM BOİLER TREAT COMBİ/QC-3 ORGANİC

- Vecom Boiler Treat Combi/QC-3 Organic düşük molekül ağırlıklı hidroksitler, nötrleşmiş organik asitler sıvı halde bulunan üründür. Kimyasal bileşiminde; çamur ıslah ediciler, korozyon önleyiciler ve kışır gidericiler bulundurulur.

- Çelikteki korozyonu minimum seviyeye indirmek amacıyla basınçları 7-50 bar arasında olan kazanlarda, besi suyu pH değerini 10.5-11.0 arasına sabitlemek için bu özel hidroksitler kullanılır. Polimerler; yüksek sıcaklık değerlerinde sertlik oluşturan tuzların kristal içyapılarını değiştirerek çökebilene bir yapıya dönüştürür. Reaksiyon sonucunda oluşan kristaller, yapışkan olmayan, suyun yüzeyinde dolaşan hafif bir yapıdadır. Ortamdan blöf yardımıyla kolayca uzaklaştırılır. Çelik yüzeyinde organik demir bileşikleri oluşur bu da sistemi olası korozyon olaylarından korur.
- Kazandaki çözünmüş katı madde oranını, minimum ilavelerle standartlara uygun hale getirmek ve serbest kostik korozyonunun önüne geçmek için gerekli pH değerini sağlamak için bahsi geçen kimyasal bileşik tasarlanmıştır. Ek D'de çalışmaya konu olan kazan besi suyu analiz raporları verilmiştir.

### 6.1.3 Oksijen korozyonun önlenmesi

- Su ve buhar sistemlerinde korozyonun ana kaynağı su içerisinde çözünmüş oksijendir. Korozyonla mücadelede başarılı olmak ancak sistemdeki oksijenin tamamen ortadan kaldırılmasıyla mümkündür.
- Kazan işletmeciliğinde besleme hattına konulan degazörlerle suda çözünmüş oksijenin bertaraf edilmesi büyük oranda başarı sağlanabilir. İyi tasarlanmış ve uygun seçim yapılan ve işletilen degazörlerle bu konuda başarı sağlanır.
- Bir degazörde suyun içerisindeki çözünmüş oksijen %97-98 oranında azaltılabilir. Kara sektörü için uygulanabilen bir çözümdür.
- Bu gemiler için kondens tankının 80-90 °C'lerde tutulması ile mümkün olmaktadır.
- Kimyasal maddelerinin oksijenin korozyon etkisini önleme işlevi iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi, katkı maddesinin oksijenle kimyasal reaksiyona girerek oksijeni nötrleşmesi buna katodik inhibitör etkisi denir, İkincisi, katkı maddesinin metal yüzeylerinde pasivasyon işlevi yaparak anodik inhibitör etkisiyle koruma denir. Oksijen bertaraf edici kimyasal maddelerin etkinliği bu iki işlevi birden yapabilme özelliğinin yanında, kimyasal yapısında denge reaksiyon hızı, temin edilebilirliğindeki kolaylık,

maliyet unsuru ve en önemlisinde insan ve çevre sağlığı bakımından olan etkisidir.

- Vecom Condansate Treat/QC-4 Organic; nötrleştirilmiş organik asitler ve uçucu/nötrleştirilen aminlerden meydana gelen sıvıdır.
- Nötrleştirilmiş organik asitlerin görevi, kazanın çelik yüzeyi üzerinde organik demir bileşiği oluşturmak, besi suyundaki oksijeni gidermektir. Kararlı metal oksit, Vecom Boiler Treat Combi/QC-3 Organic ile reaksiyona girdiğinde, kazan çeliğini iyi korur. Aminlerin, kazan üzerinde etkisi çok az veyahut ta yoktur. Fakat gaz halindeki buhar ile birleşerek buharın etki gösterdiği yerde ve suya dönüştüğünde etki gösterir. Bu da, condanse pH değerini yükseltir (pH 9-10), karbonik asitleri nötrleştirir ve sistemi korozyondan korumak amacıyla ince bir katman oluşturur. Bu işlem, çözünmüş haldeki demir ve bakır oksitlerin hotwelle dönüşünü önemli ölçüde düşürür. Yukarıda bahsettiğimiz gibi, tamamen çözünen oksitler, filtre edilemez bu durumda kazanda zaman içinde atıklara yol acar.
- Bununla birlikte sıvıya dönüşenler ise alkali olduğundan, besi suyunun şartlanması üzerinde göz ardı edilemeyecek derecede rol oynar. Sistemde pH değerinin standartlardaki gibi olması hotwelin korozyonunu ve gereken madde miktarını azaltır.

#### **6.1.4 Vecom hydralize (Oksijen Tutucu)**

- Hydrazide, farklı basınçlı kazanlarda ve her tür boşaltılamayan süper ısıtıcıda hızlı bir şekilde serbest oksijenin uzaklaştırılması için karbonhidrazid içeren sıvı bir bileşiktir. Hydrazide, tehlikeli ve potansiyel olarak kanserojen ürünlere alternatiftir ve çevre dostu ve güvenli bir ürünün avantajlarını sağlar.
- Karbonhidrazid bileşiği, normal hidrazinin yapacağı gibi oksijenle reaksiyona giren bir bağlı hidrazin formudur. Ancak karbonhidrazid, hidrazinin tüm avantajlarına sahiptir ve buna karşılıklı bilinen hiçbir dezavantajı yoktur. En son Marpol Yönetmeliklerine (atık eki) göre hydrazide, kirletici değildir.
- Hydrazide, kazan besleme suyu ve kondens sistemlerinde oksijenin hızlı bir şekilde uzaklaştırılması için kullanılır. Hydrazide ayrıca oksijenin neden olduğu korozyonu önler. Hydrazide her tür kazanda kullanılabilir, ancak

özellikle yüksek basınçlı kazanlarda kullanıma uygundur. Hydrazide, lay-up yapılmış kazanlarda pasivasyon görevi görür.

- Genel bir kural olarak, 22,5 ml / l Hydrazide sudaki 1 mg / l oksijen ile reaksiyona girecektir.

#### **6.1.5 Hotwell sıcaklık kontrolü**

- Oksijen seviyesin düşürmek için birçok gemide, hava gidericiler vardır. Bu oksijen kaldırıcıların yararı yoktur.
- Hotwell sıcaklığının yüksek derecede korunması ile oksijenin suda çözünmesi önlenir. Suyun sıcaklığı kaynama noktasına yaklaşırsa, suda çözünen oksijen seviyesi de azalır. Açığa çıkan fazla miktardaki oksijen gazı, atmosfere serbest bırakılır.
- Sistemlerin birçoğu, sıcaklık denetimi yapılmadan devreye alınır. Hotweller sıkça aşırı ısıya veya aşırı soğukun bir araya geldiği ve çürük enerjinin, su buharı gibi doğrudan atmosfere bırakıldığı alandır. Yüksek oksijen seviyesine aşırı soğuk hotweller sebep olur. Bu durum da termal enerji kaybından söz edilir.
- 80-90°C ideal sıcaklıktır. Bu değerleri sağlamak için ihtiyaç halinde dreyn kulelerini by-pass ediniz ya da yoğunlaştırma devresindeki soğuk su oranını azaltınız.
- Gemilerin bir kısmında kabul edilen en yüksek sıcaklık, besleme pompasının işleviyle ilgilidir. Gemide bu sıcaklık besleme pompasının kavitasyon nedeniyle zarar görmesine neden olur.
- Çoğu gemide 80 °C'de kullanılması tavsiye eder.
- Deniz suyu sızıntısının tespiti eğer klorür oranı yüksekse, besi suyunun standartlara uygunluğundan eminseniz, heat exchanger dan bir tuzlu sızıntısının steam/condenser dönüş hattına geldiği akla gelmelidir. Kazan besi suyu ıslahında limit değerlerimiz aşağıdaki çizelge 6.1'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1:** Kazan besisi suyu ıslah değerleri

<b>Kazan Besi Suyu</b>	
P Alkalilik	100-200ppm
M Alkalilik	İki kattan az
DEHA	0.1-0.8 ppm
Klorür	Max 100 ppm
pH	10,5-11.0

**Kaynak:** (MV Selamet Gemisi)

Kazan besisi suyunun standartlardaki gerekli limit değerleri sağlanması için aşağıdaki kurallar sürekli olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

- Kazana giren bütün dönüşlerden test için numune alınız. Eğer sızıntı şüphesi varsa tespit ediniz ve önleyiniz.
- Besleme suyu olarak sürekli olarak eva suyu veya yumuşak su kullanılmaktadır.
- Kazanlar da bakım talimatlarına uygun olarak düzenli olarak test yapılması ve çıkan sonuçlara göre kimyasalların belirlenmesi ve uygulanması yapılmaktadır. Kazanda her gün;  
min:0,2 lt /gün QC-3 ORGANIC,  
min.0.4 lt /gün QC-4 ORGANIC,
- Düzenli olarak blöf uygulanmaktadır. Blöf periyodu aşağıdaki şekilde planlanmıştır.

Kazanda haftada bir yapılan ölçüm raporundaki klorür (Cl<sup>-</sup>) miktarına göre blöf operasyonu planlanmaktadır.

#### **6.1.6 Wecom Alkalilik Test Prosedürleri**

- Test kabına 20 ml soğumuş numune koyunuz.
- 4 damla PA1 ayırıcı kimyasal koyup sallayınız. Numune pembeye dönecektir.
- Eğer dönmez ise sonuç 0'dır.
- Sallamaya devam ederken numune saydam olana kadar PA2 ayırıcı kimyasal damlatınız.

- Damla sayısını kaydedip göstergiyi okuyunuz. Her damla 40 ml/l”P” Alkaliliğe ve ya CaCO<sub>3</sub>’e denk gelir. Şekil 6.6 ‘da test kiti görülmektedir.



Şekil 6.6: Vecom alkalilik test kiti

#### 6.1.7 Klorür Test Prosedürleri

- Test kabına 20 ml soğumuş numune koyunuz.
- Temiz karıştırma şişesinin içinin parmakla temasını ve kirlenmesini önleyiniz. Ter klorürü yükseltir.
- Karıştırma şişesine 20 ml soğuk numune koyunuz.
- 4 damla BC1/CC1 ayırıcı kimyasal koyup yavaşça sallayınız. Numune sarıya dönecektir.
- Örneği hafifçe sallarken, BC2 ayırıcı kimyasalı yavaşça damlatınız.

- Birdenbire solgun kiremit rengi oluşunca damlatmayı durdurunuz ve damla sayısını sayınız.
- Damla Sayısı x 20 = ppm Cl<sup>-</sup>

Şekil 6.7 'de Klörür test kiti görülmektedir.



Şekil 6.7: Klörür test kiti

### 6.1.8 İlgili Personel Eğitimi

Buhar kazanı besi suyu ıslahı konusunda ve kazanın genel işletilmesi konusunda temel sorumlu kişi geminin başmühendisi olmasına rağmen kazan besi suyu ölçüm işlemleri ve analizleri gemi makine bölümünden 3. mühendislerin sorumluluğu alanındadır. İşe yeni başlayan mühendisler tarafından konunun önemi her zaman anlaşılabilir. Bu nedenle bu noktada gerekli eğitimleri gemiye katılmadan önce denizcilik ofislerimizde ISM gereği vermemiz gerekmektedir. Bu eğitimde ilk olarak su ıslahı yapılmaz ise yakıt tüketimine etkileri ve bunun yanın sıra buhar kazanına ve

besi suyu sistemlerine vereceği sayısız zarar görsellerde kullanılarak ilgili mühendisler anlatılır. Gemiye gittikten sonra ayrıca başmühendis tarafından gerekli eğitimler verilir ve ilk ölçümler, analizler ve raporlamalar başmühendis nezaretinde yapılır. Daha sonra 3. mühendis ölçümleri kendisi yapmaya başlar ve her yapmadan sonra da başmühendise rapor halinde sunum yapar. ISM gereği de başmühendis geminin bağlı olduğu ve sorumlu olduğu teknik müdüre karşı ilgili raporlamaları yapmaktadır. Gerekli eksik eğitimler tespit edilip personele eğitim verilmiştir.

## 6.2 Uygulama Sonuçları ve Öneriler

Tez çalışmasında buhar kazanlarında ve buhar hatlarında meydana gelen depozit kışır ve diğer kimyasal birikintilerin ısı transferi sırasında olan etkileri araştırılmıştır. Konuya girmeden önce buharın kısa tarihçesi verilmiş ve endüstride ilk olarak ne zaman kullanıldığından kısaca bahsedilmiştir. Devamında buhar kazanları çalışma prensibi ve kazan çeşitlerine değinilmiştir. Isı transferi ve buhar kazanlarında ısı transferi ile ilgili konulara girilmiş ve bu konu ile ilgili temel kavramlar anlatılmıştır. Ağırlıklı tez konusunu oluşturan depozitlerin ısı transferine ve kazan verimine olan etkisi ise detaylı bir şekilde birikinti çeşitlerinin kimyasal yapısına da girilerek anlatılmıştır. Ve aynı zamanda K Ships firmasına ait MV Selamet gemisi uygulama sahası olarak seçilmiş ve burada çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

Buhar kazanları ve tesisatlarında verimi azaltan aynı zamanda hattın ömrünü ciddi oranda azaltan en önemli noktalardan biri olan korozyon, kışır ve depozitin en az maliyetlerle önlenmesi en fazla verimin elde edilmesi amaçlanır. Bu tür olumsuzlukların tamamen engellenmesi hiçbir zaman tam olarak söz konusu değildir. Buhar tesisatların da işletmeye alınmasıyla birlikte kışır, korozyon, depozit akıllardan çıkarılmamalı ve tesisatın çalışmaya başlamasından sonra sürekli izlenmeli önleyici ve giderici çalışmalar planlanmalıdır. Bu tezimizde buhar kazanlarının çalıştığı ısıtma tesisatlarında depozit ve korozyon önleme programlarının nasıl uygulanması ve kontrol edilmesi gerektiği sahadan toplanan verilerle de yakıt harcamasına olan etkisi raporlarla ortaya koyulmuştur.

Bizim çalışmamızda da Mayıs 2022 ve Haziran 2022 tarihleri arasında ISM kazan yakıt tüketim raporlarında, yakıt sarfiyatı normal değerlerin üstüne çıkmıştı. MV Selamet Gemisi 07.06.2022 tarihinde denetim kapsamında tersane bakım periyoduna alınarak kazan bakımları da bu süre içinde tamamlanmıştır. Bu bakım işlemi

sırasında; liman kazanı borularının ayna ile birleşim yerlerinde minimal su kaçakları tespit edilmiş boruların bir kısmına makinato çekilerek sızdırmazlık sağlandı. Bazı borularda ise değişim yapılarak tamir edildi. 07.07.2022 tarihinde gemimiz tekrar seferlerine başlamıştır. Temmuz 2022 ayından Aralık 2022 ayına kadar olan izlemelerde, ISM kazan yakıt tüketim raporlarında; gemi yakıt sarfiyatının %12 azalarak normal seviyelere indiği tespit edilmiştir. Ek C1-C8'de yakıt harcama ile ilgili ISM raporlarında yukarıda bahsettiğimiz yakıt sarfiyatının azalması olarak gözlenmektedir.

Sonuç olarak buhar kazanları ve hatlarındaki kullanım ve işletme talimatlarına uyulması gerekir. Gerekli kontrollerin ve bakımların rutin olarak yapılması, ayrıca İşletme ve bakım giderlerini arttıran korozyon, depozit ve kışır gibi oluşumların meydana gelmesinin ortadan kaldırılması için işletmede kazan besisi suyu için kimyasal tedavi programına sürekli bir şekilde devam ettirilmesinin sağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece depozit oluşumu gerçekleşmeden önlem alınmış olmaktadır.

Ayrıca bu tedavi programlarının eğitimli kişiler tarafından yapılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır. Konu işletmede de personele bu kapsamda teorik ve uygulamalı eğitimler planlanıp ilgili personelin bu eğitimi alması sağlanmıştır.

Gemilerde genellikle su ıslah testleri yeni mühendisler tarafından yaptırılmaktadır. Bu noktada yeni mühendisler tarafından konunun tam bilinmediği durumlarda yeterli hassasiyet ile bu ölçümler ve takip işlemleri eksik yapılabilmektedir. Bu nedenle filo gemilerimizde bu özel uygulama sorumluluğu 3. Mühendisler ile birlikte hali hazırda makine dairesindeki tüm operasyonlardan da sorumlu Baş Mühendisler özellikle takip edilmesi için verildi ve bu konu hakkında bağımsız kazan imalat firmaları ve su ıslah ürünleri satan firmaların eğitim bölümlerinden de destek alınarak tüm gemi personeli ve ofis personeline bu konuda çeşitli eğitimler verilmiş ve tüm talimat ve prosedürler ISM sistemi başlığı altında, filo gemilerinin yönetimi kapsamında yürürlüğe konulmuştur. Ayrıca kazan ve makine sitemlerindeki boru hattı kullanım ömrünü uzatmak, çalışma verimliliğini ve ısı transferinin arttırılmasını sağlamak amacıyla su ıslahının önemi kapsamında gemilere limanlarda alınacak olan suların ya da gemide deniz suyundan elde ettiğimiz tatlı suyun gerekli değerlerine eksiksiz bir şekilde bakılarak ondan sonra kullanıma şirket tarafından onay verilmesi gerekliliği konusunda bir karar alınmıştır. Tavsiye olarak belirlediğimiz test periyotlarını da

arttırma kararı aldık ve su analizlerinin ayda en azından 5 defa yapılması gerekliliği konusunda Şirket ISM sisteminde bir karar alındı. Şekil 6.8’de gemide su ıslah edici kimyasal maddelerin sisteme daha iyi karışarak homojen olabilmesi işin ilgili cihaz ve dŐzeneklerin gemi kazan sistemine monte edilmesini sağladık. Bu sayede hedeflerimize daha Őabuk ulaŐabildik. Analizler sonucunda, suların istenen iewiczliklere sahip olmadığı tespit edildiğinde ŐeŐitli kimyasallar katılarak ya da su bl ƒf edilerek dŐzeltici mŐdahalede bulunma kararı alındı. Kazan sularından numune alınma prosedŐrleri dŐzenlendi.



**Şekil 6.8:** Besi suyu kimyasal dozajlama őritesi

## KAYNAKLAR

- [1] **Bulut, H.** (2011), “*Buhar Kazanları Ders Notları Doç. Dr. Hüsamettin Bulut*”, sayfa 2-19
- [2] **Martin C. S.** (2000), “*Waterhammer potential in pumps and systems*”, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta GA, U.S.A.
- [3] **Akpolat, M.S.** (2014), “*Türkiye`de ve Avrupa`da Kazanların Güvenli Çalışma ve Periyodik Kontrol Kriterleri.*” İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. Ankara
- [4] **Woodruff, E. B., Lammers, H. B., and Lammers, T. F.** 2005. Steam-Plant Operation. Mc Graw Hill. Newyork.
- [5] **Küçükçalı, R.** *Buhar Tesisatı,4.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Sergisi*
- [6] **Kakaç, S.** (1991). Boilers, Evaporators, and Condensers. John Wiley&Sons. Canada.
- [7] **Bulut, H.** (2011), “*Buhar Kazanları Ders Notları Doç. Dr. Hüsamettin Bulut*”
- [8] **Yalçın, S. E.** (2006), “*Buhar Kazanlarının Eksergoekonomik Çözümlemesi.*” Mak. Müh. Ana bilim dalı Yüksek Lisans Tezi.
- [9] **Akdağ, M.** (2009), “*Temel Kavramları ile Mühendislik Termodinamiği.*” Prof. Dr. Mustafa Akdağ, Qafqaz Üniversitesi Yayınları, Yayın No:34, S.5-95)
- [10] **Çolak, A.** *Ayık Musa Isı Tekniği* (ankara.edu.tr)
- [11] **Jiji, L. M.** (2003). *Heat Conduction. Springer-Verlag, Berlin, 418p.*
- [12] **Yeşilata, B.** (2007), “*Mühendislikte Temel Isı Transferi, (Termo-akışkan sistemler ders kitapları serisi-2)*”, Sayfa 1
- [13] **Enerji İşleri Genel Müdürlüğü,** “*Sanayide Enerji Yönetimi Esasları*”. Cilt No:3, EİEİ/UETM, Ankara, 1997.
- [14] **Onat K., Genceli O., Arısoy A.** “*Buhar Kazanları Isıl Hesapları*”. Denklemler Matbaası, İstanbul, 1988.

- [15] **Pusat Ş., Erdem H.H., Ekmekçi İ.** “*Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Skoç Tipi Buhar Kazanlarının Genel Performans Değerlendirmesi*” 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 19-22 Nisan 2017/İzmir
- [16] **M.C., Saidur, R., Rahman, S.M.A., Allouhi, A., Akash, B.A., Sait, S.M.**, 2017. A Review on Boilers Energy Use, Energy Savings, and Emissions Reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79 (2017), 970-983
- [17] **TMMOB Makine Mühendisleri Odası**, “*Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı*”. Yayın No: 110-7, Ankara, 1998.
- [18] **Arısoy, A.** (2001), “*Duman gazlarından ısı geri kazanımı.*” *Tesisat Mühendisliği*, 64, 58-61.
- [19] **Kaya D., Eyidogan M.**, (2009), “*Energy Conservation Opportunity in Boiler Systems*”. *Journal of Energy Resources Technology*, 131 (3), 032401, 2009. DOI: 10.1115/1.3185440.
- [20] **Kaya D., Eyidogan M.** (2010), “*Energy Conservation Opportunities in an Industrial Boiler System.*” *Journal of Energy Engineering*. 10.1061/(ASCE)0733-9402 (2010) 136: 1 (18), 18-25
- [21] **Bulut, H.** (2011), “*Buhar Kazanları Ders Notları Doç. Dr. Hüsamettin BULUT*”, sayfa 29
- [22] **Bulut, H.** (2011), “*Buhar Kazanları Ders Notları Doç. Dr. Hüsamettin BULUT*”, sayfa 63
- [23] **Demirer, M.A.** (1995). *Su Hijyeni Besin Hijyeni*. Ankara: Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi.
- [24] **Kaya D., Ozturk H.** (2014), “*Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği, Uygulamalı Örneklerle*”, *Umuttepe Yayınları*, ISBN: 9786055100179
- [25] **Enerji İşleri Genel Müdürlüğü**, “*Sanayide Enerji Yönetimi Esasları*”. Cilt No: III, EİEİ/UETM, Ankara, 1997, sayfa 103
- [26] **Karakoç H. ve diğerleri**, “*Yalıtım Dergisi; Tesisat Yalıtımı* “ , 98. Sayı (Mayıs 2012)
- [27] **Bulut, H.**, (2011), “*Buhar Kazanları Ders Notları Doç. Dr. Hüsamettin BULUT*”, sayfa 69

## Internet Kaynakları

[28] <https://www.suvecevre.com/edergi/19/152/46/> alındığı tarih: 08.08.2022.

[29] <https://miura.com.tr/buhar-kazanlarinda-birikinti-cesitleri> alındığı tarih: 10.11.2022.

[30] <https://www.burkut.com.tr/sudaki-silikat-in-su-sistemlerine-zararlari> alındığı tarih: 22.11.2022.

[31] [https://www.academia.edu/40181561/Betz\\_Handbook\\_of\\_Industrial\\_Water\\_Conditioning](https://www.academia.edu/40181561/Betz_Handbook_of_Industrial_Water_Conditioning) alındığı tarih: 12.12.2022.

[32] <https://v3.arkitera.com/v1/malzemedosyasi/isiyalitim/genelozellik/ozellik.htm> alındığı tarih: 12.12.2022.



## EKLER

### Ek - A: Kazanların Periyodik Kontrolleri ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Bazı Standartların Listesi

BUHAR KAZANLARI	
Standart No:	Standartın Adı:
TS EN 12953-1	Silindirik Kazanlar - Genel
TS EN 12953-2	Kazanın basınca maruz bölümleri ve yardımcı donanımları için malzemeler
TS EN 12953-3	Basınca maruz parçaların tasarımı ve hesaplanması
TS EN 12953-4	Kazanın basınca maruz parçaları ile ilgili işçilikler ve imalat
TS EN 12953-5	Kazanın basınca maruz parçalarının imalatı, dokümantasyonu ve işaretlenmesi sırasında muayeneler
TS EN 12953-6	Kazan donanımı için özellikler
TS EN 12953-7	Kazanda sıvı ve gaz yakıtlar için ateşleme sistemleri ile ilgili kurallar
TS EN 12953-8	Aşırı basınca karşı güvenlik koruyucuları ile ilgili kurallar
TS EN 12953-9	Kazan ve aksesuarları için sınırlayıcı tertibatlar ile ilgili kurallar
TS EN 12953-10	Kazan besleme suyu ve su kalitesi ile ilgili kurallar
TS 2025	Buhar Kazanları İşletme, Muayene ve Genel Bakım Kuralları
TS 13445-1	Basınçlı Kaplar – Ateşle Temas Etmeyen – Bölüm 1: Genel
TS 13445-5	Basınçlı Kaplar – Ateşle Temas Etmeyen – Bölüm 5: Muayene ve deney
TS EN 12952-1	Su Borulu Kazanlar - Genel
TS EN 12952-2	Kazanların ve aksesuarların basınca maruz kalan parçaları için malzemeler
TS EN 12952-3	Basınca maruz kalan parçaların tasarım ve hesaplamaları
TS EN 12952-4	Kazanın çalışma ömrü hesapları
TS EN 12952-5	Kazanın basınca maruz kalan parçalarının işçiliği ve yapımı
TS EN 12952-6	İmalat sırasında muayene; basınca maruz kalan parçaların dokümantasyonu ve işaretlenmesi

**Ek – A: Kazanların Periyodik Kontrolleri ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Bazı Standartların Listesi (Devamı)**

TS EN 12952-7	Kazan donanımı için özellikler
TS EN 12952-8	Sıvı ve gaz yakıtlı kazanların yakma sistemlerinin özellikleri
TS EN 12952-9	Kazan için pulvarize edilmiş katı yakıt yakma sistemlerinin özellikleri
TS EN 12952-10	Aşırı basınca karşı koruma kuralları
TS EN 12952-11	Kazan ve aksesuarların sınırlandırma cihazları için özellikler
TS EN 12952-12	Kazan besleme suyu ve kazan suyunun özellikleri
TS 2838	Alçak Basıncılı Buhar Üreticilerinde Güvenlik Kuralları
<b>SICAK SU KAZANLARI</b>	
TS 430	Kazanlar - Dökme Demirden
TS 497	Kazanlar – Çelik Malzemedden
TS EN 14336	Isıtma Sistemleri – Binalar İçin – Su Esaslı Isıtma Sistemlerinin Tesisi ve İşletmeye Alınması
TS EN 12170	Isıtma sistemleri – Binalar için – İşletme Bakım ve Kullanım Dokümanlarının Hazırlanması – Eğitimli personel gerektiren ısıtma sistemleri
TS EN 12171	Isıtma sistemleri – Binalar için – İşletme Bakım ve Kullanım Dokümanlarının Hazırlanması – Eğitimli personel gerektirmeyen ısıtma sistemleri
TS EN 12828	Binalarda ısıtma sistemleri-Su esaslı ısıtma sistemleri için tasarım
TS EN 303-1	Kazanlar cebri çekiş brülörlü kazanlar- Bölüm 1: Terim ve Tarifler genel özellikler deneyler ve işaretleme
TS EN 303-2	Kazanlar- Bölüm 2: Cebri çekiş brülörlü kazanlar- Püskürtmeli yakıt brülörlü kazanlar için özel şartlar
TS EN 303-3	Kazanlar- Bölüm 3: Merkezi Isıtma Kazanları- Gaz Yakan- Kazan Gövdesi ve Cebri Çekişli Brülörden Meydana Gelen Sistem
TS EN 303-5	Kazanlar-Bölüm 5: Katı yakıtlı kazanlar elle ve otomatik yüklemeli, anma ısı gücü 500 kw'a kadar-Terim ve tarifler, özellikler, deneyler ve işaretleme

**Ek - C1: OVS2 – 100/075-22W Kazan Mayıs Yakıt Harcama Raporları**

K SHIPS DENİZCİLİK TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ				
EMNİYETLİ YÖNETİM SİSTEMİ / SAFETY MANAGEMENT SYSTEM KAZAN YAKIT TÜKETİMİ / BOILER FUEL CONSUMPTION REPORT				Form No. OCL-14
Yayınlayan / Issued by Y.K. / D.P.A.	Onaylayan / Approved by İşletme Md. / Managing Dir.	Tarih / Date 01.03.2022	Yayın / Issue 00	Sayfa / Page 1 of 1

KAZAN SPESİFİKASYONLARI / BOILER SPECIFICATIONS				
TİP / TYPE	OSAKA OVS 2	TASARIM STİM BASINCI / DESIGN STEAM PRESSURE	7 kg/cm <sup>2</sup>	YANMA KAPASİTESİ / COMBUSTION CAPACITY
GEMİ / VESSEL	SELAMET	NORMAL STİM BASINCI / NORMAL STEAM PRESSURE	6 kg/cm <sup>2</sup>	86 Kg / h

AY / MONTH	MAYIS / MAY 2022	POZİSYON / POSITION	LİMAN / PORT
TARİH / DATE	YAKIT / FUEL	GÜNLÜK HARCAM Kg / DAILY CONSUMPTION Kg	STİM BASINCI / STEAM PRESSURE kg/cm <sup>2</sup>
08/05/2022	MGO	1630	5,2 ~ 6
09/05/2022	MGO	1600	5,2 ~ 6
10/05/2022	MGO	1620	5,2 ~ 6
11/05/2022	MGO	1650	5,2 ~ 6
12/05/2022	MGO	1594	5,2 ~ 6
13/05/2022	MGO	1633	5,2 ~ 6
14/05/2022	MGO	1642	5,2 ~ 6
15/05/2022	MGO	1641	5,2 ~ 6
16/05/2022	MGO	1591	5,2 ~ 6
19/05/2022	MGO	1586	5,2 ~ 6
20/05/2022	MGO	1588	5,2 ~ 6
21/05/2022	MGO	1582	5,2 ~ 6
22/05/2022	MGO	1583	5,2 ~ 6
23/05/2022	MGO	1585	5,2 ~ 6
24/05/2022	MGO	1585	5,2 ~ 6
25/05/2022	MGO	1585	5,2 ~ 6
26/05/2022	MGO	1586	5,2 ~ 6
27/05/2022	MGO	1587	5,2 ~ 6

**Ek - C1: OVS2 – 100/075-22W Kazan Mayıs Yakıt Harcama Raporları (Devamı)**

**Ek - C5: OVS2 – 100/075-22W Eylül Ayı Kazan Yakıt Harcama Raporları**

K SHIPS DENİZCİLİK TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ				
EMNİYETLİ YÖNETİM SİSTEMİ / SAFETY MANAGEMENT SYSTEM KAZAN YAKIT TÜKETİMİ / BOILER FUEL CONSUMPTION REPORT				Form No. OCL-14
Yayınlayan / Issued by Y.K. / D.P.A.	Onaylayan / Approved by İşletme Md. / Managing Dir.	Tarih / Date 01.03.2022	Yayın / Issue 00	Sayfa / Page 1 of 1

KAZAN SPESİFİKASYONLARI / BOILER SPECIFICATIONS				
TİP / TYPE	OSAKA OVS 2	TASARIM STİM BASINCI / DESIGN STEAM PRESSURE	7 kg/cm <sup>2</sup>	YANMA KAPASİTESİ / COMBUSTION CAPACITY
GEMİ / VESSEL	SELAMET	NORMAL STİM BASINCI / NORMAL STEAM PRESSURE	6 kg/cm <sup>2</sup>	86 Kg / h

AY / MONTH	EYLÜL / SEPTEMBER 2022	POZİSYON / POSITION	LİMAN / PORT
TARİH / DATE	YAKIT / FUEL	GÜNLÜK HARCAM Kg / DAILY CONSUMPTION Kg	STİM BASINCI / STEAM PRESSURE kg/cm <sup>2</sup>
08/09/2022 9 Hours	MGO	525	5,2 ~ 6
09/09/2022	MGO	1472	5,2 ~ 6
10/09/2022	MGO	1477	5,2 ~ 6
11/09/2022	MGO	1471	5,2 ~ 6
12/09/2022	MGO	1470	5,2 ~ 6
13/09/2022	MGO	1473	5,2 ~ 6
14/09/2022	MGO	1475	5,2 ~ 6
15/09/2022 7 Hours	MGO	428	5,2 ~ 6
16/09/2022 4 Hours	MGO	230	5,2 ~ 6
17/09/2022	MGO	1472	5,2 ~ 6
18/09/2022	MGO	1471	5,2 ~ 6
19/09/2022	MGO	1473	5,2 ~ 6
20/09/2022	MGO	1471	5,2 ~ 6
21/09/2022	MGO	1473	5,2 ~ 6
22/09/2022	MGO	1470	5,2 ~ 6
23/09/2022	MGO	1468	5,2 ~ 6
24/09/2022	MGO	1467	5,2 ~ 6
25/09/2022	MGO	1468	5,2 ~ 6

## ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Murat BAKAL

### Çalıştığı Kurumlar:

- K Ships Teknik Müdür
- Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
Öğretim Görevlisi

### Eğitim:

- Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik MYO Gemi Makineleri İşletme
- Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü,  
Otomotiv Öğretmenliği
- Beykent Üniversitesi İşletme Yönetimi Yüksek Lisans
- International Dublin Üniversitesi Makine Mühendisliği Lisans  
ICDE International Council for Open and Distance Education Akredite, EAIE  
Avrupa Uluslararası Eğitim Birliği Akredite
- İstanbul Gedik Üniversitesi Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans
- International Dublin Üniversitesi İşletme Yönetimi Doktora  
ICDE International Council for Open and Distance Education Akredite, EAIE  
Avrupa Uluslararası Eğitim Birliği Akredite
- Piri Reis Üniversitesi 7.02 Uzakyol Baş ve İkinci Mühendislik Tamamlama  
Eğitimi

### Lisanslar:

- DPA Türk Loydu Auditor Training for the International Safety Management  
Code for the Operation of Ships and Pollution Prevention
- Oceangoing Marine Chief Engineer Licence
- Professional Certificate in Ship Technical Management and Sea Surveyor
- Port State Control Course, Class NK

- Safety Equipment Course, Class NK

### **Gönüllü Çalışmalar:**

- Deniz Temiz Derneği/ TURMEPA
- Piri Reis Üniversitesi Danışman Kurul Üyesi (Müfredat Hazırlığında sektör uzmanı olarak bilgilerime başvurulmaktadır.)
- Koster, 7 Deniz, Sea and Coast, Deniz Ticareti Dergisi Teknik Köşe Yazarlığı

### **Onur, Ödül Ve Sertifikalar:**

- Istanbul Technical University, International Engineering Association
- Tübitak I-Gats Projesi katılım sertifikası
- 8 th International Congress On Occupational Safety And Health
- Advanced Fire Fighting Training Certificate
- Advanced Level English Certificate
- Brand Management
- Chemical Tanker Operations Training Certificate
- Communication
- Corporate Communicatio
- Crises Management
- Cultural Exchange Student Certificate in United States of America
- Professional Certificate in Ship Technical Management
- Designated Security Duties Certificate
- Elementary First Aid Training Certificate
- Fire Prevention and Fire Fighting Training Certificat
- Foreign Trading
- Human Sources Administration
- Influential Presentation Techniques
- Introduction to Chemical Tanker Training Certificate
- Introductition to Oil Tankers Training Certificate
- Leadership
- Logistik
- Mamara university Pedogogical Proficiency
- Medical First Aid Training Certificate

- Microsoft Office Certificate
- Occupational Health and Safety at Work
- Oil Tankers Operations Training Certificate
- Passenger Ships and Ro-Ro Certificate
- Personal Survival Techniques Training Certificate
- Problem Solving Techniques
- Proficiency in Fast Resque Boats Training
- Proficiency in Survival Craft and Rescue Boats
- Project Management
- Public Relations
- Quality
- Research Techniques
- S.W.O.T Analysis
- Security Awareness Certificate
- Security Related Familiarization Certificate
- Stock Management
- Time and Stress Administration
- Transportation
- Work Safety-Personnel Safety and Social Responsibility Certificate