

# **ÇELİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Aytaç AYDIN**

**ÇELİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ  
DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ**

**Aytaç AYDIN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2018**

Aytaç AYDIN tarafından hazırlanan “ÇELİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Emrah DENİZ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Korhan BİNARK (İZÜ)

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Aytaç AYDIN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ÇELİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ**

**Aytaç AYDIN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Emrah DENİZ**

**Ocak 2018, 57 sayfa**

Bu çalışmada, Entegre Demir Çelik Fabrikaları Çelik Üretim Tesisleri Bazık Oksijen Fırınlarda (BOF) açığa çıkan atık ısının geri kazanımı ve tekrar kullanımı konusunda bir farkındalık oluşturmak hedeflenmiştir. Ayrıca bu tesislerde ısı geri kazanım uygulamaları ile sağlanabilecek faydalar tespit edilmiştir. Atık ısının mevcut durumda değerlendirilmeden doğrudan atmosfere salınım yoluyla atıldığı göz önünde bulundurularak, kullanımlarının uygun olacağı belirlenen yöntemler için; termodinamik, ekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Hazırlanan yöntemlerin ilkinde söz konusu atık ısının absorpsiyonlu soğutma sistemi vasıtasıyla değerlendirilerek, soğutma kapasitesi tespit edilmiştir. İkinci yöntemde atık ısının nemlendirme nem alma yöntemi ile değerlendirilerek demineralize su üretim kapasitesi tespit edilmiştir. Üçüncü ve son yöntemde ise, atık ısının Organik Rankin Çevrimi (ORÇ) ile değerlendirilerek, elektrik üretim kapasitesi tespit edilmiş, söz konusu ORÇ için seçilen çalışma akışkanlarının kıyaslamaları doğrultusunda, örnek

ünite seçimi yapılmıştır. Belirlenen üç yöntem içinde ayrı ayrı teorik analizler yapılarak ısı geri kazanımı ile sağlanabilecek faydaların potansiyeli gösterilmiştir. Her bir yöntem için yapılan teorik analizler ve atık ısıdan elde edilebilecek katma değerler göz önüne alındığında, mevcut durumda göz ardı edilebilen düşük sıcaklıklı atık ısı kaynaklarının yüksek potansiyelli kullanım alanlarının olabileceği anlaşılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, absorpsiyonlu soğutma sistemi uygulamasının, geri ödeme süresi, yatırım şartları ve kullanım durumu göz önünde bulundurulduğunda en yüksek oranda fayda sağlayabilecek sistem olduğu belirlenmiştir. İkinci yöntem olarak, nemlendirme nem alma yöntemi ile demineralize su üretimi, son olarak ORÇ ile elektrik üretimi yöntemi gelmektedir.

**Anahtar Sözcükler :** Çelik Üretim BOF atık ısısı, absorpsiyonlu soğutma sistemi, organik rankin çevrimi, nemlendirme nem alma, demineralize su.

**Bilim Kodu :** 914.1.038

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EVALUATION METHODS OF WASTE HEAT IN STEEL PRODUCTION**

**Aytaç AYDIN**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:  
Assoc. Prof. Dr. Emrah DENİZ  
January 2018, 57 pages**

In this study, it is aimed to make awareness on the recovery and utilization of the waste heat from Basic Oxygen Furnace (BOF) used in Integrated Iron-Steel Factories and to determine the potential benefits that can be obtained by heat recovery applications in these plants. Thermodynamic, economical and environmental analyses are made for the methods considered suitable for the recovery of this waste heat which is currently released to the atmosphere. First an absorption refrigeration system is designed to use the waste heat as the heat source and its cooling capacity is calculated. In the second method, the heat is used to produce demineralized water by humidification-dehumidification process and water production capacity is calculated. In the third and last method, the waste heat is used for generating electricity by organic rankine cycle (ORC) and its generation capacity is calculated. Various working fluids for this ORC is compared to each other to choose the best sample unit. By performing the theoretical analyses separately done for all three methods determined, potential benefits of each method by heat recovery are shown. Theoretical analyses of these methods and added

values that can be obtained from the waste heat indicate that there is a high potential of these low-temperature waste heat sources which may be neglected currently. Analyses showed that absorption refrigeration system is the best option among the others in terms of payback period, investment conditions and usability. Demineralized water production with humidification-dehumidification process and electricity generation with ORC are determined as the second and third best options respectively.

**Key Word** : Steelshop BOF waste heat, absorption refrigeration system, organic rankine cycle, humidification-dehumidification, demineralized water

**Science Code** : 914.1.038



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Emrah DENİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÇalıŐmamda desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarıma, Başmühendisim Orhan SARIOĞLU'na, Müdürüm Yusuf ÇAKIR'a ve Yatırımlar Koordinatörümüz Mansur YEKE'ye, Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ'e teşekkür ederim.

Sevgili eşim Esra AYDIN başta olmak üzere, oğlum Miraç Yağız AYDIN'a ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için babam Mehmet AYDIN'a, annem Nilgün AYDIN'a, kardeşim Mustafa Anıl AYDIN'a ve bütün aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
SANAYİDE ENERJİ KULLANIMI VE ÇELİK ÜRETİM PROSESİ.....	3
2.1. ENERJİ VE SANAYİDE KULLANIMI .....	3
2.2. ÇELİK ÜRETİM PROSESİ.....	5
2.2.1. Bazık Oksijen Fırını İle Çelik Üretim Prosesi.....	6
BÖLÜM 3. ....	9
LİTERATÜR ÖZETİ.....	9
BÖLÜM 4. ....	15
MATERYAL VE METOD .....	15
4.1. BAZİK OKSİJEN FIRINLARI ATIK ISI OLUŞUM NOKTALARI .....	15
4.2. BOF KAYNAKLI ATIK ISININ DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ VE TEORİK ANALİZLERİ .....	19
4.2.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi .....	19
4.2.2. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Teorik Analizi .....	22
4.2.3. Nemlendirme-Nem Alma Yöntemi .....	23

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.4. Nemlendirme-Nem Alma Yöntemi Teorik Analizi.....	26
4.2.5. Organik Rankin Çevrimi.....	28
4.2.6. Organik Rankin Çevrimi Teorik Analizi .....	30
4.3. ATIK ISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ ÇEVRESEL- EKONOMİK ANALİZİ.....	36
BÖLÜM 5. ....	37
SONUÇLAR .....	37
5.1. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ SONUÇLARI .....	37
5.2. NEMLENDİRME NEM ALMA YÖNTEMİ SONUÇLARI .....	38
5.3. ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMİ SONUÇLARI .....	39
5.4. ATIK ISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ ÇEVRESEL- EKONOMİK ANALİZ SONUÇLARI .....	44
BÖLÜM 6. ....	45
DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR .....	49
EK AÇIKLAMALAR A. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KATALOG BİLGİLERİ.....	53
EK AÇIKLAMALAR B. ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMİ SEÇİLEN ÜNİTE DİYAGRAMI .....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’de 2015 yılı sanayi ve demir çelik sektöründe enerji kullanımı... 4	4
Şekil 2.2. BOF Yönteminin Aşamaları .....	7
Şekil 4.1. BOF Baca soğutma suyu çevrim sistemi şematik gösterimi .....	15
Şekil 4.2. Konverterler için proses aşamalarında baca suyu sıcaklık değişimi .....	18
Şekil 4.3. Amonyak/su Kullanılan Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.4. BOF kaynaklı atık ısının absorbsiyonlu soğutma sistemi ile değerlendirilmesi.....	22
Şekil 4.5. Nemlendirme Nem alma işlemlerinde havanın sıcaklık ve nem değerlerinin değişimi.....	24
Şekil 4.6. BOF kaynaklı atık ısının nemlendirme nem alma yöntemi ile değerlendirilmesi.....	25
Şekil 4.7. Nemlendirme Nem alma sistemi şematik gösterimi .....	26
Şekil 4.8. ORC sistemi şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.9. BOF kaynaklı atık ısının organik rankin çevrimi ile değerlendirilmesi... 29	29
Şekil 4.10. ORC kritik sistem için sıcaklık-entropi diyagramı .....	30
Şekil 5.1. Kıyaslama yapılan soğutucu akışkanların farklı evaporatör basınçları için termal verim değerleri .....	39
Şekil 5.2. Kıyaslama yapılan soğutucu akışkanların farklı evaporatör basınçları için ekserji verimleri .....	40
Şekil 5.3. Soğutucu akışkanlara göre maksimum net güç değerleri.....	41
Şekil 5.4. Termal verim ile maksimum net güç ilişkisi.....	42
Şekil 5.5. Ekserji verimi ile maksimum net güç ilişkisi.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. Üç konverterli çelikhanede üç saatlik çalışma simülasyonu.....	17
Çizelge 4.2. Absorbsiyonlu soğutma sistemi için yapılan varsayımlar .....	23
Çizelge 4.3. Nemlendirme nem alma sistemi için kabul edilen parametreler.....	27
Çizelge 4.4. ORÇ sistemi özellikleri .....	31
Çizelge 4.5. Soğutucu akışkanların özellikleri.....	33
Çizelge 4.6. ORÇ sistemi için kabul edilen parametreler .....	34
Çizelge 5.1. Üretilen elektriğin mali değeri ve yatırım maliyeti.....	43
Çizelge 6.1. Atık ısı değerlendirilme yöntemleri karşılaştırılması .....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Br	: bromür
CO	: karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: karbondioksit
c <sub>p</sub>	: özgül ısı
h	: entalpi
I	: ekserji
kW	: kilowatt
Li	: lityum
m	: kütleli debi
MPa	: megapaskal
Mtoe	: milyon ton eşdeğer petrol
NH <sub>3</sub>	: amonyak
P	: basınç
s	: entropi
T	: sıcaklık
T <sub>s</sub>	: atık ısı kaynağı sıcaklığı
T <sub>p</sub>	: kondenser suyu sıcaklığı
v	: hacimsel debi
W	: iş
ΔT	: sıcaklık farkı
η	: verim
ρ	: yoğunluk
Z <sub>CO<sub>2</sub></sub>	: çevresel maliyet
Ψ	: emisyon
φ	: toplam karbon emisyon değeri
\$	: dolar

$x_4$  : boyutsuz parametre  
 $P_{kond}$  : kondenser basıncı  
 $P_{ev}$  : evaporatör basıncı

## **KISALTMALAR**

BOF : Bazık Oksijen Fırını  
COP : Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)  
IT2MW : Infinity Turbine 2 Megawatt ORÇ modeli  
ORÇ : Organik Rankin Çevrimi  
R134a : Tetrafluoroethane  
R717 : Ammonia  
R600a : İzobütan  
R141b : Dichlorofluotoethane  
R152a : Difluoroethane  
R245fa : Pentafluoropropane  
R365mfc : Pentafluorobutane  
THÇ : Ton Ham Çelik  
TL : Türk Lirası  
USD : Amerikan Doları  
YBK : Yapısal Bağ Katsayıları

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde hızlı sanayileşme, üretimdeki yenilikler ve artan nüfus oranı pek çok ülkede enerji ihtiyacında bir artışa neden olmuştur. Enerji ihtiyacındaki bu artış, insanoğlunu daha çok enerji üretmeye, enerjiyi daha verimli kullanmaya ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanabilmenin yollarını aramaya yönlendirmiştir.

Enerji ve su tüketiminin fazla olduğu sanayi sektöründe fosil kökenli enerji kaynakları yaygın olarak kullanılmakta ve özellikle enerji tedarikinde dışa bağımlı olan ülkelerde üretim maliyetlerinin artmasına ve firmaların rekabet kabiliyetlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Kullanılan enerji kaynaklarından, ne kadar fazla verim ile istifade edilirse, o miktarda üretim maliyetleri düşürülebilir ve emisyon salınımları azaltılarak, atıkların çevresel problemlere sebep olunmalarının da önüne geçilebilir.

Proseslerde kullanılan enerjiden maksimum düzeyde fayda sağlamak, enerji verimliliği uygulamalarının sayılarını artırmak ve mevcut enerjinin en verimli şekilde kullanılacağı çeşitli yöntemlerin geliştirilmesi ile mümkündür. Enerji verimliliğini sağlamak adına sanayi sektöründe atık ısıların değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Sanayi sektöründe açığa çıkan atık ısıların çeşitli yöntemlerle tekrar kullanılabilir hale dönüştürülebilir olması, fosil yakıt tüketimini sınırlandıracaktır. Atık ısıdan yararlanabilmenin birçok yöntemi mevcut olmakla beraber bu ısıdan faydalanmak, enerji verimlilik düzeyini artıracak, enerji maliyetlerini ve dolayısıyla ürün maliyetlerini düşürücü etki yapacaktır. Enerjiyi atık ısılardan faydalanarak, maksimum verimle kullanan işletmeler rekabetçi piyasada düşüş gösteren üretim maliyetleri ile ön plana çıkacaklardır. Atık ısının azımsanmayacak boyutlarda olduğu sanayi kollarından biri Demir-Çelik Sanayisidir.

Demir-Çelik Sanayisi, dünyada enerji kullanım miktarı açısından ilk sıralarda bulunmaktadır. Üretim maliyetlerine etki eden başlıca parametrelerden biri olan enerji maliyeti firmaların sektörde rekabetçi konumda yer edinebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, Demir-Çelik sanayisinde enerji verimliliği konusunun ciddiyeti, sektörde faaliyet gösteren hemen hemen tüm firmalar için öncelikli konular arasında yer almaktadır. Firmalar kullandıkları enerji kalemlerinde, maksimum düzeyde fayda sağlamak adına geliştirilen verimlilik projelerine öncelik vermektedir. Verimlilik projelerinin çeşitlendirilmesi, daha önce ele alınmayan enerji kalemleri içinde geliştirilmesi, sektörün geleceğini şekillendirmede önemli yer tutacaktır.

Yapılan çalışmada, düşük sıcaklık ve yüksek enerji potansiyelinde atık ısıya sahip olan, çelik üretim prosesinde açığa çıkan atık ısının değerlendirilmesi üzerine yöntemler belirlenip, bu ısı geri kazanımı ile sağlanabilecek faydalar konusunda farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada, entegre demir çelik fabrikalarında, çelik üretim prosesinde oluşan atık ısının değerlendirilmesi üzerine absorpsiyonlu soğutma sistemi ile soğuk su elde edilme yöntemi, nemlendirme-nem alma ile demineralize su üretme yöntemi ve ORÇ ile elektrik üretme yöntemi olmak üzere üç farklı yöntem belirlenmiştir.

Çalışma, genel anlamda altı ana başlık altında toplanmıştır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde, dünya üzerinde su ve enerjinin önemine değinilmiş, atık ısı kaynaklarının değerlendirilebilir olması üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde, Çelik Üretim Prosesi, BOF prosesi ve enerji kullanımına yer verilmiş, üçüncü bölümde ise, çalışma ile ilgili Endüstride atık ısının kullanımı ile ilgili literatürde bulunan çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, BOF sistemlerindeki atık enerjinin faydalı hale dönüştürülebilmesi amacıyla önerilen; absorpsiyonlu soğutma sistemi, nemlendirme-nem alma yöntemi ve ORÇ yöntemlerinin çalışma prensiplerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde, çalışmaya yön verecek atık ısı kapasitesi hesaplanarak, atık ısının absorpsiyonlu soğutma sistemi ve nemlendirme-nem alma yöntemi ile demineralize su üretimi ile ORÇ ile elektrik üretimi yöntemlerinin sonuçlarına yer verilmiş, altıncı ve son bölümde ise, hazırlanan çalışmanın genel değerlendirmesine ve önerilere yer verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### SANAYİDE ENERJİ KULLANIMI VE ÇELİK ÜRETİM PROSESİ

#### 2.1. ENERJİ VE SANAYİDE KULLANIMI

Günümüzde enerji üretiminde öncelikli kaynaklar petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen ve hızla tükenmekte olan fosil yakıt olarak adlandırılan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar arasında doğal gazın çevreye olan olumsuz etkisinin diğerlerine göre daha az olmasından dolayı enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır. Dünyada en çok kullanılan enerji kaynağı petroldür. İkinci sırada kullanımı gün geçtikçe azalan maden kömürü ve üçüncü sırada üretim ve tüketimi hızla artmakta olan doğal gaz bulunmaktadır. Her dönem bazı sebeplerden dolayı belirli bir enerji kaynağı önem kazanmıştır. Kömürün yerini zaman geçtikçe petrol almış ve sonraki yıllarda ise doğal gaz önem kazanmıştır [1].

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, enerji talebinde ve maliyetlerdeki yükseliş, rekabet koşulları, enerjide dışa bağımlılığımız, var olan enerji kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmakta, bu nedenle de sanayide enerji verimliliği çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Çelik endüstrisi, dünyada en fazla enerji tüketen sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Enerjiyi yoğun kullanan demir çelik sektörünün, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %7.5, sanayi tüketimi içerisindeki payı ise, %22.9 civarındadır. Enerji tüketiminin fazla olduğu, yüksek fırın, kok fabrikaları, bazik oksijen fırınları, ark ocakları ve tav fırınları gibi yerlerde, ocağı besleyen enerji sistemlerinde, toz tutma ve soğutma suyu sistemlerinde, enerji tüketimini azaltacak çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye'de çelik sektöründe, enerjinin girdi maliyetlerinde payı, hammaddeden sonra ikinci sırada yer almakta ve %15-25 civarında yüksek bir orana sahip bulunmaktadır. Enerjinin üretim maliyetleri içerisindeki payı, enerjinin demir çelik sektörü açısından nasıl bir öneme sahip olduğunu göstermeye yetmektedir [2].

Türkiye’de 2015 yılında bakanlık verilerine göre 93,54 Mtoe enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Bu enerji tüketiminin 26.15 Mtoe kadarı sanayi tarafından tüketilmiş, bu tüketimin ise 3.81 Mtoe’lik payı demir çelik sektörü tarafından tüketilmiştir. Şekil 2.1’de 2015 yılında Türkiye’de sanayide ve demir çelik sektöründe enerji kullanım oranları gösterilmiştir [3].



Şekil 2.1. Türkiye’de 2015 yılı sanayi ve demir çelik sektöründe enerji tüketimi.

Önümüzdeki yıllarda öngörüldüğü üzere alternatif enerji kaynakları değer kazanacaktır. Alternatif enerji kaynakları arasına sanayide oluşan atık ısı kaynaklarını da eklemek doğru olacaktır. Potansiyeli göz ardı edilemeyecek boyutlarda oluşan atık ısıların geri kazanımı hem enerji maliyetlerini düşürecek hem de çevreye pozitif katkı sağlayacaktır [1].

Sanayinin birçok alanında gaz ve sıvı prosesini tamamladıktan sonra yüksek miktarda enerji içerdiği halde atık durumuna gelmektedir. Son zamanlarda geliştirilen sistemlerle bu atıklar tekrar sanayiye kazandırılabilir. Bu kazanım ekonomik katkısının yanı sıra aynı zamanda çevre kirliliğini azaltan ve ekolojik dengenin bozulmasını engelleyen bir unsurdur [1].

Gelişmiş ülkelerde endüstriyel enerjinin önemli bir kısmı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde dışarı atılmaktadır. Bu kayıpları önleyebilmek için en uygun yalıtım önlemlerinin alınması ile birlikte atık ısının minimuma indirilmesi ve geri kalan kısmının mümkün olduğunca değerlendirilmesi, geri kazanılması gerekmektedir.

Bunları önemli ölçüde sanayiye tekrar kazandırmak için ısı boruları, eşanjörler, atık ısı kazanları, ekonomizerler, ısı pompası uygulamaları, atık baca gazından elektrik üretimi uygulamaları, ORÇ sistemi, absorpsiyonlu soğutma sistemi gibi sistemlerden faydalanılır.

Atık ısıdan faydalanmak için gerekli olan sistemin ana projeye entegre edilmesinin ekonomik olabilmesi için atık ısı miktarının yeterli seviyede ve uzun süreli olması gerekmektedir. Bu entegrasyonda akışkanın debisi, sıcaklığı, nemi ve basıncı gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Buna karşılık sistemin kendini finanse edebilmesi için belli bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu süreyi kısaltmak ekipmanın ısı geri kazanım veriminin yüksek olması ve düzenli bir şekilde işletilmesiyle mümkün olabilmektedir. Bu nedenden ötürü işletme şartları ve detaylara ilişkin parametreler de hesaplanmalıdır. 120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bulunan atık ısıdan buhar elde edilmesinde, elektrik üretiminde veya yanma işleminde kullanılır. Düşük sıcaklıktaki atık ise genellikle hacim ısıtması için uygundur. Son dönemlerde gelişmekte olan ORÇ teknolojisi düşük sıcaklıktaki atık ısı kaynaklarından elektrik üretimini de mümkün kılmıştır. Ancak, atık ısının geri kazanılmasının ekonomik olarak çeşitli parametreler ile ilişkilidir. Bu parametrelerden bazıları; atık ısı için aynı tesiste kullanma alanı, yeterli miktarda ve optimum sıcaklıkta atık ısı mevcudiyetidir. Fizibilite çalışmalarının uygun şekilde yapılması ve kaynak yeterliliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

## **2.2. ÇELİK ÜRETİM PROSESİ**

Çelik, demir elementi ile çoğunlukla %0,2 ile %2,1 oranlarında farklılık gösteren karbon miktarının bileşiminden oluşan bir alaşımdır. Çeliğin sınıflandırılmasında, içerdiği karbon oranı büyük önem arz etmektedir. Karbon gibi magnezyum, krom, vanadyum ve volfram vb. farklı elementler de demir alaşımlamada kullanılabilir. Karbon ve diğer elementler demir atomunda mevcut olan kristal kafeslerin kayarak birbirini geçmesini engelleyerek sertleşme aracı olma rolünü üstlenirler. Çelikte; sertlik, süneklilik ve gerilme noktası gibi fiziksel özellikleri kontrol eden; alaşımlama da yer alan elementlerin miktarları ve mevcut buldukları formlardır. Karbon miktarı yüksek olan çelikler demirden daha sert ve güçlü olmasına karşın daha az sünektirler [4].

Çelik üretimi etkili imalat metotlarının bulunması ve akabinde kullanılmaya başlanması ile 17. Yüzyılda yaygın bir hâle geldi. Bessemer değiştirgeci'nin 19. Yüzyılda icat edilmesi ile birlikte çelik, pahalı olmayan seri üretim materyali olmaya başladı. İlerleme sürecinde ilave edilen temel oksijen ile çelik yapımı, üretim maliyetini düşürürken metalin kalitesini arttırmada önemli rol oynadı [5].

Temel olarak günümüzde çelik üretiminde takip edilen iki güncel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi, entegre tesislerde demir cevherinden yüksek fırınlarda pik demir üretimi ve akabinde üretilen sıvı demirden Bazik Oksijen Fırınlarda (BOF) çelik üretimi, ikincisi ise mevcut demir çelik hurdalarının elektrik ark ocaklarında tekrar ergitilmesiyle çelik üretimi şeklindedir [6].

Dünyada çelik üretiminin yaklaşık 1/3'ü çelik hurdasından elde edilmekte, kalan 2/3'lük kısım demir cevherinden BOF yöntemi ile elde edilmektedir. Türkiye'de ise, çelik üretiminde hurda kullanımı, dünyadaki üretim oranlarına göre çok daha yüksektir [4].

Günümüzde çelik, her yıl ortalama 1300 milyon ton üretimi ile dünyada en çok kullanılan ortak malzemelerden birisi konumundadır. Binalarda, altyapı üretiminde, aletlerde, gemilerde, otomobillerde, makinelerde, aksesuarlarda ve silahlarda ana malzemedir [5].

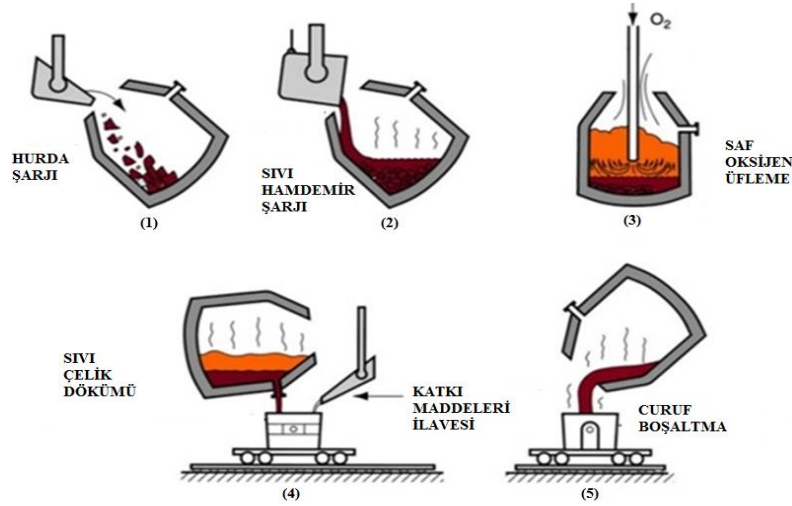
### **2.2.1. Bazik Oksijen Fırını İle Çelik Üretimi**

Çelik üretiminde modern anlamda ki ilk uygulamalar 1850'lerdeki Bessemer uygulamaları ile başlamıştır. Başlangıçta bu uygulamalarda kullanılan konverterlerin iç kısımlarında silika refrakter tuğlalar kullanılmıştır. 1879'larda Thomas, fırın içerisini dolomitik tuğlalarla astarlayarak bazik cüruf oluşumunu sağlamıştır. 1970'li yıllarda konverterin tabanından sıvı pik metale oksijen üflenmesi bu uygulamada önemli bir yenilik veya gelişme olarak tarihteki yerini almıştır [6].

Oksijenle çelik üretim prosesi, fırına şarj edilmiş olan sıcak metal ve beraberindeki hurdayı, saf oksijen kullanarak, kısa sürede istenen karbon ve sıcaklıktaki çelik haline dönüştürür. Çelik ayrı partiler halinde yapılır ve bunların her birine bir döküm denir.

Bazik oksijen fırını veya diğer adıyla konverter, yatay mıyulu eksenini etrafında dönebilen, üstü açık, refrakter örölü fiçı şeklinde bir kaptır. Yüksek fırından çelikhaneye pota veya torpidolarla getirilen sıvı ham demir, vinçlerle mikserlere boşaltılır. Mikser; yüksek fırından gelen sıvı ham demirin depo edilmesini ve konverterlerin kullanabileceği şartlara uygun homojen kompozisyon sağlar. Mikserde sıvı ham demirin sıcaklığını korumak için kok gazı yakılır. Prosesin (BOF) temel operasyon adımları, şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmiştir [7].

Konvertere 1. aşamada çelik hurdası, 2. aşamada mikserlerden potalara alınan sıvı ham demir şarj edilir. 3. Aşamada sıvı ham demirin içindeki karbon kükürt, silisyum, mangan ve fosfor gibi elementler 15-20 dakika oksijen üflenerek ve kalsine kireç, dolomit, kok tozu gibi yardımcı malzemeler ilave edilerek istenen değerlere düşürülür. 4. Aşamada sıvı ham demir içindeki karbon, kükürt, silisyum, fosfor değerleri istenen miktarlara düşükten sonra yaklaşık 1635 °C dolayında çelik olarak potalara alınır. Konverter, eksenini etrafında döndürölerek ağzı aşağıya getirilir ve içindeki çeliğin potalara alınması sağlanır. 5. ve son aşamada ise konverter döküm pozisyonundan ters çevrilerek, içerisindeki cüruf boşaltılır [6].



Şekil 2.2. BOF yönteminin aşamaları [7].

Oksijenle çelik üretimi işleminde; fırına şarj edilmiş sıcak metal ve beraberindeki, hurdanın %99 saf oksijen kullanarak kısa sürede istenen karbon ve sıcaklıkta çelik hâline getirilmesi işlemidir. Çelik üretimi ayrı apritler hâlinde yapılır ve bunların her

birine bir döküm denir. Oksijen konverteri, yatay muylu ekseni etrafında dönebilen, üstü açık, refrakterler örülü fiçı şeklinde bir kaptır [6].

Bu prosesin tüm görevi, karbonu yaklaşık %4'ten %1'in altına indirmek (genellikle %0,1'den düşük), kükürt ve fosforu azaltmak veya kontrol etmek ve son olarak ta, hurda ve sıcak metalden oluşan çeliğin sıcaklığını yaklaşık olarak 1635 °C'ye yükseltmektir. Tipik bir konfigürasyonda, yaklaşık her 45 dakikada bir (ki bu zaman aralığı 30 ila 65 dakika arasındadır) 380 tona kadar üretim yapılabilir [6].



## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR ÖZETİ

Dünyada enerji üretmek amacıyla yaygın olarak fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak, fosil kökenli yakıtların tüketimi sonucu çevreye verdiği olumsuz etkiler yüzünden, alternatif enerji kaynaklarına yönelme, enerji verimi ve kalitesinin artırılması yönündeki çalışmalar ve araştırmalar önem kazanmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilebilecek olan sanayi atık ısı; sanayide üretim faaliyetleri sırasında açığa çıkan, yüksek potansiyele sahip, çoğunlukla kullanılmadan çevreye atılan bir enerji kaynağıdır.

Atık ısının kullanımı, sanayide enerji kaynaklı yüksek maliyetleri düşürücü etkinin yanı sıra çevreye olan olumsuz etkisinin de minimize edilmesi anlamı taşımaktadır. Günümüzde atık ısıların geri kazanımı ve enerji olarak kullanılması konusunda birçok çalışma ve araştırma bulunmaktadır. Aşağıda atık ısının kullanım yöntemleri hakkında literatür özeti verilmiştir.

Ertem yapmış olduğu çalışmada, Türkiye’de bulunan 3 adet entegre demir çelik tesislerinde yapılan enerji tasarrufu potansiyeli ile ilgili olarak, Erdemir, Kardemir ve İsdemir’in ton ham çelik başına enerji tüketim değerlerini tespit etmiştir. Bu bilgiler ışığında, Erdemir’de yaklaşık 500 Mcal/THÇ, Kardemir’de 2000 Mcal/THÇ ve İsdemir’de de 3000 Mcal/THÇ başına enerji tasarrufu potansiyeli görülmüştür. Avrupa genelinde 4500 Mcal/THÇ olan enerji tüketiminin Türkiye’deki tüm entegre demir çelik tesislerinde de aynı seviyeye getirilmesi, yapılan çalışmalar ve enerjinin her geçen gün artan öneminin getirdiği gereklilikle beraber çok uzun sürmeyeceği belirtilmiştir [8]. Çayır ve Eğrican yapmış oldukları çalışmada, yüksek fırın ve BOF proseslerinde termodinamiğin ikinci kanununu kullanarak enerji optimizasyonunun yapılması konusunda çalışmışlardır. Bir entegre demir çelik enerji tüketimini etkileyen ana faktörler olarak, yüksek fırın prosesinde bir ton sıcak maden üretimi için harcanan

kok tüketim miktarı, BOF prosesi için ise hurda/sıcak maden oranı olarak belirtmişlerdir. Ana faktör olarak belirtilen parametreler için bilgisayar ortamında simülasyon programı ile takip sağlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, yüksek fırın prosesinde bir ton sıcak maden için kok tüketimi azaldığında, ikinci kanunun kok veriminde artış gözlenmiştir. Bazik oksijen fırın prosesinde ise; bir ton sıcak maden için sıvı çelik üretim miktarının artışına bağlı olarak, ikinci kanunun sıvı çelik veriminde artış görülmektedir [9].

Feng Huang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, gelişmekte olan Asya ülkeleri ve özellikle Çin'de düşük sıcaklıklı endüstriyel atık ısıların oluşum noktalarının belirlenmesi ve bu noktalara yönelik değerlendirme projeleri geliştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, Doğu Çin, Malezya ve Singapur'da bulunan endüstriyel atık ısı kapasiteleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda, ısı geri kazanımının öneminin ekonomik kalkınma ve hava kirliliğinin artmasıyla daha fazla dikkat çekeceği vurgulanmıştır. Ayrıca, araştırmacılar ve teknik elemanlar için ısı geri kazanım uygulamaları hakkındaki bilgilerin güncel tutulmasının gerekliliği de savunulmuştur [10].

Hussam Jouhara ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, çelik endüstrisindeki enerji talebinin büyük bir kısmının ısıtma amaçlı kullanılması nedeniyle, ısının geri kazanımının, hem üretim maliyetleri hem de sera gazı emisyonlarında belirgin azalmalara neden olacağını belirterek, düzlemsel ısı borulu ısı değiştiricisine (FHP) dayanan yenilikçi bir ısı geri kazanım sisteminin tasarımı, üretimi ve testini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, FHP'nin termal performansı hem laboratuvarında hem de bir endüstriyel tesiste araştırılmış ve geri kazanılan enerji ve FHP'nin çalışma sıcaklıkları rapor edilmiştir. Teorik bir modelleme aracı, cihazın laboratuvarındaki performansını tahmin etmek için oluşturulmuştur. Deneysel ve kuramsal sonuçlar arasında uygun anlaşma sağlanmıştır. Sonuçlardan FHP'nin bu gibi endüstriyel uygulamalardan atık ısı geri kazanımı için yenilikçi yüksek verimli bir teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır [11].

Hongting Ma ve arkadaşları Çelik endüstrisinde cüruf soğutma işleminde atık ısının geri kazanılması için kullanılan bir ısı borusu ısı değiştiricisinin (HPHE) özelliklerini

araştırmak için atık ısı geri kazanım deney sistemi tasarlamış ve kurmuştur. HPHE'yi temsil eden ana parametreler deneysel ve teorik olarak araştırılarak optimum işletme koşulları termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarının entegrasyonu ile belirlemişlerdir. Sonuçlar, sabit soğuk su kütle akış hızında artan atık su kütle akış hızlarıyla ısı transfer oranı ve ısı transfer katsayısının arttığını göstermiştir. Atık su kütle akış hızı 0,8 ve 1,9 m<sup>3</sup>/h arasında değiştiği için, ekserji hızı, ekserji verimi ve HPHE'nin etkililiği değerleri 0,277 ila 0,510 kW; %66,1'den % 42,9'a ve sırasıyla 0.085'den 0.192'ye yükseldiği gösterilmiştir. Optimum atık su ve soğuk su kütle akış hızı sırasıyla 1.40 ve 2.90 m<sup>3</sup>/h olarak bulunmuştur. Ayrıca, çalışmada on-line temizleme cihazının ısı transferi ve kirlilik temizleme üzerindeki etkisi deneylerle doğrulanmıştır. On-line temizleme cihazını kullandıktan sonra ısı transfer performansının önemli ölçüde iyileştiği sonucuna varılmıştır [12].

Guang-yu ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, günümüzde açığa çıkan enerji krizine bağlı olarak, Çin'in demir-çelik endüstrisinde atık ısının geri kazanımı ve kullanılmasının mevcut durumu, atık ısı kalitesi ve kaynakları bazı yönlerden analiz edilmiştir. Yapılan analizlere göre şu sonuçlara ulaşılmıştır; Çin'in demir çelik endüstrisinde düşük dereceli atık ısıların esasen kullanılmamakla birlikte, gelecekte demir çelik endüstrisinde atık ısının geri kazanılması ve kullanılmasının kilit nokta olacağı belirtilmiştir. Kok ve sinterleme süreci iyileşme oranının nispeten düşük olduğu ve. kok kuru söndürme teknolojisinde araştırma ve geliştirmenin güçlendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca sinterleme süreci atık ısı kaynaklarının kademeli olarak toplanılması ve kademeli olarak kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Atık ısının bilimsel açıdan kazanılması ve kullanılması, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları ile birlikte, kaliteye ve sıcaklığa karşılık gelen ve basamaklı kullanımına göre geri kazanılan miktar, sıcaklık ve kullanıcı talebine bağlı olması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır [13].

Wanga ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada 350 °C'nin altındaki sıcaklıklarda atık ısıların geri kazanılması ve yeniden kullanımı için çeşitli seçeneklerin teknolojik değerlendirilmesi sunulmuştur. Entegre çelik fabrikası için enerji verimliliği ve çevreye pozitif katkı açısından yatırım stratejilerini göstermek için süreç bütünleştirme yaklaşımı yapmışlardır. Modelleme sonuçları, çeşitli proses

ünitelerindeki baca gazı kaynaklı atık ısıların geri kazanılması ve yeniden kullanılması ile toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının %0.44-1.80'lik bir CO<sub>2</sub> azaltma potansiyeli olduğunu göstermiştir [14].

Wang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, son yıllarda düşük sıcaklıklı atık ısıdan enerji geri kazanımına olan ilginin giderek arttığı vurgulanmıştır. Motor egzoz gazları, endüstriyel proses gazları, güneş enerjisi potansiyellerinin umut vaat ettiği belirtilmiş ve atık ısı geri kazanım proseslerinde ORÇ kullanımının oldukça yaygın olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada, ORÇ sisteminin iki temel avantajından bahsedilmiştir. Bunlar; sistemde kullanılan organik akışkanın düşük sıcaklıklarda suya göre daha adaptif olduğu ve geleneksel rankin çevriminden farklı olarak lokal ve küçük ünitelerin kullanılabilmesinin ORÇ ile mümkün olduğudur [15]. Börrnert ve arkadaşları petrol rafinesi, çelik üretimi, cam sanayi gibi fabrikalar ana proseslerini gerçekleştirilirken büyük miktarda atık ısı salınımı yapıldığını çalışmalarında ifade etmişlerdir. Üretim prosesinde kullanılan enerjinin yaklaşık %20-50'lik kısmı atmosfere salındığı ve atık ısı kullanımı ile enerji verimi %10 ile %50 arasında arttırılabileceği, ayrıca atık ısı kullanımı ile yıllık 10,000 ton olan CO<sub>2</sub> salınımı %20 mertebesinde azaltılabileceği belirtilmiştir [16]. Li ve arkadaşları, sanayileşme ve nüfus artışı ile birlikte enerji ihtiyacı da giderek arttığını, bu durumun insanlar için önemli problemlerden biri haline geldiğini belirtmiştir. Sürdürülebilir kalkınma için birincil kaynakların (kömür, yağ, doğal gaz vb.) sınırlı rezervleri olumsuz etki yarattığı, endüstriden çevreye salınan atık ısı, ciddi enerji kaybına ve çevre kirliliğine neden olduğu ifade edilmiştir [17]. Kireç ocaklarından (kilns) çıkan gazlar, egzoz gazları olarak atmosfere atılmaktadır. 4 kademeli ön ısıtıcılarda egzoz gazı sıcaklığı 300-350 °C iken 5-6 kademeli ön ısıtıcılarda 200~300 °C'dir. Klinkerin kireç ocağından çıkış sıcaklığı yaklaşık 1000°C olup dış ortam (atmosfer) havasıyla 100~120 °C'ye soğutulmaktadır. Bu esnada 200~300 °C'de sıcak hava elde edilmektedir. Soğutucudan çıkan sıcak hava ve kireç ocağından çıkan egzoz gazlarının enerjisi organik rankin çevrim teknolojisi kullanılarak geri kazanılabileceği Bundela ve arkadaşlarının çalışmasında göz önüne serilmiştir [18]. 1.4 silindir hacmine sahip buji ile ateşlemeli bir motorun termik verimi çalışma şartlarına göre değişiklik göstermekle birlikte %15~32'dir. Geriye kalan %60~70'lik enerji radyatör (%18~42) ve egzoz gazlarıyla (%22~46) atmosfere atılmaktadır [19]. Rankin çevrimle

kaybedilen bu ısı geri kazanılarak kabin içi termal konforun sağlanması veya güç üretimi için kullanılabilir. Honda, akışkan olarak suyun kullanıldığı bir prototip dizayn ederek test etmiştir. Yapılan prototiple 100 km/h sabit hız şartlarında termik verimin %28,9'dan %32,7'ye yükseldiği çalışmada belirtilmiştir [20].

El Dessouky'un çalışmasında gas türbinli elektrik santralının atık ısıyla çalışan nemlendirme-nem alma yöntemiyle demineralize su üretimini incelemiştir. Sistemin tüm Reverse Osmosis sistemlerinden daha iyi olduğu çalışmada belirtilmiştir [21]. Sommarva, güç santrallerindeki proses buharının dışındaki uygun atık ısıların kullanıldığı yenilikçi proses yapılarına sahip farklı türlerdeki desalinasyon yöntemleri (Çok Kademeli Flash, Çoklu Etki Distilasyon) için üretim ve performans oranlarını optimize etmiştir. Sonuçlar düşük üretim maliyetleri ve olumsuz çevresel etkilerde azalma olduğunu göstermiştir [22]. Aybar, enerji kaynağı olarak bir güç santralının atık enerjisinin kullanıldığı çoklu etki distilasyon sistemini termodinamik analizini yapmış ve sistemin toplam su üretiminin yaklaşık 3.34 ton/h olduğunu, güç santralının su ihtiyacının ise %83'ünün karşılayabileceği sonucuna varmıştır [23].

Kavaklı (2005), çalışmasında Volvo–Penta'dan elde edilen bir dizel motorun deney sonuçlarını incelemiştir. Dizel motora ait deney sonuçlarından otobüslerde absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli atık ısının bulunduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda, sistemin temel elemanlarından olan jeneratör dizayn edilmiştir. Mevcut klima sistemlerinde kullanılan jeneratör ısı kapasitesini sağlayan egzoz gazı için jeneratörde kullanılacak boru sayısı hesaplanmıştır. Ayrıca, 100 cm ve 60 cm boyunda, farklı olarak kanatçıklı jeneratör kullanıldığında egzoz gazından 105 kW'a kadar ısı transfer edildiği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda otobüslerde absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli atık ısının var olduğu, uygun bir jeneratör dizaynı ile bu ısının değerlendirilebileceği görülmüştür [24].

Özturan ve Binark yapmış olduğu çalışmada, dünya genelinde var olan temiz su sıkıntısına dikkat çekmiş ve bu sıkıntıya çözüm olacak çevre ile dost, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı, havadan su üretme dayalı nemlendirme-nem alma vb. sistemleri inceleyerek bu sistemleri açıklamıştır [25]. Yıldırım ve Yeşilata, çalışmalarında düşük sıcaklıkta ısı kaynağına ihtiyaç duyan bir Li-Br/Su absorpsiyonlu

soğutma sistemi için “Yapısal Bağ Katsayılar (YBK)” yöntemi ile termoekonomik optimizasyonu yapmışlardır. Sisteme ait temel ekipmanların (ısı değiştirgeçlerinin) termodinamik ve maliyet parametreleri ile optimum ısı transfer yüzeyi arasındaki fonksiyonel ilişki belirlenmiştir. Optimize edilmiş sistemle, toplam tersinmezlik başlangıçtaki tasarıma kıyasla %72,5 azaltılmıştır. Optimizasyon sistemdeki ısı transfer yüzey alanının artması ile sonuçlandırıldığından ilk yatırım masrafını arttırmış; ancak tersinmezlik te ki ciddi düşüş ile ilk yatırıma eklenecek ilave tutarın 4.2 yıl gibi kısa sürede geri dönüşünün mümkün olabileceği belirlenmiştir. Klasik enerji fiyatlarının sürekli artma trendi nedeniyle, gelecekte yatırımın geri dönüş süresinde azalma olasılığı oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir [26].

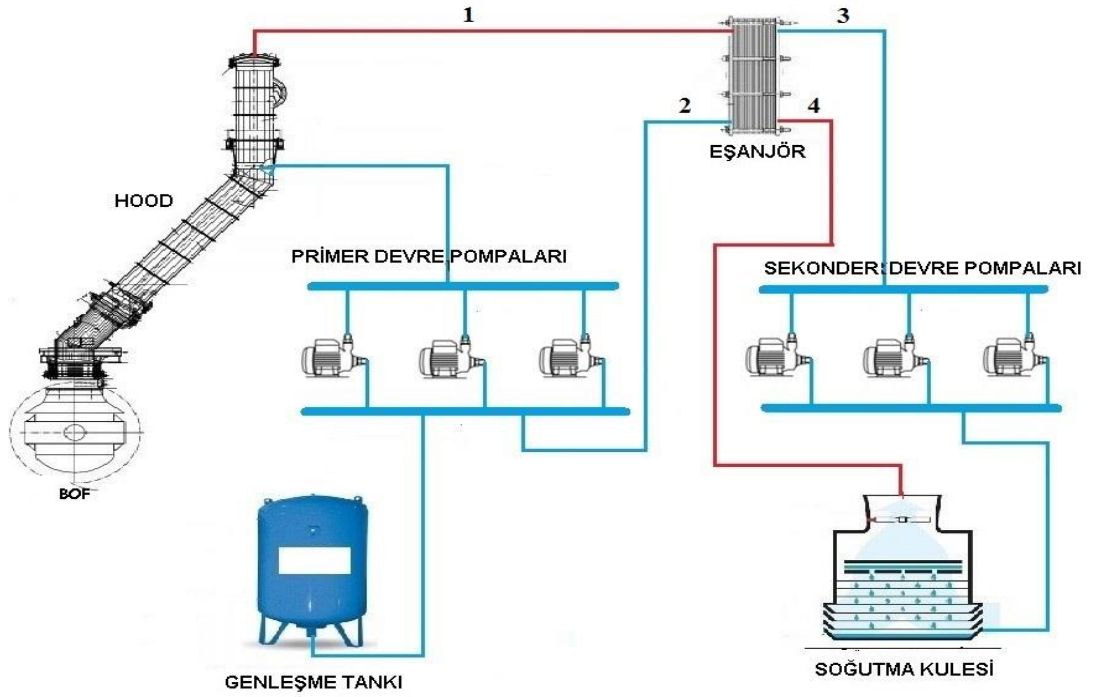
Stefano Mazzoni ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada suyun tüm dünyada olduğu gibi Singapur’da da büyük öneme sahip olduğunu vurgulayarak, Singapur’da su kullanımının %45’inin insanlar tarafından %55’inin ise sanayide soğutma kulelerinde kullanıldığını belirtmişlerdir. Çalışmada bahsedilen soğutma kulelerindeki soğutma yükünün hafifletilmesi adına ORÇ sistemi kullanımı anlatılmıştır. R245fa çalışma akışkanı kullanan düşük kapasiteli ORÇ sistemlerinin soğutma yükünü hafiflettiği ve su tüketiminde tasarruf sağladığı sonucuna ulaşmışlardır [27].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

#### 4.1. BAZİK OKSİJEN FIRINLARINDA ATIK ISI OLUŞUMU

Bazık Oksijen Fırını (konverter) prosesinde göz ardı edilemeyecek boyutlarda atık ısı kaynakları mevcuttur. Bu kaynaklardan potansiyeli en yüksek olanı, baca gazı tahliyesine yarayan konverter su soğutmalı bacalarında dolaşan yüksek debili, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıktaki soğutma suyudur. Şekil. 4.1’de atık ısı oluşumu nedeniyle ele alınan sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil.4.1. BOF baca soğutma suyu çevrim sistemi şematik gösterimi.

Konverterlerde çelik üretimi esnasında açığa çıkan ve sıcaklığı çelik sıcaklığına yakın seviyede bulunan (1650 °C) konverter gazı, belirli soğutma işlemlerinden geçmek zorundadır. Konverter gazı içerisinde %65'e kadar CO ihtiva eden, çelik üretim prosesinde oluşan gazdır. Bu soğutma işlemi için su soğutmalı borulardan oluşan ve soğutma bacası adı verilen bacalar kullanılmaktadır. Soğutma bacalarında ortalama 900-1000 m<sup>3</sup>/h debisinde su akışı gerçekleşmektedir. Sistemde dolaşan suyun sıcaklığı operasyon şartlarına göre 110 °C sıcaklık değerine ulaşabilmektedir. Su soğutmalı baca içerisinde dolaşan soğutma suyu işletme adımlarına bağlı olarak 75 °C ile 110 °C sıcaklık değerlerine sahip olabilmektedir.

Çalışmada ele alınan Çelik Üretim tesisine ait konverter bacalarında dolaşan soğutma suyu 960 m<sup>3</sup>/h debiye, 1,4 MPa basınç değerine sahiptir. Soğutma suyu konverter üretim proses aşamalarında sabit debi ve basınçta kalmakta fakat sıcaklığı değişkenlik göstermektedir. Sıcaklık değeri çelik üretim prosesi aşamalarına göre en düşük 75 °C en yüksek 110 °C değerine ulaşmaktadır.

Soğutma bacalarında kullanılan su, kapalı çevrim prensibine göre çalışmaktadır. Sıcaklığı artan su sekonder hattında soğutma suyu dolaşan bir eşanjörden geçerek sisteme tekrar verilmektedir. Soğutma amaçlı kullanılan soğutma suyu çevrimini soğutma kulesinden tamamlamaktadır. Bu durum atık ısının değerlendirilmeden çevreye salınması demektir. Çelik üretiminde meydana gelen ve potansiyeli oldukça yüksek olan bu atık ısı değerlendirilmelidir.

Konverterlerde çelik üretim prosesini baca suyunun sıcaklık değişimine bağlı olarak 3 temel aşamada tanımlamak mümkündür.

- 1.aşama, konverterlere sıvı maden ve hurda şarjı; konverterlere yüksek fırınlardan gelen sıvı ham maden ve hazırlanmış olan hurda şarjı yapılır. Bu esnada soğutma bacasında dolaşan su debisi 960 m<sup>3</sup>/h, basıncı 1,4 MPa, sıcaklığı 75 °C civarındadır.
- 2. aşama konverterlerde saf oksijen üflenmesi; konvertere şarj edilen sıvı ham demir ve hurda karışımına saf oksijen üflemesi yapılmaktadır. Bu esnada

soğutma bacalarında dolaşan su maksimum sıcaklık değerini almakta ve 110 °C'lere çıkabilmektedir. Debi ve basınç sabittir. (960 m<sup>3</sup>/h, 1,4 MPa)

- 3. aşama, konverterlerde çelik dökümü; bu aşamada üfleme adımının sonuna gelinmiş, yaklaşık 1650 °C sıcaklığında çelik üretimi gerçekleşmiştir. Hazır olan çelik, çelik potalarına dökülür. Bu esnada soğutma bacalarında dolaşan su miktarı 960 m<sup>3</sup>/h, basıncı 1,4 MPa, sıcaklığı 85 °C civarındadır.

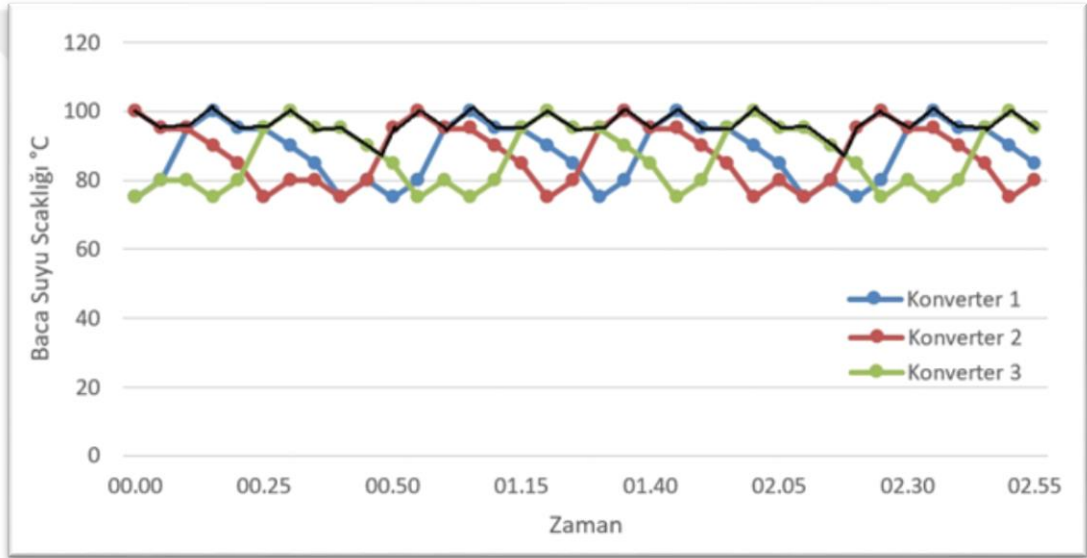
Bu çalışmada ele alınan Çelik Üretim Prosesi 3 konverterli sistemden oluşmaktadır. Birbirinden bağımsız olarak 3 ayrı konverterle üretim yapılmaktadır. Atık ısıdan maksimum düzeyde yararlanabilmek için su sıcaklığının en yüksek düzeyde olduğu üfleme adımlarını artarda getirmek adına, söz konusu 3 konverterin 3 saatlik çalışma prosesleri simülize edilmiştir. Bu 3 saatlik çalışma düzeninin 24 saat boyunca sürdürüleceği kabul edilmiştir. Konverterlerin çalışma adımlarının art arda getirildiği simülasyon Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Üç konverterli çelikhanede üç saatlik çalışma simülasyonu.

KONVERTER 1			KONVERTER 2			KONVERTER 3		
ŞARJ	ÜFLEME	DÖKÜM	ŞARJ	ÜFLEME	DÖKÜM	ŞARJ	ÜFLEME	DÖKÜM
00.00	00.10	00.25	00.15	00.25	00.40	00.30	00.40	00.55
00.10	00.25	00.40	00.25	00.40	00.55	00.40	00.55	01.10
00.45	00.55	01.10	01.00	01.10	01.25	01.15	01.25	01.40
00.55	01.10	01.25	01.10	01.25	01.40	01.25	01.40	01.55
01.30	01.40	01.55	01.45	01.55	02.10	02.00	02.10	02.25
01.40	01.55	02.10	01.55	02.10	02.25	02.10	02.25	02.40
02.15	02.25	02.40	02.30	02.40	02.55	02.45	02.55	03.10
02.25	02.40	02.55	02.40	02.55	03.10	02.55	03.10	03.25
03.00	03.10	03.25	03.15	03.25	03.40	03.30	03.40	03.55
03.10	03.25	03.40	03.25	03.40	03.55	03.40	03.55	4.10

Bir konverter için dökümden döküme geçen süre 40 dakika olmaktadır. Konverterlerde oluşan atık ısının sıcaklığının en yüksek olduğu aşama, oksijen üfleme aşamasıdır. Oksijen üfleme aşaması bir konverter için 15 dakika sürmektedir. Bu nedenle 3 konverter için oksijen üfleme aşamaları artarda getirilmiş olup, sıcaklığı yüksek atık ısı kaynağının stabilizasyonu sağlanmıştır. Mevcut durumda her bir konverter için ayrı ayrı eşanjörler ve baca suyu pompaları bulunmaktadır. Üfleme aşamalarının art arda getirilmesi ile birlikte sıcak suyun tek bir hat üzerinden çalışabilmesi için sistem

seçmeli hale getirilmelidir. Seçmeliden kasıt normal hattın yanına kurulacak atık ısı değerlendirme sistemi için ayrı bir hat ve bu hat ile normal hattın otomatik vanalar ile seçmeli hale getirilmesidir. Bu durumda 3 konverter için tek bir atık ısı değerlendirme sistemi kurmak yeterli olacaktır. Konverterlerde oluşan atık ısı miktarının sıcaklığa bağlı olarak en yüksek olduğu zamanlarda atık ısı değerlendirme sistemi üzerinden sıcak su geçirilerek, atık ısıdan fayda sağlanmış olacaktır. Şekil 4.2’de 3 konverter üretim proses aşamalarında baca suyu sıcaklık değişimi gösterilmiştir. Bahsedildiği üzere üfleme proseslerinin artarda getirilmesi ile sıcak suyun stabilizasyonu sağlanabilmektedir.



Şekil 4.2. Konverterler için proses aşamalarında baca suyu sıcaklık değişimleri.

Grafikten görüleceği üzere siyah çizgiyle belirtildiği şekliyle atık ısı kaynağı olan sıcak suyun belli sıcaklık değerlerinde stabilizasyonu sağlanabilmektedir.

Çalışmada ele alınacak senaryolarda baz alınacak atık ısı değeri 95 °C sıcaklığında, 960 m<sup>3</sup>/h debide bulunan sıcak sudan hesaplanacaktır. Atık ısısı kullanılacak olan sıcak su tekrar proseste kullanılabilmesi açısından kurulacak sistemlerden 65 °C sıcaklığında çıkacaktır.

## 4.2. BOF KAYNAKLI ATIK ISININ DEĞERLENDİRİLME YÖNTEMLERİ VE TEORİK ANALİZLER

Çalışmanın bu kısmında, BOF kaynaklı atık ısının değerlendirilme yöntemlerine yer verilmiştir. Bu yöntemler sırasıyla; absorpsiyonlu soğutma sistemi ile soğuk su eldesi, nemlendirme-nem alma yöntemi ile demineralize su eldesi ve son olarak ORÇ ile elektrik üretilmesidir.

Maddelerin hal ve sıcaklığında değişmeye neden olan ısıdır. Sıcak bir ortama bırakılan buz parçasını bir müddet sonra tamamen su haline dönüştüren, ocağın üstünde bulunan suyun ısınmasına ve sonunda kaynamasına sebep olan, yazın elektrik tellerinin uzamasına ve onların sarkık hale gelmesine sebep olan hep ısıdır. Daha teknik bir ifade ile ısı, bir maddenin bütün moleküllerinin sahip olduğu potansiyel enerjileri ile kinetik enerjilerinin toplamıdır. Başka bir ifade ile ısı bir enerji türüdür ve diğer enerjilere dönüşebilir [28]. Mevcut sistemde BOF kaynaklı kullanabileceğimiz atık ısı miktarı;

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

Bağıntısından hesaplanmıştır.

### 4.2.1. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

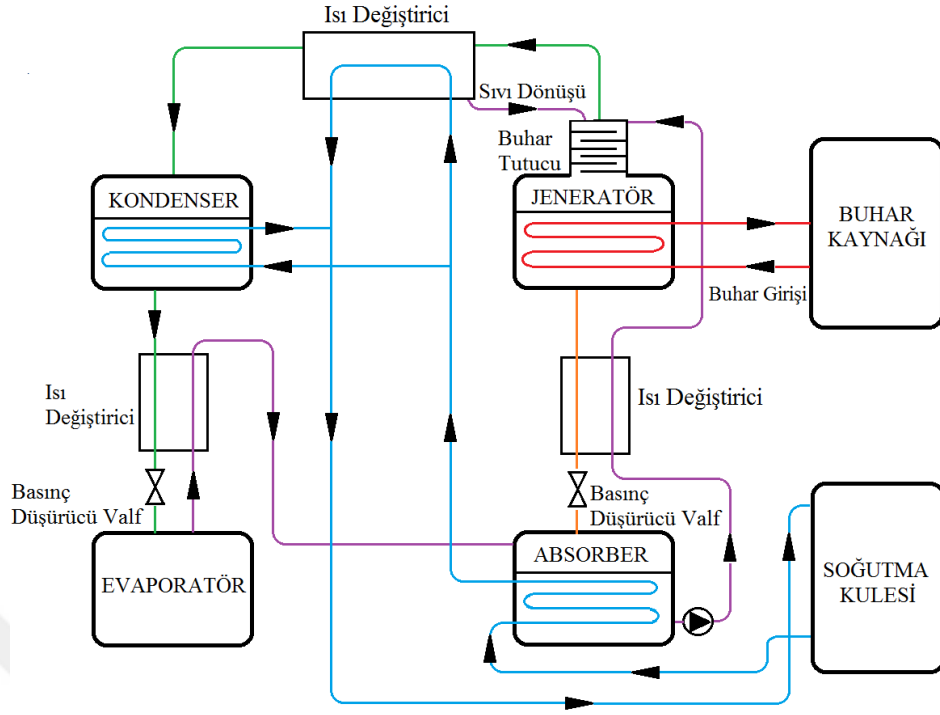
Günümüzde dünya genelinde enerji talebinin ve maliyetlerinin artması ile atık ısıların kullanılabilirdiği soğutma sistemleri de önem kazanmıştır. Atık ısıların kullanıldığı soğutma sistemleri, soğutma maliyetlerini düşürücü yönde etki yapmaktadır. Ülkemizde henüz yaygın olarak kullanımı bulunmayan bir iklimlendirme sistemi olan absorpsiyonlu soğutma sistemi ile ilgili hali hazırda yapılmış önemli sayıda teorik ve uygulama çalışmaları bulunmaktadır. Sanayide ısı ihtiyacı yüksek olan kısımlarda aynı zamanda büyük miktarda atık ısı meydana gelmektedir [29].

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalışma prensibi genel hatlarıyla mekanik soğutma sistemlerine benzemektedir. Mekanik soğutma sistemlerinde kullanılan ve fazla miktarda elektrik enerjisi tüketerek akışkan dolaşımını sağlayan mekanik

kompresörler yerine, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde termik kompresörler olarak da bilinen jeneratör ve absorber düzeneği kullanılır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde iki farklı akışkan dolaşır. Bu akışkanlardan birincisi soğutucu akışkan, diğeri ise absorber olarak görev yapar. Çok fazla akışkan çift olmasına rağmen son yıllarda uygulamada Amonyak (NH<sub>3</sub>)-Su ve Su-Lityum Bromür çiftleri kullanılmaktadır.

Amonyak-Su Çifti: Su soğurucu akışkan, amonyak ise soğutucu olarak kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan olarak amonyak kullanıldığı için soğutma sistemlerinde ve düşük sıcaklık uygulamalarında bu tür absorpsiyonlu soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Amonyak-su soğutma makinasının patenti, 1859 yılında Fransız Ferdinand Carre tarafından alınmıştır. İlk başlangıçta bu makinalar buz yapmak ve gıdaların soğutulması amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.3'te Amonyak/su kullanılan absorpsiyonlu soğutma sistemi gösterilmektedir [30].

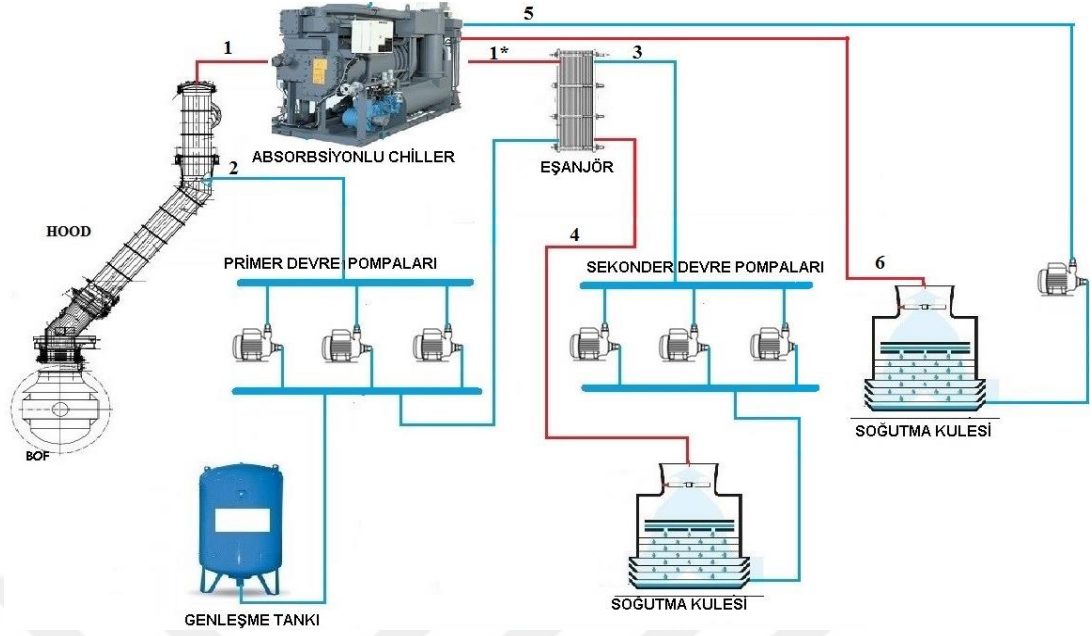
Küçük soğutma kapasiteli düşük sıcaklık (-40°C'ye kadar) uygulamalarında amonyak su çifti kullanılmaktadır. Genellikle soğutma kapasitesi küçük olan uygulamalarda hava soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Büyük kapasiteli uygulamalarda ise su-LiBr uygulamalarında olduğu gibi su soğutma kuleleri ile birlikte çalışan su soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Buhar kaynağı veya diğeri enerji kaynağından alınan enerji ile jeneratörde buharlaşan amonyak ısı değiştiriciden geçirilerek amonyak içerisine karışan su, tekrar jeneratöre döndürülür. Amonyak, kondenserde sıvı hale getirilir, genişleme vanasından geçilerek basıncı düşürülür. Genleşme vanasında basıncı düşen amonyak, evaporatörde buharlaşarak soğutma işlemi gerçekleşir. Evaporatörde buharlaşan akışkan absorbere gelir. Burada jeneratörden gelen su ile kondenserden gelen soğutma suyu sayesinde karışım tekrar eriyik haline gelir. Sıvı haldeki karışım, pompa vasıtasıyla tekrar jeneratöre gönderilir ve işlem bu şekilde devam eder [30].



Şekil 4.3. Amonyak/su kullanılan absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi [30].

Su-Lityum Bromür (LiBr) Çifti: Su soğutucu akışkan, LiBr ise, soğurucu akışkan olarak kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan olarak su kullanıldığı için  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmak oldukça zordur. Bu tür sistemlerde genelde evaporatörde ki su vakum altında  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de buharlaştırılmakta ve soğutulması istenilen su ise uygulama ihtiyacına göre  $6-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa kadar soğutulabilmektedir. Bu tür absorpsiyonlu soğutma sistemleri endüstriyel prosesler ve merkezi klima sistemleri için soğuk su üretmektedirler.

BOF kaynaklı atık ısının değerlendirme yöntemlerinden ilk olarak absorpsiyonlu soğutma sistemi ile atık ısıdan soğutma kapasitesi elde etme yöntemi belirlenmiştir. Şekil 4.4'te kurulması düşünülen sistemin şematik gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 4.4. BOF kaynaklı atık ısının absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanılarak değerlendirilmesi.

Kurulması öngörülen sistemde su soğutmalı baca çıkış hattı absorpsiyonlu chiller ünitesine 1 numaralı hat ile 95 °C sıcaklık ile giriş yapacak, sıcaklığı 85 °C'ye düşükten sonra sistemden 1\* numaralı hat ile çıkıp mevcut durumda kullanılmakta olan eşanjöre gelerek istenilen sıcaklık olan 65 °C'ye düşürülecektir. 3 numaralı hat soğutma kulesinden çıkan suyun geçtiği hat olup, 4 numaralı hat eşanjörde sıcaklığı yükselip kuleye dönüş yapan suyun geçtiği hattı ifade etmektedir. 5 ve 6 numaralı hatlar absorpsiyonlu soğutma sistemi kondenseri için gerekli olan soğutma suyunu sağlayacak olan soğutma kulesine gidiş ve dönüş hatlarını göstermektedir. Absorpsiyonlu soğutma sisteminde baca suyu atık ısısı değerlendirilerek, soğutma kapasitesi elde edilmiş olacaktır.

#### 4.2.2. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Teorik Analizi

BOF kaynaklı atık ısının değerlendirilme yöntemlerinden ilki olan absorpsiyonlu soğutma sistemi hesaplamaları için bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Absorbsiyonlu soğutma sistemi için yapılan varsayımlar.

Parametreler	Değer	Birim
Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Giriş Sıcaklığı	95	°C
Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Çıkış Sıcaklığı	85	°C
Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Su Debisi	960	m <sup>3</sup> /h
Suyun Özgül Isınma Isısı (c <sub>p</sub> )	4.21045	J/gK
Suyun Yoğunluğu (ρ)	0.968825	g/cm <sup>3</sup>
Kondenser Giriş Sıcaklığı	36	°C
Kondenser Çıkış Sıcaklığı	30	°C
COP	0.78	

Atık ısı soğutma kapasitesi;

$$Q = \dot{V} \times C_p \times \rho \times \Delta T \quad (4.2)$$

Tasarlanan sistem için COP değeri 0.78 olarak alınmış ve aşağıdaki soğutma kapasitesi tespit edilmiştir.

$$Q = COP \times W_{net} \quad (4.3)$$

$$W_{net} = \frac{Q}{COP} \quad (4.4)$$

Elde edilen veriler doğrultusunda seçimi yapılan absorpsiyonlu soğutma sistemine ait katalog ve teknik veriler EK AÇIKLAMALAR A'da verilmiştir.

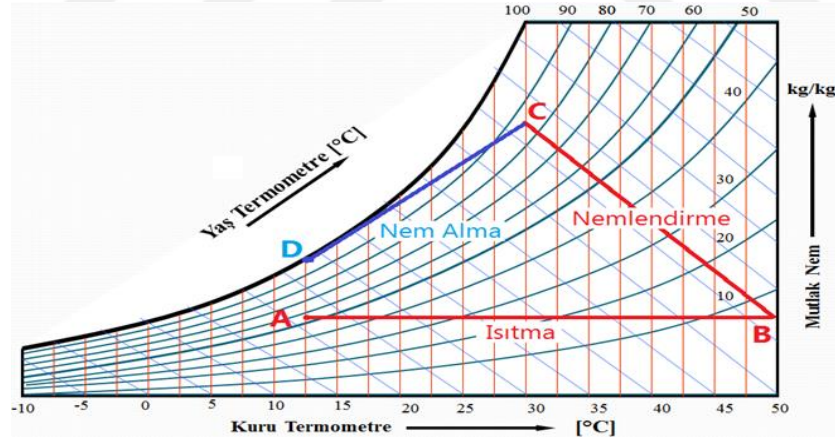
#### 4.2.3. Nemlendirme-Nem Alma Yöntemi

Dünya su potansiyelinin yalnızca %~1'lik kısmı canlılar tarafından doğrudan ulaşılabilir durumdadır [31]. Doğada güneş enerjisi ile gerçekleşmekte olan su çevrimi insanlar tarafından taklit edilerek çeşitli damıtma ve desalinasyon metodları uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden biri nemlendirme-nem alma (Humidifikasyon-Dehumidifikasyon) yöntemi olup, gerekli enerji doğrudan yenilenebilir enerji, fosil

enerji kaynağı veya herhangi bir prosesin atık enerjisinden sağlanarak minerallerinden ayrıştırılmış (demineralize) su elde edilebilmektedir [32].

Nemlendirme-nem alma yöntemi uygulamalarında atmosfer havası bir sistem içerisine alınıp ısıtılarak kuru hava özellikleri göstermesi sağlanmakta (A-B) ve bünyesine nem alma potansiyeli arttırılmaktadır (yaklaşık olarak 60 °C sıcaklıktaki hava 100 gr, 80 °C sıcaklıktaki hava ise 500 gr değerine kadar su buharı taşıyabilmektedir) [33]. Kuru hale getirilen hava bir nemlendirme ünitesine alınarak bünyesine alabildiğince su buharı alması sağlanır (B-C) ve bir sonraki kısım olan nem alma ünitesine gönderilir. Nem alma ünitesinde hava soğutulur ve bünyesindeki su buharı yoğunlaşır (C-D). Böylelikle, küresel bağlamda dünya atmosferinde gerçekleşen su çevrimi küçük ölçekli olarak bu sistem ile sağlanarak minerallerinden ayrıştırılmış su elde edilmiş olur.

Nemlendirme-nem alma yönteminde havanın sıcaklık ve nem değerlerindeki değişim Şekil 4.5’de ki psikometrik diyagram üzerinde temel özellik olarak verilmiştir.

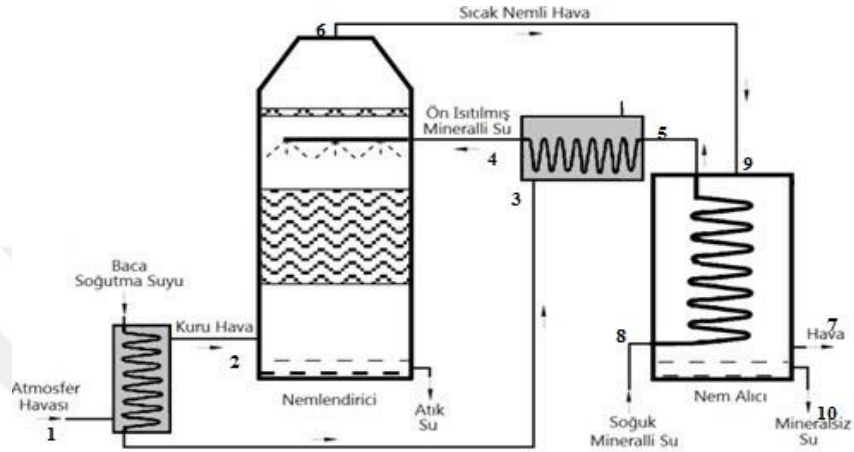


Şekil 4.5. Nemlendirme-nem alma işlemlerinde havanın sıcaklık ve nem değerlerindeki değişim.

Endüstrinin birçok üretim prosesinde farklı karakterlerde suya ihtiyaç duyulmakta olup, bunlar arasında en önemli olanı ise, yüksek kaliteye sahip olan demineralize sudur. Demineralize su buhar türbinleri, kazanlar ve prosesler (nemlendiriciler, lazer kesim cihazları, buharlı ütüler vb.) için oldukça önemli bir ihtiyaçtır.



kullanılacak suyu ısıtmada kullanılacak, istenilen sıcaklıkta mevcut bulunan sisteme 2\* numaralı hat ile gönderilecektir. Baca suyu ısısı ile sıcaklığı artan atmosfer havası nemlendirme ünitesinde nemlendirilecek daha sonra sıcak nemli hava nem alıcıya giderek, burada mineralsiz su (demineralize su) elde edilecektir. Şekil 4.7’de kurulması öngörülen nemlendirme nem alma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Nemlendirme nem alma sistemi şematik gösterimi [34].

Kurulması öngörülen sistem için sıvı-gaz eşanjörü, nemlendirme ünitesi, nem alma ünitesi, eşanjör alımı gerekmektedir.

#### 4.2.4. Nemlendirme-Nem alma Sistemi Teorik Analizi

BOF kaynaklı atık ısının değerlendirilme yöntemlerinden ikincisi olan nemlendirme nem alma sistemi hesaplamaları için şu değerler kullanılmıştır;

- Karabük ilinin 1954-2016 yılları arasındaki yıllık ortalama kuru termometre sıcaklık değeri 13,4 °C, bağıl nem değeri %66.8,
- İlk aşamada, 13,4 °C kuru termometre sıcaklığı ve %66 bağıl nem değerine sahip olan hava 52 °C sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Bu değerlere göre mutlak nem miktarı ise yaklaşık 7,2 gr/kg'dır.
- Baca suyu sıcaklığı, rüzgâr hızı, havanın bağıl nem ve sıcaklığı sabit kabul edilmiştir,
- Sistemden işlem sürecinde hava kaçağı olmadığı kabul edilmiştir.

- Soğutma suyu sıcaklığı işlemler sırasında sabit kabul edilmiştir.

Sistem tasarımı için kabul edilen parametreler ve değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Nemlendirme Nem alma sistemi için kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değer	Birim
Eşanjör giriş sıcaklığı (atmosfer havası)	13.4	°C
Eşanjör girişi havanın bağıl nem değeri	66	%
Eşanjör çıkış sıcaklığı (atmosfer havası)	52	°C
Nemlendirme ünitesi verimi	90	%
Nem alma ünitesi verimi	90	%
Eşanjör çıkışı havanın bağıl nem değeri	7	%
Eşanjör verimi	40	%

Nem alma ünitesi enerji dengesi formülü,

$$\dot{m}_{\text{atmhava}}(h_{\text{atmhava6}} - h_{\text{atmhava7}}) = \dot{m}_{\text{soğuksu}}c_{\text{psu}}(T_9 - T_8) - \dot{m}_{\text{demisuyu}}c_{\text{psu}}T_{10} \quad (4.5)$$

Nemlendirme ünitesi enerji dengesi formülü,

$$\dot{m}_{\text{mineralli su}}c_{\text{psu}}(T_4 - T_5) = \dot{m}_{\text{atmhava}}(h_{\text{atmhava6}} - h_{\text{atmhava2}}) \quad (4.6)$$

Nem alma ünitesine giren ve çıkan havanın nem içeriği farkından hesaplanan üretilen temiz suyun kütleli debisi.

$$\dot{m}_{\text{demisuyu}} = \dot{m}_{\text{atmhava}}(W_3 - W_4) \quad (4.7)$$

Doymuş su buhar basıncı hesabı  $P_g$ ,

$$P_g = 2.7 \times 10^{-9} \times T^5 + 2.8 \times 10^{-7} \times T^4 + 2.7 \times 10^{-5} \times T^3 + 0.0014 \times T^2 + 0.044 \times T + 0.61 \quad (4.8)$$

Doymuş su buharının entalpi hesabı  $h_{fg}$ ,

$$h_{fg} = -9.3 \times 10^{-6} \times T^3 - 1.9 \times 10^{-5} \times T^2 + 1.8 \times T + 2500 \quad (4.9)$$

Doymuş havanın mutlak nem ve entalpi hesapları,

$$w = 7.7 \times 10^{-7} \times T^3 - 1.95 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.00071 \times T + 0.002 \quad (4.10)$$

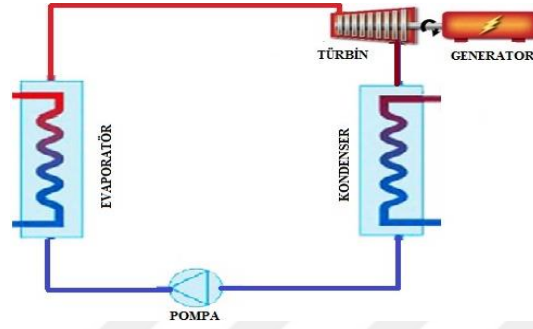
$$h_a = 2.82 \times 10^{-5} \times T^4 - 0.00106 \times T^3 + 0.00615 \times T^2 + 1.32 \times T + 10.5 \quad (4.11)$$

#### 4.2.5. Organik Rankin Çevrimi

Geleneksel olarak düşük sıcaklıktaki ısıdan yararlanmak çeşitli zorlukları beraberinde getirir. Teknik anlamda zor ve ekonomik olmayışı bu zorlukların bazılarıdır. Isıdan elektrik üretimi geleneksel olarak buhar türbinleri vasıtası ile gerçekleştirilir. Fakat buhar türbinleri için yüksek sıcaklık ve basınç gerekmektedir. Düşük sıcaklıklardaki ısıdan faydalanmanın yolu ORÇ'dir. ORÇ sisteminde yüksek sıcaklık ve basınçlı buhar yerine düşük sıcaklık (<150 °C) ve organik akışkan kullanıldığı için bu ismi almıştır [35]. Atık ısılar, motor soğutma suları, güneş havuzları, biyokütle enerjisi, jeotermal ısı, petrol vb. ısı kaynakları ORÇ'nin ısı kaynakları arasında yer alır.

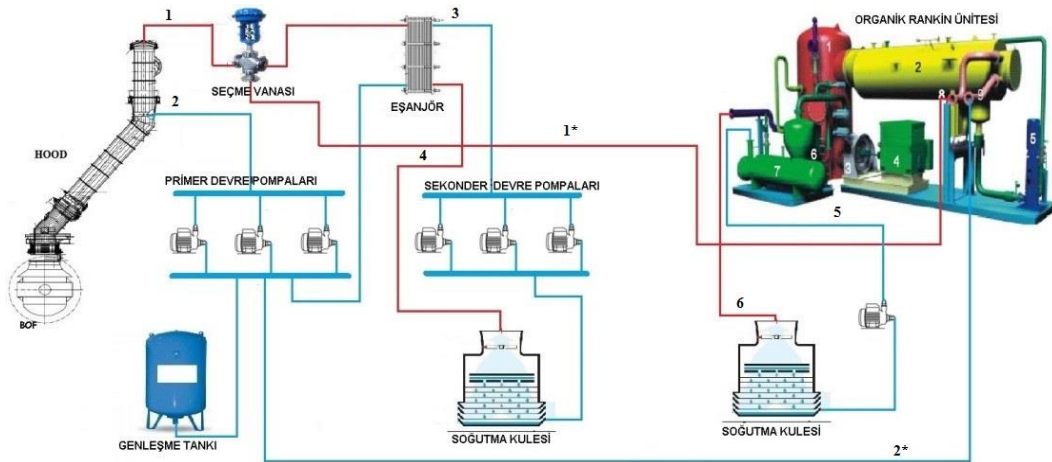
Atık ısı kaynaklı elektrik üreten bir ORÇ sistemi şu şekilde çalışmaktadır. Atık ısı kaynağından alınan ısı ile buharlaştırıcı içerisindeki organik çalışma sıvısını buharlaştırmak için kullanılır. Üzerinde birçok çalışma yapılan ve yapılmakta olan organik akışkan silikon bazlı, hidrokarbon veya soğutucu bazlı sıvılar olabilmektedir [36]. Basınçlı buhar daha sonra türbine gönderilir ve türbin-jeneratör setinde elektrik üretilir. Türbinden çıkan buhar kondenserde yoğunlaştırılarak tekrar sıvı hale getirilir. Kondenserde sıcak organik akışkanı soğutmak için yer altı suyu, ırmak suyu veya soğutma kulesi kullanılabilir. Soğumuş organik akışkan tekrar evaporatöre pompa yardımıyla gönderilir ve bu kapalı çevrim süreci tekrarlanır. Atık ısı yakıt kaynağı olarak kullanıldığı için yakıt maliyeti yoktur. Ayrıca yanma gerçekleşmediğinden, ORÇ çevriminde atmosfere herhangi bir salınım söz konusu değildir. Şekil 4.8'de ORÇ sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.

BOF kaynaklı atık ısının değerlendirilmesi yöntemlerinden sonuncusu olarak organik rankin çevrimi ile elektrik üretimi belirlenmiştir. Baca suyu atık ısısını bir evaporatör vasıtasıyla soğutucu akışkana aktaracak, atık ısıdan elektrik üretimi sağlanacaktır. Kurulması öngörülen sistem Şekil 4.9'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. ORÇ sistemi şematik gösterimi.

Baca suyuna alternatif olarak seçme vanasıyla boru bağlantısı yapılarak, istenildiği durumda ORÇ ünitesi üzerinden elektrik üretimine uygun hale getirilecektir. Baca suyu ORÇ ünitesi evaporatörüne 1\* numaralı hat ile giriş yapacak, istenilen sıcaklıkta ayrılarak, 2\* numaralı hat ile mevcut sisteme gönderilecektir. 3 numaralı hat soğutma kulesinden çıkan suyun geçtiği hat olup, 4 numaralı hat eşanjörde sıcaklığı yükselip kuleye dönüş yapan suyun geçtiği hattı ifade etmektedir. 5 ve 6 numaralı hatlar ORÇ sistemi kondenseri için gerekli olan soğutma suyunu sağlayacak olan soğutma kulesine gidiş ve dönüş hatlarını göstermektedir.



Şekil 4.9. BOF kaynaklı atık ısının organik rankin çevrimi ile değerlendirilmesi.



Kurulması öngörülen sistemin modellenmesi için aşağıdaki varsayımlar benimsenmiştir:

- Her bileşen, kararlı durumda açık bir sistem olarak kabul edildi.
- Sürtünme ve ısı kayıplarının yanı sıra kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildi.
- Kaynak ve soğutma suyu özgül ısısı sabit kabul edildi.
- Kondenserin çıkışında çalışma akışkanı doymuş sıvı olarak kabul edildi.
- Çalışan akışkanın özgül hacmi, pompalama esnasında sabit kalır.
- Türbin ve pompanın verimliliği, tüm çalışma akışkanları için sabit kabul edildi.
- Atık ısı sıcaklığı  $T_{S,in} = 95 \text{ }^\circ\text{C} = 368,15 \text{ K}$
- Atık ısı kaynağı sıcak suyun sistemden çıkış sıcaklığı  $T_{S,out} = 65 \text{ }^\circ\text{C} = 338,15\text{K}$
- Atık ısı kütleli debisi  $m_{\text{kaynak}} = 960 \text{ m}^3/\text{h}$
- $DT = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , kabul edilmiştir.
- Ortam sıcaklığı  $T_{\text{atmosfer}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$
- Soğutma suyu giriş sıcaklığı  $T_{p,in} = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$  kabul edilmiştir.

ORÇ sisteminin özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. ORÇ sistemi özellikleri (Atık ısı kaynağı: sıcak su).

Parametre	Değer	Birim
Atık ısı kaynağı giriş sıcaklığı	368.15	K
Atık ısı kaynağı çıkış sıcaklığı	338.15	K
Atık ısı kaynağı kütleli debi	960	$\text{m}^3/\text{h}$
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	293.15	K
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı	303.15	K
Atmosfer sıcaklığı	293.15	K
Atmosfer basıncı	100	kPa
Türbin izentropik verimi	0.80	
Pompa izentropik verimi	0.75	
Generatör verimi	0.96	

Bu varsayımlar ile birlikte evaporatör, kondenser, türbin ve pompa için termodinamiğin birinci yasası sırasıyla aşağıdaki ilişkileri vermektedir [37]:

$$\dot{m}_s C_{p-s} (T_{s,in} - T_{s,out}) = \dot{m} (h_3 - h_2) \quad (4.12)$$

$$\dot{m}_p C_{p-p} (T_{p,in} - T_{p,out}) = \dot{m} (h_4 - h_1) \quad (4.13)$$

$$(h_3 - h_4) = \eta T (h_3 - h_{4is}) \quad (4.14)$$

$$\eta P (h_2 - h_1) = v_1 (P_{ev} - P_{kond}) \quad (4.15)$$

$$s_3 = s_{4is} , s_{2is} = s_1 \quad (4.16)$$

Yukarıdaki denklemlerde görünen termodinamik özellikler şu şekilde ilişkilidir:

$$h_1 = h_{sat}(P_{kond}, x_1 = 0), v_1 = v_{sat}(P_{co}, x_1 = 0) \quad (4.17)$$

$$h_3 = h(P_{ev}, s_3), h_{4is} = h(P_{kond}, s_{4is}) \quad (4.18)$$

Çalışma akışkanının sıcaklığı, kaynak sıcaklığı ve soğutma suyunun sıcaklığı eklenerek daha fazla denklem elde edilebilir.

$$DT = T_{s,in} - T_3 = T_1 - T_{p,in} \quad (4.19)$$

Türbin çıkışındaki koşulların kızgın buhar mı yoksa ıslak buhar bir karışıma karşılık gelip gelmediğini belirlemek için aşağıdaki boyutsuz parametre eklenir:

$$x_4 = \frac{(h_4 - h_1)}{(h_g - h_1)} \quad (4.20)$$

$$x_4 < 1 \rightarrow T_{p,out} = T_1 - \left(\frac{DT}{2}\right) \quad (4.21)$$

$$x_4 > 1 \rightarrow T_{p,pr} = T_1 - \left(\frac{DT}{2}\right) \quad (4.22)$$

Çalışmada ele alınan soğutucu akışkanlar sırasıyla; R134a, R141b, R245fa, R717, R600a, R152a ve R365mfc'dir. Çizelge 4.5'te kıyaslama yapılan soğutucu akışkanların bazı özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.5. Soğutucu akışkanların özellikleri.

Özellikler	R134a	R141 b	R152a	R600 a	R717	R245fa	R365mfc
<b>Molar Yoğunluk(kg/mol)</b>	0,102	0,116	0,066	0,058	0,017	0,134	0,148
<b>ASHRAE Sınıfı</b>	A1		A2		B2	B1	
<b>Maksimum Sıcaklık (K)</b>	455	500	500	575	700	440	500
<b>Maksimum Basınç (kPa)</b>	70000	400000	58000	35000	100000	200000	35000
<b>Triple Nokta Sıcaklığı.(K)</b>	169,85	169,68	154,56	113,73	195,49	171,05	239
<b>Triple Nokta Basıncı (Pa)</b>	389,56	6,49	64,13	0,02	6091,22	13,75	2478,41
<b>Kritik Nokta Sıcaklığı(K)</b>	374,2	477,5	386,4	407,81	405,4	427,01	460
<b>Kritik Nokta Basıncı (kPa)</b>	4059,2	4212	4520	3629	11333	3651	3266,207
<b>Kritik Nokta Yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)</b>	511,89	458,55	368	225,5	225	519,43	473,83
<b>GWP</b>	1430	725	124	3	0	1030	794
<b>ODP</b>	0	0,11	0	0	0	0	0

Çalışma akışkanlarının seçimi termodinamik ve çevresel özelliklere dayanmaktadır. Düşük veya orta sıcaklıklı kaynaklara sahip sistemler için çalışan akışkanlar, çeşitli güvenlik, çevre, performans ve ekonomik kriterleri karşılamalıdır.

Ele alınan şartlarda kabul edilen ve sabit alınan değerlere göre farklı evaporatör basınçları için kıyaslamalar yapılmıştır. Çizelge 4.6'da kabul edilen parametreler ve değerleri belirtilmiştir. Bu değerler REFPROP 6.0 programından alınmıştır.

Düşük dereceli atık ısı geri kazanım sistemi simüle edilirken sistem performansının değerlendirme yöntemlerinden ekserji analizi metodu kullanıldı [38]. Açık bir termodinamik sistem için ekserji dengesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Sigma E_{in} - \Sigma E_{out} = I \quad (4.23)$$

Çizelge 4.6. Çalışma akışkanları için kabul edilen parametre değerleri.

Özellikler	R134a	R141b	R245fa	R717	R600a	R152a	R365mf <sup>c</sup>
<b>h<sub>1</sub></b> <b>kJ/kg</b>	241,72	234,28	239,1	484,91	271,24	252,8	240,76
<b>v<sub>1</sub></b> <b>m<sup>3</sup>/kg</b>	0,000842	0,0008169	0,000754 7	0,001680 1	0,001837 1	0,0011278	0,00080 237
<b>s<sub>1</sub></b> <b>kJ/kgK</b>	1.1435	1.1189	1.1355	1.9597	1.2458	1.1817	1.1414
<b>h<sub>o</sub></b> <b>kJ/kg</b>	85,229	85,229	85,229	85,229	85,229	85,229	85,229
<b>s<sub>o</sub></b> <b>kJ/kgK</b>	0.29619	0.29619	0.29619	0.29619	0.29619	0.29619	0.29619
<b>h<sub>g</sub></b> <b>kJ/kg</b>	414,82	457,97	426,43	1629,3	594,57	525,96	433,77
<b>v<sub>g</sub></b> <b>m<sup>3</sup>/kg</b>	0,026641	0,2201867	0,098338 0	0,110456 9	0,095419 8	0,0468230	0,23734 92
<b>s<sub>g</sub></b> <b>kJ/kgK</b>	1.7145	1.8567	1.7534	5.7347	2.3123	2.0828	1.7781

Sistemde her adım şu şekilde sıralanabilir:

Evaporatörde atık ısıdan çalışma akışkanına aktarılan ısı 2-3 bölgesi

$$Q = m(h_3 - h_2) \quad (4.24)$$

Evaporatördeki ekserji kaybı şu şekilde verilebilir:

$$I_{evp} = E_{in} + E_2 - E_{out} - E_3 \quad (4.25)$$

Türbin içerisinde genişleme 3-4 bölgesi

$$\eta_{tbn} = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_{4is})} \quad (4.26)$$

Türbin tarafından üretilen güç şu şekilde verilebilir:

$$W_{tbn} = m(h_3 - h_4) \quad (4.27)$$

Türbin tarafındaki ekserji kaybı şu şekilde ifade edilebilir:

$$I_{tbn} = E_3 - W_{tbn} - E_4 \quad (4.28)$$

Kondenserde ekserji kaybı şu şekildedir:

$$I_{\text{kond}} = E_4 - E_1 \quad (4.29)$$

Pompada sıkıştırma bölgesi (1-2) ve pompanın izentropik verimi şu şekildedir:

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{(h_2^* - h_1)}{(h_2 - h_1)} \quad (4.30)$$

Pompanın harcadığı iş:

$$W_{\text{pompa}} = m(h_2 - h_1) \quad (4.31)$$

Pompada ekserji kaybı şu şekildedir:

$$I_{\text{pompa}} = W_{\text{pompa}} + E_1 - E_2 \quad (4.32)$$

ORÇ sisteminin ısı verimi, Termodinamiğin 1. Kanununa göre şu şekilde ifade edilir:

$$\eta_{\text{thm}} = \frac{(W_{\text{tbn}} - W_{\text{pompa}})}{Q} \quad (4.33)$$

Termal verimlilik, düşük dereceli atık ısıdan enerjiyi kullanılabilir iş haline dönüştürme yeteneğini yansıtamaz. Bu nedenle, atık ısı geri kazanımının performansını değerlendirebilecek ekserji verimliliği dikkate alınmalıdır. ORÇ sisteminin ekserji verimi şu şekilde verilebilir.

$$\eta_{\text{exg}} = \frac{(E_{\text{in}} - \Sigma I - E_{\text{out}})}{E_{\text{in}}} \quad (4.34)$$

### 4.3. ATIK ISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZİ

Çevresel-ekonomik analizi karbon emisyonu olmayan yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden en güçlü mekanizmadır. Bu analiz karbon salınımının fiyatlandırılmasını esas alarak yapılır. Karbon salınım miktarı kW h başına yaklaşık olarak 960 g (gram)'dır. Ancak bu miktar, iletim kayıpları (%40) ve dağıtım kayıpları (%20) dikkate alındığında kWh başına 2 kg olarak ortaya çıkmaktadır. Yıllık olarak salınan CO<sub>2</sub> miktarı hesabı [39].

$$\phi_{CO_2} = \frac{\psi_{CO_2} \times \text{toplam ekserji}}{1000} \quad (4.35)$$

$\psi_{CO_2}$ 'nin anlamı elektrik enerjisi için kullanılan kömürün CO<sub>2</sub> emisyonudur (2 kg CO<sub>2</sub>/kWh). Uluslararası karbon fiyatı ( $Z_{CO_2}$ ) ortalama 14.5 \$/tCO<sub>2</sub> olarak alınacaktır [34]. Çevresel maliyet ( $Z_{CO_2}$ ) Rajoria ve diğerleri tarafından verilen formüldeki gibi bulunur [40];

$$Z_{CO_2} = z_{CO_2} \times \phi_{CO_2} \quad (4.36)$$

Çevresel-ekonomik kazancın öneminin vurgulanması adına, dünya üzerinde önemli emisyon kaynağı olarak görülebilen trafikte bulunan araç sayıları üzerinden kıyaslama yapılmıştır. Trafikte bir araç yıllık ortalama 4.7 ton CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir [41]. Atık ısı değerlendirme yöntemlerinin kullanılması durumunda önlenebilecek emisyon değerine karşılık gelen araç sayısı hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

#### 5.1. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ SONUÇLARI

BOF kaynaklı atık ısı değerlendirme yöntemlerinden ilki olan absorbsiyonlu soğutma sistemi için yapılan varsayımlar üzerine gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, absorbsiyonlu soğutma sistemi seçimi yapılmıştır.

- Absorbsiyonlu soğutma sistemi kullanımı ile elde edilecek tasarruf miktarı hesaplanırken sistemin 5000 saat/yıl çalışacağı öngörülmüştür.
- Elektrik birim fiyatı 0,21 TL/kWh olarak alınmış, yıllık çalışma süresi ve soğutma kapasitesi göz önüne alınarak, COP değerinin 0,78 seçilmesi ile birlikte, 6.681.197,25 TL/yıl tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır.
- Seçimi yapılan absorbsiyonlu soğutma sisteminin ilk kurulum maliyeti 400.000 USD, yıllık işletme maliyeti 20.000 USD olarak alınmıştır.
- Sistem için yapılan hesaplamalar sonucu kur fiyatının 3,40 TL olarak kabul edilmesiyle ilk yıl maliyeti 1.428.000 TL olmaktadır.
- Absorbsiyonlu soğutma sistemi için soğutma kulesi seçimi yapılmıştır. Alınması öngörülen soğutma kulesi 7x7x7 metre boyutlarında 3 adet inşai tip soğutma kulesi olarak seçilmiştir.
- Seçimi yapılan soğutma kulesinde bulunacak 3 adet fanın toplam elektrik sarfiyatı 108,8 kWh olarak alınmıştır.
- Absorbsiyonlu soğutma sistemi için yıllık çalışma süresi 5000 saat belirlendiğinden, soğutma kulesi içinde bu süre dikkate alınmıştır.
- Soğutma kulesinin işletme maliyeti 50.000 TL/yıl olarak belirlenmiştir.
- Soğutma kulesi fanları elektrik sarfiyatı 113.400 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

- Soğutma kulesinin ilk yatırım maliyeti 150.000 USD olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu değerlere göre soğutma kulesinin ilk yıl için maliyeti toplam 673.400 TL olarak bulunmuştur.
- Absorbsiyonlu soğutma sistemi ve soğutma kulesinin ilk yıl için toplam maliyeti 2.101.400 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin yıllık tasarruf miktarı ve ilk yıl için maliyeti göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, yatırımın basit geri ödeme süresi 0,45 yıl olarak bulunmuştur.

## 5.2. NEMLENDİRME-NEM ALMA SİSTEMİ SONUÇLARI

BOF kaynaklı atık ısı değerlendirme yöntemlerinden ikincisi olan nemlendirme-nem alma sistemi için yapılan teorik analize göre;

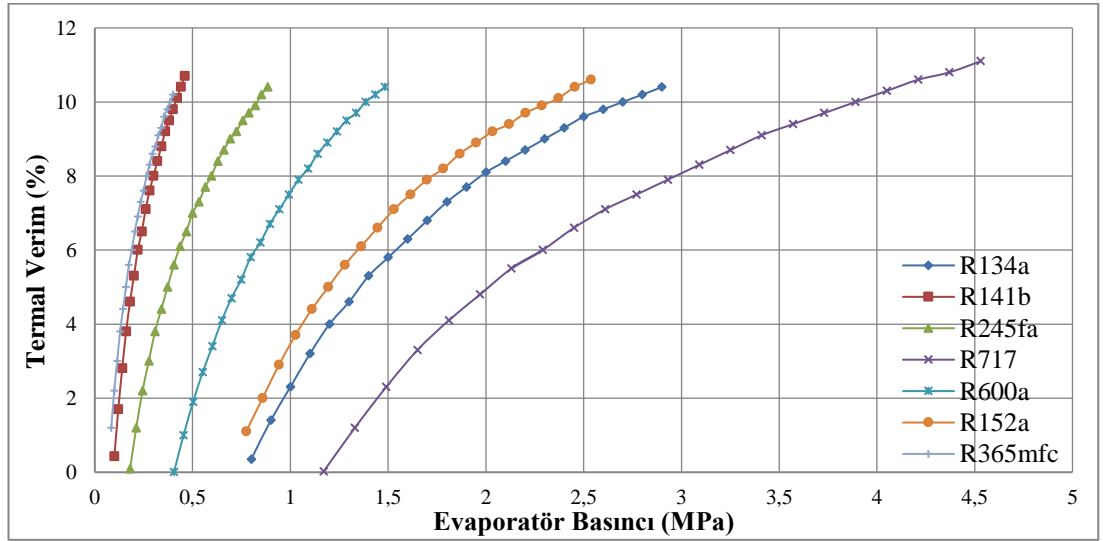
- Isı değiştiriciye 95 °C sıcaklık ve 960 m<sup>3</sup>/h (266.6 kg/sn) debiyle giren sıcak su 65 °C sıcaklık değerinde çıkmaktadır. Bu değerlere bağlı olarak ısı değiştiricide atmosfer havasına aktarılabilecek ısı miktarı, 33.494 kW olarak tespit edilmiştir.
- Isı değiştiriciye 13.4 °C sıcaklık ve %66 bağıl nem değerinde giren hava, 52 °C sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır.
- Havanın bağıl nem değeri ise, yaklaşık olarak %7 seviyesine inmektedir.
- Eşanjör veriminin %40 kabul edildiği göz önüne alındığında, aktarımı yapılacak ısı miktarı, 13.397,6 kW olarak bulunmuştur.
- Isı değiştiricide 52 °C sıcaklığa kadar ısıtılacak havanın kütleli debisi, 344.9 kg/sn olarak bulunmuştur.
- Nemlendirme ünitesinde hava yaklaşık %85 bağıl nem değerine kadar nemlendirilmektedir.
- Bu durumda havanın mutlak nem değeri 17.2 gr/kg değerine çıkmaktadır. 344.9 kg/s kütleli debi ile hava kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır.
- 344.9 kg/s debisindeki hava toplamda 5.932 gr su buharı ihtiva eder.
- Hava %85 nem alma verim değerine sahip olan bir nem alma ünitesi ile alma işlemine tabi tutulduğunda ise, 1 kg havadan 14.62 gr/kg su buharı

yoğuşturulabilir. Toplamda bu değer 5.042 gr/s değerine tekabül ederken, saatte 18.152 kg/h mineralsiz su elde edilmiş olur.

- Sistemi terk eden hava 25 °C kuru termometre sıcaklığı, %35 bağıl nem ve 2.58 gr/kg mutlak nem değerlerine sahip olacaktır.
- Bu çalışma da bazik oksijen BOF prosesinin atık ısısını, proses için hazırlanan nemlendirme-nem alma uygulamasında kullanılarak saatte 18.152 kg/h demineralize su elde edileceği hesaplanmıştır.
- Mevcut durumda 18.152 kg/h demineralize su üretimi için yaklaşık 1000 kWh elektrik enerjisi harcanmaktadır.
- Piyasada demineralize suyun satış fiyatı yaklaşık 150 TL/ton'dur.
- Tasarlanan sistem ile saatte 2.722 TL değerinde demineralize su üretilebilir.

### 5.3. ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMİ SONUÇLARI

BOF kaynaklı atık ısı değerlendirme yöntemlerinden üçüncüsü olan ORÇ sistemi için yapılan teorik analize göre, kıyaslama için kullanılan soğutucu akışkanların sıcaklıkları evaporatör çıkışında atık ısı kaynağı sıcaklığı sabit olduğundan, 85°C olarak kabul edilmiş ve farklı evaporatör basınçlarında termal verim değişimleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

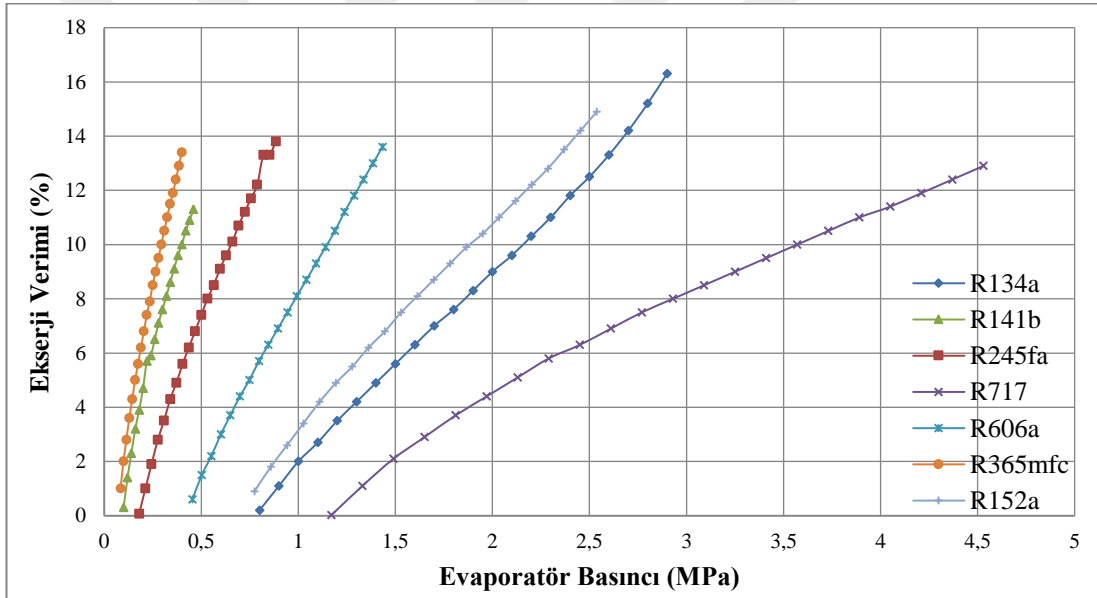


Şekil 5.1. Kıyaslama yapılan soğutucu akışkanların farklı evaporatör basınçları için termal verim değerleri.

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere 85 °C sabit evaporatör giriş sıcaklığı için, R134a, R141b ve R245fa diğer akışkanlara göre daha düşük evaporatör basıncı değerlerinde, daha yüksek termal verime sahiptir.

Düşük basınçta yüksek termal verim kurulacak sistem maliyetini ve performansını direk etkileyeceği için, söz konusu evaporatör giriş sıcaklığında, termal verim açısından en uygun akışkanlar R134a, R141b ve R245fa olarak görülmüştür.

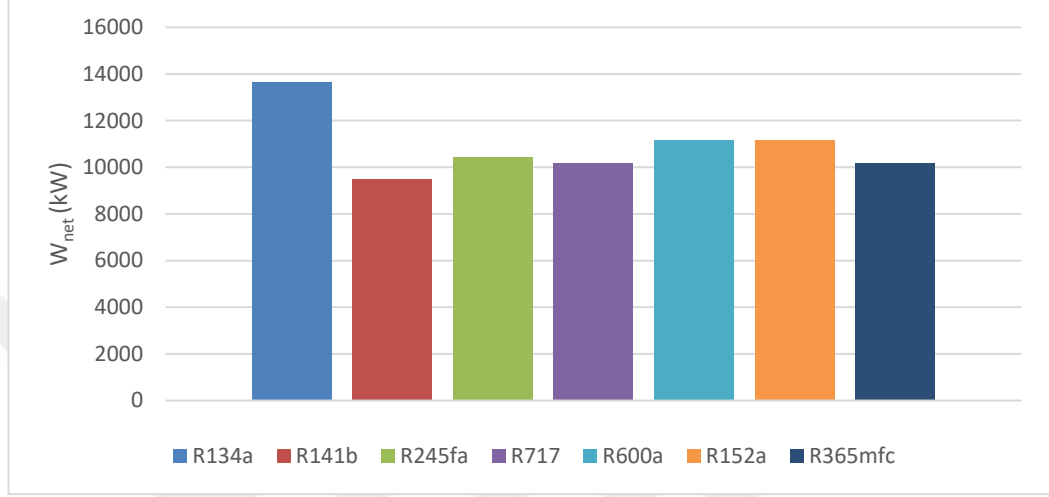
Şekil 5.2’de Kıyaslamada kullanılan soğutucu akışkanların 85 °C evaporatör giriş sıcaklığı için farklı evaporatör basınçlarında ekserji verimlerinin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Kıyaslama yapılan soğutucu akışkanların farklı basınçlardaki ekserji verimleri.

Şekil 5.2.’den görüleceği üzere farklı basınç değerleri için düşük basınçlarda en yüksek ekserji verimine sahip olan akışkanlar, R365mfc, R141b ve R245fa’dır. Ekserji verimi kurulacak sistemin efektif çalışabilmesi açısından önem taşımaktadır. Sistem maliyeti ve verimliliği göz önüne alındığında düşük evaporatör basınçlarında çalışmak önemlidir. Bu nedenle kıyaslamada ekserji verimi açısından ele alınan akışkanlardan verimliliği en yüksek olanlar R365mfc, R141b ve R245fa’dır.

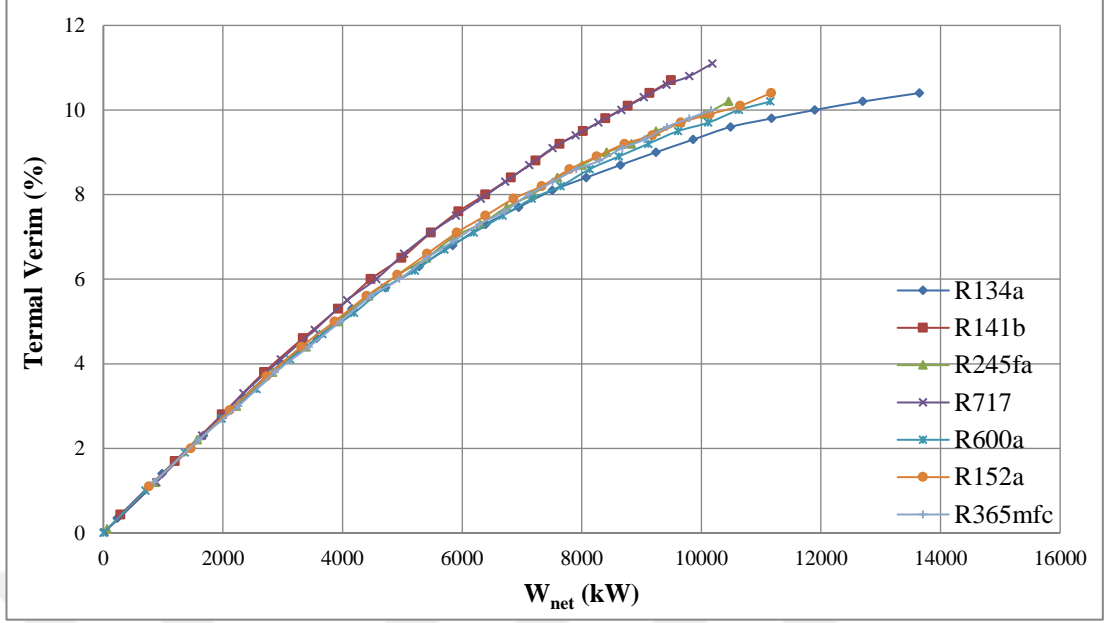
Tasarlanan ORÇ sisteminde kıyaslaması yapılan soğutucu akışkanları ile kabul edilen çalışma şartlarında üretilebilecek maksimum güçler hesaplanmıştır. Şekil 5.3'te soğutucu akışkanların mevcut şartlarda üretebileceği maksimum elde edilebilecek net işler ( $W_{net}$ ) gösterilmiştir.



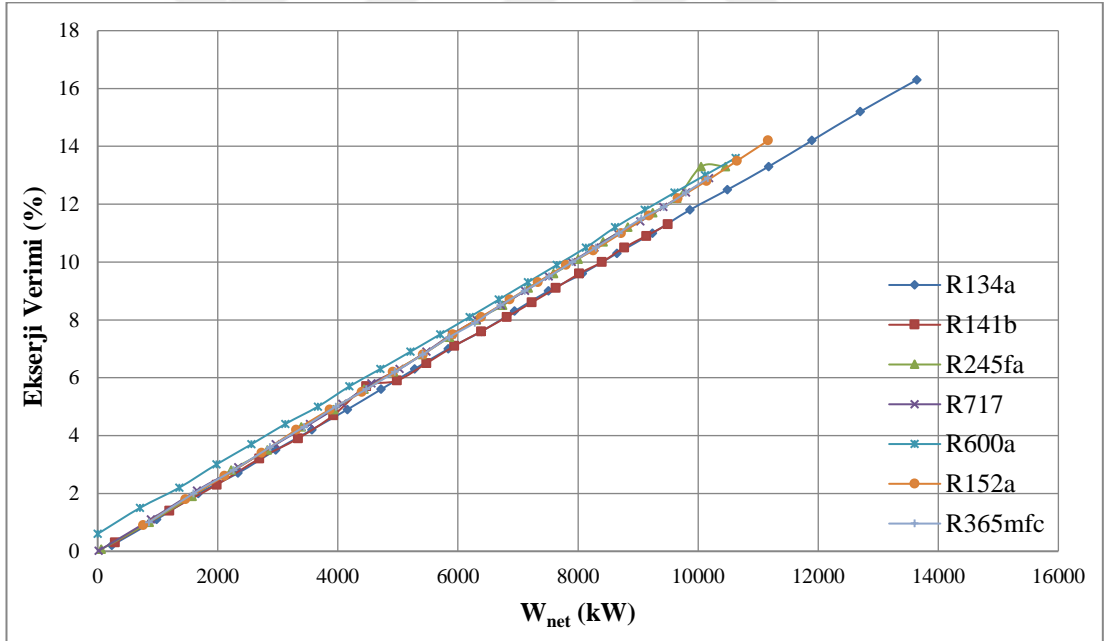
Şekil 5.3. Soğutucu akışkanlara göre maksimum  $W_{net}$  miktarları.

Şekil 5.3'ten görüleceği üzere mevcut şartlara göre kurulacak sistemlerde maksimum  $W_{net}$  miktarları R134a, R600a, R152a ve R245fa'dır. Şekil 5.4.'de termal verim ve  $W_{net}$  arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.5'de ekserji verimi ve  $W_{net}$  arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada, sabit evaporatör sıcaklığına bağlı olarak, değişken evaporatör basınçlarında termal verim, ekserji verimi, maksimum  $W_{net}$ , kıyaslamaları yapılmıştır. Bu kıyaslamalarda sistem maliyeti ve verimliliği açısından en uygun bulunan akışkanlar sırasıyla, R134a, R141b, R245fa 'dır. Bu 3 farklı akışkanın herhangi birisini sisteminde kullanan Organik Rankin Çevrimi Ünitesi, Çelik Üretim tesisi BOF prosesinde açığa çıkan atık ısının değerlendirilmesinde kullanılabilir sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.4. Termal verim W<sub>net</sub> ilişkisi.



Şekil 5.5. Ekserji verimi W<sub>net</sub> ilişkisi.

Yapılacak yatırım kapsamında Infinity Turbine firmasının R245fa soğutucu akışkanı kullanan IT2MW model ORÇ ünitesi alınması öngörülmüştür. Seçimi yapılan ORÇ ünitesine ait performans diyagramı Ek-B'de verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda IT2MW ORÇ ünitesi ve kurulum maliyetinin yaklaşık 3.000.000 USD

olduğu bulunmuştur. Çizelge 5.1’de üretilebilecek elektrik gücünün ve maliyetin fizibilite çalışmasına yer verilmiştir. Yatırımın basit geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Üretilen elektriğin mali değeri ve yatırım maliyeti.

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
<b>Yıllık alışma saati</b>	8200	saat
<b>retilecek net elektrik miktarı</b>	2.679,52	kW
<b>Yıllık üretilebilecek elektrik miktarı</b>	21.972.064	kWh
<b>retim Mali değer</b>	4.614.133,44	TL
<b>Yatırım maliyeti</b>	10.700.000	TL

- Sistem kurulum maliyeti 10.200.000 TL dir.
- ORÇ sistemi için soğutma kulesi maliyeti yaklaşık 500.000 TL olmaktadır.
- Sistem kurulum toplam maliyeti 10.700.000 TL olarak hesaplanmıştır.
- Tasarlanan sistem ile atık ısıdan yılda 21.972.064 kWh’lik elektrik üretilebilecektir.
- Sistem ile üretilen elektriğin mali değer yaklaşık 4.614.133,44 TL/yıl’dır.
- Bu değerlere göre işletme maliyetleri göz önüne alınarak yapılan basit geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıl olarak hesaplanmıştır.

#### 5.4. ATIK ISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZİ SONUÇLARI

Atık ısı değerlendirme yöntemleri için yapılan çevresel-ekonomik analizleri neticesinde, şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Söz konusu hesaplamalar absorpsiyonlu soğutma sistemi, ORÇ sistemi ve nemlendirme-nem alma sistemleri için yapılmıştır.
- Hesaplamalarda atık ısı değerlendirme sistemlerinin elektrik tüketimleri ihmal edilmiştir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda, absorpsiyonlu soğutma sistemi için yıllık 31.815.225 kWh elektrik enerjisi tasarrufuna karşılık 63.630,45 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenebilecektir.
- 63.630,45 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenmesine bağlı olarak, 922.641,525 \$ çevresel ekonomik kazanç sağlanacağı görülmüştür.
- Atık ısı değerlendirme sistemlerinden absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanılması durumunda trafikte ortalama 13.538 aracın üreteceği emisyon önlenmiş olacaktır.
- ORÇ sistemi için yıllık 21.972.064 kWh elektriğin atık ısıdan üretilen olduğu göz önünde bulundurulduğunda, 43.944,128 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenebilecektir.
- 43.944,128 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenmesine bağlı olarak, 637.189,856 \$ çevresel ekonomik kazanç sağlanacağı görülmüştür.
- Atık ısı değerlendirme sistemlerinden ORÇ sistemi kullanılması durumunda trafikte ortalama 9.349 aracın üreteceği emisyon önlenmiş olacaktır.
- Nemlendirme-nem alma sistemi için yıllık 8.200.000 kWh elektrik enerjisi tasarrufundan, 16.400 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenebilecektir.
- 16.400 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenmesine bağlı olarak, 237.800 \$ çevresel ekonomik kazanç sağlanacağı görülmüştür.
- Atık ısı değerlendirme sistemlerinden nemlendirme nem alma sistemi kullanılması durumunda trafikte ortalama 3.489 aracın üreteceği emisyon önlenmiş olacaktır.

## BÖLÜM 6

### DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çelik Üretim Tesisi Konverterlerinde (BOF) açığa çıkan düşük sıcaklıklı atık ısının miktarı hesaplanmış, mevcut durumda atmosfere salınan bu atık ısının değerlendirilebilir olması yönünde farkındalık oluşturabilmek adına senaryolar hazırlanmıştır. Söz konusu atık ısının absorpsiyonlu soğutma sistemi, nemlendirme-nem alma yöntemi ve ORÇ ile değerlendirilmesine yönelik araştırmalar ve hesaplamalar yapılmıştır. Çelik üretim tesisi BOF kaynaklı düşük sıcaklıklı atık ısının değerlendirilmesi yöntemlerinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- Atık ısı miktarına bağlı olarak absorpsiyonlu soğutma sistemi ünitesi seçimi yapılmış, bu seçim sonucunda 6.681,045 kW soğutma kapasitesi hesaplanmıştır.
- Seçimi yapılan absorpsiyonlu soğutma sistemi için, yıllık net tasarruf miktarı 4.579.797,25 TL olarak tespit edilmiştir.
- Absorpsiyonlu soğutma sistemi için yatırımın basit geri ödeme süresi 0.45 yıl olarak bulunmuştur.
- Absorpsiyonlu soğutma sistemi yıllık çevresel ekonomik kazancı, 63.630,45 ton emisyon önlenmesine bağlı olarak, 922.715,342 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu kazanç trafikte 1 yılda 13.538 aracın emisyon değerine karşılık gelmektedir.
- Atık ısının nemlendirme-nem alma yöntemi ile değerlendirilerek demineralize su üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 18.152 kg/h demi suyu üretim kapasitesi bulunmuştur.
- Demineralize su maliyeti 150 TL/ton üzerinden üretim kapasitesine bağlı saatlik kazanç 2.722 TL olarak hesaplanmıştır.

- Nemlendirme-nem alma sistemi için yıllık 8.200.000 kWh elektrik enerjisi tasarrufundan, 16.400 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenebilecektir.
- 16.400 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önlenmesine bağlı olarak, 237.800 \$ çevresel ekonomik kazanç sağlanacağı görülmüştür.
- Atık ısı değerlendirme sistemlerinden nemlendirme-nem alma sistemi kullanılması durumunda trafikte ortalama 3.489 aracın üreteceği emisyon önlenmiş olacaktır.
- Atık ısının ORÇ ile değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda, uygun soğutucu akışkan olarak R245fa belirlenmiştir. Bulunan soğutucu akışkana uygun örnek ünite seçimi yapılmıştır.
- Seçilen ORÇ ünitesinin elektrik üretim kapasitesi 2.679,52 kW olarak bulunmuştur. ORÇ sistemi yıllık elektrik üretiminden elde edilecek kazanç miktarı 4.614.133,44 TL olarak bulunmuştur. Söz konusu yatırımın geri ödeme süresi ortalama 3 yıl olarak hesaplanmıştır.
- ORÇ sistemi için yıllık çevresel ekonomik kazanç, 43.944,128 ton emisyon önlenmesine bağlı olarak, 637.189,856 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu kazanç trafikte 1 yılda 9.349 aracın emisyon değerine karşılık gelmektedir.
- Yapılan çalışmada, düşük sıcaklıklı atık ısıların değerlendirilmesine yönelik 3 farklı sistem üzerine çalışmalar yapılmış, 3 ayrı sisteminde atık ısının verimli bir şekilde değerlendirilebilmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Entegre Demir Çelik fabrikaları BOF kaynaklı atık ısıların değerlendirilmesine yönelik belirlenen 3 farklı yöntem içinde yapılan teorik analizler sonucunda azımsanamayacak boyutlarda katkı sağlanabileceği görülmüştür.

Absorbsiyonlu soğutma sistemi için yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda, ciddi miktarda soğutma kapasitesi elde edilebileceği anlaşılmıştır. Yapılan basit geri ödeme süresi hesabına göre çok kısa sürelerde yatırımın kendini amorti etmesi, sistem kurulmasını cazip kılmaktadır. Mevcut durumda kullanılmadan atmosfere salınan atık ısıların bu denli soğutma kapasitesi eldesinde kullanılabilecek olması, enerji verimliliği konusuna dikkat çekici unsurlardan biri haline gelmesini sağlayacaktır. Sanayi proseslerinde önemli yer tutan soğutma prosesini, atık ıslardan karşılamak, üretim maliyetlerini düşürücü etki yaparak, firmaların rekabetçi piyasada kendilerine

sağlam bir yer edinme konusunda yardımcı olacaktır. Çevresel boyutta ise, soğutma için harcanan enerjinin karşılanması için tüketilen fosil yakıtların tüketiminin minimize edileceği göz önünde bulundurulduğunda, karbon salınımının düşeceği ve bu durumun ne denli pozitif katkı yapacağı açıktır.

Deminaralize su üretim sistemlerine alternatif olarak tasarlanan atık ısıdan demineralize su üretimiyle, bu konudaki bilgi seviyesinin artırılması ile dışa bağımlılığın azaltılması ve dolayısıyla ülke ekonomisine katkı sağlamak olanaklı görülmektedir. Ayrıca, yapılan çalışma ile atık ısı kaynaklı su üretme sistemlerinin firmalar tarafından farkındalığı artırılarak ve özendirilerek atık ısıdan yararlanma potansiyelinin artırılması hedeflenmektedir. Ülkemizin giderek artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, atık enerjiden daha fazla yararlanılması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır. Sanayide önemli sarf malzemelerinden biri olan demineralize suyun atık ısı kullanılarak nemlendirme-nem alma yöntemi elde edilmesi, üretim maliyetlerine olumlu yönde katkı yapacaktır. Temiz suyun atık ısıdan elde edilebilir olması, çevresel boyutta pozitif katkısı yüksek bir durum açığa çıkaracaktır.

ORÇ sistemi için yapılan teorik analizler ve hesaplamalar sonucunda; ilk yatırım maliyeti, yıllık işletme maliyeti ve sistem kurulumu için gerekli diğer ekipmanların maliyetleri toplamı göz önüne alındığında yapılabilir bir yatırım olarak karşımıza çıkmaktadır. Basit bir geri ödeme süresi ile sistemin kendini ortalama 3 yılda amorti edeceği ve 20 yıldan daha fazla ömre sahip olması ile birlikte amortisman süresinin de kısa bir süre olması, sistemin cazibesini gözler önüne sermektedir. Çevresel boyutta ise, elektriğin atık ısıdan üretilecek olmasının fosil yakıt tüketimini azaltması ve atmosfere salınan atık ısı miktarının minimize edilmesi ile pozitif katkı sağlayacaktır.

Çalışmada ele alınan üç farklı yöntemde de atık ısının verimli bir biçimde kullanılabilir olduğu gösterilmek istenmiştir. Yöntemler arasında, ilk kurulum maliyeti, yıllık işletme maliyetleri, amortisman süreleri, kullanılabilirlik ve hızlı fayda sağlama kriterleri göz önünde bulundurulduğunda, ilk sırada absorpsiyonlu soğutma sistemi kurulumu önerilmektedir. İkinci sırada nemlendirme-nem alma sistemi ile demineralize su üretimini, son olarak da ORÇ sistemi ile elektrik üretimi önerilmektedir. ORÇ sistemi için ithalat şekli yatırım olması, elektrik gücünün

üretimden sonra kullanımı için çeşitli zorluklar barındırması ve diğer yöntemlere göre amortisman süresinin uzun olması nedeniyle öneriler arasında son sırada yer almaktadır. Yapılan karşılaştırma Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Atık ısı değerlendirme yöntemleri karşılaştırılması.

	Absorbsiyonlu Soğutma	ORÇ sistemi	Nemlendirme Nem alma
Yıllık çalışma saati (Saat)	5000	8200	8200
Yapılacak yatırım miktarı (TL)	1.870.000	10.200.000	-
Yıllık elde edilebilecek tasarruf miktarı (TL)	4.579.797,25	4.614.133,44	1.722.000
Yatırım basit geri ödeme süresi (Yıl)	0,45	3	-
Çevresel-Ekonomik kazanç (TL/yıl)	3.136.981,18	2.166.445,51	808.520
Önlenebilecek karbon emisyonu (Ton/yıl)	63.630,45	43.944,12	16.400
Önlenebilecek karbon emisyonuna karşılık gelen araç sayısı (Araç/yıl)	13.538	9.349	3.489

Yapılan bu örnek çalışmayla, mevcut haliyle kullanılmayan atık ısıların ne kadar değerli olduğu, kısa amortisman süreleri ile büyük kazançlar sağlanabileceği gösterilmeye çalışılmış ve farkındalık oluşturmak hedeflenmiştir. Dünyada ve ülkemizde giderek artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, atık enerjiden daha fazla yararlanılması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır. Bu ve benzeri çalışmalar arttırılarak atık ısısının farkında olmayan ya da yatırım yapmayan işletmeler özendirilmeli, çevre ve verimlilik bilinci oluşturulmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Tarakçioğlu A., “Sanayide Atık Isıdan Yararlanma Yöntemleri.”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE Ana Bilim Dalı*, İstanbul, 1-5 (2006).
2. İnternet: Demir Çelik ve Enerji Verimliliği, <http://celik.org.tr/cemtas-celik-makina-sanayi-ve-ticaret-a-s/> (2016).
3. İnternet: Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Sankey-Diyagramlari> (2017).
4. İnternet: Çelik ve Özellikleri, <http://kalitelicelikciler.tr.gg/> (2016).
5. İnternet: Alternatif Yapı Malzemeleri, <http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/> (2017).
6. Sezer A., “BOF Çelik Üretim Prensipleri”, *İsdemir Yayınları*, İskenderun 10-25 (2007).
7. İnternet: Kaliteli Çelikçiler, <http://kalitelicelikciler.tr.gg/sekiler> (2017).
8. Ertem, M. Emre, “Entegre demir-çelik tesislerinde enerji tasarrufu potansiyeli” *I. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri*, Zonguldak, 121, (2001).
9. Çayır, E., Eğrican, N., “Yüksek fırın ve BOF proseslerinde termodinamiğın ikinci kanununu kullanarak enerji optimizasyonu yapılması” *I. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri*, Zonguldak, 121 (2001).
10. Huang F, Zheng J, Baleynaud M, Lu J “Heat recovery potentials and technologies in industrial zones” *Journal of the Energy Institute*, 90:951–961 (2017).
11. Jouhara H, Almahmoud S, Chauhan A, Delpech B, Bianchi G, Tassou S, Llera R, Lago F, Arribas J “Experimental and theoretical investigation of a flat heat pipe heat exchanger for waste heat recovery in the steel industry” *Energy*, 141:1928–939 (2017).
12. Maa H, Dua N, Zhanga Z, Lyua F, Denga N, Lia C, Yua S, “Assessment of the optimum operation conditions on a heat pipe heat exchanger for waste heat recovery in steel industry” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79:50–60 (2017).

13. MA Guang-yu, C., Jiu-jua, Z, Wen-weia, D. Huia, “Analytical Research on Waste Heat Recovery and Utilization of China’s Iron & Steel Industry”, *Energy Procedia*, 14, 1022-1028 (2012).
14. C. Wanga, D. Bellqvista, L. Nilssonb, P. Ivashechkinc, V. Reimerd, R. Ratoe, C. Guillonf, V. Weberf, J. Arribasg, “Techno-economic assessment of recovery and reuse of low temperature heat ( $T < 350^{\circ}\text{C}$ ) in the steel industry by means of process integration”, *The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014*, (2014).
15. J.F. Wang, Y.P. Dai, “Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry”, *Applied Energy* 86 (6):941–8, (2009).
16. T. Börrnert, T. Bürki, “ABB’s flexible ORC power plant.”, *ABB Switzerland Ltd.* (2010).
17. M. Li, J. Wang, M. Wang, J. Xia, Y. Dai, “Multi-objective optimization design of condenser in an organic Rankine cycle for low grade waste heat recovery using evolutionary algorithm”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 45, 47–54, (2013).
18. P. S. Bundela, V. Chawla, “Sustainable development through waste heat recovery.”, *American Journal of Environmental Sciences*, 6 (1):83-89 (2010).
19. R. El Chalmas, D. Clodic, “Combined cycle for hybrid vehicles”, *SAE World congress*, 1171 (1):1-5 (2005).
20. T. Endo, S. Kawajiri, Y. Kojima, K. Takahashi, T. Baba, S. Ibaraki, T. Takahashi, M. Shinorama, “Study on maximizing exergy in automotive engines”, *SAE World Congress*, Detroit, Michigan, 257 (1):1-6 (2007).
21. H.T.A. El-Dessouky, “Humidification Dehumidification Desalination Process Using Waste Heat from A Gas Turbine”, *Engineering Journal of Qatar University*, Vol. 2, (1989).
22. C. Sommarva, “Utilisation of power plant waste heat steams to enhance efficiency in thermal desalination,”, *Desalination*, Vol. 222, 1–3, 592-595. (2008).
23. H. S. Aybar, “Desalination system using waste heat of power plant,” *Desalination*, Vol. 166, 167-170, (2004).
24. Kavaklı, A. “Egzoz Gazı ile Çalışan Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Otobüslerde Kullanımı.”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 2-7, (2005).
25. M. Özturan, A. K. Binark, “Havadan Su Üretim Teknikleri”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 493-502, (2008).

26. E.Yıldırım, B.Yeşilata, “Düşük Sıcaklıkta Isı Kaynağı Kullanan Bir Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Termoekonomik Optimizasyonu”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33 (2), 111-117, (2013).
27. Mazzoni S, Arreola M, Romangoli A, “Innovative Organic Rankine arrangements for Water Savings in Waste Heat Recovery Applications” *Energy Procedia*, 143:361–366 (2017).
28. Akdağ, M. “Temel Kavramları ile Mühendislik Termodinamiği” *Qafqaz Üniversitesi*, Bakü, (2009).
29. E.Yalçın, A.Kavaklı, “Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri ile Egzoz Gazı Atık Isısından Faydalanarak Otobüs Kliması Sistemleri için Kaynaticı Tasarımı”, *BAÜ FBE Dergisi*, Cilt:12, Sayı:1, 136-152, (2010).
30. Deniz, E., Karagöz, M., “Energy Recovery in The Industry Using Absorbtion Cooling” *II. International Iron & Steel Symposium*, 806-809, Karabük/TURKEY, (2015).
31. Shankar P, Kumar S., “Solar Distillation – A Parametric Review”, *VSRD International Journal of Mechanical, Automobile & Production Engineering*, 2 (1):17–33.
32. Chahine MT., “The hydrological cycle and its influence on climate”, *Nature*, 359 (6394):373–80, (1992).
33. Kabeel AE, Hamed MH, Omara ZM, Sharshir SW. “Water desalination using a humidification-dehumidification technique - a detailed review”, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 52, 25-27, (2014).
34. Deniz, E. “Solar-Powered Desalination, Desalination Updates, Prof. Robert Y. Ning (Ed.),” *InTech*, ISBN: 978-953-51-2189-3, pp. 89-124, (2015)
35. Özden H., Paul D., “Organik Rankine Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi. Örnek Çalışma: Sarayköy Jeotermik Santrali”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir (2011).
36. Eyidoğan, M., “Organik Rankine Çevrimli Güç Üretim Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2014).
37. Mohammed K, Nicolas G, “Optimal Design of ORC Systems with a Low-Temperature Heat Source”, *Entropy*, 14, 370-389, (2012).
38. Yiping D, Jiangfeng W, Lin G, “Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery”, *Energy Conversion and Management*, 50, 576–582, (2009).

39. Tiwari, G. N., Yadav, J. K., Singh, D. B., Al-Helal, I. M., Abdel-Ghany, A. M., “Exergoeconomic and enviroeconomic analyses of partially covered photovoltaic flat plate collector active solar distillation system” *Desalination*,367:186–96 (2015).
40. Rajoria, C. S., Agrawal, S., and Tiwari G. N. “Exergetic and Enviroeconomic Analysis of Novel Hybrid PVT Array” *Solar Energy*, 88:110–9 (2013).
41. Internet: Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle, <http://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420f14040a.pdf> (2016).





**EK AÇIKLAMALAR A.**

**ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KATALOG BİLGİLERİ**

<b>1.SPECIFICATION DATA</b>		
ITEM	UNIT	DESCRIPTION
MODEL		RFHK265YT
COP		0,78
COOLING CAPACITY	RT	2.472,0
	kW	8694
LOCATION	-	INDOOR INSTALLATION
CAPACITY CONTROL RANG	%	100~20/PROPOTIONAL,UNDER20/ON-OFF
<b>CHILLED WATER</b>		
MEDIUM	---	FRESH WATER
INLET/OUTLET TEMP.	°C	12.0 → 7.0
FLOW RATE	m <sup>3</sup> /h	1501,0
MAX.WORKING PRESSURE	kPaG	800,0
FOULING FACTOR	m <sup>2</sup> K/kw	0,086
PRESSURE DROP	kPa	53,9
PASS	---	2
<b>COOLING WATER</b>		
MEDIUM	---	FRESH WATER
INLET/OUTLET TEMP.	°C	30.0 → 36
FLOW RATE	m <sup>3</sup> /h	2754,0
MAX.WORKING PRESSURE	kPaG	800,0
FOULING FACTOR	m <sup>2</sup> K/kw	0,086
PRESSURE DROP	kPa	121,5
PASS		2+1
<b>HOT WATER</b>		
TEMPERATURE	°C	95 → 85
CONSUMPTION	m <sup>3</sup> /h	960,0
PRESSURE DROP	kPa	35,3
PASS		1+1
VOLTAGE×CYCLE	V×Hz	380V × 50Hz
ELECTRIC POWER CAPACITY	KVA	48,3
<b>FLANGE CONNECTION</b>		
	FLANGE TYPE	STANDARD METRIC UNIT
	CHILLED WATER	450
	COOLING WATER	600
	HOT WATER	350
	RUPTURE DISK	50
APPROX RUNNING WEIGHT	ton	103,8
MAX.SHIPPING WEIGHT	ton	48,0
DIMENSION(L*W*H)	mm*mm*mm	9800*4700*5400
SHIPPING STYLE	Piece	2
Note:		
1) Quality of chilled water and cooling water shall be controlled according to GRA GL02E-1994 (Refer to page 7.).		
2) Capacity is in accordance with ARI560.		

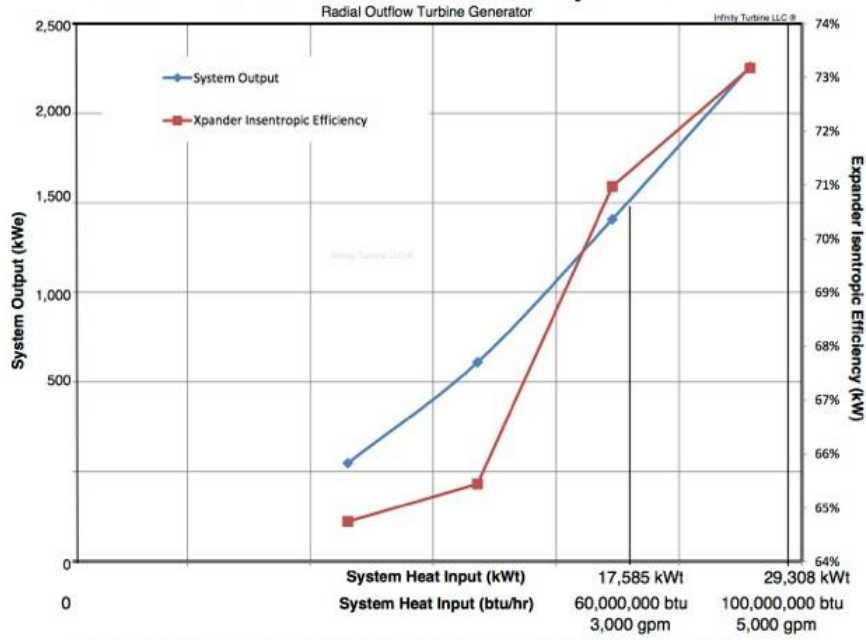


**EK AÇIKLAMALAR B.**

**ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMİ SEÇİLEN ÜNİTE PERFORMANS  
DİYAGRAMI**



# IT2MW - 2,000 kW Net R245fa System Curve



To express the efficiency of a generator or power plant as a percentage, divide the equivalent Btu content of a kWh of electricity (which is 3,412 Btu) by the heat rate. For example, if the heat rate is 10,140 Btu, the efficiency is 34%. If the heat rate is 7,500 Btu, the efficiency is 45%. A typical heat rate for ORC is 40,000 btu, which is an efficiency overall of 8.5%. ORC is a bottoming cycle and designed for recovery of low grade waste heat, which is otherwise unused.



## ÖZGEÇMİŞ

Aytaç AYDIN 1988 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini İskenderun'da tamamladı. Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2012 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2012 yılında KARDEMİR A.Ş. Çelik Üretim Müdürlüğü'nde Mekanik Bakım Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : KARDEMİR A.Ş.  
Çelik Üretim Müdürlüğü  
Fabrika Sahası 78170 Merkez / KARABÜK

Tel : (505) 915 4124

E-posta : ayaydin@kardemir.com