

**BİYOKÜTLE KAYNAKLI ORGANİK RANKİNE
ÇEVİRİMLİ GÜÇ ÜNİTESİNİN TERMOEKONOMİK
ANALİZİ**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Mahmut PELİT

**BİYOKÜTLE KAYNAKLI ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMLİ GÜÇ
ÜNİTESİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

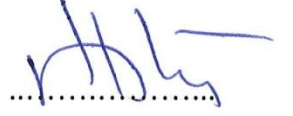
Mahmut PELİT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Mahmut PELİT tarafından hazırlanan “BİYOKÜTLE KAYNAKLI ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMLİ GÜÇ ÜNİTESİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK



Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16 / 06 / 2015

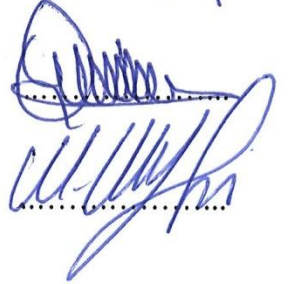
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KOÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

...../...../2015

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“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.”

Mahmut PELİT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYOKÜTLE KAYNAKLI ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMLİ GÜÇ ÜNİTESİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ

Mahmut PELİT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2015, 53 Sayfa

Bu tez çalışmasında, biyokütle kaynaklı ORÇ sisteminin termodinamik ve termoeconomik analizi yapılmış, aynı zamanda biyokütle kaynaklarından ve ORÇ sistemlerinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Analiz için gerekli veriler, ağaç sanayinde entegre üretimi yapan işletmenin ORÇ sisteminden alınmıştır. ORÇ'nin ihtiyacı olan biyokütle kaynaklı termal ısı, kazanlarda biyokütlenin yakılması ile elde edilen kızgın yağdan sağlanmaktadır. Biyokütle kaynaklı ORÇ sistemi; mekân ısıtması, sıcak su ve elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Net elektrik üretimi 891,76 kW olan ORÇ sisteminin 24 saat çalıştığı düşünüldüğünde, yıllık ortalama 7.811.818 kW elektrik üretimi yapabilmektedir. SPECO (ölgül ekserji) metoduna göre yapılan termoeconomik analiz sonucunda, üretilen elektriğin birim maliyeti 5,671 \$/GJ bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda, termodinamik ve termoeconomik analizlerin, sistem içerisindeki verimsiz ve yüksek maliyetle çalışan ekipmanların tespiti için, yapılması gereken önemli bir işlem olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Organik rankine çevrimi (ORÇ), biyokütle, enerji ve ekserji analizi, termodinamik analiz, termoekonomik analiz.

Bilim Kodu : 914.1.131

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THERMOECONOMIC ANALYSIS OF BIOMASS FUELLED ORGANIC RANKINE CYCLE POWER UNIT

Mahmut PELİT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2015, 53 Pages

In this paper, thermo-dynamic and thermo-economic analysis of biomass fuelled ORC system is performed, also biomass resources and ORC system is mentioned in details. The data required for analysis, is taken from ORC systems of the company operated in integrated wood components business. The biomass fuelled thermal heat that ORC system requires, is obtained by the hot oil produced by burning the biomass. Biomass fuelled ORC system; is used in heating, hot water and electricity needs of households. Having examined a 24 hours operating ORC system's 891,76 kW net electricity production, it can produce 7.811.818 kW of electricity in average annually. The results of thermo-economic analysis made according to SPECO (specific exergy), show that cost of a unit of electricity generated, is 5.671 \$/GJ. Concluding this work, it has been understood that thermo-dynamic and thermo-economic analysis are highly required in the system, to be able to identify equipment that operates costly and inefficiently.

Keywords : Organic rankine cycle (ORC), biomass, energy and exergy
analysis, thermodynamic analysis, thermoeconomic analysis

Science Code : 914.1.131

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda, katkı ve yönlendirmeleri ile Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK hocama, destek ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Durmuş KAYA hocama, ayrıca, bilimsel çalışma ve araőtırmalarımda verdikleri destek ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Muharrem EYİDOĞAN ve Yrd. Doç. Dr. Alper ERĐÜN'e teşekkür ederim. Ayrıca gösterdikleri anlayıő ve desteklerinden dolayı özellikle Toplu Taşıma Daire Baőkanı Salih KUMBAR'a, Otobüs İőletme Şube Müdürü Övünç YILMAZ'a, çalışma arkadaşlarım UĐur ARAT ve Mehmet TANIYAN'a teşekkür ederim.

Her zaman manevi desteğini üzerimde hissettiğim babam Mükerrrem EROĐUL'a ve annem'e, sevgi ve vefakarlığı ile eőim'e teşekkür eder, bu çalıőmamı, en kıymetli hazinelerim olan oğullarım Ahmet KaĐan ve Mehmet TuĐhan'a ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
BİYOKÜTLE.....	3
2.1. TEMEL BİYOKÜTLE KAYNAKLARI	4
2.2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	5
2.3. BİYOKÜTLENİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.....	6
BÖLÜM 3	7
ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ	7
3.1. SİSTEM TASARIMINA GÖRE ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ	8
3.1.1. Basit Organik Rankine Çevrimi.....	8
3.1.2. Süperkritik Organik Rankine Çevrimi.....	10
3.1.3. Reküperatif Organik Rankine Çevrimi	11
3.1.4. Rejeneratif Organik Rankine Çevrimi	11
3.2. ISIL KAYNAKLARINA GÖRE ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ	13
3.2.1. Atık Isı Geri Kazanımlı Organik Rankine Çevrim Sistemleri.....	13
3.2.2. Güneş Enerjisili Organik Rankine Çevrimi.....	15

	<u>Sayfa</u>
3.2.3. Jeotermal Kaynaklı Organik Rankine Çevrimi	17
3.2.4. Biyokütle Kaynaklı Organik Rankine Çevrimi	18
BÖLÜM 4	22
LİTERATÜR TARAMASI.....	22
BÖLÜM 5	25
SİSTEM TANITIMI	25
BÖLÜM 6	29
MATERYAL VE METODLAR	29
6.1. ORÇ TERMODİNAMİK ANALİZ	29
6.1.1. Enerji Analizi.....	29
6.1.2. Ekserji Analizi	30
6.1.3. Sistem Ekipmanlarına Ait Termodinamik Analizler	31
6.1.3.1. Evaporatör Termodinamik Analizi	31
6.1.3.2. Türbin Termodinamik Analizi	32
6.1.3.3. Rejeneratör Termodinamik Analizi	33
6.1.3.4. Kondenser Termodinamik Analizi.....	34
6.1.3.5. Pompa Termodinamik Analizi	35
6.2. ORÇ TERMOEKONOMİK ANALİZ	37
6.2.1 Sistem Ekipmanlarının Yatırım Maliyet Hesabı.....	39
6.2.1.1. Paranın Zaman Değeri	39
6.2.1.2. Yıllık Ödemeler	39
6.2.1.3. Ana Para Geri Kazanım Faktörü.....	40
6.2.1.4. Sistemin Hurda Değeri.....	40
6.2.1.5. Sistemin Geri Ödeme Süresi	40
6.2.1.6. Ekonomik Değerlerin Hesabı.....	41
6.2.2. SPECO Metodu	43
6.2.2.1. Maliyet Denge Denklemlerinin Çözümü	45
BÖLÜM 7	49

	<u>Sayfa</u>
SONUÇ	49
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Biyokütle kaynakları	4
Şekil 2.2. Biyokütle enerjisi üretim yöntemleri	5
Şekil 3.1. ORÇ sistem şeması.	9
Şekil 3.2. Basit ORÇ sisteminin T-s diyagramı.	9
Şekil 3.3. Süperkritik ORÇ'nin T-s diyagramı.	10
Şekil 3.4. Reküperatif ORÇ sisteminin şeması ve T-s diyagramı.	11
Şekil 3.5. Rejeneratif ORÇ sisteminin tesisat şeması.	12
Şekil 3.6. Rejeneratif ORÇ'nin T-s diyagramı.	13
Şekil 3.7. Termal yağlı atık ısı geri kazanımlı ORÇ sistemi.	14
Şekil 3.8. Doğrudan ısı değiştiricili atık ısı geri kazanımlı ORÇ sistemi.	15
Şekil 3.9. Parabolik Güneş kollektörlü ORÇ sistemi	16
Şekil 3.10. İkili Jeotermal elektrik santrali	17
Şekil 3.11. Birleşik ısı ve güç üretim sistemlerinin şematik resmi.	19
Şekil 3.12. Örnek bir birleşik ısı güç ünitesinin enerji akışları.	20
Şekil 5.1. ORÇ ünitesinin şematik resmi.	28
Şekil 6.1. Termoekonomik analiz için akış şeması.	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Biyokütle yakıtlı kazanın teknik özellikleri.....	26
Çizelge 5.2. ORÇ ünitesinin teknik özellikleri.	27
Çizelge 6.1. ORÇ ekipmanlarının her bir noktasına ait organik akışkan, termal yağ ve suyun özellikleri	36
Çizelge 6.2. Enerji ve ekserji performansları.....	37
Çizelge 6.3. ORÇ ekipmanlarının normal ve seviyelendirilmiş alış fiyatları ve bu fiyatları göre toplam maliyet akımları.	43
Çizelge 6.4. Ekipmanların, ekserjiye bağlı maliyet denge denklemleri, yardımcı denklemler ve yakıt-ürün tanımlamaları.	44
Çizelge 6.5. Ekipman noktalarına ait ekserji, ekserji maliyet akımları ve ortalama birim ekserji maliyet değerleri.	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
C _p	: Sabit basınçta özgül ısı
H	: Alt ısı değer
H ₂	: Hidrojen
Kg	: Kilogram
Kcal	: Kilokalori
Kj	: Kilojoule
kW	: Kilowatt
MW	: Megawatt
Mpa	: Megapaskal
m	: Kütleli debi
Q̇	: Isı miktarı
T	: Sıcaklık
Ẇ	: İş miktarı
η	: Verim
°C	: Derece santigrat
E	: Enerji
Ė	: Enerji akımı (kW)
Ė _x	: Ekserji akımı (kW)
H	: Özgül entalpi (kJ/kgK)
İ	: Bileşik faiz oranı (%)
N	: Sistem ömrü (yıl)
P	: Basınç (bar)
S	: Özgül entropi (kJ/kgK)

KISALTMALAR

CFC	: Kloroflorokarbonlar
DORC	: Double Organic Rankine Cycle (İkili Organik Rankine Çevrimi)
HC	: Hidrokarbon
HCFC	: Hidrokloroflorokarbonlar
HFC	: Hidroflorokarbonlar
HRVG	: Heat Recovery Vapor Generator (Isı Geri Kazanımlı Buhar Jeneratörü)
HVAC	: Heating Ventilating And Air Conditioning (Isıtma Soğutma ve Havalandırma)
MDF	: Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunluklu Sunta)
ORÇ	: Organik Rankine Çevrim
PFC	: Perflorokarbonlar
SAT	: Simulated Annealing Technique (Tavlama Benzetim Tekniği)
SPECO	: Specific Exergy Costing (Özgül Ekserji Maliyeti)
AC	: Yıllık Ödemeler (\$)
CRF	: İlk Yatırım Geri Kazanım Faktörü
F	: Yakıt
FW	: Paranın Gelecekteki Değeri (\$)
GÖS	: Geri Ödeme Süresi
P	: Ürün
PEC	: Ekipman Alış Fiyatı (\$)
PW	: Paranın Şimdiki Değeri (\$)
PWF	: Paranın Şimdiki Değer Faktörü
SV	: Hurda Değeri
TCI	: Toplam İlk Yatırım Maliyeti (\$)
TL	: Türk Lirası
YG	: Yıllık Getiri
Z ^T	: Seviyelendirilmiş Maliyet Akımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyanın enerji talebi son 50 yılda giderek artmakta ve doğal enerji kaynakları aşırı derecede tüketilmektedir. Bu sorunlarla karşı karşıya olan pek çok ülke, enerji üretiminde güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklara yönelmiştir. Her ülke, enerji ihtiyacında dışa bağımlılığını minimize etmek ve ortadan kaldırmak istemektedir. Bunun için de alternatif enerji üretim yöntemlerini daha verimli bir şekilde kullanmanın yolunu aramaktadırlar.

Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve çevresel problemlerin artması ile biyoenerji, diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi, önemli bir alternatif enerji haline gelmiştir. Pişirme ve ısınma için kullanılan geleneksel biyokütle, uygarlığın başlamasından beri enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve modern biyoenerji kullanımında günümüzde hızlı bir artış gözlenmektedir. Biyoelektrik verimliliği fosil yakıtlara göre düşük olsada, biyokütle elektrik üretiminde karlı bir seçenek sunmaktadır.

Tarım, orman ve kentsel atık gibi biyoatıklar ve bu atıklardan üretilen biyoyakıtlar birçok biyokütle güç üretim santralinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Kombine ısı ve enerji başka bir deyişle kojenerasyon teknolojisi, düşük elektrik verimliliğine sahip üretimlerde tercih edilmektedir. Bu teknoloji ile ısı ve elektriğin eş zamanlı üretilmesinden dolayı, enerji üretimi daha verimli hale gelmektedir. Kombine ısı ve enerji santrallerinde, daha çok enerji daha az yakıt ile üretilmekte ve bundan dolayı CO₂ emisyonları azalmıştır.

Biyokütle kaynaklı enerji üretiminde kullanılan en yaygın yöntem organik akışkan destekli güç sistemleridir. Orta ve küçük ölçekli kombine ısı ve enerji santrallerinde Organik Rankine Çevriminin (ORÇ) kullanımı biyokütleden enerji üretimi için etkili bir seçenektir. Dünyada enerji kaynağı olarak biyokütleyi kullanan ve Organik

Rankine Çevrimi ile enerji üreten birçok kombine ısı ve enerji santrali bulunmaktadır. Bu döngülerde, rankine çevriminin aksine su yerine organik sıvı kullanılmaktadır. Böylece düşük sıcaklıklı ısı kaynağından daha yüksek verimli güç elde edilmektedir.

Sistemin temel prensibi geleneksel rankine çevrimine dayanmaktadır. ORÇ'nin temel prensipleri geleneksel rankine çevriminin prensipleri ile benzerdir. Geleneksel rankine çevrimi ile ORÇ arasındaki temel fark, ORÇ'nde organik çalışma akışkanı geleneksel rankine çevrimindeki çalışma akışkanı olan sudan daha düşük bir kaynama noktası ve daha yüksek bir buhar basıncına sahip olmasıdır. Bu temel fark, çevrimin verimini artırdığından, seçilecek çalışma akışkanının kaynama noktası ne kadar düşük ve buhar basıncı ne kadar yüksek olursa türbinden elde edilen enerjide o kadar artar.

İşletmeler, öz imkânları ile ortaya çıkan biyokütleyi, ORÇ sisteminde kaynak olarak kullandığında, üretim maliyetini aşağı çekerken, kendi enerjisinde dışa bağımsız halde üretebilmektedir. Tez çalışmamıza konu olan entegre ağaç levha üretim tesisi, bu teknolojiye iyi bir örnek teşkil etmektedir. Bu tesiste, odun kabukları ve levha atıkları yakılarak sıcak su ve elektrik üretilmektedir. Üretilen sıcak su, entegre ağaç üretim prosesinde ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır.

BÖLÜM 2

BIYOKÜTLE

En basit tanımıyla biyokütle, bitki ve hayvanların (mikro-organizmaların) organik madde kitlesi anlamına gelir. Yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan biyolojik kütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik maddelerdir. Biyokütle, bitkilerin fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depoladığı güneş enerjisini bünyesinde barındırır. Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklardır. Biyokütle, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak değerlendirilmekte olup; “tarım, ormancılık ve ilgili endüstrilere (balıkçılık, su ürünleri gibi) ait biyolojik kökenli ve biyoçözünür olan ürün, atık ve artıklar ile sanayi ve belediye atıklarının biyoçözünür parçaları” olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji, biyokütle enerjisi olarak ifade edilmektedir. Biyokütle enerjisi üç temel alanda kullanılmaktadır. Bunlar; elektrik, ısı ve ağırlıklı olarak ulaşım amaçlı kullanılan biyoyakıt üretimidir. Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen, stratejik bir enerji kaynağıdır. Biyokütle kullanılarak farklı ihtiyaç alanlarına yönelik katı, sıvı ve gaz formlarında değişik enerji ürünleri elde edilebilmektedir.

Biyokütle ürünleri, genellikle iki başlık altında ele alınmaktadır. Verimi nispeten daha düşük olan, geleneksel, birinci nesil biyokütle (odun, odun kömürü ve yemek pişirmede, ısıtmada ve aydınlatmada kullanılan hayvansal atıklar) ve daha yüksek verimli modern, ikinci nesil biyoenerji (biyodizel, biyoetanol ve organik atıkların yakma, piroliz ve gazifikasyon gibi metodlar) ürünlerdir.

2.1. TEMEL BİYOKÜTLE KAYNAKLARI

1- Odun (enerji ormanları)

2- Odun dışı bitkiler (enerji tarımı)

- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kanola, soya, ...)
- Karbonhidrat bitkileri (mısır, patates, buğday, ...)
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, ...)
- Algler (denizlerde, göllerde bulunan yosunlar, saz bitkileri, ...)

3- Atıklar

- Odun ve bitki atıkları (fındık, ağaç kabuğu, odun yongaları, talaş, ceviz kabuğu, mısır koçanları, bitki sapları, meyve, sebze atıkları, vb.)
- Hayvansal atıklar (gübre)
- Şehirsal atıklar (çöpler, belediye lağım atıkları, evsel atıklar, vb.)
- Endüstriyel atıklar (kağıt, selülöz, gıda, deri, tekstil, orman, şeker, zırai, biyolojik atıklar, arıtma tesisleri atıkları, ...).



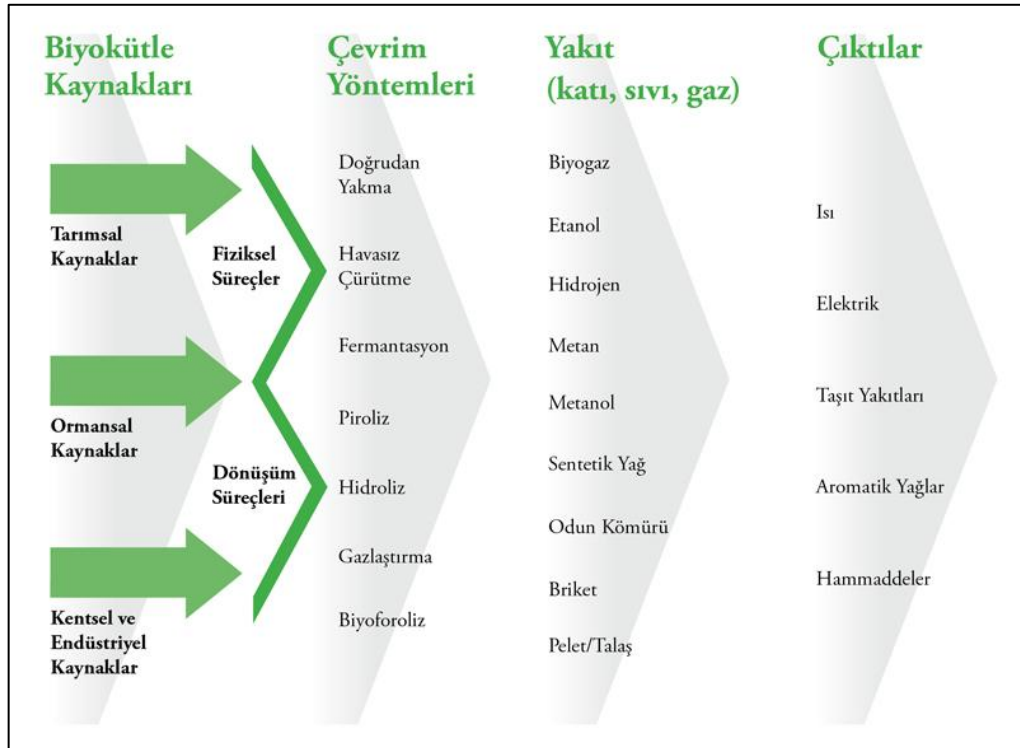
Şekil 2.1. Biyokütle kaynakları [1].

Tarımsal kaynaklar, hayvansal ve bitkisel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bitkisel kaynaklar ise kendi arasında iki kısma ayrılmaktadır. Özellikle enerji tarımıyla bitkilerden elde edilen çıktı ile enerji üretilmektedir. Kentsel ve endüstriyel kaynaklar diğer bir biyokütle enerji kaynağını oluşturmakta olup, çevre açısından da önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Belediye çöplükleri, kanalizasyon ve endüstriyel atıklar bu bağlamda değerlendirilen kaynaklar olarak ön plana çıkmaktadır.

2.2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Genel olarak sınıflandırma yapıldığında günümüzde biyokütleden;

- Fiziksel (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve briketleme)
- Dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile yakıt elde edilmektedir. Şekil 2.2’de biyokütle enerji üretim yöntemleri şematik verilmiştir.



Şekil 2.2. Biyokütle enerjisi üretim yöntemleri [1].

Biyokütlenin enerji olarak kullanılmasında, katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde etmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu bağlamda, biyoetanol, biyogaz, biyodizel gibi yakıtların yanı sıra, yine biyokütleden elde edilen gübre, hidrojen, metan ve odun briketi gibi daha birçok yakıt türü saymak mümkündür. Bu yakıtların elde edilmesinde termokimyasal ve biyokimyasal olarak sınıflanabilen yeni teknikler geliştirilmiş ve yıllar içinde verimlilikleri artırılmıştır. Önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerde yeni gelişmelerin yanında, yalnız biyokütle kaynağıyla çalışan büyük termik santrallerin yapımı planlanmaktadır.

2.3. BİYOKÜTLENİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Avantajları;

- Tükenmez bir enerji kaynağı, yenilenebilir, sürdürülebilir
- Hemen her yerde yetişir
- Çevre kirliliği oluşturmaz
- Sera etkisi oluşturmaz (CO₂, fosil yakıtlara göre % 75 daha azdır)
- Asit yağmurlarına yol açmaz (Az miktarda kükürt ve ağır metal içerirler, parçacık emisyonları kontrol edilebilir özelliindedir)
- Her ölçek, enerji verimi için uygundur
- Depolanabilir
- Sosyo-ekonomik gelişmeye katkıları vardır
- Organik maddelerin kaybolmasını önler
- Değerlendirilemeyen atıkları ekonomiye kazandırır
- Ormanların bakımını artırır
- Orman yangınlarını azaltır
- Enerji ithalatımızın azaltılmasına katkıda bulunur

Dezavantajları;

- Düşük çevrim verimine sahiptir
- Enerji tarımı düşünüldüğünde, tarım alanları için rekabet oluşturur
- Su içeriği fazladır

BÖLÜM 3

ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ

Güç üretim santrallerinin çoğu Rankine çevrimine dayanmaktadır. Clausius Rankine Çevrimi, ısı enerjisini işe çeviren termodinamik bir döngüdür. Isı genellikle dışarıdan temin edilir. Buharlı güç çevrimlerinde en ideal olan, Rankine çevrimidir. Rankine çevrimi ile çalışan orta ve büyük güç santrallerinde, elektrik enerjisi üretmek için geleneksel akışkan olan su tercih edilmektedir.

İş yapan akışkan olarak su, güvenli, çevreci ve yüksek ısı transferi özelliklerinden dolayı tercih edilmesine rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından bazıları yüksek derecede korozif olması ve donma sıcaklığının yüksek olmasıdır. Son yıllarda Rankine çevriminde su yerine, sudan daha yüksek moleküler kütlesi olan ve daha düşük sıcaklıkta kaynayan hidrokarbon bileşenli akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu akışkanların kullanılması ile bu sistemler, Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) adını almıştır. Düşük sıcaklıklarda (<150°C) tercih edilen bu teknoloji çoğunlukla, biyokütle, egsoz gazı, güneş enerjisi, jeotermal vb. uygulamalarda oldukça yaygın enerji üretim prosesleri arasına girmiş, böylece düşük sıcaklıklarda daha etkin elektrik üretimi sağlanabilmiştir. İklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan çevresel endişeler ve artan petrol fiyatları, atık ısı veya ısı geri kazanımıyla, son zamanlarda ORÇ'nin elektrik üretiminde temiz ve güvenilir en iyi yol olduğu anlaşılmıştır.

Organik Rankine Çevrimli sistemleri, şu şekilde sınıflandırmak mümkündür;

Sistem tasarımına göre Organik Rankine Çevrimi,

- Basit Organik Rankine Çevrimi,
- Süperkritik Organik Rankine Çevrimi,
- Reküperatif Organik Rankine Çevrimi,
- Rejeneratif Organik Rankine Çevrimi.

Isıl kaynaklarına göre Organik Rankine Çevrimi,

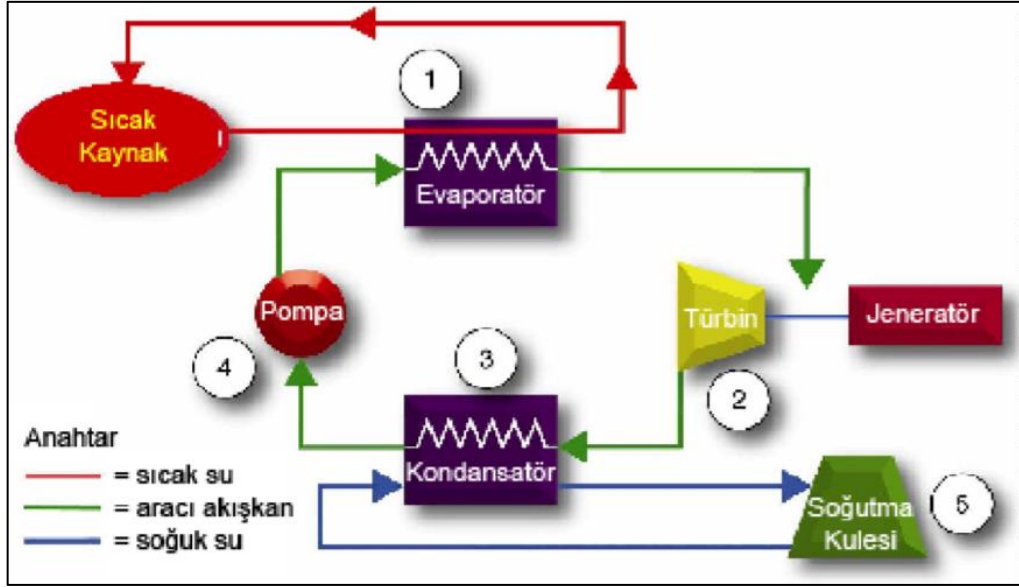
- Atık ısı geri kazanımlı Organik Rankine Çevrimi,
- Güneş enerjili Organik Rankine Çevrimi,
- Jeotermal kaynaklı Organik Rankine Çevrimi,
- Biyokütle kaynaklı Organik Rankine Çevrimi.

3.1. SİSTEM TASARIMINA GÖRE ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ

3.1.1. Basit Organik Rankine Çevrimi

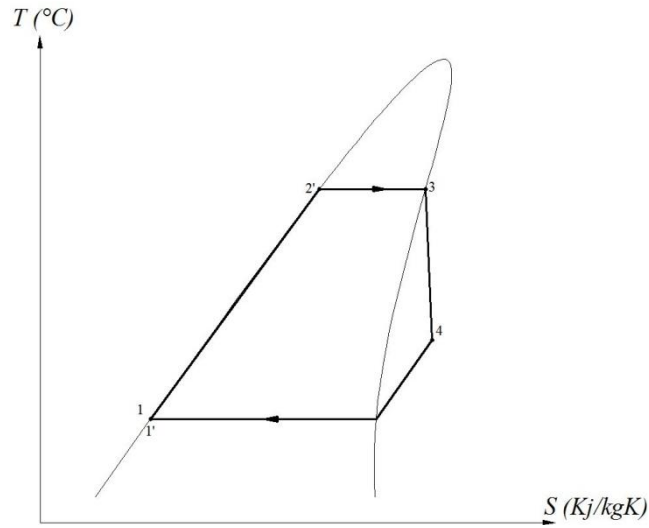
Basit Organik Rankine Çevrimi 4 ana elemandan oluşur. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, buharlaştırıcı (evaporatör) (1), türbin (2), yoğunlaştırıcı (kondansatör) (3) ve pompa (4) dır. Isıdan elektrik üreten sistemi esas alan bir ORÇ teknolojisinin çalışma sistemi şu şekildedir; Buharlaştırıcı içerisindeki organik çalışma sıvısını (yeşil çizgi) buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır (kırmızı çizgi). Buharlaştırıcı olarak kullanılan eleman bir ısı değiştiricidir. Bu işlem sonrasında organik akışkan yüksek sıcaklık ve basınca geçmiş olur. Basınçlı buhar daha sonra türbinlere yollanır ve jeneratörle birleştiğinde elektrik üretir. Buhar, yoğunlaştırıcı içinde tekrar sıvı hale yoğunlaştırılır. Burada, ya soğutma kulesi (5), ya yeraltı suyu yada ırmak suyu (mavi çizgi) soğutma aracı olarak kullanılır. Hava soğutma sistemi de alternatif olarak kullanılabilir. Daha sonra soğutucu pompa çalışma sıvısını tekrar buharlaştırıcıya pompalar ve kapalı çevrim süreci, bu şekilde tekrar eder.

Sıcak sıvı, yakıt kaynağı olarak kullanıldığından yakıt maliyeti sıfırdır. Ayrıca hiçbir yanma gerçekleşmediğinden, ORÇ’li enerji sistemlerinde, atmosfere herhangi bir salınım karışmaz.



Şekil 3.1. ORÇ sistem şeması.

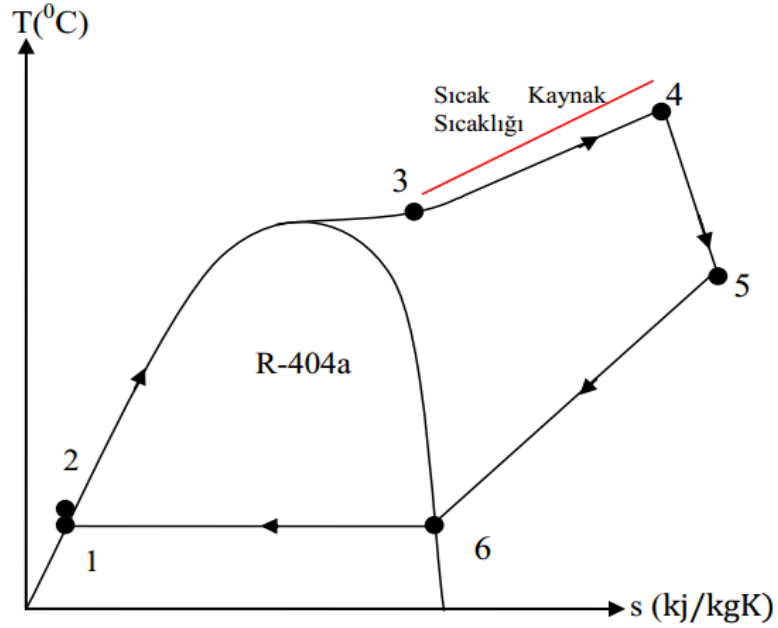
Basit ORÇ sisteminde genellikle kaynaktan elde edilen ısının kullanım verimini arttırmak için buharlaştırıcıdan sonra bir ön ısıtıcı kullanılır. Şekil 3.2'de basit ORÇ sisteminin çalışma prensibi T-s diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Basit ORÇ sisteminin T-s diyagramı.

3.1.2. Süperkritik Organik Rankine Çevrimi

ORÇ sistemlerinin diğer bir tasarımı olan süperkritik ORÇ’inde akışkan kritik nokta üzerinde çalışır. R-404a akışkanı ile çalışan süperkritik ORÇ sisteminin T-S diyagramı Şekil 3.3’te verilmiştir. Çevrim boyunca akışkan, tekrar basınçlandırılmadan önce türbinde genişler, soğur ve yoğuşarak alt basınç bölgesine ulaşır. Alt kritik noktaya gelen akışkanın burada basıncı artar ve süperkritik noktaya ulaşır. Süperkritik ORÇ sistemlerde, çevrim boyunca çalışma akışkanının ısıtılması sırasında sabit bir basınç olmadığından dolayı, sabit bir sıcaklık yoktur [2].



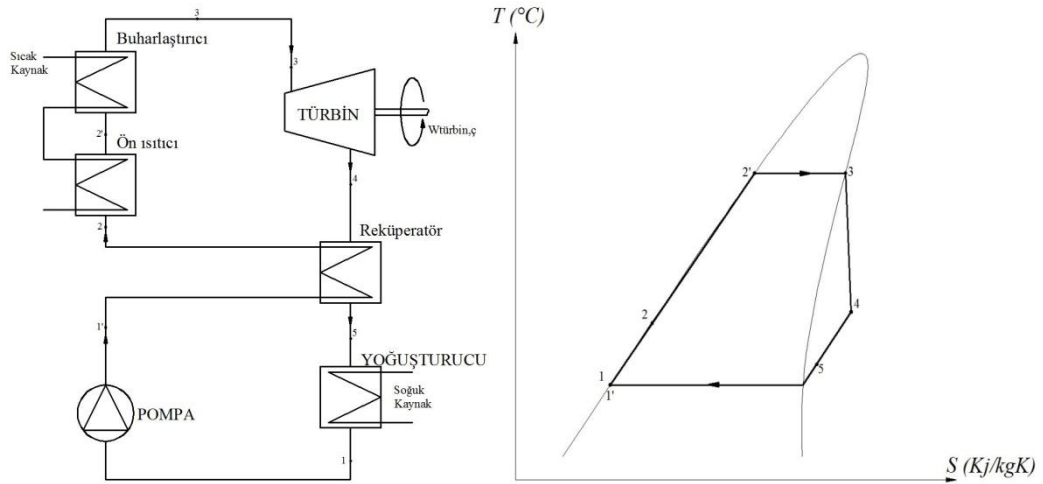
Şekil 3.3. Süperkritik ORÇ’nin T-s diyagramı.

ORÇ sistemlerde en önemli konulardan birisi, ısı kaynağına olan bağlantı kısmı iyi tasarlanmalıdır. Doğal ısı kaynağına bağlı olarak uygun ısı değiştiricisi seçilmesi gerekir veya minimum sıcaklık farkına göre tasarlanmalıdır. Akışkan olarak birkaçı tavsiye edilebilir; Eğer ısı kaynağı sıcak sıvı ise (jeotermal vb.) çalışma sıvısı ile sıcak kaynak arasına plakalı ısı değiştiricisi monte edilebilir. Diğer bir seçenek de borulu tip ısı değiştiricisi kullanılabilir. Isı kaynağı sıcak bir gaz ise (çimento veya metal dökümden gelen baca gazı) uzun yüzeye sahip ısı değiştiricisi kullanılabilir. Eğer ısı kaynağı termal bir radyasyon şeklinde gelirse ısı değiştiricisi bir güneş alıcısı

şeklinde imal edilebilir [3]. ORÇ sistemler için ısı kaynağı olarak farklı tür akışkanlar vardır. Düşük sıcaklık aralığı için çeşitli ısı transfer katsayılı yağlar vardır. 400 °C sıcaklığa kadar ısı transferi akışkanı olarak siloksanlar (R2SiO) kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise çeşitli erimiş tuzlar önerilmektedir.

3.1.3. Reküperatif Organik Rankine Çevrimi

Rekuperatörlü ORÇ sisteminde, basit ORÇ sisteminden farklı olarak türbin çıkışındaki ısıyı, ön ısıtıcıya girecek olan, organik akışkana aktarmak için bir reküperatör kullanılır. Reküperatör, sistemdeki organik akışkanın kondensere girmeden önce, ısını atmasını, aynı zamanda da ön ısıtıcıya girmeden ek bir ön ısıtma işlemine tabi tutulmasını sağlar ve sistem performansını artırır. Şekil 3.4'te reküperatif bir ORÇ sisteminin şeması ve T-s diyagramı görülmektedir.

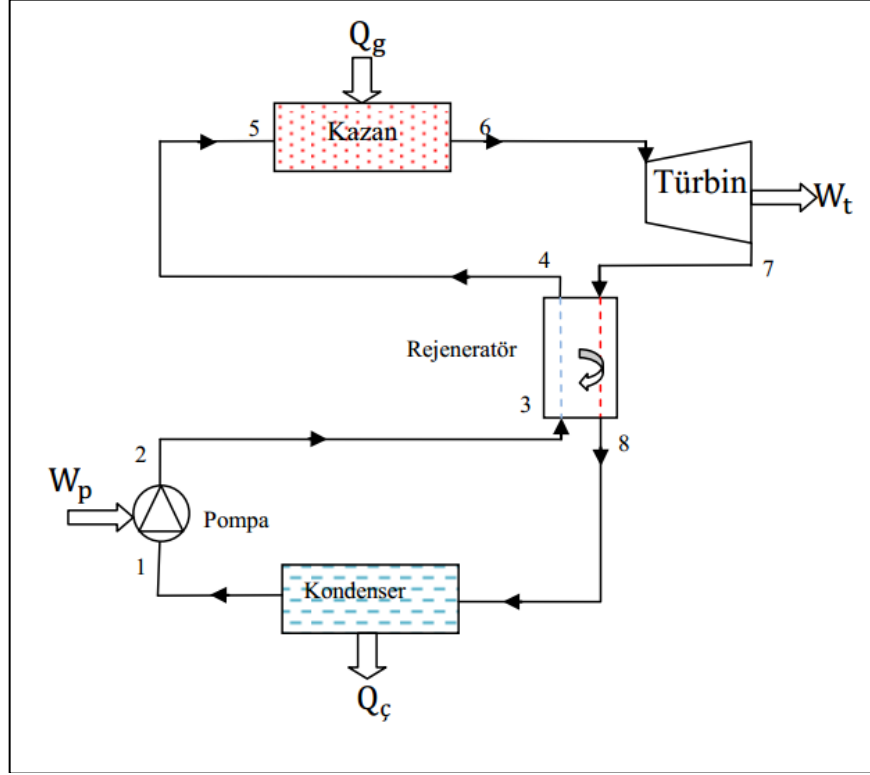


Şekil 3.4. Reküperatif ORÇ sisteminin şeması ve T-s diyagramı.

3.1.4. Rejeneratif Organik Rankine Çevrimi

Rejeneratif ORÇ sistemi, Şekil 3.5'te verilmiştir. Temel ORÇ'li sistemlerden farklı olarak, türbinden çıkan sıcak çalışma akışkanı ile pompadan çıkan soğuk çalışma akışkanı arasında, ısı transferini sağlamak için ısı değiştiricisi vardır.

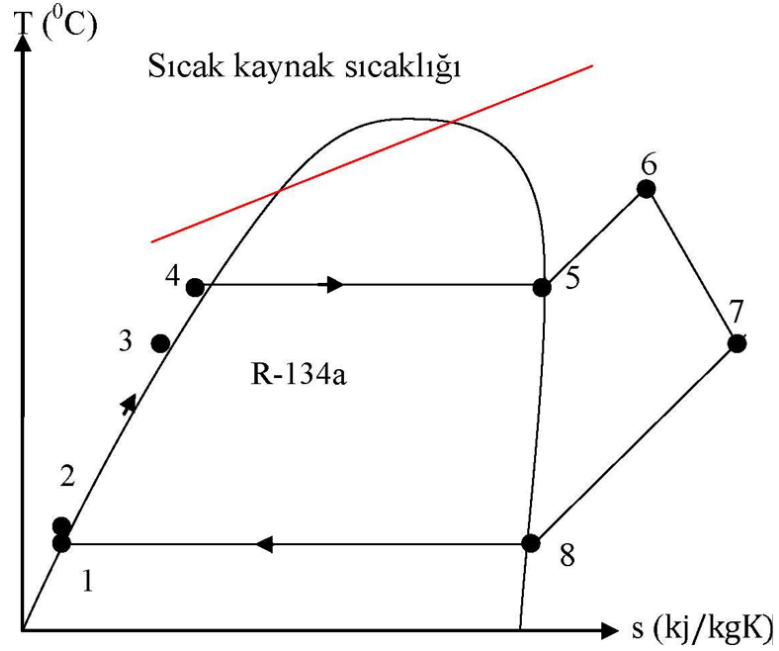
Rejeneratif kelimesi, çevrim içerisindeki ısının, yeniden çevrim içinde oluştuğunu ifade eder. Bundan dolayı daha az termal enerji kaynağı gerekir. Çünkü rejeneratör boyunca akışkana ön ısıtma uygulanır.



Şekil 3.5. Rejeneratif ORÇ sisteminin tesisat şeması.

Rejeneratör bu çevrimde türbinin çıkışı ile pompanın çıkışı arasında bağlanır ve ısı değiştiricisi görevini görür. Pompadan çıkan soğutucu akışkana, türbinden gelen akışkan, ısısının bir kısmını aktarır ve kazana girmeden önce, ön ısıtma yapılmış olur. Buda sistemin ısıl verimi artırır.

Şekil 3.6'da, R-134a soğutucu akışkanı ile çalışan, Rejeneratif Organik Rankine Çevriminin T-s diyagramı verilmiştir. Bu iki çevrimin T-s diyagramlarına bakılarak karşılaştırıldığında, Rejeneratif Organik Rankine çevriminde, kazan çıkışında akışkan aşırı kızdırılmış bölgededir.



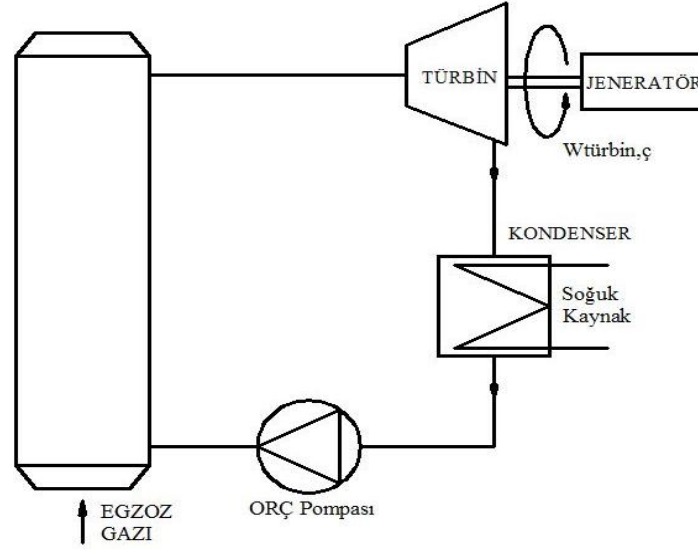
Şekil 3.6.Rejeneratif ORÇ'nin T-s diyagramı.

3.2. ISIL KAYNAKLARINA GÖRE ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ

3.2.1. Atık Isı Geri Kazanımlı Organik Rankine Çevrim Sistemleri

Atık ısı, yanma veya benzeri bir kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan egsoz gazındaki sıcaklıktır. Endüstriyel enerjili yoğun prosesler, içten yanmalı motorlar ve mekanik ekipmanlar yüksek miktarda atık ısı açığa çıkarırlar. Bunun yanında sektörel bazda en fazla enerji tüketen sektörler; metal endüstrisi (demir, çelik, bakır, alüminyum ve cam), çimento ve yapı malzemeleri endüstrisi, yiyecek ve içecek işleme endüstrisi, selüloz ve kâğıt sanayi, petrol ve kimya endüstrisidir.

Atık ısının geri kazanılması için günümüzde bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de atık ısı geri kazanımlı ORÇ sistemleridir. Yanma işlemi sonucunda ortaya çıkan egsoz gazının yeterli sıcaklık ve debide olması sonucunda, egsoz gazındaki enerji, ORÇ sisteminde kullanılan organik akışkana aktarılan sistemlerdir. Egsoz gazlarının ORÇ sistemlerinde kullanılması, boşa giden büyük bir enerji kaynağının değerlendirilmesini sağlarken aynı zamanda bu gazların meydana getirdiği çevresel problemlerinde azaltılmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 3.8. Doğrudan ısı değıştircili atık ısı geri kazanımlı ORÇ sistemi.

Bu iki sistem karşılaştırıldığında doğrudan ısı değıştircili sistemlerde, eşanjör boyutları daha büyük çıkmakta ve maliyet artmaktadır. Ayrıca organik akışkanın yanıcı bir akışkan olması durumunda, yangın tehlikesi ortaya çıkabilmektedir.

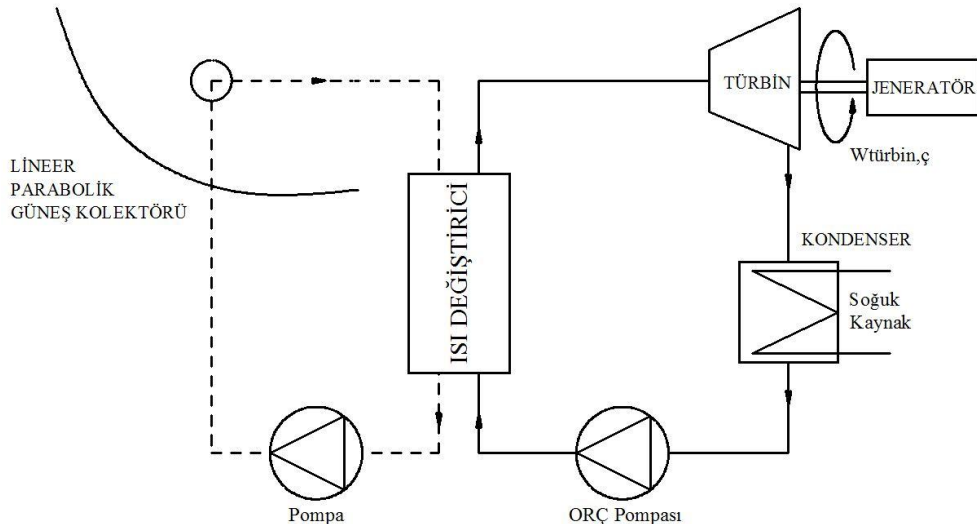
3.2.2. Güneş Enerjisili Organik Rankine Çevrimi

Türkiye'nin her bölgesinde güneş enerjisini verimli olarak kullanmak mümkündür. Türkiye güneş kuşağı adı verilen 36^0 - 42^0 kuzey enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar, özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, 1367 W/m^2 değerindedir ancak yeryüzünde, $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değışim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden daha fazladır [4].

Güneş enerjisinden faydalanılarak yapılan elektrik enerjisi üretiminde iki yol vardır. Birincisi; doğrudan güneş enerjisini fotovoltaik piller ile elektrik enerjisine dönüştürmektir. İkinci yol ise; güneş enerjisi ile su buharı veya sıcak gaz üretmek ve sonra buhar veya sıcak gazı konvansiyonel yoldan buhar veya gaz türbinine sevk ederek, türbine bağlı bulunan jeneratörden elektrik üretmektir.

Güneş enerjili yoğunlaştırılmış solar güç teknolojilerinde, başlıca üç teknoloji bulunmaktadır. Bunlar; parabolik oluk kollektör, parabolik panel ve solar kuledir. Parabolik oluk ve solar kule, yüksek konsantrasyon faktörü ve yüksek sıcaklık için ideal uygulamalardır. Bu sıcaklık ile ORÇ sistemleri kurulup, elektrik üretmek mümkün hale gelmiştir. Kaynak sıcaklık olarak, bir güneş kolektöründen geçen akışkanın ısısını kullanan ORÇ sistemleri, birçok uygulamada kullanılmaktadır. Şekil 3.9'da güneş enerjili bir ORÇ sistemi görülmektedir.



Şekil 3.9. Parabolik Güneş kollektörlü ORÇ sistemi [5].

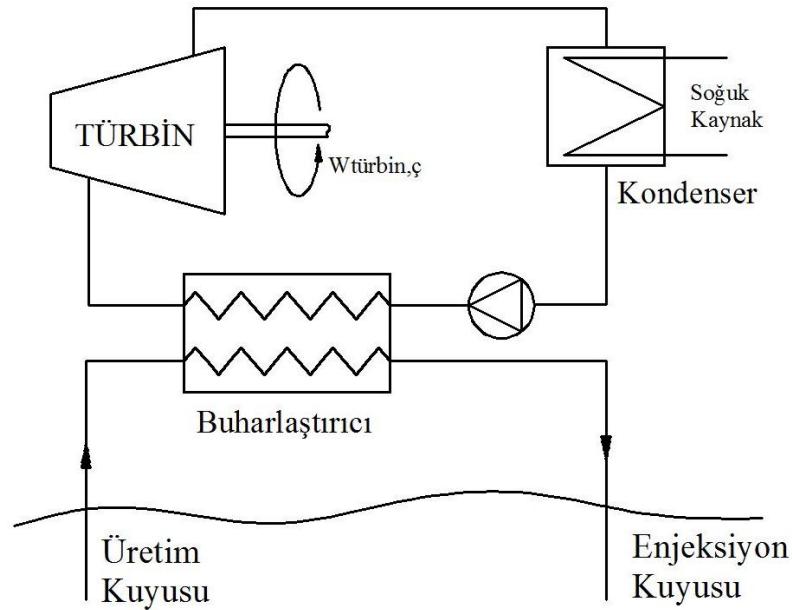
Bu sistemlerde elektrik üretmek, fotovoltaik pillerden daha ucuza mal olmaktadır. Ayrıca kondenser suyu farklı uygulamalarda kullanılabilir. Fakat yeterli güneşin olmadığı zamanlarda, sistem çalışmayacağı için, bu tarz sistemler genellikle başka bir enerji kaynağı ile entegre edilerek (hibrit) çalıştırılmaktadır (biyokütle, fosil yakıtlı kazan, atık ısılar vb.).

3.2.3. Jeotermal Kaynaklı Organik Rankine Çevrimi

Jeotermal (jeo-yer, termal-ısı), yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji de bu jeotermal kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır.

Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir birincil enerji kaynağıdır. İçinde su bulunmayan sıcak kuru kayalarda jeotermal enerji kaynağıdır.

Sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak gündün güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C'e kadar, düşük hazne çıkışlı akışkandan da elektrik üretilebilmektedir. Jeotermal ORÇ sistemlerinde yerin derinliklerinde elde edilen sıcak su veya buhar, iki çevrimler aracılığıyla elektriğe dönüştürülür. Şekil 3.10'da ikili çevrimin basit yapısı görülmektedir.

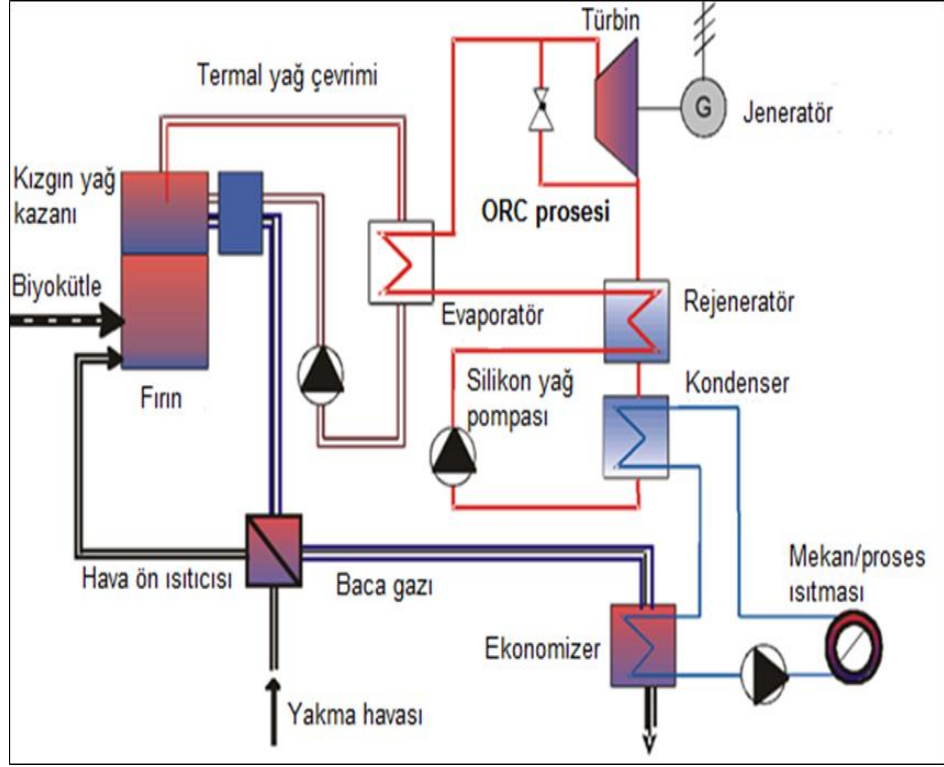


Şekil 3.10. İkili Jeotermal elektrik santrali.

İkili çevrimlerde, üretim kuyusundan gelen jeotermal akışkan, buharlaştırıcı olarak kullanılan ısı değiştiricisine girerek enerjisini, daha düşük sıcaklıklarda buhar fazına geçebilen organik akışkana aktarır. Burada organik akışkanın olduğu çevrim ORÇ çevrimidir. Bu sisteme ikili çevrim denmesinin nedeni sistemin iki akışkandan oluşmasındandır. Jeotermal santrallerde ORÇ sistemi genellikle ikili (binary) çevrim olarak adlandırılır. Bu çevrim özellikle düşük sıcaklıklardaki jeotermal kaynaklardan elektrik elde etmek için etkili yöntemdir.

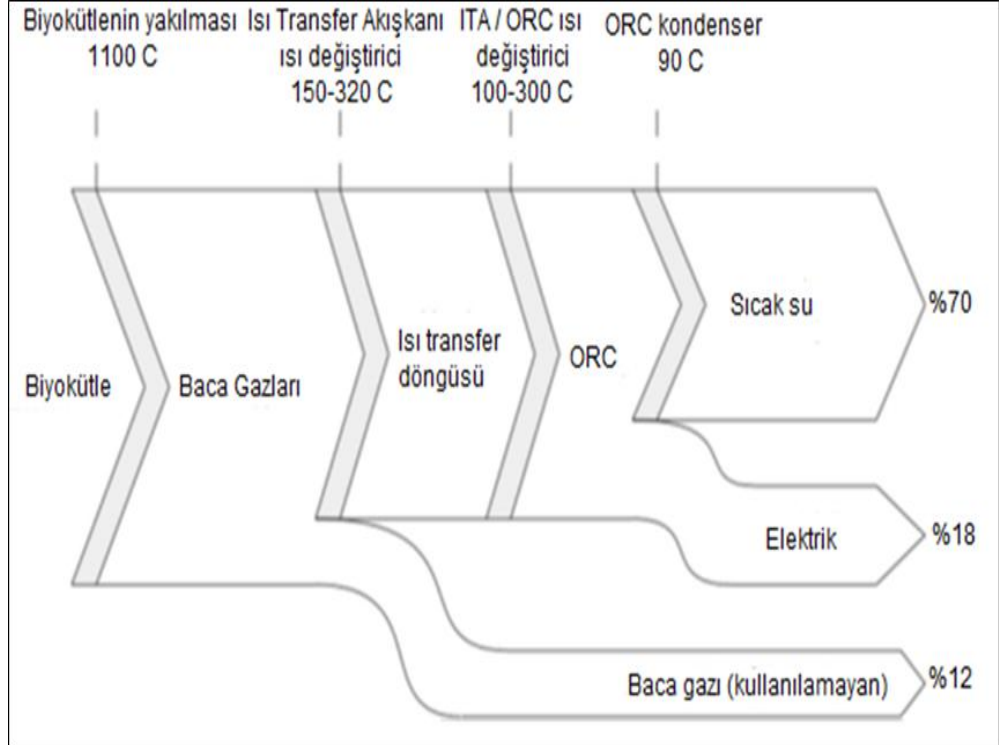
3.2.4. Biyokütle Kaynaklı Organik Rankine Çevrimi

Biyokütle, organik atıkların yanı sıra, bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklardır. Birçok tarımsal veya endüstriyel proseste yaygın biçimde kullanılmaktadır. Biyokütle kaynaklı ORÇ uygulamalarından elde edilen ısı, endüstriyel proseslerde veya mekân ısıtılması amacıyla kullanılabilir [6]. Isının uzak mesafelere taşınmasının zorluğundan ötürü biyokütle birleşik ısı ve güç santralleri çoğu zaman 6-10 MW termal güç (1-2 MW elektriksel güç) ile sınırlıdır. Bu nedenle geleneksel buhar çevrimleri bu güçlerde maliyet etkinliği açısından uygun değildir. Birleşik ısı ve güç üretim sistemlerinin şematik resmi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Birleşik ısı ve güç üretim sistemlerinin şematik resmi.

Yanma sonucu açığa çıkan ısı birbirine seri bağlı iki adet eşanjör ile ısı transfer yağına aktarılmaktadır (ısı transfer yağının sıcaklığı 150-320 °C arasında değişmektedir). Kızgın yağ kazanından çıkan ısı transfer akışkanı ORÇ ünitesi evaporatörüne girerek, organik akışkanın buharlaşmasını sağlamaktadır. Buharlaşan organik akışkan, türbinde genişletildikten sonra reküperatörde sıvı haldeki organik akışkanın ön ısıtılması için kullanılmaktadır. Reküperatörden çıkan buhar fazındaki organik akışkan ~90 °C'de yoğunlaştırılmaktadır. ORÇ ünitesinde kullanılan kondenserden sıcak su elde edilmektedir. Diğer bir ifadeyle kondenserde organik akışkan yoğunlaşırken sıcak su üretilmektedir. Şekil 3.12'de örnek bir birleşik ısı güç ünitesinin enerji akışları verilmiştir.



Şekil 3.12. Örnek bir birleşik ısı güç ünitesinin enerji akışları.

Birleşik ısı güç sistemlerinin elektrik verimleri %18 ile sınırlıyken, sistemin genel verimi (ısı + elektrik) %88'dir. Bu verim değeri birçok dağınık güç üretim santrallerinin veriminden daha yüksektir. Baca gazındaki ısı kayıplarını minimize etmek için duman gazlarının sıcaklığı mümkün olabilecek en düşük sıcaklığa kadar soğutulmalıdır (çiğlenme noktasına kadar düşürülmeden). Duman gazlarının soğutulması için iki farklı ısı transfer döngüsü kullanılabilir; yüksek sıcaklık döngüsü ve düşük sıcaklık döngüsü. Düşük sıcaklık döngüsü, baca hattına yüksek sıcaklık döngüsünden sonra konulmaktadır (döngü çıkışlarında, çıkış sıcaklığının düşürülmesi amacıyla).

Katı biyoyakıtlardan elektrik üretimi için başlıca rakip teknoloji, biyokütle gazlaştırmasıdır. Bu teknolojide biyokütle, H_2 , CO , CO_2 ve CH_4 'den oluşan sentez gazına dönüşmektedir. Bu sentez gazı içerisindeki katı partiküllerin giderilmesi için, gaz temizleme işlemine tabi tutulurlar ve daha sonra içten yanmalı motor veya gaz türbininde yakılmaktadırlar.

ORÇ'nde kullanılan biyokütle kaynaklı ısı ve güç üretim sistemi, teknoloji ve maliyet bakımından gazlaştırma teknolojisiyle karşılaştırıldığında, gazlaştırmanın daha yüksek yatırım (~%75) daha yüksek çalışma ve bakım maliyeti (~%200) olduğu görülebilir. Diğer taraftan gazlaştırma ürünleri daha yüksek güç üretim oranına sahiptir [7]. ORÇ teknolojisi bilinen bir uygulama olmasına rağmen, gazlaştırma teknolojisi henüz gelişme aşamasındadır.

BÖLÜM 4

LİTERATÜR TARAMASI

Al-Sulaiman vd.tarafından iki parça halinde yapılan çalışmanın ilkinde, yakıt hücreli, biyokütleli ve güneş enerjili üç yeni ORÇ entegreli trijenerasyon sisteminin termoeconomik optimizasyonuna ait eşitlikleri ve hesaplamaları vermişlerdir [8]. Termoeconomik model olarak özgül ekserji (SPECO) metodunu, optimizasyon modeli olarak ise Powell's metodunu kullanmışlardır. Bu makaleleri sayesinde bir trijenerasyon sistemine, termoeconomik model ve optimizasyonun nasıl yapılacağını göstermişlerdir. İkinci çalışmalarında ise eşitliklerini gösterdikleri üç yeni sistemin hesaplamalarını yapmışlardır [9]. Sonuç olarak en yüksek trijenerasyon ekserji verimini yakıt hücreli ORÇ sisteminde %38 olarak bulmuşlardır. Ardından %28 ile biyokütle ve % 18 ile güneş enerjili sistemler gelmektedir. Termoeconomik model sonuçları ise aynı yakıt hücreli sistem için 38 \$/GJ, biyokütleli sistem için 26 \$/GJ ve güneş enerjili sistem için 24 \$/GJ olarak hesaplamışlardır. Termoeconomik model sonucunda en yüksek performanslı sistemin düşük ekserji maliyetinden dolayı güneş enerjili trijenerasyon sisteminin sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebini de solar enerjini bedava bir kaynak olması ve hiç bir CO₂ emisyonuna sahip olmamasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Drescher, Bruggeman ve Hung, biyokütle ve termal santrallerde kullanılan ORÇ cihazları için uygun akışkanı bulmaya yönelik bir bilgisayar programı geliştirmişler ve bu sistemler için en uygun akışkanın R123 olduğunu ve bunun sebebini R123 akışkanının düşük sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi, zehirsiz ve çevre dostu olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [10], [11].

Tchance vd. yapmış oldukları çalışmada ORÇ sistemi kullanılarak düşük sıcaklıktaki ısı enerjisinin güce dönüştürülmesini incelemişlerdir [5]. Uygulama alanları olarak güneş, jeotermal, biyokütle, yüzey-deniz suyu ve çeşitli termal proseslerin atık

ısılarından faydalanarak enerji üretilbildiğini ve bu uygulamaların kullanılabilirliği incelemiştir.

Tchance vd. yapmış oldukları başka bir çalışmada, ORÇ sistemleri için uygun akışkan seçimini teorik olarak incelemiştir [12]. Yaklaşık 20 akışkan üzerinde yapmış oldukları karşılaştırmalı hesaplamalar sonucunda küçük ölçekli solar uygulamalarda en uygun akışkanın R134a olduğunu bunun yanı sıra R152a, R600, R600a ve R290 gazlarının da performansının yüksek olduğunu fakat bu gazlar kullanılırken yanıcı olabileceği için ön tedbirlerin alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Eyidoğan vd. yaptığı çalışmada, orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynaklı bir ORÇ sisteminin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır [13]. Gerçek sistem verileri kullanılarak yaptıkları çalışmada, ORÇ ünitesinin kaynak sıcaklığı olarak biyokütle esaslı sıcak yağ kazanı kullanmışlardır. ORÇ sisteminin ana ekipmanları olan evaporatör, kondenser, türbin ve kondanserde iki farklı çalışma koşuluna göre enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, kondanser basıncının enerji ve ekserji verimlerine etkilerini de incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda, birinci çalışma koşuluna göre, enerji verimini %12,57, ekserji verimini ise %33,26, 2. çalışma koşuluna göre ise enerji verimini %13,2, ekserji verimini %35,5 olarak bulmuşlardır. Ekserji yıkımının sistem ekipmanları içindeki dağılımı ise büyükten küçüğe, evaporatör, kondenser, türbin, rejeneratör ve pompa olarak tespit etmişlerdir.

Algieri ve Morrone, küçük ölçekli ORÇ uygulamalarının enerji performansını analiz etmişlerdir [14]. Biyokütle güç üretimi için uygun sistem konfigürasyonunu belirlemek amacıyla parametrik bir enerji analizi gerçekleştirmişlerdir. Türbin girişinde doymuş ve kızgın buhar şartlarından yararlanarak subkritik ve transkritik çevrimleri araştırmışlardır. Ayrıca, çalışma şartlarının etkisi ve sistemdeki rejeneratörün sistem performansına etkisini analiz etmişlerdir. ORÇ'nin küçük ölçekli ve dağınık güç üretimi için çok ilginç bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Türbin girişindeki maksimum sıcaklık ve sistemdeki rejeneratörün güç üretim sistemi performansına etkisinin yüksek olduğu ifade edilmiştir. Yapılan çalışmada 7.500 ton

biyokütle kullanılarak 0,22-0,57 MWel (çalışma şartları ve organik akışkan türüne bağlı olarak) üretileceği belirtilmiştir. Doymuş şartlarda, organik akışkan olarak tolüen kullanılan büyük ölçekli elektrik üretim sistemi verimi %13,7 ve organik akışkan olarak dekan kullanılan ve sistemde rejeneratör bulunan sistemin verimi %19,2'dir. Rejenerasyon bulunmayan ve tolüen kullanılan sistemin elektrik üretim kapasitesi 0,36 MWel ve kojenerasyon verimi %61 iken rejeneratör bulunan ve dekan kullanılan sistemin elektrik üretim kapasitesi 0,51 MWel ve kojenerasyon verimi %65,6'ya ulaşmıştır. Kızgın buhar tekniği ve rejeneratör kullanılan sistemde cyclohexane daha iyi bir performans göstermiştir ($\eta_g = \%19.8$, $\eta_{cog} = \%66.0$ and $P = 0.52$ MWel). Süperkritik şartlar ve sistemde rejeneratör kullanıldığında sistem performansının daha da arttığı ifade edilmiştir ($\eta_g = \%21.7$, $\eta_{cog} = \%67.1$ and $P = 0.57$ MWel).

Stoppato yaptığı çalışmada, Asiago'da (İtalya) yeni kurulan bir tesisin farklı çalışma koşullarındaki enerji ve ekonomik analizini yapmıştır [15]. Tesiste yakıt olarak biyokütle kullanan iki adet kazan bulunmaktadır. Bu kazanlardan biri ısıtma hattına sıcak su sağlamakta, diğeri ise organik rankine çevrimine ısı (kızgın yağ) amacıyla kullanılmaktadır. Tesiste bulunan ORÇ ünitesinin elektrik üretim kapasitesi 1,25 MW ve ısı kapasitesi 5,3 MW olarak belirlenmiştir. ORÇ'ne kızgın yağ giriş sıcaklığı 310 °C ve yağın dönüş sıcaklığı 250 °C'dir. ORÇ'den elde edilen suyun sıcaklığı 80 °C'dir. Tesisin bulunduğu lokasyonun 1 km çevresinde 6500 konutun bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca, tesisin bulunduğu lokasyonun hem yaz hem de kışlık tatil bölgesi olduğu ifade edilmiştir. Tesiste üretilen sıcak sudan 43 kullanıcının yararlandığı ve bu kullanıcıların pik yükünün 2550 kW olduğu belirtilmiştir. Farklı çalışma koşullarında ORÇ'nin elektrik üretim verimi %9,5 ile %15,8 arasında değiştiği beyan edilmiştir. ORÇ ünitesinin toplam verimi ise %31,6 ile %71,8 arasında değiştiği hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5

SİSTEM TANITIMI

Tesis, entegre ağaç sanayi olarak, MDF ve yonga levha üretimi yapmaktadır. Bu tesiste en önemli hammadde kaynağı odundur. Üretimde kullanılmayan ve biyokütle atığı olarak bulunan, ağaç kabuğu, prosesin muhtelif yerlerinde oluşan testere tozu, zımpara tozu, kenar kesme yongaları, elek altı talaşları gibi biyokütle atıklarda, kazanlarda yakılmak üzere depolanmaktadır.

Biyokütle atıklar, toplam kapasitesi 16 Gcal/h olan 3 adet kızgın yağ kazanında yakılarak, proseste ihtiyaç duyulan kızgın yağ, buhar, sıcak su gibi ihtiyaçları karşılamaktadır.

Yakmaya hazır haldeki depolanmış biyokütle atıklar, hareketli yakıt besleme sisteminden bantlı konveyöre aktarılarak, konveyör vasıtası ile kazanın yakıt besleme bunkerine seviyesine kadar taşınır. Her 3 kazanında besleyebilen konveyör, yakıt besleme bunkerinde bulunan, yakıt seviye sensörlerinden aldığı sinyal ile hangi kazanın bunkerine boş ise biyokütle atığı oraya aktarmaktadır. Atıklar buradan, yakıt besleme sisteminin hidrolik pistonlu itici kolları vasıtası ile yakma ocağına aktarılır.

Kızgın yağ kazanının yakma ocağı, hidrolik tahrikle hareketli ve meyilli ızgara şeklindedir. Bu ızgara, yakıt kurutma, yanma ve cüruf dökme olarak 3 bölgeden oluşmaktadır. Her bir bölme ayrı ayrı hidrolik pistonlardan tahrik almaktadır. Yakıt besleme sisteminden gelen biyokütle atıklar, birinci bölmede kurutulmakta ve yanma sıcaklığına getirilmektedir. Kurutulan atıklar ikinci bölmede yakılmakta ve yakılan atık cürufu, üçüncü bölmede soğutulmaktadır. Soğutulan yanma ürünleri, bu üçüncü bölme sonunda cüruf dökme bunkerine ile ocaktan uzaklaştırılmaktadır.

Biyokütle yakıtlı kazanın teknik özellikleri Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1. Biyokütle yakıtlı kazanın teknik özellikleri.

Akışkan yataklı biyokütle kazanı	
Kazan tipi	Dik silindirik
Isıl kapasitesi (kcal/kg)	4.500.000
Termik yağın çıkış sıcaklığı (°C)	300
Termik yağın gidiş-dönüş sıcaklık farkı (°C)	30
Yakıt cinsi	Biyokütle atıkları
Yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg)	2.250
Kazan verimi (%)	78
Izgara tipi	İleri itmeli hareketli meyilli ızgara
Izgara yüzey alanı (m ²)	9,18

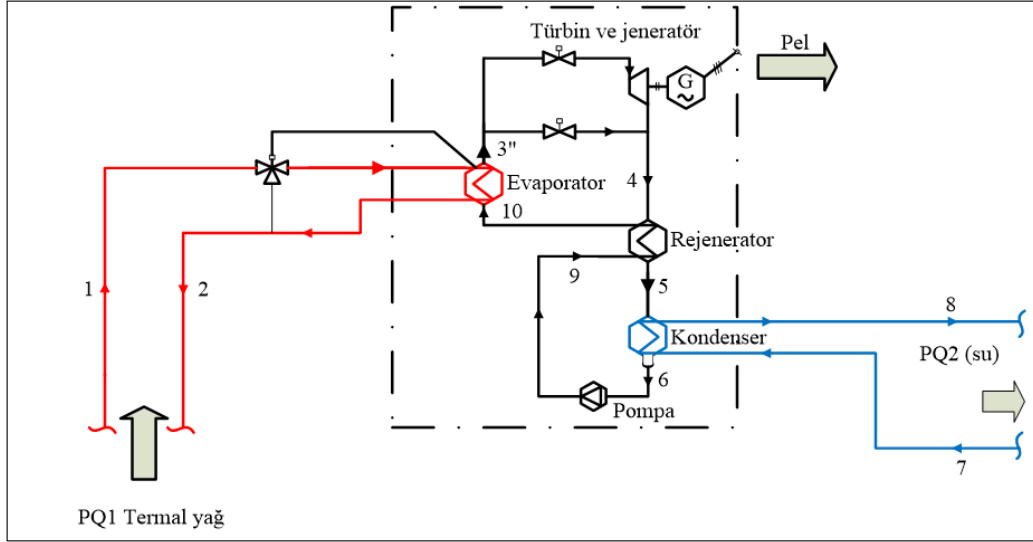
Biyokütle atığın yakılması ile kazanlarda elde edilen kızgın yağ hem proseste çeşitli maksatlarda kullanılmakta hemde elektrik ve sıcak su üretimi için kullanılan ORÇ sistemine ısıl kaynak teşkil etmektedir.

ORÇ ünitesinde kızgın yağ, organik akışkanı ısıtmak ve buhar fazına dönüştürmek amacıyla kullanılmaktadır. Organik akışkan evaporatörde termal yağdan ısı çekerek, sıvı fazdan buhar faza geçmektedir. Buhar fazındaki organik akışkan, jeneratöre kaplinle bağlı halde bulunan türbini tahrik etmektedir. Türbin çıkışındaki düşük basınçlı organik akışkan, rejeneratöre girerek besleme pompasından çıkan sıvı organik akışkanı ısıtmaktadır. Rejeneratörden buhar fazında çıkan organik akışkan kondenserde suya ısını aktararak yoğunlaşmış halde kondenseri terk etmektedir. Kondenserden çıkan sıvı haldeki organik akışkan besleme pompasında basınçlandırılarak önce rejeneratöre arkasından da evaporatöre gönderilmektedir. Böylece organik akışkan kapalı çevrim halinde, sirkülasyonunu devam ettirmektedir. ORÇ ünitesinin teknik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. ORÇ ünitesinin teknik özellikleri.

Parametreler	Değerler
Nominal yükte termal yağın giriş sıcaklığı (°C)	280
Nominal yükte termal yağın çıkış sıcaklığı (°C)	210
Nominal yükte ORÇ ünitesinde termal yağın basınç düşüşü (bar)	1,45
ORÇ ünitesi termal yağ hacmi (lt)	1.410
Nominal yükte soğutma suyu kondenser giriş sıcaklığı (°C)	73
Nominal yükte soğutma suyu kondenser çıkış sıcaklığı (°C)	93
Nominal yükte ORÇ ünitesinde sıcak suyun basınç kaybı (bar)	0,3
ORÇ ünitesi kondenser su hacmi (lt)	960
Su içerisindeki glikol (%)	0
Nominal yükte termal yağ gücü (kW)	6.500
Nominal yükte brüt elektrik üretim gücü (kW)	955
Nominal yükte ORÇ ünitesi elektrik tüketim gücü (kW)	90
Nominal yükte net elektrik üretim gücü (kW)	865
Nominal yükte kondenslerden elde edilen ısı gücü (kW)	5.571
Minimum çalışabileceği yük (%)	10
Nominal yükte ORÇ modülünden kaybolan ısı (kW)	90
1 m mesafedeki gürültü seviyesi [dB(A)]	90
Organik akışkan	Hexamethyldisiloxane
ORÇ ünitesindeki organik akışkan miktarı (kg)	1.900
ORÇ ünitesi toplam ağırlığı (kg)	61.800
ORÇ ünitesi toplam uzunluğu (m)	15,55
ORÇ ünitesi genişliği (m)	6,4
ORÇ ünitesi yüksekliği (m)	+3,3/-3

Kızgın yağ, organik akışkan ve sıcak su hat bağlantılarının şematik resmi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. ORÇ ünitesinin şematik resmi.

Organik rankine çevrim ünitesi;

- Evaporatör (termal yağ / organik akışkan),
- Rejeneratör (organik akışkan-sıvı / organik akışkan-buhar),
- Kondenser (organik akışkan / sıcak su),
- Organik akışkan besleme pompası,
- Alçak gerilim asenkron elektrik jeneratörü,
- Türbin ve ilgili yardımcı ekipmanlar,
- Turbo jeneratör ve ilgili yardımcı ekipmanlar (yağlama sistemi, vakum pompası vb.)
- Transmisyon dişlisinden oluşmaktadır [16].

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METODLAR

6.1. ORÇ TERMODİNAMİK ANALİZ

ORÇ sistemi ile çalışan bu santralde, sistem performansını belirlemek, sistemde verimsiz çalışan ekipmanları tespit edebilmek için termodinamik analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu analizlerin başında enerjinin korunumu (termodinamiğin I. kanunu) gelmektedir. Ayrıca günümüzde gerçek performans değerlerinin belirlenmesinde kullanılan ekserji analizi de (termodinamiğin II. kanunu) ORÇ santraline uygulanmıştır.

6.1.1. Enerji Analizi

Enerji analizi olarak adlandırılan, Termodinamiğin I. kanunu, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji miktarının eşit olması gerektiğini belirtir [17]. Bu kanun enerjinin korunumu olarak adlandırılır. Enerjinin korunumu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\sum E_i = \sum E_o \quad (6.1)$$

Eşitliğin sol tarafı giren toplam enerjiyi, sağ tarafı ise çıkan toplam enerjiyi ifade etmektedir. Giren ve çıkan enerji arasındaki fark, sistemin toplam kayıp enerji miktarını verir. Bu durumda Eş. 6.2 aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\sum E_i - \sum E_o = \sum E_L \quad (6.2)$$

Sistemdeki ekipmanların verimleri ekipmanlara giren ve çıkan enerjilerin oranına eşittir. Bu değerler her bir ekipman için Eş. 6.3 uygulanarak hesaplanır.

$$\eta_I = \frac{E_i}{E_o} \quad (6.3)$$

Sistemin termal verimi hesaplanmak istendiğinde, sistemden elde edilen net gücün, sistem ısı (kızgın yağ) kaynağından elde edilen güce oranıdır ve Eş. 6.4 ile ifade edilir [18–21].

$$\eta_I = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} = \frac{W_{net}}{\dot{m}_{kız.yağ,i} \times h_2 + \dot{m}_{buhar} \times h_1 - \dot{m}_{kız.yağ,o} \times h_3} \quad (6.4)$$

Bu eşitlikte \dot{W} net, türbinde elde edilen güçten, pompa ve kondenser fanlarının gücü çıkarılmasıyla hesaplanır. Bu değer bize enerji ve ekserji verimleri hesaplanırken kullanılacak net gücü gösterir ve Eş. 6.5 ile hesaplanır.

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{Tur} - \dot{W}_{Pompa} - \dot{W}_{Kond.fan} \quad (6.5)$$

6.1.2. Ekserji Analizi

Termodinamiğin I. kanunu enerjinin korunumu ve sistemlerdeki enerji dengesiyle ilgili olup, ısı sistemlerin gerçek enerji performans değerlendirmesi için yeterli değildir [22]. Termodinamiğin II. kanunu enerjinin kalitesini veya iş yapma potansiyelini sayısal olarak ifade edilmesini sağlar. Bu işlemler ise ekserji adı verilen bir özelliğin tanımlanmasını sağlamıştır. Ekserji, enerjinin işe çevrilebilme potansiyeli olarak tanımlanır ve bir kaynaktan elde edilebilecek maksimum işi ifade eder [23].

T sıcaklığındaki ve P basıncındaki bir maddenin özgül entalpisi (h), özgül entropisi (s) olduğunda ve T_0 çevre sıcaklığına indirildiğinde, sahip olduğu özgül ekserjisi ya da kullanılabilirliği [17] Eş. 6.6 ile ifade edilir.

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6.6)$$

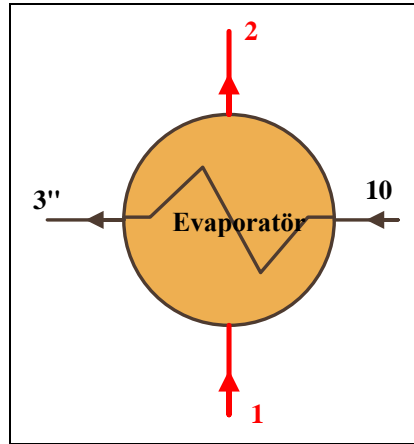
Sistemdeki ekipmanların ekserji verimi hesaplanmak istediğinde enerji analizindeki gibi ekipmanlara giren ekserjilerin çıkan ekserjilere oranıdır. Sistemin ekserji verimini hesaplamak için Eş. 6.7 kullanılır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}x_{giren}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}x_1 + \dot{E}x_2 - \dot{E}x_3} \quad (6.7)$$

6.1.3. Sistem Ekipmanlarına Ait Termodinamik Analizler

Literatürde kullanılan genel eşitlikler verildikten sonra, her bir ekipmanın termodinamik analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda her bir ekipmanın enerji ve ekserji kayıpları belirlenmiştir.

6.1.3.1. Evaporatör Termodinamik Analizi



Enerjinin Korunumu

$$Q = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in}$$

$$\dot{m}_{10} h_{10} + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \quad (6.8)$$

\dot{I}_{ev} : Evaporatör ekserji kaybı

$$\dot{I}_{ev} = (\dot{E}_1 + \dot{E}_{10}) - (\dot{E}_2 + \dot{E}_{3''}) \quad (6.9)$$

$$e_1 = h_1 - h_0 - T_0(S_1 - S_0)$$

$$e_{10} = h_{10} - h_0 - T_0(S_{10} - S_0)$$

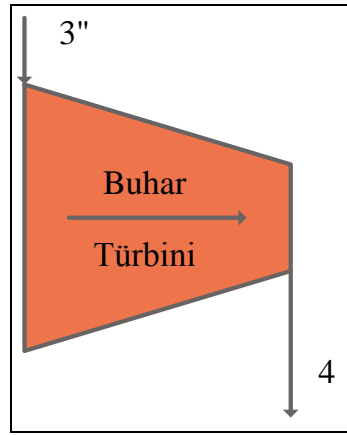
$$e_2 = h_2 - h_0 - T_0(S_2 - S_0)$$

$$e_{3''} = h_{3''} - h_0 - T_0(S_{3''} - S_0)$$

η_{evap} : Evaporatör ekserji verimi

$$\eta_{\text{evap}} = \frac{\dot{E}_{3''} - \dot{E}_{10}}{\dot{E}_1 - \dot{E}_2} \quad (6.10)$$

6.1.3.2. Türbin Termodinamik Analizi



Enerjinin Korunumu

$$\dot{W}_{\text{tur}} = \eta_{\text{tur}} m_{3''} (h_{3''} - h_4) \quad (6.11)$$

\dot{I}_{turb} : Türbin ekserji kaybı

$$\dot{I}_{\text{turb}} = \dot{E}_{3''} - (\dot{E}_4 + \dot{W}_{\text{turb}}) \quad (6.12)$$

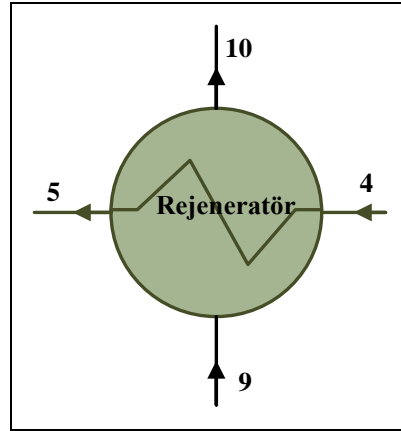
$$e_{3''} = h_{3''} - h_0 - T_0(S_{3''} - S_0)$$

$$e_4 = h_4 - h_0 - T_0(S_4 - S_0)$$

η_{turb} : Türbin ekserji verimi

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{\dot{W}_{\text{turb}}}{\dot{W}_{\text{rev,turb}}} = \frac{\dot{W}_{\text{turb}}}{\dot{E}_{3''} - \dot{E}_4} \quad (6.13)$$

6.1.3.3. Rejeneratör Termodinamik Analizi



Enerjinin Korunumu

$$Q = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in}$$
$$\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{10} h_{10} \quad (6.14)$$

\dot{I}_{rej} : Rejeneratör ekserji kaybı

$$\dot{I}_{rej} = (\dot{E}_4 + \dot{E}_9) - (\dot{E}_5 + \dot{E}_{10}) \quad (6.15)$$

$$e_4 = h_4 - h_0 - T_0(S_4 - S_0)$$

$$e_9 = h_9 - h_0 - T_0(S_9 - S_0)$$

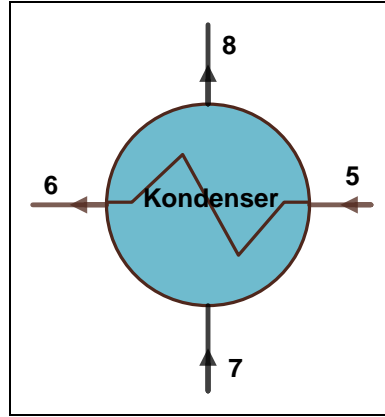
$$e_5 = h_5 - h_0 - T_0(S_5 - S_0)$$

$$e_{10} = h_{10} - h_0 - T_0(S_{10} - S_0)$$

η_{rej} : Rejeneratör ekserji verimi

$$\eta_{rej} = \frac{\dot{E}_{10} - \dot{E}_9}{\dot{E}_4 - \dot{E}_5} \quad (6.16)$$

6.1.3.4. Kondenser Termodinamik Analizi



Enerjinin Korunumu

$$Q = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in}$$
$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_8 h_8 \quad (6.17)$$

\dot{I}_{Kon} : Kondenser ekserji kaybı

$$\dot{I}_{Kon} = (\dot{E}_7 + \dot{E}_5) - (\dot{E}_6 + \dot{E}_8) \quad (6.18)$$

$$e_5 = h_5 - h_0 - T_0(S_5 - S_0)$$

$$e_6 = h_6 - h_0 - T_0(S_6 - S_0)$$

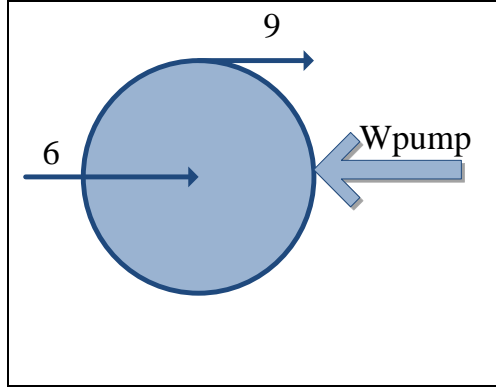
$$e_7 = h_7 - h_0 - T_0(S_7 - S_0)$$

$$e_8 = h_8 - h_0 - T_0(S_8 - S_0)$$

η_{Kon} : Kondenser ekserji verimi

$$\eta_{Kon} = \frac{\dot{E}_8 - \dot{E}_7}{\dot{E}_5 - \dot{E}_6} \quad (6.19)$$

6.1.3.5. Pompa Termodinamik Analizi



Enerjinin Korunumu

$$\dot{W}_{\text{pomp}} = \sum m_{\text{out}} h_{\text{out}} - \sum m_{\text{in}} h_{\text{in}}$$

$$\dot{W}_{\text{pomp}} = V_6 (P_9 - P_6) = \frac{m_6 \times (h_9 - h_6)}{\eta_{\text{pomp}}} \quad (6.20)$$

\dot{I}_{pomp} : Pompa ekserji kaybı

$$\dot{I}_{\text{pomp}} = \dot{W}_{\text{pomp}} - \dot{W}_{\text{rev,pomp}} \quad (6.21)$$

η_{pomp} : Pompa ekserji verimi

$$\eta_{\text{pomp}} = \frac{\dot{W}_{\text{rev,pomp}}}{\dot{W}_{\text{pomp}}} = \frac{\dot{E}_6 - \dot{E}_9}{\dot{W}_{\text{pomp}}} \quad (6.22)$$

$$e_6 = h_6 - h_0 - T_0 (S_6 - S_0)$$

$$e_9 = h_9 - h_0 - T_0 (S_9 - S_0)$$

ORÇ ünitesine kızgın yağdan 6746 kW ısı aktarılmakta ve brüt 977,21 kWe güç üretilmektedir. ORÇ'nin net elektrik üretimi 891,76 kW ve elektrik üretim verimi %13,22'dir. Sistemdeki her bir ünitenin noktasal enerji ve ekserji eşitlikleri yazılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, her bir noktaya ait (Şekil 6.1'e göre) sıcaklık ve basınç değerlerine göre elde edilen entalpi ve entropi değerleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu değerler Çizelge 6.1'de detaylı olarak verilmiştir. Sistemin enerji ve ekserji analizinde Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. ORÇ ekipmanlarının her bir noktasına ait organik akışkan, termal yağ ve suyun özellikleri.

Nokta	Ekipman	Akışkan	Faz	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)	m (kg/s)	Ex (MW)
0	Normal Şartlar	Su	Referans hal	25,00	1,0	104,89	0,3674	-	-
0'	Normal Şartlar	HMDSO	Referans hal	25,00	1,0	-150,54	-0,4494	-	-
0''	Normal Şartlar	Termal yağ	Referans hal	25,00	1,0	61,88	0,7200	-	-
1	Buharlaştırıcı-Giriş	Termal yağ	Sıvı	281,60	2,6	586,00	1,0334	47,88	20,62
2	Buharlaştırıcı-Çıkış	Termal yağ	Sıvı	221,30	2,6	440,74	0,9972	47,88	14,183
3	Buhr.Çık.-Türb.Gir.	HMDSO	Kızgın buhar	219,40	12,8	375,56	0,8362	27,93	3,988
4	Türb.Çık.-Rejn.Gir.	HMDSO	Kızgın buhar	178,90	1,6	335,51	0,8406	27,93	2,833
5	Rejn.Çık.-Kon.Gir.	HMDSO	Kızgın buhar	122,10	1,6	229,08	0,5892	27,93	1,954
6	Kon.Çık.-Pomp.Gir.	HMDSO	Sıkıştırılmış sıvı	115,40	1,6	32,22	0,0844	27,93	0,659
7	Kondenser Giriş	Su	Sıkıştırılmış sıvı	74,90	3,1	313,74	1,0155	120,33	1,879
8	Kondenser Çıkış	Su	Sıkıştırılmış sıvı	85,60	3,1	358,42	1,1413	120,33	2,743
9	Pom.Çık.-Rejn.Gir.	HMDSO	Sıkıştırılmış sıvı	116,03	12,8	34,09	0,0848	27,93	0,708
10	Rejn.Çık.-Buhr.Gir.	HMDSO	Sıkıştırılmış sıvı	161,20	12,8	134,02	0,3276	27,93	1,477
11	Şaft Gücü	-	-	-	-	-	-	-	0,977
12	Pompa Gücü	-	-	-	-	-	-	-	0,085
13	Net Çıkış Gücü	-	-	-	-	-	-	-	0,891

Sistemin enerji ve ekserji analizi Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Enerji ve ekserji performansları.

Energy		Exergy	
Qr (ev, kW)	6.746,00	η_{evap} (%)	39,0
Qr (con, kW)	5.498,08	η_{con} (%)	66,7
W (tur, kW)	977,21	η_{tur} (%)	84,6
W (pump, kW)	85,45	η_{reg} (%)	87,5
W (rev, pump, kW)	52,12	$\eta_{\text{exc, cyc}}$ (%)	35,5
Qw (con, kW)	5.376,46	-	-
η (pump, %)	61,00	-	-
η (cycle, %)	13,22	-	-

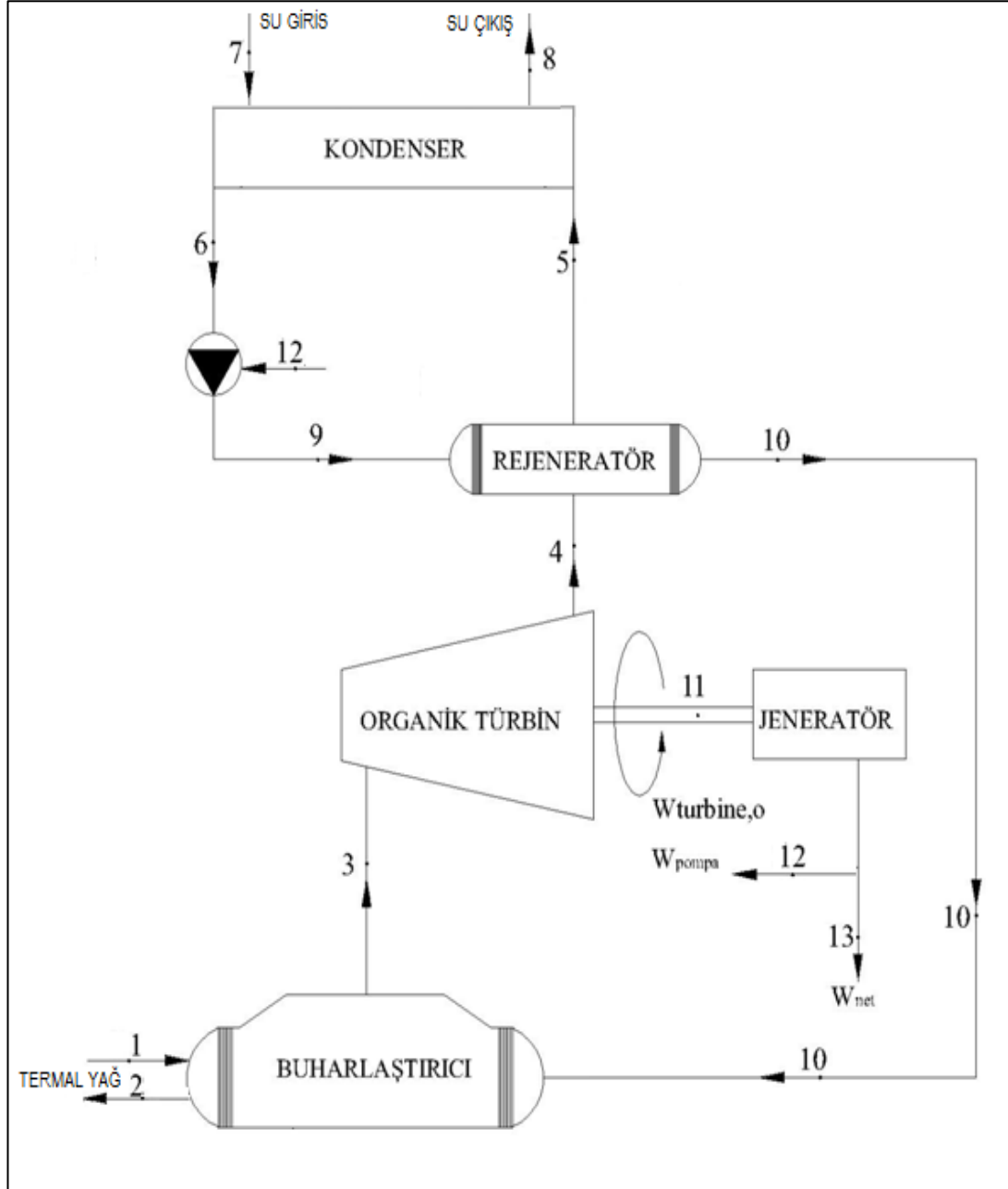
6.2. ORÇ TERMOEKONOMİK ANALİZ

Termoekonomik analiz, ısı sistemlerinin termodinamik ve ekonomik açıdan analiz edilmesidir. Termoekonomik analiz yardımıyla, sistemlerin daha verimli ve ucuz tasarlanmaları, bu analizlerden çıkacak sonuçlara göre, sistemlerin verimliliği için yapılması gereken temel değişikliklerin tespit edilmesi, sistemlerin maliyetlerinin ve sistemden elde edilecek ürünlerin fiyatlarının daha sağlıklı belirlenebilmesi mümkün olmaktadır.

Termal sistemlerde hangi tür enerjinin kullanılacağını belirlemek önemli bir unsurdur ve sistem maliyetine doğrudan etki eder. Ekserji bu durumda sistemin tersinmezliklerini ve kayıplarını belirten, daha gerçekçi bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü ekserji, enerjinin kalitesini ve potansiyelini esas alır [24]. Bu bilgilere göre termoekonomik analizin, aslında ekserji analizi ile ekonomik analizin birleşmesi sonucu ortaya çıkan bir analiz yöntemi olduğu görülmektedir. Termoekonomi terimi yerine, ekserji analizi ile ekonominin birleşimi olan, ekserjiekonomi teriminde kullanılmaktadır.

Termoekonomik analizde sistemi oluşturan bütün ekipmanların ekserji analizi yapılır. Ardından her bir ekipman için maliyet denklemleri oluşturularak, bu ekipmanlara ait ekserji maliyetleri hesaplanır.

Termoekonomik analiz yapılırken öncelikle sistem tanımlaması ve bazı kabuller yapılır. Bu sistemde; sistemin ömrü $n=20$ yıl, hurda değeri $\mu=\%12$, bakım maliyet faktörü $\emptyset_k=1,06$, sistemin yıllık çalışma süresi $\tau=8400$ saat ve bileşik faiz oranı $i=\%10$ olarak belirlenmiştir. Sistemin termoekonomik analiz için hazırlanmış akış şeması Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Termoekonomik analiz için akış şeması.

6.2.1. Sistem Ekipmanlarının Yatırım Maliyet Hesabı

Sistem ekipmanlarının, yatırım maliyet hesaplamaları yapılırken, sistem tanımlanmasında kabul edilen ve belirlenen bilgilerden yararlanılarak, termoekonomik analizde kullanılacak olan ve ekserji değerlerine sahip olmayan parametrelerin maliyet akımları hesaplanır.

6.2.1.1. Paranın Zaman Değeri

Sistem kurulurken harcanan paranın satın alma gücü, belirli zaman aralıklarına göre değişim göstermektedir. Bu yüzden paranın, zaman içerisindeki değerinin hesaplanması gerekmektedir. Günümüzde PW değerinde olan para, n zaman içerisinde, belirlenen bileşik faiz oranına (i) göre bir hesap yapılırsa, FW değerine ulaşacaktır. Sistemler tasarlanırken, sistem ömrü boyunca harcanacak paranın, şimdiki değerinin (PW) bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu PW değeri, belirli bileşik faiz oranları ile FW değerine ulaşacak para miktarıdır. Paranın şimdiki değeri ve değer faktörü sırasıyla Eş. 6.23 ve Eş. 6.24 ile hesaplanır;

$$PW = FW \frac{1}{(1+i)^n} \quad (6.23)$$

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (6.24)$$

6.2.1.2. Yıllık Ödemeler

Bir sistem, çalışma ömrü boyunca yıllık bir takım harcamalar yapar. Bu harcamalar çalışan ücretleri, sigorta, yakıt vb. giderlerdir. Maliyet analizinde bu değerlerinde göz önüne alınması gerekir ve bu değerler Eş. 6.25 ile hesaplanır.

$$AC = FW \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (6.25)$$

6.2.1.3. Ana Para Geri Kazanım Faktörü

Sistem için yapılan ilk yatırımın geri kazanım faktörü, Eş. 6.26 ile hesaplanır.

$$CRF = \frac{i \times (1+i)}{(1+i)^n - 1} \quad (6.26)$$

6.2.1.4. Sistemin Hurda Değeri

Kurulan sistemin, ömrü sonunda elde edilecek mali değer Eş. 6.27 ile hesaplanır.

$$SV = TCI \times \mu \quad (6.27)$$

Burada TCI sistemin ilk yatırım maliyeti, μ ise, hurda değeri yüzdesini ifade etmektedir.

6.2.1.5. Sistemin Geri Ödeme Süresi

Yatırım yapılan bu sistemin, yapılan yatırımı ne kadar süre içerisinde karşılayacağı ve yatırımcıya kar sağlayacağı, Eş. 6.28 ile hesaplanır [25].

$$GÖS = \frac{TCI}{YG} \quad (6.28)$$

Buradaki YG sistemin yıllık getiri miktarıdır. Sistemin, yıllık ortalama elektrik üretim miktarı 7.811.818 kWh (891,76x24x365) dir. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin EPDK tarafından alış fiyatı 15,44 Krş/kWh [26], hesaplamalar yapıldığı zamanda doların TL değeri 2,5 [27] olduğuna göre, YG değeri,

$$YG = \frac{7.811.818 \times 0,1544}{2,5} = 482.458\$ \text{ olarak hesaplanır.} \quad (6.29)$$

Böylece geri ödeme süresi,

$$GÖS = \frac{TCI}{YG} = \frac{1.564.200}{482.458} = 3,24 \text{ yıl olarak bulunur.} \quad (6.30)$$

Bu ORÇ ünitesi yaklaşık 3,24 yıl içerisinde kendini amorti edip, bu süreden sonra kar etmeye başlayacaktır. Sistem ömrünün 20 yıl olduğu düşünülürse, bu ünite ortalama, kalan 16,8 yıl boyunca kar sağlayacaktır.

6.2.1.6. Ekonomik Değerlerin Hesabı

Bir sisteme ait şimdiki zaman değeri,

$$PW = TCI - SV \times PWF \quad (6.31)$$

Sistemin yıllık yatırım maliyeti ödemeleri;

$$AC = PW \times CRF \quad (6.32)$$

Sistemin saatlik ilk yatırım maliyeti;

$$\dot{Z}_{sistem}^T = \phi_k \frac{AC}{\tau} \quad (6.33)$$

Ekipmanların saatlik ilk yatırım maliyeti;

$$\dot{Z}_k^T = \dot{Z}_{Sistem}^T \frac{PEC_k}{TCI} \quad (6.34)$$

Sistem ekipmanlarının giydirilmiş alış fiyatı;

$$PEC_k^* = PEC_k \times \frac{\sum PEC}{TIC} \quad (6.35)$$

Bu eşitlikte TIC değeri toplam maliyet ile yapısal maliyetler arasındaki farka eşittir ve Eş. 6.36 ile ifade edilmektedir.

$$TIC = TCI - SC \quad (6.36)$$

Son olarak, ekipmanların saatlik seviyelendirilmiş ilk yatırım maliyeti, Eş. 6.37 ile hesaplanır.

$$\dot{Z}_k^{*,T} = \dot{Z}_{Sistem}^T \frac{PEC_k^*}{\sum PEC^*} \quad (6.37)$$

Bu eşitliklere göre, sistemi oluşturan ekipmanların alış fiyatları (PEC), bu ekipmanların saatlik ilk yatırım maliyet akımları (Z_k^T), ekipmanların işçilik, nakliye vb. etkenlere göre seviyelendirilmiş alış fiyatı (PEC^*) ve bu seviyelendirilen fiyata göre belirlenen saatlik seviyelendirilmiş ilk yatırım maliyet akımları Eş. 6.28-6.37 kullanılarak hesaplanmış ve bu sonuçlar Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

Bu çizelgede bulunan değerler, SPECO metodunda hesaplanacak olan maliyet denge denklemlerinde kullanılacaktır.

Çizelge 6.3. ORÇ ekipmanlarının normal ve seviyelendirilmiş alış fiyatları ve bu fiyatları göre toplam maliyet akımları.

Ekipman	Ekipman		Seviyelendirilmiş	
	Fiyatı (PEC) (\$)	Z_k^T (\$/h)	Ekipman Fiyatı (PEC*) (\$)	Z_k^{*T} (\$/h)
ORÇ Pompa	54.950	349,5	67.423,31	414,15
ORÇ Türbin	397.500	2.528,2	487.730,06	2.995,92
Buharlaştırıcı	60.500	384,8	74.233,13	455,98
Su Soğutmalı Kondenser	430.950	2.740,95	528.773,01	3.248,03
Jeneratör	300.350	1.910,3	368.527,61	2.263,71
Rejeneratör	75.750	481,79	92.944,79	570,92
Toplam Sistem	1.320.000	8.395,53	1.619.631,9	9.948,71
Yapısal Maliyetler	244.200	-	-	-

Her bir ekipman için transfer edilen ısı (q), üretilen güç (w) ve seviyelendirilmiş ekipman ilk yatırım maliyetine göre ($Z_k^{*,T}$), termoekonomik balans denklemi Eş. 6.38 ile hesaplanır [10].

$$\sum_e (\dot{C}_{e,k}) + \dot{C}_{w,k} = \sum_e (\dot{C}_{i,k}) + \dot{Z}_k^{*,T} \quad (6.38)$$

Eşitlik 6.38'de ki \dot{C} değeri her bir ekipman için Eş. 6.39 kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{C} = C_E x \dot{E}x \quad (6.39)$$

Burada, C_E her bir ekipmanın ekserji maliyeti (\$/Gj), \dot{C} ekserji akımlarını(\$/h), $\dot{E}x$ ise bileşenlerin ekserji değerlerini(kW) göstermektedir.

6.2.2. SPECO Metodu

Termoekonomik analize dair literatürde bir çok yöntem vardır. Bu tez çalışmasında özgül ekserji maliyetlendirme yöntemi olarak bilinen, SPECO metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde, bir ekipman için yakıt ve ürün tanımları ve uygun maliyetlendirme

denklemleri arasında doğrudan bir bağlantı kurulması ile hesaplanır. SPECO metodu genellikle 3 adım ile tanımladır [10] [28].

- Ekserji akımlarının tanımlanması
- Yakıt ve ürün tanımlamalarının belirlenmesi
- Maliyet denklemlerinin oluşturulması

Hesaplanan ekserji akımlarından sonra, ikinci aşama olarak yakıt (F) ve ürün (P) tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Yakıt (F) prensibi, herhangi bir sistem alt bileşenine giren akışı, o bileşenin “yakıtı” olarak tanımlar ve bu akışın maliyetini bir önceki akışların ortalama ekserji maliyetlerine eşit olarak ifade eder. Diğer taraftan ürün (P) prensibi, herhangi bir sistem bileşeninin “ürün” akışını, sisteme giren yakıt akışının maliyetine eşit kabul eder [29]. Son aşama olarak belirlenen yakıt ve ürün tanımlamalarına göre her bir ekipmana ait maliyet denge denklemleri ve yardımcı denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemler Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ekipmanların, ekserjiye bağlı maliyet denge denklemleri, yardımcı denklemler ve yakıt-ürün tanımlamaları.

Ekipman	Ekserjiye Bağlı Maliyet Denge Denklemleri	Yardımcı Denklemler	Kural
Buharlaştırıcı	$\dot{C}_1 + \dot{C}_{10} + Z_B = \dot{C}_2 + \dot{C}_3$	$\dot{C}_1=0, \dot{C}_2=0$	F
Jeneratör	$\dot{C}_{11} + Z_J = \dot{C}_{12} + \dot{C}_{13}$	$\frac{\dot{C}_{12}}{\dot{E}x_{12}} = \frac{\dot{C}_{13}}{\dot{E}x_{13}}$	P
Rejeneratör	$\dot{C}_4 + \dot{C}_9 + Z_R = \dot{C}_5 + \dot{C}_{10}$	$\frac{\dot{C}_4}{\dot{E}x_4} = \frac{\dot{C}_5}{\dot{E}x_5}$	F
Su Soğutmalı Kondenser	$\dot{C}_5 + \dot{C}_7 + Z_K = \dot{C}_6 + \dot{C}_8$	$\frac{\dot{C}_5}{\dot{E}x_5} = \frac{\dot{C}_6}{\dot{E}x_6} = \frac{\dot{C}_7}{\dot{E}x_7}$	F
ORÇ Türbin	$\dot{C}_3 + Z_T = \dot{C}_4 + \dot{C}_{11}$	$\frac{\dot{C}_3}{\dot{E}x_3} = \frac{\dot{C}_4}{\dot{E}x_4}$	F
ORÇ Pompa	$\dot{C}_6 + \dot{C}_{12} + Z_P = \dot{C}_9$	Yardımcı Denklem Yok	-

6.2.2.1. Maliyet Denge Denklemlerinin Çözümü

Jeneratör:

Çizelge 6.4'de görüldüğü üzere jeneratör için ürün (P) kuralı yazılmıştır. Jeneratörde elde edilen güç 12 noktasında pompa için kullanılmaktadır. 13 noktasında ise şebekeye gönderilen net iş elde edilmiştir. Bu iki nokta için elektriğin birim maliyeti birbirine eşit olacaktır. Bu kurala göre maliyet denge denklemi çözümleri hesaplanırsa,

$$C_E = \frac{\dot{C}_{12}}{\dot{E}x_{12}} = \frac{\dot{C}_{13}}{\dot{E}x_{13}}, \quad \text{P-kuralı} \quad (6.40)$$

Bu eşitliğe göre,

$$\dot{C}_{12} = \dot{E}x_{12} \times C_E, \quad \dot{C}_{13} = \dot{E}x_{13} \times C_E \quad (6.41)$$

Denklem grubu ortaya çıkar, hesaplanan ekserji değerleri (GJ/h), Çizelge 6.4'de yer alan jeneratör denklemi yerine konulduğu zaman, jeneratör için son denklem aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\dot{C}_{11} = 977,21 \times C_E - 2.263,71 \quad (6.42)$$

Organik Türbin:

Çizelge 6.4'e bakıldığı zaman, organik türbin için yakıt (F) kuralı yazılmıştır. Burada 3 noktasından türbine giren organik akışkan, 4 noktasından çıkıp mekanik işe dönüşmüştür. Yani 3 ve 4 noktaları türbinin yakıtıdır. Bu kurala göre, Eş. 6.43 elde edilmiştir.

$$C_E = \frac{\dot{C}_3}{\dot{E}x_3} = \frac{\dot{C}_4}{\dot{E}x_4} \quad \text{F-Kuralı} \quad (6.43)$$

Bu eşitlikten faydalanarak, $\dot{C}_3 = \dot{E}x_3xC_E$, $\dot{C}_4 = \dot{E}x_4xC_E$ eşitlikleri elde edilir. Elde edilen bu eşitlikler Çizelge 6.4'de bulunan, Organik türbin maliyet denge denkleminde yerine konulursa, aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\dot{C}_3 = 3.810,21xC_E - 5.259,63 \quad (6.44)$$

$$\dot{C}_4 = 3.010,72xC_E + 5.259,63 \quad (6.45)$$

Buharlaştırıcı:

Buharlaştırıcı için Çizelge 6.4'de görüldüğü üzere, yakıt (F) kuralı yazılmıştır. Bu kurala göre $\dot{C}_1=0$, $\dot{C}_2=0$, olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumun sebebi 1 ve 2 noktasında termal yağ kaynağı için her hangi bir maliyetin olmamasıdır. Proseste kullanılan termal yağ, giriş ve çıkış noktalarında hiç bir maliyet gerektiren bir akım oluşturmamaktadır. Bu bilgiler buharlaştırıcı için maliyet denge denkleminde uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\dot{C}_{10} = 3.810,21xC_E - 5.715,61 \quad (6.46)$$

Pompa:

Çizelge 6.4'e göre, pompa için her hangi bir kural geçerli değildir. Bu yüzden, bu ekipman için herhangi bir yardımcı denklem bulunmamaktadır. Giriş çıkış noktalarına göre pompa için denklem, oluşturulan maliyet denge denkleminde uygulandığında, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\dot{C}_9 = 745,31xC_E + 414,15 \quad (6.47)$$

Kondenser:

Çizelge 6.4'de kondenser için oluşturulan denklemlere bakıldığı zaman, kondenser için de yakıt kuralının geçerli olduğu görülmektedir. Soğutma maksatlı kullanılan su, aynı zamanda mekân ısıtması için kullanıldığından, maliyet gerektiren bir akım oluşturduğu kabul edilerek hesaba katılmıştır. Yakıt kuralına göre,

$$C_E = \frac{\dot{C}_5}{\dot{E}x_5} = \frac{\dot{C}_6}{\dot{E}x_6} = \frac{\dot{C}_7}{\dot{E}x_7} \text{ ifadesi geçerlidir.} \quad (6.48)$$

Böylece kondenser için oluşturulan maliyet denge denkleminde, aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\dot{C}_6 = 1.090,25xC_E + 3.248,03 \quad (6.49)$$

$$\dot{C}_8 = 3.173,69xC_E + 3.248,03 \quad (6.50)$$

Rejeneratör:

Çizelge 6.4'de rejeneratör için de F kuralının geçerli olduğu görülmektedir. Rejeneratör, organik akışkanda ısı geri kazanımı sağlamak için kullanılmıştır. 4 ve 5 noktalarındaki yüksek sıcaklıktaki akışkan, ısısını 9 ve 10 noktasından geçen akışkana aktarır. Bu durumda 4 ve 5 noktası, bu ekipmanın yakıtı olarak kabul edilir. Bu kurala göre aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$C_E = \frac{\dot{C}_4}{\dot{E}x_4} = \frac{\dot{C}_5}{\dot{E}x_5} \quad (6.51)$$

Bu eşitliğe göre, rejeneratör için oluşturulan maliyet denge denkleminde aşağıdaki eşitlikler elde edilmiş olur.

$$\dot{C}_5 = 2.278,72xC_E + 5.673,78 \quad (6.52)$$

$$\dot{C}_{10} = 1.801,85xC_E + 5.673,78 \quad (6.53)$$

ORÇ sistemine ait maliyet denklemleri, rejeneratör için yazılan denklem sonucunda çözülmüştür. Oluşturulan denklemlerde bilinmeyenler adım adım yerine konulduğu zaman, son olarak buharlaştırıcıda elde edilen \dot{C}_{10} değeri, rejeneratör için elde edilen denklemde (6.53) yerine konulduğunda, elektriğin birim ekserji maliyeti $C_E = 5,671$ \$/GJ olarak bulunur.

Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen C_E değeri, her bir nokta için elde edilen denklemde yerine konularak, her bir noktanın birim ekserji maliyeti hesaplanır. Hesaplanan bu değerler, Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Ekipman noktalarına ait ekserji, ekserji maliyet akımları ve ortalama birim ekserji maliyet değerleri.

Nokta	Materyal	Ekipman	Ekserji	Ekserji Maliyet	Birim Ekserji
			\dot{E}_x (GJ/h)	Akımı \dot{C} (\$/h)	Maliyeti C_E (\$/GJ)
1	Termal Yağ	Buharlaştırıcı Giriş	74,232	0	0
2	Termal Yağ	Buharlaştırıcı Çıkış	51,059	0	0
3	ORÇ Akışkan	Buh. Çıkış-Tür. Giriş	14,356	16.348,1	1,138
4	ORÇ Akışkan	Tür. Çıkış-Rej. Giriş	10,199	22.333,4	2,189
5	ORÇ Akışkan	Rej. Çıkış-Kon. Giriş	7,035	18.596,4	2,643
6	ORÇ Akışkan	Kon. Çıkış-Pom. Giriş	2,375	9430,84	3,971
7	Su	Kondenser Giriş	6,766	10657,9	1,575
8	Su	Kondenser Çıkış	9,876	21.246,03	2,151
9	ORÇ Akışkan	Pom. Çıkış-Rej. Giriş	2,548	4.640,8	1,821
10	ORÇ Akışkan	Rej. Çıkış-Buh. Giriş	5,318	15.892,1	2,988
11	Elektrik	Şaft Gücü	3,518	3.278,05	0,932
12	Elektrik	ORÇ Pompa Gücü	0,307	484,58	1,578
13	Elektrik	Net Çıkış Gücü	3,210	5057,17	1,575

BÖLÜM 7

SONUÇ

Hazırlanan bu tezde, biyokütle enerji ve Organik Rankine Çevrim sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş, biyokütle atığı yakarak kızgın yağ üreten kazanların çalışma sisteminden bahsedilmiştir. Daha sonra biyokütle kaynaklı Organik Rankine Çevrimli sistemin termodinamik ve termoeconomik analizleri yapılmıştır. Üretilen kızgın yağın, ORÇ sistemine ısı kaynak teşkil etmesinin yanında hem sıcak su hemde mekan ısıtması olarak kullanıldığından bahsedilmiştir.

Tesiste, elektrik üretimi için kullanılan biyokütle kaynaklı Organik Rankine Çevriminin termodinamik ve termoeconomik analizleri, herbir ekipman için ayrı ayrı yapılmıştır. Termodinamik analizde en yüksek enerji ve ekserji değerinin buharlaştırıcıya, en düşük enerji ve ekserji değerinin ise pompaya ait olduğu görülmüştür. 891,76 kW net elektrik üretimine göre sistem geri ödeme süresi 3,24 yıl olarak hesaplanmıştır. Termoeconomik analiz, SPECO metoduna göre yapılarak elektriğin birim ekserji maliyeti 5,671 \$/GJ olarak bulunmuş, bu değere göre sistemdeki herbir noktanın birim ekserji maliyet akımı hesaplanmıştır. Bu hesaba göre Organik Rankine Çevrim sistemindeki birim ekserji maliyeti en yüksek ekipman olarak 3,971 \$/GJ ile kondenser olarak tespit edilmiştir.

Bu sonuca göre, güç üretim sistemlerinde, sadece termodinamik analizin yapılması hem sistemin yapım aşamasında, hemde sistem iyileştirmelerinde yetersiz kaldığı görülmüş, termoeconomik analizlerin yapılması ile en ideal maliyette sistem dizaynlarının ve iyileştirmelerinin yapılabileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Mühendislik, M. Y., “Yenilenebilir Enerji ve Biyokütle Yakıtlar,” *Marmore Yeşil Mühendislik*, <http://www.marmore.com.tr/marmore-hakkinda> (2015).
2. İnternet: Dincer, I. ve Zamfirescu, S., “Thermodynamic Analysis Of A Novel Ammonia-Water Trilateral Rankine Cycle”, <http://www.marmore.com.tr/kutuphane-yenilenebilir-enerji-ve-biyokutle>, 477, no. 7-15, (2008).
3. Tchanche, B., Papadakis, G. L. ve Frangoudakis, G., “Criteria for working fluids selection in low-temperature solar Organic Rankine Cycles”, *Eurosun 2008*, 27-10 (2008).
4. Kılıç, A., “Direk güneş ışınımı tayini için yeni bir metot”, Doktora Tezi, 95s, (1982).
5. Tchanche, B. F., Lambrinos, G., Frangoudakis, A. ve Papadakis, G., “Low-grade heat conversion into power using Organic Rankine Cycles - A review of various applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 215: 3963-3979, (2011).
6. Chinesen, D., Meneghetti, A. ve Nardin, G., “Diffused introduction of Organic Rankine Cycle for biomass-based power generation in an industrial district a systems analysis”, *International Journal of Energy Research*, 228 (11): 1003-1021, (2004).
7. Rentizelas, A., Karellas, S., Kakaras, E. ve Tatsiopoulos, I., “Comparative techno-economic analysis of Organik Rankine Cycles and gasification for bioenergy applications”, *Energy Conversion and Management*, 250 (3): 674-681, (2009).
8. Al-Sulaiman, F. A., Hamdullahpur, F. ve Dinçer, İ., “Thermoeconomic optimization of three trigeneration systems using Organic Rankine Cycles: Part I- Formulations”, *Energy Conversion and Management*, 269: 199-208, (2013).
9. Al-Sulaiman, F. A., Dinçer, İ. ve Hamdullahpur, F., “Thermoeconomic optimization of three trigeneration systems using Organic Rankine Cycles: Part II- Applications”, *Energy Conversion and Management*, 269: 209-216, (2013).
10. Drescher, U. ve Bruggemann, D., “Fluid selection for the Organic Rankine Cycle in biomass power oand heat plants”, *Applied Thermal Engineering*, 227 (1): 223-228, (2007).

11. Hung, T. C., “Waste heat recovery of Organic Rankine Cycle using dry fluids”, *Energy Conversion and Management*, 242 (5): 539-553, (2001).
12. Tchanche, B. F., Papadakis, G., Lambrinos, G. ve Frangoudakis, A., “Fluid selection for a low-temperature solar Organic Rankine Cycle”, *Applied Thermal Engineering*, 229: 2468-2476, (2009).
13. Eyidoğan, M., Kılıç, C. K., Kaya, D. ve Özkaymak, M., “Energy and exergy analysis of an Organic Rankine Cycle in a biomass based integrated forestry plant”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 264 (5): 84-99, (2014).
14. Algieri, A. ve Morrone, P., “Comparative energetic analysis of high-temperature subcritical and transcritical Organic Rankine Cycle. a biomass application in the sibari district”, *Applied Thermal Engineering*, 236 (4): 236-244, (2012).
15. Stoppato, A., “Energetic and economic investigation of the operation management of an Organic Rankine Cycle cogeneration plant”, *Energy*, 241 (1): 3-9 (2012).
16. Eyidoğan, M., “Organik Rankine Çevrimli güç üretim sisteminin enerji ve ekserji analizi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2014).
17. Şahin, H. M., Acır, A., Baysal E. ve Koçyiğit, E., “Evaluation of energy efficiency in Kayseri sugar plant by method of energy and exergy analyses”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 222 (1): 111-119, (2007).
18. Kaşka, Ö., “Energy and exergy analysis of an Organic Rankine for power generation from waste heat recovery in steel industry”, *Energy Conversion and Management*, 277: 108-117, (2014).
19. Liu, Q., Duan, Y. ve Yang, Z., “Performance analyses of geothermal selected hydrocarbon working fluids”, *Energy*, 263: 123-132, (2013).
20. El-Emam, R. S. ve Dinçer, I., “Exergy and exergoeconomic analyses and optimization of geothermal Organic Rankine Cycle”, *Applied Thermal Engineering*, 259: 435-444, (2013).
21. Kanoğlu, M. ve Bolattürk, A., “Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy”, *Renewable Energy*, 233: 2366-2374, (2008).
22. Özgener, L. ve Hepbaşlı, A., “HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları”, *Mmo VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 215-18, (2003).

23. Demirciođlu, A., “Theoretical investigation of performances of R22 and R407c and R410a which are substitutes for R22 in a heat pump”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
24. Çamdalı, Ü. ve Tunç, M., “Enerji sistemlerinde termoeconomik yaklaşım ve uygulamalar”, 28-3: 49-56, (2004).
25. Yılmazoğlu, Z. Ve Durmaz, A., “Fabrikalarda enerji ekonomisi için absorpsiyonlu sistemlerin ve parabolik oluk tip güneş kollektörlerinin kullanılması”, **Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü**, Ankara, 2393-401, (2006).
26. İnternet: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu, “Enerji Piyasası Denetleme Kurumu Elektrik Alış Tarifeleri”. <http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrikpiyasasi/tarifeler?id=95> (2014)
27. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, “Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Döviz Kurları”. <http://www.tcmb.gov.tr/kurlar/201405/09052014.htm> (2014)
28. Uysal, C., “Thermoeconomic analysis of a power plant”, 235-40, (2012).
29. Abuşoğlu, A., Demir, S. ve Kanoğlu, M., “Biyogaz beslemeli gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin termoeconomik analizi”, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 233 (2): 9-21, (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut PELİT, 1976 yılında Mersin-Silifke'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Silifke'de tamamladı. Silifke Endüstri Meslek Lisesi Motor bölümünden 1993'te mezun oldu. Ön lisans eğitimini 1997 yılında, Konya Selçuk Üniversitesi Seydişehir M.Y.O Motor bölümünde, lisan eğitimini ise 2003 yılında, Konya Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliğinde tamamladı. 2004 yılında İstanbul'da başladığı iş hayatına, 1 yıl otomasyon, 5 yıl mekanik tesisat sektöründe değişik firmalarda mühendis olarak çalışarak devam etti. 2010 yılında Kocaeli Büyükşehir Belediyesine teknik personel olarak başladı. Halen Toplu Taşıma Dairesi Başkanlığında çalışmaya devam eden Mahmut PELİT evli ve 2 çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Toplu Taşıma Dairesi Başkanlığı,
Otobüs İşletmesi Şube Müdürlüğü, Plajyolu Garaj Amirliği

Tel : 0 533 9248316

E-posta : mahmutpelit@kocaeli.bel.tr, mahmut33pelit@yahoo.com