

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARABOLİK KOLLEKTÖRLÜ ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİNİN ISPARTA
ŞARTLARINDA İNCELENMESİ

Ahmet ÖZDEMİR

Danışman
Doç. Dr. Reşat SELBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2012

© 2012 [Ahmet ÖZDEMİR]

TEZ ONAYI

Ahmet ÖZDEMİR tarafından hazırlanan " **Parabolik güneş kolektörlü Organik Rankine Çevriminin Isparta için incelenmesi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Reşat SELBAŞ**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç.Dr. Arif Emre ÖZGÜR**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç.Dr. İbrahim ÜÇGÜL**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Ahmet ŞAHİNER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ahmet ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	2
1.1.1. Güneş açıları.....	3
1.1.2. Güneş ışınımları	6
1.2. Isparta’da Güneş Enerjisi ve Uygulama Potansiyeli	10
1.3. Parabolik Kolektörler ve Hesaplamaları	11
1.3.1 Yoğunlatırcı kolektörlerin yüzey özellikleri	14
1.4. Organik Rankine Çevrimi Teknolojisi	17
1.4.1. Organik Rankine çevriminde kullanılan akışkanın özellikleri	22
2.KAYNAK ÖZETLERİ	25
3. MATERYAL VE METOT	32
3.1. Sistemde Kullanılan Makine Ve Ekipmanlar	32
3.1.1. Parabolik güneş kolektörü	32
3.1.2. Redüktör grubu	33
3.1.3. Isı transfer yağı deposu	33
3.1.4. El tipi sıcaklık ölçüm cihazı	34
3.1.5. Türbin.....	35
3.1.6. Güneş radyasyon ölçer	35
3.1.7. Kondenser	36
3.2. Deney Setinin Genel Görünümü.....	36
3.3. Ekserji ve Enerji Analizi	37
3.4. Parabolik Kolektörlü Organik Rankine Çevriminin Enerji Ve Ekserji Analizi	42
4.ARAŞTIRMA BULGULAR.....	47
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	61

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PARABOLİK KOLLEKTÖRLÜ ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİNİN ISPARTA ŞARTLARINDA İNCELENMESİ İNCELENMESİ

Ahmet ÖZDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Reşat SELBAŞ

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte, insanoğlunun enerjiye ihtiyacı da hızla artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacımızın oldukça büyük bir kısmı fosil yakıtlardan (kömür, petrol, v.b.) karşılanmaktadır. Bugün bazı bilim adamları tarafından fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenebileceği de tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra, fosil yakıtların çevreye vermiş oldukları çevreyle ilgili zararlar da göz önüne alındığında, bu kaynakların üzerinde fazlaca düşünülmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmaya başlamıştır.

Isıdan elektrik üretiminde kullanılan geleneksel teknoloji buhar türbinidir ancak uygun işletim için yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmektedir. Düşük sıcaklıklarda (<150°C) tercih edilen teknoloji Organik Rankin Çevrimidir (ORÇ). Su ve yüksek basınçlı buhar yerine, organik akışkan kullanıldığı için böyle adlandırılmaktadır. ORC teknolojisinde sudan daha düşük sıcaklıkta kaynayan, yüksek moleküler ağırlıklı sıvılar kullanılmaktadır. Bu özellik, ekonomik enerji üretimi için geleneksel olarak çok düşük kabul edilen ısı kaynaklarından ısı elde eden Rankin Çevrimine imkan tanımaktadır.

ORÇ ' de sıcak kaynaklar genellikle sıcak sıvı veya gaz halindedir. Bu tip kaynaklardan gelen ısı, atık ısı kaynağı veya diğer sınırlandırmaların özelliklerine bağlı olarak, bir aracı araç vasıtasıyla doğrudan veya dolaylı olarak ORC çalışma sıvısına aktarılır. Sıvı haldeki atık ısı kaynakları genellikle ORC ünitesiyle doğrudan birleştirilir. Gaz haldeki ısı kaynakları ise dolaylı yoldan birleştirilir.

Parabolik kolektörlü güç santrallerinde bir akışkanın güneş ışınımı ile ısıtarak buharlaştırılması ve buharın bir turbo-jeneratör çevrimi yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmesi kuralına dayanır.

Bu sistemlerde, silindirik doğrusal odaklı kolektörler kullanılmaktadır. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve

boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kollektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir.

Bu çalışmanın amacı düşük ısı kaynakları kullanılarak enerji üretilmesidir. Aynı zamanda da bu ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılması sebebi ise sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Parabolik kolektör, Organik Rankine Çevrimi, Güneş enerjisi, Enerji.

2013, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ANALYSIS OF ORGANIC RANKINE CYCLE WITH SOLAR PANEL IN TERMS OF ISPARTA

Ahmet ÖZDEMİR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

With rapidly developing technology, the need to energy of humanity has rapidly been increasing. Today, most of our energy needs are met from fossil fuels (coal, oil, etc.). But nowadays, some scientists estimate that the fossil energy resources will run out in the near future. In addition, considering the environmental damages which some fossil fuels caused, the necessity of thinking seriously over these resources has emerged. As a result, there has been an ongoing demand for renewable energy sources.

The conventional technology used to generate electricity from heat is steam turbine, but it requires high temperature and pressure for proper use. The preferred technology at low temperatures (<150) is the Organic Rankine Cycle (ORC). It is called so on account of the usage of organic fluid instead of water and high-pressure steam. In ORC technology, high molecular weighted liquids, boiling at a lower temperature than water, are used. This feature enables the Rankine Cycle generating heat from heat sources considered to be conventionally too low for economic energy production

In ORC, hot sources generally exist in hot liquid or gas form. Depending on the characteristics of waste heat source or other limitations, the heat coming from this type of sources is directly or indirectly transferred to the ORC working fluid through an intermediary device. Waste heat sources in liquid form are directly combined to ORC unit in general. But gaseous heat sources are indirectly combined to ORC unit.

Parabolic collector power plants are based on the rule to evaporate a fluid by the way of heating it with solar radiation and to obtain electric energy from the steam with the help of a turbo-generator cycle.

In these systems, cylindrical linear focused collectors are used. Reflective surfaces on the inside of the collector focus the solar energy into a black absorbent pipe which is located in the center of the collector and extends from end to end. Collectors are generally placed on a single-axis monitoring system that follows the

movement of the sun from east to west. To collect the energy, a liquid is circulated in the absorbent pipe. The collected heat is sent to the power plant for electricity generation.

The purpose of this study is to generate electric by using low heat sources. At the same time, solar energy is used as the heat source for the reason that it is a sustainable energy source.

Keywords: Parabolic collector, Organic Rankine Cycle, Solar energy,energy.

2013, 62 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez alışmam boyunca beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Do. Dr. Reşat SELBAŞ' a teőekkr bir bor bilirim.

alışmalarıma katkıda bulunan Doç. Dr. Arif Emre ÖZGÜR, ğretim Görevlisi Fatih YILMAZ, Teknik ğretmen Cemal TOSUN' a teşekkür ve Őukranlarımı sunarım.

3077-YL-2012 numaralı 'PARABOLİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLÜ ORGANİK RANKİNE ÇEVRİMİNİN ISPARTA İÇİN İNCELENMESİ' adlı proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve desteklerini esirgemeyen eşim Sibel ve kızım Azra Beril'e, anneme, babama ve kardeşime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet ÖZDEMİR

ISPARTA, 2013

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. 1. Güneş açıları.....	3
Şekil 1. 2. Atmosfer dışına gelen güneş ısınımı Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına bir anda gelen ısınımı.	6
Şekil 1. 3. Eğik düzleme gelen anlık ışınlmaları.	10
Şekil 1.4. Isparta güneş enerjisi haritası.	10
Şekil 1. 5. Isparta'nın aylara göre ortalama ışınlm değerleri.	11
Şekil 1. 6. Silindir yutucu yoğunlaştırıcı kollektör	13
Şekil 3.1. Parabolik kollektör	32
Şekil 3.2. Redüktör grubu.....	33
Şekil 3.3. Yağ deposu.....	33
Şekil 3.4. El tipi sıcaklık ölçüm cihazı.....	34
Şekil 3.5. Türbin.....	35
Şekil 3.6. Güneş ışınlm radyasyon ölçme cihazı.....	35
Şekil 3.7. Kondenser (Yoğuşturucu).	36
Şekil 3.8. Deney setinin genel görünümü	36
Şekil 3.9. Sistemin tesisat şeması.....	42
Şekil 3.10. Yoğunlaştırma oranına bağlı olarak ekserji veriminin değişimi.....	44
Şekil 4.1. Pompa giriş basıncı göre pompanın çektiği güç	47
Şekil 4.2. Pompa çıkış basıncına göre pompanın çektiği güç	47
Şekil 4.3 Kazan sıcaklığına göre kazanın gücü	48
Şekil 4.4. Türbin giriş sıcaklığına göre türbinin gücü	49
Şekil 4.5. Akışkan debisine bağlı türbin gücü	49
Şekil 4.6. Kondenser basıncına göre kondenserin ısıl gücü.....	50
Şekil 4.7. Kazan sıcaklığına göre sistemin ısıl verimi	50
Şekil 4.8 Kazan sıcaklığı ve kazan basıncına göre sistemin ısıl verim değişimi.....	51
Şekil 4.9. Kazan basıncına göre sistemin ısıl verimi.....	51
Şekil 4.10. Türbin giriş basıncına göre türbinin tersinmezlik değişimi.....	52
Şekil 4.11. Türbin giriş basıncına göre sistemin toplam ekserji değişimi.....	52
Şekil 4.12. Kazan sıcaklığına göre sistemin toplam tersinmezliği	53
Şekil 4. 13. kazan basıncına göre sistemin toplam tersinmezliği	53
Şekil 4.14. Kazan basıncına göre sistemin toplam ekserji değişim	54
Şekil 4. 15. Kazan basıncına göre sistemin ekserji verimi	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Güneş kolektörleri türleri ve özellikleri (Kartal, 1984).....	13
Çizelge 1.2. Yansıtıcı yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri..	14
Çizelge 1.3. Yutucu yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri.	16
Çizelge 1.4. Seçici yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri.....	16
Çizelge 1.5. Sisteminde kullanılan soğutucu gazların fiziksel özellikleri	23
Çizelge 3.1. Temmuz ve ağustos ayları için Isparta şartlarında parabolik güneş kolektörü sistemine gelen güneş radyasyon miktarına bağlı olarak kazan çıkış sıcaklık değişimi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- Aa: Açıklık alanı
ag: Güneş azimut açısı (°)
Ar: Alıcı alanı
ay: Yüzey azimut açısı (°)
C: Yoğunlaştırıcı oranı
d: Çap
d: Deklinasyon açısı
e: Enlem açısı (°)
E: Zaman düzeltmesi
E_{g,r}: Ekserji oranı
g : Güneş geliş açısı (°)
Gp= Yansıtıcı yüzey alt noktası ile yutucu boru arasındaki boşluk
H : Güneş gün batış açısı (yatay düzlem için)
h: Entalpi
h: Saat açısı
H_g: Güneş gün batış açısı (egik düzlem için)
I: Anlık tüm güneş ısınımı (W/m²)
I:Tersinmezlik
I_d: Yatay düzleme gelen direkt güneş ısınımı (W/m²)
I_e : Yatay düzleme bir anda gelen anlık toplam ısınım (W/m²)
I_{ed}: Eğik düzleme gelen direkt güneş ısınımı (W/m²)
I_{ey}: Yatay düzleme bir anda gelen anlık yayılı ısınım (W/m²)
I_{gs}: Güneş sabiti (1353 W/m²)
I_k: Kollektör tersinmezliği
I_n: Anlık direkt güneş ısınımı (W/m²)
I_o: Atmosfer dışında bulunan bir yatay düzlemin birim alanına gelen anlık ısınım (W/m²)
I_{od}: Atmosfer dışında ısınımın dik geldiği bir yüzeydeki değeri (W/m²)
I_s: Alternatif ısıtma sisteminin ilk yatırım giderleri
I_y: Aylık ortalama anlık yayılı ısınım (W/m²)
I_{ya}: Yatay düzleme bir anda gelen anlık yansıyan ısınım (W/m²)
ke: Kinetik enerji
Kt: Berraklık indeksi
I_{kol}: Kollektörün uzunluğu
m_ç: Birim zamanda çıkan toplam kütle miktarı
m_g: Birim zamanda giren toplam kütle miktarı
n: Gün sayısı
P: Boşluk kayıp faktörü
p_e: Potansiyel enerji
Q: Günlük tüm güneş ısınımı (W)
Q: Toplam enerji
q_ç: Çıkan enerji
Q_ç: Çıkan toplam enerji
q_g: Giren enerji
Q_g: Giren toplam enerji

Q_o : Atmosfer dışındaki yatay düzlemin birim alanına gelen günlük toplam ısınım (W)
 Q_y : Aylık ortalama günlük toplam yayılı ısınım (W)
Rd: Direkt güneş ısınımı eğim faktörü
Rt: Anlık tüm güneş ısınımının günlük tüm güneş ısınımına oranı
Ry: Aylık ortalama anlık yayılı ısınımın aylık ortalama günlük toplam yayılı ısınımına oranı
s: Eğim açısı (°)
S_{üretim}: Entropi üretimi
t: Güneşlenme süresi
T₀: Çevre sıcaklığı
t_g: Gün uzunluğu (saat)
t_o: Aylık ortalama gün uzunluğu (saat)
W: Net iş
w_ç: Çıkan iş
w_g: Giren iş
W_{tr}: Tersinir iş
w_{türbin,ç}: Türbin işi
X_m: Parabolün karakteristik uzunluğu
Y.O: Yoğunlaştırıcı oranı
y: Güneş yükseklik açısı (°)
z : Zenit açısı (°)
Z_g: Günlük çalışma süresi (saat)
 η_o : Optik verim
 η : Verim
 η_p : Petela verimliliği
 η_{th} : Isıl verim

1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte, insanoğlunun enerjiye ihtiyacı da hızla artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan (kömür, petrol, v.b.) karşılanmaktadır. Bugün bazı bilim adamları tarafından fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenebileceği de tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra, fosil yakıtların çevreye vermiş oldukları zararlar da göz önüne alındığında, bu kaynakların üzerinde fazlaca düşünülmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmaya başlamıştır.

Isıdan elektrik üretiminde kullanılan geleneksel teknoloji buhar türbinidir ancak uygun işletim için yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmektedir. Düşük sıcaklıklarda (<150°C) tercih edilen teknoloji Organik Rankine Çevrimidir. Su ve yüksek basınçlı buhar yerine, organik akışkan kullanıldığı için böyle adlandırılmaktadır. ORÇ teknolojisinde sudan daha düşük sıcaklıkta kaynayan, yüksek moleküler ağırlıklı bir akışkanlar kullanılmaktadır. Bu özellik, ekonomik enerji üretimi için geleneksel olarak çok düşük kabul edilen ısı kaynaklarından ısı elde eden Rankine Çevrimine imkân tanımaktadır.

ORÇ ' de sıcak kaynaklar genellikle sıcak sıvı veya gaz halindedir. Bu tip kaynaklardan gelen ısı, atık ısı kaynağı veya diğer sınırlandırmaların özelliklerine bağlı olarak, bir aracı araç vasıtasıyla doğrudan veya dolaylı olarak ORÇ çalışma akışkanına aktarılır. Sıvı haldeki atık ısı kaynakları genellikle ORÇ ünitesiyle doğrudan birleştirilir. Gaz haldeki ısı kaynakları ise dolaylı yoldan birleştirilir.

Parabolik kolektörlü klasik güç santrallerinde bir akışkanın güneş ışınımı ile ısıtılarak buharlaştırılması ve buharın bir turbo-jeneratör çevrimi yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmesi kuralına dayanır.

Bu sistemlerde, silindirik doğrusal odaklı kolektörler kullanılmaktadır. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kolektörler genellikle,

güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir.

Bu çalışmanın amacı düşük sıcaklıktaki ısı kaynakları kullanılarak enerji üretilmesidir. Aynı zamanda da bu ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılması sebebi ise sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmasıdır.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş ısı ve ışık yayan yüksek sıcaklıktaki bir gaz kütesidir. Dünyadan 150 milyon km uzaklıkta olmasına rağmen güneşin yaydığı ısılar yeryüzüne 8 dakikada ulaşmaktadır. Güneş yüzeyindeki sıcaklık 5740 °C olup saniyedeki radyasyonu 1490 cal' dir. Güneşin yapısında % 81,76 oranında H ve % 18,17 oranında He atomları mevcuttur. 4 H atomu kimyasal reaksiyonla 1 He atomuna dönüşür ve açığa çıkan kütle farkından dolayı büyük bir enerji meydana gelir. Saniyede 564 milyon ton H atomu He atomuna dönüşür . Güneş kütle içten dışa doğru nükleer, radyasyon ve konveksiyon zon gibi bölümlere ayrılır. Nükleer zon çekirdektedir. Burada X ışınları ortaya çıkar. Sıcaklık 16 milyon °C ve basınç 200 milyar atmosfer değerindedir. Konveksiyon zonu 150.000 °C' dir. Bu zonda gaz molekülleri aşağı yukarı hareket ederler. Güneşteki zonlardan ikincisi ışık küredir. Işık küre güneşi çevreleyen saydam ve parlak bir gaz tabakasıdır. Bu zonda çeşitli büyüklüklerde lekeler meydana gelir. Bu oluşan lekeler çok büyük manyetik alanlar meydana getirir ve konveksiyon hareketleri 10 milyon amper olabilmektedir (ANONYMOUS, 2004).

Güneşin üçüncü zonu renk küredir. Ay gölgesi etrafında kırmızı halka gibi görülür. Kalınlığı 10.000-16.000 km arasında değişir. Kromosfer, hidrojen ve nadir gazlardan oluşur. Renk kürede akkor gazların oluşturduğu fışkırmalar meydana gelir ve bu fışkırmalar 925.000 km yüksekliğe kadar olabilir (ANONYMOUS, 2004).

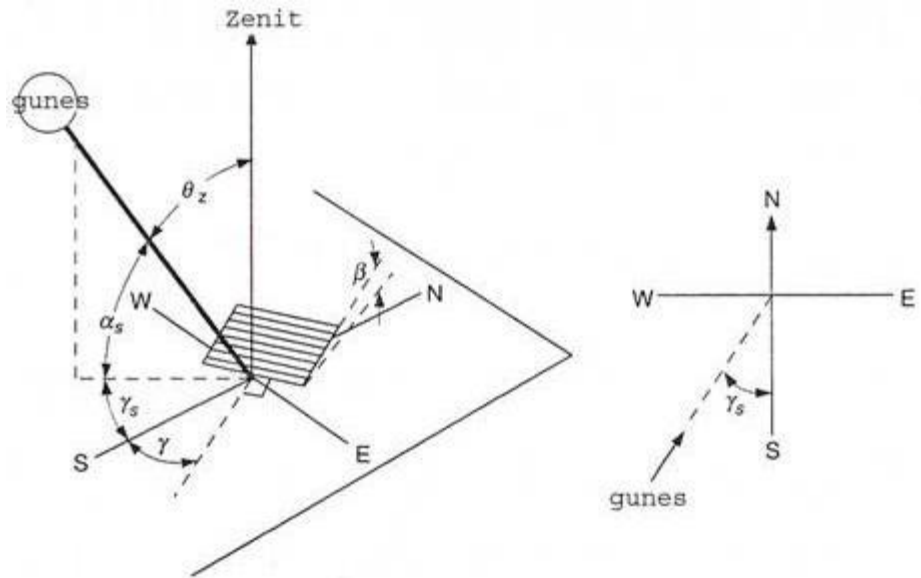
Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş ısınımı şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi 3517×10^{12} kJ olarak hesaplanmıştır. Yani

Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP (ton eşdeğer petrol) tir. Bu enerji 1115×10^8 kJ' a karşılık gelmektedir (ANONYMOUS, 2004).

Türkiye'ye düşen toplam güneş gücü kurulu elektrik santralleri gücünün 5300 katından fazladır. Bu açıdan güneş enerjisinden faydalanan sistemlerin geliştirilmesine önem vermek gerekmektedir.

1.1.1. Güneş açıları

Dünyanın güneş etrafında ve kendi eksenini etrafında olmak üzere iki değişik hareketi olduğu bilinmektedir. Bu hareketler güneş enerjisi uygulamalarında çok önemlidir. Ayrıca yerin güneş etrafındaki yörünge düzleminin normali ile kendi dönüş eksenini arasında 23.45° lik bir açı vardır ve bu açı da yeryüzünde aynı noktaya gelen güneş ışınlarının doğrultusunun değişmesine sebep olur ve böylelikle mevsimler oluşur. Güneşin konumu yükseklik açısı ile azimut açıları ile belirlenir.



Şekil 1. 1. Güneş açıları

Yeryüzünde enlemi ϕ olan bir N noktasına düşen direkt güneş ışınımının doğrultusu deklinasyon açısı δ ve saat açısı h ile tayin edilebilir.

a. Deklinasyon Açısı (d):

Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Dünya-güneş doğrultusu ekvator düzleminin kuzey tarafında ise deklinasyon açısı pozitif kabul edilir. Buna göre, deklinasyon açısı -23.45° (21 Aralıkta kış gündönümünde) ile 23.45° (21 Haziranda yaz gün dönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Martta) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylülde) deklinasyon açısı sıfır olur. Deklinasyon açısı, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere; ampirik Cooper formülü ile bulunabilir. Deklinasyon açısı aynı gün için yıldan yıla değişmektedir.

$$d = 23,45 \times \left[\frac{360}{365} \times (284 + n) \right] \quad (1.1)$$

b. Saat Açısı (h):

Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır. Saat açısı güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile çakıştığı "güneş öğlesinden itibaren ölçülür; güneş öğlesinden önce pozitif, sonra negatif alınır. Ayrıca, bilindiği gibi, her 15° saat açısı (boylam farkı) 1 saat zamana karşılık gelir. Genellikle güneş ısınımı ölçmeleri ve hesapları güneş zamanına göre yapılır (BECKMAN, vd. 1997). Güneş öğlesinde güneş saati (GS) 12 'dir. Buna göre saat açısı (h) ile güneş saati arasında;

$$h(drc) = 15 \times (12 - GS) \quad (1.2)$$

c. Enlem Açısı (e):

Ekvator düzlemi ile göz önünde bulundurulmuş nokta arasındaki açıdır. Kuzey yarımkürede (+) ve güney yarımkürede (-) olarak kabul edilir.

d. Zenit Açısı (z):

Direkt güneş ısınımı ile yatay düzlem normalinin arasında kalan açıdır. Zenit açısı güneş doğuş ve batısında 90° iken, ışınların dik geldiği durumda 0° dir. Hava kütlesi (m): Direkt güneş ısınımının atmosferi geçerken aldığı yolun, güneşin zenit noktasında bulunduğu konumda izlediği yola oranıdır. Bu oran deniz seviyesinde $m=1$, $z=60^\circ$ olduğunda $m=2$ 'dir. Deniz seviyesinde hava kütlesi: $m=[\text{Cos}(z)]^{-1}$ dir.

e. Güneş Yükseklik Açısı (y):

Yatay düzlemle direkt güneş ısınımı arasında kalan açıdır (BECKMAN vd.).

$$y + z = \frac{\pi}{2} \quad (1.3)$$

$$\text{Sin}(y) = \text{Cos}(z) \quad (1.4)$$

f. Güneş Azimut Açısı (ay)

Güneş – Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki iz düşümünün Kuzey – Güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilir. Yardımcı güneş açıları, esas güneş açıları ile trigonometrik olarak ifade edilebilir.

$$\text{Sin}(y) = \text{Cos}(z) = \text{Cos}(d) \times \text{Cos}(e) \times \text{Cos}(h) + \text{Sin}(d) \times \text{Sin}(e) \times \text{Sin}(y) \quad (1.5)$$

$$\text{Sin}(a_g) = \text{Cos}(d) \times \text{Sin}(h) \quad (1.6)$$

Eğim Açısı (s): Eğik düzlemin yatayla yaptığı açıdır.

Yüzey Azimut Açısı (ay): Yüzey normalinin izdüşümünün K-G doğrultusu ile yaptığı açıdır.

Güneş Geliş Açısı (g): Eğik düzlemin normali ile güneş ışınları arasında kalan açıdır. (Direkt ışıının geliş açısı) (BECKMAN, vd. 1997).

1.1.2. Güneş ışıınımları

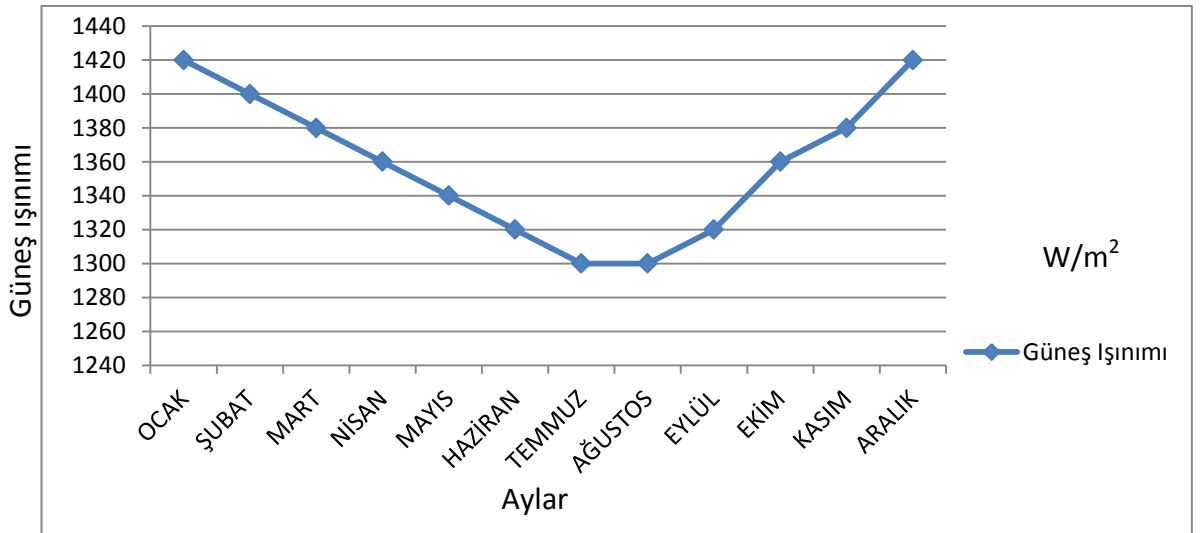
1.1.2.1. Atmosfer dışına gelen güneş ışıınımları

Güneş ışıınımları hesaplamaları yapılırken atmosfer dışına gelen ışıınımlarında bilinmesi önemli bir fayda sağlar. Dünya – güneş arasındaki uzaklık sabit olmadığından atmosfer dışına gelen ışıınımların değeri değışkendir. Bu nedenle dünya – güneş mesafesi ortalama bir değeri alınarak güneş sabiti (I) değeri bulunur.

$$I = 1353 \text{ W/m}^2 \text{ dir.}$$

Atmosfer dışında ışıınımların dik geldiği bir yüzeyde herhangi bir gündeki güneş ışıınımları değeri n gün sayısı olmak üzere:

$$I_{od} = I_{gs} \times \left[1 + 0,0033 \times \cos\left(\frac{360}{365} \times n\right) \right] \quad (1.7)$$



Şekil 1. 2. Atmosfer dışına gelen güneş ışıınımları Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına bir anda gelen ışıınımları.

$$I_o = I_{od} \times \cos(z) \quad (1.8)$$

$$I_o = I_{gs} \times \left[1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{360}{365}\right) n \right] \times [\sin(d) \times \sin(e) + \cos(d) \times \cos(e) \times \cos(h)] \quad (1.9)$$

$$H_g = \min |H_p; H|$$

H_g = Saat açısı ; H_p ve H' in mutlak değer olarak minimum olanı

H_p = Eğimli yüzeye gelen saat açısı

H = Yatay yüzeye gelen saat açısı

Yukarıdaki denklem gün doğumu ve gün batımı sınır alınarak integre edilirse atmosfer dışındaki yatay düzlemin birim alanına gelen günlük toplam ışınım (Q) bulunur.

$$Q_{o=I_{od}} \cdot \cos(g_g) \quad (W/m^2) \quad (1.10)$$

$$Q_o = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360}{365}\right) \cdot n \right] \cdot \left[\cos(d) \cdot \cos(e - s) \cdot \sin(H_g) + \left(\frac{2\pi}{360} \cdot H_g\right) \cdot \sin(d) \cdot \sin(e - s) \right] \quad (1.11)$$

1.1.2.2. Yeryüzüne gelen ışınım

Güneşten yayılan ışınımın yeryüzüne geldiğinde atmosferden geçerken kayıplara uğrar. Yeryüzüne ulaşabilen ışınım ise %10-%80 arasında değişir. Güneş ışınımının direkt yeryüzüne gelen kısmına direkt güneş ışınımı dağılan kısmına yayılı veya difüz güneş ışınımı adı verilir. Her iki grubun toplamına da tüm güneş ışınımı denir. Bunlara da yansıyan ışınım dahil edildiğinde toplam güneş ışınımı tanımı yapılabilir. Tüm güneş ışınımı 0,3-3,0 μm dalga boyları aralığında olup bunlara kısa dalga boylu ışınım adı verilir.

a) Günlük Tüm Güneş Işınımı

Yatay bir düzleme gelen aylık ortalama günlük tüm ısınımı Angström denklemi ile ifade edilir (BECKMAN , 1997).

$$\frac{q}{q_0} = a + b \cdot \frac{t}{t_0} \quad (1.12)$$

a ve b sabitleri istatikselsel ve teorik hesaplarla bulunmuş değerlerdir.

$$a = 0,103 + 0,000017 \cdot z + 0,198 \cdot \cos(e - d) \quad (1.13)$$

$$b = 0,535 - 0,165 \cdot \cos(e - d) \quad (1.14)$$

-Anlık Tüm Güneş Işınımı

Anlık tüm güneş ışınımı günlük tüm güneş ışınımına bağlı olarak bulunabilir.

$$I/q = R_t = \pi / (4 \times t_0) * [\cos \left[\left((180h/2H) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} x 1 - \psi \right) \right]] \quad (1.15)$$

$$\psi = \exp \left\{ -4 \left[1 - \frac{|h|}{H} \right]^2 \right\} \quad (1.16)$$

-Direkt ve Difüz Güneş Işınımı

Yayıllı ısınım oranı ampirik bağlantılarda genellikle berraklık indeksi (Kt) veya güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı olarak verilir. Diğer bir tanımlama yeryüzündeki yatay bir düzleme gelen güneş ışınımının atmosfer dışındaki yatay düzleme gelen güneş ışınımına oranıdır (BECKMAN, vd. 1997).

$$K_t = \frac{I}{I_0} = \frac{q}{q_0} \quad (1.17)$$

-Saatlik Yayılı Güneş Işınımı

Toplam güneş ısınımın yatay düzlemdeki saatlik yayılı ışınımı Orgill-Hollands bağıntıları ile berraklık indeksi (K_t) arasındaki bağıntıdır (BECKMAN vd. 1997).

$$K_y = \frac{I_y}{I} \left\{ \begin{array}{l} 1,0 - 0,249 * K_t \\ 1,557 - 1,84 * K_t \\ 0,177 \end{array} \right\} \begin{array}{l} K_t < 0,35 \\ 0,35 \leq K_t \leq 0,75 \\ K_t \leq 0,75 \end{array} \quad (1.18)$$

d) Anlık Direk ve Yayılı Güneş Işınımı

Uygulamalarda eğik düzleme gelen güneş ışınmalarının bilinmesi gerekir. Eğik düzleme gelen ışınimleri düzlemin eğim açısına, yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımının direkt ve yayılı ısınım miktarına, azimut açısına ve çevrenin yansıtma katsayısına bağlı olarak değişir (BECKMAN vd. 1997).

$$\cos(z) = \frac{I_d}{I_n} \quad (1.19)$$

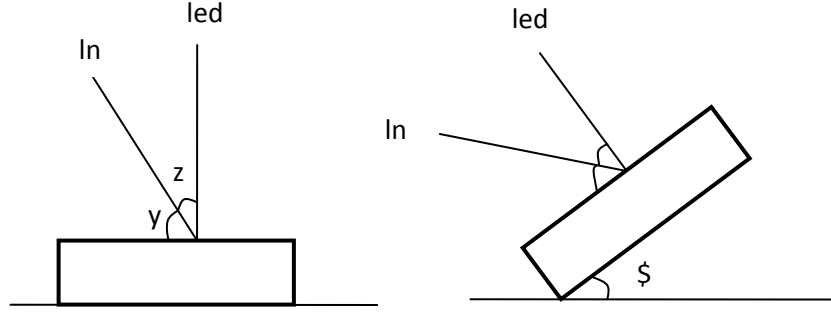
$$\cos(g) = \frac{I_{ed}}{I_d} \quad (1.20)$$

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos(g)}{\cos(z)} \quad (1.21)$$

R_d Direkt güneş ışınım eğim faktörü

$$R_d = \frac{\cos(e-s) \times \cos(d) \times \cos(h) + \sin(d) \times \sin(e-s)}{\cos(e) \times \cos(d) \times \cos(h) + \sin(d) \times \sin(e)} \quad (1.22)$$

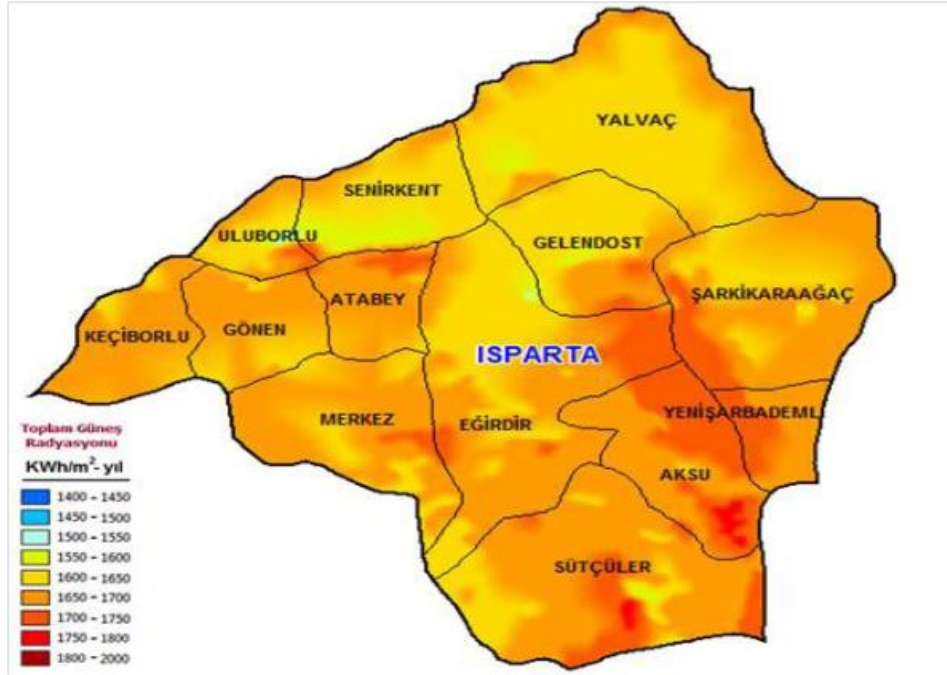
$$I_d = I - I_y \quad (1.23)$$



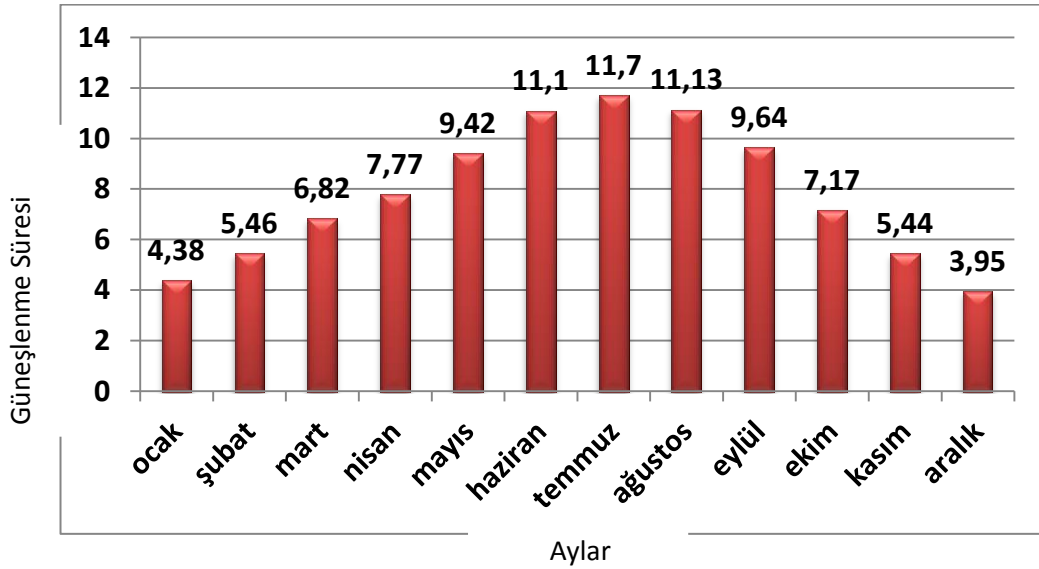
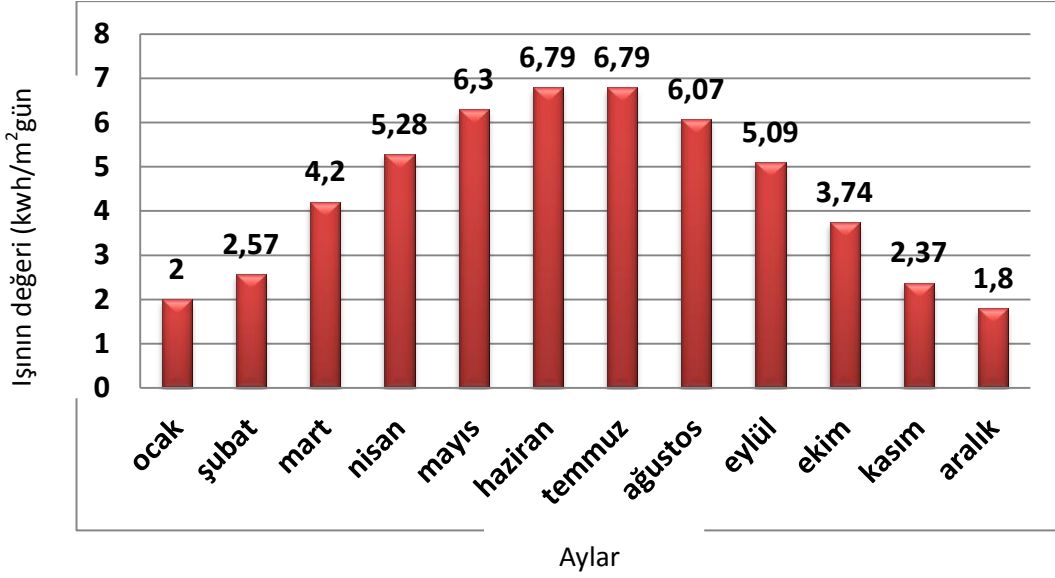
Şekil 1. 3. Eğik düzleme gelen anlık ışınımları.

1.2. Isparta'da Güneş Enerjisi ve Uygulama Potansiyeli

Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi dışındaki hemen hemen bütün bölgelerinde güneş enerjisinden faydalanılabileceği Türkiye güneş enerjisi haritasında açıkça görülmektedir. Akdeniz Bölgesi de bu bölgelerden bir tanesidir ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden sonra en iyi güneş enerjisi potansiyeline sahip ikinci bölge olarak yerini almaktadır. Bu bölgede yer alan Isparta'da oldukça iyi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Şekil 1. 4. incelendiğinde Isparta ilinin aylara göre ortalama güneş enerjisi ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir.



Şekil 1.4. Isparta güneş enerjisi haritası [$\text{kWh/m}^2\text{-yıl}$] (EİE, 2003).



Şekil 1. 5. Isparta'nın aylara göre ortalama ışınım değerleri (Kwh/m²gün) (üstteki) ve güneşlenme süreleri (alttaki) (EİE, 2003).

1.3. Parabolik Kollektörler ve Hesaplamaları

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kollektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kollektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kollektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek

sıcaklığa ulaşabilirler. (350–400 °C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralleridir (EİE, 2011).

Güneş enerjisi uygulamalarında düz güneş kolektörleri birçok uygulamada akışkanı yeterli sıcaklığa ulaştıramaz. Yüksek sıcaklık ve yüksek enerji ihtiyacı için yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri kullanılır. Bu tür kolektörlerin verimleri düz kolektörlere göre daha fazladır, çünkü yutucu yüzeyde birim alana düşen ışınım miktarı düz kolektöre göre daha çoktur. Güneş enerjisi ısıl uygulamaları çalışma sıcaklıklarına göre üçe ayrılır (Kartal, 2007):

- Düşük sıcaklık uygulamaları (20-110°C)
- Orta sıcaklık uygulamaları (110-400°C)
- Yüksek sıcaklık uygulamaları (>400°C)

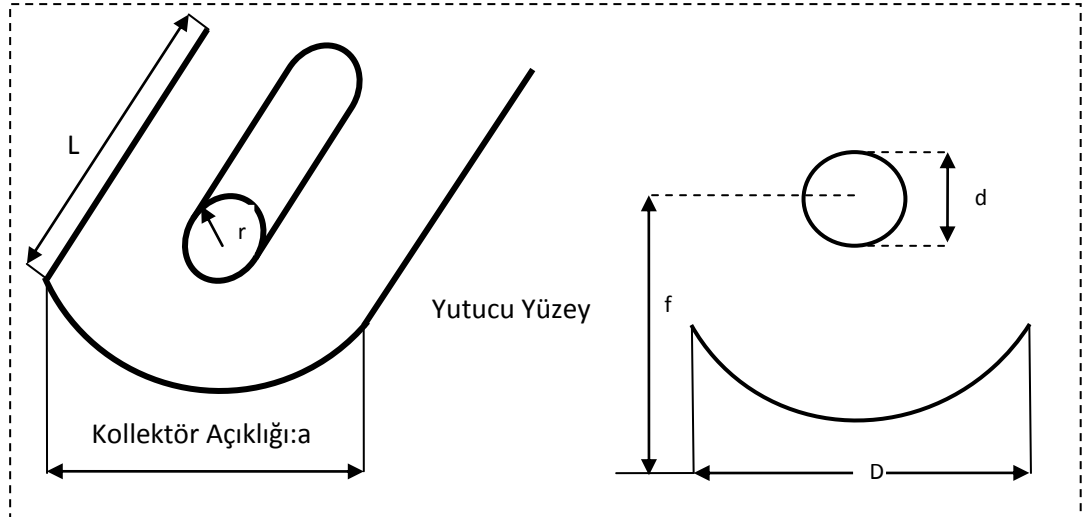
Orta sıcaklık uygulamaları proses buharı, sıcak su üretimi, güneş enerjisi ile soğutma gibi uygulamalardır. Yüksek sıcaklık uygulamaları da kızgın buhar sağlayan sistemlerdir. Her iki uygulama için yoğunlaştırıcı kolektörlere ihtiyaç vardır. Kolektörler değişik yutucu ve yansıtıcı türlerinde olabilir. Orta sıcaklık uygulamalarında genel de çizgisel odaklı, yüksek sıcaklık uygulamalarında da noktasal odaklı kolektörler kullanılmaktadır; (Kartal, 2007)

- Parabolik oluk tipi kolektörler (110-400°C) – Çizgisel odaklı
- Çanak (dish) tipi kolektörler (400-1000°C) - Noktasal odaklı
- Heliostatlar (500-1400 °C) - Noktasal odaklı

Çizelge 1.1. Güneş kolektörleri türleri ve özellikleri (Kartal, 1984).

Kollektör Türü	Işın Yoğunlaştırmasız	Işın Yoğunlaştırımalı	
		Çizgisel Odaklı	Noktasal Odaklı
İsmlendirme	Düz Kollektör	Parabolik Oluk Tipi	Heliostat, Çanak
Uygulama Alanı	Sıcak Su Kullanımı	Proses Buharı, Isıl Güç Çevrimi	Güneş Fırınları
Sıcaklık Aralığı	90-110 °C	110-400 °C	400-1400 °C
Yoğunlaştırma Oranı	1	>1	>100
Ortalama Verim	% 35	% 55	% 70
Güneş Takibi	Yok	tek eksenli	Çift eksenli
Işın Gelme Açısı	$\ll 1$	0,95	1
Yatırım Maliyeti	Düşük	Orta	Yüksek

Güneş ışınlarının, kollektöre girdiği alana “açıklık alanı” ve ısıya dönüştürüldüğü yüzeye “yutucu (alıcı) yüzey” denir. Düz kollektörde açıklık alanı ile yutucu yüzey birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kollektörlerde ise ışınlar yutucu yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaşır, böylece açıklık alanından daha küçük bir yutucu yüzey yeterli olmaktadır. Bu alanlar arasındaki ilişki “yoğunlaştırma oranı” veya “alan yoğunlaştırma oranı” ile açıklanmaktadır. Bu oran Denklem 1.24 ile bulunur;



Şekil 1. 6. Silindir yutucu yoğunlaştırıcı kollektör.

$$C = \frac{A_a}{A_r} = \frac{D}{\pi \cdot d} \quad (1.24)$$

Burada A_a açıklık alanını, A_r yutucu yüzeyi ifade eder.

1.3.1 Yoğunlaştırıcı kollektörlerin yüzey özellikleri

Yoğunlaştırıcı kollektörlerde yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin malzeme seçimi optik verim yönünden çok önemlidir.

Yoğunlaştırıcı kollektörde ışınların yoğunlaştırıldığı yansıtıcı yüzeyler için farklı ürünler seçilebilir. Bu yüzey için kullanılan bazı malzemelerin özellikleri Çizelge 1.2' de verilmiştir. Tasarlanan sistemde yansıtıcı yüzey olarak çizelgede yer alan parlatılmış alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu malzemenin kullanılmasının nedeni yüksek yansıtma oranına sahip olmasına karşın maliyet açısından diğer malzemelere göre daha uygun olmasıdır.

Çizelge 1.2. Yansıtıcı yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri. (Goshtasbpour, 1984).

Yansıtıcı Yüzey Malzemesi	Yansıtma Oranı
Gümüş	$0,94 \pm 0,02$
Altın	$0,76 \pm 0,03$
Alüminyum kaplı akrilik	0,86
Alüminyum	$0,82 \pm 0,05$
Bakır	0,75
Arkası gümüş kaplı su beyazı ayna	0,88
Özel cilalanmış ince alüminyum tabaka (Alanod)	0,88

Yoğunlaştırıcı kollektörlerin bir diğer kısmı da ışınların ısı enerjisine dönüştürüldüğü yutucu yüzeydir. Yutucu yüzey boru tasarımında amaç bir yandan boru çapını olabildiğince büyük seçerek, ışın odaklama verimi olan kesişim faktörünü arttırmak, diğer yandan da boru çapının azaltılmasıyla boru içi akışın türbülanslı hale gelmesini sağlamak ve boru-çevre arası ısı kayıplarını azaltmaktır. İş akışkanının türbülanslı hale gelmesi, zorlanmış ısı transferinin artmasına, buna bağlı olarak da aktarılan faydalı ısının artmasına sebep olur. Türbülans iki şekilde sağlanabilir. Birincisi boru

çapının küçültülmesiyle akış hızının arttırılması, ikincisi de çapın daraltılamayacağı, odaklama problemlerinin yaşandığı yerlerde türbülans lüleleri kullanılmasıdır.

Yutucu boru çapının, optik verim yönünden arttırılması, ısıl verim yönünden ise olabildiğince düşürülmesi gerektiğinden, yutucu boru çapının belirlenmesi bu tür kolektörler için önemlidir. İş akışkanına aktarılan ısı iletiminin arttırılması için yutucu boru et kalınlığı mümkün olduğunca ince olmalıdır. Ayrıca kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısının da yüksek olması gerekmektedir (Goshtasbpour, 1984).

Optik yönde verimin arttırılması için yutucu yüzeyin, güneşten gelen kısa dalga boylu ışınları yutma oranı büyük, borudan yayılan uzun dalga boylu ışınım yayma oranı ise olabildiğince küçük olmalıdır. Bunun amacı da gelen ışınım enerjisini hapsederek yüzey sıcaklığını ve ısıl verimi yükseltmesidir (Goshtasbpour, 1984).

Yutucu yüzey olarak kullanılan metaller genelde bakır, alüminyum veya paslanmaz çeliktir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına karşın pahalıdır. Ancak diğer parçalarla birleştirilmesi kolaydır. Alüminyumun da başka bir metal ile kaynak ve lehim çok zordur. Bu tez çalışmasında yutucu yüzey olarak siyah mat boya ile boyanmış cam boru kullanılmıştır (Goshtasbpour, 1984).

Siyah yüzeylerin güneş ışınlarını yutma oranı yüksek olduğu gibi yayma oranları da yüksektir. Çizelge 1.3' de yutucu yüzey olarak kullanılan bazı malzemelerin, direkt güneş ışınlarını (kısa dalga boyu) yutma ve yayılan (uzun dalga boyu) ışınları yayma oranları verilmiştir. Aynı çizelgede yutma-yayma oranları da verilmiştir. Bu oranın yüksek olduğu yüzeyler tercih edilmelidir (Goshtasbpour, 1984).

Çizelge 1.3. Yutucu yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri (Goshtasbpour, 1984).

Yüzeyler	Işıma Özellikleri		
	α	ϵ	α/ϵ
Beyaz boya	0,20	0,91	0,22
Su	0,94	0,95-0,96	0,98
Siyah boya (cilalı)	0,90	0,90	1,00
Siyah Boya (mat)	0,94-0,98	0,88	1,07-1,11
Galvaniz çelik	0,65	0,13	5,00
Alüminyum	0,15	0,05	3,00
Krom	0,49	0,08	6,13
Parlatılmış çinko	0,46	0,02	23,00

Yutucu yüzeyde optik verimi arttırmak için seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Kısa dalga boylu ışınları emen, uzun dalga boylu ışınları olabildiğince az yayan yüzeyler “ışın seçici yüzey” olarak adlandırılır. Yutucu yüzeyler, ışın yutma oranı büyük madde ile ince bir film halinde kaplanır. Kaplamalar kimyasal banyo, püskürtme veya elektroliz yöntemleri ile gerçekleştirilir. Çizelge 1. 4.’te bazı seçici yüzeyli yutucu boru özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. Seçici yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri (Goshtasbpour, 1984).

Seçici yüzey kaplaması	Emici Boru Malzemesi	Işıma Özellikleri		
		α	ϵ	α/ϵ
Nikel	Galvanizli Çelik	0,93	0,08	13,60
Kobalt	Galvanizli Çelik	0,91	0,12	7,60
Krom	Çelik	0,95	0,16	5,90
Demir Oksit	Çelik	0,83	0,06	13,80
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13	7,10
Bakır oksit	Alüminyum	0,93	0,11	8,50
Kurşun oksit	Alüminyum	0,89	0,20	4,50
Nikel	Çinko kaplı alüminyum	0,94	0,10	9,40
Krom	Çinko	0,91	0,08	11,40
Çinko Oksit	Çinko	0,95	0,08	11,90
Krom	Bakır	0,92	0,08	11,50
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07	12,40

Yoğunlaştırıcı kollektörde önemli bir diğer parçada cam örtüdür. Cam örtü yutucuyu dış etkilerden korur ve ısı kayıplarını azaltarak verimi arttırır. Cam örtünün optik özelliği güneşten gelen kısa dalga boylu ışınları geçirecek ve yutucudan yansıyan uzun dalga boylu ışınları hapsedecek şekilde olmalıdır. Camların geçirme oranı, bileşimindeki demir oksit miktarı arttıkça azalır. Cam örtü için demir oksit miktarı %0.05' den küçük olan camlar seçilmelidir. Düşük demir oksitli camların güneş ışınımını geçirme oranı 0.89-0.92 arasında iken bu oran yüksek demir oksitli pencere camlarında 0.70' dir. Kullanılan camın dayanıklılığı ve yüksek sıcaklıklarda iletimi iyi olmalıdır. Yutucu yüzeyle cam örtü arası vakumlanabilir. Vakum sayesinde yutucu yüzey malzemesinin özellikleri korunur ve ısı kayıpları en aza iner. Vakumda ısı kayıplarının en aza inmesinin sebebi yutucu boru ve cam örtü arasında hava olmadığından doğal taşınım olarak adlandırılan ısı transferi meydana gelmemesidir. Cam örtü ve yutucu boru arasından hava bulunursa buradaki doğal taşınım ısı transfer mekanizması, havanın efektif ısı iletim katsayısından yola çıkarak da açıklanabilir. Havanın bu efektif ısı iletim katsayısı da iletimle ısı kaybını meydana getirir. Rüzgarlı bölgelerde taşınım ısı transferi ile ısı kaybı fazladır ve cam örtü kullanılmazsa, yutucu yüzeyle çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı büyür ve kayıp artar. Cam örtü ucuz ve temini kolay olmalıdır. (Goshtasbpour, 1984).

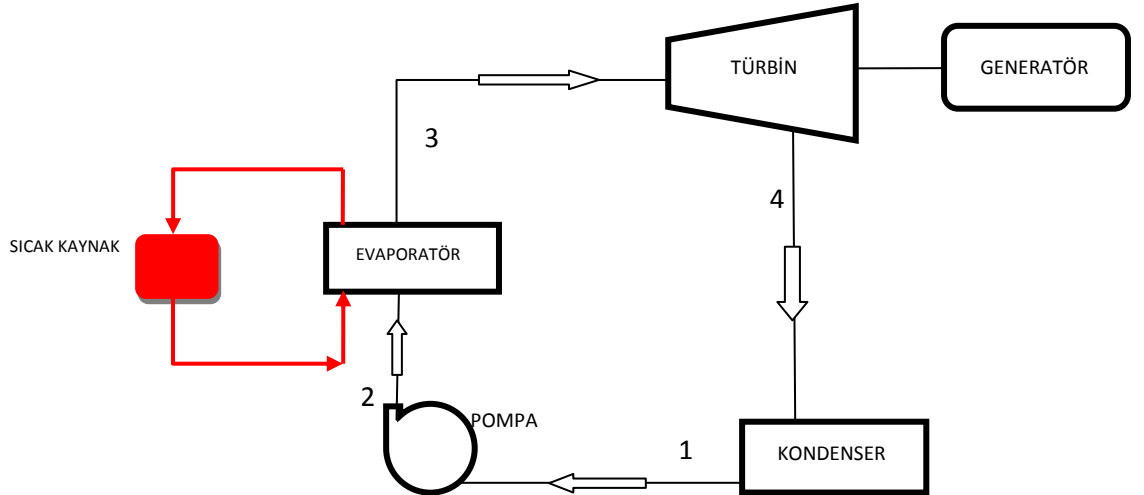
1.4. Organik Rankine Çevrimi Teknolojisi

Buhardan elektrik üretimi sağlayan termal çevrim, düşük sıcaklıklarda da etkin bir şekilde elektrik üretimi sağlayabilmek için türbini çeviren su buharının yerine aynı sıcaklıklarda daha yüksek buhar basıncı sağlayabilen soğutucu sistemlerde görülmeye alışık olunan gazlarla birlikte kullanılmaktadır.

Çevre sorunlarından dolayı düşük sıcaklıklı kaynaklardan enerji elde etmek son yıllarda önemli hale gelmiştir. Bu sorunların çözümü için birçok öneri ortaya atılmıştır. Şu anda önerilen çözümler arasında Organik Rankine Çevrimi en yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlıca avantajı kolaylığı ve basit bulunan bileşenleridir. Geleneksel güç çevrimlerinin aksine bu çevrimler küçük ölçekli enerji üretimi için

düşük sıcaklıklarda çalışmaktadır. Aynı zamanda organik soğutucu akışkan gazları da kullanıldığı için çevre dostudur (Saitoh vd., 2007).

Isıdan elektrik üreten sistemi esas alan bir ORÇ teknolojisi buharlaştırıcı içerisindeki organik çalışma sıvısını buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır. Bu kaynaktan gelen ısı buharlaştırıcıda akışkana ısını aktarır ve buhar haline gelir. Seçilen çalışma sıvısı silikon bazlı sıvılar olabilir veya düşük sıcaklıklar için hidrokarbon veya soğutucu bazlı sıvılar kullanılabilir. Basınçlı buhar daha sonra türbinlere yollanır ve generatörle birleştiğinde elektrik üretir. Yüksek basınç ve sıcaklık da türbine gelen akışkan türbinde genişleyerek basınç ve sıcaklığı düşer. Basınç ve sıcaklığı düşen akışkan yoğuşturucuya gelir. Buhar, yoğuşturucu içinde tekrar sıvı hale yoğunlaştırılır. Yoğuşturucudan pompaya düşük basınç da gelen akışkan da tekrar sıvı pompası ile buharlaştırıcıya basılır ve sistemin çalışması bu şekilde devam eder. Sıcak sıvı yakıt kaynağı olarak kullanıldığından yakıt maliyeti çok düşüktür. Ayrıca hiçbir yanma prosesi gerçekleşmediğinden, ORC enerji sisteminde atmosfere zararlı hiçbir emisyon salınım oluşmaz. ORÇ sistem şeması Şekil 1. 7.'de verilmiştir(Saitoh vd., 2007).

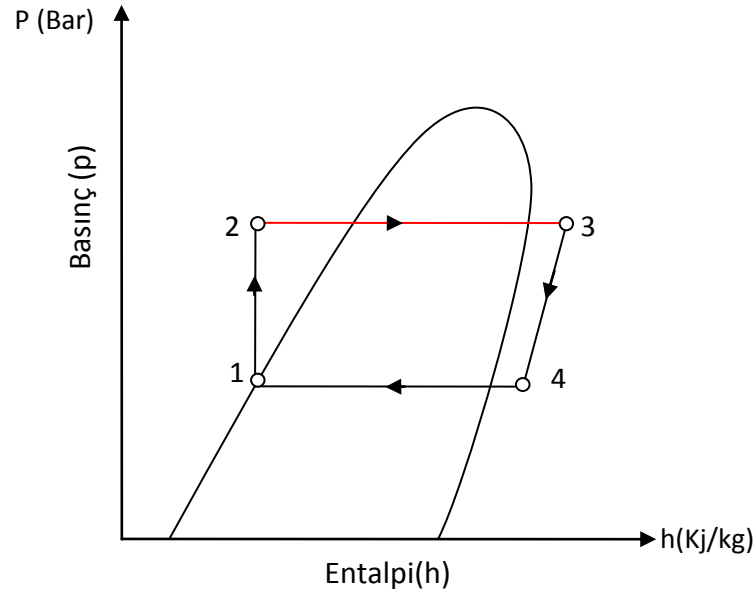


Şekil 1. 7. Organik Rankine çevrimi (ORÇ) tesisat şeması.

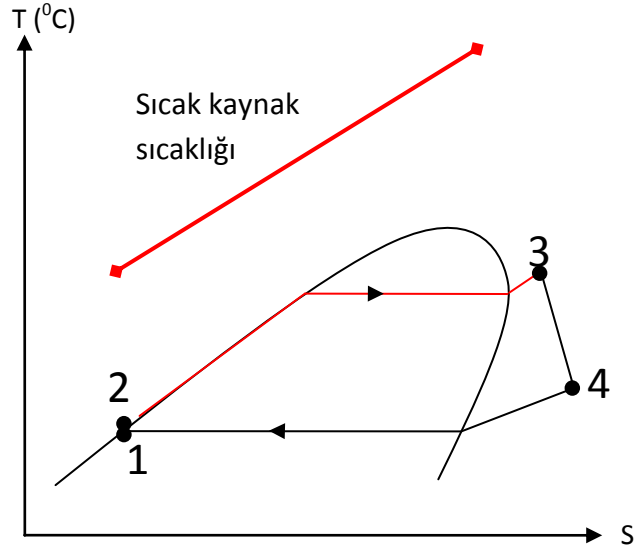
Organik Rankine Çevrimi beş bileşenden meydana gelir: Pompa, evaporatör (buharlaştırıcı), türbin, kondenser (yoğuşturucu) ve çalışma akışkanı. Evaporatör ve

kondenser ısı değiştiricisi olarak çalışırlar. Evaporatör ısıyı çevrime absorbe ederken kondenserde ısıyı çevrimden dışarı atar (Saitoh vd., 2007).

Pompa evrim içerisindeki akışkanı sıkıştırarak evaporatöre yollar. Evaporatörde sıcak kaynaktan gelen akışkan ısısını çalışma akışkanına aktarılır. Burada sıcaklığı artan aracı akışkan buhar veya kızgın buhar fazına geçer. Daha sonra buhar gc üretmek için türbin kısmına gelir. Türbinde genişleyen buharın basınç ve sıcaklığı düşer ve kondensere gelir. Burada da tekrar sıvı fazına geçen akışkan pompaya gelir. evrim bu şeklide sürekli olarak devam eder. şekil 1.8.'de ORÇ sisteminin basınç ve entalpi (P-h) diyagramı verilmiştir.



şekil 1. 8. ORC basınç entalpi (P-h) diyagramı (engel ve Boles 2008).



Şekil 1. 9. ORÇ sıcaklık entropi (T-S) diyagramı(Çengel ve Boles 2008).

ORÇ sistemlerde çalışma koşullarına ve farklı kaynak ve emici sıcaklıklarına bağlı olarak çeşitli çalışma sıvıları kullanılabilir. Fakat ORÇ sistemlerde düşük dereceli ısı enerjisi kullanımı içerir. ORÇ sistemlerde kullanılan organik akışkan aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir (Bombarda vd., 2010).

İdeal rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı 4 hal değişimi vardır.

- 1-2 Pompada izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda sabit basınçta ısı girişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucu da sabit basınçta ısı atılması

Rankine çevrimini oluşturan dört elemanın (pompa, kazan, türbin ve yoğuşturucu) tümü sürekli akışlı makinelerdir. Bu nedenle rankine çevrimini de dört sürekli akışlı açık sistemden oluşan bir çevrim olarak incelenebilir. Buharın kinetik ve potansiyel enerjisindeki değişim genellikle iş ve ısı geçişine oranla küçüktür ve bu yüzden göz ardı edilebilir (Çengel, and Boles, 2008). Sürekli akışlı açık sisteme ilişkin enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$(q_g - q_\zeta) + (w_g - w_\zeta) = h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}} \quad (1.25)$$

Kazan ve yoğuşturucuda iş etkileşimi yoktur. Ayrıca pompa ve türbindeki hal değişimlerinin izentropik olduğu varsayılır. Bu durumda her bir sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

pompa ($q = 0$)

$$w_{\text{pompa,g}} = h_2 - h_1 \quad (1.26)$$

veya,

$$w_{\text{pompa,g}} = v \times (P_2 - P_1) \quad (1.27)$$

kazan ($w = 0$):

$$q_g = h_3 - h_2 \quad (1.28)$$

Türbin ($q = 0$):

$$w_{\text{türbin,ç}} = h_3 - h_4 \quad (1.29)$$

Yoğuşturucu ($w = 0$):

$$q_\zeta = h_4 - h_1 \quad (1.30)$$

Rankine çevriminin ısı verimi:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = 1 - \frac{q_\zeta}{q_g} \quad (1.31)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Organik Rankine çevrimi dört kısımdan meydana gelir. Düşük sıcaklıktan elektrik üretimi amaçlanır. Bu sistemler diğer Rankine çevrimi sistemlerine göre daha düşük sıcaklık ve basınç şartlarında çalışmaktadır. Organik akışkan kullanıldığı için bu isim verilmektedir. Isı kaynağı olarak güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi kullanılır. Soğutucu akışkan seçiminde yüksek enerji ve ekserji verimi elde edilmesi için akışkanın fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulması gerekir ve çevre dostu olmalıdır. Organik Rankine Çevriminin bileşenleri geleneksel Rankine çevrimi bileşenleri ile aynıdır. Pompa, evaporatör, türbin ve kondenserden meydana gelir. Akışkan sıvı fazında pompa aracılığıyla kazana gönderilir. Kazana gelen akışkan ısı kaynağından gelen yüksek sıcaklıktaki akışkanla ısı transfer gerçekleştirir ve kazan çıkışında buhar fazına geçer. Yüksek basınç ve sıcaklıkta türbine gelen soğutucu akışkan genişleyerek basınç ve sıcaklığı düşürerek sıvı – buhar bölgesine yaklaşır. Buradan kondensere gelerek yoğunlaşır ve sıvı konumuna geçerek pompaya gelir sistem bu şekilde döngüsünü tamamlar.

Bu sistemlerde akışkanların termodinamik özellikleri sistem verimi ve çevre etkisi üzerinde etkilidir. Bu sistemlerde türbin giriş ve çıkış basınçları ile kazan çıkış sıcaklığı sistem verimi üzerinde önemli rol oynamaktadır.

1.4.1. Organik Rankine çevriminde kullanılan akışkanın özellikleri

Parabolik kolektörlü Organik Rankine çevriminde kullanılan akışkan seçiminde akışkanın küresel ısınma etkisi, ozon delme potansiyeli, kritik sıcaklığı ve kritik basıncı göz önünde bulundurulur. Çizelge 1.5 da ORÇ sisteminde kullanılan akışkanların Fiziksel Özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.5. Sisteminde kullanılan soğutucu gazların fiziksel özellikleri(Özden vd., 2011).

	Birimi	R-410a	R-134a
Molekül ağırlığı	kg/kmol	72.6	84
1 Barda kaynama sıcaklığı	°C	-51.6	-47.2
Kritik sıcaklık	°C	70.2	102.4
Kritik basınç	Bar	47.7	37.4
Doymuş buhar oranı	-	1.55	1.40
Buhar durumunda ısı iletkenliği (25 ⁰ C de)	W/m ⁰ K	0.0165	0.0151

Düşük sıcaklıklarda ısı transfer verimsizliği önemli olduğundan, bu sıcaklıklardaki uygulamalarda kullanılacak çalışma sıvısının seçimi kritiktir. Bu tür verimsizlikler, büyük ölçüde sıvının termodinamik özellikleri ve çalışma koşullarına bağlıdır. Düşük kalitede ısı elde etmek için, sıvı genellikle sudan daha düşük kaynama seviyesine sahip olur. Sıvının bazı önemli özellikleri aşağıdaki gibidir (Mago, 2007).

- Düşük sıcaklıkta çalışan bir ORC sistemi için düşük kaynama noktasına sahip bir akışkan tercih edilebilir.
- Kondensere sıvı geçişini önlemek için özgül ısı kapasitesi daha düşük akışkan tercih edilmelidir.
- Buharlaşma gizli ısı yüksek olan akışkan buharlaşma sırasında daha fazla ısıyı absorbe edebilir. Bu yüzden buharlaşma gizli ısı yüksek olan akışkanla çalışan bir sistem de atık ısıdan yararlanarak sistem verimliliği artırılabilir.
- Çalışma akışkanını seçerken ozon delme potansiyeli (ODP) ve küresel ısınma potansiyeli (GWP) göz önüne alınarak seçilmelidir.
- Düşük toksiteye sahip akışkan seçilmelidir.
- Soğutucu akışkan düşük maliyetli olmalıdır.
- Güvenlik: Sıvı, tahriş edici, yanıcı veya zehirli olmamalıdır. Sıvı tehlikelilik seviyesini belirlemek için ASHRAE soğutkanlar güvenlik sınıflandırması kullanılabilir.

- Yüksek buharlaşma ısı ve yoğunluk: gizli ısı ve yoğunluğu yüksek olan bir sıvı buharlaştırıcı içerisindeki kaynaktan daha fazla enerji emecektir. Dolayısıyla gereken akış hızı, tesis boyutu ve pompa tüketimi düşecektir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Baum ve Gordon (1984), tarafından İsrail’ de yapılan çalışmada, silindirik yutucuya sahip B.P.K.’ lerin matematiksel karakteristiğini incelemişlerdir. Matematiksel karakteristiği belirleyen en önemli etkenin “yarım kabul açısı” olduğunu belirtmişler ve tasarımın bu açığa göre yapıldığı vurgulamışlardır. Çalışmada tasarım için gerekli hesaplamaları vermişler ve analitik olarak incelemişlerdir.

Khatri (1991), çalışmada güneş enerjisi toplama sistemlerinden yararlanarak B.P.K.’ leri incelenmiş, özellikle kollektörün optik özellikleri asıl araştırma konusu olup, kollektörü oluşturan yüzeyler üzerinde durmuştur. Araştırmalar ve elde edinilen bilgiler sonucunda birleşik parabolik kollektör tasarımını gerçekleştirmiş ve su ısıtma deneyleri yapmıştır. Bu tür sistemlerin güneş enerjisi su ısıtma uygulamaları için daha uygulanabilir olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hung vd. (1996), ORÇ sistemlerinde benzin, amonyak, R11, R134a ve R113 gibi soğutucu akışkanlar kullanarak ORÇ verimliliğini parametrik olarak analiz etmiş ve karşılaştırmışlardır. İki izobar eğri arasındaki işlemde, ıslak ve kuru akışkanlar için sistemin verimliliği sırayla artar ve azalır. İzentropik sıvı, yüksek türbin giriş sıcaklıkları için yaklaşık sabit değer sıcaklıklar için yaklaşık sabit bir değer kazanır. Bu etkiler özellikle, sıvıların doymuş buhar eğrilerinin farklı eğim ve şekillerine bağlıdır. İzentropik sıvılar, düşük sıcaklıktaki atık ısının geri kazanılması için en uygundur. Freonlar ve onların alternatifleri incelenmiş ORÇ için benzer sistem yanıtlarını almışlardır.

Ertunç (1997), Ekim ayında konstrüksiyon olarak değişik malzemelerden yapılmış olan düzlemsel güneş kollektörlerinin performansları ile açık ve kapalı sistemlerde kolektör giriş-çıkış sıcaklıklarına ilaveten absorber ve cam sıcaklıkları ölçülmek suretiyle kolektörlerin sıcak su üretim verimleri ölçülerek birbiriyle kıyaslamıştır. Polipropilen kollektörlerin ısı iletim katsayısı düşük olmasına rağmen verimlerinin alüminyum kollektöre göre daha yüksek çıkması polipropilen kolektörün petek yapısından daha yüksek olmasından ileri geldiği belirtmiştir.

Alaçakır vd (2001), Ekim ayında güneşi izleyen sistemin sabit sisteme göre kıyaslanmasını deneysel olarak incelemişler, bir yıl boyunca yapılan ölçümlerde, aylara göre değişmekle birlikte ortalama olarak enerjiden % 20 den fazla faydalandığı görmüşlerdir.

Kundu (2002), Temmuz ayında yapmış olduğu çalışmada çeşitli geometrik şekillerdeki kolektörler üzerinde karşılaştırmalar yapmıştır. En iyi sonucu ikizkenar yamuk şeklindeki kolektörden elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca imalat işlemlerinde de daha az sorun çıkardığını tespit etmiştir.

Borjon (2006), ORC üzerine çalışmışlardır. 65 nm düğüm için poli katmanı modelleme ve 90 nm düğüm için temas tabakası desenlendirmeye yoğunlaşarak, Kritik hata optik kural kontrolü (CFORC) modellerinin doğruluğunu çeşitli yaklaşımlar üzerinden geliştirmişlerdir. Bunlar; normalizasyon algoritmasını artırmak, uydurma parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak ve parametre space kapsamını optimize etmektir.

Chen vd. (2006), düşük dereceli organik rankine çevriminde atık ısıyı yararlı işe dönüştürmek için çalışmışlardır. Bu çalışmada transkritik CO₂ güç çevrimi ile akışkan sıvı olarak R123 soğutucu gazı kullanan ORC performansları irdelemişlerdir. Isı kaynağı ve soğutucu için geçerli olan sıcaklık sıkışmaları sebebi ile her iki döngüyü karşılaştırırken termodinamik ortalama sıcaklığı, referans sıcaklık olarak kullanmışlardır. Termodinamik modellemeyi EES programında geliştirmişlerdir.

Wei (2006), çalışmalarında egzoz ısı ile çalışan akışkan olarak HFC-245fa (1,1,1,3,3-pentafluoropropane) kullanarak ORC sisteminin optimizasyon ve performans analizini yapmışlardır. Bu çalışmanın sonuçların da ise: egzoz ısısının kullanımını mümkün olduğunca maksimize etmenin sistem çıkışında net gücünü ve verimliliğini artırmak için iyi bir yolu olduğunu; kondenser çıkışında aşırı soğutma derecesinin küçük olması gerektiğini (0.5-0.6 K); ortam sıcaklığı çok yüksekken sistem çıkışı net güç ve verimliliğinin muhtemelen % 30 u aşan nominal durumdan ayrılma ile bozulacağını göstermişlerdir.

Schuster (2008), ORC sisteminin enerjik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. alışmalarında, ORC uygulamalarının ulaştığı son nokta deneysel verilerini kullanan bir çevrimi simülasyon ortamında simüle etmişler ve yenilikçi sistemler ile birlikte sunacaklardır. Verimlilik, su üretim oranları veya ulaşılabilir elektrik üretim maliyeti gibi simülasyon sonuçları sunulacak ve tartışacaktır.

Chacartegui (2009), çalışmalarında düşük sıcaklıklı ORC' leri orta ve büyük ölçekli kombine g çevrimleri için incelemişlerdir. alışmaları dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk olarak kombine çevrimi gözden geçirmişler ve ORC evrim teknolojileri ile beraber sunmuşlardır. Daha sonra ticari gaz türbinleri ve düşük sıcaklıklı genel ORC ile birlikte bir termodinamik analiz sunmuşlardır. Sonra bu iki teknoloji arasında daha iyi bir entegrasyon sağlamak amacıyla bir ORC kombine çevrim santralinin parametrik optimizasyonu yapmışlardır. Son olarak kombine çevrimlerde ORC kullanımı ile ilgili bazı ekonomik faktörleri tartışmışlardır.

Bombarda (2010), çalışmalarında dizel motorlardaki atık ısı geri kazanımı ile Kalina evrimi (su ve amonyak karışımını akışkan sıvısı olarak kullanan bir termodinamik çevrimi) ve ORC' yi termodinamik olarak karışlaştırmışlardır. Çalışmada akışkan olarak ORC de hexamethyldisiloxaneyi kullanılmış ve Kalina evriminin termodinamik performansları arasında, her biri 8900 kW' lık bir elektrik gücü ile iki dizel motordan ısı dönüşümü için bir karışlaştırma yapmışlardır. Bu iki termodinamik çevrim için, egzoz gazları kütle akışı (346 C her iki motor için 35 kg / s) tarafından oluşturulan ısı kaynağını sömürerek üretilen azami net elektrik gücünü hesaplamışlardır. Kalina çevrimini adaptasyonu, en azından düşük güç seviyesi ve orta-yüksek sıcaklıkta termal kaynaklar için pek mümkün değil gibi görünüyor. Çünkü elde edilen performans, düzgün bir optimize ORC' ye nazaran çok küçük ve bu karışık tesis şeması, geniş yüzey ısı değiştiricileri ve özellikle yüksek basına dayanıklı ve korozyonsuz malzemeler ile elde edilmelidir.

Delgado-Torres vd. (2010), güneş enerjisi ile alışan ORC ile ters osmoz (RO)' in ortak kullanımı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada güneş enerjili ORC' nin ihtiyaç duyduğu termal enerjinin sabit güneş kolektörleri yoluyla temin edilmiştir.

Çalışmada güneş sisteminde acı ve tatlı deniz suyu kullanılmış ve ters ozmos teknolojisinden yararlanılarak ORC' nin termo-ekonomik analizini yapmışlardır.

Schoenmaker (2010), suyun kaldırma kuvvetinden yararlanarak ORC üzerinde çalışmışlardır. Yenilenebilir enerji kapsamında, güneş ve jeotermal enerjiyi kullanmak için az bilinen bir tekniğe dikkat çekmek istemişlerdir. Burada önerilen tasarım ve analiz; birçok patentin kavramsal bir hybrid'idir. Enerji değiştirilmiş bir Organik Rankine Çevrimi yoluyla, akışkan sıvının kaldırma kuvvetinden faydalanarak elde edildiğini belirtmişlerdir. Termodinamik özelliklere dayanarak Pentan ve Diklorometan akışkanların performanslarını karşılaştırmışlardır. 100 °C' nin altındaki çalışma sıcaklığında sistemdeki suyun 51 m (Pentan) ve 71.5 m'lik (Dichloromethane) yüksek kolonlar için 0.26'ya varan teorik verimlilik tahmin edilmiştir. Bu bulgular, özellikle dağınık enerji sistemleri, kombine çevrim santralleri ve düşük sıcaklıklı Rankine çevrimleri için uygun olduğunu belirtmişlerdir .

Arslan ve Yetik (2011), süperkritik ORC ile jeotermal güç santralinin Artificial Neural Network (ANN) tabanlı optimizasyonunu Simav çalışma sahasında çalışmışlardır. Bu çalışmada ANN üç farklı varyantı olan geri yayılım öğrenme algoritmasını kullanmışlardır. Bulunan en uygun algoritmalar: 1. Tip için LM 16, 2. Tip için ise LM 14' tür. ORC, organik sıvıları akışkan sıvılar olarak kullanıyor ve bu süreç düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarının kullanımına izin veriyor ve küçük ölçekli konseptlerde avantajlı bir verimlilik sunduğunu belirtmişlerdir. Akışkan sıvısı olarak R744 80 °C - 130 °C ve 12 Mpa olarak ayarlandığında 64,2 MW kurulu kapasite ile kurulu güç elde edildiğini belirtmişlerdir.

Delgado (2011), bu çalışmada ters ozmoz arıtma yöntemi ile güneş enerjili organik rankine çevrimi (SORC) nin tasarımı ile ilgili öneriler aktarmışlardır. Sistem düzgün tasarlanırsa, bu teknoloji küçükten orta güç çıkışı aralığına kadar (500 kWa kadar) deniz suyu ve acı suyun arıtımı açısından en verimli teknoloji olabilir. Ancak, teorik çalışmalar, tasarım önerilerini ve deneysel çalışmalar çok az ve ORC tarafından yönlendirilen sadece çok az solar ters ozmoz (RO) sistemleri geçmişte uygulanıp analiz edilmiştir. Bu çalışmadaki önerilenler tasarım noktası parametrelerinin uygun

değerlerine sahip, tavsiye edilen güneş çevrimi ve akışkan sıvılarına bağlı olan iyi bir şekilde seçilmiş sayısal olgularla örneklendirmişlerdir.

Guo (2011), çalışmalarında düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar tarafından yönlendirilen yeni bir kojenerasyon sistemini araştırmışlardır. Bu sistem düşük sıcaklıklı jeotermal destekli bir ORC sistemi ile ara eşanjörlü R134a tabanlı bir ısı pompasını içeriyor. Burada ana amaç yüksek PPR değeri (-enerji üretimi alt sistemi tarafından üretilen gücün ısı pompası alt sistemi tarafından tüketilen güce oranı) ve QQR değeri (kullanıcıya verilen ısının jeotermal kaynak tarafından üretilen ısıya oranı) verebilecek uygun sıvıları belirlemektir. Olumsuz koşullar altında yeni kojenerasyon sisteminin performanslarını da araştırmışlardır. Sonuç olarak yüksek normal kaynama noktası değerleri sunan sıvılar grubunun ortalama % 7.7 daha yüksek PPR değerleri ve R236ea ile R245ca gösterdiğini belirtmişlerdir. DTP (ısı eşanjörlerindeki pinch sıcaklık farkı) ve GT (türbin verimliliği) değerleri, PPR değerlerinin değişiminde daha önemli rol oynamaktadır. Değişim aralığı çeşitli jeotermal kaynak ve ısıtma tedarik parametreleri altında daha büyük iken; QQR değerleri çeşitli DTP, GT ve GRP (soğutucu pompa etkililiği) değerleri ile biraz değişir. Daha küçük DTP değeri, daha yüksek GT değeri, daha yüksek jeotermal kaynak parametrelerini göstermektedirler.

Kuo vd. (2011), çalışmalarında çeşitli akışkanlarla çalışan 50 kW'lık ORC sisteminin performans analizini yapmışlardır. Boyutsuz Jakob sayısına bağlı olarak sıcaklığın yoğunlaşması ve buharlaşma ısısı, termal verimliliğe etki ettiğini belirlemişlerdir. ORC'nin termal verimliliği termodinamik özelliği ile ilgilidir. Bu çalışmada aynı zamanda süperkritik sürece maruz kalan termal verimlilik konusunu incelenmişlerdir.

Li (2011), çalışmalarında iç ısı değiştiricili ORC buharlaşma sıcaklığına bağlı etkileri üzerinde matematiksel bir model için bazı ön koşullar, sınır şartları ve hipotezler önermişlerdir. Saf sıvı ve bir karışımın üç türü akışkan olarak seçildi ve parametrik değişiklikleri farklı buharlaşma sıcaklıkları altında hesaplamışlardır. ORC iç ısı

değiştirici (İHE) ile donatıldığı zaman, farklı çalışma sıvıları kullanırken parametreleri değiştirmişlerdir. Daha sonra verileri bir sonuca varmak için karşılaştırmışlardır.

Stoppato (2011), çalışmasında, farklı çalışma stratejileri için Asiago (İtalya) da, kurulmuş yeni bir tesisin enerjik ve ekonomik analiz sonuçlarını incelemiştir. Tesis, bir kereste fabrikasından gelen atıklarla beslenen 2 kazandan oluşur: bunlardan biri merkezi ısıtma şebekesine doğrudan sıcak su, diğeri ise kojenerasyon ORCsi için ısı sağlar. ORC tesisinin 1.25 MW nominal elektrik gücü vardır ve 5.3 MW ısı üretebilir. Bu, elektrikli ızgaraya ve merkezi ısıtma şebekesine bağlamıştir. Emisyonlar da değerlendirilmiş ve önceden var olan durumlardakilerle kıyaslanmıştır.

Sun vd. (2011), akışkan olarak R134a kullanan bir ORC ısı geri kazanım santralinin detaylı analizini sunmaktadırlar. Santralin performansını değerlendirmek ve optimize etmek amacıyla, genişletici, buharlaştırıcı, hava soğutmalı kondenser ve pompa için matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Önerilen modeller ve algoritmalara göre bilgisayar programları geliştirmişlerdir. Sistem hava termal verimliliği ve sistem net enerji üretimi üzerinde; akışkan kütle debisi, hava soğutmalı kondenser fan hava debisi ve genişletici giriş basıncı da dahil kontrollü değerşkenlerin etkilerini araştırmışlardır.

Quoilin (2011), çalışmalarında kırsal bölgelerde elektrik üretim amacıyla Lesotho'da kurulan bir güneş destekli ORC sistemi üzerine çalışmışlardır. Sistem kolektör, bir depo tankı, parabolik kolektör ve küçük ölçekli ORC motorundan oluşmaktadır. Farklı akışkanlar karşılaştırılmış, tek ve çift kademeli sistemi simüle etmişlerdir.

Yılmaz (2011), "Parabolik Yansıtıcı Kollektörlerin İmal ve Testi" adlı çalışmasında üç tip yoğunlaştırıcı kolektör tasarımı ve bu kolektörlerle su ısıtma deneyleri yapmıştır. Yapılan testler su çekilmeden depolu ve doğal sirkülasyonlu açık deposuz sistemler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçta Parabolik Yansıtıcı Kollektörlerin ışın odaklama sorunu az olduğundan suyu daha çabuk ısıttığı ve her iki sistemde de daha iyi performans sağladığını gözlemlemiştir. Ayrıca parabolik kolektörde yutucu

boru yerleştirmesinin 6nemi vurgulanmış ve hassas tasarım yapılması gerektiğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Sistemde Kullanılan Makine Ve Ekipmanlar

3.1.1. Parabolik güneş kolektörü



Şekil 3.1. Parabolik kolektör

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi güneşten gelen enerjiyi toplamak için deney düzeneğinde 0,86 m yarıçapında parabolik kolektör kullanılmıştır. Yüzey alanı 10,32 m² 'dir. Kolektörün üzeri paslanmaz özelliği olan Cr-Ni (Krom-Nikel) parlak paslanmaz sac ile kaplandı.

3.1.2. Redüktör grubu



Şekil 3.2. Redüktör grubu.

Sistemdeki verimliliği artırmak için güneş odağının ayarlanmasında 0,25 kW gücünde Camak marka redüktör grubu kullanılmıştır. Odaklama hareketi güneşin konumuna göre elle ayarlanmıştır.

3.1.3. Isı transfer yağı deposu



Şekil 3.3. Yağ deposu.

Kollektördeki ısınan yağı depolanması ve kolektördeki sirkülasyonun sağlamak için 110 cm uzunluğunda 30 litre hacminde yağ deposu kullanılmıştır. Sistemde aracı akışkan olarak modern rafinasyon işlemlerinden elde edilmiş baz yağlardan formüle edilmiş uzun ömürlü bir ısı transfer yağı kullanılmıştır. Yağın ilk kaynama noktası 200 °C'nin üstünde olup, oksidasyona karşı dayanıklıdır.

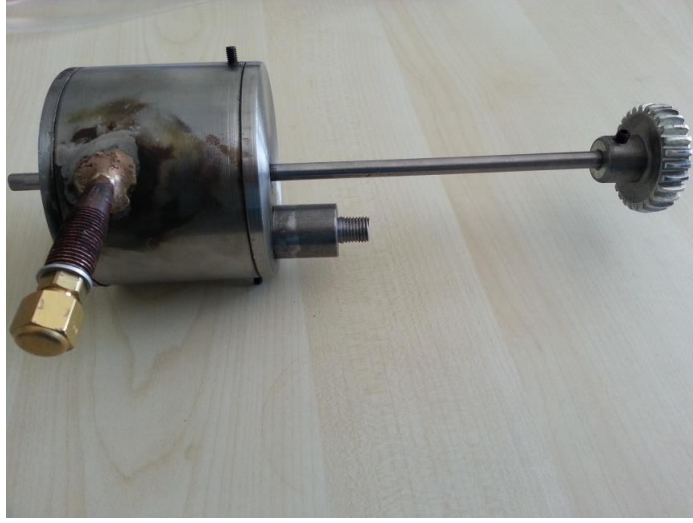
3.1.4. El tipi sıcaklık ölçüm cihazı



Şekil 3.4. El tipi sıcaklık ölçüm cihazı.

Deney setindeki yağ deposunda bulunan ısı transfer yağının sıcaklığını ölçmek için kızıl ötesi termometre (pirometre BP20) kullanıldı. El tipi ölçüm cihazı -35 C ile +800 C arasındaki temassız yüzey sıcaklık değerini hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçmektedir. Ayrıca bu cihaz maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde göstermektedir.

3.1.5. Türbin



Şekil 3.5. Türbin.

Deney düzeneğinde Şekil 3.5' de görülen mikro türbin geliŐtirilmiŐ ve kullanılmıştır.

3.1.6. Güneş radyasyon ler



Şekil 3.6. Güneş iŐınım radyasyon lme cihazı.

lmleri anlık olarak Watt/m^2 cinsinden ölçüm yapmaktadır. 0-1200 Watt/m^2 arasında ölçüm aralığı olan Ahlborn Fla613gs Global Radyasyon Probu kullanılmıştır. 20 ile +60 $^{\circ}\text{C}$ alıŐma sıcaklığı ve 80 x 55 x 40mm boyutlarında ve 300 gr ağırlığındadır.

3.1.7. Kondenser



Şekil 3.7. Kondenser (Yoğuşturucu).

Şekil 3.7' de görüldüğü gibi deney düzeneğinde Azak marka AK 291 (TD) tipi 8200 Watt kapasiteli 20 m² yüzey alanı olan hava soğutmalı kondenser kullanılmıştır.

3.2. Deney Setinin Genel Görünümü



Şekil 3.8. Deney setinin genel görünümü

Şekil 3.8 de parabolik güneş kolektörü sisteminin genel bir görünüşü görülmektedir. Kolektörün duruşu güneşin konuma göre hareket ettirilmektedir. Güneş enerjisine bağlı olarak sistemdeki ısı transfer yağının sıcaklığında değişimler gözlemlenmiştir. Bu akışkan ısını ORC sistemindeki kazana aktarmaktadır. Borulardaki ısı kaybını minimum seviyede tutmak için boruları yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Sistem döngüsü bu şekilde devam etmektedir. Parabolik sistemin ekipmanları aşağıda verilmiştir.

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1- sistem gidiş borusu | 4-Redüktör grubu |
| 2- parabolik kolektör absorberi | 5-kollektör dönüş borusu |
| 3- yansıtıcı yüzey | 6- yağ deposu |

3.3. Ekserji ve Enerji Analizi

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu yasasıdır. Bu yasa bir etkileşim sırasında enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, fakat enerji miktarının sabit kaldığını söyler. Yani başka bir deyişle enerjini yoktan var edilemez vardan yok edilemez ancak şekil değiştirebilir. Enerjinin, termodinamik ile ilgili bir özellik olduğunu vurgular. Termodinamiğin, ikinci yasası ise enerjinin niceliğinin yanı sıra niteliğini de inceler.

Termodinamiğin ikinci kanunu, fiziğe geri döndürülemez (tersinmez) olaylar düşüncesini getirdi. Bu kanuna göre fiziksel hadiselerde geri döndürülemez belirli bir eğilim vardır. Örneğin, bir bardak sıcak çay etrafına ısı vererek soğur ve hiç bir zaman çayımız verdiği ısıyı kendiliğinden toplayıp eski haline gelmez. Aynı zamanda entropi, ekserji gibi kavramları da açıklar.

Termodinamik sistemlerin analizinde ve termik sistemlerin optimizasyonunda termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları birlikte değerlendirilerek analizlerin yapılması gerekir. Birinci kanun enerji dengesini, ikinci kanun tersinmezlik, entropi üretimi ve daha ileri aşamada ekserji analizini ele almaktadır (Çengel ve Boles 2008).

Sürekli akışlı açık sistemde, akışkan kontrol hacminde sürekli bir akış vardır. Akışkanın özellikleri kontrol hacmi içinde bir noktadan diğer noktaya farklılıklar gösterebilir, fakat verilen noktada zamanla değişmez.

Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanda değişmez. Sisteme giren kütle ile sistemden çıkan kütle birbirine eşittir. Sürekli akışlı açık sistemleri çözümlerken, bir zaman sürecinde sisteme giren veya çıkan kütleden çok birim zamanda akan kütle veya kütle debisi önem kazanır. Birçok giriş ve çıkışı olan sürekli akışlı açık sistem için kütle korunumu ilkesi aşağıdaki gibidir (Çengel ve Boles, 2008).

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right)$$

$$\Sigma \dot{m}_g = \Sigma \dot{m}_ç \quad (3.1)$$

Enerji analizi, termodinamiğin birinci kanunu olan enerjinin korunumu prensibine dayanır. Enerjinin korunumu denklemleri, sistem ile çevre arasında gerçekleşen iş ve ısı etkileşimlerinin net etkisinden türetilir. Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacminin toplam enerjisi sabit olduğu belirtilmiştir. Böylece kontrol hacmine ısı, iş ve kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması gerekir. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin birinci yasasına göre enerji korunumu aşağıdaki gibi yazılabilir (Çengel ve Boles, 2008).

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{sınırları} \\ \text{geçen toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda çıkan} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda çıkan} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{giren toplam enerji} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_ç Q_ç - \Sigma \dot{m}_g Q_g \quad (3.2)$$

Bu bağıntı genellikle enerjinin korunumuna karşılık gelmekte ve herhangi bir hal değişiminde gerçekleşen herhangi bir sistem için uygulanabilir olmaktadır. Bu bağıntının mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılması,

enerjinin farklı biçimlerinin anlaşılmasına ve enerji geçişi biçimlerinin fark edilmesine bağlıdır.

Termodinamiğin ikinci yasası sadece hal değişimlerinin yönünü belirlemekle sınırlı değildir. İkinci yasa enerjinin niceliğinin yanında niteliğinde inceler. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısıyı işe dönüştüren hiçbir makinenin verimi % 100 olamaz, yani ısının tamamı işe çevrilemez (Çengel ve Boles 2008).

Sürekli akışlı açık sistemin birden çok girişi ve çıkışı olduğu, sistemin P_0 basıncında ve T_0 sıcaklığındaki çevre şartlarında ısı alış verişinde bulunabileceği kabul edilir. Aşağıdaki ikinci yasa çözümlenmesi lüle, kompresör, pompa, ısı değiştiricileri gibi içinde sürekli akış olan açık sistemler için kullanılır (Çengel ve Boles, 2008).

Tersinir iş belirli iki hal arasındaki hal değişimi sırasında bir sistemden elde edilebilecek en çok yararlı iş diye tanımlanabilir ve w_{tr} ile gösterilir. Bu iş ilk ve son haller arasındaki hal değişimi tümünden tersinir olarak gerçekleştiği zaman elde edilir. Son hal ölü hale eşit olduğunda tersinir iş kullanılabilirliğe eşittir. Tersinmezlik ise tersinir iş ile gerçek iş arasındaki farktır. Aynı zamanda tersinmezlik işlemlerdeki net entropi değişimi ile ölü hal sıcaklığının çarpımına eşittir. Net entropi değişimi pozitif olduğundan tersinmezlikler de daima pozitifdir (Çengel ve Boles, 2008).

Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin ikinci yasası aşağıdaki gibi yazılır;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_{c-} - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_A}{T_K} \quad (3.3)$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \begin{cases} > 0 \text{ tersinmez hal değişimi} \\ = 0 \text{ tersinir hal değişimi} \\ < 0 \text{ gerçekleşmesi olanaksız} \end{cases}$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde bir giriş ve bir çıkışı varsa tersinir iş aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} \left[(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) + \frac{V_g^2 - V_c^2}{2} + g(z_g - z_c) \right] \quad (3.4)$$

Veya sistemden geçen birim kütle için;

$$W_{tr} = \left[(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) + \frac{V_g^2 - V_c^2}{2} + g(z_g - z_c) \right] \quad (3.5)$$

$$W_{tr} = T_0 \Delta s - \Delta h - \Delta ke - \Delta pe \quad (3.6)$$

Sürekli akışlı açık bir sistemin bir girişi ve bir çıkışı varsa potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilirse, tersinir iş;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c)] \quad (3.7)$$

Bir giriş ve çıkışlı sürekli akışlı açık bir sistem için;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} (\psi_g - \psi_c) \quad (3.8)$$

Akış kullanılabilirliği ψ ile gösterilir, denklemde giriş hali indissiz, çıkış halide ölü hal olmak üzere 0 indisi ile gösterilirse, ($V_0 = 0, Z_0=0$)

$$e = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (3.9)$$

elde edilir. Bir açık sistemde birim zamanda tersinmezlik i veya birim kütle için tersinmezlik I , tersinir iş ile yararlı iş arasındaki farktır.

$$i = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (3.10)$$

Birim kütle için tersinmezlik ise;

$$I = w_{tr} - w_y = \dot{m} \cdot T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (3.11)$$

Tersinmezlik, harcanmış iş potansiyeli veya iş yapmak için kaybedilmiş fırsat olarak görülebilir. İşe dönüştürülebileceği halde dönüştürülmemiş olan enerjiyi temsil eder. Bir sistemin tersinmezliği ne kadar küçük olursa, iş üretimi o kadar büyük olur (Çengel ve Boles, 2008).

Birinci yasa verimi mühendislik sistemlerinde olabilecek en iyi ölçü olarak almaz ve bu durumda bazen yanlış değerlendirmelere yol açabilir. Birinci yasa verimi mühendislik sistemleri için tek başına bir başarı ölçüsü olmayacağı görülmektedir. Bu yetersizliği gidermek için ikinci yasa verimi tanımlanmıştır (Çengel ve Boles 2008).

İkinci yasa verimi ise, gerçek ısı veriminin, aynı koşullarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısı verime oranıdır (Çengel ve Boles, 2008).

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} \text{ (ısı makineleri için)} \quad (3.12)$$

İkinci yasa verimini tanımlamadaki amaç tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaştığını belirlemektir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır, en iyi durumda bir olacaktır. Buna göre ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\eta_{II} = \frac{\text{sistemden elde edilen ekserji}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}}$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\text{ekserji yok oluşu}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}}$$

İkinci yasa verimi makineden elde edilen yararlı işin elde edilebilecek en çok işe (tersinir) oranı olarak tanımlanır.

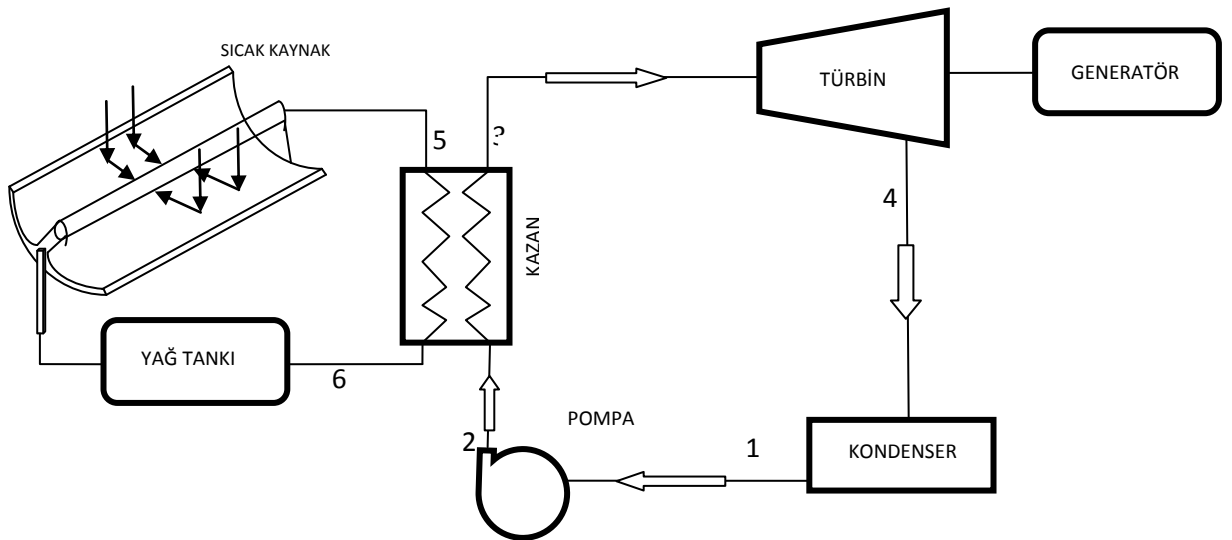
$$\eta_{II} = \frac{\dot{w}_y}{\dot{w}_{tr}} \text{ (iş yapan makineler için)} \quad (3.13)$$

İkinci yasa verimi kompresör ve soğutma makineleri gibi iş gerektiren makineler içinde tanımlanabilir. Bu durumda ikinci yasa verimi gerekli en az işin (tersinir), yapılan yararlı işe oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{w}_{tr}}{\dot{w}_y} \quad (\text{iş gerektiren makineler için})$$

3.4. Parabolik Kolektörlü Organik Rankine Çevriminin Enerji Ve Ekserji Analizi

Şekil 3.9' da parabolik kolektörlü Organik Rankine çevriminin tesisat şeması verilmiştir. Bu çevrimde aracı akışkan olarak R-134a soğutucu akışkan seçilmiştir. Bu akışkan çevre dostu bir gaz olması ve son zamanlarda geniş kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır. Soğutma sistemlerinde önemli yer teşkil eder. Kritik sıcaklığı 102.4 °C, ve kritik basıncı ise 37.4 bar dır. Bu sistemde kazanda buharlaşma ısı güneş enerjisinden elde edilecektir.



Şekil 3.9. Sistemin tesisat şeması

Sisteme 1–2 arasında kondenserden gelen soğutucu akışkan pompa yardımıyla evaporatöre basılır. Parabolik kolektörden gelen yüksek sıcaklıktaki ısı transfer yağı ısıyı evaporatördeki düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkana aktarır. Evaporatör çıkışında basınç ve sıcaklığı artan soğutucu akışkan türbine gelerek genişleme

meydana gelir ve düşük basınca ulaşır. Kondenserde yoğuşan akışkan pompaya gelir ve sistem bu şekilde döngüyü sağlar.

Birinci ve ikinci kanun analizi için sistemdeki kabuller;

Pompa giriş basıncı 10-20 Bar	Pompa çıkış basıncı 20-30 Bar
Pompa izantropik verimi 0.80 (%)	Pompa verimi 0.80-0.90 (%)
Kazan sıcaklığı 80-100 (°C)	Türbin izantropik verimi 0.80 (%)
Türbin verimi 0.80 (%)	Kondenser hava soğutmalı
Akışkan R-134a	Akışkan debisi 100 ($\frac{g}{sn}$)

-Yoğunlaştırma oranı;

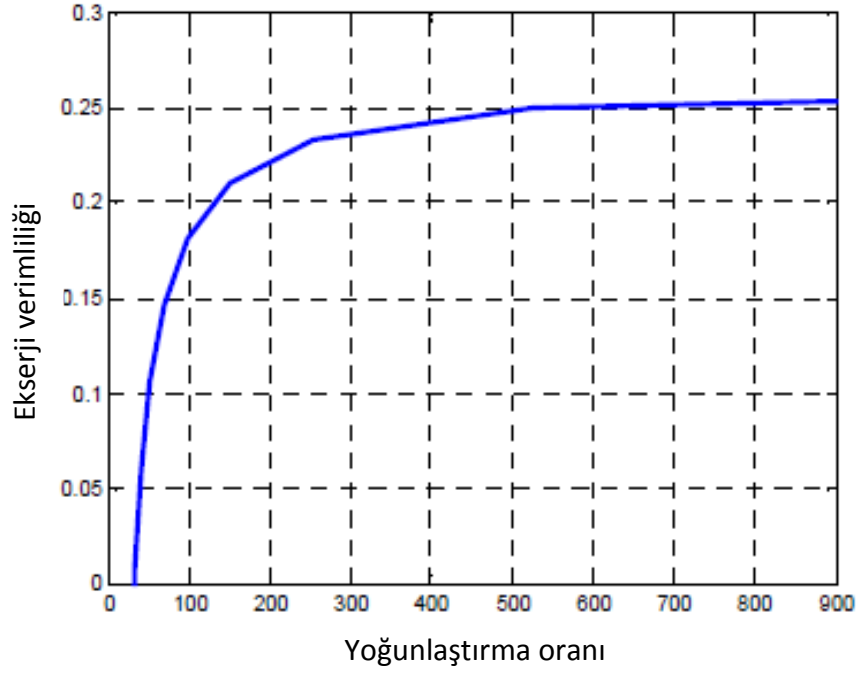
$$C = \frac{\text{Açıklık Alanı}}{\text{Alıcı Alan}} = \frac{A_a}{A_r} \quad (3.14)$$

-Açıklık alanı

$$A_a = D \times L \quad (3.15)$$

-Alıcı Alan

$$A_r = \pi \times d \times L \quad (3.16)$$



Şekil 3.10. Yoğunlaştırma oranına bağlı olarak ekserji veriminin değişimi (Ngo, 2012).

Denklem (3.14)'e göre yukarıdaki grafikten kolektörün ekserji verimini belirlenir.

-Sisteme giren ekserji oranı

$$E_{g,r} = I_b \times A_a \times \eta_p \quad (3.17)$$

-Petela verimliliği

$$\eta_p = 1 - \frac{4T_a}{3T_s} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 \quad (3.18)$$

Petela verimliliği güneşten gelen radyasyonun kullanılabilir kısmını ifade eder.

-Kolektörün tersinmezliği

$$I_k = E_{g,r} - (E_{g,r} \times \eta_{ex,k}) \quad (3.19)$$

Sistemin ekserji ve enerji hesaplamalarında mühendislik hesaplamalarında kullanılan ve kolaylık sağlayan Engineering Equation Solver (EES) adlı program kullanılmıştır. Bu program termodinamik ve ısı transferi çözümleri için denklemler içerir ve kolaylık sağlamaktadır.

$$A_a = 1,72 \text{ m}^2$$

$$A_r = 3,14 \times 0,01 = 0,314$$

$$C = 54,77$$

Sistemin yoğunlaştırma oranı 54,77 olarak bulunmuştur. Şekil 3.10 daki grafik yardımıyla parabolik kolektörün verimi bulunur. Güneş radyasyonunu kolektör açıklık alanı ile çarpılarak sistemdeki kolektör yüzeyine gelen enerji hesaplanır. Boru yüzeyine gelen enerji yoğunluğu ise kolektör yüzeyine gelen enerjinin yutucu yüzeye bölünmesiyle bulunur.

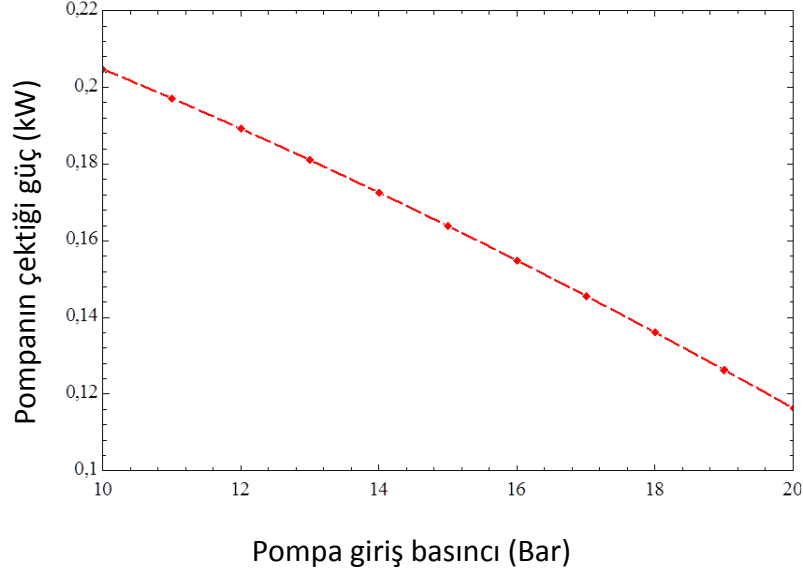
Çizelge 3. 1. Temmuz ve ağustos ayları için Isparta şartlarında parabolik güneş kolektörü sistemine gelen güneş radyasyon miktarına bağlı olarak kazan çıkış sıcaklık değişimi

Gün (Temmuz)	Güneşten gelen ortalama günlük ışınım değerleri (W/m ²)	Güneşlenme süresi (saat)	Kollektör yüzeyine gelen enerji (W)	Boru yüzeyine gelen enerji yoğunluğu(W/m ²)
11. gün	713,40	11,8	12270,48	39077,96
12.gün	704,97	11,9	12125,48	38616,19
13.gün	710,59	11,7	12222,15	38924,04
14.gün	697,069	11,8	11989,59	38183,4
15.gün	719,19	11,9	12370,07	39395,12
16.gün	717,73	11,9	12344,96	39315,15
17.gün	696,59	11,8	11981,35	38157,16
18.gün	757,54	9,7	13029,69	41495,82
19.gün	682,55	11,9	11739,86	37388,09
20.gün	674,51	12	11601,57	36947,68
21.gün	1158,73	5,1	19930,16	63471,83
22.gün	709,76	11,2	12207,87	38878,57
23.gün	724,07	10,3	12454	39662,43
24.gün	706,62	10,9	12153,86	38706,57
25.gün	682,11	11,6	11732,29	37363,99
26.gün	667,42	11,6	11479,62	36559,31
27.gün	742,72	7,9	12774,78	40684,03
28.gün	680,85	11,2	11710,62	37294,97
29.gün	704,21	11,1	12112,41	38574,56
30.gün	787,18	8,3	13539,5	43119,41

Çizelge 3.1’de Isparta için Temmuz ayının son yirmi günlerindeki güneşten gelen enerji miktarı verilmiştir. Bu değerler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Parabolik kolektöre gelen enerji yoğunlaştırılarak kazana aktarılmaktadır. Bu sistemde % 20 değerinde kayıp alınmıştır. Yaklaşık olarak hesaplamalar sonucu kazan çıkış sıcaklığı 80-110 (°C) arasında değiştiği görülmüştür. Hesaplamalarda kazan çıkış sıcaklığı bu değerlere göre incelenmiştir.

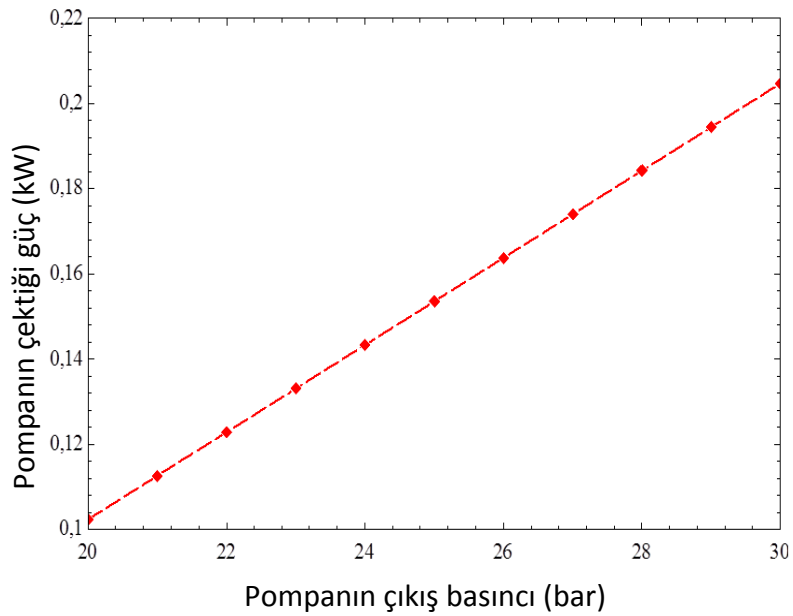
4.ARAŞTIRMA BULGULAR

Parabolik kolektörlü Organik Rankine Çevriminde elde edilen bulguların sunulması.



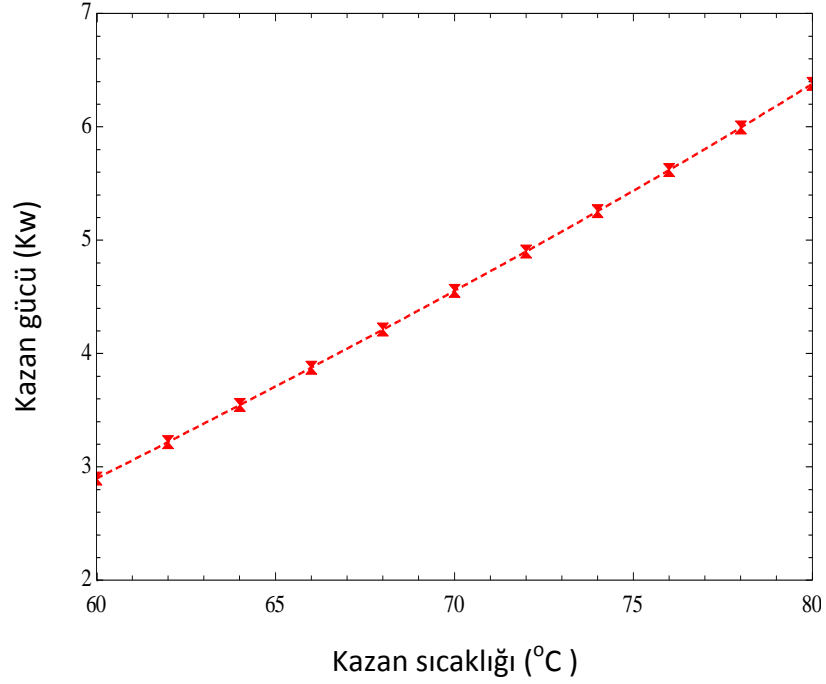
Şekil 4.1. Pompa giriş basıncı göre pompanın çektiği güç

Kütleli debi 1 kg/s'dir. Pompa 10 bar sabit basınçta, kazan sıcaklığı 80 °C sabit sıcaklıkta pompanın giriş basıncıyla pompanın çektiği gücün değişim grafiği. Pompanın giriş basıncı arttığında pompanın çekmiş olduğu güç azaldığı görülmektedir.



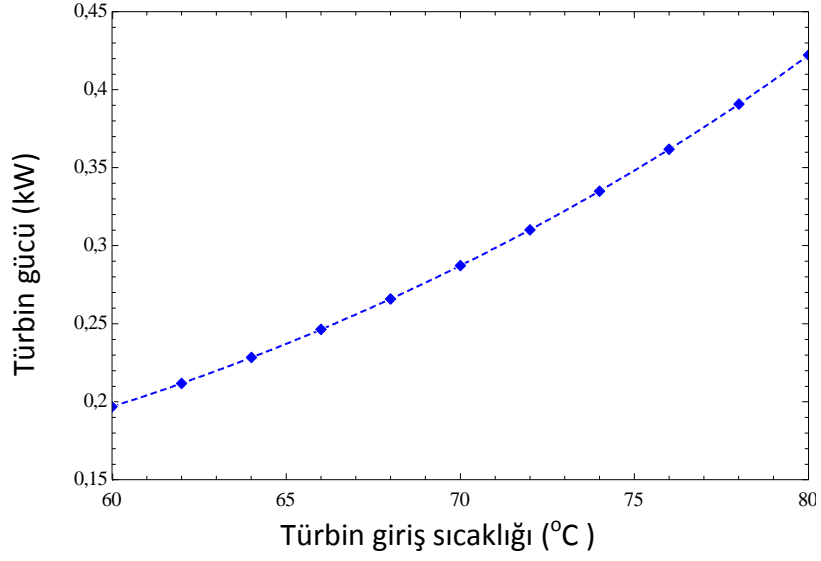
Şekil 4.2. Pompa çıkış basıncına göre pompanın çektiği güç

Kütlesel debi 1 kg/s'dir. Pompanın giriş basıncı 5 barda sabit, kazan sıcaklığı 80 °C de sabit pompanın çıkışı 20-30 bar arasında değiştirilerek, pompanın giriş basıncıyla pompanın çektiği gücün değişim grafiği. Pompanın giriş basıncı arttığında pompanın çekmiş olduğu güç azaldığı görülmektedir.



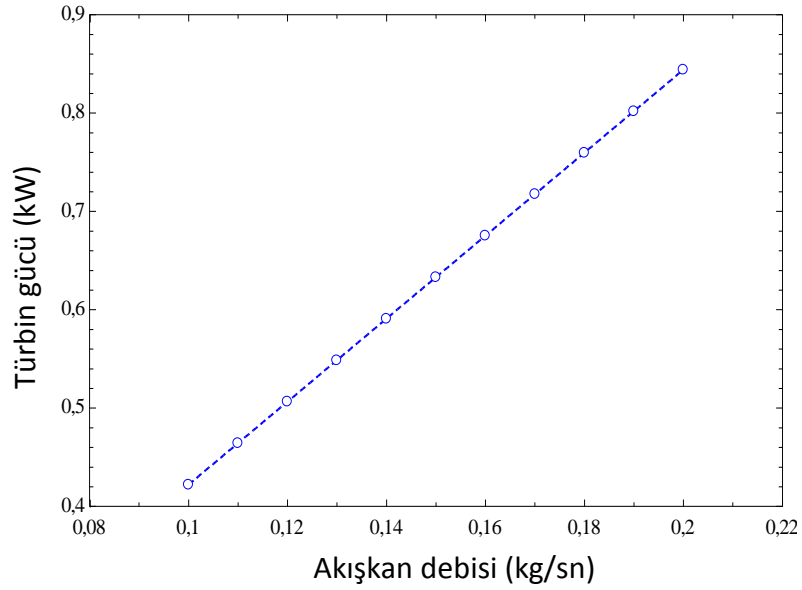
Şekil 4.3 Kazan sıcaklığına göre kazanın gücü

Kazan giriş basıncı 30 barda sabit tutulduğunda kazan sıcaklığının artmasıyla kazan gücünün değişimini gösteren grafik. Şekilden de anlaşıldığı üzere sabit giriş basıncı altında kazan sıcaklığını arttırdığımız zaman kazan gücünün de sıcaklığa bağlı olarak arttığını görmekteyiz.



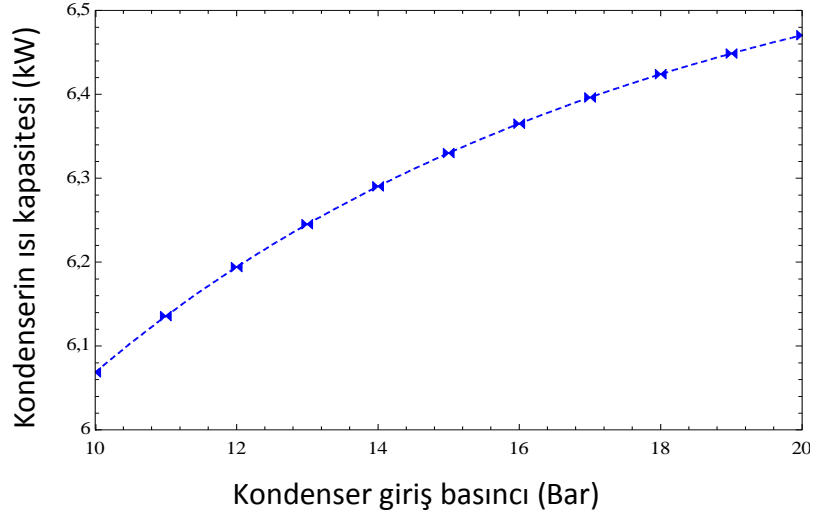
Şekil 4.4. Türbin giriş sıcaklığına göre türbinin gücü

Şekilde görüldüğü gibi türbin giriş basıncı 30 bar, çıkış basıncı 10 barda sabit ve türbin verimi % 80 olduğu durumda türbin giriş sıcaklığı arttıkça türbin gücünün de arttığı görülmektedir.



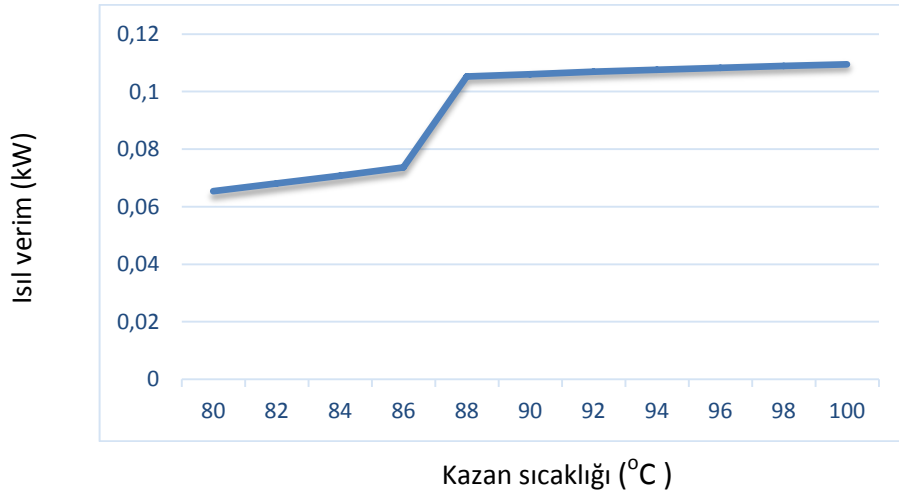
Şekil 4.5. Akışkan debisine bağlı türbin gücü

Türbin giriş basıncı 30 bar, çıkış basıncı 10 barda sabit ve türbin verimi % 80 olduğu durumda akışkan debisine bağlı olarak türbin gücünün arttığı gözlenmektedir.



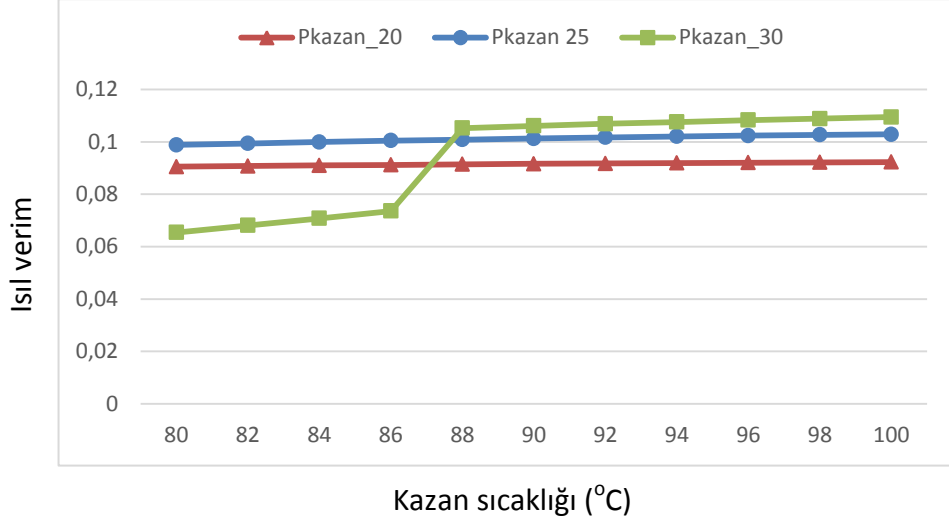
Şekil 4.6. Kondenser basıncına göre kondenserin ısı gücü

Kondenser giriş basıncı attıkça kondenserin çektiği güç artmaktadır.



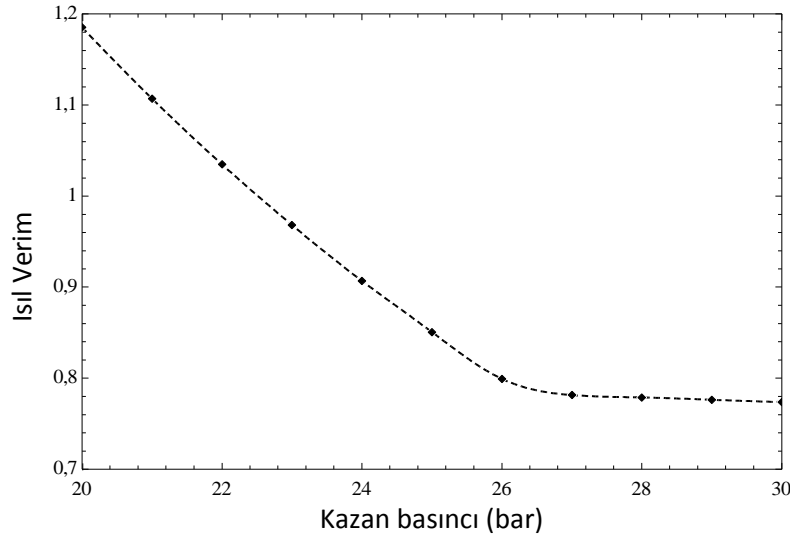
Şekil 4.7. Kazan sıcaklığına göre sistemin ısı verimi

Pompa giriş basıncı 10 bar, pompa çıkış basıncı 30 barda sabit, pompa verimi %80 olduğu durumda sistemin ısı veriminin değişimi şekilde görülmektedir. R134a akışkanının kritik sıcaklığına doğru yaklaşıncaya sistemin veriminde ani değişimler görülmektedir.



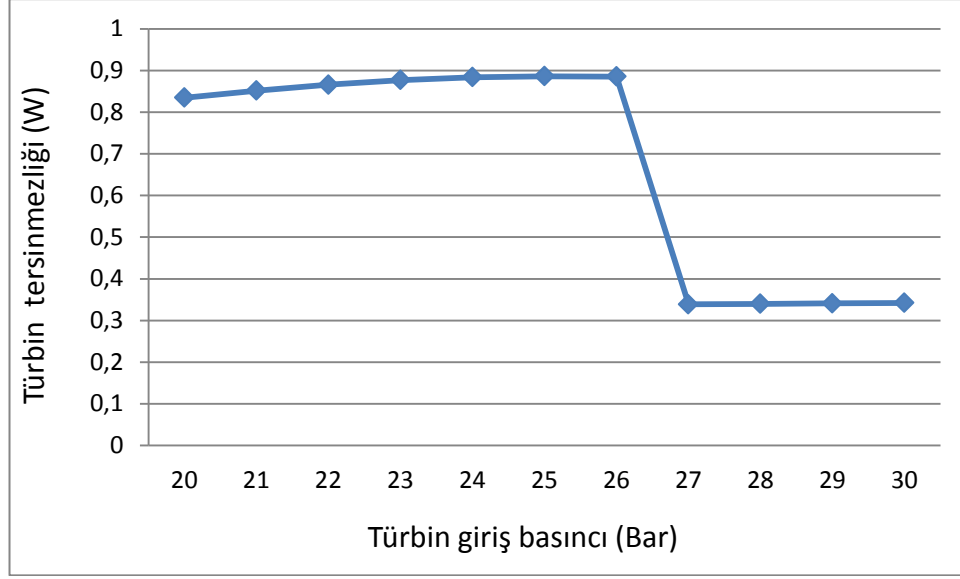
Şekil 4.8 Kazan sıcaklığı ve kazan basıncına göre sistemin ısı verim değişimi

Kazan sıcaklığı 80-100 °C arasında değişirken kazan basıncını da kademeli olarak arttırdığımızda ısı verimlerin değişimini yukarıdaki grafikte görülmektedir.



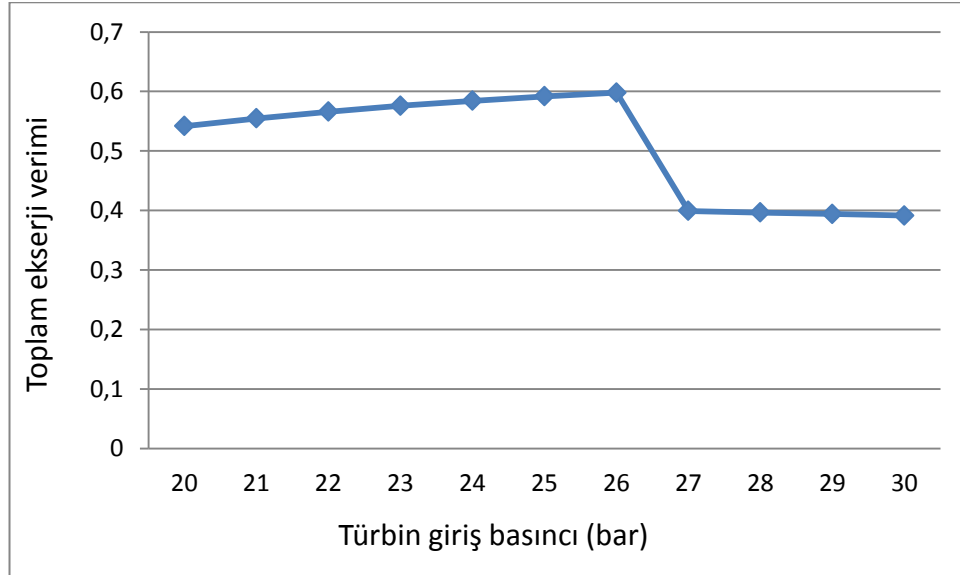
Şekil 4.9. Kazan basıncına göre sistemin ısı verimi

Kazan basıncı ile ısı verim değişimini yukarıdaki grafikte görmekteyiz. Kazan basıncı arttıkça belirli bir değere kadar ısı verim azalırken daha sonra sabit kalmaktadır.



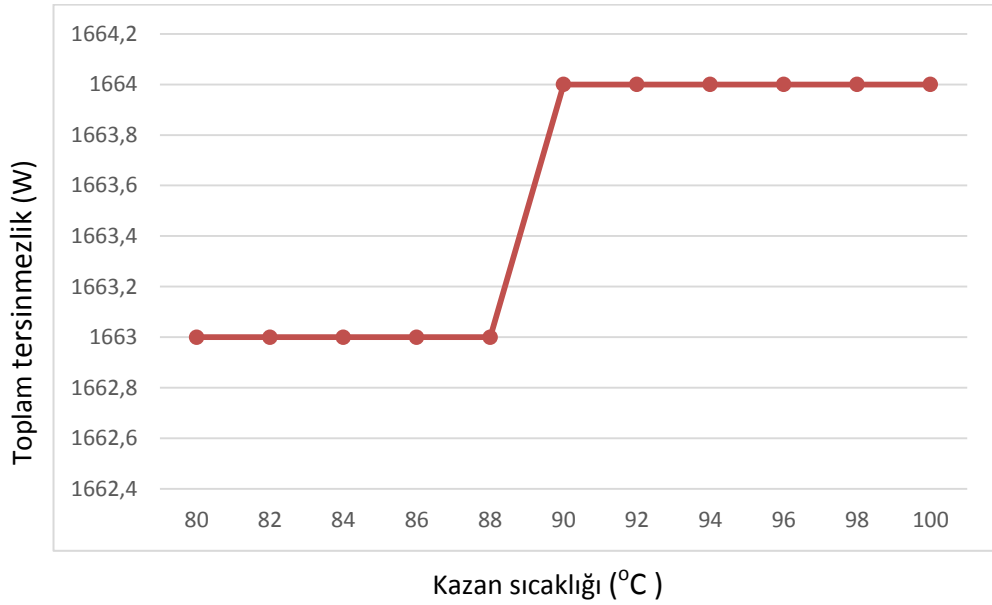
Şekil 4.10. Türbin giriş basıncına göre türbinin tersinmezlik değişimi.

Türbin giriş basıncı arttıkça belirli bir süre kazan tersinmezliğinde küçük değişimler meydana gelmektedir. Fakat 26 bar giriş basıncında ani bir düşüş ve sonrasında tersinmezliğin basınç artmasıyla birlikte rejime girdiği görülmektedir.



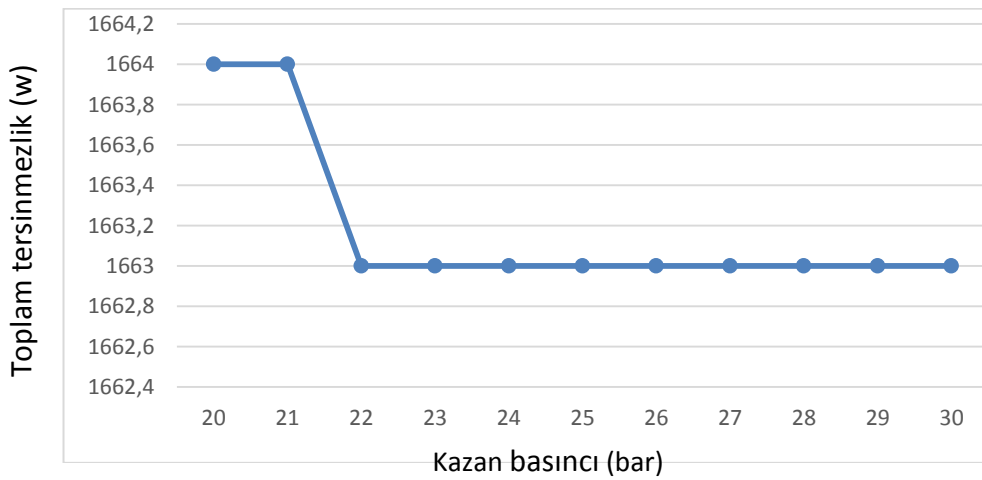
Şekil 4.11. Türbin giriş basıncına göre sistemin toplam ekserji değişimi.

Türbin giriş basıncını artmasıyla toplam ekserjide küçük değişimler olduğunu fakat 26 barda ani bir düşüş ve basınç artmasıyla birlikte rejim haline girmiş olduğunu gözlemektedir.



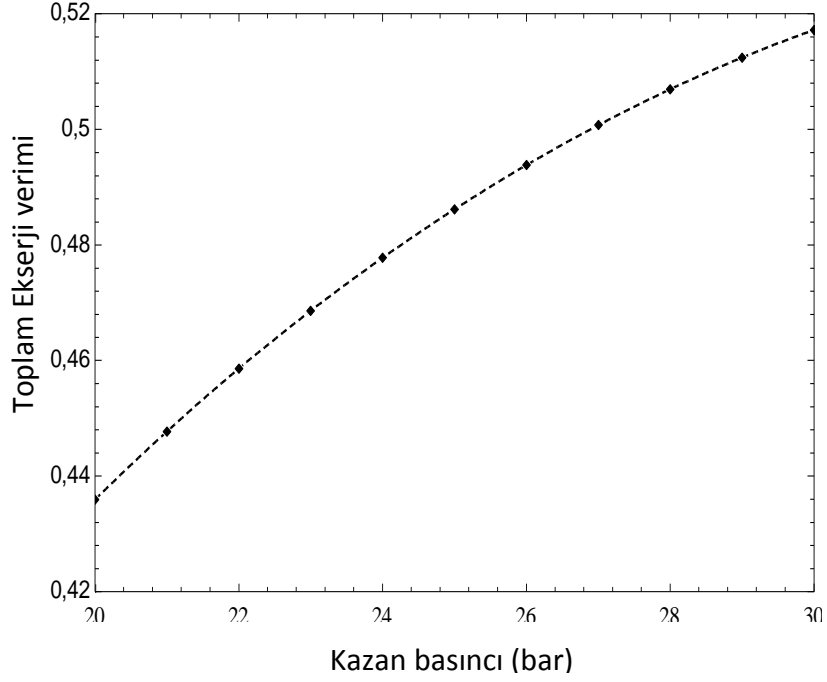
Şekil 4.12. Kazan sıcaklığına göre sistemin toplam tersinmezliği.

Pompa giriş basıncı 10 bar çıkış basıncı 30 bar da sabit tutulup kazan sıcaklığı 80-100 °C arasında kademeli olarak arttırıldığında sistemin toplam tersinmezliği artmaktadır. Toplam tersinmezlik ekserjiyle ters orantılı olduğu için ekserji azalmaktadır.

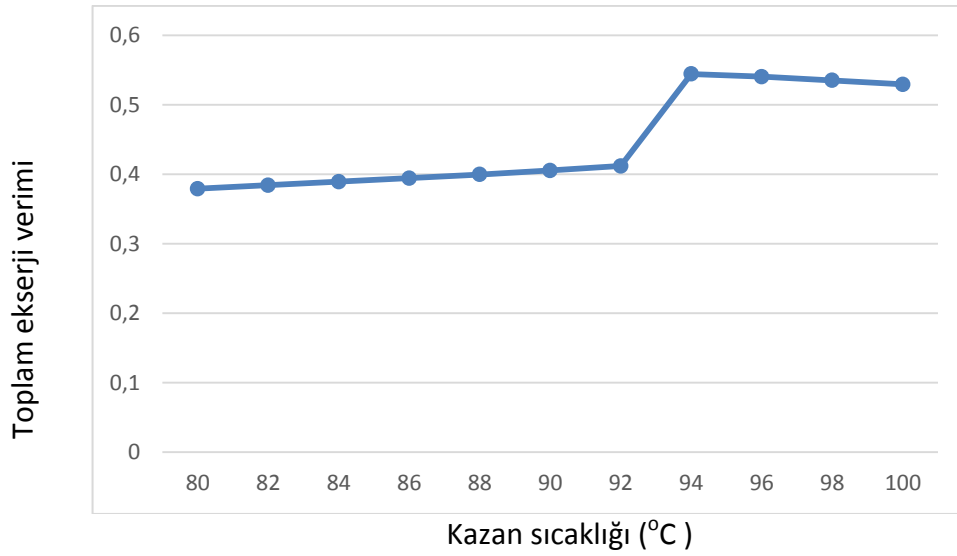


Şekil 4. 13. Kazan basıncına göre sistemin toplam tersinmezliği.

Pompa giriş basıncını 10 bar da sabit tutup, pompa ve türbin verimleri %80 pompanın çıkış basıncı 20-30 bar arasında kademeli olarak arttırıldığında sistemin toplam tersinmezliği azalmaktadır. Bu da sistemdeki toplam ekserji veriminin arttığının göstergesidir.



Şekil 4.14. Kazan basıncına göre sistemin toplam ekserji değişim



Şekil 4. 15.Kazan basıncına göre sistemin ekserji verimi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş ışınımının faydalanabilir ısıya dönüştürdüğü enerji dönüşüm sistemlerinde, sistem ısı performansını belirleyen en önemli parametre ısı verim olarak kabul edilmektedir. Ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi güneştir. Günümüzde kurutma, su ve mekan ısıtma gibi alanlarda güneş enerjisi yaygın olarak kullanılsa da enerji üretim amaçlı güneş enerjisi teknolojilerinin kullanılması sağlanamamıştır. Ülkemizdeki enerji ihtiyacı göz önüne alındığında güneş enerjisi teknolojisi geliştirilerek, bu enerjiyi ihtiyaç olan diğer enerjilere çevirecek makineler üzerinde yapılan çalışmaları yaygınlaştırmak gerekmektedir.

Güneş ışınlarını odaklayan sistemlerin optik verimi parabolik yansıtıcı yüzeyin biçimlendirilmesine, pürüzlülük durumuna, emici borunun konumuna gibi tasarımsal faktörlerin yanı sıra; yüzey kirliliği, yüzey bozunumu, ısıl deformasyon işletme etkilerine de bağlıdır.

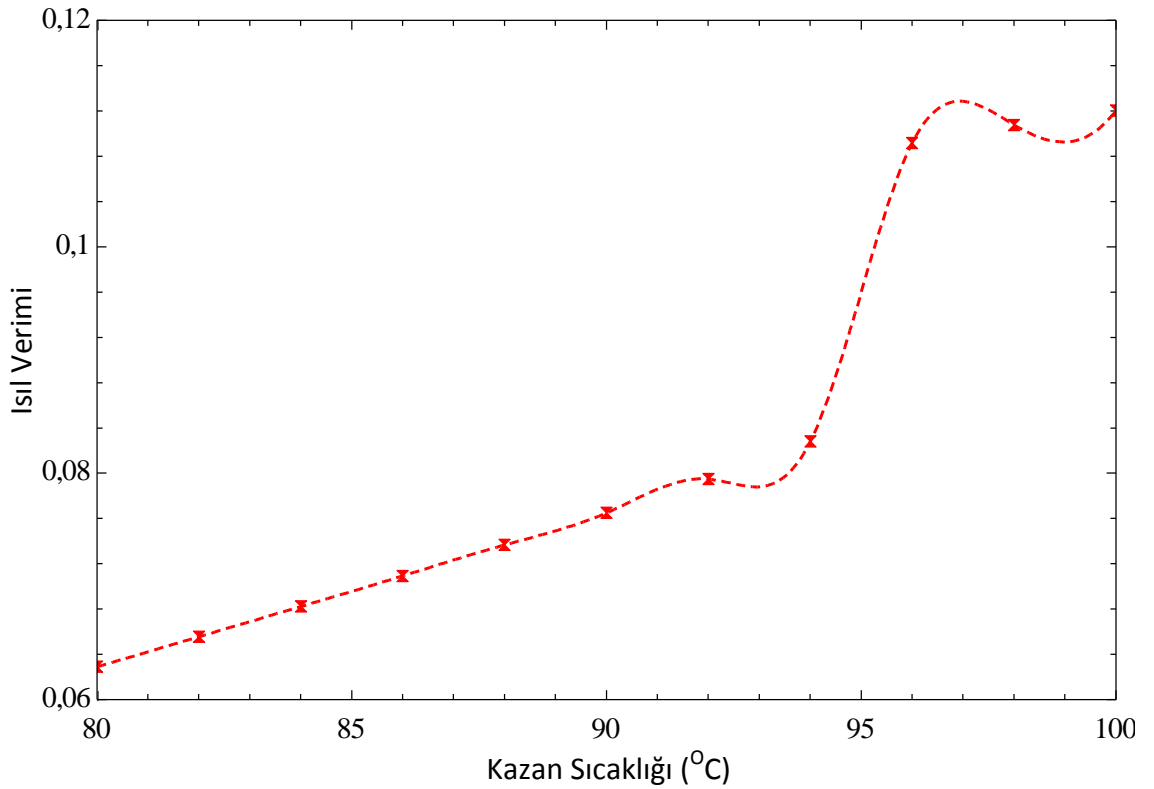
Yüksek enerji ve ekserjetik verimi elde edebilmek için bu sistemlerde doğru bir akışkan seçimi yapılmalıdır. Dahası bu seçim yapılırken akışkanın küresel ısınma potansiyeli ve sera etkileri de göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmaya yönelmemizdeki amaç daha önce ülkemizde bu konuda tez yapılmamış olmasından dolayıdır. Ülkemizde bu konuda eksikliğin olduğunu ve daha sonraki çalışmalarda öncülük yapması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada parabolik kolektörlü Organik Rankine Çevriminin Isparta şartlarında ekserji ve enerji analizleri incelenmiştir. Çalışma ayı olarak Temmuz ayının son 20 günü seçilmiştir. 6 metre uzunluğunda 1.72 m uzunluğundaki parabolik kolektörün yoğunluğu 54,77 bulunup, bu değere bağlı olarak parabolik kolektörün ekserji verimi yaklaşık olarak % 23 olarak hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan olarak R-134a akışkanı seçilmiştir. Bu akışkanı seçilme amacı ise daha literatürden bu akışkanın yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

Bu değere göre Organik Rankine Çevrimi dizayn edilmiş ve güneşten gelen radyasyon yoğunlaştırma oranı ile çarpılarak % 20 kayıp ile kazana aktarılan yaklaşık enerji miktarı hesaplanmıştır.

Pompa giriş basıncı 10 bar çıkış basıncı 30 bar iken kazan sıcaklığı 100 °C de sistemin ısı verimi 0.112 olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında sistemin toplam ekserji verimi 0,5292 ve toplam tersinmezlik 1664 kw olarak hesaplanmıştır.

Güneş den gelen enerji miktarı 1158 W/m² olarak ölçüldüğü zaman kazan çıkışında yaklaşık olarak 100 (°C) sıcaklık elde edilmiştir. Pompa çıkış basıncımız 30 bar, pompa giriş basıncımız 10 bar çevre sıcaklığı 21 (°C) 'de bu sistemin ısı verimi 0.112 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Kazan sıcaklığına göre sistemin ısı verimi

Şekil 5.1 de görüldüğü gibi güneşten gelen radyasyon miktarı arttıkça kazana gelen enerji miktarı artmaktadır. Kazan sıcaklığına 80- 100 °C olarak kademeli olarak

arttırıldığında sistemin ısı verimi de buna bağılı olarak artmaktadır. Akışkanın kritik sıcaklığı 101 °C ye doğru yaklaştıkça sistemin ısı veriminde ani artışlar görölmektedir.

R-134A gazı iki karbon (C), iki hidrojen (H) ve dört flor (F) atomundan oluşmakta olup ve R-134A klor içermez. Bu sebeple ozon tahrip katsayısı sıfırdır. R-134A mineral yağ içinde düşük çözünürlük özelliğe sahiptir. R-134A'nın farklı moleküler yapısından dolayı kloroflorokarbonlarla karıştırıldığında difüzyon karakterlerinin farklı olmasından dolayı soğutucunun dolaştığı boru, örneğin otomotiv iklimlendirilmesindeki boruların iç kısmının polyamit maddelerden yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu sebeplerden dolayı bu sistemde aracı akışkan olarak R-134a soğutucu akışkanı seçilmiştir.

Yapılan çalışmada sonucu sistemin, kapalı hava şartlarında ısı uygulamalar için uygun olmadığı ancak açık hava şartlarında düşük ve orta sıcaklık uygulamaları için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ANONYMOUS, 2004. http://www.eere.energy.gov/solar/sh_basics.html.
- Arslan, O. and Yetik, O., 2011. ANN based optimization of supercritical ORC-Binary eothermal power plant: Simav case study. *Applied Thermal Engineering*, 31, 3922-3928.
- Kundu, B., 2002 "Performance analysis and optimization of absorber plates of different geometry for a flat-plate solar collector a comparative study" , *Applied Thermal Engineering*, 22 (9), 999.
- BECKMANN, W.A. vd. 1997. *Solar Heating Design*. s.13-30.
- Bombarda, P., Invernizzi, C. M., Pietra, C., 2010. Heat recovery from Diesel engines: A thermodynamic comparison between Kalina and ORC cycles. *Applied Thermal Engineering*, 30, 212–219.
- Borjon, A. , Belledent J. , Trouiller, Y. , Patterson, K. , Lucas, K. , Gardin, C. , Couderc C: , Rody Y., Sundermann, F. , Urbani, J.C. , Baron, S., Foussadier, F. , Schiavone P., 2006. Critical failure ORC: Improving model accuracy through enhanced model generation. *Microelectronic Engineering*, 83, 1017–1022.
- Chacartegui, R., Sánchez, D., Muñoz, J.M., Sánchez, T., 2009. Alternative ORC bottoming cycles FOR combined cycle power plants. *Applied Energy*, 86, 2162–2170.
- Chen, Y., Lundqvist, P., Johansson, A., Platell, P., 2006. A comparative study of the carbon dioxide transcritical power cycle compared with an organic rankine cycle with R123 as working fluid in waste.
- Çengel, Y.A and Boles, M.C., 2008. *Termodinamik mühendislik yaklaşımıyla* 5. Baskı. İzmir güven kitap evi, İzmir.
- Delgado-Torres, A. M., Garcia-Rodriguez, L., 2012. Design recommendations for solar organic Rankine cycle (ORC)–powered reverse osmosis (RO) desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 44– 53.
- Delgado-torres, A. M., Rodríguez, L. G., 2010. Analysis and optimization of the low-temperature solar organic rankine cycle (orc). *Energy conversion and management*, 51, 2010 2846–2856.
- Ekmekçi, ., Dizdar, H., Özçelebi, S., Altuntop, N., Tekin, Y., _lbas, M., Uzunoglu, M. Yüksel, R. Ok, M., Alaçakır, F.B.T., Korucu, Y., Dogan, M.,Güler, C., Akgül, M., 2001. "Kocaeli için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi V boyutlandırılması, Güneş enerjisi tesisatı kollektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime etkisinin deneysel incelenmesi,Güneş enerjisi

ve kullanım alanları, Güneşi izleyen sistemin sabit sisteme, göre kıyaslanması, Sanayilesme ve çevre sorunları, Enerji üretiminde odun ve tarımsal artıkların değerlendirilmesi", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, 35 - 42, 43 -52, 89, 115 - 120, 245 -246, 265.

Ertunç, M., 1997. "Düzlemsel güneş kolektörlerinin performansına etki yapan parametreler ", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24 – 25 , 28 – 29.

Fischer, J., 2011. Comparison of trilateral cycles and organic Rankine cycles. Energy, 36, 6208-6219.

Guo, T., Wang, H.X., Zhang, S.J., 2011. Selection of working fluids for a novel low-temperature geothermally-powered ORC based cogeneration system. Energy Conversion and Management, 52, 2384–2391.

H.P. Baum and J.M., 1984. Gordon, Geometric Characteristics of Ideal Nonimaging (CPC) Solar Collectors With Cylindrical Absorber, vol.33, no.5, s.455-458.

Hung, T. C., Shai, T. Y., 1997. Wang, S. K., 1996. Review of organic rankine cycles (orcs) for the recovery of low-grade waste heat. Energy vol. 22, no. 7. pp. 661-667.

Khatri, Noor M., 1991. A solar energy collection system utilizing optical fibers and compound parabolic concentrators, 125, 1.

Kartal, Y., 2007. Parabolik Yansıtıcı Yüzeyle yoğunlaştırıcı güneş kolektör Tasarımı, İzmir, 103.

Kuo, C.-R., Hsu, Kai-Han, Sung-W., Wang, Chi-C., 2011. Analysis of a 50 kw organic rankine cycle system. Energy, 36, 5877-5885.

Li, W., Feng, X., Yu, L.J. , Xu, J., 2011. Effects of evaporating temperature and internal heat exchanger on organic Rankine cycle. Applied Thermal Engineering, 31, 4014-4023.

Mago P.J., Chamra L.M., Srinivasan K., Somayaji C. 2008. An examination of regenerative organic Rankine cycles using dry fluids. Applied Thermal Engineering, 28, 998-1007.

Mehrdad G., 1984 Compound Parabolic Concentrating Collectors, Ankara, 92.

Ngo, L. C., 2012. Exergetic Analysis and Optimisation of a Parabolic Dish Collector for Low Power Application, annual-student symposium.

- Quoilin, S., Orosz, M., Hemond, H., Lemort, V., 2011. Performance and design optimization of a low-cost solar organic Rankine cycle for remote power generation. *Solar Energy*, 85, 1) 955–966.
- Özden H., Paul D., 2011. Organik Rankin Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi. Örnek Çalışma: Sarayköy Jeotermal Santrali. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 13-16 Nisan, İzmir, 101-108.
- Ramazan Yılmaz, Parabolik yansıtıcılı güneş kolektörleri imal ve testi, Ankara, 94p, 1989 Khatri, Noor M., A solar energy collection system utilizing optical fibers and compound parabolic concentrators, 125p, 1991.
- Saitoh, T., Yamada, N., Wakashima, I., 2007. Solar Rankine cycle system using scroll expander. *Journal of Environment and Engineering*, 2, 708-719.
- Schoenmaker, J., Rey, J.F.Q., Pirota, K.R., 2011. Buoyancy organic Rankine cycle. *Renewable Energy*, 36, 999-1002.
- Schuster, A., Karellas, S., Kakaras, E., Spliethoff, H., 2009. Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1809–1817.
- Stoppato, A., 2011. Energetic and economic investigation of the operation management of an Organic Rankine Cycle cogeneration plant. *Energy*, 36, 1-7.
- Sun, J., Li, W., 2011. Operation optimization of an organic rankine cycle (ORC) heat recovery power plant. *Applied Thermal Engineering*, 31, 2032-2041.
- Wei, D., Lu, X., Lu, Z., Gu, J., 2006. Performance analysis and optimization of organic Rankine cycle (ORC) for waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 48, 1113–1119.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet ÖZDEMİR
Doğum Yeri ve Yılı : Erzurum, 1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ahmtzdmr@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Erzurum Adnan Menderes Lisesi, 2000
Ön lisans : ATAUNİ, Pasinler Meslek Yüksekokulu Doğalgaz ve Isıtma Sistemleri, 2007
Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği, 2010
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2011-

Mesleki Deneyim

Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Memur

Yayınları ve Sunumlar:

Selbaş,R.,Dostuçok,İ.,Özdemir,A.,Yılmaz,F., Isı Pompası.Termo-Klima. Haziran 2011 Sayı:32 Sayfa138-145

Selbaş,R.,Şencan Şahin,A.Yılmaz,F.Özdemir,A.,A.Dostuçok,İ.,Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi-I.Termo-Klima. Ağustos 2011 Sayı:34 Sayfa140-141

Selbaş,R., ŞencanŞahin,A.Yılmaz,F.Özdemir,A.,A.Dostuçok,İ.,Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi-II.Termo-Klima. Eylül 2011 Sayı:35 Sayfa136-143

Selbaş,R., ŞencanŞahin,A.Yılmaz,F.Özdemir,A.,A.Dostuçok,İ.,Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi-III.Termo-Klima. Ekim 2011 Sayı:36 Sayfa 138-142

Selbaş.R.,Üçgül.İ.,Dostuçok.İ.,Yılmaz.F.,Özdemir.A.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Termo-Klima. Ekim 2011 Sayı:36 Sayfa 64-76

Özdemir.A,Yılmaz.F,Dikmen.E,Şencan.A,Selbaş.R,Üçgöl.İ,Bir Villanın Termoelektrik Bir Sistem İle İklimlendirilmesinin Araştırılması İklim 2011 Ulusal İklimlendirme Kongresi, Antalya(sayfa:571-579)

F.Yılmaz, A. Özdemir,R.Selbaş, A. Şencan Şahin, R. Şenol, 2012. Güneş Enerjisi (Pv) İle Sulama Sistemi, Ulusal iklimlendirme soğutma eğitimi sempozyumu, Balıkesir(380-388)

A.Özdemir, F.Yılmaz, , R.Selbaş, A. Şencan Şahin, R. Şenol, 2012. Fotovoltaik Panelleri İle Bir Konutun(Villa) İklimlendirilmesi, Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, Balıkesir(372-379)

F. Yılmaz, A. Özdemir, R. Selbaş, A. Şencan Şahin İ.Üçgöl, Ejektörlü Soğutma Sistem, S.D.Ü Yenilenebilir Enerji Kaynakları Merkezi Dergisi. (incelemede)

Dostuçok,İ.,Selbaş,R.,Şencan Şahin,A.,Özdemir,A.,Yılmaz,F., Fresnel Aynalı Güneş Odaklayıcı Ve Toplayıcılarının Isparta İli Şartlarında Uygulanabilirliğinin Araştırılması X. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu 30Nisan-2Mayıs-2012 Sayfa:417-426