

**PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL ANALİZİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Ahmet Akın BAKIR

**PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL ANALİZİ**

Ahmet Akın BAKIR

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

**KARABÜK
Haziran 2014**

Ahmet Akın BAKIR tarafından hazırlanan “PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İlhan CEYLAN
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13 / 06 / 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

...../...../2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Ahmet Akın BAKIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL ANALİZİ

Ahmet Akın BAKIR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İlhan CEYLAN

Haziran 2014, 52 sayfa

Alternatif enerji kaynakları arasında en sık kullanılan enerji türü güneş enerjisidir. Ülkemizde özellikle su ısıtma sistemlerinde düzlemsel kolektörler kullanılarak bu enerjiden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada Karabük ili mevsim şartlarına göre imalatı yapılan parabolik oluklu güneş kolektörünün kullanma sıcak suyu hazırlama performansı incelenmiş, farklı set değerlerine göre ölçümler yapılmış ve deney sonuçları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık kontrollü parabolik kolektör sisteminde en yüksek su miktarı proses kontrol cihazı 40°C'ye set edilmişken 96 kg olarak elde edilmiştir. Set edilen en yüksek sıcaklık 100°C'dir ve proses kontrol cihazı bu değere set edildiği zaman sistemde biriken su miktarı 15 kg'dır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, parabolik oluk tipi güneş kolektörü.

Bilim Kodu : 708.3.015

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PARABOLIC SOLAR COLLECTOR DESIGN, PRODUCTION AND EXPERIMENTAL ANALYSIS

Ahmet Akın BAKIR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. İlhan Ceylan

June 2014, 52 page

Solar energy is the most preferable energy among the alternative energy sources. In our country, solar energy is used especially in water heating system by using plane collectors. In this thesis the usage, performance of preparing hot water of parabolic corrugated solar collector which produced for the weather conditions of Karabük city, are measured according to different set values and, the examine results are analyzed. According to the obtained results, the highest water rate in warmth controlled parabolic collector system was 96 kg when the process controlled equipment setted to 40°C. The highest warmth which setted was 100°C and when the process controlled equipment setted to this warmth, the accumulated water rate was 15 kg.

Key words : Solar energy, parabolic trough-type solar collector.

Science Code : 708.3.015

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. İlhan CEYLAN'a (KBÜ), tezin yapımı-yazımı sırasında bana yardımcı olan değerli dostlarım Ufuk EKİNCİ ve Harun AY'a, tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme ve biricik kardeőim Sevinç BAKIR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR.....	4
BÖLÜM 3	11
GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI.....	11
3.1. KULLANIM SICAKLIĞINA GÖRE UYGULAMA ÇEŞİTLERİ.....	11
3.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları.....	11
3.1.1.1. Düzlemsel Kolektörler	11
3.1.1.2. Vakumlu Güneş Kolektörleri	13
3.1.1.3. Güneş Havuzları	13
3.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları.....	14
3.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları.....	14
3.2. GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER.....	14
3.2.1. Düzlem Yansıtıcı Düzlemsel Yoğunlaştırıcılar	15
3.2.2. Fresnel Mercekli Odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar.....	16
3.2.3. Paraboloidal Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar	17

	<u>Sayfa</u>
3.2.4. Güneş Kuleleri	18
3.2.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcıları	19
BÖLÜM 4.....	22
PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI VE İMALATI	22
4.1. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ.....	22
4.2. MEVSİM ŞARTLARINA UYGUN PLATFORM TASARIMI	23
4.3. PARABOLİK OLUK TASARIMI VE YANSITICI YÜZEY SEÇİMİ.....	23
4.4. EMİCİ BORU SEÇİMİ VE SİSTEME MONTAJI.....	25
4.5. SİSTEMDE ODAKLANMANIN GÖZLEMLENMESİ.....	26
4.6. İMAL EDİLEN SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	27
BÖLÜM 5.....	28
DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	28
BÖLÜM 6.....	36
SONUÇ VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR.....	37
EK AÇIKLAMALAR A. İMALAT RESİMLERİ	41
EK AÇIKLAMALAR B. DENEY SONUÇLARI	44
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Düzlemsel kolektör.....	12
Şekil 3.2. Güneş havuzu.....	13
Şekil 3.3. Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcı.....	16
Şekil 3.4. Frensel mercekli odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar.....	16
Şekil 3.5. Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcı.....	17
Şekil 3.6. Güneş kulesi.....	18
Şekil 3.7. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları.....	19
Şekil 3.8. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.9. Parabolik güneş santrallerinde yoğunlaştırıcıların dizilişi.....	21
Şekil 4.1. Parabolik oluklu güneş kolektörünün şematik gösterimi.....	22
Şekil 4.2. Güneş ışınları geliş açısının sistem üzerinde şematik gösterimi.....	23
Şekil 4.3. Parabolik kolektör tasarımı.....	24
Şekil 4.4. Yansıtıcı yüzey (alüminyum ayna bant).....	25
Şekil 4.5. Emici borunun sisteme montajı.....	25
Şekil 4.6. Tasarlanan sistemin çizim programında katı model gösterimi.....	26
Şekil 4.7. Odaklamanın beyaz kağıt ile gözlemlenmesi.....	26
Şekil 4.8. Sistemin kullanım sıcaklık suyu hazırlama şeması.....	27
Şekil 5.1. Enerji verimliliği – deney zamanı grafiği.....	31
Şekil 5.2. Set değeri – enerji verimliliği grafiği.....	32
Şekil 5.3. Set değeri – toplam su kütlesi grafiği.....	33
Şekil 5.4. Set değerine göre elde edilen çıkış suyu sıcaklığı, enerji verimliliği ve su kütlesi grafiği.....	34
Şekil EK A.1. Tez dâhilinde tasarlanıp imalatı yapılan sistemin düzenlenmiş fotoğrafı.....	42
Şekil EK A.2. Tez dâhilinde tasarlanıp imalatı yapılan sistemin performans anındaki fotoğrafı.....	43
Şekil EK B.1. 13.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.....	45
Şekil EK B.2. 14.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.....	46

	<u>Sayfa</u>
Şekil EK B.3. 15.10.2012 tarihi güneş ışı nım şiddeti.....	47
Şekil EK B.4. 16.10.2012 tarihi güneş ışı nım şiddeti.....	48
Şekil EK B.5. 17.10.2012 tarihi güneş ışı nım şiddeti.....	49
Şekil EK B.6. 18.10.2012 tarihi güneş ışı nım şiddeti.....	50
Şekil EK B.7. 19.10.2012 tarihi güneş ışı nım şiddeti.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Termik verimlilik tablosu.....	30
Çizelge 5.2. Ortalama termik verimlilik tablosu.....	31
Çizelge 5.3. Toplam su kütlesi tablosu.....	32
Çizelge 5.4. Set değerine göre elde edilen çıkış suyu sıcaklığı, enerji verimliliği ve su kütlesi tablosu.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$: santigrat derece
K	: kelvin
mm	: milimetre
cm	: santimetre
m	: metre
m^2	: metrekare
Θ_1 ve Θ_2	: güneş ışınımının gelme açısı
%	: yüzde
W	: watt
kW	: kilowatt
kJ	: kilojul
kg	: kilogram
$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$: amonyak – su
l_a	: oluk uç noktaları açıklığı (cm)
f	: emici boru ile alt taban arasındaki mesafe (cm)
Φ	: kenar açısı ($^{\circ}$)
ΔT	: giriş çıkış sıcaklık farkı
c_{su}	: suyun özgül ısısı

KISALTMALAR

M.Ö. : Milattan Önce

ZAE : Uygulamalı Enerji Araştırmaları (Zentrum für Angewandte
Energieforschung)

IST : Endüstriyel Güneş Teknolojileri

ASHRAE : Amerikan Tesisat Mühendisleri Derneği (American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

SKPK : Sıcaklık Kontrollü Parabolik Kolektör

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi oldukça artmıştır ve bir sorun haline gelmiştir. Dünya nüfusunun hızlı artması, teknolojik gelişmeler, yaşam standartlarının artması ve sanayileşme bu durumu tetiklemiştir. Enerji tüketimi ve üretimi arasındaki fark da gün geçtikçe açılmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu farkı azaltmak için enerji tüketimlerine bağlı olarak enerji üretimlerini arttırmaya çalışmaktadırlar. Enerji sorunu ülkelerin kendi sorunları olmaktan çıkıp dünya çapında bir sorun haline gelmiştir. Bundan dolayı ülkelerin siyasi, askeri ve ekonomik planlarının büyük bir bölümünü enerji sorunu yönlendirmektedir. Yirminci yüzyılın sonları ve yirmi birinci yüz yıldaki askeri hareketler (savaş, işgal vs.), uluslararası anlaşmalar temelinde enerji hep büyük rol oynamıştır.

Enerji ihtiyacı daha çok, konvansiyonel (fosil) kaynaklar olan kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlarla sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması küresel ısınma ve çevre kirliliğine yol açmakta, insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun nedeni fosil kaynaklı yakıtların bileşiminde bulunan karbon, hidrojen, sülfür ve diğer elementlerdir. Bu elementler yanma sonucunda tepkimelere girerek çeşitli zararlı sürümler oluşturmaktadırlar (karbondioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit vs.). Küresel ısınma sonucunda iklim değişikliği meydana gelebilmektedir. İklim değişikliği sonucu su kaynakları azalmakta, kuraklık ve orman yangınları meydana gelmekte, bulaşıcı hastalıklar artmaktadır. Gün geçtikçe ormanların azalmasıyla bu süreç daha da hızlanmaya başlamıştır.

Bütün bu nedenlerle fosil kaynaklara alternatif olabilecek sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Özellikle 1973'teki enerji krizinin ardından yoğun ilgi haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmezdir ve kendilerini yenileyebilirler. Fosil kaynaklı yakıtlar gibi çevreyi kirleticisi yoktur.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en çok kullanılan güneş enerjisidir. Güneş dünyanın en büyük enerji kaynağıdır. Emisyonu yoktur dolayısıyla çevre kirliliği yaratmaz ve bulunması kolaydır.

Güneş enerjisi üzerindeki ilk çalışmalar, ısıtma, kurutma, sıcak su elde etme ve pişirme üzerine olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte buhar üretimi ve elektrik üretimi de güneş enerjisinin uygulama alanlarına dâhil olmuştur. Özellikle güneş enerjisinden elektrik üretilmesi konusunda yapılan çalışmalar yoğunlaşmış ve güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklarda buhar elde ederek elektrik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Buhar ve buhar türbinleri kullanarak elektrik üretimi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıklara çıkmak için güneş yoğunlaştırıcı sistemler geliştirilmiştir.

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneşten gelen ışınları belirli bir bölgeye yoğunlaştıran sistemlerdir. Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarından yüksek sıcaklıklarda yararlanmak için kullanılmaktadır. İki tip güneş yoğunlaştırıcısı mevcuttur. Bunlar eksen boyunca yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılardır. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarla eksen boyunca yoğunlaştırma yapılmaktadır.

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarda, odak eksenini boyunca yerleştirilmiş emici boru içerisinden geçen akışkan, emilen enerjiyi alarak sıcaklığı yükselir. Parabolik şekilde tasarlanmış yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odak ekseninde yer alan ve eksen boyunca uzanan emici boruya yansıtır. Emici boru üzerine gelen enerji, boru içindeki akışkana verilerek akışkanın sıcaklığı artırılmış olur. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarıyla yüksek sıcaklıklara çıkılabilir (300°C ve üzeri) [1].

Hazırlanan tez çalışması kapsamında ilk olarak konuya genel bir bakış açısı kazandırmak amacıyla dünyadaki enerji sorunu, fosil kaynaklı yakıtlar ve kullanılmaları sonucundaki etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarına değinilmiş, güneş enerjisi vurgulanmış ve tezin asıl konusu olan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiş ve parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin dünyadaki uygulamaları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde güneş enerjisi uygulamaları hakkında bilgiler sunulmuştur.

Dördüncü bölümde parabolik oluklu güneş kolektörünün tasarımı ve imalatı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde imalatı yapılan sistem farklı set değerlerinde performansa tabi tutulmuş ve deney sonuçlarının analizi yapılmıştır.

Son bölüm olan altıncı bölümde sistem sonuçlarından yola çıkılarak önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Güneş enerjisinden yararlanma çok uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Archimed'in M.Ö. 250'de aynaları kullanarak güneş ışınlarını Sirakuza'yı kuşatan gemilere yoğunlaştırarak yaktığı söylenmektedir. 1600 yılında merceğin bulunmasıyla güneş enerjisi alanındaki çalışmalar artmıştır. 1860 yılında Mouchot parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınımını odaklamış ve küçük buhar makinesi yapmıştır [2].

1990 sonrası yapılan çalışmalara bakacak olursak;

Eltez, yoğunlaştırıcı tiplerinin, hareket sistemleri, ısıl özelliklerini incelemiş ve çeşitli uygulama örnekleri vermişlerdir. Çalışmasında bir tekstil fabrikasının enerji ihtiyacını ve güneş yoğunlaştırıcısının bu enerji ihtiyacına katkısını incelemiştir [3].

Tatara ve arkadaşları, 4 adet 1,27 m² açık alana sahip parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıları seri bir şekilde bağlayarak yapılan deneylerde yoğunlaştırıcıların değişik şartlarda performans eğrilerini elde etmiştir. Deneylerde yoğunlaştırıcıların yüzeylerini özel bir malzeme ile kaplayarak sistem verimlerini arttırmışlardır [4].

Pereira ve arkadaşları, boru soğutuculu iki kademeli parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılar için deneyler yapmışlardır. Bu tip yoğunlaştırıcılarda toplam ısı kayıplarını azaltarak yüksek akışkan sıcaklıkları elde ettiler [5].

Pinazo ve arkadaşları, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcısında güneş ışınımının gelme açısının analizlerini yapmışlardır. Θ_1 ve Θ_2 geliş açıları için analitik bağıntılar elde etmişlerdir [6].

Ünüs a ar ve Ta er, güneş takip sistemleri ile güneş ı ınımından maksimum düzeyde yararlanma amacıyla güneşi takip sistemleri geli tirmi ler, Mayıs ve Haziran aylarında yapılan deneylerde yüksek düzeyde ısı enerjisi sağlamışlardır [7].

Usta, güneş enerjisiyle  alıŐan NH₃-H₂O akışkan çifti kullanan soğurmalı soğutma sistemlerin tasarımılarının geliştirilmesi ve imalatı konusunda çalışmıştır. Sistemde yoğunlaştırıcı yüzeyi parabolik aynalardan oluşan, pyreks boru cam örtü içerisindeki siyaha boyanmış güneşi tek ekseninde izleyen parabolik oluk tipi güneş kolektörü kullanmış ve 100 C'nin altındaki sıcaklıklarda testler yapmış ancak verimin düşük olduğunu görmüŐtür [8].

Kalogirou ve arkadaşları, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarda buhar üretimi sistemlerini modellemiŐler ve yaptıkları simülasyon program ile optimizasyon ve performans değerlendirmelerini yapmışlardır [9].

Odeh ve arkadaşları, direkt buhar üretmek için parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı modellemiŐlerdir. Modellenen yoėunlaŐtırıcıdaki ısı kayıpları ve ısı verimin diğer özelliklerle deėiŐimini incelemişlerdir [10].

Genç, güneşi tek ekseninde takip eden 3.70 m boyunda ve 40 mm çapındaki parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı ve imalini yapmıştır. Yoğunlaştırıcının güneşi fotosel yardımıyla tek ekseninde takip etmesini saėlamıŐtır. Sistemin performans deneylerini Ankara iklim Şartlarında incelemiştir. Bu çalışmada, gün boyu yapılan testlerde 75 C kolektör çıkış sıcaklığı elde edilmiş ve yaklaŐık 7 C giriş çıkış sıcaklık farkı için %65 verim elde edilmiştir [11].

Price ve arkadaşları, güneş enerjisi ile elektrik elde edilmesinde kullanılan parabolik oluk tip yoėunlaŐtırıcılardaki ilerlemelerden bahsetmiŐler ve konvansiyonel yakıt kullanan enerji santralleri ile rahatlıkla rekabet edebileceklerini vurgulamıŐlardır [12].

Eck ve arkadaşları, parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısıyla direkt olarak buhar üretilmesi konusunda çalışmışlar ve İspanya’da kurulan test düzeneğinde elde edilen deneysel sonuçları tartışmışlardır [13].

Rincon ve arkadaşları, güneş enerjisi için iki boyutlu yoğunlaştırıcı yeni yoğunlaştırıcı geliştirmişlerdir, birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar ile karşılaştırmışlar ve çeşitli uygulamalarından bahsetmişlerdir [14].

Almanza ve arkadaşları, parabolik oluk tip güneş yoğunlaştırıcılarıyla direkt olarak buhar üretiminde, çelik emici borulardaki iki fazlı akış incelenmiş, boru giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkındaki değişiklikler ile borunun alt ve üst kısımlarının farklı sıcaklıklarda olmasının boruda eğilme ve kırılma problemleri yarattığı deneysel olarak irdelenmiştir [15].

Zarza ve arkadaşları, yapmış oldukları bir araştırmada parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının emici borusunda direkt buhar üretimi ve bu buhardan faydalanarak elektrik üretimi için, yeni nesil güneş santrallerinin geliştirilmesi konusunda çalışmışlardır [16].

Hermann ve arkadaşları, elektrik üretimi için kurulan güneş santrallerinde, ışınımında olabilecek kesintiler ve pik yüklerin karşılanması amacıyla parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarla kurulan sistemlerde ısı depolama tanklarının önemi üzerinde durmuşlar ve yapmış oldukları araştırmada farklı ısı depolama tanklarını maliyet ve teknik yeterlilik açısından değerlendirmişlerdir [17].

Sözen ve arkadaşları, parabolik yoğunlaştırıcının kullanıldığı güneş enerjisiyle çalıştırılan bir adet NH₃-H₂O soğurmalı soğutma ısı pompasını geliştirmişler ve Ankara iklim koşullarında yaptıkları performans testleri ile geliştirilmesi gereken soğurmalı soğutma sistem elemanları üzerinde durmuşlardır [18].

Çolak, çalışmasında yüksek sıcaklık güneş ışınma enerjisi uygulamaları ile ilgili teknik, ekonomik ve çevresel yönden uygun parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcının tasarımını, ilk örnek imalatını ve geliştirilmesini tasarlamıştır. Bu

amaçla güneş enerjisi ile ilgili optik ve ısı transferi mekanizmalarının parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarına yönelik olarak matematiksel modelleri türetmiştir. Bu sayede güneş kolektörlerini hesaplanır biçime dönüştürmüştür [19].

Haifeng ve Zhenyan, vakum teknolojisini kullanarak güneş takip etme özelliği olmayan yoğunlaştırıcı parabolik yansıtıcı ile güneş enerjisi soğutma borusu denenmiştir. Çalışmada optik verim ve yoğunlaştırma oranları üzerine hesaplamalar yapılmıştır. Yoğunlaştırılmalı yansıtıcı sayesinde soğutma kapasitesi düz alüminyum yansıtıcılara oranla %60-67 artmıştır [20].

Mills, düzenli zaman aralıklarında konum ayarlamaları yapılan, vakum borulu güneş toplayıcılarının bağıl maliyet etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada düzenli aralıklarla ayarlanmış parabolik ayna ve vakum boru yutucudan oluşan sistem incelenmiştir. Sistemde yansıtıcı ayna yıl içinde 10-15 kez ayarlanmıştır. Sistem 150°C'de çalışmıştır. Düzenli zaman aralıklarında ayarlanmış toplayıcıların 200°C'nin altındaki endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [21].

Grass ve arkadaşları, yaptıkları araştırmada, yüksek sıcaklık uygulamaları için güneş takip mekanizmasız bileşik parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı ile güneş izleme mekanizmalı yansıtıcılara sahip parabolik oluk tip ve vakum borulu toplayıcıların optik verimini karşılaştırmışlardır. Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı ile 300°C çalışma sıcaklığında yansımayı önleyici malzeme ile kaplanmış cam boru ve seçici yüzey uygulamasında verim 0,65 olarak bulunmuştur. Karşılaştırma için ZAE Bayern'de kullanılan ilk deney düzeneğinde standart cam boru ve siyaha boyanmış yutucu yüzey test edilmiştir ve optik verim 0,71 bulunmuştur. Bu boru toplayıcı, geometrik düşük maliyetli Endüstriyel Güneş Teknolojileri (IST) ürünü parabolik oluk tip toplayıcı ile karşılaştırılmıştır. IST toplayıcıda yoğunlaştırma oranı 1,1; yarım kabul açısı 1,5°; yoğunlaştırma oranı 14,4 iken optik verim 0,69 olarak elde edilmiştir [22].

Demirpolat, vakum borulu parabolik oluk tip güneş toplayıcılarının sıcak su üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneylerde toplayıcı açıklık yüzey alanı

1,6 m² olan vakum borulu parabolik oluk tip güneş toplayıcısı kullanmış, yansıtıcı yüzeyi krom-nikel alaşım sacı ile kaplamıştır. Deneylerini Mersin ilinde Ocak 2006'da gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde toplayıcıya gelen toplam direkt ışınım miktarını 674,9 W ile 917,5 W, akışkana kazandırılan enerji miktarını 69,65 W ile 1530,47 W arasında değiştiğini belirtmiştir. Toplayıcı verimini %43,3-50,02 arasında değiştiğini gözlemlemiştir [23].

Bakos, parabolik oluk yoğunlaştırıcısının iki eksenli sürekli güneş takip sistemi üzerinde çalışmıştır. Kolektörün topladığı enerjiyi ölçmüş ve 40° güneye doğru eğilmiş sabit yüzeyli yoğunlaştırıcı ile kıyaslamıştır. Sonuç olarak hareketli iki eksenli güneş takip eden yoğunlaştırıcısının sabit kolektörden %46,46 daha fazla enerji topladığını elde etmiştir [24].

Riffelmann ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcı güneş güç santrallerinde istenilen kaliteyi sağlamak için sistemin optik verimini incelemişlerdir. Bu doğrultuda sistemin odak bölgesindeki güneş akışını ölçmek için iki metod geliştirmişlerdir. Bu metotlardan biri Parascan diğeri kamera-hedef metodudur. Parascan gelişmiş bir güneş akış yoğunluğu ölçüm cihazıdır. Cihazı alıcı eksenine birlikte hareket ettirerek alıcı yüzeyin önündeki ve arkasındaki akış dağılımını ölçmüşler ve ölçüm sonucunda akış haritasıyla sistemin alıcı çevresindeki yakalama faktörü ve optik özellik analizlerini hesaplamışlardır. Kamera-hedef metodu, kalibre edilmiş kamera ile alıcı çevresindeki difüz ışınların resmini almışlardır. Alıcı çevresindeki hedef dikey ışınları tutmuşlardır. Yansıtılan ışınlar ile yakalanan resimleri inceleyerek optik hataları belirlemişlerdir [25].

Valan Arasu ve Sornakumar, sıcak su üreten parabolik oluk yoğunlaştırıcılar için fiberglasla güçlendirilmiş parabolik olukun tasarım ve üretimini yapmışlardır. Çalışmalarında toplam parabol kalınlığı 7 mm olmuştur. Fiberglasla güçlendirilmiş parabolik oluk 34 m/s hızla esen rüzgârın uygulayacağı kuvvete denk bir yük altında test etmişler ve rüzgâr yükünden dolayı paraboldeki biçim bozukluğunun kabul edilebilir olduğunu bulmuşlardır. Bu kolektörün ısıl performansı ASHRAE Standard 93'e göre yapmışlardır. Bu teste göre parabol yüzey hatalarındaki dağılımın standart sapmasını 0,0066 olarak tahmin etmişlerdir [26].

Chaouchi ve arkadaşları, tuzlu suyu tuzdan arıtma alanında küçük bir parabolik yoğunlaştırıcı tasarım edip boyutlandırarak inşa etmişlerdir. Yaptıkları sistem için teorik bir model geliştirerek toplayıcı kısımdaki sıcaklıkları belirlemeye ve akış oranını sınınamaya çalışmışlardır. Sıcaklıklarda küçük farklar olmasına rağmen sınıadıkları akış oranında %42 hata almışlardır [27].

Mazlovmi ve arkadaşları, İran Ahmaz'da tek güneş etkili lityum-bromür su emici soğutma sistemi tasarlamışlardır. Sistemin güneş enerjisini parabolik yoğunlaştırıcılarla sağlamışlardır. Sistem soğutma yükünün en fazla olduğu 17 kW değere ulaşabilen tipik bir ev için tasarlamışlardır. İş akışkanı olarak su kullanmışlardır. Yaptıkları test sonuçlarına göre kollektör kütle akış oranının kollektör açıklık oranına etkisinin ihmal edilebilir olduğunu ancak depolama tankına büyük etkisi olduğunu görmüşler ve kollektör alanını 57,6 m² civarında seçmişlerdir [28].

Krüger ve arkadaşları, Akdeniz ülkeleri için kendine yeten yenilenebilir enerji hava iyileştirme projesi çerçevesi içinde Soliterm PTC 1800 isimli dört tane parabolik yoğunlaştırıcı test etmişlerdir. Özellikle 150-190°C arasındaki sistemin verimlilikleriyle ilgilenmişlerdir. Test sonuçlarında iç sıcaklığın dalgalanmasını +/- 0,1 K, iç sıcaklık ile dış sıcaklık arasındaki farkın 0,05 K'den daha az olduğunu görmüşlerdir. Sistemlerinde ısı kayıpları az olmasına karşın optik kayıpların fazla olduğunu fark etmişlerdir [29].

El Fadar ve arkadaşları, parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarıyla güçlendirilmiş iki emici yataklı sürekli soğutucu sistemin nümerik çalışmasını yapmışlardır. Soğutucu olarak amonyak emici olarak karbon seçmişlerdir. Sistem 17,5 mj/m² güneş radyasyonu, 30°C yoğunlaşma sıcaklığı, 0°C buharlaşma sıcaklığında günlük 0,8 m² kollektör alanı için 2515 kj faydalı soğutma üretmişlerdir. Sonuçlarda özgül soğutma gücünü 104 W/kg, soğutucu çevrimini 0,43 olarak görmüşlerdir [30].

Garcia-Valladares ve Velazquez, tek ve çift geçişli parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının ısı ve akış davranışlarının nümerik simülasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında Sandia National Laboratories sağlanan verilerini

kullanmışlardır. İki geçişli parabolik oluk yoğunlaştırıcı kullanıldığında ısı transfer kayıplarının azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca reynold sayısı, kanal kalınlık oranı ve geri çevrim oranı arttığı zaman, istenen ısı transfer artışı ve çevreye olan ısı kayıpların düşüşünün arttığını elde etmişlerdir [31].

Fernandez ve arkadaşları, çalışmasında parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tarihi gelişimine ve son yüzyıl boyunca bu yoğunlaştırıcı sisteminin yapılması ve pazarlanmasını incelemişlerdir. Özellikle 400°C’de buhar kullanılarak elektrik üreten sistemler üzerinde durmuşlardır [32].

Wu ve arkadaşları, parabolik çanak bir güneş termal güç sistemini incelemişler ve sistemin ortalama ısı-elektrik dönüşüm performansını değerlendirmişlerdir. Sistemin ortalama verimliliğini %20,6 bulmuşlardır [33].

Şanlı, sistem içerisinde yer alan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizmasını detaylı bir şekilde incelemiş, teorik olarak bir parabolik yoğunlaştırıcı tasarlamıştır. Tasarlanan yoğunlaştırıcıyı Denizli ili 2009-2010 yılları güneş verilerine göre test etmiştir. Test sonuçlarına göre sistemin buhar türbinine kadar olan verimini %67, sisteme gerekli buhar türbini kapasitesini 300-500 kW arasında olacağını belirtmiştir [34].

Bakır ve arkadaşları, parabolik oluk tip güneş kolektörünü teorik olarak ele almış, deneysel olarak tasarlayıp imal ettikleri sistem dâhilinde, kolektörün odak noktasında bulunan vakum tüpü iç hava sıcaklık verilerini analiz etmişlerdir. 2011 yılında Karabük ili Haziran ayında yaptıkları deneyler sonucunda sabit güney yönlü sistemdeki vakum tüpü iç hava sıcaklığını maksimum 412°C olarak kaydetmişlerdir. Yüksek sıcaklık isteyen sistemlerde kullanılabilirliğini teyit ettikleri bu sistemin güneş takip metoduyla çok daha yüksek verim yüzdeleri elde edilebileceğini belirtmişlerdir [1].

BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

3.1. KULLANIM SICAKLIĞINA GÖRE UYGULAMA ÇEŞİTLERİ

Güneş enerjisi sistemleri, uygulamada kullanılacak sıcaklıklara göre,

- Düşük sıcaklık uygulamaları (20-100°C)
- Orta sıcaklık uygulamaları (100-300°C)
- Yüksek sıcaklık uygulamaları (>300°C) şeklinde ayrılırlar.

3.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları

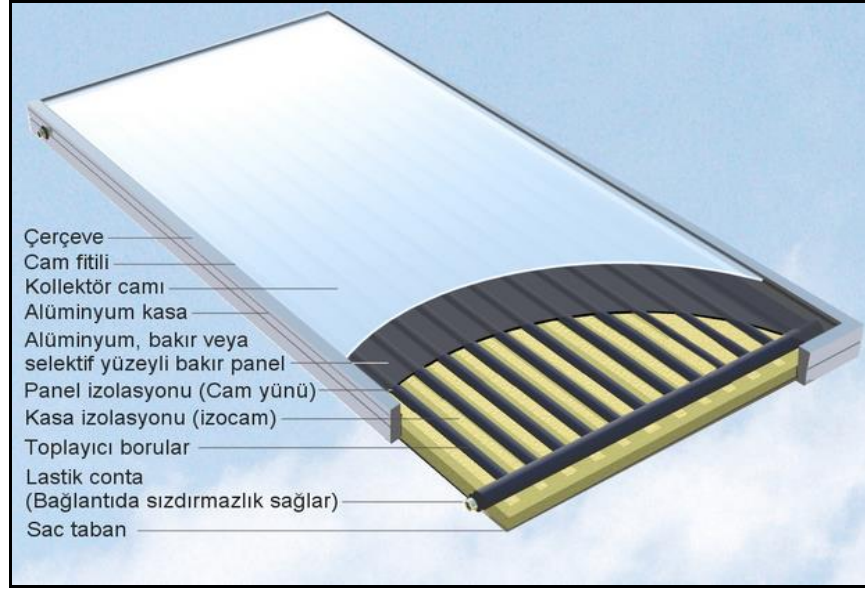
Düşük sıcaklık uygulamalarının bazıları:

- Konutların ısıtılması, soğutulması
- Konutlardaki suyun ısıtılması
- Yüzme havuzlarının ısıtılması
- Sera ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Tuz üretimi
- Güneş pompaları
- Arı su elde edilmesi
- Güneş ocakları ve fırınlarıdır

3.1.1.1. Düzlemsel Kolektörler

Düşük sıcaklık uygulamasında en çok kullanılan sistem düz kolektörlerdir. Sistemin çalışma prensibi güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Düzlemsel güneş kolektörleri genel olarak; saydam örtü, güneş ışınımını toplayan yutucu yüzey, yüzeyde bulunan taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve gövdeden

oluşur. Sistemin en önemli parçası güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı akışkana aktaran yutucu yüzeydir. Şekil 3.1.'de düzlemsel kolektörün tasarımı ve kullanılan malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Düzlemsel kolektör [35].

Düzlemsel kolektörler, güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştüren en basit ve en yaygın olarak kullanılan güneş sistemlerinden birisidir. Toplayıcı verimi; yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Yutucu yüzeyin üzeri selektif malzemeyle kaplanarak toplayıcı veriminde önemli artışlar sağlamaktadır. Yutucu yüzey kaplamalarının başlıca görevi güneş ışınımını mümkün olduğu kadar yutması ve ısıya dönüştürmesidir. Selektif malzemeyle kaplamanın temel amacı, kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakın kısmının yutulması buna karşılık uzun dalga boylu ışınımın yayıcılığını en aza indirmesidir. Böylece plaka sıcaklığı daha da yükseltilecek akışkana aktarılan ısı artırılmış olur. Genellikle bu sistemin çalışma sıcaklıkları 70-100°C arasındadır. En çok kullanıldığı alanlar otellerin ve konutların ısıtılması ve sıcak su teminidir.

3.1.1.2. Vakumlu Güneş Kolektörleri

Çalışma sıcaklıkları 100°C civarında olan bu sistemler, güneş ışınım enerjisini iç içe bulunan iki tüpün içinden geçen akışkana aktarma prensibiyle çalışmaktadır. İki tüp arası vakumlanmıştır. Böylece tüpten çevreye ısı kaybı azaltılmıştır.

3.1.1.3. Güneş Havuzları

Güneş havuzları, tuzlu suyun kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda güneş enerjisinin toplanmasını ve depolanmasını sağlar. Suyla kaplı havuzun zemini siyah renkli olup güneş ışınlarını yakalar. Havuzdaki ısı dağılımı, suya eklenen tuz (sodyum klorür ve magnezyum klorür) konsantrasyonu ile ayarlanır. Bu sistem kullanılmasıyla havuz suyu 90-95°C sıcaklığa çıkabilmektedir. Güneş havuzlarıyla sıcak su elde edilebildiği gibi elektrik üretimi de yapılabilmektedir. Şekil 3.2.'de İsrail'de bulunan bir güneş havuzu sistemi verilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş havuzu [36].

3.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları

Orta sıcaklık uygulamalarında yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler güneş ışınlarını yansıtarak veya kırarak, doğrusal (çizgisel) ya da noktasal şekilde yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yoğunlaştırma işlemi ile 300°C'ye kadar sıcaklıklar elde edilebilir. İstenilen sıcaklıklara ulaşmak ve verimi yükseltmek için yoğunlaştırıcı sistemlerde güneş takip mekanizması kullanılır. Güneş ışınlarını yansıtmak için aynalar ya da alüminyum levhalardan yararlanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarından bazıları;

- Sanayi için sıcak su ve buhar temini
- Büyük alanların ısıtılması ve soğutulması
- Elektrik üretimi

3.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

300°C'nin üzerinde sıcaklık elde edilen bu sistemlerde, güneş ışınlarını noktasal olarak yoğunlaştıran sistemler kullanılmaktadır. Güneş ışınlarını yansıtmak için aynalardan yararlanılmıştır. Metallerin ısıtılması, kesilmesi ve kalıplanmasında, elektrik üretilmesinde bu sistemlerden yararlanılabilmektedir.

3.2. GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını belirli bir bölgeye yoğunlaştıran sistemlerdir. Bu sayede yoğunlaştırma yapılan bölgenin sıcaklığı yükseltilmiş olur. Güneş yoğunlaştırıcı sistemler noktasal ve doğrusal yoğunlaştırma yapabilmekte ve yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir.

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını yoğunlaştırma işini yansıtıcı yüzeylerle yapmaktadır. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur. Dolayısıyla güneş ışınları belirli bir kayıpla yoğunlaştırılmış olur. Yoğunlaştırma yapılan yüzeyin sıcaklığı yükselmektedir. Yüzeyden ısı transfer akışkanına iletim ya da taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. Dış yüzeyden çevre ortama

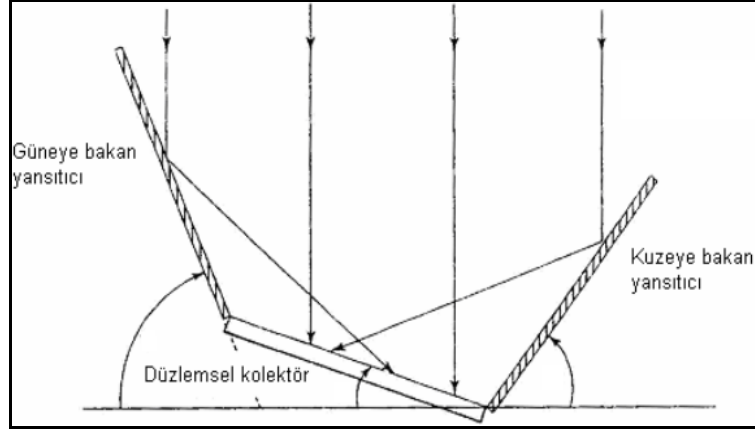
taşınılma ısı geçişi olur. Bu durum sistem için ısı kayıptır. Güneş yoğunlaştırma sistemleri,

- Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar
- Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar
- Birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar
- Frensel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar
- Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar
- Güneş kuleleri

Şeklinde çeşitlere ayrılırlar. Bu sınıflandırma yoğunlaştırma işinin çizgisel ya da noktasal olarak yapılmasına göre oluşturulmuştur. Burada düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar, parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları, frensel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar ve birleşik parabolik yoğunlaştırıcı çizgisel odaklamalı, parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcılar ve sabit dairesel odaklayıcı ve hareketli alıcı yoğunlaştırıcılar noktasal odaklamalıdır.

3.2.1. Düzlem Yansıtıcı Düzlemsel Yoğunlaştırıcılar

Düzlemsel kolektörün çevresine yansıtıcı yüzeyler yerleştirerek oluşturulmuş sistemlerdir. Sistemde kullanılan yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınımını ayna gibi ya da difüz şeklinde yansıtabilirler. Gelen ışınımın difüz kısmını da kullanmaları bu sistemlerin avantajlarından. Sistemin çalışma sıcaklıkları 140-150°C'lere çıkabilmektedir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırma oranları 1-4 aralığındadır. Şekil 3.3.'de düzlem yansıtıcı düzlemsel kolektörün güneş ışınlarını yoğunlaştırması ve sistem formülleri şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Düzlem yansıtıcılı düzlemsel yoğunlaştırıcı [37].

3.2.2. Fresnel Merceкли Odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar

Çalışma prensibi olarak parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları gibi çalışmaktadırlar. İki sistem arasındaki en belirgin fark bu sistemlerde yansıtıcı yüzey olarak düzlemsel aynalar kullanılmaktadır. Fresnel merceкли odaklayıcı yoğunlaştırıcılar güneşi tek eksende takip ettiklerinden ve çizgisel odaklama yaptıklarından verimleri diğer yoğunlaştırıcılara göre düşüktür. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının kullanıldığı her yerde kullanılabilirler ve maliyetleri daha düşüktür.



Şekil 3.4. Fresnel merceкли odaklayıcı yoğunlaştırıcılar [38].

3.2.3. Paraboloidal Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar

Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcılar noktasal olarak yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, yansıtıcı yüzeye gelen ışınları sistemin odağında yer alan Stirling motor üzerine yoğunlaştırılarak enerji elde etme yöntemine dayanmaktadır. Sisteme yoğunlaştırılan ısı enerjisi, sistemin odak bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling motor yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Sistemin güneşi iki eksenle takibi ile sürekli olarak güneş izlenerek sistemin ısı verimi artırılır. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde %30 civarında verim elde edilir.

Elektrik üretiminden başka, bu kolektörler buhar ya da sıcak hava üretiminde de kullanılabilir. Ayrıca, endüstride buhar üretimi, yer altı enjeksiyonu, petrol çıkartılması gibi işlemler için de kullanılır. Sistem, yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı diğer güneş sistemlerinden daha az kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcı [39].

3.2.4. Güneş Kuleleri

Güneş kule sistemleri merkezi akıcı güç santralleridir. Sistem heliostat adı verilen büyük bir alana yerleştirilmiş çok sayıda yansıtıcılarla gelen güneş ışınlarını heliostatların merkezinde bulunan kulenin tepesine yoğunlaştırır. Heliostatlar, merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi takip ederek güneş enerjisini kule üzerindeki alıcıya yansıtırlar. Yoğunlaştırılmış yüksek ısı enerjisi alıcıdaki akışkanı ısıtır. Isınan akışkan buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Üretilen buharda buhar türbininden geçilerek elektrik enerjisi elde edilir. Çevrimi tamamlayan buhar kondansatörde soğutma suyu çevrimi ile soğutulur ve sisteme geri gönderilir. Isı transfer akışkanı buhar jeneratöründen geçtikten sonra alıcıya gönderilir.

Güneş kulelerinin ilk yatırım maliyeti, klasik fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha yüksek olmakla beraber diğer güneş enerji sistemleri gibi yanma sonucu çevreye atılan emisyonlarının oluşmaması, ayrıca sınırsız bir enerji kaynağı olması sistemin avantajıdır. Yapılan araştırmalarda ilk yatırım maliyetinin, daha ileri teknoloji ile tasarlanıp kule sayısı arttırılarak düşürülmesi beklenmektedir. Sistemin bir diğer avantajı da buhar türbininde meydana çürük buharın düşük enerji ihtiyacı diğer endüstriyel süreçlerde kullanılmasıdır. Bu sayede sistemin tasarrufu artar.



Şekil 3.6. Güneş kulesi [40].

Sistemde heliostat denilen yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Heliostatların güneşi iki eksenle takip edilmesi sağlanmaktadır. Her heliostat

birbirinden bağımsız olarak hareket eder. Isı transferi akışkanı olarak yağ ya da su kullanılabilir. Sistemde kullanılan ısı transfer akışkanına göre ortalama 600°C üzerinde sıcaklıklara ulaşılabilir. Heliostatların yerleşimi için büyük bir alana ihtiyaç vardır. Güneş kulesini çevreleyen heliostat alanı tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde planlanır. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbinine buhar sağlayacak maksimum gereksinim değerinin aşılmasıyla meydana gelir.

Güneş kulelerinin güneşin olmadığı zamanlarda da çalışmasını sağlamak için depolama sistemleri geliştirilmiştir. Böylece sistemin sürekliliği sağlanır. Güneş güç kulesi sisteminde, 290°C'de sıvı haldeki tuz eriği, soğuk depolama tankından alıcıya doğru pompalanır. Burada sıcaklığı 565°C'ye kadar çıkarılarak sıcak depolama tankına gönderilir. Tesisten güç çekileceği zaman sıcak tuz, klasik bir Rankine çevrim türbini (jeneratör) sistemi için aşırı kızdırılmış buhar üreten bir buhar üretme sistemine pompalanır. Buhar jeneratöründeki tuz soğuk tanka geri dönerek depolanır ve sonunda da alıcıda yeniden kızdırılır.

3.2.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcıları

Yansıtıcı yüzey kısmı parabolik şekilde olan bu yoğunlaştırıcılar güneşten gelen ışınları, parabolün merkezinde yer alan toplayıcı kısma yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Toplayıcı kısmına gelen ışınlar, bu kısımda bulunan emici boru içindeki akışkana aktarılarak enerji toplanmış olur [1,34].

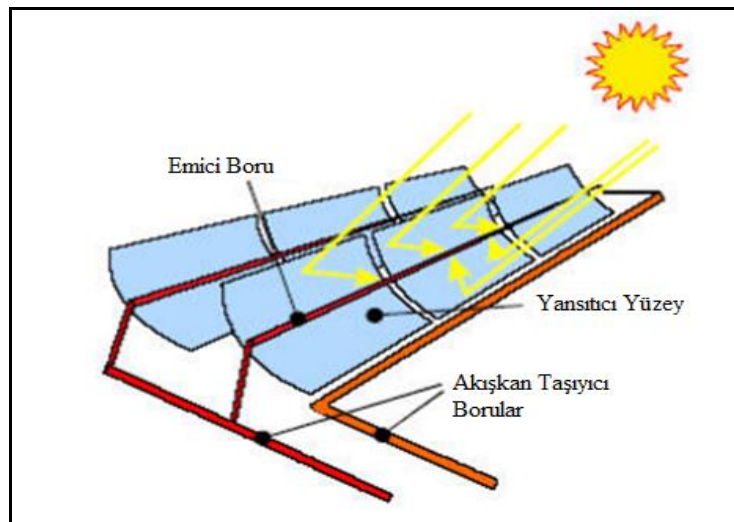


Şekil 3.7. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları [39].

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı, yoğunlaştırıcı sistemlerin en çok kullanılanıdır. Bu sistem parabol şeklinde bir yansıtıcı yüzey, toplama kısmında bulunan emici boru ve emici boruyu çevreleyen cam örtü, takip mekanizması, ısı transfer akışkanı ve sistemi taşıyan gövdeden oluşmaktadır.

Güneşten gelen ışınlar ilk önce sistemin yansıtıcı yüzeyine gelir parabol şeklindeki bu yüzey, ışınları parabolün odak noktasında bulunan ve eksen boyunca uzanan toplayıcı kısımdaki emici boruya yoğunlaştırır. Bu işlem sonunda sıcaklığı yükselen emici borudan, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanına ısı transferiyle enerji aktarımı olarak akışkanın sıcaklığı yükseltilir. Şekil 3.8.'de parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı şematik olarak gösterilmiştir.

Sıcaklığı yükselen akışkan ile dolaylı yoldan ya da direkt olarak buhar ve elektrik üretimi yapılabilmektedir. Eğer ısı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa dolaylı yoldan buhar ya da elektrik üretimi yapılır. Yoğunlaştırma işlemi sonucunda sıcaklığı yükselen yağ ısı enerjisini, yağdan daha düşük sıcaklıktaki suya ısı değiştiriciler aracılığıyla aktararak suyun buharlaşması sağlanır. Buhar halindeki su buhar türbinine gönderilerek elektrik üretimi yapılır. Eğer ısı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa, ısı değiştiricisine gerek kalmadan yoğunlaştırma işlemiyle su buhar haline geçirilebilir. Bu buharda daha sonra elektrik üretimi için buhar türbininde gönderilir. Şekil 3.9.'de parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı sisteminin diziliş gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı şematik gösterimi [41].

Sistemin amacı güneşten gelen ışınları en az kayıpla ısı transfer akışkanına aktarmaktır. Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzemeler, sistemin tasarımı, sistemin kurulacağı yer ve sistemin çevre ortamla ilişkisi çok önemlidir.

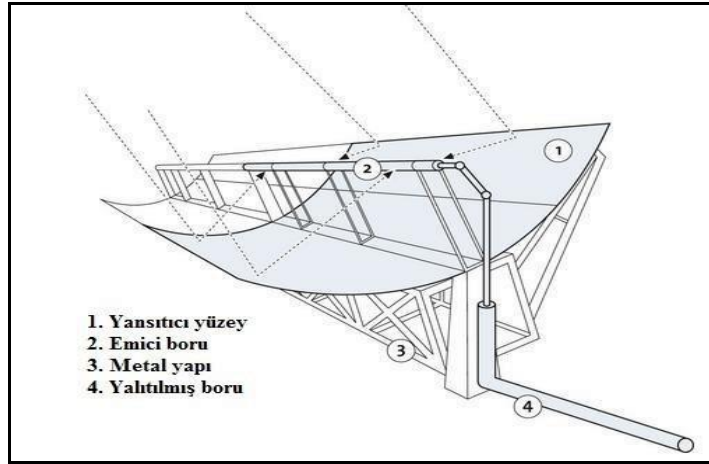


Şekil 3.9. Parabolik güneş santrallerinde yoğunlaştırıcıların dizilişi [41].

BÖLÜM 4

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI VE İMALATI

Sistem Karabük ilinde 2012 yılının Ekim ayında test edilmek üzere tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Bu yüzden tasarım aşamasında hem mevsim hem de konum verileri dikkate alınmıştır. Sistemin amacı, daha çok güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan parabolik oluklu güneş kollektörünün kullanım sıcak suyu hazırlama performansının analiz edilmesidir. Bu doğrultuda sistemin en uygun şekilde tasarlanması amaçlanmıştır.



Şekil 4.1. Parabolik oluklu güneş kolektörünün şematik gösterimi [34].

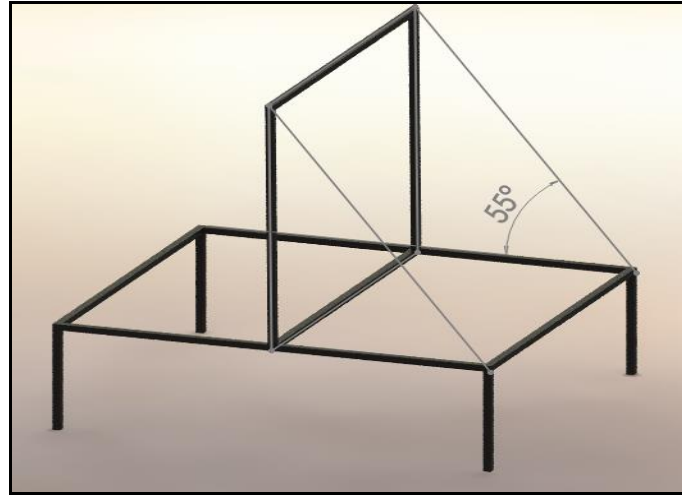
4.1. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Sistem sabit güney yönlü konumlandırılmış ve tüm veriler sistem bu konumdayken alınmıştır. Sisteme güneş takip sistemi de eklenerek yeniden bir performans analizi yapılabilir ve öngörüldüğü üzere daha yüksek verimler elde edilebilir.

4.2. MEVSİM ŞARTLARINA UYGUN PLATFORM TASARIMI

Sistemin taşıyıcı metal aksamı 30x30x1,5 mm kutu profilden; kısa kenarı 150 cm, uzun kenarı 170 cm olacak şekilde kaynakla birleştirme yapılarak imal edilmiştir.

Karabük ili ekim ayı şartlarında güneş ışınlarının sistem tarafından dik alınabilmesi amacıyla parabolik oluk platformunun alt platforma montesi uygun değer olan 55°'de yapılmıştır. Bu sayede parabolik oluk tipi güneş kolektörü güneş ışınlarını dik açıyla alabilmektedir. Şekil 4.2.'de, tez çalışması dâhilinde tasarlanan platform şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş ışınları geliş açısının sistem üzerinde şematik gösterimi.

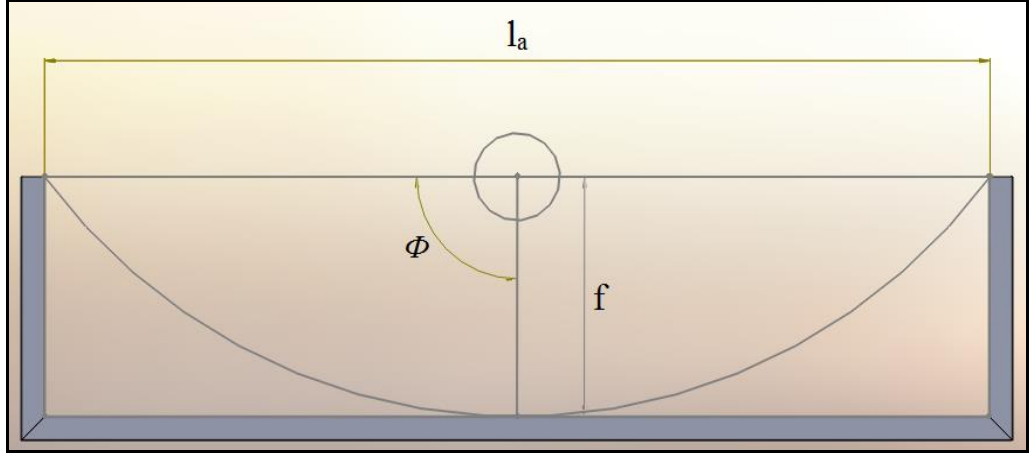
4.3. PARABOLİK OLUK TASARIMI VE YANSITICI YÜZEY SEÇİMİ

Şekil 4.3.'te parabolik oluk tasarımı şematik olarak gösterilmiştir ve

l_a ; oluk uç noktaları açıklığı (cm)

f ; emici boru ile alt taban arasındaki mesafe (cm)

Φ ; kenar açısı (°)'dir.



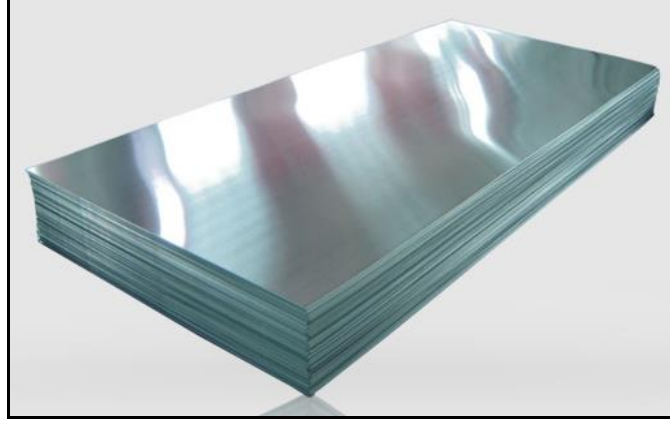
Şekil 4.3. Parabolik kolektör tasarımı.

Formülü ise;

$$\frac{l_a}{4f} = \frac{\tan \Phi}{2} \quad (4.1)$$

Φ ; uygun değeri 70° - 110° arasındadır. Bu çalışmada 90° alınmıştır. l_a ; 120 cm olarak alınmıştır ve Eşitlik 4.1'de yerine koyduğumuzda, $f = 30$ cm bulunmuştur.

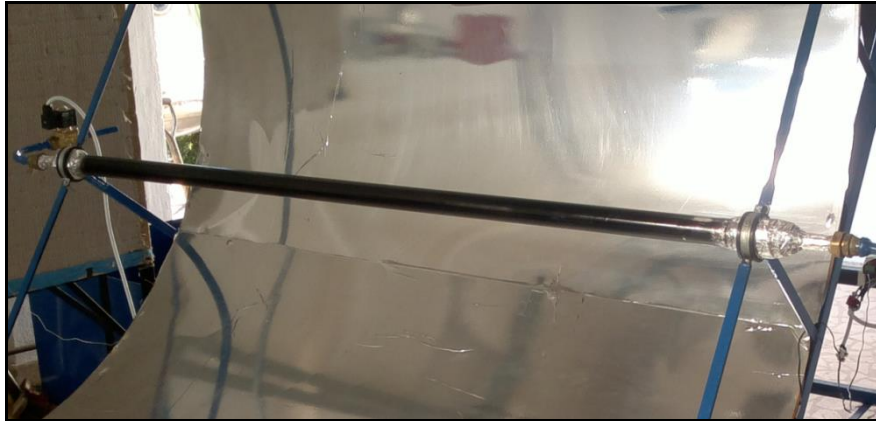
Buraya kadar parabolik yansıtıcı yüzeyin genel boyutları belirlenmiştir. Belirlenen boyutlara göre parabolik yansıtıcı, alüminyum ayna bant olarak seçilmiştir. Alüminyum ayna bant, hesaplamalar doğrultusunda parabolik olarak imal edilen galvanizli saca yapıştırılmıştır. Bu malzemenin seçilme nedenleri; uzun ömürlülüğü, hava şartlarına ve korozyona karşı dayanıklılığı, düşük maliyette olması ve kolay temizlenebilirliğidir.



Şekil 4.4. Yansıtıcı yüzey (Alüminyum ayna bant) [42].

4.4. EMİCİ BORU SEÇİMİ VE SİSTEME MONTAJI

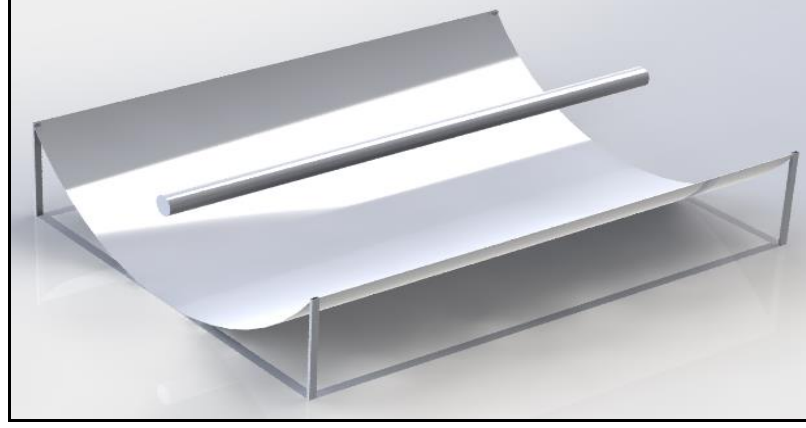
Sistemde, amacına yönelik en uygun çap ve malzeme olarak alüminyum boru seçilmiştir. Dış yüzeyi siyah boya ile boyanarak yansıtıcılık oranı düşürülmüş, yutuculuk oranı maksimum değere çıkartılmıştır. Ayrıca siyah renginin soğuruculuk oranının yüksek olması sebebiyle soğurduğu ısı enerjisinin büyük bir kısmını taşınım yoluyla alüminyum boruya, oradan da akışkana aktarması seçimin bir diğer avantajıdır. Şekil 4.5.'te sistemde kullanılan emici boru gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Emici borunun sisteme montajı.

Emici boru içerisinde sistem akışkanı olarak su geçirileceğinden tüm bağlantı noktalarında conta yardımıyla sızdırmazlık sağlanmış ve yüzeyleri ısı kayıpları engellemek amacıyla alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Şekil 4.6.'da tasarımı

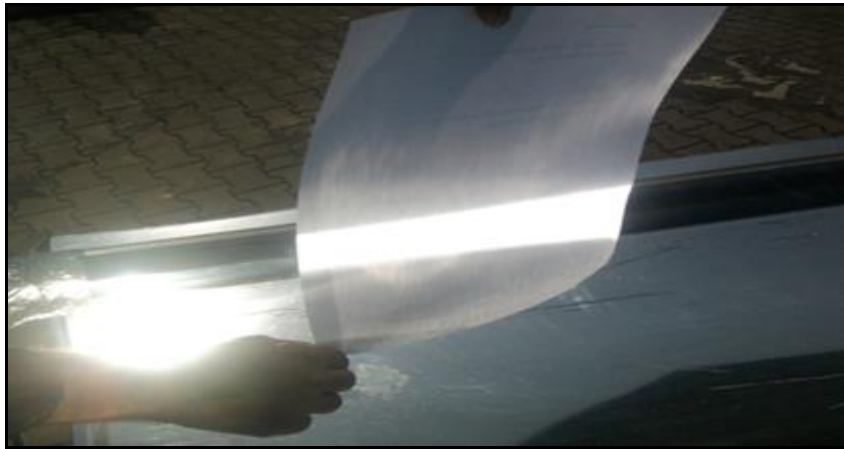
yapılmış sistemin SOLIDWORKS programında üç boyutlu modellendirilmesi sunulmuştur.



Şekil 4.6. Tasarlanan sistemin çizim programında katı model gösterimi.

4.5. SİSTEMDE ODAKLANMANIN GÖZLEMLENMESİ

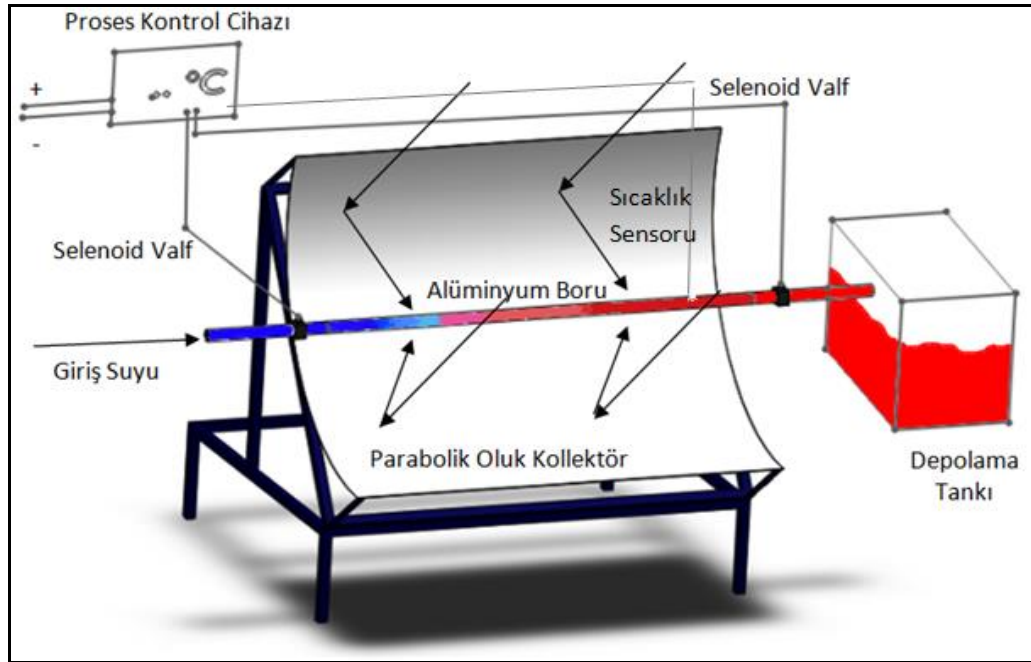
Dördüncü bölümdeki eşitlikler yardımıyla bulunan değerler neticesinde odak noktası bulunmuş ve emici boru monte edilmiştir. Odaklanmanın gözlemlenebilmesi için beyaz kâğıt yardımıyla gözlemsel kontrolü yapılmış ve gözleme sonucunda odaklanmanın istenilen bölgede olduğu görülmüştür. Şekil 4.7.'de odaklanmanın beyaz kağıt yardımıyla kontrolü gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Odaklanmanın beyaz kağıt ile gözlemlenmesi.

4.6. İMAL EDİLEN SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sistemin amacı parabolik oluklu güneş kolektörünün kullanım sıcak suyu hazırlanmasında çalışma performansının incelenip, analiz edilmesidir. Bunun için emici borunun giriş ve çıkışında, proses kontrol cihazına bağlı iki adet selenoid valf bulunmaktadır. Sistemin giriş bölümü şehir şebeke suyuna bağlı olup çıkış bölümü sistem platformunda yer alan depoya bağlıdır. Şehir şebeke suyundan gelen su, selenoid valfler tarafından emici boru içerisinde durdurulur. Parabolik oluklu güneş kolektörü, güneş ışınlarını emici boru üzerine yoğunlaştırır. Emici boru üzerinde yoğunlaşan ısı enerjisinin akışkana aktarılması suretiyle suyun sıcaklığı yükseltilir. Proses kontrol cihazı emici borunun çıkış noktasından ölçüm yapmaktadır ve su istenilen set sıcaklığına ulaştığı zaman selenoid valfler otomatik olarak açılır. İstenilen sıcaklık değerine ulaşmış olan su depoya gelirken, emici boru içerisine yeniden şehir şebeke suyu dolar. Emici boru içerisindeki akışkan ısısının düşmesiyle birlikte kontrol cihazı selenoid valfleri tekrar kapatarak akışkanın tekrar ısınması sağlanır. Bu işlem güneş enerjisinin verimli olduğu zamanlar dâhilinde, akışkan istenilen set sıcaklığına ulaştığı müddetçe kendini tekrar eder. Şekil 4.8.'de sistem çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Sistemin kullanım sıcak suyu hazırlama şeması.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Tasarlanıp imalatı yapılan sistem, Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği atölyesi önünde, sabit güney yönünde konumlandırılmış ve 13.10.2012- 19.10.2012 tarihlerinde toplam 7 gün boyunca, sırasıyla 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C set değerlerinde performansa tabi tutulmuştur.

Sistemin enerji analizi için; ilk sıcaklığı T_i , son sıcaklığı T_s olan Δt zaman içerisinde, sıcaklık kontrollü parabolik kolektör için oluşturulan enerji dengesi eşitliği oluşturulduğunda Eş.5.1 elde edilir.

$$Q_K = Q_D + Q_Y + Q_L \quad (5.1)$$

Burada Q_K kolektör tarafından absorbe edilen enerji, Q_D depolama tankında depolanan enerjinin toplamı, Q_Y sistem yüzeyinde depolanan enerji, Q_L sistemdeki ısı kayıplardır.

Faydalı veya kullanılabilir enerji depolama tankında bulunan enerjidir. Çünkü depolama tankındaki su sıcak su olarak elde edilmiş ve kullanıma hazırdır. Bu nedenle Eş.5.1'e göre hesaplanacak faydalı enerji Eş.5.2 'deki gibi düzenlenebilir.

$$Q_D = Q_K - Q_Y - Q_L \quad (5.2)$$

Depolama tankındaki enerji kütle ve suyun girişi ile çıkışı arasındaki farkla ilişkilidir [43,44].

$$Q_D = m_D \times c_{p,D} \times (T_{f,D} - T_{i,D}) \quad (5.3)$$

Depodaki kullanılabilir enerji;

$$Q_{KE} = m_D \times c_{p,D} \times T_{f,D} \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.3 ile aynı varsayım kullanılarak, sistem yüzeyinde depolanan enerji Eş.5.5 deki gibi hesaplanır.

$$Q_W = m_Y \times c_Y \times (T_{f,Y} - T_{i,Y}) \quad (5.5)$$

Kabul edilebilir toplam ısı kayıpları, ortalama sistem sıcaklığı ve çevre sıcaklığı arasındaki fark ile orantılıdır $(T_{m,st} - T_{a,T})$.

$$Q_l = U_t \times (T_{O,D} - T_{\zeta,D}) \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte U_t toplam ısı transfer katsayısının oransal sabitidir. Basitleştirilirse sistemin ortalama sıcaklık değeri depolama tankına giren ve çıkan suyun ortalaması olarak alınabilir.

$$T_{m,D} = \frac{T_{i,D} + T_{f,D}}{2} \quad (5.7)$$

Termosifon sistem verimi η_{TS} , depolama tankındaki enerjinin, kolektördeki toplam güneş radyasyonu oranına eşittir [45,46].

$$\eta_{TS} = \frac{Q_W}{A_T \times I_T} \quad (5.8)$$

SKPK'nin verimi ise η_{SKPK} Eş.5.9'daki gibi hesaplanır.

$$\eta_{SKPK} = \frac{Q_W}{[(A)_T \times I_t] + W_{pkc} + W_{sv}} \quad (5.9)$$

Burada I_t birim başına düşen toplam güneş radyasyonu, A_t kolektör yüzey alanı (m^2), W_{pkc} proses kontrol cihazının giriş gücü, W_{sv} selenoid vananın giriş gücü olarak belirlenmiştir [47].

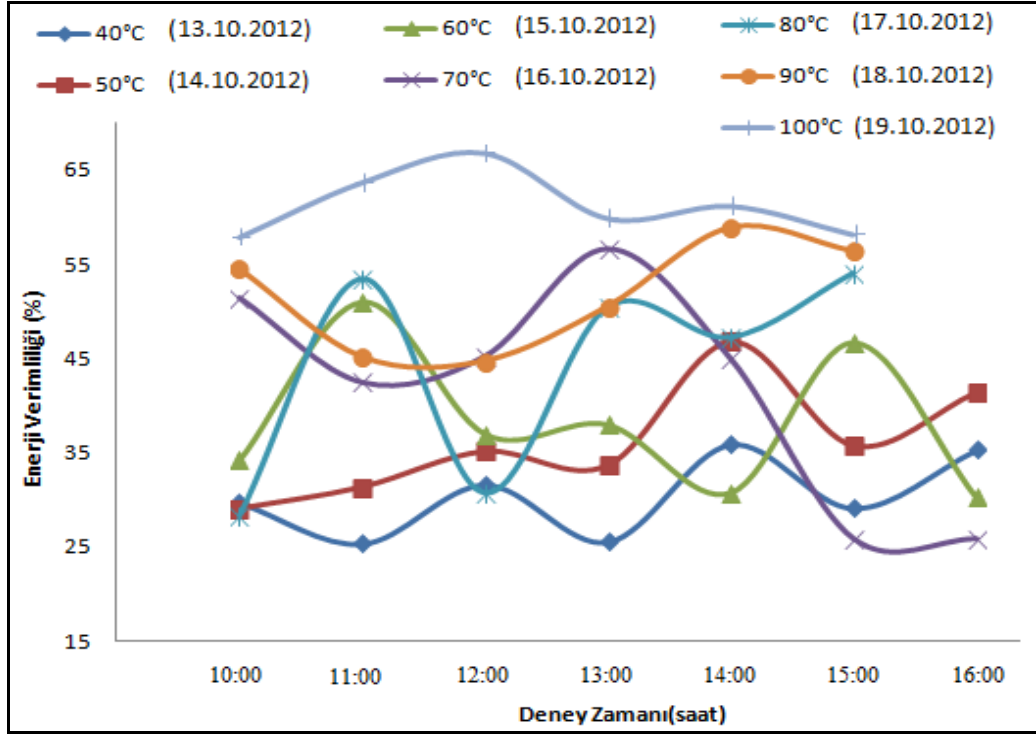
Farklı set değerlerine göre performansa tabi tutulan sistemin gün içerisindeki 7 farklı zaman diliminde hesaplanmış enerji verimliliği Eş. 5.7 ile hesaplanarak Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Termik verimlilik tablosu.

Set Değeri Zaman	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
10:00	29,7	29,0	34,2	51,4	28,3	54,5	57,9
11:00	25,3	31,3	51,0	42,4	53,4	45,1	63,7
12:00	31,6	35,1	37,0	45,2	30,7	44,7	66,8
13:00	25,5	33,6	38,0	56,6	50,4	50,5	59,9
14:00	35,9	46,8	30,8	44,9	47,2	58,9	61,2
15:00	29,1	35,7	46,7	25,8	54	56,4	58,2
16:00	35,3	41,4	30,3	25,8	-	-	-

Çizelge 5.1.'deki verilerle oluşturulan Enerji Verimliliği (%) – Deney Zamanı (Saat) grafiği Şekil 5.1.'de verilmiştir.

Şekil 5.1.'teki eğrilerde görülen aşırı dalgalanmaların sebepleri güneş ışınım şiddetinin gün içerisindeki anlık değişimi ve ölçüm anının akışkan dolaşım anına yakınlığıdır.



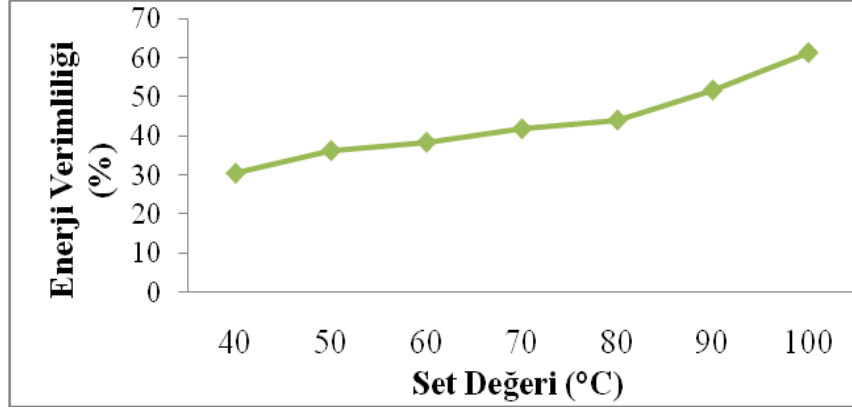
Şekil 5.1. Enerji verimliliği – deney zamanı grafiği.

Çizelge 5.1.'den yola çıkılarak farklı set değerlerinin ortalama termik verimliliği Çizelge 5.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Ortalama termik verimlilik tablosu.

Set Değeri (°C)	Ortalama Termik Verim (%)
40	30,3
50	36,1
60	38,3
70	41,7
80	44,0
90	51,7
100	61,3

Çizelge 5.2.'deki verilerle oluşturulan Enerji Verimliliği (%) –Set Değeri (°C) grafiği Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Set değeri – enerji verimliliği grafiği.

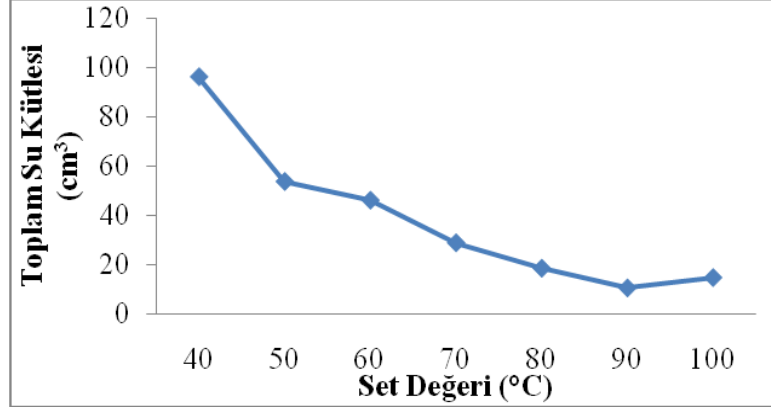
Çizelge 5.2. verilerinden yararlanılarak, sistemin enerji verimliliği Şekil 5.2.’de grafik olarak verilmiştir. Enerji verimliliği, set değerinin arttırılmasıyla yükseldiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise akışkanın yüksek set değerine ulaştığında daha yüksek sıcaklıkta, düşük set değerinde ise daha düşük sıcaklıkta çıkış göstermesidir.

Çizelge 5.3. Toplam su kütlesi tablosu.

Set Değeri (°C)	Toplam Su Kütlesi (cm ³)
40	96
50	53,7
60	46,1
70	28,8
80	18,5
90	10,5
100	15

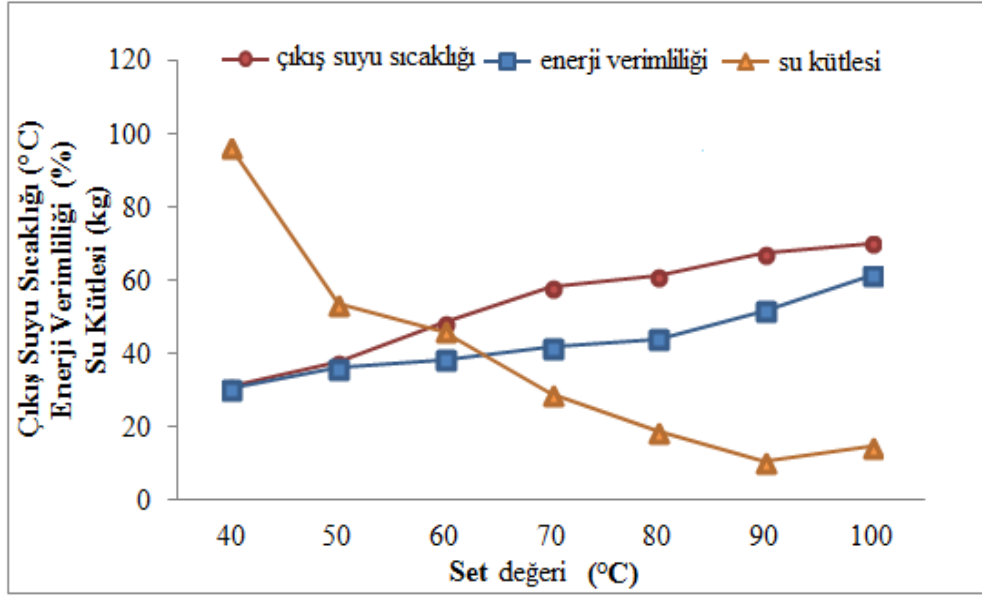
Deneyler sonucunda alınan verilerle oluşturulan Çizelge 5.3.’te açıkça görülmektedir ki set değeri arttıkça depoda toplanan toplam su kütlesi düşmektedir. Bunun nedeni alüminyum boru içerisinde olan akışkanın istenilen set değeri sıcaklığına kadar çıkması için beklenen süreden kaynaklanmaktadır. Düşük set değerlerinde, akışkan daha hızlı bir şekilde dolaşım göstermiş ve depoda biriken su kütlesi artmıştır. Yüksek set değerlerinde ise daha az dolaşım göstermiş ve su kütlesinde azalma

görülmüştür. Çizelge 5.3. yardımıyla hazırlanan Set değeri – Toplam su kütlesi grafiği Şekil 5.3.’te verilmiştir.



Şekil 5.3. Set değeri – toplam su kütlesi grafiği.

Genel olarak toparlayacak olursak; Sıcaklık Kontrollü Parabolik Kollektör (SKPK) sisteminin en önemli özelliği suyu istenilen sıcaklıkta depo etmesidir. Böylece depolama tankında hangi sıcaklık aralığına, ne miktarda su depolandığı belirlenebilir. Şekil 5.4.’te SKPK’ya ait çeşitli sıcaklık aralıkları ve su miktarları gösterilmiştir. Sıcak su miktarını proses kontrol cihazında set edilen değerlere göre dağılımında Şekil 5.4.’te gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere en yüksek su miktarı 40°C’de elde edilmiştir. Proses kontrol cihazındaki set değeri arttıkça, su miktarının azaldığı da açıkça görülmektedir. Çıkış suyu sıcaklığı set edilen sıcaklık değerine paralel şekilde artış göstermiştir.



Şekil 5.4. Set değerine göre elde edilen çıkış suyu sıcaklığı, enerji verimliliği ve su kütlesi grafiği.

Şekil 5.4.'te grafik olarak verilen veriler sayısal anlamda karşılaştırılabilmeleri için Çizelge 5.4.'te tablo olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Set değerine göre elde edilen çıkış suyu sıcaklığı, enerji verimliliği ve su kütlesi tablosu.

Set Değeri (°C)	Çıkış Suyu Sıcaklığı (°C)	Depoda Biriken Su Kütlesi (cm ³)	Ortalama Termik Verim (%)
40	36,7	96	30,3
50	40,3	53,7	36,1
60	49,7	46,1	38,3
70	60,1	28,8	41,7
80	63,7	18,5	44,0
90	70,2	10,5	51,7
100	73,3	15	61,3

Su miktarından dolayı termosifon sistem verimi SKPK sisteminden daha yüksek bir değerdedir. Su miktarı termosifon sistemlerinde sabit olduğu için depolanan enerji su miktarına bağlı olarak yüksek çıkmaktadır. Buna rağmen sıcaklığı dūşüktür.

SKPK sisteminde depolama tankındaki su miktarı proses kontrol cihazıyla kontrol edildiği için depodaki su her zaman istenilen sıcaklık değerlerinde sabit olmaktadır. Sistemdeki selenoid vanalar proses kontrol cihazı ile kontrol edildiği için suyun depoya istenilen sıcaklığın altında girmesine izin vermemektedir. Böylece SKPK sistemindeki sıcak su üretim kapasitesi set sıcaklığına göre değişir. Su istenilen set sıcaklığına ulaştığı zaman depolama tankına aktarılır.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıcaklık Kontrollü Parabolik Kollektör (SKPK) sistemi deneysel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- SKPK sisteminde en yüksek su miktarı proses kontrol cihazı 40°C'ye set edilmişken 96 kg olarak elde edilmiştir. Set edilen en yüksek sıcaklık 100°C'dir ve bu set değerinde depoda biriken su miktarı 15 kg'dır.
- Emici boru yüzeyi cam malzeme ile izole edilerek dış ortamdan kaynaklı (rüzgâr vb.) ısı kayıpları en aza indirilerek sistem veriminin artışı sağlanabilir.
- SKPK sistemi ayrıca yüksek sıcaklıklar gerektiren endüstriyel sistemlere çok uygundur.
- SKPK sisteminde depolama tankı çatı katı gibi üst kısımlara yerleştirilebilir. Böylelikle dış ortamdaki ısı kayıpları daha aza indirilebilir.
- SKPK sistemi düşük bir güç tüketimine sahiptir ancak buna rağmen herhangi bir elektrik kesintisinde sistemin çalışabilmesi için güneş panelleri ile desteklenmelidir.

Sonraki yapılacak çalışmalarda, farklı yansıtıcı yüzey malzemeleri ve boyutları, farklı emici boru malzemeleri ve boyutları için kurulabilecek prototip sistemlerin performansı incelenmelidir. Sistemde kullanılan bütün parçaların ithal ve yerli malzemelerle oluşturulması durumuna göre maliyet hesapları çıkarılmalıdır. Sisteme güneş takip mekanizması eklenerek verimliliğin artışına olan etkisi gözlemlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Bakır, A. A., Ekinci, U. ve Çakmaklı, F., “Parabolik oluklu güneş kolektörü imalatı ve deneysel analizler”, Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Karabük, 1-23 (2011).
2. Kılıç, A. ve Öztürk, A., “Güneş Enerjisi”, **Kıpaş Dağıtımçılık**, İstanbul, 1-13 (1983).
3. Eltez, M., “Güneş enerjisi yansıtıcı yüzey formlarının endüstriyel kullanımı”, **Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi**, 1 (2): 45-50 (1990).
4. Tatar, R. A., Thodos, G. and Lee, Y. N., “Performance of an array of compound parabolic concentrators with plain tubular receivers”, **Renewable Energy**, 1 (1): 21-26 (1991).
5. Pereira, M. C., Gordon, M. J., Rabl, A. and Winston, R., “High concentration two stage optics for parabolic trough solar collectors with tubular absorber and large rim angle”, **Solar Energy**, 49 (6): 457-466 (1991).
6. Pinazo, J. M., Canada, J. and Arago, F., “Analysis of the incidence angle of the beam radiation on CPC”, **Solar Energy**, 49 (3): 175-179 (1992).
7. Ünüsaçar, F. ve Taşer, Ö. F., “Güneş takibinin kolektör performansına etkisi”, **Tr. J. Of Engineering and Environmental Sciences**, 18 (18): 323-328 (1994).
8. Usta, H., “Güneş enerjisi ile çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinin tasarımlarının geliştirilmesi ve imali”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 63-88 (1995).
9. Kalogirou, S., Lloyd, S. and Ward, J., “Modelling, optimisation and performance evaluation of a parabolic trough solar collector steam generation system”, **Solar Energy**, 60 (1): 49-59 (1997).
10. Odeh, S. D., Morrison, G. L. and Behnia, M., “Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors”, **Solar Energy**, 62 (6): 395-406 (1998).
11. Genç, A., “Güneşi tek ekseninde takip eden parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının performans deneyleri”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 23-25 (1998).
12. Price, H., Lüpfert, E., Kearney, D., Zarza, E. and Mahoney, R., “Advances in parabolic trough solar power technology”, **Journal of Solar Energy Engineering**, 124: 109-125 (2002).

13. Eck, M. and Dteinnmann, W. D., "Direct steam generation in parabolic troughs: first results of the DISS project", *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 134-139 (2002).
14. Rincon, E. A. and Osorio, F. A., "Anew trougllike nonimaging solar collector", *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 51-54 (2002).
15. Almanza, R., Jimenez, G., Lentz, A. and Soria A., *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 140-144 (2002).
16. Zarza, E., Valenzuela, L., Leon, J., Weyers, H. D., Eck, M. and Hennecke, K., "The DISS project: Direct steam generation in parabolic trough systems, operation and maintenance experience and update on project status", *Journal of Solar Enerjy Engineering*, 124: 126-133 (2002).
17. Hermann, U. and Kearney D. W., "Survey of thermal energy storage for parabolic trough power plants", *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 145-152 (2002).
18. Sözen, A., Altıparmak, D. ve Usta, H., "Development and testing of a prototype of absorption heat pump system operated by solar energy", *Applied Thermal Engineering*, 22: 1847-1859 (2002).
19. Çolak, L., "Güneşi takip eden parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinin matematiksel modellenmesi, tasarımı ve teknik optimizasyonu", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 268 (2003).
20. Haifeng, X. and Zhenyan, L., "Performance of solar cooling tube with non-tracking concentrator", *Science Pres*, 24 (6): 750-757 (2003).
21. Mills, D. R., "Relative cost-effectiveness of periodically adjusted solar collectors using evacuated absorber tubes", *Solar Energy*, 36 (4): 323-331 (2003).
22. Grass, C., Schoelkopf, W., Staudacher, L. and Hacker, Z., "Comparison of the optics of non-tracking and novel types of tracking solar thermal collectors for process heat applications up to 300°C", *Solar Energy*, 36: 1-3, 207-222 (2004).
23. Demirpolat, E., "Vakum borulu parabolik oluk tip güneş toplayıcılarının sıcak su üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 37-54 (2006).
24. Bakos, G. C., "Desing and construction of a two-axis sun tracking system for parabolic trough collector efficiency improvement", *Renewable Energy*, 31: 2411-2421 (2006).
25. Riffelmann, K. J., Neumann, A. and Ulmer, S., "Performance enhancement of parabolic trough collectors by solar flux measurement in the focal region", *Solar Energy*, 80: 1303-1313 (2006).

26. Valan A. A. and Sornakumar, T., “Desing, manufacture and testing of fiberglass reinforced parabola trough for parabolic trough solar collectors”, *Solar Energy*, 81: 1273-1279 (2007).
27. Chauchi, B., Zrelli, A. and Gabsi, S., “Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator”, *Desalination* 217: 118-126 (2007).
28. Mazlovmi, M., Naghashzadegan, M. and Javaherhed, K., “Simulation of solar lithium bromide-water absorption cooling system with parabolic trough collector”, *Energy Conversion and Management* 49: 2820-2832 (2008).
29. Krüger, D., Pandian, Y., Hennecke, K. and Schmitz, M., “Parabolic trough collector testing in the frame of the reacht project”, *Desalination* 220: 612-618 (2008).
30. El Fadar, A., Mimet, A. and Perez-Garcia, A., “Study of an adsorption refrigeration system powered by parabolic trough collector and coupled with a heat pipe”, *Renewable Energy* 34: 2271-2279 (2009).
31. Garcia-Valladers, O. and Velazquez, N., “Numerical simulation of parabolic trough solar collector: Improvement using counter flow concentric circular heat exchangers”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 597-609 (2009).
32. Fernandez-Garcia, A., Zarza, E., Valenzuela, L. and Perez, M., “Parabolic-trough solar collectors and their applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 912: 1-27 (2010).
33. Wu, S. Y., Xiao, L., Cao, Y. and Li, Y. R., “A parabolic dish/AMTEC solar thermal power system and its performance evaluation”, *Applied Energy* 87: 451-462 (2010).
34. Şanlı, G., “Parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinin teorik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 26-35 (2010).
35. İnternet: Anages Güneş Enerji Sistemleri, “Düzlemsel Kollektör”, <http://www.anages.com/icerik.asp?kategori=G%C3%BCne%C5%9F+enerji+sistemleri&kimlik=115> (2014).
36. İnternet: Limitsiz Enerji, Yenilenebilir Enerji Platformu, “Güneş Havuzu”, <http://www.limitsizenerji.com/haberler/makaleler/1120-gunes-havuzlari> (2014).
37. İnternet: Kıncay, O., ve Onan, C., “Düzlem Yansıtıcı Düzlemsel Yoğunlaştırıcı”, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/yogunlastirici.pdf> (2014).

38. İnternet: Renesis Enerji Sistemleri, “Fresnel Mercekli Odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar”, <http://www.renesis.com.tr/bilgi-bankasi-fresnel.php> (2014).
39. İnternet: Ana Enerji Sistemleri, “Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcıları”, <http://www.anaenerji.com/endustriyel-elektrik-uretiminde-en-uygun-cozumler-sunar.html> (2014).
40. İnternet: Di Mühendislik Maden Çevre ve Enerji Danışmanlığı, “Güneş Kulesi”, http://www.dimuhendislik.com/haberler-13-Mersin'de_Turkiye'nin_ilk_gunes_enerjisi_kulesi_kuruldu.html (2014).
41. İnternet: Trans Akdeniz Yenilenebilir Enerji İşbirliği (TREC), “Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısı Şematik Gösterimi”, <http://okulsel.net/docs/index-107260.html> (2014).
42. İnternet: Güven Art Metal Alüminyum İnş. San. Tic. Ltd. Şti., “Yansıtıcı Yüzey (Alüminyum Ayna Bant)”, http://www.guvenmetalaluminum.com/tr/urun/Eloksal_Kapli_Parлак_Aluminyum_Levha (2014)
43. Bo-Ren, C., Yu-Wei, C., Wen-Shing, L. and Sih-Li, C., “Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater”, *Solar Energy* 83: 1048-1055 (2009)
44. Esen, H., Özgen, F., Esen, M. ve Şengür, A., “Modelling of a new solar air heater through least-squares support vectort machines”, *Expert Systems With Applications*, 36: 10673-10682 (2009).
45. Hussain, A. M., “The performance of a cylindrical solar water heater”, *Renewable Energy* 31: 1751-1763 (2006).
46. Natthapton, R., Pichai, N. and Naris, P., “Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump”, *Energy* 33: 639-646 (2008).
47. Midilli, A. ve Küçük, H., “Energy and exergy analysys of solar drying process of pistachio”, *Energy*, 28: 539-556 (2003).

EK AÇIKLAMALAR A.

İMALAT RESİMLERİ

Kullanım sıcak suyu hazırlama performansı için tasarlanıp imalatı yapılan sistemin photoshop programı yardımıyla düzenlenmiş haldeki fotoğrafı Resim 1.'de gösterilmiştir. Bu resimde sistem, performansa hazır halde, sabit güney yönlü konumlandırılmıştır.



Şekil EK A.1. Tez dâhilinde tasarlanıp imalatı yapılan sistemin düzenlenmiş fotoğrafı.

Tez dâhilinde hazırlanan sistemin tasarım, imalat ve performansı Karabük Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Sistem performansı üniversitenin Enerji Sistemleri Mühendisliği Atölyesi önünde 2012 yılının Ekim ayında yapılmış ve fotoğraflandırılmıştır. Fotoğraf, Resim 2.'de verilmiştir.



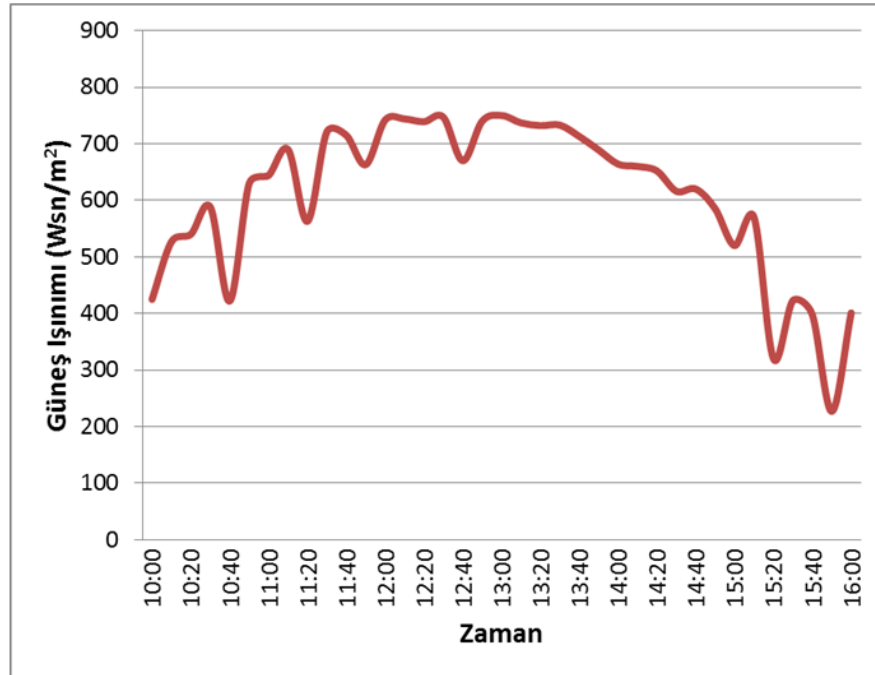
Şekil Ek A.2. Tez dâhilinde tasarlanıp imalatı yapılan sistemin performans anındaki fotoğrafı.

EK AÇIKLAMALAR B.

DENEY SONUÇLARI

Set 40°C

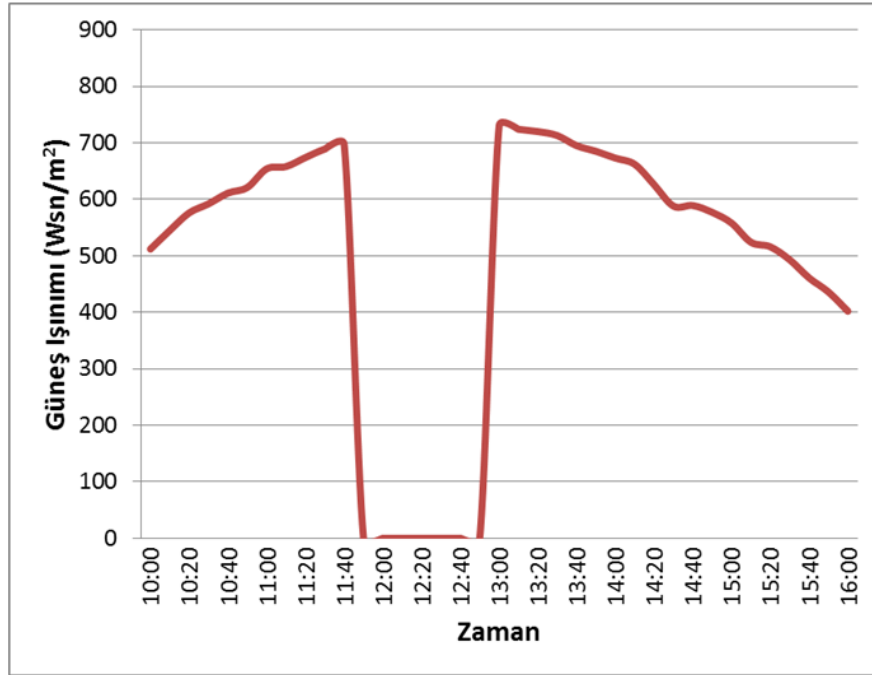
Tarih	13.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	27 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	33 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	36,7 °C
Toplam Su Kütlesi	96 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 30,3



Şekil EK B.1. 13.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 50°C

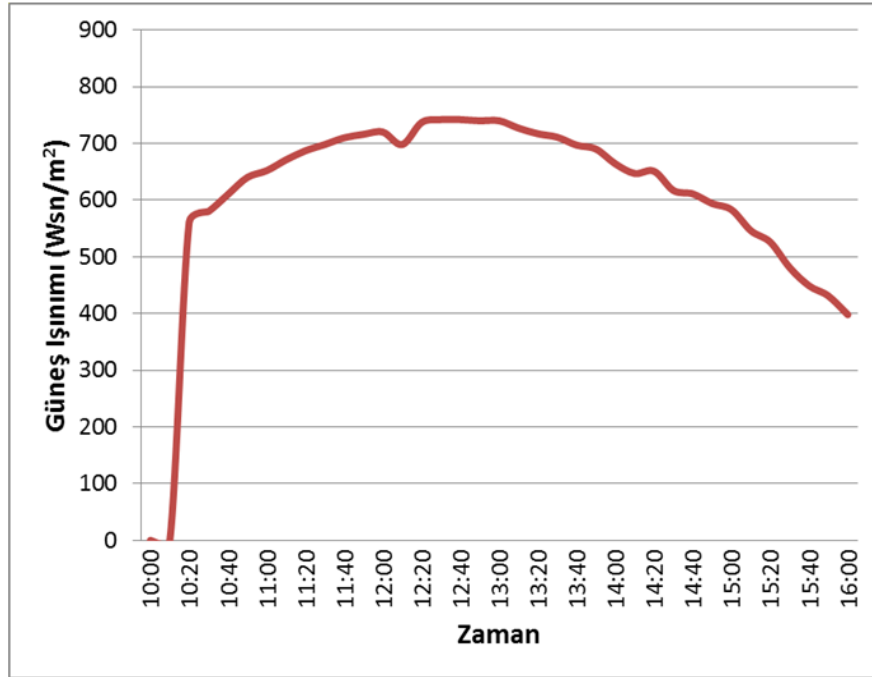
Tarih	14.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	28 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	22 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	40,3 °C
Toplam Su Kütlesi	53,7 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 36,1



Şekil EK B.2. 14.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 60°C

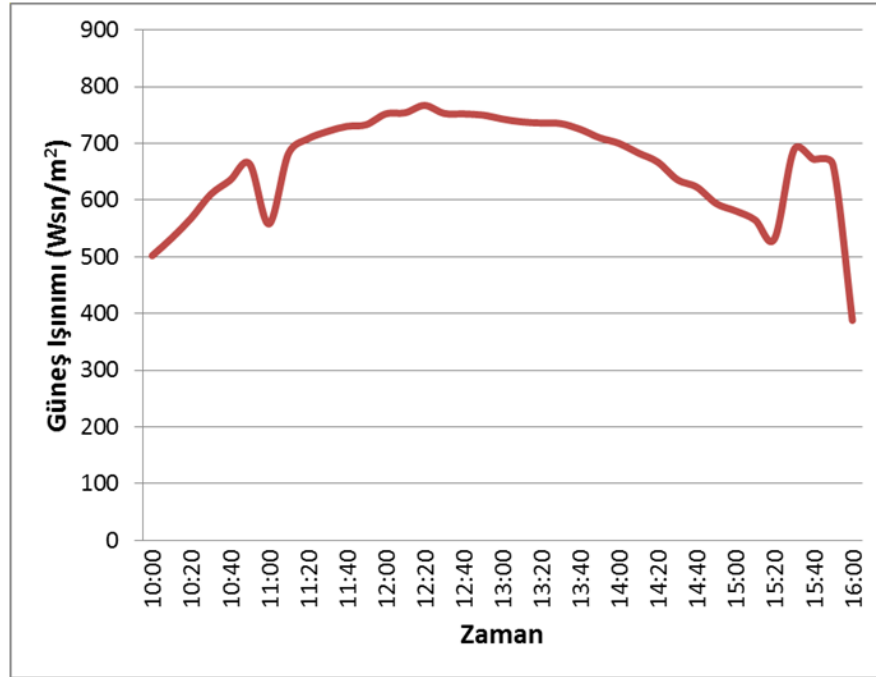
Tarih	15.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	29 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	24 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	49,7 °C
Toplam Su Kütlesi	46,1 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 38,3



Şekil EK B.3. 15.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 70°C

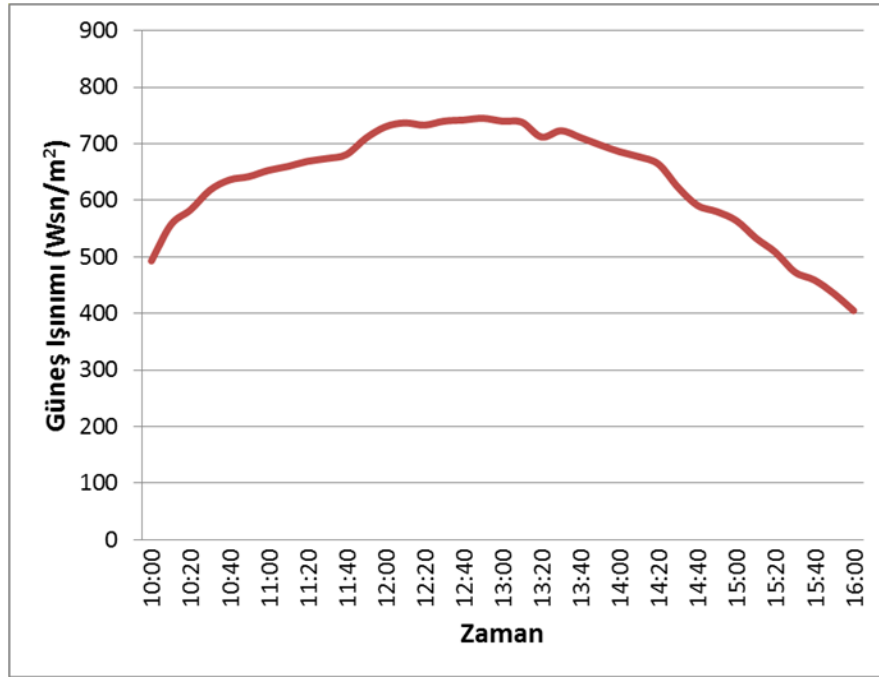
Tarih	16.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	28 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	18 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	60,1 °C
Toplam Su Kütlesi	28,8 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 41,7



Şekil EK B.4. 16.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 80°C

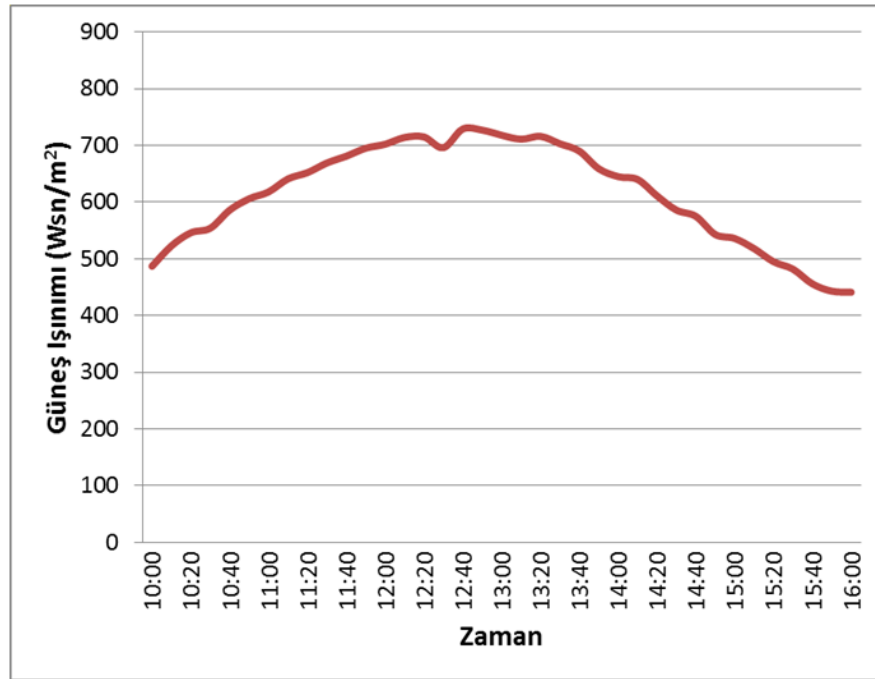
Tarih	17.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	29 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	11 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	63,7 °C
Toplam Su Kütlesi	18,5 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 44



Şekil EK B.5. 17.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 90°C

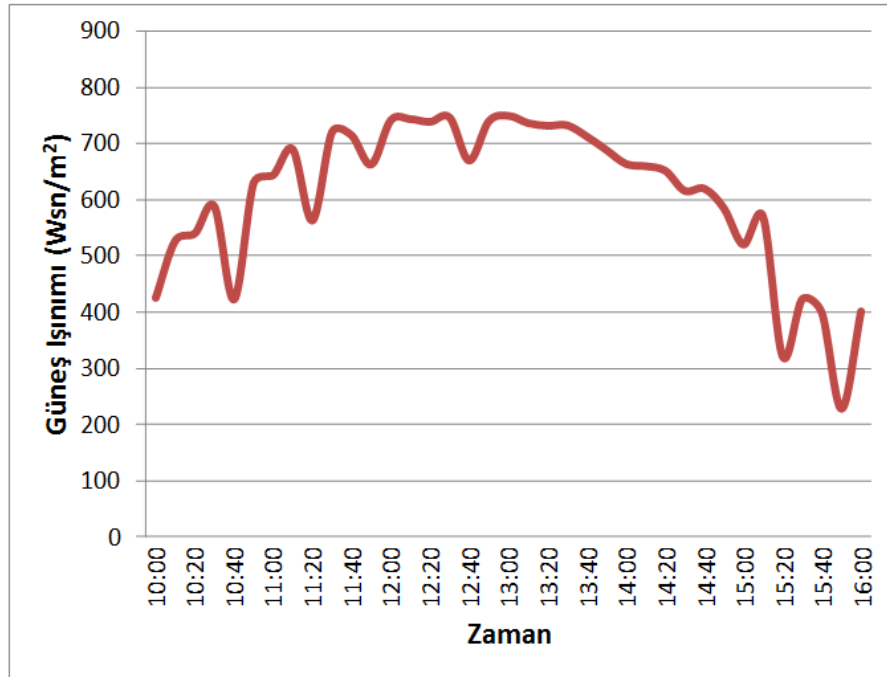
Tarih	18.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	25 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	7 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	70,2 °C
Toplam Su Kütlesi	10,5 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 51,7



Şekil EK B.6. 18.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

Set 100°C

Tarih	19.10.2012
Ort. Hava Sıcaklığı	23 °C
Şebeke Suyu Sıcaklığı	18,4 °C
Su Atım Sayısı	9 Ad.
Çıkış Suyu Sıcaklığı	73,3 °C
Toplam Su Kütlesi	15 cm ³
Ortalama Termik Verim	% 61,3



Şekil EK B.7. 19.10.2012 tarihi güneş ışınım şiddeti.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Akın BAKIR 1989’da Adana’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Emine Nabi Menemencioğlu Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2006 yılında KBÜ Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği Bölümü’ne girdi; 2011’de “iyi” derece ile lisans programından mezun olduktan sonra aynı yıl; KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başlama hakkı kazandı. 2013 yılında Adana ilinde okul sıraları imalatı yapan bir işletme kurdu. Halen; KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Mahfesiğmaz Mah. 79098 Sk.
Sakin Apt. A Blok Kat:1 D:4
Çukurova / ADANA

Tel: (531) 743 40 69

E-posta: aakinbakir@hotmail.com