



**FARKLI TİPTEKİ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN TERMOEKONOMİK
ANALİZİ**

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2016

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ tarafından hazırlanan “FARKLI TİPTEKİ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 18/02/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

18.02.2016

FARKLI TİPTEKİ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2016

ÖZET

Bu çalışmada düz plaka kolektörler ile vakum tüp kolektörler standartlara uygun güneşi takip eden deney düzeneğinde test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kolektörlerin anlık verimleri ve akışkana aktardıkları enerji miktarları mukayese edilmiştir. Mukayese sonucunda vakum tüp kolektörün akışkana aktardığı enerjinin düz plaka kolektöre göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak ekserji analizi yapılmıştır. Ekserji analizi sonucunda vakum tüp kolektör sisteminin ekserjisinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Vakum tüplü ve düz plakalı kolektörlerin ekonomik analizleri net bugünkü değer yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz neticesinde düşük sıcaklıklarda düz plaka kolektör sisteminin birim enerji maliyeti daha düşük iken, yüksek sıcaklıklarda vakum tüp kolektör sisteminin birim maliyetinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 928.1.131

Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Düz plaka kolektör, Vakum tüp kolektör, Enerji, Verim, Ekserji, Ekonomik analiz

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

THERMOECONOMIC ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF SOLAR
COLLECTORS

(M. Sc. Thesis)

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2016

ABSTRACT

In this study, the flat plate collectors and vacuum tube collectors were tested in the experimental setup. The solar tracking system is in accordance with the standards. As a result of the experiments, instantaneous efficiency of the collectors and the amount of energy which transfers fluid were compared. Energy of evacuated tube collector is higher than energy of flat plate collector. Exergy analysis was performed using the obtained experimental results. As a result of exergy analysis, exergy of evacuated tube collector is higher. Economic analysis of the vacuum tube and flat-plate collectors were compared by the net present value method. While unit cost of energy is lower for the flat plate collector system at the low temperature, the cost is lower at the high temperature for evacuated tube collector.

Science Code : 928.1.131

Key Words : Solar Energy, Flat plate collector, Evacuated tube collector, Energy, Efficiency, Exergy, Economic analysis

Page Number : 83

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e, Doç Dr. Tayfun MENLİK'e ve Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma, ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Elif'e, beni bu yaşa getiren ve eğitimimin bu safhaya kadar gelmesini sağlayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
3. GÜNEŞ VE GEOMETRİSİ.....	15
3.1. Güneş.....	15
3.2. Güneşle İlgili Kavramlar.....	17
3.2.1. İrradyans.....	17
3.2.2. İrradyasyon.....	17
3.2.3. Güneş radyasyonu	17
3.2.4. Difüz radyasyon	17
3.2.5. Toplam radyasyon.....	17
3.3. Güneş Geometrisi.....	18
3.3.1. Enlem	18
3.3.2. Deklinasyon açısı	18
3.3.3. Eğim açısı.....	19
3.3.4. Yüzey azimut açısı	19
3.3.5. Saat açısı.....	19
3.3.6. Zenit açısı	20

	Sayfa
3.3.7. Güneş yükseklik açısı.....	20
3.3.8. Güneş azimut açısı	20
3.3.9. Gelme açısı.....	20
4. KOLEKTÖRLER.....	21
4.1. Kolektör Tipleri	21
4.1.1. Akışkan çeşidine göre kolektörler.....	21
4.1.2. Düz plaka kolektörler.....	22
4.1.3. Yoğunlaştırıcı kolektörler	20
4.1.4. Vakum tüp kolektörler	24
4.2. Kolektörlerin Uygulama Alanları.....	25
4.2.1. Düşük sıcaklık uygulamaları.....	25
4.2.2. Orta sıcaklık uygulamaları	28
4.2.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları	29
4.3. Verim Deneyinde Kullanılacak Kolektörler	30
4.3.1. Vakum tüp kolektörün tasarım esasları.....	31
4.3.2. Düz plaka kolektörün tasarım esasları	32
5. MATERYAL VE METOT.....	35
5.1. Materyal	35
5.1.1. İki eksenli güneş takip sistemleri	35
5.1.2. Deney düzeneği.....	35
5.1.3. Deney düzeneği ölçüm cihazları	37
5.1.4. Bina dışı durgun hal performans deneyi.....	39
5.2. Metot	42
5.2.1. Enerji analizi	42
5.2.2. Ekserji analizi	43
5.2.3. Ekonomik analiz	44
6. TERMOEKONOMİK ANALİZ	47
6.1. Deney Sonuçları	47
6.1.1. Düz plaka kolektör ölçüm sonuçları	47
6.1.2. Vakum tüp kolektör ölçüm sonuçları	48
6.2. Enerji Analizi.....	49
6.2.1. Düz plaka kolektör sonuçları.....	49

	Sayfa
6.2.2. Vakum tp kolektör sonuçları	53
6.2.3. Kolektörlerin verimlerinin ve enerjilerinin kıyaslanması.....	57
6.3. Ekserji Analizi	59
6.3.1. Düz plaka kolektörün ekserji verimi ve analizi.....	59
6.3.2. Vakum tp kolektörün ekserji verimi ve analizi.....	61
6.3.3. Sistemlerin ekserjilerinin kıyaslanması	63
6.4. Ekonomik Analiz.....	64
6.4.1. Düz plaka kolektör sistemi	64
6.4.2. Vakum tp kolektör sistemi	68
6.4.3. Farklı tipteki kolektör sistemlerinin ekonomik karşılaştırması.....	72
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Üretilen enerjinin birincil kaynaklara göre dağılımı (2010-2014)	1
Çizelge 1.2. 2014 Yılı itibariyle Türkiye'nin birincil enerji kaynakları rezervi	2
Çizelge 1.3. 2014 Yılı itibariyle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	2
Çizelge 6.1. Düz plaka kolektör deney sonuçları	47
Çizelge 6.2. Vakum tüp kolektör deney sonuçları	48
Çizelge 6.3. 35 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	49
Çizelge 6.4. 51 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	49
Çizelge 6.5. 66 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	50
Çizelge 6.6. 82 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	50
Çizelge 6.7. Düz plaka kolektörün akışkana aktardığı enerji miktarı	52
Çizelge 6.8. 31 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	53
Çizelge 6.9. 49 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	54
Çizelge 6.10. 64 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	54
Çizelge 6.11. 81 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları	54
Çizelge 6.12. Vakum tüp kolektörün akışkana aktardığı enerji miktarı	56
Çizelge 6.13. 35 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	59
Çizelge 6.14. 51 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	59
Çizelge 6.15. 66 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	60
Çizelge 6.16. 82 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	60
Çizelge 6.17. 31 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	61
Çizelge 6.18. 49 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi	61

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.19. 64 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi.....	62
Çizelge 6.20. 81 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi.....	62
Çizelge 6.21. Sistem elemanları fiyat listesi	66
Çizelge 6.22. Çalışma sıcaklığına göre 60 yıl boyunca elde edilen enerji.....	67
Çizelge 6.23. Vakum tüp sistemi elemanları fiyat listesi.....	70
Çizelge 6.24. Çalışma sıcaklığına göre 60 yıl boyunca elde edilen enerji.....	71



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Güneşin yapısı	15
Şekil 3.2. Dünya-Güneş arasındaki ilişki.....	16
Şekil 3.3. Güneş açıları	19
Şekil 4.1. Düz plaka kolektör.....	22
Şekil 4.2. Tuz tabakalı güneş havuzunun şematik görünümü.....	26
Şekil 4.3. Güneş bacasının çalışma prensibi	26
Şekil 4.4. Elektrik üretim mekanizması.....	28
Şekil 4.5. Isıtma ve soğutma sistemleri çalışma mekanizması	29
Şekil 4.6. Doğrudan su girişli vakum tüp kolektörün kesit görünüşü.....	32
Şekil 4.7. Düz plaka kolektör bileşenleri	33
Şekil 4.8. Taşınım engelleyici tabakalı kolektör.....	34
Şekil 5.1. Deney düzeneği devresi	36
Şekil 5.2. Kolektör kontrol hacmi.....	42
Şekil 6.1. Düz plaka kolektörün anlık verimlilik grafiği	51
Şekil 6.2. Düz plaka kolektörün akışkana aktardığı enerjinin çalışma sıcaklığına göre değişim grafiği	53
Şekil 6.3. Vakum tüp kolektörün anlık verimlilik grafiği.....	55
Şekil 6.4. Vakum tüp kolektörün akışkana aktardığı enerjinin çalışma sıcaklığına göre değişim grafiği	56
Şekil 6.5. Kolektörlerin anlık verim kıyaslaması.....	57
Şekil 6.6. Kolektörlerin akışkana aktardığı enerjinin kıyaslanması	57
Şekil 6.7. Düz plaka kolektörün ekserji verimi grafiği	60
Şekil 6.8. Vakum tüp kolektörün ekserji verimi grafiği	62
Şekil 6.9. Kolektörlerin ekserji verimlerinin kıyaslanması	63

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. Düz plaka kolektör sistemi	65
Şekil 6.11. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak düz plaka kolektör sisteminin sıcak su birim maliyeti.....	68
Şekil 6.12. Vakum tüp kolektör sistemi.....	69
Şekil 6.13. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak vakum tüp kolektör sisteminin sıcak su birim maliyeti.....	71
Şekil 6.14. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak sıcak suyun birim maliyeti karşılaştırması	72



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Doğrusal odak kolektörü	23
Resim 4.2. Nokta odaklı kolektör	23
Resim 4.3. Fresnel kolektör	24
Resim 4.4. Vakum tüp kolektör	25
Resim 4.5. Güneş ocağı	27
Resim 4.6. Stirling motorlu parabolik çanak kolektör	30
Resim 4.7. Güneş kuleleri	30
Resim 4.8. Vakum tüp kolektör bileşenleri.....	31
Resim 5.1. Deney düzeneği.....	36
Resim 5.2. Piranometre	37
Resim 5.3. Anemometre.....	38
Resim 5.4. Suni rüzgar üreticisi	38
Resim 5.5. Güneş takip sensörü	40
Resim 5.6. Kolektörün deney düzeneğine bağlanması	41
Resim 5.7. Kolektör giriş ve çıkışında suyun sıcaklığının ve debisinin ölçülmesi.....	42

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Güneş enerjisi potansiyel atlası.....	3



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
m	Metre
K	Kelvin
G_{SC}	Güneş Sabiti (W/m ²)
m²	Metrekare
W	Watt
G_{on}	Işınım Şiddeti (W/m ²)
n	Gün numarası
G	İrradyans (W/m ²)
H	İrradyasyon (W/m ²)
φ	Enlem
δ	Deklinasyon açısı
β	Eğim açısı
γ	Yüzey azimut açısı
ω	Saat açısı
θ_Z	Zenit açısı
a_s	Güneş yükseklik açısı
θ	Gelme açısı
γ_s	Güneş azimut açısı
Q	Transfer edilen ısı miktarı (W)
ṁ	Kütleli debi (kg/dk)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (°C)

Simgeler**Açıklamalar** η

Anlık verim

 η_0

Sıfır ısı kaybı katsayısı

 η_{2nd}

İkinci dereceden verim

 a_1

Isı kaybı katsayısı

 a_2

Sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı

 ψ

Ekserji (W)

 A_c Kolektör yüzey alanı (m²) h

Entalpi (kJ/kg)

 s

Entropi (kJ/kg.K)

 i_e

Birleştirilmiş faiz oranı

 i

Reel faiz oranı

 d

Enflasyon oranı

 N

Proje ömrü

 R

Paranın n. yıldaki değeri (TL)

 n

yıl

 R Isıl Geçirgenlik Direnci (K.m²/W) o

çıkış

 i

giriş

 m

ortalama

 a

çevre

 s

Güneş

Kısaltmalar**Açıklamalar****EN**

Avrupa Normu

Eş

Eşitlik

ISO

Uluslararası Standart Organizasyonu

NBD

Net Bugünkü Değer

TS

Türk Standardı

1. GİRİŞ

Artan nüfusla ve sanayileşmeyle beraber her geçen gün enerji talebi artmaktadır. Dünya ve ülkemizin nüfusu sürekli artmaktadır. 2012 yılında yaklaşık 7 milyar olan dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyar olması beklenmektedir. 2012 yılı verilerine göre geneli Asya ve Afrika ülkelerinde yaşayan 1,3 milyar insana elektrik hala ulaşmamışken 2040 yılında artan taleple beraber bu sayının artacağı ve enerji talebinin karşılanamayacağı öngörülmektedir [1]. Nüfus artışına ek olarak sanayileşme ve hızlı kentleşme enerji talebini büyük ölçüde artırmaktadır. Mevcut enerji talebinin çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Öngörülen senaryolarda enerji talebinin 2040 yılında yaklaşık %75,8'inin fosil kaynaklardan sağlanacağı, bunun yanında enerji talebinin diğer kaynaklara göre karşılanma yüzdeleri biyoenerji %8,7 iken diğer yenilenebilir kaynaklar için %7,7, nükleer için %5,4, hidrolik için ise %2,8'dir [1]. Fosil kaynak rezervlerinin sınırlı ve tükenir olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Artan enerji talebiyle beraber dünyada yenilenebilir enerji potansiyeli ön plana çıkartılmaktadır. Türkiye'nin kaynaklara göre enerji arzı Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Üretilen enerjinin birincil kaynaklara göre dağılımı (2010-2014) [2]

BİRİNCİL KAYNAKLAR			(Milyon kWh)				
			2010	2011	2012	2013	2014
FUEL-OİL	Üretim	GWh	2.143,8	900,4	981,3	1.192,5	1.662,9
	Katkı	%	1,0	0,4	0,4	0,5	0,7
MOTORİN	Üretim	GWh	4,2	3,1	657,4	546,3	482,4
	Katkı	%	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2
İTHAL KÖMÜR	Üretim	GWh	14.531,7	22.817,9	29.210,5	29.453,7	35.086,0
	Katkı	%	6,9	9,9	12,2	12,2	13,9
DOĞALGAZ	Üretim	GWh	98.143,7	104.047,6	104.499,2	105.116,3	120.576,0
	Katkı	%	46,5	45,4	43,6	43,4	47,9
LNG	Üretim	GWh	-	0,0	0,0	0,0	0,0
	Katkı	%	-	0,0	0,0	0,0	0,0
LPG	Üretim	GWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Katkı	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NAFTA	Üretim	GWh	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	Katkı	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
YABANCI KAYNAK TOPLAM	Üretim	GWh	114.855,4	127.769,1	135.348,4	136.308,9	157.807,3
	Katkı	%	54,4	55,7	56,5	56,3	62,6
TAŞKÖMÜR	Üretim	GWh	3.588,3	3.712,7	3.264,2	3.338,6	3.607,1
	Katkı	%	1,7	1,6	1,4	1,4	1,4
LİNYİT	Üretim	GWh	35.942,1	38.870,4	34.688,9	32.229,2	36.615,4
	Katkı	%	17,0	16,9	14,5	13,3	14,5
ASFALTİT	Üretim	GWh	984,3	816,9	849,5	731,7	954,2
	Katkı	%	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
DİĞER+ATIK	Üretim	GWh	457,5	469,2	720,8	1.171,2	1.432,6
	Katkı	%	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6
HİDROLİK TOP.	Üretim	GWh	51.795,5	52.338,6	57.865,0	59.420,5	40.644,7
	Katkı	%	24,5	22,8	24,2	24,5	16,1
RÜZGAR	Üretim	GWh	2.916,4	4.723,9	5.860,8	7.557,5	8.520,1
	Katkı	%	1,4	2,1	2,4	3,1	3,4
JEOTERMAL	Üretim	GWh	668,2	694,4	899,3	1.363,5	2.364,0
	Katkı	%	0,3	0,3	0,4	0,6	0,9
GÜNEŞ	Üretim	GWh	-	-	-	-	17,4
	Katkı	%	-	-	-	-	0,0
YERLİ KAYNAK TOPLAM	Üretim	GWh	96.352,3	101.626,1	104.148,4	105.812,2	94.155,4
	Katkı	%	45,6	44,3	43,5	43,7	37,4
TÜRKİYE ÜRETİMİ	Üretim	GWh	194.812,9	211.207,7	229.395,1	239.496,8	240.154,0
	Katkı	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
DIŞ ALIM			1.143,8	4.555,8	5.826,7	7.429,4	7.953,3
DIŞ SATIM			1.917,6	3.644,6	2.953,6	1.226,7	2.696,0
TÜRKİYE TÜKETİMİ			210.434,0	230.306,3	242.369,9	246.356,6	257.220,1

Tabloda görüldüğü üzere enerji talebinin çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Ülkemiz fosil kaynaklar bakımından (kömür hariç) fakir olmasından dolayı enerjide dışa bağımlılığımız söz konusudur. Hem dışa bağımlılığı hem de karbon salınımını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkartılmaktadır. Düşen kurulum ve üretim maliyetleri sayesinde Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere yenilenebilir enerji arzı her yıl artmaktadır. 2014 yılı sonundaki yerli enerji kaynak potansiyelimiz Çizelge 1.2’de ve Çizelge 1.3’te verilmiştir.

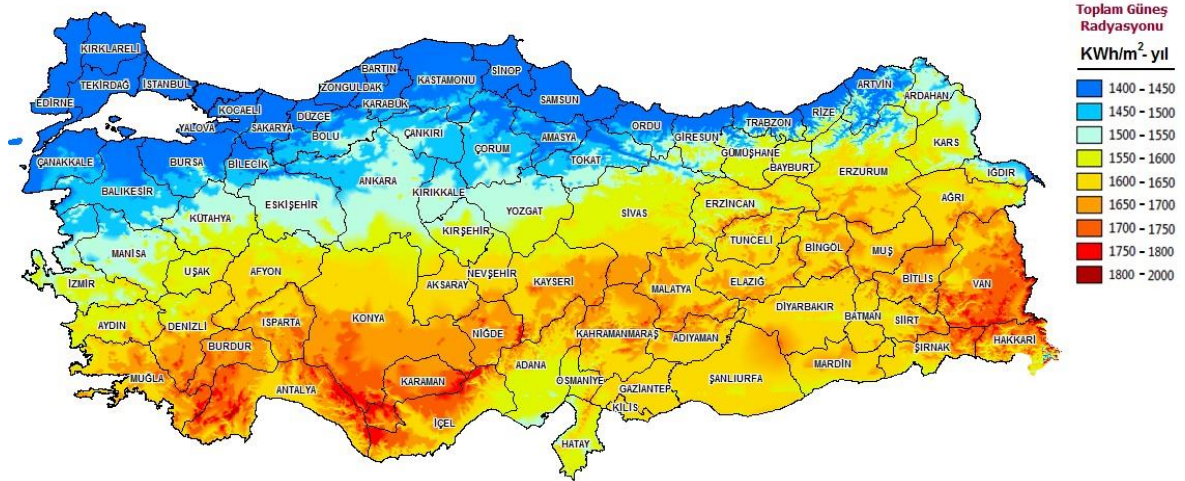
Çizelge 1.2. 2014 Yılı itibariyle Türkiye'nin birincil enerji kaynakları rezervi [2]

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taşkömürü (Milyon Ton)	517,5	425	368,4	1.310,5
Linyit (Milyon Ton)				
Elbistan	4.845,5			4.845,5
Diğer	9.146	768,9	4,5	9.919,4
Toplam	13.991,5	768,9	4,5	14.764,9
Asfaltit (Milyon Ton)	82			82
Bitümler (Milyon Ton)	1.641,4			1.641,4
Hidrolik				
GWh/Yıl	59.245,8			59.245,8
MW	22.748,9			22.748,9
Ham Petrol (Milyon Varil)	7.123			7.123
Doğalgaz (Milyar m ³)	24,4			24,4
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9.100			9.100
Toryum	380.000			380.000

Çizelge 1.3. 2014 Yılı itibariyle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli [2]

	HİDROLİK	RÜZGAR	GÜNEŞ	BİYOKÜTLE	JEOTERMAL
KURULU GÜÇ (MW)	23.640,9	3.629,7	40,2	288,2	404,9
ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	40.396,1	8.385,4	-	1.171,2	2.249,9
ISI (Bin TEP)	-	-	795	***	4,99
2023 HEDEFİ (MW)	36000	20000	5000	1000	1000
POTANSİYEL	160 TWh/yıl	48000 MW	1500 kWh/m ² -yıl	20 Milyon TEP	31500 MWt 2000 MW

Çizelge 1.2'de ve Çizelge 1.3'te görüldüğü üzere ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklar açısından rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli ön plana çıkmaktadır. Gerek güneşlenme süreleri gerekse ülkemizin güneyinin güneşlenme potansiyelinden dolayı güneş enerjisi ülkemiz açısından önem arz etmektedir.



Harita 1.1. Güneş enerjisi potansiyel atlası [3]

Harita 1.1'de görüldüğü gibi Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri toplam güneş radyasyonu açısından diğer bölgelere nazaran daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu bölgeler yüksek sıcaklık uygulamaları ve elektrik üretimi açısından yüksek potansiyele sahiptir. İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri orta sıcaklık uygulamaları açısından daha uygundur. Bu bölgeler elektrik üretilmesi açısından uygun güneş radyasyonuna sahip değildir.

Bu tezin amacı, ülkemizde son dönemlerde kullanılmaya başlayan vakum tüplü kolektörler ile uzun zamandır kullanılan düz plaka kolektörlerin termoekonomik olarak mukayese edilerek, hangi tip kolektörün kullanılması gerektiğinin ortaya konulmasıdır. Bu amaçla standartlara uygun güneş kolektörü test düzeneği kullanılarak standartlara uygun değerler ölçülmüş ve karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yapılan çalışmaya benzer çalışmalar incelenmiştir. İncelenen benzer çalışmaların özetleri aşağıda sıralanmıştır.

Hashish ve El-Refaie yaptıkları çalışmada düz yüzeyli güneş kolektörün dinamik davranışını gösteren kısmi diferansiyel denklemi için azaltılmış bir dinamik model elde etmek amacıyla yaklaşım teknikleri uygulamışlardır. Yapılan yaklaşımlar için kolektör n sayıda bölümlere ayrılmıştır. Yapılan modellemede n sayıda bölümün her bölümü boyunca herhangi bir pozisyondaki dinamik model ayrılmış bir ikinci dereceden durum denklemidir. Dinamik modelden elde edilen sayısal çözümler ile kesin çözüm arasında çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, bilgisayar depolama gereksinimlerine ek olarak hesaplama çabaları diğer metotlarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde azaltılmıştır. Dinamik modelden elde edilen sonuçlar, basit bir kalıcı-hal modeline dayalı olanlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan modelleme neticesinde, düşük bir termal atalet ve yüksek sıvı akışı ısı kapasite sahip kolektörler için sadece kararlı durum ifadelerinin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır [4].

Ünsaşar yaptığı çalışmada sensörlerden alınan bilgileri bilgisayar ortamına aktarıp, aktarılan bilgileri işleyerek sonuçların değerlendirildiği bir sistem geliştirmeyi hedeflemiştir. Yapılan çalışmada güneş takip sistemleri hedef olarak seçilmiştir. Çalışmada araları siyah plakalarla bölünmüş dört adet fotosel kullanılmıştır. Fotosellerin ürettiği sinyaller elektronik devreler yardımıyla bilgisayara aktarılmış ve güneşin konumuna göre kolektörün iki ekseninde hareket edebilmesi için iki adet step motor kullanılarak güneş ışınlarının her zaman kolektöre dik gelmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmada biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki adet düzlemsel kolektör kullanılmıştır. Kullanılan kolektörlerdeki sıcaklık sensörleri yardımıyla suların giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek, veriler bilgisayara aktarılmıştır. Çalışmada tasarlanan sistem üretilerek teste tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda sabit ve hareketli olan kolektör sistemlerinin ısı debileri mukayese edilerek sistemlerin avantajları çalışmanın sonuç kısmında değerlendirilmiştir [5].

Taktakoğlu, vakumlu güneş kolektörlerde verimi tespit etmek için çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada düzlemsel yüzeyli vakumlu güneş kolektörleri kullanarak verim hesaplaması yapmıştır. Verim kayıplarını azaltmak için tüp içerisinde yüksek vakum kullanarak ısı iletimi kayıplarını azaltmıştır. Ayrıca yüksek performans sağlayabilmek için kolektörde bir kat cam örtü kullanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde vakumlu kolektörlerin veriminin, düzlemsel kolektörlerinkinden daha yüksek olduğu ve orta yüksek sıcaklık uygulamaları için yoğunlaştırıcı ve güneş takip sistemlerine gerek olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu tipteki kolektörlerin orta yüksek sıcaklık uygulamaları için ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılabileceğini tespit etmiştir [6].

Düzlemsel kolektörlerde su dolaşım miktarının, depo suyu sıcaklıklarına ve verime olan etkisi Değirmenci tarafından yapılan deneylerde incelenmiştir. Deneyler esnasında kolektördeki su debisi artırıldığında, verimin teorik olarak artmasına rağmen suyun depolanma sıcaklıkları düşmüştür. Deneylerde su dolaşım miktarı, 28,88 kg/h ile 90 kg/h aralığında değiştirilmiştir. Deneylerde 8 mm bakır borulu ve 3,6 lt kapasiteli düzlemsel kolektör kullanılmıştır. Yapılan deneylerde en uygun su dolaşım miktarı 28,88 kg/h ile 39,6 kg/h aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu aralıktaki su dolaşım miktarına göre verim aralığı %76-%88, depolanan suyun sıcaklığı 44°C-38°C olarak tespit edilmiştir [7].

Kaan düzlemsel kolektörlerin performansını artırmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada düzlemsel bir kolektör sistemine motorlar eklemiştir. Eklenen motorlar yardımıyla sistemin güneşini takip etmesi sağlanmıştır. Deneyler farklı çalışma ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre performans analizleri yapılmıştır [8].

Dağ tarafından yapılan çalışmada düzlem yüzeyli kolektörlerde kullanılan boruların şekilleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında diğer parametreler sabit tutularak sadece boru şekilleri farklı iki sistem üzerinden deneyler yapılmıştır. Boru şekilleri olarak, klasik dairesel kesitli boru ve oval kesitli borular kullanılmıştır. On gün süren deneyler sonucundan, verim değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Oval borulu kolektörlerde verim %46,34 çıkarken dairesel borulu kolektörlerde verim %43,84 çıkmıştır [9].

Dünder, vakum tüp güneş kolektörleri ile farklı tipteki düzlemsel kolektörler, performans ve verimlerini ayrı ayrı araştırmıştır. Yapılan çalışmada, vakum tüp kolektörler ile eşit alan yüzeyine sahip ahşap ve cam kasalı düzlemsel kolektörler ürettirilerek aynı deney düzeneği üzerinde ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde vakum tüplü kolektörlerin verim ve performans olarak diğer sistemlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler esnasında diğer sistemlerin düşük ışınım şiddetinde çalışmadığı gözlemlenirken vakum tüpün düşük ışınım şiddetlerinde çalıştığı görülmüştür. Bundan dolayı da vakum tüplü kolektörlerin her mevsim kullanılabileceği ve düşük sıcaklıklarda antifriz gerekeceği sonucuna ulaşılmıştır [10].

Struckmann yaptığı çalışmada güneş enerjisi sektöründe pek çok alt sistemi olan aktif güneş enerjisi sisteminin gelişmesine vurgu yapmaktadır. Bu alt sistemler, güneş enerjisi kolektörleri, ısı depolama konteynırları, ısı değiştiriciler, akışkan iletim ve dağıtım sistemleri ve kontrol sistemleri olarak belirtilmiştir. Düzlemsel güneş kolektörlerinin verim hesabı için matematiksel modelleme yapılmıştır [11].

Çakır tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisinin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada güneş enerjisi sistemine bir ısı üreticisi eklenerek 198 m² kapalı bir alan ısıtılmaya çalışılmıştır. Vakum borulu kolektör sistemine ek bir ısıtıcı eklenerek ısıl analizi gerçekleştirmek için iki farklı sistem kullanılmıştır. Sistemlerin ilkinde kolektör yatak eksenle 40° açı yapmak kaydıyla konumlandırılmıştır ve sistemdeki boylere elektrikle çalışan direnç eklenmiştir. Diğer sistemde ise kolektör yatay zemine dik olarak konumlandırılmıştır. Deneyler 2008 yılının Ekim ve Kasım aylarında ve 2009 yılının Ocak ve Mayıs aylarında yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kolektörlerin verimleri hesaplanarak mukayese yapılmıştır [12].

Taze (2010), tarafından yapılan çalışmada düzlemsel kolektör verimine etki eden üç parametrenin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Boru geçiş sayısı, boru malzemesi ve boru-yutucu plaka birleşim yönteminin verim üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için dış ortam şartlarına uygun bir deney düzeneği kurulmuştur. Yapılan deneylerde beş farklı kolektör kullanılmış ve verime etkileri kayıt altına alınmıştır. Deneyler sonucunda boru

geçiş sayısı artırıldığı zaman verimin %20 arttığı belirlenmiştir. Boru malzemesinde alüminyum yerine ısı iletim katsayısı daha yüksek bir malzeme kullanıldığında verimdeki değişimin %2'den fazla olmadığı görülmüştür. Kenetleme birleşimine sahip kolektörlerin veriminin, lazer kaynaklı birleşimli olanlara göre % 10 daha az olduğu belirlenmiştir [13].

Ezen çalışmasında güneş enerjisinin önemine ve Türkiye'nin güne enerjisi potansiyeline vurgu yapmıştır. Çalışmada farklı açılarda konumlandırılmış vakum tüplü kolektör sistemleri kullanılmıştır. Deneyler Isparta'da gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 15°, 30°, 45° ve 60° eğimli kolektörler kullanılmıştır. Dört farklı açıdaki kolektörlerin saat başı depo sıcaklıkları, su giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Bunun yanında ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti günün her saatinde ölçülmüştür. Deneyler sonucunda Isparta için 45° eğime sahip kolektörler en yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir [14].

Şahin çalışmasında güneş açılarından faydalanarak düzlemsel kolektörlerde sıcaklığın artırılması yönünde iki farklı sistem kurmuştur. Yapılan çalışma sonucunda düzlemsel kolektöre verilen eğimin sıcaklık artmasına bir etkisi olmadığı sonucu tespit edilmiştir [15].

Şanlı çalışmasında fosil kaynakların sınırlı olmasından ve zararlarından bahsetmiştir. Bunlardan bahsederken yenilenebilir enerjinin ve güneş enerjinin öneminden bahsetmiştir. Elektrik üretilmesi konusunda ve orta-yüksek sıcaklık uygulamaları açısından parabolik yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerinin öneminden bahsetmiştir. Yapılan incelemede parabolik kolektörler teorik olarak incelenmiştir. Teoride kolektör sisteminde kullanılan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizması üzerinde inceleme yapılmıştır [16].

Köse, düzlemsel kolektörlerin verimlerinin artırılması için çalışma yapmıştır. Verimliliğin artırılması için kolektör boruları içerisine ısı transferi artırıcı kıvrımlı şeritler eklenmiştir. Eklenen şeritler yardımıyla verim artışı ve basınç kayıpları deneysel olarak test edilmiştir. Yapılan deneylerde bir standart bir de şeritler eklenmiş kolektör olmak üzere iki adet

kolektör kullanılmıştır. İki kolektör hem laboratuvar ortamında güneş simülatöründe hem de dış ortamda test edilmiştir. Verim eğrileri incelendiğinde şerit kullanılan güneş kolektörlerinin veriminin, standart kolektörlere göre %15 daha fazla olduğu tespit edilmiştir [17].

Çaylıoğlu yaptığı çalışmada ısı borularının öneminden bahsetmiştir. Farklı özellikteki ısı borularının güneş kolektörlerindeki kullanımından ve verime katkılarından bahsedilmiştir. Isı borularında R134a, R22 ve metanol akışkanları kullanılmış ve farklı tipteki fitil yapıları kullanılmıştır. TS EN 12795-1 standardına uygun olarak deney düzeneğinde gerçekleştirilen verim deneyi sonuçları ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır [18].

Karakaya ve Durmuş, akım yolu spiral dönmeli olarak ürettirilen üç farklı kolektör kullanarak bir çalışma yapmıştır. Akım yolunun uzatılması ve akım yolu geometrisinden dolayı akışkan türbülansa uğratarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma yardımıyla ısı transferi artırılmıştır ve basınç kayıplarında artışlar gözlemlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda ekserji analizi yapılmıştır [19].

Argun yaptığı çalışmasında sabit ve güneş takip sistemine sahip kolektörlerin performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Deneyler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verimler mukayese edilmiştir. Yapılan deneyler ve değerlendirmeler sonucunda takip sistemine sahip kolektörlerin veriminin sabit olanlara oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [20].

Karaçavuş çalışmasında güneş enerjisi uygulamalarından sıcak su ısıtma sisteminin optimizasyonunu yapmıştır. Yapılan çalışmada, İzmir, Trabzon ve Hakkâri illerinin iklim verileri kullanılmıştır. Verilerin yardımıyla optimum kolektör yüzeyi ve optimum kolektör eğim açısı belirlenmiştir. Sistem tasarımı ve optimizasyon TRNSYS17 programı yardımıyla yapılmıştır. Sistem analizleri optimum değerler yardımıyla yapılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma oranları, ortalama kolektör verimleri ve sistemin enerji

değişimleri her üç il için de ayrı ayrı kaydedilmiştir. Güneşten faydalanma oranları İzmir, Trabzon ve Hakkari için sırasıyla %67, %49 ve %56 olarak tespit edilmiştir [21].

Furbo ve diğerleri, Arcon Solvarme A / S güneş ısıtma tesisleri için iki düz plaka güneş kolektörünü Danimarka Teknik Üniversitesi'nde güneş kolektörleri için yapılan test laboratuvarında test etmişlerdir. Test edilen iki kolektör de aynı şekilde tasarlanmıştır. Kolektörlerin birinde soğurucu ile cam yüzey arasında ETFE folyo koyulurken, diğer kolektörde soğurucu ile cam yüzey arasına herhangi bir madde koyulmamıştır. Kolektörlerin verimleri farklı akış hızlarında test edilmiştir. Ölçülen verimler neticesinde, kolektörlerin verimleri akışın bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda hesap edilen verim ile ölçülen verim arasında çok büyük farklar ortaya çıkmamıştır [22].

Furbo ve diğerleri, yaptıkları bir başka çalışmada ise yeni bir dinamik test modeli kullanmışlardır. Bu transfer fonksiyon metodu iki yeni kolektör parametresi üzerinde test edilmiştir. Parametrelerin biri kolektörün iç ısı transferi yeteneğinin gösterirken, diğeri ise veri işlemede akışkanın termal kapasitesini elde edebilen ortalama akışkan sıcaklığına bağlı kolektör terimini ifade etmiştir. Doğru ve istikrarlı ikinci dereceden elde edilen etki faktörlerini araştırmak için teorik analiz ve deneysel doğrulama uygulanmıştır. Deneysel olarak, bir adet düzlemsel kolektör ve bir adet vakum tüp kolektör kullanılmıştır. Bu iki tip kolektör hem yeni dinamik modelde hem de klasik metot da test edilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında, gelişmiş fonksiyon metodunun bu iki tip kolektör için doğru ve sağlam sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [23].

Shijun ve diğerleri, yaptıkları çalışmada uzun süreli durgunluğun termal performansa zarar verdiğini sonucunu elde etmişlerdir. Çalışma için dört farklı tip güneş kolektörü seçmişlerdir. Her bir kolektör için durağanlıktan öncesi ve sonrası için termal performans test sonuçlarını kayıt altına almışlardır. Yapılan deneyler sonucunda her kolektörün verimliliğinin durağanlık sonrası azaldığı tespit edilmiştir [24].

Mosallat ve diğeri yaptıkları çalışmada bir güneş sisteminin bileşenleri, kontrolü ile ısınma ve soğutma yükünün geçici modellemesi yapmışlardır. Sistem düzlemsel kolektörden ve boylerden oluşmuştur. Tasarlanan sistem ve doğal gazlı sıcak su ısıtıcıları, binalardaki radyatörlere düşük kaliteli buhar sağlayan düşük verimli kazanların yerine kullanılabilceği öngörülmüştür. Simulink’de gerçekleştirilen simülasyonun sonucunda güneş sistemi bileşenleri ve kontrolünün uygun seleksiyonu Winnipeg’in en iyi hale getirilmiş iklimsel davranışı olduğu sonucu elde edilmiştir [25].

Maldonado ve diğeri, güneş enerjili su ısıtıcıların tasarımını, yapısını ve anlık verimini incelemiştir. Çalışmada, kolektörün enerji dengesine dayalı bir termal analiz geliştirmişlerdir. Kolektörün geometrisi ve boyutları termal analiz sonuçları ve kolektörün yapımında kullanılan malzemelerin termik özellikleri tarafından belirlenmiştir. Güneş kolektörü boyutu 100 litrelik bir depolama tankı ile beraber 1,4 m² olarak bulunmuştur. Kolektörün ulaştığı en yüksek sıcaklık 55°C olarak ölçülürken, bu sıcaklık geceleri 47,6 °C’ye düşmüştür. Deneyler sonucunda kolektörün debisi 0,0038 ile 0,04 kg/s aralığında, ortalama verimi ise %30,2 olarak ölçülmüştür [26].

Ersöz ve Yıldız, boru çapları 16, 22 ve 28 mm olan vakum tüp güneş kolektörleri üretmişlerdir. Kolektörlerde akışkan olarak etanol, ısıtılan akışkan olarak da hava kullanılmıştır. Ürettirilen kolektörler beş gün süreyle Uşak’ta eş zamanlı olarak deneye tabi tutulmuştur. Deneylerde hava giriş ve çıkış sıcaklığı ile güneş ışınım şiddetleri ölçülmüştür. Ölçümler sabah 09.30’da başlayıp 17.30’a kadar beşer dakikalık arayla veriler kaydedilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda verimler ve boru çaplarının verime etkisi değerlendirilmiştir [27].

Atız çalışmasında güneş enerjisinden yararlanarak enerji üretmek, enerji depolamak ve ısıtma uygulamalarında kullanmak üzere bir güneş enerji sistemi kurmuştur. Kurulan sistemde 0,8 m yarıçapında ve 1,65 m derinliğinde bir güneş havuzu kullanılmıştır. Kullanılan güneş havuzunun yanında dört adet düzlemsel ve dört adet vakum tüp kolektör kullanılmıştır. Isıtma uygulamalarında yan duvarları yalıtımlı bir test odası ve üç adet döküm radyatör kullanılmıştır. Sistemin sıcaklık dağılımları devamlı ölçümlerle kayıt

altına alınmıştır. Çalışmada, kolektörler tarafından üretilen enerji eşanjör yardımıyla havuza transfer edilmiş ve depolanmıştır. Depolanan enerji, ısı pompası yardımıyla test odasına transfer edilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde sistemin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla vakum tüpler için %22,83-%5,58, düzlemsel kolektörler ve havuz için %22-%4,6, tüm sistem için ise %15,96-%3,48 olarak gözlemlenmiştir [28].

Wang ve diğerleri, yaptıkları çalışmada orta sıcaklık kolektörler olarak vakum tüp güneş kolektörleri kullanmışlardır. Yapılan çalışmayla beraber tüplerin güneş geçirgenliği, sol-jel yöntemi ile biriktirilebilecek gözenekli SiO₂ yansımaya önleyici kaplama ile 0,94 yükseltilmiştir. Deneydeki vakum tüplerin vakumlanma işlemi 450 °C'de gaz çıkartılması ile yapılmıştır ve buharlaşabilen ve buharlaşamayan gaz gidericilerin kombinasyonlu kullanımı ile muhafaza edilmiştir. Yüzeyleri anti-oksidan ile temizlenen bakır U tüplere güneş ayırıcı tabakadan çalışma sıvısına ısı transfer edebilmek için alüminyum kanatlar kaynatılmıştır. Pürüzsüz alüminyum sacdan imal edilmiş, yüzeyinin güneş yansıtma oranı 0,91 olan bileşik parabolik yoğunlaştırıcı, güneş radyasyonunu yoğunlaştırmak için uygulanmıştır. Yapılan deneylerde, anlık verimlilik 25°C ile 150°C arasında ölçülmüştür ve 150°C'de ve %50,2 termal verimliliğe tekabül eden verimin denklemi $\eta = 0,691 - 0,83T_m - 0,0035GT_m^2$ olarak edilmiştir [29].

Dragsted ve diğerleri yazdıkları makalede, meteorolojik referans yılları girdi olarak kullanıldığı zaman ve çok yıllık hava verileri girdi olarak kullanıldığı zaman güneş kolektörlerinin modellenmiş termal performanslarındaki değişikliklerin bir incelemesini sunmuşlardır. İnceleme, 1975-1990 arasındaki periyoda dayanan Danimarka referans yılının kullanmanın, çok yıllık ölçülmüş hava girdilerine nispeten %39'a kadar sapmayla sonuçlanacağını göstermiştir. 2001-2010 arasındaki periyoda dayanan daha yeni yerel referans yılları için azami sapma %25 olmuştur. Yapılan çalışmada, ayrıca küresel radyasyonda bir artışla birlikte kullanım oranında bir artış göstermiştir. Bu, güneş radyasyonunu artırmayla birlikte termal performansı artırmaya ek olarak, güneş radyasyonu kullanımının ayrıca daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir [30].

Makhanlall ve Jiang yaptıkları çalışmada yeni geliştirilen bir tekniği termodinamik analize dayanarak incelemiştir. İnceleme, nasıl termodinamik 2. kanunu analizinin, soğurucu ve cam kapak arasındaki mesafede sıkıştırılmış havanın su buharı tarafından ikame edildiği FPSC (düz plaka güneş kolektörü) için 1. analiz yaklaşımını tamamlamak için kullanılabilirliğini göstermiştir. Analizde, güneş ışınımı, eğim açısı ve farklı yayma değerleriyle soğurucuların kullanımı incelenmiştir [31].

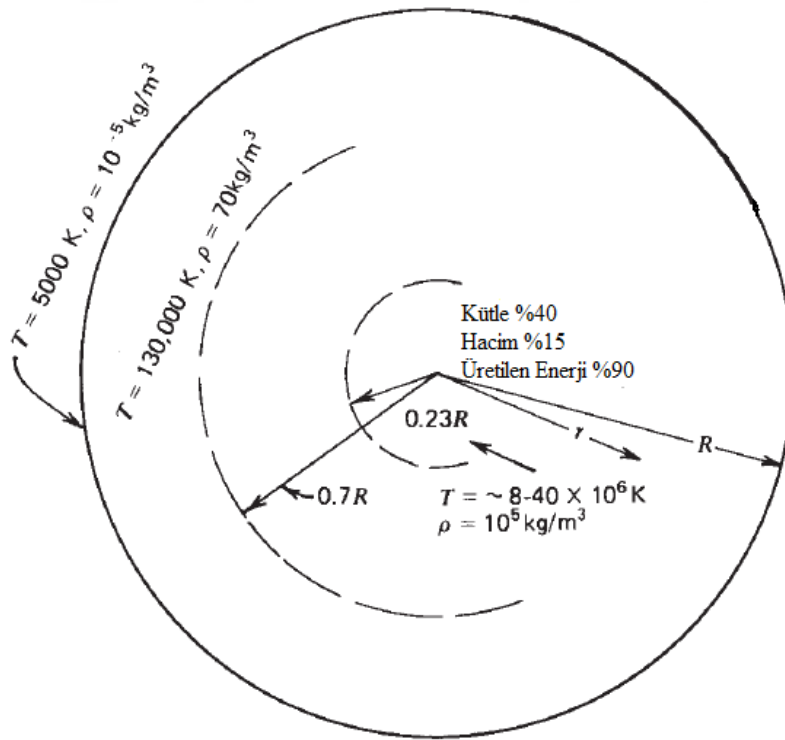
Recalde ve diğerleri, Ekvator Andean dağlık bölgesindeki güneş ışınımı faaliyeti altındaki vakum tüp güneş kolektörü içindeki suyun termal performansı üzerine çalışmıştır. Tüplerdeki su sıcaklığı ve tek uçlu tüplerdeki eğilim arasındaki ilişkileri daha iyi ifade etmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın göze çarpan bir özelliği, dağıtıcının içine yerleştirilmiş sıcaklık sensörlerinin kullanımudur. Deney sırasında sabahın erken saatlerinden suyun kaynama noktasına kadarki verileri toplamak için veri kaydedici kullanılmıştır. Deney sırasında toplanan veriler, deneyin ilk evrelerindeki daha büyük eğim açıları için su sıcaklıklarının en yüksek değerlerini göstermiştir. Güneş kolektörünün yerinin bir sonucu, güneş ışınımı için daha büyük etki alanıdır olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, yuzebilirlik yatay tüpler için daha düşük olmasına rağmen su sıcaklığının daha büyük değerlerine neden olmuştur [32].



3. GÜNEŞ VE GEOMETRİSİ

3.1.Güneş

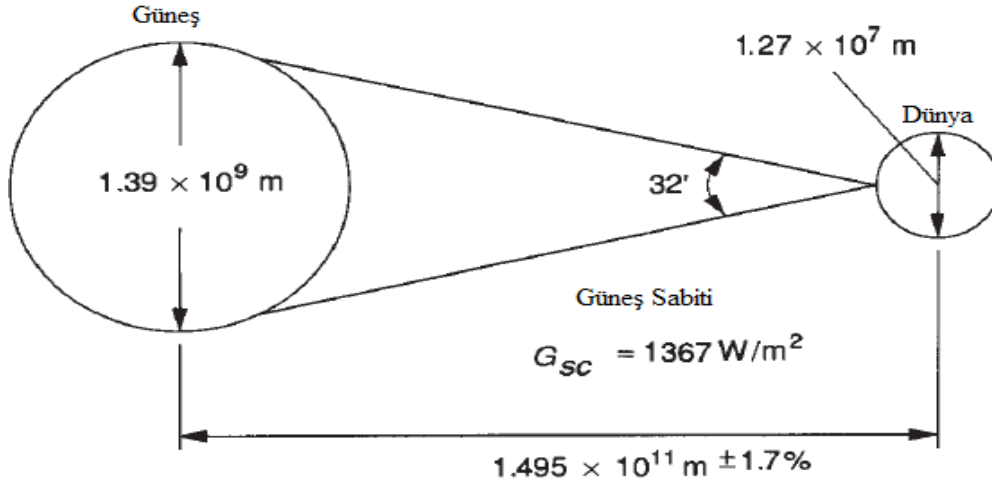
Güneş, dünyanın en büyük enerji kaynağıdır. $1,39 \times 10^9$ m çapında ve dünyaya olan uzaklığı yaklaşık $1,5 \times 10^{11}$ m'dir. Güneşin yüzey sıcaklığı 5777 K'dir. Merkezinin ve iç tabakalarının sıcaklığı 8×10^6 ile 40×10^6 K arası ve yoğunluğu suyun yaklaşık 100 katı olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 3.1. Güneşin yapısı [33]

Güneşin kütesinin çoğunluğunu helyum ve hidrojen elementleri oluşturmaktadır. Güneşin yapısında bulunan hidrojen elementleri helyuma dönüşür. Tepkime esnasında dört hidrojen atomu bir helyum atomuna dönüşür ve büyük bir enerji ortaya çıkar. Şekilde görüldüğü üzere güneşin çekirdeğini oluşturan kısım kütesinin %40'ını oluştururken, güneşin ürettiği enerjinin %90'ını oluşturmaktadır. Merkezden yüzeye gittikçe üretilen enerji miktarı ve sıcaklık düşmektedir.

Dünya ile güneş arasındaki mesafe $1,495 \times 10^{11}$ m iken güneş ışınları dünya yüzeyine 32° açı ile gelmektedir. Güneş sabiti (G_{SC}), birim alana dik gelen birim zamandaki güneşten gelen enerjidir. Güneş sabiti geçmişte yapılan çalışmalarda farklı değerlerde hesap edilirken, son ölçümler ve hesaplamalarla beraber güneş sabiti 1367 W/m^2 olarak kabul edilmektedir [33].



Şekil 3.2. Dünya-Güneş arasındaki ilişki [33]

Güneş ışınım şiddeti atmosfere sabit değerinden daha küçük bir değerde ulaşmaktadır. Bu kayıpların nedeni ise atmosferdir. Atmosfer gelen ışınımın bir kısmını yansıtır bir kısmını da sönmüler. Ayrıca dünya üzerine düşen ışınım şiddeti yılın farklı günlerine göre değişkenlik göstermektedir. Işınım şiddetindeki değişim yılın günlerine göre Eş 3.1 ile 3.2'deki gibidir [33].

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.1)$$

$$G_{on} = G_{sc} \left(1,000110 + 0,034221 \cos B + 0,001280 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B \right) \quad (3.2)$$

$$B = \frac{(n-1)360}{365} \quad (3.3)$$

Eş. 3.3'deki B değeri yılın günlerine göre değişen bir katsayı görevi görmektedir. Eş. 3.3'ten elde edilen katsayı Eş. 3.2'de kullanılır. Eş. 3.1 ile 3.2 dünya üzerine zamana bağlı olarak değişen ışınım şiddetlerini vermesine rağmen Eş. 3.2 daha doğru sonuç vermektedir.

Eş. 3.1'deki n gün numarasını ifade etmektedir. Yani 1 Ocak tarihinde n , 1'e eşit iken, 31 Aralık tarihinde n ifadesi 365'e eşittir.

3.2.Güneşle İlgili Kavramlar

3.2.1. İrradyans

Bir yüzey alanı üzerine düşen radyasyonun güç yoğunluğu olarak ifade edilir. Bir başka deyişle, yüzeye alanına düşen radyant akının o yüzeyin alanına bölümü veya bir yüzeye düşen enerjinin o yüzeyin birim alanı başına oranı olarak da ifade edilebilir [34].

3.2.2. İrradyasyon

Genellikle günün belli bir zaman aralığı içinde, irradyansın integralinin alınması ile bulunan birim yüzey alanına düşen enerjidir [34].

3.2.3. Güneş radyasyonu

Atmosfer tarafından gelen ışınımın dağıtılmadan güneş tarafından yayılan radyasyondur. Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonunun yaklaşık %99'u, $3 \mu\text{m}$ 'den daha küçük dalga boylarındadır [34].

3.2.4. Difüz radyasyon

Güneşten alınan ışınların, atmosferde dağılan güneş radyasyonu ile alıcı yüzeyin eğimine bağlı olarak yer tarafından yansıtılan güneş radyasyonunu ifade etmektedir [34].

3.2.5. Toplam radyasyon

Güneş ve difüz radyasyonların toplamıdır.

3.3.Güneş Geometrisi

3.3.1. Enlem

Ekvatorun kuzeyine ve güneyine göre açısal yeri ifade eder. Kuzey kutup noktası için $+90^\circ$ iken güney kutup noktası için -90° 'dir. Enlem açısı -90° ile $+90^\circ$ arasında değişmektedir. Ekvator da ise enlem açısı 0° 'dir.

3.3.2. Deklinasyon açısı

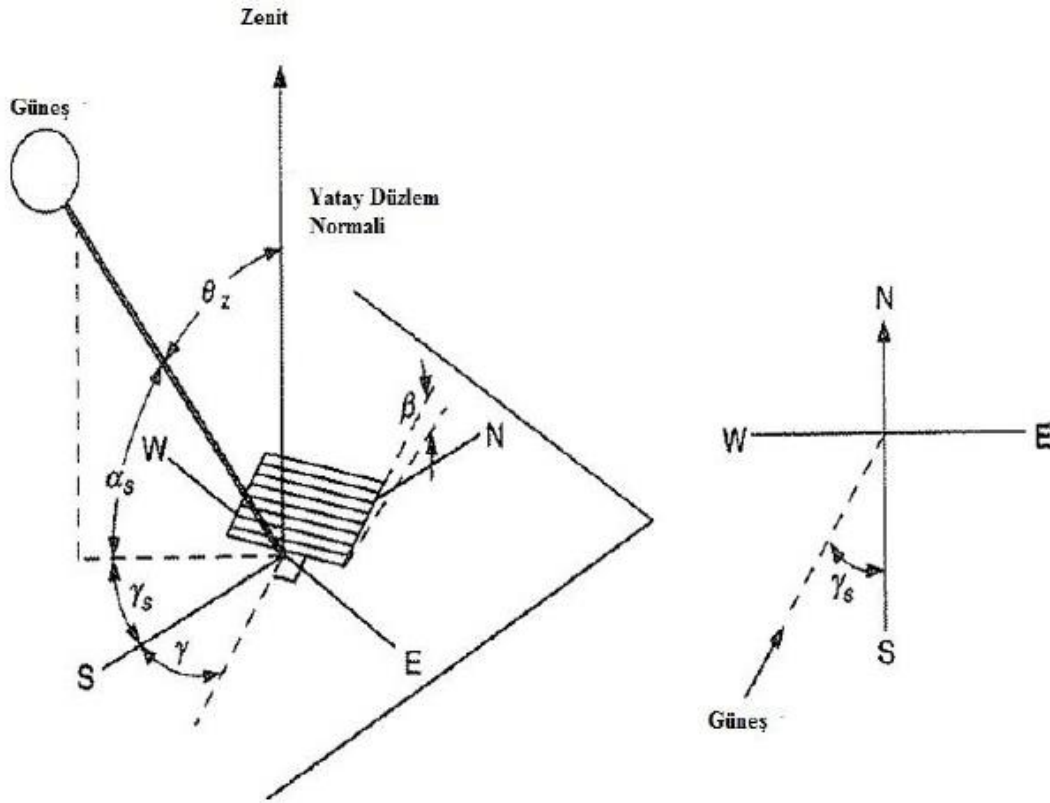
Güneş-dünya doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Deklinasyon açısı gün dönümü zamanlarında sıfır olup $+23,45^\circ$ (22 Haziran) ve $-23,45^\circ$ (22 Aralık) arasında değişir. Cooper denklemine göre;

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284+n}{365}\right) \quad (3.4)$$

Bu denklemdeki n ifadesi gün numarasını belirtmektedir. Spencer yaptığı çalışmada daha düzgün ve doğru sonuç elde etmiştir.

$$\delta = \left(\frac{180}{\pi}\right) (0.006918 - 0.399912 \cos B + 0.070257 \sin B - 0.006758 \cos 2B + 0.000907 \sin 2B - 0.002697 \cos 3B + 0.00148 \sin 3B) \quad (3.5)$$

Bu denklemdeki B ifadesi Eş. 3.3'de verilen ifadedir.



Şekil 3.3. Güneş açıları [35]

3.3.3. Eğim açısı

Yüzeyle yatay arasındaki açıdır ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$).

3.3.4. Yüzey azimut açısı

Yüzeyin dik bileşeni ile yerel boylam arasında kalan açıdır ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$).

3.3.5. Saat açısı

Belli bir zamanda ekvator düzlemi üzerindeki güneş iz düşümü ile gerçek öğlen vaktinde aynı düzlem üzerindeki güneş iz düşümü arasındaki açıdır. Bu açı, sabah saatlerinde negatif ve öğleden sonraki saatler için pozitifdir [34].

$$\omega = (Hr - 12) * 15^\circ \quad (3.6)$$

Bu eşitlikteki Hr saat cinsinden güneş zamanıdır.

3.3.6. Zenit açısı

Güneşin düşey doğrultudan açısal uzaklığıdır.

$$\cos \theta_z = \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega + \sin \phi * \sin \delta \quad (3.7)$$

3.3.7. Güneş yükseklik açısı

Güneş zenit açısının tamamlayıcısıdır.

$$a_s = 90^\circ - \theta_z \quad (3.8)$$

3.3.8. Güneş azimut açısı

Güneşin görünür konumundan gözlem noktasına uzanan düz hat ile (kuzey yarım kürede) tam güney ve (güney yarım kürede) tam kuzey arasındaki açıdır. Bu açı, yerel yatay düzlem üzerindeki iz düşümlerin kullanılarak, kuzey yarım kürede saat yelkovanı yönünde, güney yarım kürede saat yelkovanı tersi yönünde ölçülür.

$$\gamma_s = (\text{işaret } \omega) \cdot \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z * \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z * \cos \phi} \right) \right| \quad (3.9)$$

$$\text{işaret } \omega = 1 \quad \text{eğer } \omega > 0$$

$$\text{işaret } \omega = -1 \quad \text{eğer } \omega < 0$$

3.3.9. Gelme açısı

Güneş diskinin merkezini ışınlanan yüzey üzerindeki bir noktaya birleştiren hat ile ışınlanan yüzeye göre dışa doğru dik arasındaki açıdır. Gelme açısı Eş. 3.10 ve 3.11 formülleri ile hesaplanır [35].

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (3.10)$$

$$\cos \theta = \cos \theta_z * \cos \beta + \sin \theta_z * \sin \beta * \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (3.11)$$

Eş. 3.10, 3.11'e göre daha doğru ve düzgün sonuç vermektedir.

4. KOLEKTÖRLER

4.1. Kolektör Tipleri

4.1.1. Akışkan çeşidine göre kolektörler

Sıvı ısıtmalı kolektör

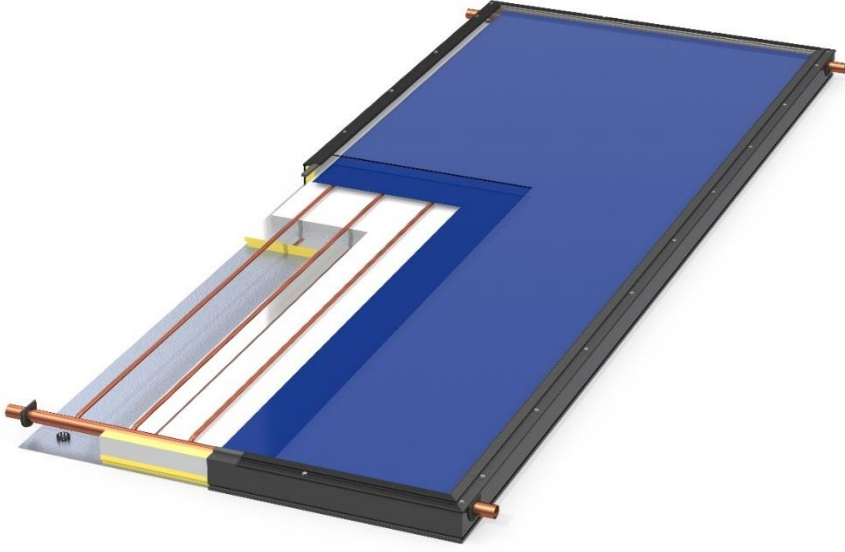
Isı transfer akışkanı olarak bir sıvı kullanan güneş kolektörleridir. Kolektörün taşıyıcı boruları içerisinde sıvı dolaşır ve güneşten gelen enerji akışkana aktarılır.

Hava ısıtmalı kolektör

Isı transfer akışkanı olarak havayı kullanan güneş kolektörleridir. Kolektörün taşıyıcı boruları içerisinde sıvı yerine hava dolaşır. Genellikle ısınan havadan türbin yardımıyla enerji üretiminde kullanılır.

4.1.2. Düz plaka kolektörler

Gelen güneş enerjisini absorpladığı yüzeyi düzlem şeklinde olan güneş kolektörleridir (Şekil 4.1). Yoğunlaştırma özelliği olmadığı için genel olarak sıcak su uygulamaları için kullanılır.



Şekil 4.1. Düz plaka kolektör

4.1.3. Yoğunlaştırıcı kolektörler

Bir açıklıktan geçen güneş radyasyonunu bir absorplayıcı üzerine yönlendirmek ve bir araya toplamak için yansıtıcı, mercek veya diğer optik elemanları kullanan güneş kolektörleridir.

Doğrusal odak kolektörü

Sadece doğrusal bir odak sağlayan bir düzlemde güneş radyasyonunu toplayan yoğunlaştırıcı kolektörlerdir (Resim 4.1). Parabolik oluk tipi kolektörler doğrusal odaklı kolektörlere örnektir.



Resim 4.1. Doğrusal odak kolektörü

Nokta odaklı kolektör

Güneş radyasyonunu esas olarak bir noktaya odaklayan yoğunlaştırıcı kolektörlerdir (Resim 4.2). Parabolik çanak tipi kolektörler nokta odaklı kolektörlere örnektir.



Resim 4.2. Nokta odaklı kolektör

Çok yüzlü kolektör

Küçük bir alanda veya uzatılmış bir bant boyunca güneş radyasyonunu yoğunlaştıran çok sayıda düz yansıtıcı elemanları kullanan yoğunlaştırıcı kolektörler.

Fresnel kolektör

Güneş radyasyonunu bir alıcı üzerine odaklamak için bir Fresnel mercekleri kullanan yoğunlaştırıcı kolektörlerdir (Resim 4.3) [34].



Resim 4.3. Fresnel kolektör

4.1.4. Vakum tüp kolektörler

Absorplayıcı ile kapak arasında bulunan alanı vakumlanmış, saydam tüp kullanılan güneş kolektörleridir (Resim 4.4).



Resim 4.4. Vakum tüp kolektör

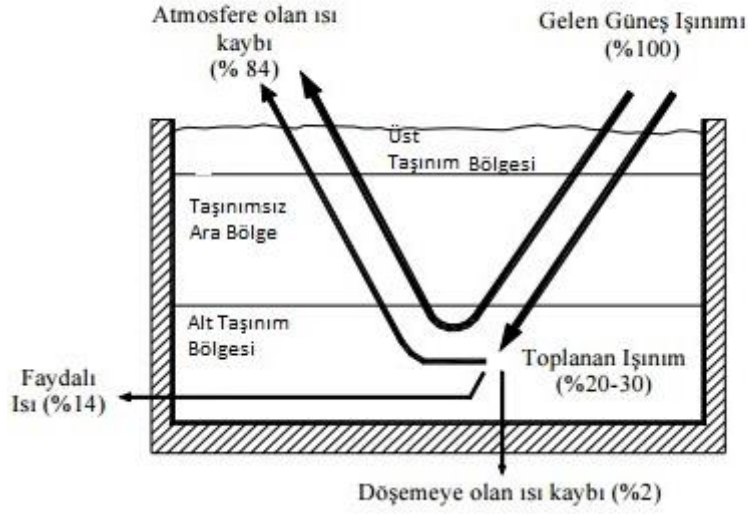
4.2. Kolektörlerin Uygulama Alanları

4.2.1. Düşük sıcaklık uygulamaları

100°C'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleşen uygulamalardır. Daha çok evlerde, otellerde vb. yerlerde sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bunun yanında güneş havuzu ve güneş bacası sistemleri yardımıyla elektrik elde edilmesinde kullanılır.

Güneş havuzu

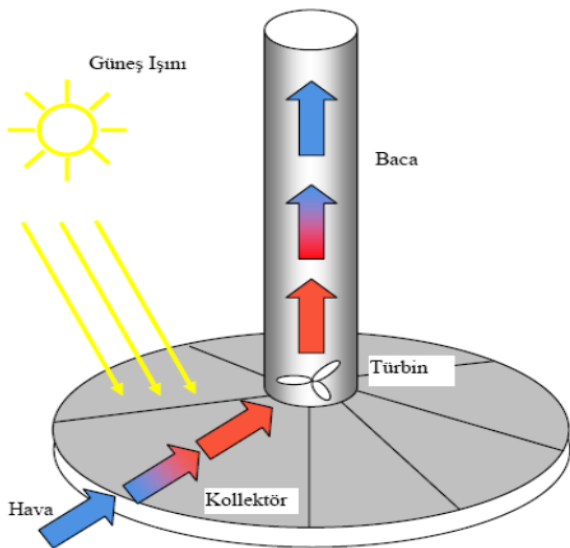
Güneş havuzları sayesinde tuzlu suyun kaynama noktası altındaki sıcaklıklarda güneş enerjisi toplanıp depolanabilir. Güneş havuzları düzlemsel kolektörlerle kıyaslandığı zaman maliyeti daha düşüktür ve ısı depolama kapasitesi daha fazladır. Zemini siyah renkte kaplı olan güneş havuzları, tuzlu suyun kaynama noktası altında suyun ısıtılması amacıyla kullanılır. Havuzlarda kullanılan tuzlar, havuzdaki ısının dağılımını düzenlemek için kullanılır. Havuzun üst seviyelerinde tuz yoğunluğu az iken, havuzun alt kısmında ise tuz yoğunluğu daha fazladır. Havuzun ısısı, havuzun taban kısmına doğru artmaktadır. Tabandaki ısı eşanjör yardımıyla elektrik üretiminde ve suyun ısıtılmasında kullanılabilir. Şekil 4.2'de tuz tabakalı güneş havuzunun şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 4.2. Tuz tabakalı güneş havuzunun şematik görünümü [36]

Güneş bacası

Güneş enerjisinden elektrik elde etmek amacıyla geliştirilen bir sistemdir. Güneş bacası sisteminde tabanda kolektörler bulunmaktadır. Gelen güneş ışınları sayesinde kolektörlerde ısınan hava bacaya doğru ilerler ve ısınan hava bacanın doğal çekişi yardımıyla hızlanır ve bacanın alt kısmındaki türbine ulaşır (Şekil 4.3). Türbinde elektrik üretilirken, hava bacadan dışarı atılır. Güneş ışınları ne kadar yoğun gelirse hava doğru orantılı olarak ısınır. Isınan havanın hızı daha çok artar ve elektrik üretimi de o kadar çok olur.



Şekil 4.3. Güneş bacasının çalışma prensibi [37]

Tarım ürünlerinin kurutulması ve sera ısıtılması

Güneş ışınları yardımıyla tarımsal ürünler besin değerlerini kaybetmeden uzun süre saklanabilmesi ve korunabilmesi için kurutulabilir. Kurutma işlemi için ürünler güneş ışınımına direk olarak bırakılır. Bunun yanında aktif ya da pasif sistemler yardımıyla seralar ısıtılabilir.

Tuzlu suyun damıtılması

Tuzlu suyun damıtılması için kurulan sistemlerde, tuzlu su ile dolu olan havuzun üzerine eğimli bir şekilde sabitlenmiş camlar yerleştirilmiştir. Havuzda ısınan su buharlaşır ve cam yüzey üzerinde yoğunlaşır. Yoğunlaşan su kanallardan geçip filtrelerden süzöldükten sonra kullanıma hazır hale gelir.

Toprak solarizasyonu

Yazın ekili olmayan alanların üzerine güneş ışınlarını geçiren bir örtü serilerek bir süre beklenir. Güneş ışınlarının etkisiyle topraktaki hastalığa neden olan bakteriler ve zararlı otların etkisinin kırılması ya da yok edilmesi sağlanır.

Güneş ocakları ve fırınları

Yemek pişirmek amacıyla çanak şeklinde veya kutu şeklinde tasarlanmış, iç malzemeleri yansıtıcı olan ve merkeze odaklanmış sistemlerdir (Resim 4.5).



Resim 4.5. Güneş ocağı

4.2.2. Orta sıcaklık uygulamaları

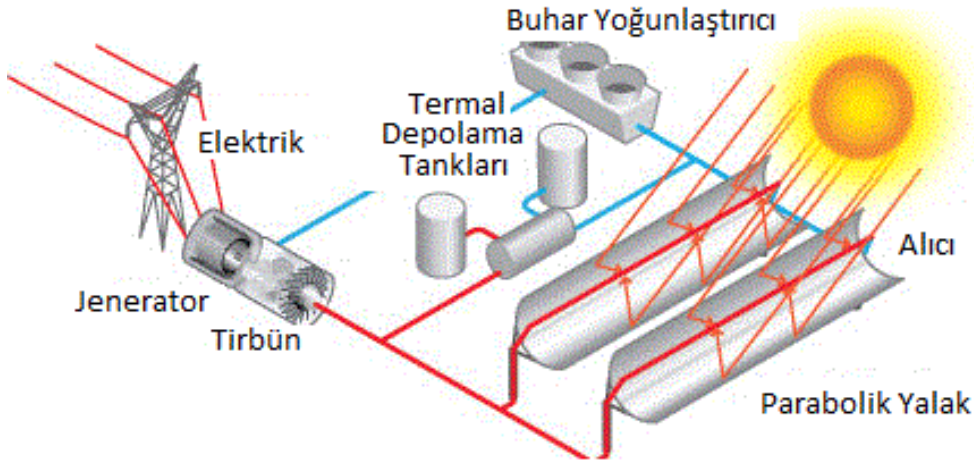
100°C ile 300°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşen uygulamalardır. Bu alandaki uygulamalar genel olarak endüstriyel amaçlı uygulamalardır. Kolektörlerde elde edilen buhar endüstriyel amaçlar için kullanılır. Ayrıca elde edilen buhar elektrik üretiminde ve ısıtma-soğutma sistemlerinde de kullanılabilir.

Buhar üretimi

Endüstriyel alanlarda kullanmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri yardımıyla buhar üretilir. Elde edilen buhar sanayide birçok amaçla kullanılabilir.

Elektrik üretimi

Yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri yardımıyla üretilen buhar, buhar türbinine gönderilir. Türbine ulaşan buharın türbini çevirmesiyle elektrik elde edilir (Şekil 4.4). Üretilen elektrik şebekeye verilerek dağıtılabilir.

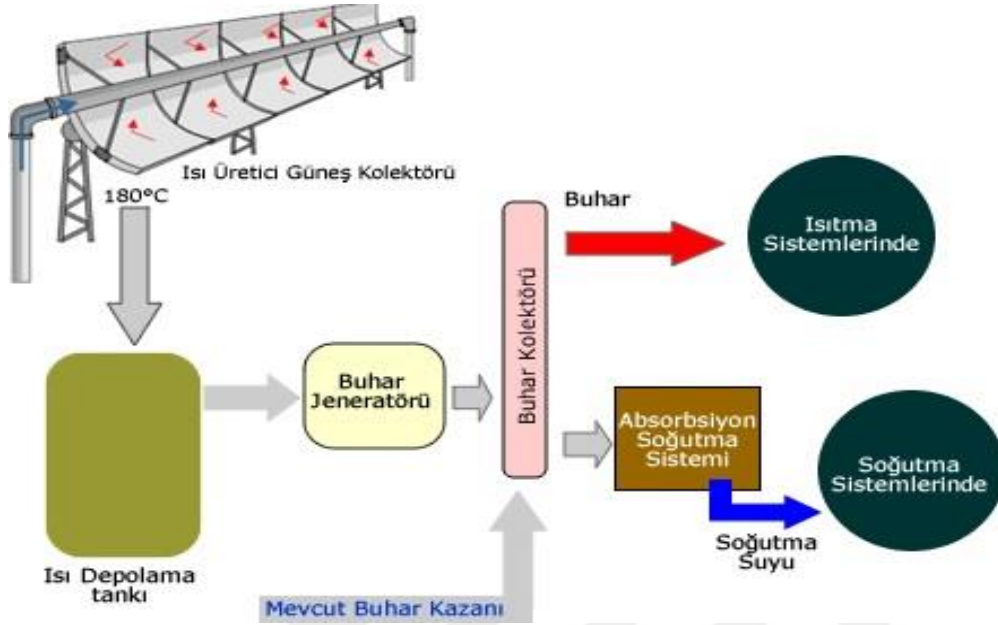


Şekil 4.4. Elektrik üretim mekanizması

Isıtma-soğutma sistemleri

Hacimsel olarak büyük yerlerin ısıtılması ve soğutulması amacıyla bu sistemler kullanılır. Şekil 4.5'de ısıtma ve soğutma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Kolektörlerde elde edilen buhar, buhar kolektörüne iletilerek ısıtma sistemlerine aktarılır ve ısıtma

gerçekleştirilir. Buhar kolektöründe toplanan buharın absorpsiyonlu soğutma sistemine iletilmesiyle buhardan soğutma suyu elde edilir ve soğutma sistemlerine aktarılır.



Şekil 4.5. Isıtma ve soğutma sistemleri çalışma mekanizması

4.2.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları

300°C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen uygulamalardır. Bu uygulamalarda yoğunlaştırıcı kolektörler yardımıyla buhar veya kızgın buhar elde edilir. Elde edilen buhar motorlara veya türbine gönderilir ve elektrik elde edilir.

Parabolik çanak ile elektrik üretimi

Noktasal yoğunlaştırıcı çanak kolektörler güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odak noktasına iletirler. Odak noktasında bulunan akışkanın ısınmasıyla ya da odak noktasına monte edilen stirling motorlar yardımıyla elektrik elde edilir (Resim 4.6). Stirling motorların monte edildiği çanak sistemleri klasik çanak sistemine göre daha verimlidir.



Resim 4.6. Stirling motorlu parabolik çanak kolektör

Güneş kuleleri ile elektrik üretimi

Heliostat adı verilen güneşi takip eden yansıtıcılar sayesinde güneş ışınları kulenin tepesinde bulunan noktaya yoğunlaştırılır (Resim 4.7). Odak noktasında bulunan akışkanın ısınması yardımıyla elde edilen buhar, buhar türbinine yollanır. Elektrik elde edildikten sonra soğutulan akışkan sisteme geri yollanır.



Resim 4.7. Güneş kuleleri

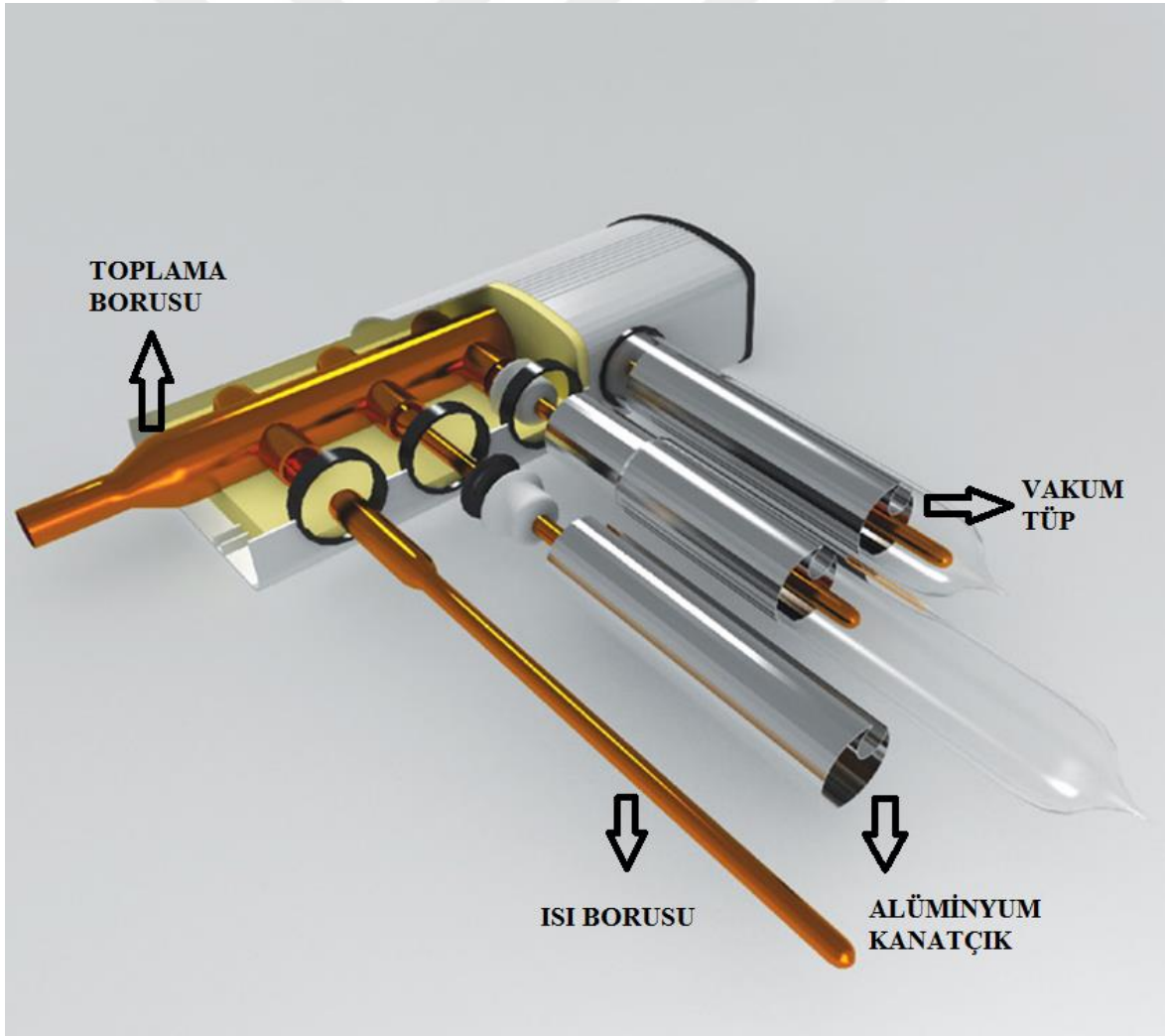
4.3. Verim Deneylerinde Kullanılacak Kolektörler

Güneş enerjisinden faydalanılarak suyun ısıtılması uygulamalarında sıvı akışkanlı iki tip güneş kolektörü bulunmaktadır. Bu tipler, düz plaka güneş kolektörleri (FPC) ve vakum

tüp güneş kolektörleri (ETC) olarak ikiye ayrılır. Verim deneylerinde bu iki tip kolektör kullanılacaktır.

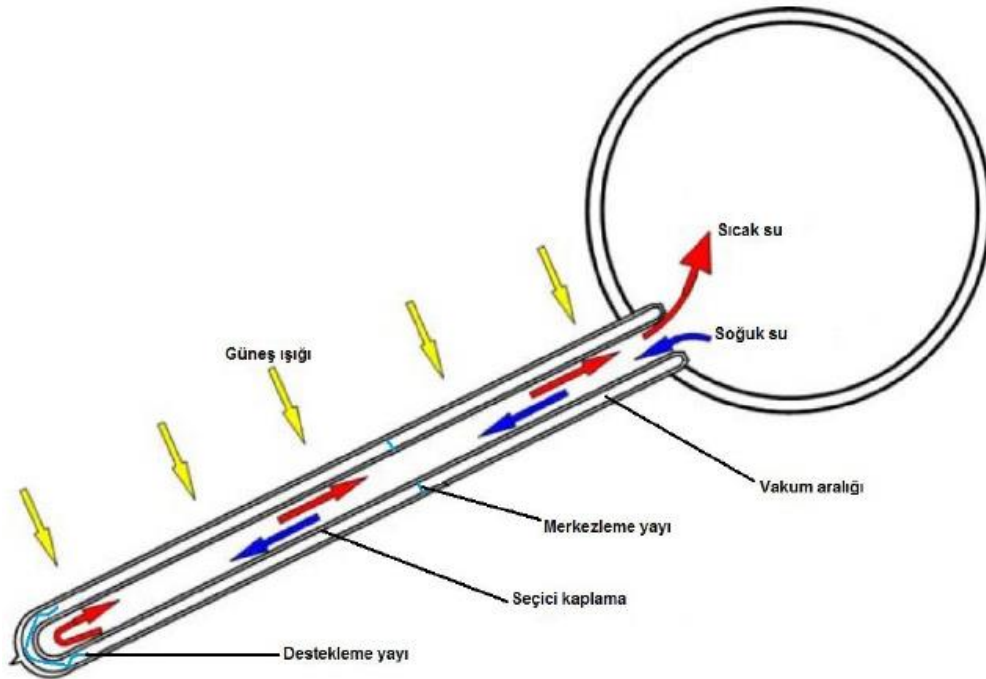
4.3.1. Vakum tüp kolektör tasarım esasları

Vakum tüp güneş kolektörleri, su girişi doğrudan vakumlu cam tüpe yapılmış olan güneş kolektörleri ve iç kısmında bakır gibi bir metalden yapılmış ısıtma borusu bulunan cam tüplü sistemler olarak tasarlanmıştır (Resim 4.8). Her birinin bir ucu kapalı, iç içe geçmiş ve eş merkezli iki cam tüpün arasında boşluk bulunan ve vakumlanarak, dıştaki tüpün alt kısmının kapatılması sonucu oluşturulmuş, iç tüpün vakum tarafındaki dış yüzeyinin seçici soğurgan malzemeyle kaplı olduğu, güneş enerjisi kolektörleridir (Şekil 4.6).



Resim 4.8. Vakum tüp kolektör bileşenleri

Güneş ışınımını en yüksek oranda soğurmak ve faydalı ısı enerjisine çevirmek amacıyla borosilikat camdan yapılmış vakumlu tüpün iç borusunun dış yüzeyinde (vakum tarafındaki) püskürtme veya başka bir yöntemle oluşturulan çok ince ışın soğurucu malzemeyle kaplanmış tabaka bulunmaktadır. Vakumlu tüpün dış borusunun iç yüzeyinde taban kısmına uygulanan baryum esaslı kaplama, iki boru arasında oluşturulan vakum boşluğunda zamanla seçici kaplamanın oluşturabileceği gazları (CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O ve H₂ gibi) soğurma özelliğine sahip olmalıdır. Vakum tüp kolektörlerin iç borusunun tabanında üçlü kollarıyla iç ve dış tüp arasındaki mesafeyi ayarlamaya ve desteklemeye yarayan alt taban destekleme yayı bulunmalıdır. Ayrıca vakumlanan açıklığın sabit durması için iç borunun yanıl dış yüzeyine herhangi bir noktaya takılmış merkezleme yayı bulunmalıdır. Kolektörlerde vakum tüpün cam borular arasındaki vakumu, en düşük 8×10^{-4} Pa, en yüksek 5×10^{-3} Pa olmalıdır [38].

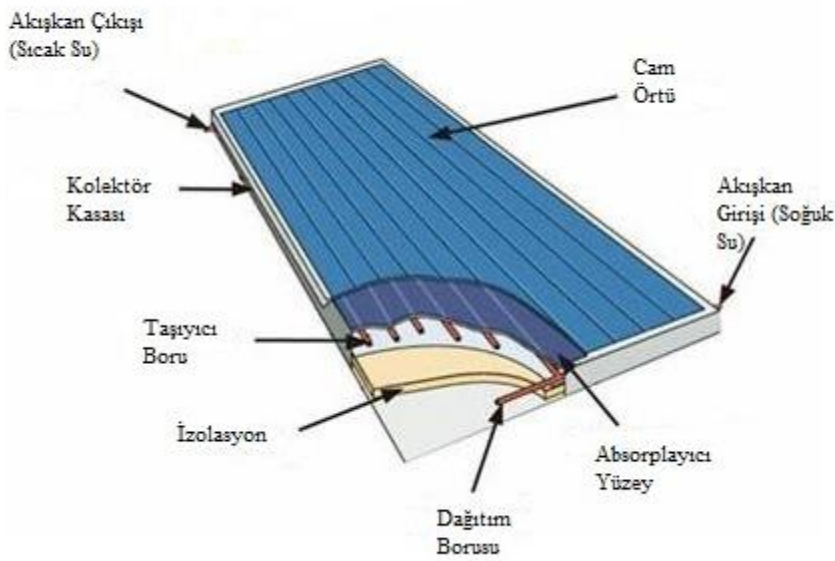


Şekil 4.6. Doğrudan su girişli vakum tüp kolektörün kesit görünüşü [38]

4.3.2. Düz plaka kolektörün tasarım esasları

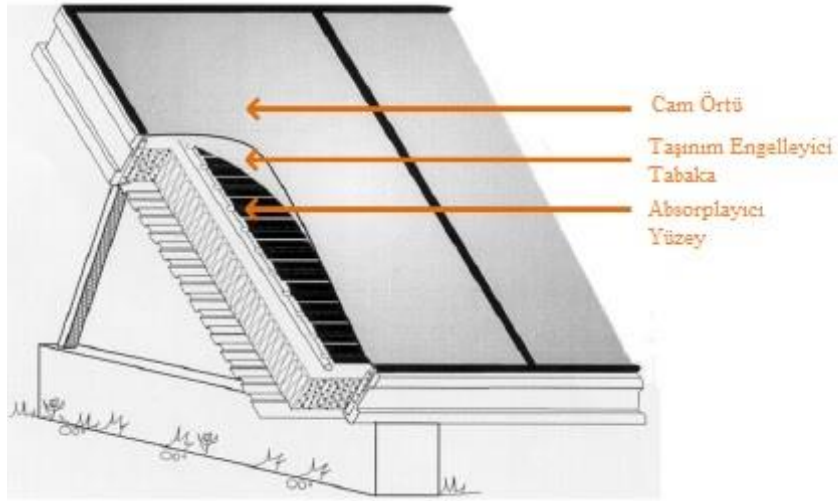
Düz plaka kolektörler orta sıcaklıklarda enerji iletimi gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır. Bu kolektörlerin esas kullanım alanları, güneş enerjili su ısıtma, binaların ısıtılması ve soğutulması, endüstriyel ısı üretimi gibi alanlardır.

Şekil 4.7’de düz plaka kolektörün bileşenleri gösterilmiştir. Kolektörün en önemli parçası absorplayıcı yüzeydir. Çünkü bu yüzey sayesinde absorplanan güneş enerjisi akışkana iletilir. Absorplayıcı yüzey ile cam örtü arasında ince bir plastik tabakadan oluşan taşınım engelleyici bir tabaka bulunabilir. Bu tabaka termal genişmeden dolayı absorplayıcı yüzeye temas etmemelidir. Absorplayıcı yüzey ve cam örtü arasındaki mesafe önemlidir. Bu mesafenin azaltılması, iletimin ve taşınımın neden olduğu ısı kayıplarını azaltılmasını sağlar.



Şekil 4.7. Düz plaka kolektör bileşenleri

Taşınım engelleyici tabaka (Şekil 4.8), sıcak absorplayıcı yüzey ile soğuk cam örtü arasındaki hava sirkülasyonunu azalttığı için taşınımın neden olduğu ısı kaybını engeller. Bu tabaka tam anlamıyla şeffaf olmadığı için absorplayıcı yüzey üzerindeki irradyansı kısmen azaltır. Taşınım engelleyici tabaka daha çok enerjinin akışkana iletilmesini sağlarken kolektör verimini de artırmaktadır.



Şekil 4.8. Taşınım engelleyici tabakalı kolektör

5. MATERYAL VE METOT

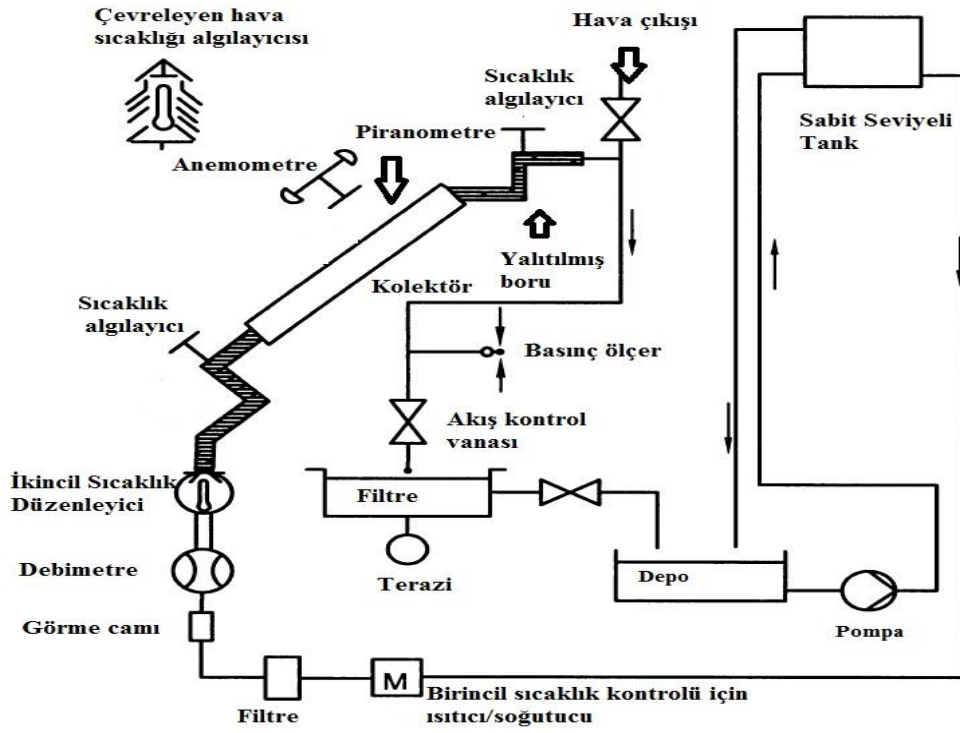
5.1. Materyal

5.1.1. İki eksenli güneş takip sistemleri

İki eksenli güneş takip sistemleri, gelen güneş irradyansını daha verimli kullanmak amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Sistemde yer alan iki motor sayesinde takip sistemi iki eksenli hareketle güneşin konumuna göre pozisyonunu ayarlayabilmektedir. Bu sayede sistem güneş ışınlarını sürekli 90° açıyla alabilmektedir. Güneş ışınları dik olduğu için gelme açısı (θ) sıfırdır. Ayrıca yüzeyin eğim açısı (β) zenit açısına (θ_z), yüzey azimut açısı da güneş azimut açısına eşittir. Işınların dik olarak alınmasından dolayı kolektör verimlerinde %40'a kadar verim artışı gözlenmektedir.

5.1.2. Deney düzeneği

Deneyle Türk Standardları Enstitüsü Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneyle, TS EN ISO 9806:Nisan 2014 standardına uygun olarak kurulmuş Resim 5.1'de gösterilen deney standında gerçekleştirilmiştir. Deney standının şematik çizimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği devresi [39]



Resim 5.1. Deney düzeneği

5.1.3. Deney düzeneği ölçüm cihazları

Piranometre

Hem güneş hem de gökyüzünden gelen global kısa dalga ışımaya ölçmek için kullanılan ölçüm cihazıdır (Resim 5.2). Deney düzeneğinde kullanılacak olan piranometre ISO 9060'da belirtildiği üzere en az Sınıf I olmalıdır. Her deneyden önce piranometre, dış kubbesinin üzerindeki toz, toprak vb. için kontrol edilmeli ve temizlenmelidir.



Resim 5.2. Piranometre

Anemometre

Rüzgâr hızını ölçen ölçüm cihazıdır (Resim 5.3). Anemometredeki döner kepçeler bir elektrik üreticini çalıştırır; üreticinin çıkışı da rüzgâr hızına göre ölçeklendirilmiş bir elektrik ölçü aletini işletir. Elektrik ölçü aleti yardımıyla rüzgâr hızı ölçülür.



Resim 5.3. Anemometre

Bina dışında ortalama rüzgar hızı 2 m/s'den düşük olduğu durumlarda Resim 5.4'te görülen suni rüzgar üreticisi kullanılır.



Resim 5.4. Sunî rüzgar üreticisi

Termometre

Sıcaklığı ölçmeye yarayan ölçüm aletidir. Güneş enerjisi kolektörünü deneye tabi tutma için üç sıcaklık ölçülmesi gerekir. Bunlar, kolektör girişinde akışkan sıcaklığı, kolektör çıkışında akışkan sıcaklığı ve ortam hava sıcaklığıdır. Bu ölçmeler için gereken doğruluk ve ortam farklıdır ve bu yüzden sıcaklık ölçmesi için algılayıcı ve birleşik cihaz farklı olabilir.

Debimetre

Bir kesit üzerinden geçen gaz ve sıvı gibi akışkanları birim miktar cinsinden ölçen cihazdır. Deney düzeneğinde kütleli debi doğrudan kolektörün giriş ve çıkış kısımlarında ölçülür.

5.1.4. Bina dışı durgun hal performans deneyi

Kolektörün ön şartlandırması

Deneye başlanmadan önce, deneyde kullanılacak numunelerin gözle muayene edilmesi gerekir. Muayene edilen kolektörlerde herhangi bir hasar bulunmamalıdır. Kolektörlerin açıklık örtüsünün temiz olup olmadığı kontrol edilir. Eğer kolektör bileşenlerinde rutubet varsa kolektörü kurutmak için 80°C'teki su rutubet kuruyana kadar sistemde dolaştırılır. Deneye başlanmadan önce boş kolektör en az 700 W/m² ışınlama altında 5 saat bekletilir.

Deney şartları

Deneye başlanabilmesi için ışınlama yoğunluğu en az 700 W/m² olmalıdır. Kolektör açıklığındaki doğrudan güneş ışınması gelme açısı, kolektör için gelme açısı değiştiricinin dik gelmedeki değerinden \pm % 2'den daha fazla değişim olmayacak aralıkta olmalıdır. Tek camlı düz plaka kolektörler için, kolektör açıklığındaki doğrudan güneş ışınması gelme açısı 20° den daha azsa, bu şart genel olarak yeterlidir. Dağılan ışınlama yoğunluğu %30'dan daha fazla olduğunda kolektör deneye tabi tutulmamalıdır. Deney ortamındaki rüzgâr hızı 3 m/s \pm 1 m/s olmalıdır. Deneyde kolektör açıklık alanının metre kare başına 0,02 kg/s akışkan kullanılmalıdır.

Deneyin işlemi

Deney devresini tamamlayabilmek için ilk olarak kolektör düzeneğe bağlanır (Resim 5.6). Piranometre yardımıyla güneş irradyansı ölçülür. Anemometre yardımıyla rüzgâr hızı ölçülür ve termometre yardımıyla ortam sıcaklığı ölçülür. Deney düzeneği Resim 5.5'te gösterilen sensörler yardımıyla güneşin gelme açısına göre güneşi takip etmektedir.



Resim 5.5. Güneş takip sensörü

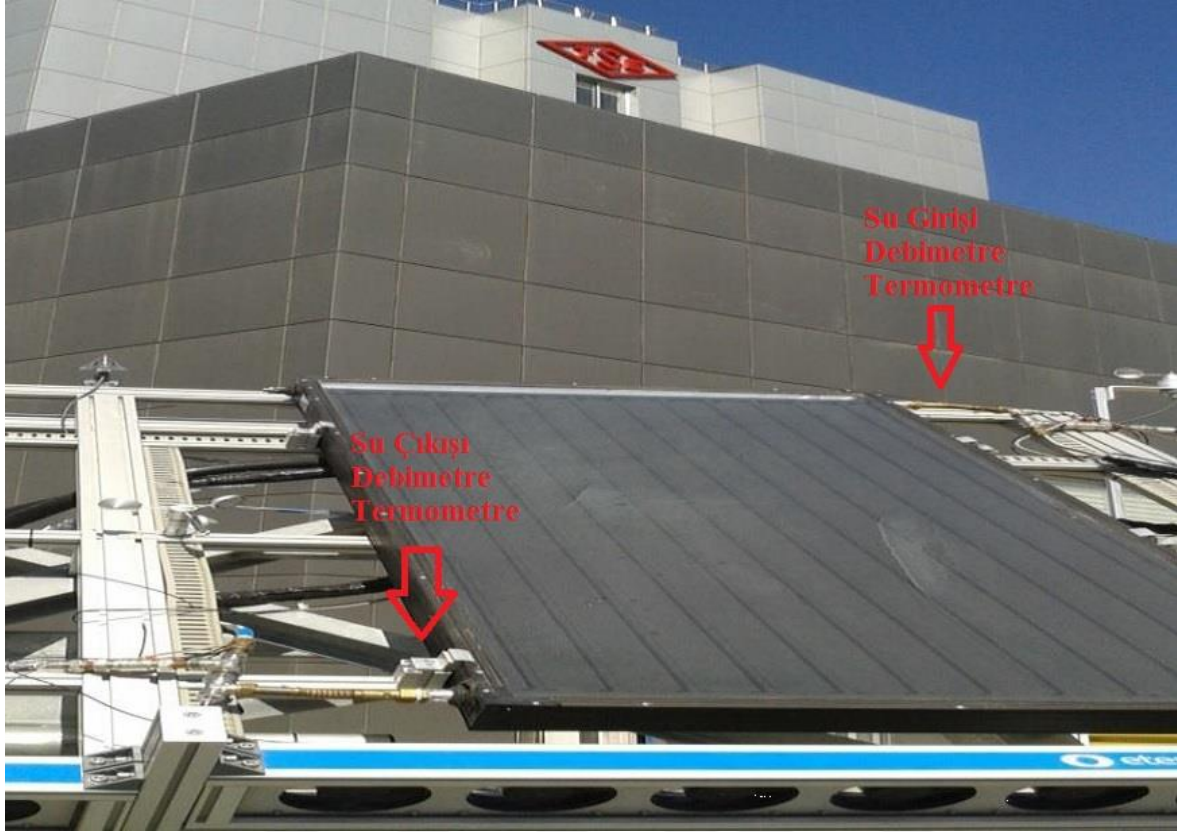
Sistem çalıştırdıktan sonra depodan alınan su, deney şartına göre direkt ya da ön ısıtıcı tarafından ısıtılarak kolektöre iletilir. Kolektörün giriş kısmında suyun sıcaklığı ve debisi ölçülür. Daha sonra kolektör içinde ısınan su sıcaklığı ve debisi ölçülerek tekrar depoya gönderilir.



Resim 5.6. Kolektörün deney düzeneğine bağlanması

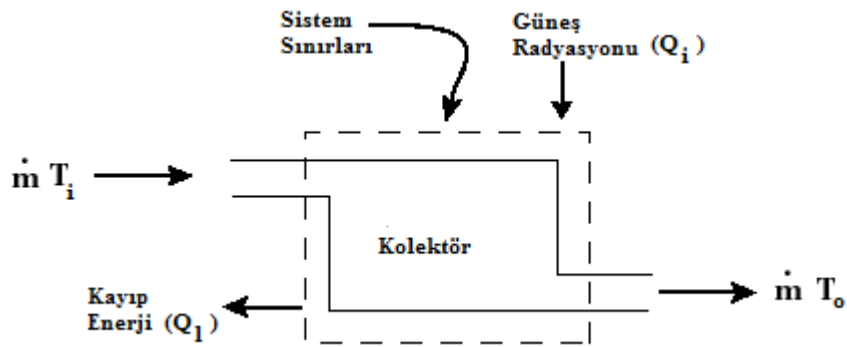
Kolektörün su girişinde bulunan ölçüm aletleri yardımıyla, suyun sıcaklığı ve debisi ölçülür (Resim 5.7). Kolektörde ısınan suyun çıkış bölümünde tekrar sıcaklığı ve debisi ölçülür. Sisteme bağlı olan bilgisayar yardımıyla üç saniyelik aralıklarla sonuçlar alınır ve kaydedilir. Verim formülü yardımıyla kolektörün anlık verisi hesaplanır.

Deneyleerin standarda uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için giriş sıcaklığı azami sıcaklık en az 80°C civarında olana kadar deneye devam edilir. Toplam 16 veri noktası elde edebilmek için, akışkan giriş sıcaklıkları için en az dört bağımsız veri elde edilir. Anlık verimliliğin modellenenbilmesi için en küçük kareler regresyonuyla beraber ikinci dereceden bir eğri kullanılır [40].



Resim 5.7. Kolektör giriş ve çıkışında suyun sıcaklığının ve debisinin ölçülmesi

5.2. Metot



Şekil 5.2. Kolektör kontrol hacmi

5.2.1. Enerji analizi

Kontrol hacmi belirtilen kolektör için termodinamiğin birinci kanunu olan enerji denklemini yazalım.

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad (5.1)$$

Eş. 5.1'de verilen Q akışkanın gerçek faydalı enerjisini ifade etmektedir. c_p değeri ortalama akışkan sıcaklığına bağlı olarak Eş. 5.2'de görüldüğü gibi hesaplanır [39].

$$c_p(T) = 4,217 - 3,358 * 10^{-3} * T_m + 1,089 * 10^{-4} * T_m^2 - 1,675 * 10^{-6} * T_m^3 + 1,309 * 10^{-8} * T_m^4 - 3,884 * 10^{-11} * T_m^5 \quad (\text{kJ/kgK}) \quad (5.2)$$

$$T_m = \frac{T_o - T_i}{2} \quad (5.3)$$

Kolektöre gelen enerjinin bir kısmı akışkana aktarılırken bir kısmı da kaybolmaktadır. Enerjinin tamamının kolektör akışkan sıvısına aktarılamamasından dolayı kolektör verimliliği ortaya çıkmaktadır. Kolektör verimliliğine, faydalı gücün dâhil edilmesiyle beraber kolektörde tutulan güneş enerjisi Eş. 5.4'teki gibi hesaplanır.

$$Q = A_c * G * \eta \quad (5.4)$$

Uygulamada verim hesabı Eş. 5.5'te ifade edildiği şekilde hesaplanır [40].

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1(T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2(T_m - T_a)^2}{G} \quad (5.5)$$

5.2.2. Ekserji analizi

Ekserji, enerjinin iş yapabilme yeteneğidir. Ekserji analizi yardımıyla sistemlerin ısı kayıplarının miktarının ve niteliğinin belirlenmesine yardımcı olur. Kolektörün ekserjisi aşağıda ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$E_{xc} = G * A_c * \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \quad (5.6)$$

Kolektörde dolaşan akışkanın ekserjisi ise Eş. 5.7'deki gibi hesaplanır.

$$E_{xf} = \dot{m} * [(h_o - h_i) - T_a * (s_o - s_i)] \quad (5.7)$$

$$(h_o - h_i) = c_p * (T_o - T_i) \quad (5.8)$$

$$(s_o - s_i) = c_p * \ln\left(\frac{T_o}{T_i}\right) \quad (5.9)$$

Eş. 5.7, 5.8 ve 5.9'u tekrar düzenlendiğinde Eş. 5.10'u elde edilir.

$$\psi = \dot{m} * c_p * (T_o - T_i - T_a * \ln\left(\frac{T_o}{T_i}\right)) \quad (5.10)$$

Sistemin ekserji verimliliğini hesaplayabilmek için akışkanın çıkan ve giren ekserjisi arasındaki fark ile güneşten gelen ekserjiden faydalanılır [41].

$$\eta_{2nd} = \frac{\dot{m} * c_p * (T_o - T_i - T_a * \ln\left(\frac{T_o}{T_i}\right))}{G * A_c * (1 - \frac{T_a}{T_s})} \quad (5.11)$$

5.2.3. Ekonomik analiz

Farklı sistemlerin ekonomik analizi yapabilmek için net bugünkü değer yöntemi kullanılır. Sistemin ömrü boyunca sağlayacağı nakit faydanın bugünkü değerinin, sistemin yatırım ve bakım giderleri gibi giderlerin bugünkü değeri arasındaki farka net bugünkü değer yöntemi denir.

Bu yöntem yardımıyla sistemin ekonomik analizini yapabilmek için birleştirilmiş faiz oranı kullanılır.

$$i_e = (1 + i) * (1 + d) - 1 \quad (5.12)$$

Hesaplanan birleşik faiz oranı yardımıyla analizi gerçekleştirebilmek için fayda ve masraflar Eş. 5.13 yardımıyla bugünkü değeri hesaplanır ve toplam faydalarla, toplam masraflar arasındaki fark Eş. 5.14 yardımıyla hesap edilir.

$$NBD = \text{Fayda} - \text{Masraf} \quad (5.13)$$

$$NBD = \sum_0^N \frac{R_{i_n}}{(1+i_e)^n} - \sum_0^N \frac{R_{o_n}}{(1+i_e)^n} \quad (5.14)$$

Kolektörlerin farklı çalışma sıcaklıklarında elde ettiği toplam enerji hesap edilir. Ayrı ayrı hesap edilen kolektör sistemlerinin masraflarına, elden edilen enerjiler oranlandığında enerji birim maliyetleri elde edilir.





6. TERMOEKONOMİK ANALİZ

6.1. Deney Sonuçları

6.1.1. Düz plaka kolektör ölçüm sonuçları

Düz plaka kolektörlerin deneyleri 09 Eylül 2015-16 Eylül 2015 tarihleri arasında farklı zaman aralıklarında yapılmıştır. Kolektörün boyutları 194x94x10 cm'dir. Kolektörün soğurucu yüzeyi selektif kaplamalı bakırdır. Akışkan taşıyıcı boruları 10 mm çapında 10 adet taşıyıcı bakır borulardır. Cam kalınlığı 4 mm'dir. Yapılan bina dışı durgun hal performans deneyi neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Rüzgâr hızı 3,2 m/s olarak ölçülmüştür. Bu değer standardın istediği değer olan 2-4 m/s rüzgâr hızı aralığındadır.

Çizelge 6.1. Düz plaka kolektör deney sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)
1054	1,95	30,9	40,0	30,7	35,45
1036	1,95	30,8	39,9	31	35,35
1051	1,95	30,9	40,1	30,9	35,50
1036	1,95	30,9	40,0	31	35,45
1031	1,97	47,0	54,5	30,5	50,75
1014	1,97	47,1	54,6	30,5	50,85
1005	1,97	47,0	54,4	31,6	50,70
989	1,97	47,0	54,3	30,8	50,65
999	1,96	63,4	69,3	31,2	66,35
998	1,96	63,3	69,2	30,6	66,25
993	1,96	63,4	69,2	30,3	66,30
987	1,96	63,3	69,1	29,9	66,20
1000	1,96	80,2	84,3	29,4	82,25
1008	1,96	80,3	84,4	30,0	82,35
1006	1,96	80,3	84,5	31,1	82,40
1010	1,96	80,3	84,4	31,5	82,35

6.1.2. Vakum tüp kolektör ölçüm sonuçları

Vakum tüp kolektörlerin deneyleri 17 Eylül 2015-23 Eylül 2015 tarihleri arasında farklı zaman aralıklarında yapılmıştır. Kolektörde 24 adet vakum tüp bulunmaktadır. Vakum tüplerin boyu 1800 mm ve cam kalınlığı 1,6 mm'dir. Kolektörün camları borosilikat camdan üretilmiştir. Kolektörün açıklık alanı 2,686 m² ve soğurucu alanı 2,0304 m²'dir. Yapılan bina dışı durgun hal performans deneyi neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir. Rüzgâr hızı 3,1 m/s olarak ölçülmüştür. Bu değer standardın istediği değer olan 2-4 m/s rüzgâr hızı aralığındadır.

Çizelge 6.2. Vakum tüp kolektör deney sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)
1057	2,72	26,75	34,5	29,9	30,625
1054	2,72	26,71	34,6	30,3	30,655
1058	2,72	26,75	34,7	30,5	30,725
1035	2,78	45,29	52,5	30,0	48,895
1038	2,78	45,33	52,3	30,4	48,815
1034	2,77	45,33	52,2	31,6	48,765
999	2,80	61,99	66,9	31,9	64,445
987	2,80	62,14	66,9	31,7	64,520
995	2,80	62,16	66,8	31,6	64,480
1004	2,79	80,17	84,3	31,3	81,235
1001	2,79	80,09	84,4	32,3	81,245
1008	2,78	80,10	84,5	32,1	81,300

6.2. Enerji Analizi

Deneysel çalışma TS EN ISO 9806:Nisan 2014 standardına uygun olarak ölçülen değerler kullanılarak, standartta verilmesi gereken grafikler ve tablolar olarak düzenlenmiştir. Bu amaçla grafikte kullanılan ısıl geçirgenlik direnci (Eşitlik 6.1) ile verim ve akışkan enerjisi arasındaki ilişkiler şekillendirilmiştir.

$$\text{Isıl Geçirgenlik Direnci} = R = \frac{(T_m - T_a)}{G} \quad (6.1)$$

6.2.1. Düz plaka kolektör sonuçları

Düz plaka kolektör deney sonuçları Çizelge 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7’de verilmiştir. Verim ve akışkan enerjisi grafikleri Şekil 6.1 ve 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. 35 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1054	1,95	30,9	40,0	30,7	35,45	0,720
1036	1,95	30,8	39,9	31	35,35	0,721
1051	1,95	30,9	40,1	30,9	35,50	0,721
1036	1,95	30,9	40,0	31	35,45	0,721

Çizelge 6.4. 51 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1031	1,97	47,0	54,5	30,5	50,75	0,633
1014	1,97	47,1	54,6	30,5	50,85	0,631
1005	1,97	47,0	54,4	31,6	50,70	0,639
989	1,97	47,0	54,3	30,8	50,65	0,632

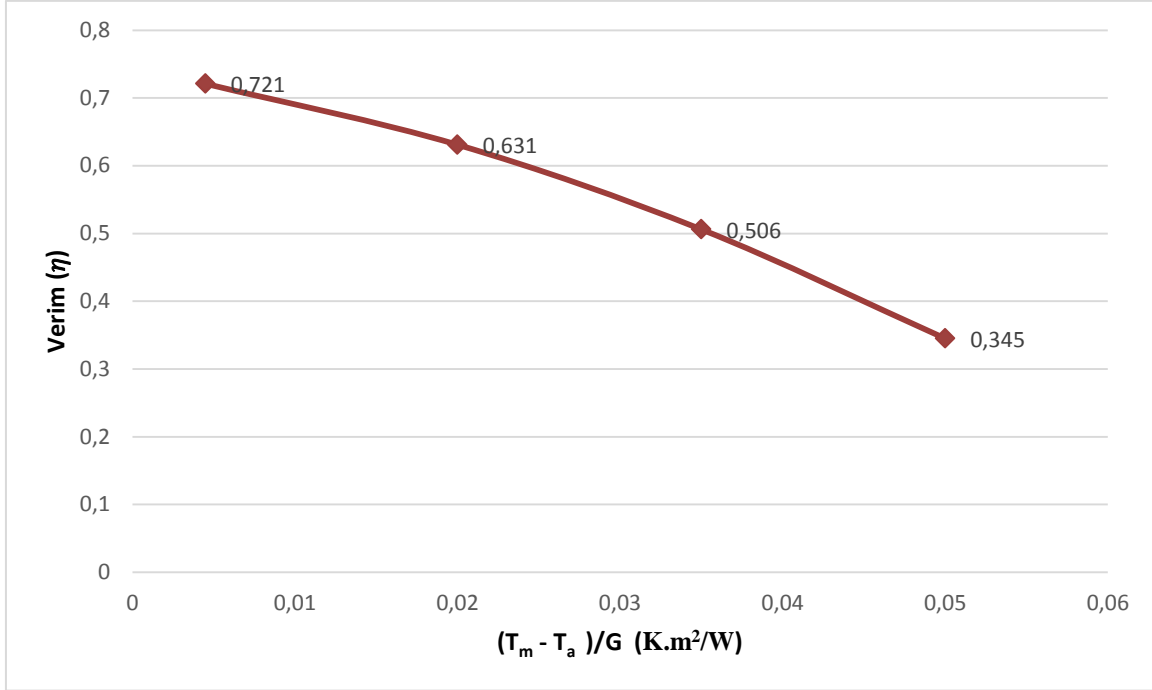
Çizelge 6.5. 66 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
999	1,96	63,4	69,3	31,2	66,35	0,506
998	1,96	63,3	69,2	30,6	66,25	0,501
993	1,96	63,4	69,2	30,3	66,30	0,497
987	1,96	63,3	69,1	29,9	66,20	0,492

Çizelge 6.6. 82 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1000	1,96	80,2	83,4	29,4	82,25	0,316
1008	1,96	80,3	83,2	30,0	82,35	0,327
1006	1,96	80,3	83,6	31,1	82,40	0,338
1010	1,96	80,3	83,5	31,5	82,35	0,345

Verim sonuçlarından görüldüğü üzere akışkan sıcaklığının artması düz plaka kolektör verimlerini düşürmektedir. Akışkanın artan sıcaklığı ile beraber ortamla sıcaklığı ile arasındaki fark açılmaktadır. Buna bağlı olarak da ısı kayıpları artmaktadır ve kolektörün ısıl direnci artmaktadır. Artan ısıl direnç ve kayıplar nedeniyle kolektörün verimi düşmektedir. Verimin düşmesine bağlı olarak kolektörün akışkana aktardığı enerji miktarı da azalmaktadır.

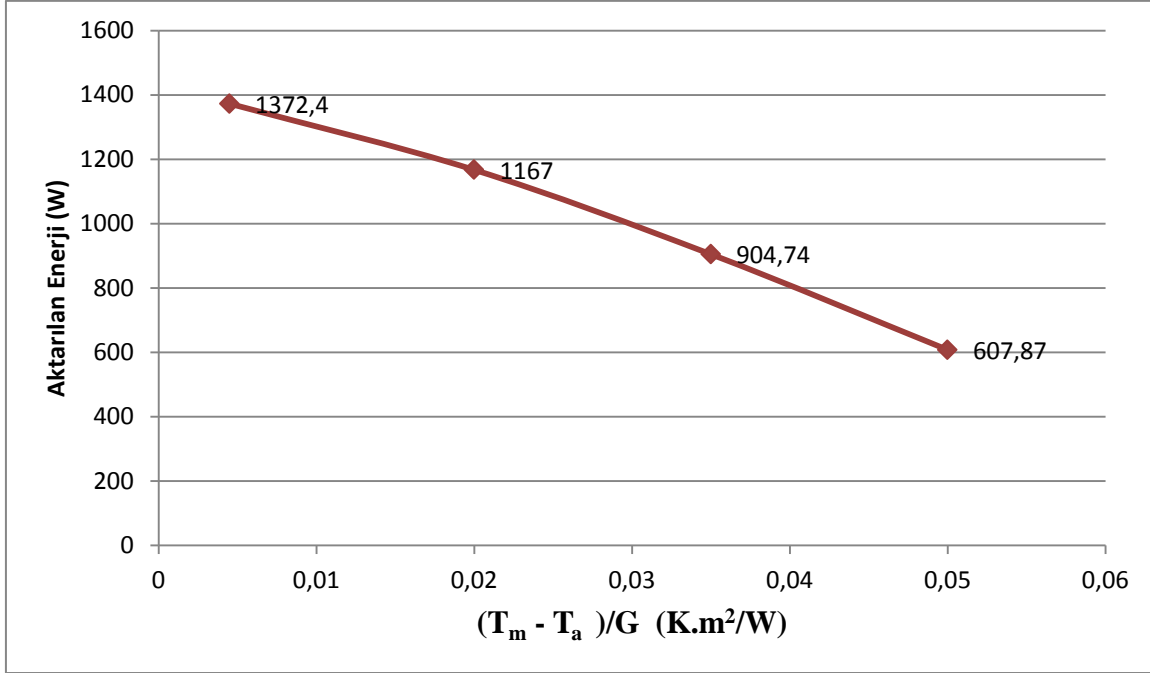


Şekil 6.1. Düz plaka kolektörün anlık verimlilik grafiği

Güneş ışınlarının sisteme aktardığı enerjinin bir kısmı akışkana aktarılmıştır. Akışkana aktarılan enerji miktarı Çizelge 6.7’de verilmiştir. Akışkana aktarılan enerji düşük sıcaklıklarda yüksek olmasına rağmen akışkan sıcaklığı yükseldikçe akışkana aktarılan enerji azalmaktadır.

Çizelge 6.7. Düz plaka kolektörün akışkana aktardığı enerji miktarı

DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T_i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T_o) (°C)	AKIŞKAN ENERJİSİ (Q) (W)
1,95	30,9	40,0	1383,801
1,95	30,8	39,9	1362,768
1,95	30,9	40,1	1380,966
1,95	30,9	40,0	1361,975
1,97	47,0	54,5	1190,998
1,97	47,1	54,6	1166,833
1,97	47,0	54,4	1170,573
1,97	47,0	54,3	1139,586
1,96	63,4	69,3	922,1351
1,96	63,3	69,2	912,0187
1,96	63,4	69,2	899,1041
1,96	63,3	69,1	885,6971
1,96	80,2	84,3	576,1081
1,96	80,3	84,4	601,6365
1,96	80,3	84,5	619,1683
1,96	80,3	84,4	634,569



Şekil 6.2. Düz plaka kolektörün akışkana aktardığı enerjinin çalışma sıcaklığına göre değişim grafiği

6.2.2. Vakum tüp kolektör sonuçları

Vakum tüp kolektör deney sonuçları Çizelge 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12’de verilmiştir.

Verim ve akışkan enerjisi grafikleri Şekil 6.3 ve 6.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. 31 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1057	2,8	26,75	34,5	21,3	30,625	0,738
1054	2,8	26,71	34,6	21,9	30,655	0,739
1058	2,8	26,75	34,7	23,2	30,725	0,741

Çizelge 6.9. 49 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1035	2,8	45,29	52,5	23,9	48,895	0,695
1038	2,8	45,33	52,3	23,3	48,815	0,693
1034	2,8	45,33	52,2	25,5	48,765	0,700

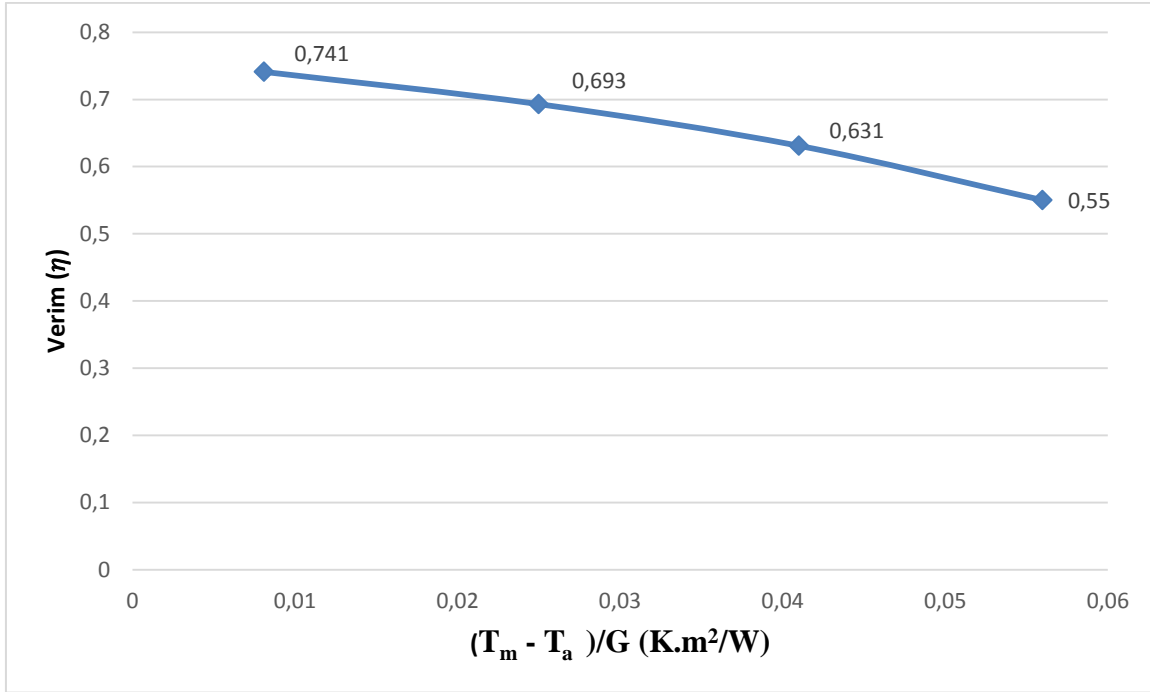
Çizelge 6.10. 64 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
999	2,8	61,99	66,9	23,6	64,445	0,631
987	2,8	62,14	66,9	23,2	64,520	0,627
995	2,8	62,16	66,8	23,4	64,480	0,629

Çizelge 6.11. 81 °C ortalama sıcaklıktaki verim deneyi sonuçları

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	VERİM (η)
1004	2,8	80,17	84,3	25	81,235	0,549
1001	2,8	80,09	84,4	25,3	81,245	0,550
1008	2,8	80,10	84,5	24,9	81,300	0,549

Vakum tüp kolektör üzerinde yapılan deneylerde artan çalışma sıcaklığının ise verimi düşürdüğü gözlenmiştir. Artan çalışma sıcaklığı kayıpları artırdığı için verim düşmektedir. Ayrıca ısıl geçirgenlik direnci de verimi düşürmektedir.

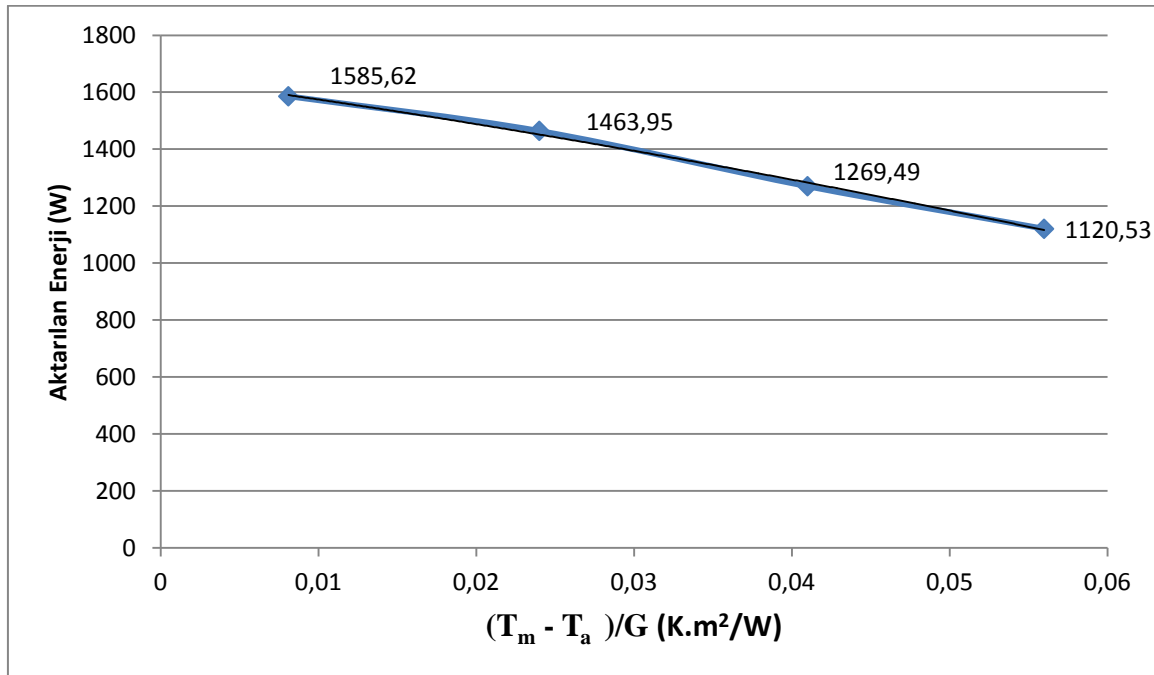


Şekil 6.3. Vakum tüp kolektörün anlık verimlilik grafiği

Güneş ışınlarının sisteme aktardığı enerjinin bir kısmı akışkana aktarılmıştır. Akışkana aktarılan enerji miktarı Çizelge 6.12’de verilmiştir. Akışkana aktarılan enerji düşük sıcaklıklarda yüksektir. Çalışma sıcaklığı yükseldikçe akışkana aktarılan enerji düşmektedir.

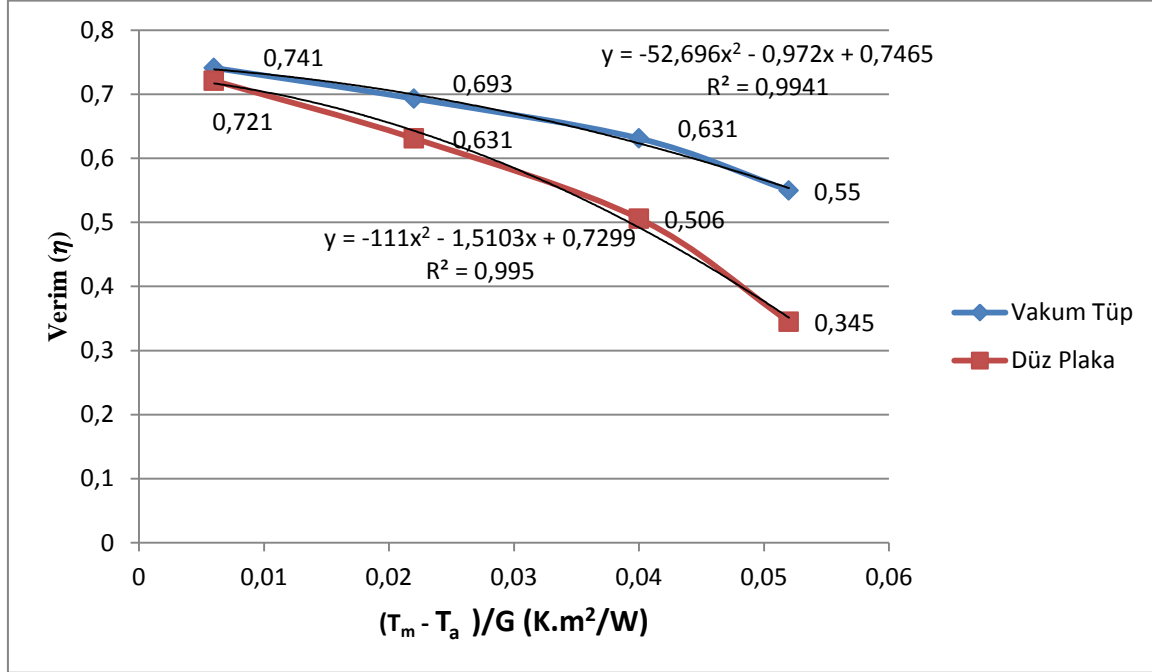
Çizelge 6.12. Vakum tüp kolektörün akışkana aktardığı enerji miktarı

DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T_i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T_o) (°C)	AKIŞKAN ENERJİSİ (Q) (W)
2,72	26,75	34,5	1583,52
2,72	26,71	34,6	1581,23
2,72	26,75	34,7	1592,09
2,78	45,29	52,5	1460,59
2,78	45,33	52,3	1461,06
2,77	45,33	52,2	1470,19
2,80	61,99	66,9	1279,91
2,80	62,14	66,9	1257,02
2,80	62,16	66,8	1271,55
2,79	80,17	84,3	1119,51
2,79	80,09	84,4	1118,48
2,78	80,10	84,5	1123,59

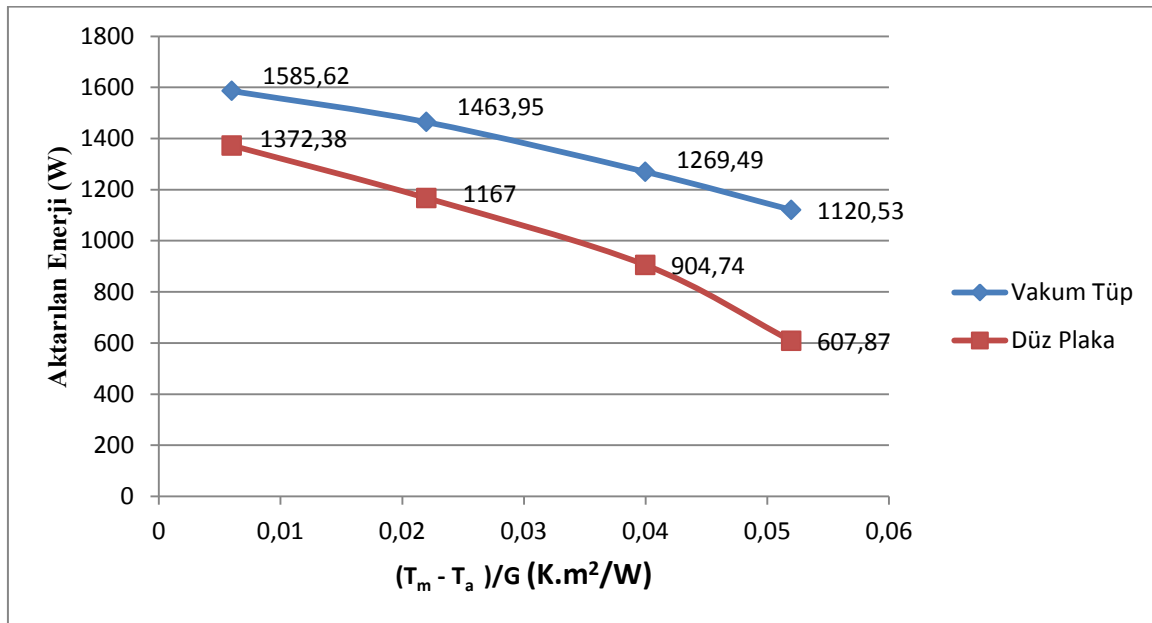


Şekil 6.4. Vakum tüp kolektörün akışkana aktardığı enerjinin çalışma sıcaklığına göre değişim grafiği

6.2.3. Kolektörlerin verimlerinin ve enerjilerinin kıyaslanması



Şekil 6.5. Kolektörlerin anlık verim kıyaslaması



Şekil 6.6. Kolektörlerin akışkana aktardığı enerjinin kıyaslanması

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 6.5’de farklı tipteki iki kolektörün verim sonuçlarının kıyaslaması verilmiştir. Maksimum verim şartlarında vakum tüplü kolektörün verimi %74,65 iken, düz plaka kolektörün verimi %72,99 elde edilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde

vakum tüp kolektörün verimi düz plaka kolektörde % 2,3 daha fazladır. Deney düzeneği güneş takip eden bir sistem olduğu için deneyler farklı tarihte olmasına rağmen kolektörlerin aldığı güneş ışınimleri yaklaşık aynıdır. İki kolektör üzerinde yapılan deney sonucunda artan çalışma sıcaklığı ile beraber kolektörlerin veriminin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca deneyler esnasında değişen çevre sıcaklığının verimi etkilediği gözlenmiştir. Artan çevre sıcaklığı verimi artırırken, çevre sıcaklığının azalması ile kolektör verimleri de düşmektedir. Yapılan deneylerde rüzgâr hızı az olduğu için rüzgârdan kaynaklı kayıplar göz ardı edilmiştir.

Verim sonuçları dikkate alındığında 30-35 °C gibi düşük sıcaklıklarda iki kolektöründe verimleri yaklaşık birbirine yakındır. Deneylerde artırılan çalışma sıcaklığıyla beraber kolektör verimleri arasındaki fark gittikçe artmıştır. 51 ° C'de gerçekleştirilen deneylerde vakum tüp ve düz plaka kolektör verimleri arasındaki fark çok az iken 81° C'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan verim sonuçları arasındaki fark çok fazladır. Vakum tüp kolektörlerin veriminde, sıcaklık artışına rağmen çok fazla değişim gözlenmezken, düz plaka kolektörlerin veriminde yarı yarıya düşüş gözlenmiştir.

Kolektör verim formülünde görüldüğü üzere verim için sıfır ısı kaybı katsayısı önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca kolektörlere özgü olan ısı kaybı katsayısı ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı verim hesaplamalarında önemli bir yere sahiptir. Düz plaka kolektörün ısı kaybı katsayısı ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı, vakum tüp kolektöre göre daha yüksek olmasından dolayı düzlemsel kolektörlerin ısı kayıpları daha fazla olmaktadır. Isı kaybının artması nedeniyle kolektör verimi de düşmektedir.

Kolektörler güneş radyasyonunun bir kısmını akışkana aktarırken diğer kısmını kaybetmektedir. Deneyde kullanılan yüksek performanslı düz plaka kolektörün ve vakum tüplü kolektörün akışkana aktardıkları enerji miktarları Şekil 6.6'da verilmiştir. Vakum tüplü kolektörün veriminin yüksek olmasından dolayı akışkana aktardığı enerji miktarı da fazladır. Ayrıca vakum tüplü kolektörün absorp ettiği enerji çalışma sıcaklığına göre dalgalanma göstermektedir. Düz plaka kolektör ve vakum tüp kolektör arasındaki enerji farkı, 51°C sıcaklıkta normal farktan fazla iken 65°C sıcaklıkta normalden daha azdır. Düz plaka kolektörün sisteme verdiği enerji miktarı artan çalışma sıcaklığı ile beraber lineer olarak düşmesine rağmen, vakum tüpte bu düşüş dalgalanma göstermektedir. Bu

dalgalanmanın deney esnasında değişen güneş ışınımından kaynaklanabilmektedir. Ayrıca düz plaka kolektörde daha az su kullanılmıştır. Sistemde kullanılan akışkan miktarlarının eşit olduğunu farz edildiğinde akışkana aktarılan enerji miktarları yaklaşık eşit olabilirdi.

6.3. Ekserji Analizi

6.3.1. Düz plaka kolektörün ekserji verimi ve analizi

Düz plaka kolektör ekserji sonuçları Çizelge 6.13, 6.14, 6.15, 6.16’da verilmiştir. Ekserji verimi grafiği Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. 35 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	EKSERJİ VERİM (η _{2nd})
1054	1,95	30,9	40,0	30,7	35,45	1821,03	0,01
1036	1,95	30,8	39,9	31	35,35	1789,83	0,01
1051	1,95	30,9	40,1	30,9	35,50	1815,78	0,01
1036	1,95	30,9	40,0	31	35,45	1789,83	0,01

Çizelge 6.14. 51 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

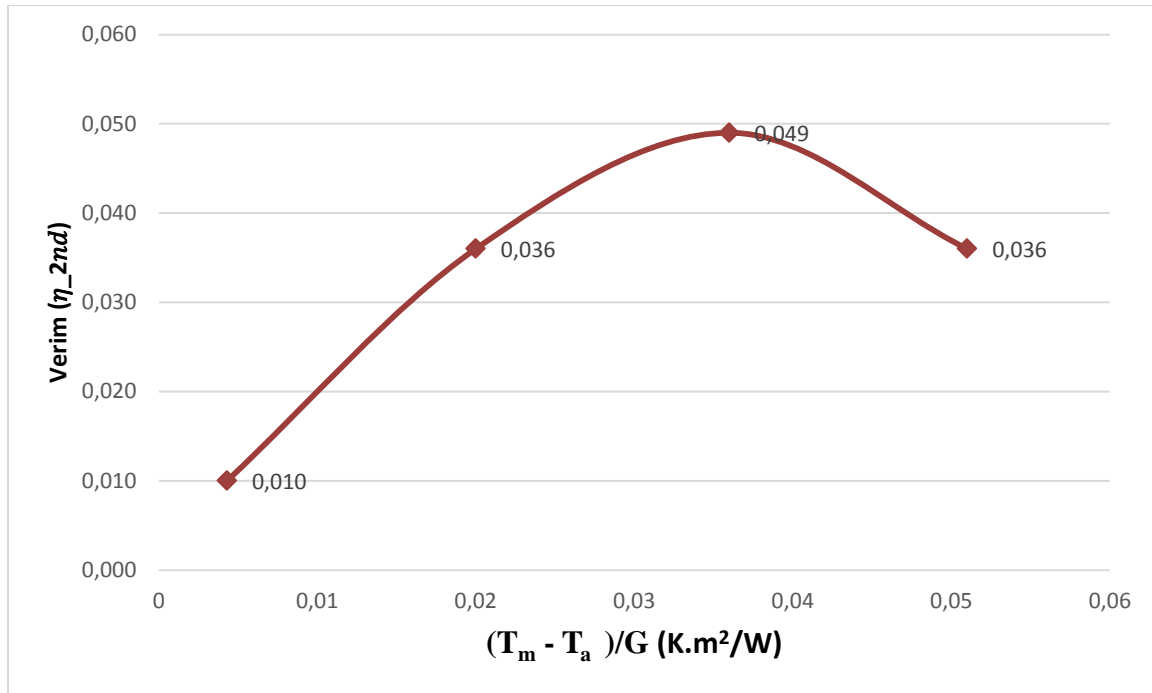
İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
1031	1,97	47,0	54,5	30,5	50,75	1781,36	0,036
1014	1,97	47,1	54,6	30,5	50,85	1751,98	0,037
1005	1,97	47,0	54,4	31,6	50,70	1736,09	0,034
989	1,97	47,0	54,3	30,8	50,65	1708,70	0,036

Çizelge 6.15. 66 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
999	1,96	63,4	69,3	31,2	66,35	1725,85	0,048
998	1,96	63,3	69,2	30,6	66,25	1724,31	0,049
993	1,96	63,4	69,2	30,3	66,30	1715,76	0,049
987	1,96	63,3	69,1	29,9	66,20	1705,52	0,050

Çizelge 6.16. 82 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
1000	1,96	80,2	83,4	29,4	82,25	1728,14	0,037
1008	1,96	80,3	83,2	30,0	82,35	1741,78	0,033
1006	1,96	80,3	83,6	31,1	82,40	1737,97	0,037
1010	1,96	80,3	83,5	31,5	82,35	1744,75	0,036



Şekil 6.7. Düz plaka kolektörün ekserji verimi grafiği

Deney başlangıcında kolektörün ekserji verimi düşüktür. Çalışma sıcaklığı artırıldıkça ekserji verimi artmıştır. 66°C çalışma sıcaklığına kadar artan verim bu sıcaklıktan sonra ekserji verimi düşmektedir. 66 °C akışkan sıcaklığında Şekil 6.7’de görüldüğü üzere sistemin ekserjisi zirve yapmıştır. Bu sıcaklıktan sonra ekserji verimliliği düşüşe geçmiştir.

6.3.2. Vakum tüp kolektörün ekserji verimi ve analizi

Düz plaka kolektör ekserji sonuçları Çizelge 6.17, 6.18, 6.19, 6.20’de verilmiştir. Ekserji verimi grafiği Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.17. 31 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
1057	2,8	26,75	34,5	21,3	30,625	2036,80	0,023
1054	2,8	26,71	34,6	21,9	30,655	2030,80	0,022
1058	2,8	26,75	34,7	23,2	30,725	2038,02	0,019

Çizelge 6.18. 49 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

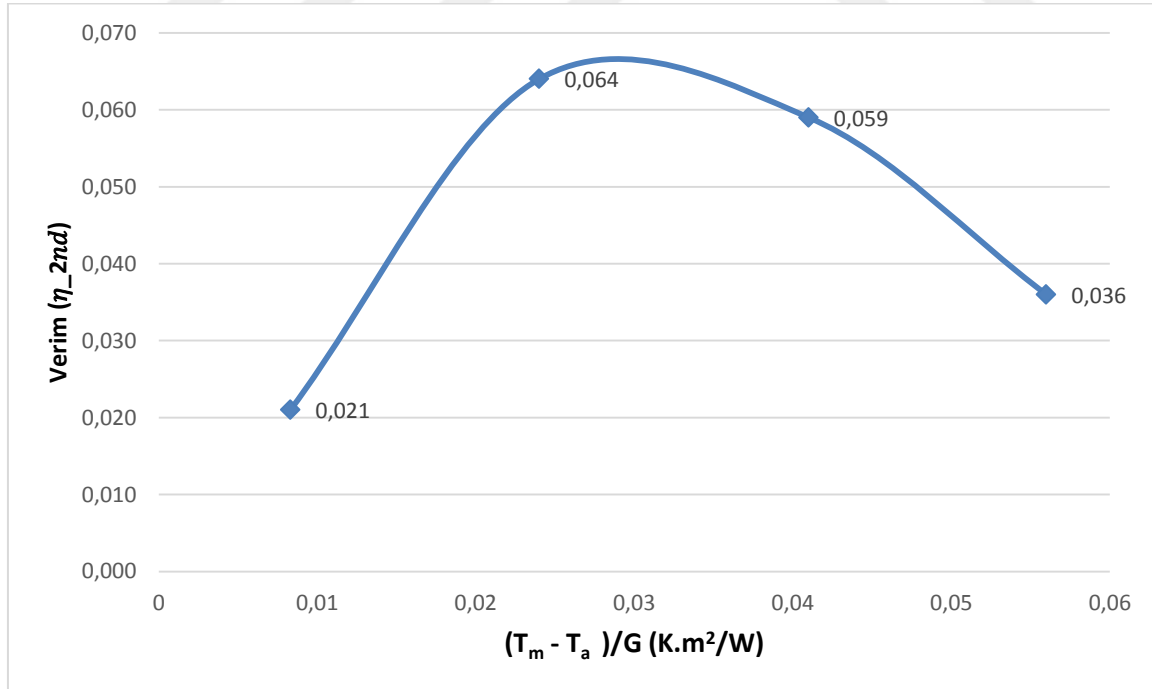
İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
1035	2,8	45,29	53,7	23,9	49,495	1993,46	0,065
1038	2,8	45,33	53,64	23,3	49,485	1999,46	0,066
1034	2,8	45,33	53,57	25,5	49,450	1990,95	0,060

Çizelge 6.19. 64 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
999	2,8	61,99	66,9	23,6	64,445	1924,23	0,060
987	2,8	62,14	66,9	23,2	64,520	1901,25	0,060
995	2,8	62,16	66,8	23,4	64,480	1916,60	0,057

Çizelge 6.20. 81 °C ortalama sıcaklıktaki ekserji verimi

İŞİNİM ŞİDDETİ (W/m ²)	DEBİ (kg/dk)	GİRİŞ SICAKLIĞI (T _i) (°C)	ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T _o) (°C)	ÇEVRE SICAKLIĞI (T _a) (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (T _m) (°C)	GELEN EKSERJİ (W)	VERİM (η _{2nd})
1004	2,8	80,17	82,3	25	81,235	1933,37	0,034
1001	2,8	80,09	82,4	25,3	81,245	1927,48	0,037
1008	2,8	80,10	82,5	24,9	81,300	1941,10	0,038

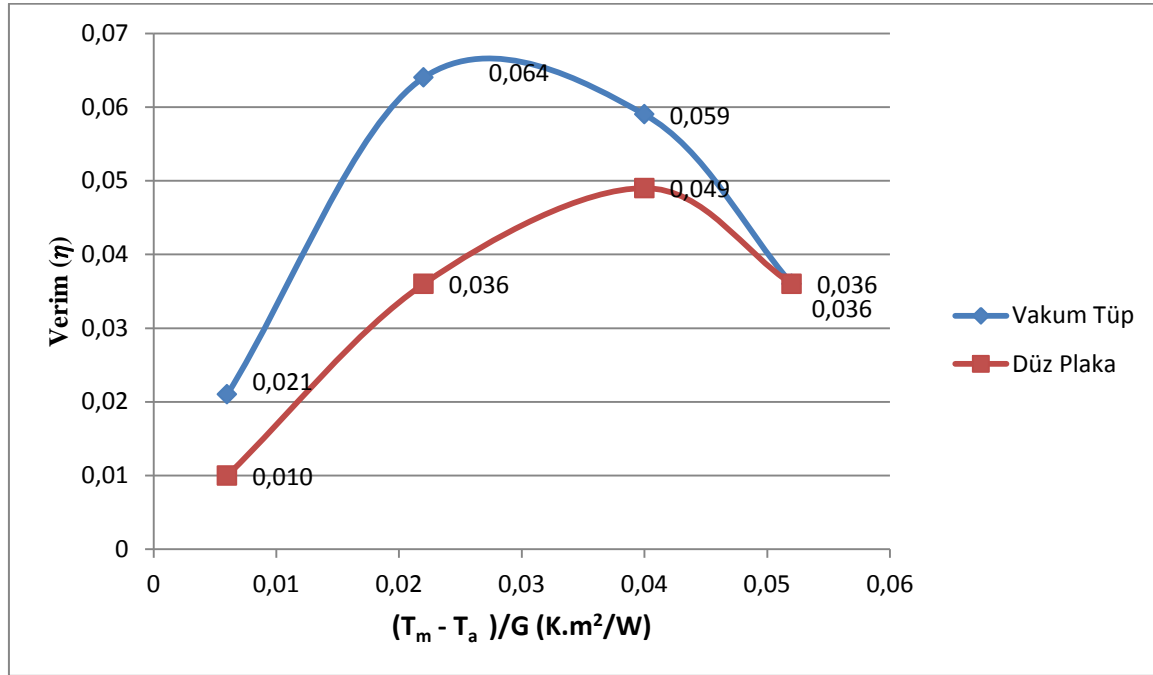


Şekil 6.8. Vakum tüp kolektörün ekserji verimi grafiği

Deney başlangıcında kolektörün ekserji verimi çok düşüktür. Akışkan sıcaklığı artırıldıkça ekserji verimi artmıştır. 49°C çalışma sıcaklığından sonra ekserji verimi 55°C sıcaklığa

kadar artış göstermektedir. Vakum tüp kolektörün ekserji verimi 55°C’de zirve yapmıştır. Bu sıcaklıktan sonra verim düşmeye başlamaktadır. 64°C çalışma sıcaklığından sonra ekserji verimindeki düşüş artmaktadır.

6.3.3. Sistemlerin ekserjilerinin kıyaslanması



Şekil 6.9. Kolektörlerin ekserji verimlerinin kıyaslanması

Şekil 6.9’da kolektörlerin ekserji verimleri kıyaslanmıştır. Düz plaka kolektör sistemin ekserjisi 64°C çalışma sıcaklığına kadar artış göstermektedir. Bu sıcaklıkta sistemin ekserji verimi % 4,9 olmuştur. Bu sıcaklıktan sonra sistemin ekserjisi düşmektedir. Vakum tüp kolektör sisteminin ekserjisi ise 55°C sıcaklığa kadar hızlı bir artış göstermiştir. Bu çalışma sıcaklığında sistemin ekserji verimi yaklaşık % 6,6 olmuştur. Artan çalışma sıcaklığıyla beraber sistemin ekserjisi önce yükselmekte daha sonra düşmektedir. Vakum tüp kolektörlerin en verimli çalışma sıcaklığı 49-64°C iken, düz plaka kolektörlerin en verimli çalışma sıcaklığı 60-65°C’dir. Ekserji verimleri kıyaslandığında vakum tüp kolektörün ekserji veriminin düz plakaninkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma sıcaklığı 35°C’den 51°C’ye çıkartıldığında iki tip kolektöründe ekserji verimi artmaktadır. Çalışma sıcaklığı 66°C’ye çıkartıldığı zaman ise düz plaka kolektörün ekserji verimi artarken

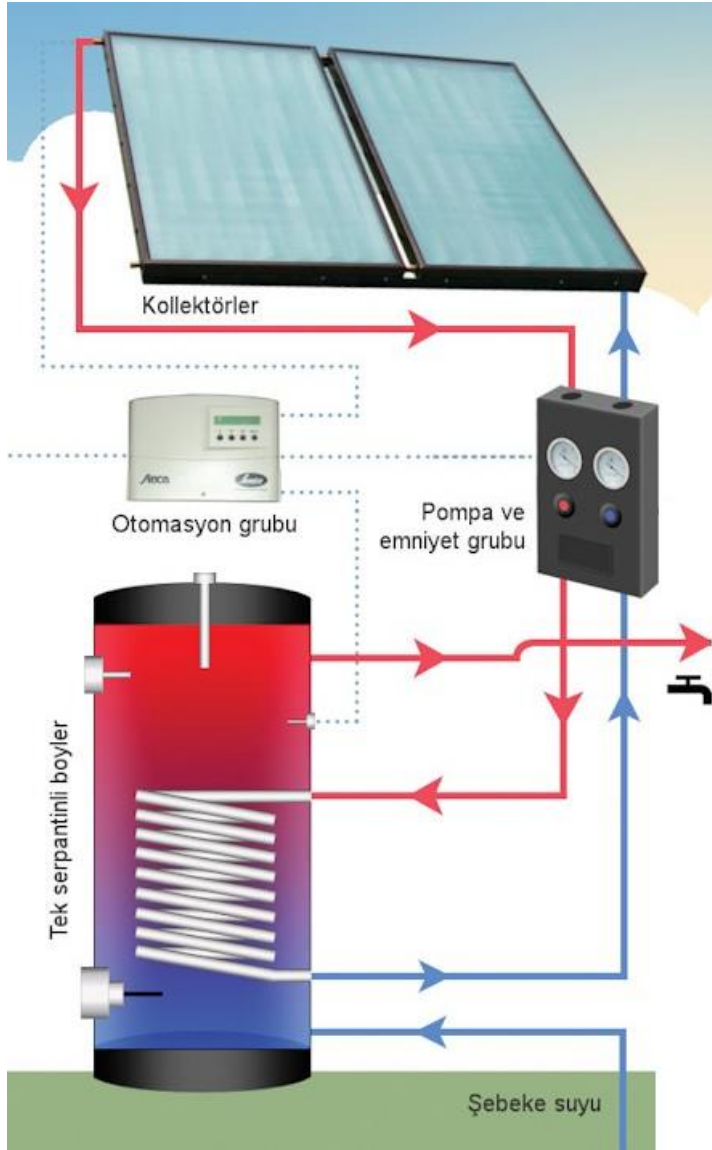
vakum tp kolektörün ekserji verimi düşmektedir. Çalışma sıcaklığı 81°C'ye çıkartıldığında ise iki tip kolektörün ekserji verimi de düşmektedir ve yaklaşık değerleri aynıdır.

6.4. Ekonomik Analiz

Farklı tipteki kolektörlerin ekonomik analizinin yapılabilmesi için kolektör sistemlerinin tanımlanması gerekmektedir. Düzlemsel kolektör ve vakum tp kolektör için teknik özelliklerini vererek ekonomik analiz ayrı ayrı yapılacaktır. Analiz yapılabilmesi için 4-5 kişilik bir ailenin sıcak su ihtiyaını karşılayabilecek sistemler hesaba katılmıştır.

6.4.1. Düz plaka kolektör sistemi

Düz plaka kolektör sistemi için toplam beş kişilik bir ailenin yaşadığı bir evin sıcak su ihtiyaını karşılayabilecek bir sistem seçilmiştir. Sistemde iki adet bakır borulu 194x94x10 cm ebatlarında düz plaka standart kolektör ve bir adet toplam hacmi 250 litre olan dik depo kullanılmıştır. Seçilen sistemin soğuk kiş şartlarına dayanıklı olabilmesi için sistemde dik depo kullanılmıştır. Sistemin alışması için elektrik pompa kullanılmaz. Sistem doğal dolaşımla çalışır. Su deposununun 170 litresi sıcak su için 70 litresi de soğuk su depolamak içindir (şekil 6.10). Dik boyler su kesintilerinin fazla olduğu bölgelerde soğuk su deposu yardımıyla, su ihtiyaını karşılayabilmektedir.



Şekil 6.10. Düz plaka kolektör sistemi

Düz plaka kolektör sisteminin ekonomik analizi

Sistemin ilk yatırım maliyeti aşağıdaki Çizelge 6.21.'de verilmiştir. Maliyet kapsamına iki adet alüminyum kasa, 194x94 cm boyutlarında düzlemsel kolektör, bir adet şamandıralı, katodik korumalı dik boyler, iki adet kör tapa, iki adet bağlantı rakoru, iki adet nipel rakor, bir adet taşıyıcı sehpa, bağlantı boruları ve otomatik kontrol sistemi dâhil edilmiştir.

Çizelge 6.21. Sistem elemanları fiyat listesi

Sistem Elemanı	Fiyatı
Kolektör	600 x 2
Dik boyler	750
Bağlantı elemanları	50
Bağlantı boruları	100
Taşıyıcı Sehpa	200
Otomatik kontrol cihazı	300
TOPLAM	2600 TL

Sistemde kullanılan kolektörlerin ömrü 20 yıldır. Katodik korumalı dik boylerlerin ömrü, diğer boylerlere oranla daha yüksektir. İki yılda bir boylerde bulunan magnezyum çubuğunun değişmesi gerekmektedir. Ayrıca her yıl sistemin antifrizinin kontrol edilmesi ve tamamlanması gerekmektedir. Sistemin kurulum ücreti ise 500 TL'dir. Ayrıca sistemin sorunsuz çalışabilmesi için bağlantı elemanlarının ve bağlantı borularının 10 yıl sonra değişmesi gerekmektedir.

Sistemin ilk yatırım maliyeti 3100 TL'dir. Yıllık bakım giderleri ise 25 TL'dir. İki yılda bir magnezyum çubuğu giderleri 30 TL'dir. 10 yıl yedek parça gideri 150 TL'dir. Hurda fiyatı ise 400 TL'dir.

Sistemin maliyet analizini yapabilmek için birleştirilmiş faiz oranı kullanılır.

$$i = \%10 \text{ ve } d = \%12 \text{ ise } i_e = 0,232$$

Maliyet analizi için fayda/masraf oranı analizi yapılır. İki sistemi mukayese edebilmek için sistemler 60 yıla eşitlenerek analiz edilir.

$$Fayda = \sum_0^N \frac{R_{i_n}}{(1 + i_e)^n}$$

$$Fayda: 400 * \frac{1}{1,232^{20}} + 400 * \frac{1}{1,232^{40}} + 400 * \frac{1}{1,232^{60}} = 6,26 \text{ TL}$$

$$Masraf = \sum_0^N \frac{R_{on}}{(1 + i_e)^n}$$

$$\begin{aligned} \text{Masraf:} \quad & 3100 + 3100 * \frac{1}{1,232^{20}} + 3100 * \frac{1}{1,232^{40}} + 25 * \frac{1,232^{60}-1}{1,232^{60}*0,232} + 30 * \left(\frac{1}{1,232^2} + \right. \\ & \left. \frac{1}{1,232^4} + \frac{1}{1,232^6} + \frac{1}{1,232^8} + \frac{1}{1,232^{10}} + \frac{1}{1,232^{12}} + \frac{1}{1,232^{14}} + \frac{1}{1,232^{16}} + \frac{1}{1,232^{18}} \right) + 30 * \\ & \left(\frac{1}{1,232^{22}} + \frac{1}{1,232^{24}} + \frac{1}{1,232^{26}} + \frac{1}{1,232^{28}} + \frac{1}{1,232^{30}} + \frac{1}{1,232^{32}} + \frac{1}{1,232^{34}} + \frac{1}{1,232^{36}} + \frac{1}{1,232^{38}} \right) + 30 * \\ & \left(\frac{1}{1,232^{42}} + \frac{1}{1,232^{44}} + \frac{1}{1,232^{46}} + \frac{1}{1,232^{48}} + \frac{1}{1,232^{50}} + \frac{1}{1,232^{52}} + \frac{1}{1,232^{54}} + \frac{1}{1,232^{56}} + \frac{1}{1,232^{58}} \right) + \\ & 150 * \frac{1}{1,232^{10}} + 150 * \frac{1}{1,232^{30}} + 150 * \frac{1}{1,232^{50}} = 3332,64 \text{ TL} \end{aligned}$$

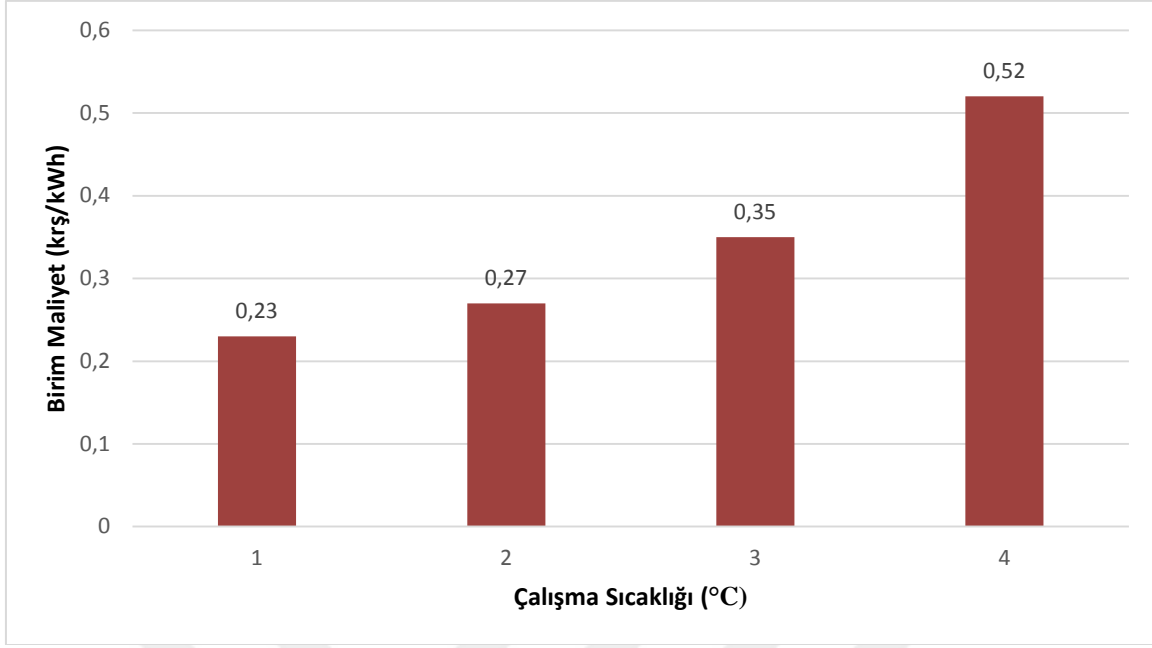
$$NBD = \text{Fayda} - \text{Masraf} = 6,26 - 3328,9 = -3326,4 \text{ TL}$$

Düz plaka kolektör sistemi için altmış yıl boyunca toplam yapacağımız masraf 3326,4 TL'dir.

Çizelge 6.22. Çalışma sıcaklığına göre 60 yıl boyunca elde edilen enerji

Çalışma Sıcaklığı (°C)	Elde Edilen Enerji (kWh)
35	1442643,2
51	1226747,6
66	951061,4
82	638993,4

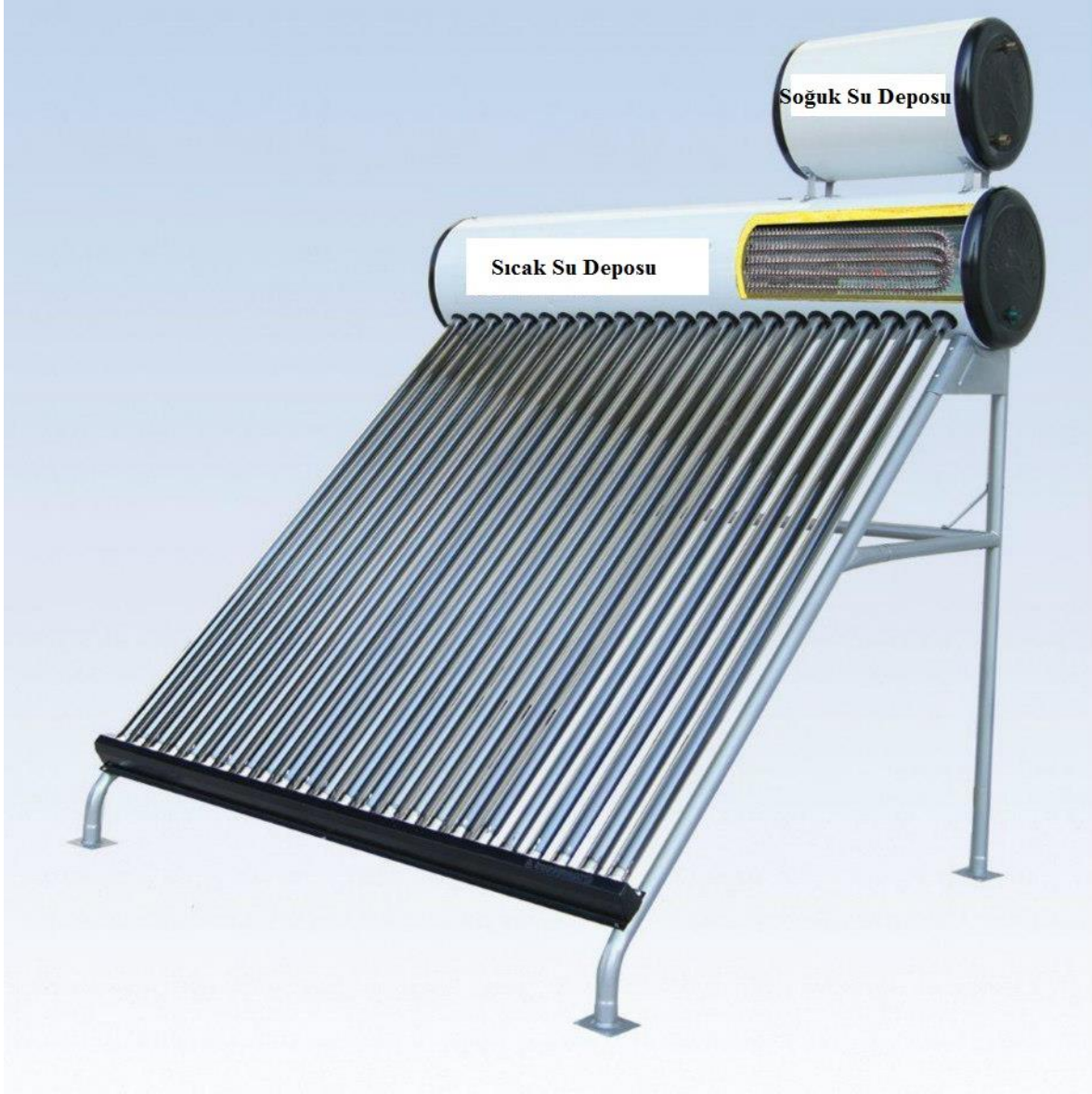
Düz plaka kolektörden 60 yıl boyunca elde edilecek enerji çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak değerler Çizelge 6.22'de verilmiştir. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak elde edilecek sıcak suyun birim enerji maliyetleri Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak düz plaka kolektör sisteminin sıcak su birim maliyeti

6.4.2. Vakum tüp kolektör sistemi

Vakum tüp kolektör sistemi için beş kişilik bir ailenin günlük sıcak su ihtiyacını karşılamak için seçilmiştir. Sistem de 24 adet vakum tüp ve 2 adet su deposu bulunmaktadır. Su depolarından vakum tüplerin bağlı olduğu depo 180 litredir. Sıcak su deposunun üzerinde 50 litrelik soğuk su deposu bulunmaktadır. Vakum tüp kolektör sisteminin tasarımından dolayı sistemdeki depolar yatık boyler ve depodan oluşmaktadır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Vakum tüp kolektör sistemi

Vakum tüp kolektör sisteminin ekonomik analizi

Sistemin ilk yatırım maliyeti Çizelge 6.23’de verilmiştir. Sistemde 24 adet vakum tüp, biri 180 litre diğeri 50 litre olmak üzere iki adet yatık su deposu, bağlantı boruları, bir adet taşıyıcı sehpa ve otomatik kontrol sistemi mevcuttur.

Çizelge 6.23. Vakum tüp sistemi elemanları fiyat listesi

Sistem Elemanı	Fiyatı
Vakum tüp	1000
Su depoları	500
Bağlantı boruları	100
Taşıyıcı Sehpa	200
Otomatik kontrol cihazı	300
TOPLAM	2100 TL

Sistemde kullanılan vakum tüplerin ömrü 15 yıldır. Vakum tüp kolektör sisteminin kurulum maliyeti 500 TL'dir. Sistemin yıllık bakım maliyeti bulunmamaktadır. 10 yıl sonra ise bağlantı borularının değişmesi gerekmektedir. Sistemin hurda fiyatı 300 TL'dir.

$$Fayda = \sum_0^N \frac{R_{i_n}}{(1 + i_e)^n}$$

$$Fayda: 300 * \frac{1}{1,232^{15}} + 300 * \frac{1}{1,232^{30}} + 300 * \frac{1}{1,232^{45}} + 300 * \frac{1}{1,232^{60}} = 13,72 TL$$

$$Masraf = \sum_0^N \frac{R_{o_n}}{(1 + i_e)^n}$$

$$Masraf: 2600 + 2600 * \frac{1}{1,232^{15}} + 2600 * \frac{1}{1,232^{30}} + 2600 * \frac{1}{1,232^{45}} + 100 * \frac{1}{1,232^{10}} \\ + 100 * \frac{1}{1,232^{25}} + 100 * \frac{1}{1,232^{40}} + 100 * \frac{1}{1,232^{55}} = 2731,9 TL$$

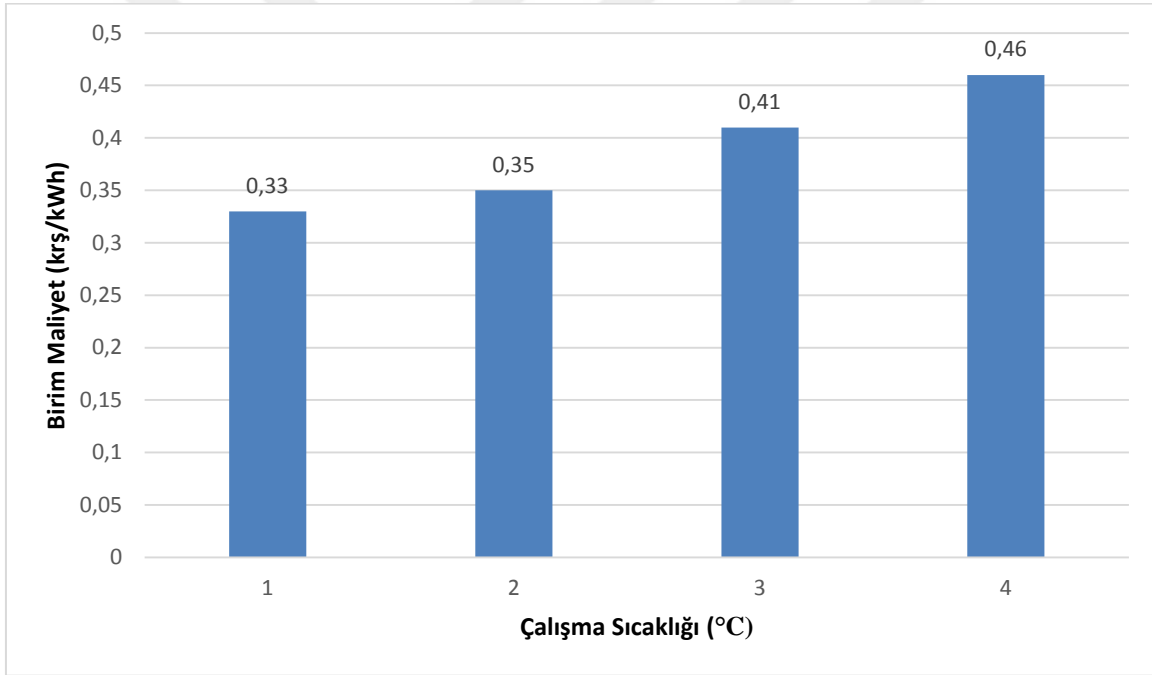
$$NBD = Fayda - Masraf = 13,72 - 2731,9 = -2718,2 TL$$

Vakum tüp kolektör sistemi için altmış yıl boyunca toplam yapacağımız masraf 2718,2 TL'dir.

Çizelge 6.24. Çalışma sıcaklığına göre 60 yıl boyunca elde edilen enerji

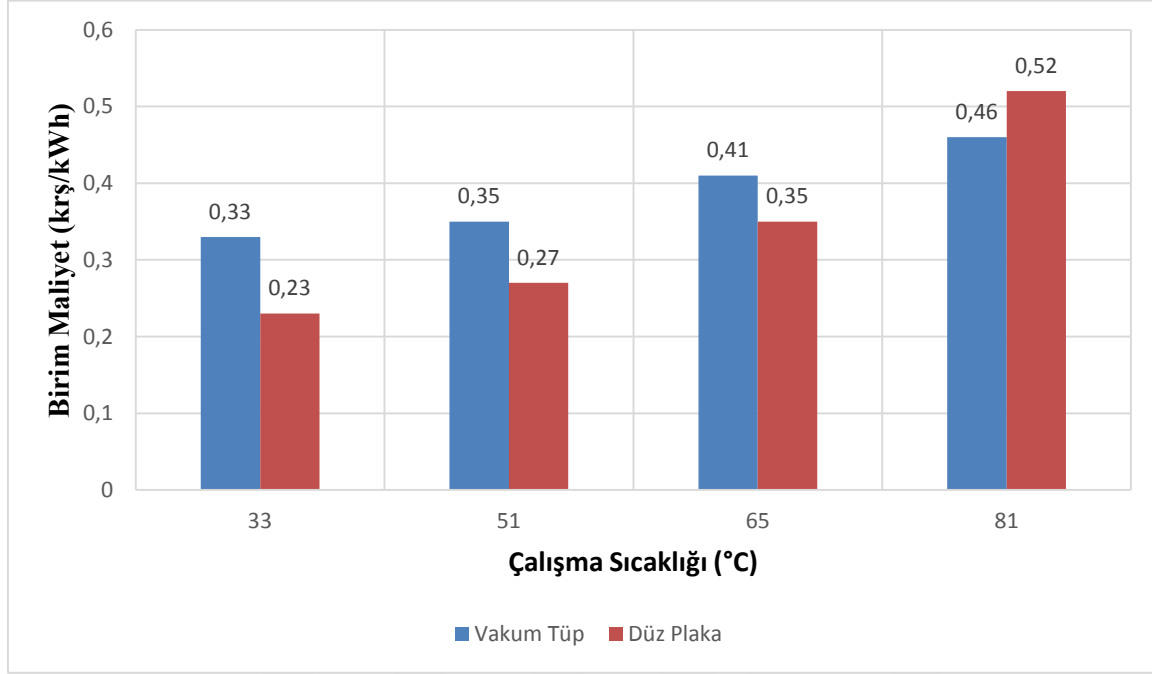
Çalışma Sıcaklığı (°C)	Elde Edilen Enerji (kWh)
31	833400,5
49	769450,9
64	667246,0
81	588949,9

Vakum tüp kolektörden 60 yıl boyunca elde edilecek enerji çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak değerler Çizelge 6.24’de verilmiştir. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak elde edilecek sıcak suyun birim enerji maliyetleri Şekil 6.13’te verilmiştir.



Şekil 6.13. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak vakum tüp kolektör sisteminin sıcak su birim Maliyeti

6.4.3. Farklı tipteki kolektör sistemlerinin ekonomik karşılaştırması



Şekil 6.14. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak sıcak suyun birim maliyeti karşılaştırması

Düz plaka kolektör sistemi için ve vakum tüp kolektör sistemi için maliyet analizleri yapılmıştır (Şekil 6.14). Tanımlanan sistemlerde düz plaka kolektör sisteminin vakum tüp kolektör sistemine göre masrafı daha fazladır. Düz kolektör sisteminin ömrü 20 yıl iken vakum tüplü sistemlerin ömrü 15 yıldır. Yapılan maliyet analizinde iki sisteminde ömürleri 60 yıla eşitlenerek analiz yapılmıştır. Yapılan analiz neticesinde düşük sıcaklıklar için düz plaka kolektör sistemleri yatırım ve işletme maliyetleri açısından daha uygulanabilir. Vakum tüplü sistemlerin ömürleri daha kısa olmasına rağmen bakım giderleri yoktur ve yatırım maliyeti düşük sistemlerdir.

65°C'a kadar düz plaka kolektör sistemlerinin birim maliyeti daha düşüktür. Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise vakum tüp sistemlerinin birim maliyeti daha düşüktür. 4-5 kişilik bir ailenin sıcak su ihtiyacını karşılayabilmek için tasarlanan sistemlerde düz plaka kolektör sisteminin ilk yatırım ve bakım masrafları daha yüksek olmasına rağmen düşük sıcaklıklarda birim maliyetinin daha düşük çıkmasının nedeni tasarlanan sistemde iki adet kolektör kullanılmasıdır. Sistemde bulunan iki adet kolektör güneş soğurma alanını iki katına çıkardığı için gelen güneş enerjisinden faydalanma oranını artırmaktadır. Sistem

maliyetleri arasında çok büyük farklar olmamasına rağmen düz plaka kolektörlü sistemler birim maliyetleri daha düşüktür. Ancak yüksek sıcaklık uygulamalarında vakum tüp kolektör sistemlerinin birim maliyeti daha düşüktür. Sıcak su ihtiyacının 45-65 °C olduğu düşünüldüğünde sistemlerin yaklaşık maliyetleri birbirine yakındır. Bu sıcaklık aralığında düz plaka kolektör sistemlerinin birim maliyeti daha düşük olmasına rağmen, bu sistemlerin yıllık, iki yıllık ve on yıllık bakımları göz önüne alınmalıdır.





7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, fosil kaynaklı enerjilerin tükenir ve çevreye zararlı olmasından bahsedilmiştir. Tükenen enerji kaynaklarına alternatif olarak yenilebilir enerjinin öneminden bahsedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin, çevre dostu ve ülkemiz potansiyeli açısından yüksek değerlere sahip olmasından dolayı ön plana çıkartılmıştır.

Su ısıtma amaçlı, düşük sıcaklık uygulamaları için ev, otel vb. yerlerde güneş takip sistemleri maliyetli olacağından dolayı sabit durumdaki kolektör sistemlerinin güneşin gelme açılarına göre nasıl konumlandırılabilceğinden ve güneş gelme açılarının öneminden bahsedilmiştir. Pencerelemler ve yapıların yönleri güneş açıları sayesinde, enerji kayıplarını azaltmak ve güneşten daha fazla yararlanmak için tasarlanabilir. Ayrıca tez çalışmasında güneş enerjisinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Kolektör çeşitlerinden ve uygulama alanlarından ayrı ayrı bahsedilmiştir. Deneyde kullanılacak olan düz plaka kolektör ve vakum tüp kolektörlerin tasarım esaslarından bahsedilmiştir. Deney düzeneğinden bahsedilerek yapılan deney sonuçları verilmiştir.

Deney sonuçları kullanılarak önce sistemin enerji analizi yapılmıştır. Enerji analizinden sonra sistemin birinci verimi hesaplanmıştır. İki kolektör tipi için ayrı ayrı hesaplanan verimler ve akışkana aktarılan enerji mukayese edilmiştir. Daha sonra sistemin ekserji analizi yapılmış ve kolektör tipleri için sistem ekserji verimleri kıyaslanmıştır. Enerji ve ekserji analizlerinden sonra beş kişilik bir ailenin sıcak su ihtiyacını karşılayabilecek iki farklı sistemin maliyetleri, net bugünkü değer yöntemiyle hesap edilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan sonra sistemlerin ortak ömrü olan altmış yıla eşitlenerek sistemlerin birim enerji başına maliyetleri hesap edilerek, çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak ayrı ayrı mukayese edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda sıcak su uygulamaları için düz plaka kolektörün, vakum tüp kolektör sistemlerine göre daha uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sistemlerin verimlerinin mukayese edilebilmesi için güneş takip sisteminin olduğu ve yaklaşık güneş ışınım şiddetleri altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Vakum tüpün sıfır ısı katsayısının

yüksek olmasından, içindeki havanın vakumlanmış olmasından ve güneş ışınlarını düz plaka kolektör sistemine daha çok dik almasından dolayı verimi yüksektir. Ayrıca vakum tüp kolektör sisteminin ömrünün daha kısa olmasına rağmen bakım masrafı olmamasından dolayı tercih sebebi olabilir. Ayrıca vakum tüp kolektörler güneş ışınımının daha düşük ve sıcaklığın daha düşük olduğu ortamlarda çalışabilirken, düz plaka kolektör sistemlerinde düşük sıcaklıklarda arızalarla karşılaşabilmektedir. Vakum tüplü sistemlerin birçok avantajı olmasına rağmen düşük sıcaklıklar için birim maliyetleri yüksektir. Bunun sebebi ise tasarlanan sistemlerde iki adet düz plaka kolektör sistemi kullanılmasıdır. İki adet kolektör güneşten faydalanma yüzey alanını artırdığı için sistemin elde ettiği toplam enerjide daha fazladır. Düz plaka kolektörlü sistemlerin toplam sistem maliyeti daha fazla olmasına rağmen elde ettiği toplam enerjinin daha fazla olmasından dolayı birim maliyetleri daha düşüktür.

Su ve elektrik kesintilerinin sık yaşandığı yerler için güneş enerji sistemleri ayrı bir öneme sahiptir. Düşük bir ilk yatırım maliyetiyle beraber ortalama 15-20 yıl çalışan sistemler sayesinde enerji bağımlılığı azaltılabilmektedir. Ayrıca bu sistemlerin çevre dostu olması ayrı bir tercih sebebidir.

Temiz ve tükenmez bir enerji çeşidi olan güneş enerjisi uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Enerji sektöründe dışa bağımlı bir ülke olarak düşen ilk yatırım maliyetleriyle beraber bu enerji çeşidinden faydalanma oranlarımızı artırmalıyız. Bu tez hangi tip kolektör kullanılacağına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Uluslararası Enerji Ajansı (2015). World Energy Outlook 2014, *IEA*, Ankara, 1-8.
2. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2015). Mavi Kitap - Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, *ETKB*, Ankara, 2-11.
3. İnternet: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (2010), URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2FMyCalculator%2FDefault.aspx&date=2016-02-24>, Son Erişim Tarihi: 24.02.2016.
4. Hashish, M.A., Refaie, M.F. (1983). Reduced order dynamic model of the flat plate solar collector. *Application of Mathematical Modelling*, 1(7), 2-10.
5. Ünsaçar, F. (1990). *Düzlem Kollektörlerde Güneş Takip Sisteminin Geliştirilerek Uygulanması*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 20-48.
6. Taktakoğlu, K. R. (1996). *Vakumlu Güneş Kollektörlerde Verimin Tespiti ve İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 10-95.
7. Değirmenci, H. (2006). *Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Su Dolaşım Miktarının Kollektör Verimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 20-68.
8. Kaan, Ö. (2006). *Düzlemsel Kollektörlerde Performans Artırma Yöntemlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 13-71.

9. Dağ, H. (2005). *Günse Enerji Sistemlerinde Kullanılan Dairesel Borulu Kollektör ile Oval Borulu Kollektörlerin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-69.
10. DüNDAR, R. (2007). *Standart Düz Kollektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemleri İle Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sisteminin Verim Ve Performanslarının Karabük İli Şartlarında Deneysel Olarak Karşılaştırılarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 31-56.
11. Struckmann, F. (2008). *Analysis of a Flat Plate Solar Collector*, Proje Raporu, Lund Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Bilimleri Bölümü, Lund, 1-4.
12. ÇAKIR, G. (2009). *Vakum Borulu Kolektör ve Ek Isıtıcı Kullanarak Kapalı Bir Alanın Isıtılmasının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 55-122.
13. TAZE, G. (2010). *Düz Güneş Kollektörü Verimini Etkileyen Bazı Parametrelerin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 35-110.
14. EZEN, H. H. (2010). *Vakum Tüplü Güneş Kollektörlerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 23-70.
15. ŞAHİN, T. (2010). *Düzlemsel ve Bükülmüş Kolektörlerin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 32-50.
16. ŞANLI, G. (2010). *Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 33-108.
17. KÖSE, İ. İ. (2011). *Düzlemsel Güneş Kollektör Borusu İçerisinde Kıvrılmış Şerit Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2-53.

18. Çaylıoğlu, E. (2011). *Farklı Tipteki Isı Borularının Güneş Kolektöründe Kullanımı ve Isıl Verimlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 37-70.
19. Karakaya, H. , Durmuş, A. (2011). Farklı tip yüzey geometrilerine sahip havalı kollektörlerde verim ve ekserji analizi. *Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 11(121), 16-24.
20. Argun, K. (2012). *Güneş Takip Sistemine Sahip Düzlemsel Kolektörün Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 29-58.
21. Karaçavuş , B. (2012). Güneş enerjili su ısıtma sisteminin optimizasyonu. *Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 12(128), 71-78.
22. Furbo, S. , Chen, Z. , Perers, B. , Fan, J. and Andersen, E. (2012). Efficiencies of flat plate solar collectors at different flow rates. *Energy Procedia*, 30(30), 65-72.
23. Furbo, S. , Chen, Z. , Perers, B. , Fan, J. , Andersen, E. , Wang, Z. and Kong, W. (2012). Investigation of thermal performance of flat plate and evacuated tubular solar collectors according to a new dynamic test method. *Energy Procedia*, 30(30), 152-161.
24. Shijun Y. , Xinyu, Z. , Wei, X. , Xuejing, Z. , Tao, H. , Zhulian, H. , Lei, Z. and Yu, D. (2012). Test result analysis of the stagnation effect on the thermal performance of solar collector. *Energy Procedia*, 30(30), 824-828.
25. Mosallat, F. , ELMekkawy, T. , Friesen, D. L. , Molinski, T. , Loney, S. and Bibeau, E. L. (2013). Modelling, simulation and control of flat panel solar collectors with thermal storage for heating and cooling applications. *Procedia Computer Science*, 2(19), 686-693.
26. Maldonado, R. D. , Huerta, E. , Corona, J.E. , Ceh, O. , Leon, A. I. and Henandez, I. (2014). Design and contruction of a solar flat collector for social housing in Mexico. *Energy Procedia*, 60(57), 2159-2166.

27. Ersöz, M. A. , Yıldız, A. (2013). Isı borulu vakum tüp güneş kolektörlerinde optimum boru çapının belirlenmesi. *Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 13(133), 5-17.
28. Atız, A. (2014). *Güneş Kolektörleri ve Güneş Havuzundan Oluşan Entegre Bir Sistemin Enerji ve Ekserji Veriminin İncelenmesi ve Isıtma Uygulamaları*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 57-160.
29. Wang, J. , Yin, Z. , Qi, J. , Ma, G. and Liu X. (2015). Medium temperature solar collectors with all glass solar evacuated tubes. *Energy Procedia*, 70(70), 126-129.
30. Dragsted, J. , Furbo, S. , Andersen, E. , Perers, B. and Nielsen, K. P. (2015). Calculated thermal performance of solar collectors based on measured weather data from 2001-2010. *Energy Procedia*, 70(70), 49-56.
31. Makhanlall, D. , Jiang, P. (2015). Performance analysis and optimization of a vapor filled flat plate solar collector. *Energy Procedia*, 70(70), 95-102.
32. Recalde, C. , Cisneros, C. , Avila, C. , Logrono, W. and Recalde, M. (2015). Single phase natural circulation flow through solar evacuated tubes collectors on the equatorial zone. *Energy Procedia*, 70(75), 467-472.
33. Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2013). *Solar Energy Thermal Processes*, Newyork:Willey and Sons, 4-14.
34. Türk Standardları Enstitüsü (2002). TS EN ISO 9488: Güneş enerjisi- Terimler ve tarifler, *TSE*, Ankara, 4-8.
35. Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2007). *Solar Energy Thermal Processes*, Newyork:Willey and Sons, 13-15.
36. Özkaymak M., Ulusoy Y. (2002). Güneş Havuzu Performansının Karabük Şartlarında Deneysel İncelenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 1(3-4), 1-6.

37. Gün A.R. , Kurban M. (2011). *Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi*. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Elazığ.
38. Türk Standardları Enstitüsü (2014). TS 13594: Borosilikat Cam Tüpten İmal Edilen Vakumlu Güneş Kolektörleri - Su Isıtma Uygulamalarında Kullanılan. *TSE*, Ankara, 2-3.
39. Türk Standardları Enstitüsü (2006). TS EN 12975-2: Isıl güneş enerji sistemleri ve bileşenleri - Güneş enerjisi kolektörleri-Bölüm 2: Deney metotları, *TSE*, Ankara, 26-107.
40. Türk Standardları Enstitüsü (2014). TS EN ISO 9806: Güneş enerjisi- Güneş kolektörleri- Deney metotları bölüm, *TSE*, Ankara, 60.
41. Ge, Z. , Wang, H. , Zhang, S. and Guan, X. (2014). Exergy Analysis of Flat Plate Solar Collectors. *Entropy*, 2(16), 2549-2567.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YATARKALKMAZ, M. Mustafa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.05.1989, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 416 64 31
 Faks : 0 (312) 416 66 83
 e-mail : myatar@tse.org.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2012
Lise	Gazi Koleji	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Türk Standardları Enstitüsü	Uzman Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce
 Almanca

Yayınlar

Özdemir, M.B. ve Yatarkalkmaz, M.M. (2015). Farklı Tipteki Kolektörlerin Enerji, Ekserji Ve Ekonomik Analizi .**Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2, 235-252.**



GAZİ GELECEKTİR..