



**GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA
SİSTEMİNİN EKSERJİ VE
EKONOMİK ANALİZİ**

Buminhan KARADAĞ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı
Prof. Dr. Kadir BAKIRCI
2020
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN EKSERJİ VE
EKONOMİK ANALİZİ**

Buminhan KARADAĞ

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2020**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİNİN EKSERJİ/EKONOMİK
ANALİZİ

Prof. Dr. Kadir BAKIRCI danışmanlığında, Buminhan KARADAĞ tarafından hazırlanan bu çalışma 10/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Enerji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kenan YAKUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Doç. Dr. Eyüphan MANAY

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 12.../03.../2020... tarih ve 11.../...59... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN EKSERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Buminhan KARADAĞ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

Endüstrileşmenin hızla devam ettiği 21. yüzyılda, dünya'nın sahip olduğu fosil kökenli enerji kaynakları da hızla tüketilmektedir. Ülkelerin enerji ihtiyaçları sürekli artarken, rezerv enerji kaynaklarının giderek azalması, bu konuda maliyetleri artırmakta ve ekonomileri her geçen gün zora sokmaktadır. Öte yandan fosile dayalı tükenbilir enerji kaynaklarının çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya sebep olması, ülkeleri daha temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmeye başlamıştır.

Bu çalışmada, Erzurum ili için bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırılmıştır. Ekserji analizinde, ışınlama ekserji geçişi hesaplanırken 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Ayrıca, Erzurum şartlarında 4 kişilik bir ailenin, sıcak su ihtiyacını karşılayacak kapasitede bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır.

Çalışma sonucunda; Erzurum koşullarında güneş enerjili su ısıtma sisteminden elde edilen 200 kg sıcak suyun, diğer sistemlerden elde edilmesi durumunda sistemlerin geri ödeme süreleri doğalgaz için 6,96 yıl, elektrik için 1,81 yıl, kömür için ise 6,92 yıl olarak bulunmuştur. Bu değerler, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin Erzurum şartlarında verimli ve kullanışlı olduğunu, ekonomik ve çevre koruması açısından büyük önem ve avantaj arz ettiğini göstermektedir.

2020, 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, ekonomik analiz, ekserji, Erzurum

ABSTRACT

Master Thesis

EXERGY AND ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS

Buminhan KARADAĞ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Department of Energy

Supervisor: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

In the 21st century, when industrialization continues rapidly, the fossil based energy resources of the world are also being consumed rapidly. While the energy needs of the countries are constantly increasing, the decrease in the reserve energy resources increases the costs and makes the economies more difficult. On the other hand, the fact that fossil based consumable energy sources cause environmental pollution and global warming has started to lead countries to cleaner and renewable energy sources.

In this study, exergy analysis of a solar water heating system for Erzurum province is made and the results are compared with the literature. In the exergy analysis, three different methods are used to calculate the exergy transition with radiation. The economic analysis of the study is conducted on a solar water heating system with the capacity to meet the hot water needs of a family of 4 in Erzurum conditions.

In the results of working; In the conditions of Erzurum, when 200 kg of hot water obtained from solar water heating system is obtained from other systems, the payback times of the systems were 4,27 years for natural gas, 1,76 years for electricity and 6,65 years for coal. These values show that solar water heating systems are very efficient and useful in Erzurum conditions and have great importance and advantages in terms of economic and environmental protection.

2020, 92 pages

Keywords: Solar water heating systems, exergy, economic analysis, Erzurum

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesinde; tecrübelerini ve bilgilerini esirgemeyen, her aşamasında yardımcı olan çok değerli Hocam sayın Prof. Dr. Kadir BAKIRCI'ya hassaten teşekkür ediyorum.

Ayrıca; hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen, her zaman bana destek olan değerli aileme şükranlarımı sunar; çalışmam boyunca bana her mevzuda yardımcı olan Babam Şahin KARADAĞ'a teşekkür ederim.

Buminhan KARADAĞ

Şubat, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Kaynakları.....	2
1.1.1. Tükenebilir enerji kaynakları.....	3
1.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	4
1.2. Güneş Enerjisi.....	5
1.2.1. Güneş enerjisi sistemleri.....	7
1.2.2. Güneş enerjili elektrik sistemleri.....	7
1.3. Güneş Enerjili Isıl Sistemler.....	8
1.4. Literatür Taraması.....	9
2. KURAMSAL TEMELLER.....	16
2.1. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	16
2.2. Devre Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	17
2.2.1. Açık dolaşımli devre.....	17
2.2.2. Kapalı dolaşımli devre.....	19
2.3. İşletme Türlerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	20
2.3.1. Doğal dolaşımli sistemler.....	20
2.3.2. Zorlanmış dolaşımli sistemler.....	21
2.4. Depo Yerleşim Şekillerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	24
2.4.1. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri.....	24
2.4.2. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri.....	24
2.5. Kolektör Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	26
2.5.1. Düzlemsel kolektörlü sistemler.....	26
2.5.2. Vakum tüplü güneş kolektörleri.....	27

2.5.3. Isı borulu vakum tüplü (kapalı sistem) güneş enerjili su ısıtma sistemleri	29
2.5.4. Vakum tüplü (açık sistem) güneş enerjili su ısıtma sistemleri	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM	32
3.1. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekserji Analizi	34
3.1.1. Genel denklemler	34
3.1.3. Sistemin ekserji analizi	40
3.1.3.a. Düzlemsel güneş toplayıcıları	43
3.1.3.b. Enerji depolama tankı	47
3.1.3.c. Sirkülasyon pompası	48
3.1.3.d. Sistemin ekserji verimleri	49
3.2. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi	51
3.2.1. Geri ödeme süresi metodu	52
3.2.2. Toplayıcı yüzey alanının belirlenmesi	53
3.2.3. Konutlarda güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ekonomik analizi	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	60
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

\dot{E}	Enerji (kJ)
\dot{m}	Kütlesel debi (kg/s)
C_p	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi (kJ/(kgK))
F_y	Yıllık yakıt gideri
h	Özgül entalpi (kJ/kg)
M_y	Yıllık yakıt miktarı
T_G	Güneş sıcaklığı (K)
T_Y	Toplayıcı yüzeyinin sıcaklığı (K)
η_{II}	Ekserji verimi
η_k	Anlık kolektör verimi
ψ	Özgül akış ekserjisi
A	Toplayıcı alanı (m ²)
A_{ic}	Güneş enerjili su ısıtma sisteminin yatırım maliyeti
A_{oc}	Güneş enerjili su ısıtma sisteminin işletme maliyeti
B_{ic}	Alternatif sistemin yatırım maliyeti
B_{oc}	Alternatif sistemin işletme maliyetidir
$E\dot{x}$	Ekserji (kJ)
$E\dot{x}_{değişim}$	Anlık ekserji değişimi (kW)
$E\dot{x}_{fiziksel}$	Fiziksel ekserji
$E\dot{x}_{giriş}$	Sistemin kazandığı ekserji (kW)
$E\dot{x}_{ısı}$	Sisteme ısıyla (ışınım) transfer edilen ekserji (kW)
$E\dot{x}_{iş}$	Sisteme iş ile transfer edilen ekserji (kW)
$E\dot{x}_{kayıp}$	Ekserji kaybı (kW)
$E\dot{x}_{kimyasal}$	Kimyasal ekserji
$E\dot{x}_{kinetik}$	Kinetik ekserji

$E\dot{x}_{\text{potansiyel}}$	Potansiyel ekserji
g	Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
H	Entalpi (kJ)
I	Yatay yüzeye gelen anlık toplam ışınım (W/m^2)
I_e	Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı (W/m^2)
Q	Isı transferi (kJ)
S	Entropi (kJ)
s	Özgül entropi ($\text{kJ}/(\text{kgK})$)
T	Sıcaklık (K)
v	Hız (m/s)
W	İş (kW)
z	Potansiyel enerji

Alt indis

0	Çevre koşulları
1	Toplayıcı çıkışı, depo girişi
2	Depo çıkışı, sirkülasyon pompası girişi
3	Sirkülasyon pompası çıkışı, toplayıcı girişi
çıkış	İncelenen kontrol hacmindeki çıkış koşulları
da	Depo alt
du	Depo üst
giriş	İncelenen kontrol hacmindeki giriş koşulları
kç	Kolektör çıkışı
kg	Kolektör girişi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş haritası	6
Şekil 2.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri.....	16
Şekil 2.2. Açık dolaşımli güneş enerjili su ısıtma sistemi	18
Şekil 2.3. Doğal dolaşımli kapalı güneş enerjili su ısıtma sistemi.....	20
Şekil 2.4. Zorlamalı dolaşımli açık devre güneş enerjili su ısıtma sistemi.....	22
Şekil 2.5. Zorlamalı dolaşımli kapalı devre güneş enerjili su ısıtma sistemi.....	23
Şekil 2.6. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi	24
Şekil 2.7. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi	25
Şekil 2.8. Düzlemsel toplayıcı	26
Şekil 2.9. Vakum tüplü güneş kolektörü.....	29
Şekil 2.10. Vakum tüp ısı borusu uygulaması	30
Şekil 2.11. Açık sistem vakum tüp borulu güneş enerjili su ısıtma sistemi	30
Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemi şematik resmi.....	32
Şekil 3.2. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji akış şeması	42
Şekil 3.3. Erzurum'da yapılan bir deneysel çalışmadan alınan iki değişken arasında ki bağıntı ve regresyon denklemi.....	45
Şekil 3.4. Tahmini toplayıcı yüzey sıcaklıkları değerleri	46
Şekil 3.5. Tahmini toplayıcı yüzey sıcaklıkları değerleri	46
Şekil 3.6. Toplayıcı alanının (m^2), aylar itibariyle değişimi.....	56
Şekil 4.1. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (1. yöntem).....	61
Şekil 4.2. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem, güneş sıcaklığı 4350 K).....	61
Şekil 4.3. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem, güneş sıcaklığı 6000 K).....	62
Şekil 4.4. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı enerji ve ekserji verimleri (3. yöntem)	62
Şekil 4.5. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (1. yöntem).....	64

Şekil 4.6. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (2. yöntem).....	64
Şekil 4.7. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (3. yöntem).....	65
Şekil 4.8. Ağustos ayı için günün saatlerine göre enerji depolama tankına ait ekserji analizi ve güneş ışınım miktarı.....	66
Şekil 4.9. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (1. yöntem).....	67
Şekil 4.10. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (2. yöntem)	67
Şekil 4.11. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (3. yöntem).....	68
Şekil 4.12. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (1. yöntem).....	70
Şekil 4.13. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem).....	71
Şekil 4.14. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı enerji ve ekserji verimleri (3. yöntem)	71
Şekil 4.15. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (1. yöntem).....	72
Şekil 4.16. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (2. yöntem).....	73
Şekil 4.17. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (3. yöntem).....	73
Şekil 4.18. Eylül ayı için günün saatlerine göre enerji depolama tankına ait ekserji kaybı ve güneş ışınım miktarı	74
Şekil 4.19. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (1. yöntem).....	75
Şekil 4.20. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (2. yöntem)	75
Şekil 4.21. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (3. yöntem).....	76

Şekil 4.22. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri.....	77
Şekil 4.23. Ağustos ayı için günün saatlerine göre sistem ekserji verimleri	77
Şekil 4.24. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri	78
Şekil 4.25. Eylül ayı için günün saatlerine göre sistem ekserji verimleri.....	78



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ağustos ayı deneysel sonuçları ve hesaplanan değerler	33
Çizelge 3.2. Eylül ayı deneysel sonuçlar ve hesaplanan değerler.....	33
Çizelge 3.3. Ekserji analizi yapılacak kontrol hacimleri	41
Çizelge 3.4. Erzurum ilinin güneş ışınımı değeri ve şebeke suyu sıcaklığı.....	55
Çizelge 3.5. Yakıt ısı değerleri, yanma verimi ve birim fiyatları.	56
Çizelge 3.6. Yıllık yakıt miktarı ve yakıt tutarı	57
Çizelge 3.7. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ortalama fiyatlar.....	57
Çizelge 4.1. 1.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları	59
Çizelge 4.2. 2.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları	60
Çizelge 4.3. 3.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları	60
Çizelge 4.4. 1.yöntem ile ekserji analizi sonuçları	69
Çizelge 4.5. 2.yöntem ile ekserji analizi sonuçları	69
Çizelge 4.6. 3.yöntem ile ekserji analizi sonuçları	70
Çizelge 4.7. Literatürde 1. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama	80
Çizelge 4.8. Literatürde 2. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama	81
Çizelge 4.9. Literatürde 3. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama	82
Çizelge 5.1. Yapılan çalışmada, elde edilen sonuçlar.....	83

1. GİRİŞ

Enerji, insan için önemli bir unsurdur; yaşam fonksiyonlarının devam ettirebilmesi, kaslarının hareketi enerji ile mümkündür. Sadece bununla da kalmıyor; enerjiye hayatın her alanında ihtiyaç duyulmaktadır. Enerjinin bir çeşidi olan ısı enerjisi ile ısınma ve sıcak su gibi temel ihtiyaçların karşılanması yanında; sanayi tesislerinde, otomobil sektöründe ve de endüstrinin her dalında ısı enerjisinden yararlanılmaktadır. Sayılamayacak kadar çok faydası ile hayatımızda önemli bir yere sahip olan enerjinin değerini insanlık olarak kavramış durumdayız. Genel olarak her millet bunun farkındadır.

Fosil enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği yoktur ve alternatif kaynaklara gerek duyulmaktadır. Bununla beraber, Türkiye olarak enerjiyi en etkili biçimde kullanmak suretiyle Dünya üzerindeki konumumuzu daha yetkin seviyelere taşımaya amaçlamaktayız. Günümüzde dünya üzerinde yaşanan savaşların temelinde yatan sebep, fosil enerji kaynağı rezervlerinin kontrol altına alınma isteğidir. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli enerji kaynaklarının zamanla azalacağı ve sonunda tükeneceği gerçeği, milletleri hem endişeye sevk etmekte, hem de enerjiye verilen önemi daha da arttırmaktadır. Bununla birlikte, yukarıda da bahsedildiği üzere, fosil kökenli enerji kaynakları dünyaya önemli ölçüde zarar vermektedir. Bu sebeplerden dolayı insanlık, yeni enerji kaynakları arayışına yönelmektedir.

İkincil enerji kaynakları olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. 1973 enerji krizi ve küresel ısınma bu artışın sebepleri arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi güneş enerjisidir. Öte yandan, rüzgâr ve jeotermal enerji de önemli kaynaklar arasında yer almaktadır.

İnsanlık, varoluş tarihinden itibaren varlığını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerji kullanımı ile ilgili süreç ise en basit haliyle ateşin bulunmasıyla başlamış, günümüzde atomun parçalanarak nükleer enerjiye dönüşmesine kadar

ilerlemiştir. 2010'lu yıllarda dünya nüfusu 7 milyar dolaylarında olup, her geçen gün hızla artmaktadır. Artan nüfusla birlikte sanayileşme ve kentleşme de ilerlemektedir. Dolayısıyla, enerjiye olan ihtiyaç ta artış göstermektedir. Dünya milletleri ise artan enerji talebini karşılamak için, sınırlı rezervlere sahip olmasına rağmen yeryüzünün odun, kömür, linyit, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarını hunharca kullanmışlardır. Özellikle de sanayi devrimiyle artan ihtiyaç, bu kullanımı daha da hızlandırmıştır.

Fosil enerji kaynaklarının kendilerini yenilemeleri çok uzun yıllar aldığından, yenilenemez enerji kaynakları olarak bilinirler; eğer bu kaynaklar aynı hızla kullanılmaya, tüketilmeye devam edilecek olursa hem yakın gelecekte tükeneceği, hem de aşırı karbon salınımının sebep olacağı atmosfer olayları, küresel ısınma, çevre kirliliği gibi nedenler, yeryüzünü yaşanamaz bir yer haline getirecektir. Bu nedenle dünya milletlerinin ortak kanısı, temiz enerji üretimi ve kullanımını artırmaktır.

Devletler, siyasi politikalarını, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaya yönelik değiştirmişlerdir. Başta Avrupa Ülkeleri olmak üzere birçok ülke, gerekli ekonomik ve teknolojik donanım yatırımlarına başlamışlardır.

Ülkemizin ise rezervleri son derece azdır, yani enerjide yaklaşık %70-80 oranında dışa bağımlıdır. Ülkemiz, son yıllarda enerji politikasında değişikliğe giderek, dışa bağımlılıkla beraber karbon salınımını azaltmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Güneş kuşağında yer alan ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bütün bu gelişmeler, yeryüzünü daha yaşanabilir kılmakla beraber, enerjide de dışa bağımlılığı azaltacaktır.

1.1. Enerji Kaynakları

Enerji, bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Çeşitli kaynaklardan yararlanılarak enerji üretilir. Enerji üretilebilmesi için yararlanılan kaynakların bütününe enerji kaynakları denir. Dünyada enerji kaynakları, oluşumlarına bağlı olarak

sınıflandırıldığında ikiye ayrılır. Bunlar, yenilenebilir enerji kaynakları ve tükenbilir enerji kaynakları olarak adlandırılır. Tükenbilir enerji kaynaklarına diğer adıyla fosil kökenli enerji kaynaklarına örnek verecek olursak; kömür, petrol, doğalgaz, uranyum, toryum gibi örnekler sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek verilecek olursa; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biokütle enerjisi sıralanabilir. Artan insanlık nüfusu ile birlikte insanlığın yaşamsal ihtiyaçları ve insanlık konforu için enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Buna karşın fosil kökenli enerji kaynaklarının gelecekte tükenecek olması ve doğaya zarar veriyor olması, insanlığı yenilenebilir temiz enerji arayışına yönlendirmiştir. Ülkemizin enerjide dışa bağımlı olması ve bu durumun ekonomiye büyük bir yük olması nedeni ile ülkemizde yenilenebilir enerjiye gereken önem verilmelidir. Bu durum, ekonominin yükünü giderek azaltacaktır.

1.1.1. Tükenbilir enerji kaynakları

Günümüzde en çok kullanılan fosil kökenli enerji kaynakları kömür, petrol ve doğalgazdır. Günümüzde insanoğlu, ihtiyacı olan enerjinin büyük bir kısmını fosil kökenli enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Fosil kökenli bu enerji kaynakları ise dünyanın her yerinde eşit olarak bulunmamaktadır. Fosil enerji kaynaklarına sahip olan veya enerji kaynaklarını kontrolü altında tutan ülkeler, bu kaynakları stratejik olarak kullanmaktadır. Küresel olarak petrol ve doğalgaz fiyatlarını belirlemektedirler ve bu durum, enerjide dışa bağımlı ülkelerde anlık değişen enerji fiyatları ile birlikte, ekonomik krizlere de neden olmaktadır.

Fosil kökenli enerji kaynakları arasında, Dünya üzerinde en çok kullanılan kömür, petrol, doğalgaz vb. enerji kaynakları, atmosfere zararlı gaz salınımı yapmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımıyla birlikte, atmosfere karbondioksit gazı, karbon monoksit gazı, metan gazı salınımı yapılmakta, küresel ısınmaya neden olmakta ve çevreye büyük ölçüde zarar vermektedirler.

Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl öncesinde yok olan bitki ve hayvan kalıntılarının toprak altında sıkışıp, basınç ve ısıya maruz kalmak suretiyle oluşan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar tüketildiklerinde bir daha yenilenemezler, yani yok olurlar. Bunlardan enerji ürünü yanında boya, plastik, ilaç vb. de elde edilebilir veya bu sektörlerde de kullanılabilirler. Fosil yakıtların taşıdığı enerji kimyasal enerjidir. Fosil yakıtlarla elde edilen enerji ile Dünya enerji üretiminin halen yaklaşık %80'i temin edilmektedir. (Ceylan ve Gürel 2017)

Gerek tükenbilir enerji kaynaklarının çevreye verdiği zarar, gerekse enerji kaynaklarını elinde bulunduran ülkelerin bu durumu teknolojik ve ekonomik silah olarak kullanmaları, enerjide dışa bağımlı olan ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir.

1.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Güneş ve güneşin türevleri olan rüzgâr, gelgit ve su gücünden oluşan yenilenebilir enerji kaynakları, tükenbilir enerji kaynaklarına göre insana ve doğaya ya hiç zarar vermemekte; ya da çok az zarar vermektedir. Dünya enerji gereksiniminin %15'i yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmektedir. (Ceylan ve Gürel 2017).

Kaynağını güneşten alması, temiz olması ve sürdürülebilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarını avantajlı kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, okyanus enerjisi, biokütle enerjisi, jeotermal enerji vb. gösterilebilir. Ülkemiz, zengin bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Sahip olduğumuz bu potansiyeli doğru bir şekilde değerlendireceğimiz çalışmalar yapılmalıdır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının çevreye, insana zarar veriyor olması ve tükenbilir olması, bizi uzun süreçte yenilenebilir enerjiye yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandığımız sistemler, aynı zamanda fosil kökenli enerji kaynaklarını kullandığımız sistemlerle entegre bir şekilde kullanılabilir. Bu durum, yine ülkemiz açısından ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimi açısından olumlu bir gerçektir.

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş, %90'ı hidrojen (H) ve %10'u helyumdan oluşmaktadır. 1.400.000 km olan çapı, Dünya'nın çapının 109 katı; fakat yoğunluğu Dünya'nın yoğunluğundan daha azdır. Bu yoğunluk Dünya'nın yoğunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır. Güneş enerjisi ise yenilenebilir tüm enerjinin kaynağını oluşturmakta ve sıcaklık dışından merkezine doğru akmaktadır. Merkezindeki sıcaklık ise 20.000.000°C olup; dışındaki elektron sıcaklığı 6000°C'dir. Bu çok yüksek sıcaklık karşısında elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılırlar; yani Güneş'te atomlar atom veya molekül şeklinde bulunmazlar, serbest atom çekirdekleri ve serbest elektronlar halinde yer almaktadırlar. Çekirdeğinde milyonlarca derece sıcaklıktaki bütün atomlar füzyon tepkimesine uğrar. Tepkime hidrojenin, üç atom ağırlığında ki helyum izotopları ile birlikte dört atom ağırlığında ki helyuma dönüşür. Bu olay çok yüksek sıcaklıkta ve hidrojen atomu çekirdeği yardımı ile olduğu için termonükleer reaksiyon adı verilmektedir.

Güneş içi hidrojen tepkimesinde oluşan helyum, tepkimeye giren hidrojenlerden daha azdır. Saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşür. Bu dönüşüm sürecinde güneşten kaybolan saniyede dört milyon tonluk kitle, ışınım enerjisi olarak uzaya yayılır. Bu da $E=mc^2$ şeklinde formüle edilmektedir. Saniyede yaklaşık olarak 38×10^{22} ışınım enerjisi uzaya yayılmaktadır. Güneş'in içerisini bir fırına benzetmek mümkündür; bu fırında yakıt hidrojen, üretilen ürün ise helyumdur. Dünyamıza ulaşan güneş ışınımı, çeşitli teknolojilerin kullanımı ile insanlığın yararına olacak şekilde dönüştürülebilir (Yiğit ve Atmaca 2018).

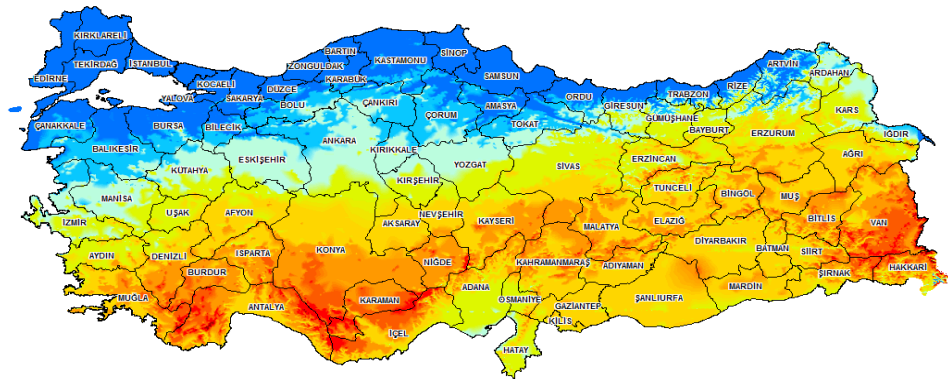
Işınlar, 149.500.000 km uzakta olan Güneş'ten Dünyamıza 8 dakikada gelmektedir. Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınım enerjisi, Güneş'in ürettiği toplam enerjiden çok düşüktür; bu miktar takriben 170 Milyar MW'tır. Bu enerji dahi insanlığın sarf edebildiği enerjiden yaklaşık 16.000 kat fazladır.

Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınımın %17,5'u atmosferi ısıtırken %35'i yansarak uzaya geri döner. Bu yansıma gerek bulutlardan, gerekse yerden yansımak suretiyle

olur. Kalan %45'lik miktar ise yeryüzüne düşen miktardır. Bu değer yıl boyunca ve bölgeler itibariyle farklılık göstermektedir. Yine yeryüzünden yansıyan ışınların bir kısmı su buharı ve havadaki karbondioksit tarafından tutulmakta; bu da atmosferin ısınmasına diğer bir ifade ile küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma, sanayileşmenin artması ve genelde fabrika bacaları ve araç egzozlarından atmosfere karbon (C) salınımı sonucu oluşmakta ve insanlığın geleceği için son derece önemli bir tehlike arz etmektedir. (Yiğit ve Atmaca 2018).

Hava sıcaklığı ve basınç farklarından kaynaklanan rüzgâr ve rüzgârdan kaynaklanan deniz dalgaları da Güneş enerjisinin diğer bir türüdür. Güneş toplayıcılarla sıcak su elde edilebilir, güneş pilleri vasıtası ile güneş ışınımı doğrudan elektriğe dönüştürülebilir. Dünyanın her yerinde bulunan bu sonsuz ve temiz enerji kaynağı, geliştirilen ve geliştirilecek olan teknolojiler sayesinde doğaya zarar vermeden, insanlığa fayda sağlayacaktır.

Dünya ölçeğinde güneş enerjisinden enerji elde etme oranı toplam enerjiye göre %3,2'dir. Türkiye ise 2016 yılı itibariyle toplam enerji gereksiniminin %6'sını güneş ve jeotermal enerjiden sağlamıştır. Bu oran her ne kadar Dünya ortalamasının üzerinde de olsa; yıllık ortalama güneş ışığı şiddeti coğrafi bölgelere göre ortalama 1350 kWh/m² olan, bu da güneşlenme bakımından oldukça iyi bir durumda olduğu anlamına gelen Türkiye'nin, bu kaynaktan yeterince yararlanmadığını göstermektedir (MMO Yayın No 691).



Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş haritası

Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyeli atlası şekil 1.1.'de görülmektedir (YEGM 2019). Güneş enerjisi potansiyeli atlasına göre ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük toplam 7.5 saattir.). ülkemize gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün)'dür (MMO Yayın No 691).

1.2.1. Güneş enerjisi sistemleri

Güneş enerjisinden yararlanılan sistemler teknolojik gelişmişlik, kullanılan yöntem ve kullanılan malzeme açısından çeşitlilik göstermektedir. Güneş enerjisinden yararlanılan sistemler güneşten gelen ışıınımdan ısı enerjisi elde ederler. Elde edilen bu ısı enerjisi ve güneş ışığı ısıtma, soğutma, elektrik üretimi, sıcak su elde etme ve endüstriyel proseslerde kullanılır. Güneş enerjisi sistemleri su ısıtma sistemleri ve elektrik üreten sistemler olmak üzere temelde iki gruba ayrılır (Ceylan ve Gürel 2017).

Türkiye'de güneş enerjisinden yararlanılmadığı durumlarda gerek konutlarda, gerekse sanayi tesislerinde su ısıtma işlemlerinde kömür, doğalgaz, petrol veya elektrikten yararlanılmaktadır. Elektrik üretimi ise hidrolik veya termik santrallerde kömür veya doğalgaz kullanılmak suretiyle elde edilmektedir. Fosil yakıtlardan sağladığımız ithal enerjinin miktarı ve buna ödediğimiz dövizin yerli enerji kaynaklarına oranı, her yıl gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla, güneş enerjisinden yararlanmayı çoğaltmak demek, doğalgaz, petrol veya elektrik ithalatını azaltmak demektir.

1.2.2. Güneş enerjili elektrik sistemleri

Güneş enerjili elektrik sistemleri ile elektrik üretimi, doğrudan ve dolaylı yöntem olmak üzere iki şekilde yapılır. Dolaylı yöntem; güneş termik elektrik üretimi olarak bilinen, yoğunlaştırıcılar kullanılarak güneş enerjisinin odaklanması ile elde edilen kızgın buharın basınç kuvvetiyle, çalıştırılan buhar türbinleri vasıtasıyla elektrik üretimidir.

Doğrudan yöntem ise güneş ışınlarını doğrudan elektrığe çeviren sistemleri içermektedir. Bu sistemlerde, yarı iletken malzemelerden oluşan fotovoltaiik hücrelerin

yüzeyine, güneş ışınlarının çarpması ile atomlardan elektronlar serbest kalır. Serbest kalan elektronların, bir devre sisteminde akmasıyla elektrik üretimi gerçekleşmiş olur.

5 kW'a kadar olan güç gereksinimlerinde en uygun yöntem güneş pilleridir. Ancak; büyük ölçekli güç gerektiren güneş enerjisi yatırımları çok pahalı olup; geri dönüşüm süreleri de bir hayli uzundur. Zayıf güce ihtiyaç duyan sistemlerde; televizyon, sinyalizasyon, telefon vb. çalıştırılmasında fotovoltaiik piller son derece münasiptir. Fakat geceleri güneş enerjisi için gündüzden enerji depolama gerektiği ve güneş enerjisinin depolanmasının zorluğu da dikkate alındığında, güneş enerjili elektrik üretim tesislerinin alternatifsiz olarak tek başına kullanılmasının da hayli zor bir uygulama olduğu görülmektedir (Yiğit ve Atmaca 2018).

1.3. Güneş Enerjili Isıl Sistemler

Güneş enerjili ısıl sistemlerini uygulama alanlarına göre gruplandırılacak olunursa; bunlar genellikle düşük sıcaklık uygulamaları, orta sıcaklık uygulamaları ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak gruplandırılmıştır.

Düşük sıcaklık uygulamaları 20°C-100°C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Binalarda ki sıcak su ihtiyacının karşılanması, konutların ısıtılması ve soğutulması, sera ısıtılması, tarım ürünlerinin kurutulması, tuz üretimi ve toprak solarizasyonu gibi işlemler için gerekli sistemler; düşük sıcaklık uygulamaları olarak bilinmektedir. Orta sıcaklık uygulamaları ise 100°C-300°C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Büyük ısıtma ve soğutma sistemleri, elektrik üretimi ve endüstriyel kullanım için buhar üretimi; orta sıcaklık uygulamaları olarak bilinmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları 300°C ve üzeri sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Merkezi alıcılar ve parabolik çanaklarla elektrik üretimi; yüksek sıcaklık üretimi olarak bilinmektedir.

Güneş enerjili ısıl sistemlerinin uygulama biçimi bakımından sınıflandırılmaları halinde; hacim ısıtma ve su ısıtma sistemleri olarak iki temel gruba ayrılmaları mümkündür. Hacim ısıtma sistemleri, hava veya su güneş toplayıcıları vasıtasıyla ısıtılmak suretiyle

konutların ısınmasında kullanılır. Bunun bir diğere yöntemi ise güneş pilleri kullanılarak elektrik üretilip, bu elektriğın konut ısınmasında kullanılmasıdır. Su ısıtma sistemleri ise gerek sanayi tesislerinde, gerekse konutlarda sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere gerekli suyun, güneş toplayıcıları vasıtasıyla ısıtılmasıdır. Bu sistemler hem ucuz, hem de daha basit bir teknolojiye sahip olduğundan; Dünya'nın her yerinde yaygın olarak kullanılır.

1.4. Literatür Taraması

Bakırcı ve Yüksel (2006) tarafından yapılan "Güneş enerjili su ısıtma sisteminin deneysel incelenmesi" çalışmasında, güneş enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip olan Erzurum ilinde, güneş enerjili bir su ısıtma sistemi deney düzeneğı kurulmuş, deneysel olarak kullanılabilirliğı araştırılmıştır. Kurulan deney düzeneğı, yatay ile 29° eğimli güneş ışınlarının toplandığı kolektör devresi ve enerji depolama tankı olmak üzere, iki ana bölümden meydana gelmektedir. Ağustos ayında yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda, Erzurum ilinde güneş enerjili su ısıtma sisteminin, uygulanan diğere su ısıtma yöntemlerine iyi bir alternatif olduğu deneysel olarak görülmüştür. Bu çalışmada kolektör veriminin en fazla öğle saatlerinde 0,61 değerine, ısı depolama tankındaki su sıcaklığı da gün sonunda 40°C civarına ulaşmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda Erzurum ilinde güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kullanılması seçenekler arasında olacaktır.

Yatarkalkmaz (2015) çalışmasında, düz plaka kolektör ve vakum tüp kolektörler, güneş takibi yapan sistemlerde test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kolektörlerin anlık verimleri ve akışkana aktardıkları enerji miktarları mukayese edilmiştir. Çıkan sonuçlar neticesinde, sistemlerin ekserjileri ve ekserji verimleri kıyaslanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sıcak su uygulamaları için vakum tüp kolektörün, düz plaka kolektör sistemlerine göre daha uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şahin (2006) tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin teknik ve ekonomik analizi yapılarak, bölgelere göre sistemlerin teknik ve ekonomik

uygunluğu araştırılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerindeki; yeni teknolojiler, bölgesel tercihler ve son gelişmeler araştırılarak ülkemizdeki durum genel hatlarıyla ortaya konulmuştur. Ekonomik analiz için, Türkiye’de piyasada satılan sistemlerin ortalama maliyetleri göz önüne alınarak, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Vakum tüplü sistemler, vakum tüplü ısı borulu sistemler, düzlemsel kolektörlü sistemler karşılaştırılarak birbirine göre avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Son olarak, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin seçimi ve projelendirmesi için, bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program ile sistemin; kurulacağı yere uygunluğu, sistem tipi, sistemin tüm elemanlarının boyutları, yaklaşık maliyetleri ve geri ödeme süresi hesaplanarak rapor edilebilmektedir.

Dilaver (2010) alışmasında, ısı değiştiricisi kullanılmayan güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini yapılmıştır. Çalışmada temel alınan tasarım sistemi; tepe seviyesinde tank yerleştirilmiş 1,58 m² düzlemsel güneş kolektörlerini, su depolama tankını ve tek yönlü vanayı kapsamaktadır. Depolama tankında en yüksek su sıcaklığı 59°C’dir. Hem solar kolektörde, hem depolama tankında; z=1m ve z=2m yükseklik için bulunan solar ışıma ve ekserji değerleri, kot farkı açısından kıyaslandığında tank yüksekliği azaldıkça, sistemdeki su sirkülasyonu daha kolay sağlanmakta, debi değerleri artmaktadır. Buna bağlı olarak sistem verimi de artmaktadır.

Yıldızhan (2013) alışmasında, boyler destekli vakum tüplü güneş kolektörünün, farklı çalışma debilerindeki enerji ve ekserji analizi, farklı ara akışkanlara göre yapılmış ve değerlendirilmiştir. Sistemin kapalı devre çalışmasında iki farklı ara akışkan olarak, ısı transfer yağı ve %40 antifriz-su karışımı kullanılmıştır. Deney sisteminin kapalı devresinde, ara akışkanlar üç farklı çalışma debisinde dolaştırılmıştır. Çalışma debileri 0,277 kg/s, 0,383 kg/s ve 0,494 kg/s’de gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde, debinin artmasıyla kolektör giriş sıcaklığının arttığı, kolektör sıcaklık farkının (giriş ve çıkış sıcaklık farkı) ve çıkış sıcaklığının azaldığı tespit edilmiştir. Deneyde, debinin artmasıyla sistemin ve kolektörün enerji ve ekserji verimleri artmıştır. Ara akışkan olarak ısı transfer yağıyla yapılan deneylerde; kolektörün enerji ve ekserji verimlerinin, %40 antifriz-su karışımına göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Fakat sistem verimi

açısından ise %40 antifriz-su karışımı, ısı transfer yağına göre daha iyi bir sonuç vermiştir.

Dinçer *et al.* (2002) çalışması, enerji politikası uygulamaları için ekserjinin etkin bir araç olarak kullanımıyla ilgilidir. Çeşitli gerçek süreçler için enerji ve ekserji kavramları değerlendirilmektedir. Enerji ve çevre politikası oluşturma faaliyetleri için ekserjinin rolü, kalite, enerji tasarrufu, çevre, ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma gibi birkaç temel açıdan ele alınmaktadır. Enerji ile ilgili çevresel sorunların ele alınmasında ve çözümünde, ekserji analizinin potansiyel yararlılığının önemli olduğunu ve enerji politikası yapma faaliyetlerinde ekserji rolünün çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Ceylan. (2012) tarafından yapılan çalışmada, yeni bir sıcaklık kontrollü güneş enerjili su ısıtıcısı geliştirilmesi amaçlanmış, sıcaklık kontrollü güneş enerjili su ısıtıcısı 40°C, 45°C, 50°C ve 55°C'de deneysel olarak analiz edilmiştir. Aynı koşullarda ki termosifon sistemi ile karşılaştırılmıştır. Her iki sistem için depolanan enerji, depolama tankı su sıcaklıkları, depolama tankı su miktarları ve sistem verimleri hesaplanarak detaylı bir karşılaştırma yapılmıştır. Kontrol cihazı, su sıcaklığını $\pm 2^\circ\text{C}$ hassasiyetle sağlayabiliyor. Tasarlanan sistemde en yüksek ortalama verimlilik, 40°C ve 45°C'te yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Ortalama enerji verimliliği, sıcaklık kontrollü güneş enerjili su ısıtıcısı için %65 ve termosifon sistemi için %60 olarak elde edilmiştir.

Tuncer (2018) çalışmasında, yeni tasarlanan poroz yüzeyli havalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için üç ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneyler farklı kolektör tipleri için 0,030, 0,035, 0,044 ve 0.055 kg/s kütleli debilerde tekrarlanmıştır. Farklı eğim açıları için yapılan deneylerde kolektör açısının, kolektör emici yüzeyine göre verimi daha çok etkilediği görülmüştür. Kolektörlere ait termal hidrolik verim değerleri %20 - %70 arasında tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre hesaplanan ekserji verimleri %2 - %11 arasında hesaplanmıştır.

Ersöz vd (2016) çalışmasında, altı farklı çalışma akışkanının; hekzan , petrol eteri, kloroform, aseton, metanol ve etanolün, enerji ve ekserji performansı üzerindeki

etkileri, termosifon ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörleri ile üç farklı hava hızında incelenmiştir. Aynı boyut ve özelliklere sahip altı adet termosifon ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörleri, Uşak(Türkiye)'in dış iklim koşulları altında test edilmiştir. Bu çalışmada incelenen altı çalışma sıvısı arasında kloroform ve aseton; verilen koşullar altında termosifon ısı borulu vakum tüplü toplayıcının, enerji ve ekserji performansı açısından en iyi sonuçları göstermektedir.

Park *et al.* (2014) yayınlanan makalesinde, güneş enerjili hava ısıtıcısı, güneş enerjili su ısıtıcısı, güneş fotovoltaik ve güneş ocakları dahil tipik yenilenebilir enerji sistemlerinin, hem enerji hem de ekserji analizleri üzerine kapsamlı bir literatür taraması sunmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri hakkında da bilgi verilmiş ve aynı zamanda, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde enerji ve ekserji analizinin yöntemi belirtilmiştir. Bu yazıda, literatür taramasından elde edilen bazı önemli sonuçlar çıkarılmış ve özetlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen ve özetlenen tüm önemli hususlar arasında, yenilenebilir enerji sistemleri için şu ana kadar yapılan analizlerin çoğunun, enerji analizine dayandığı tespit edilmiştir.

Gang *et al.* (2012) çalışmasında, U borulu bileşik parabolik yoğunlaştırıcı tipi güneş enerjili su ısıtıcı sistemi deney düzeneği kurulmuş; yüksek sıcaklık şartlarını karşılamadaki performansı araştırılmıştır. Deneyler ise Aralık ayında yapılmıştır. Depolama tankında ki su sıcaklığı 26.9°C'den 55, 65, 75, 85 ve 95°C'e kadar ısıtılmıştır. Güneş enerjili su ısıtıcı sisteminin deneysel çalışması sayesinde, beş deneyin sonuçları %49'un üzerinde termal verim ve %4.62'nin üzerinde ekserji verimliliği göstermiştir. Bu sonuçlara dayanarak; U borulu bileşik parabolik güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin, yüksek sıcaklıklara ulaşmada üstün performans sergilediği sonucuna varılmıştır.

Wei *et al.* (2013) çalışmasında, büyük bir bütünleşmiş ısı borusuna sahip yeni tip bir güneş kolektörü tasarlanmıştır. Maksimum toplayıcı verimi %66'ya ulaşmış, depolama tankındaki 200 kg suyun sıcaklığı ise sonunda yaklaşık 25°C artmıştır. Kolektörün her bir bileşeni için enerji dengesi üzerine teorik bir analiz yapılmış. Simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle niteliksel olarak uyumlu olduğu kolektör verimi, su

sıcaklıkları, cam kapak ve emme plakasını hesaplamak için geçici bir ısı transfer modeli geliştirilmiştir.

Shafieian *et al.* (2019) çalışmasında, Perth, Batı Avustralya'da ideal olmayan iklim koşulları altında, teorik ve deneysel olarak ısı borulu güneş enerjili su ısıtma sisteminin performansı incelenmiştir. Isı borulu güneş kolektörünün optimum cam tüp sayısını hesaplamak için, matematiksel bir model geliştirildi ve kullanıldı. Yapılan çalışmada 25 tüpten oluşan deneysel bir teçhizat tasarlandı ve üretildi. Kolektörün teorik ve deneysel çıkış sıcaklığının karşılaştırılması açısından, maksimum mutlak ve standart hatalar sırasıyla %5.6 ve %1.77 olarak bulunmuştur. En yüksek termal ve ekserji verimliliği sırasıyla %92.7 ve %15.58'dir.

Sadhishkumar *et al.* (2014) çalışmasında, güneş enerjili su ısıtma sistemleri ayrıntılı olarak incelemiştir. Mevcut sistemin performansını iyileştirmek ve yeni bir sistem tasarlamak için, teknolojilerdeki gelişmeler genel olarak incelenmiştir. Araştırma çalışmalarının çoğu, zorlanmış dolaşimli tasarımlardır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri pasif ve aktif sistemler olarak iki geniş kategoride sınıflandırılır. Tasarımla ısı transferini iyileştirmek için pasif teknikler kullanılmıştır. Bu çalışmada, güneş enerjili su ısıtma sistemleri hakkında, çeşitli ısı aktarım geliştirme teknikleriyle yapılan önceki çalışmalar özetlenmiştir; kolektör tasarımı, toplayıcı eğim açısı, boruların kaplanması, akışkan akış hızı, ısı yalıtımı, termal enerji depolaması, faz değişim malzemelerinin kullanımı ve bükülmüş şeritlerin yerleştirilmesi.

Ayompe *et al.* (2011) çalışmasında, İrlanda'nın Dublin şehrinde aynı hava koşullarında çalışan 4 m² düzlemsel plakalı ve 3 m² ısı borulu vakum tüplü kolektöre sahip olan iki güneş enerjili su ısıtıcısının, enerji performansı sunulmaktadır. İki sistemin enerji performansı günlük, aylık ve yıllık olarak karşılaştırıldı. 4 m² düzlemsel plakalı ve 3 m² ısı borulu vakum tüplü kolektöre sahip iki güneş enerjili su ısıtıcısı sistemleri tarafından, toplam 1984 kWh ve 2056 kWh ısı enerjisi toplanmıştır. Yıllık ortalama kolektör verimliliği %46,1 ve %60,7 iken; sistem verimliliği düzlemsel plakalı ve ısı borulu vakum tüplü kolektör için sırasıyla %37,9 ve %50,3 olmuştur. Her iki

sistemin de ekonomik olarak uygun olmadığını ve geri ödeme sürelerinin 13 ile 48,5 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Daghigh *et al.* (2016) çalışmasında, bir ısı borulu güneş enerjili su ısıtıcısı tasarlanmış, inşa edilmiş, teorik ve deneysel olarak test edilmiştir. İlk olarak, sistemin termal analizine dayanan matematiksel bir model geliştirilmiştir. Daha sonra sistem, Sanandaj şehrinin hava koşulları altında deneysel olarak test edildi. Çalışma akışkanının kütle akış hızı, sıcak su tüketimi ve ısı borusu sayısının sistem verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Optimal kolektör boru sayısının 15 olduğu bulunmuştur. Kolektörün maksimum çıkış suyu sıcaklığı 64°C'dir. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasını içeren bu çalışmada, geliştirilen modelin %8.4'lük maksimum nispi hata ve %1.91'lik maksimum standart hata ile ısı borulu güneş enerjili su ısıtıcısının performansını öngörebildiği sonucuna varılmıştır.

Hayek *et al.* (2011) çalışmasında, güneş kolektörlerinin genel performanslarının, Akdeniz'in doğu kıyısı boyunca karşılaşılan yerel hava koşulları altında deneysel olarak incelenmesi, iki tür vakum tüplü güneş kolektörü için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; ısı borulu vakum tüp kolektörlerin, vakum tüplü (açık sistem) kolektör tasarımlarından daha iyi olduğunu ve verimliliğinin neredeyse %15 ile 20 arasında olduğunu göstermektedir.

Mahfuz *et al.* (2014) çalışmasında, güneş enerjili su ısıtıcı sistemi için, faz değiştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir sistemin deneysel olarak incelemesi verilmiştir. Suyun farklı akış hızları için termal enerji depolama sisteminin enerji ve ekserji verimliliği belirlenmiştir. Isı transfer akışkanının farklı akış hızları için sistemin ekonomik maliyeti belirlenmiştir. Isı transfer akışkanının akış hızının 0.033 kg/dak'dan 0.167 kg/dak'ya yükselmesiyle; enerji verimliliği yaklaşık olarak %13.4 artarken, ekserji verimliliğinin %3,5 oranında azaldığı ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, Erzurum ili için bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji ve ekonomik analizi yapılmıştır. Ekserji analizi yapılırken ışıyım yoluyla kazanılan

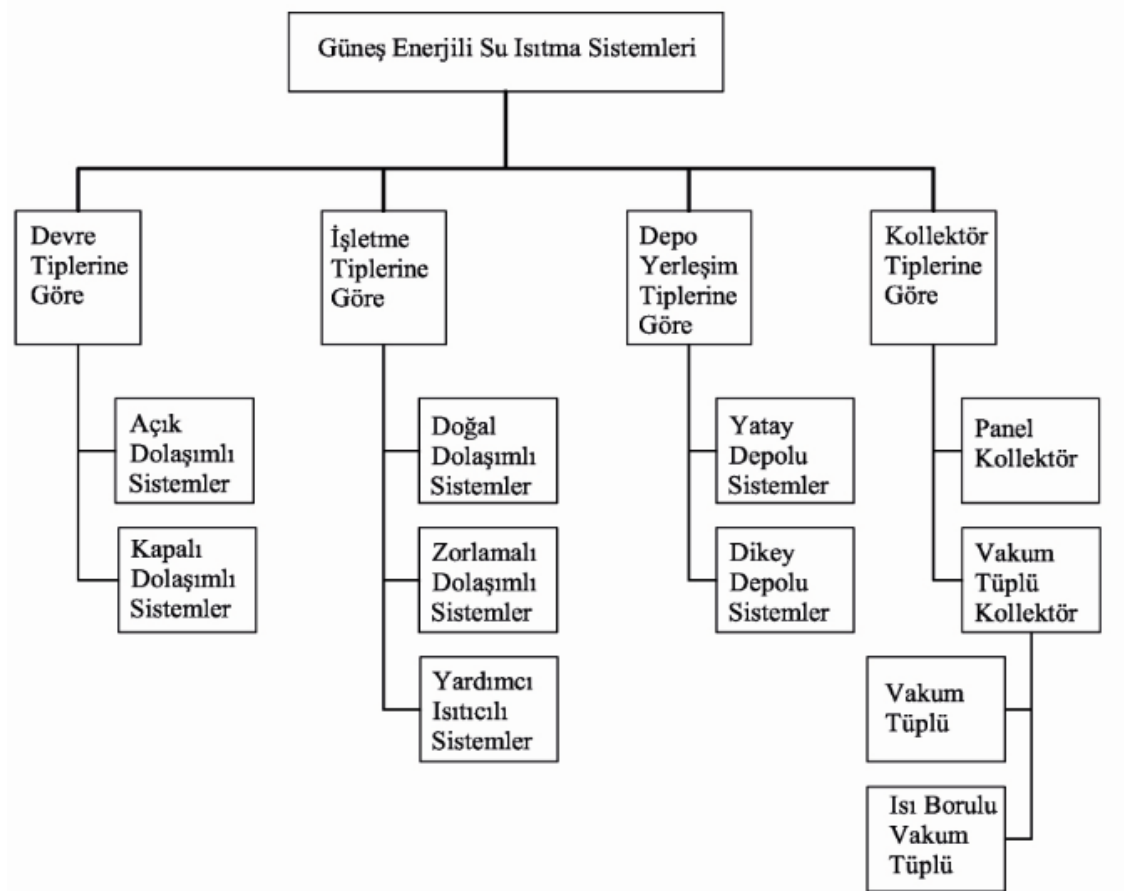
ekserjiyi hesaplarırken üç farklı yöntem ele alınmıştır. Yöntemler kendi aralarında kıyaslanmış, ayrıca literatürle karşılaştırması yapılmıştır. Ekonomik analizde geri ödeme yöntemi metodu kullanılmıştır. Kömür, elektrik ve doğalgaz ile geri ödeme süreleri kıyaslanmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Genel olarak sıcak su ihtiyacını gidermek amacıyla kullanılan güneş enerjisi ve bu maksatla imal edilen su ısıtma sistemleri, ısıtılacak suyun kullanım amacına göre; sistemin ısıtma tekniğine ve suyun düzenekteki akışına göre farklılık arz etmektedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri; bağlantı boruları, güneş kolektörü, sıcak su deposu, kontrol düzeneği ve de sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Güneş enerjili sıcak su düzenekleri aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere tipleri bakımından, işletme amaçları bakımından, sıcak su depolarının yerleştirilme tipleri bakımından ve güneş kolektörü tiplerine göre sınıflandırılırlar.



Şekil 2.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Su ısıtma sistemlerinin tarihi sadece günümüze değil, ateşin bulunmasına, hatta çok daha öncesine dayanmaktadır. Güneş enerjisinden genellikle su ısıtılmasında yararlanılmakta olup; bu durum daha çok konutlarda olmak üzere sanayi tesislerini de kapsamakta, bu kapsamda gerek mutfaklarda, gerekse banyolarda ihtiyaç duyulan sıcak suyun karşılanmasında, güneş enerjisinden çokça yararlanılmaktadır.

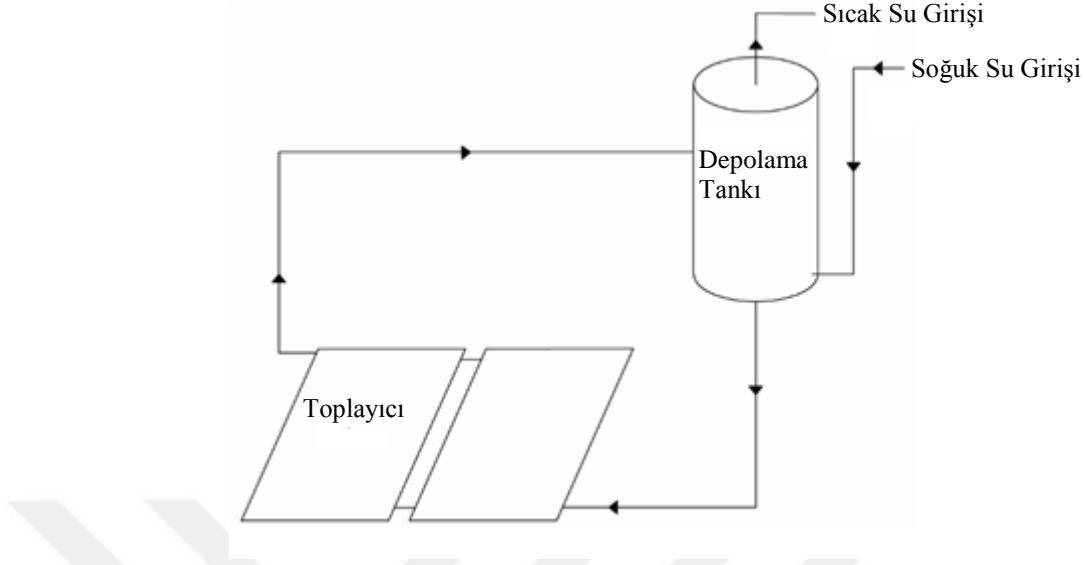
Kullanılan enerjiyi genel itibariyle ele alacak olursak, enerji sarfiyatının %6-9'u su ısıtılması amacıyla harcanmaktadır. Bu durum evlerde %3-5, sanayi sektöründe %3-4 civarında gerçekleşiyor. Enerji için Türkiye'nin yaptığı ithalatı göz önüne alacak olursak, yıllık 36,8 milyar dolarlık döviz çıkışının 2,2-3,2 milyar dolar kısmı, sırf su ısıtılması için harcanmış olmaktadır (Yiğit ve Atmaca 2018).

Diğer yandan, su ısıtma sistemlerinin bir miktar kurulum maliyeti olmakla birlikte; işletme masrafları neredeyse yok denecek kadar azdır. Diğer birincil enerji kaynakları ile kıyaslandığında ise genelde bu amaçla kullanılan elektriğe göre kendini 3 yılda amorti etmekte, bu durum LPG, gazyağı ve kömüre göre 4 yıl, doğalgaza göre ise 7 yıl olarak gerçekleşmektedir. Görüldüğü üzere, doğalgaza göre geri dönüşüm süresi orta vadeli olmasına rağmen, diğer kaynaklarla kıyaslandığında güneşli su ısıtma sistemleri çok kısa sürede kendini amorti etmektedir (Tırıs 1997).

2.2. Devre Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

2.2.1. Açık dolaşimli devre

Açık dolaşimli devre, sisteme giren soğuk suyun, güneş enerjili su ısıtma sistemi düzeneğinden geçmek suretiyle ısındıktan sonra, kullanılmak üzere sistemden alındığı devrelerdir. Kullanım sıcak suyu ile toplayıcı devresinde dolaşan suyun aynı olduğu sistemler olarak açıklanabilir. Aşağıda açık dolaşimli bir devre görülmektedir.



Şekil 2.2. Açık dolaşımli güneş enerjili su ısıtma sistemi

Bu sistemde, toplayıcılarda akan su direk kullanıma sunulduğundan dolayı verimli bir sistemdir. Öte yandan, sıcak suyun elde edilme zamanı da bu sistemlerde oldukça kısadır. Ayrıca, istenirse bu sistemlerde devridaim pompası ve otomatik kontrol devresi de kullanılabilir.

Bu sistemde su deposunun alt kısmı güneş toplayıcılarının üst kısmından 45 cm kadar yukarıda olmalıdır. Bu uygulama ile depodan kendi basıncı ile toplayıcılara gelen su, burada ısındıktan sonra yoğunluğu azalır ve genişlererek yükselir. Şebeke suyu deponun en alt kısmından giriş yaparken, ısınmış su deponun en üst kısmından kullanım için alınmaktadır. Sıcak suyun yukarı çıkması sebebiyle; depo içinde kendiliğinden soğuk su altta, sıcak su ise üstte yer alacak şekilde iki katman oluşturmaktadır. Soğuk su girişine birde şamandıra monte edilmekte, depoya ayrıca tahliye vanası da konulmaktadır. Deponun üst kısmında bir havalandırma girişi olan bu tür sistemlerde, depo iki adet de olabiliyor (Yiğit ve Atmaca 2018).

Açık devre sistemi don tehlikesi olan bölgeler için pek uygun değildir. Çünkü kullanılan suyla toplayıcılarda aynı suyun dolaşması sonucunda bu suyun içerisine donmayı engelleyen kimyasallar konulamaz. Sonucunda; soğuk havalarda suyun donması ve genişmesi ile güneş panelleri ve borular patlayabilmektedir. Yine korozyonu

engelleyen önlemlerin alınamaması sebebiyle; borular ve de paneller oksitlenerek bakım-onarım giderlerinin artmasına, hatta sistemin tümüyle elden çıkmasına dahi yol açabilmektedir.

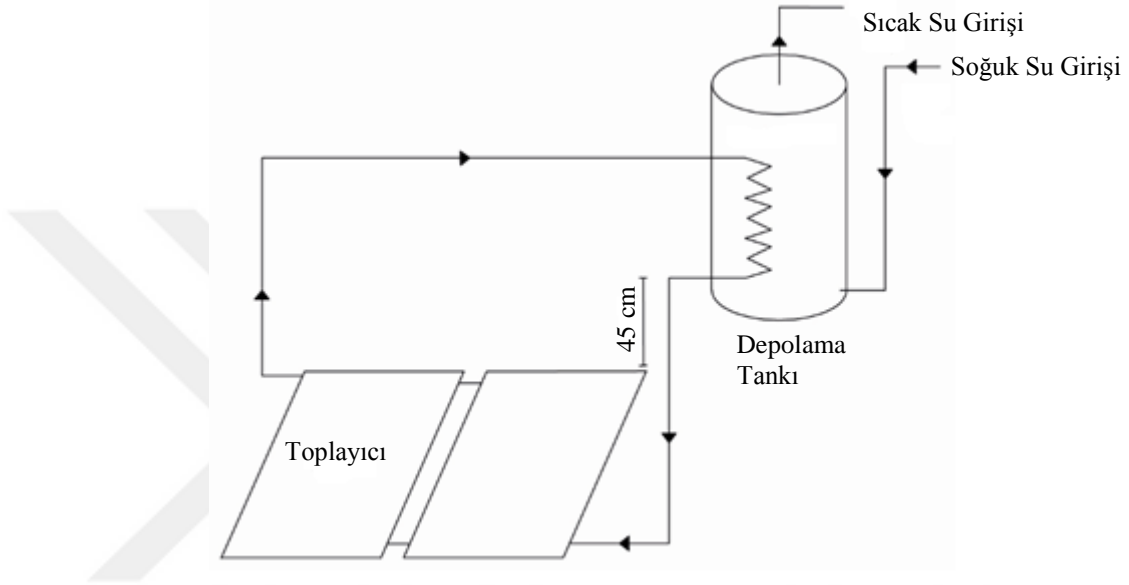
2.2.2. Kapalı dolaşımli devre

Güneş enerjili sıcak su düzeneğinde dolaşan suyla, kullanılmak üzere ısıtılan suyun aynı olmadığı; bunların birbirinden ayrı iki kapalı devre oluşturduğu bir düzenektir. Bu sistemde, güneş toplayıcılarındaki su sisteme direk verilmemekte olup; depo içinde bir serpantin vasıtasıyla ısı transferi gerçekleşmektedir. Soğuk su deposuna yerleştirilen serpantin borular, bu düzeneğin kurulum maliyetini yükseltmektedir.

Isıtıcı su ya da akışkanın dolaştığı devrenin, kullanım suyuna karışmaması ve kendi içinde kapalı devre oluşturması nedeniyle, suya donmayı engelleyen kimyasal maddeler karıştırılabilmektedir. Genelde antifriz katılır ve soğuk havalarda, don oluşumunda güneş panellerinin zarar görmesini engellemektedir. Dolayısıyla, don tehlikesi bulunan bölgelere uygun bir sistemdir. Ancak; bu sistemin serpantin boruyu ısı değiştirici olarak kullanıp, kullanım suyunu dolaylı olarak ısıtması sistem verimini düşürmektedir (Tırıs 1997; Yiğit ve Atmaca 2018).

Şekilde 2.3'de görüldüğü üzere bu sistem, su deposunun alt kısmı güneş toplayıcı panellerinin üst kısmından 45 cm. yukarıda olacak şekilde monte ediliyor. Güneş panellerinde dolaşan su, serpantin borulardan oluşan ısı değiştiricisinden geçip bir kapalı devre oluşturuyor. Söz konusu ısı değiştiricisi ise soğuk su deposunun içinde yer alıyor. Bu şekilde, deponun içerisine girdi çıktı yapmış olan ısı değiştirici borulardan geçerek, güneş panellerine inen antifriz karışımı su, burada ısınıp yükselerek ısı değiştiricisine gidiyor. Burada ise taşıdığı enerjisini önce ısı değiştiricisine, dolayısıyla, depodaki soğuk suya aktardıktan sonra soğuyup tekrar panellere geri dönüyor (Tırıs 1997; Yiğit ve Atmaca 2018).

Su deposuna şebekeden soğuk su girişi, deponun alt kısmından giren boruyla; sıcak su çıkışı ise üst kısmından çıkan boruyla gerçekleştirilir. Açık devre sistemde olduğu gibi bu sistemde de su deposundaki soğuk su alt kısımda, sıcak su ise yükselip üst kısımda toplanarak iki katman oluşturuyor.



Şekil 2.3. Doğal dolaşimli kapalı güneş enerjili su ısıtma sistemi

2.3. İşletme Türlerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

2.3.1. Doğal dolaşimli sistemler

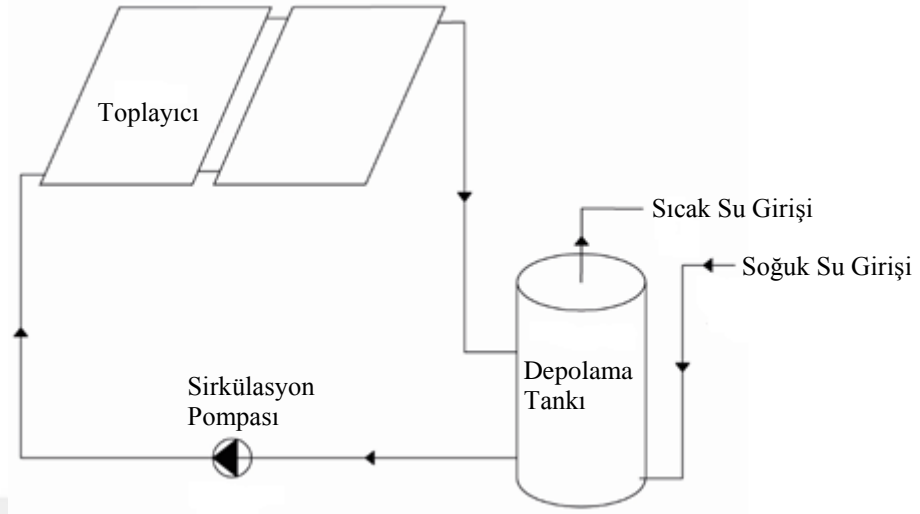
Doğal dolaşimli sistemler, ısı transfer akışkanının herhangi bir devridaim pompasına gerek duyulmaksızın akıp, kendiliğinden dolaştığı düzeneklerdir. Güneş toplayıcılarında bulunan suyun ısınması sonucu yoğunluğu azalmakta ve yoğunluğu azalan suyun yükselmesi esasına göre çalışmaktadır. Doğal dolaşimli sistemlerinin, nispeten az miktarda sıcak su gereksinimi duyulan konut veya sanayi tesislerinde kurulması uygundur. Devridaim pompası ve otomatik kontrol ünitesi gerektirmediği için; kurulum maliyeti daha ucuz olan bu tip sistemlerde su deposu, teknik zorunluluk sebebiyle güneş panellerinden daha yükseğe konulmalıdır. Doğal dolaşimli su ısıtma sistemleri, açık devre sistemleri ve kapalı devre sistemleri olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Bu tip sistemlerden, açık devre sistemler şebeke suyuna direk bağlı olduğu için; devre elemanlarının şebeke basıncına dayanıklı olmaları gerekmektedir. Şayet devre elemanları şebeke basıncına dayanıklı değilse, girişte bir basınç düşürücü konulması gerekir. Yine bu tip devrelerde, şebeke suyu güneş panellerinden doğrudan aktığı için; daha önce de anlatıldığı üzere, don tehlikesi olan ve çok soğuk bölgelerde kurulması devre elemanlarının zarar görmesi riski bakımından sakıncalıdır. Özellikle kireçli suya sahip bölgelerde, devre elemanları kısa zamanda kireçlenip; boruların tıkanmasına yol açacak ve ısı aktarımını ve verimini düşürecektir. Ancak, doğal dolaşimli kapalı devre su ısıtma sistemlerinde; devre elemanlarının kireçlenme, donma ve korozyona uğrama ve tıkanma riski en az düzeydedir (Tırıs 1997).

2.3.2. Zorlanmış dolaşimli sistemler

Isı aktarımı için, güneş enerjili su ısıtma sistemi devresinde dolaşan suyun, devridaim pompasının sağladığı basınçla sistemde dolaştırıldığı düzeneklerdir. Bu düzeneklerde pompa sürekli çalışmıyor; belli sıcaklık dereceleri temel alınıyor. Bunun için termostat görevi yapan bir kontrol ünitesinden faydalanılmaktadır. Bu tür düzenekler, açık ve kapalı devre sistemler halinde çalıştırılabilir. Böyle bir düzenekte, devridaim pompasının sağladığı basınçtan yararlanılması, soğuk su deposunun güneş toplayıcılarından daha yükseğe yerleştirilme zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır. Çok miktarda sıcak suya gereksinim duyulan büyük apartman veya sitelerde, konutlarda yahut sanayi tesislerinde, işletmelerde pompalı sistemin kullanılması diğerlerine göre daha avantajlıdır.

Sistemde, su deposunun çatıya konulma mecburiyeti bulunmuyor. Çatıya sadece güneş kolektörleri yerleştirilir. Sadece bu durum dahi, çatının önemli miktarda bir su yükünden kurtarılması demektir. Doğal akışlı sistemlerden farklı olarak, devridaim pompası ve kontrol ünitesi bulunduğu için kurulum ve işletme maliyeti daha yüksektir. Pompalı ve açık devreli bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin çalışma şeması aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.4. Zorlamalı dolaşimli açık devre güneş enerjili su ısıtma sistemi

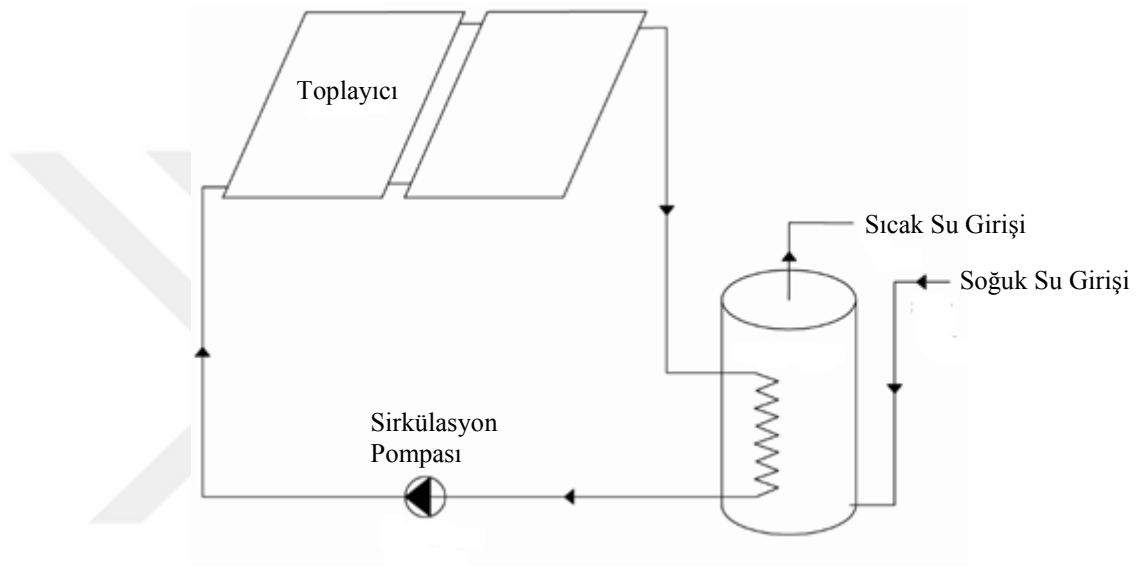
Açık devre pompalı sistemlerde, güneş panellerinde dolaşan suyla depodaki su aynıdır. Serpantin borular veya gömlek gibi ısı değiştiricilerinin olmadığı bu sistemin verimi, kapalı sistemden daha yüksektir.

Açık devre pompalı sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: Depo suyunun yeterli sıcaklıkta olmadığı durumlarda, depoya yerleştirilen bir elektrikli ısıtıcı vasıtasıyla su yeterli sıcaklığa getirilmektedir. Pompa, diferansiyel termostat vasıtası ile kontrol edilerek çalıştırılmaktadır. Depodaki su sıcaklığı ve panel çıkışının su sıcaklığı bu kontrol ünitesine iletilir, bu iki sıcaklığın farkı $2-4^{\circ}\text{C}$ 'ye indiğinde pompa durdurulur; fark $8-10^{\circ}\text{C}$ 'ye çıktığında ise tekrar devridaim yapılır (Yiğit ve Atmaca 2018)

Kapalı devre pompalı sistemin çalışma prensibi ise şu şeklidir: Bu sistemde, güneş panellerinde dolaşan su depodaki kullanım suyuna karışmaz; kapalı bir devre halinde kendi içinde dolaşır. Bu su, donmalara ve korozyona karşı antifriz karışımıdır. Deponun içinde eşanjör vazifesi gören serpantin borulardan geçip, ısınıp depo suyuna bırakarak soğuyan ve buradan çıkıp, devridaim pompasına gelen antifrizli soğuk su, pompalanarak daha yüksekte olan kolektör alt girişinden kolektörlere girer. Burada güneş toplayıcılarından geçerek ısınan su, depodaki serpantin borulara geri döner. Depodaki sıcak su deponun üst kısmından çıkan bir boru ile kullanıma sunulur. Bu

sistemlerde bir de genişleme deposu bulunmaktadır; bu depo aynı zamanda antifriz deposu durumundadır. (Yiğit ve Atmaca 2018).

Pompa ve kapalı devreli bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin çalışma şeması, aşağıda görülmektedir.



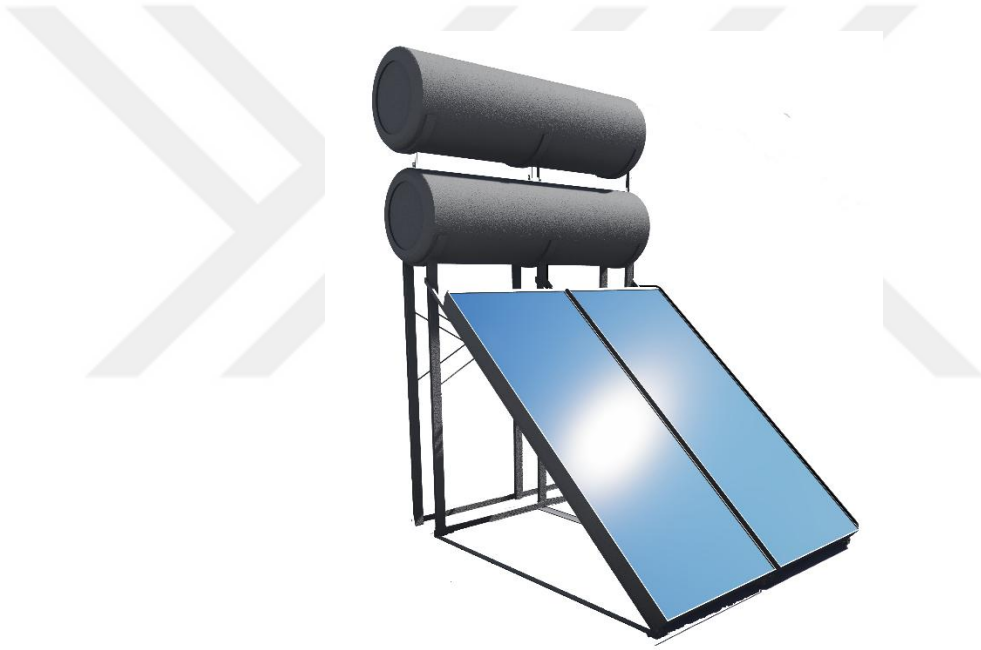
Şekil 2.5. Zorlamalı dolaşım kapalı devre güneş enerjili su ısıtma sistemi

Sistemde, sıcak ve soğuk su arasındaki fark 8-10°C dereceye çıktığında termostat devreye girer ve motoru çalıştırarak devridaimi başlatır; 2-4°C dereceye indiğinde ise motor durdurulur. Depoda elektrikle çalışan bir de yardımcı ısıtıcı olarak elektrikli rezistans yer alır. Kapalı devre pompa sistemlerinin kurulumu ve işletmesi pahalı olup; verimleri düşüktür. Bunlarda hem su deposu, hem de kalorifer kazanının suyunu ısıtmak için faydalanılabilir; soğuk iklimli bölgeler için de son derece uygundur.

2.4. Depo Yerleşim Şekillerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

2.4.1. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Bu tip güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, soğuk ve sıcak su depoları yatay olarak yerleştirilmektedir. Gerek açık sistemlerde, gerekse kapalı sistemlerdeki yatay deponun, güneş toplayıcılarının alt kısmından asgari 45 cm. yükseğe konulması gerekir. Sistem doğal dolaşimli, devridaim pompalı, açık ve kapalı sistem olarak tasarlanabilir.



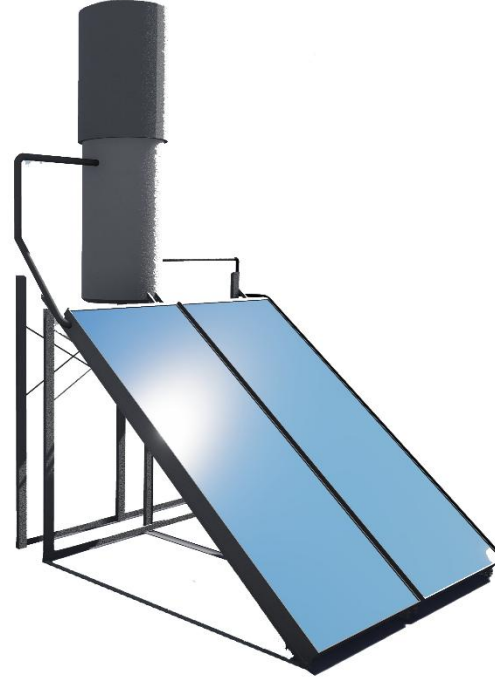
Şekil 2.6. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi

2.4.2. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Bu tipteki güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, güneş toplayıcılarıyla beraber sadece bir depo bulunur. Devridaim pompası kullanılmaz. Doğal dolaşimli bir düzeneğe sahip olan bu sistemde su deposu dik olarak yerleştirilmektedir. Sistem, kapalı devre şeklinde çalışır. Yatay depolu düzeneklerle karşılaştırıldığında, yatırım giderleri daha düşük durumdadır. Sıcak ve soğuk su süresi daha uzun olan bu sistemde, depo dışardan tek

depo gibi görülmekle beraber; iç kısmı bölünmek suretiyle iki bölümden oluşturulmuştur. Soğuk su girişini kontrol etmek üzere bir şamandıra konulmaktadır.

Alt kısımda yer alan sıcak su alındığında, üst kısımda bulunan soğuk su, eksilen sıcak suyun yerine akar ve ısınma işlemi böyle sürüp gider. Soğuk su üst bölmede yer alırken; alt bölmede sıcak su bulunmaktadır. Şebeke suyu üst bölmeye dolar; güneş panellerinde dolaşan suyun serpantin borular vasıtasıyla ısıttığı alt bölmede ise ısınan sıcak su bulunmaktadır. Su kesintisi olmayan, devamlı şebeke suyunun olduğu yerler için uygun bir sistemdir. Bu düzenekte soğuk su deposu küçüktür ve su kesintilerinin sık olduğu yerleşimlerde uygun olmamaktadır (Şahin 2006).

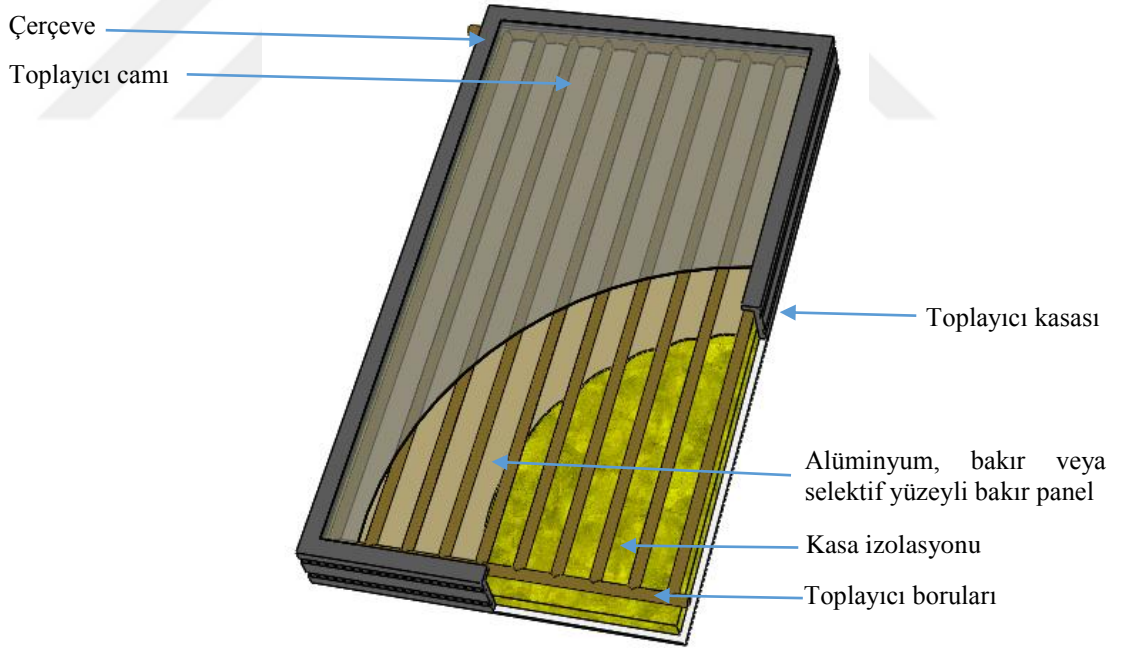


Şekil 2.7. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi

2.5. Kolektör Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

2.5.1. Düzlemsel kolektörlü sistemler

Düzlemsel güneş toplayıcılarının, çok yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu kolektörler; genellikle bir saydam örtü, güneş ışını toplayan yutucu yüzey, akışkan taşıyan ve yutucu yüzeye temas eden akışkan boruları, en altta yer alan yalıtım malzemesi ve mekanizmayı yanlardan tutan sistem kasasından meydana gelmektedir. Düzlemsel kolektörler, güneş ışığını toplayıp, düzenekteki borularda dolaşan akışkana ısı olarak aktarıldığı cihazlardır. Aşağıda düzlemsel bir güneş toplayıcı, kesit halinde görülmektedir.



Şekil 2.8. Düzlemsel toplayıcı

Düzlemsel güneş toplayıcılarının en üst katmanını, saydam bir örtü oluşturmaktadır. Bu örtü, plastik veya cam malzemeden yapılabilmeyle beraber, kısa dalga güneş ışınlarını en iyi geçiren cam malzemedir. Plastik örtü ise güneş ışınlarını iyi geçirmekle beraber,

uzun dalga ısı enerjisini de dışarı yansıttığı için enerji kaybına yol açmakta ve tercih edilmemektedir. Plastik malzemenin, kullanımda da birtakım olumsuz özellikleri mevcuttur. Cam malzeme ise kullanılan demir oksit sayesinde mukavemeti artmakta; ancak, demir oksit miktarının fazla olması güneş ışınlarını geçirme oranını düşürmektedir. Bu nedenle, saydam cam örtünün demir oksit oranı %0,05 ten küçük olmalıdır. Normal pencere camının demir oksit oranı %0,10 civarındadır. Bu durumda, daha kırılabilir olacak olan saydam örtünün mukavemetini yüksek tutmak için, temperli cam kullanılmaktadır.

Saydam örtünün altında boş bir katman ve onun altında güneş ışınlarını yutan ince bir plaka bulunur. Bu plaka genelde siyah renkli olup; yutucu ve yansıtıcı özelliği vardır, geçirgen değildir. Gelen kısa dalga ışınların büyük kısmını yutar, bir kısmını ise yansıtır. Yansıyan ışınların bir kısmı yutucu levhaya geri yansırken; bir kısmı da atmosfere kaçar. Yutucu plaka bakır, alüminyum veya paslanmaz çelikten imal edilmektedir. Düzlemsel toplayıcıların kurulum açısı, bulunduğu bölgenin enlem derecesiyle aynı olmalıdır. Kış mevsiminde ise bu dereceye 10-15° daha ilave yapılmalıdır (Yiğit ve Atmaca 2018).

Akışkan boruları ise yutucu levha ile en iyi şekilde temas etmelidir. Bu borular, yutucu levhanın transfer ettiği ısıyı alıp, içerisinde dolaşmakta olan suya aktararak ısıtma işlemini gerçekleştirir. Yutucu plaka ve akışkan borularının altında bir boş katman, onun altında ise yüksek ısılara dayanıklı, cam yününden yapılmış olan yalıtım malzemesi yer alır. Yalıtım malzemesinin üzeri ise ısı yansıtıcı alüminyum folyo ile kaplanarak; ısının yalıtım malzemesi tarafından yutulması engellenmektedir.

2.5.2. Vakum tüplü güneş kolektörleri

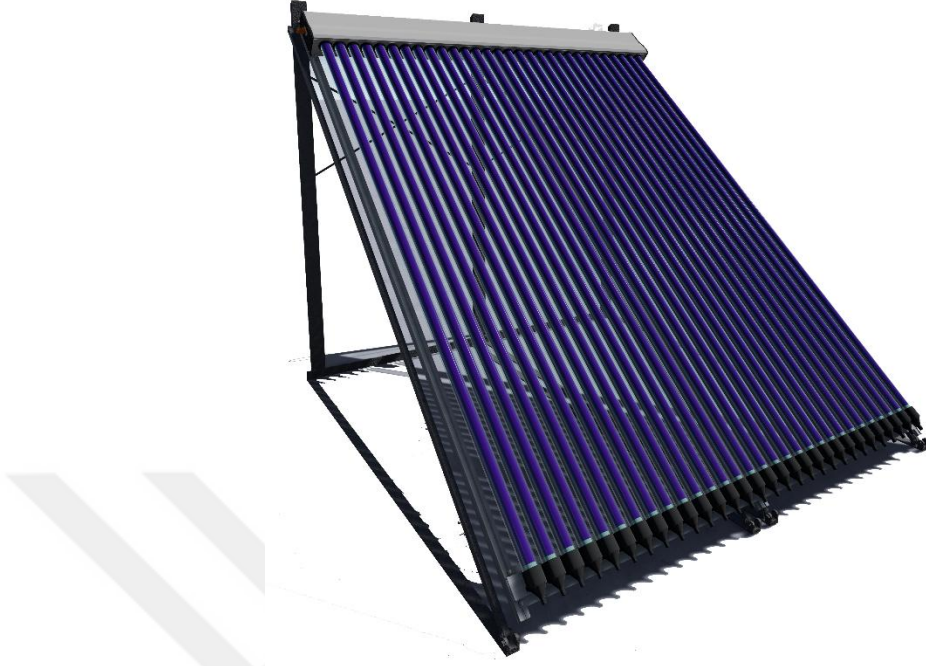
Vakum tüplü su ısıtıcılarında, güneş toplayıcılarının ana ünitesi cam vakum tüplerdir. İki cam tüpten oluşan cam vakum tüplerde, dıştaki tüp son derece sağlam olan şeffaf borosilikat camdan imal edilir. Özellikle bu dış camın, 25 mm çapında olan iç hacmin dolu haldeki basıncına mukavemet gösterebilmesi gerekir. Esasen, iç tüp de borosilikat

cam malzemedan imal edilmesine rağmen, en düşük yansıtma özelliğinde olan ve gayet iyi bir ısı emici durumdaki Al-N/Al ile üzeri kaplanmaktadır. Gerek iletim, gerekse taşınım ile oluşacak ısı kaybını önlemek üzere, iki tüp arasındaki hava vakumla emilir. İki cam tüp arasında oluşturulan havasız bölgeyi korumak amacıyla, baryum tutucular kullanılmaktadır. Bu baryum tutucular, imalat esnasında yüksek bir ısıya tabi tutulur ve de bu işlem sonucunda, vakum tüpün altı saf bir baryumla tabaka halinde kaplanmış olur.

Vakum tüplerin bulutlardan yayılan ışınımı emme özelliğinden dolayı, vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve güneş toplayıcıları, bulutlu havalarda da son derece yüksek performans göstermekte ve sonuç vermektedirler. Vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri, vakum izolesi nedeniyle soğuk ve rüzgârlı havalarda dahi, düzlemsel sistemlerden daha iyi verime sahiptir.

Cam vakum tüpler, birbirlerine paralel gelecek şekilde montajlanırlar. Ayrıca, kurulduğu yerleşim yerinin enlem derecesi ile aynı derecede bir açıya ayarlanırlar. Vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ışık emme performansı, düzlemsel toplayıcılardan daha yüksektir. Bu üstünlüğün en bariz sebepleri şunlardır:

- Tüplerin silindirik biçiminde olması ışınların cam yüzeyine dik vurarak; yansımayı en az seviyeye indirmesi,
- Toplayıcı yüzeyinin düz olması halinde; ışınlar sadece gün ortasında dik vurmakta ve günün diğer saatlerinde ışınlar kolektöre dik vurmadıkları için, toplayıcının maruz kaldığı ışınım miktarı düşmektedir. Hâlbuki vakum tüplerde tüplerin silindirik olması ve ışınların sürekli dik gelmesinden dolayı, tüplerdeki ışınım miktarı günün her saatinde aynıdır. Bu vasıfları sebebiyle, vakum tüplerdeki ışık kırılması da en düşük seviyede kalmaktadır.

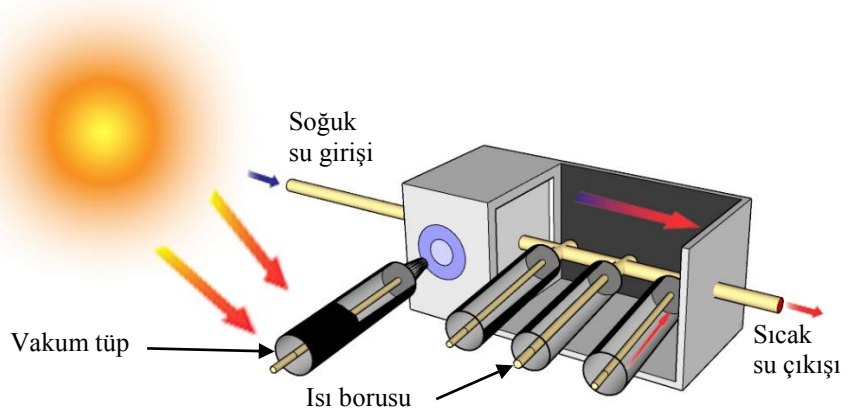


Şekil 2.9. Vakum tüplü güneş kolektörü

2.5.3. Isı borulu vakum tüplü (kapalı sistem) güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Isı borusu içindeki ısı taşıyıcı akışkan, evaporatör bölgesinde güneş ışınları ve çevre ısısı ile ısınmakta ve buharlaşmaktadır. Buharlaşan akışkan, kondenser bölgesine doğru ilerler ve burada taşıdığı ısıyı sistemin akışkanına aktararak yoğunlaşır. Yoğuşma ve buharlaşma bölgelerinin arasında izoleli halde olan ve ısı giriş çıkış hareketi olmayan, transport bölgesi olarak ta adlandırılan adyabatik bölgesi bulunmaktadır. Kondenser bölgesinde ısıyı dışarı vermek suretiyle sıvılaştıran akışkan madde, fitilin kapilarite tesiri ve de yerçekiminin tesiri ile yeniden evaporatör yerine döner.

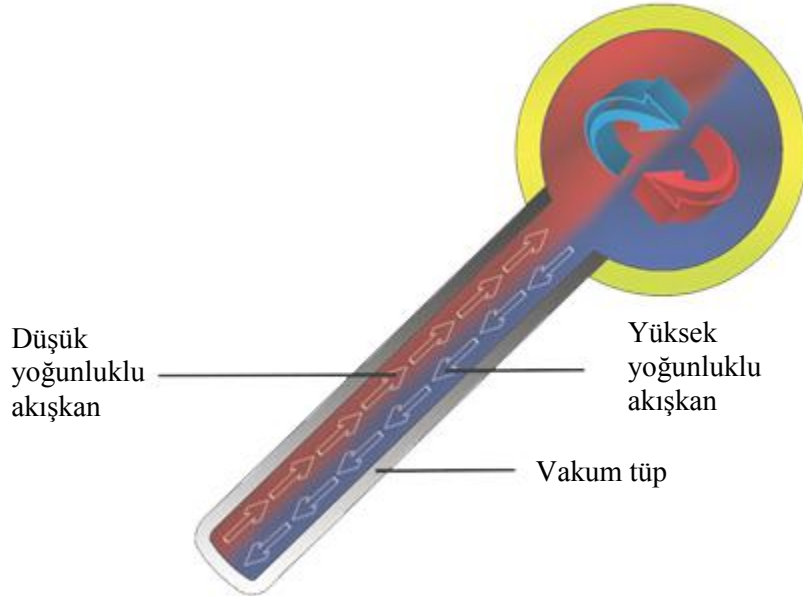
Cam malzemedeki yapılmış bir vakum tüp ve bu tüpe konulmuş bakır malzemedeki imal ısı borusundan, inorganik normal ısı borusu oluşmaktadır. Isı borusunun baş kısmına konulan ısı değiştiricisine, bakır malzemedeki oluşan ısı borusu tarafından, camdan imal vakum tüpten ısı aktarılır. Bu esnada da ısı değiştiricisinde akmakta olan akışkana sıcaklığını transfer eder.



Şekil 2.10. Vakum tüp ısı borusu uygulaması

2.5.4. Vakum tüplü (açık sistem) güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Vakum tüplü açık bir düzenekte, cam boruda gün ışığı almak suretiyle ısısı yükselen suyun yoğunluğu azalınca, yerine daha yoğun durumdaki soğuk su gelir ve sıcak su, yükselerek sıcak su deposuna dolar (Tırıs 1997).



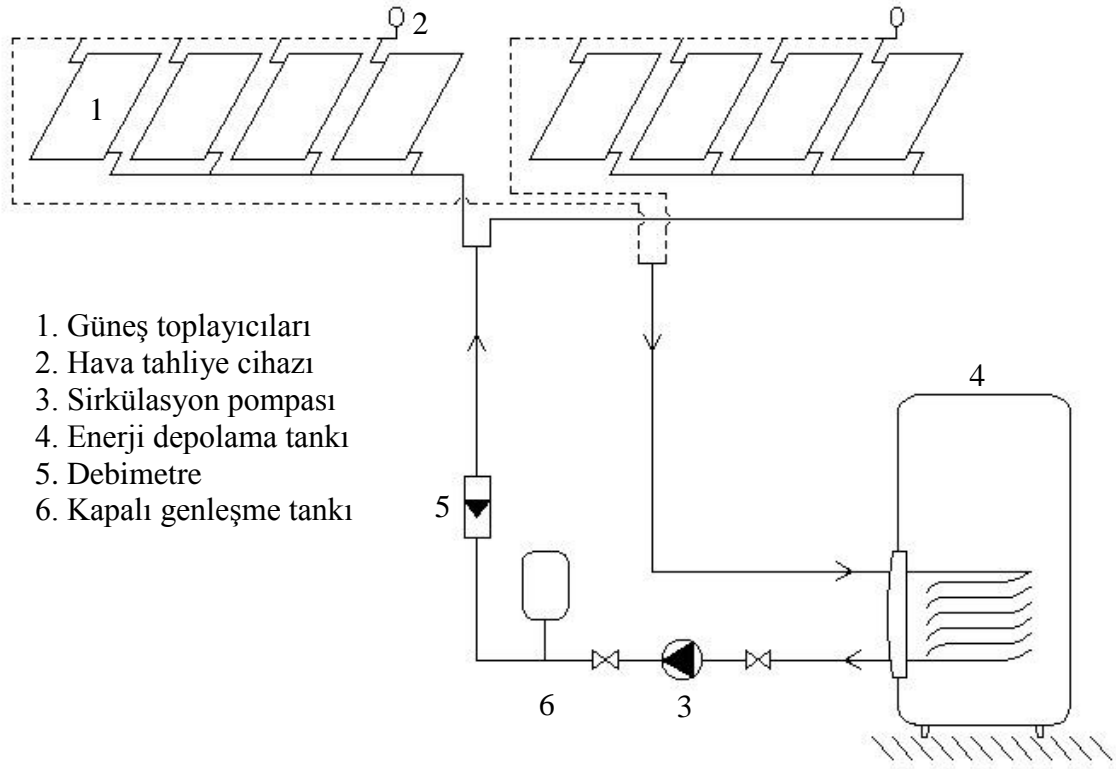
Şekil 2.11. Açık sistem vakum tüp borulu güneş enerjili su ısıtma sistemi

Ucuz, fakat verimi düşük olan vakum tüplü açık düzenekli güneş enerjili su ısıtma sistemleri, maliyetinin yüksekliği nedeniyle piyasada fazla tutunamamaktadır. Özellikle ithal edilen düzeneklerde buna çokça rastlanmaktadır. Bulutlu, güneşsiz havalarda dahi verimli olduğu iddia edilmesine rağmen, uygulamada iyi sonuç vermemeleri yüzünden ve de düz toplayıcılara nazaran daha pahalı oldukları için, bunlara olan talep bir hayli düşük kalmıştır.

Akışkan borularının vakum tüpe konulması ile vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri oluşmaktadır. Düz toplayıcılarda, ısı absorbe eden düz levhada meydana gelen ısı kayıpları yeterince önlenemediği için, istenmeyen ısı kayıpları olmaktadır. Bilakis, bu kayıpların olmaması hedeflenerek cam örtü ve ısı emen levhanın arasında bir hava boşluğu bırakılmaktadır. Bu şekilde toplayıcı veriminin sıcak su deposuna kayıpsız olarak aktarılması planlanmıştır. Fakat bu uygulama düz toplayıcılarda zordur. Bundan dolayı da ısı emici, vakum cam tüpe alınarak vakum borulu toplayıcılar yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, ekserji analizi yapılmış olan güneş enerjili su ısıtma sistemi tanıtılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin termodinamik analizlerinde yer alan ekserji, entropi ve kütle denklemlerine değinilmiştir. Sonrasın da sistemin ekserji analizi açıklanmıştır. Ekserji analizi yapılırken, ısı ile ekserji geçişinde literatürde kullanılan üç farklı yöntem ele alınmıştır. Sözü edilen yöntemler “düzlemsel güneş toplayıcıları” başlığında detaylı olarak verilmiştir. Bu çalışmada, Erzurum ilinde önceden yapılmış ölçümlerin bazı verilerinden yararlanılmış ve ekserji analizi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemi şematik resmi

Hesaplamalar yapılırken, kullanılan veriler Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarı'nda önceden kurulmuş deney düzeneğine ait bilgiler kullanılmıştır (Şekil 3.1). Önceden yapılmış çalışmalardan, Ağustos ayında, 29° eğimli, 1,64 m² net kolektör alanına sahip 8 adet tek camlı düz

güneş kolektörü, 2000 litre hacme sahip enerji depolama tankı kullanılır. Eylül ayında ki deneysel ölçümlerde 29° eğimli, 1,64 m² net kolektör alanına sahip 12 adet tek camlı düz güneş kolektörü kullanılır. 2000 litre hacme sahip enerji depolama tankı kullanılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin kolektör devresinde dolaşan su debisi, yaklaşık olarak 0,18 kg/s değerindedir. Ölü hal durumunda ki T₀ değeri ortalama olarak, deneylerin yapıldığı ortam sıcaklığı olarak 25°C değerinde alınmıştır. Teorik hesaplamalar yapılırken bu deneysel veriler kullanılmıştır. Ağustos ve Eylül ayına ait veriler kullanılarak ekserji analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.1’de Ağustos ayı deneysel verileri, Çizelge 3.2’de ise Eylül ayı deneysel verileri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ağustos ayı deneysel sonuçları ve hesaplanan değerler

Saat	T _{kg} (°C)	T _{kç} (°C)	T _{da} (°C)	T _{du} (°C)	I (W/m ²)	I _e (W/m ²)	η _k
08.00	22,139	25,486	14,396	16,640	461	435	0,386
09.00	26,393	31,240	15,428	18,911	626	636	0,412
10.00	30,671	38,135	15,917	21,246	753	794	0,527
11.00	34,790	43,862	16,214	25,061	843	907	0,573
12.00	37,804	47,287	16,771	30,209	872	945	0,579
13.00	40,561	49,798	17,328	32,040	844	913	0,582
14.00	42,835	50,621	17,784	34,503	756	808	0,548
15.00	43,834	49,951	18,383	36,704	640	668	0,509
16.00	43,460	47,252	19,283	38,727	485	483	0,416
17.00	41,749	43,113	20,216	39,706	299	272	0,243
18.00	38,597	38,252	21,048	39,464	122	93	0,152

Çizelge 3.2. Eylül ayı deneysel sonuçları ve hesaplanan değerler

Saat	T _{kg} (°C)	T _{kç} (°C)	T _{da} (°C)	T _{du} (°C)	I (W/m ²)	I _e (W/m ²)	η _k
08.00	22,459	26,834	14,725	15,953	437	465	0,383
09.00	26,465	34,101	14,983	18,413	606	672	0,482
10.00	30,649	41,042	15,196	21,714	730	825	0,544
11.00	35,977	48,956	15,685	26,001	844	963	0,567
12.00	40,220	53,056	16,243	30,531	865	990	0,567
13.00	43,765	56,179	17,113	35,284	861	985	0,551
14.00	46,246	55,754	18,271	38,876	770	875	0,472
15.00	47,000	53,511	19,392	42,000	632	702	0,394
16.00	47,218	50,347	20,561	43,551	457	488	0,262
17.00	44,874	44,771	21,937	44,118	271	271	0,000

3.1. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekserji Analizi

Petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının, yakın gelecekte tükeneceği öngörülmektedir. Bu kaynakların, kullanıldıkları sistemlerde daha verimli ve tasarruflu kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlerin de daha etkili kullanılması, enerji tasarrufu yönünden önem arz etmektedir. Bu sistemlerin verimli ve enerjiden tasarruf edecek şekilde kullanılmasının sınırlarını, termodinamiğin 1. ve 2. kanunları belirlemektedir. İncelemekte olduğumuz ve analizini yapacağımız güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin de analizini yaparken, termodinamiğin 2. Yasasından yararlanılmıştır. Termodinamiğin 1. Yasası; enerjinin yoktan var edilemeyeceğini, var olan enerjinin de yok edilemeyeceğini, lakin enerjinin diğer türlerine dönüşeceğini söyler. Termodinamiğin 2. Yasası; enerjinin niceliğinin yanı sıra niteliğinin de önemli olduğunu vurgulamakta ve kullanılabilirliğine değinmektedir. Belirli bir halde ki enerjinin yararlı iş potansiyeli ekserji veya kullanılabilirliktir. Diğer bir ifadeyle; bir sistemin sahip olduğu enerjiden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, ekserji veya kullanılabilirlik olarak tanımlanır. Bir sistemden en çok işi elde edebilmek için, sistemin hal değişimi sonunda ölü halde olması gerekir. Ölü hal, bir sistemin hal değişimi sonrası çevresi ile ısı ve mekanik dengede olması demektir. Ekserji kaybı veya ekserji yok oluşu terimi, sisteme olan ısı geçişi ve sürtünmenin neden olduğu tersinmezliklerin meydana gelmesi yüzünden, var olan enerjinin kaybı olarak ifade edilir. Tersinmezlik, kaybedilmiş iş yapma potansiyeli olarak adlandırılır. İncelenen bir sistemin ekserji kaybı, sistemdeki entropi artışının, sistemin bulunduğu çevrenin mutlak sıcaklığı ile çarpılması ile bulunur.

3.1.1. Genel denklemler

İncelenmekte olan sistemlerin ekserji kaybı ve ekserji verimini bulmak için; kütle, entropi ve ekserji denge denklemleri uygulanmalıdır. Bu çalışmada ele alınan sistem de belirlenen kontrol hacimleri sürekli akışlıdır. Sürekli akışlı sistemler için denge

denklemleri aşağıda verilmiştir. Sürekli akışlı sistemlerde, belirlenen kontrol hacimlerin de kütle denge denklemi, aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\sum \dot{m}_{\text{giriş}} = \sum \dot{m}_{\text{çıkış}} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de verilen \dot{m} kütleli debiyi ifade etmektedir. Kütle debisi, ele alınan kontrol hacminde belirlenen bir kesit alanından, birim zamanda akan kütle miktarına denir. Sürekli akışlı sistemlerde, ele alınan kontrol hacmine birim zamanda giren toplam kütle miktarı, birim zamanda çıkan toplam kütle miktarına eşittir (Çengel 2012).

Denklem (3.1)'de kütle debisini ifade eden \dot{m} 'nin üstünde bulunan nokta, birim zamanı ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında, bazı formüllerin üstünde bulunan noktalar, birim zamanda gerçekleştiğini ifade etmek için konulmuştur. Sürekli akışlı sistemlerdeki incelenen kontrol hacimlerinde, kontrol hacmine giren toplam enerji miktarı, kontrol hacminden çıkan toplam enerji miktarına eşittir (Hepbaşlı 2008).

$$\sum \dot{E}_{\text{giriş}} = \sum \dot{E}_{\text{çıkış}} \quad (3.2)$$

Bir sistemin ekserjisi potansiyel ekserji, kimyasal ekserji, kinetik ekserji ve fiziksel ekserji olarak dört farklı şekilde incelenir.

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{\text{fiziksel}} + \dot{E}x_{\text{kimyasal}} + \dot{E}x_{\text{potansiyel}} + \dot{E}x_{\text{kinetik}} \quad (3.3)$$

Sürekli akışlı sistemlerde ele alınan kontrol hacminde yaşanan ekserji kaybı, kontrol hacmine giren ekserji akımı ile kontrol hacminden çıkan ekserji akımının farkına eşittir. Genel ekserji dengesi, aşağıdaki Denklem (3.4) ve (3.5)'te verildiği gibi ifade edilir.

$$\sum \dot{E}x_{\text{giriş}} - \sum \dot{E}x_{\text{çıkış}} = \sum \dot{E}x_{\text{kayıp}} \quad (3.4)$$

veya

$$\sum E\dot{x}_{ısı} - \sum E\dot{x}_{iş} + \sum E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ giriş}} - \sum E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ çıkış}} = \sum E\dot{x}_{kayıp} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'de $E\dot{x}_{ısı}$ sisteme ısıyla (ışınım) transfer edilen ekserjiyi, $E\dot{x}_{iş}$ sisteme iş ile transfer edilen ekserjiyi, $E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ giriş}}$ ve $\sum E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ çıkış}}$ sistemin kütle ile ekserji değişikliğini, $E\dot{x}_{kayıp}$ sistemden ne kadar ekserji kaybedildiğini göstermektedir. Yukarıda ki eşitlikte verilen ekserjiler, şu şekilde formüle edilmektedir (Hepbaşlı 2008).

$$E\dot{x}_{ısı} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right) AI \quad (3.5.a)$$

$$E\dot{x}_{iş} = W \quad (3.5.b)$$

$$E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ giriş}} = \sum \dot{m}_{giriş} \psi_{giriş} \quad (3.5.c)$$

$$E\dot{x}_{k\ddot{u}tle, \text{ çıkış}} = \sum \dot{m}_{çıkış} \psi_{çıkış} \quad (3.5.d)$$

Yukarıda verilen denklemlerde T_0 (K) ortam sıcaklığını, T_Y (K) toplayıcı yüzeyinin sıcaklığını, A (m^2) toplayıcı alanını, I (W/m^2) birim toplayıcı alanına düşen güneş ışıınım miktarını ifade etmektedir. W sistemin iş miktarıdır. Yukarıda verilen Denklem (3.5.c) ve (3.5.d)'de yer alan ψ ifadesi sürekli akışlı sistemlerin özgül akış ekserjisini ifade etmektedir. Akış ekserjisi detaylı olarak aşağıda verilmiştir (Yıldızhan 2013).

$$\psi_{giriş} = (h_{giriş} - h_0) - T_0(S_{giriş} - S_0) \quad (3.6.a)$$

$$\psi_{çıkış} = (h_{çıkış} - h_0) - T_0(S_{ıkış} - S_0) \quad (3.6.b)$$

Denklem (3.6.a) ve (3.6.b)'de bulunan h simgesi sistemin entalpisini; Denklem (3.6.a) ve (3.6.b)'deki "S" simgesi ise entropisini ifade ediyor. Entalpi ve entropi ifadeleri için alt simge 0 olarak yer aldığı durumlar çevre şartları için geçerli durumlardır.

Denklem (3.6.a) ve (3.6.b)'de sıkıştırılmaz maddelerin entalpi ve entropi değişimleri dikkate alındığında eşitlikler aşağıda ki gibi yazılabilir (Çengel 2012).

$$\Psi_{\text{giriş}} = c_p(T_{\text{giriş}} - T_0 - \ln \frac{T_{\text{giriş}}}{T_0}) \quad (3.7.a)$$

$$\Psi_{\text{çıkış}} = c_p(T_{\text{çıkış}} - T_0 - \ln \frac{T_{\text{çıkış}}}{T_0}) \quad (3.7.b)$$

Sürekli akışlı sistemler için entropi dengesinin genel şekli aşağıda ki gibi yazılabilir.

$$\sum \dot{S}_{\text{giriş}} - \sum \dot{S}_{\text{çıkış}} + \sum \dot{S}_{\text{üretim}} = 0 \quad (3.8)$$

Sürekli akışlı sistemler için genel entropi dengesi aşağıda ki gibi yazılır (Yıldızhan 2013).

$$\sum \dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_{\text{çıkış}} s_{\text{çıkış}} - \sum \dot{m}_{\text{giriş}} s_{\text{giriş}} - \sum \frac{Q_k}{T_k} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'da yer alan $\frac{Q_k}{T_k}$ ifadesi ısı ile entropi aktarımını, $\dot{m} s$ ifadesi ise kütle ile entropi aktarımını ifade etmektedir. Ekserji yok oluşu veya tersinmezlikler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Çengel 2012).

$$I = E\dot{x}_{\text{kayıp}} = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (3.10)$$

3.1.2. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ekserji verimleri

Sürekli akışlı sistemlerin ekserji verimleri hesaplanırken elde edilen ekserji, sağlanan ekserjiye oranlanır. Güneş toplayıcılarının ekserji verimleri hesaplanırken, incelenen kontrol hacminde gerçekleşen ekserji değişiminin, kontrol hacmine sağlanan ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir (Yıldızhan 2013).

$$\eta_{II, \text{toplayıcı}} = \frac{E\dot{x}_{\text{değişim}}}{E\dot{x}_{\text{giriş}}} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de yer alan $E\dot{x}_{\text{değişim}}$ toplayıcının anlık ekserji değişimini, $E\dot{x}_{\text{giriş}}$ toplayıcının güneş ışınımı ile kazandığı ekserjiyi temsil etmektedir. $E\dot{x}_{\text{giriş}}$ Terimi Denklem (3.13.a), (3.13b) ve (3.13c)'de verilmiştir. $E\dot{x}_{\text{değişim}}$ ifadesi Denklem (3.12a) ve (3.12b)'deki gibi hesaplanabilir (Hepbaşlı 2008).

$$E\dot{x}_{\text{değişim}} = \dot{m}[(h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}) - T_0(S_{\text{çıkış}} - S_{\text{giriş}})] \quad (3.12.a)$$

veya

$$E\dot{x}_{\text{değişim}} = \dot{m}c_p[(T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) - T_0(\ln \frac{T_{\text{çıkış}}}{T_{\text{giriş}}})] \quad (3.12.b)$$

Denklem (3.12.a)'da yer alan $h_{\text{çıkış}}$ ve $h_{\text{giriş}}$, toplayıcı giriş ve çıkışının entalpi değerleridir. $S_{\text{çıkış}}$ ve $S_{\text{giriş}}$ toplayıcı giriş ve çıkışında ki entropi değerleridir. Denklem (3.12.b)'de yer alan $T_{\text{çıkış}}$ toplayıcı çıkışındaki sıcaklık, $T_{\text{giriş}}$ toplayıcı girişinde ki sıcaklık, C_p toplayıcı içinde dolaşan suyun özgül ısısı, \dot{m} ise toplayıcı içinde ki suyun sahip olduğu kütleli debidir.

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ekserji analizi yapılırken, toplayıcıların ışınlama elde ettiği ekserji miktarı Denklem (3.13.a) veya (3.13.b)'den hesaplanmaktadır. Verilen Denklem (3.13.a)'da T_0 çevre sıcaklığı ve T_G ise Güneş sıcaklığını temsil etmektedir. Denklem (3.13.a) ve (3.13.b) güneş toplayıcısı tarafından elde edilen ekserjiyi, yani $E\dot{x}_{\text{giriş}}$ ifadesini temsil etmektedir.

$$E\dot{x}_{\text{giriş}} = E\dot{x}_{\text{ısı}} = \sum (1 - \frac{T_0}{T_G}) AI \quad (3.13.a)$$

veya

$$E\dot{x}_{giriş} = E\dot{x}_{ısı} = \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_G} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_G} \right] AI \quad (3.13.b)$$

Denklem (3.13.b) araştırmacı Petela, (2003) tarafından ışınımla ekserji miktarını hesaplamak için yayınlanmıştır. Denklem (3.13.b)'de yer alan T_G Güneş sıcaklığını temsil etmektedir ve 6000 K olarak alınır. T_0 (K) çevre sıcaklığını, A (m^2) toplam toplayıcı alanını, I (W/m^2) birim toplayıcı alanına düşen güneş ışınım miktarını temsil etmektedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde sistemde bir ısıtıcı bulunmuyorsa, incelenen sisteme ekserji girişi ışınım (ısı yoluyla) yoluyla ve pompa tarafından sisteme aktarılan güç şeklinde olmaktadır. Denklem (3.13a) ve (3.13b)'de söz konusu sadece güneş toplayıcıları (güneş kolektörleri) olduğu için ekserji girişi ifadesi sadece ısı ile olan ekserji girişinden olmaktadır.

Denklem (3.13.a) ve (3.13.b), deneysel ölçümlerde kolektör yüzey sıcaklığının ölçülemediği durumlar için kullanılır. Kolektör yüzey sıcaklığını ölçebildiğimiz durumlarda Denklem (3.13.c) kullanılır.

$$E\dot{x}_{giriş} = E\dot{x}_{ısı} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_Y} \right) AI \quad (3.13.c)$$

Denklem (3.13.c)'de T_0 çevre sıcaklığı ve T_Y kolektör yüzey sıcaklığını temsil etmektedir.

Sistem tarafından kazanılan ekserji, güneş kolektörü tarafından elde edilen ışınım ekserjisi ve pompanın sisteme verdiği ekserjiden meydana gelmektedir. Enerji depolama tankında meydana gelen ekserjideki anlık değişimin, incelenen sistemin elde ettiği (sisteme giriş yapan) ekserjiye oranı tüm sistemin ekserji verimini ifade etmektedir. (Öztürk 2004).

$$\eta_{II, sistem} = \frac{E\dot{x}_{değişim, sistem}}{E\dot{x}_{giriş, sistem}} \quad (3.14)$$

$$E\dot{x}_{giriş, sistem} = E\dot{x}_{ısı} + W_{pompa} \quad (3.15)$$

$$E\dot{x}_{değişim, sistem} = \dot{m}(\psi_{çıkan} - \psi_{giren}) \quad (3.16)$$

Yukarıda verilen Denklem (3.14) ile güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ekserji verimini bulabiliriz. Denklem (3.16) Enerji depolama tankında meydana gelen ekserjideki anlık değişimi vurgulamaktadır.

3.1.3. Sistemin ekserji analizi

Güneş enerji sistemlerinde ekserji kayıplarına neden olan durumlar: Kolektörlerin optik yapısından dolayı güneş ışınım enerjisini tam alamamaları, sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferi, borulardaki sürtünme kayıpları ve hızlı genişleme veya sıkıştırma olaylarıdır (Yıldızhan 2013).

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerini oluşturan toplayıcı, enerji depolama tankı ve pompa için; yapılmış olan ekserji kaybı hesaplarında ele alınmış olan kontrol hacimlerinde, aşağıda ki Denklem (3.17.a) ve (3.17.b) kullanılır.

$$E\dot{x}_{kayıp} = \sum \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_G} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_G} \right] AI - \sum W + \sum \dot{m}_{giriş} \psi_{giriş} - \sum \dot{m}_{çıkış} \psi_{çıkış} \quad (3.17.a)$$

$$E\dot{x}_{kayıp} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_G} \right) AI - \sum W + \sum \dot{m}_{giriş} \psi_{giriş} - \sum \dot{m}_{çıkış} \psi_{çıkış} \quad (3.17.b)$$

Sürekli akışlı bir sistemin akışkan akımının ekserjisi aşağıda ki gibi yazılabilir (Çengel and Boles 2012).

$$\psi = (h - h_0) - T_0(S - S_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.18.a)$$

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, basınç kayıplarının düşük olması ve sistemde ki elemanlar arasında ki yükseklik farkının az olmasından dolayı, kinetik ve potansiyel enerjiler Denklem (3.18.a)'da ihmal edilir ve yeniden düzenlenirse, aşağıda ki gibi yazılabilir.

$$\psi=(h - h_0) - T_0(S - S_0) \quad (3.18.b)$$

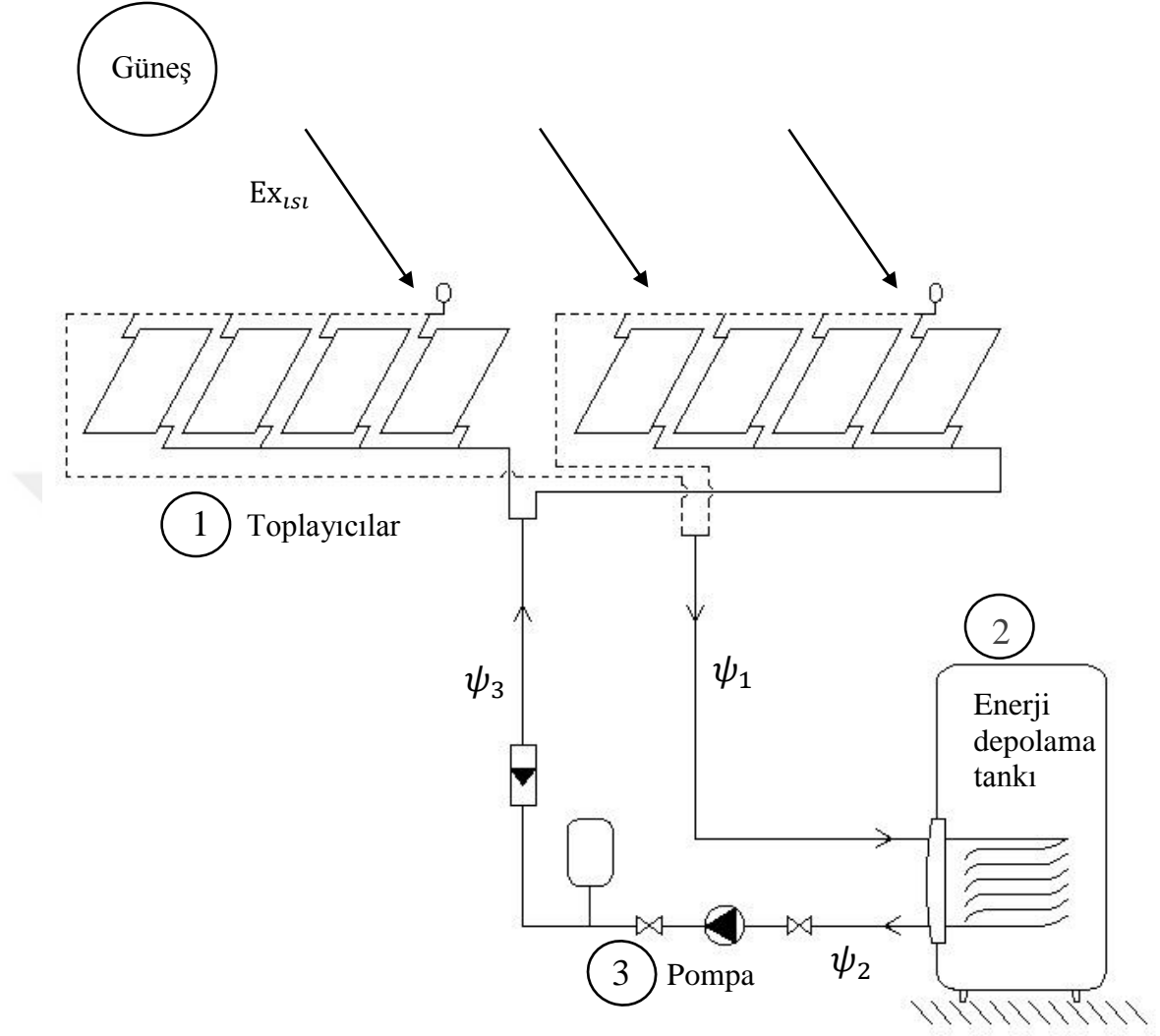
Ekserji analizi yapılmış olan güneş enerjili su ısıtma sisteminde, ısı taşıyıcı akışkan olarak sıkıştırılamaz madde olan su kullanılmıştır. Denklem (3.18.b) sıkıştırılamaz maddelerin entalpi ve entropi değişimleri dikkate alınarak yeniden düzenlenirse, aşağıda ki gibi yazılabilir (Çengel ve Boles 2012).

$$\psi=c_p(T - T_0 - \ln \frac{T}{T_0}) \quad (3.18.c)$$

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarı'nda, daha önceden kurulmuş güneş enerjili su ısıtma sisteminde yapılan deneylerden alınan verilerle, sistemin ekserji analizi yapılmıştır. Sistemin ekserji analizinde, sisteme ait ana elemanlar (düzlemsel güneş toplayıcıları, enerji depolama tankı ve pompa) ayrı ayrı kontrol hacmi olarak ele alınarak analizi yapılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin, ekserji analizi yapılmış kontrol hacimleri Çizelge 3.3'de ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Ekserji analizi yapılmış kontrol hacimleri

Kontrol hacmi	
1	Düzlemsel güneş kolektörleri
2	Enerji depolama tankı
3	Pompa



Şekil 3.2. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji akış şeması

Analiz yapılırken; sistem, yalıtım malzemesi ile yalıtıldığı için, toplayıcı ile enerji depolama tankı arasında ki ısı kaybı ihmal edilmiştir. Kinetik ve potansiyel enerjinin sistem üzerinde ki etkileri ihmal edilmiştir. Sistemin ana ve ara elemanlarında ki basınç ve sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir. Sistem devresinde dolaşan ve ısı transfer akışkanı olan suyun özgül ısısı $4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ 'dir. Sirkülasyon pompasının gücü $0,16 \text{ kW}$ değerindedir.

3.1.3.a. Düzlemsel güneş toplayıcıları

Düzlemsel güneş toplayıcılarının ekserji hesaplamalarında, göz önüne alınması gereken ekserji akımları; ışınlama gelen ekserji akımları ve kütle değişimi ile gerçekleşen ekserji akımlarıdır. Literatür araştırmalarında, ışınlama gerçekleşen ekserji akımlarının hesaplamaları çok farklı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, ışınlama ekserji geçişi ile alakalı üç yöntem ele alınmıştır. Üç yöntemde ayrı ayrı uygulanarak, gerek toplayıcılar açısından ekserji verimi, gerekse sistemin ekserji verimi açısından araştırılarak sonuçlar yorumlanacaktır. Sözü edilen yöntemler aşağıda yer almaktadır.

Yöntem 1:

Ele alınan güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji incelemesi yapılırken, toplayıcı ekserji verimi ve sistem ekserji verimi bulunmuştur. Verim analizinde yer alan ışınlama ekserji geçişi (ısı ile ekserji geçişi) 3 farklı yöntemle ele alınmıştır. Bu yöntemde ışınlama ekserji geçişi aşağıda Denklem (3.19)'da ifade edildiği gibi kullanılır.

$$E\dot{x}_{ısı} = \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_G} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_G} \right] AI \quad (3.19)$$

Denklem (3.19)'da yer alan T_G , Güneş sıcaklığını temsil etmektedir ve 6000 K olarak alınır. T_0 (°C) çevre sıcaklığını, A (m²) toplam toplayıcı alanını, I (W/m²) birim toplayıcı alanına düşen güneş ışınlama miktarını temsil etmektedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde sistemde bir ısıtıcı bulunmuyorsa, incelenen sisteme ekserji girişi yalnızca ışınlama (ısı yoluyla) yoluyla olmaktadır. Denklemde yer alan $1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T}$ ifadesi toplayıcılar tarafından elde edilen ışınlama miktarının ekserjiye dönüştürülmesinde kullanılır (Petela 2003). İncelenen yöntem ile toplayıcılar için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.32.a)'da, sistem için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.33.a)'da yer almaktadır.

Yöntem 2:

Bu yöntemde, ışınlama ekserji geçişi aşağıda Denklem (3.20)'de ifade edildiği gibi kullanılır.

$$E\dot{x}_{\text{ısı}} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_G}\right) AI \quad (3.20)$$

Yukarıdaki denklemlerde T_0 çevre sıcaklığını, T_G Güneş sıcaklığını, A (m^2) toplam toplayıcı alanını, I (W/m^2) birim toplayıcı alanına düşen güneş ışınlama miktarını temsil etmektedir. İncelenen yöntem ile toplayıcılar için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.32.b)'da, sistem için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.33.b)'da yer almaktadır.

T_G Güneş sıcaklığı, literatüre göre 4350 K olarak kabul edilir (Ge *et al.* 2014).

Yöntem 3:

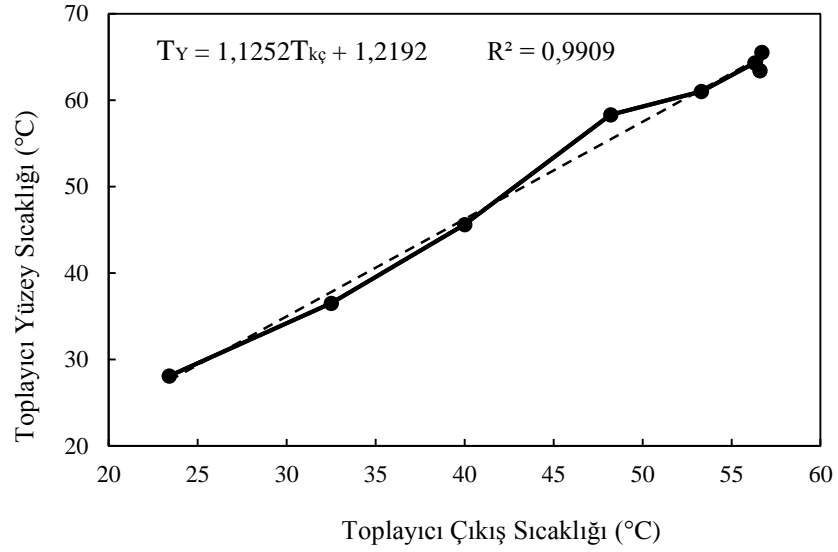
Bu yöntemde, ışınlama ekserji geçişi aşağıda Denklem (3.21)'de ifade edildiği gibi kullanılır.

$$E\dot{x}_{\text{ısı}} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right) AI \quad (3.21)$$

T_Y Toplayıcı yüzey sıcaklığını, A (m^2) toplam toplayıcı alanını, I (W/m^2) birim toplayıcı alanına düşen güneş ışınlama miktarını temsil etmektedir. İncelenen yöntem ile toplayıcılar için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.32.c)'da, sistem için ekserji verimi ifadesi Denklem (3.33.c)'da yer almaktadır.

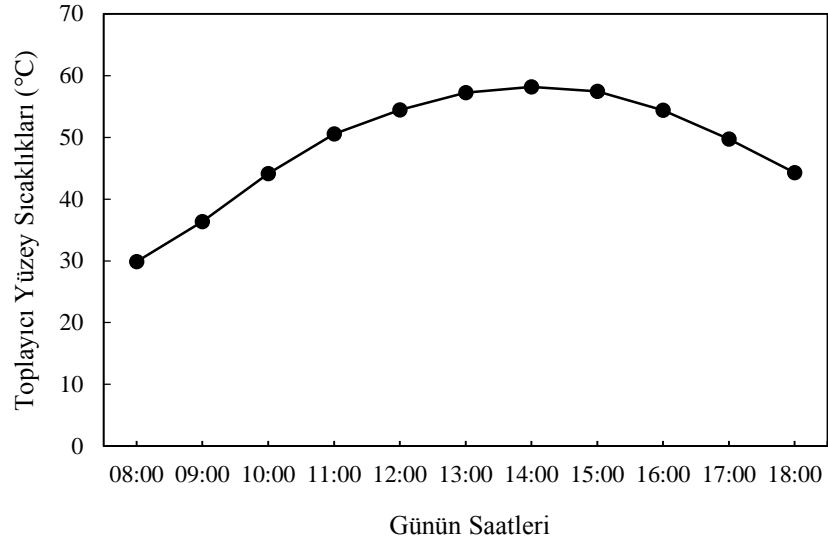
Yapılan tez çalışmasında kullanılmış olan 3. yöntemde toplayıcı yüzey sıcaklıkları gerekmektedir. Bunun için Erzurum'da yapılan bir deneysel çalışmayı göz önüne alarak 3. yöntem gerçekleştirilmiştir. Çomaklı (1997) tarafından yapılan çalışmada yer alan 12

Ağustos'ta ki kapalı sistemin deneysel verilerinden yararlanılarak iki değişken arasında bir bağıntı elde edilmiştir. Şekil 3.3'de toplayıcı yüzey sıcaklıklarına karşılık, akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklıkları görülmektedir. Grafiğe ait doğrusal denklem Şekil 3.3'de mevcuttur.



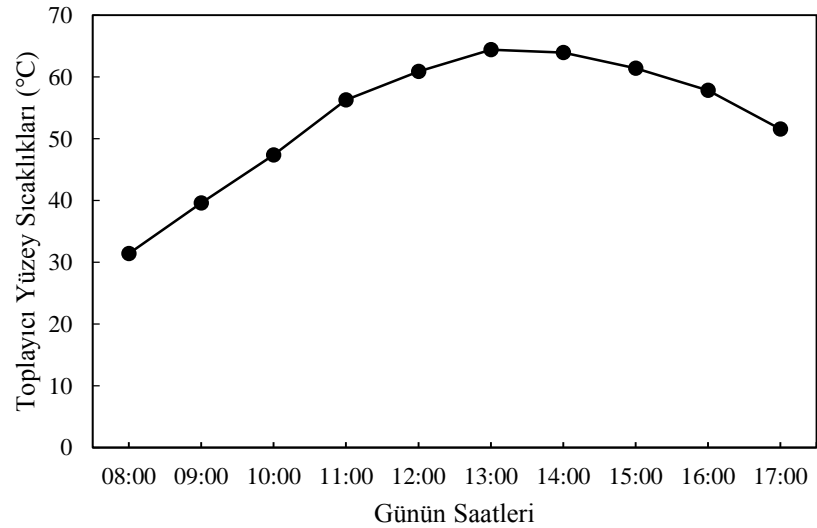
Şekil 3.3. Erzurum'da yapılan bir deneysel çalışmadan alınan iki değişken arasındaki bağıntı ve regresyon denklemi

Şekil 3.3'de bulunan regresyon denkleminde bulunan $T_{kç}$ toplayıcı çıkış sıcaklığını, T_Y toplayıcı yüzey sıcaklığını belirtmektedir. Bu çalışmanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığı verilerinin konulması sonucunda, bu çalışmaya ait tahmini toplayıcı yüzey sıcaklığı değerleri bulunmuştur. Şekil 3.4'de bu çalışmaya ait Ağustos'taki deneyin tahmini toplayıcı yüzey sıcaklığı değerleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Ağustos ayı için tahmini toplayıcı yüzey sıcaklıkları değerleri

Şekil 3.5’de bu çalışmaya ait Eylül’deki deneyin tahmini toplayıcı yüzey sıcaklığı değerleri görülmektedir.



Şekil 3.5. Eylül ayı için tahmini toplayıcı yüzey sıcaklıkları değerleri

Bu çalışmada, şekil 3.4 ve 3.5’deki tahmini toplayıcı yüzey sıcaklıkları kullanılarak 3. yöntem ile ekserji analizi yapılmıştır.

Düzlemsel güneş toplayıcılarına gelen ekserji akımları, ışınlama gelen ψ_{ISI} ve sirkülasyon pompasından gelen ψ_3 akımı olduğu, Şekil 3.2’de görülmektedir. Düzlemsel güneş toplayıcılarından çıkan ekserji akımı ψ_1 'dir. Bu bilgiler eşliğinde Denklem (3.17.a)’dan yararlanarak düzlemsel güneş toplayıcıları için ekserji kaybı aşağıda ki gibi ifade edilebilir.

$$E\dot{x}_{\text{kayıp, toplayıcı}} = E\dot{x}_{\text{ISI}} + \dot{m}\psi_1 - \dot{m}\psi_3 \quad (3.21)$$

Denklem (3.21)’de yer alan ψ_3 ve ψ_1 akış ekserjileri aşağıda verilmiştir.

$$\psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0(S_1 - S_0) \quad (3.22.a)$$

$$\psi_1 = c_p(T_1 - T_0 - \ln \frac{T_1}{T_0}) \quad (3.22.b)$$

$$\psi_3 = (h_3 - h_0) - T_0(S_3 - S_0) \quad (3.23.a)$$

$$\psi_3 = c_p(T_3 - T_0 - \ln \frac{T_3}{T_0}) \quad (3.23.b)$$

Denklem (3.21)’de yer alan, \dot{m} toplayıcı devresinde dolaşan suyun kütleli debisini (0,18 kg/s) ifade etmektedir.

3.1.3.b. Enerji depolama tankı

Şekil 3.2’den yararlanılarak enerji depolama tankına giren ekserji akımının, güneş toplayıcılarından gelen ψ_1 akımı olduğu görülmektedir. Enerji depolama tankından çıkan ekserji akımının ψ_2 olduğu görülmektedir. Enerji depolama tankının ekserji analizinde kullanılmış olan ψ_1 ve ψ_2 akımı aşağıda verilmiştir. Ayrıca sistemde dolaşan akışkanın (su) sıkıştırılmaz madde olduğu göz önüne alınarak, Denklem (3.24.a) ve

(3.25.a) yeniden düzenlenmiştir.

$$\psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0(S_1 - S_0) \quad (3.24.a)$$

$$\psi_1 = c_p(T_1 - T_0 - \ln \frac{T_1}{T_0}) \quad (3.24.b)$$

$$\psi_2 = (h_2 - h_0) - T_0(S_2 - S_0) \quad (3.25.a)$$

$$\psi_2 = c_p(T_2 - T_0 - \ln \frac{T_2}{T_0}) \quad (3.25.b)$$

Yukarıda verilen denklemlerin düzenlenmesi ile enerji depolama tankı için, ekserji kaybı analizinde aşağıda ki denklem kullanılabilir.

$$E\dot{x}_{\text{kayıp, depo}} = \dot{m}\psi_1 - \dot{m}\psi_2 \quad (3.26)$$

3.1.3.c. Sirkülasyon pompası

Şekil 3.2'ye bakılacak olursa, sirkülasyon pompasına giren ekserji akımı ψ_2 , sirkülasyon pompasından çıkan özgül ekserji akımı ψ_3 ve sirkülasyon pompası tarafından sisteme verilen güç W (0,16 kW) olduğu görülmektedir. Bu bilgiler eşliğinde, sirkülasyon pompasında oluşan ekserji kaybı aşağıda ki gibi hesaplanabilir.

$$E\dot{x}_{\text{kayıp, pompa}} = \dot{m}\psi_3 - \dot{m}\psi_2 + W_{\text{pompa}} \quad (3.27)$$

Denklem (3.27)'de yer alan ψ_2 , ψ_3 ekserji akımları ve pompa tarafından suya verilen gücü temsil eden W_{pompa} aşağıda ki gibi tanımlanabilir.

$$\psi_2 = (h_2 - h_0) - T_0(S_2 - S_0) \quad (3.28)$$

$$\psi_2 = c_p(T_2 - T_0 - \ln \frac{T_2}{T_0}) \quad (3.28.b)$$

$$W = W_{\text{pompa}} \quad (3.29)$$

$$\psi_3 = (h_3 - h_0) - T_0(S_3 - S_0) \quad (3.30.a)$$

$$\psi_3 = c_p(T_3 - T_0 - \ln \frac{T_3}{T_0}) \quad (3.30.b)$$

Sirkülasyon pompasının sahip olduğu 0,16 kW gücün doğrudan sisteme aktarıldığı (hiçbir ısı kayıp olmadığı kabulü ile) düşünülürse; Sirkülasyon pompasından hemen önce ki akış devresinin sıcaklığını bulmak için aşağıda ki Denklem (3.31) kullanılmıştır. Sirkülasyon pompasından hemen sonra ki akış devresinin sıcaklığı bilinmekte ve toplayıcı giriş sıcaklığıdır.

$$\dot{W}_{\text{pompa}} = \dot{m}c_p(T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (3.31)$$

Denklem (3.31)'de ki \dot{W}_{pompa} sirkülasyon pompasının gücünü, $T_{\text{giriş}}$ sirkülasyon pompasına giriş sıcaklığını, $T_{\text{çıkış}}$ sirkülasyon pompasından çıkış sıcaklığını temsil etmektedir.

3.1.3.d. Sistemin ekserji verimleri

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, güneş toplayıcılarının ekserji verimi toplayıcı devresinde gerçekleşen ekserji artışının, toplayıcılar tarafından elde edilen ışınlama ekserji miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Başka bir ifade ile elde edilen ekserjinin, başlangıçta sağlanan ekserjiye oranıdır. İncelenen sistemde, toplayıcı ekserji verimi 1. yöntem ve 2. yöntem için aşağıda verilmiştir.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için, ekserji analizini 1. yöntem ile ele alırsak aşağıda ki gibi Denklem (3.32.a)'daki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ toplayıcı}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_3) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_3} \right) \right]}{AI \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_G} \right)^4 - \frac{4T_0}{3T_G} \right]} \quad (3.32.a)$$

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için, ekserji analizini 2. yöntem ile ele alırsak aşağıda ki gibi Denklem (3.32.b)'deki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ toplayıcı}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_3) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_3} \right) \right]}{\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_G} \right) AI} \quad (3.32.b)$$

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için, ekserji analizini 3. yöntem ile ele alırsak aşağıda ki gibi Denklem (3.32.c)'deki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ toplayıcı}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_3) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_3} \right) \right]}{\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_Y} \right) AI} \quad (3.32.c)$$

Sistem tarafından kazanılan ekserji, güneş kolektörü tarafından elde edilen ışınlım ekserjisi ve pompanın sisteme verdiği ekserjiden meydana gelmektedir. Enerji depolama tankında meydana gelen ekserjideki anlık değişimin, incelenen sistemin elde ettiği ekserjiye oranı, tüm sistemin ekserji verimini ifade etmektedir (Öztürk 2004).

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi, 1.yöntem, 2. yöntem ve 3. yöntem için aşağıda verilmiştir.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini 1. yöntem ile ele alırsak, aşağıda ki gibi Denklem (3.33.a)'da ki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ sistem}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_2) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_2} \right) \right]}{AI \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_G} \right)^4 - \frac{4T_0}{3T_G} \right] + W_{\text{pompa}}} \quad (3.33.a)$$

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini 2. yöntem ile ele alırsak, aşağıda ki gibi Denklem (3.33.b)'deki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ sistem}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_2) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_2} \right) \right]}{\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_G} \right) AI + W_{\text{pompa}}} \quad (3.33.b)$$

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini 3. yöntem ile ele alırsak, aşağıda ki gibi Denklem (3.33.c)'deki gibi olur.

$$\eta_{II, \text{ sistem}} = \frac{\dot{m}c_p \left[(T_1 - T_2) - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_2} \right) \right]}{\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_Y} \right) AI + W_{\text{pompa}}} \quad (3.33.c)$$

3.2. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerindeki maksat, ısıtma için gereken enerjiyi en azından kısmen güneş ışınlarından temin etmektir. Burada esas olan, enerji giderlerini azaltmak, diğer bir ifade ile maliyeti azaltmak suretiyle kârlılığı artırmaktır. Bunun için de kurulacak sistemin en uygun özelliklerde ve büyüklükte olması gerekir. Büyüklükten kasıt, toplayıcı alan (güneş paneli) büyüklüğüdür. İlk yatırım maliyeti, işletme giderleri ve panel alanındaki ilişki değerlendirilmek suretiyle en uygun toplayıcı (güneş paneli) alanı bulunmaktadır. Ancak, sadece verimlilik yeterli değildir; daha önce de bahsettiğimiz gibi bir sistemin kurulum amacı kârlılık yani ekonomik olmasıdır. Nihai olarak, sistemin kârlılığına karar verebilmek için ekonomik analizlerin de yapılması gerekmektedir.

Uygulanacak projelerin sadece teknolojik durumuna bakmak yetmez; proje kapsamındaki yatırımın gerçekleştirilebilir ve sürdürülebilir olması da gerekmektedir.

Bunun için de diğer alternatif yatırımlardan daha kârlı olması şarttır. Güneş enerjili su ısıtma sistemi yatırımına, alternatif diğer yakıt veya enerji kaynakları karşısında öncelik verilmesi için, yapılacak ekonomik analizde bazı yöntemlere başvurulmaktadır (Kaya 2009)

- Bugünkü değer metodu
- Yıllık eşdeğer metodu
- Gelecek değer metodu
- Geri ödeme oranı metodu
- Kar/yatırım oranı metodudur.

Bu yöntemlerin, verdikleri sonuç bakımından birbirlerine üstünlüğü yoktur. Bu nedenle, enerji sistemlerinin ekonomik yönden değerlendirilmesinde kullanılacak olan yukarıdaki yöntemler, analiz sonunda benzer sonuçlar vermektedir (Çokgez ve Kuş 2011).

3.2.1. Geri ödeme süresi metodu

Geri ödeme süresi, güneş enerjili su ısıtma sistemi yatırımından elde edilen gelirin, yatırım giderlerini karşılayana kadar geçen zamandır. Bu analiz türünde dikkat edilmesi gereken, yatırımı en kısa sürede amorti eden sistemi tercih etmektir. Geri ödeme süresi analizinde, analize dâhil olan tüm sistemlerin toplam net gelirleri bulunur; net gelirin yatırım giderlerini amorti edene kadarki işletme süresi geri ödeme süresini verir (Okka 2009).

Kâr getireceğine kesin gözüyle bakılan güneş enerjili su ısıtma sistemleri için; özellikle de su ısıtma konusunda herhangi bir sistem veya enerji kaynağının gerekli olması halinde diğer yöntemlerden önce, yapılacak yatırımın en uygun değerdeki yatırım olduğunu belirlemek ve vurgulamak için uygun bir metottür. Bir diğer avantajı ise sistemin gelecek açısından belirsizlik arz etmesi ve ilerleyen tarihlerdeki durumuna ilişkin bilgi sahibi olunamaması halinde de bu yöntem uygundur.

$$\text{Geri ödeme süresi} = \frac{\text{Yatırım maliyeti}}{\text{Yıllık tasarruf}} \quad (3.34)$$

Geri ödeme süresi Denklem (3.34)'de verildiği gibi ifade edilir.

3.2.2. Toplayıcı yüzey alanının belirlenmesi

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, kış mevsimlerinde en yüksek verimin elde edilebilmesi için; güneş panellerinin yer zeminine göre açıları, bulunulan coğrafyanın enleminden 15° fazla olmalıdır. Yılın başından sonuna kadar üniform bir enerji elde edilebilmesi için, güneş panellerinin eğim açısı coğrafi enleme aynı değerde olmalıdır. (Uyarel ve Öz 1987).

Toplayıcı alanının tespitindeki faktörler; yatırımdan yıllık yararlanma süresi (ay) hedeflenen günlük sıcak su miktarı, şebekeye giren suyun sıcaklığı ve de çıkış sıcaklığıdır. Sıcak su enerji ihtiyacının hesaplanmasının ardından, toplayıcı alanı hesaplanır.

$$\dot{Q}_s = \dot{m}c_p(T_{\text{kullanım}} - T_{\text{şebeke}}) \quad (3.35)$$

Sıcak su enerji ihtiyacı Denklem (3.35)'den bulunur. Denklem (3.35)'de yer alan \dot{Q}_s sıcak su enerji ihtiyacını (kJ/gün), \dot{m} ısıtılacak su miktarını (lt/gün), c_p suyun özgül ısısını (kJ/kg $^\circ$ C), $T_{\text{kullanım}}$ kullanma sıcak suyunu ($^\circ$ C), $T_{\text{şebeke}}$ şebeke suyu sıcaklığını ifade etmektedir.

Kullanılacak sıcak su, konutlar için kişi başına günde 50 kg olacak şekilde $45-50^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. (TS 3817, 1994). Sanayi tesisleri için ise sistemin özelliğine göre bulunur.

$$A = \frac{\dot{Q}_s}{H \times \eta} \quad (3.36)$$

Denklem (3.36)'da yer alan A gerekli toplayıcı yüzey alanını (m^2), η günlük ortalama toplayıcı verimini (günlük ortalama %55-65 arasında alınabilir), H toplayıcı birim yüzeyine gelen aylık ortalama günlük güneş enerjisi miktarını ($kJ/m^2gün$) temsil etmektedir.

3.2.3. Konutlarda güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ekonomik analizi

Örnek Bir Hesaplama

Uygulama ili :	Erzurum
İşletme :	Konut
Kişi Sayısı :	4
İşletme Durumu :	Yıl Boyunca
Toplayıcı Eğim Açısı :	$39^{\circ}57'$ ' Enlem
Kullanım Suyu Sıcaklığı :	$50^{\circ}C$
Kişi Başına Su Tüketimi :	50 kg
Günlük Su tüketimi :	$4 \times 50 = 200$ kg/gün

TS 3187'ye göre, güneş enerjili su ısıtma sisteminden bütün yıl yararlanmak istendiği durumda yatay zemine göre toplayıcı açısı enlem açısına eşit olarak ele alınır. Sistemin ortalama yıllık verimini daha iyi bulabilmek için, gereken güneş toplayıcı alanı bütün aylar için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Çizelge 3.4'de bulunan şebeke suyu sıcaklıkları TS 3187'den alınmıştır. Güneş ışınım değerleri Atatürk Üniversitesinde önceden alınmış ölçümlerdir.

Çizelge 3.4. Erzurum ilinin güneş ışınımı değeri ve şebeke suyu sıcaklığı

İl	Ay	Toplayıcının enlem açısında aldığı güneş ışınımı değeri ($\frac{MJ}{m^2 gün}$)	Şebeke suyu sıcaklığı (°C)
Erzurum	Ocak	8,42	2,7
	Şubat	11,96	1,5
	Mart	15,62	1,1
	Nisan	16,85	3,2
	Mayıs	19,53	7,5
	Haziran	22,72	11,8
	Temmuz	23,06	14,8
	Ağustos	20,73	16,8
	Eylül	17,61	16,1
	Ekim	12,19	12,5
	Kasım	8,51	8,5
	Aralık	6,80	5,3

Mayıs ayı için gereken toplayıcı alanının hesabı: Kişi sayısına göre sıcak su enerji ihtiyacı Denklem (3.35)'den

$$\dot{Q}_s = 4 \times (50 \text{ kg/gün}) \times (4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) (50^\circ\text{C} - 7,5^\circ\text{C}) = 35530 \text{ kJ/gün}$$

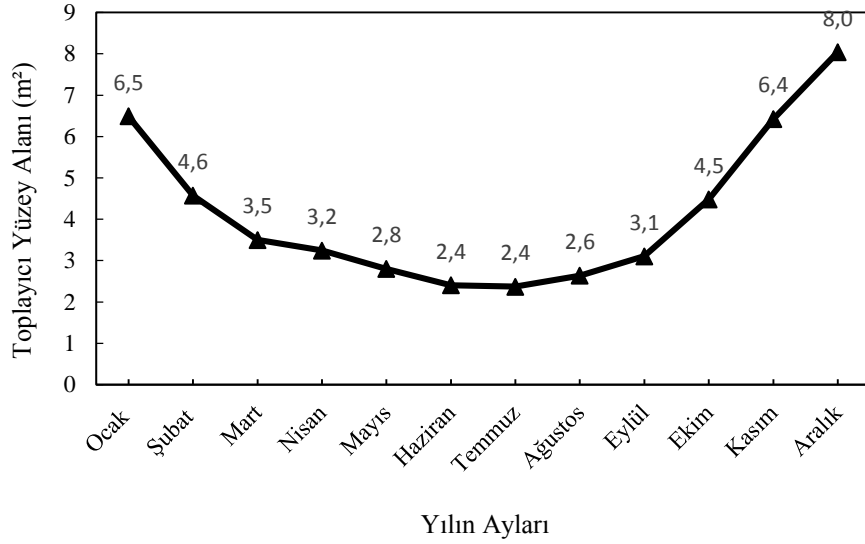
Erzurum için güneşli açık gün sayısı uzun yıllar ortalaması 200 gün kabul edilmektedir.

Bu durumda bir yıl boyunca gerekli ısı miktarı $\dot{Q}_s = 35530 \times 200 = 7106000 \text{ kJ/yıl}$

TSE 3817'den Erzurum için Mayıs ayı birim toplayıcı yüzeyine gelen enerji miktarı $19530 \text{ kJ/m}^2\text{gün}$ alınarak ve günlük ortalama toplayıcı ısı verimi $\eta = 0,65$ kabul ederek, gereken toplayıcı alanı Denklem (3.36) yardımıyla;

$$A = 35530 \text{ kJ/gün} / (19350 \text{ kJ/m}^2\text{-gün} \times 0,65) = 2,8 \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Diğer aylara göre de Excel de program yazılmak suretiyle gerekli toplayıcı yüzey alanları tek tek bulunur. Gereken toplayıcı alanının aylar itibariyle değişimi Şekil 3.6'da, görülmektedir.



Şekil 3.6. Toplayıcı alanının (m²), aylar itibariyle değişimi

Gerekli sıcak suyun diğer enerji kaynaklarından temin edilmesi

Sıcak suyun diğer enerji kaynaklarından temin edilmesinde, genellikle elektrik enerjisi ve fosil yakıtlardan yararlanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan yakıt çeşitleri ve bunların ısıl değerleri yanma verimi, birim fiyatı Çizelge 3.5'de verilmiştir (Dosider 2018; Palen Doğalgaz 2019; Aras Elektrik 2019).

Çizelge 3.5. Yakıt ısıl değerleri, yanma verimi ve birim fiyatları

Yakıt tipi	Isıl değer	Yanma verimi (%)	Birim fiyat
Doğalgaz	34541 kJ/m ³	90	1,6 TL/m ³
Elektrik	3600 kJ/kWh	99	0,71 TL/kWh
Kömür	21126 kJ/kg	65	0,71 TL/kg

$$M_y = \frac{\dot{Q}_s}{H_y} \quad (3.37)$$

$$F_y = \frac{M_y}{\eta} \times Y_f \quad (3.38)$$

Denklem (3.37)'de yer alan M_y yıllık yakıt miktarını, \dot{Q}_s yıllık enerji gereksinimini (kJ/yıl), H_y yakıtın alt ısıl değerini ifade etmektedir. Denklem (3.38)'de yer alan F_y yıllık yakıt giderini, η yanma verimini, Y_f yakıt giderini (TL) ifade etmektedir.

Denklem (3.37) ve (3.38) kullanılarak, bir yıl süresince 50°C'de, 4 kişilik bir ailenin günde 50 kg sıcak su gereksinimini karşılamak üzere kullanılması gereken yakıt miktarı ve yakıt gideri hesaplanıp, Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Yıllık yakıt miktarı ve yakıt tutarı

Yakıt türleri	Yıllık yakıt miktarı	Yıllık yakıt tutarı (TL)
Elektrik	1974 kWh	1415
Doğal gaz	206 m ³	366
Kömür	337 kg	368

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin geri ödeme sürelerini belirleyebilmek için yatırım miktarının bilinmesi gerekir. Bunun için piyasada gerekli araştırmalar yapılmış ve Çizelge 3.7'de verilmiştir. Hesaplamaların kolay olması amacıyla, fiyat araştırmalarında ortama değerlerle işlem yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ortalama fiyatlar

Malzeme	Fiyat (TL)
Toplayıcı (1,85 m ²)	500 × 2 adet
Sıcak su deposu (200 lt)	1000
Toplayıcı sehпасı	250
Ara bağlantı elemanları	100
İşçilik	200

Çizelge 3.7'de ele alınan güneş enerjili su ısıtma sisteminin teknik özellikleri sıralanacak olursa; sistem kapalı devre basınçlı doğal dolaşım ile çalışır. Depo hacmi

200 lt'dir. Depo emaye kaplamalı ve rezistansa sahiptir. Toplayıcı 1.85 m² alana sahiptir. Toplayıcı bakır boruludur. Sistemde antifriz-su karışımı kullanılabilir.

Çizelge 3.7'ye bakıldığında yapılacak yatırım miktarının 2550 TL olduğu görülmektedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin geri ödeme süresi basit hesaplama yöntemiyle;

$$\text{Geri ödeme süresi} = \text{Yatırım miktarı} / \text{Yıllık net kar} \quad (3.39)$$

Doğalgaz için geri ödeme süresi = $2550 / 366 = 6,96$ yıl. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizinde; doğal gazla kıyaslandığında güneş enerjili su ısıtma sisteminin geri ödeme süresi 6,96 yıl olarak bulunmuştur.

Elektrik için geri ödeme süresi = $2550 / 1415 = 1,81$ yıl. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin elektrikli sistemlerle kıyaslandığında güneş enerjili su ısıtma sisteminin geri ödeme süresi 1,81 yıl olarak bulunmuştur.

Kömür için geri ödeme süresi = $2550 / 368 = 6,92$ yıl. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizinde kömür ile kıyaslandığında güneş enerjili su ısıtma sisteminin geri ödeme süresi 6,92 yıl olarak bulunmuştur.

Bulut vd (2007) çalışmalarında güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizini ele almışlardır. Pompalı, düzlemsel kolektörlü sistemden elde edilen sıcak suyun diğer sistemlerden elde edilmesi durumunda basit ekonomik analiz yöntemine göre geri ödeme süreleri doğalgaz için 3,4, elektrik için 1,45 ve kömür için 4,45 yıl olarak bulunmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, daha önceden hesaplama yöntemlerine yer verilen, termodinamiğin 2. Kanunu analizinin sonuçları yer almaktadır. Hesaplamalar yapılırken, üç ayrı yöntem ele alınmıştır. Bu yöntemler toplayıcıya ısı ile ekserji geçişinde kullanılan üç ayrı yöntemdir. Literatür araştırmalarında sıkça karşılaşılan bu üç yöntem tez çalışmasında ele alınmıştır. Bu yöntemler hakkındaki detaylı anlatım, düzlemsel güneş toplayıcıları kısmında yer almaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler eşliğinde yöntemler arasında mukayeseler yapılmıştır. Bu mukayeseler grafikler halinde bu kısımda sunulmuş olup; bu bölümde yer alan grafiklerin detaylı anlatımına yer verilmiştir. Termodinamiğin 2. Kanunu analizi Ağustos ve Eylül ayı verileri için ayrı ayrı yapılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sistemine ait enerji depolama tankı ekserji kaybı miktarı, sirkülasyon pompası ekserji kaybı miktarı, toplayıcı ekserji kaybı miktarı, toplayıcı ekserji verimi ve tüm sistemin ekserji verimi çizelgeler halinde verilmiştir. Ağustos ayına ait veriler Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Eylül ayına ait veriler Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları (Ağustos)

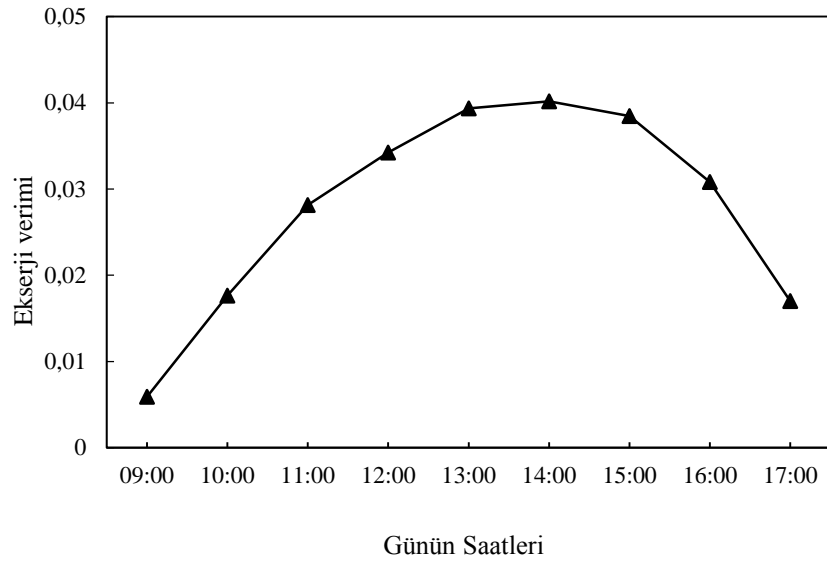
Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Verimi (%)	Tüm Sistemin Ekserji Verimi (%)
09.00	0,1606	0,0467	7,8377	0,5909	0,5876
10.00	0,1629	0,1744	9,8989	1,7632	1,7643
11.00	0,1650	0,3176	11,4244	2,8135	2,8182
12.00	0,1665	0,4027	11,9736	3,4224	3,4315
13.00	0,1678	0,4482	11,6256	3,9366	3,9506
14.00	0,1689	0,4068	10,2968	4,0190	4,0444
15.00	0,1694	0,3243	8,4986	3,8472	3,8868
16.00	0,1692	0,1916	6,0997	3,0824	3,1540
17.00	0,1684	0,0651	3,3890	1,7019	1,8662

Çizelge 4.2. 2.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları (Ağustos)

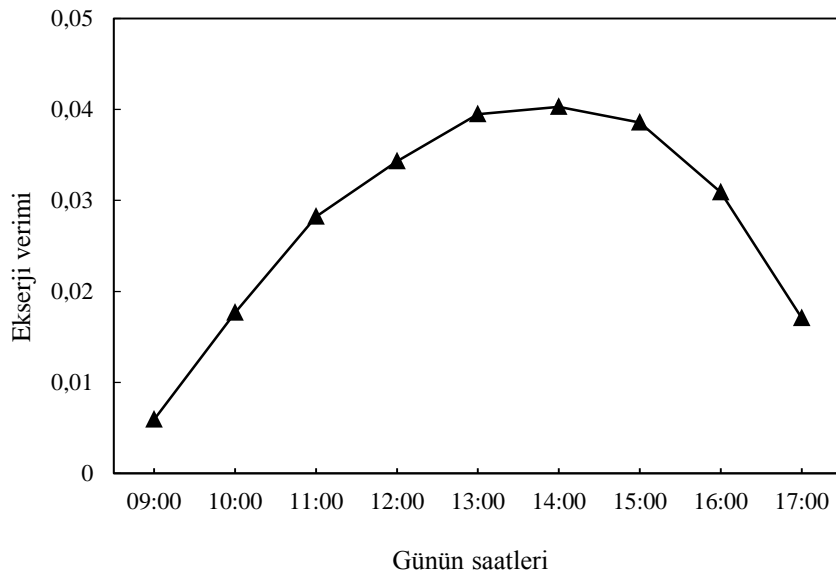
Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Verimi (%)	Tüm Sistemin Ekserji Verimi (%)
09.00	0,1607	0,0467	7,8187	0,5923	0,5890
10.00	0,1629	0,1744	9,8752	1,7675	1,7686
11.00	0,1650	0,3176	11,3973	2,8204	2,8251
12.00	0,1665	0,4027	11,9453	3,4308	3,4398
13.00	0,1679	0,4482	11,5983	3,9462	3,9601
14.00	0,1690	0,4068	10,2726	4,0289	4,0542
15.00	0,1695	0,3243	8,4786	3,8566	3,8962
16.00	0,1693	0,1916	6,0852	3,0900	3,1616
17.00	0,1685	0,0651	3,3809	1,7060	1,8706

Çizelge 4.3. 3.yöntem ile bulunan ekserji analizi sonuçları (Ağustos)

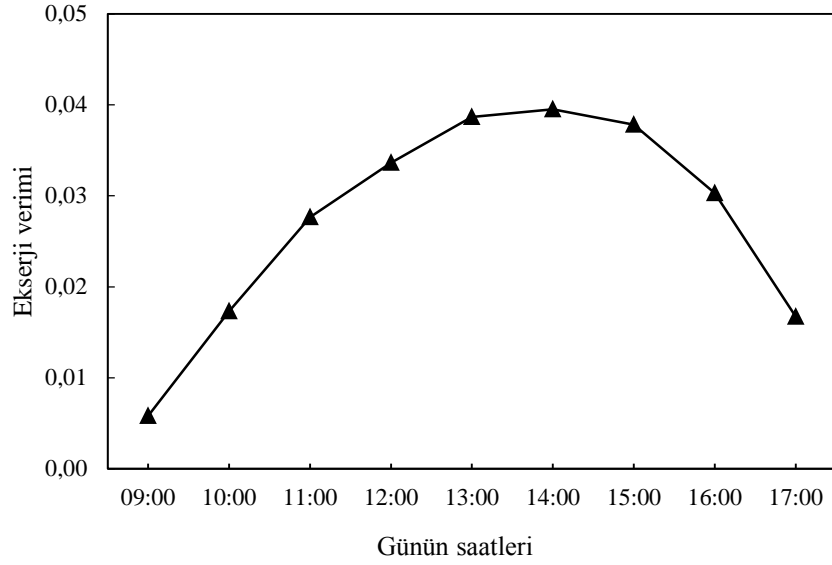
Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Verimi (%)	Tüm Sistemin Ekserji Verimi (%)
09.00	0,1607	0,0467	0,3527	15,0115	10,0123
10.00	0,1629	0,1744	0,7999	27,2959	22,1281
11.00	0,1650	0,3176	1,2531	33,2420	28,8664
12.00	0,1665	0,4027	1,5105	35,5592	31,6075
13.00	0,1679	0,4482	1,6101	37,6403	33,7047
14.00	0,1690	0,4068	1,4599	37,4606	33,2910
15.00	0,1695	0,3243	1,1749	36,6094	31,7943
16.00	0,1693	0,1916	0,7512	32,0660	26,3001
17.00	0,1685	0,0651	0,3302	20,7388	15,0360



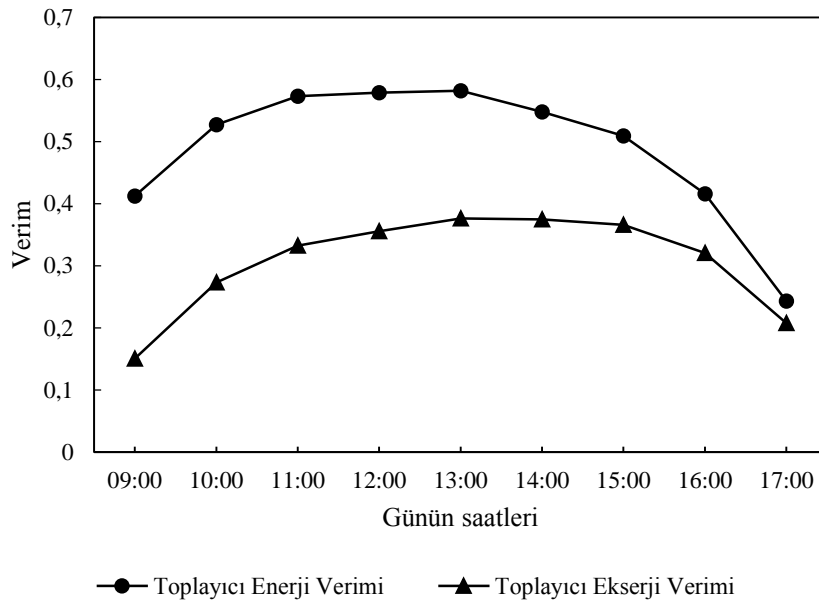
Şekil 4.1. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (1. yöntem)



Şekil 4.2. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem, güneş sıcaklığı 4350 K)



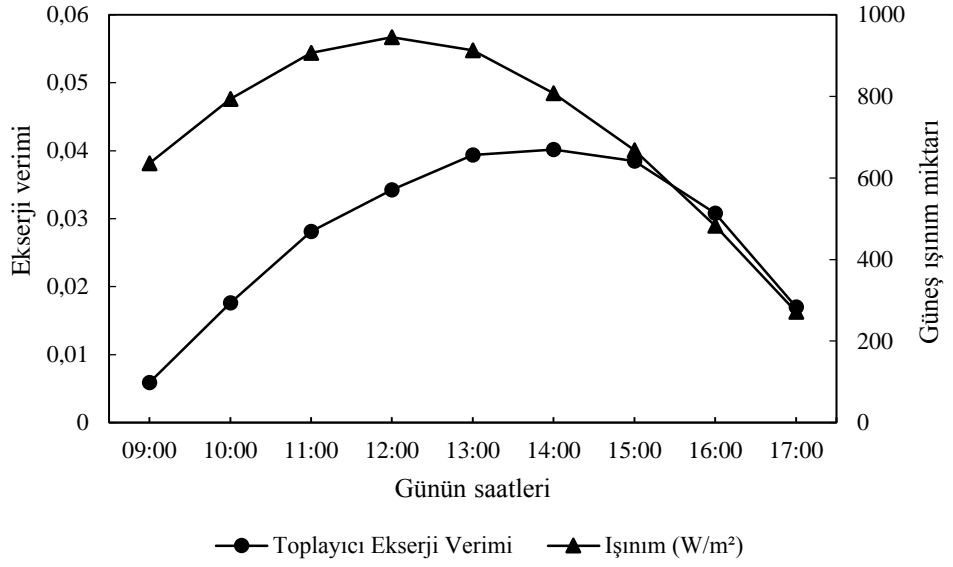
Şekil 4.3. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem, güneş sıcaklığı 6000 K)



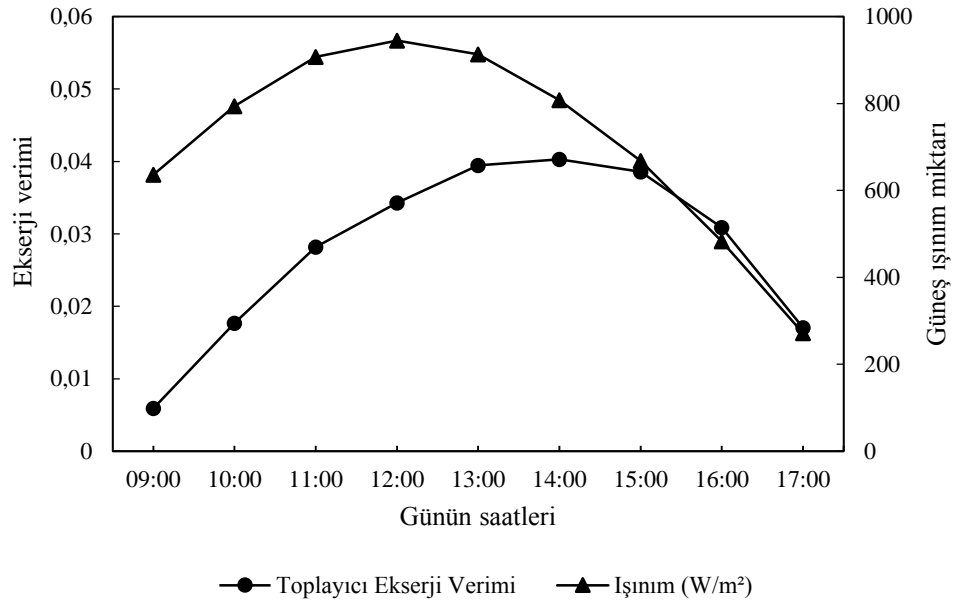
Şekil 4.4. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı enerji ve ekserji verimleri (3. yöntem)

İlk olarak, Ağustos'ta yapılan deney verilerinden yararlanarak yapılan ekserji analizinin yer aldığı grafikler incelenmiştir. Şekil 4.4'de yer alan toplayıcı enerji verimi değerleri

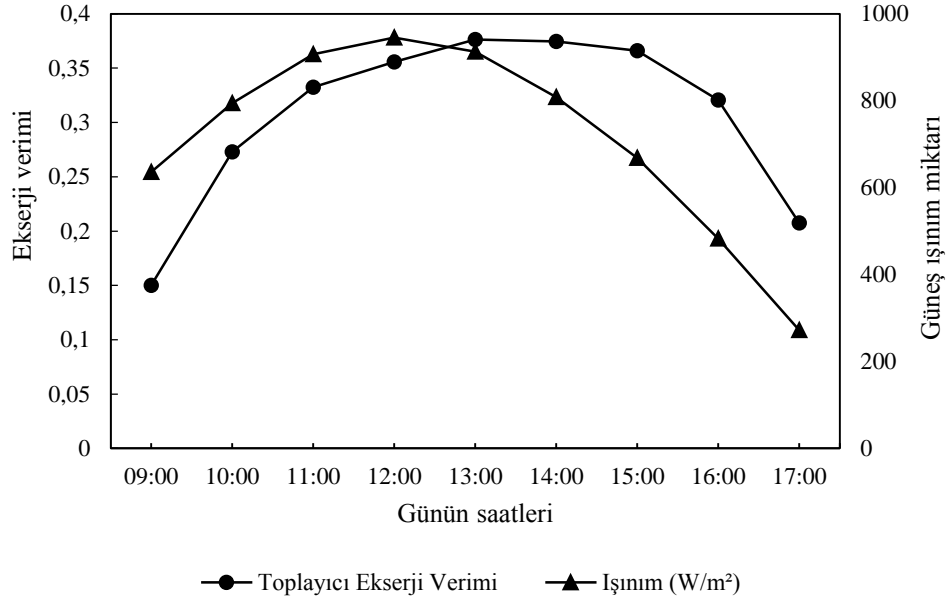
önceden hesaplanmış bulunup Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de yer almaktadır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü üzere ekserji verim değerleri aynı doğrultuda bir eğilim sergilemektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, 1. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %0,59 ile %4,01 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %0,59 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %4,01 ile öğlen saat 14.00 da gerçekleşmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, 2. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %0,59 ile %4,02 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %0,59 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %4,02 ile öğlen saat 14.00’da gerçekleşmiştir. Bu grafikler doğrultusunda ve Çizelge 4.1 ve 4.2’ye bakıldığında, ekserji analizinde ele alınan 1. ve 2. yöntem arasında pek bir fark olmadığı görülmüş olur. Şekil 4.3’de görülen grafik 2. yöntem ile alakalıdır. Spesifik güneş sıcaklığı olarak 6000 K alınmıştır. En yüksek ekserji verimi değeri saat 14.00’da %3,94’dür. En düşük ekserji verimi değeri saat 9.00’da %0,58’dir. 2. yöntemde spesifik Güneş sıcaklığını 4350 K alındığında gün içinde en yüksek ekserji verimi değeri %4,02, spesifik güneş sıcaklığı 6000 K alındığında gün içinde en yüksek ekserji verimi değeri %3,94’dür. Spesifik güneş sıcaklıklarının farklı değerlerde alınarak yaklaşık %2’lik bir farkla sonuca varılmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de görülmektedir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de 1. ve 2. yöntem ile yaklaşık %0,25’lik bir farkla sonuca varılmıştır. Şekil 4.1’de 1. yöntem de spesifik güneş sıcaklığı olarak 6000 K alınırken, Şekil 4.2’de 2. yöntem de spesifik güneş sıcaklığı olarak 4350 K alınmıştır. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere, 3. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %15,01 ile %37,64 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %15,01 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %37,64 ile öğlen saat 13.00’da gerçekleşmiştir. Şekil 4.4 göz önüne alınarak toplayıcılar için enerji-ekserji dengesine bakacak olursa 3. yöntemde enerji verimi, ekserji veriminden fazladır. Bu durum termodinamiğin 1. ve 2. Yasalarına uygun bir durum olduğu görülmektedir. Şekil 4.4’de enerji ve ekserji verimi değerleri aynı doğrultuda eğilim sergilemektedir. Enerji veriminin artması ile birlikte ekserji verimi de artmaktadır, enerji verimi değeri azaldıkça, ekserji verimi değerleri de azalmaktadır. 3. yöntem ile elde edilen ekserji değerleri diğer iki yönteme oranla oldukça fazladır.



Şekil 4.5. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (1. yöntem)

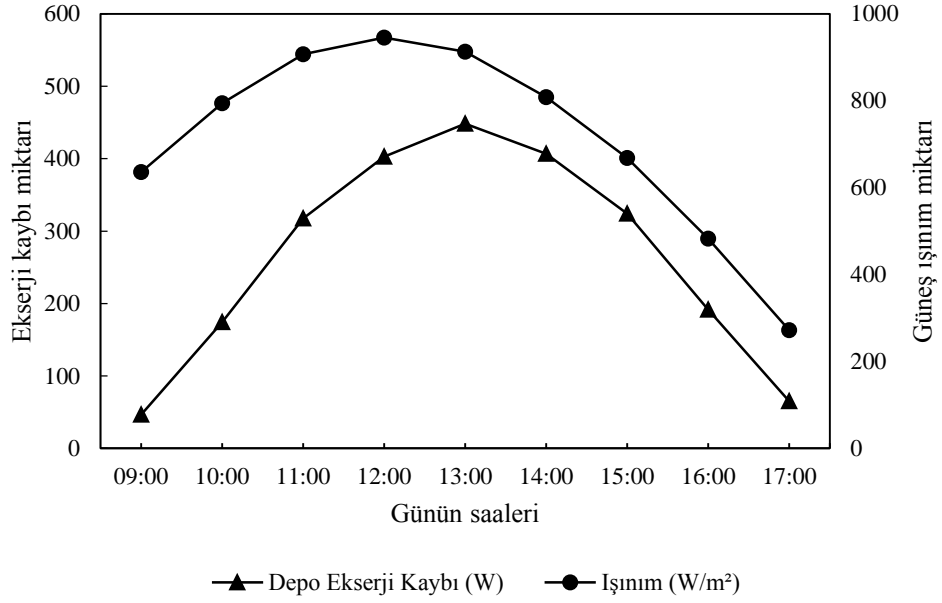


Şekil 4.6. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (2. yöntem)



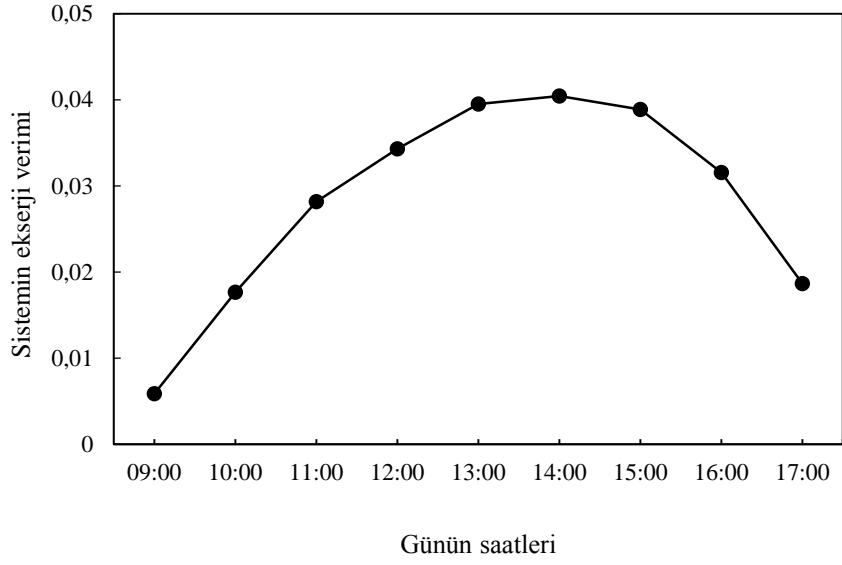
Şekil 4.7. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (3. yöntem)

Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de yer alan grafiklerde, Ağustos ayında toplayıcıya ait ekserji verimi ve eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı görülmektedir. Ekserji verimi değerleri; Şekil 4.5’de 1. yöntemi kullanarak, Şekil 4.6’da 2. yöntemi kullanarak, Şekil 4.7’de ise 3. yöntemi kullanarak bulunan değerlerdir. Üç grafikte de görüldüğü üzere, güneş ışınım miktarı ile toplayıcı ekserji verimi arasında aynı doğrultuda bir eğilim söz konusudur. Işınım miktarı arttıkça toplayıcı ekserji verimi de artmaktadır. Eğik düzleme gelen en düşük ışınım miktarı saat 17.00’da 272 W/m^2 ’dir. Eğik düzleme gelen en yüksek ışınım miktarı ise saat 12.00’da 945 W/m^2 ’dir. 1. ve 2. yöntem için; Işınım miktarının en yüksek olduğu durumda ekserji verimi yaklaşık %3,42, Işınım miktarının en düşük olduğu durumda ekserji verimi yaklaşık %1,7’dir. 3. yöntem için; ; Işınım miktarının en yüksek olduğu durumda ekserji verimi yaklaşık %35,55, Işınım miktarının en düşük olduğu durumda ekserji verimi yaklaşık %20,73’tür. Güneş ışınım miktarının en yüksek olduğu durumda, toplayıcıya giren su sıcaklığı $37,804^\circ\text{C}$ ve toplayıcıdan çıkan su sıcaklığı $47,287^\circ\text{C}$ ’dir.

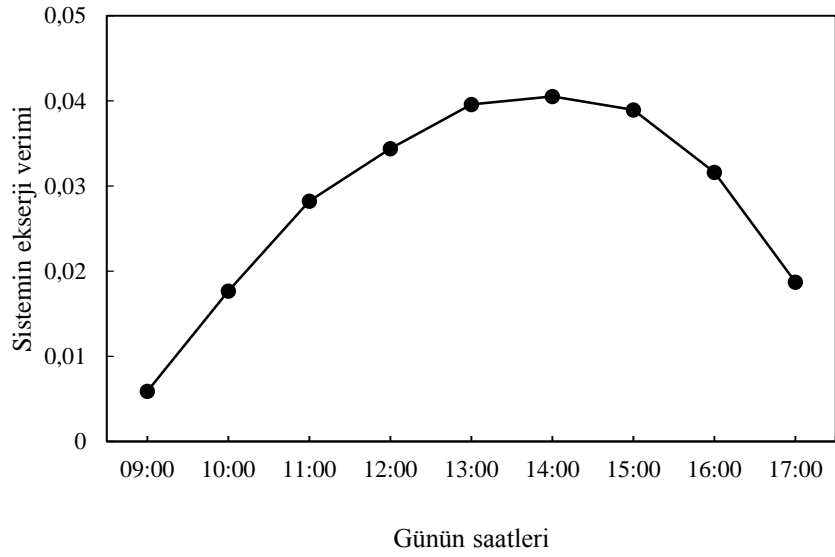


Şekil 4.8. Ağustos ayı için günün saatlerine göre enerji depolama tankına ait ekserji analizi ve güneş ışınım miktarı

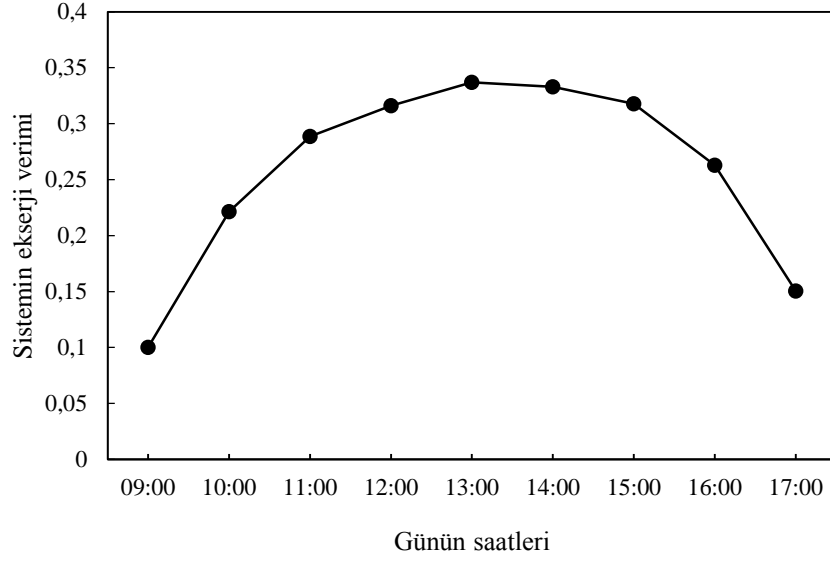
Güneş enerjili su ısıtma sisteminin bölümlerinden olan enerji depolama tankının ekserji kaybı miktarı ile eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı, günün saatlerine göre şekil 4.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, Ağustos ayında toplayıcı yüzeyine düşen güneş ışınım miktarı ile depo ekserji kaybı arasında aynı doğrultuda bir eğilim vardır. Enerji depolama tankında ki ekserji kaybının en yüksek olduğu zaman saat 13.00'da 448,2 W'tır. Enerji depolama tankında ekserji kaybının en yüksek olduğu anda eğik düzleme düşen güneş ışınım miktarı ise 913 W/m²'dir. Sabah 9.00'da güneş ışınım miktarı 636 W/m² ve enerji depolama tankı ekserji kaybı miktarı 46,7 W'tır. Akşam saat 17.00'da enerji depolama tankında gerçekleşen ekserji kaybı miktarı 65,1 W ve aynı zamanda eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı da 272 W/m²'dir.



Şekil 4.9. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (1. yöntem)



Şekil 4.10. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (2. yöntem)



Şekil 4.11. Ağustos ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (3. yöntem)

Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da güneş enerjili su ısıtma sisteminin Ağustos verilerine göre, sistemin ekserji verimi değerleri yer almaktadır. Sistem ekserji verimi, Şekil 4.8'de %0,58 ile %4,04 arasında bulunurken; Şekil 4.9'da %0,58 ile %4,05 arasında bulunmuştur. Şekil 4.10'da %10,01 ile %33,70 arasında bulunmuştur.

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'de Ağustos ayında sistem ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi, tablo halinde sunulmaktadır. Çizelge 4.1'de 1. yöntem kullanılmış, Çizelge 4.2'de 2. yöntem, çizelge 4.3'de 3. yöntem kullanılmıştır. Sistem ekserji verimi bu çizelgelerden yararlanarak 1. ve 2. yöntem açısından kıyaslanacak olursa, kayda değer bir fark olmadığını ve neredeyse iki yönteminde aynı sonucu verdiği kanısına varılır. Sistem ekserji verimi açısından 3. yöntem, 1. ve 2. yöntemlere göre oldukça fazla çıkmaktadır.

Çizelge 4.4. 1.yöntem ile ekserji analizi sonuçları (Eylül)

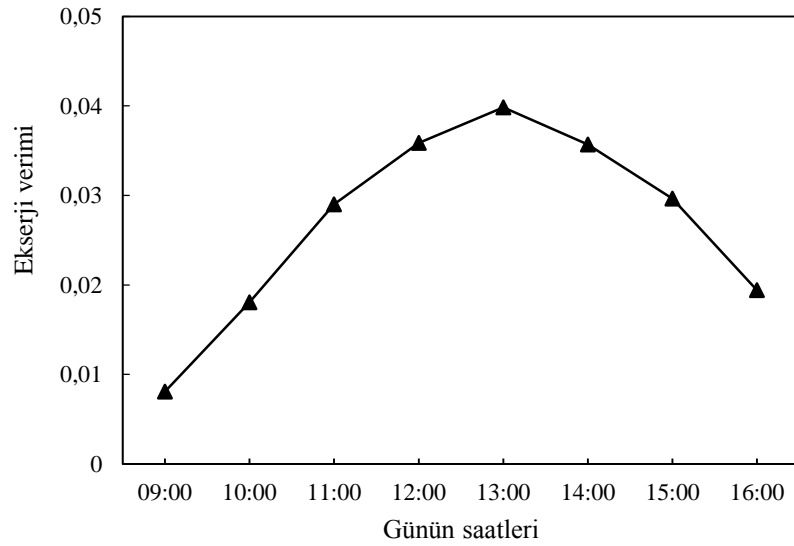
Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Verimi (%)	Tüm Sistemin Ekserji Verimi (%)
09.00	0,1607	0,1005	12,4489	0,8080	0,8035
10.00	0,1629	0,2768	15,4347	1,8065	1,8067
11.00	0,1656	0,5188	18,2100	2,8999	2,9055
12.00	0,1677	0,6603	18,8456	3,5870	3,5978
13.00	0,1694	0,7306	18,8222	3,9839	4,0006
14.00	0,1706	0,5842	16,6532	3,5672	3,5973
15.00	0,1710	0,3935	13,2830	2,9657	3,0132
16.00	0,1711	0,1850	9,1418	1,9401	2,0271

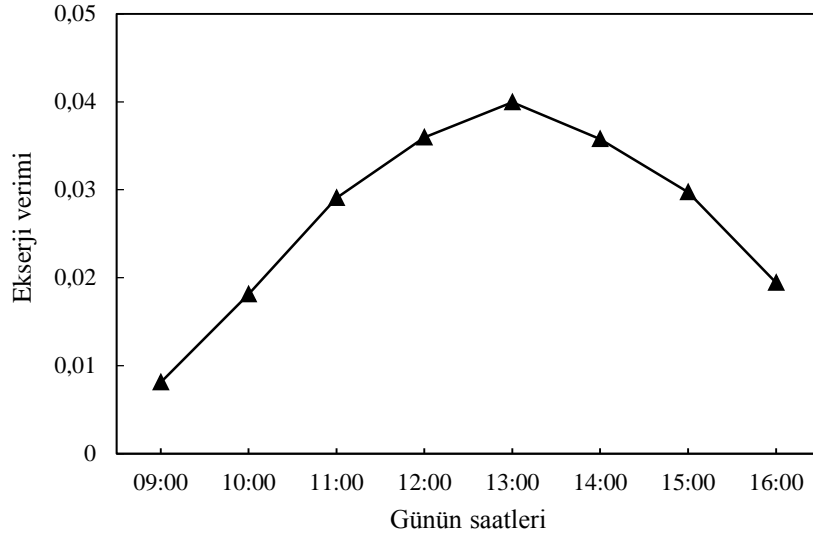
Çizelge 4.5. 2.yöntem ile ekserji analizi sonuçları (Eylül)

Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı 2. Yasa Verimi (%)	Tüm Sistemin 2. Yasa Verimi (%)
09.00	0,1607	0,1005	12,4188	0,8100	0,8054
10.00	0,1629	0,2768	15,3976	1,8110	1,8111
11.00	0,1656	0,5188	18,1667	2,9071	2,9126
12.00	0,1677	0,6603	18,8011	3,5958	3,6065
13.00	0,1694	0,7306	18,7780	3,9936	4,0103
14.00	0,1706	0,5842	16,6139	3,5760	3,6061
15.00	0,1710	0,3935	13,2515	2,9730	3,0205
16.00	0,1711	0,1850	9,1199	1,9448	2,0320

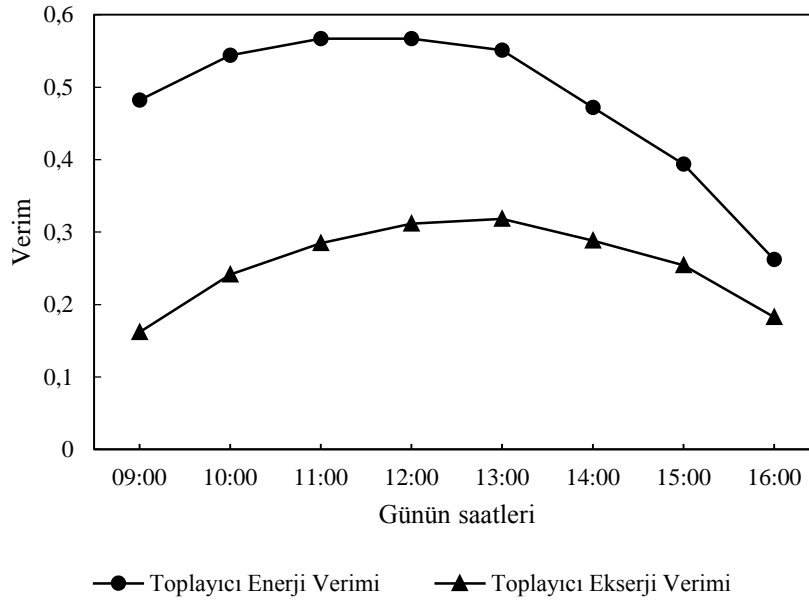
Çizelge 4.6. 3.yöntem ile ekserji analizi sonuçları (Eylül)

Günün saati	Sirkülasyon Pompası Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Depolama Tankı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı Ekserji Kaybı (kW)	Toplayıcı 2. Yasa Verimi (%)	Tüm Sistemin 2. Yasa Verimi (%)
09.00	0,1607	0,1005	0,7170	16,1654	12,9311
10.00	0,1629	0,2768	1,4090	24,1291	21,3737
11.00	0,1656	0,5188	2,3148	28,4855	26,4492
12.00	0,1677	0,6603	2,7483	31,1388	29,2725
13.00	0,1694	0,7306	2,9864	31,8338	30,1224
14.00	0,1706	0,5842	2,5643	28,8136	27,1629
15.00	0,1710	0,3935	1,8875	25,4226	23,6372
16.00	0,1711	0,1850	1,1281	18,2357	16,6088

**Şekil 4.12.** Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (1. yöntem)



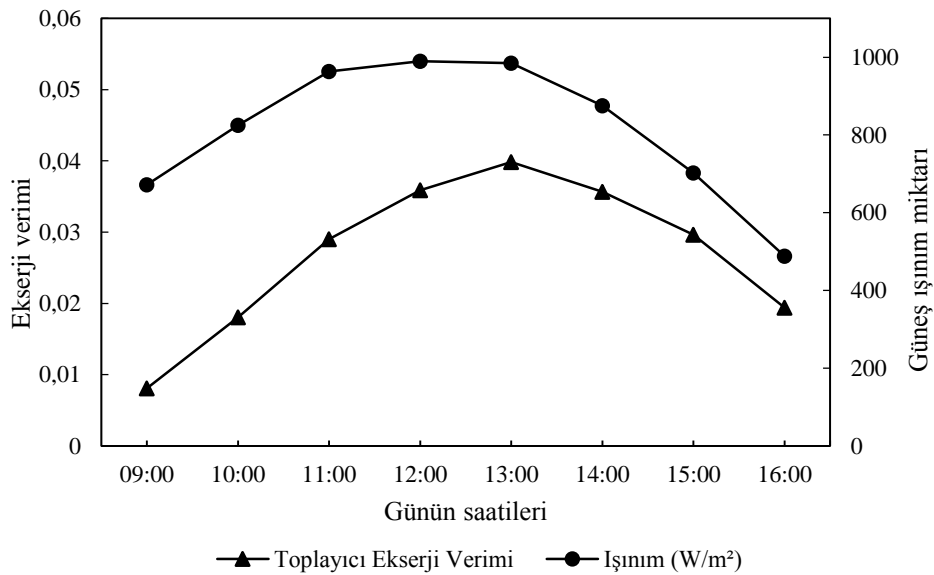
Şekil 4.13. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri (2. yöntem)



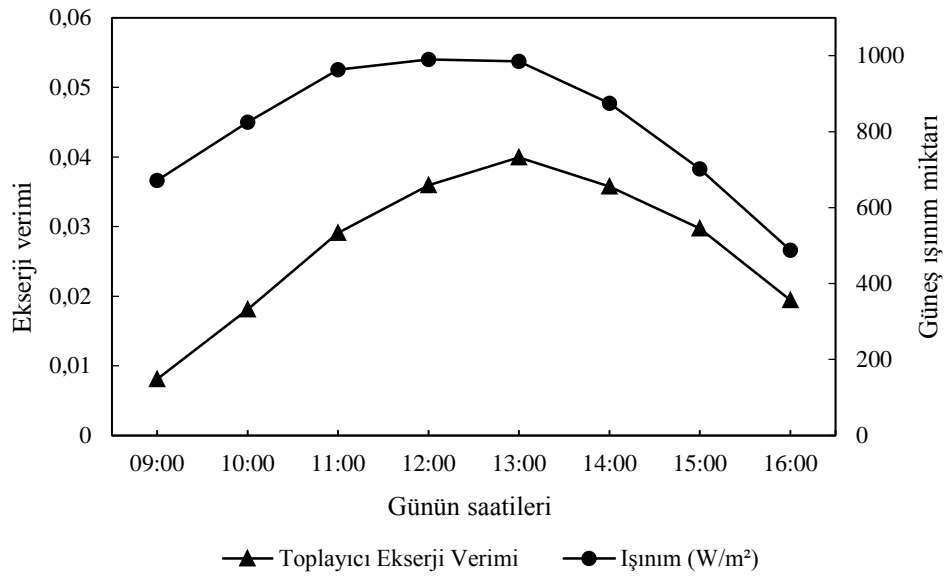
Şekil 4.14. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı enerji ve ekserji verimleri (3. yöntem)

Eylül ayı deney verilerinden yararlanarak yapılan ekserji analizine ait olan grafikler incelenmiştir. Şekil 4.14'de yer alan toplayıcı enerji verimi değerleri önceden hesaplanmış bulunup Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de yer almaktadır. Şekil 4.12, Şekil

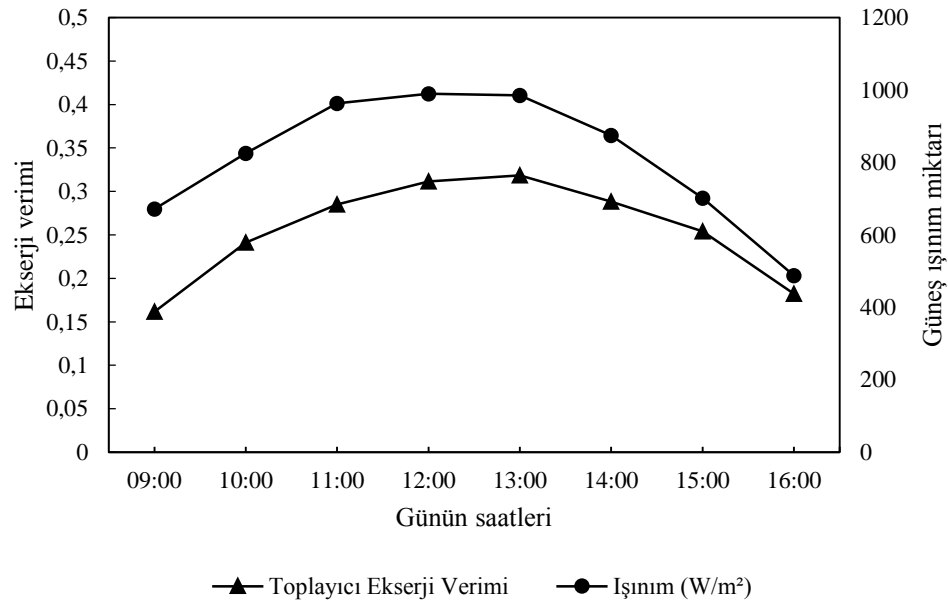
4.13 ve Şekil 4.14’de görüldüğü üzere, ekserji verim değerleri aynı doğrultuda bir eğilim sergilemektedir. Şekil 4.14’de toplayıcı enerji verimi değerleri arttıkça, toplayıcı ekserji verimi değerleri de artmaktadır. Şekil 4.12’de görüldüğü üzere 1. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %0,80 ile %3,98 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %0,80 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %3,98 ile öğlen saat 13.00’da gerçekleşmiştir. Şekil 4.13’de görüldüğü üzere, 2. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %0,81 ile %3,99 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %0,81 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %3,99 ile öğlen saat 13.00 da gerçekleşmiştir. Şekil 4.14’de, 3. yöntem ile hesaplanan toplayıcıya ait ekserji verim değeri %16,16 ile %31,83 arasında değerler almaktadır. En düşük ekserji verim değeri %16,16 ile sabah saat 9.00’da ve en yüksek ekserji verim değeri ise %31,83 ile öğlen saat 13.00’da gerçekleşmiştir. Bu grafikler doğrultusunda ve Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’ya bakıldığında, ekserji analizinde ele alınan 1. ve 2. yöntem arasında pek bir fark olmadığı görülmüştür. 3. yöntem ise diğer iki yönteme göre oldukça yüksek ekserji verim değerleri vermektedir. Şekil 4.14’de toplayıcı enerji verimi, toplayıcı ekserji verimine göre daha fazladır. Bu durum termodinamik açıdan olağandır.



Şekil 4.15. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (1. yöntem)



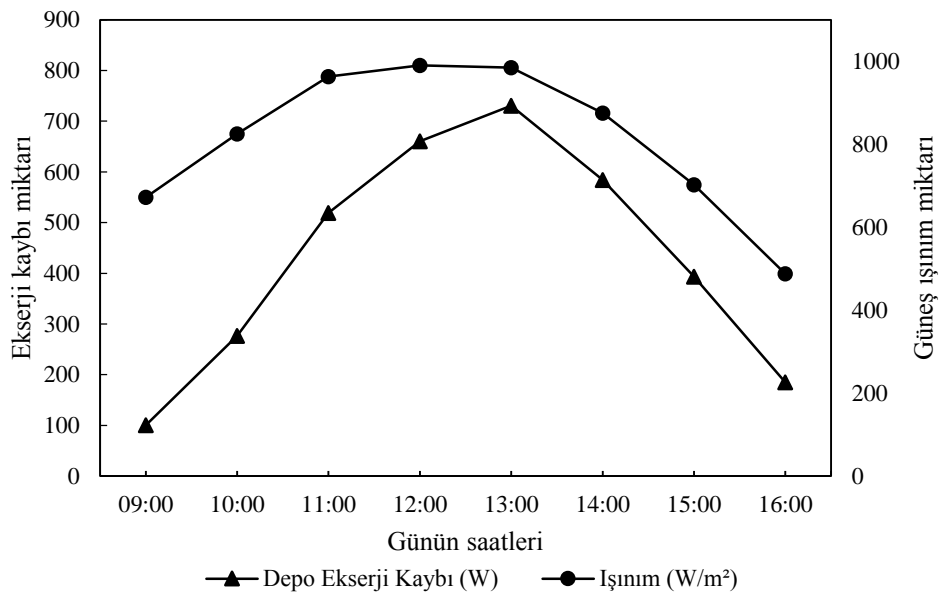
Şekil 4.16. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (2. yöntem)



Şekil 4.17. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimi ve güneş ışınım miktarı (3. yöntem)

Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'da yer alan grafiklerde, Eylül ayında toplayıcıya ait ekserji verimi ve eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı görülmektedir. Tüm grafikler de

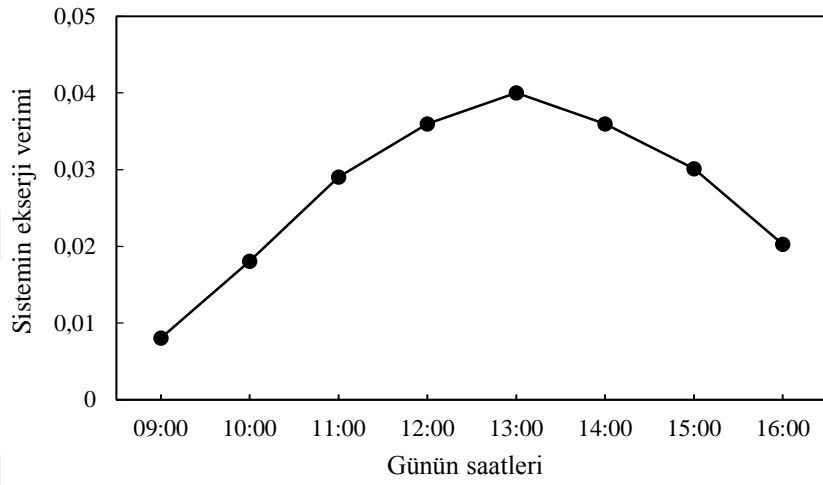
görüldüğü üzere, güneş ışınım miktarı ile toplayıcı ekserji verimi arasında aynı doğrultuda bir eğilim söz konusudur. Güneş ışınım miktarı arttıkça, toplayıcı ekserji verimi de artmaktadır. Eğik düzleme gelen en düşük ışınım miktarı saat 16.00'da 488 W/m²'dir. Eğik düzleme gelen en yüksek ışınım miktarı ise saat 12.00'da 990 W/m² dir. 1. ve 2. yöntem için; Işınım miktarının en yüksek olduğu durumda, toplayıcıdaki ekserji verimi yaklaşık %3,60, Işınım miktarının en düşük olduğu durumda, ekserji verimi yaklaşık %1,94'tür. 3. yöntem için; Işınım miktarının en yüksek olduğu durumda, toplayıcıdaki ekserji verimi yaklaşık %31,83, Işınım miktarının en düşük olduğu durumda, ekserji verimi yaklaşık %16,16'dır. Güneş ışınım miktarının en yüksek olduğu durumda, toplayıcıya giren su sıcaklığı 40,22°C ve toplayıcıdan çıkan su sıcaklığı 53,056°C'dir.



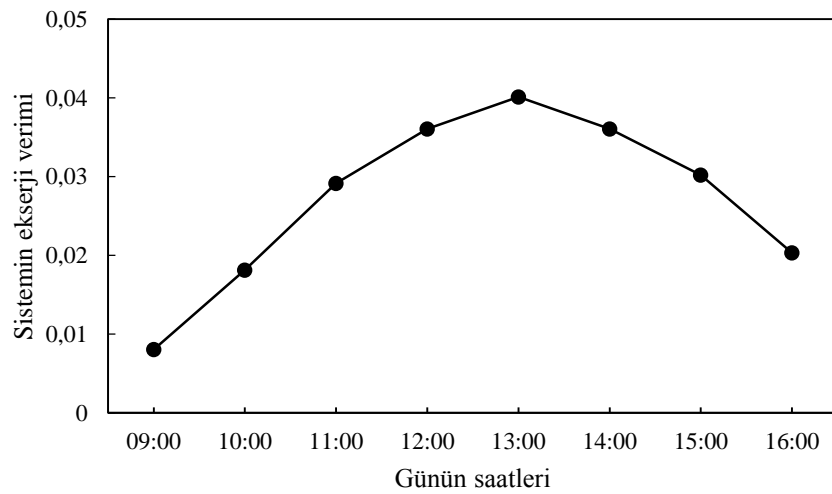
Şekil 4.18. Eylül ayı için günün saatlerine göre enerji depolama tankına ait ekserji kaybı ve güneş ışınım miktarı

Enerji depolama tankının ekserji kayıp miktarı ile eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı, günün saatlerine göre Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, toplayıcı yüzeyine düşen güneş ışınım miktarı ile depo ekserji kaybı arasında aynı doğrultuda bir eğilim vardır. Enerji depolama tankındaki ekserji kaybının en yüksek olduğu zaman, saat 13.00'da 730,6 W'tır. Enerji depolama tankında ekserji kaybının en

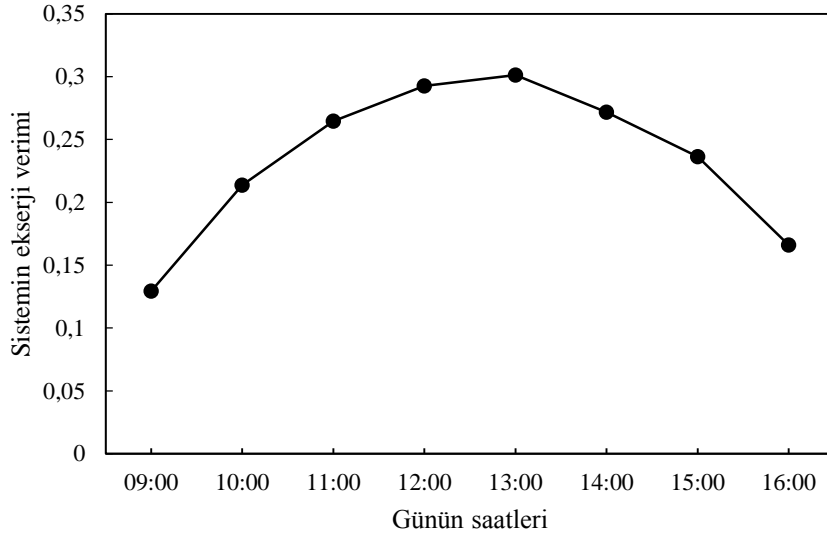
yüksek olduğu anda, eğik düzleme düşen güneş ışınım miktarı 985 W/m^2 'dir. Sabah 9.00'da güneş ışınım miktarı 672 W/m^2 ve enerji depolama tankı ekserji kaybı miktarı $100,5 \text{ W}$ 'tır. Akşam saat 16.00'da enerji depolama tankında gerçekleşen ekserji kaybı miktarı ise 185 W ve aynı zamanda eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı da 488 W/m^2 'dir.



Şekil 4.19. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (1. yöntem)



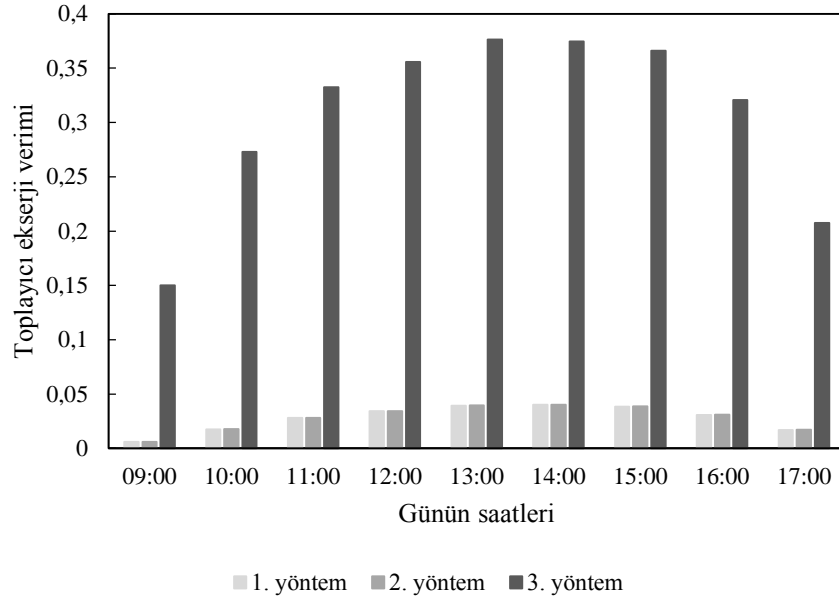
Şekil 4.20. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (2.yöntem)



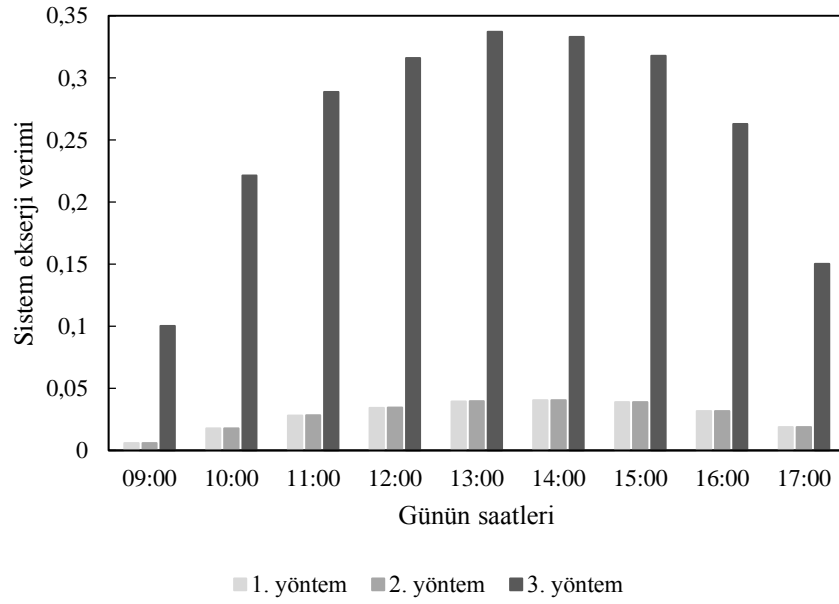
Şekil 4.21. Eylül ayı için günün saatlerine göre güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimi (3.yöntem)

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de güneş enerjili su ısıtma sisteminin, Eylül verilerine göre ekserji verimi değerleri yer almaktadır. Sistem ekserji verimi şekil 4.19’de %0,8 ile %4 arasında bulunmuştur. Sistem ekserji verimi şekil 4.20’da %0,80 ile %4,01 arasında bulunmuştur. Sistem ekserji verimi Şekil 4.21’de ise %12,93 ile %30,12 arasında bulunmuştur. Grafiklerde de görüldüğü gibi sistemin ekserji verimi değerleri öğlen saatlerinde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Sabah ve akşam vakitlerinde sistem ekserji verimi değerleri öğlen vakitlerine göre azdır. Bu durum eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarıyla doğrudan alakalı olduğu aşikârdır.

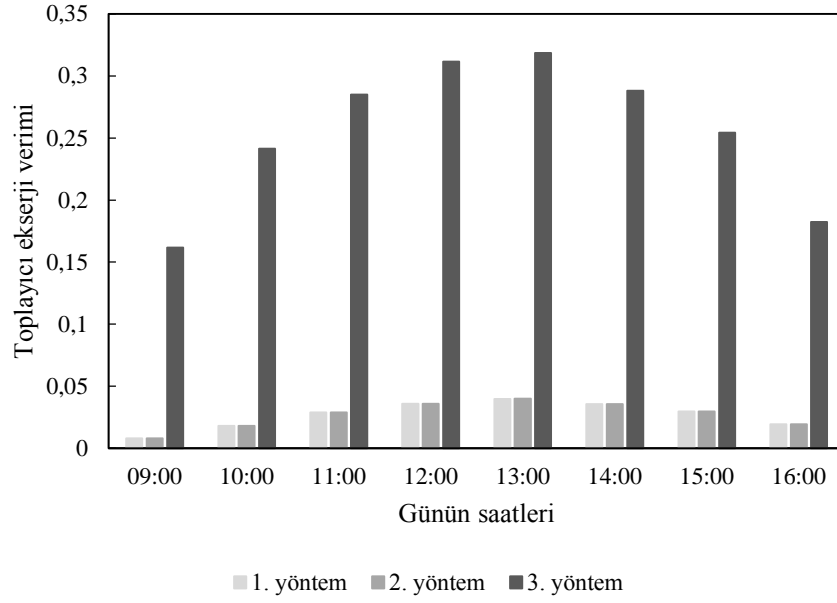
Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da sistem ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi tablo halinde sunulmaktadır. Çizelge 4.4’de 1. yöntem ile elde edilen ekserji analiz sonuçları yer almış ve Çizelge 4.5’de 2. yöntem ile elde edilen ekserji analiz sonuçları yer almıştır. Çizelge 4.6’da 3. yöntem ile elde edilen ekserji analiz sonuçları yer almıştır. Sistem ekserji verimi bu çizelgelerden yararlanarak 1. ve 2. yöntem açısından kıyaslanacak olursa, kayda değer bir fark olmadığını ve neredeyse iki yöntemde aynı sonucu verdiği kanısına varılır. 3. yöntem açısından incelenmiş, diğer iki yönteme göre oldukça yüksek ekserji verim değeri vermiştir.



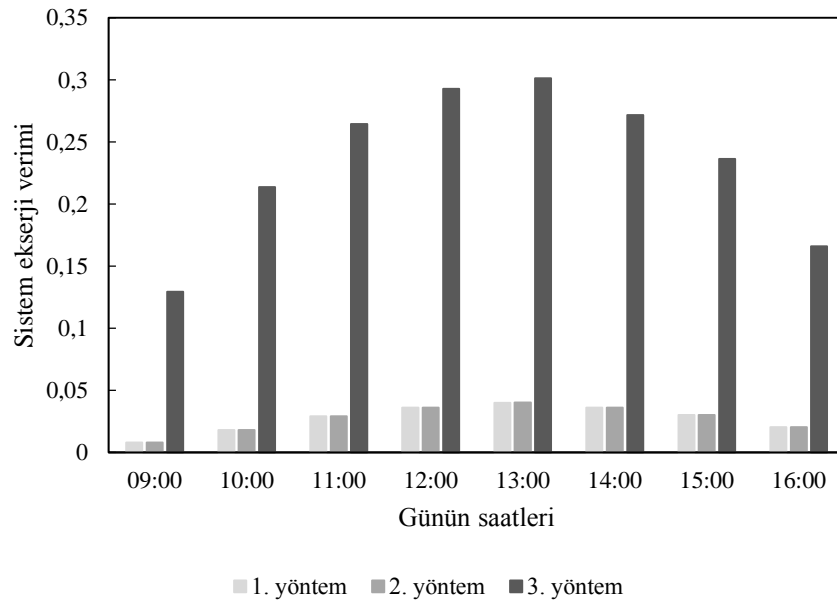
Şekil 4.22. Ağustos ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri



Şekil 4.23. Ağustos ayı için günün saatlerine göre sistem ekserji verimleri



Şekil 4.24. Eylül ayı için günün saatlerine göre toplayıcı ekserji verimleri



Şekil 4.25. Eylül ayı için günün saatlerine göre sistem ekserji verimleri

Şekil 4.22’de Ağustos ayı verileri ile elde edilen toplayıcı ekserji verim değerleri, kullanılan 3 yöntem ile birlikte yer almaktadır. Şekil 4.23’de Ağustos ayı verileri ile elde edilen sistem ekserji verim değerleri, kullanılan 3 yöntem ile birlikte yer

almaktadır. Şekil 4.24’de Eylül ayı verileri ile elde edilen toplayıcı ekserji verim değerleri, kullanılan 3 yöntem ile birlikte yer almakta ve Şekil 4.25’de ise Eylül ayı verileri ile elde edilen sistem ekserji verim değerleri, kullanılan 3 yöntem ile birlikte yer almaktadır. Her üç yöntemde de en yüksek ekserji verim değerlerine öğlen saatlerinde ulaşılmaktadır. Bu durum öğlen saatlerinde artan güneş ışınım miktarı ile alakalıdır. Güneş ışınimleri düzlemsel toplayıcılara öğlen vakitlerinde dik açı ile vurmaktadır. Bu durum ışınımlardan tam olarak faydalanıldığını göstermektedir. Güneşin etkisini kaybetmeye başladığı saatlerde ekserji değerinde düşüş gözlemlenmektedir. Bu vakitlerde güneş ışınları, toplayıcı üzerine açılı olarak geldiği için toplayıcıdan yansımalar olacaktır. Bu durum ekserji verimini etkilemektedir. Genel olarak bakıldığında 1. yöntem ve 2. yöntem değerlerinin birbirine yakın olduğu, 3. yöntem değerlerinin ise diğer iki yönteme göre oldukça yüksek değerler verdiği gözlemlenebilir. Bu durumu şöyle açıklayabiliriz; 1. ve 2. yöntemlerde güneş sıcaklığı (4350 K ve 6000 K) değerleri temel alınmaktadır. 3. yöntem de ise toplayıcı yüzey sıcaklığı değerleri temel alınmaktadır. Yapılan çalışmada en yüksek toplayıcı yüzey sıcaklığı değeri 337,43 K bulunmuştur. Bu üç değer ve sonuca vardığımız denklemler göz önüne alındığında durumun olağan olduğu görülmektedir. 3. yöntemde temel alınan yüzey sıcaklığı değerleri, spesifik güneş sıcaklığı değerine göre düşüktür. Buda sonuçların yüksek çıkmasını sağlamaktadır.

Yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçların literatürle karşılaştırılması yapılmıştır. İlk başta incelemiş olduğumuz 1. yöntem ile alakalı literatür karşılaştırması sonrasında, 2. yöntem ve 3. yöntem ile alakalı literatür karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Literatürde 1. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama

Çalışma	Akışkan	Akışkan debisi (kg/s)	Işınım (W/m ²)	Ekserji verimi (%)
Akdemir	Su	0,005	1000	4,3
Hepbaşı ve Günerhan	Su	0,026 - 0,046	662 - 852	2,02 - 3,37
Chamoli	Su	0,008	600	4
Yıldızhan	%40 Antifriz + Su	0,277 - 0,494	625 - 781	1,08 - 1,82
Cantos vd.		0,05782	1000	≈2,4
Bu çalışmada	Su	0,18	272 - 945	0,5909 - 4,0190
Bu çalışmada	Su	0,18	488 - 990	0,8080 - 3,9839

Akdemir 2007 yılında yapmış olduğu çalışmasında, 1. ve 2. yöntemi kullanmıştır. Akdemir çalışmasında 1. ve 2. yöntemde güneş sıcaklığını 6000 K almıştır. Buna karşılık 1. yöntem, 2. yönteme göre %7,09 daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. Hepbaşı ve Günerhan 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada, güneş enerjili bir su ısıtma sistemi üzerinde yapılmış olan deney verilerinden yararlanarak, ekserji analizi yapmışlardır. Yaptıkları analizde toplayıcı ekserji verimi %2,02 - 3,37 arasında bulunmuştur. Chamoli 2013 yılında yapmış olduğu çalışmasında, düzlemsel güneş kolektörünün ekserji analizini analitik olarak yapmıştır. Çalışmasında Matlab programında termal ve matematiksel bir model oluşturmuştur. Optimum şartlar düşünülerek oluşturduğu modelde, %4 lük bir ekserji verimine ulaşmıştır. Yıldızhan 2013 yılında ki çalışmasında farklı akışkan debilerinde toplayıcıya ait ekserji analizini yapmıştır. Çalışması sonucunda toplayıcıda %1,08- 1,82 arasında ekserji verimine ulaşmıştır. Cantos *et al.* 2018 yılında yaptığı çalışmasında, 1000 W/m²'lik ışınım ve 0,05782 kg/s'lik debi sonucunda yaklaşık %2,4 ekserji verimine ulaşmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında, kullanılan 1. yöntem sonucunda, gün boyunca elde edilen toplayıcı ekserji verimleri, literatürle kıyaslandığında olağan bir durum olduğu sonucuna varıldı. Bu tip pasif güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve sistem bileşenlerinin, çeşitli iyileştirme çalışmalarıyla performansının artacağı ve ekserji verimlerinde artış gözlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.8. Literatürde 2. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama

Çalışma	Akışkan	Akışkan debisi (kg/s)	Işınım (W/m ²)	Ekserji verimi, (%)
Akdemir	Su	0,005	1000	4
Jafarkazemi ve Ahmedifard	Su	0,03 - 0,05	204 - 968	1 - 7
Ge vd.	Su	0,05	800	5,96
Yatarkalkmaz	Su	≈ 0,0325	987 - 1054	1 - 5
Lebar ve Dillon	Su	0,005	838 - 1248	0,61 - 7,03
Hasan vd.	Su	≈ 0,002	200 - 1000	1 - 4
Bu çalışmada	Su	0,18	272 - 945	0,5923 - 4,0289
Bu çalışmada	Su	0,18	488 - 990	0,8100 - 3,9936

Akdemir 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada nonizotermal bir model üzerine güneş toplayıcılarının 2. Yasa verimini incelemiştir. Akdemir yaptığı çalışmasında, bu çalışmada ele alınan 1. yöntem ve 2. yönteme yer vermiştir. Güneş sıcaklığı olarak her iki yöntemde de 6000 K almıştır. Çalışmasında varmış olduğu sonuca göre, 1. yöntem 2. yönteme göre %7,09 daha fazla olduğu söylenebilir. Yapılan bu çalışmada 1. yöntemde güneş sıcaklığı 6000 K ve 2. yöntemde 4350 K alınmıştır. Optimum şartlar göz önüne alındığında, 2. yöntemin 1. yönteme göre %0,16 daha fazla olduğu görülmektedir. Jafarkazemi ve Ahmadifard tarafından yapılan bu çalışma, kolektördeki çalışma sıvısı için optimum akış hızını belirlemeyi ve 0,03 kg/s'ye yakın akış hızlarının %7'ye yakın ekserji verimi ile sonuçlandığını tespit etti. Ge vd. Düzlemsel bir toplayıcı üzerinde çalışmışlardır. 800 W/m² ışınım şiddetinde %5,96 oranında ekserji verimi elde etmişlerdir. Yatarkalkmaz 2016 yılında ki çalışmasında düz plakalı kolektör ve vakum tüplü kolektör için ekserji analizi yapmıştır. Düz plakalı kolektör için Çeşitli çalışma sıcaklıklarında 16 adet ölçüm yapılmıştır. 66°C'lik çalışma sıcaklığında, 987 W/m² güneş ışınım değerinde yaklaşık olarak %5'lik ekserji verimine ulaşılmıştır. Lebar ve dillon'un 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada, sözünü ettiğimiz 2. yöntem ile analiz yapılmıştır. Hibrit bir güneş toplayıcısı tasarlamışlardır. Düzlemsel toplayıcı ve vakum tüplü toplayıcıdan oluşan tasarımları ile 4 ay boyunca ölçüm yapmışlardır. Göz önüne aldıkları 14 farklı ölçüm ile sonuca gidilmeye çalışılmıştır. Ortalama olarak yaklaşık %4 lük bir ekserji verimi söz konusudur. Hasan vd. Serpantin tipi bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini yapmışlardır. Çeşitli varsayımlardan yararlanarak ve Matlab optimizasyon araç kutusunu kullanarak maksimum ekserji

verimliliği için ekserjetik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Optimum koşullarda ekserji verimi 3,72 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, 2. yöntem kullanılarak Ağustos ayında yapılan ekserji analizinde gün boyunca %0,5923 ile %4,0289 arasında toplayıcı ekserji verimi değerlerine ulaşılmıştır. Eylül ayında yapılan ekserji analizinde gün boyunca %0,81 ile %3,9936 toplayıcı ekserji verimi değerlerine ulaşılmıştır. Optimum şartlarda elde edilen %4,0289'lık ve %3,9936'lık ekserji verimi, yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında olağan olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Literatürde 3. yöntem ile yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslama

Çalışma	Akışkan	Akışkan debisi (kg/s)	Işınım (W/m ²)	Ekserji verimi (%)
Çomaklı	Su	0,136	320,9 - 901,9	8 - 28
Çomaklı	Su	0,18	604 - 903	8 - 34
Bu çalışmada	Su	0,18	272 - 945	10,01 - 33,70
Bu çalışmada	Su	0,18	488 - 990	12,93 - 30,12

Çomaklı 12 Ağustos'ta yaptığı çalışmasında bir kapalı devre dolaşimli güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini yapmıştır. Çalışmasında sabit bir akışkan debisi ile gün içinde en fazla %28 sistem ekserji verimine, en düşük %8 sistem ekserji verimine ulaşmıştır. Bu çalışmada Ağustos verilerinden yararlanarak yapılan ekserji analizinde en düşük %10,01, en yüksek %33,70 sistem ekserji verimine ulaşılmıştır. Çomaklı 1 Eylül'de yaptığı çalışmasında bir paralel bağlı güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji analizini yapmıştır. Çalışmasında sabit bir akışkan debisi ile gün içinde en fazla %34 sistem ekserji verimine, en düşük %8 sistem ekserji verimine ulaşmıştır. Bu çalışmada Eylül verilerinden yararlanarak yapılan ekserji analizinde en düşük %12,93, en yüksek %30,12 sistem ekserji verimine ulaşılmıştır. İki çalışmanın kıyaslanmasında, Ağustos ayı verileri için, sistem ekserji verimi bakımından bu çalışmanın verilerinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Eylül ayı verileri için ise kayda değer bir fark olmadığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, güneş enerjili su ısıtma sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin, Erzurum şartlarında elde edilen deneysel verilerinden yararlanılmış, ekserji analizi yapılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ekserji analizi ile bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin performansı, temel sistem bileşenleri (örneğin, güneş kolektörü, sirkülasyon pompası ve enerji depolama tankı) ile birlikte değerlendirilmiştir. Ağustos ve Eylül ayına ait deneysel verilerden yararlanılarak, üç farklı yöntemle sonuca gidilmiştir. Elde edilen ekserji verimi ölçüleri, literatürde yapılan çalışmalarla kıyaslanmıştır. Bunun yanında, Erzurum şartlarında 4 kişilik bir aile için tasarlanan güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Ekonomik analiz verileri ve ekserji analiz sonuçları sunulmuş ve bu konuda genel bir kaniya varılması için öneriler verilmiştir. Sonuç olarak, incelemiş olduğumuz güneş enerjili su ısıtma sisteminin Erzurum şartlarında kullanılabilirliği hakkında fikir ve öneriler sunulmuştur.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekserji verimlilik değerleri, güneş toplayıcıları ve sistem için Çizelge 5.1’de verilmiştir. Kullanılan yöntemlere ait ekserji analizi sonuçları çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Yapılan çalışmada, elde edilen sonuçlar

Yöntem	Tarih	Güneş toplayıcıları ekserji verimi (%)	Sistem ekserji verimi (%)
1. yöntem	Ağustos verileri	0,59 - 4,01	0,58 - 4,04
	Eylül verileri	0,80 - 3,98	0,80 - 4,00
2. yöntem	Ağustos verileri	0,59 - 4,02	0,58 - 4,05
	Eylül verileri	0,81 - 3,99	0,80 - 4,01
3. yöntem	Ağustos verileri	15,01 - 37,64	10,01 - 33,70
	Eylül verileri	16,16 - 31,83	12,93 - 30,12

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Ağustos ayında 1. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 14.00’da % 4,01 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,79 olarak hesaplanmıştır.

Ekserji veriminin en yüksek olduğu 14.00'da toplayıcıda ki ekserji miktarı 0,397 kW ve toplayıcı giriş ve çıkışı arasındaki fark 7,786°C'dir. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Ağustos ayında 1. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 14.00'da % 4,04 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi %2,83 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 14.00'da depoda ki ekserji miktarı 0,406 kW ve saatlik depo üst sıcaklığı 34,503°C'dir.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Eylül ayında 1. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 3,98 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,69 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 13.00'da toplayıcıda ki ekserji miktarı 0,721 kW ve toplayıcı giriş ve çıkışı arasındaki fark 12,414°C'dir. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Eylül ayında 1. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,71 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 13.00'da depoda ki ekserji miktarı 0,730 kW ve saatlik depo üst sıcaklığı 35,284°C'dir.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Ağustos ayında 2. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 14.00'da % 4,02 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,80 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 14.00'da toplayıcıda ki ekserji miktarı 0,397 kW'tır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Ağustos ayında 2. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 14.00'da % 4,05 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,84 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 14.00'da depoda ki ekserji miktarı 0,4068 kW'tır.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Eylül ayında 2. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 3,99 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,70 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 13.00'da toplayıcıda ki ekserji miktarı 0,7211 kW'tır. Güneş enerjili

su ısıtma sisteminin Eylül ayında 2. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 4,01 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 2,72 olarak hesaplanmıştır. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 13.00'da depoda ki ekserji miktarı 0,7306 kW ve saatlik depo üst sıcaklığı 35,284°C'dir.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Ağustos ayında 3. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 37,64 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 30,62 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Ağustos ayında 3. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 33,70 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 25,86 olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcıları için Eylül ayında 3. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 31,83 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 25,52 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Eylül ayında 3. yöntem ile yapılan ekserji analizinde en yüksek ekserji verimi saat 13.00'da % 30,12 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca günlük ortalama ekserji verimi % 23,44 olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin toplayıcılarında ağustos ayında, günlük ortalama ekserji verimi hesabında 1. ve 2. yöntem arasında % 0,35 fark vardır. En yüksek ekserji verim değerlerine ulaştığı zamanda yöntemler arasında % 0,24 fark vardır. 2. yöntem de spesifik güneş sıcaklığı 6000 K alındığı durumda 1. ve 2. yöntem arasında günlük ortalama ekserji verimi hesabında %1,76 fark vardır.

Erzurum şartlarında bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin Erzurum şartlarında gerekli toplayıcı yüzey alanı 2,8 m² bulundu. Erzurum şartlarında 4 kişilik bir aile için hesaplanan Güneş enerjili su ısıtma sisteminin maliyeti yaklaşık olarak 2550 TL bulundu. Sistemin geri ödeme

süresinin hesaplanmasında doğalgaz, elektrik ve kömür ile kıyaslandı. Güneş enerjili su ısıtma sisteminden elde edilen 200 kg suyun, diğer sistemlerden elde edilmesi durumunda basit ekonomik analiz yöntemine göre sistemlerin geri ödeme süreleri doğalgaz için 6,96 yıl, elektrik için 1,81 yıl, kömür için ise 6,92 yıl bulundu.

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri tasarım uygulamalarında, ekserji veriminin dikkate alınması gerekir. Sistemler üzerinde yapılacak iyileştirmelerle, ekserji verimi üzerinde önemli ölçülerde artış sağlanacaktır. Sistem ısı taşıyıcı akışkanı olarak nano akışkan kullanılması ve farklı akışkan debilerinde ölçümler alınması önerilir.

Erzurum ili, coğrafi konum itibari ile kış aylarında dahi oldukça iyi güneş almaktadır. Literatüre bakıldığında, yapılan ekserji analizleri olağan görülmektedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi ile daha yüksek sistem verimlerine çıkılabilecek ve insanlara bu sistemlerin avantajları anlatılmak suretiyle oluşturulacak farkındalıkla da tercih edilmeleri sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akdemir, Ö., 2007. Düzlemsel Güneş Kolektörlerinin Teorik ve Deneysel Olarak Tersinmezlik ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akdeniz, A., 1987. Pasif Güneş Enerjisi Sistemi İle Bina Isıtılmasının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü.
- Akkaya, Y., 2011. Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Eksergo Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alpaydın, G., 2017. Vakumlu Tüp Kullanılan Güneş Enerjili Bir Mekan Isıtma Sisteminin Isıl Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arda, K., 2006. Güneş Enerjisinin Depolanması ve Isıl Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arslan, F., 2018. Parabolik Güneş Kolektörlerinde Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- Ayompe, L.M., Duffy, A., Keever, M., Conlon, M., McCormack, S.J., 2011. Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy*, 36(5), 3370-3378.
- Bakırcı, K., 2004. Erzurum İlinde Güneş Destekli ve Enerji Depolu Isı Pompası Sisteminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bakırcı, K., 2009. Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımının Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29 (2), 53-58.
- Bakırcı, K., Çomaklı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M. 2009. Güneş Kaynaklı Isı Pompasının Enerji ve Ekserji Analizi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50,590, 26-32.
- Bakırcı, K., Yüksel, B., 2006. Güneş Enerjisiyle Çalışan Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 26 (2), 23-28.
- Bakırcı, K., Yüksel, B., 2009. Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Deneysel İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 110, 26-30.
- Bayat, M., 2016. Silikon Tabanlı Polikristal Bir Güneş Panelinin Karabük İklim Koşullarında Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bulut, H., Şahin, H., Karadağ, F., 2007. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 101, 1-12.
- Bulut, H., Şahin, H., Karadağ, R., 2007. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 101, 23-33.
- Cantos, P.L., Soares, H.M., Bayon, G.J.J., 2007. Theoretical Bases for Exergetic Analysis of a Flat Plate Solar Collector with Forced Draft. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3), 1-10

- Ceylan, İ., 2012. Energy and exergy analyses of a temperature controlled solar water heater. *Energy and Buildings*, 47, 630-635.
- Ceylan, İ., Gürel, A.E., 2017. Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı. Dora Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti, 196, Bursa.
- Ceylan, M., 2011. Güneş enerjili soğurmalı soğutma sistemlerinin yük ve kaynak değişimlerinin termoekonomik karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chamoli, S., 2013. Exergy analysis of a flat plate solar collector. *Journal of Energy in Southern Africa*, 22(3), 8-13.
- Coşkun, V., 2006. Adsorpsiyonlu Güneş enerjili sistemlerde ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2012. Termodinamik mühendislik yaklaşımıyla. İzmir güven kitapevi, 946, İstanbul.
- Çevrimli, Ü., 2014. Güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin enerji ve ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çokgez Kuş, A., 2011. Farklı Kaynaklı Isı Pompalarının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çomaklı, K., 1997. Düz Güneş Kolektörlü Açık ve Kapalı Devreli Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Daghigh, R., Shafieian, A., 2016. Theoretical and Experimental Analysis of Thermal Performance of a Solar Water Heating System With Evacuated Tube Heat Pipe Collector. *Applied Thermal Engineering*, 103, 1219-1227.
- Değirmenci, H., 2006. Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Su Dolaşım Miktarının Kolektör Verimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demircan, H., 2011. Sıcaklık Kontrollü Güneş Enerjili Kullanma Sıcak Suyu Hazırlama Sisteminin Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deniz Çelik, F., 2017. Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Teorik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dilaver, Ö., 2010. Isı Değiştiricisi Kullanılmayan ve Güneş Enerjisi İle Çalışan Bir Su Isıtma Sisteminin Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dişçigil, M., 2007. Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, A., 2012. Güneş Enerjisi Destekli Alternatif Isıtma Sistemlerinin Enerji ve Ekonomi Yönünden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dumlu, S., 2012. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Efe, Ş., 2007. Erzurum'da Kullanılan Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdem, S., 2007. Villa Isıtmasında ve Soğutmasında Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekonomikliğinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ersöz, M.A., 2016. Effects of Different Working Fluid Use on The Energy and Exergy Performance For Evacuated Tube Solar Collector With Thermosyphon Heat Pipe. *Renewable Energy*, 96(A), 244-256.
- Gang, P., Guiqiang, L., Xi, Z., Jie, J., Yuehong, S., 2012. Experimental Study and Exergetic Analysis of A CPC-Type Solar Water Heater System Using Higher-Temperature Circulation In Winter. *Solar Energy*, 86(5), 1280-1286.
- Ge, Z., Wang, H.T., Wang, H., Zhang, S.Y., Guan, X. 2014. Exergy Analysis of Flat Plate Solar Collectors. *Entropy*, 16(5), 2549-2567.
- Hancıoğlu Kuzgunkaya, E., 2006. Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompalı Bir Kurutucunun Enerji ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hasan, F.M., Mahadi, U.S., Miyazaki, T., Koyama, S., Thu, K., 2018. Exergy Analysis of Serpentine Thermosyphon Solar Water Heater. *Aplied Sciences*, 8, 391.
- Hayek, M., Assaf, J., Lteif, W., 2011. Experimental Investigation of The Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors Under Eastern Mediterranean Climatic Conditions. *Energy Procedia*, 6, 618-626.
- Hepbaşlı, A., Günerhan, H., 2007. Exergetic Modeling and Performance Evaluation of Solar Water Heating Systems For Building Applications. *Energy And Buildings*, 39(5), 509-516.
- Jafarkazemi, F., Ahmadifard, E., 2013. Energetic and Exergetic Evaluation of Flat Plate Solar Collectors. *Renewable Energy*, 56, 55-63
- Kaçan, E., 2011. Güneş Enerjili Kombi Sistemlerin Tasarımı Uygulaması Enerji ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, A., 2016. Türkiye'deki Güneş Enerjisi Santrallerinin Üretim Potansiyelinin Enerji ve Ekserji Verimliliği Açısından Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, M., 2009. Isı Pompası ve Kombi Isıtma Sistemleri Maliyet Analizlerinin Karşılaştırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2), 39-47.
- Kılıç, F.Ç., 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Köse, M., 2013. Trombe Duvarın Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Köşker, F., 2006. Kapalı Olimpik Yüzme Havuzlarında Güneş Enerjisinin Kullanımı ve Termo-Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lebar, A., Dillon, H.E., 2018. Performance and Optimization of A Small Hybrid Solar-Thermal Collector. *Smart Grid And Renewable Energy*, 9, 259-271.
- Mahfuz, M.H., Anisur, M.R., Kibria, M.A., Metselaar, I., 2014. Performance Investigation of Thermal Energy Storage System With Phase Change Material (PCM) For Solar Water Heating Application. *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 57, 132-139.
- MMO Yayın No 691, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, Oda Raporu, Ankara, 2018
- MMO., 2019. Türkiye'nin Enerji Görünümü 2019 Sunum Dosyası. Oda Raporu, Ankara, <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2019/04/MMO-TEG-2019-Sunumu-Mart-2019.pdf> (07.12.2019).
- Onan, C., 2007. Villa Isıtmasında ve Soğutmasında Güneş Enerjisi Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Ekonomikliğinin Analizi, Yüksek Lisans

- Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, A., 2018. Güneş Enerjili Hidrojen Üretim Tesisinin Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, M., Yataarkalkmaz, M., 2015. Farklı Tipteki Kolektörlerin Enerji, Ekserji ve Ekonomik Analizi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1/2, 235-252.
- Özdemir, M., Yataarkalkmaz, M., Dağlı, G., 2017. Farklı Soğurucu Yüzey Tiplerine Sahip Düzlemsel Kolektörlerin Deneysel Analizi. Politeknik Dergisi, 20 (2), 441-449.
- Öztürk, F., 2011. Pasif Güneş Enerjisi Sistemi İle Bina Isıtmasının Sayısal ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Park, S.R., Pandey, A.K., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K., 2014. Energy and Exergy Analysis of Typical Renewable Energy Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 105-123.
- Sadhishkumar, S., Balusamy, T., 2014. Performance Improvement In Solar Water Heating Systems A Review. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 37, 191-198.
- Safieian, A., Khiadani, M., Nosrati, A., 2019. Thermal Performance of An Evacuated Tube Heat Pipe Solar Water Heating System In Cold Season. Applied Thermal Engineering, 149, 644-657.
- Said, Z., Alim, M.A. And Janajreh, I. 2015. Exergy Efficiency Analysis of A At Plate Solar Collector Using Graphene Based Nanouid. IOP Conference Series : Materials Science And Engineering, 92, 012015.
- Sakınç, E., Şerefhanoglu Sözen, M., 2010. Yapılarda Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri Sorunsalı ve Mimari Çözüm Önerileri (Mersin Örneği). Megaron, 5 (1), 1-10.
- Sayın, B., 2014. Biyoyakıt Kullanan Bir Dizel Motor İçin Enerji ve Ekserji Analiziüzerine Bir Deneysel Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Siyahhan, Z., 2009. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası Destekli Isıtma Sistemlerinin Termodinamik ve Termoekonomik Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin H, 2006. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi-Harran Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Yüksek Lisans Tezi.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri genel Müdürlüğü resmi web sitesi, <http://www.yegm.gov.tr/>, Ocak 2017.
- Tırıs M., 1997. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 196, Gebze-KOCAELİ
- Tuncer, Z., 2018. Yeni geliştirilen havalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji parametrelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üçgül, İ., Koyun,T.,Silindirik Yansıtıcılı İki Yüzeyle Kolektörler ile Düz Yüzeyle Kolektörlerin I.ve II. Yasa Verimliliklerinin İrdelenmesi. Mühendis ve Makina. Mart 2004 sayfa18-24
- Wei, L., Yuan, D., Tang, D., Wu, B., 2013. A Study On A Flat-Plate Type Of Solar Heat Collector With An İntegrated Heat Pipe. Solar Energy, 97, 19-25.
- Yataarkalkmaz, M., 2016. Farklı Tipteki Güneş Kolektörlerinin Termoekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Yıldız, A., 2009. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Enerji ve Ekserji Analizi İle Modellenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, A., Gürlek, G., Güngör, A., Özbalta, N., 2007. Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Deneysel İncelenmesi. Mühendis ve Makina Dergisi, 48-569, 3-8.
- Yıldızhan, H., 2013. Boyler Destekli Vakum Tüplü Güneş Kolektör Sisteminin Farklı Parametrelere Göre Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yiğit A, Atmaca İ, 2018. Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları, Dora Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti, 263, Bursa.



ÖZGEÇMİŞ

Buminhan KARADAĞ, 1993 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da, lise öğrenimini ise Antalya'da tamamladı. Yükseköğrenimini Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2016-2019 yılları arasında doğalgaz ve yapı denetim sektörlerinde çalışmıştır.

