
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

GÜNEŞ ENERJİLİ HELİSEL SARGILI ISIL GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN PERFORMANSININ NANOAKIŞKAN KULLANARAK DENEYSEL İNCELENMESİ

Ebru ŞATAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ebru ŞATAY
06/07/2023

GÜNEŞ ENERJİLİ HELİSEL SARGILI ISIL GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN PERFORMANSININ NANOAKIŞKAN KULLANARAK DENEYSEL İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ebru ŞATAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2023

ÖZET

Son yıllarda güneş enerjili kolektörleri, çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere sıcak su sağlamak için yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada, helisel sargılı soğurucu ile teçhiz edilen bir güneş enerjili kolektör imal edilmiş ve genel davranışını belirlemek için çeşitli çalışma koşullarında denenmiştir. Helisel sargılı soğurucu kullanmanın temel amacı, soğurucu yüzey ile gelen radyasyon arasında dikey açı sağlayarak kolektördeki enerji emilimini arttırmaktır. Ayrıca, ısıl verimde daha fazla artış sağlamak için çalışma akışkanı olarak manyetik tip nanoakışkan kullanılmıştır. Bu kapsamda nano boyutlu $NiFe_2O_4$ partikülleri %2 oranında su ile karıştırılmıştır. Buna göre, kolektörün performansı, iki farklı kütlesel akış hızında hem su hem de manyetik nanoakışkan kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Elde edilen bulgular, manyetik nanoakışkanın helisel sargılı güneş kolektöründe başarılı bir şekilde kullanıldığını göstermiştir. Su ve manyetik nanoakışkan kullanılarak elde edilen ısıl verim değerleri sırasıyla %17,16-53,94 ve %22,33-67,23 aralığında olmuştur. Genel olarak, manyetik tipte nanoakışkan kullanımının yeni geliştirilen helisel sargılı borulu güneş kolektörünün ısıl performansını önemli ölçüde iyileştirdiği söylenebilir.

Bilim Kodu : 92802

Anahtar Kelimeler : Güneş enerjili ısıl kolektör, helisel-sargılı, nanoakışkan, manyetik tip

Sayfa Adedi : 47

Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF A SOLAR HELICOLIC WINDING THERMAL COLLECTOR USING NANOFLUIDICS

(M. Sc. Thesis)

Ebru ŞATAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

In the recent years solar water collectors are commonly preferred for supplying heated water to be utilized in various applications. In the present study, a solar water collector equipped with a helically coiled absorber has been manufactured and experimented at various working conditions to determine its general behavior. The main purpose of using helically coiled absorber is enhancing energy harvest in the collector by providing vertical angle between the absorbing surface and incident radiation. In addition, for providing more enhancement in thermal efficiency, magnetic type nanofluid has been used as working fluid. In this context, $NiFe_2O_4$ nano-sized particles has been mixed with water at the ratio of 2%. Accordingly, the performance of the collector has been experimentally tested using both water and magnetic nanofluid at two different mass flow rates. The obtained findings showed the successful utilization of magnetic nanofluid in the helically coiled solar collector. The thermal efficiency values using water and magnetic nanofluid were achieved in the ranges of 17.16-53.94% and 22.33-67.23%, respectively. Generally, it can be said that using magnetic type nanofluid notably improved the thermal performance of newly developed solar collector with helically coiled tube.

Science Code : 92802

Key Words : Solar thermal collector, helically-coiled, nanofluid, magnetic type

Page Number : 47

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimde bilgi ve tecrübesinden faydalandığım, bana her konuda yardımcı olup anlayış gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ' ye teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Hayatımda yer alan tüm kariyer çalışmalarımda başarılı olabilmem için bana katkı sağlayan düşünceleri, teşvikleri ve destekleri ile her zaman yanımda yer alan eşim Murat ŞATAY' a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Kendilerine ayrılması gereken vakitten fazlaca aldığım çocuklarım Öykü ŞATAY ve Mert ŞATAY'a, Atatürkçü çağdaş düşünce ile beni büyüten anne ve babama teşekkür ederim.

Gazi Üniversitesi ile imzalanan protokol kapsamında yüksek lisansa başlamama vesile olan ve personeline sağladığı ayrıcalıklardan ötürü işyerim ''EÜAŞ'' ve ''EÜAŞ yöneticilerine'' teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT…… v

TEŞEKKÜR……...…… vi

İÇİNDEKİLER……..... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……...……..... ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……...……... x

RESİMLERİN LİSTESİ……. xii

SİMGELER VE KISALTMALAR……... xiii

1.GİRİŞ…….... 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI……..... 3

3. GÜNEŞ ENERJİSİ……...…….…. 11

3.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli…….. 13

3.2. Ankara Güneş Enerjisi Potansiyeli……... 15

3.3. Güneş Enerji Sistemleri ve Uygulama Alanları……... 17

3.3.1. Devre tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler……..... 18

3.3.2. İşletme tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler…… 20

3.3.3. Yardımcı ısı üreticili sistemler…….…….. 21

3.3.4. Depo yerleşim tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler……. 21

3.3.5. Kolektör tiplerine göre güneş enerjili termal sistemleri……. 22

3.4. Güneş Enerji Sistemlerinde Nanoakışkanlar…..……. 24

4.TEORİK HESAPLAMALAR……..……... 27

5. MATERYAL VE YÖNTEM……... 31

5.1. Deney Seti Ana Parçaları, Özellikleri ve Montaj…… 31

Sayfa

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA……. 35

7. SONUÇ VE ÖNERİLER……..……..... 41

KAYNAKLAR……..... 43

ÖZGEÇMİŞ……..... 47

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Güneş enerjili termal sistemler…..……..……..…….. 18

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Sarmal ve konik kolektörünün geometrik analizi…… 10

Şekil 3.1. Yıl boyu yeryüzüne ışınım yolu ile ulaşan güneş enerji miktarı…….. 12

Şekil 3.2. Güneşin farklı hava koşullarında ışınım miktarları…….. 13

Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası…… 13

Şekil 3.4. Türkiye aylık radyasyon değeri (kWh/m^2)……... 14

Şekil 3.5. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) ……... 14

Şekil 3.6. Ankara güneş enerjisi potansiyel atlası……. 15

Şekil 3.7. Ankara aylık radyasyon değeri (kWh/m^2) …….. 15

Şekil 3.8. Ankara güneşlenme süreleri (saat)…… 16

Şekil 3.9. Ankara güneş alma açısı……..…… 16

Şekil 3.10. Açık dolaşımlı sistemler …… 19

Şekil 3.11. Kapalı dolaşımlı sistemler ……..…… 19

Şekil 3.12. Zorlamalı dolaşımlı sistemler……. 20

Şekil 3.13. Yardımcı ısı üreticili sistemler…… 21

Şekil 3.14. Kolektördeki enerji akışı ……... 22

Şekil 3.15. Panel kolektörler ……... 23

Şekil 3.16. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğini etkileyen parametreler…..…….. 26

Şekil 5.1. Tasarlanan deney düzeneğinin şematik görünüşü..…….. 32

Şekil 6.1. Ölçülen günlük ışınım değerlerinin yerel zamana bağlı değişimi…… 35

Şekil 6.2. Ortam sıcaklık değerlerinde zamana bağlı değişim…….. 36

Şekil 6.3. Giriş suyu sıcaklıklarında zamana bağlı değişim…….. 37

Şekil 6.4. Çıkış suyu sıcaklıklarında ve kazanılan ısıda zamana bağlı değişim …….. 38

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.5. Güneş enerjili kolektör ısıl verim değerinin zamana bağlı değişimi…… 38

Şekil 6.6. Ekserji verimliliği değerlerinde zamana bağlı değişim…… 39

Şekil 6.7. Deneysel olarak elde edilen ortalama SI değerleri……... 40

Şekil 6.8. Isıl verim değerlerinin literatürde benzer çalışmalarla karşılaştırılması…... 40

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Düz akış borulu güneş kolektörü …….…… 7

Resim 2.2. Kavisli akış borulu güneş kolektörü …….…...…… 8

Resim 2.3. Spiral akış borulu güneş kolektörü……... 8

Resim 2.4. Sarmal sargılı konik geometrili güneş kolektörü……. 9

Resim 2.5. Sarmal ve konik güneş kolektörün geometrik incelemesi…… 10

Resim 5.1. Tasarlanan kolektörün fotoğrafları……...…… 32

Resim 5.2. Tasarlanan deney düzeneğinin fotoğrafı…….……...…….. 33

Resim 5.3. Tasarlanan deney düzeneğinin fotoğrafı…….……...…….. 34

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
η	Verim (%)
η_t	Isıl Verim (%)
η_e	Ekserji Verimliliği (%)
I	Güneş Işınım Şiddeti (W/m^2)
$\boldsymbol{\mu_w}$	Dinamik Viskozite (Pa. s)
$\boldsymbol{T_g}$	Su Giriş Sıcaklığı (°C)
$\boldsymbol{T_ç}$	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)
A	Kolektör Yüzey Alanı (m^2)
$\boldsymbol{Q_s}$	Sistemden Sağlanan Enerji (W)
$\boldsymbol{C_p}$	Özgül Isı Kapasitesi (kJ/kg°C)
$\boldsymbol{\dot{E}_X}$	Ekserji oranı (W)
$\boldsymbol{h}$	Isı transfer katsayısı (W/m^2K)
$\boldsymbol{k_w}$	Termal İletkenlik (W/m.K)
$\boldsymbol{\dot{m}}$	Birim Zamandaki Kütle Akışı (kg/s)
$\boldsymbol{Nu}$	Nusselt sayısı
$\boldsymbol{Re}$	Reynolds sayısı
$\boldsymbol{SI}$	Sürdürülebilirlik endeksi
$\boldsymbol{w_1, w_2 \ldots w_n}$	Bağımsız Değişkenlerdeki Belirsizlik
$\boldsymbol{W_R}$	Toplam Belirsizlik (%)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
i	Giriş
o	Çıkış
w	Su

1. GİRİŞ

Sınırlı ve yenilenemeyen enerji kaynağı fosil yakıtların kullanımı sanayi devrimi ile yaygınlaşarak insanların yaşam standartlarında günümüze kadar olumlu gelişmelere katkı sağlamıştır. Ancak, fosil yakıtlardan açığa çıkan karbondioksit gazı ekosistemi olumsuz etkileyerek iklim değişikliklerine sebep olmuştur. Bu yüzden, fosil yakıtların kademeli olarak kullanımdan kaldırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar, yaşamın pek çok alanında fosil yakıtların yerini doğa dostu olan hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmasını içermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, temiz ve sonsuz bir enerji kaynağı olup dünyamıza gelen az bir miktar güneş ışınımı bile insanlığın enerji tüketim ihtiyacını karşılamaktadır. Güneş enerjisi tarımda, endüstride, ulaşımda, ısıtmada, sıcak su elde etmede, sıcak hava sağlamada, elektrik üretiminde ve ortam aydınlatmasında kullanılmaktadır. Ancak, güneş enerji sistemlerinin dezavantajı hava şartlarına bağlı olarak ısıl verimin değişim göstermesidir. Olumsuz hava şartları veya ışınımın hiç olmadığı gece saatleri sistem verimi üzerinde negatif etki gösterir. Bu sebeple, kullanımında zaman ve koşul kısıtlaması olan güneş enerjisi sistemleri tasarlanırken ısıl verimi en elverişli koşula getirmek amaçlanır. Örneğin, kolektörlerin arka yüzeyini yüksek yalıtımlı malzemeden yapmak veya kolektörlerin ısı transferi yüzey alanı arttırmak ısıl verimi pozitif yönde etkiler. Bununla beraber güneş kolektörünün eğim açılarının bulunulan bölgeye göre uygun şekilde belirlenerek monte edilmesi ona bağlı sistemlerinin performansını artırır. Güneş enerjisi kolektörlerinde performansı artırmanın bir diğer yolu da vakum tüplü kolektörleri kullanılmasıdır. Bu tip kolektörde, iç içe iki cam tüpün arasında bir vakum katmanı oluşur. Bu yapı bir termos gibi çalışır. Böylece ısı transferinde yaşanacak enerji kaybı aza indirilmeye çalışılır. Kolektör tasarımında ısıl verimi etkileyen etkenlerden biri de akışkanın cinsi, viskozitesi, debisi ve ısı iletim katsayısıdır. Bu nedenle, pek çok farklı kullanım alanı da olan içinde metrenin milyarda biri boyutundaki (10^{-9}) nanopartiküllerden oluşan ve ısı iletim katsayısı yüksek nanoakışkanlar güneş enerji sistemlerinde düşük ısı iletim katsayısına sahip temel akışkan ile süspansiyon karışımlar oluşturulup kullanılır.

Bu çalışmada, yüksek ısıl verim sağlamak amacıyla helisel veya diğer adıyla sarmal sargılı, güneş enerjili kolektör imal edilirken soğurucu yüzey silindirik olarak tasarlanmıştır. Silindirik soğurucu kullanılmasının sebebi, güneşin gün boyu konum

değiştirmesi nedeniyle farklı gelen ışın açılarını kolektörün yüksek düzeyde soğurmasını sağlamak ve böylece ısıl verimi en elverişli seviyeye getirmektir. Kolektör camı özel bir cam olup dış yüzeyinde maksimum emilim için düz cam, iç yüzeyinde ise yansıma yoluyla güneş ışınımının kolektör içinden atmosfere geçişini önlemek için pürüzlü olan cam kullanılmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan sarmal sargılı güneş kolektörünün ısıl performansını karşılaştırmak için farklı debilerde testler yapılmıştır. Bu testlerde sarmal sargılı güneş ısıl sistemine saf su şarj edilerek performans deneyleri yapılmıştır. Aynı deney setinde ve aynı şartlarda bu kez sisteme çalışma akışkanı olarak saf su/NiFe2O4 manyetik nanoakışkanı şarj edilerek performans deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılmaları yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA HAKKINDA LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjili sistemlerden maksimum fayda sağlamak amacıyla teknolojik gelişmeler günden güne ilerlemektedir. Bilim insanları, güneş kolektörlerinin performansını arttırmak için seçilen malzeme, belirlenen eğim açısı, tasarım farklılıkları ve kullanılan akışkan gibi etmenlerde değişiklik yaparak farklı koşullar altında deneysel analizler ile en uygun verimi sağlamaya çalışmaktadır.

Kolektör imal edilirken seçilen malzemeler ve yapılan tasarımlar verim değerlerini etkiler. Bu nedenle kimyasal, termal ve mekanik kısıtlamaları karşılayan bir kopolimer malzemeli düz plakalı güneş kolektörü imal edilerek performansı incelendi. Yalıtım kalınlığı, akış hızı ve sıvı tabakası kalınlığı gibi sistemin farklı parametrelerinin etkisini analiz etmek için deneysel çalışmalar yapıldı (Crıstofarı, 2002).

Debinin ısıl verime etkisini görmek için düz plaka kolektörde farklı debilerde sıcaklık ölçümleri yapıldı. 5,3 l/d ve 6,51 l/d debide maksimum sıcaklık sırasıyla 51,4 °C ve 49 °C' ye ulaşıldı. İki debi kıyasladığında düşük debide daha fazla sıcaklık değeri elde edildi (Hashım, 2018).

Vakumlu termosifon tip güneş enerjili termal sistemlerde çalışma akışkanı olarak antifriz-su karışımı kullanımının kolektör genel performansına etkileri araştırıldı. Bu amaçla vakumlu termosifon tip ve tabii dolaşımlı güneş enerjili termal sistemlerinden birer örnek hazırlanarak aynı şartlarda denendi. Deney sonuçları kıyaslandığında vakumlu sistemin tabii dolaşımlı sisteme göre daha fazla verimli olduğu ve sıcak su ihtiyacını daha da etkin bir şekilde karşılayabildiği sonucuna varıldı. Vakumlu termosifon tip sistem, tabii dolaşımlı sistemle karşılaştırıldığında tüm üstünlüklerine ek olarak, kış mevsiminde don olayından etkilenmeyişi, güneş ışınımının olmadığı akşam saatlerinde ters akımla ısı kaybı olmayışı ve sıcak su ihtiyacını daha hızlı giderebilmesi gibi olumlu etkileri olduğu ortaya koyuldu (Öz ve diğerleri, 2005).

Bir çalışmada düz güneş kolektörlerinin verimini yükseltmek amaçlanarak kolektör tasarımına ve enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına öncelik verildi. Sistem verimi ile bağlantılı üç temel parametre; boru geçiş sayısı, boru için seçilen malzeme ve boru-yutucu

plaka birleşim yönteminin etkisi deneysel olarak incelendi. Uygulanan deneylerin sonucunda, boru geçiş sayısı artınca verimin daha fazla arttığı, boru malzemesi olarak yüksek ısı iletim katsayısına sahip bakır tercih edilmesi durumunda, verimdeki değişimin olumlu yönde olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte, kenetleme birleşimine göre daha çok temas yüzeyi oluşturduğundan lazer kaynak ile boru-yutucu plaka birleşiminin verimi daha da yükselttiği tespit edildi (Taze, 2010).

Güneş kolektörleri doğada oldukça yaygın bulunan, ucuz ve uzun ömürlü seramik malzemeden imal edildi. Seramik güneş kolektörünün ısıl ataletinin diğer kolektörlere kıyasla 10 kat yüksek olduğu, bu yüzden ısı kazanımı ve ısının korunmasının geç ama uzun süreli olduğu sonucuna varıldı (Arslan ve Günerhan, 2023).

Sabit ve takip sistemli güneş kolektörlerinin ısıl verim performanslarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapıldı. Sabit ve hareketli eş kolektör sistemlerinin sadece yatay eksende hareket ettirilmesi ile %7' ye yakın daha fazla verim sağlanabileceği görüldü. Sabit kolektör sistemleri ile beraber takip sistemli kolektörlerin kullanılmasının avantajlı olduğu sonucuna varıldı (Keçel, 2015).

Güneş kolektörünün eğim açılarının bulunulan bölgeye göre uygun şekilde belirlenerek monte edilmesi ona bağlı ısıtma sistemlerinin performansını artırır. Bu sebeple, farklı eğim açılarında monte edilmiş vakumlu tüp kolektörler üzerinde deneysel çalışmalar yapıldı. Konvektif ısı kaybı katsayısının eğim açısına göre değişebileceği ve vakumlu tüplerde ışınımla ısı transferi olduğu için taşınımla ısı kaybı katsayısının önemli bir sıcaklık düşüşü oluşturmadığı sonucuna varıldı (Selvakumar ve Somasundaram, 2012).

Düşük enlemli tropikal bölgede güneş kolektörleri için en uygun eğim açılarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütüldü. Amaç, güneş enerjisinin kullanılabilirlik süresini optimize ederek kullanımını artırmak ve en uygun güneş kolektörü eğim açılarını belirleyerek ona bağlı ısıtma sistemlerinin performansını artırmaktı. Bu çalışmanın sonucu, eğik yüzeydeki güneş radyasyonunun enlem ile arttığı doğrulandı (Idowu ve diğerleri, 2013).

Ankara'da sabit güneş kolektörleri çoğunlukla yaklaşık 40° eğim açısında konumlandırılmaktadır. Bu sebeple, Ankara merkez ve ilçeleri temel alan çalışmalarda,

güneş kolektörü ve güneş panelinden oluşan sistemlerin performanslarını en yüksek seviyeye çıkarmak için en avantajlı eğim açısının belirlenmesi ile ilgilenildi. Ankara'nın il ve bağlı ilçeleri için yıllık en avantajlı eğim açısı 34°±1 olarak hesaplandı. Bununla birlikte, eğim açıları her altı aylık dönem için 15° ve 56°, mevsimlerden oluşan (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) dönemler için ise sırasıyla 62°, 23°, 6° ve 49° olarak belirlendi ve en avantajlı eğim açıları için güneş ışınım değerleri tespit edildi. Ayrıca yılda sadece iki kez eğim açısı ayarlandığında birim alana düşen enerji miktarı yükseldiğinden yıllık eğim açısı sabit konumdakilere göre yaklaşık % 5 oranında verim artışı sağlar sonucuna varıldı. Kısacası, güneş kolektörleri ve panel sistemlerinin ısıl verimliliğini yükseltmek için, eğim açısını ayda bir kez veya yılda en az iki kez yerel konuma göre ayarlanması önerildi (Koçer ve diğerleri, 2016).

Güneş kolektörlerinin ısı transfer yüzey alanını arttırmak ısıl verimi pozitif yönde etkiler. Buna istinaden, düz yüzeyli kolektörler ile silindirik yansıtıcılı iki yüzeyli kolektörler termodinamik I ve II. yasasına göre verimlilikleri açısından kıyaslandı. Örnek çalışmada Isparta meteorolojik verileri kullanıldı ve sonuçlar grafikler halinde sunuldu. Silindirik yansıtıcılı iki yüzeyli kolektörlerin verimliliklerinin düzlem kolektörlere göre daha yüksek olduğu ortaya koyuldu (Üçgül ve Koyun, 2004).

Güneş enerjili su ısıtma sistemine V şeklinde reflektörü entegre ederek sistemin optik analizi üzerinde çalışıldı. Deneysel sonuçları, hem V şekilli reflektörün optik verimliliğinde hem de güneş enerjili su ısıtıcısının genel termal performansında olumlu sonuçlar gösterdi (Chong ve diğerleri, 2012).

Çift oluklu parabolik oluk tipi güneş kolektörünün genel performansı ile birlikte tasarım ve imalat aşaması üzerine araştırma yapıldı. Güneş enerjisini kullandığı için ekosisteme duyarlı, imalatı açısından kolay, malzemelerinin temini bakımından rahat ulaşılabilir, yoğunlaştırma esası ile çalıştığı için genellikle tercih edilen düzlemsel kolektörlerden daha verimli bir sistem olduğu sonuca varıldı (Ercoşkun, 2013).

Maliyet analizi güneş sistemlerinin kurulumunda önemli bir faktördür. Bu nedenle, CNT-sulu nanoakışkanlar kullanan fotovoltaik termal ve parabolik yoğunlaştırıcı bütünleşik güneş kolektörünün performans ve maliyet analizi yapıldı (Arora, 2020).

Vakumlu tüp güneş kolektörleri ve düz plakalı güneş kolektörleri sistemlerinde çalışma sıvısının nanoakışkan ile değiştirilmesi, düşük sıcaklıklı uygulamalarda bile ısı transferini artırabilir. Bu sebeple, nanoakışkan süspansiyonların güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanımı üzerine bir çalışma yapıldı. Mevcut çalışmada nanoakışkan süspansiyonların hazırlama yöntemleri, nanoakışkan süspansiyonların termofiziksel özellikleri ve nanoakışkan süspansiyonların gerek güneş enerjili sistemler gerekse de diğer ısıl sistemlerde ticari olarak kullanılabilmesi için aşılması gereken olumsuzluklar tespit edildi. Nanoakışkan süspansiyonların artan viskozitelerine bağlı olarak kullanıldıkları sistemlerde sebep oldukları basınç düşüşleri ve artan pompalama güçlerinin önemli bir problem olduğu sonucuna varıldı. Metal ve/veya metal oksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan nanoakışkan süspansiyonların akışkan olarak kullanıldıkları sistemlerde metal yüzeyler üzerindeki sürtünmeden kaynaklı muhtemel aşınma ve korozyon etkilerinin tespit edilmesi ve muhtemel hasarlara karşı önlemler alınması gerektiği belirlendi (Atmaca ve diğerleri, 2019).

Farklı debilerde Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT) /su nanoakışkanı içeren ve içermeyen vakumlu tüp ve düz plakalı güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji verimlilikleri açısından performansını karşılaştırmak ve değerlendirmek için kapsamlı bir deneysel çalışma sunuldu (Eltaweel ve diğerleri, 2021).

Standart meteorolojik gözlemlere dayanan sayısal bir güneş radyasyonu modeli üzerine çalışmalar yapıldı (Atwater ve Ball, 1978).

Ortalama günlük ve saatlik küresel radyasyonu, ışın radyasyonunu ve dağınık radyasyonu tahmin etmek için güneş radyasyonu modeli üzerine çalışıldı (Wong ve Chow, 2001).

Güneş enerjisi kaynaklarının kullanımı için Çin'in 7 farklı bölgesinde güneş radyasyon modellerinin uygulanabilirliği değerlendirildi (Zhang, 2018).

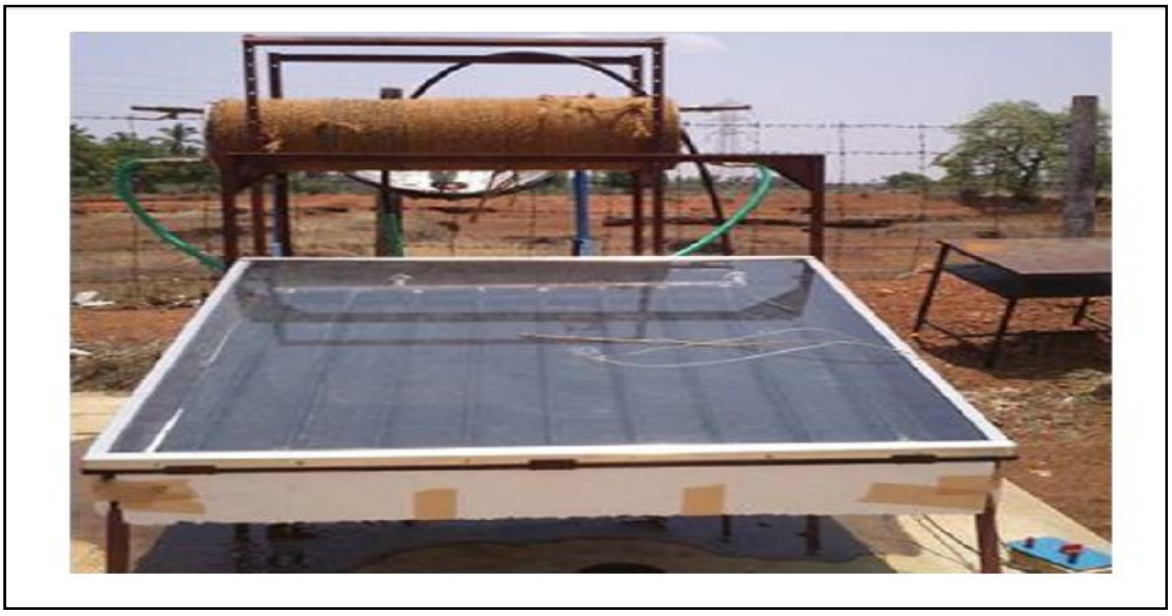
Faz değiştiren malzemelerle depolamalı güneş enerjili su ısıtıcısının termal performansı incelendi (Chaabane ve diğerleri, 2014).

Entegre kolektör ve depolama tipi sabit yoğunlaştırıcı güneş sistemleri tasarlandı ve geleneksel güneş enerjili su ısıtıcılarıyla karşılaştırıldı. Entegre kolektör ve depolama tipi

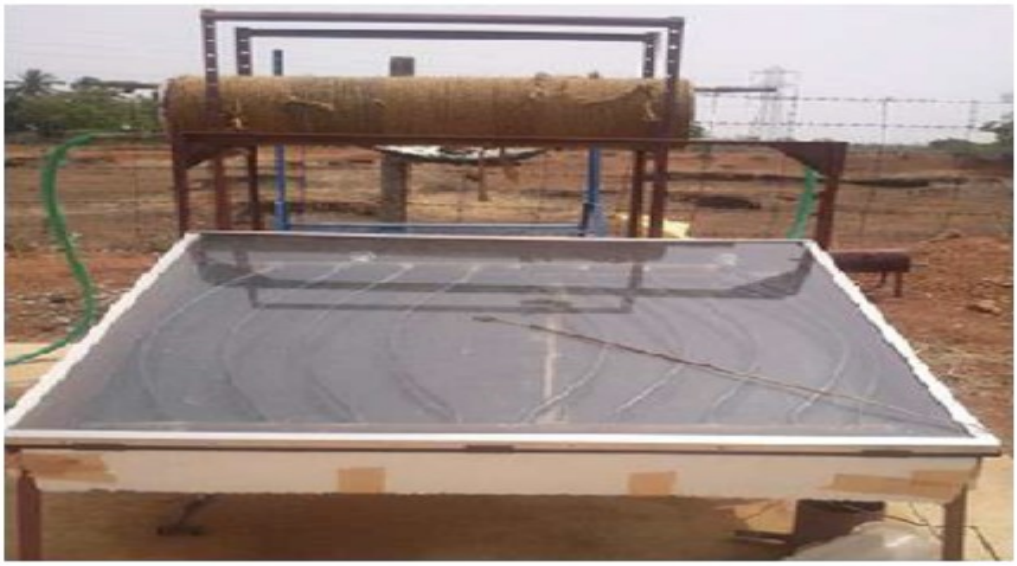
sabit yoğunlaştırıcı güneş ünitelerinin tasarımında soğurucudan çevreye ısıl kayıpların en aza indirgenmesi amaçlandı (Trıpanagnostopoulos ve Yıanoulıs, 1992).

Sarmal borulu silindirik bir güneş kolektörü tasarlandı. Çalışma sıvısı olarak hem damıtılmış su hem de CuO-H_2O nanoakışkanları ile oluşan bir süspansiyon kullanarak güneş kolektörünün termal performansını araştırmak için deneysel bir araştırma yapıldı (Goudarzı ve diğerleri, 2014). Ayrıca bu çalışmayı takiben, sarmal borulu bir güneş kolektöründe nanoakışkanların pH değişiminin (pH =3 ve pH =10 arası) termal verimliliğe etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapıldı (Goudarzı, 2015).

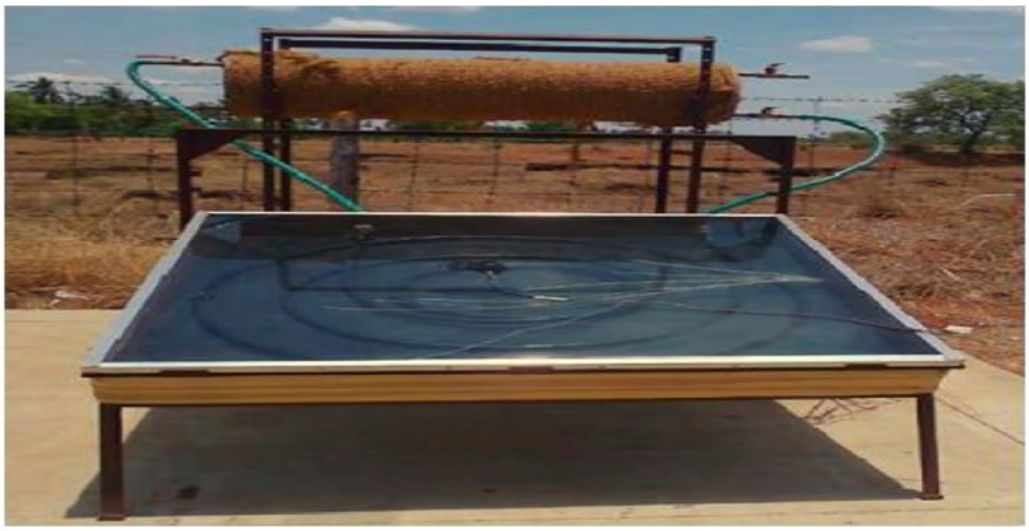
Güneş enerjili kolektör akış borusunun düz geometrisini, sistemin performansını artırmak için kavisli ve spiral olarak değiştirildi. Düz borulu ile Şekil 2.1, kavisli Şekil 2.2 ve spiral Şekil 2.3 akış borulu sistemleri enerji ve ekonomik açıdan karşılaştırıldı. Yapılan deneyler sonucunda düz, kavisli ve spiral borularda sırasıyla %58, %62 ve %69' luk maksimum verimlilik sağlandığı tespit edildi (Muthuraman, 2021).



Resim 2.1. Düz akış borulu güneş kolektörü (Muthuraman, 2021)



Resim 2.2. Kavisli akış borulu güneş kolektörü (Muthuraman, 2021)



Resim 2.3. Spiral akış borulu güneş kolektörü (Muthuraman, 2021)

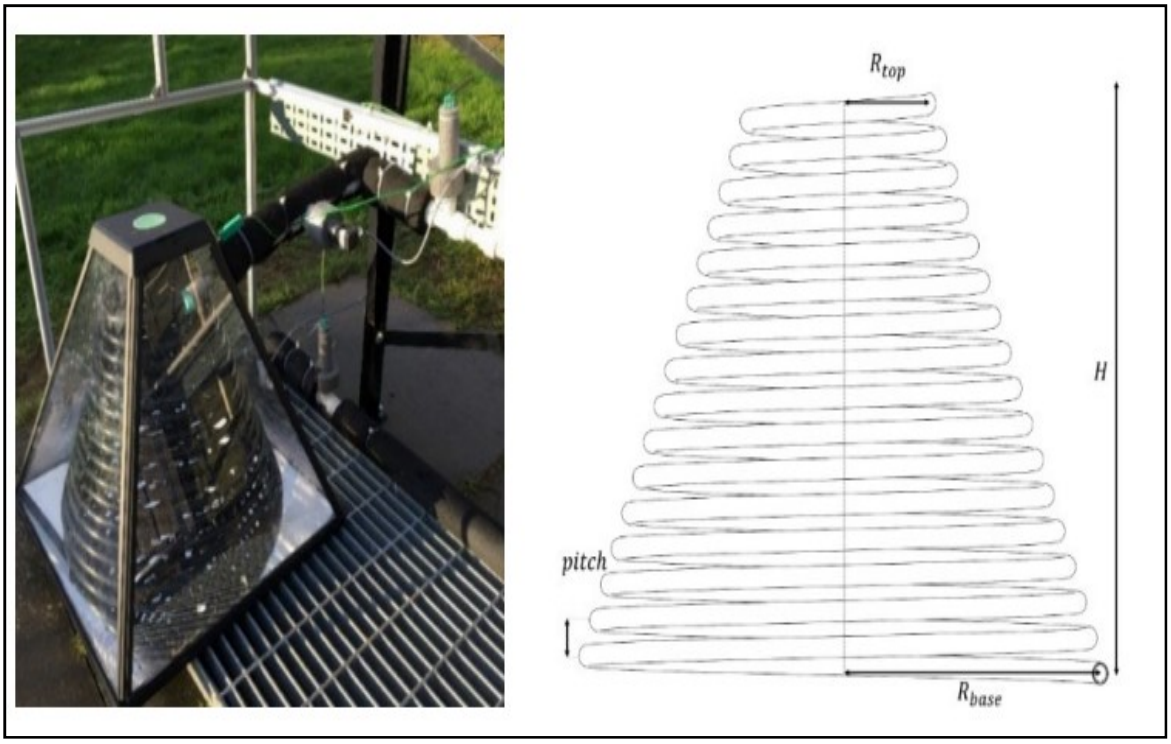
Sarmal sargılı konik geometriye sahip bir sabit güneş kolektörünün verimi ve performansı deneysel olarak incelendi. Yapılan deneyler ile konik güneş kolektörünün veriminin kütlesel debinin artmasıyla yükseldiği gözlemlendi (Moravej ve Soozanyar, 2017).



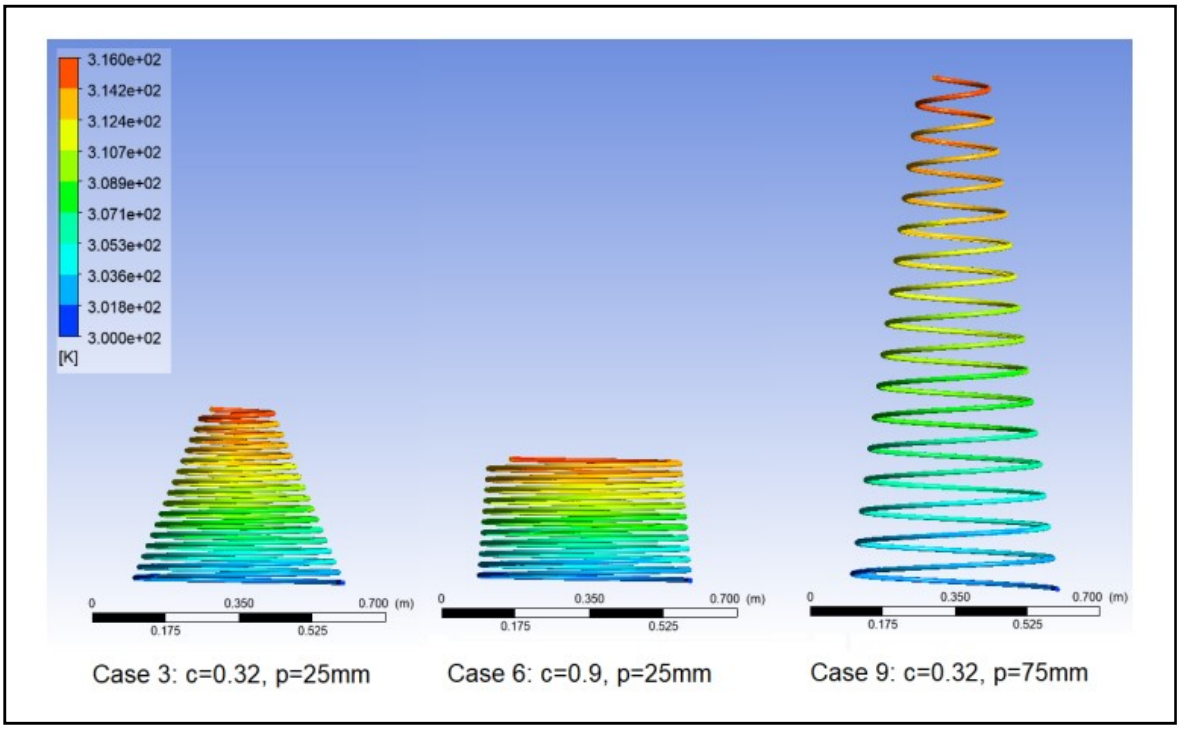
Resim 2.4. Sarmal sargılı konik geometrili güneş kolektörü (Moravej ve Soozanyar, 2017)

MWCNT / su nanoakışkanlı sarmal sargılı silindirik güneş kolektöründe ısı transferinin artırılması üzerine deneysel çalışmalar yapıldı. Çalışmalar sonucunda basınç düşüşü olmadan ısı transferini artırmak için ısı transfer sıvıları nanoakışkanlarla değiştirilebilir sonucuna varıldı (Palanısamy ve Kumar, 2017).

Laminer akış koşulları altında konik sarmal sargılı güneş enerjisi kolektörünün soğurucu geometrisinin ısı transfer performansı üzerindeki etkisi araştırıldı. Genel olarak, özellikle hatveden bağımsız olarak küçük değer alan c ($c= R_{top}/R_{base}$) ile karakterize edilen geometriler için, Nusselt sayısının boru boyunca helisel sayı ile birlikte artığı gözlemlendi. Bununla birlikte, bu fark yalnızca borunun ucuna yakın bir yerde hissedilebilir ve test edilen tüm geometrilerin genel termo-akışkan dinamiği performansı çok farklı olmadığı sonucu ortaya koyuldu (Landını ve diğerleri, 2022).



Resim 2.5. Sarmal ve konik güneş kolektörün (c= R_{top}/R_{base}) geometrik incelemesi (Landını ve diğerleri, 2022)



Şekil 2.1. Sarmal ve konik kolektörünün geometrik analizi (Landını ve diğerleri, 2022)

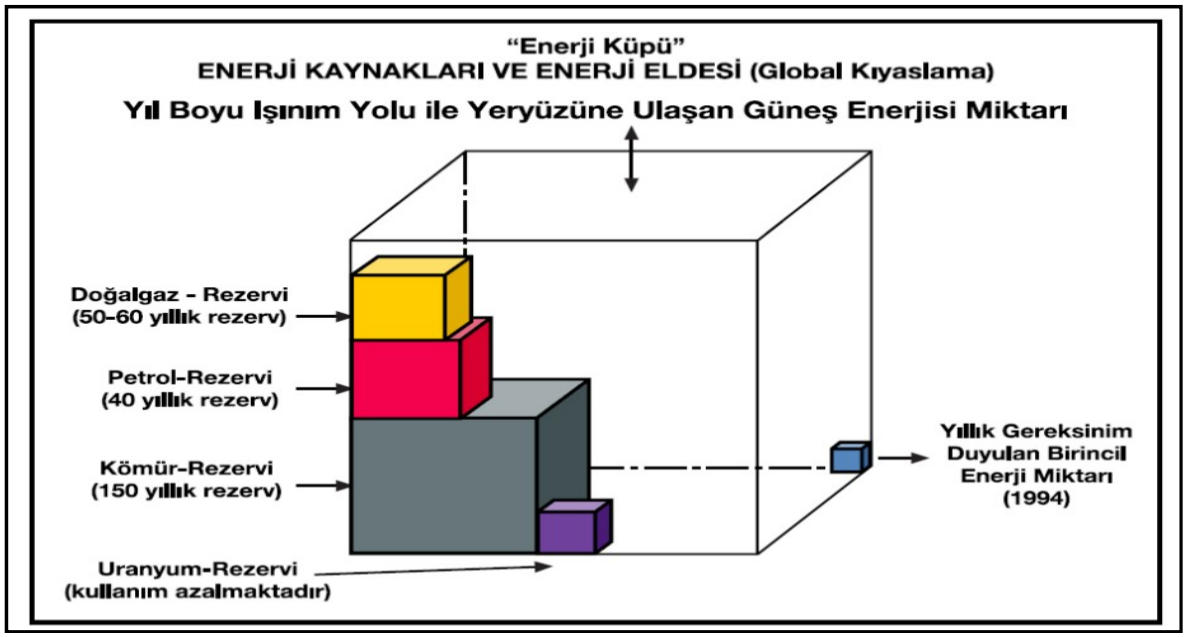
3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, yüksek basıncı ve yüksek sıcaklığı olan bir yıldız olup 0,7 milyon km yarıçapıyla dünyanın yaklaşık 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan $1,5x10^{11}$ m uzaklıktadır. Dış yüzey sıcaklığı takribi 6.000 °K olup merkezine doğru sıcaklığın $40x10^{6}$ °K' ne kadar ulaştığı tahmin edilir. Doğal ve daimi bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağının sebebi 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesidir. 4 Hidrojen atomu 4,032 birim ağırlığa ve 1 Helyum atomu 4,003 birim ağırlığa denk gelmektedir. Füzyon ile ortaya çıkan 0,029 birim ağırlık Einstein'ın madde-enerji teorisine göre enerjiye dönüşür. Sonuç olarak güneşte birim saniyede 564 milyon ton Hidrojen, 560 milyon ton Helyuma dönüşür ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86x10^{26}$ J enerji açığa çıkar ve bu enerji uzaya ve gezegenlere elektromanyetik ışınım (radyasyon) biçiminde uzaya yayılır. Toplam enerji rezervi $1,785x10^{47}$ J olan dünya için tükenmez bir enerji kaynağı olan bu yıldızın daha milyonlarca yıl ışıması devam edecektir. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine gelen güneş enerjisinin gücü, 178 trilyon kW seviyesindedir. Dünya'ya güneş tarafından gelen enerji, yeryüzünde bir yılda tüketilen enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır (Varınca ve Gönül, 2006).

Güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'li yıllardan sonra oldukça ivme kazandı. Güneş enerjisi sistemleri geçmişten günümüze kadar çok önemli teknolojik ilerlemeler kaydederek mali açıdan da herkes için ulaşılabilir seviyeye geldi. Artık tarımda, endüstride, ulaşımda, ısıtmada, sıcak su elde etmede, sıcak hava sağlamada, elektrik üretiminde ve ortam aydınlatması gibi günlük yaşamımızın her alanında güneş enerjisi tercih edilmektedir.

Fosil yakıt kullanımı ile yanmanın mecburi ürünü karbondioksittir. Atmosferdeki CO_2 miktarı, sanayi devrimi sonrasında hızla gelişen teknoloji ile yaklaşık 1,3 kat arttı. Bunun sonucu olarak, atmosferde oranı artan CO_2 'in neden olduğu sera etkisi, bulunduğumuz yüzyılda dünya ortalama sıcaklığını 0,7 °C yükseltti. 50 yıl içinde, bu miktarın, şimdiye oranla 1,4 kat daha artma olasılığı vardır. Bu olasılıkla sıcaklığın 1 °C yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3 °C düzeyine ulaşacak artışlar ise, göllerin yok olmasına, tarımsal kuraklığa ve kıtlığa, kutuplardaki buzulların erimesi sonucu denizlerin yükselmesine sebep olabilecektir. Ancak enerji tüketiminden vazgeçilemeyeceğine göre,

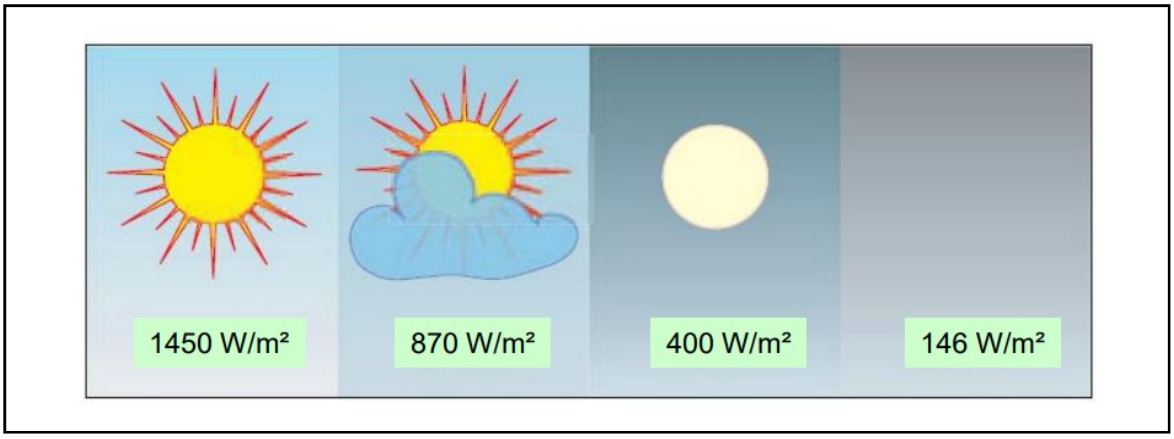
güneş gibi tabii ve fosil yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir kaynaklara yönelmekte dünya yaşamı sürdürülebilirliği için fayda vardır. Güneş enerjisi süreklilik arz eden, bedava ve yenilenebilir bir enerji hazinesidir. Her şeyden önemlisi, geleneksel yakıtların sebep olduğu çevresel problemlerin çoğunun güneş enerjisinde olmaması ile gelecek kuşakların devamlılığı için kullanılması gereken, temiz ve çevre dostu bir enerji çeşididir.



Şekil 3.1. Yıl boyu yeryüzüne ışınım yolu ile ulaşan güneş enerji miktarı (Kurtuluş, 2020)

Güneşten gelen direk ışınlar ve yayılım ile yeryüzüne ulaşan ışınların toplamı tam ışınım olarak tanımlanır. Bulutlar ve hava içindeki küçük parçacıklar tarafından güneş ışınları dağıtılır, yansıtılır ve kırılır. Bu tür ışınım güneş teknoloji ile kullanılır. Doğrudan ışınım ve yayılım ışınımı mevsim şartlarına ve hava koşullarına bağlı yüzdesel olarak değişim gösterir. Bulutlu, kapalı bir günde yayılım ışınlarının miktarı %80 ise yaklaşık 400 W/m ² enerji verebilmektedir (Öksüz, 2014).

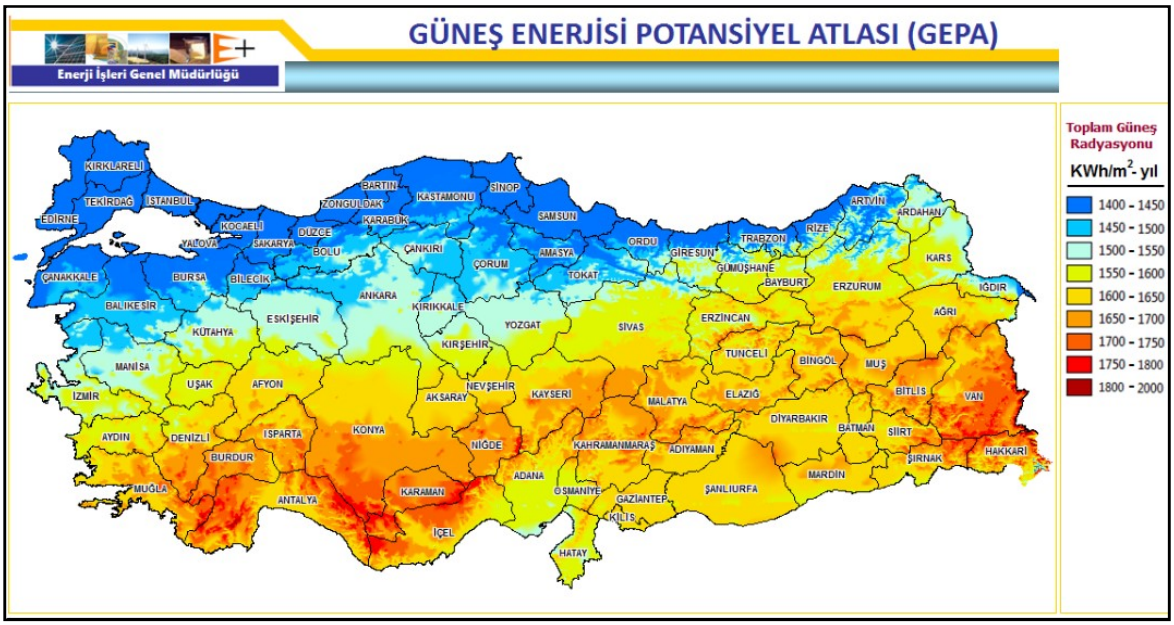
Kışın, güneş kolektörlerinden alınan verimde büyük bir eksiklik yoktur. Kış mevsiminde kar yağdığı zamanlarda ısıl verim azalır. Fakat kar yağışının durup her yerin bembeyaz kaplandığı anda güneş var ise ışınlar yansımaya başlar. Çünkü yansıma için en ideal renk beyazdır. Kısacası, güneş kolektörleri kışın dahi yansıyan ışınımları soğurarak enerji üretimini gerçekleştirir.



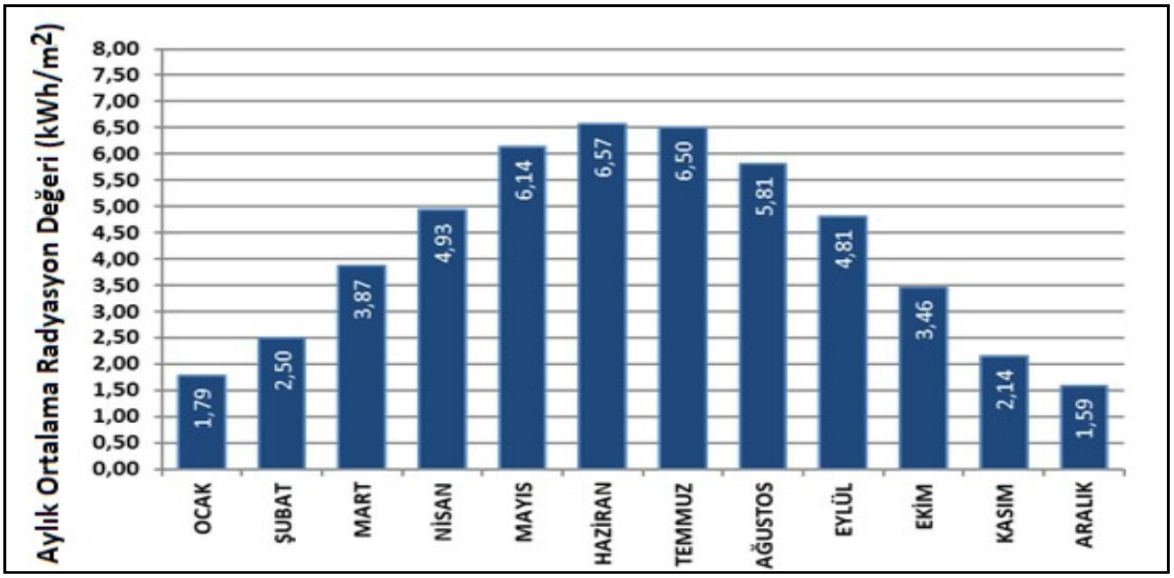
Şekil 3.2. Güneşin farklı hava koşullarında ışınım miktarları (Öksüz, 2014)

3.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat ve ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m^2' dir. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 3.3' de ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı Şekil 3.4' de yer almaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2023).

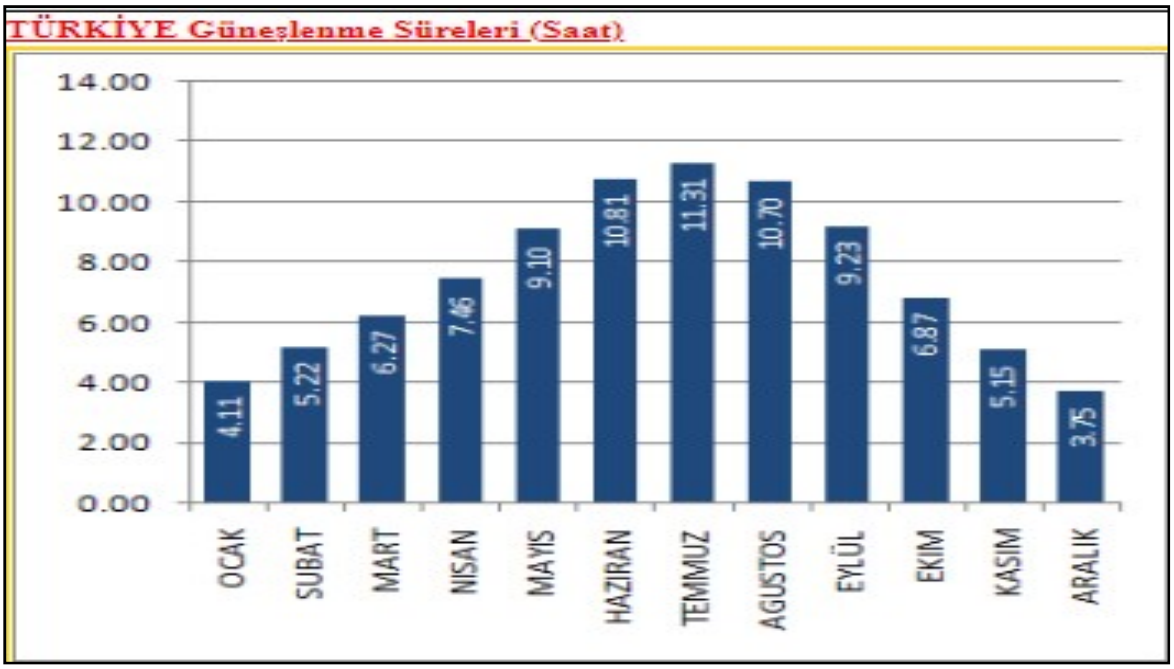


Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB, 2023)



Şekil 3.4. Türkiye aylık radyasyon değeri (kWh/m^2) (ETKB, 2023)

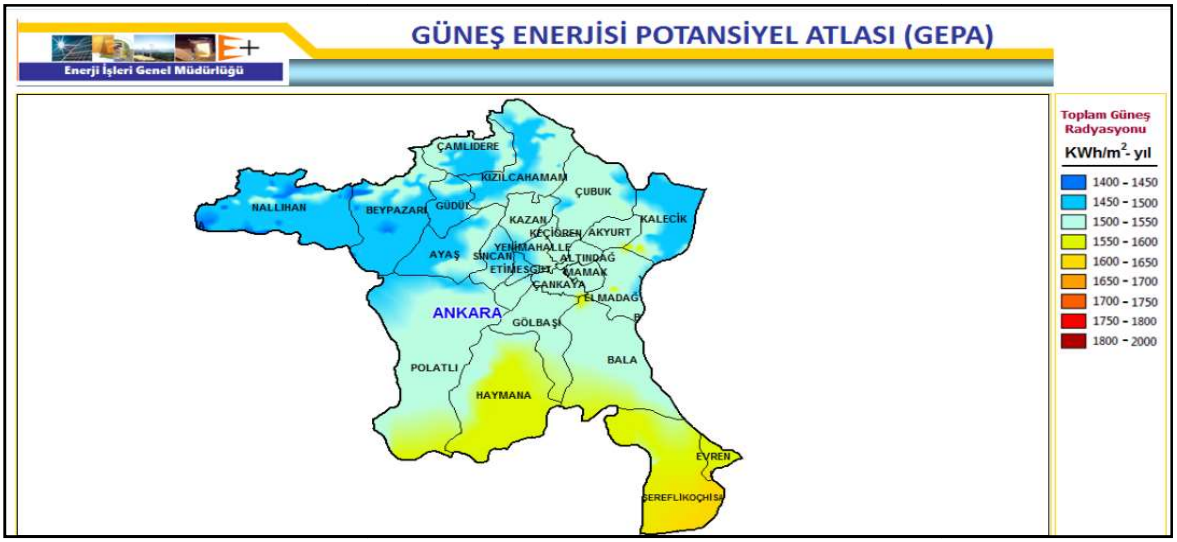
Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından matematik konumu ile birçok ülkeye göre avantajlıdır. Güneşli su ısıtma sistemlerinin kullanımı ve güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılan teşvikler ile son yıllarda oldukça artmıştır.



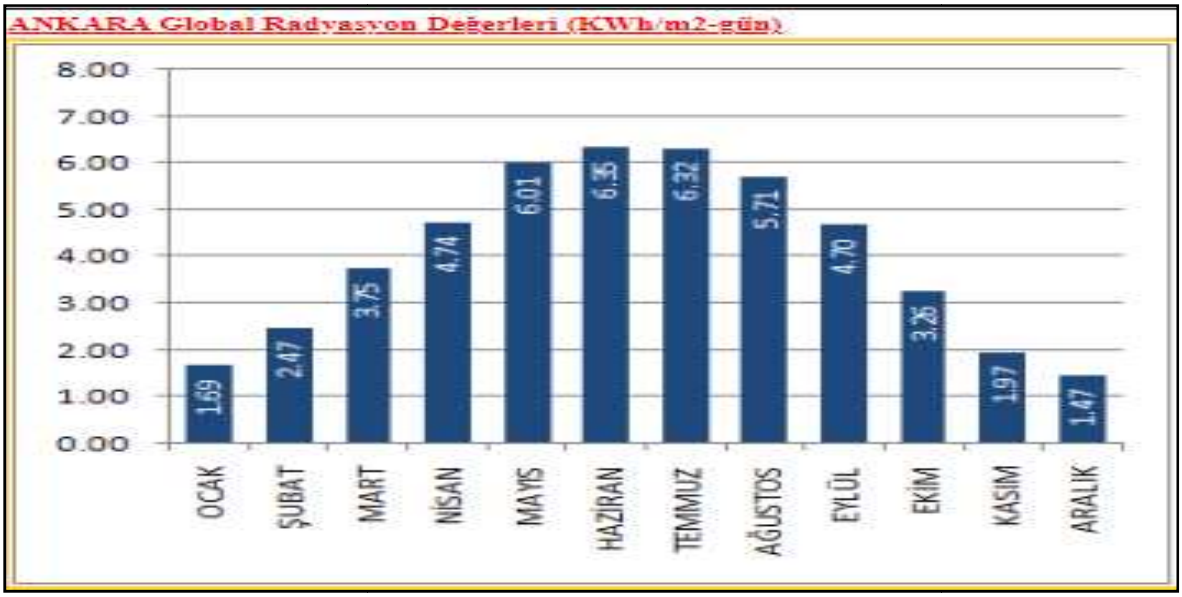
Şekil 3.5. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) (ETKB, 2023)

3.2. Ankara Güneş Enerjisi Potansiyeli

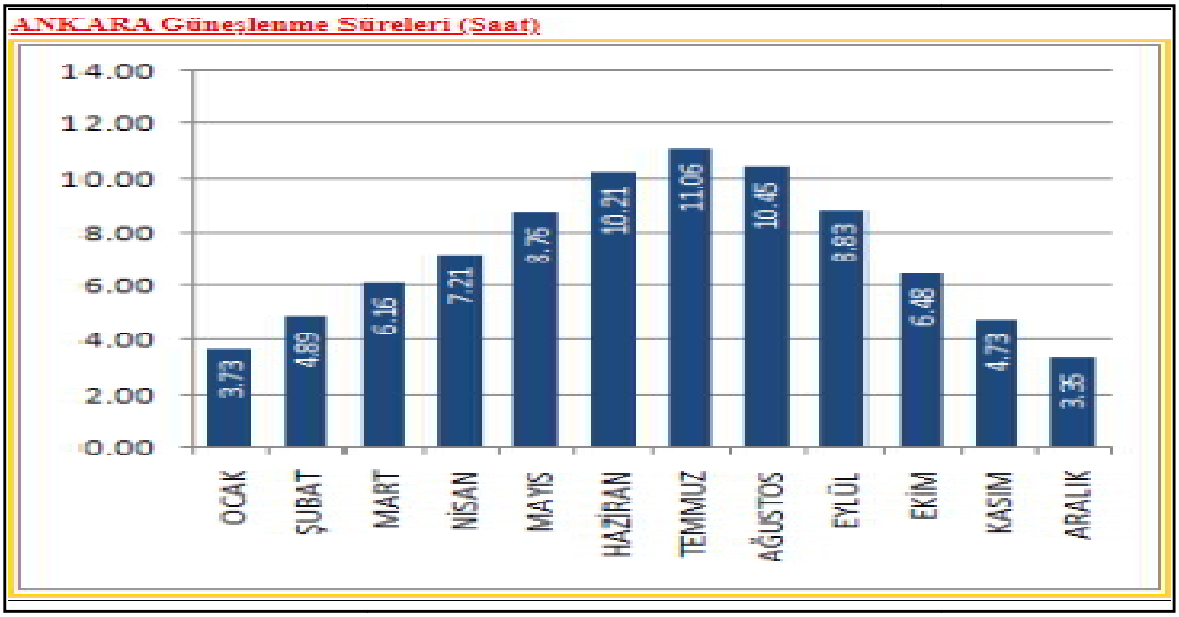
Ülkemizin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Ankara'nın yıllık ortalama güneşlenme süresi 2506 saat olup ve yıllık ortalama güneş ışınımı yaklaşık 1389 kWh/m^2 'dir (Şensoy ve diğerleri, 2010).



Şekil 3.6. Ankara güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB, 2023)

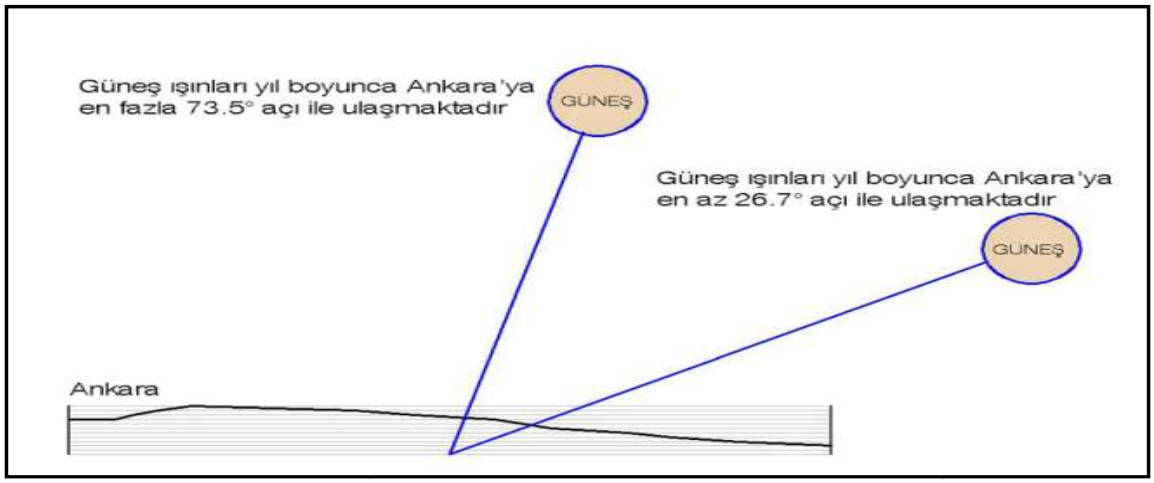


Şekil 3.7. Ankara aylık radyasyon değeri (kWh/m^2) (ETKB, 2023)



Şekil 3.8. Ankara güneşlenme süreleri (saat) (ETKB, 2023)

Ankara 21 Aralık tarihinde güneşi en düşük açıda (26,7°) almaktadır. Bu tarihte güneş yaklaşık saat 07:06' da doğmakta ve akşamüstü saat 16:26'da batmaktadır. Güneşin en etkin olduğu konum ise saat 11:47' dir. Güneş alma süresi 9 saat 20 dakikaya denk gelmektedir. Ankara'ya güneş ışınlarını en dik açıyla aldığı mevsim yaz ayı olup ve 21 Haziran tarihinde güneş 73,5° ile en etkin konuma ulaşmaktadır. Bahsi geçen tarihte güneş saat 04:20' de doğmakta ve 19:20' de batarak güneş alma süresi 15 saat olmakta ve en dik olduğu konuma ise saat 11:51' de gelmektedir. İlkbahar mevsiminde yaklaşık 61,9° açı ile ulaşan güneş ışınları, sonbaharda ise yaklaşık 39,5° açıyla konumlanır (Yılmaz ve Memlük, 2008).



Şekil 3.9. Ankara güneş alma açısı (Yılmaz ve Memlük, 2008)

3.3. Güneş Enerji Sistemleri ve Uygulama Alanları

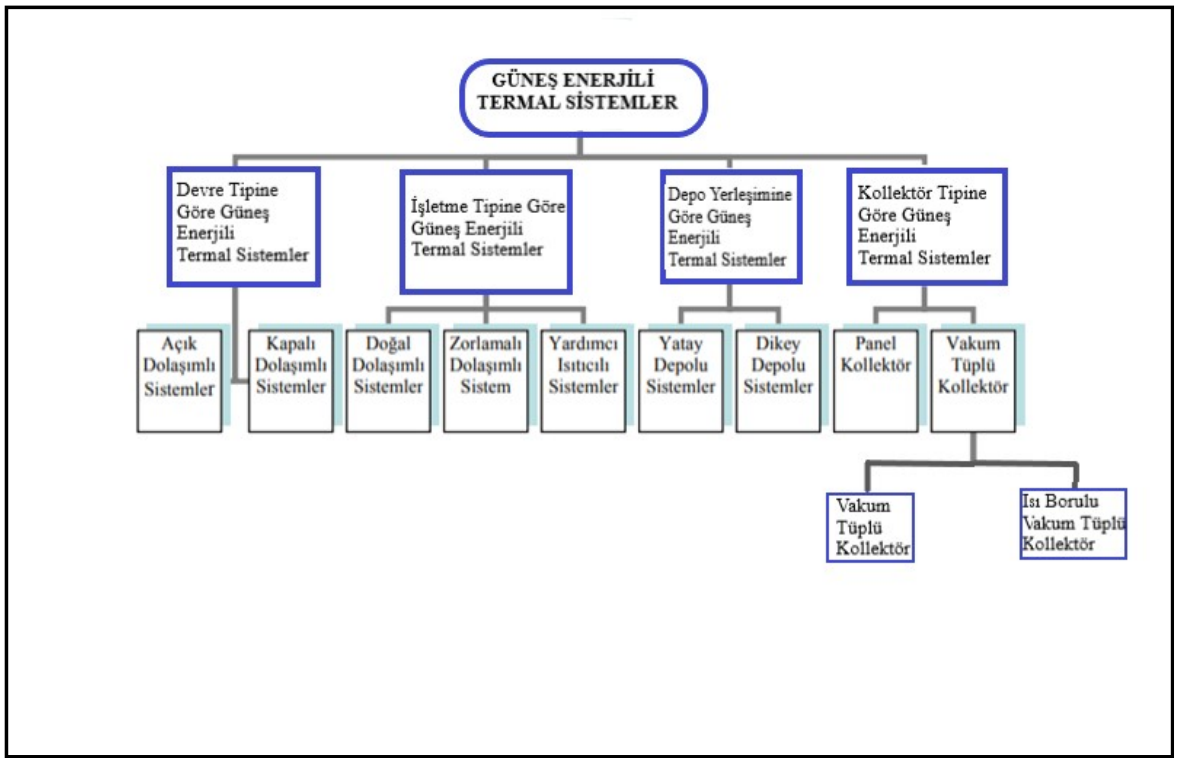
Güneş enerjisini kullanmak için kurulan teknolojik sistemler pasif sistemler ve aktif sistemler olmak üzere 2 gruba ayrılabilir:

Pasif sistemler, güneş enerjisinden yararlanmanın en kolay ve ucuz yolu olup sistemin montajından sonra güneş enerjisinin kullanımı için ek bir enerji sistemi gerektirmez. Tabii yollarla ısıyı toplayan duvar sistemleri veya seraların ısıtılması bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

Aktif sistemler, güneş ışınlarını soğurarak elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Aktif güneş enerji sistemlerini mekanik ve elektronik sistemler bir araya gelerek oluşturur. Güneş ışınlarını soğurarak elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren aktif sistemler fotovoltaik sistemler ve güneş enerjili termal sistemler olarak iki grupta incelenebilir:

Fotovoltaik sistemler, güneş ışınları soğurarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Konutlarda aydınlatma ve ısıtma başta olmak üzere gerekli elektrik enerjisini karşılar. Fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklığın azaltılabilmesi için panelin alt yüzeyinden düşük sıcaklıkta sıvı ya da gaz akışkanı dolaştırılır. Böylece panel yüzey sıcaklığı düşürülürken dolaşan soğutucu akışkanda ısıtılarak ısı enerjisi kazanılmış olur. Güneş enerjisinden aynı zamanda elektrik ve ısı enerjisi sağlayan sistemlere ise fotovoltaik termal sistemler denmektedir.

Güneş enerjili termal sistemlerde yer alan güneş kolektörleri, güneş ışınımının soğurulmasını genellikle su, hava, yağ ya da nanoakışkanlar ile sağlayan ve bunu iç enerjiye dönüştüren ısı değiştiricileridir (Şahin ve diğerleri, 2006). Güneş enerjisinin en çok tercih edildiği alanlardan birisi sıcak su elde etmedir. Çizelge 3.1’ de gösterildiği gibi güneş enerjili termal sistemler devre tiplerine göre, işletme tiplerine göre, depo yerleşim tiplerine göre ve kolektör tiplerine göre 4 gruba ayrılırlar.

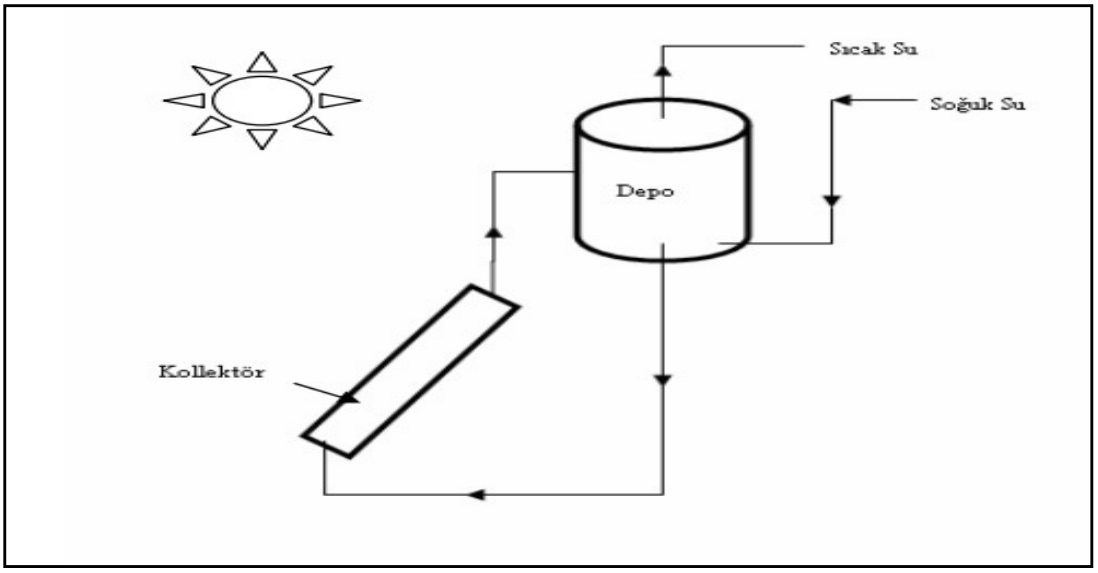


Çizelge 3.1. Güneş enerjili termal sistemler

3.3.1. Devre tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler

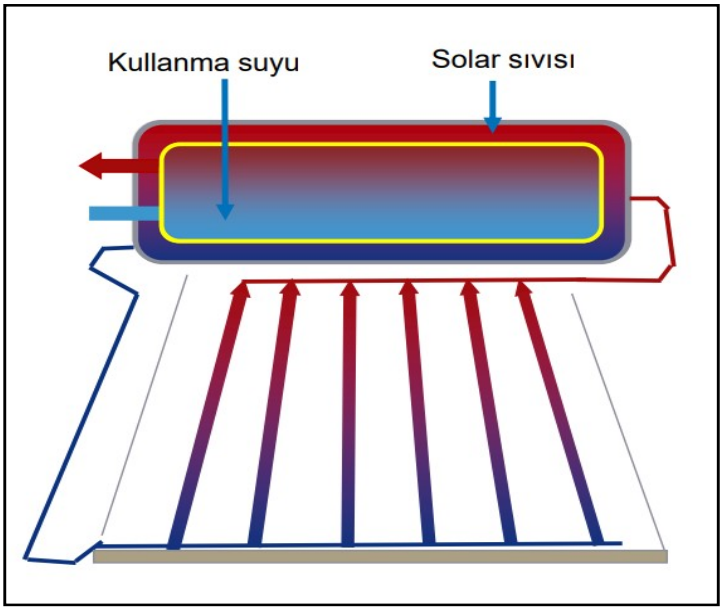
Açık dolaşımlı sistemler tanım olarak sıcak kullanım suyu ile kolektörlerde dolaşan suyun eş olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere kıyasla verimleri daha yüksek olup maliyeti ucuzdur.

Donma sorunlarının olmadığı ılıman bölgelerde kullanılır. Çünkü kış mevsiminde dış çevre sıcaklığı sıfırın altına düşen bölgelerde su donar. Donan su mevcut sistemde çatlama ve hasarlar oluşur. Bu koşullar altında bulunan ve bu sistemi kullanan yerlerde mutlaka kış aylarında sistemin akışkanının boşaltılması gerekir. Suyun olabildiğince kireçsiz olması gerekir. Çünkü su tüketildikçe depoya yeniden şebekeden soğuk su girdiği için yeni şarj edilen su kolektörlerde zamanla kireçlemeye sebep olur. Zamanla artan kireç, kolektörün ısı geçişini engeller ve ısı kaybına neden olur. Sistemin verimi düşer. Bu nedenle zamanla kulanım suyunu yeteri kadar ısınmaz. Isıl verim düşer. Ayrıca, kireç kolektörleri çürüterek zarar verir. Açık sistemler bu problemlerden dolayı tercih edilmezler.



Şekil 3.10. Açık dolaşımlı sistemler (Şahin ve diğerleri, 2006)

Kapalı dolaşımlı sistemlerde birbirinden ayrı iki farklı devre bulunmaktadır. Kolektör devresinde dolaşan su güneşten aldığı ısıl enerjiyi kullanım suyuna aktarır. Kolektör devresindeki kapalı devrede dolaşan akışkan, ılıman olmayan ve kış aylarında donma riskinin bulunduğu yerleşimlere bağlı uygun orandaki antifriz su karışımından meydana gelir (Öksüz, 2014). Çevre sıcaklığının sıfırın altına indiği kış aylarında sistemin akışkanının boşaltılmasına gerek yoktur.

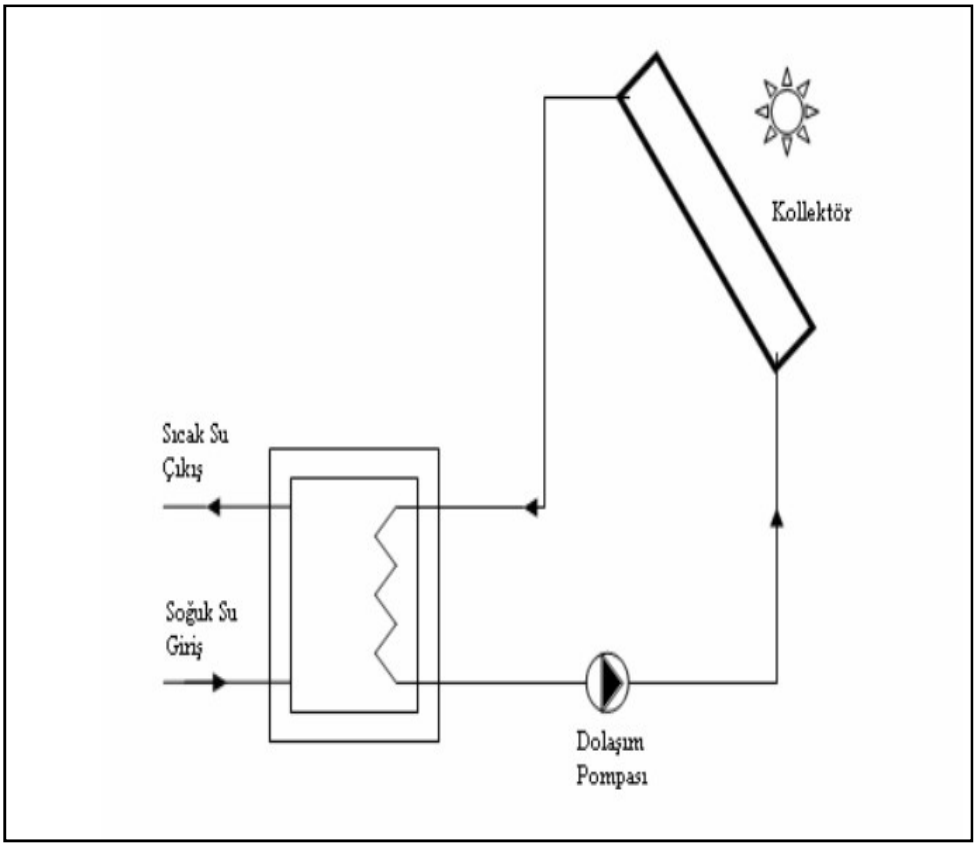


Şekil 3.11. Kapalı dolaşımlı sistemler (Öksüz, 2014)

3.3.2. İşletme tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler

Doğal dolaşımlı sistemlerde ısı transfer akışkanı doğal diğer bir deyişle tabii olarak dolaşır. Kolektörlerde dolaşan suyun ısındıkça yoğunluğunun azalması ve bu sebeple yükselmesi özelliğini temel alır. Bu çeşit sistemlerde deponun mutlaka kolektörün üst seviyesinden 30–50 cm yüksekte bulunması gerekir. Deponun alt seviyesindeki soğuk su kolektörlerde güneş ışınımı ile ısınarak yoğunluğu azalır, hafifler ve deponun üst seviyesine çıkar. Bu şekilde güneş ışınımı aldıkça devam eden bu devir sonunda depoda bulunan suyun sıcaklığı artar. Doğal yani tabii dolaşımlı sistemler daha az miktarlarda su ihtiyaçlarını gidermek için tercih edilir (Abuşka, 2023).

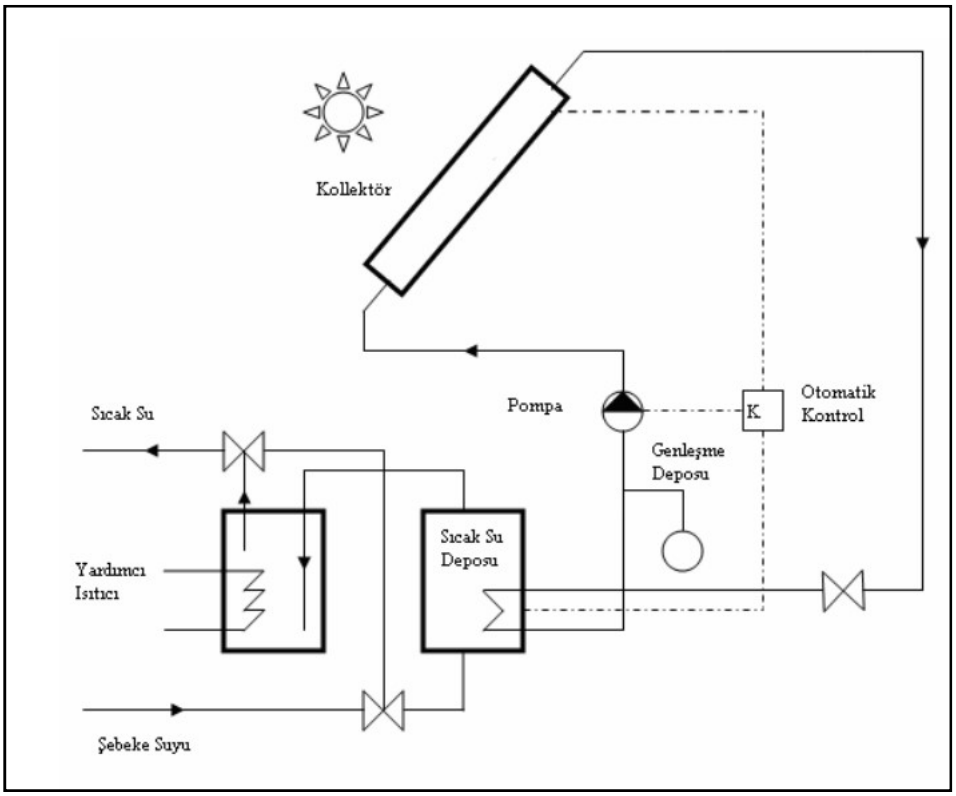
Zorlamalı dolaşımlı sistemler**,** suyun pompa gücü ile aktarıldığı sistemlerdir. Deponun yukarıda olmasına ihtiyaç olmaz. Majör sistemlerde ısı transfer akışkanı olan suyun hatlarındaki direncin artması sonucu doğal dolaşımın sağlanamaması sebebiyle pompa gücünü kullanmak gerekir.



Şekil 3.12. Zorlamalı dolaşımlı sistemler (Şahin ve diğerleri, 2006)

3.3.3. Yardımcı ısı üreticili sistemler

Güneş ışınımın yalnız başına yetmediği durumlarda ve bölgelerde tercih edilen sistemlerdir. Yardımcı ısıtıcı elektrik enerjisi olabilir ya da LPG, doğal gaz kullanan bir sistem de olabilir. Yardımcı ısı üreticileri genellikle kapalı zorlamalı tip güneş enerjili termal sistemlerinde tercih edilir (Şahin ve diğerleri, 2006).



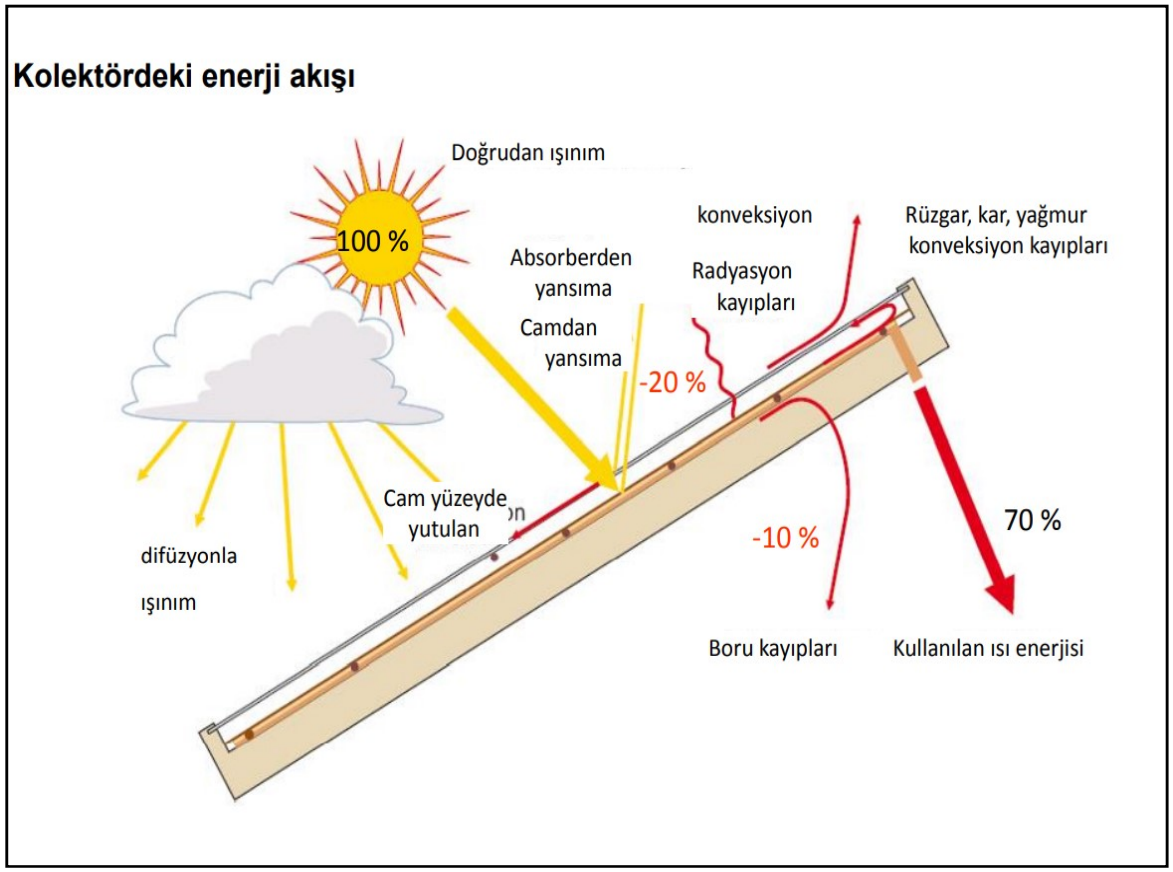
Şekil 3.13. Yardımcı ısı üreticili sistemler (Şahin ve diğerleri, 2006)

3.3.4. Depo yerleşim tiplerine göre güneş enerjili termal sistemler

Yatay depolu güneş enerjili termal sistemlerde su deposu yatay konumda yapılır. Kapalı tiplerde, kolektörün üst seviyesinden en az 45 cm yüksekte mutlaka sıcak su deposu olmalıdır. Sistem koşullara göre açık, kapalı, tabii dolaşımlı ya da zorlamalı dolaşımlı olabilir.

Dikey depolu güneş enerjili termal sistemler doğal dolaşımlı olup kolektörle birlikte sadece dikey olarak konumlandırılan sıcak su deposu bulunur. Yani sistemde herhangi bir pompa gücü kullanılmaz.

3.3.5. Kolektör tiplerine göre güneş enerjili termal sistemleri



Şekil 3.14**.** Kolektördeki enerji akışı (Öksüz, 2014)

Panel kolektörler, soğurulan ısı enerjisini düzlemsel yüzeyden geçen ince borular ile akışkana aktarır. Panel kolektörlerin ana parçaları saydam örtü, yutucu yüzey, akışkan borular, ısı yalıtım ve kolektörü içine alan kasadır.

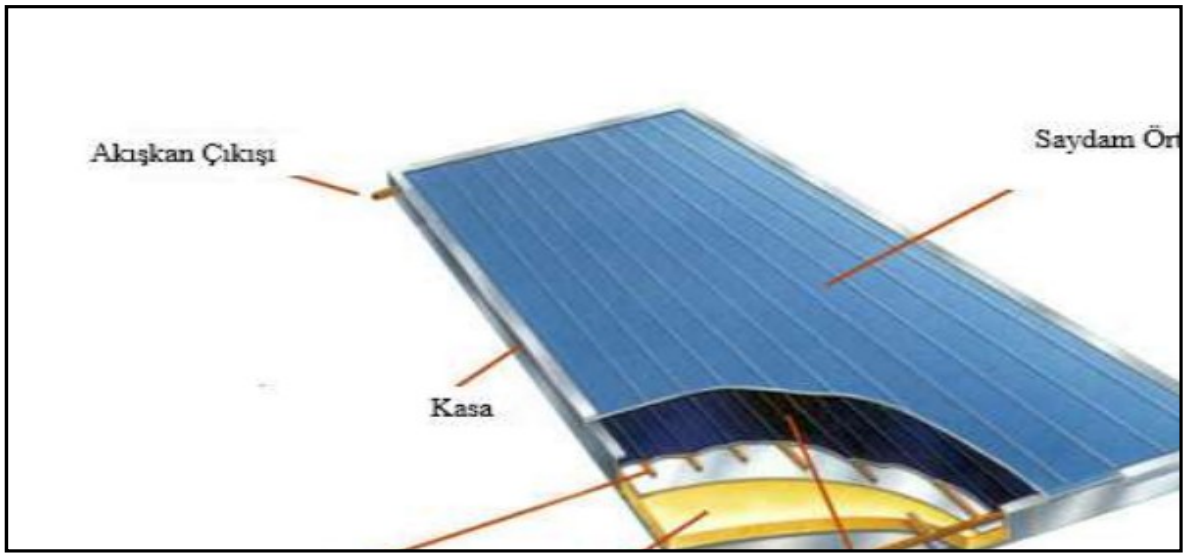
Saydam örtü, kolektörü yağmur, kar, dolu ve fırtına gibi iklim koşullarına bağlı dış etkilerinden korur. Işın geçirgenlik özellikli ve hafif olmakla birlikte kolektörün verimini uzun süre korunmasını sağlamak amacıyla çizilmeye karşı dayanaklı bir yapıdadır.

Saydam örtü seçilirken dikkat edilmesi gereken husus güneşten ulaşan kısa dalga boylu (0,23-2,6μm) güneş ışınlarını geçiren ve kolektörün soğurucusundan yayılan uzun dalga boylu (2,6μm üzeri) ışınları ise soğuran malzemenin tercih sebebi olmasıdır (Tiwari ve Shyam, 2016). Yutucu yüzey, güneş enerjisinin soğurulup akışkana aktarılmasını sağlayan çelik bakır veya alüminyum malzemeden yapılan ısı değiştiricidir. Yutucu yüzeyin üzerinin siyah bakır demir, siyah krom, siyah nikel, veya alüminyum oksit gibi farklı

malzemeler ile kaplanmasının amacı, soğurucu özelliğinin arttırılmasıdır. Kolektörlerin yutucu yüzeyinin yüksek emilim katsayısı ve düşük ısı yayma katsayısına sahip olması güneş enerjisinden maksimum fayda sağlamayı amaçlar.

Akışkan borular, soğurucu yüzeyin emdiği güneş enerjisini içinde bulunan sıvıya aktararak, sıcaklığı artan akışkanın depoya ulaşmasını sağlarlar. Kolektör içindeki yerleşimleri ısıl verim üzerinde önemli etki göstermektedir. Isı yalıtımı, yutucu yüzeyin altında bulunur ve kolektördeki soğurucu yüzeyin ısı kaybetmesini engeller. Poliüretan köpük, cam veya taş yünü yalıtım malzemesi olarak seçilebilir. Yalıtım için seçilen malzeme kolektör içerisinde oluşan yüksek sıcaklığa dayanmalı ve soğuk hava şartlarında kolektörün iç ısısını koruyarak don olayını engellemelidir.

Kasa, kolektörü içinden barındıran, dış etkenlerden korunmasını sağlayan ve kolektörü parçalarını bir arada tutan yapıdır.



Şekil 3.15. Panel kolektörler (Karaoğlu, 2019)

Vakum tüplü kolektörlerde, kolektör bünyesinde yer alan vakum bölümü yalıtım amacıyla kullanılmaktadır. Bu bölüm tüpün tamamını kapladığı için ulaşılmak istenen yalıtımı yüksek seviyede sağlanmaktadır. Vakum tüplerinin silindirik yüzeyi de gün içerisinde güneş konumunun değişmesi sebebiyle değişen güneş ışını açılarını yaklaşık eş verimle soğurmasını sağlar. Bu niteliği ile aktif bir takip mekanizması olmadan güneşin konumunu izlediği söylenebilir.

Panel kolektörlerin olumsuz yönü saydam örtü bölümünden ısı kaybının engellenememesi ve düzlemsel yapısı nedeniyle gün boyu güneşin konumu değiştikçe ısıl veriminde değişiklik olmasıdır. Aynı zamanda kolektörün herhangi bir zarar görmesi durumunda bütün kolektörün değiştirilmesi zorunludur. Bu dezavantajı nedeniyle vakum tüplü kolektörler tercih sebebi olmaktadır (Karaoğlu, 2019).

3.4. Güneş Enerji Sistemlerinde Nanoakışkanlar

Nano teknolojisi bu yüzyılın endüstriyel devriminin önemli öğelerinden biridir. Nano, Latince bir sözcük olup cüce anlamındadır. Metrik sistem içinde metrenin milyarda biri (10^{-9}) veya milimetrenin milyonda biri (10^{-6}) nano olarak adlandırılmaktadır. Gözle görülmeyecek kadar küçük olan nanonun, ısı transferini artırma etkisi göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. 2000' li yıllardan itibaren ivme kazanmış araştırmalar sayesinde nano teknoloji ile enerji maliyetlerinin azaltılması, daha az maliyetle daha fazla üretim yapılması, teknolojik cihazlarda boyutlarının küçültülerek enerji ile birlikte malzeme tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır.

Mühendislikte ısı transferi için kullanılan geleneksel akışkanlar su, motor yağı, etilen glikol ve çeşitli gazlardır. Düşük ısı iletim katsayısına sahip bu akışkanlar sistemin performansına sınırlama getirmektedir. Bu olumsuzluğu azaltma amacıyla temel akışkan içerisine yüksek ısı iletim katsayısına sahip nano katı parçacıklar ilave edilir ve oluşan süspansiyona nanoakışkan denilir. Nanoakışkan, geleneksel akışkanların içine 100 nm' den daha küçük metal veya metal olmayan nano parçacık katılarak elde edilen süspansiyon olup yeni bir ısı transfer akışkanı türü olarak adlandırılmaktadır.

Nano katı parçacık olarak saf metallerden oluşan nanoakışkanlar metalik nanoakışkanlar olarak isimlendirilir. Örnek olarak Cu, Ag, Al ve Fe esaslı nanoakışkanlar verilebilir. Bu örneklerin yanı sıra nano parçacık olarak silisyum dioksit, alüminyum oksit, bizmut oksit, zirkonyum dioksit gibi metal oksitleri de nanoakışkanlarda tercih edilebilir. Ayrıca bazı metal alaşımları da nanoakışkan olarak kullanılabilmektedir. Polimer ve karbon nano tüplerde nanoakışkan uygulamalarında tercih edilmektedir. Metal veya metal oksit esaslı nanoakışkanlara kıyasla polimer ve karbon nano tüp nanoakışkanlar eş hacimsel oranda çok daha fazla ısıl iletkenlik sağlar. Örneğin, karbon nano tüpler yaklaşık 3000 W/mK' den daha çok ısıl iletkenliğe sahiptir. Oksitli veya oksitsiz olmalarına göre sınıflandırılan

seramik nanoakışkanlara başlıca örnek CuO, Al_2O_3, TiO_2, SiO_2 ve Fe_2O_3 olarak gösterilebilir. Güneş enerjisi teknolojisinde nanoakışkan kullanımı, fosil yakıt tüketimine bağlı yaşanan çevresel problemler sebebi ile alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve kullanımı koşullara göre değişen güneş enerjisinden en uygun verim sağlama amacıyla meydana gelen yöntemlerden biridir. Nanoakışkan süspansiyonlar genellikle güneş enerjisinin uygulamalarında genellikle güneş kolektörlerinde, güneş pillerinde ve güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanılır. Güneş kolektörleri ile yapılan çalışmalar gösterir ki nanoakışkan süspansiyon kullanımı ısıl performansı arttırır. Ayrıca yıllık elektrik ve yakıt tasarrufları göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ekonomiye, CO_2 salınımını düşürdüğü göz önüne alınarak da çevreye olumlu etki sağladığı görülür.

Nanoakışkanların güneş kolektörlerinde kullanılmasının yararları şunlardır:

- Katı nano parçacıklar boyutlarının mikro olması sebebiyle temel akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırır.
- Nanoakışkan, temel akışkan ile karşılaştırıldığında daha fazla bir soğurma katsayısına sahiptir.
- Katı nano parçacıklar temel sıvının ısıl iletkenliğini oldukça arttırır ve buna bağlı olarak güneş kolektörlerinin verimliliği artar. Bunun başlıca nedeni ise, nanoakışkanın yoğunluğu ve sıcaklığı arttıkça ısıl iletkenliğinin artmasıdır.
- Nanoakışkanlar, temel akışkanların soğurma özelliklerini oldukça yükseltir ve güneş kolektörlerinin verimliliğini arttırır.
- Temel akışkanın optik niteliği nano parçacıklar ile önemli ölçüde geliştirilebilir.
- Nanoakışkanlar kullanılan güneş kolektöründe tercih edilen çıkış sıcaklığına ulaşıldığı için kolektör ebadı azaltılabilir ve üretim maliyeti düşürülebilir.
- Nano parçacıkların mikro boyutları sebebiyle, kolektör pompasında, tüplerinde veya sistemin herhangi bir donanımda kir ya da birikinti oluşmaz.
- Nanoakışkanların yoğunluğu yüksektir. Nano parçacıkların düşük özgül ısısı olması ve yüksek ısı transfer katsayısı nedeniyle kolektör verimliliğini artırırlar.
- Nanoakışkanlar kolektördeki taşınımdan ve salınımdan kaynaklanan ısı kaybını indirgemek için etkin bir şekilde kullanılabilir (Hussein, 2016).

Nanoakışkanların ısıl iletkenliğini etkileyen parametreler aşağıdaki Şekil 3.16' da gösterilmiştir. Nano parçacığın yoğunluğunun sürekli artışı, nanoakışkanın ısıl iletkenliğin de doğrusal artış sağlayabilir. Nano parçacık boyutu azaldıkça ısıl iletkenlik artar. Nano parçacık şekli yani boy-çap oranının artması ısıl iletkenliğinde olumlu katkı sağlar. Örneğin, eş akışkan içerine yayılan silindirik nano parçacık küresel nano parçacıktan daha fazla ısıl iletim sağlar. Yüksek ısıl iletkenliği olan nano parçacıkların tercih edilmesi nanoakışkanın ısıl performansını daha fazla arttırır. Düşük ısıl iletkenliğe sahip temel akışkanın seçilmesi ise ısıl iletkenlik performansının daha yüksek olması sonucunu doğurur. Anlaşılacağı üzere, temel akışkanın ısıl iletkenliği ile ısıl iletkenlik performans artışı ters orantılıdır. Nanoakışkanın sıcaklığının yükselmesi ile ısıl iletkenliğinin de yükseldiği birçok bilim insanı tarafından gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğini etkileyen parametreler (Arslan ve diğerleri, 2017)

4. TEORİK HESAPLAMALAR

Helisel sargılı güneş enerjili sistemde sayısal analiz yapılmak istenilirse, akışkan alanında süreklilik ve momentum denklemleri çözülüp her bir hücredeki hız (u, v ve w) ve basınç (P) değerleri hesaplanabilir. Sabit yoğunluk (ρ) koşulları için süreklilik denklemi şu şekilde verilebilir (Çengel ve Cimbala, 2013):

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}} = 0 \tag{1}$$

Üç boyuttaki (x, y ve z) momentum denklemleri aynı zamanlı olarak çözülür. Örnek olarak, x momentum denklemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(2\mu\frac{\partial u}{\partial x} + \lambda\vec{\nabla}.\vec{V}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z})\right] \tag{2}$$

Standart $\mathrm{k}-\varepsilon$türbülans modeli (SKE), farklı mühendislik bölümleri için en fazla kullanılan türbülans modelidir. (Nithiarasu, 2016; Afshari, 2021; Khanlari, 2022). Boru akışı gibi çok sayıda karşılaştırma denemesinden elde edilen veriler kullanılarak model parametreleri kalibre edilir. Farklı mühendislik uygulamaları için kullanılan sağlam ve doğru bir modeldir. Türbülans enerjisi için taşıma denklemi aşağıdaki gibi verilebilir (ANSYS, 2017):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\overline{u}_i k)}{\partial X_i} = -\rho\overline{\acute{u}_\imath\acute{u}_\jmath}\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial t} - \rho\varepsilon + \frac{\partial}{\partial X_i}\left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial X_i}\right] \tag{3}$$

Bu tümden modellenmiş ve şu şekilde ifade edilebilecek bir dağılım oranı ε gerektirir:

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\overline{u}_i\varepsilon)}{\partial X_i} = C_{1\varepsilon}P_k\frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial X_j}\left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial\varepsilon}{\partial X_j}\right] \tag{4}$$

k ve bir türbülans uzunluk ölçeği (L_t) ile alakalıdır ve dağılma oranı (ε) aşağıdaki gibi olabilir:

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{L_t} \tag{5}$$

k ile birlikte girdap viskozitesi (μ_t) şu şekilde verilebilir:

$$\mu_t = \rho C_\mu L_t \sqrt{k} = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

Enerji denklemi, alandaki sıcaklık (T) dağılımını elde etmek için suyun geçtiği bölgede çözülür:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \vec{\nabla}. k \, \vec{V} \, T + \varphi \quad (7)$$

Φ enerji kaynağı ve $c_p$çözüm alanındaki malzemelerin özgül ısı kapasitesini belirtir. Spiral boru yüzeyi ve cam duvar yüzeyleri güneş ışınımının bir kısmını emebilir. Alanın güneş radyasyon analizi, kısacası her bir yüzeyin sıcaklığı aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır (Çengel ve Ghajar, 2020):

$$\dot{Q}_\iota = A_i \sum_{j=1}^{N} F_{i \to j} (J_i - J_j) \quad (8)$$

$$\sigma T_i^4 = J_i + \frac{1-\epsilon_i}{\epsilon_i} \sum_{j=1}^{N} F_{i \to j} (J_i - J_j) \quad (9)$$

Görünüm faktörü, $F_{i \to j}$i yüzeyinden ayrılan ve j yüzeyine değen radyasyon yüzdesini gösterir. Radyozite, birim zamanda ve birim alan başına yüzeyden ayrılan toplam radyasyon enerjisini ifade eder. Radyozite, J değeri ile temsil edilir. N, etki alanındaki yüzeylerin sayısını vurgular.

Tasarlanan ve imal edilen sarmal sargılı kolektörün enerji ve ekserji analizleri incelendi. Termal sistemlerin analizinde genellikle boyutsuz sayılardan Reynolds ve Nusselt sayıları aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir (Fattahi ve diğerleri, 2022):

$$Re = \frac{\rho_w u_i D_h}{\mu_w} \quad (10)$$

$$Nu = \frac{h D_h}{k_w} \quad (11)$$

Güneş enerjili kolektör tarafından elde edilen faydalı enerji şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\left(T_{w,o} - T_{w,i}\right) \tag{12}$$

Güneş enerjili kolektörün ısıl verimliliği, genel performansın değerlendirilmesinde önemli bir parametredir ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}}{IA} \tag{13}$$

Ekserji, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının hesap edilmesinin sonucudur. Ekserji analizi sıklıkla termal sistemlerin tasarım aşamalarında kullanılır. Ekserjinin genel ifadesi şu şekilde verilebilir (Kotas, 1995; Wong, 2000):

$$\sum \dot{E}x_{i,net} - \sum \dot{E}x_{o,net} = \sum \dot{E}x_{loss} \tag{14}$$

Ekserji verimliliği aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Yazdanpanahi ve diğerleri, 2015):

$$\eta_e = \frac{\sum \dot{E}x_{o,net}}{\sum \dot{E}x_{i,net}} = 1 - \frac{\sum \dot{E}x_{loss}}{\sum \dot{E}x_{i,net}} \tag{15}$$

Güneş enerjili kolektörün net giriş ekserjisi aşağıdaki denklem kullanılarak ifade edilebilir (Petela, 2003):

$$\sum \dot{E}x_{i,net} = IA\left[1 - \frac{4}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right) + \frac{1}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right)^4\right] \tag{16}$$

Ek olarak güneş enerjili kolektörün net çıkış ekserjisi şu şekilde hesaplanabilir (Tiwari ve diğerleri, 2009; Yazdanpanahi ve diğerleri, 2015):

$$\sum \dot{E}x_{o,net} = \dot{Q}\left(1 - \frac{T_a}{T_{w,o}}\right) \tag{17}$$

Sürdürülebilirlik indeksi, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilen ekserjiyi ifade eden bir faktördür (Çalışkan, 2017):

$$SI = \frac{1}{1-\eta_e} \tag{18}$$

Deneysel belirsizlik, deneysel sonuçların incelenmesinde önemli bir göstergedir ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n\right)^2 \right]^{1/2} \tag{19}$$

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deney Seti Ana Parçaları, Özellikleri ve Montaj

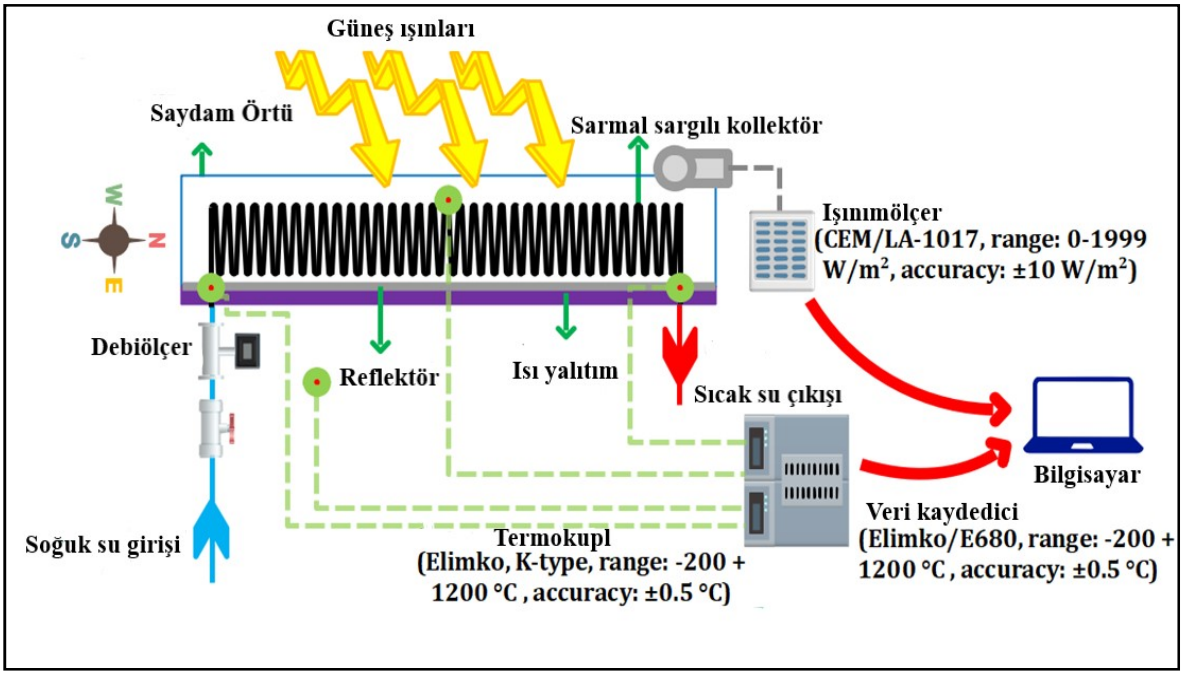
Bu çalışmada, yüksek ısıl verim sağlamak amacıyla helisel veya diğer adıyla sarmal sargılı, güneş enerjili kolektör imal edilirken soğurucu yüzey silindirik olarak tasarlanmıştır. Silindirik soğurucu kullanılmasının sebebi, güneşin gün boyu konum değiştirmesi nedeniyle farklı gelen ışın açılarını kolektörün yüksek düzeyde soğurmasını sağlamak ve böylece ısıl verimi en elverişli seviyeye getirmektir. Ayrıca, geleneksel güneş enerjisi kolektörlerine kıyasla nispeten küçük bir hacimde artırmayı mümkün kılarak kolektörün ısıl verimini daha da artırmaktadır.

Kolektör camı özel bir cam olup dış yüzeyinde maksimum emilim için düz cam, iç yüzeyinde ise yansıma yoluyla güneş ışınımının kolektör içinden atmosfere geçişini önlemek için pürüzlü olan cam kullanılmıştır. Sisteme plaka tip ısı değiştirici ve nanoakışkan ile deneyler yapıldığı için pompa teçhiz edilmiştir.

Tasarımı ve imalatı yapılan sarmal sargılı güneş kolektörünün ısıl performansını karşılaştırmak için farklı debilerde testler yapılmıştır. Bu testlerde sarmal sargılı güneş ısıl sistemine saf su şarj edilerek performans deneyleri yapılmıştır. Aynı deney setinde ve aynı şartlarda bu kez sisteme çalışma akışkanı olarak saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı şarj edilerek performans deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılmaları yapılmıştır. Şekil 5.1’ de tasarlanan deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir.

Sarmal sargılı soğuruculu kolektörde bakır boru tercih edilmiştir. Kullanılan bakır borunun yarıçapı 4 mm' dir. Ayrıca geliştirilen sarmal kolektör 42,5 mm yarıçapındadır. Bununla birlikte bobin hatve değeri 15 ve bobin toplam dönüş sayısı değeri ise 49’dur. İmal edilmiş olan sarmal kolektör %95 emiciliğe sahip endüstriyel mat siyah boya ile boyanmıştır. Kolektörün kasa malzemesi olarak 4 mm kalınlığında ve %92 geçirgenliğe sahip cam dikdörtgen prizma seçilmiştir. Güneş ışınlarını sarmal olarak sarılmış soğurucu tüpün alt tarafına yansıtmak için kasanın alt kısmında reflektör plaka tercih edilmiştir. Ek olarak, kolektörün arka tarafından ısı kayıplarını en aza indirgemek için kolektör alt tarafı ısıl

olarak yalıtılmıştır. Resim 5.1 ve Resim 5.2 tasarlanan ve imal edilen deney düzeneğinin bir fotoğrafını göstermektedir.



Şekil 5.1. Tasarlanan deney düzeneğinin şematik görünüşü



Resim 5.1. Tasarlanan kolektörün fotoğrafları

Tasarlanan ve imal edilen sarmal sargılı soğuruculu güneş enerjili kolektör, Eylül ayında Ankara, Türkiye'de test edildi. Su debisinin ve farklı akışkanların etkileri incelendi. Geliştirilen sarmal sargılı güneş enerjili kolektörün performans analizi için yıllık eğim açısına karşılık gelen 40° eğim açısı ile açısal yönlendirmesi güney yönünde yapıldı. Şebeke suyu ile beslenen kolektöre, giriş suyunun debisi debimetre ile ayarlanarak girişi yapıldı. Testlere başlamadan önce kapalı kolektörde 15 dakika su dolaşımı yapıldı. Bu işlem, test edilen güneş kolektöründe kararlı rejim elde etmek amacıyla yapıldı. Deneysel olarak hem su hem de saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk olmak üzere iki farklı debi değeri ile test edildi. 4 gün süren performans testleri sabah saat 10.00' da başladı ve akşamüstü saat 16.00' da sona erdi. Kolektör girişinde, kolektör çıkışında, sarmal sargılı yüzeyde ve kolektör çevresindeki havanın sıcaklık değerleri 5 saniyede bir kaydedildi. Ayrıca kolektör üst yüzeyinden her 15 dakikada bir güneş ışınım değerleri ölçüldü. Farklı su debisinden ve farklı akışkanlardan elde edilen veriler sistem performansını değerlendirmek amacıyla karşılaştırıldı.



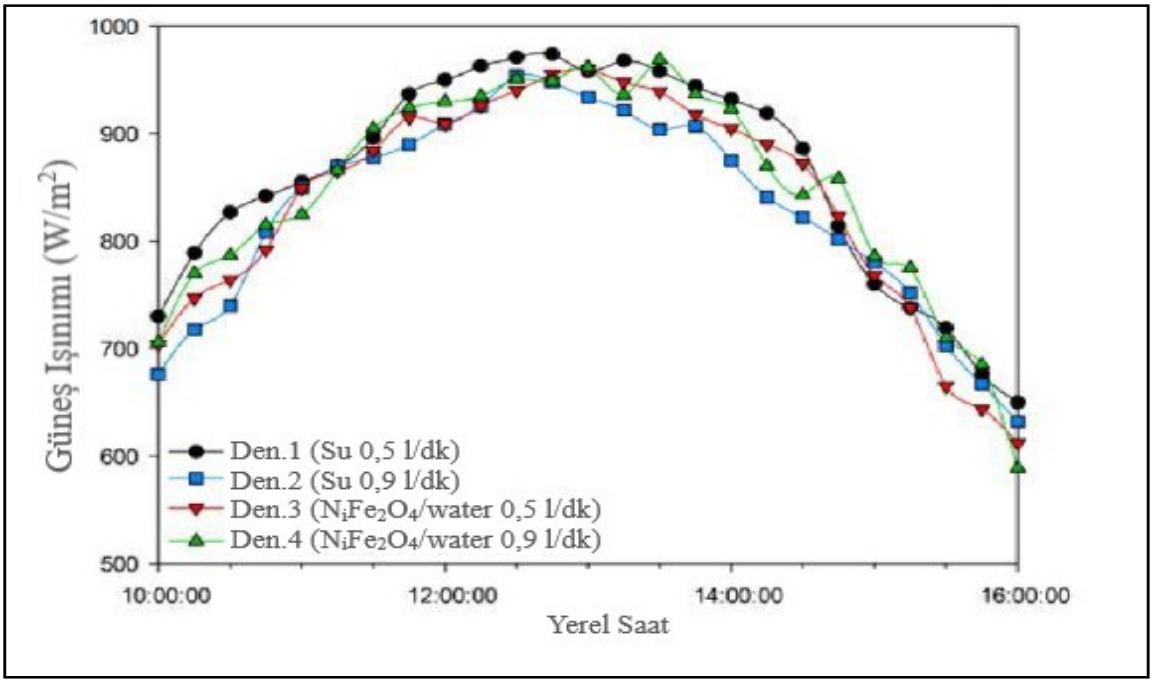
Resim 5.2. Tasarlanan deney düzeneğinin fotoğrafı



Resim 5.3. Tasarlanan deney düzeneğinin fotoğrafı

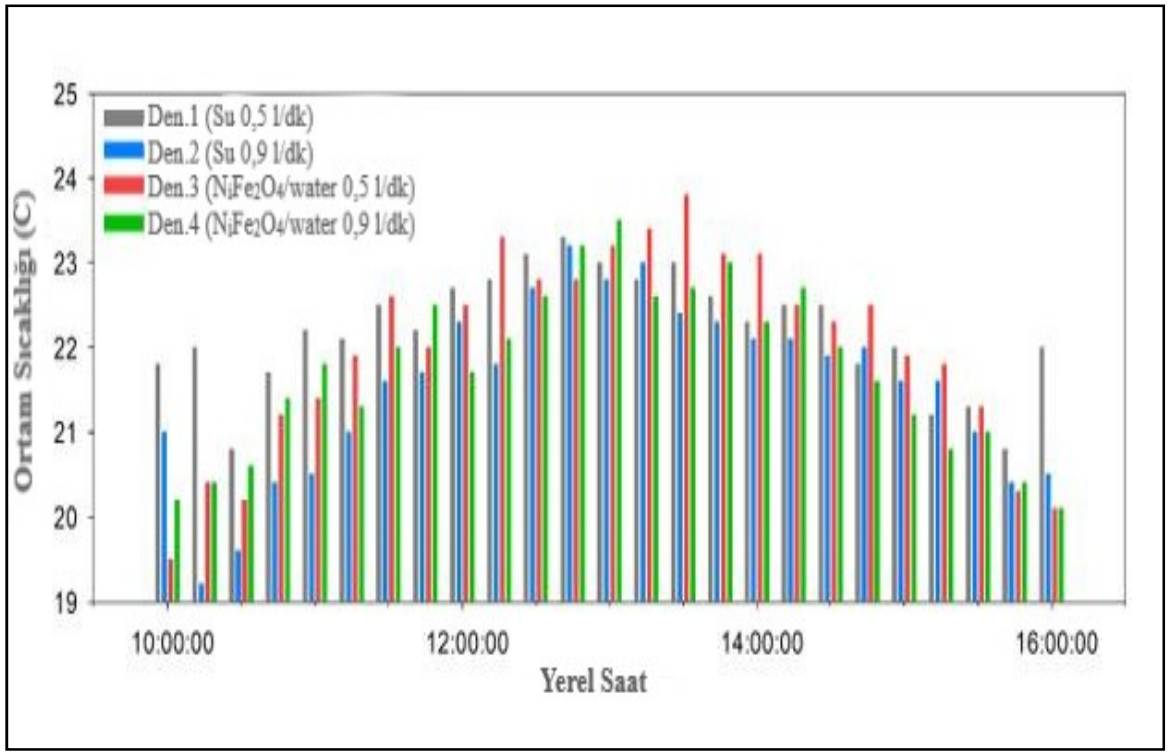
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sarmal sargılı güneş kolektöründe, farklı debilerde saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı olmak üzere iki farklı çalışma sıvısı ile dört günlük bir süre boyunca deneysel bir araştırma yürütüldü. Deneyler, Eylül ayında saat 10:00 ve 16:00 arası yapıldı. Güneş ışınımı verilerinin yerel zamana göre değişimi Şekil 6.1' de gösterilmektedir. Sarmal sargılı güneş kolektörünün performansını değerlendirmek için saf su ile yapılan deneylerde 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için ortalama güneş ışınımı değerleri sırasıyla 869 W/m^2 ve 829 W/m^2 oldu. Saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nano akışkanı ile yapılan deneylerde ise 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için ortalama güneş ışınımı değerleri sırasıyla 833 W/m^2 ve 839 W/m^2 oldu. Maksimum ve minimum ortalama güneş ışınımı değerleri sırasıyla Deney 1' de 980 W/m^2 ve Deney 4' de 590W/m^2oldu. Ayrıca en yüksek anlık radyasyon değeri saat 13:00' te ölçüldü. Sarmal sargılı güneş kolektörünün farklı debilerde ve farklı çalışma sıvıları ile test edilmesinin, kaydedilen güneş ışınımını önemli ölçüde etkilediğini belirtmek gerekir.



Şekil 6.1. Ölçülen günlük ışınım değerlerinin yerel zamana bağlı değişimi

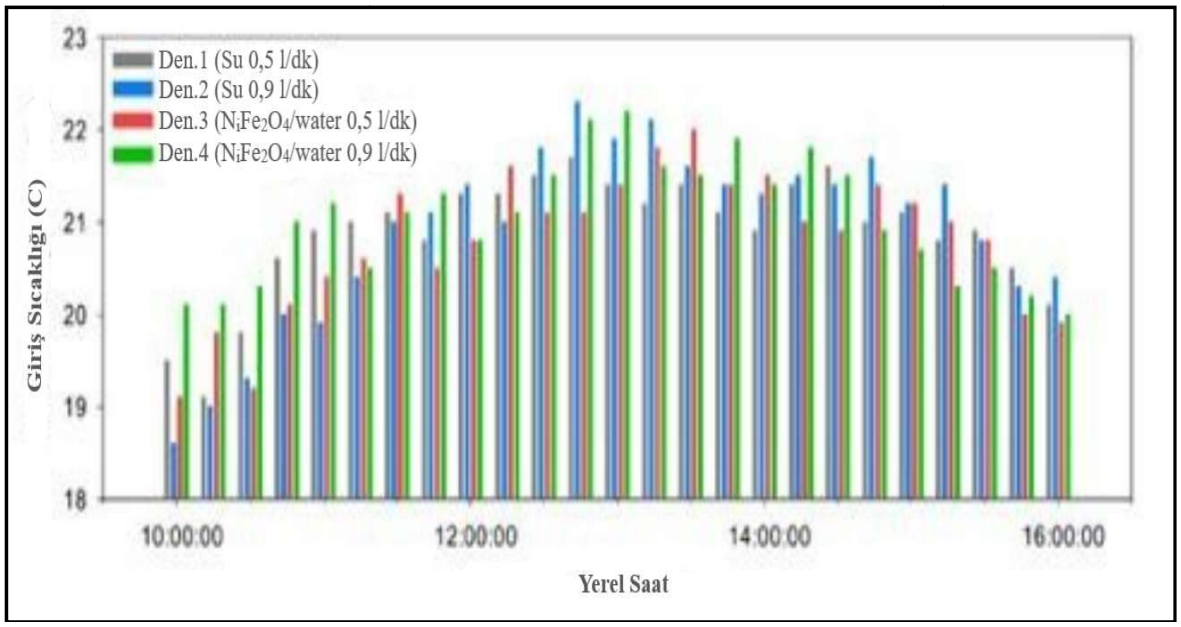
Ortam sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 6.2' de gösterilmektedir. Su ile yapılan Deney 1 ve Deney 2 ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile yapılan Deney 3 ve Deney 4 için ortalama ortam sıcaklığı sırasıyla 22,18 °C, 21,58 °C, 21,99 °C ve 21,71 °C olarak elde edildi. Anlaşıldığı üzere elde edilen sıcaklıklar birbirine oldukça yakındır.



Şekil 6.2. Ortam sıcaklık değerlerinde zamana bağlı değişim

Sarmal sargılı güneş kolektörünün giriş suyu şebeke suyundan sağlandı. Bu sebeple giriş suyu sıcaklık değerleri deneyler esnasında değişim gösterdi. Kolektör giriş suyu sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimini Şekil 6.3 göstermektedir.

Saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile yapılan deneylerde, minimum ve maksimum giriş suyu sıcaklık değerleri sırasıyla 19,20-21,70 °C, 18,70-22,30 °C, 19,20-22 °C ve 20-22,20°C olarak elde edilmiştir.



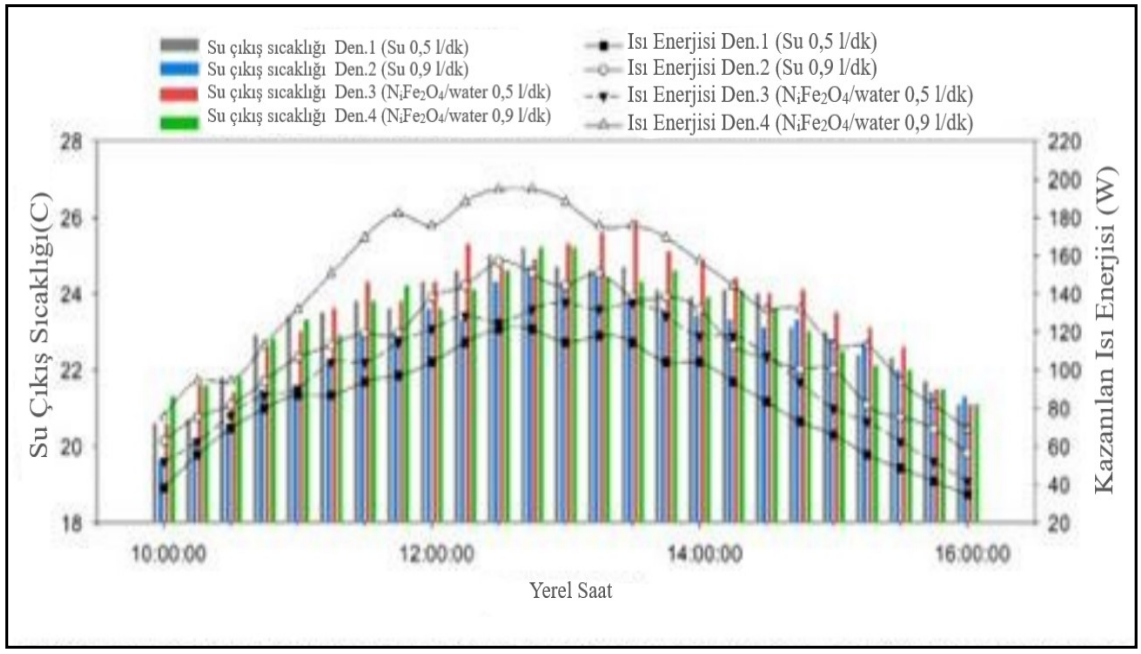
Şekil 6.3. Giriş suyu sıcaklıklarında zamana bağlı değişim

Şekil 6.4, kolektörün çıkış suyu sıcaklığındaki zamana bağlı değişimini ve sarmal sargılı güneş kolektörün kazandığı ısıyı göstermektedir.

Güneş kolektörünün saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için yapılan deneylerinde ortalama çıkış sıcaklıkları sırasıyla 23,18 °C, 22,50 °C, 23,29 °C ve 23,13 °C olarak kaydedildi.

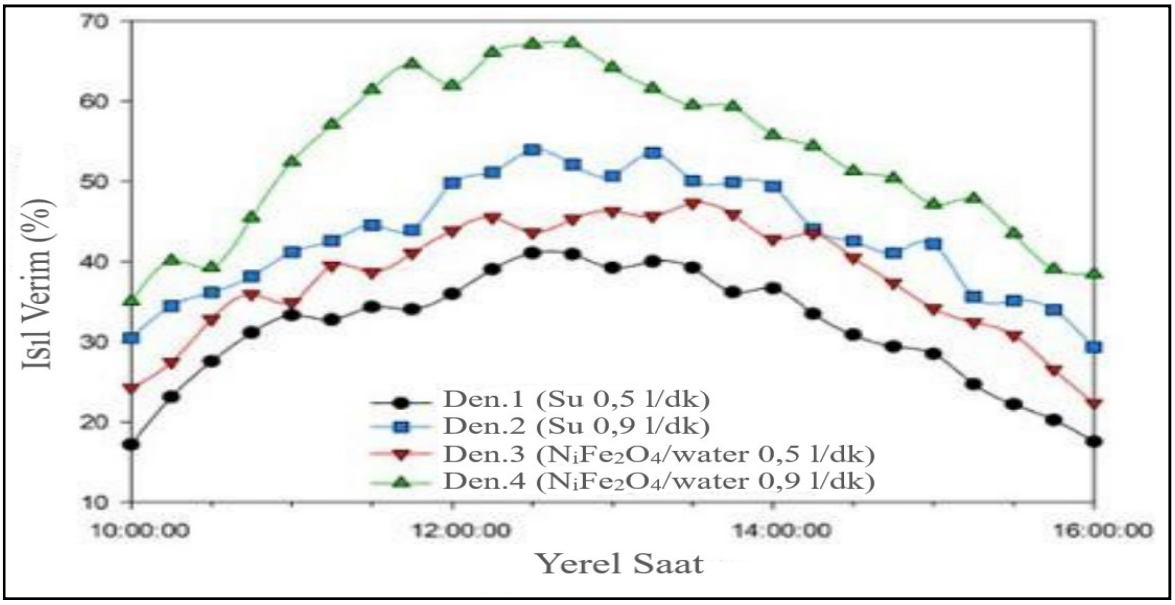
0,5 l/dk debide, saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile yapılan performans testlerinde çıkış sıcaklık değerleri diğer durumlara göre yüksek çıktı. 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için yapılan deneylerde akışkanların minimum ve maksimum giriş ve çıkış ortalama sıcaklıkların farkının değeri sırasıyla 1,60-3,50 °C, 0,90-2,40 °C, 1,60-3,90 °C ve 1,00-3,00 °C aralığındadır.

Güneş kolektörünün saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için yapılan deneylerinde kazanılan ortalama enerji değerleri sırasıyla 86,24 W, 111,56 W,99,28 W ve 141,52 W olarak elde edildi. 0,9 l/dk debide, saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile yapılan performans testlerinde kazanılan ısı değeri diğer durumlara göre yüksek çıktı.



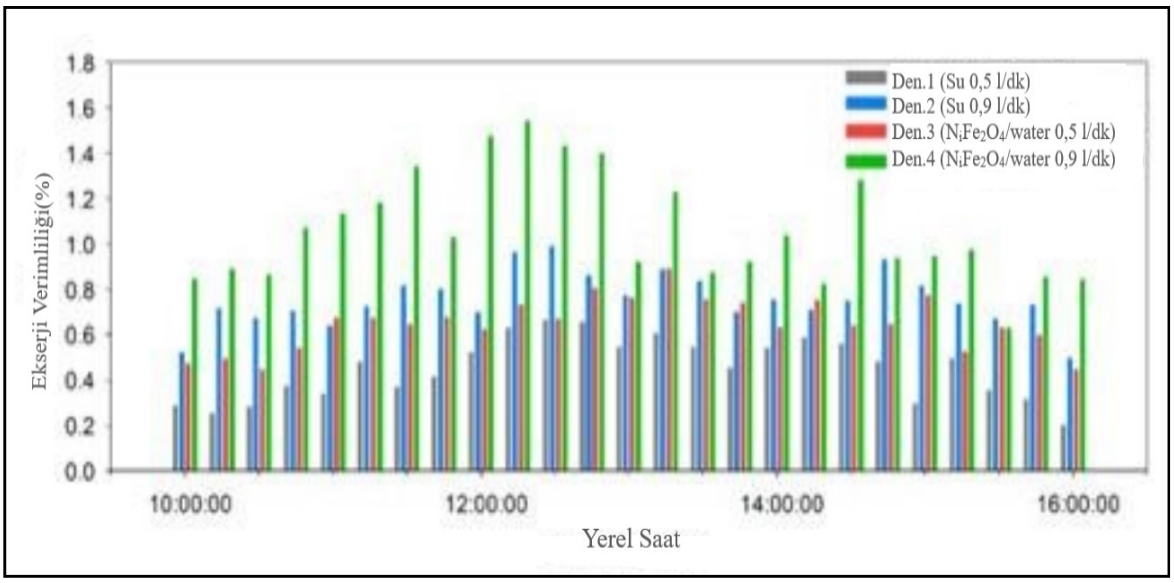
Şekil 6.4. Çıkış suyu sıcaklıklarında ve kazanılan ısıda zamana bağlı değişim

Şekil 6.5, sarmal sargılı güneş enerjili kolektörün farklı debilerde ve farklı akışkanlarla ısıl verim değerlerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Ortalama ısıl verim değerleri Deney 1, Deney 2, Deney 3, Deney 4 sırasıyla %32,24, %43,20, %38,16 ve %52,88 olarak elde edildi.



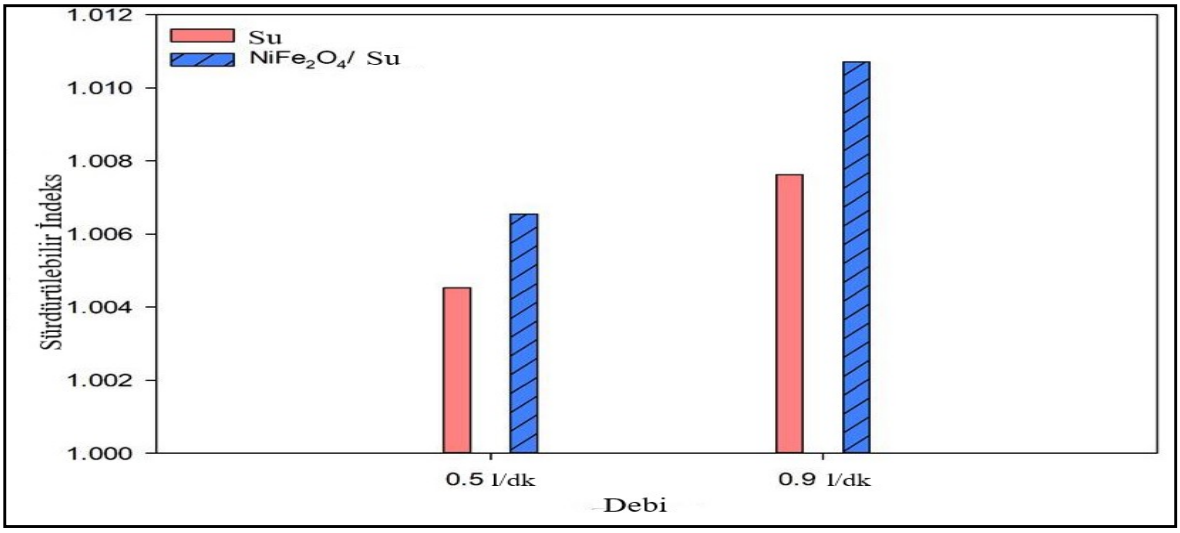
Şekil 6.5. Güneş enerjili kolektörün ısıl verim değerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 6.6, sarmal sargılı güneş enerjili kolektörün farklı debiler ve farklı akışkanlar için ekserji verimliliği değerlerinin zamana bağlı değişimi göstermektedir. Genel olarak ekserji verim değerleri ile ısıl verim değerlerinin benzer eğilimler gösterdiği ifade edilebilir. Ancak, çevre sıcaklığı gibi ortam koşulların değişimi bazı farklılıklara yol açar. Sarmal sargılı güneş kolektörünün farklı debiler için minimum ve maksimum ekserji verim değerleri sırasıyla %0,21-0,67, %0,49-1,10, %0,41-0,88 ve %0,61-1,52 aralığında elde edildi.



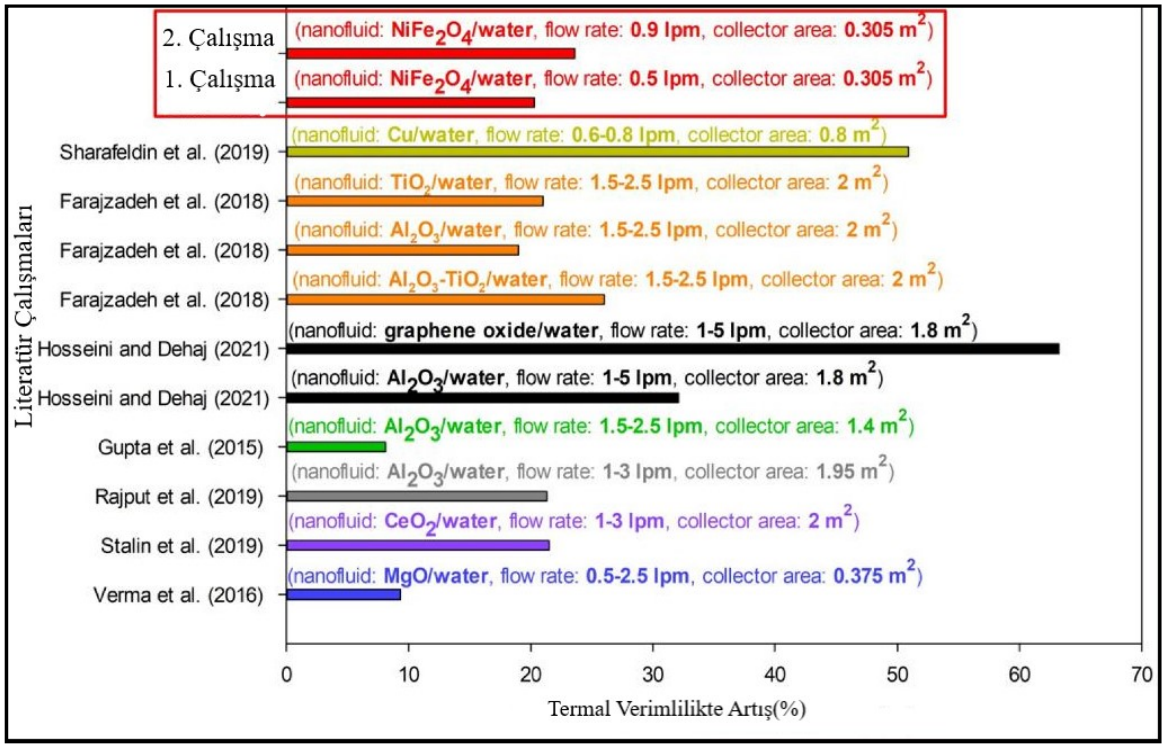
Şekil 6.6**.** Ekserji verimliliği değerlerinde zamana bağlı değişim

Şekil 6.7, sarmal sargılı güneş kolektörünün deneysel olarak elde edilen ortalama SI değerlerini göstermektedir. SI değerleri 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debi için sırasıyla 1,0043-1,0064 ve 1,0078-1,011 aralığında elde edildi.



Şekil 6.7. Deneysel olarak elde edilen ortalama SI değerleri

Şekil 6.8 ’de bu çalışmada imal edilen kolektörün, benzer güneş kolektörleri ile karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 6.8. Isıl verim değerlerinin literatürde benzer çalışmalarla karşılaştırılması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sarmal sargılı güneş enerjili kolektör tasarlanarak imal edildi ve genel performansının değerlendirilmesi için deneysel olarak test edildi. Ayrıca geliştirilen sarmal sargılı güneş enerjili kolektörün akış ve ısıl davranışını belirlemek için 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk' lık farklı debilerde, saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı olmak üzere iki farklı çalışma akışkanı kullanılarak elde edilen deneysel veriler karşılaştırıldı. Mevcut çalışmanın sonuçları şu şekilde verilebilir:

- Güneş kolektörünün saf su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debiler için yapılan deneylerinde kazanılan ortalama enerji değerleri sırasıyla 86,24 W, 111,56 W, 99,28 W ve 141,52 W olarak elde edildi.
- Ortalama ısıl verim değerleri 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk' lık debilerde su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı için sırasıyla %32,24, %43,20, %38,16 ve %52,88 olarak elde edildi.
- 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk' lık debilerde su ve saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı için sırasıyla sürdürülebilirlik indeks değerleri sırasıyla 1,0043-1,0064 ve 1,0078-1,011 aralığında elde edildi.

Özetle, 0,9 l/dk debide, saf su/$NiFe_2O_4$ manyetik nanoakışkanı ile yapılan performans testlerinde kazanılan ısı değeri, ısıl verim ve sürdürülebilirlik endeksi diğer durumlara göre yüksek çıktı.

Bu çalışmanın deneysel sonuçları, sistemin genel performansı üzerinde seçilen çalışma akışkanının ve debi değerinin önemini gösterdi. İleriki çalışmalarda daha fazla ısıl verim ve performans elde etmek için farklı tasarımlar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Afshari, F., Tuncer, A. D., Sözen, A., Çiftçi, E. and Khanlari, A. (2021). Experimental and numerical analysis of a compact indirect solar dehumidification system. *Solar Energy*, 226, 72-84.

Arslan, F.M. ve Günerhan, H. (2017, 19-22 Nisan). *Enerji uygulamalarında kullanılan nanoakışkanların ısıl özelikleri*. Teskon 2017 Bilimsel / Teknolojik Araştırma Bildirileri, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.

ANSYS (2017), *ANSYS Fluent Theory Guide*, ANSYS Inc, Canonsburg, 2017.

Arora, Swati (2020). Performance and cost analysis of photovoltaic thermal (PVT)-compound parabolic concentrator (CPC) collector integrated solar still using CNT-water based nanofluids. *Desalination*, 495: 114595.

Atmaca, İ., Koçak Soylu, S., Özdemir, O. S. ve Asiltürk, M. (2019,08-09 Kasım). *Nanoakışkanlar ve güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanımı*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, Türkiye.

Atwater, M. A. and Ball, J. T. A. (1978). Numerical solar radiation model based on standard meteorological observations. *Solar Energy*, 21.3: 163-1707.

Caliskan, H. (2017). Energy, exergy, environmental, enviroeconomic, (EXEN) exergoenvironmental and (EXENEC) exergoenviroeconomic analyses of solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 488-492.

Chaabane, M., Mhırı, H. and Bournot, P. (2014). Thermal performance of an integrated collector storage solar water heater (ICSSWH) with phase change materials (PCM). *Energy Conversion and Management*, 78: 897-903.

Chong, K. K., Chay, K. G. and Chın, K. H. (2012). Study of a solar water heater using stationary V-trough collector. *Renewable Energy*, 39.1: 207-215.

Crıstofarı, Christian (2002). Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector. *Solar Energy*, 72.2: 99-112.

Cengel, Y. and Cimbala, J. (2013). *Fluid mechanics fundamentals and applications* (3rd Edition). New York, NY: McGraw-Hill Education,

Çengel, Y. and Ghajar, A., (2020). *Heat and Mass Transfer-Fundamentals and Application* (6th Edition). New York, NY: McGraw-Hill Education,

Eltaweel, M., Abdel Rehım A. and Attıa A. (2021). A comparison between flat-plate and evacuated tube solar collectors in terms of energy and exergy analysis by using nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 186: 116516.

Ercoşkun, Ganime (2013). Çift oluklu parabolik oluk tipi güneş kolektörünün tasarımı, imalatı ve performansının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 28.4.

Fattahi, A. and Karimi, N. (2022). Numerical simulation of the effects of superhydrophobic coating in an oval cross-sectional solar collector with a wavy absorber filled with water-based Al_2O_3-ZnO-Fe_3O_4 ternary hybrid nanofluid. *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* 50, 101881.

Goudarzı, K., Shojaeızadeh, E. and Nejatı, F. (2014). An Deneyerimental investigation on the simultaneous effect of CuO–H2O nanofluid and receiver helical pipe on the thermal efficiency of a cylindrical solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 73.1: 1236-1243.

Goudarzı, K. (2015). Deneyerimental study on the effect of pH variation of nanofluids on the thermal efficiency of a solar collector with helical tube*. Deneyerimental Thermal and Fluid Science*, 60: 20-27.

Hashım, W. M. (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12: 666-671.

Hussein, A.K. (2016). Applications of nanotechnology to improve the performance of solar collectors recent advances and overview*, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62.

Idowu, O. S., Olarenwaju, O. M. and Ifedayo, O. (2013). I. Determination of optimum tilt angles for solar collectors in low-latitude tropical region. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4.1: 1-10.

İnternet: Abuşka, M. (2023), "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları" Ders Notları URL: https://docplayer.biz.tr/5021300-Yrd-doc-dr-mesut-abuska-gunes-enerjisi sistemleri.html, Son Erişim Tarihi: 02.06.2023.

İnternet: Arslan, F. M. ve Günerhan, H. (2023), Seramik Soğurucu Yüzeyli Sıvılı Düzlemsel Güneş Kolektörleri. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı. URL: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/23%20-%20SERAM%C4%B0K%20SO%C4%9EURUCU%20Y%C3%9CZEYL%C4%B0%20SIVILI%20D%C3%9CZLEMSEL%20G%C3%9CNE%C5%9E%20KOLEKT%C3%96RLER%C4%B0%20%20Prof.%20Dr.%20%20H%C3%BCseyin%20G%C3%BCnerhan.pdf, Son Erişim Tarihi: 06.04.2023.

İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2023). URL: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes, Son erişim tarihi: 18.02.2023.

İnternet: Kurtuluş, Sercan (2020), Güneş enerjisi sistemleri seçim tasarım esasları 01.07.2020 BUSIAD Enerji Uzmanlık Grubu URL: https://www.busiad.org.tr/dosyalar/BUSIADGu%CC%88nes%CC%A7_Enerjisi_Sistemleri_Sec%CC%A7im_Tasar%C4%B1m_Esaslar%C4%B1-01_07_2020.pdf, Son erişim tarihi: 20.06.2023.

İnternet: Öksüz, Serdar (2014, Haziran). *Güneş Enerjisi sistemleri temel prensipler*. Makine Mühendisleri Odası, Ankara. URL: https://docplayer.biz.tr/9430079-Gunes-enerjisi-sistemleri-temel-prensipler-serdar-

oksuz-teknik-ve-egitim-bolumu yoneticisi-ankara-haziran-2014.html, Son erişim tarihi: 10.06.2023.

Karaoğlu, Okan (2019). *Güneş kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin incelenmesi ve bir üniversite kampüsündeki belirli bölge için modellenerek değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Aytaç, İ., Çiftçi, E. and Variyenli, H. İ. (2022). Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles. *Renewable Energy,* 187, 586-602.

Keçel, Selçuk (2015). Sabit ve takip sistemli güneş kolektörlerinin ısıl performanslarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile karşılaştırılması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1.1: 77-98.

Koçer, A., Şevik, S. ve Güngör, A. (2016). Ankara ve ilçeleri için güneş kolektörü optimum eğim açisinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21.1: 63-78.

Kotas, T.J. (1995). *The exergy method of thermal plant analysis*. UK: Krieger Publish Company, Malabar, FL.

Landını, S., O'donovan, T. and Ghanı, F. (2022). *Thermo fluid dynamics optimisation of tapered helically-coiled solar thermal collectors*. UK: 17th Heat Transfer Conference (UKHTC2021).

Moravej, M. and Soozanyar, A. (2017). An Deneyerimental investigation of the efficiency of a stationary helical solar water heater. *Current World Environment*, 12.2: 250.

Muthuraman, U. (2021). Energy and economic analysis of curved, straight, and spiral flow flat-plate solar water collector. *International Journal of Photoenergy*, 2021: 1-11.

Nithiarasu, P., Lewis, R. W. and Seetharamu, K. N. (2016). *Fundamentals of the finite element method for heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.

Öz, E. S., Denız, E. ve Özbaş, E. (2005). *Vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sistemlerinde antifriz-su karışımı kullanımının sistem performansına etkileri*. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.

Palanısamy, K. and Kumar, PC M. (2017). Experimental study on heat transfer augmentation in helically coiled tube solar collector with MWCNT/water nanofluid. *Pakistan Journal of Biotechnology*. 14: 92-94.

Petela, R., (2003). Exergy of undiluted thermal radiation. *Solar Energy* 74, 469-488.

Şahin, H., Bulut, H. ve Karadağ, R. (2006). *Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tekno-ekonomik analizi*. Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Selvakumar, P. and Somasundaram, P. (2012). Effect of inclination angle on temperature characteristics of water in-glass evacuated tubes of domestic solar water heater. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, , 1.4: 1-4.

Şensoy, S., Ulupınar, Y., Demircan, M., Alan, I. and Bostan, PA. (2010). *Modeling solar energy potential in Turkey*, Balwoıs, Republic of Macedonia*: Ohrid*, 25, 29.

Taze, Gül (2010). *Düz güneş kolektörü verimini etkileyen bazı parametrelerin deneysel incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Tiwari, A., Dubey, S., Sandhu, G.S., Sodha, M.S. and Anwar, S.I. (2009). Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature modes. *Apply Energy,* 86 (12), 2592–2597.

Tiwari, G. N. and Shyam, A. T. (2016). *Handbook of solar energy theory, analysis and applications*, Singapur: 171–219.

Trıpanagnostopoulos, Y. and Yıanoulıs, P. (1992). Integrated collector-storage systems with suppressed thermal losses. *Solar Energy*, 48.1: 31-43.

Üçgül, İ. ve Koyun, T. (2004). Silindirik yansıtıcılı iki yüzeyli kolektörler ile düz yüzeyli kolektörlerin I. ve II. yasa verimliliklerinin irdelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 45.530: 18-24.

Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006, 21-23 Haziran). *Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma*. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, Eskişehir, Türkiye.

Wong, K.F.V. (2000). *Thermodynamics for engineers.* USA: University of Miami/CRC Press LLC, Taylor & Francis.

Wong, L. T. and Chow, W. K. (2001). Solar radiation model. *Applied Energy,* 69.3: 191-224.

Yazdanpanahi, J., Sarhaddi, F. and Adeli, M. M. (2015). Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses. *Solar Energy,* 118, 197-208.

Yılmaz, T. ve Memlük, Y. (2008). Vadilerde rüzgâr ve güneş hareketlerine bağlı planlama ve tasarım olanakları, Ankara Büyükesat Vadisi Örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21.2: 193-204.

Zhang, Q. (2018). Comparative analysis of global solar radiation models in different regions of China. *Advances in Meteorology*, 2018.



Gazili olmak ayrıcalıktır