
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

VAKUM CAM TÜPLÜ ISI BORULU TERMAL GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ÇİNKO DEMİR OKSİT NANO AKIŞKANININ PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Tunahan Orkun DENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

OCAK 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi 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.

……

Tunahan Orkun DENİZ

10/01/2025

VAKUM CAM TÜPLÜ ISI BORULU TERMAL GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ÇİNKO DEMİR OKSİT NANO AKIŞKANININ PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Tunahan Orkun DENİZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Günümüzde termal güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı çok yaygındır. Bu sistemlerde kullanılan akışkan genellikle su olmakla beraber araştırmacıların özellikle son on yılda sistemdeki ısıl verimliliği yükseltmek için ısı transfer akışkanı olarak nano akışkanları kullanması literatürde yer almaktadır. Çalışmalarda nano akışkanların kullanımı ısı transfer sistemleri için umut vadeden sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Yapılan bu çalışmada, vakum cam tüplü ısı borulu termal güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan çalışma akışkanlarına alternatif olarak çinko demir oksit nano akışkanı kullanımının sistem performansına etkileri araştırılmıştır. Bu araştırmada deneysel metotla sistem verimi bulunmuştur. Ortalama giriş suyu sıcaklığı 1 l/d. için 18,83°C, 1,5 l/d. için 17,3°C ve 2 l/d. debi için 15,98°C olup çıkış suyu sıcaklıkları; 1 l/d.'de, ortalama çıkış sıcaklığı su için 20,45°C ve nano akışkan için 20,92°C, 1,5 l/d.'de, su için 18,48°C'ye kıyasla nano akışkan için 18,79°C ve 2 l/d.'de nano akışkan için 17,16°C olup su bazlı sistemden 0,25°C daha yüksektir. Termal verimlilikler; 1 l/d.'de, su için %45,29 iken nano akışkan için %58,93'e ulaşarak yaklaşık %30,1'lik bir iyileştirme sağlamıştır. 1,5 l/d.'de, verimlilikler su için %48,98'e ve nano akışkan için %62,28'e yükselerek %27,1'lik bir iyileştirmeyi yansıtmıştır. 2 l/d. debide ise, verimlilikler su için %52,16 ve nano akışkan için %66,44 olmuş ve %27,4'lük bir iyileştirmeyle sonuçlanmıştır. Kolektörler tarafından kazanılan termal enerji miktarı ise 1 l/d.'de, su bazlı kolektör için ortalama 113,35 W iken, nano akışkan bazlı kolektör için 146,13 W olmuş ve bu %28,9'luk bir artışı göstermiştir. 1,5 l/d.'de, su için 123,85 W'a ve nano akışkan için 156,02 W'a yükselmiş ve %26 iyileştirme göstermiştir. 2 l/d.'de, su bazlı sistem 128,55 W'a, nano akışkan bazlı sistem 163,90 W'a ulaşmış ve bu da %27,5'lik bir iyileştirmenin oluştuğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlarla çinko demir oksit nano akışkanı kullanımının sistemin termal verimi açısından olumlu etki sağladığı görülmüştür.

Bilim Kodu	:	92802
Anahtar Kelimeler	:	Vakum cam tüp, ısı borusu, nano akışkan, çinko demir oksit
Sayfa Adedi	:	51
Danışman	:	Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE EFFECT OF ZINC IRON OXIDE NANO FLUID ON THE PERFORMANCE IN VACUUM-GLASS TUBE HEAT PIPE THERMAL SOLAR ENERGY SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Tunahan Orkun DENİZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

Nowadays, the use of thermal solar energy systems is very common. Although the fluid used in these systems is generally water, it is reported in the literature that researchers have used nanofluids as heat transfer fluids to increase the thermal efficiency in the system, especially in the last decade. The use of nanofluids in studies has produced promising results for heat transfer systems. In this study, the effects of using zinc iron oxide nanofluid on the system performance like an alternative to fluids used in vacuum glass tube heat pipe thermal solar energy systems were investigated. In this research, system efficiency was found using the experimental method. Average inlet water temperature is for flow rate 1 l/min.; 18,83°C, for 1,5 l/min.; 17,3°C and for 2 l/min. is 15,98°C and exit water temperatures; At 1 l/min., the average outlet temperature was 20,45°C for water and 20,92°C for nanofluid. At 1,5 l/min., it was 18,79°C for nanofluid compared to 18,48°C for water and 17,16°C for nanofluid at 2 l/min., which is 0,25°C higher than the water-based system. Thermal efficiencies; while 1 l/min., achieved an improvement of approximately 30,1%, from 45,29% for water to 58,93% for nanofluid. While 1,5 l/min., efficiencies increased to 48,98% for water and 62,28% for nanofluid, reflecting a 27,1% improvement. As for flow rate 2 l/min., the efficiencies were 52,16% for water and 66,44% for nanofluid, resulting in a 27,4% improvement. While the amount of thermal energy gained by the collectors at 1 l/min. was 113,35 W on average for the water-based collector, it was 146,13 W for the nanofluid-based collector, indicating an increase of 28,9%. At 1.5 l/min., it increased to 123,85 W for recovered water and 156,02 W for nanofluid, indicating an improvement of 26%. At 2 l/min., the water-based system reached 128,55 W and the nanofluid-based system reached 163,90 W, indicating an improvement of 27,5%. The results obtained showed that the use of zinc iron oxide had a good effect for efficiency of thermal system.

Science Code	:	92802
Key Words	:	Vacuum-glass tube, heat pipe, nano fluid, zinc iron oxide
Number of Pages	:	51
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumunda; biricik ailem ile birlikte, desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ' ye teşekkürler ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. GÜNEŞ ENERJİSİ, ISI BORUSU, VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ VE ÇALIŞMA AKIŞKANLARI 13

3.1. Güneş Enerjisi 13

3.1.1. Güneşle ilgili kavramlar 13

3.1.2. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli 15

3.1.3. Güneş enerjisinden yararlanılan sistemler 17

3.1.4. Güneş enerjisi uygulamaları 17

3.1.5. Isıl güneş enerjisi teknolojisi 18

3.1.6. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri 18

3.2. Isı Borusu 20

3.3. Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri 21

3.3.1. Owens illionois tipi vakum tüplü güneş kolektörleri 22

3.3.2. General electric tipi vakum tüplü güneş kolektörleri 23

Sayfa

3.3.3. Philips tipi vakum tüplü güneş kolektörleri 24

3.4. Çalışma Ekipmanları 24

3.4.1. Nano akışkanlar 25

3.4.2. Kolektör malzemeleri 26

4. MATERYAL VE METOT 29

4.1. Materyal 29

4.2. Metot 32

5. DENEY VE SONUÇLARI 39

6. NETİCE VE ÖNERİLER 43

KAYNAKLAR 47

ÖZGEÇMİŞ… 51

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri 30

Çizelge 3.2. Isı borusunda kullanılan iş akışkanları ve uyumlu olduğu malzemeler 36

Çizelge 3.3. Bazı malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri 38

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Güneşin iç yapısı..... 25

Şekil 3.2. Güneşin bölümleri 25

Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası 26

Şekil 3.4. Güneş enerjisinden çatı alanlarında faydalanma şekilleri 27

Şekil 3.5. Güneş enerjisinden yararlanma şekilleri..... 28

Şekil 3.6. Isı borusu güneşlenme yapısı..... 31

Şekil 3.7. Isı borusu yapısı..... 32

Şekil 3.8. Vakum tüp ısı borusu..... 33

Şekil 3.9. Vakum tüp ısı borusu parçaları..... 33

Şekil 3.10. Owens-illionois tipi vakumlu güneş kolektörü..... 34

Şekil 3.11. General electric tipi vakumlu güneş kolektörü..... 35

Şekil 3.12. Philips tipi vakumlu güneş kolektörü 35

Şekil 5.1. Güneş ışığı radyasyon değerlerinin zamana göre değişimi 49

Şekil 5.2. Ortam sıcaklığının zamana göre değişimi 49

Şekil 5.3. Su giriş sıcaklığının zamana göre değişimi 50

Şekil 5.4. Su çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi..... 50

Şekil 5.5. Termal verim değerlerinin zamana göre değişimi..... 51

Şekil 5.6. Ekzerji verimi, sürdürülebilirlik endeksi, ortalama kazanılan ısı değerlerinin zamana göre değişimi..... 51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Akışkanın hazırlanması-490 ml saf su 39

Resim 4.2. Akışkanın hazırlanması-10 ml nano akışkan eklenmesi 40

Resim 4.3. Triton X-100 40

Resim 4.4. Akışkanın hazırlanması-2 ml Triton X-100 eklenmesi 41

Resim 4.5. Nano akışkan karışımın ultrasonik banyoya alınması 41

Resim 4.6. Ultrasonik banyo işlemi 42

Resim 4.7. Deney setinin hazırlanması 43

Resim 4.8. Bakır boruların hazırlanması 44

Resim 4.9. Bakır boruların körlenmesi 44

Resim 4.10. Nano akışkanın ultrasonik banyodan bir saat sonraki görüntüsü 45

Resim 4.11. Nano akışkanın bakır borulara şarj edilmesi 45

Resim 4.12. Deney setinde sıcaklık verisi ölçümü 46

Resim 4.13. Deney setinde radyasyon verisi ölçümü 47

Resim 4.14. Deney setinde rüzgâr verisi ölçümü 47

Resim 5.1. Deney seti 48

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
°C	Santigrat derece

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
D-d	Dakika
g	Gram
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
g/s	Gram/saniye
K	Kelvin
Kg-kg	Kilogram
kg/s.m²	Kilogram/metrekare saniye
Km	Kilometre
KW	Kilovat
KWh/m²	Kilovat saat/metrekare
L-l	Litre
l/d.	Litre/dakika
M-m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
m/s	Metre/saniye
m²	Metrekare
m³	Metreküp
nm	Nano metre
S	Saniye
W	Vat
W/m	Vat/metre
W/mK	Vat/metre kelvin

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının karşılanması günümüzde en önemli problemlerdendir. Bu kapsamda; son dönemde enerji üretimi kapsamında yenilenebilir türdeki enerji kaynaklarının kullanımı çoğalmaktadır. Dünya ülkeleri fosil enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlasalar bile daha verimli sistemlerin kullanımı için çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi, birçok yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında enerji ihtiyacını karşılayabilecek en önemlilerindendir. Bu kapsamda güneş enerjisi yaygın olarak sıcak su üretimi için kullanılmakta, sıcak su üretimi güneş kolektörleri sayesinde gerçekleşmekte ve eş zamanlı şekilde ısı enerjisine çevirmek amacıyla termal güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel tipteki güneş kolektörleri yerine son yıllarda sıklıkla vakum tüplü güneş kolektörleri yer almaktadır. Bu kapsamda ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri geliştirilmiştir. Bu kolektörlerde temelde bir ısı transfer akışkanı ile solar hücreye ait sıcaklığın düşürülmesi ve gerçekleştirilen ısı transferi ile akışkanını yükseltilmesi amaçlanmakta ve enerji uygulamalarının literatüründe nano akışkanların ısı transferi üzerine çokça çalışma bulunmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında güneş enerjisinin önemli uygulama noktalarından olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörleri ve nano akışkanlar üzerine çalışılmıştır. Vakum cam tüplü ısı borulu termal güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan çalışma akışkanlarına alternatif olarak çinko demir oksit nano akışkanı kullanılarak sistem performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde literatür araştırılmasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde güneş enerjisi, ısı boruları, vakum tüplü güneş kolektörleri ve çalışma ekipmanlarıyla ilgili bilgiler verilmiş, dördüncü bölümünde materyal, metot kısımları anlatılmış, deney setinin çalışması ve analizin nasıl yapıldığına dair bilgiler verilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde elde edilen deney sonucu sunulmuş ve değerlendirilmiş, altıncı bölümünde sonuç ve öneriler kısmına yer verilmiş ve kullanılan akışkanın sistem verimi üzerindeki etkisi detaylı olarak anlatılmıştır. Yedinci ve son bölümde ise yararlanılan kaynaklar açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Genellikle su vb. geleneksel akışkanların yer aldığı enerji sistemlerinde araştırmacılar son dönemde bunlara oranla daha yüksek ısı transfer özelliklerine haiz olduğu tespit edilmiş olan nano akışkanları araştırmaya başlamıştır. Yapılan tez çalışmasında tecrübelerinden yararlanılan literatür araştırması aşağıdaki gibi olup nano akışkan kullanımının etkisinin incelendiği çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Noie ve diğerlerinin 2009 yılında yapmış olduğu çalışmada; alüminyum oksitle hazırlanan nano akışkanın performansa etkisi incelenmiş, çalışma akışkanı için saf suya boyut olarak 20 nm ve kütle olarak %1-3 arası oranda alüminyum oksit karıştırılarak oluşturulan akışkan kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek verim %3 alüminyum oksit karıştırılan durumda gözlenmiş ve yaklaşık verim artışı %15 olarak bulunmuştur [1].

Huminic ve diğerlerinin 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada; saf su ve demir oksit ile hazırlanmış akışkanın verim üzerine etkisi incelenmiş, çeşitli açılarla ayarlanabilen deney düzeneğindeki ısı borusunda saf su ve saf suya %2 ve %5,3 oranlarında demir oksit eklenerek oluşturulmuş olan çalışma akışkanları test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda suya hacimce %5,3 oranında demir oksit nano partiküllerinin eklenmesinin, saf suya kıyasla gelişmiş termal bir performans sunduğu belirlenmiştir [2].

Moorthy ve diğerlerinin 2012 yılında Malezya'da yapmış olduğu çalışmada; su bazlı Titanyum Oksit (TiO_2) nano akışkanı kullanılarak; tüplü güneş kolektörünün verimliliğinin tespiti için güneş enerjisi dönüşümü düzeneği hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Toplayıcının, su kullanıldığında yaklaşık 0,58 olan verimliliği %0,3 konsantrasyonlu TiO_2 nano akışkanı kullanıldığında yaklaşık 0,73 olarak bulunmuştur. Suda dağılan 30-50 nm boyutunda TiO_2 nano partikülleri ile verimlilik, suya göre %16,7 oranında artmıştır [3].

Yousefi ve diğerlerinin 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada; akışkan olarak Alüminyum Oksit-Su nano akışkanının düzlemsel güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisi deneysel biçimde incelenmiştir. Nano partiküllerin karışımdaki ağırlıklarının oranı %0,2 ile %0,4 arasında, boyutu yaklaşık 15 nm, kütle akış hızı 1-3 litre/dakika olarak belirlenmiş, elde edilen sonuçlara göre çalışma akışkanı olarak nano akışkan kullanımının suyla kıyaslandığında verimliliği artırdığı görülmüştür [4].

Adlı'nın 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada; dairesel kesitteki boru içerisinden türbülanslı akışta nano akışkan kullanımının etkisi incelenmiş, birbirinden farklı viskozite değerleri ve ısı iletim katsayısı modellerinin bir baz akışkana göre nano akışkanın ısı taşınım katsayısında istenen orandaki artış için gereken parçacık oranı araştırılmıştır. Baz akışkan olarak su ile etilen glikol, nano parçacık olarak Au, Ag, Cu, CuO, Al_2O_3, TiO_2'nin incelendiği çalışmada, metalik nano akışkanlarda düşük miktarda nano parçacık ile ciddi artışlar ortaya çıkacağı anlaşılmakta, kıyasla ısı iletimi katsayısı daha az olan nano parçacıkların kullanılması halindeyse bu seviyede artış miktarına ulaşmak için daha fazla nano parçacık kullanılması gerektiği gösterilmektedir [5].

Lodhi ve Gupta'nın 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada; Bakır Oksit-Su (CuO/H_2O) nano akışkanı, ısı borusunda üç farklı konsantrasyonla çalışma sıvısı olarak denenmiştir. Nano partiküllerin, sıvı konsantrasyonunu artırarak ısı borusunun termal performansında önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar, CuO/su nano akışkanı için optimal termal iletkenlik ve ısı transfer oranı değerlerinin çalışma ortamı olarak saf su kullanılan borulardan daha iyi olduğunu göstermiştir [6].

Jamal-Abad ve diğerlerinin 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada; bir düz panel güneş kolektöründe çalışma sıvısı olarak Bakır-Su ($Cu-H_2O$) nano akışkanı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, nano partikül konsantrasyonu artırıldığında kolektör verimliliği daha yüksek olmuş ve sonuçlar; ağırlık olarak %0,05'lik kolektör verimliliğinin, bahsedilen koşullar için saf baz akışkanlara göre yaklaşık %24 daha fazla olduğunu göstermiştir [7].

Balcıoğlu'nun ise 2014 yılında yapmış olduğu araştırmada; termosifon şeklinde tasarlanmış ısı borusunda su yerine çalışma akışkanı olarak içerisine nano boyutta alüminyum metal oksit (Al_2O_3) eklenerek oluşturulan nano akışkanla performansın artırılması amaçlanmıştır. Boyutları 14 nm olan alüminyum oksit ağırlık olarak %2 oranında saf suya ilave edilmiş, bir yüzey aktifleştirici ile birlikte karıştırılmış ve elde edilen nano akışkan ısı borusunun 1/3'ü hacminde çalışma akışkanı olarak kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler birbirinden farklı ısı borusu açılarında, rezistans güçlerinde ve soğutma suyu debilerinde yapılmış ve toplam 12 adet termokupldan ölçülen sıcaklıklar bilgisayara aktarılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak nano akışkanla yapılan deneylerde suya göre yaklaşık %2'lik bir iyileşmenin olduğu gözlemlenmiştir [8].

Moghadam ve diğerlerinin 2014 yılında İran-Meşhed'de yapmış olduğu çalışmada; çalışma sıvısı olarak Bakır Oksit ile su nano akışkanının düzlemsel güneş kolektörünün performansı üzerindeki etkisi deneysel biçimde araştırılmıştır. Araştırmada; nano partiküllerin boyutu 40 nm'e ayarlanmış, çalışma sıvısının akış hızı 1-3 kg/dakika aralığında değiştirilmiştir. Deneylerin sonucu; nano akışkan kullanımının, suya göre kolektör verimini yükselttiğini ortaya koymuştur. 1 kg/dk. kütle akış hızında kolektör verimini yaklaşık %22 artırmıştır. CuO-H_2O nano akışkan kullanımınınsa güneş kolektörü verimliliğini su ile kıyaslandığında yaklaşık %17 oranında artırdığı da tespit edilmiştir [9].

Menlik, Sözen, Gürü ve Öztaş tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada; Magnezyum oksitten üretilen nano-sıvının düz bakır bir ısı borusunun performansını iyileştirmedeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Akışkan ısı borusunun hacminin %33,3'ü kadar doldurulmuş, üç farklı soğutma suyu debisi ile üç farklı ısıtma gücü seviyesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; kullanılan ısı borusunda akışkan olarak su yerine nano akışkan kullanılması durumunda verimliliğin %26 kadar arttığı görülmüştür [10].

He ve diğerlerinin 2015 yılında yapmış olduğu araştırmada; farklı kütle ve boyutlara sahip Bakır-Su (Cu-H_2O) nano akışkanları iki aşamalı yöntemle hazırlanmış, ortamın kütle akış hızı 140 litre/saat olarak belirlenmiş ve düz plakalı güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneylerin sonucunda güneş kolektörünün verimliliği, ortam olarak 25 nm boyutunda ve ağırlıkça %0,1 Cu-H_2O nano akışkanı kullanılarak yaklaşık %24 oranında artırılmış, ancak parçacık boyutu arttıkça güneş kolektörünün verimliliği azalmıştır. Bakır-su nano akışkanının düz plakalı güneş kolektörünün verimliliğini yükselttiği tespit edilmiştir [11].

Ersöz'ün ise 2016 yılında yapmış olduğu araştırmada; vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörlerinde hekzan, petrol eteri, kloroform, aseton, etanol ve metanol olmak üzere altı farklı çalışma akışkanının, Uşak ili iklim koşullarında ve farklı hava hızlarında performansa etkileri araştırılmış. Gerçekleştirilen deneylerde, azami ekzerji veriminin; en düşük hava hızı için aseton kullanımı durumunda, diğer hızlar için kloroform kullanımı durumunda, en iyi enerji veriminin ise; en yüksek hava hızı için kloroform kullanımında diğer hava hızları için aseton kullanımı durumunda olduğu görülmüştür [12].

Aminreza ve diğerlerinin 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada; soğutucu olarak kütlece oranı %1 Silisyum Dioksit-Su (SiO_2/H_2O) nano akışkanı kullanımının simetrik, kare, düz plakalı bir güneş kolektörünün performansına tesiri; güneş ışınımı, kütle akış hızı ve sıcaklık değişimine göre araştırılmıştır. Saf suyla kıyaslandığında kullanılan nano akışkanın ısıl verim ve sıcaklık performansını artırdığını göstermektedir [13].

Çiftçi, Sözen ve Karaman tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; Titanyum dioksit (TiO_2) nano parçacıkları içeren akışkan kullanılarak çift fazda kapalı devre bir bakır ısı borusunun performansının artırılması amaçlanmış, yapılan deneyde ısı borusunun 1/3'lük kadarki hacmi akışkan ile doldurulmuştur. 3 farklı soğutma suyu debisi ve ısıtıcı gücü kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en iyi sonuç, ısıl performanstaki %16,5 artış ile, 5 g/s soğutma suyu debisinde 200 W ısıtıcı gücünde nano akışkan kullanılan durumda elde edilmiştir [14].

Budak'ın 2016 yılında yapmış olduğu araştırmada; düzlemsel güneş kolektörlü termal güneş enerjisi sisteminde nano akışkan ve su çalışma akışkanı olarak seçilerek ısıl verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. %0,2, %0,4, %0,8 hacimsel oranlarda üç farklı nano partiküller saf suyun içerisine katılarak hazırlanan nano akışkanlar için üç farklı debi değeri ayarlanarak veriler alınmıştır. Sonuçlar, suya göre nano akışkan kullanımının verimi artırdığını göstermiş, hesaplanan verim oranlarındaki artışın; Al_2O_3 için yaklaşık %71, %63 ve %61 olarak bulunduğu; CuO-su için yaklaşık %88, %85 ve %73 olduğu ve TiO_2-su için %53, %48 ve %36 olduğu tespit edilmiştir [15].

Kılıç'ın 2017 yılında yapmış olduğu araştırmada; düz yüzeye sahip güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak Alüminyum oksit maddesi ile su ve Titanyum dioksit-Su (TiO_2-H_2O) nano akışkanları kullanılarak sistem performansı araştırılmış, çalışma sıvısı; saf suya kütlece %2 Alüminyum oksit, titanyum dioksit nano akışkanları eklenip yüzey aktifleştirici karıştırılarak elde edilmiştir. Yapılan deneylerde tüm akışkanlar için anlık güç çıktısı ve verimler hesaplanmış; Al_2O_3-H_2O karışımının anlık sıcaklık farkı başına güç çıktısının saf sudan yaklaşık 54 W fazla, TiO_2-H_2O karışımının ise yaklaşık 123 W yüksek olduğu tespit edilmiştir. Verim ise saf suda anlık olarak azami yaklaşık %36, Al_2O_3-su karışımı için %40 ve TiO_2-su karışımı için %49 bulunmuştur [16].

Ghaderian ve Sidik'in 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada; çalışma akışkanı olarak Alüminyum Oksit (Al_2O_3)/damıtılmış su nano akışkanı kullanılmasının, boşaltılmış tüplü güneş kolektörünün ısıl verimliliği üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Nano partiküllerin boyutu 40 nm olarak belirlenmiş olup serpantin içindeki akış hızının 20 ile 60 litre/saat arasında değişmesiyle yapılan karşılaştırmalı deneyler; hacim olarak %0,06 nano akışkan bulunan, 60 litre/saat akış hızı için maksimum verimliliğin yaklaşık %58 olduğunu ortaya koymuştur. Kolektör verimliliği, Al_2O_3 nano partiküllerinin hacim oranlarının ve akış hızının artmasıyla daha büyük bir artış göstermiş ve sonuç olarak Al_2O_3 nano akışkanının ısıyı absorbe etmek ve güneş enerjisini verimli bir şekilde termal enerjiye dönüştürmek için çalışma akışkanları olarak kullanılabileceğini göstermektedir [17].

Sharafeldin ve diğerlerinin 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada; Tungsten Oksit-Su (WO_3/H_2O) nano akışkanının Macaristan'ın başkenti Budapeşte'deki hava koşullarında çalışan bir güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üç farklı hacim fraksiyonunda, ortalama boyutu 90 nm olan WO_3 nano parçacıklarını içeren su bazlı nano akışkanlar sentezlenip düz plakalı güneş kolektörünün üç farklı kütle akı oranındaki incelemesi yapılmış, sonuçların suya WO_3 nano partiküllerinin eklenmesinin güneş kolektörünün verimliliğini iyileştirdiği görülmüştür. Buna göre; verimdeki maksimum artışın, suya kıyasla %0,0666 hacim oranı ve 0,0195 kg/s.m² kütle akı oranı için %13,48 olduğunu ortaya konmakta, WO_3 nano partiküllerinin güneş enerjisi uygulamalarındaki yüksek potansiyeli gösterilmektedir [18].

Sözen, Guru, Menlik ve Aktaş tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada; çeşitli oranlarda Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, K_2O ve Na_2O gibi X_2O_3-, XO-, XO_2- ve X_2O- tipi oksitlerden oluşan yüksek fırın cürufundan elde edilmiş bir nano-sıvının kullanılmasının bir ısı borusunun performansını iyileştirme üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Cüruf, Karabük Demir Çelik İşletmeleri'nin demir yüksek fırınından elde edilmiş ve ağırlık olarak %2 konsantrasyonda yüksek fırın cürufu/su nano-sıvısı, düz bir bakır ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Akışkan; iki fazlı kapalı termosifonun hacminin %33,3'ü kadar doldurulmuş, üç farklı soğutma suyu debisi ile üç farklı ısıtma gücü seviyesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 200 W ısı yükü ve 5 g soğutma suyu akış hızıyla saf su yerine nano-akışkan içeren ağırlıkça %2 yüksek fırın cürufu kullanıldığında, iki fazlı kapalı termosifonun termal performansında %22'lik bir artış görülmüştür [19].

Poplaski ve diğerlerinin 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada; nano akışkanların çeşitli ısı borularında kullanılmasına odaklanan geçmiş çalışmalar gözden geçirilmekte ve klasik bir ısı borusundaki nano akışkan etkisini açıklamak için sayısal simülasyon sunularak gelecekteki çalışmalara hazırlık sağlamak amaçlanmaktadır. Alüminyum oksit maddesi, Bakır oksit maddesi ve Titanyum dioksit maddesinin nano partiküllerinin optimum nano partikül konsantrasyonu, klasik bir nano akışkanla doldurulmuş ısı borusunun kılcal limitine karşılık gelen hacmine göre Al_2O_3 ile TiO_2 için yaklaşık %25, CuO için yaklaşık %35 olarak bulunduğu gözlemlenmiştir [20].

Topal'ın 2018 yılında yapmış olduğu araştırmada; ısı borulu şekilde tasarlanmış vakum tüp güneş kolektörlerinde nano akışkanlar kullanılarak bunun performans üzerindeki etkileri deneysel metot yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Sistemde kullanılan çalışma akışkanlarından antifriz, metil alkol ile aseton gibi akışkanlara bakır ve alüminyum oksit nano parçacıkları ilave edilerek yeni nano akışkanlar elde edilmiş ve Muğla ilinin Ortaca ilçesinde belirli aralıklarla yapılan deneylerin ölçümleri sonucunda, nano parçacıklardan bakır oksit; antifriz ve metanolde sistemin verimini yaklaşık olarak %1,1 oranında, asetonla kullanımda yaklaşık olarak %0,9 artırmış. Alüminyum oksit en yüksek sonucu metanolle kullanıldığında sistem verimini yaklaşık olarak %2,4 oranında artırarak vermiştir. Antifrizle kullanımında ise verim yaklaşık olarak %2,2 oranında olumlu olurken, asetonla kullanımda yaklaşık olarak %1,8 oranında pozitif olmuştur [21].

Öztürk, Özalp ve Sözen tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada; alüminyum oksit (Al_2O_3) parçacıkları ve damıtılmış sudan oluşan bir nano akışkan kullanılarak ısı borulu ısı geri kazanım sistemi termal performansı araştırılmıştır. Deneylerde, ısı boruları; evaporatör hacminin %33'ü kadar çalışma sıvıları ile doldurulmuş, 25 ile 90 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda, beş farklı soğutma havası akışı ve buharlaşma bölümü için iki farklı ısıtma gücü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla saf su ve Al_2O_3 nano akışkanı için deneyler yapılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış olup çalışma sıvısı olarak nano akışkan kullanılmasının ısı borusunun verimini artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek verim (%59); 3 kW ısıtma gücünde ve 112 g/s hava akışında Al_2O_3 nano akışkanı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilmiştir [22].

Farajzadeh ve diğerlerinin 2018 yılında yapmış olduğu çalışmada; nano akışkan kullanımının düz plakalı bir güneş kolektörünün termal verimliliği üzerindeki etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırılmış, yazılım tarafından sayısal olarak yapılan çalışma sonuçları deney sonuçları ile uyum göstermiştir. İncelenen nano akışkanlar, 20 nm boyutta ve ağırlıkça %0,1 Alüminyum Oksit-Su (Al_2O_3-H_2O), 15 nm boyutta ve ağırlıkça %0,1 Titanyum Dioksit-Su (TiO_2-H_2O) ve bunların eşit oranda karışımlarından oluşturulmuş, debiler; 1,5 litre/dakika, 2 litre/dakika ve 2,5 litre/dakika olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçları; suya oranla Al_2O_3, TiO_2 ve her iki nano akışkan karışımının kullanılması durumunda, sırasıyla yaklaşık %19, %21 ve %26 oranında termal verimliliği artırdığını göstermiştir [23].

Su'nun 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada; nano akışkan, Titanyum dioksit (TiO_2) nano partikülleri ve su kullanılarak hazırlanmış, ardından bir boruya saf su diğerine ise nano akışkan eklenmiş ve soğutma suyunun farklı debilerinde sıcaklıklara ait değişimler ölçülüp verimler ölçülmüştür. Nano akışkanlı vakum tüp ve ısı borulu güneş kolektörlerinin verimi ile performansı su bulunan kolektörlerin verimi ile karşılaştırılmış ve deneylerin sonucunda nano akışkan kullanımıyla verimin arttığı görülmüş ve düşük seviye ısıl direnç, yüksek seviye ısıl iletkenlik, yüksek değerlerdeki çalışma sıcaklıkları ile istenen sıcaklık değerlerine kısa sürede ulaşma gözlemlenmiştir. En fazla sistem veriminin soğutma suyunun debisinin 7 g/s olduğu, nano akışkan kullanılan durumda yaklaşık %49 gerçekleşmişken saf su kullanılan durumda ise yaklaşık %37 olarak hesaplanmıştır [24].

Mercan ve Yurddaş tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada; vakum tüplü güneş kolektörlerinde nano akışkan kullanılarak sayısal analiz gerçekleştirilmiş, Alüminyum Oksit ve Bakır Oksit ile su kullanılarak hazırlanan nano akışkanların farklı hacimler, farklı kütle akış hızları, farklı kolektör açıları ve farklı sayıdaki vakum tüp miktarı kapsamında ısı transferi konusundaki etkisi suya oranla değerlendirilmiştir. Sonlu hacimler yöntemi kullanılan çalışmada ısıl, akış analizleri incelenmiş, üç farklı eğimde kolektör açıları karşılaştırılmış ve en iyi sonucun 30° için; en yüksek aktarımın 0,025 kg/s seviyesindeki debide gerçekleştiği belirlenmiş ve tüp sayısıyla doğru orantılı olarak ısı transferi artmıştır. Çalışmanın sonucunda, vakum tüple tankta dolaşan sıvılar farklı olduğunda, vakum tüpte su ve tankın içinde nano akışkan kullanıldığında, ısı transfer kapasitesinin daha yüksek olduğu, %5 hacimde Al_2O_3-H_2O nano akışkanı için suya göre ısı transferindeki artış yaklaşık %4 iken, CuO-H_2O nano akışkanı için %7 olarak bulunmuştur [25].

Işık'ın 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada; düzlemsel güneş kolektörlerinde Titanyum dioksit-Su (TiO_2-H_2O) nano akışkanı kullanılarak, nano akışkanların ısıl verim üzerindeki etkisi ve sistemin performans değişimi incelenmiş, kurulan iki farklı deney sisteminin birinde su, ötekinde TiO_2-su nano akışkanı kullanılmış, sonuçlar kıyaslandığında; ısıl verim ile kolektör çıkış sıcaklıklarının, nano akışkan kullanılan sistemde diğerine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve debiler dikkate alındığında TiO_2-su nano akışkanının %0,2, %0,4, %0,8'lik hacimsel oranlarında suya kıyasla verimde sırasıyla maksimum yaklaşık %61, %56, %51 oranlarda artış görülmüştür [26].

Tong ve diğerlerinin 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada; düz plakalı bir güneş kolektörünün performansı, çalışma sıvısı olarak suya ek olarak, Alüminyum Oksit (Al_2O_3) ve Bakır Oksit (CuO) nano akışkanları kullanılarak araştırılmıştır. Düz plakalı güneş kolektöründe çalışma sıvısı olarak Al_2O_3 nano akışkanı kullanıldığında sistemin verimi en yüksek değere ulaşmış ve suya kıyasla yaklaşık olarak %22 daha yüksek hesaplanmış, ayrıca kolektörün en yüksek ekzerji verimliliğine, yine Al_2O_3 nano akışkan kullanımıyla ulaşılmıştır. Sonuçlar, kolektörde Al_2O_3 ve CuO nano akışkan kullanımının su kullanımına göre termal verimliliği yükselttiği ve kolektörün azami performansının hacim olarak %1'lik Al_2O_3 nano akışkanı kullanıldığında elde edildiğini göstermiştir [27].

Karabulut'un 2020 yılında yayımlanmış olan çalışmasında; grafen oksitle damıtılmış suyun taşınım ısı transfer katsayısı, dış yüzeyinde sabit bir ısı akısı olan dairesel bir bakır boru boyunca türbülanslı akış rejimi altında iken hem sayısal hem deneysel olarak incelenmiştir. Nano akışkanın taşınımla ısı transferi ve basınç kaybı deney bölümünde hesaplanırken, duvar yüzey sıcaklığı, konveksiyon ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü üç boyutlu tanım kümesine sahip sayısal kısımda sonlu hacimler yöntemi kullanılarak tek fazlı akış varsayılarak elde edilmiştir. Ayrıca nano akışkanların boru yüzey sıcaklıkları ve taşınımla ısı transfer katsayılarındaki değişimler sayısal ve deneysel olarak karşılaştırmalı şekilde incelenmiş, nano akışkan için ısı transfer katsayısı artışı hacimce %0,02 konsantrasyon ve 1,5 litre/dk akış hızında damıtılmış suya kıyasla yaklaşık %48 olarak bulunmuştur [28].

Ahmadlouydarab ve diğerlerinin 2020 yılında yapmış olduğu çalışmada; düz plaka güneş kolektöründe temel sıvı olarak deiyonize suya % 0,1 ile %5 arasındaki farklı hacimlerde, 20 nm ortalama çapta Titanyum dioksit (TiO_2) fraksiyonlarının nano akışkan olarak kullanılarak verimlilik konusunda incelemeler yapılmış, ayrıca güneş kolektörünün

yüzeyinin dışına bir Azot-Titanyum dioksit (N-TiO2) parçacık katmanı uygulanmıştır. Sonuçlar, TiO_2 nano akışkanının sırasıyla %5 ve %2,5 hacim oranlarında çalışma akışkanı olarak kullanılmasıyla kolektör verimliliğinin yaklaşık %45 ve %17 arttığını göstermiş ve ayrıca uygulanan N-TiO2 partikül tabakası tekniğinin kolektörün termal verimliliğini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [29].

Ünvar'ın 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada; kütlesel olarak %2 alüminyum ve titanyum dioksit nano partikül içeren nano akışkanların kullanımıyla ısı borulu düzlem yüzeyli güneş kolektörünün performans artışı incelenmiş, araştırmalar saf su ve nano akışkanlar için farklı hallerde yapılarak değerler kıyaslanmıştır. Deneylerin sonucunda anlık verim, saf suda azami %48, Al_2O_3-saf su nano akışkanı kullanıldığında %58, TiO_2 ve saf su nano akışkanı kullanıldığında %64; verimlerdeki iyileşme, Al_2O_3-saf su nano akışkanı için yaklaşık %21, TiO_2-saf su nano akışkanı için yaklaşık %33; güçlerdeki iyileşme ise Al_2O_3-saf su nano akışkanı için yaklaşık %24, TiO_2-saf su nano akışkanı için ise yaklaşık %36 olarak ölçülmüştür [30].

Literatür incelendiğinde, çeşitli güneş enerjisi sistemlerinde tek veya iki veya daha fazla türden oluşmuş kombinasyonlu nano akışkan kullanımının incelendiği birçok çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Nano akışkanların güneş enerjisi sistemlerinde daha yüksek performans göstereceği konusunda genel fikre varıldığı gözükmekte ve bu durum başka nano akışkan çeşitlerinin performanslarını tespit edebilmek için yeni araştırmaların gerekli olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda vakum cam tüplü ısı borulu termal güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan tüm çalışma akışkanlarına alternatif olarak çinko demir oksit nano akışkanı kullanılarak sistem performansına etkileri araştırılmak istenmiştir.

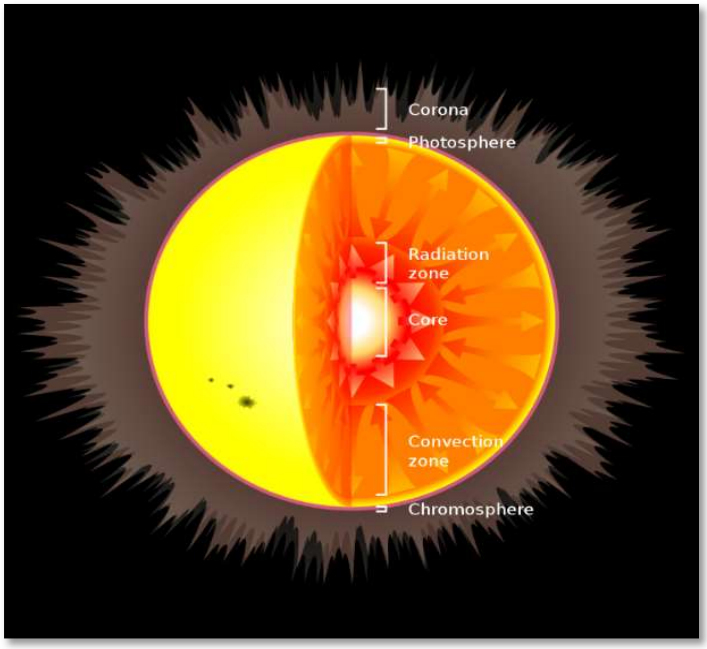
3. GÜNEŞ ENERJİSİ, ISI BORUSU, VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ VE ÇALIŞMA AKIŞKANLARI

3.1. Güneş Enerjisi

3.1.1. Güneşle ilgili kavramlar

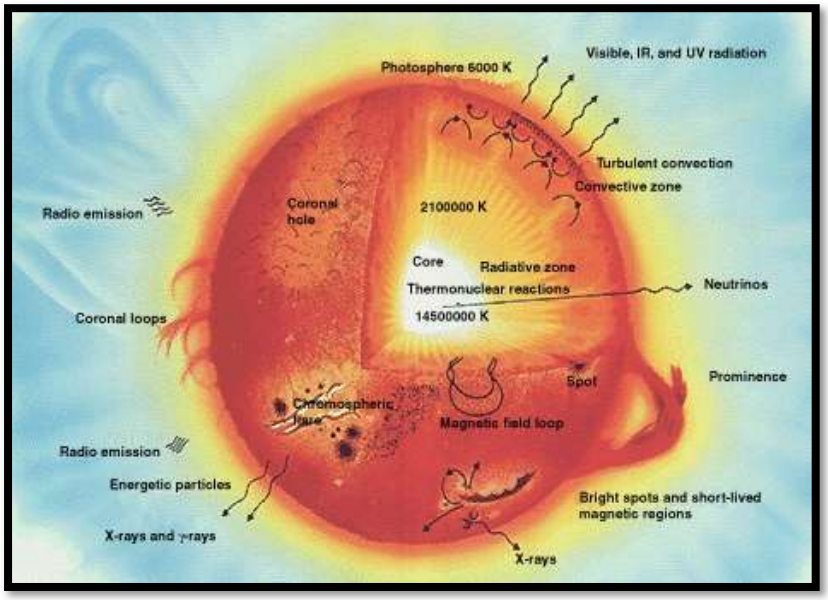
Güneş Sistemi'nin merkezinde yer alan yıldız olan Güneş kendi etrafında dönme hareketini yaparken aynı zamanda Samanyolu Galaksisi etrafında dolanır. Orta büyüklükte bir yıldız olan Güneş, buna rağmen tek başına Güneş Sistemi kütlesinin neredeyse tamamını oluşturur. Güneş'in Samanyolu galaksisi etrafında yörüngesi vardır, bu yörüngede 828 000 km/s hızda hareket eder, yörüngede hareket ederken kendi sistemindeki gezegen, meteor, vs. tüm parçalar güneş ile birlikte Samanyolu etrafında dönmektedir. Güneş kendi ekseni etrafında saatte 7 000 km hızla döner ve bir tam turunu yaklaşık ortalama 27 günde tamamlar.

Güneşin yüzeyi yaklaşık 5 500 °C ve çekirdek sıcaklığıysa yaklaşık 15,6 milyon °C'dir. Güneş'te üretilen enerjinin yalnızca yaklaşık yalnızca 2 milyarda 1'i yeryüzüne ulaşır, geriye kalan enerjisi uzayda kaybolur. Güneş'in yaklaşık üç günde yaymış olduğu enerji miktarı Dünya'daki tüm enerji kaynaklarının miktarına eşdeğerdir. Güneş yüzeyi kütlesinin yaklaşık dörtte üçünü ve hacminin yaklaşık onda dokuzundan fazlasını oluşturan hidrojen, kütlesinin yaklaşık %24-25'ini ve hacminin yaklaşık %7'sini oluşturan helyum ile çok ufak miktarlarda diğer elementlerden oluşur. Hidrojen çekirdeklerinin füzyon tepkimesiyle beraber helyuma dönüşmesinden enerjisini elde eder, bu tepkimeyle dakikada yaklaşık 36 trilyon ton hidrojen atomu helyuma dönüşür.



Şekil 3.1. Güneşin iç yapısı [36]

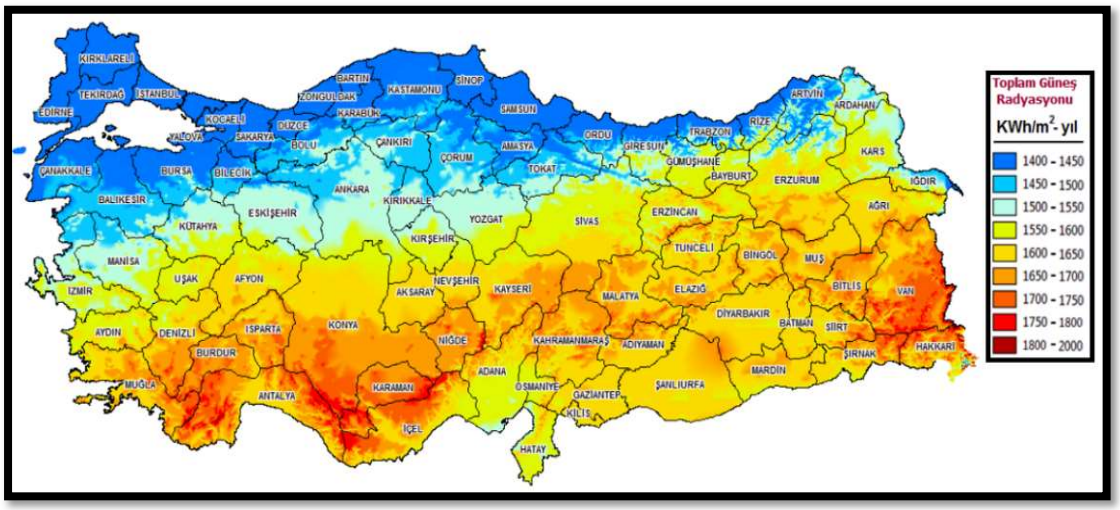
Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki füzyon tepkimesi ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık $3{,}9 \times 10^{23}$ KW güç kapasitesinde en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşte üretilen bu enerjinin çok çok düşük bir miktarı dünyaya ulaşmakta, atmosferin dış kısmındaki her bir metrekare alana ortalama yaklaşık 1 400 W güç düşmektedir. [31].



Şekil 3.2. Güneşin bölümleri [36]

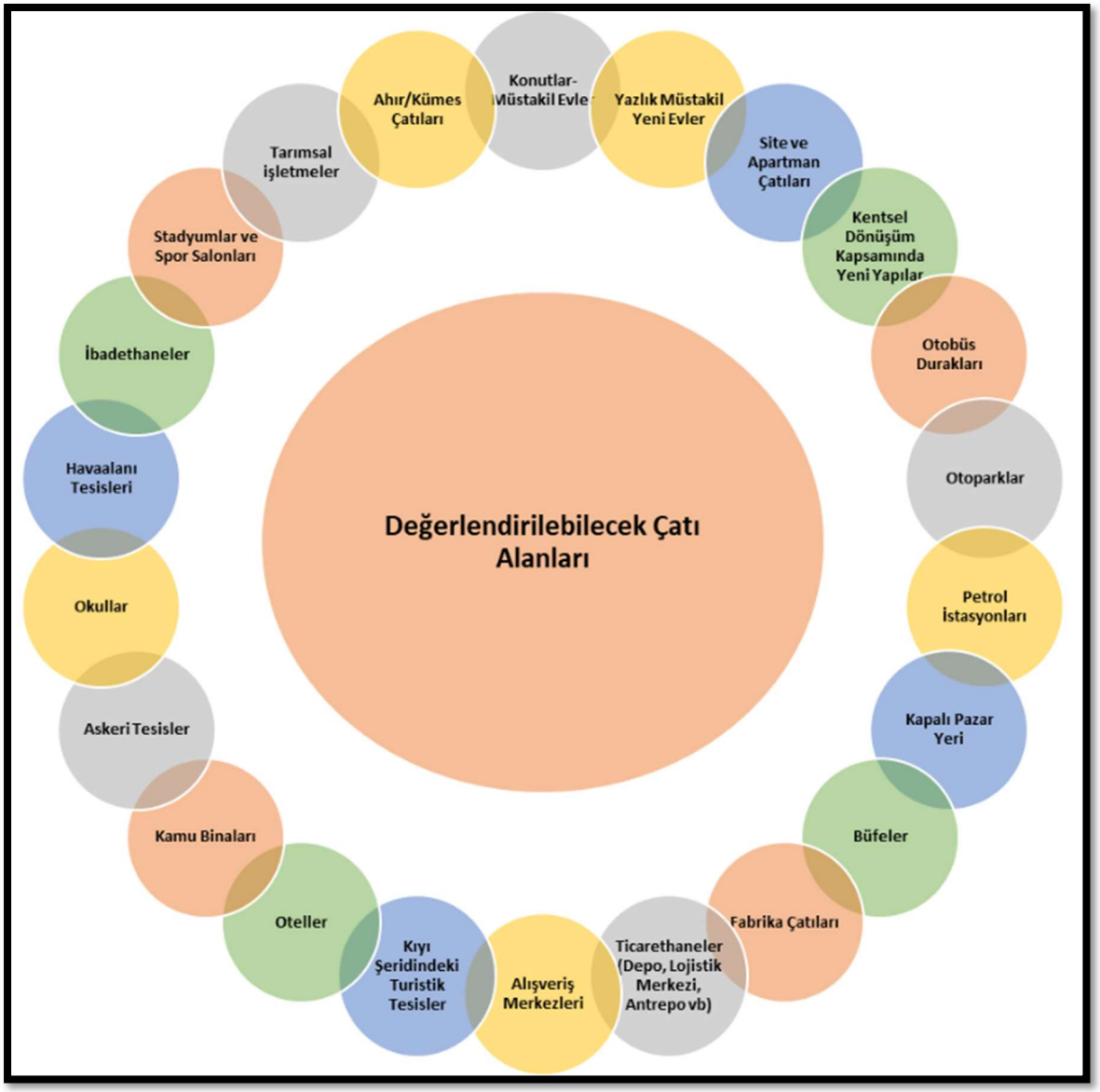
3.1.2. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre yıllık ortalama güneşlenme süresi 2 741 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri yaklaşık 1 527 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA'da bulunan aylık ortalama global radyasyon dağılımı ve genel potansiyel görünümü aşağıdaki şekilde bulunmaktadır. [31].



Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [31]

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre ülkemizde yaklaşık 12 milyon adet yerleşik bina mevcut olup bunların neredeyse %90'ı konut nitelikli binalardır. Ülkemizdeki bina stoku miktarı her yıl 100 000 adet üzerinde artmakta, bu binaların dış yüzeylerine ciddi oranlarda güneş enerjisi yatırımlarının yapılabileceği düşünülmektedir. Ülkemizde bu kapsamda değerlendirilebilecek yüzey alanları bir sonraki şekilde görüldüğü gibi birçok farklı alanda sınıflandırılmıştır.

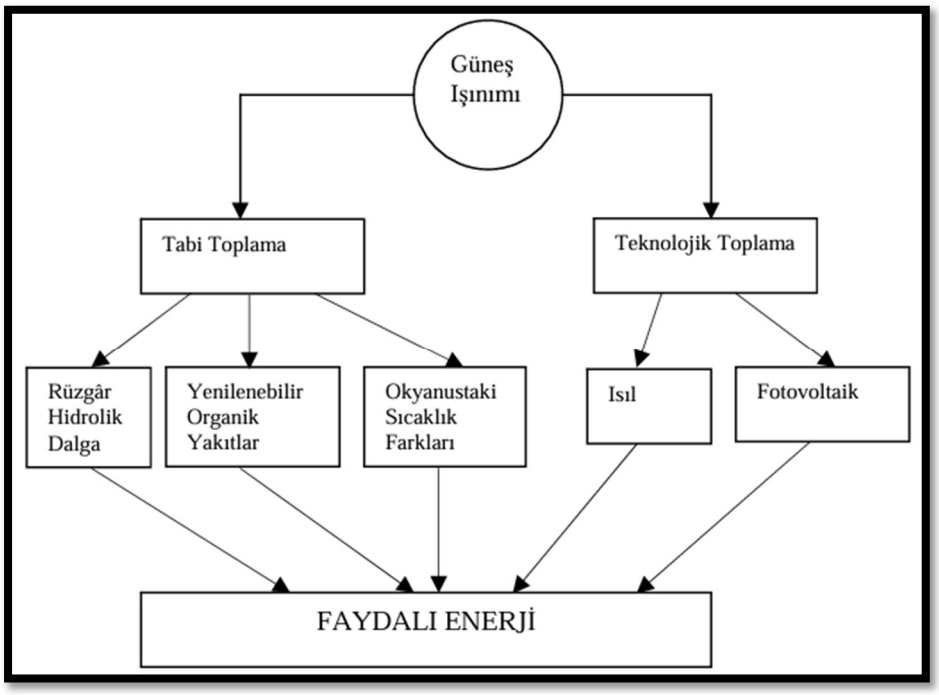


Şekil 3.4. Güneş enerjisinden çatı alanlarında faydalanma şekilleri [31]

Gerek sanayi gerekse kişisel maksatlı kullanımlarda gerek duyulan enerji talebini direkt olarak güneş enerjisinden elde etmek mümkün olmadığından güneş enerjisinin farklı biçimlere çevirerek kullanımı daha uygundur. Bu kapsamda güneşten faydalanmak için birçok farklı teknoloji üretilmiştir. Bu teknolojiler materyal, metot veya teknolojik seviye bağlamında birçok farklılık göstermekte olup kimisi enerjiyi ışık ya da ısı enerjisi şeklinde doğrudan alıp kullanırken, kimisi ışık ya da ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek biçiminde kullanmaktadır. [31].

3.1.3. Güneş enerjisinden yararlanılan sistemler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse tümü güneşin maddeler üstündeki etkilerinin sonuçlarından oluşmaktadır. Güneş ışınımının teknolojik toplama yöntemi ile faydalı enerji kaynağına çevrilmesinde ısıl (termal) ya da foto-voltaik esastan faydalanılır. Isıl (termal) esasa dayalı olan sistemlerin günümüzde foto-voltaik'e oranla daha çok yararlanma alanı mevcuttur. Şekil 3.5.'de güneş ışınımından yararlanma yöntemleri gösterilmiştir. [33].



Şekil 3.5. Güneş enerjisinden yararlanma şekilleri [33]

3.1.4. Güneş enerjisi uygulamaları

- Düzlemsel güneş kolektörleri
- Yek-odaklı güneş enerjisi santralleri
- Vakum tüplü güneş enerjisi sistemleri
- Güneş ocakları
- Trombe duvarı
- Geçişli hava paneli
- Güneş havuzları
- Güneş bacaları
- Su arıtma sistemleri [36].

3.1.5. Isıl güneş enerjisi teknolojisi

Isıl (termal) güneş enerjisine yönelik teknolojiler; sistemlerde kazanılan sıcaklık miktarına göre düşük sıcaklık uygulamaları ile yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler olarak iki bölüme ayrılır.

Düşük sıcaklık uygulamaları kapsamında güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine dair bazı uygulamalara örnek olarak farklı tipteki kolektörler, güneş enerjisi için yapılmış güneş bacaları, güneş enerjisi havuzları, güneş mimarisi, tatlı su üretme sistemleri, ısıtarak kurutma sistemleri, sera sistemleri ve yemek pişirme gibi uygulamalar verilebilir. Bu uygulamalar içerisinde düzlemsel tipteki güneş kolektörleri en basit ve sıklıkla kullanılan faydalanma yöntemidir. Bu kolektörler, üzerine ulaşan güneş ışığının enerjisinin bir başka akışkana transferi prensibiyle çalışmakta ve en çok evlerde su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır.

Yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler ise ekseriyetle elektrik üretimi amacıyla tasarlanmakta, yoğunlaştırıcı olarak; heliostatlar, parabolik aynalarla birlikte çanaklar kullanılmakta ve elektrik üretimi; bir kolektör sistemi kullanımıyla güneşten ulaşan radyasyonunun toplanıp bir alıcı üzerine yoğunlaştırılması, alıcı yardımıyla elde edilen radyasyonun ısıl enerjiye çevrilmesi, ısıl enerjinin de bir güç çevirim sistemine iletimi biçimindeki bazı belli başlı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. [31].

3.1.6. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri

Bunlar içerisinde çoğunlukla kullanılan sistem suyu ısıtma üzerine tasarlanmış olan sistemlerdir. Güneşten alınan enerjiyle ısınan suyun kullanıma hazır olması ve kurulum maliyetinin düşüklüğü ile ülkemizin güneşlenme süresinin uzun olması yaygınlaşmasında etkili olmuş ve sistemi daha da cazip hale getirmiştir. Bu sistemler farklı özelliklerine göre aşağıdaki biçimde gruplandırılmıştır;

Çizelge 3.1. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri [26]

Sirkülasyon Biçimine Göre	Devre Şekline Göre	Kolektör Tipine Göre
Tabi Dolaşımlı Tip	Açık Sistem	Düzlemsel Kolektör
Zorlanmış Dolaşımlı Tip	Kapalı Sistem	Vakum Tüplü Kolektör

I. Sirkülasyon Biçimine Göre;

a) Tabi Dolaşımlı Tipteki Sistemler: Bu sistemlerdeki akışkan herhangi bir zorlama olmaksızın dolaşır, çalışma prensibi kolektörde ısınan suyun yoğunluğunun değişimi üzerine tasarlanmıştır.

b) Zorlanmış Dolaşımlı Tipteki Sistemler: Bu türdeki sistemler, akışkanın pompa vasıtasıyla zorlanmış şekilde dolaştığı sistemler olup sirkülasyon için pompa kullanılması sebebiyle depo uygun herhangi bir yerde bulunabilir.

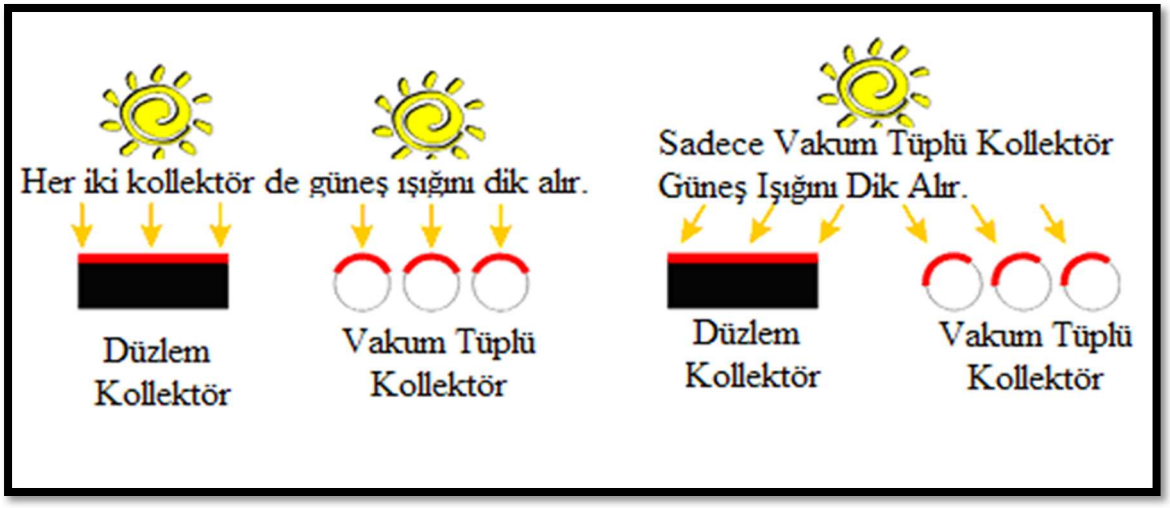
II. Devre Şekline Göre;

a) Açık Sistemler: Bu sistemde kolektördeki ile kullanım suyu aynıdır. Kapalı sistemlere kıyasla maliyeti daha az ve verimleri daha fazladır.

b) Kapalı Sistemler: Açık sistemlerin aksine iki adet birbirinden bağımsız devre mevcuttur. Kolektör devresindeki akışkan güneşten aldığı enerjiyi kullanım suyuna iletmektedir.

III. Kolektör Tipine Göre;

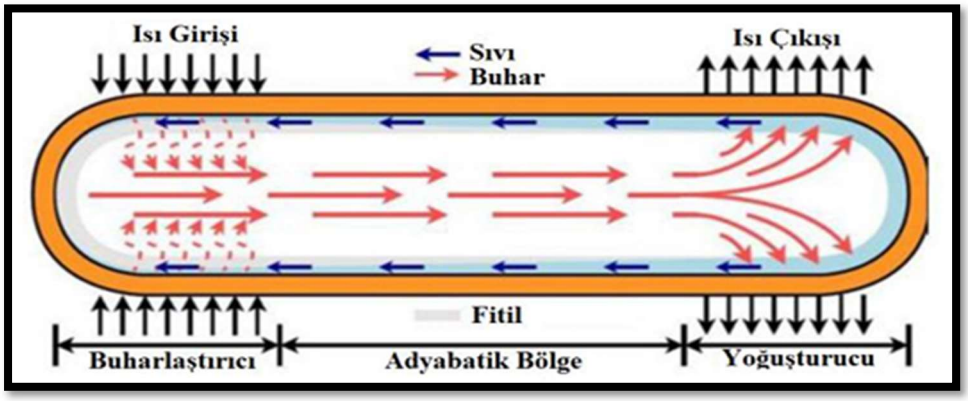
a) Düzlemsel Güneş Kolektörü: Güneşten gelen enerjiyi toplayıp bir çalışma maddesine ileten ısı sistemleridir. Ev, sanayi ve tesisler için sıcak su üretiminde, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, havuzların ısıtılmasında bu tip sistemler kullanılır. Düzlemsel güneş kolektörleri genelde ısı taşıyan borular, enerji toplayıcı panel, saydam örtü, yalıtım malzemesi ve gövdeden oluşur. Kolektör verimliliğinde çevresel faktörler dışında; kolektörün modeli ile yüzey alanı, kullanılan camın özellikleri, yutucu yüzeyin ısıl değerleri, yalıtım malzemesinin cinsi, kalınlığı ve ısıl iletkenliği etki etmektedir.
b) Vakumlu Tüplü Kolektörler: Bu kolektörlerde kullanım koşullarına göre metal veya cam yansıtıcılarla cam borular kullanılabilir. Düzlemsel biçimdeki güneş kolektörlerinden en belirgin farkları; kolektörün cam tüplerden oluşması ve kullanılan camın vakumlanması sebebiyle oluşan basınç farklarına dayanıklı olmasıdır. Güneş ışınlarının geliş açısına göre de düzlemsel güneş kolektörlerine göre daha avantajlıdır, bu durumu açıklayan görsel Şekil 3.6.'da yer almaktadır. [26].



Şekil 3.6. Isı borusu güneşlenme yapısı [32]

3.2. Isı Borusu

Yuvarlak ya da daha dörtgensel kesitte, bünyesinde belirli miktarda akışkan ve sızdırmazlık materyali mevcut olan kapatılarak sınırlandırılmış hacmi tanımlar, ayrıca, buharlaştırıcı bölge, adyabatik bölge ve yoğuşturucu bölgenin tamamını içerir. Geleneksel ısı borusunun şematik resmi Şekil 3.7.'de sunulmuştur. Çoğunlukla bakır gibi ısı iletimi kolay malzemeden üretilir ve genelde içerisinde hacmin üçte birlik kısmında buharlaşması basit bir akışkan bulunur, arta kalan hacmindeki havası vakumlanmış şekilde kapalı bir borudan oluşan ısı transferi cihazıdır. [32].



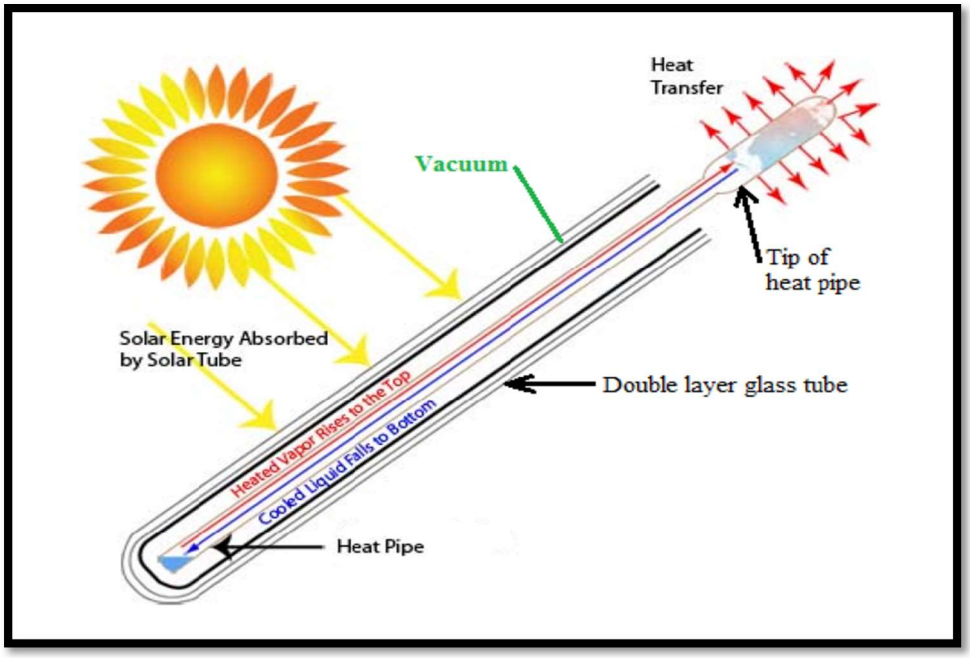
Şekil 3.7. Isı borusu yapısı [32]

Isı borusu; buharlaştırıcı (evaporatör), adyabatik bölge ve yoğuşturucu (kondenser) bölge olarak üç bölümden oluşmaktadır. Isı borusunun buharlaştırıcı bölgesi ısıya maruz kalınca

içerisindeki akışkan buharlaşmaya başlar, akışkanın buharlaşmasıyla birlikte borunun boş tarafı buharla dolar. Ardından yoğuşturucu kısmının sıcaklığı düşük bir yüzeyle teması halindeyse bu bölgede ısının dışarıya atımı gerçekleşir, yoğuşturucu kısımdan ısısını atan akışkan yoğuşarak buharlaştırıcı kısma damlamaya başlar. Isı borusunun buharlaştırıcı kısmı ısı almaya devam ettikçe yoğuşan çalışma sıvısı tekrar buharlaşarak yükselir ve yoğuşturucu bölgeden ısısını atmayı sürdürür. Yoğuşturucu tarafına oranla daha yüksek sıcaklığa sahip buharlaştırıcı bölgesinde sıvıdan buhar fazına; nispeten sıcaklığı daha düşük olan yoğuşturucu bölgesinde ise buhardan sıvı fazına doğru faz değişimi olur. Sonuç olarak her iki uç bölgede de faz değişimi mevcut olur ve sistem bu döngüyü sürdürür. [21].

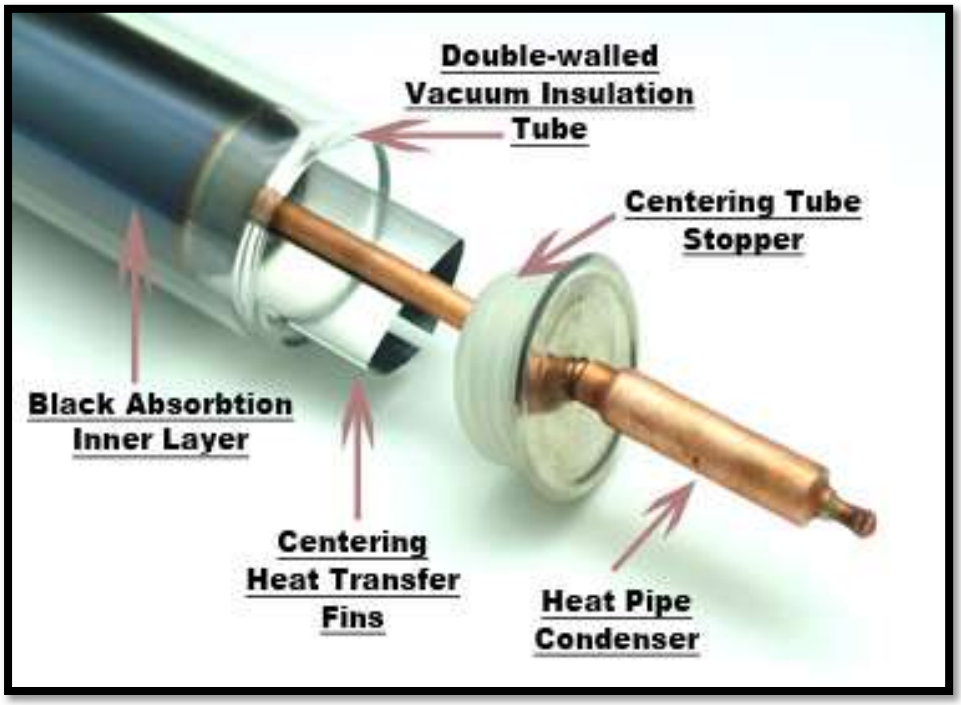
3.3. Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

Güneş ışığını termal enerjiye dönüştüren ve bu enerjiyi azami düzeyde koruyan, iç içe iki silindir biçiminde tüpten oluşan kolektördür. Vakum tüpte bulunan ısıyı kaybetmeme konusundaki mantık; hava yoluyla oluşan ısı transferini (konveksiyon) ortadan kaldırmak olup çift cam pencere ve termosların ısı yalıtım mantığıyla aynıdır. Vakum tüp silindirik şekli dolayısıyla gün boyu güneş ışınlarını dik olarak alır. Bu sayede güneş ışınlarının büyük bir kısmını emerek ısıya çevirebilir. [33].



Şekil 3.8. Vakum tüp ısı borusu [34]

Şekil 3.8. ile basitçe çalışma mantığı açıklanan vakum tüp ısı borusunun temel parçaları Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

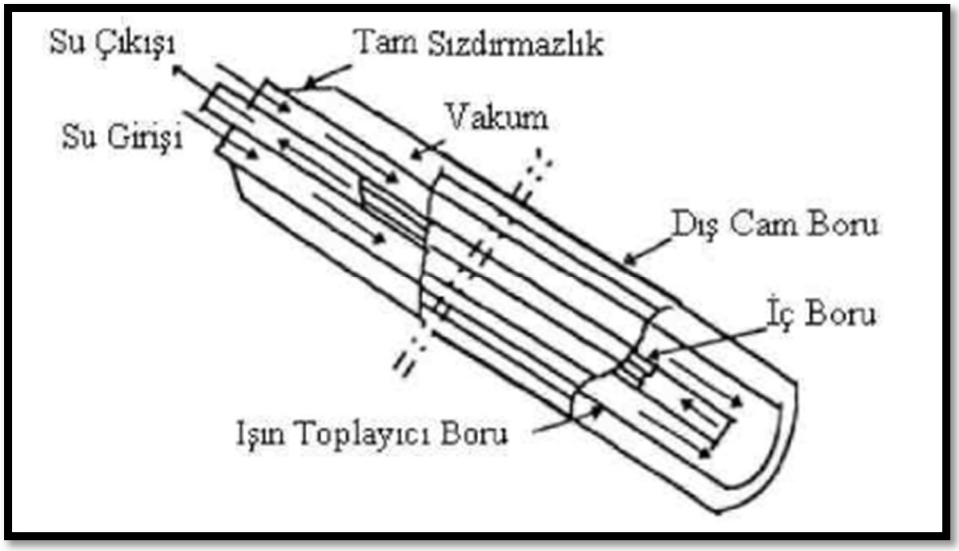


Şekil 3.9. Vakum tüp ısı borusu parçaları [35]

Vakum tüplü güneş kolektörlerinin genel olarak kabul görmüş birkaç tipi mevcuttur. Bunların en önemlileri; Owens Illionois, General Electric tipi ve Philips tipidir.

3.3.1. Owens ıllionois tipi vakum tüplü güneş kolektörleri

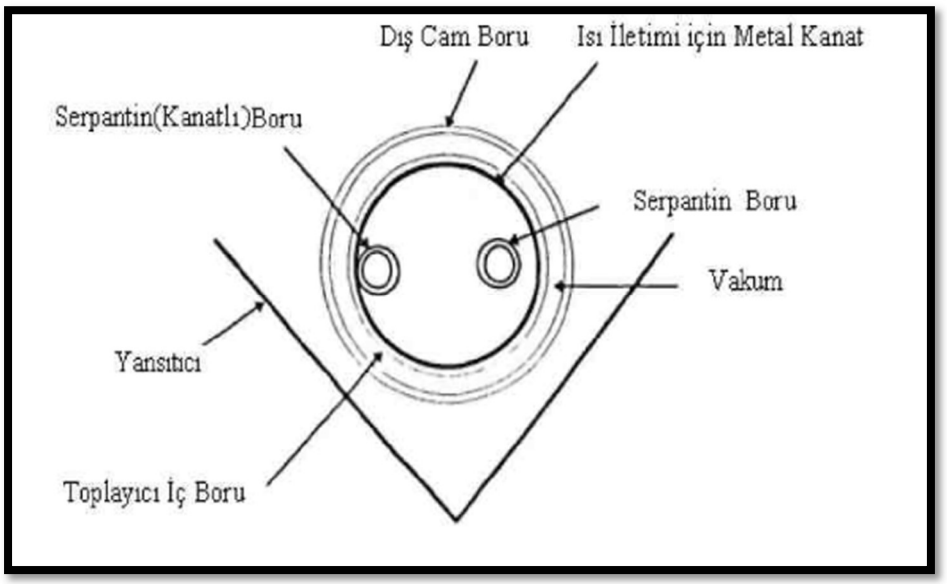
Taşınım işleminin kayıplarını azaltmak için vakum borulu biçimdeki toplayıcının dış kısmında yer alan saydam olan cam boru ile iç kısmındaki selektif yüzeye sahip boru aralığında vakum yaratılmıştır. Buna istinaden bu tip toplayıcıların ısıl verimi düz toplayıcılardan fazladır. Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi bu tip, eş eksendeki iç içe geçmiş üç adet borudan oluşur, Dış ve orta boruların arasında vakum mevcuttur ve sıvı orta boruya girer, ısınır ve iç borudan çıkar. Vakum borulu toplayıcının içerisinde genelde su, bazense hava dolaştırılır. [37].



Şekil 3.10. Owens-ıllionois tipi vakumlu güneş kolektörü [37]

3.3.2. General electric tipi vakum tüplü güneş kolektörleri

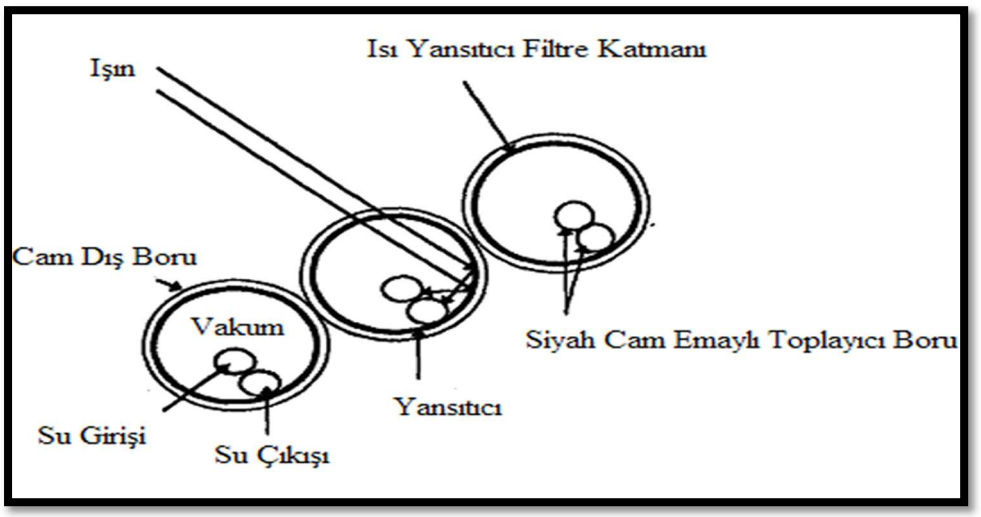
Şekil 3.11.'deki gibi; General electric tipi kolektörlerde tüpün iç yüzeyinde yer alan toplayıcı boru ile etkileşimde olan ve yüksek miktarda ısı transferine haiz metalden üretilmiş bir kanatçık kullanılmakta, vakum tüpünün maruz kaldığı güneş ışınlarının etkisiyle bu kanatçık ısınmakta, ısısını serpantinlere aktarmaktadır. Böylece borunun içinden geçen akışkan ısınır, dışta yer alan boru ile iç boru arasında yer alan vakum ile taşınım kaybı önlenmektedir. [37].



Şekil 3.11. General electric tipi vakumlu güneş kolektörü [37]

3.3.3. Philips tipi vakum tüplü güneş kolektörleri

Şekil 3.12.'deki gibi; bu tip toplayıcıda dış borunun saydam olan üst kısmı ışınları geçirir, alt kısım ise bu kısma uygulanan katmanla, yansıtıcı haline getirilmiştir. Borunun içinde vakum mevcut olup cam olan dış borunun içerisinde serpantin tipinde toplayıcı borular bulunmakta ve bu toplayıcı boruların üzeri siyah katmanla kaplanmış biçimdedir. Güneşten gelen ışınlar dış cam boru içerisinden geçer ve direkt olarak serpantin borular üzerine ulaştığı gibi aynı anda da alt kısımda yer alan yansıtıcıdan yansıyarak toplayıcı boruları ile içinden geçen sıvıyı ısıtır. [37].



Şekil 3.12. Philips tipi vakumlu güneş kolektörü [33]

3.4. Çalışma Ekipmanları

Bir ısı borulu güneş enerjisi sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli hususların başında uygun akışkan seçimi gelmektedir. Isı borusundaki akışkan, buharlaştırıcı kısımdan aldığı ısıyı yoğuşturucu kısmına çok yüksek hızda iletebilmeli ve bunu gerçekleştirebilmesi için, belirli bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu kapsamda ısı borularında en çok kullanılan akışkanlardan bazıları; özellikleri, kullanılan sistemin sıcaklık işletme aralığı ile malzeme seçimine yönelik bilgilerle beraber Çizelge 3.2.'de verilmiştir. [32].

Çizelge 3.2. Isı borusunda kullanılan iş akışkanları ve uyumlu olduğu malzemeler [32]

İşletme Aralığı (ºC)	Akışkan Cinsi	Kaynama Noktası (ºC)	Uygun Malzeme
-200 ile -80	Nitrojen	-196	Paslanmaz Çelik
-70 ile -60	Amonyak	-33	Paslanmaz Çelik
-60 ile 40	Freon 134A	-26.5	Paslanmaz Çelik
-40 ile 120	Freon 21	8.92	Paslanmaz Çelik
-10 ile 180	Freon 113	47.6	Paslanmaz Çelik
40 ile 220	Freon 114	92.8	Paslanmaz Çelik
-20 ile 120	Pentan	28	Paslanmaz Çelik
0 ile 120	Aseton	56.2	Bakır, Pasl. Çelik
10 ile 130	Metanol	65	Bakır, Pasl. Çelik
0 ile 130	Etanol	78.6	Bakır, Pasl. Çelik
10 ile 200	Su	100	Bakır, Nikel
190 ile 500	Civa	356	Paslanmaz Çelik
400 ile 800	Potasyum	760	Nikel, Pasl. Çelik
500 ile 900	Sodyum	883	Nikel, Pasl. Çelik

Isı transferi cihazlarındaki gelişimlere rağmen geleneksel ısı transferi akışkanlarının düşük seviyelerdeki ısıl iletkenliği sistem performansları üzerinde ciddi sınırlamalara yol açmaktadır. Literatür taramasında da görüldüğü üzere kullanılan geleneksel akışkanlara ek olarak yapılan deneylerde ısı transfer akışkanı olarak Au, Ag, Cu, CuO, TiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, MnO, K_2O, Fe_2O, SiO_2, WO_3 ve Na_2O gibi birçok nano akışkan kullanılmıştır.

3.4.1. Nano akışkanlar

Termal iletkenlikleri fazla olan nano boyuttaki partiküllerin ısı transferi için kullanılan geleneksel akışkanın içine katılmasıyla oluşturulan ısı transferi akışkanına “nano akışkan” denmektedir. Nano akışkan; baz ya da temel akışkan ile birlikte katı nano partikülden oluşturulan bir süspansiyon olarak ta ifade edilebilir. Katı haldeki bir metalin ısıl iletkenliği; sistemdeki temel akışkanın ısıl iletkenliğinden fazla olduğundan geleneksel akışkan içerisine katılan nano boyuttaki katı metaller; ısıl iletkenliği, taşınım özelliklerini, ısı transferi performansını farklılaştırır ve sistemin veriminde artış sağlayabilir.

Sıvı maddelerin içerisine katı parçacıklar ekleyerek ısı transfer özelliğini artırma çabaları denenmiş bir yöntemdir, fakat büyük boyutlu katı parçacıkların; ısıl özellikler üzerinde, ancak yüksek hacimsel katkılarda, çok düşük oranda bir iyileşme sağladığı gözükürken; parçacıkların çökelme yapması, sistem ekipmanlarının aşınması, mikro boyuttaki kanallarda tıkanma yapması ve basınç kaybı gibi olumsuzluklar nedeniyle istenen seviyede fayda görülemedi.

Dünya genelinde nano akışkan üzerine araştırma yapan gruplardan elde edilmiş olan çalışmaların sonuçları, nano akışkanların bilinen diğer ısı akışkanlarının haiz olduğundan çok daha farklı ısıl (termal) özelliklere haiz olduğunu göstermekte, yapılan bir çalışmada ise çok düşük miktarda (hacim olarak %1'den daha az) nano parçacık eklenmesinin, bilinen akışkanların ısıl iletkenliğini yaklaşık iki kata kadar yükselttiğini göstermiştir. [38-39].

3.4.2. Kolektör malzemeleri

Oda sıcaklığında bulunan bakırın ısıl iletkenliği suya oranla yaklaşık 650 kat, etilen glikole oranla ise yaklaşık 2 500 kat daha fazladır. Metal türdeki akışkanların ısıl iletkenliklerinin ametallerden çok daha yüksek olması nedeniyle geleneksel akışkanlara göre katı parçacık içeren akışkanların ısıl iletkenliklerinin yüksek olması beklenir. Bu kapsamda en fazla kullanılan kolektör malzemeleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bazı malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri [40]

Malzemeler	Isıl İletkenlik 25 ºC (W/mK)
Grafit	100-400 (düzlem üzerinde)
Karbon siyahı	6-174
Karbon nanotüp	2 000-6 000
Elmas	2000
PAN esaslı karbon elyaf	8-70 (eksen boyunca)
Zift esaslı karbon elyaf	530-1 100 (eksen boyunca)
Bakır	483
Gümüş	450
Altın	345
Alüminyum	204
Nikel	158
Bor nitrür	250-300
Alüminyum nitrür	200
Berilyum oksit	260
Alüminyum oksit	20-29

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

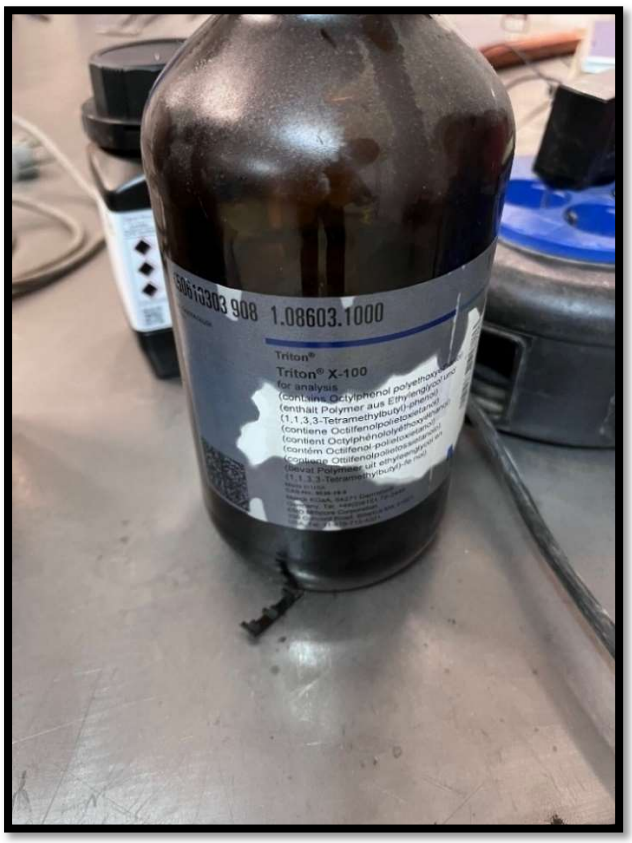
Yapılan araştırmada materyal olarak hazırlanan nano karışım kullanılmıştır. 490 ml saf suya, hassas terazi kullanılarak yaklaşık 10 mg ‘’Çinko Demir Oksit (Zinc Iron Oxide)’’ ve yine yaklaşık olarak 2 ml Triton X-100 eklenerek nano akışkan karışım hazırlanmış, ultrasonik banyoda birkaç kez 60 dakika süreyle bekletilmiştir. Yapılan bu işlemlere ait görseller Resim 4.1. ile Resim 4.6. arasında yer almaktadır.



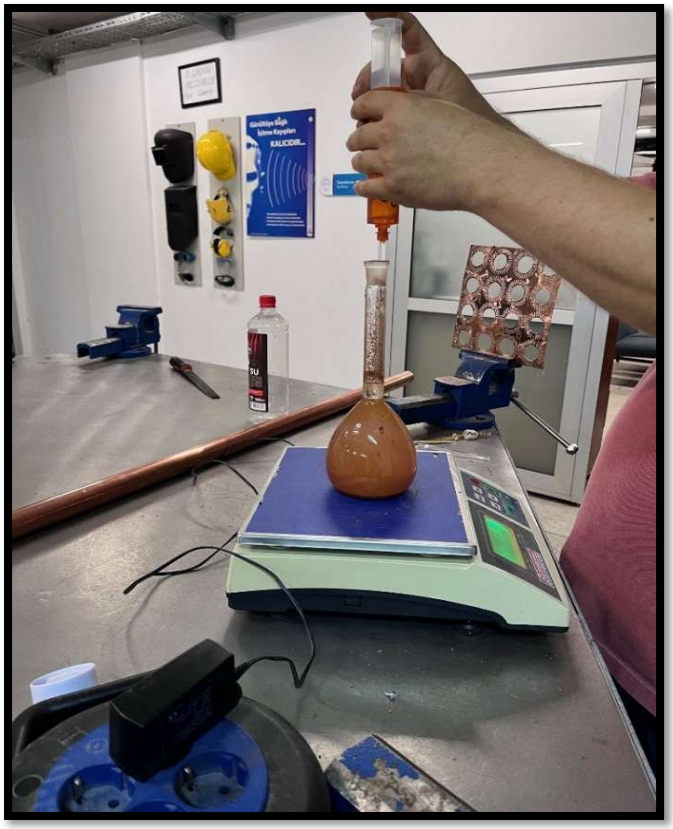
Resim 4.1. Akışkanın hazırlanması-490 ml saf su



Resim 4.2. Akışkanın hazırlanması-10 ml nano akışkan eklenmesi



Resim 4.3. Triton X-100



Resim 4.4. Akışkanın hazırlanması-2 ml Triton X-100 eklenmesi



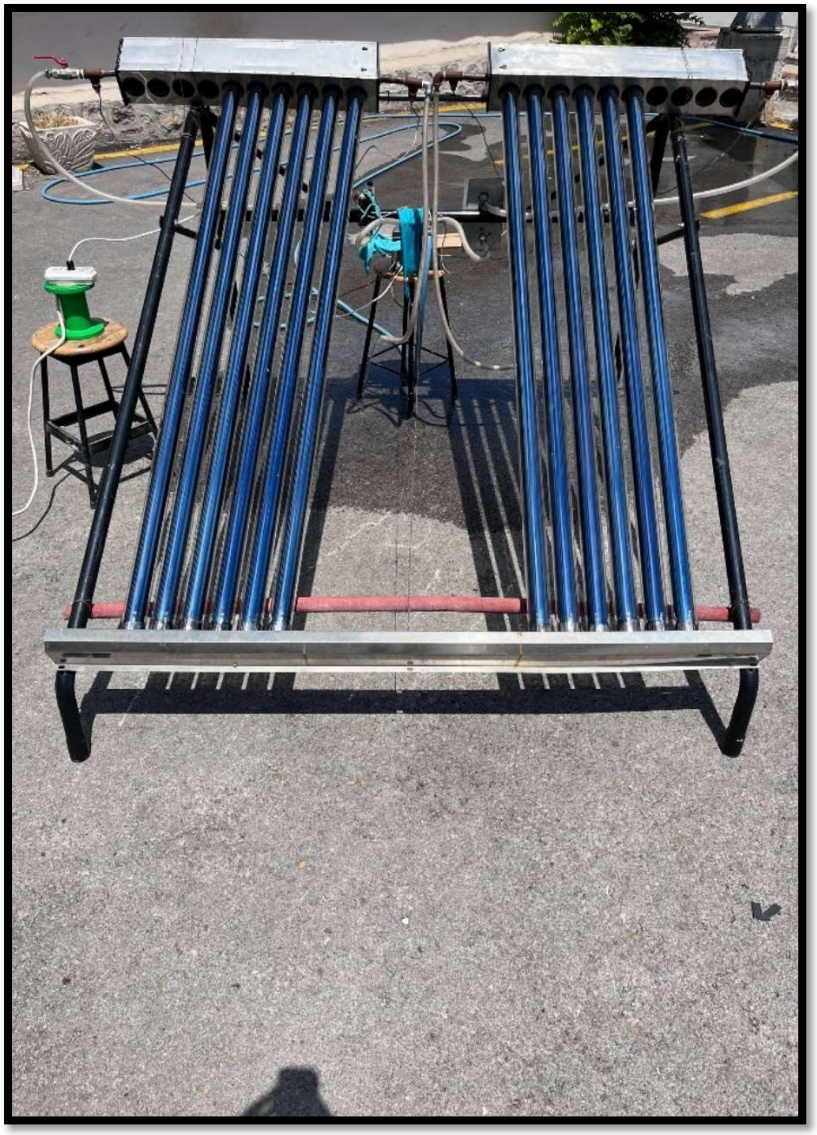
Resim 4.5. Nano akışkan karışımın ultrasonik banyoya alınması



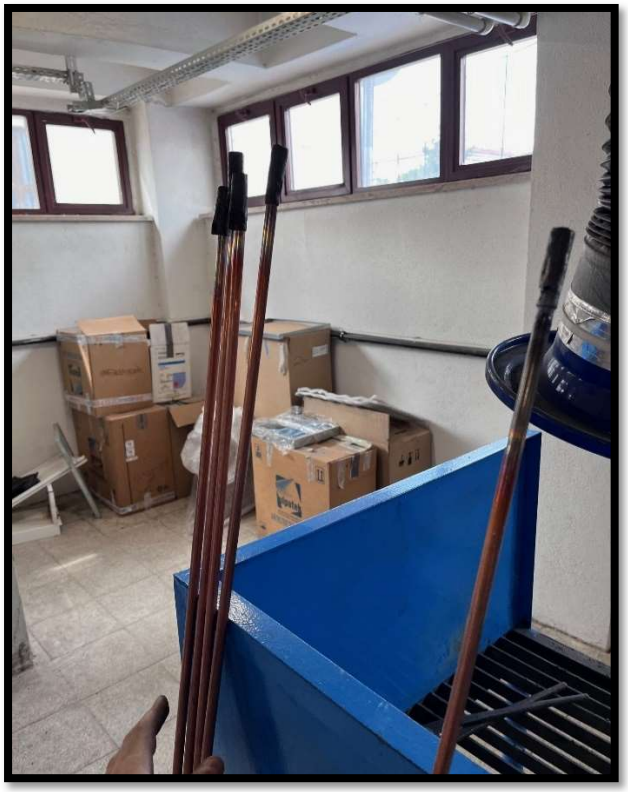
Resim 4.6. Ultrasonik banyo işlemi

4.2. Metot

Yapılan araştırmada deneysel metot kullanılmıştır. Üniversitemizin, Resim 4.7.'de yer alan düzeneği deneye uygun olarak yeniden hazırlanmıştır. 1,68 m uzunluğunda; 8 mm iç, 10 mm dış çapa sahip bakır borular hacimlerinin 1/3'ü kadar akışkanla doldurulmuş, ısıtılarak havası alınmış ve uçları kaynakla körlenmiştir. Bu kapsamdaki işlemler; Resim 4.8., 4.9., 4.10. ve 4.11.'de gösterilmiştir. Ardından bakır borular vakum cam tüplerin içerisine yerleştirilmiş, tüpler manifoldlara bağlanarak sistem açık havaya çıkarılmıştır.



Resim 4.7. Deney setinin hazırlanması



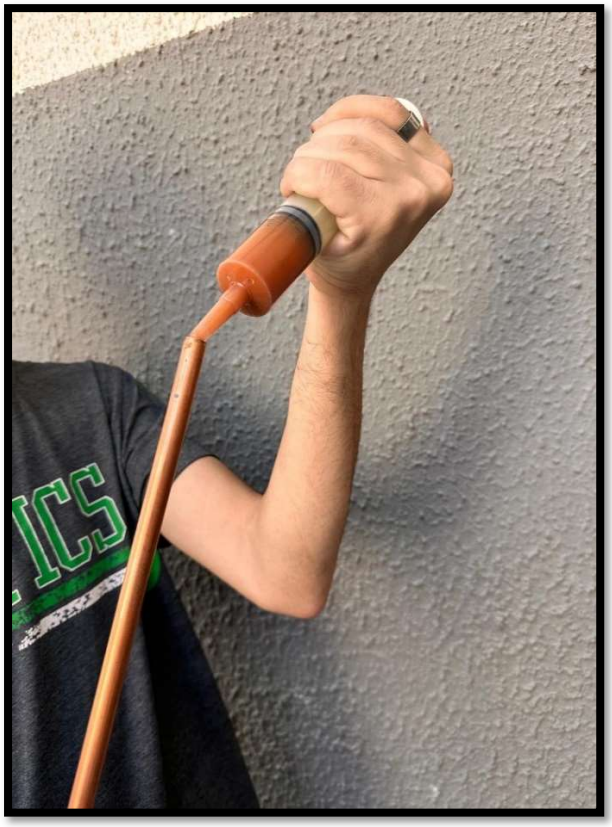
Resim 4.8. Bakır boruların hazırlanması



Resim 4.9. Bakır boruların körlenmesi



Resim 4.10. Nano akışkanın ultrasonik banyodan bir saat sonraki görüntüsü

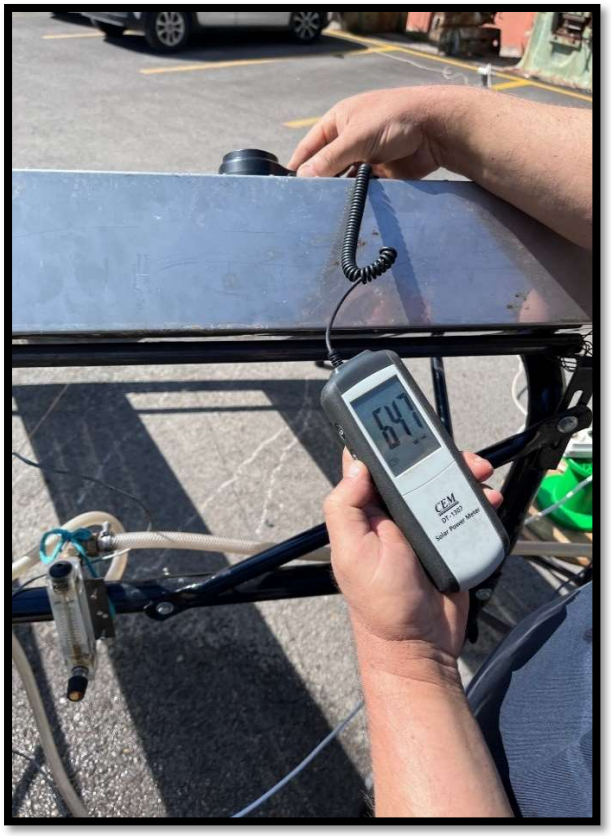


Resim 4.11. Nano akışkanın bakır borulara şarj edilmesi

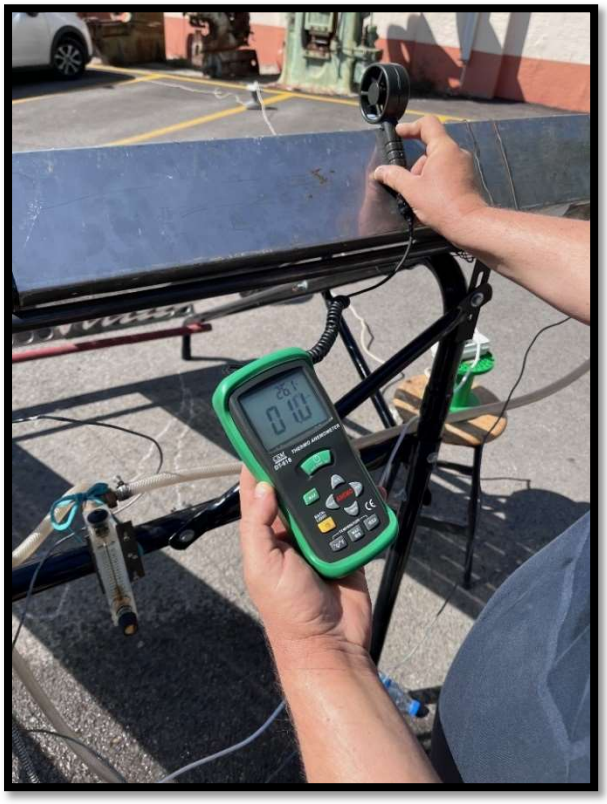
Düzenekte 6 cam tüpe normal akışkan olarak su, 6 cam tüpe ise hazırlanan karışım belirtilen hacimde konularak 1-2-3 Ağustos 2024 tarihlerinde sabah saat 10.00 ile akşam saat 16.00 arası 15'er dakikalık dilimler halinde güneş ışığı altında ölçümler yapılmıştır. Su debisi; 1 Ağustos 2024 Perşembe günü 1 litre/dakika, 2 Ağustos 2024 Cuma günü 1,5 litre/dakika, 3 Ağustos 2024 Cumartesi günü 2 litre/dakika olarak ayarlanmıştır. Resim 4.12.'de görüldüğü üzere; normal su ile dolu olan tarafın giriş çıkış değerleri ile nano akışkan dolu olan tarafın giriş çıkış değerleri termokupl'lar aracılığıyla elektronik olarak okunmuştur. Ayrıca Resim 4.13. ve 4.14.'te görüldüğü üzere radyasyon ve rüzgâr verileri de kayıt altına alınmıştır.



Resim 4.12. Deney setinde sıcaklık verisi ölçümü



Resim 4.13. Deney setinde radyasyon verisi ölçümü



Resim 4.14. Deney setinde rüzgâr verisi ölçümü

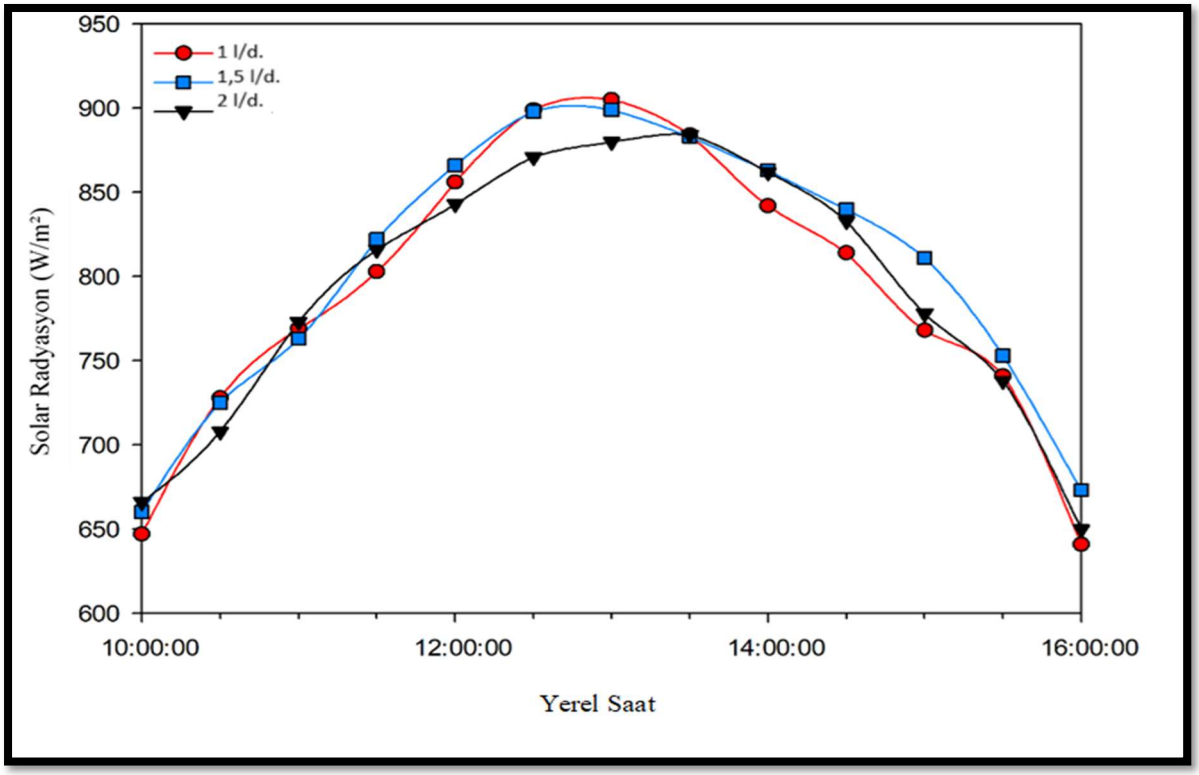
5. DENEY VE SONUÇLARI

Yapılan deney setine ait fotoğraf ve deneylerin sonuçları şu şekildedir.

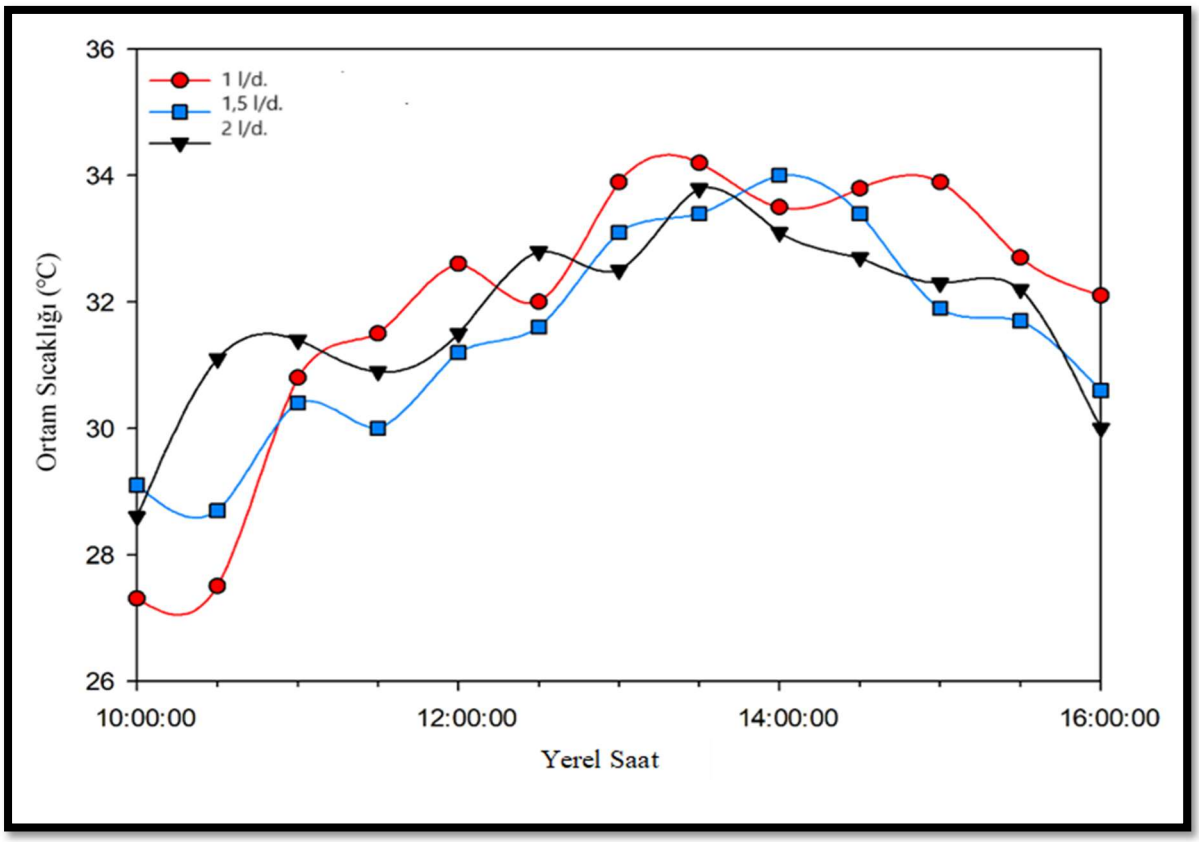


Resim 5.1. Deney seti

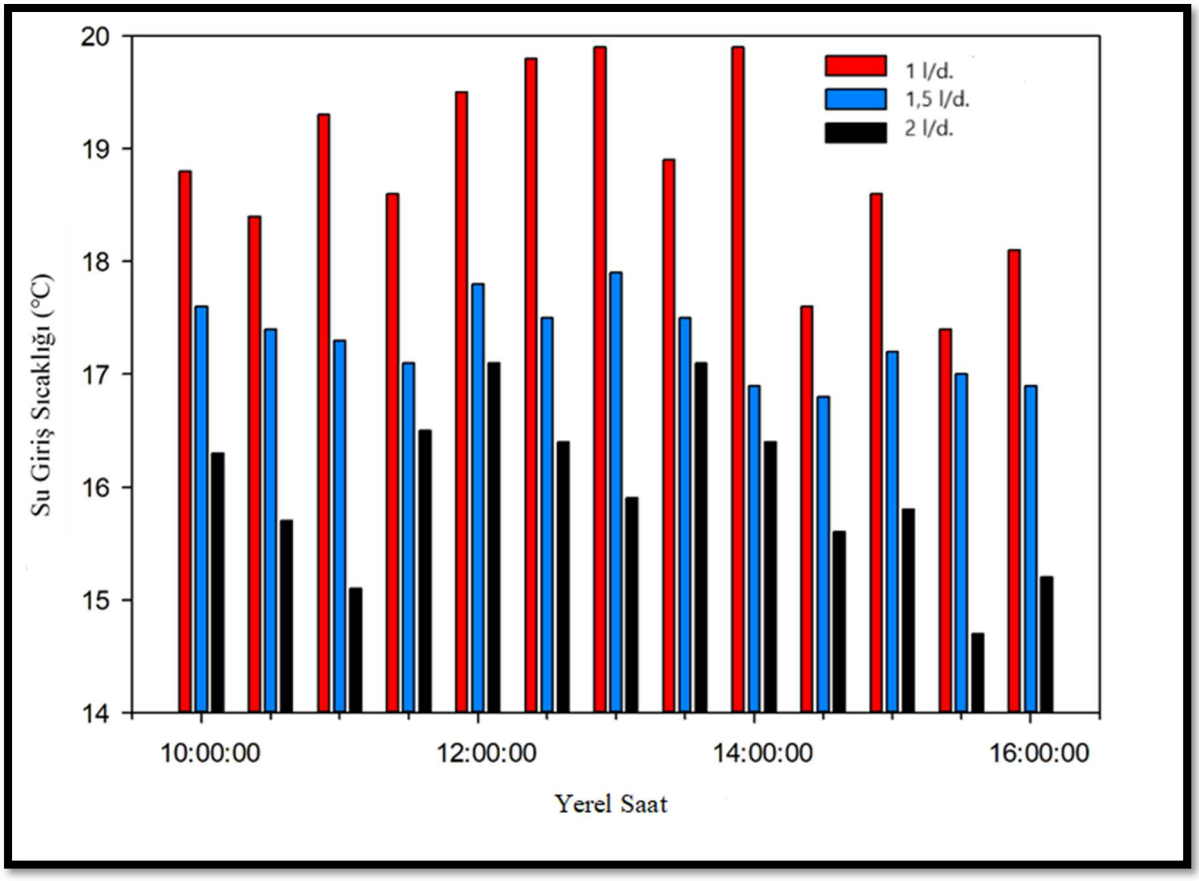
Yapılan deney sonucunda elde edilen tüm veriler ‘’Fluent’’ programında işlenerek grafikler elde edilmiş ve aşağıda paylaşılmıştır.



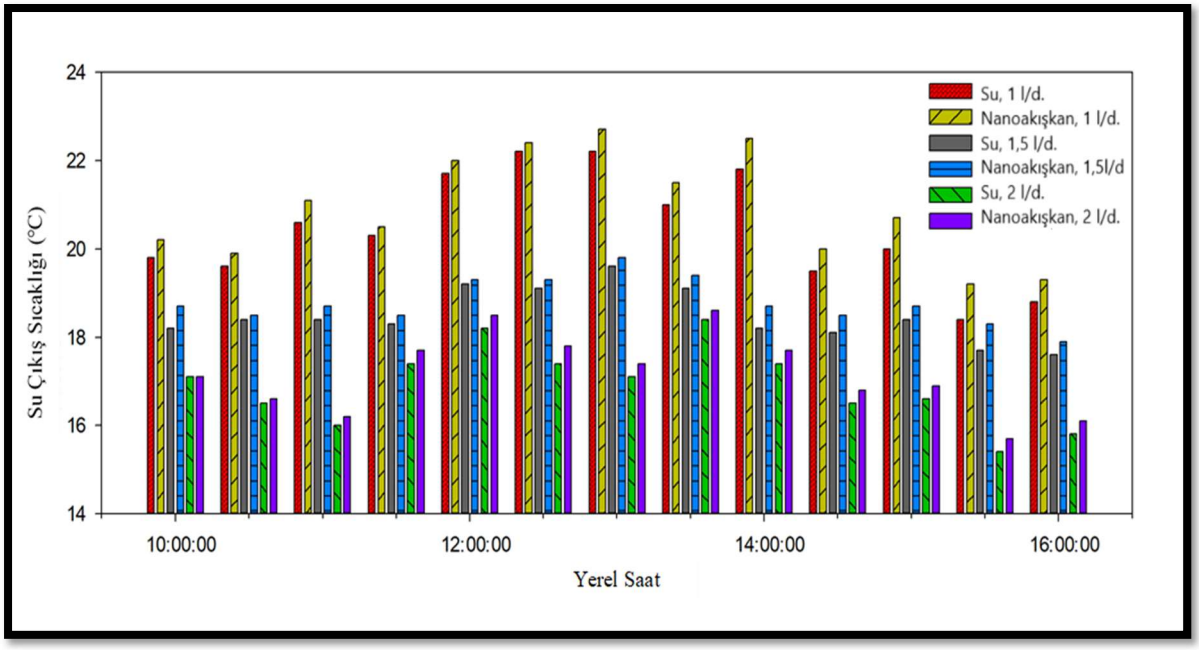
Şekil 5.1. Güneş ışığı radyasyon değerlerinin zamana göre değişimi



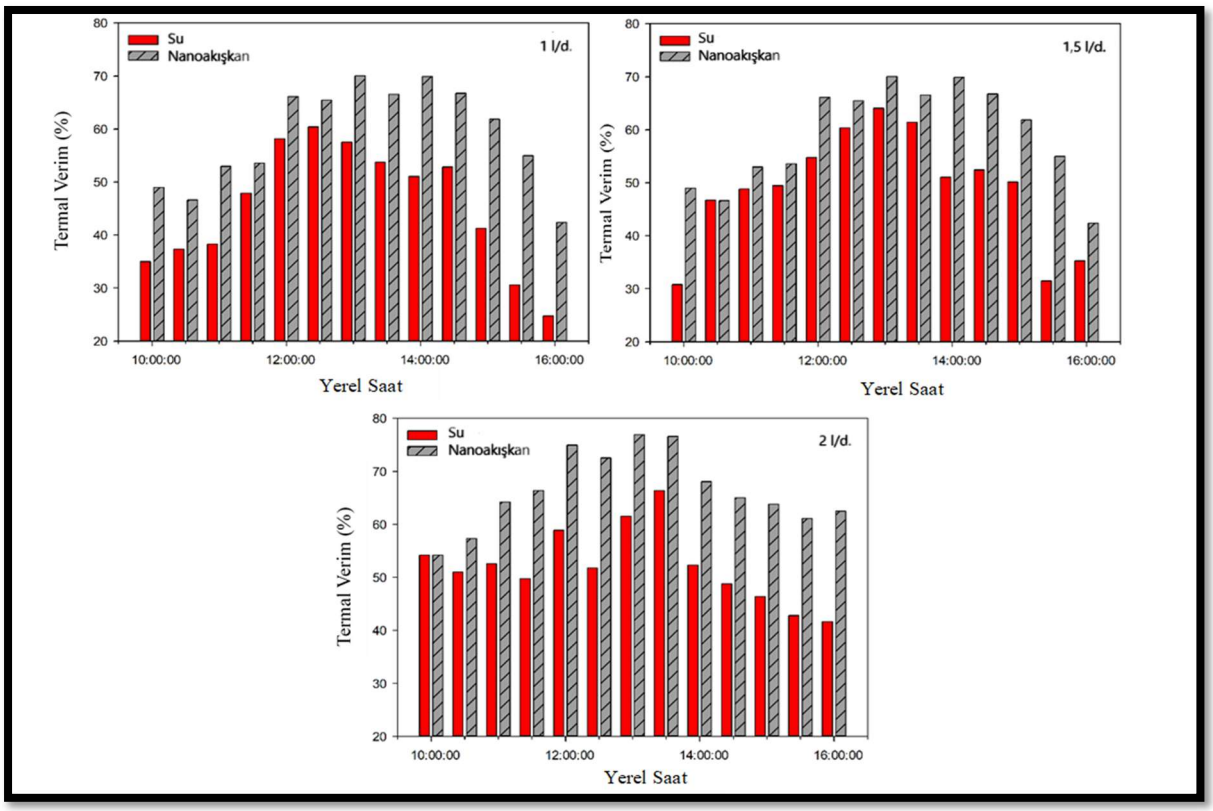
Şekil 5.2. Ortam sıcaklığının zamana göre değişimi



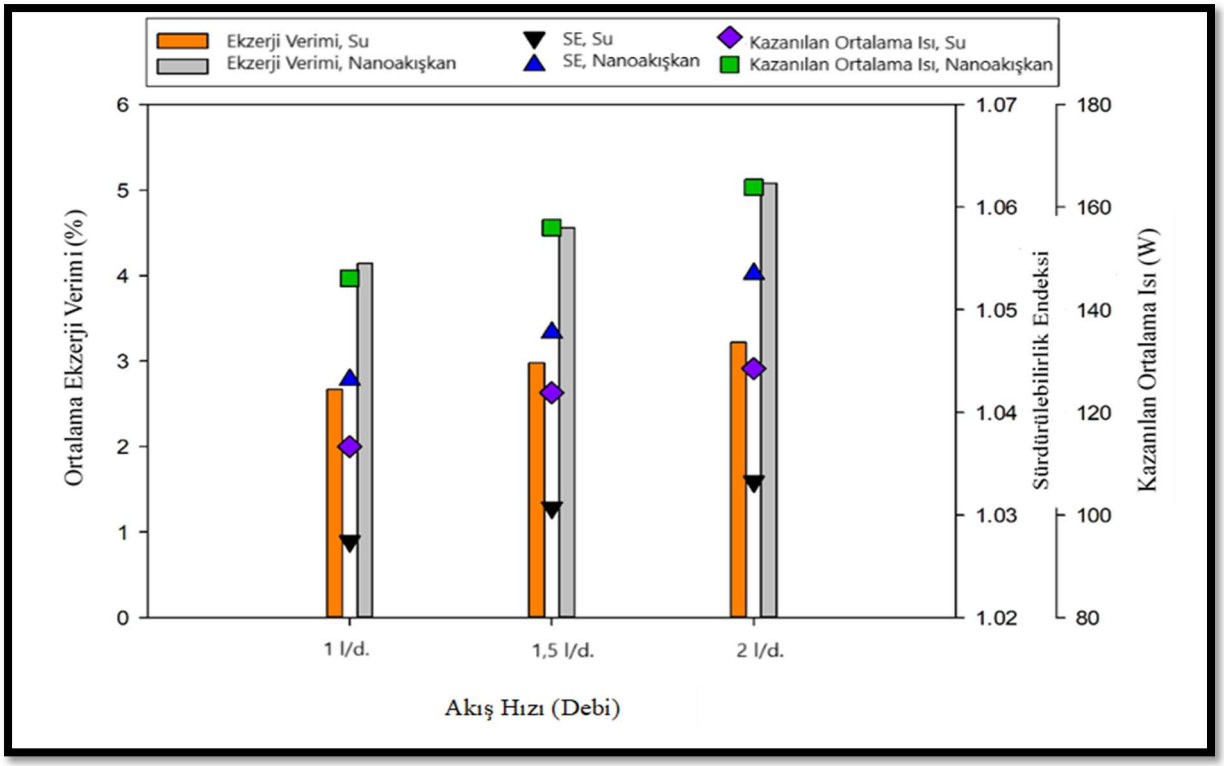
Şekil 5.3. Su giriş sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil 5.4. Su çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil 5.5. Termal verim değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.6. Ekzerji verimi, sürdürülebirlik endeksi, ortalama kazanılan ısı değerlerinin zamana göre değişimi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının sonucunda oluşan genel kanı ve öneriler aşağıda belirtilmiştir.

Isı borularının içerisine su ve çinko demir oksit ($ZnFe_2O_4$) nano akışkanı ile su karışımı kullanan, iki özdeş vakum cam tüplü güneş kolektörünün performansı, 1 l/d., 1,5 l/d. ve 2 l/d. olmak üzere üç farklı debi altında değerlendirilmiştir. Deneyler üç gün boyunca aynı anda yürütülmüş olup güneş ışığı radyasyonu, ortam sıcaklığı, giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları, termal ve ekzerji verimlilikleri ile sürdürülebilirlik endeksleri gibi temel parametreler ölçülmüş ve analiz edilmiştir.

Şekil 5.1.'de gösterilen güneş radyasyonu değerleri, üç deney boyunca tutarlı günlük değişimler göstermiştir. Ortalama güneş radyasyonu, sırasıyla 1 l/d., 1,5 l/d. ve 2 l/d. debileri için 792,08 W/m², 804,31 W/m² ve 792,46 W/m² olarak ölçülmüştür. Güneş radyasyonu değerlerinin aralığı 641 W/m² ile 905 W/m² arasında değişmiş olup bu değer deneyin ilk gününde maksimumu, deneyin son günü ise minimumu kaydetmiştir. Şekil 5.2.'de gösterildiği gibi ortam sıcaklığı eğilimleri de benzer şekilde sabit kalmış olup üç akış hızı için ortalama değerler sırasıyla 31,98°C, 31,47°C ve 31,76°C olmuştur. Sıcaklık 27,3°C ile 34,2°C arasında değişmiş olup bu da termal enerji toplanması için uygun koşulları göstermektedir.

Giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları kolektör performansının önemli göstergeleridir. Ortalama giriş suyu sıcaklığı 1 l/d. için 18,83°C, 1,5 l/d. için 17,3°C, 2 l/d. için 15,98°C olup akış hızı ayarlamalarının başlangıç akışkan koşulları üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Şekil 5.4.'te sunulan çıkış suyu sıcaklıklarının, su bazlı kolektöre kıyasla nano akışkan kolektör için sürekli olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 1 l/d.'de, ortalama çıkış sıcaklığı su için 20,45°C ve nano akışkan için 20,92°C olup 0,47°C'lik bir artışı temsil etmektedir. Benzer şekilde, 1,5 l/d.'de, nano akışkan kolektör, su için 18,48°C'ye kıyasla 18,79°C'lik bir ortalama çıkış sıcaklığına ulaştı ve bu da 0,31°C'lik bir artışı temsil etmektedir. 2 l/d.'de nano akışkan toplayıcının çıkış sıcaklığı ortalama 17,16°C olup su bazlı sistemden 0,25°C daha yüksektir. Daha yüksek akış hızlarındaki daha küçük sıcaklık farkları, ısı değişim periyodunu sınırlayan azaltılmış kalış sürelerine atfedilebilir.

Kolektörlerin ısı transferi ve güneş radyasyonu değerlerine göre hesaplanan termal verimlilikleri Şekil 5.5.'te gösterilmiştir. 1 l/d.'de, su bazlı kolektör %45,29'luk ortalama bir termal verimliliğe ulaşırken, nano akışkan kolektör %58,93'e ulaşarak yaklaşık %30,1'lik bir iyileştirme sağlamıştır. 1,5 l/d.'de, verimlilikler su için %48,98'e ve nano akışkan için %62,28'e yükselerek %27,1'lik bir iyileştirmeyi yansıtmıştır. 2 l/d. akış hızı için, verimlilikler su için %52,16 ve nano akışkan için %66,44 olmuş ve %27,4'lük bir iyileştirmeyle sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar, daha yüksek akış hızlarının her iki sistem için de termal verimliliği artırırken, nano akışkanın göreceli avantajının tüm test edilen koşullarda tutarlı kaldığını göstermektedir.

Kolektörler tarafından kazanılan termal enerji miktarı da değerlendirilmiştir. 1 l/d.'de, su bazlı kolektör ortalama 113,35 W kazanırken, nano akışkan bazlı kolektör 146,13 W'a ulaşmış olup bu %28,9'luk bir artışı temsil etmektedir. 1,5 l/d.'de, kazanılan termal enerji su için 123,85 W'a ve nano akışkan için 156,02 W'a yükselmiş olup bu %26,0'lık bir iyileştirme gerçekleştiğini göstermiştir. 2 l/d.'de, su bazlı sistem 128,55 W kazanırken, nano akışkan bazlı sistem 163,90 W'a ulaşmış olup bu da %27,5'lik bir iyileştirmeyle sonuçlanmıştır. Şekil 5.6.'da gösterilen bu sonuçlar, nano akışkanın üstün ısı transfer özelliklerini, özellikle güneş kolektörlerinde enerji emilimini ve depolamasını iyileştirme yeteneklerini doğrulamaktadır.

Ekzerji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi değerleri, nano akışkanın kullanımının termodinamik avantajlarını daha da vurgulamaktadır. 1 l/d.'de, su ve nano akışkan için ekzerji verimliliği sırasıyla %2,67 ve %4,14 iken sürdürülebilirlik endeksleri 1,03 ve 1,04'tür. 1,5 l/d.'de, bu değerler ekzerji verimliliği için %2,98 ve %4,56'ya ve sürdürülebilirlik endeksi için 1,03 ve 1,05'e yükselmiştir. 2 l/d.'de, ekzerji verimlilikleri su için %3,22 ve nano akışkan için %5,08 iken sürdürülebilirlik endeksleri 1,03 ve 1,05'tir. Bu bulgular, Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi nano akışkanın ekzerji verimliliğini ve sistem sürdürülebilirliğini artırmada tutarlı üstünlüğünü göstermektedir.

Akış hızını artırmanın ve nano akışkan kullanmanın kombine etkisi önemlidir. Daha yüksek akış hızları, deneyler boyunca termal verimlilik ve ısı transferi değerlerindeki kademeli artışla kanıtlandığı gibi, genellikle konvektif ısı transferini geliştirerek termal performansı iyileştirir. Ancak, nano akışkan kullanımı, nano akışkanın daha yüksek termal

iletkenlik ve ısı kapasitesi gibi gelişmiş termofiziksel özelliklerini kullanarak bu iyileştirmeleri artırır.

Akış hızı ayarlamaları ve nano akışkan kullanımı arasındaki sinerji, gelişmiş çalışma akışkanları ve operasyonel stratejilerin bir kombinasyonu yoluyla güneş kolektörü performansını optimize etme potansiyelini vurgular.

Deneylerde kullanılan nano akışkanın çökelmesinin çok yavaş olduğu görülmüştür. Düzenekte ve bakır borularda herhangi bir olumsuzluk yaşanmamış, nano akışkanın deney süresince deney setine herhangi bir zararı tespit edilmemiştir. Daha yüksek kapasitedeki düzeneklerde ya da farklı debi ve/veya farklı sıcaklıklarda da söz konusu nano akışkanın katkı sunacağı değerlendirilmiştir.

Deneysel sonuçlar, vakumlu güneş kolektörlerinde ısı transfer akışkanı olarak $ZnFe_2O_4$/su nano akışkanının geleneksel suya göre avantajlarını açıkça göstermektedir. Nano akışkan, tüm test edilen akış hızlarında çıkış sıcaklığı, termal verimlilik, ısı transferi, ekzerji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi açısından sudan sürekli olarak daha iyi performans göstermiştir. Bu bulgular, nano akışkanın güneş termal sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini önemli ölçüde artırma potansiyelini vurgulayarak, yenilenebilir enerji uygulamalarında daha geniş bir şekilde benimsenmelerinin önünü açmaktadır. Nano akışkanın uzun vadeli kararlılığı ve ekonomik uygulanabilirliği üzerine daha fazla araştırma yapılması, büyük ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde pratik uygulamalarını kolaylaştırmak için önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Noie, S.H., Heris, S.Z., Kahani, M. ve Nowee, S.M. (2009). Heat transfer enhancement using Al2O3/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 700-705.

2. Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I. ve Dumitrache, F. (2011). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 656-661.

3. Moorthy, M., Chui, L., Sharma, K., Anuar, S. (2012). Performance evaluation of evacuated tube solar collector using water-based titanium oxide (TiO2) nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 3, 301-310.

4. Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of Al2O3–H2O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Renewable Energy*, 39(1), 293-298.

5. Adlı, D. (2013). *Nano akışkanların ısı transferine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

6. Lodhi, M. S., Gupta, R. (2013). The Experimental Study of the Thermal Performance of Heat Pipe using CuO/Water Nanofluid. *International Journal of Engineering Sciences and Emerging Technologies,* 2(8), 2048-2054.

7. Jamal-Abad T. M., Zamzamian A., Imani E., Mansouri M. (2013). Experimental study of the performance of a flat-plate collector using Cu–water nanofluid. *Journal Thermal mophy Heat Transfer*, 27(4), 756–60.

8. Balcıoğlu, B. (2014). *Alümina nano akışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

9. Moghadam, A. J., Farzane-Gord, M., Sajadi, M., Hoseyn-Zadeh, M. (2014). Effects of CuO/water nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58, 9-14.

10. Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Oztas, S. (2015). Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe. *Journal of the Energy Institute*, 88, 247-257.

11. He, Q., Zeng, S., Wang, S. (2015). Experimental investigation on the efficiency of flat plate solar collectors with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 88, 165-171.

12. 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, 244-256.

13. Aminreza, N., Ebrahim, H., Mojtaba M. (2016). Experimental investigation of efficiency square flat-plate solar collector using SiO2/water nanofluid. *Case Studies in*

Thermal Engineering, 8, 378-386.

14. Çiftçi, E., Sözen, A., Karaman, E. (2016). TiO_2 içeren nano akışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik*, 19(3), 367376.

15. Budak, N. (2016). *Güneş Kolektörlerinde Nano akışkan Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi,* Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

16. Kılıç, F. (2017). *Güneş kolektörlerinde nano boyutta metal oksit içeren akışkanların performans üzerine etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

17. Ghaderian, J., Sidik, N.A.C. (2017). An experimental investigation on the effect of Al2O3/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 972-987.

18. Sharafeldin, M.A., Gróf, G., Mahian, O. (2017). Experimental Study on the Performance of a Flat-Plate Collector Using WO3/Water Nanofluids. *Energy*, 141(C), 2436-2444.

19. Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Aktaş, M. (2017). Utilization of blast furnace slag nano-fluids in two phase closed thermos-syphon heat pipes for enhancing heat transfer. *Experimental Heat Transfer*, 30(2), 112-125.

20. Poplaski, L. M., Benn, S. P., Faghri, A. (2017). Thermal performance of heat pipes using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer,* 107, 358–371.

21. Topal, M.A. (2018). *Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde nano akışkan kullanımının performansa etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

22. Öztürk, A., Özalp, M., Sözen, A. (2018). Isı Değiştiricilerin Isı Borularında Kullanılan Al2O3/Distile Su Nano akışkanının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi University Journal of Science*, 31(2), 616-626.

23. Farajzadeh, E., Movahed, S., Hosseini, R. (2018). Experimental and numerical investigations on the effect of Al2O3/TiO2-H2O nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector. *Renewable Energy* 118, 122-130.

24. Su, U. Ö. (2019). *Isı Borulu Güneş Kolektörlerinde Nano Çözelti İle Performansın İyileştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

25. Mercan, M., Yurddaş, A. (2019). Numerical analysis of evacuated tube solar collectors using nanofluids. *Solar Energy,* 191, 167-179.

26. Işık, M. K. (2019). *Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde TiO2-su Nano akışkanı Kullanılarak Isıl Verimin Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

27. Tong, Y., Lee, H., Kang, W., Cho, H. (2019). Energy and exergy comparison of a flat plate solar collector using water, Al2O3 nanofluid, and CuO nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 159, 113959.

28. Karabulut, K. (2020). Experimental and Numerical Investigation of Convection Heat Transfer in A Circular Copper Tube Using Graphene Oxide Nanofluid. *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, vol.42, no.5.

29. Ahmadlouydarab, M., Ebadolahzadeh, M., Muhammad, A. H. (2020). Effects of utilizing nanofluid as working fluid in a lab-scale designed FPSC to improve thermal absorption and efficiency. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 540, 123109.

30. Ünvar, S. (2021). *Isı Borulu Güneş Kolektörlerinde Nano Akışkanların Performans Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

31. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, Güneş Bilgileri. URL: https://www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes. Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.

32. İnternet: Markal, B. (2018), Yenilikçi Soğutma Teknolojileri. URL: https://www.set-science.com/manage/uploads/ISAS2018_005/SETSCI_ISAS2018_005_00246.pdf. Son Erişim Tarihi: 19.11.2024.

33. Ezen, H. H. (2010). *Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

34. İnternet: Design, construction and testing of twoaxes tracking parabolic solar collector with economical consideration. URL: https://www.researchgate.net/figure/Vacuum-tube-and-heat-pipe-collector_fig3_290182788. Son Erişim Tarihi: 05.10.2024.

35. Internet: Solar Water Heaters-Commercial Applications, Evacuated Tube Solar Water Heating Collectors. URL: https://www.solarpanelsplus.com/evacuated-tube-collectors/. Son Erişim Tarihi: 18.11.2024.

36. İnternet: Vikipedi web sitesi, Güneş ve güneşle ilgili yayımlanmış veriler. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi. Son Erişim Tarihi: 11.10.2024.

37. Şahin, T. (2010). *Düzlemsel Ve Bükülmüş Kolektörlerinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

38. İnternet: Beşergil, B. web sitesi, Ek-11: Su Dışındaki Sıvıların Isıl İletkenlikleri. URL: https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_195.html. Son Erişim Tarihi:5.10.2024.

39. Çakır, M.T. (2015). Alümina İçeren Nano akışkan Kullanılarak Isı Borularının Performanslarının İyileştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,* 30, 4, 547-556.

40. İnternet: Plastik ve Ambalaj Teknolojisi, Polimer Malzemelerin Isıl İletkenlik Özelikleri. URL: https://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/3014-polimer-malzemelerin-is-l-iletkenlik-oezelikleri. Son Erişim Tarihi: 12.11.2024.



Gazili olmak ayrıcalıktır