

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GİZLİ ISI DEPOLAMALI NANO AKIŞKANLI GÜNEŞ ENERJİLİ SU
ISITICISININ PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülcan KALKAN

(141135104)

Anabilim Dalı: Enerji Sistemleri Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ESEN

AĞUSTOS-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİZLİ ISI DEPOLAMALI NANO AKIŞKANLI GÜNEŞ ENERJİLİ SU
ISITICISININ PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülcan KALKAN

(141135104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23/07/2019
Tezin Savunulduğu Tarih : 08/08/2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Dr. Öğretim Üyesi Erdem IŞIK (MUNZUR ÜNİV.)

Dr. Öğretim Üyesi Aydın DİKİCİ (F.Ü.)

AĞUSTOS-2019

ÖNSÖZ

Tezi hazırlamamda bana yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ESEN'e ve Arş. Gör. Sercan Gülce GÜNGÖR'e çok teşekkür ederim. Ayrıca Arşiv Uzmanı Yunus KALKAN'a, Yüksek Mühendis Ece Yılmaz YİĞİT'e ve Yüksek Mühendis Fatih ÇAÇAN'a desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Gülcan KALKAN
Elazığ – 2019



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITICISI	7
3.1. Tabi Dolaşımli Sistemler	7
3.2. Pompalı Sistemler	8
3.3. Açık Sistemler	8
3.4. Kapalı Sistemler	9
3.5. Düzlemsel Güneş Kolektörleri	9
3.6. Saydam Örtü	10
3.7. Emici (Yutucu) Yüzey	10
3.8. Akışkanın Dolaştığı Borular	11
3.9. Yalıtım Malzemesi	11
3.10. Kolektör Kasası	11
3.11. Vakum Tüplü Güneş Kolektörler	11
4. NANO AKIŞKANLAR	13
4.1. Nano Akışkanların Hazırlanması.....	15
4.2. Nano Akışkanlar Ve Isı Transferi.....	16
4.3. Güneş Kolektörleri ve nano akışkanlar	18
5. GİZLİ ISI DEPOLAMA	20

5.1.	Faz Değiştiren Maddeler (FDM)	20
5.2.	Faz Değiştiren Maddelerin Özellikleri	21
6.	MATERYAL VE METOT	24
7.	BULGULAR VE TARTIşMA	29
8.	SONUÇLAR	33
	KAYNAKLAR	34
	ÖZGEÇMİş	39



ÖZET

Güneş enerjisi, en fazla yararlanılabilir kaynaktır. Çok uygun bir ısıtma kaynağıdır. Ücretsiz olarak kullanılabilir ve taşınması gerekmez. Güneş enerjisi termal kullanımı için kritik sorun, güneş enerjisi kolektörünün verimliliğinin nasıl iyileştirileceğidir. Bu da kolektör yapısını optimize ederek veya yeni bir çalışma akışkanı geliştirerek gerçekleştirilebilir. Halen, güneş enerjisi sistemlerinde bir çalışma akışkanı olarak su yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, suyun termal iletkenliği yüksek değildir.

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, yenilikçi bir ısı transfer akışkanı ortaya çıkmaktadır. Nano akışkanlar, içlerinde asılı nano boyutlu parçacıklarla (1-100 nm) bir temel akışkandan oluşan nispeten yeni bir akışkan sınıfıdır. Bu parçacıklar genellikle metal veya metal oksittir. Nano akışkanlar, gelişmiş termal iletkenlikleri nedeniyle yeni tip bir ısı transfer akışkanı olarak kabul edilmektedir. Son zamanlarda bazı araştırmacılar, nano akışkanı güneş kolektörleri için çalışma akışkanı olarak kullanmayı öne sürmüşlerdir. Ayrıca, faz değiştiren maddeler (FDM) ve güneş kolektörleriyle entegrasyonları gibi yeni teknolojik gelişmeler son yıllarda daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada, ısı boruları, iki farklı nano akışkan ve saf su ile doldurulmuş iki fazlı bir termosifon güneş enerjili su ısıtıcısının termal performansını belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirildi. Deneysel Al₂O₃-H₂O, CuO-H₂O nano akışkanlar ve saf su kullanıldı. Ayrıca, CaCl₂.6H₂O ile doldurulmuş bir gizli ısı depolama ünitesi bu iki fazlı termosifon güneş enerjili su ısıtıcısının kondenser ünitesine eklendi. En düşük termal performans saf su için elde edilirken, en yüksek termal performans CuO-H₂O nano akışkan için elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili su ısıtıcısı, Nano akışkan, Gizli ısı depolama, Faz değiştiren madde (FDM).

SUMMARY

PERFORMANCE OF LATENT HEAT STORED NANO FLUID SOLAR WATER HEATER

Solar thermal energy is by far the largest exploitable resource. It is a very convenient source of heating. It can be used free of charge, and does not need to be transported. The critical problem for solar thermal utilization is how to improve the efficiency of the solar collector. It can be performed with optimizing the structure of collector or developing a new type of working fluid. Currently, water as a fluid in solar thermal energy system is used widely. But the thermal conductivity of water is not high.

With the development of nanotechnology, an innovative heat transfer fluid arise. Nanofluids, a relatively new class of fluids which consist of a base fluid with nano-sized particles (1-100 nm) suspended within them. These particles are generally metals or metal oxides. Nanofluids have been considered as a new-type heat transfer fluid because of their enhanced thermal conductivities. Recently some researchers have put forward to use the nanofluid as the working fluid for the solar collectors. Also, new technological advancements, like phase change materials (PCM), and their integration with solar collectors produced better results in recent years.

In this work, an experimental study was performed to determine thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater, which utilizes heat pipes filled with two different nanofluids and pure water. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanofluids and pure water were used in experiments. Also, a latent heat storage unit filled with $\text{CaCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$ was integrated to condenser unit of this two-phase thermosyphon solar water heater system. The highest thermal performance has been obtained for $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanofluid while the lowest thermal performance has been obtained for pure water.

Key Words: Solar water heater, Nano Fluid, Latent heat storage, Phase change material (PCM).

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Tabii dolaşımli açık devre ısıtma sistemi.....	7
Şekil 3.2. Pompalı Sistem	8
Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kolektörleri.....	9
Şekil 3.4. Kolektör elemanları.....	10
Şekil 3.5. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü	11
Şekil 3.6. Vakumlu tüp bölümleri	12
Şekil 4.1. Nano ve mikro boyut ölçüleri	13
Şekil 4.2. Nano boyutta parçacık üretiminde kullanılan başlıca yöntemler	14
Şekil 5.1. Isı depolama yöntemleri sınıflandırılması.....	20
Şekil 6.1. Deney seti.....	25
Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik çizimi	26
Şekil 7.1. 19 Temmuz 2019’da FDM’li ve çalışma akışkanı saf su olan sistemde dış hava (Ta), depo suyu (Tw) ve yutucu plaka (Tp) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.....	29
Şekil 7.2. 20 Temmuz 2019’da FDM’li ve çalışma akışkanı Al ₂ O ₃ -H ₂ O olan sistemde dış hava (Ta), depo suyu (Tw) ve yutucu plaka (Tp) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.....	30
Şekil 7.3. 21 Temmuz 2019’da FDM’li ve çalışma akışkanı CuO-H ₂ O olan sistemde dış hava (Ta), depo suyu (Tw) ve yutucu plaka (Tp) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.....	31
Şekil 7.4. 19, 20 ve 21 Temmuz 2019’da FDM’li ve çalışma akışkanı sırasıyla saf su, Al ₂ O ₃ -H ₂ O ve CuO-H ₂ O olan sistemde depo suyu sıcaklıklarının (Tw) zamanla değişimi	32

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Nanopartiküller içeren nano akışkanlar için maksimum ölçülen termal iletkenlik	17
Tablo 6.1. DeneYlerde kullanılan nano maddelerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri	28



KISALTMALAR

Nm	: Nanometre
SWCNH	: Tek Duvarlı Karbon Nanohorn
FDM	: Faz Değiştiren Maddeler
EG	: Etilen Glikol
CNT	: Karbon Nanotüp
f-CNT	: İşlevselleştirilmiş Karbon Nanotüp
Cu-Co	: Bakır-Konstant
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
CuO	: Bakır Oksit
CaCl₂.6H₂O	: Kalsiyum Klorür Hekzahidrat
SiO₂	: Silisyum Dioksit
TiO₂	: Titanyum Dioksit
CO₂	: Karbondioksit
H₂O	: Su

SEMBOLLER LİSTESİ

T_a	: Dış hava sıcaklığı (°C)
T_w	: Depo suyu sıcaklığı (°C)
T_p	: Güneş kollektörü yutucu plaka sıcaklığı (°C)
I	: Güneş ışınımı (W/m ²)



1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, kentleşme ve sanayileşmeye bağlı olarak fosil yakıtlı enerji tüketimi de her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve hızla tüketilmesinin yanı sıra iklim değişikliğine ve çevre kirliliğine yol açması giderek büyük küresel sorunlar haline gelmekte. Bu gibi sorunlar ülkeleri yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bol miktarda mevcut olan ve bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir, güvenli ve temiz olması nedeniyle çok büyük bir öneme sahiptir. Güneş enerjisi, dünyanın gelecekteki enerji ihtiyacını, dünyaya zarar vermeden karşılayabilecek, sınırsız ve ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Birçok ülke enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Ancak, güneş ışınımının yetersiz olduğu zamanlarda, yani gündüz bulutlu günlerde ve gecelerde yararlanılamamaktadır. Bu nedenle, bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve güneş enerjisinin ısı enerjisi şeklinde depolandığı çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Güneş ısısından birçok uygulama ile sıcak su sağlanabilir.

Güneş kolektörlü su ısıtma sistemleri, güneş ısısından yararlanarak su ısıtmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde çoğunlukla açık veya eşanjörlü kapalı su ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Açık sistemli güneş kolektörlerinde suyun donması ve korozyon oluşması gibi sorunlar kolektör verimini düşürmektedir. Kapalı sistemlerde ise eşanjör nedeniyle verim düşmektedir. Açık ve kapalı sistemlerinde oluşan sorunlar için çeşitli sistem ve ısı transfer akışkanları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörlerinde ısı transfer akışkanı olarak su veya antifirizli su kullanılmaktadır. Ancak suyun termal iletkenliğinin düşük olmasından dolayı istenilen performans alınamamakta ve boyutlarının küçültülmesinde engel teşkil etmektedir. Verimliliği artırmak için en uygun ve etkili yöntemlerden biri, suyun daha yüksek bir termal iletkenlik akışkanı ile değiştirilmesidir. Yüksek ısı iletkenliği elde etmek için katı nanopartiküller baz sıvı içinde süspansiyon haline getirilir. Nano akışkan olarak bilinen bu sıvılar, geleneksel akışkanların ısı transfer performansını büyük ölçüde arttırmaktadır. Nano akışkanlar basit bir sıvı katı karışımı olmamakla beraber 10-50 nanometre büyüklüğündeki bu partiküller küçük nanopartikül konsantrasyonlarında dahi yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip olması birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Özellikle ısı transfer akışkanı olarak kullanımı

üzerine birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, bakır oksit, titanyum oksit ve alüminyum oksit kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi her ne kadar bedava, çevre açısından temiz ve umut verici bir yenilenebilir enerji kaynağı olsa da tek dezavantajı kesintili olmasıdır. Yani olumsuz iklim şartlarında ve geceleri güneş enerjisinden yeterince yararlanılamamaktadır. Bu durum güneş kolektörlü su ısıtma sistemlerinin verimliliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gibi olumsuzlukların ortadan kaldırılması için birçok araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri de güneş kolektörlü su ısıtma sistemlerine entegre bir gizli ısı depolama ünitesi yerleştirmektir. Maddenin faz değiştirme işlemi sırasında depolanan ısıya gizli ısı denir. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) gizli ısı depolama malzemesidir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde bu maddelerin kullanılması gündüz saatlerinde güneş enerjisinin depolanması ve gece saatlerinden bu depolanan enerjiden yararlanılması demektir. Bu maddelerin ısı depolama olarak kullanılması ile ilgili yapılan birçok çalışma umut vericidir.

Yapılan bu çalışmada ısı deposu ilaveli, ısı borulu ve nano akışkanlı bir güneş kolektörü sistemi imal edilerek, güneş enerjisinin toplanıp ihtiyaç için kullanılması ve depolanması eş zamanlı olarak ve aynı birim içerisinde yapılmış, netice olarak bu güneş kolektörünün ısı performansını tespit edilmiştir.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Owolabi ve ark. yaptıkları çalışmada, Fe nano akışkanının, termal enerji depolama sistemiyle entegre edilmiş güneş enerjili su ısıtıcısı üzerindeki performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel uygulamada toplayıcı eğim açısı 15° , Fe nanoparçacık boyutu 40 nm ve 1,5 kg/dak debi kullanılmıştır. Su/propilen-glikol baz akışkanı ile ağırlıkça %0,5'lik bir Fe nanoparçacık fraksiyonu sentezlenmiştir. Sistem verimliliği nano akışkanlı olan ve olmayan için %59,5 ve %50,5'e ulaşmıştır. Su tankı sıcaklığı gece modunda $47,5^\circ\text{C}$ ve ortam sıcaklığı da 26°C 'dir. Gece boyunca tank sıcaklığı 13°C artmıştır. Fe nano akışkanı, gece modunda sistemin çalışma süresini ortalama 5 saat artırmıştır. Tekno-ekonomik analiz sonuçlarına göre Fe nano akışkanlarının ısı transfer akışkanı olarak kullanıldığında yıllık tahmini %28,5'lik bir maliyet tasarrufu sağlanabilir. Gömülü enerji emisyon oranı, toplayıcının boyutu ve ağırlığı, nano akışkanlar kullanılarak %9,5 oranında azaltılabilir [1].

Kumbharde ve ark. yaptıkları çalışmada, termosifon döngülü güneş enerjili su ısıtıcısında, çalışma akışkanı olarak su ve CuO nano akışkanlarını kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Kullanılan küresel bakır oksit nanoparçacıklarının nominal çapı (30-50) nm ve yoğunluk 6.4 g/cc'dir. Nano akışkanı hazırlamak için baz akışkanı olarak deiyonize su kullanılmış ve %0,9, %0,6, %0,3'lük bir hacim konsantrasyon çözeltisi elde etmek için nanopartiküllerin gerekli miktarı hesaplanmıştır. Test, bir çalışma akışkanı olarak değişen konsantrasyonlarda (ağırlıkça %0,1, %6,6 ve %0,3) su ve nano akışkan ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki CuO nano akışkan, ısı borusu toplayıcısının performansını sudan daha fazla artırma potansiyeline sahiptir ve nanomalzemenin artmasıyla artar [2].

Faizal ve ark. yaptıkları çalışmada, SiO_2 nano akışkanlı düz plakalı güneş kolektörünün enerji, ekonomik ve çevresel analizini incelemişlerdir. Sonuçlar az miktarda nanoparçacık içeren nano akışkanların baz akışkanlardan daha yüksek enerjiye ve ekserji verimliliğine sahip olduğunu göstermiştir. Güneş kolektörünün verimliliği, %0,2 SiO_2 nano akışkanı kullanıldığında %23,5 oranında artmıştır. Nano akışkan bazlı güneş kolektöründeki bakır ve cam malzemede azalma, su bazlı kolektöre kıyasla yaklaşık 280 MJ'dür. SiO_2 nano akışkan bazlı güneş kolektörünün üretimi, geleneksel güneş kolektörüne kıyasla yaklaşık 170 kg daha az CO_2 emisyonu sağlar. Bu da geleneksel bir kolektöre kıyasla daha düşük emisyon ve çevre üzerinde daha az etki ile sonuçlanacaktır [3].

Meibodi ve ark. yaptıkları çalışmada, SiO_2 /etilen glikol-su nano akışkanlarının kullanıldığı düz plakalı güneş kolektörünün entropi üretim analizini yapmışlardır. Etilen glikol-su (EG-su) ve %0,5, %0,75, %1 gibi üç farklı nanoparçacık hacim fraksiyonuna sahip olan EG su bazlı nano akışkanlar, çalışma akışkanları olarak kullanılmıştır. Nano akışkan konsantrasyonu %0'dan %1'e yükseldiğinde, ekserji verimliliğinin 1 L/dak'lık bir kütle akış hızı için %62,7'ye yükseldiği ve buna karşılık 1,75 ve 2,5 L/dak'lık kütle akış oranlarındaki artış sırasıyla %45,2 ve %39,7 olduğu bulunmuştur. Sonuçlar ayrıca, entropi üretimi, ortam sıcaklığı ve güneş ışınımının bir fonksiyonu olan entropi üretme parametresinin, nano akışkan konsantrasyonunun arttırılmasıyla azaldığını açıklar [4].

Reddy ve ark. yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinde performans geliştirmek için nano akışkan ve nanokompozitlerin uygulamaları üzerine bir inceleme yapmışlardır. Yapılan inceleme göstermiştir ki güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin ısı ve optik özelliklerinde, verimlilik ve güvenilirlik açısından istenen iyileştirme sağlanmaktadır. Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri, güneş enerjisini elektriğe veya termal güce dönüştüren konsantre ve konsantre olmayan sistemler içeren güneş enerjisi alanında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin dönüşüm verimleri, ısı transfer ortamı olarak bir nano akışkan ve seçici kaplama olarak bir nanokompozit kullanılarak arttırılabilir [5].

Said ve ark. yaptıkları çalışmada, çalışma akışkanı olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) – su nano akışkanını kullanarak düz plakalı güneş kolektörünün deneysel olarak ısı verimliliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında nanopartiküller için %0,1 hacim fraksiyonu kullanılmış ve Al_2O_3 -su nano akışkanı 13 nm ve 20 nm olmak üzere iki farklı boyutta incelenmiştir. Sonuçlara göre nano akışkanın kütle akış hızı, 0,5-1,5 kg/dk arasında değişmiştir ve 13 nm boyutundaki Al_2O_3 nano akışkanının, 20 nm boyutundaki Al_2O_3 nano akışkanı ve suya kıyasla daha yüksek termal iletkenlik sağlamıştır ve verimliliği arttırmıştır. %0,1 hacim fraksiyonu ve 1,5 kg/dak'lık bir akış hızında Al_2O_3 - H_2O (13 nm) nano akışkanı, %70,7'lik bir enerji verimliliği gösteren Al_2O_3 - H_2O (20 nm) nano akışkanına kıyasla yaklaşık %73,7'lik en yüksek enerji verimliliği göstermiştir [6].

Said ve ark. yaptıkları çalışmada, TiO_2 -su nano akışkanının bir düz plakalı güneş kolektörünün performansını arttırmak için çalışma akışkanı olarak kullanımını araştırmışlardır. Enerji verimliliği %0,1 hacim oranında ve 0,5 kg/dak debide %76,6 artarken, elde edilen en yüksek ekserji verimliliği %0,1 hacim oranında ve 0,5 kg/dak debide %16,9 olmuştur [7].

Dasaien ve Elumalai yaptıkları çalışmada, Al_2O_3 -su nano akışkanının, çalışma akışkanı olarak kullanıldığı bir düz plakalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimlerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma için kullanılan hacim fraksiyonu %0,1 ve %0,3 iken nanopartiküllerin büyüklüğü ~13 nm'dir. Deneysel çalışmalar, çözeltinin pH'nın 30 gün boyunca kontrol edilmesiyle elde edilen stabil bir nano akışkan kullanılarak yapılmıştır. Nano akışkanın kütle akış hızları, 0,5 ile 1,5 kg/dak arasında değişmiştir. Çalışma akışkanı olarak su ve nano akışkan kullanılan düz plakalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, nano akışkanların enerji verimliliğini hacimce %0,3 ve 1,5 kg/dk için %83,5 artırırken, ekserji verimliliğini hacimce %0,1 ve 1 kg/dk için %20,3'e kadar artırdığını ortaya koymuştur. Sistemin ısı verimi, literatürde mevcut olan sisteme göre %50'den fazla bulunmuştur [8].

Ray ve ark. yaptıkları çalışmada, etilen glikol ve su karışımındaki alüminyum oksit, bakır oksit ve silikon dioksit nanoparçacıklarından oluşan nano akışkanlarını incelemişlerdir. Sonuçlar, nano akışkanların %1'lik bir seyreltik parçacık hacimsel konsantrasyonları için, baz akışkan üzerindeki performanslarında iyileşme göstermiştir [9].

Michael ve Iniyar yaptıkları çalışmada, ısı transfer akışkanı olarak kullanılan bakır oksit (CuO)-su nano akışkanının düz plakalı güneş enerjili su ısıtıcısının performansına etkisini araştırmışlardır. Nanopartikülün hacimce %0,05 oranında su ile karışmasıyla sistem verimliliğinin %6,3 oranında arttığını göstermişlerdir [10].

Chougule ve ark. yaptıkları çalışmada, çalışma akışkanı olarak kullanılan karbon nano tüp (CNT) nano akışkanı ile saf suyun fitilsiz ısı borulu güneş kolektörünün ısı performansına etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, çalışma akışkanı olarak CNT nano akışkan kullanıldığında saf suya kıyasla verimi arttırdığını göstermiştir [11].

Goudarzi ve ark. yaptıkları çalışmada, CuO- H_2O nano akışkanın, helisel boru alıcılı silindirik bir güneş kolektörünün ısı verimi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, ağırlıkça %0,1 CuO nano akışkanın 0,0083 kg/s akış hızında, kolektör verimliliğini saf suya kıyasla %25,6 oranında arttırdığını göstermiştir [12].

Yousefia ve ark. yaptıkları çalışmada, Al_2O_3 -su nano akışkanın, çalışma akışkanı olarak düz plakalı güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Nanopartiküllerin ağırlık fraksiyonu %0,2 ve %0,4, partikül boyutu 15 nm'dir. Deneysel çalışmalar, yüzey aktif madde olarak Triton X-100 ile ve olmadan gerçekleştirilmiştir. Nano akışkanın kütle akış hızı 1 ile 3 Lt/dak arasında değişmiştir.

Ağırlıkça %0,2 için artan verimlilik %28,3'tür. Sonuçlar, çalışma akışkanı olarak nano akışkan kullanıldığında suya kıyasla verimi arttırdığını göstermiştir. [13].

Chuawittayawuth ve Kumar yaptıkları çalışmada, doğal sirkülasyonlu güneş enerjili su ısıtma sistemindeki sıcaklık ve akış dağılımını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, emici tüpler boyunca sıcaklık değişimlerinin açık güneşli günlerde çok daha yüksek olduğu, bulutlu günlerde ise bu sıcaklıkların tekdüze olduğunu göstermiştir [14].

Moghadam ve ark. yaptıkları çalışmada, CuO-su nano akışkanının, düz plakalı güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Nano akışkanın 1 kg/dak kütle akış hızında kolektör verimini yaklaşık %21,8 arttırdığını ve kolektör verimini en üst düzeye çıkaran optimum bir kütle akış hızı olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Karami ve ark. yaptıkları çalışmada, nano akışkan olarak işlevselleştirilmiş karbon nanotüpleri (f-CNT) kullanmışlardır ve suya sadece 150 ppm f-CNT ekleyerek %32'ye varan ısı iletkenliği artışı elde etmişlerdir [16].

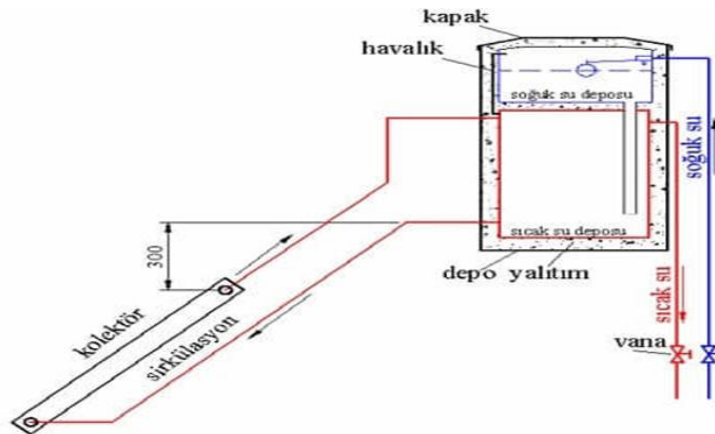
3.GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITICISI

Güneş enerjili su ısıtıcıları, suyu ısıtmak için güneş enerjisini kullanan bir teknolojidir. Bu sistemler genellikle güneş enerjisini toplayan kolektörlerden, ısınan suyun depolandığı bir depodan, yalıtımlı borularından, pompa ve kontrol sistemi gibi elemanlardan oluşur. Güneş enerjili su ısıtıcıları konut ve bazı endüstriyel uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulunduğu konuma göre farklı tip ve farklı maliyetleri mevcuttur. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin tipi, karmaşıklığı ve büyüklüğü; yaz ve kış ortam sıcaklığı, gündüz-gece sıcaklık farkı, içme suyunun ya da kolektör suyunun aşırı ısınması ve donmasına bağlıdır.

Güneş enerjili su ısıtıcı sistemleri kendi içinde tabii dolaşımli sistemler, pompalı sistemler açık sistemler ve kapalı sistemler olmak üzere dört grupta değerlendirilebilir.

3.1.Tabii Dolaşımli Sistemler

Tabii dolaşımli sistemler termosifon mantığıyla çalışmaktadır (Şekil 3.1). Basit sistemlerinden dolayı maliyeti düşüktür. Suyun yoğunluk farkından yararlanılmaktadır. Bu yüzden pompaya ihtiyaç yoktur. Bu tür sistemlerde depo kolektörün üst kısmından yaklaşık 30-50 cm yukarıda olmalıdır. Sıcak su ihtiyacının az olduğu yerlere uygundur. Soğuk bölgelerde donma olayı olabilir bu nedenle donma tehlikesi olmayan ya da çok az olan yerlerde kullanılabilir.

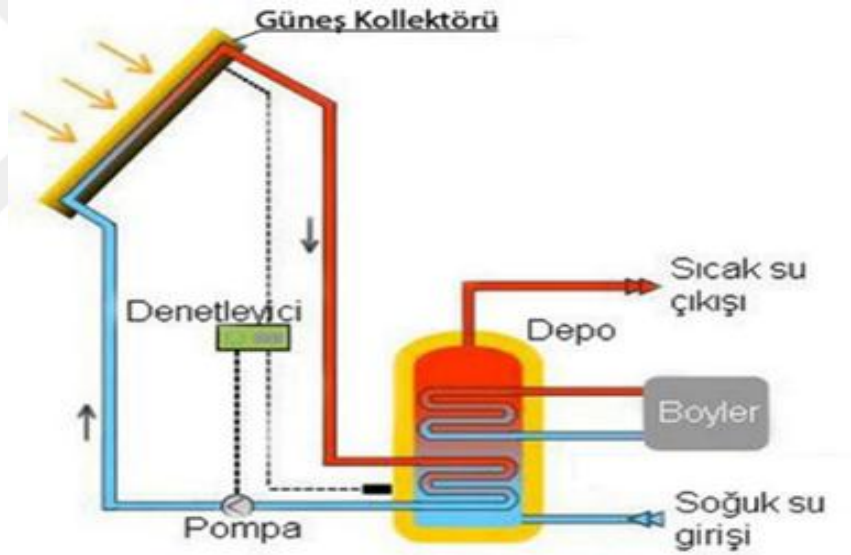


Şekil 3.1. Tabii dolaşımli açık devre ısıtma sistemi [17].

Kolektörlerde ısınan suyun yoğunluğu azalır ve su deponun üst kısmına doğru hareket eder ve daha sonra soğuyarak aşağı doğru iner. Böylece gün boyu devam eden bu sirkülasyon depodaki suyu ısıtmış olur.

3.2. Pompalı Sistemler

Tabii dolaşımli sistemlerin kullanılmasının mümkün olmadığı yerlerde kullanılır. Depodaki suyun ısıtılması için sirkülasyon bir pompa yardımıyla gerçekleşir (Şekil 3.2). Sistemde pompa kullanıldığı için deponun yüksek olmasına gerek yoktur. Bu sistemlere antifiriz eklenebildiği için kış aylarında donmaya karşı dayanıklıdır. Sıcaklıkları ve verimi yüksektir. Ancak karmaşık olması ve pompa için elektrik gereksinimi olduğu için maliyeti yüksektir.



Şekil 3.2. Pompalı Sistem [18].

3.3. Açık Sistemler

Açık sistemlerde kullanılan su ile kolektörlerde dolaşan su aynıdır. Kapalı sistemlere göre daha verimli ve maliyeti daha ucuzdur. Ancak suyun kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılırlar.

3.4. Kapalı Sistemler

Kapalı sistemlerde kullanılan su ile ısıtma için kullanılan su farklıdır. Kolektörlerde ısınan su bir eşanjör ile ısısını kullanım suyuna aktarır. Bu sistemler donma, kireçlenme ve korozyon gibi sorunları çözmek için kullanılır. Bu sistemlerin maliyeti açık sistemlere göre daha yüksek verimleri ise eşanjör nedeniyle daha düşüktür.

3.5. Düzlemsel Güneş Kolektörleri

Düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren bir ısı değiştiricidir (Şekil 3.3). Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bu kolektörler çoğunlukla konutlarda ve küçük ticari işletmelerde sıcak su temini gibi ihtiyaçların karşılanması için kullanılır. Basit tasarımı ve kolay kurulumu nedeniyle maliyetleri diğer sıcak su ısıtma sistemlerine kıyasla daha uygundur.



Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kolektörleri [19].

Düzlemsel güneş kolektörleri tipik olarak, büyük emici plakaya sahiptir. Bu plakalar genellikle ısı iletkenlikleri iyi olduğu için bakır ya da alüminyumdan oluşur. Emici plakalar genel olarak ısıyı normal siyah boyadan daha iyi emen ve tutan seçici kaplamalar ile boyanır. Emici plakalar yükseltici olarak adlandırılan birkaç paralel bakır boruya veya tüplere sahiptir. Bu bakır borular maksimum yüzey temasını ve ısı transferini sağlamak için doğrudan emici plakaya lehimlenir veya kaynaklanır. Emici plakayı korumak ve yalıtıcı bir hava alanı oluşturmak için plaka bir kasanın içine yerleştirilir ve ön tarafı cam

veya plastik tabakası ile kapatılır. Emici plaka ve cam malzeme arasındaki hava boşluğu ısıyı hapseder ve atmosfere geri kaçmasını önler. Emici plaka ısınırken, ısıyı toplayıcı içindeki sıvıya aktarır ancak aynı zamanda çevresine de ısı kaybeder. Bu ısı kaybını en aza indirmek için, düzlemsel güneş kolektörünün alt ve yanları yüksek sıcaklığa dayanıklı sert köpük veya alüminyum folyo ile yalıtılır.

Bir kolektör saydam örtü, emici (yutucu) yüzey, akışkanın dolaştığı borular, yalıtım malzemesi ve kasada gibi elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kolektör elemanları [20].

3.6. Saydam Örtü

Kolektördeki ısı kayıplarını azaltmak için emici plakanın üst kısmı cam veya şeffaf plastik ile kapatılır. Kapak olarak kullanılan malzemenin amacı güneşten gelen kısa boylu dalga ışınımını geçirmek ve yutucu plakadan yansıyan uzun dalga ışınımının geçişini engellemektir. Cam örtü malzemesi olarak son derece uygun bir maddedir.

3.7.Emici (Yutucu) Yüzey

Kolektörün en önemli elemanı olan emici plaka güneş ışınlarını yutarak ısı enerjisine dönüştürür ve bu ısıyı üzerine monte edilmiş akışkan boruların içinden geçen çalışma akışkanına aktarır. Emici plakanın güneş ışınlarını yutması için genellikle koyu renkli bir boya ile boyanır. Bu boyanın yutma katsayısı yüksek olmalı ve uzun dalga boylu radyasyon yama katsayısı küçük olmalıdır.

3.8. Akışkanın Dolaştığı Borular

İçinden akışkanın geçtiği emici plakaya lehimlenmiş şekilde bulunan borulardır. Bu borular ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerden seçilir.

3.9. Yalıtım Malzemesi

Emici plaka ile kasa arasındaki ve ısı kayıplarını azaltmak için yalıtım malzemesi kullanılır. Kullanılan yalıtım malzemesi yüksek sıcaklığa dayanıklı olmalıdır.

3.10. Kolektör Kasası

Kolektör elemanlarının içine yerleştirildiği bir kutudur. Seçilen kasa tam sızdırmazlığı sağlamalı ve basınca dayanıklı olmalıdır.

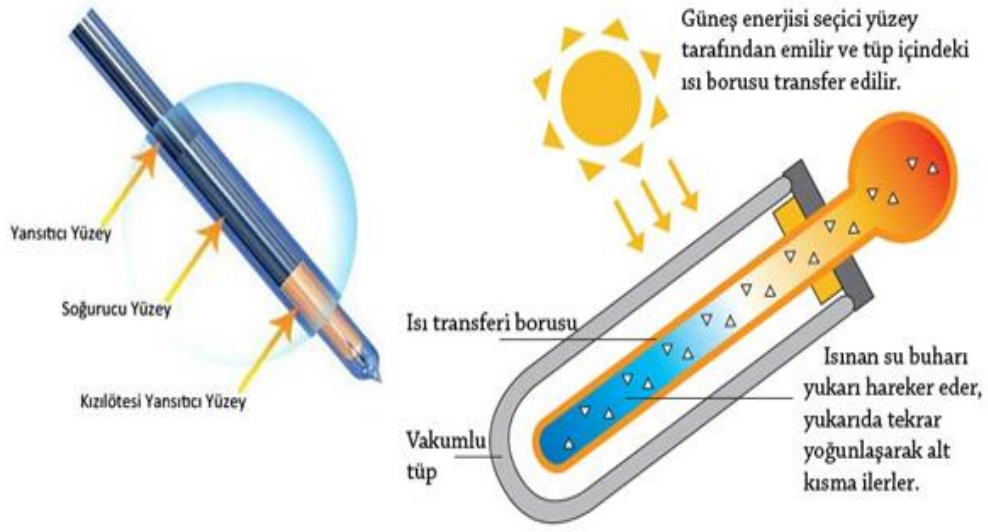
3.11. Vakum Tüplü Güneş Kolektörler

Düzlemsel kolektörlere göre daha verimli ve sıcaklıkları daha yüksektir. Paslanma ve tıkanma sorunu yoktur. Isı kayıpları daha azdır. Ama maliyetleri yüksektir.



Şekil 3.5. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü [21]

Vakum tüplü güneş kolektörlerinin yapısı; iç içe girmiş iki tane cam katmandan oluşur ve ısı kaybını en aza indirmek için bu iki cam katman arası vakumlanmıştır (Şekil 3.5). İç katmandaki cam güneş ışınımını yutması için özel seçici kaplama ile kaplanmıştır. Dış katmandaki cam ise güneş ışınımının kolayca geçmesine izin veren özel bir camdır.

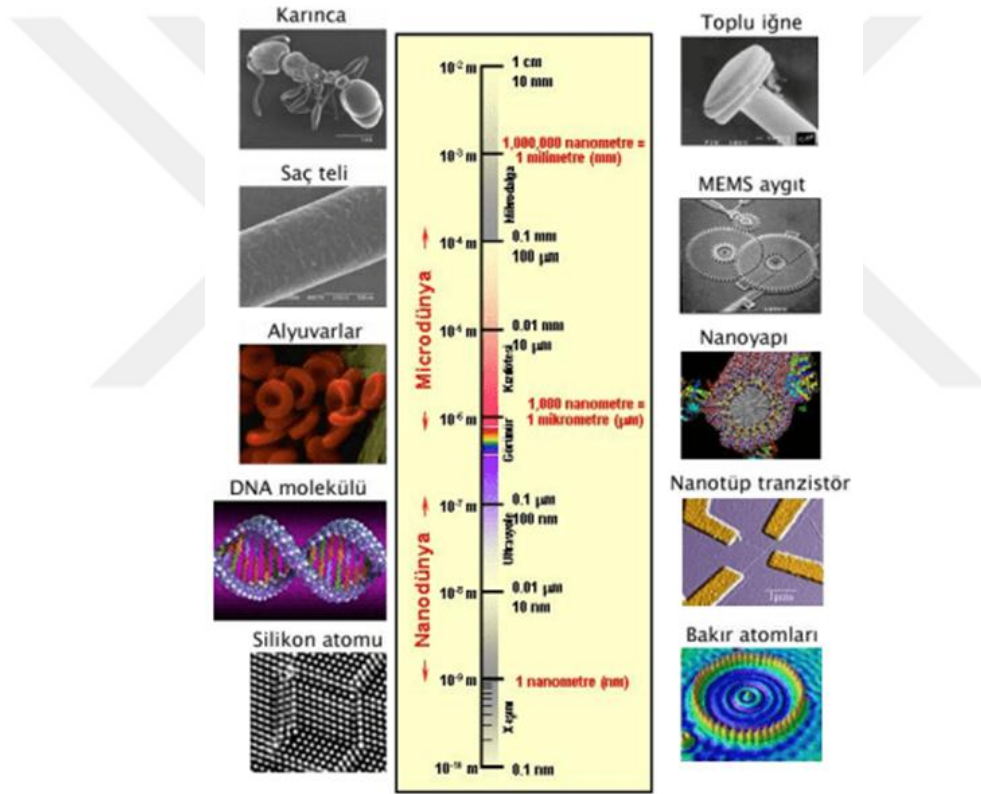


Şekil 3.6. Vakumlu tüp bölümleri [22]

Vakum tüplü güneş kolektörlerin çalışma prensibi; güneş enerjisini alan seçici kaplamalı cam ısınarak ısısını içinden geçen akışkana aktarır ve böylelikle ısınan akışkan borunun üst kısmına doğru ilerleyerek doğal sirkülasyonu başlatmış olur (Şekil 3.6).

4.NANO AKIŞKANLAR

Nano akışkanlar, nano boyutlu metal veya metal oksit nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşturulan geliştirilmiş termofiziksel özelliklere sahip akışkanlardır ve birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano akışkan terimi ilk olarak Choi tarafından tanımlanmıştır [23]. Yunanca dilinden türetilmiş olan nano kelimesi “cüce” anlamında olup günümüzde bir ölçü birimini ifade etmek için kullanılır. Bir nanometre bir metrenin milyarda biridir ve 10^{-9} şeklinde gösterilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Nano ve mikro boyut ölçüleri [24].

Gelişen nanoteknoloji ile atom seviyesinde çeşitli işlemlerden sonra üretilen malzemeler normalinden çok daha farklı özellikler göstermektedir. Oluşan bu nanomalzemeler daha dayanıklı daha kuvvetli ve ayrıca ısı ve elektrik iletme özellikleride farklıdır. Parça boyutunun gittikçe küçülmesi yüzey alanını arttırdığından reaktiviteside artmaktadır. Nanomalzemelerin boyutu yaklaşık 1 nm ile 100 nm arasındadır. Mikro

düzeyde çalışmasını sağlayan bu yeni teknolojiler hemen hemen her alanda üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Nanomalzemeler nanokristaller, nanopartiküller, nanotüpler, nanoteller, nanoçubuklar ve nano ince filmler gibi çeşitleri vardır. Bunlardan en önemlisi yüzey atomlarının benzersiz özellikleri, kuantum boyut etkileri ve yüksek reaktivitesine sahip nanopartiküllerdir. Nanopartiküllerin boyutu 100 nm altındadır ve “Bottom Up” veya “Top Down” olarak adlandırılan iki ana yaklaşım yöntemiyle çoğunlukla üretilirler (Şekil 4.2).

Top-down: Yukarıdan aşağıya yaklaşımı, mekanik veya kimyasal yöntemler kullanılarak malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılmasıyla yapılır.

Bottom-up: Aşağıdan yukarıya yaklaşımı, atom veya moleküllerden başlayarak kimyasal reaksiyonlar ile bir araya getirip partikül oluşturma yöntemidir.



Şekil 4.2. Nano boyutta parçacık üretiminde kullanılan başlıca yöntemler [25].

4.1.Nano Akışkanların Hazırlanması

Nano akışkanların hazırlanmasında tek adım ve iki adım yöntemi olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

Tek Adım Yöntemi: Bu yöntemde, nanopartiküllerin üretimi ve baz akışkan içerisinde dağıtımını direkt olarak gerçekleştirilmektedir. Böylece daha homojen dağılımlı ve stabil nano akışkanlar elde edilebilmektedir. Bu yönüyle elverişli bir yöntemdir. Partiküllerin toplanması iki adım yöntemine göre daha azdır.

İki Adım Yöntemi: Bu yöntemde önce nano partiküller üretilir daha sonra baz akışkan içinde manyetik karıştırma, ultrasonik karıştırma veya yüksek parçalayıcı karıştırıcı yardımıyla akışkanın içerisinde dağıtılır. Ancak bu yöntemin nanopartiküllerin toplanma eğiliminde olmalarından dolayı bir dezavantajdır.

Nanopartiküllerde ve nano akışkanlarda homojen dağılım ve kararlı süspansiyon, önemli bir konudur. Nano akışkan süspansiyonu hazırlanırken istenilen durumu sağlamak için genellikle pH değerini değiştirme, yüzey aktif madde kullanma veya ultrasonik karıştırıcılardan yararlanılır.

Nano akışkanların uzun süre stabil kalması, mühendislik uygulamaları için en önemli konudur. Baz akışkanda bulunan nanopartiküllerde doğal olarak toplanma (aglomerasyonu) ve çökelti (sedimantasyon) olayı görülecektir. Teoride, parçacıklar arasında hem çekici hem de itici kuvvetlerin varlığı vardır. Çekici kuvvet Van der Waals kuvvetiyle itici kuvvet ise parçacıkların birbirine çok yaklaşmasıyla gerçekleşen elektrostatik itme kuvvetiyle olur. İtici kuvvet çekici kuvvetten daha güçlüyse, baz akışkandaki nanoparçacıklar sabit kalabilir veya toplanabilir ve ciddi bir toplanma oluşturarak sedimantasyona yol açabilir. Nano akışkana yüzey aktif maddeler (sümfaktan) eklemek, nanopartiküllerin elektrostatik itişini artırabilir. Sodyum dodesil benzen sülfonat, sodyum dodesil sülfat veya Triton X-100 gibi yüzey aktif maddeler test edilmiş ve nano akışkanı stabilize ettiği kanıtlanmıştır. Ancak etkisi, nanopartiküllerin Brownian hareketi çok güçlü olduğunda veya nano akışkan ısıtıldığında etkilenebilir. Nano akışkanı stabilize etmenin bir başka yolu da çözeltinin pH değerini değiştirmektir. Nanoparçacıklar için izoelektrik noktanın pH'ı hiçbir elektrik yükü taşımadığı için agregalı çözelti oluşmasına

neden olan, parçacıklar arası itme kuvveti de oluşmaz. Nano akışkanın pH'ı ve izoelektrik noktanın pH'ı arasındaki farklar daha az agregasyona ve daha iyi dağılmaya (dispersiyon) neden olabilir. Nano akışkanın stabilize edilmesi için daha iyi bir yol, nanoparçacıkların yüzeyine polimer aşlamak yani işlevselleştirmektir [3].

Yang ve ark. yaptıkları çalışmada, işlevselleştirilmiş nano akışkanın hazırlanması için bir yöntem sunmuşlardır. İşlevselleştirme, silanların doğrudan silis nanoparçacıklarının yüzeyine aşılmasıyla sağlanmıştır. Daha sonra, elde edilen fonksiyonelleştirilmiş nanoparçacıklar, nano akışkanı hazırlamak için kullanılmıştır. İşlevselleştirilmiş nanoparçacıklı nano akışkan, uzun süreli stabilite ve çok iyi bir dağılım sağlamıştır [26].

Faizal ve ark. yaptıkları çalışmada, SiO₂ partikülleri kullanılarak nano akışkan hazırlanmıştır. Nano akışkanlar iki aşamalı bir yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Homojen bir şekilde dağılmış bir çözelti elde etmek için nanoparçacıkların ultrasonicator ve yüksek basınçlı homojenleştirici (2.000 bar kapasiteye kadar) kullanılarak saf suya dağıtılmasıyla hazırlanmıştır. Nanoparçacıkların mikro yapısı ve bileşimi, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM; Model AURIGA, Zeiss, Almanya) kullanılarak karakterize edilmiştir. Nanopartiküller, 1 kV hızlanma geriliminde FESEM ile deneyden önce ve sonra karakterize edilmiştir. Görüntüleri 100 nm ölçeğinde yakalamak için 50.000 kat büyütme kullanılmıştır. Hazırlanan nano akışkan, 6 ay sonra bile hala iyi bir şekilde dağılmaya devam edebilmektedir ve çökelme gözlenmemiştir. [3]

4.2.Nano Akışkanlar ve Isı Transferi

Isı transferinin gerçekleştiği uygulamalardan daha iyi sonuçlar elde etmek için birçok iyileştirme yoluna gidilmiştir. Bunlardan biri de ısı transfer akışkanını değiştirmektir. Çoğu geleneksel ısı transfer akışkanının istenilen sonuçları vermemesi nedeniyle talebini karşılayacak bir sıvının geliştirilmesi gerekli olmuştur. Nanoteknolojinin gelişmesiyle beraber, gelişmiş bir ısı transfer akışkanın ortaya çıkması umut verici bir gelişmedir. Nano akışkanlar, nanopartiküllerin bir baz sıvısı içerisindeki süspansiyonlarına denir. Nano akışkanların ısı iletkenliği, normal süspansiyonlarla karşılaştırıldığında çok daha gelişmiştir. Nano akışkanların sahip olduğu gelişmiş termal özellikler nedeniyle yeni tip bir ısı transfer akışkanı olarak kabul edilir.

Birçok araştırmacı, nano akışkanların ısı transfer analizi üzerindeki etkisini bulmak için deneysel ve sayısal analizler yapmıştır ve nano akışkanların baz akışkanın termofiziksel özellikleri üzerindeki etkisini keşfetmişlerdir. Termofiziksel özelliklerin nano akışkanların konsantrasyonuna veya nanopartiküllerin boyutuna göre değişmesini sağlamak için farklı modeller ve yeni teknikler kullanmışlardır (Tablo 4.1). Nano akışkanların artan ısıl davranışı, güç sektörü, elektronik, üretim, nükleer alan, tıbbi alan, ulaşım, soğutma ve iklimlendirme alanındaki uygulamalarının temelini oluşturabilir. Nano akışkanların termal taşınım özelliklerini (viskozite, ısı kapasitesi) iyileştirerek, yerine getirilmesi gereken uygulamaya ve amaca bağlı olarak bunları en iyi ısı transfer akışkanları olarak kullanabiliriz [5].

Choi ve ark. çeşitli mühendislik uygulamalarında üstün ısı transferi için, nanopartiküllerin (Al, Cu, Al_2O_3 , CuO, SiC, CNT, vb.) geleneksel akışkanlarda (su, etilen glikol, motor yağı, vb.) kolloidal süspansiyonu olan ısı transfer akışkanları önermişlerdir [23].

Tablo 4.1. Nanopartiküller içeren nano akışkanlar için maksimum ölçülen termal iletkenlik [27].

Referans	Baz sıvı	Nanopartikül	Nanopartikül Büyüklüğü	Maksimum Konsantrasyon (% hacim)	K cinsinden Maksimum Geliştirme (%)
Masuda ve ark.	Su	Al_2O_3	13 nm	4.3	30
Eastman ve ark.	Su	Al_2O_3	33 nm	5	30
	Su	CuO	36 nm	5	60
	Pompa yağı	Cu	35 nm	0.055	45
Pak ve ark.	Su	Al_2O_3	13 nm	4.3	32
	Su	TiO_2	27 nm	4.35	10.7
Wang ve ark.	Su	Al_2O_3	28 nm	4.5	14
	Etilen Glikol	Al_2O_3	28 nm	8	40
	Pompa yağı	Al_2O_3	28 nm	7	20
	Motor yağı	Al_2O_3	28 nm	7.5	30
	Su	CuO	23 nm	10	35
	Etilen Glikol	CuO	23 nm	15	55
Lee ve ark.	Su	Al_2O_3	24.4 nm	4.3	10
	Etilen Glikol	Al_2O_3	24.4 nm	5	20
	Su	CuO	18.6 nm	4.3	10
	Etilen Glikol	CuO	18.6 nm	4	20
Das ve ark.	Su	Al_2O_3	38 nm	4	25
	Su	CuO	28.6 nm	4	36
Xie ve ark.	Su	Al_2O_3	60 nm	5	20
	Etilen Glikol	Al_2O_3	60 nm	5	30
	Decene	MWCNTs	-	1	20
Liueve ark.	Sentetik yağ	MWCNTs	-	2	30
	Etilen Glikol	MWCNTs	-	1	12.4

Pak ve Cho, tüplerde türbülanslı konvektif ısı transferinde alümina-su ve titanya-su nano akışkanlarını araştırmış ve Nusselt sayısında artış bulmuşlardır [28]. Xuan ve Li , bakır/su nano akışkanının türbülanslı konvektif ısı transferini araştırmış ve %1,5'lik bir konsantrasyonla %39'dan fazla artış gözlemlemişlerdir [29]. Xuan ve Roetzel, nano akışkanın termal dağılımı etkileri nedeniyle nano akışkanlar için bir ısı transferi korelasyonu geliştirmişlerdir [30]. Yang ve arkadaşları, yatay dairesel tüpte grafit nano akışkanlarının laminer konvektif ısı transfer performansını ölçmüşlerdir [31]. Wen ve Ding, nano akışkanın laminer akışlı konvektif ısı transferini incelemişlerdir ve giriş bölgesinde %41'lik bir artış olduğunu bildirmişlerdir [32]. Ding ve arkadaşları, sudaki çok duvarlı karbon nanotüp dispersiyonunun önemli konvektif ısı transfer artışını ve akış koşullarına (Reynolds sayısı) ve hacim konsantrasyonuna bağlı artışları gözlemlemişlerdir [33]. Duangthongsuk ve arkadaşları, türbülanslı akış koşulları altında yatay bir çift tüplü karşı akışlı ısı eşanjöründe akan %0,2'lik bir konsantrasyonda TiO₂ nanoparçacıklarının konvektif ısı transfer katsayısında %11'lik bir artış olduğunu bildirmişlerdir [34]. Mikro kanallarda alümina nano akışkanının taşınımı ısı transferi Lee ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [35]. Mikroelektronik soğutmada nano akışkan uygulaması son zamanlarda Chein ve Chuang tarafından araştırılmıştır [36].

4.3.Güneş Kolektörleri ve Nano Akışkanlar

Güneş ısı, evlerde ısı sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir güneş kolektörü, güneş ışınlarından ısıyı emen ve ısıtma amaçları için kullanan ana bileşendir. Güneş ışınından daha fazla ısı emmek için birçok yöntem vardır bunlardan biride çalışma akışkanını değiştirmektir.

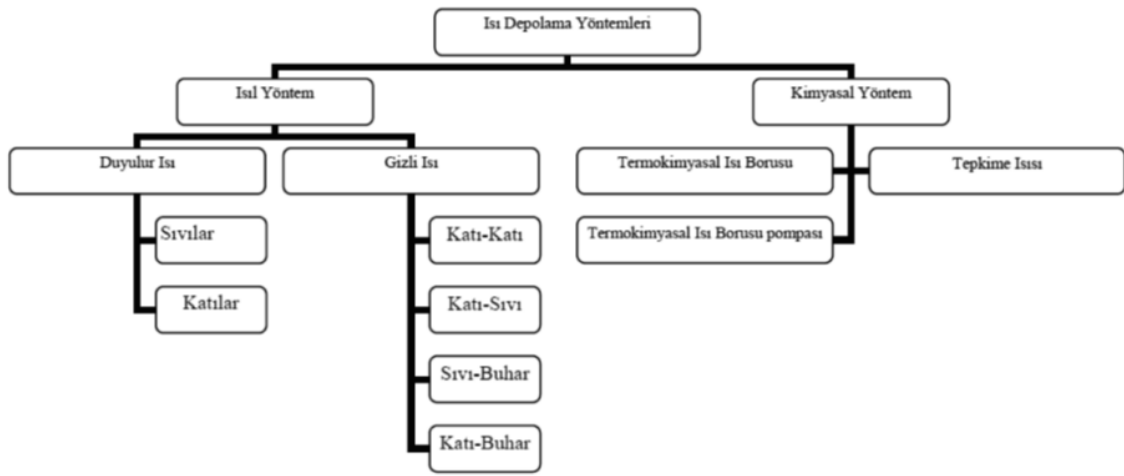
Isı uygulamalarında kullanılan düz plakalı güneş kolektörlerinde baz akışkan olarak su veya yağ gibi sıvılar kullanılır. Kolektörden maksimum ısı miktarını taşımak için, sıvının yüksek bir termal iletkenliğe, yüksek bir ısı transfer katsayısına, yüksek kritik ısı akısına ve yüksek özgül ısı kapasitesine sahip olması gerekir. Normalde kullanılan akışkanlar için yukarıdaki özelliklerin hepsine sahip olmak mümkün değildir, ancak baz akışkana az miktarda nanoparçacık ekleyerek bu mümkün olabilir ve yeni nesil gelişmiş bir ısı transfer akışkanı olarak kullanılabilir [5].

Güneş kolektörleri ve su ısıtıcılarında nano akışkan uygulamaları verimlilik, ekonomik ve çevresel bakış açılarından incelendiğinde yüksek sonuçlarla karşılaşılmıştır. Bazı

araştırmacılar tarafından yapılan ısıl iletkenliğin deneysel analizi ve nano akışkanların optik özellikleri de incelenmiştir. Bunun nedeni, bu parametrelerin nano akışkanın, yüksek sıcaklıkta geliştirilmiş bir ısı transfer akışkanı olarak çalışma kabiliyetini göstermesidir [5]. Sani ve ark. güneş enerjisi uygulaması için tek duvarlı karbon nanohorn (SWCNH) nanopartiküllerinin optik karakterizasyonunu bildirmişlerdir. Sonuçlar karbon nanohorn bazlı nano akışkanların, termal güneş cihazlarının verimliliğini ve kompaktlığını arttırmada yararlı olabileceğini göstermektedir. SWCNH-glikol süspansiyonunun güneş kolektörleri için potansiyel emici olduğu sonucuna varmışlardır [37]. Zamzamian ve arkadaşları, bakır (Cu) nanopartikülünün düz plakalı güneş kolektörünün verimliliğine etkisini farklı hacim akış hızlarında ve nanopartiküllerin ağırlık fraksiyonlarında araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Ve güneş kolektörü verimliliği için optimum noktayı ağırlıkça %0,3 Cu nano akışkanı ile 1,5 L/dk oranında bulmuşlardır [38].

5.GİZLİ ISI DEPOLAMA

Gizli ısı depolama, küçük bir sıcaklık değişiminde bile yüksek depolama yoğunluğuna sahip bir depolama yöntemidir. Gizli ısı depolama bir maddenin faz değişimini kullanır. Genellikle bir maddenin eritilmesi ve katılaşmasıyla oluşan katı-sıvı faz değişimi kullanılır (Şekil 5.1). Erime ısıları maddeye aktarılır, sabit sıcaklıkta büyük miktarda ısı depolanır; madde katılaştıkça ısı açığa çıkar. Gizli ısı depolama için kullanılan malzemelere faz değiştiren maddeler (FDM) denir.



Şekil 5.1. Isı depolama yöntemleri sınıflandırılması [39].

5.1.Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

Faz Değiştiren Maddeler, çeşitli endüstrilerde gerekli sıcaklıkları korumak için yaygın olarak kullanılan termal enerji depolama malzemeleridir. Isıyı depolamak ve serbest bırakmak için kullanılırlar. Güvenilir bir enerji kaynağıdır. Faz Değiştiren Maddeler, büyük miktarlarda enerjiyi neredeyse hiç kayıp olmadan ısı veya soğuk olarak depolamak için fiziksel bir etki kullanır. Ve daha sonra tekrar bu enerji serbest bırakılır. Enerji depolama süresince FDM'nin sıcaklığı neredeyse sabit kalır. Bununla birlikte Faz Değiştiren Maddeler (FDM) termal yönetim çözümleri için ideal ürünlerdir. Bunun nedeni, erime ve donma sürecinde (bir fazdan diğerine değişen) termal enerjiyi depolamaları ve salıvermeleridir. Böyle bir malzeme donduğunda, gizli füzyon ısıları veya kristalizasyon enerjisi şeklinde büyük miktarda enerji açığa çıkarır. Tersine, malzeme eritildiğinde, katıdan sıvıya geçtikçe, hemen çevreden eşit miktarda enerji emilir.

5.2.Faz Değiştiren Maddelerin Özellikleri

Faz Değiştiren Malzemelerden Beklenen Özellikler [40]

Termodinamik özellikler:

- İstenilen çalışma sıcaklık aralığında erime sıcaklığı
- Birim hacim başına yüksek gizli füzyon ısısı
- Yüksek özgül ısı, yüksek yoğunluk ve yüksek ısı iletkenliği
- Muhafaza sorununu azaltmak için faz dönüşümünde küçük hacimli değişiklikler ve çalışma sıcaklıklarında küçük buhar basıncı
- Kongruent ergime

Kinetik özellikler:

- Sıvı fazın aşırı soğumasını önlemek için yüksek çekirdeklenme oranı
- Yüksek kristal büyüme oranı, böylece sistem depolama sisteminden ısı geri kazanımı taleplerini karşılayabilir

Kimyasal özellikler:

- Kimyasal stabilite
- Komple geri dönüşümlü donma / erime döngüsü
- Çok sayıda donma / erime döngüsünden sonra bozulma olmaz
- Korozif olmayan, toksik olmayan, yanıcı olmayan ve patlayıcı olmayan malzemeler

Ekonomik özellikler:

- Düşük maliyetli
- Kullanılabilirlik

FDM ile ilgili yapılmış birçok araştırma ve incelemeler mevcuttur.

Sharma ve ark. yaptıkları çalışmada, farklı uygulamalarda kullanılmak üzere faz değiştiren maddeleri içeren mevcut termal enerji depolama sistemlerini araştırmışlardır [39].

Lee ve ark. yaptıkları çalışmada, deneysel olarak iki fazlı termosifonlu güneş enerjili su ısıtıcıda gizli ısı depolama ünitesini incelemişlerdir. Enerji depolama malzemesi olarak

üç tane faz değiştiren madde kullanılmıştır; trikoza, su ve sodyum asetat. Karşılaştırılan sonuçlar, trikosan maddesinin kullanılmasının birçok avantaj sağladığını göstermiştir. Diğer sonuçlar, gizli ısı depolama ünitesinin %40 alkol doldurma oranı altında ve enerji depolama malzemesi olarak kullanılan trikolan ile optimum şarj ve deşarj performansı sağladığını ve %73'lük bir optimum şarj verimi ve %81'lik bir optimum deşarj verimi sergilediğini göstermiştir [41].

Sarı ve Kaygusuz yaptıkları çalışmada, evsel güneş enerjili su ısıtmada enerji depolaması için miristik asidin gizli ısı enerjisi depolama malzemesi olarak ısı performansını ve faz değişim kararlılığını deneysel olarak incelemişlerdir. Miristik asidin ısı performansı ve ısı transfer özellikleri test edilmiş ve literatürde verilen diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar FDM'nin erime stabilitesinin radyal yönde eksenel yönden daha iyi olduğunu göstermiştir. Giriş suyu sıcaklığının değişmesi ile FDM'nin erime ve katılaşma parametrelerinin çeşitliliği de incelenmiştir. Sonuçlar, miristik asidin daha iyi stabilitesinin, yüksek giriş suyu sıcaklığında elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında düşük giriş suyu sıcaklığında gerçekleştirildiğini göstermektedir [42].

Hasan ve ark. yaptıkları çalışmada, bazı yağ asitlerini evsel su ısıtması için FDM'ler olarak araştırmışlardır. Seçilen yağ asitleri miristik asit, palmitik asit ve stearik asittir ve erime sıcaklıkları 50°C ila 70°C arasındadır. Bu asitlerin termofiziksel özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluk ve genişleme hacimleri basit bir dilatometri tekniği ile belirlenmiştir. Çok sayıda erime ve katılaşma döngüsünden sonra bozulma derecesi incelenmiştir. Gizli ısıda az miktarda azalma, 450 ısıtma döngüsünden (20–80 ° C) sonra bulunurken, gizli ısının üçte biri kadar bir düşüş, 21 şiddetli ısıtma döngüsünden (20-150 ° C) sonra bulunmuştur [43].

Al-Jandal ve Sayigh, bir ünite de güneş kolektörü ve FDM kombinasyonunu incelemişlerdir. Güneş kolektörünün performans özelliklerini analitik ve deneysel olarak analiz etmişlerdir. Doğrudan temaslı bir güneş enerjisi depolama sistemini simüle etmek için temel deneyler yapılmıştır. İki dikey silindirik eş merkezli tüp kullanarak aralarındaki halka şeklindeki boşluk, stearik asit ile doldurulmuştur. Isı yükleme modunun farklı kanat yapısı tipleri için deneysel sonuçlar, erime işleminin, doğal konveksiyonun etkisiyle ve eksenel doğrutudaki erime profillerinin farklı eğilimlerine ek olarak, empoze edilen koşulların değişmesinden de büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir [44].

Mazman ve ark. yaptıkları çalışmada, FDM modüllerini su tankları seviyesine dahil etmenin yollarını araştırmışlardır. Bu modifikasyon, tankın üst katmanlarında daha yüksek

seviyede bir ısı kaybı telafisi sağlayacaktır. Stearik asidin ve parafinin, solar evsel sıcak su depoları için optimal termal performans (~%74 verim artışı) sağlayabildiğini tespit etmişlerdir. Güneş ısıtma sistemi kullanılarak ısıtma ve soğutma testleri gerçekleştirilmiştir [45].

Al-Hinti ve ark. yaptıkları çalışmada, geleneksel güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan faz değiştirme maddesinin performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Küçük silindirik alüminyum kaplarda bulunan parafin mumu FDM olarak kullanılmıştır. Kaplar, ticari olarak satılan, silindirik bir sıcak su depolama tankına doldurulmuştur. Kapalı devre bir sistemde doğal dolaşım modellerini kullanan araştırmacılar, depo ve düz plakalı toplayıcıları birbirine bağlayarak depolama kapasitelerini ölçmüşlerdir. 24 saatlik bir test süresi boyunca, depolanan su sıcaklığı, ortam sıcaklığından en az 30°C daha yüksek olduğu ve kısa süreli zorlamalı dolaşımın kullanılmasının sistemin performansı üzerinde minimum etkiye sahip olduğu bulunmuştur [46].

Varol ve ark tarafından, faz değiştirme maddesi olarak sodyum karbonat dekahidrat kullanılan bir güneş kolektör sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiş ve kolektör verimliliği FDM içermeyen konveksiyonel sistemlerle karşılaştırılmıştır. FDM'li güneş kolektör sisteminin konveksiyonel sistemlerden daha etkili olduğu tespit edilmiştir [47].

Ho ve Gao yaptıkları çalışmada, faz değiştirme maddesi olarak parafin emülsiyonunda nanopartikülün hazırlanması ve termofiziksel özellikleri incelemişlerdir. Formüle edilmiş parafin içindeki nanoparçacık emülsiyonları için ölçülen ısı iletkenlik ve dinamik viskozite, sıcaklığa bağlı olarak, saf parafin ile karşılaştırıldığında nanopartiküllerin kütle fraksiyonu ile doğrusal olmayan bir artış göstermiştir [48].

Shukla ve ark., güneş enerjili su ısıtmada faz değiştirme maddesi kullanımına ilişkin kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Güneş enerjili su ısıtıcısının daha iyi bir termal performansı için yüksek gizli ısıya sahip ve ısı transferi için geniş bir yüzey alanına sahip bir faz değişim maddesinin gerekli olduğu bildirmişlerdir [49].

El Qarnia ve ark., enerji değişim denklemlerine dayalı teorik bir modeli, faz değiştirme maddelerinin kullanıldığı, güneş kolektörüne entegre edilmiş olan gizli ısı depolama ünitesinin ısı davranışını ve performansını öngörmek için geliştirmişlerdir [50].

6.MATERYAL VE METOT

Su ısıtma amaçlı klasik termosifon güneş kolektörlerinde ve pompalı güneş kolektörlerinde, kolektör borularının içerisinde doğrudan ısıtılacak kullanım suyu veya antifirizli su dolaşmaktadır. Pompalı sistemlerde ekstra elektrik enerjisi tüketimi, termosifonlu sistemlerde ise bu sistemin fazla yer işgal etmesi, gece soğuyan sudan dolayı suyun ters yönde sirkülasyonu, soğuk havalarda suyun donması ve suyun borularda oluşturduğu paslanmadan dolayı ısı transfer hızının azalması gibi dezavantajlardan dolayı, günümüzde iki fazlı ısı borulu termosifon güneş kolektörlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Güneş ışınımının ihtiyaç fazlası kısmı da ayrıca bu kolektörlerde bulutlu havalarda ve geceleyin suyu ısıtmak için faz değiştiren maddelerle (FDM) depolanmaktadır. Isı borulu sistemlerde evaporatör (buharlaştırıcı) görevini üstlenen güneşi gören kolektör ünitesinde, kolektör boruları içerisindeki iki fazlı çalışma akışkanı güneş ışınımı ile buharlaşmakta, daha sonra termosifon etkisi ile kolektörün üst tarafındaki kondenser (yoğuşturucu) gibi görev yapan ısı değiştirici ünitesinde ısısının bir kısmını ısıtılacak kullanım suyuna bir kısmını da FDM'ye aktarmaktadır. ısisını kullanım suyuna ve FDM'ye terk ederek yoğuşan çalışma akışkanı yerçekimi etkisi ile tekrar güneş kolektörüne (evaporatöre) dönmektedir. Son zamanlarda çalışma akışkanları içerisine katılan nano partüküllerle oluşturulan nano akışkanlar daha yüksek ısı iletim katsayılarına sahip olmuşlardır.

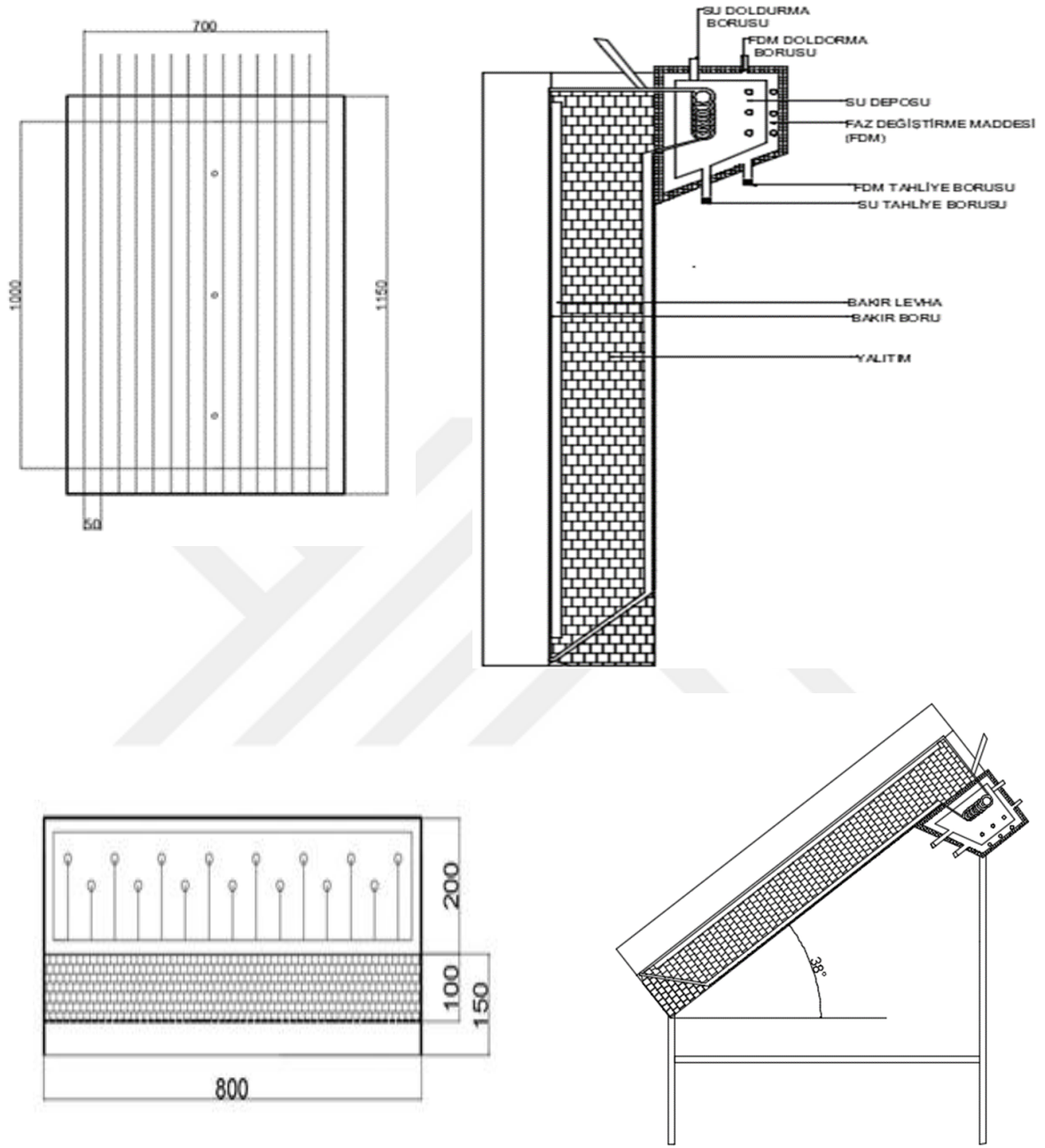
Bu çalışmada ısı depolama maddesi yani faz değiştiren madde (FDM) olarak kalsiyum klorür heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), çalışma akışkanı olarak da güneş kolektörünün ısı borularında sırasıyla saf su (H_2O), nano akışkan alüminyum oksit-saf su ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$) ve nano akışkan bakır oksit-saf su ($\text{CuO-H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Kullanılan FDM'nin özellikleri şöyledir: Erime Noktası: 30 °C, Erime gizli ısısı: 187.5 kJ/kg, Yoğunluğu: 1.71 gr/cm³. FDM ile gizli ısı şeklinde büyük miktarda ısı enerjisi depolanabilmekte ve daha sonra depolanan bu enerji kullanım suyuna salıverilmektedir. Bulutlu (kapalı) havalarda ve geceleri de FDM'de depolanan ısı enerjisi ile kullanım suyu ısıtılmaktadır. Çalışmada hazırlanan ısı borulu su ısıtıcı güneş kolektörü üç farklı çalışma akışkanı için birbirine çok yakın güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığına sahip günlerde test edilmiştir. Bu çalışma için kurulan deney seti ölçme elemanları ile birlikte Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Ayrıca bu

çalışmada kullanılan ısı borulu, nano akışkanlı ve FDM'li su ısıtıcısı güneş kolektörünün şematik çizimi Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney seti.

Deneyler için yutucu plakası 15 adet fitilsiz ısı borusu içeren düzlemsel bir su ısıtıcılı güneş kolektörü imal edildi. Kolektörün güneş ışınımı gören ve evaporatör görevi gören yutucu plakası 0.8 mm kalınlığında, 1000 mm uzunluğunda ve 800 mm genişliğinde bakır plakadan yapıldı ve siyah mat boya ile boyandı. Isı boruları yutucu plaka üzerine 50 mm eşit aralıklarla gümüş kaynağı lehimini ile tutturulmuştur. İki fazlı çalışma akışkanının kolektörde (evaporatörde) ısınması ile oluşan buharın evaporatör kısmında yoğuşmaması için yutucu plakanın uzunluğu 1000 mm'den fazla seçilmedi. Evaporatör kısmında termosifon ısı boruları olarak 1050 mm uzunluğunda ve 6.32 mm (1/4 inç) dış çapında bakır borular kullanıldı. Kolektör kasası 1150 mm x 800 mm x 150 mm ebatlarında galvanizli çelik sacdan yapıldı. Yutucu plakanın arka tarafı ve yan tarafları 100 mm kalınlığında camyünü ile izole edildi ve yutucu plakanın üst tarafı ise 4 mm kalınlığında cam örtü ile örtüldü.



Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik çizimi (ölçüler mm'dir).

Kolektör optimum güneş ışınımını alması için Elazığ'ın enlem derecesi göz önüne alınarak güneye dönük yatayla 38° eğim yapacak biçimde yerleştirilmiştir. Kolektörün üst tarafında ısı borularının ısı transfer yüzeyini arttırmak için kangal şeklinde bükülmüş olduğu su deposu ünitesi ise, iki fazlı akışkanın evaporatör kısmında buharlaşarak aldığı ısıyı yoğunlaşarak kullanım suyuna ve FDM'ye bıraktığı bir ünite olarak sistemin kondenser (yoğuşturucu) görevini görmektedir. Bu ünite içerisinde kangal şeklinde bükülmüş ısı boruları içerisindeki saf su ve nano akışkanların ($Al_2O_3-H_2O$ ve $CuO-H_2O$) buharı ısını yoğunlaşarak önce kullanım suyuna daha sonra da suyun dışındaki cekte bulunan FDM'ye ($CaCl_2.6H_2O$) vermektedir. FDM ısı depolarken erimekte ve geceleyin ya da bulutlu saatlerde ise depoladığı bu ısıyı tekrar katılışmaya başlayarak daha soğuk olan depodaki kullanım suyuna vermektedir.

Test ünitelerinde FDM, depo kullanım suyu ve güneş kolektörü yutucu plaka sıcaklıkları, ilgili kısımlarda belirli eşit aralıklarla yerleştirilen T tipi Cu-Co (bakır-konstant) ısı çiftler (termo elemanlar) yardımıyla tespit edilmiştir. Isıl çiftlerle ölçülen bütün sıcaklık değerleri CR10X veri kaydedicisi ile 30 dakika süre aralıklarıyla kaydedilmiştir. Ayrıca termometre ve ısı çifti ile her 30 dakikada bir dış hava sıcaklığı belirlenmiştir. Kolektörün yüzeyine gelen güneş ışınımı Kipp&Zonen CM3 solarimetresi ile ölçülmüş ve bu ışınım değerleri CR510 veri kaydedicisi ile 30 dakika süre aralıklarıyla kaydedilmiştir. Isı depolamalı ve nano akışkanlı iki fazlı bu yeni güneş enerjili su ısıtıcısının ısı performansını böylece belirlenmektedir.

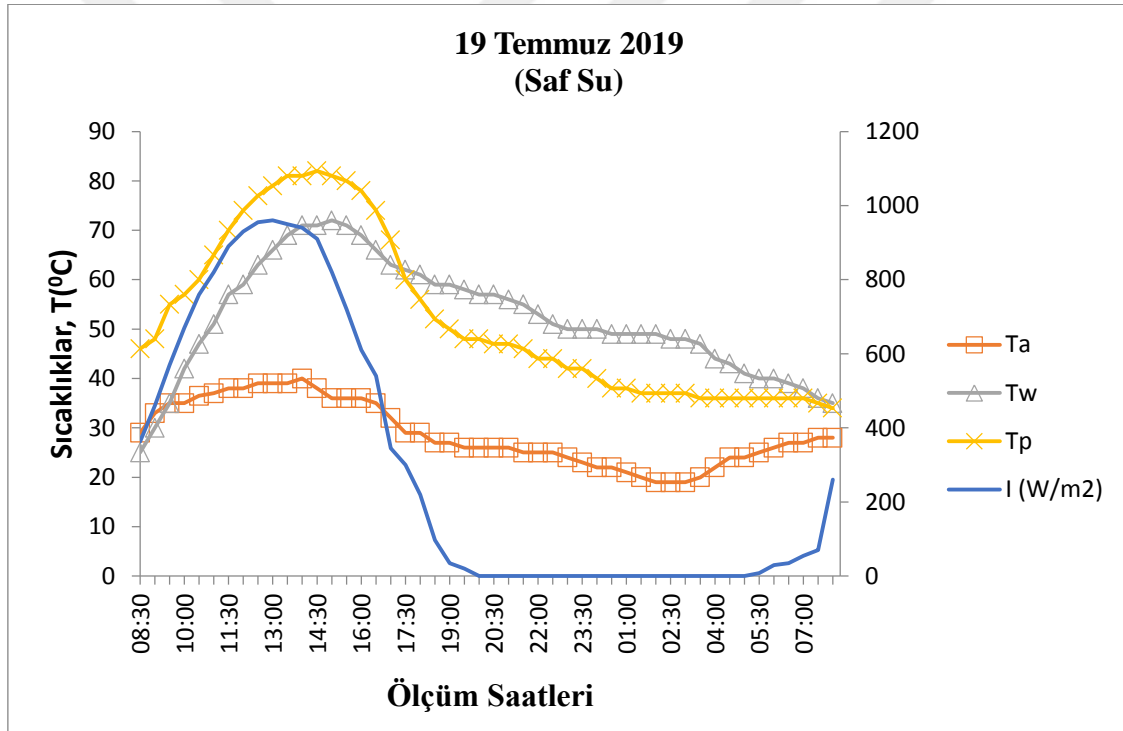
Deneyler, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Laboratuvarının dış alanında 19.07.2019-21.07.2019 tarihleri arasında açık havada güneşli günlerde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan nano maddelerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri tablo 6.1'de gösterilmiştir. Deneyler çalışma akışkanı olarak saf su, nano akışkan $Al_2O_3-H_2O$ ve nano akışkan $CuO-H_2O$ için birbirine çok yakın güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı değerlerine sahip günlerde ısı depolamalı olarak yapılmıştır. Her çalışma akışkanı için deney 24 saat sürmüştür. Depo kullanım suyu her günkü deneyde sabah saat 08:00 ila 08:30 arası boşaltılıp tekrar 25 °C sıcaklığındaki su ile doldurulmuştur.

Tablo 6.1. Deneyleerde kullanılan nano maddelerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri [51].

Madde	Özgöl ısı, C_p (J/kgK)	Isıl iletkenlik, k (W/mK)	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	773	40	3960
Bakır Oksit (CuO)	551	33	6000
Saf Su (H ₂ O)	4182	0,6	1000

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

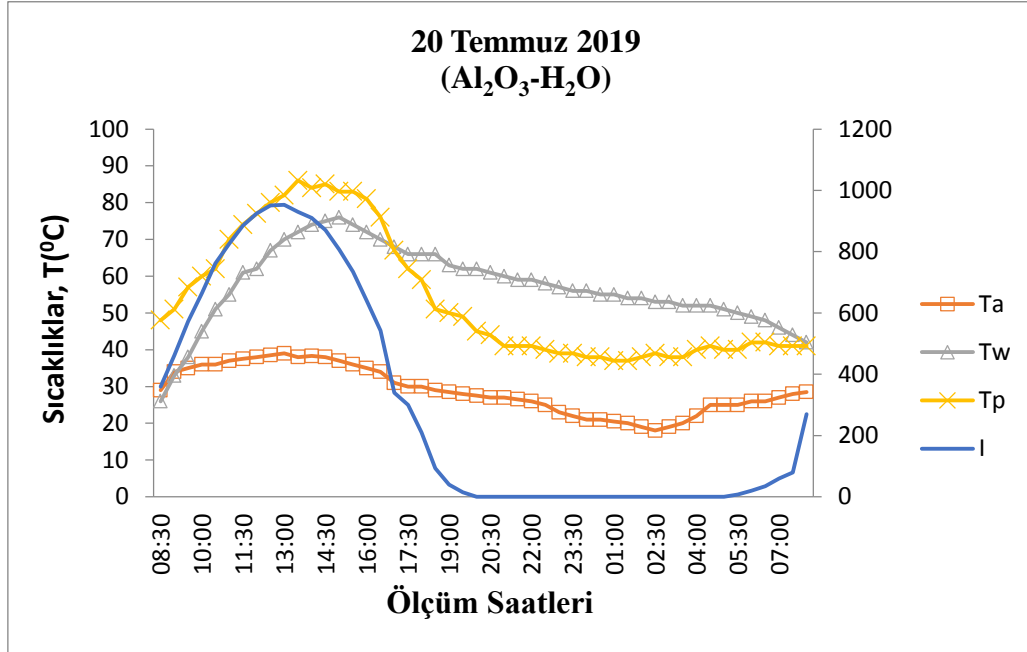
19 Temmuz 2019'da FDM'li ve ısı borularında çalışma akışkanı olarak saf suyun kullanıldığı güneş enerjili su ısıtma sisteminde dış hava (T_a), depo suyu (T_w) ve güneş kolektörü yutucu plaka (T_p) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi şekil 7.1'de gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının $28,8^\circ\text{C}$ ve ortalama güneş ışınımı şiddeti değerinin 495 W/m^2 olduğu bugünde, güneş ışınımı şiddeti, yutucu plaka ve depo suyu sıcaklık değerleri öğle saatlerinde maksimum olmakta ve daha sonra sabah saatlerine kadar yutucu plaka sıcaklığı depo suyu sıcaklık değerinin altında seyretmektedir.



Şekil 7.1. 19 Temmuz 2019'da FDM'li ve çalışma akışkanı saf su olan sistemde dış hava (T_a), depo suyu (T_w) ve yutucu plaka (T_p) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.

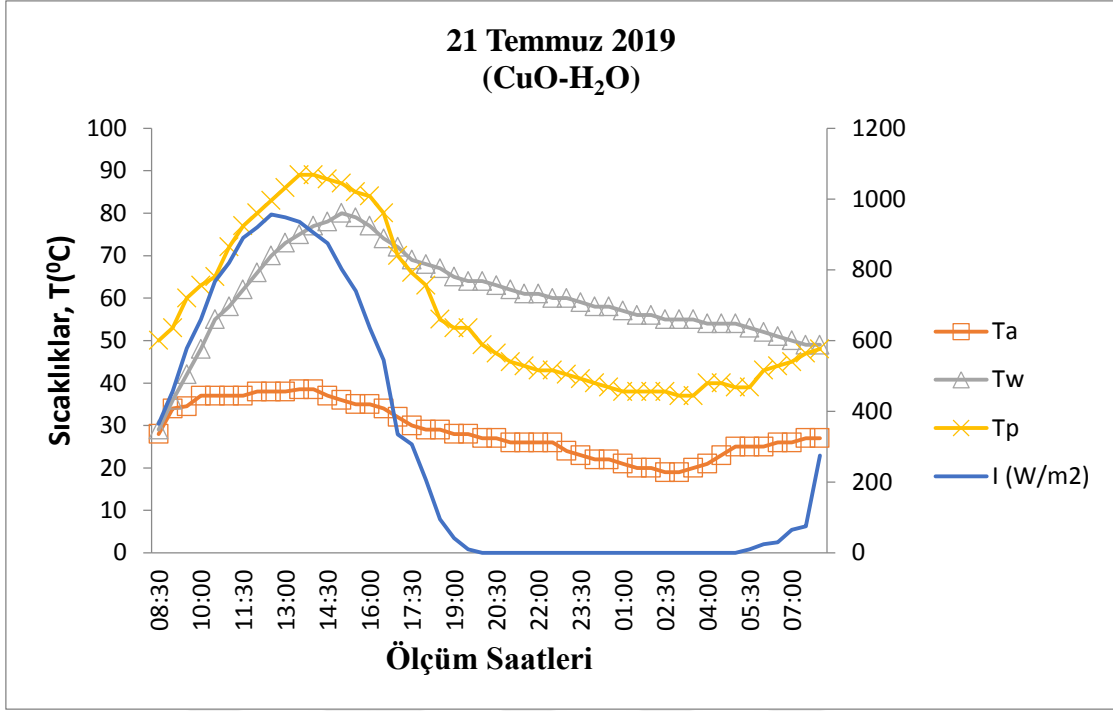
20 Temmuz 2019'da FDM'li ve ısı borularında çalışma akışkanı olarak alüminyum oksit-saf su ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$) nano akışkanının kullanıldığı güneş enerjili su ısıtma sisteminde dış hava (T_a), depo suyu (T_w) ve güneş kolektörü yutucu plaka (T_p) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi şekil 7.2'de gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının $28,9^\circ\text{C}$ ve ortalama güneş ışınımı şiddeti değerinin 492 W/m^2 olduğu bugünde, güneş ışınımı şiddeti, yutucu plaka ve depo suyu sıcaklık değerleri öğle saatlerinde maksimum

olmakta ve daha sonra sabah saatlerine kadar depo suyu sıcaklığı, FDM'nin depoladığı ısıyı depodaki kullanım suyuna salıvermesi ile yutucu plaka sıcaklık değerinin üstünde seyretmektedir.



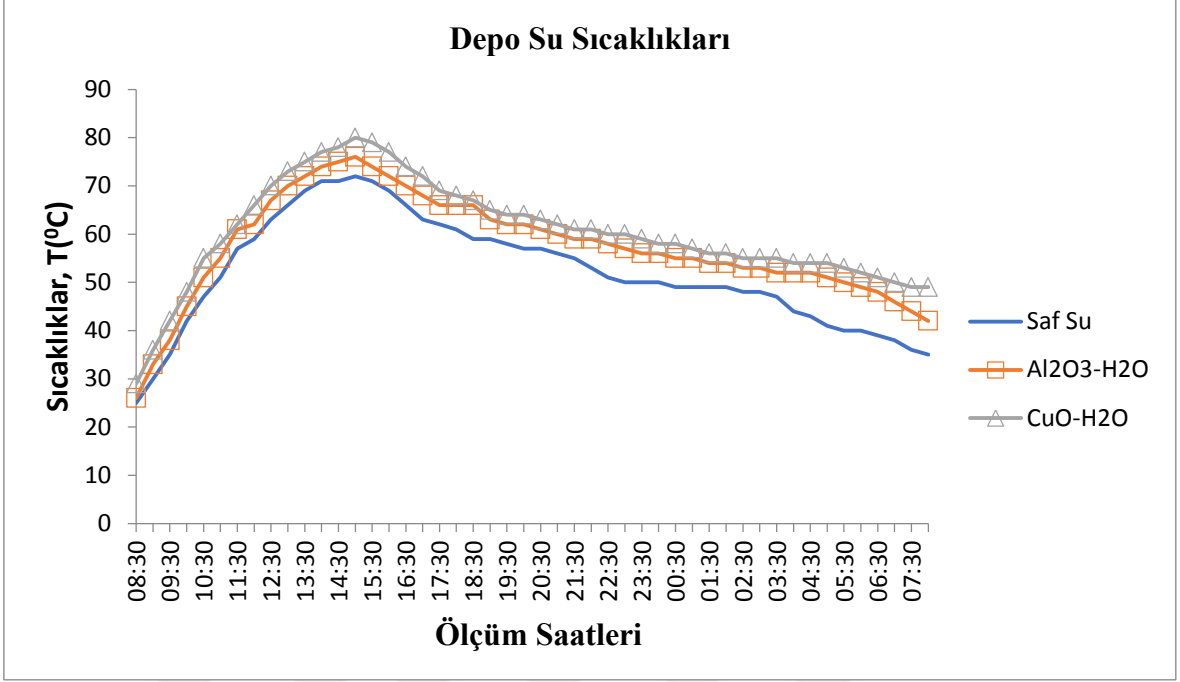
Şekil 7.2. 20 Temmuz 2019'da FDM'li ve çalışma akışkanı $Al_2O_3-H_2O$ olan sistemde dış hava (T_a), depo suyu (T_w) ve yutucu plaka (T_p) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.

21 Temmuz 2019'da FDM'li ve ısı borularında çalışma akışkanı olarak bakır oksit-saf su ($CuO-H_2O$) nano akışkanının kullanıldığı güneş enerjili su ısıtma sisteminde dış hava (T_a), depo suyu (T_w) ve güneş kolektörü yutucu plaka (T_p) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi Şekil 7.3'de gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının $28,8\text{ }^{\circ}C$ ve ortalama güneş ışınımı şiddeti değerinin 492 W/m^2 olduğu bugünde, güneş ışınımı şiddeti, yutucu plaka ve depo suyu sıcaklık değerleri öğle saatlerinde maksimum olmakta ve daha sonra sabah saatlerine kadar depo suyu sıcaklığı yutucu plaka sıcaklık değerinin üstünde kalmaktadır.



Şekil 7.3. 21 Temmuz 2019’da FDM’li ve çalışma akışkanı CuO-H₂O olan sistemde dış hava (Ta), depo suyu (Tw) ve yutucu plaka (Tp) sıcaklıkları ile güneş ışınımının (I) zamanla değişimi.

Ortalama dış hava sıcaklık değeri ile ortalama güneş ışınımı şiddeti hemen hemen aynı olan 19, 20 ve 21 Temmuz günlerinde elde edilen deneysel sonuçlar şekil 7.4’de karşılaştırılmıştır. Günün bütün saatleri için çalışma akışkanı olarak CuO-H₂O nano akışkanının kullanılması durumunda diğer çalışma akışkanlarına göre en yüksek depo suyu sıcaklıkları elde edilmiştir. En düşük depo suyu sıcaklıkları ise nano akışkan olmayan saf su kullanımında görülmüştür. Bunun sebebi CuO nano maddenin kullanılan diğer maddelere nazaran daha yüksek yoğunluk ve de daha düşük özgül ısı değerine sahip olmasına bağlanabilir. Bu durumda aynı kolektör ısı verim değeri için CuO-H₂O nano akışkanının kullanılması durumunda diğer çalışma akışkanlarına göre daha küçük boyutlarda güneş kolektörü yeterli olacak ve bu da kolektörün ağırlığını ve imal edilmesi için gerekli enerji ve maliyeti düşürecektir. Ayrıca kolektörün imalatı için daha az enerji tüketildiğinde çevreye CO₂ salınımı da azalacaktır.



Şekil 7.4. 19, 20 ve 21 Temmuz 2019'da FDM'li ve çalışma akışkanı sırasıyla saf su, Al₂O₃-H₂O ve CuO-H₂O olan sistemde depo suyu sıcaklıklarının (Tw) zamanla değişimi.

8. SONUÇLAR

Dünyada sanayileşme ve refah seviyesi arttıkça enerji tüketimi de artmaktadır. Ayrıca son yıllarda fosil kaynaklı geleneksel enerji kaynaklarının kullanımından dolayı artan çevre kirliliği, insanları güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Dolayısı ile temiz çevre bakımından oldukça da büyük potansiyele sahip güneş enerjisinden daha etkin yararlanma üzerine gerek ülkemizde gerekse de diğer ülkelerde oldukça fazla proje destek görmektedir. Yıllar geçtikçe güneş enerjisinden faydalanmanın birçok yöntemi bulunmuş ve bu yöntemler her geçen gün daha da geliştirilmektedir. Özellikle güneş ışınımını yoğun şekilde alan ülkeler bu kaynaktan daha fazla yararlanarak ekonomilerini ve dolayısı ile refah düzeylerini arttırabilirler. Fakat güneş enerjisi arzı gün içinde ve mevsimsel olarak değişkenlik gösterdiğinden, güneş enerjisinin ihtiyaç fazlasının depolanıp, güneş ışınımının az olduğu zamanlarda bu depolanan enerjinin kullanılması gerekmektedir. Dolayısı ile güneş enerjisinin bol olduğu zamanlarda ihtiyaç fazlasının ısı enerjisi şeklinde depolanması konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de güneş enerjisinin faz değiştiren maddelerle (FDM) gizli ısı şeklinde depolanmasıdır. Bu çalışmada ısı borulu güneş kolektörü sisteminde kullanılan FDM'den farklı FDM'ler kullanılarak güneş enerjili su ısıtma sistemin performansı arttırılabilir.

Bu çalışmada kullanılan nano maddelerden daha farklı nano maddeler kullanılabilir. Kullanılan nano maddelerin nano akışkan içerisindeki ağırlık ve hacim oranları değiştirilebilir. Böylece aynı ısı verim için daha küçük boyutlarda güneş kolektörleri imal edilebilir.

Ayrıca daha yüksek ısı performans için değişik kolektör, ısı borusu ve depo konstrüksiyonları denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Owolabi, A.L., Al-Kayiem, H.H. and Baheta, A.T., 2017. Performance investigation on a thermal energy storage integrated solar collector system using nanofluid, *Int. J. Energy Res.*, vol. 41, pp. 650-657.
- [2]. Kumbhard, K., Jayant, A.B. and Gupta, A.K., 2015. Experimental study of loop thermosyphon solar water heater using water and CuO nanofluid as working fluid, *International Journal Of Innovation In Engineering Research & Management*, ISSN:2348-4918.
- [3]. Faizal, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Hepbasli, A., Mahbubul, I. M., 2014. Energy, economic, and environmental analysis of a flat-plate solar collector operated with SiO₂ nanofluid, *Clean Techn Environ Policy*, vol. 17, pp. 1457–1473.
- [4]. Meibodi, S.S., Kianifar, A., Mahian, O., Wongwises, S., 2016. Second law analysis of a nanofluid-based solar collector using experimental data, *Therm Anal Calorim*, vol. 126, pp. 617–625.
- [5]. Reddy, K.S., Kamnapure, N. R. And Srivastava, S., 2016. Nanofluid and nanocomposite applications in solar energy conversion systems for performance enhancement: a review, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 12 pp.1–23.
- [6]. Said, Z., Saidur, R. And Rahim, N.A., 2016. Energy and exergy analysis of a flat plate solar collector using different sizes of aluminium oxide based nanofluid, *Journal of Cleaner Production*, vol. 133, pp. 518-530.
- [7]. Said, Z., Sabiha, M.A., Saidur, R., Hepbasli, A., Rahim, N.A., Mekhilef, S., Ward, T.A., 2015. Performance enhancement of a Flat Plate Solar collector using Titanium dioxide nanofluid and Polyethylene Glycol dispersant, *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, pp. 343-353.
- [8]. Dasaien, A.V. and Elumalai, N., 2017. Performance enhancement studies in a thermosyphon flat plate solar water heater with copper oxide nanofluid, 2017, *Thermal Science*, vol. 21, pp. 2757–2768.
- [9]. Ray, D.R., Das, D.K. and Vajjha, R.S., 2014. Experimental and numerical investigations of nanofluids performance in a compact minichannel plate heat

- exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 71, pp. 732–746.
- [10]. Michael, J.J. and Iniyar, S., 2015. Performance of copper oxide/water nanofluid in a flat plate solar water heater under natural and forced circulations, *Energy Conversion and Management*, vol. 95, pp. 160–169.
- [11]. Chougule, S.S., Sahu, S. and Pise, A.T., 2014. Thermal performance of two phase thermosyphon flat-plate solar collectors using nanofluid, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 36,014503.
- [12]. Goudarzia, K., Shojaeizadeh, E. and Nejati, F., 2014. An experimental 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*, vol.73, pp.1236-1243.
- [13]. 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*, vol. 39, pp. 293-298.
- [14]. Chuawittayawuth, K. and Kumar, S.,2002. Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system, *Renew Energy*, vol.26, pp. 431-448.
- [15]. Moghadam, A.J., Gord, M.F., Sajadi, M., Zadeh, M.H.,2014. Effects of CuO/water nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 58, pp. 9-14.
- [16]. Karami, M., Bahabadi, M.A.A., Delfani, S., Ghozatloo, A., 2014. A new application of carbon nanotubes nanofluid as working fluid of low temperature direct absorption solar collector, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 121, pp. 114-118.
- [17]. URL-1 <https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-ile-sicak-su-hazirlama-sistemleri.html> Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Hazırlama Sistemleri, 8 Nisan 2016
- [18]. URL-2 <http://www.guneysangunesenerjisi.com.tr>,Zorlanmış dolaşimli paket sistemleri,
- [19]. URL-3 <https://www.enerjiportali.com/gunes-kollektoru-nedir/>,Güneş Kollektörü Nedir?, 2016
- [20]. URL-4 <http://www.aktasgunesenerji.com/teknik.html>

- [21]. URL-5 <https://www.boylor.ist/urunler/vakumlu-gunes-enerji-sistemi/>, Vakumlu Güneş Enerji Sistemi
- [22]. URL-6 <http://e-wiki.org/tr/images/D%C3%BCzlemsel>, Resimler: Düzlemsel
- [23]. Choi, S.U.S. and Eastman, J.A.,1995. Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, San Francisco, Calif, USA, November 12-17.
- [24]. <https://fizikakademisi.com/screen-shot-07-15-16-at-04-06-pm/>, NANO BOYUT, 15 Temmuz 2016
- [25]. Ateş, H. ve Bahçeci, E., 2015. Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 3, pp. 483-499.
- [26]. Yang, X. and Liu, Z.H., 2010. A kind of nanofluid consisting of surface functionalized nanoparticles, Nanoscale Research Letters, vol. 5, pp. 1324-28
- [27]. Kavitha, T., Rajendran, A., Durairajan, A., 2012.Heat transfer enhancement using nano fluids and innovative methods, IJMET, vol. 3, pp. 769-782
- [28]. Pak, B.C. and Cho,I.Y.,1998. “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with sub-micron metallic oxide particles”, Experimental Heat Transfer, vol.11, pp.151-170.
- [29]. Xuan, Y. and Li, Q., 2003.Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, vol. 125, pp.151-155.
- [30]. Xuan, Y. and Roetzel, W., 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 43, pp. 3701-3707.
- [31]. Yang, Y., Zhang, Z. G., Grulke, E.A., Anderson, B.A., 2005.Heat transfer properties of nanoparticles-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 48, pp. 1107-1116.
- [32]. Wen, D. and Ding, Y., 2004. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 47, pp. 5181-518.
- [33]. Ding, Y., Alias, G., Wen, D. and Williams, R.A., 2006. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids)”, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 49, pp. 240-250.

- [34]. Duangthongsuk, W. and Wongwises, S., 2009. Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of TiO₂ -water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger”, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 52, pp. 2059-2067.
- [35]. Lee, J.H., Hwang, K.S., Jang, S.P., Lee, B.H., Kim, J.H., Choi, S.U.S. and Choi, C.J., 2008. Effective viscosities and Thermal Conductivities of Aqueous Nanofluids Containing Low Volume concentrations of Al₂O₃ Nanoparticles, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp.2651-2656.
- [36]. Chein, R. And Chuang, J., 2007. Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids, International Journal of Thermal Science, vol. 46, pp. 57-66.
- [37]. Sani, E., Mercatelli, L., Barison, S., et al., 2011. Potential of carbon nanohorn based suspensions for solar thermal collectors, Solar Energy Mater Solar Cells, vol. 95, pp.2994–3000.
- [38]. Zamzamian, A., Rad, M.K., Neyestani, M.K., Jamal-Abad, M.T., 2014. An experimental study on the effect of Cu-synthesized/EG nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, Renewable Energy, vol. 71, pp. 658-664
- [39]. Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009. Review on Thermal Energy Storage With Phase Change Materials and Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, pp. 318-345.
- [40]. Pasupathy, A., Velraj, R. and Seeniraj, R ., (2008). Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.12, pp. 39–64.
- [41]. Lee, W. S., Chen, B. R. and Chen, S., 2006. Latent heat storage in a two-phase thermosyphon solar water heater, J. Solar Energy Eng., vol. 128, pp. 69–76.
- [42]. Sari, A. and Kaygusuz, K., 2001. Thermal performance of myristic acid as a phase change material for energy storage application, Renewable Energy, vol. 24, pp. 303-317.
- [43]. Hasan, A. and Sayigh, A.A., 1994. Some fatty acids as phase-change thermal energy storage materials, Renewable Energy, vol. 4, pp. 69-76.
- [44]. Al-Jandal, S. S. and Sayigh, A.A.M., 1994. Thermal performance characteristics of STC system with Phase Change Storage, Renewable Energy, vol. 5, pp. 390-399.

- [45]. Mazman, M., Cabeza, L.F., Mehling, H., Nogues, M., Evliya, H., Paksoy, H.Ö., 2009. Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems, *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1639-1643.
- [46]. Al-Hinti, I.S., Al-Ghandoor, A., Maaly, A., Naqeera, I.A., 2010. Experimental investigation on the use of water-phase change material storage in conventional solar water heating systems, *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 1735-1740.
- [47]. Varol, Y., Koca, A., Oztop, H.F. and Avci, E., 2010. Forecasting of thermal energy storage performance of Phase Change Material in a solar collector using soft computing techniques, *Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp. 2724-2732.
- [48]. Ho, C.J. and Gao, J.Y., 2009. Preparation and thermophysical properties of nanoparticle-in-paraffin emulsion as phase change material, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.36, pp. 467-470.
- [49]. Shukla, A., Buddhi, D. and Sawhney, R.L., 2009. Solar water heaters with phase change material thermal energy storage medium, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.13, pp. 2119-2125.
- [50]. El Qarnia, H., 2009. Numerical analysis of a coupled solar collector latent heat storage unit using various phase change materials for heating the water, *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 247-254.
- [51]. Kamyar, A., Saidur, R., Hasanuzzaman, M., 2012. Application of computational fluid dynamics (CFD) for nanofluids, *Int J Heat Mass Trans*, vol. 55, pp. 4104–15.

ÖZGEÇMİŞ

Gülcan KALKAN 01.01.1989 tarihinde Diyarbakır ilinde doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Adana'da tamamladı. 2010 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliğini kazandı ve 2014 yılında mezun oldu. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Lisansüstü eğitimine başladı.

