



**VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE CuO+MgO/SAF SU
HİBRİT NANOAKIŞKAN KULLANILARAK ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Levent GÜNGÖR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2023

ETİK BEYAN

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

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

Levent GÜNGÖR

31/03/2023

VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE CuO+MgO/SAF SU HİBRİT
NANOAKIŞKAN KULLANILARAK ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Levent GÜNGÖR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2023

ÖZET

Fosil kaynakların sınırlı olması, atmosferdeki karbon miktarını artırması ile birlikte küresel ısınmaya yol açması gibi olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kolay ulaşılabilir, ücretsiz, tükenmez ve temiz enerji olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisinin ısı enerjisini kullanmak için güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ısı borulu vakum tüplü bir güneş kollektöründe çalışma akışkanı olarak saf su ve nanoakışkanın ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Temel akışkan olarak saf su içerisine kütleli olarak %2 CuO+MgO (50:50) ve yüzey aktifleştirici iki adım yöntemi ile karıştırılarak nanoakışkan elde edilmiştir. Bir grup ısı borusuna hazırlanan nanoakışkan hacimce 1/3 oranında doldurulmuş ve ısı borusu vakumlanmıştır. Diğer bir grup ısı borusuna saf su eklenerek vakumlanmıştır. Hazırlanan ısı borulu vakum tüplü güneş kollektöründen 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerle su geçirilerek 10:00 ile 16:00 saatleri arasında 15 dakika aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu kollektörde çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki ortama ısı verimlilikleri sırasıyla %49,62, %52,64 ve %56,18 olarak elde edilmiştir. Ayrıca kollektörde çalışma akışkanı olarak CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki ortama ısı verimlilikleri sırasıyla %69,89, %73,41 ve %77,21 olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre ısı borulu vakum tüplü güneş kollektöründe çalışma akışkanı olarak CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki verimlilikleri sırasıyla %40,85, %39,45 ve %37,43 artış göstermiştir. Yapılan bu çalışma ile ısı borulu vakum tüplü güneş kollektöründe CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanımının ısı performansı önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 92802

Anahtar Kelimeler : Isı borusu, güneş kollektörü, nanoakışkan

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF
EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTOR USING CuO+MgO/PURE WATER
HYBRID NANOFLUID

(M. Sc. Thesis)

Levent GÜNGÖR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2023

ABSTRACT

Considering the negative effects such as limited fossil resources, increasing the amount of carbon in the atmosphere and causing global warming, the need for renewable energy is increasing day by day. Solar energy, one of the renewable energy sources, has an important place because it is easily accessible, free, inexhaustible and clean energy. Solar collectors are used to use the thermal energy of solar energy. In this work, the thermal performances of pure water and nanofluid as working fluid in heat pipe evacuated tube solar collector were experimentally investigated. Nanofluid was obtained by mixing 2% CuO+MgO (50:50) by mass and surfactant into pure water as the basic fluid, using the two-step method. The prepared nanofluid was filled in a group of heat pipes at a rate of 1/3 by volume and the heat pipe was vacuumed. Pure water was added to another group of heat pipe and vacuumed. Measurements were made at 15-minute intervals between 10:00 and 16:00 by passing domestic water at 1 lt/min, 2 lt/min and 3 lt/min flow rates from the prepared heat pipe evacuated tube solar collector. According to the experimentally obtained results, mean thermal efficiencies of the collector using pure water as working fluid at 1 lt/min, 2 lt/min and 3lt/min were obtained as 49,62%, 52,64% and 56,18% respectively. Also, mean thermal efficiencies of the collector using CuO+MgO/pure water hybrid nanofluid as working fluid at 1 lt/min, 2 lt/min and 3lt/min were obtained as 69,89%, 73,41% and 77,21% respectively. The experimental outcomes indicated that using CuO+MgO/pure water hybrid nanofluid in the collector as working fluid averagely enhanced the efficiency as 40.85%, 39.45% and 37.43% at flow rates of 1 lt/min, 2 lt/min and 3lt/min, respectively. The present study revealed that utilizing CuO+MgO/pure water hybrid nanofluid in the heat pipe evacuated tube solar collector significantly increased the thermal performance.

Science Code : 92802

Key Words : Heat pipe, solar collector, nanofluid

Page Number : 65

Supervisor : Assoc. Prof. Halil İbrahim VARIYENLİ

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışması boyunca her konuda yardım ve katkılarıyla beni destekleyen ve bu alandaki kıymetli tecrübelerini benimle paylaşan çok değerli hocam sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ'ye teőekkürlerimi arz ederim. Bugünlere gelmemde üzerimde büyük emekleri olan anneme, babama ve tez çalıőmam boyunca her türlü fedakârlık gösteren kıymetli eőime ve kızıma teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİ.....	11
3.1. Devre Tipine Göre GESİS	11
3.1.1. Açık sistem.....	11
3.1.2. Kapalı sistem.....	12
3.2. Su Dolaşımına Göre GESİS	12
3.2.1. Doğal dolaşımli sistemler.....	12
3.3. Depo Yerleşimine Göre GESİS	14
3.4. Depo Sayısına Göre GESİS	15
3.5. Kollektör Tipine Göre GESİS	17
4. VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....	19
4.1. Direkt Akışlı VTGK.....	20
4.2. Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri	22
4.2.1. Isı borusu.....	23

5. NANOAKIŞKANLAR	35
5.1. Nanoakışkanların Hazırlanması	37
5.2. Nanoakışkan Türleri	39
5.3. Nanoakışkanlarda Isıl İletkenlik	41
6. TEORİK ANALİZ	43
7. MATERYAL VE METOT	45
7.1. Nanoakışkanın Hazırlanması	45
7.2. Deneş Düzeneginin Hazırlanması	48
7.3. Belirsizlik Analizi	52
8. ARAŞTIRMA BULGULARI	53
8.1. Deneşlerin Yapılışı	53
8.2. Deneş Sonuçları ve Değerlendirme	53
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
9.1. Sonuçlar	57
9.2. Öneriler	58
KAYNAKLAR	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Temel akışkanların ısı borusu malzemeleri ile uyumlulukları	25
Çizelge 5.1. Metaller, metal oksitler ve baz akışkanların ısı iletim katsayıları	41
Çizelge 7.1. Isolab firmasının ultrasonik banyo cihazının teknik bilgileri	47
Çizelge 7.2. Deneyde kullanılan termokupl teknik özellikleri	50
Çizelge 7.3. Deneyde kullanılan veri kaydedici cihazı teknik özellikleri.....	51
Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan solarimetreye ait teknik özellikler	52
Çizelge 7.5. Deney ölçümlerinde elde edilen verilerin belirsizlik analizi	52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri	2
Şekil 1.2. GESİS sınıflandırılması	3
Şekil 3.1. Açık devre GESİS.....	11
Şekil 3.2. Kapalı devre GESİS.....	12
Şekil 3.3. Doğal dolaşımli GESİS.....	13
Şekil 3.4. Zorlanmış dolaşımli GESİS	13
Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kolektörü yapısı	17
Şekil 4.1. Güneş ışınlarının düz ve vakum tüplü kolektörlere geliş açıları	19
Şekil 4.2. Vakum tüplü güneş kolektörleri genel çalışma prensibi	20
Şekil 4.3. Eş eksenli vakum tüplü güneş kolektörü yapısı.....	21
Şekil 4.4. Vakum tüplü U borulu güneş kolektörü çalışma prensibi	21
Şekil 4.5. Vakum Tüplü U borulu güneş kolektörü.....	22
Şekil 4.6. Direkt akışlı vakum tüplü güneş kolektörleri a) u borulu b) eş eksenli.....	22
Şekil 4.7. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörü bağlantısı (a), çalışma şekli (b) ve bölümleri (c).....	23
Şekil 4.8. Isı borusu çalışma süreci (a) ve kesit görünüşü (b)	24
Şekil 4.9. Isı borusu çalışma şekli.....	27
Şekil 4.10. Mikro oluklu ısı borusu bölümleri(a) ve detay görünüşü(b)	28
Şekil 4.11. Döngülü Isı Borusu.....	29
Şekil 4.12. Termosifon.....	30
Şekil 4.13. Titreşimli Isı Borusu	31
Şekil 4.14. Yassı plaka ısı borusu	32
Şekil 4.15. Değişken iletkenli ısı borusu	33
Şekil 4.16. Eksenel dönen ısı borusu	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Radyal dönen ısı borusu.....	34
Şekil 5.1. Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküller ve mikropartiküller	37
Şekil 5.2. Tek adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlama işlemi.....	38
Şekil 5.3. İki adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlama işlemi	38
Şekil 7.1. CuO+MgO/Saf su nanoakışkan hazırlama süreci.....	46
Şekil 7.2. Deney düzeneği şematik görünüşü	49
Şekil 8.1. Deney çalışması süresinde ortam sıcaklığı değişimleri.....	53
Şekil 8.2. Deney çalışması süresince güneş ışınım şiddeti değişimleri	54
Şekil 8.3. Deney çalışması süresince çıkış sıcaklığı değişimleri.....	55
Şekil 8.4. Deney çalışması süresince ısı verim değişimleri.....	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Dik depolu GESIS	14
Resim 3.2. Yatay depolu GESIS	15
Resim 3.3. Tek depolu GESIS	16
Resim 3.4. Çift depolu GESIS	16
Resim 3.5. Vakumlu cam tüp.....	18
Resim 5.1. CuO nanopartiküllerinin baz akışkan içerisindeki topaklanmış (a) ve homojen (b) dağılmış görüntüleri	39
Resim 5.2. CuO nanoparçacıklarının farklı baz akışkanlarındaki elektron mikroskobu görüntüleri a) su; b) metanol; c) etanol; d) etilen glikol; e) dodekanol	40
Resim 5.3. MgO nanoparçacıkları kullanılarak elde edilen nanoakışkanın elektron mikroskobu görüntüleri a) 100nm b) 100nm c) 50nm.....	40
Resim 7.1. Kern EW hassas terazi	45
Resim 7.2. Isolab firmasının ultrasonik banyo cihazı.....	46
Resim 7.3. Elde edilen hibrit nanoakışkan.....	47
Resim 7.4. Isı borusuna nanoakışkan eklenmesi	48
Resim 7.5. Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörü deney düzeneği.....	49
Resim 7.6. Deneyde kullanılan termokupl.....	50
Resim 7.7. Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörü termokupl bağlantıları	50
Resim 7.8. Elimko firmasının veri kaydedici cihazı.....	51
Resim 7.9. Deneyde kullanılan solarimetre	51

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	1



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

A_{abs}	Kollektörün absorber alanı (m^2)
c_p	Özgül ısı ($kJ/kg^{\circ}C$)
h	Isı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
I_s	Güneş ışınım şiddeti (W/m^2)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
$T_{çıkış}$	Çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{giriş}$	Giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_g	Kollektörün dış cam sıcaklığı
T_p	Kollektörün absorber Sıcaklığı
Q	Enerji miktarı (W)
U	Isı kaybı katsayısı ($W/m^2.K$)
η	Verim
ϵ	Emisivite
σ	Stefan-Boltzmann sabitini ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$)

Kısaltmalar

Açıklamalar

GESIS	Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri
IBVTGK	Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri
VTGK	Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

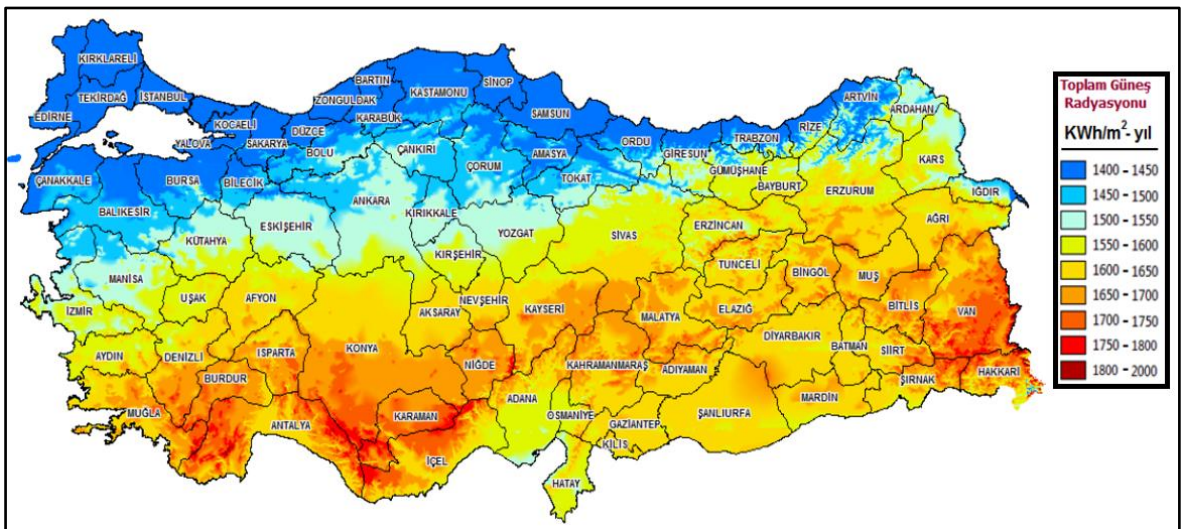
1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ile birlikte enerji gereksinimi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar üretilen enerjinin büyük bir kısmında kullanılmaktadır. Fosil kaynakların sınırlı olması, atmosferdeki karbon miktarını artırması ile birlikte küresel ısınmaya yol açması gibi olumsuz etkileri göz önünde bulundurularak yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta ve bunun sonucu yenilenebilir enerji ile ilgili araştırmalar çoğalmaktadır.

Ulaşılmasının kolay olması, ücretsiz ve tükenmeyecek olması, iklim değişikliğine ve çevre kirliliğine neden olmaması sebebiyle güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Bu özelliklerinden ötürü zaman içerisinde güneş enerjisini kullanan çeşitli sistemler geliştirilmiş ve bu sistemlerle ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi konumu sayesinde birçok ülkeye göre çok daha avantajlı durumdadır. Türkiye ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, ortalama yıllık toplam ısınım değeri $1527,46 \text{ kWh/m}^2$ dir. Harita 1.1'de de görüldüğü üzere Türkiye'nin özellikle güney bölgelerinde güneş enerjisi potansiyeli oldukça fazladır [1].



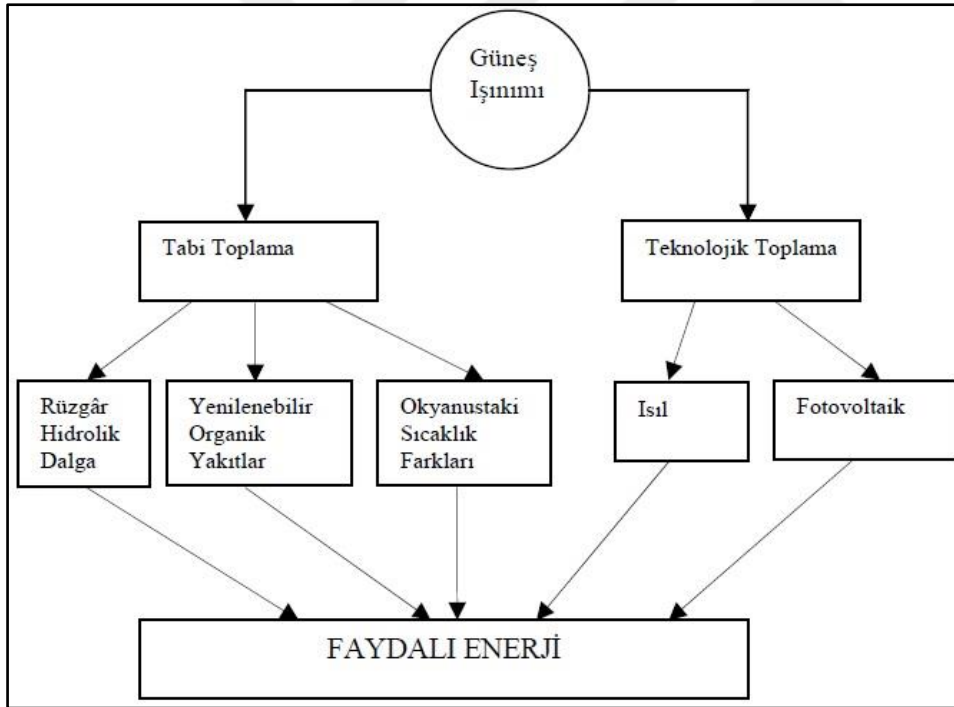
Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [1]

Güneş enerjisi sistemleri

Güneş enerjisinden fotovolttaik ve ısı toplama yöntemleri ile faydalı enerji elde edilmektedir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla fotovolttaik piller kullanılmaktadır. Isı toplama yöntemi kullanılarak güneş ısı enerji sistemleri vasıtası ile güneş enerjisi faydalı ısı enerjisine dönüştürülmektedir.

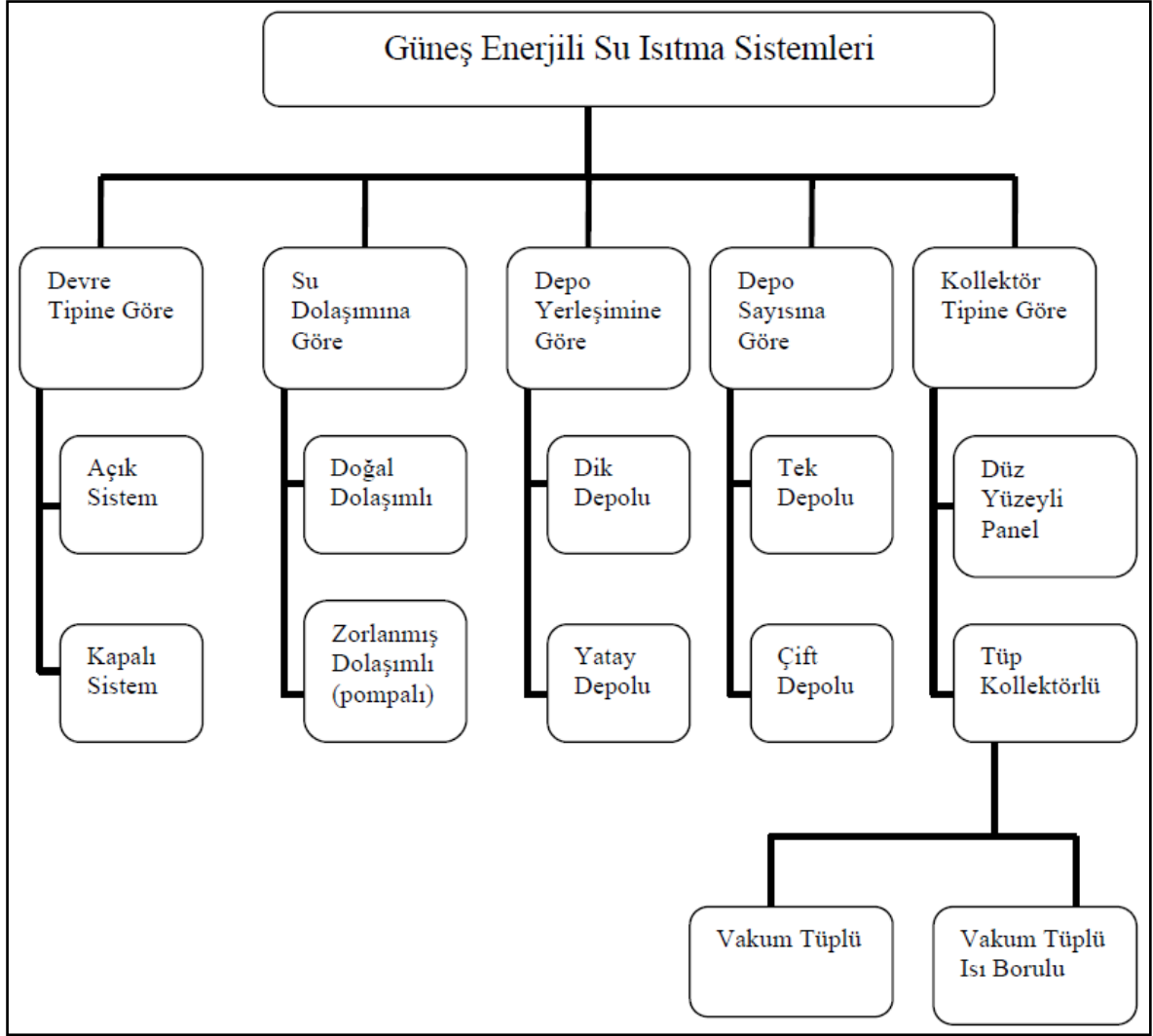
Güneş enerjisini faydalı enerjiye dönüştürmek için değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunların en yaygın olanları ısı ve fotovolttaik esaslardan yararlanılarak faydalı enerji üretme yöntemleridir.

Şekil 1.1’de genel olarak güneş enerjisini faydalı enerjiye dönüştürme yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri [2]

Güneş ısı enerji sistemleri genel olarak güneşten ışınım yoluyla aldıkları enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek bir ısı değiştiricisi vasıtası ile kullanım amacı doğrultusunda kullanan sistemlerdir. Güneş ısı sistemlerinde genel olarak güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Şekil 1.2’de güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin (GESIS) sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.2. GESIS sınıflandırılması [3]

Günümüzde düzlemsel ve vakum tüplü güneş kollektörleri en yaygın kullanılan güneş kollektörleridir. Güneş ışığından daha yüksek oranda faydalanabilme, düşük ısı kaybı, yüksek sıcaklık ihtiyacını karşılayabilme gibi avantajlarından ötürü vakum tüplü güneş kollektörleri çeşitli araştırmalara konu olmuş, yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Güneş kollektörlerinde ısı verim en önemli parametrelerden biridir. Isıl verimi artırmak için ısı transfer akışkanının termofiziksel özelliklerinin optimum düzeyde iyileştirilmesi en etkili yöntemlerdendir. Güneş kollektörleri tarafından güneşten ışıyım yoluyla alınan enerjiden ısıtıcı akışkanın birim zamanda alabileceği ısı miktarının artırılması verimi de pozitif anlamda etkilemektedir.

Yapılan çalışmalarda temel akışkanın ısı iletkenliğine oranla daha yüksek ısı iletkenliğine sahip olan metal, oksit metaller veya yüzey alanı yüksek olan karbonik nanomalzemeyi ısıtıcı temel akışkanın içerisine değişik metotlarla karıştırmanın, temel akışkanın ısı iletkenliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Nanoakışkan olarak adlandırılan yeni karışım ile temel akışkanın akışkanlık özelliği ile nanopartiküllerin daha yüksek ısı iletme özelliğinden faydalanılarak yüksek ısı iletim katsayısına sahip akışkan elde edilmiş olur. Nanoakışkanlarda genellikle saf su, etilen glikol, etanol, metanol gibi ısı transferi akışkanları temel akışkan olarak kullanılır. Nanopartikül olarak alüminyum oksit (alümina), bakıroksit, magnezyumoksit, titanyumoksit gibi metal oksitler, silisyum karbür gibi metal olmayan maddeler, demir, gümüş, kalay, altın gibi saf metaller ve karbon esaslı nanopartiküller kullanılmaktadır. Genel çalışma prensibi olarak ısı transferi mekanizmasını kullanan tüm ısıtma veya soğutma sistemlerinde nanoakışkanlar kullanılabilir [4].

Bu tez çalışmasında ısı borulu vakum tüplü bir güneş kolektöründe (IBVTGK) saf su kullanımı ile saf suya %2 CuO+MgO (50:50) nanopartikülleri karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın kullanımı durumlarında sistemin ısı verimleri deneysel olarak incelenecek ve karşılaştırılacaktır. Deney düzeneğinde saf su akışkanı kullanılarak yapılacak deney için 7 adet, nanoakışkan kullanılarak yapılacak deney için 7 adet olmak üzere toplam 14 adet ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü kullanılacaktır. Havanın açık olduğu günlerde deney düzeneğinden 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde kullanım suyu geçirilerek sabah 10:00 ile akşam 16:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla giriş-çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti değerleri ölçülerek saf su kullanımı ile nanoakışkan kullanımı durumlarında ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörünün ısı performansı karşılaştırılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında yapılan kaynak taramasında nanoakışkanların ve farklı çalışma akışkanlarının güneş kolektörlerinde ve ısı borularında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Araştırması yapılan tüm çalışmalarda nanoakışkan kullanımının ısı performansını olumlu etkilediği görülmüştür.

Ünvar ısı borulu düzlem yüzeyli güneş kolektörünün kütleli olarak %2 Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartikülleri ile saf su karışımından elde edilen nanoakışkanlar kullanılarak performansını deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneylerde saf su ile %48, Al_2O_3 partikülleri ile hazırlanan nanoakışkan ile %58, TiO_2 partikülleri ile hazırlanan nanoakışkan ile %64 verim elde edilmiştir [5].

Ahmadlouydarab ve arkadaşları temel akışkan olarak deiyonize su kullanılarak hacimsel olarak %0,1-%5 yoğunlukta TiO_2 nanopartikülleri ile hazırlanan nanoakışkan ile düz plaka güneş kolektöründe deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler sonucu yaklaşık %45 verimlilik artışı olduğu tespit edilmiştir. Güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının verimliliği artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [6].

Jamal-Abad ve arkadaşları Cu-su nanoakışkanlarını düzlemsel plaka güneş kolektörlerinde kullanarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda su içerisindeki nanoparçacıkların yüzdesel konsantrasyonu artırıldığında kolektör veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Cu-su nanoakışkanı kullanıldığında %24 oranında verimlilik artışı olduğu sonucuna varılmıştır [7].

Kılıç ve arkadaşları temel akışkan olarak saf su içerisine %2 TiO_2 karıştırarak elde ettikleri nanoakışkanı düzlemsel plaka güneş kolektöründe kullanarak deneysel incelemelerde bulunmuşlardır. Yapılan deneylerde düzlemsel plaka güneş kolektöründe TiO_2 ile elde edilen nanoakışkan ve saf su kullanımlarında anlık verim sırasıyla nanoakışkan için %48,67, saf su için %36,20 olarak tespit edilmiştir [8].

Ghaderian ve Sidik, temel akışkan olarak saf su içerisine %0,03 ve %0,06 oranlarında Al_2O_3 karıştırarak elde ettikleri nanoakışkanları vakum tüp güneş kolektöründe kullanarak deneysel incelemelerde bulunmuşlardır. 20 l/sa, 40 l/sa ve 60 l/sa akış debileriyle yapılan

deneylerde nanoakışkan içermeyen su için vakum tüplü güneş kolektörünün toplam ortalama enerji verimliliği sırasıyla %13,95, %17,51 ve %22,85 olarak hesaplanmıştır. Aynı debilerde %0,03 Al₂O₃ nanoakışkanları için yapılan deneylerde verimler %24,64, %32,72 ve %39,52, %0,06 Al₂O₃ nanoakışkanları için yapılan deneylerde verimler 20 l/sa akış debisinde %30,07, 40 l/sa akış debisinde %45,13 ve 60 l/sa akış debisinde %58,65 olarak tespit edilmiştir [9].

Moghadam, bakıroksit ve saf su ile hazırladığı nanoakışkanın güneş kolektöründeki performansa etkisini deneysel olarak incelemiştir. %0,4 oranında bakıroksit kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın farklı debilerde deneysel incelenmesi sonucu 1 kg/dk debideki nanoakışkanın sistem verimini yaklaşık %21 artırdığı ve en iyi sonucun 1 kg/dk debide elde edildiği gösterilmiştir [10].

Huang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörünün değişik giriş suyu sıcaklıklarında güneş kolektörünün termal verimliliği incelenmiştir. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe giriş su sıcaklığı arttıkça güneş kolektörünün veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Yaklaşık 150 °C giriş suyu sıcaklığında güneş kolektörünün veriminde %11,8 oranında artış olduğu görülmüştür [11].

Su tarafından ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü üzerinde deneysel incelemelerde bulunmuştur. Temel akışkan olarak su kullanarak içerisine TiO₂ nanopartikülleri karıştırmış ve elde edilen nanoakışkanı ısı borusuna ekleyerek deneysel incelemelerde bulunmuştur. Farklı debilerde yaptığı çalışmada içerisinde nanoakışkan bulunan güneş kolektörünün veriminin yaklaşık %48, içerisinde saf su bulunan güneş kolektörünün veriminin ise yaklaşık %37 olduğunu tespit etmiştir [12].

Noie ve arkadaşları temel akışkan olarak saf su kullanılarak hacimsel olarak %1-%3 yoğunlukta Al₂O₃ nanopartikülleri ile hazırlanan nanoakışkan ile iki fazlı kapalı termosifonda deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler sonucu iki fazlı kapalı termosifonda Al₂O₃/saf su nanoakışkanı kullanılması durumunda saf su kullanımına göre yaklaşık %14,7 verimlilik artışı olduğu tespit edilmiştir [13].

Huminc ve arkadaşları, temel akışkan olarak saf su kullanıp içerisine %2 ve %5 oranlarında demiroksit karıştırarak nanoakışkan elde etmiş ve farklı açılardaki ısı borusuna ekleyerek

deneysel incelemelerde bulunmuştur. Yaptığı çalışmada içerisinde %2 oranında demiroksit bulunan nanoakışkanın ısı transferinde yaklaşık %19 oranında artış sağladığı, çalışmada içerisinde %5 oranında demiroksit bulunan nanoakışkanın ısı transferinde yaklaşık %22 oranında artış sağladığı görülmüştür [14].

Chen ve arkadaşları, bakır ve bakıroksit ile hazırlanan nanoakışkanların ısı borularındaki performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Baz akışkan olarak saf su ve metanol içerisine bakır ve bakıroksit nanopartikülleri eklenerek hazırlanan nanoakışkanların ısı borusunun termal performansını artırdığı görülmüştür [15].

Topal'ın yaptığı çalışmada bakır oksit ve alüminyum oksit nanoparçacıklarının aseton, metanol ve antifriz baz akışkanları ile karıştırılarak elde ettikleri nanoakışkanın ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe deneysel olarak incelemiştir. Her bir baz akışkana bakır oksit ve alüminyum nanoparçacıkları ayrı ayrı eklenerek hazırlanan nanoakışkanlar ile yapılan deneylerde %51,4 ile %58,4 arasında sistem verimleri elde etmiştir [16].

Bubak tarafından yapılan çalışmada saf su ile Al_2O_3 , CuO ve TiO_2 nanopartikülleri %0,2, %0,4 ve %0,8 hacimsel oranlarında karıştırılarak nanoakışkanlar elde edilmiş ve 50, 150 ve 250 lt/dk debilerde düzlemsel yüzeysel güneş kolektöründe deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler sonucunda nanoakışkan kullanımının verimi arttırdığı gözlemlenmiştir [17].

Yıldırım, yaptığı çalışmada U-tüplü güneş kolektöründe akışkan olarak su ve temel akışkan olarak suyun içerisine %2 silisyum oksit ve %1 bakır, %1 silisyum oksit ve %2 bakır, %3 silisyum oksit ve %2 bakır, %2 silisyum oksit ve %3 bakır, %3 silisyum oksit, %3 bakır, %5 silisyum oksit, %5 bakır ekleyerek farklı hacimsel karışımlarda nanoakışkanlar kullanmış ve ısı performanslarını karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmada U-tüplü güneş kolektörünün ısı performansının suya göre %1,6 ile %15 arasında değişen oranlarda arttığı gözlemlenmiştir [18].

Ezen yaptığı çalışmada vakum tüplü güneş kolektörlerini 15° , 30° , 45° ve 60° açılarla yerleştirerek farklı açılardaki vakum tüplü güneş kolektörlerinin performanslarını deneysel ve teorik olarak değerlendirmiştir. Isparta ilinde gerçekleştirilen deneyde en yüksek verim

yaklaşık %60,3 ile 45° açıyla yerleştirilen vakum tüplü güneş kolektöründen elde edilmiştir [19].

Zamzamian ve Mansouri yaptıkları deneysel çalışmada Al_2O_3 (Alumina) nanopartiküllerinin %0,5 ve %1 oranlarda saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkan ile saf su akışkanının vakum tüplü güneş kolektörlerindeki ısı performansını incelemiştir. Saf su kullanarak yaptıkları deneyde vakum tüplü güneş kolektörünün ısı performansının %15,3, %0,5 Al_2O_3 kullanıldığında %25,7, %1 Al_2O_3 kullanıldığında 27,2 olduğu hesaplanmıştır. Saf suya göre değerlendirildiğinde %0,5 Al_2O_3 kullanıldığında ısı performansta %67,9, %1 Al_2O_3 kullanıldığında %77,7 artış olduğu görülmüştür [20].

Pise ve arkadaşları yaptıkları çalışmada saf su ile Al_2O_3 -saf su nanoakışkanının ısı borulu güneş kolektöründeki ısı performansını değerlendirmişlerdir. Nanoakışkan, saf su ile Al_2O_3 nanopartiküllerin %0,05, %0,25 ve %0,5 oranlarında karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Saf suya göre bakıldığında %0,05 oranlı Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %3,79, %0,25 oranlı Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %10,72, %0,5 oranlı Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için %15,24 performans artışı gözlemlenmiştir [21].

Eidan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri ayrı ayrı %0,025 ve %0,05 oranlarda aseton temel akışkanı ile karıştırılarak elde edilen nanoakışkanların IBVTGK'de ısı performansı deneysel olarak incelenmiştir. Al_2O_3 nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkanın %0,025 konsantrasyonunda %34, %0,05 konsantrasyonunda %74; CuO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkanın %0,025 konsantrasyonunda %32, %0,05 konsantrasyonunda %73 performans artışı gözlemlenmiştir [22].

Al-azmi ve arkadaşları ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde aseton, metanol, etilen glikol ve etanol akışkanlarının performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmada aseton, metanol, etilen glikol ve etanol akışkanları kullanıldığında kolektör verimleri sırasıyla %76, %74, %73 ve %70 olarak hesaplanmıştır. [23]

Mercan tarafından yapılan çalışmada temel akışkan olarak su ile farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın farklı sayılarda vakum tüplü güneş kolektörlerinde kullanılması durumunda ısı performansları

incelenmiştir. Farklı hacimsel oranlarda hazırlanan nanoakışkanların güneş kollektöründe akış debisi olarak 0,025 kg/s, 0,05 kg/s ve 0,07 kg/s ile ısı performansları analiz edilmiş ve akış debisi olarak 0,025kg/s ile en iyi ısı transferi gerçekleştiği gözlemlenmiştir. %5 hacimsel oranlı CuO-su nanoakışkanı için ısı transferindeki artış %6,8 iken %5 hacimsel oranlı Al₂O₃-su nanoakışkanı için ısı transferinde %4,13 artış meydana geldiği görülmüştür [24].

Aytaç yaptığı çalışmada temel akışkan olarak su içerisine kütleli olarak %2 oranında CuO ve ZnO nanopartikülleri karıştırarak CuO-su ve ZnO-su nanoakışkanlarını ısı borularında deneysel olarak incelemiştir. CuO-su nanoakışkanı için ısı dirençte en yüksek iyileşme %71,8 olurken ZnO-su nanoakışkanı için ısı dirençte en yüksek iyileşme %52,9 olarak elde edilmiştir [25].

Filiz ve Yetişken tarafından yapılan deneysel çalışmada atık ısı geri kazanım sistemi olarak düşünülen ısı borulu düzenekte temel akışkan olarak su içerisine toplam %2 konsantrasyonda CuO ve MgO nanopartikülleri ile temel akışkan olarak su içerisine toplam %2 konsantrasyonda Al₂O₃ ve MgO nanopartikülleri karıştırılarak hazırlanan hibrit nanoakışkanlar kullanılarak sistemin ısı performansı incelenmiştir. CuO+MgO/su nanoakışkanı için ısı performansta %77, Al₂O₃+MgO/su nanoakışkanı için ısı performansta %91 oranında iyileşme olduğu görülmüştür [26].

Tong ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada CuO nanopartiküllerinin %0,1, %0,3, %0,5 ve %0,7 oranlarında saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile saf su akışkanının düz plaka güneş kollektörlerindeki ısı performansını incelemişlerdir. %0,5 CuO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde düz plaka güneş kollektörünün ısı performansının saf su kullanımına göre %3,7 arttığı görülmüştür [27].

Ashour ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ZnO ve CuO nanopartiküllerinin %0,05, %0,1, %0,15 oranlarında saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile saf su akışkanının düz plaka güneş kollektörlerindeki ısı performansını incelemişlerdir. CuO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanıldığında düz plaka güneş kollektörünün ortalama verimi %81,64 olarak hesaplanmıştır [28].

Choudhary ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada MgO nanopartiküllerinin %0,08, %0,2 oranlarında etilen glikol-saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile etilen glikol-saf su akışkanının düz plaka güneş kolektörlerindeki ısı performansını incelemişlerdir. MgO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde düz plaka güneş kolektörünün en yüksek verimi %69,1 olarak hesaplanmıştır. MgO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde düz plaka güneş kolektörünün ısı performansının glikol-saf su kullanımına göre %16,36 arttığı görülmüştür [29].

Dehaj and Mohiabadi yaptıkları deneysel çalışmada MgO nanopartiküllerinin %0,014 ve %0,032 oranlarında saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile saf su akışkanının IBVTGK'deki ısı performansını incelemişlerdir. Saf su ve MgO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde IBVTGK'deki verimin sırasıyla maksimum %60 ve %77 olduğu görülmüştür [30].

Henein ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada MgO+MWCNT (Çok duvarlı karbon nanotüp) nanopartiküllerinin %0,02 oranında (50:50) su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile su akışkanının IBVTGK'deki ısı performansını incelemişlerdir. MgO nanopartikülleri ile elde edilen nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde IBVTGK'deki giriş-çıkış sıcaklık farkında %56 artış olduğu görülmüştür [31].

Janardhana ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada CuO+MgO nanopartiküllerinin %0,2 oranında (50:50) saf su temel akışkanına ilavesi ile elde ettikleri nanoakışkanlar ile saf su akışkanının düz plaka güneş kolektörlerindeki ısı performansını incelemişlerdir. Nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneyde düz plaka güneş kolektörünün ısı performansının saf su kullanımına göre %43,3 arttığı görülmüştür [32].

3. GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİ

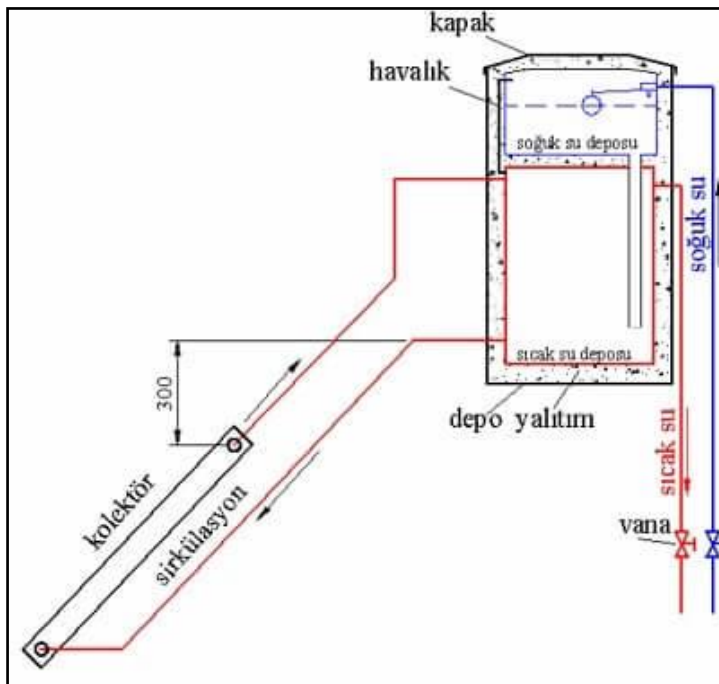
Akışkan ısıtılmasında güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu akışkanlar genellikle hava ve su olmakla birlikte güneş enerjisi genellikle sıcak su hazırlanmasında kullanılmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri kullanım suyunun yerine, amacına göre değişik tiplerde olabilmektedir.

3.1. Devre Tipine Göre GESİS

Devre tipine göre GESİS'in açık sistem ve kapalı sistem olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır.

3.1.1. Açık sistem

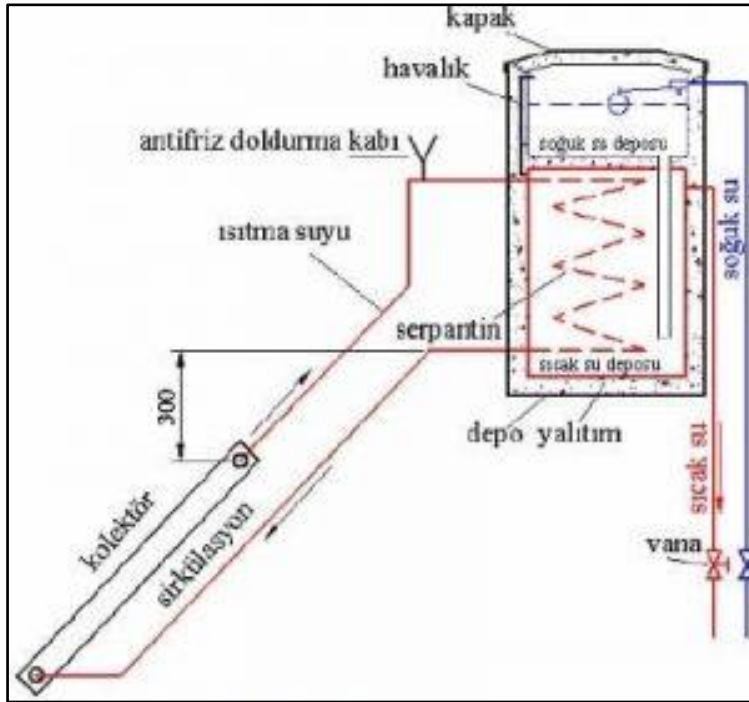
Açık sistemler kullanılacak suyun güneş kolektörlerinde direkt olarak dolaştığı sistemlerdir. Bu sistemlerde kolektörlerde kullanım suyu dolaştığından donma ve kireçlenmeye karşı antifriz kullanılması söz konusu değildir. Bu nedenler kolektörlerde kireçlenme ve donma riski nedeniyle suyu kireçsiz ve donma riski olmayan bölgelerde tercih edilebilmektedirler. Şekil 3.1'de açık devre GESİS şeması gösterilmiştir [33].



Şekil 3.1. Açık devre GESİS [33]

3.1.2. Kapalı sistem

Kapalı sistem güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kollektörden geçen su ile kullanım suyu aynı değildir. Kollektörden geçen su ısısını bir ısı değiştiricisi vasıtası ile kullanım suyuna aktarır. Kullanım suyu kollektörlerde direkt olarak dolaşmadığından kireçlenme ve donma riski yoktur. Açık sistemli GESIS'a göre verimleri daha düşüktür. Şekil 3.2'de kapalı devre GESIS şeması gösterilmiştir [3].



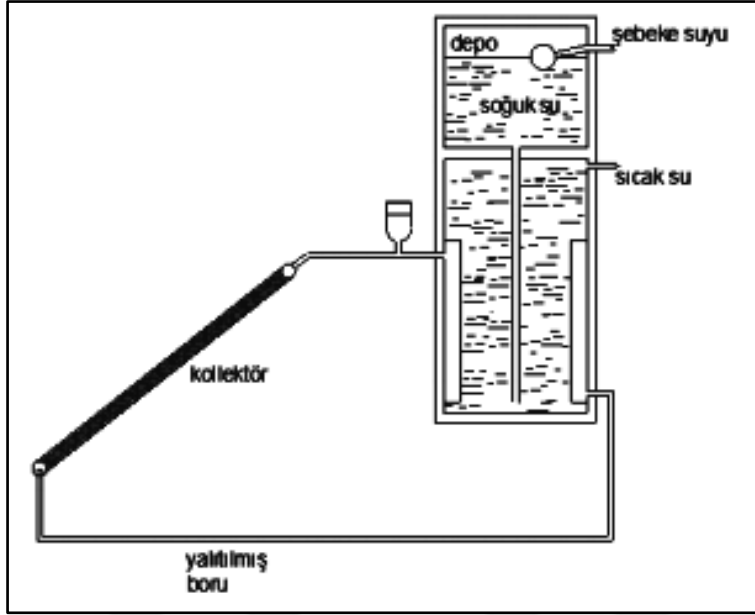
Şekil 3.2. Kapalı devre GESIS [33]

3.2. Su Dolaşımına Göre GESIS

Su dolaşımına göre güneş enerjili su ısıtma sistemleri suyun kollektörde dolaşımında pompa kullanılıp kullanılmamasına göre ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1. Doğal dolaşımli sistemler

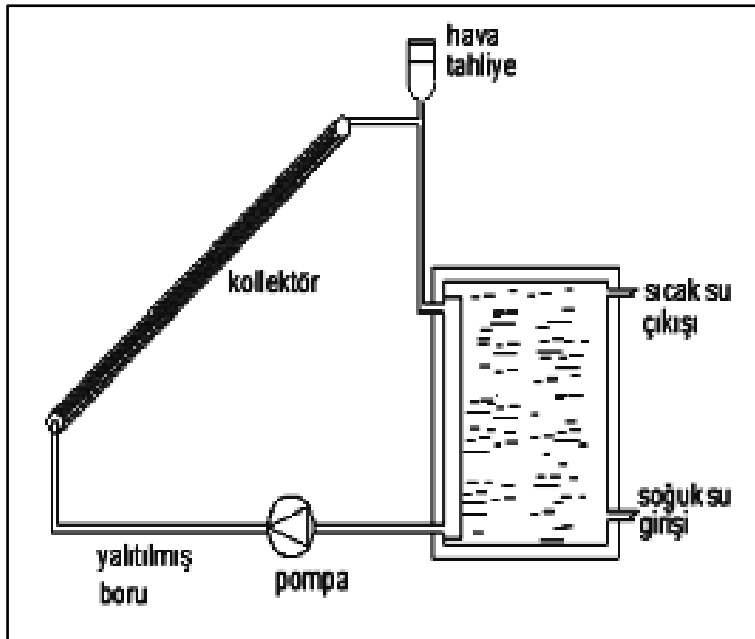
Doğal dolaşımli GESIS'larda kollektörde bulunan ısı transfer akışkanı güneş ışınları vasıtası ile ısınarak yoğunluğu düşer ve yükselir. Yükselen akışkan ısısını kullanım suyuna aktarır ve soğuyarak yoğunluğu artar ve tekrar kollektör ısınma bölgesine döner. Akışkan bu şekilde devir daim etmiş olur. Şekil 3.3'te doğal dolaşımli GESIS gösterilmiştir [34].



Şekil 3.3. Doğal dolaşimli GESIS [33]

3.2.2. Zorlanmış dolaşimli sistemler

Zorlanmış dolaşimli GESIS’larda su kollektörlerde pompa kullanılarak dolaştırılır. Suyun dolaşımı için pompa kullanıldığından deponun yeri ve yüksekliği önemsizdir. Bu nedenle genellikle büyük sistemlerde kullanılırlar. Şekil 3.4’te zorlanmış dolaşimli güneş enerjili su ısıtma sistemi şeması gösterilmiştir [33].



Şekil 3.4. Zorlanmış dolaşimli GESIS [33]

3.3. Depo Yerleşimine Göre GESIS

Depo yerleşimlerine göre GESIS dik depolu ve yatay depolu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.3.1. Dik depolu sistemler

Dik depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri herhangi bir pompa mekanizmasının kullanılmadığı doğal sirkülasyonlu kapalı devre sistemlerdir. Depo içerisinde iki bölüm bulunmaktadır. Deponun üst bölümünde soğuk su, alt bölümünde sıcak su bulunmaktadır. Kollektörde ısınan suyun yükselerek depo içerisinde ısı değiştiricisi vasıtası ile depodaki suyu ısıtması prensibiyle çalışmaktadır. Resim 3.1’de dik depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi gösterilmiştir [35].



Resim 3.1. Dik depolu GESIS [35]

3.3.2. Yatay depolu sistemler

Yatay depolu GESIS’ da sıcak su ve soğuk su depoları yatay şekilde yerleştirilir. Bu sistemler kapalı devre, açık devre, doğal dolaşimli ve zorlanmış dolaşimli olabilmektedir. Resim 3.2’de yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi gösterilmiştir [35].



Resim 3.2. Yatay depolu GESIS [35]

3.4. Depo Sayısına Göre GESIS

Depo Sayısına Göre GESIS tek depolu ve çift depolu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.4.1. Tek depolu sistemler

Tek depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri herhangi bir pompaya ihtiyaç duymadan doğal sirkülasyonlu şekilde çalışırlar. Güneşten aldığı enerjiyle ısınan çalışma akışkanının yoğunluğu azalarak yükselir ve ısınıp depo içerisindeki kullanım suyuna aktarır. Herhangi bir şamandıraya ihtiyaç olmayan bu sistemlerde soğuk su girişindeki şebeke basıncı ile kollektörde ısınan kullanma suyunun basıncı aynıdır. Resim 3.3'te tek depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi gösterilmiştir [35].



Resim 3.3. Tek depolu GESIS [35]

3.4.1. Çift depolu sistemler

Çift depolu GESIS'larda üstte soğuk su deposu altta sıcak su deposu bulunmaktadır. Açık devre ve kapalı devre şeklinde çalışabilmektedir. Soğuk su deposundan sıcak su deposuna geçen soğuk su burada güneş kolektörleri vasıtası ile ısınarak kullanıma sunulur. Kullanılan suyun yerine şebekeden tekrar soğuk su girişi sağlanır. Resim 3.4'te çift depolu GESIS gösterilmiştir [35].



Resim 3.4. Çift depolu GESIS [35]

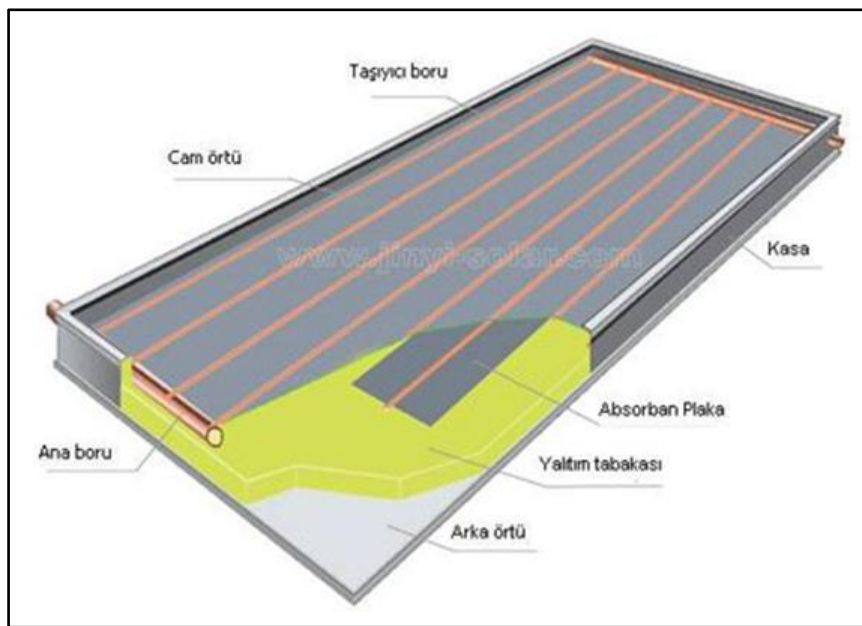
3.5. Kollektör Tipine Göre GESİS

Kollektör tipine göre GESİS kullanım yeri ve amacına göre düzlemsel ve tüp kollektörlü olmak ikiye ayrılmaktadır.

3.5.1. Düzlemsel sistemler

Düzlemsel güneş enerjili su ısıtma sistemleri güneşten aldıkları enerji ile sıcak su üretimi sağlayan sistemlerdir. Düzlemsel güneş kollektörleri genel olarak saydam örtü, absorbe edici plaka, akışkan taşıyıcı borular, yalıtım tabakası ve bu bölümleri bir arada tutan kasadan oluşmaktadır. Güneş ışınları saydam cam tabakadan geçerek absorbe edici bölüme ulaşır ve bu bölgenin sıcaklığını artırır. Bu bölgede depolanan ısı, akışkan boruları içerisindeki ısı transfer akışkanına aktarılarak akışkan sıcaklığını artırır.

Düzlemsel güneş kollektörlerinde kullanım yeri ve amacına göre ısı transfer akışkanı olarak sıvı veya gaz kullanılabilir. Büyük binaların ve endüstriyel işletmelerin ısıtılmasında ısı transfer akışkanı olarak sıvı akışkan kullanılırken daha küçük işletme ve konutlarda gaz akışkan kullanılabilir. Şekil 3.5'te düzlemsel güneş kollektörü yapısı gösterilmiştir [3].



Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kollektörü yapısı [3]

3.5.2. Tüp kollektörlü sistemler

Tüp kollektörlü güneş enerjili su ısıtma sistemleri güneşten yayılan enerjiyi ısı enerjisine çevirmek amacıyla iç içe geçirilmiş ve vakumlanmış iki silindirik tüpten oluşan kollektörlerdir. İki silindirik boru arasındaki vakumlanmış bölge sayesinde hava yoluyla oluşan ısı transferi ortadan kaldırılması amaçlanır. Böylece iyi bir ısı yalıtımı sağlanmış olur. Güneş ışınları dıştaki saydam cam boru veya cam plakadan geçerek dış boru ile aynı ekseninde bulunan siyah renkli cam veya madeni boruya ulaşır. Güneş ışığını emen siyah renkli cam boru içinden geçen akışkanı ısıtır. İç ve dıştaki borular arasındaki hava vakumlanmış olduğundan konveksiyon kayıpları en aza indirilmiş olur. İçteki siyah renkli cam borudan geçen akışkan vasıtası ile kullanılması planlanan su veya hava ısıtılmış olur. Resim 3.5'te vakumlu cam tüp gösterilmiştir [2].



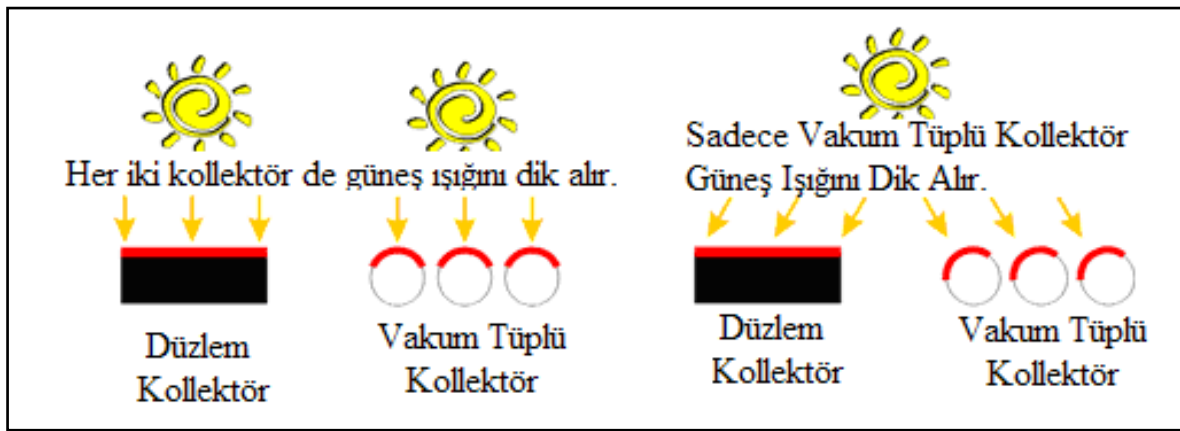
Resim 3.5. Vakumlu cam tüp [2]

Düzlemsel güneş kollektörlerinin cam yüzeylerinde konveksiyon yoluyla büyük kayıplar meydana gelmektedir. Vakum tüplü güneş kollektörlerinde dıştaki saydam cam ile içteki emici cam arasındaki hava vakumlanarak konveksiyon kayıpları azaltılmış olur.

4. VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

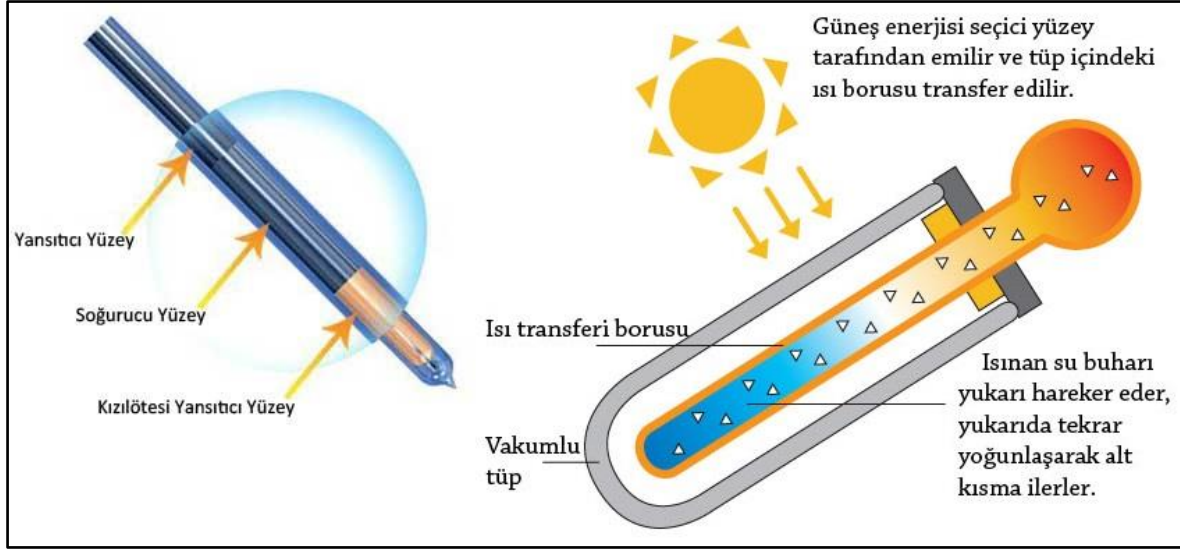
Vakum tüplü güneş kollektörleri (VTGK) silindirik cam tüpleri vasıtası ile güneş ışınlarını gün boyunca dik açıyla almaktadırlar. Böylece güneş ışınlarından maksimum verim almak mümkün hale gelmiş olur.

Şekil 4.1’de güneş ışınlarının düzlemsel güneş kollektörleri ile vakum tüplü güneş kollektörlerine farklı açılarla gelişi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş ışınlarının düz ve vakum tüplü kollektörlere geliş açıları [3]

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi vakum tüplü güneş kollektörleri soğurucu yüzeyleri tarafından emilen güneş enerjisini içerisindeki akışkana aktararak akışkanın buharlaşmasını sağlar. Buharlaşan akışkan yükselerek kollektörün üst tarafında bulunan yoğuşturucu bölgesine ilerler ve burada gizli ısını kullanım suyuna aktarır ve yoğuşarak damla damla alt bölgelere akar.

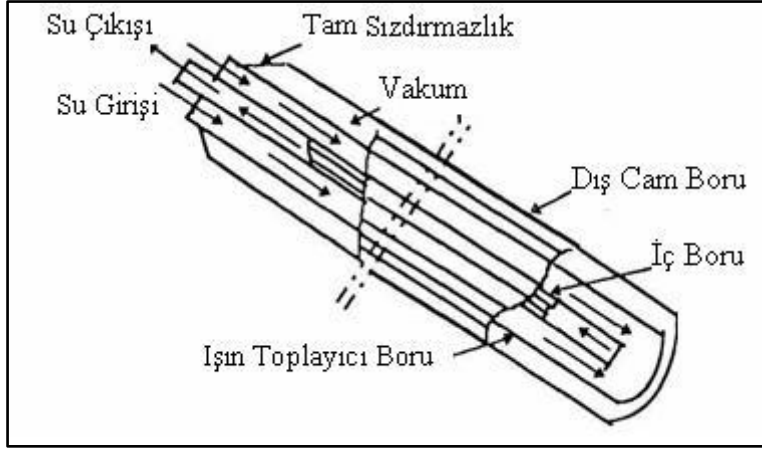


Şekil 4.2. Vakum tüplü güneş kolektörleri genel çalışma prensibi [16]

Genel olarak iki tip vakum tüplü güneş kolektörü bulunmaktadır. Bunlar direkt akışlı vakum tüplü güneş kolektörleri (VTGK), ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörleridir (IBVTGK) [36].

4.1. Direkt Akışlı VTGK

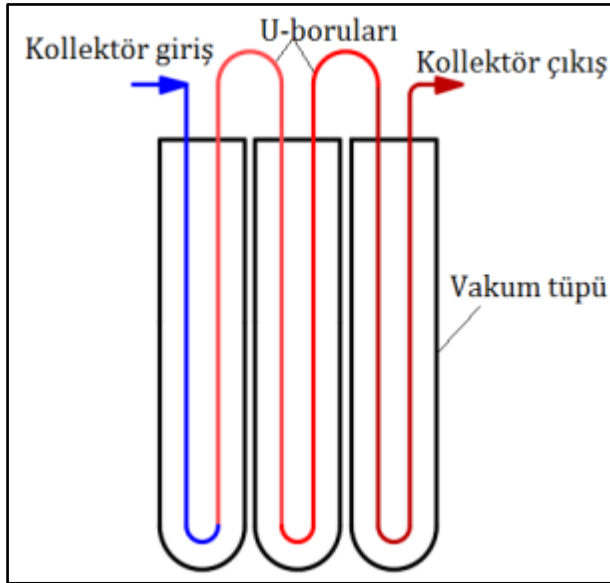
Direkt akışlı VTGK’de çalışma akışkanı vakum tüp içerisinden direkt olarak akmaktadır. Akışkan ısınıp güneş ışınlarını soğuran cam tüpten direkt olarak almaktadır. Direkt akışlı vakum tüplü güneş kolektörlerin koaksiyel (eş eksenli) ve U borulu olarak iki tipi bulunmaktadır. Şekil 4.3’te gösterildiği gibi koaksiyel vakum tüplü güneş kolektörleri aynı eksenle iç içe geçirilmiş üç borudan oluşmaktadır. En dıştaki şeffaf cam boru ile güneş ışınlarını emen ortadaki cam boru arasındaki hava vakumlanarak ısı kaybı minimuma indirilir. Akışkan en içteki boru ile güneş ışınlarını toplayan ortadaki boru arasından geçerken ısınır ve en içteki borudan ısınmış şekilde çıkarak kullanıma sunulur [36].



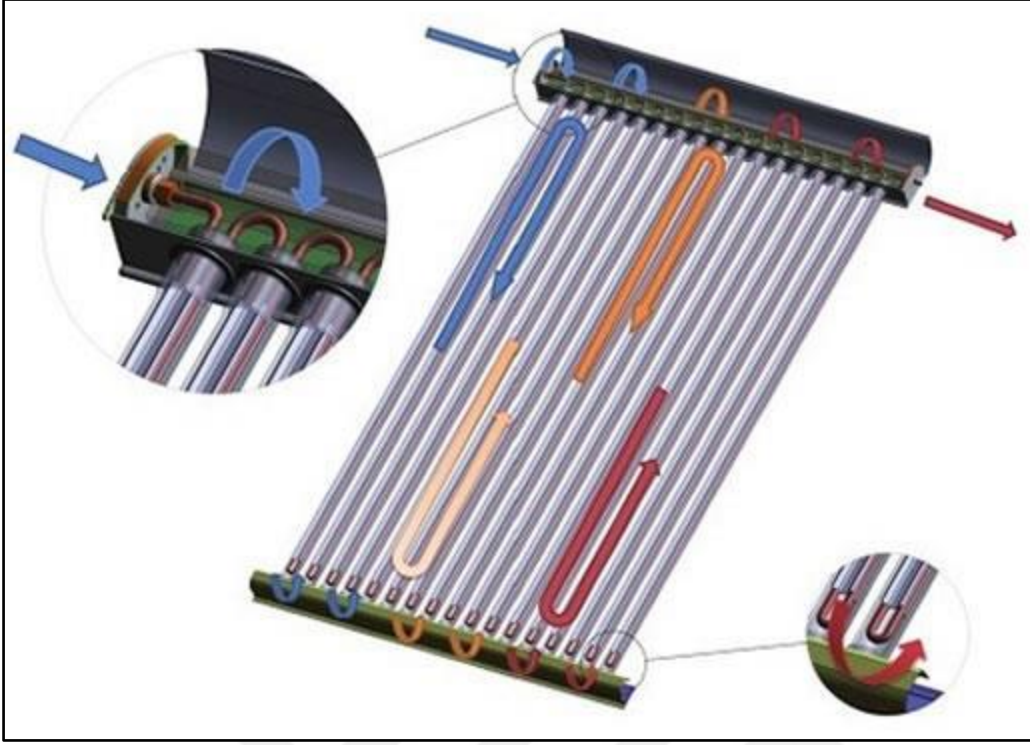
Şekil 4.3. Eş eksenli vakum tüplü güneş kolektörü yapısı [2]

Vakum tüplü U borulu güneş kolektörlerinde güneş ışınları dıştaki şeffaf cam tüpten geçerek içteki yutucu plaka tarafından emilmektedir. U şeklindeki bakır boru içerisinde dolaşan akışkan yutucu plakadan ısı alarak ısınır. Böylece kolektör girişinden giren akışkan tüm vakum tüplü kolektörlerden ısı alarak sıcaklığını artırmış şekilde kolektör çıkışından çıkmaktadır.

Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te vakum tüplü U borulu güneş kolektörünün çalışma prensibi gösterilmektedir.

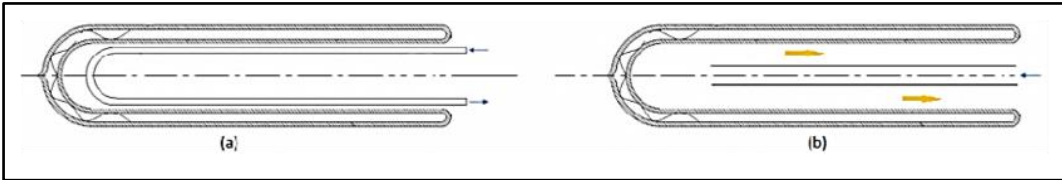


Şekil 4.4. Vakum tüplü U borulu güneş kolektörü çalışma prensibi [37]



Şekil 4.5. Vakum tüplü U borulu güneş kolektörü [37]

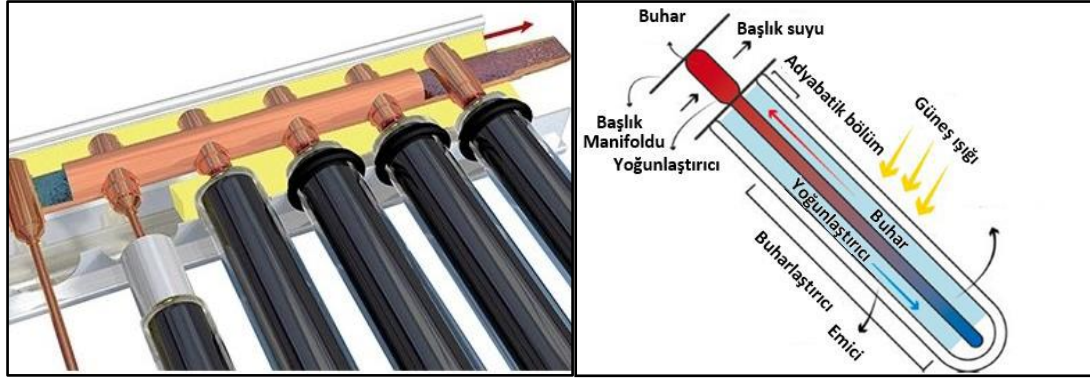
Şekil 4.6’da u borulu ve eş eksenli direk akışlı vakum tüplü güneş kolektörleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Direkt akışlı vakum tüplü güneş kolektörleri a) u borulu b) eş eksenli [36]

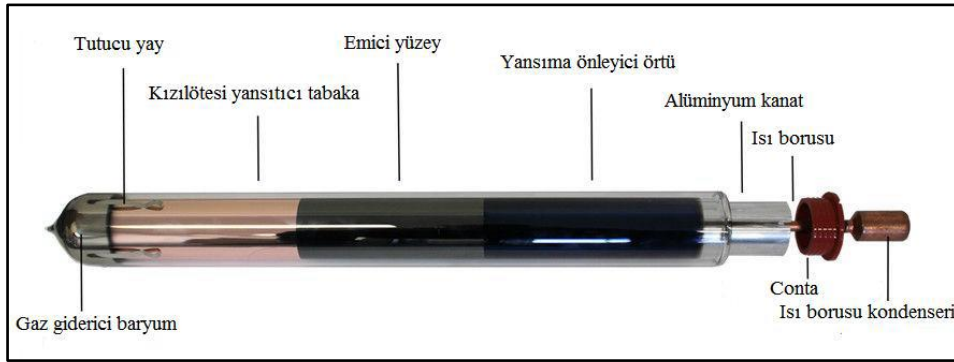
4.2. Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

IBVTGK’de cam tüp içerisinde bir ısı borusu bulunmaktadır. Kullanım akışkanı ısı borusu vasıtası ile ısıtılarak kullanıma sunulur. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinin değişik uygulama alanları vardır. Genellikle kullanım suyu ve hacim ısıtmasında kullanılmaktadır. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinin ısı borusunun dışarı ısı veren yoğuşturucu bölümü ile temas eden kullanım akışkanının su veya hava olmasına göre kullanım alanları değişmektedir. Şekil 4.7’de şematik olarak ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü gösterilmiştir.



(a)

(b)



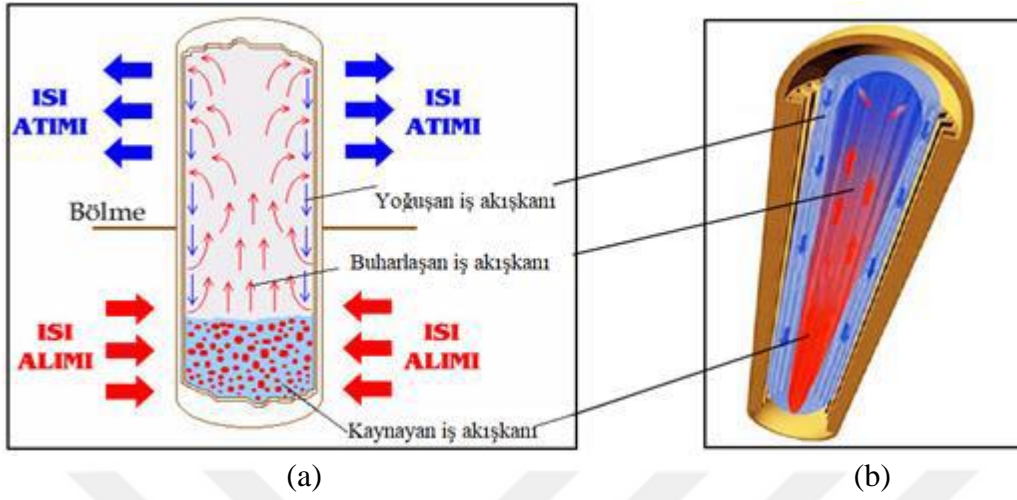
(c)

Şekil 4.7. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörü bağlantısı (a), çalışma şekli (b) ve bölümleri (c) [36]

4.2.1. Isı borusu

Isı borusu, içerisinde yaklaşık 1/3 oranında çalışma akışkanı bulunan içerisindeki hava vakumlanmış ve iki ucu kapalı metal bir borudur. Isı borusunun yoğunlaştırıcı bölgesi kullanım suyuna temas edecek şekilde bir deponun içerisine veya akış bölgesine konumlandırılır. Isı borusunun cidarında kullanılan fitil adı verilen kılcal yapı sayesinde çalışma akışkanının akışı düzenlenir. Isı borusunun buharlaştırıcı bölümünde çalışma akışkanı güneş ışınları vasıtasıyla sıvı fazdan buhar fazına geçer ve ısı borusunun yoğunlaştırıcı bölgesine yükselir. Sıcak buharın etkisiyle ısı borusunun yoğunlaştırıcı bölgesi ısınarak ısıyı iletim yoluyla kullanım suyuna aktarır ve soğuyan buhar yoğunlaşarak tekrar sıvı faza geçer. Isı borusunun yoğunlaştırıcı bölgesinde sıvı faza geçen çalışma akışkanı fitilin kılcallık etkisiyle tekrar buharlaştırıcı bölgesine geçer. Faz değişimi esasına dayanan bu sistem tekrarlandığı sürece kullanım suyu ısıtılmış olur [38].

Şekil 4.8’de en genel anlamda ısı borusunun çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Isı borusu çalışma süreci (a) ve kesit görünüşü (b) [38]

Isı borusunun buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesi arasındaki düşük sıcaklık farklarında bile bu bölgeler arasındaki ısı akımı oldukça hızlı gerçekleşmektedir. Isı borusunun başlıca avantajları [3];

- Isı transferi kolaydır.
- Gürültüsüz çalışır.
- Isı borusu üzerindeki sıcaklık stabildir.
- Ters akış yoktur.
- Çalışma akışkanının özelliğine göre farklı çalışma sıcaklıkları sağlamak mümkündür.

Isı borusunu veriminin yüksek olabilmesi için boru materyallerinin sahip olması gereken bazı özellikleri vardır. Bunlardan başlıcaları [3];

- Isı borusunun minimum et kalınlığında en yüksek basınca dayanıklı olmalı,
- Yüksek ısı iletim özelliğinde olmalı ve hızlı ısınabilmeli,
- Çalışma akışkanına uyumlu olmalı,
- İçerisine çalışma akışkanı doldurulduktan sonra vakumlama işlemi iyi yapılmalı,
- Farklı sıcaklıklarda çalışmaya uygun olmalı,
- İçerisine doldurulan çalışma akışkanı ile kimyasal tepkimeye girmemeli,
- Üzerindeki sıcaklık boru boyunca homojen yayılmalı,

Isı borusunun malzemesi, içerisindeki çalışma akışkanına uygun niteliklerde olmalıdır. Bunun yanında bir ısı borusu seçilirken veya tasarlanırken çalışma akışkanının termofiziksel özellikleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 4.1’de bazı ısı borusu malzemeleri ile yaygın kullanılan bazı çalışma akışkanlarının uyumlulukları gösterilmiştir [40].

Çizelge 4.1. Temel akışkanların ısı borusu malzemeleri ile uyumlulukları

Malzeme	Temel akışkanlar			
	Amonyak	Aseton	Su	Metanol
Alüminyum	UÖ	KÖ	TSG	KZ
Paslanmaz çelik	UÖ	UÖ	YSG	YSG
Nikel	UÖ	KB	KB	KÖ
Bakır	KZ	UÖ	UÖ	UÖ

UÖ : Uygulamalarda önerilmektedir.

TSG : Tüm sıcaklıklarda gaz açığa çıkmaktadır.

YSG : Yüksek sıcaklıklarda gaz açığa çıkmaktadır.

KZ : Kullanılamaz.

KB : Kullanılabilir.

KÖ : Kaynaklarda önerilmektedir.

Isı boruları, temel akışkanının termofiziksel özelliklerine bağlı olarak farklı sıcaklık uygulamalarına göre değişik sınıflara ayrılmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan düşük sıcaklık ısı borularında temel akışkan olarak; Helyum, Azot, Argon, Neon, Nitrojen ve Oksijen kullanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan orta sıcaklık ısı borularında temel akışkan olarak; amonyak, metanol, etanol, su ve aseton kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan yüksek sıcaklık ısı borularında temel akışkan olarak; civa, sodyum, potasyum, gümüş, sezyum ve lityum kullanılmaktadır [39].

Isı borularında kullanılacak çalışma akışkanı seçilirken ilk olarak çalışma akışkanının kaynama ve donma noktası, kullanım aralıkları gibi sıcaklık özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu özelliklere uygun birden fazla çalışma akışkanı bulunması durumunda sistemin niteliklerine göre aşağıdaki özellikler aranmalıdır [40].

- Isı borusunun malzemesine uyumlu olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda bozulmadan istikrarlı şekilde çalışmalıdır.
- Yüksek buharlaşma ısısına sahip olmalıdır.
- Yüksek ısı transfer katsayısına sahip olmalıdır.
- Yüzey gerilimi yüksek olmalıdır.
- Çalışma şartlarına uygun donma noktası olmalıdır.
- Zehirli olmamalıdır.
- Temini kolay ve ucuz olmalıdır.

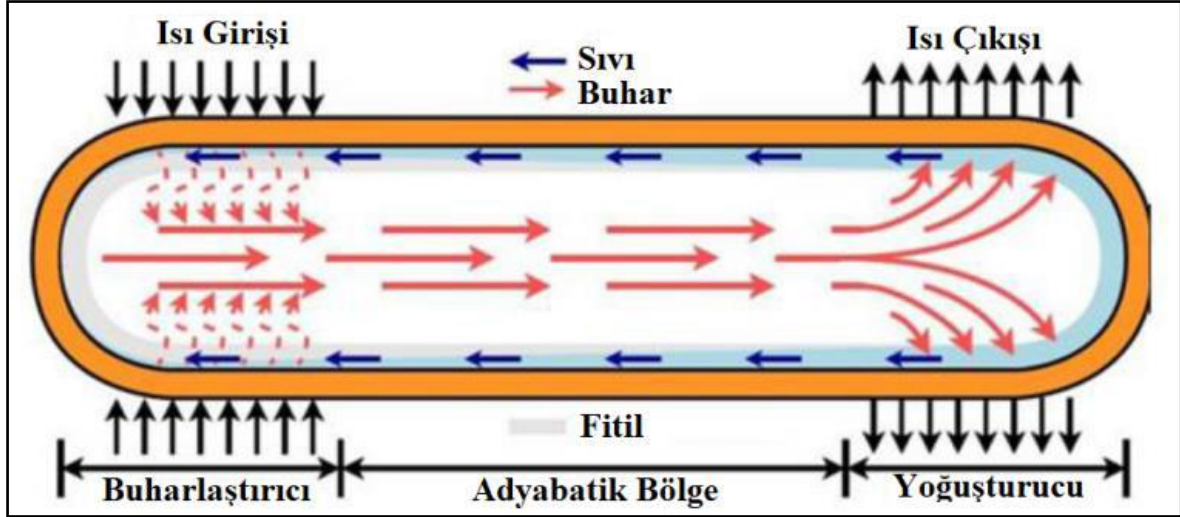
Isı borusu çeşitleri

Isı boruları, kullanım alanlarına göre farklı tasarımlarda üretilebilmektedirler. Isı borularının çeşitleri geometrik olarak şekillerine, işlevlerine ve çalışma akışkanını yoğunlaştırıcı bölümden buharlaştırıcı bölüme aktarım yöntemlerine göre adlandırılır.

Konvansiyonel ısı borusu

Konvansiyonel ısı boruları içerisinde belirli bir miktarda çalışma akışkanı ve fitil bulunan, havası vakumlanmış, iki ucu kapalı ısı borularıdır. Buharlaştırıcı bölge, adyabatik bölge ve yoğunlaştırıcı bölge bölümlerinden oluşmaktadır.

Çalışma akışkanı buharlaştırıcı bölgesinde ısınarak buharlaşır ve yoğunlaştırma bölgesine geçer. Yoğunlaştırıcı bölgesinde ısınıp bırakarak yoğunlaşan çalışma akışkanı fitilli yapı sayesinde kılcallık etkisiyle tekrar buharlaştırıcı bölgeye döner. Konvansiyonel ısı borusunun çalışma şekli Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



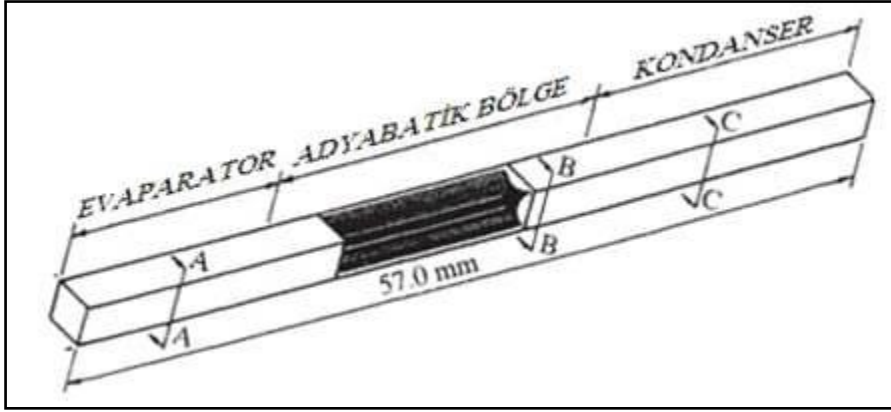
Şekil 4.9. Isı borusu çalışma şekli [38]

Mikro oluklu ısı borusu

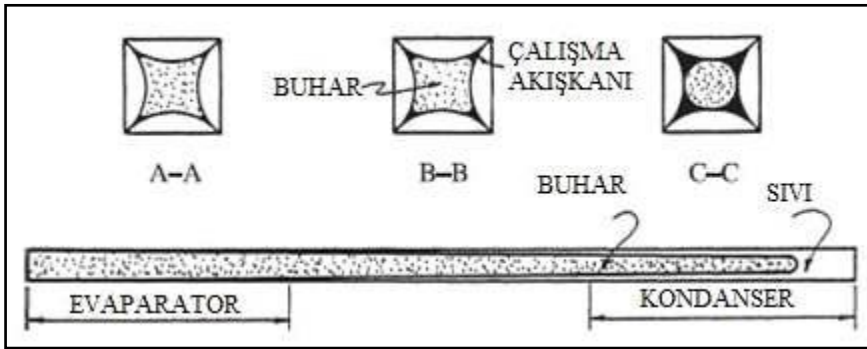
Artan teknoloji sayesinde elektronik alanında kullanılan komponentlerin boyutları gün geçtikçe küçülmektedir. Büyük boyutlu elektronik bileşenlerin soğutulmasında kullanılan geleneksel soğutucuları mikro boyuttaki bileşenlerde kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle ihtiyaca cevap verebilecek mikro boyutlarda ısı boruları geliştirilmiştir. Belirli bir sıcaklık aralığında çalışmak zorunda olan bu elektronik bileşenlerin ısılarını sistem dışına aktarmak amacıyla iç duvarları konveks yay şeklinde olan ısı boruları kullanılmaktadır [41].

Mikro oluklu ısı borusu ile ilgili zaman içerisinde farklı geometrilerdeki verimlerini incelemek amacıyla çalışmalar yürütülmüş ve bu çalışmalar neticesinde kanalların köşelerinin keskin olması mikro oluklu ısı borusunun verimini etkileyen en önemli parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle yıldız şeklindeki kanal kesitli mikro oluklu ısı borularının performanslarının diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür [42].

Şekil 4.10'da Babin ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve oluk kesiti konveks yay şeklinde olan bir mikro oluklu ısı borusu gösterilmiştir.



(a)



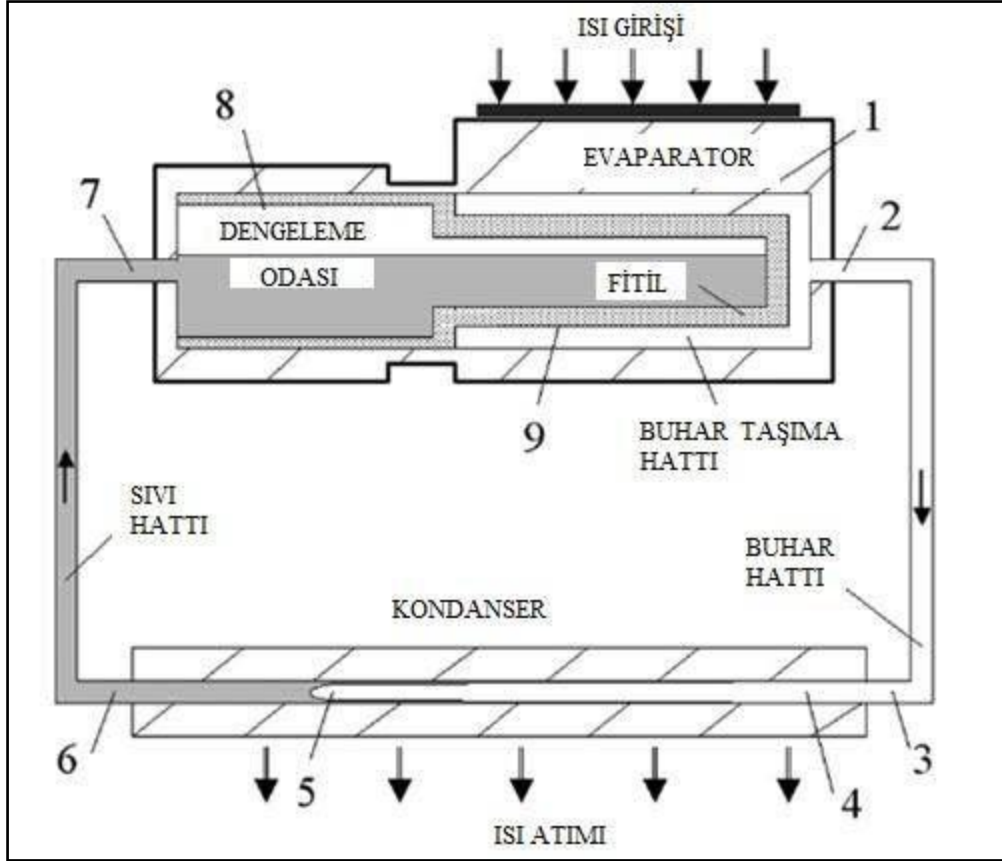
(b)

Şekil 4.10. Mikro oluklu ısı borusu bölümleri (a) ve detay görünüşü (b) [41]

Döngülü ısı borusu

Şekil 4.11’de gösterildiği gibi döngülü ısı boruları buharlaştırıcı bölümü, yoğuşturucu bölümü, dengeleme odası bölümü, fitil, buharın ve sıvının geçtiği düz borulardan oluşmaktadır. Buharlaştırıcı bölgedeki fitil ince gözeneklerle yapılmıştır. Dengeleme odasındaki fitil ise sıvı giriş çıkışını yönetmek amacıyla daha büyük gözenekli yapıdadır [43].

Döngülü ısı borusunun buharlaştırıcı bölümünde akışkan buharlaşır ve buhar kılcal kuvvetler etkisiyle yoğuşturucu bölümüne taşınır. Yoğuşturucu bölümünde ısını dışarıya atan buhar yoğunlaşarak tekrar sıvı fazına geçer. Oluşan kılcal kuvvetler sıvıyı tekrar buharlaştırıcı bölümüne itmeye devam eder. Dışarıdan herhangi bir pompalama gücüne gerek duyulmaksızın bu döngü devam eder. Dengeleme odası fazla sıvıyı ve çalışma sıcaklığını dengeler [43]. Konvansiyonel ısı boruları ile aynı prensipte çalışan fakat yer çekimi değişimlerinden etkilenmeyen döngülü ısı boruları özellikle uzay teknolojilerinde yüksek verimli ısı transferleri amacıyla kullanılmaktadır [44].



Şekil 4.11. Döngülü ısı borusu [45]

Termosifon tipi ısı borusu

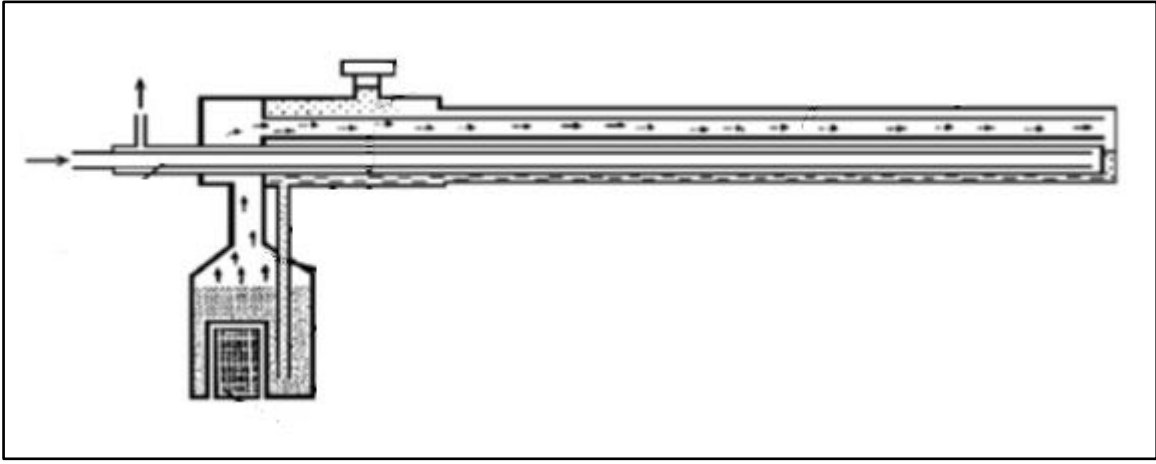
Termosifon tipi ısı borularında içerisindeki akışkanın hareketi yerçekimi kuvveti sayesinde gerçekleşmektedir. Buharlaştırıcı bölümde ısıtılan akışkan buharlaşarak ısı borusunun içini kaplamaya başlar. Yoğuşturucu bölümüne ulaşan buhar burada ısını dışarı aktararak sıvı faza geçer ve yerçekimi etkisiyle tekrar buharlaştırıcı bölümüne akar. Bu tip ısı borularında fitilli yapı bulunmamaktadır [46].

Termosifon tipi ısı borularında çalışma akışkanının buharlaştırıcıda buharlaştıktan sonra buhar akış yolu ile buharın yoğuşturucuda tekrar sıvı faza dönüştükten sonra izlediği sıvı akış yolu bir çeperle birbirinden ayrılmıştır. Bu tip termosifonların avantajları [44]:

- Sıvı ve buhar akışları bir çeperle ayrıldığından sürtünme kayıpları olmayacağı için ısı transfer performansı yüksektir.
- Termosifonun termal direnci düşüktür.

- Eş eksenli boşluktaki buhar akışı yoğuşmayan buharı buhar tutucu bölümüne iter. Yani termosifon içindeki yoğuşmayan gazlarla çalışmaya isteklidir.
- Isıyı yatay yönde uzun mesafelere aktarabilme özelliğinden ötürü geleneksel termosifonlardan ayrılır.

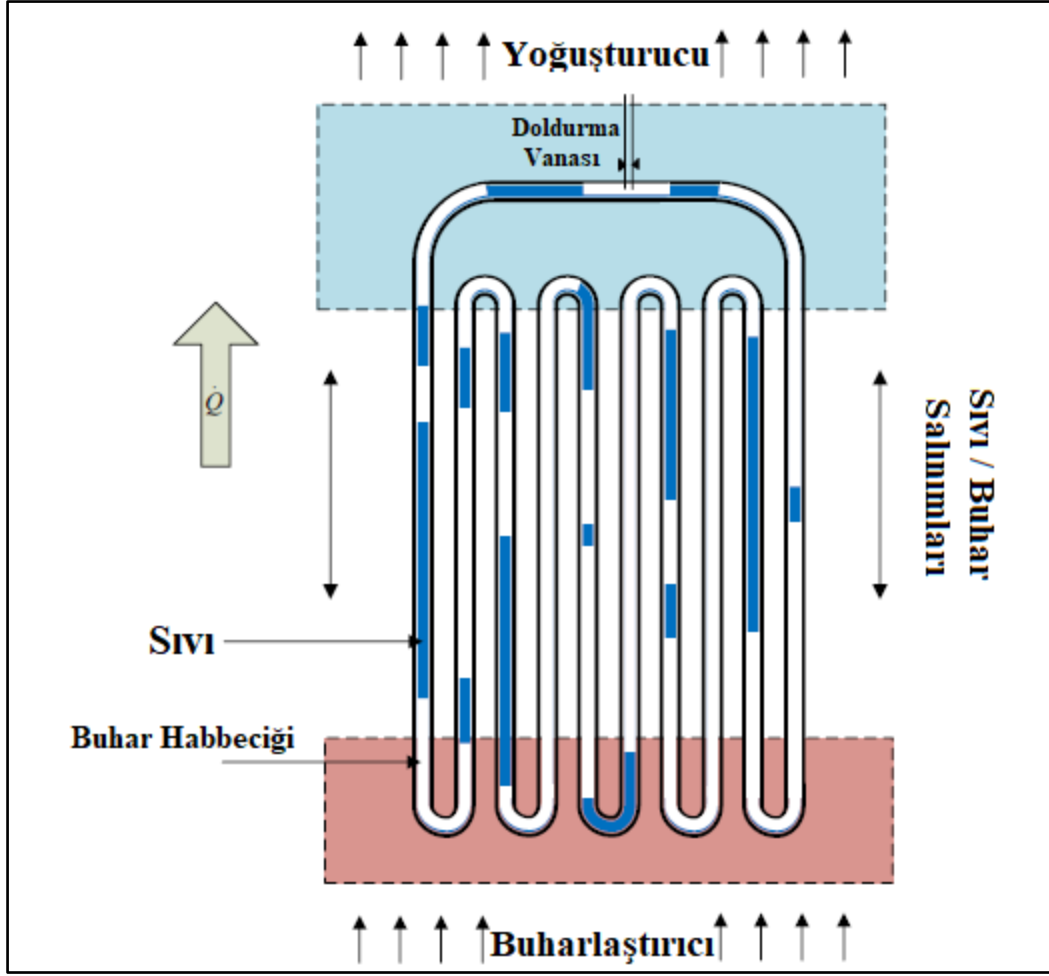
Şekil 4.12’de termosifon tipi ısı borularının genel bölümleri gösterilmiştir. Burada bir ısıtıcı vasıtası ile ısıtılan akışkan buharlaşarak ısı borusu boyunca ilerler ve kullanım suyunu ısı transferi yoluyla ısıtır. Yoğuşma bölgesine ulaşan buhar yoğuşarak tekrar sıvı faza geçer ve kazan bölümüne geri döner.



Şekil 4.12. Termosifon [46]

Titreşimli ısı borusu

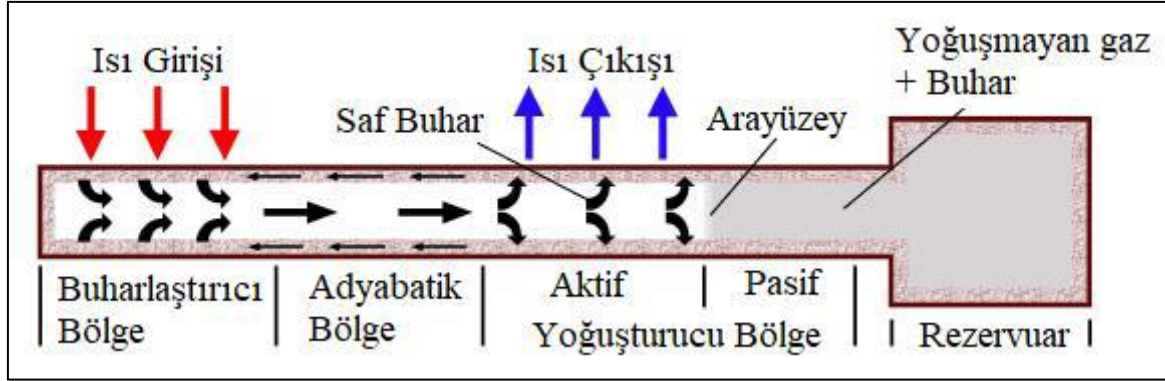
Şekil 4.13’te gösterildiği gibi titreşimli ısı boruları ince kılcal bir borunun S şeklinde kıvrımlar halinde bükülmesi sonucu oluşur. Konvansiyonel ısı borularında olan fitilli yapı bu tip ısı borularında bulunmamaktadır. Kılcal boru içerisindeki yüzey gerilimi etkisiyle akışkan arasında rastgele dağılmış buhar baloncukları oluşur. Titreşimli ısı borusunun buharlaşma bölümü ısıtıldığında akışkan buharlaşır ve buhar basıncı artarak akışkanı yoğuşma bölgesine doğru iter. Yoğuşma bölgesinde akışkan soğuyarak basıncı düşer ve buhar baloncuklarının etkisiyle tekrar buharlaşma bölgesine aktarılır. İki uç arasındaki farklı basınç ve yan yana borular arasındaki basınç dengesizliği sonucu akışkan, buharlaşma ve yoğuşma bölgesi arasından kararsız bir titreşim hareketi yapar [44].



Şekil 4.13. Titreşimli ısı borusu [47]

Yassı plaka ısı borusu

Yassı plaka ısı borusu dikdörtgen şeklindeki bakır plakaların birleştirilmesi sonucu oluşur. Yassı plaka ısı borusunun buharlaştırıcı bölgesinde ısınarak buharlaşan çalışma akışkanı yoğuşturucu bölgesine geçer ve burada ısınıp vererek yoğuşur. Sıvı faza geçen çalışma akışkanı kılcallık etkisiyle buharlaştırıcı bölgeye geçer [48]. Şekil 4.14'te yassı plaka ısı borusunun bölümleri gösterilmiştir.

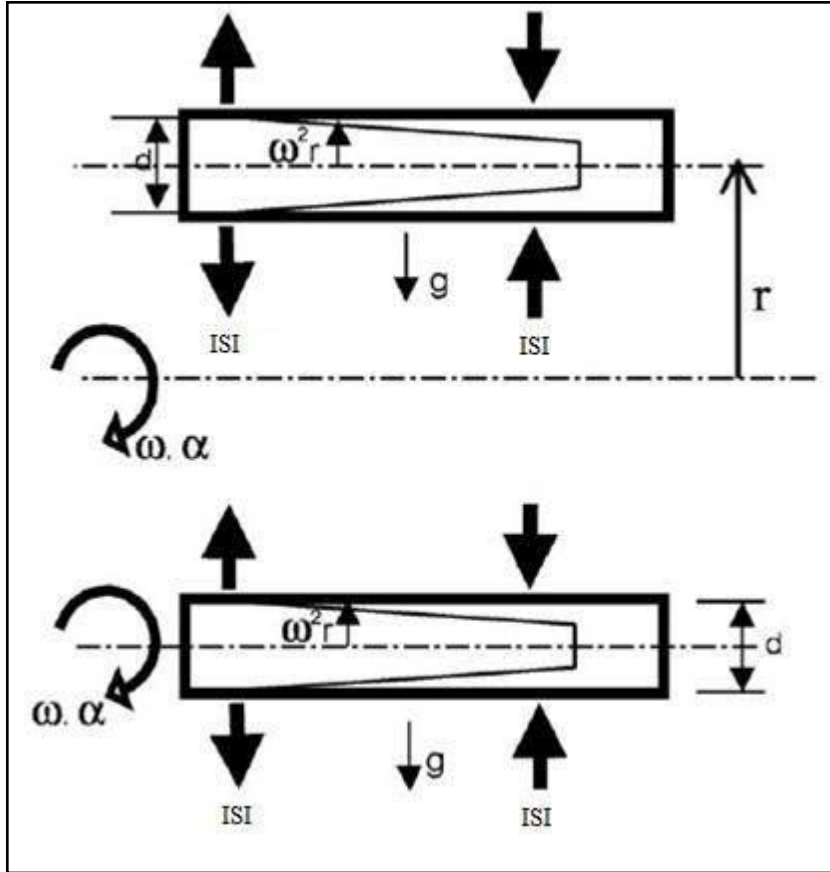


Şekil 4.15. Değişken iletkenli ısı borusu [50]

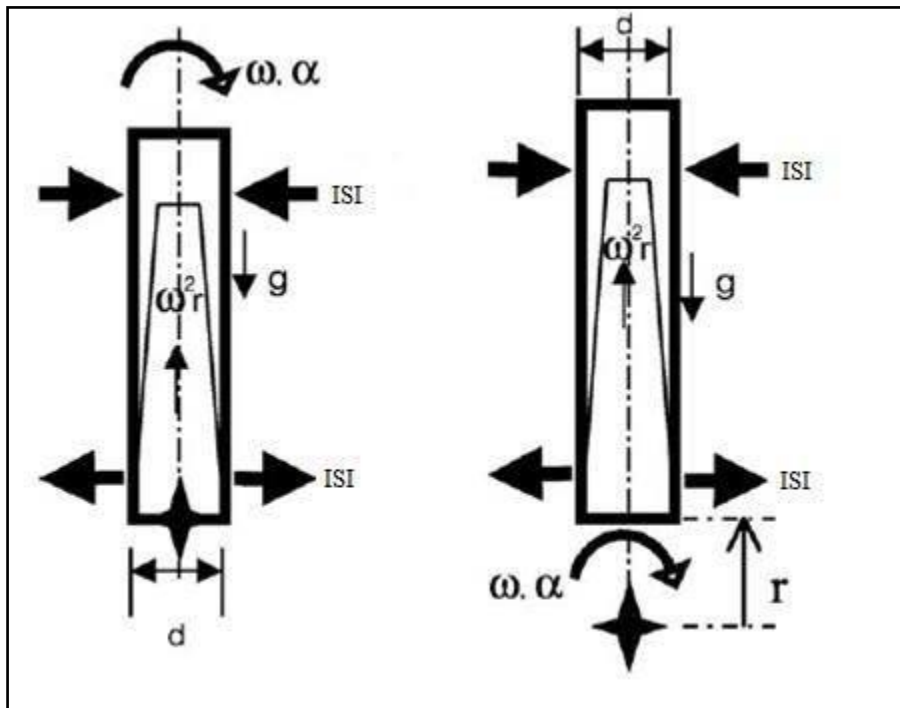
Dönen ısı borusu

Dönen ısı boruları yoğuşma bölgesindeki yoğuşma sıvısının buharlaşma bölgesine dönüşünün merkezkaç kuvveti vasıtası ile sağlandığı fitilsiz ısı borularıdır. Dönen ısı boruları dönme aksına bağlı olarak radyal veya eksenel olarak sınıflandırılabilir. Merkezkaç kuvveti yoğuşturucudan buharlaştırıcıya giden yoğuşma sıvısının akışına paralel olduğunda radyal, merkezkaç kuvveti ısı borusunun eksenine paralel olduğunda eksenel olarak adlandırılır. Dönen ısı boruları genel olarak dönen makinelerde, ağır yüklü rulmanlarda, presler için silindirlere ısı dağıtan cihazlardır [51].

Şekil 4.16'da eksenel dönen ısı boruları, Şekil 4.17'de radyal dönen ısı boruları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Eksenel dönen ısı borusu [52]



Şekil 4.17. Radyal dönen ısı borusu [52]

5. NANOAKIŞKANLAR

Isı değiştiricilerinin verimi artırılması için genel olarak ısı transfer yüzeyinin artırılması ve ısı transfer akışkanının ısı transfer katsayısının iyileştirilmesi gerekmektedir. Isı değiştiricilerinin yüzey alanlarının artırılması için geometrik şekilleri ile yapılan çalışmalar sınırlı olmaktadır. Bu nedenle ısı transfer akışkanının ısıl iletkenliğinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

Boyutları 100 nm'den küçük olan metal veya ametal nanopartiküllerinin ısı transfer baz akışkanlarına (su, etilen, amonyak, glikol vb.) belirli tekniklerle ilavesi ile oluşan ısı transfer akışkanları nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Yapılan tüm çalışmalarda ısı transfer katsayısı baz akışkana göre yüksek olan nanopartiküllerin ısı transfer baz akışkanına homojen olarak dağıtılarak ilavesi sonucu oluşan nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin baz akışkandan yüksek olması beklenmektedir.

Sıvıların ısıl iletkenliğinin artırılması ile ilgili Maxwell [53] tarafından 19. Yüzyılın sonlarında yapılan çalışmada mikron boyutlu parçacıkları baz akışkanla karıştırarak süspansiyon elde etmiştir. Süspansiyonun ısıl iletkenliğini teorik olarak hesaplama konusunda ilk adım Maxwell tarafından atılmıştır. Maxwell'in ardından Hamilton-Crosser [54] ve Wasp [55] tarafından yapılan çalışmalar gibi teorik anlamda ve deneysel birçok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte bu çalışmalar mikro ve makro boyutlu parçacıkların süspansiyonu ile sınırlıydı. Bu süspansiyonların dezavantajları [56];

- Baz akışkana eklenen parçacıklar hızla yerleşerek yüzeyde bir tabaka oluşmasına neden olmakta ve akışkanın ısı transfer kapasitesini azaltmaktadır.
- Akışkan sirkülasyonu artırıldığında tortulaşma azalmakta, ancak ısı transfer cihazlarının ve boruların aşınması hızla artmaktadır.
- Partiküllerin büyük boyutta olması nedeniyle kanallarda tıkanmalara yol açtığı görülmektedir.
- Akışkandaki basınç düşüşünde önemli ölçüde artış meydana gelmektedir.

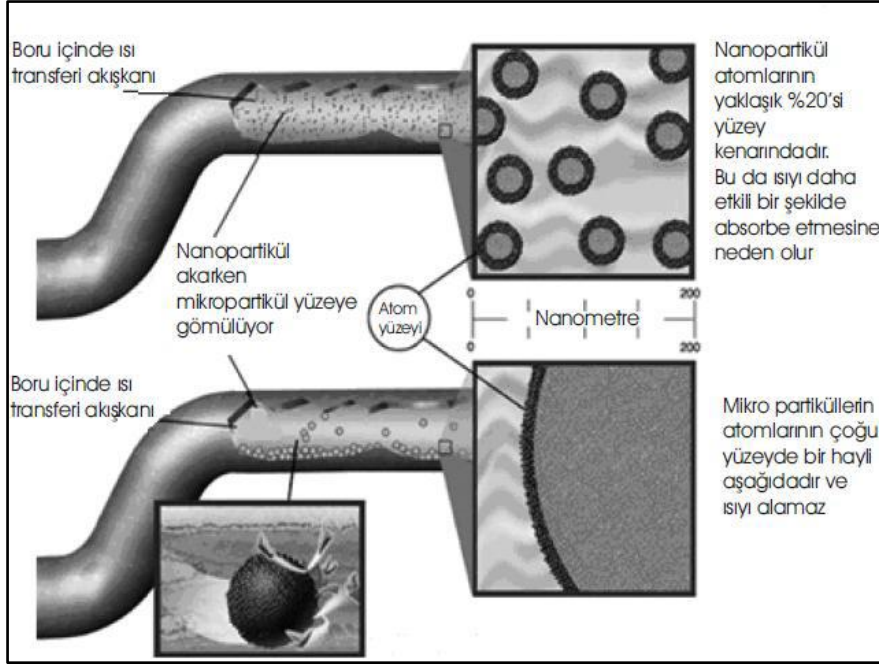
Gelişen malzeme teknolojisiyle nano boyutlarda partikül üretme sağlanabildiğinden nano parçacıkların süspansiyonları ile ilgili ısı transfer çalışmaları yeniden gündeme gelmiştir. Choi tarafından Argonne Ulusal Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalarda baz akışkana

nano partiküllerin karıştırılması sonucu oluşturulan süspansiyonun ısı iletkenliği önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir ve nanoakışkan terimi ilk olarak kullanılmıştır [57].

Nanopartiküllerin baz akışkana uygun şekilde dağılması sonucu aşağıdaki faydaların oluşması beklenmektedir [15].

- Yüksek ısı iletimi: Nanopartiküller baz akışkana uygun şekilde dağıldığından ısı transfer alanı genişler ve yüksek ısı iletimi gerçekleşir. 20 nm'den daha küçük nanopartiküller atomlarının %20'sini yüzeylerinde taşırlar. Bu da onların hızlı şekilde termal etkileşime girebilmelerine olanak tanır. Nanopartiküllerin hareketliliği de ısı transfer miktarını artırmaktadır.
- Kararlılık: Nanopartiküller hafif olduğundan baz akışkanı içerisinde homojen dağılım eğilimde olurlar ve çökme ihtimalleri zayıftır. Ayrıca mikrokanallı ısı değiştiricilerinin tıkanma problemi ortadan kaldırılmış olur.
- Düşük aşınma ihtimali: Nanopartiküller çok küçük yapıda olduklarından ısı eşanjörleri, ısı boruları, pompalar gibi mekanizmalara zarar verme ihtimalleri çok düşüktür.
- Düşük pompalama gücü gereksinimi: Nanopartiküller kullanılarak oluşturulan nanoakışkanlar baz akışkanın yoğunluğunda artış meydana getirmediği müddetçe ısı iletkenlikleri daha yüksek olduğundan düşük pompalama gücüne gereksinim duyarlar.

Şekil 5.1'de nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin ve mikropartiküllerin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküller ve mikropartiküller [58]

5.1. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanlar, içerisindeki nanopartiküllerin çökmesine ve baz akışkanın kimyasal özelliklerinin değişimine izin verilmeden kararlı bir süspansiyon şeklinde hazırlanmalıdır. Nanoakışkanların hazırlanması tek adım ve iki adım olmak üzere iki yöntem olarak sınıflandırılmaktadır.

Tek adım yöntemi

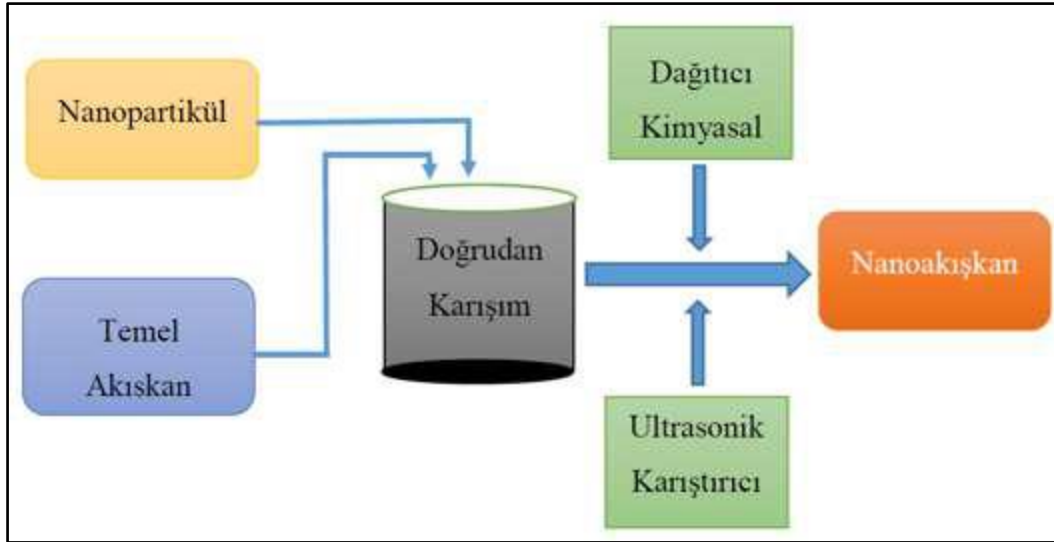
Nanopartiküllerin eşzamanlı olarak fiziksel buharlaştırma veya kimyasal yöntemle oluşturulması ve baz akışkana karıştırılması yöntemidir. Bu yöntemde nanopartiküllerin havayla teması engellendiğinden ısı verimi yüksek ve çabuk oksitlenebilen bakır, gümüş gibi metallerde bu yöntem uygulanır. Yalnızca bu yöntemin uygulanabilir olması için baz akışkanının düşük buhar basınç özelliğinin olması gerekmektedir. Şekil 5.2'de tek adım yöntemiyle nanoakışkan elde edilmesi gösterilmiştir [59].



Şekil 5.2. Tek adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlama işlemi [59]

İki adım yöntemi

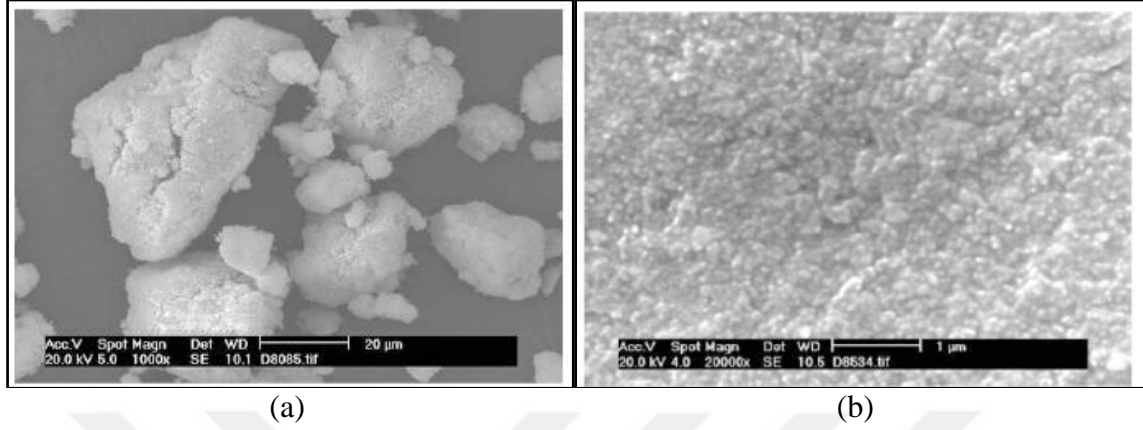
Fiziksel veya kimyasal olarak elde edilen kuru toz halindeki nanoparçacıkların hazırlandıktan sonra baz akışkana karıştırılması yöntemidir. Nanopartiküller baz akışkana direkt eklendiğinde genellikle topaklanma eğilimindedirler. Topaklanmanın dağıtılması için hazırlanan karışıma yüzey aktifleştirici eklenerek ultrasonik karıştırıcı cihazda belirli bir süre bekletilmesi gerekmektedir. İki adım yöntemi genel olarak ametal ve oksit nanopartiküller için uygulanan bir yöntemdir. Şekil 5.3'te iki adım yönteminin aşamaları gösterilmiştir [59].



Şekil 5.3. İki adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlama işlemi [59]

Tüm bu yöntemlerle nanoparçacıkların baz akışkan içerisinde akışkanın kimyasal yapısını bozmadan homojen şekilde dağılarak kararlı bir süspansiyon elde etmek amaçlanmaktadır.

Resim 5.1’de CuO nanopartiküllerinin nanoakışkan elde edilmesi aşamalarında elektron mikroskobundaki görüntüleri gösterilmiştir.

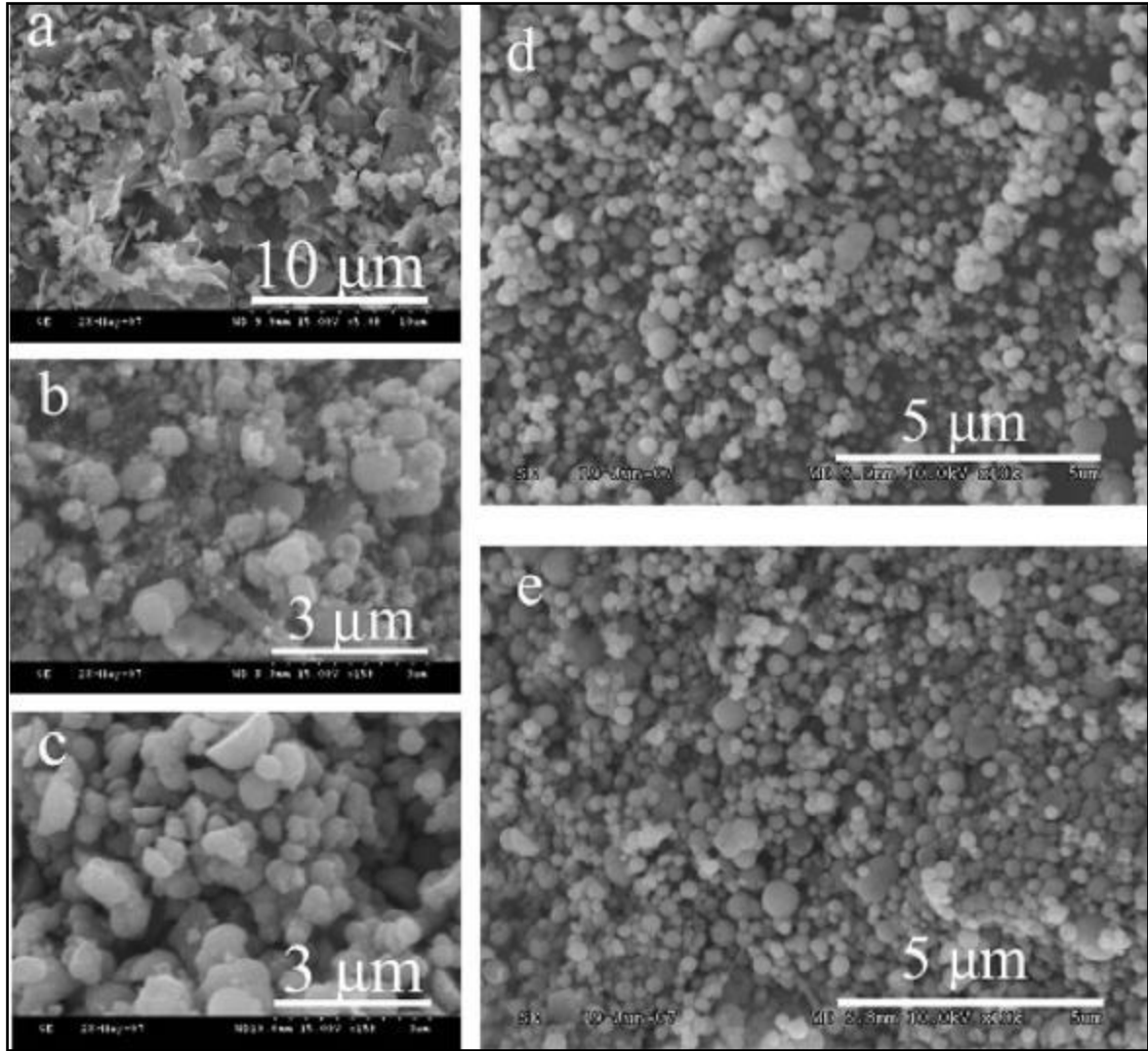


Resim 5.1. CuO nanopartiküllerinin baz akışkan içerisindeki topaklanmış (a) ve homojen (b) dağılmış görüntüleri [60]

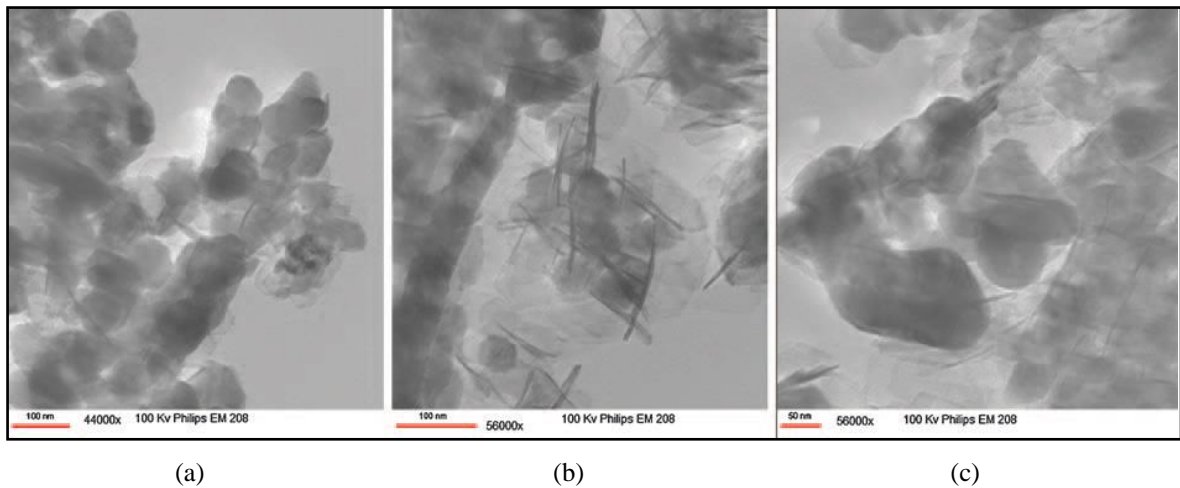
5.2. Nanoakışkan Türleri

Kullanılan baz akışkanın ve baz akışkana karıştırılan nanopartiküllerin türlerine göre çeşitli nanoakışkanlar elde edilebilmektedir. Nanoakışkanlar genel olarak saf metalik nanoakışkanlar, seramik nanoakışkanlar, alaşım nanoakışkanlar ve karbon esaslı nanoakışkanlar olarak gruplandırılırlar.

Üretimlerinin kolay olması ve süspansiyon içerisindeki kararlılıklarından dolayı yaygın olarak kullanılan nanoakışkan seramik nanoakışkanlardır. CuO, SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, ZnO₂, TiO₂, CeO₂ bazı seramik nanoakışkanlardandır. CuO nanoparçacıklarının farklı baz akışkanlar kullanılarak elde edilen nanoakışkanların elektron mikroskobunda görünüşü Resim 5.2’de, MgO nanoparçacıkları kullanılarak elde edilen nanoakışkanın elektron mikroskobunda görünüşü Resim 5.3’te gösterilmiştir.



Resim 5.2. CuO nanoparçacıklarının farklı baz akışkanlarındaki elektron mikroskobu görüntüleri a) su; b) metanol; c) etanol; d) etilen glikol; e) dodekanol [61]



Resim 5.3. MgO nanoparçacıkları kullanılarak elde edilen nanoakışkanın elektron mikroskobu görüntüleri a) 100nm b) 100nm c) 50nm [62]

5.3. Nanoakışkanlarda Isıl İletkenlik

Nanoakışkan hazırlamanın en önemli amacı ısıl iletkenliği artırmaktır. Baz akışkan içerisine ısıl iletkenliği baz akışkandan çok daha fazla olan nanoparçacıklar eklenerek ısıl iletkenliğin artırılması amaçlanmaktadır. Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere nanoparçacıkların ısıl iletkenliği baz akışkanlara oranla çok daha yüksektir. Hazırlanan nanoakışkanlar karışım olduklarından ısıl iletkenlikleri sabit değildir. Bu nedenle nanoakışkanların ısıl iletkenlikleriyle ilgili farklı modeller geliştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Metaller, metal oksitler ve baz akışkanların ısı iletim katsayıları [63]

Metaller	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Bakır (Cu)	398
Grafit	145
Gümüş (Ag)	412
Nikel (Ni)	102
Alüminyum (Al)	273
Demir (Fe)	80
Metal Oksitler	
TiO ₂	8,4
SiO ₂	10,4
Al ₂ O ₃	42,3
MgO	48,4
CuO	32,9
Fe ₂ O ₃	7
ZnO	110
Akışkanlar	
Etanol	0,172
Su	0,608
Gliserol	0,285
Etilen Glikol	0,257
Motor Yağı	0,117

Literatürde baz akışkana nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşturulan nanoakışkan ile baz akışkan arasındaki ısıl iletkenlik oranı tanımlanmaktadır. Aşağıda verilen ve Maxwell tarafından geliştirilen ısıl iletkenlik hesaplamasında k_1 baz akışkanın ısıl iletkenliği, k_2 parçacığın ısıl iletkenliği, ϕ parçacığın hacimsel konsantrasyonunu ifade etmektedir.

$$k_{\text{Maxwell}} = \frac{k_2 + 2k_1 + 2(k_2 - k_1)\phi}{k_2 + 2k_1 - (k_2 - k_1)\phi} k_1 \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’de Maxwell’in denklemi sadece küresel parçacıklar için geçerli olduğundan Hamilton Crosser tarafından küresel olmayan parçacıklar için bir denklem geliştirilmiştir. Eşitlik 5.2’de Hamilton tarafından geliştirilen ısı iletkenlik hesaplamasında k_1 baz akışkanın ısı iletkenliği, k_2 parçacığın ısı iletkenliği, ϕ parçacığın hacimsel konsantrasyonunu ve n şekil faktörünü ifade etmektedir. Formüldeki n değeri küresel partiküller için 3, silindirik partiküller için 6 olacaktır.

$$k_{\text{Hamilton}} = \frac{k_2 + (n-1)k_1 + (n-1)(k_2 - k_1)\phi}{k_2 + (n-1)k_1 + (k_2 - k_1)\phi} k_1 \quad (5.2)$$

6. TEORİK ANALİZ

IBVTGK’de nanoakışkan kullanımının sistem performansına katkısını hesaplayabilmemiz için sistemin veriminin belirlenmesi gerekmektedir. Enerji korelasyonları termodinamiğin birinci yasasına dayanmaktadır. Buna göre IBVTGK’den elde edilen faydalı enerji Eşitlik 6.1 kullanılarak elde edilebilir.

$$\dot{Q}_f = \dot{m} \cdot c_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (6.1)$$

Burada \dot{Q}_f faydalı enerjiyi, \dot{m} kütleli debiyi, c_p özgül ısıyı, $T_{\text{çıkış}}$ çıkış sıcaklığını, $T_{\text{giriş}}$ giriş sıcaklığını gösterir [64].

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_{\text{giriş}} - \dot{Q}_{\text{kayıp}} \quad (6.2)$$

Eşitlik 6.2’de $\dot{Q}_{\text{giriş}}$, IBVTGK tarafından güneşten alınan enerji, $\dot{Q}_{\text{kayıp}}$, enerji kaybıdır.

$$\dot{Q}_{\text{giriş}} = A_{\text{abs}} \cdot I_s \quad (6.3)$$

Eşitlik 6.3’te A_{abs} kolektörün absorber alanını, I_s kolektöre gelen güneş ışınımını gösterir.

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = U_L A_{\text{abs}} (T_p - T_{\text{ortam}}) \quad (6.4)$$

Sistemdeki enerji kaybı Eşitlik 6.4’te ifade edilmiştir. Burada, U_L genel ısı kaybı katsayısıdır ve Eşitlik 6.5’te gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$U_L = U_t + U_e \quad (6.5)$$

Eşitlik 6.5’te U_t dış ortam ile absorber tüp arasındaki ısı kaybı katsayısını, U_e kolektörün yalıtım kalınlığına, ısıl iletkenliğine ve ısı transfer alanına bağlı ısı kaybı katsayısını ifade eder ve Eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7’de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{h_{ga}} + \frac{1}{h_{pg}}} \quad (6.6)$$

$$U_e = \frac{(UA)_p}{A_{abs}} \quad (6.7)$$

Eşitlik 6.6'da h_{ga} kollektörün dış camı ile dış ortam arasındaki taşınım ile ısı transferi katsayısını ifade eder ve $11.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olarak alınmıştır [65]. Eşitlik 6.7'de $(UA)_p$ ısı borusunun toplam ısı kaybı katsayısıdır. Ayrıca h_{pg} absorber tüp ile cam tüp arasındaki iletim ve ışınım ısı transfer katsayısıdır ve Eşitlik 6.8'deki gibi hesaplanabilir [27].

$$h_{pg} = h_{pgc} + h_{pgd} \quad (6.8)$$

Burada h_{pgc} absorber tüp ve cam tüp arasındaki ısı transfer katsayısıdır ve $0.2273 \text{ W/m}^2.\text{K}$ alınmıştır [65]. Ayrıca h_{pgd} ısı iletimi boyunca ısı transfer katsayısıdır ve Eşitlik 6.9'da gösterildiği şekilde hesaplanabilir [27].

$$h_{pgd} = \frac{\sigma \varepsilon_p}{1 + \frac{\varepsilon_p d}{\varepsilon_g d g} (1 - \varepsilon_p)} (T_p^2 + T_g^2) (T_p + T_g) \quad (6.9)$$

Burada ε_p ve ε_g sırasıyla absorber kaplama ile dış cam iç yüzeyinin emisivitesini ifade eder. Ayrıca $d g$ and σ sırasıyla camın dış çapını ve Stefan-Boltzmann sabitini ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$) gösterir.

IBVTGK'nin ısı verimi Eşitlik 6.10'da gösterildiği şekilde hesaplanabilir [66].

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{use}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{outlet} - T_{inlet})}{A_{abs} \cdot I_s} \quad (6.10)$$

7. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde IBVTGK’de nanoakışkan kullanımının deneysel incelemesi yapılacaktır. Nanoakışkanın hazırlanması, deney düzeneğinin kurulması, deneyde kullanılan ölçme mekanizmaları ile yapılan deneylerin grafiksel gösterimleri sunulacaktır.

7.1. Nanoakışkanın Hazırlanması

Yapılan bu çalışmada CuO - MgO - saf su nanoakışkanının ve sadece saf su akışkanının ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörünün performansına etkileri eşzamanlı olarak ölçülmüştür.

Nanoakışkan hazırlanırken kütlece %2 CuO+MgO (50:50) nanopartikülleri kullanılmıştır. Tortulaşmanın önlenmesi için kütlece %0,2 Triton X-100 yüzey aktifleştirici kullanılmıştır. Nanoakışkan karışımı hazırlanırken Kern marka $\pm 0,03$ gr doğrulukta hassas terazi kullanılmıştır. Hazırlanan karışımında kullanılan hassas terazi Resim 7.1’de gösterilmiştir.



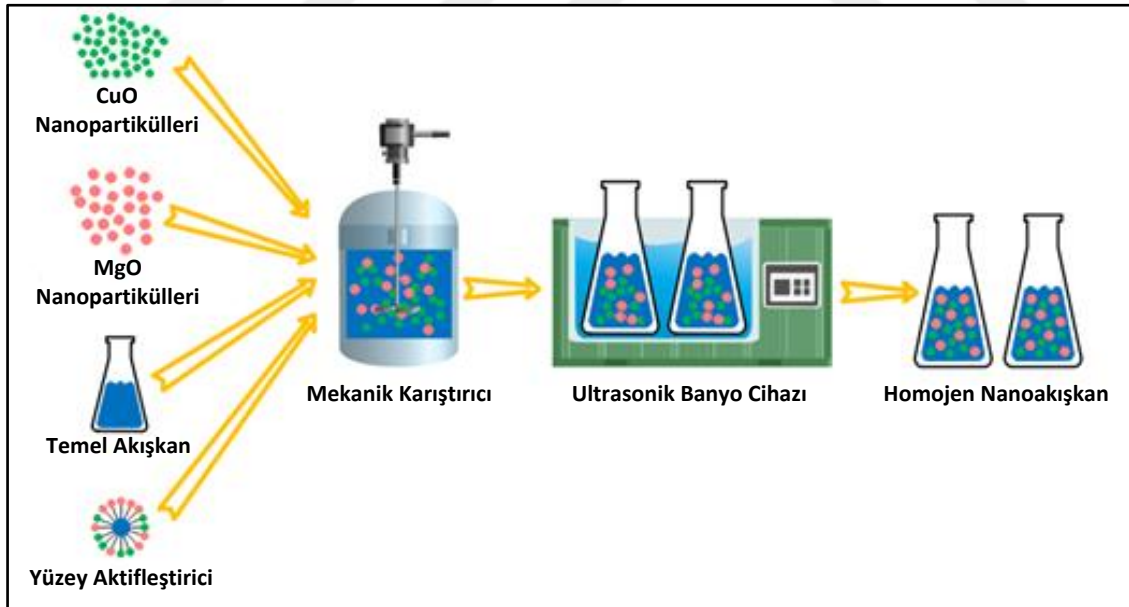
Resim 7.1. Kern EW hassas terazi

Hazırlanan karışım ultrasonik banyoda 8 saat süreyle sürekli titreşim halinde karıştırılarak nanopartiküllerin saf su içerisinde homojen şekilde dağılması sağlanmıştır. Nanoakışkan hazırlanmasında kullanılan ultrasonik banyo cihazı Resim 7.2’de, ultrasonik banyo işleminden sonra elde edilen nanoakışkan görüntüsü Resim 7.3’te, ultrasonik banyo cihazının teknik bilgileri Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.



Resim 7.2. Isolab firmasının ultrasonik banyo cihazı

CuO+MgO/Saf su nanoakışkan hazırlama süreci Şekil 7.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.1. CuO+MgO/Saf su nanoakışkan hazırlama süreci



Resim 7.3. Elde edilen hibrit nanoakışkan

Çizelge 7.1. Isolab firmasının ultrasonik banyo cihazının teknik bilgileri

Özellik	Değer
Gerilimi	230 V- 50 /60 Hz
Sıcaklık Aralığı	+5°C...+80°C
Sıcaklık Doğruluğu	±1°C
Ultrasonik Gücü	180 Watt
Isıtıcı Gücü	300 Watt
Ultrasonik Frekansı	40 kHz

Hazırlanan nanoakışkan ısı borusuna 1/3 oranında eklenerek vakumlanmıştır. Isı borusunun uzunluğu 166 cm, dış çapı 8 mm, iç çapı 7 mm, yoğuşturucu bölümünün uzunluğu 5 cm, dış çapı 13 mm, iç çapı 12 mm'dir. Her bir ısı borusunun hacmi yaklaşık 70 ml'dir. Her bir ısı borusuna yaklaşık 23,3 ml nanoakışkan eklenmiştir. Resim 7.4'te ısı borusuna nanoakışkan eklenmesi gösterilmiştir.



Resim 7.4. Isı borusuna nanoakışkan eklenmesi

7.2. Deney Düzeneginin Hazırlanması

Kütlece %2 CuO+MgO (50:50) nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan nanoakışkan ısı borusuna eklenip vakumlama işlemi gerçekleştirildikten sonra borosilikat cam tüplere yerleştirilmiştir.

Nanoakışkanın ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü üzerindeki performans artışının karşılaştırılması amacıyla diğer ısı borularına saf su eklenmiştir.

Deney düzeneği Gazi Üniversitesi Taşkent yerleşkesinde kurulmuştur. Vakum tüplü güneş kolektörü montaj ayakları üzerine çift taraflı 7'şer adet olmak üzere toplam 14 adet vakum tüplü güneş kolektörü montajı yapılmıştır. Deney düzeneğinin bir tarafına içerisinde nanoakışkan bulunan 7 adet ısı borulu cam tüp montajı yapıldıktan sonra ısıtılacak kullanım suyunun giriş ve çıkış bağlantıları yapılmıştır. Deney düzeneğinin diğer tarafına içerisinde saf su bulunan 7 adet ısı borulu cam tüp montajı yapıldıktan sonra ısıtılacak kullanım suyunun giriş ve çıkış bağlantıları yapılmıştır. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörü deney düzeneği Resim 7.5'te, şematik görüntüsü Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Resim 7.6. Deneyde kullanılan termokupl

Çizelge 7.2. Deneyde kullanılan termokupl teknik özellikleri

Özellik	Değer
Tipi	Bayonet
Kullanılan Eleman	Fe-Konst
Sıcaklık Aralığı	-200°C...+800°C
Sıcaklık Doğruluğu	±%0,4



Resim 7.7. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörü termokupl bağlantıları

Deney düzeneğindeki kullanım suyunun güneş kolektörüne giriş sıcaklığını, kolektörden çıkıştaki sıcaklığını ve ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan Elimko firmasının veri kaydedici cihazı Resim 7.8’de, cihazın teknik bilgileri Çizelge 7.3’te gösterilmiştir.



Resim 7.8. Elimko firmasının veri kaydedici cihazı

Çizelge 7.3. Deneyde kullanılan veri kaydedici cihazı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Gerilimi	230 V- 50 /60 Hz
Çalışma Ortam Sıcaklığı	-10°C...+55°C
Ortam Sıcaklık Ölçümü Aralığı	+0°C...+50°C
Sıcaklık Aralığı	-200°C...+1100°C
Sıcaklık Doğruluğu	±%0,5
Güç Sarfiyatı	7 Watt
Kanal Sayısı	16

Deneyde vakumlu cam tüplere gelen güneş ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan solarimetre Resim 7.9’da, solarimetreye ait teknik özellikler Çizelge 7.4’te gösterilmiştir.



Resim 7.9. Deneyde kullanılan solarimetre

Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan solarimetreye ait teknik özellikler

Özellik	Değer
Güneş Işınım Şiddeti Ölçüm Aralığı	1999W/m ² ,
Çözünürlük	1 W/m ²
Doğruluk	±10W

7.3. Belirsizlik Analizi

Isı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe yapılan deneylerde standart değerlere uygun ölçüm cihazları kullanılarak veriler elde edilmiştir. Standartlara uygun cihazlar kullanıldığında da elde edilen veriler bazı hatalar oluşabilir. Deneyin yapıldığı ortamın şartları, deneyde kullanılan cihazların uygun periyotlarda kalibrasyonları, deneye uygun cihaz seçimi, verilerin okunması, ölçüm yapan cihazların deney düzeneğindeki montaj yerleri gibi birçok parametre deney sonucunu etkilemektedir. Bu nedenle deneyde kullanılan ölçüm cihazlarından kaynaklanabilecek hatalar için belirsizlik analizi yapılmalıdır. Deneylerin standartlara uygunluğu için belirsizlik analizi yapmak önemlidir. Toplam belirsizlik analizi Eşitlik 6.1’de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [67].

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial s}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial s}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial s}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.1)$$

Formüldeki s ifadesi ölçülecek olan büyüklük, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ise s'nin büyüklüğüne etki eden n adet bağımsız değişkeni ifade etmektedir. $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ her bir bağımsız değişkene ait hata oranlarıdır. Ölçülecek olan s değerinin toplam belirsizliği W_s olarak ifade edilmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucu cihazların, çevre şartları ve değer okumadan kaynaklı hatalar da göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan belirsizlikleri Çizelge 7.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Deney ölçümlerinde elde edilen verilerin belirsizlik analizi

Ölçülen Parametre	Cihaz İsmi	Toplam Belirsizlik
Sıcaklık Ölçümleri	Termokupl	±0,53°C
Akış Debisi	LZS-15 Debimetre	±%5,18
Güneş Işınım Şiddeti	Cem DT-1307 Solarimetre	±17,14 W/m ²

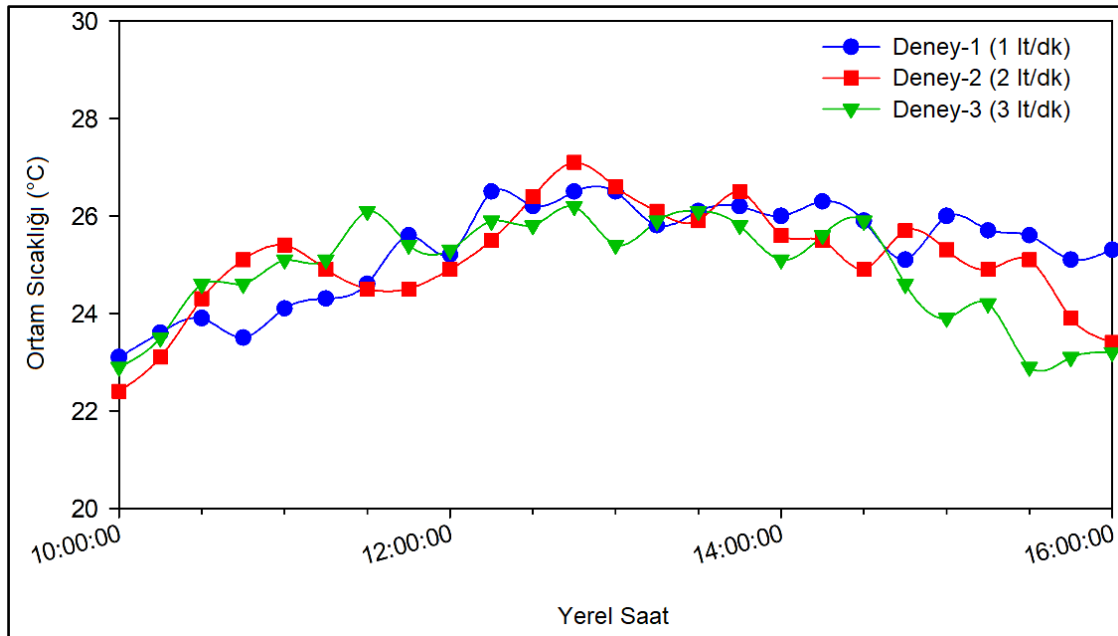
8. ARAŞTIRMA BULGULARI

8.1. Deneylerin Yapılışı

Deney düzeneği hazırlanan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörünün ısıl performansının ölçülebilmesi 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki kullanım suyu güneş kolektöründen geçirilmiş ve sabah 10:00 ile akşam 16:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla ortam sıcaklığı, içerisinde saf su bulunan güneş kolektöründen geçen kullanım suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları, içerisinde nanoakışkan bulunan güneş kolektöründen geçen kullanım suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları ile güneş ışınım şiddeti ölçülmüştür.

8.2. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

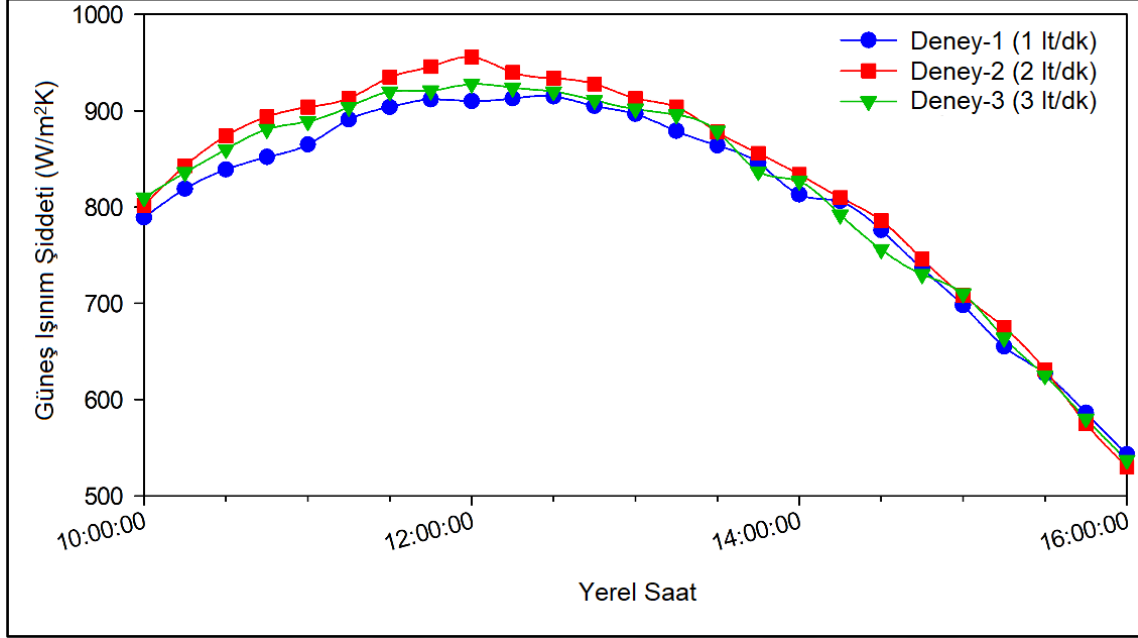
Şekil 8.1'de deney çalışması süresince ölçülen ortam sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmiştir. 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerde ölçülen ortalama ortam sıcaklıkları sırasıyla 25,30°C, 25,10°C ve 24,88°C'dir. Ayrıca ölçülen en yüksek ortam sıcaklığı 2 lt/dk akış debisi ile yapılan deneyde 27,10°C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 8.1. Deney çalışması süresinde ortam sıcaklığı değişimleri

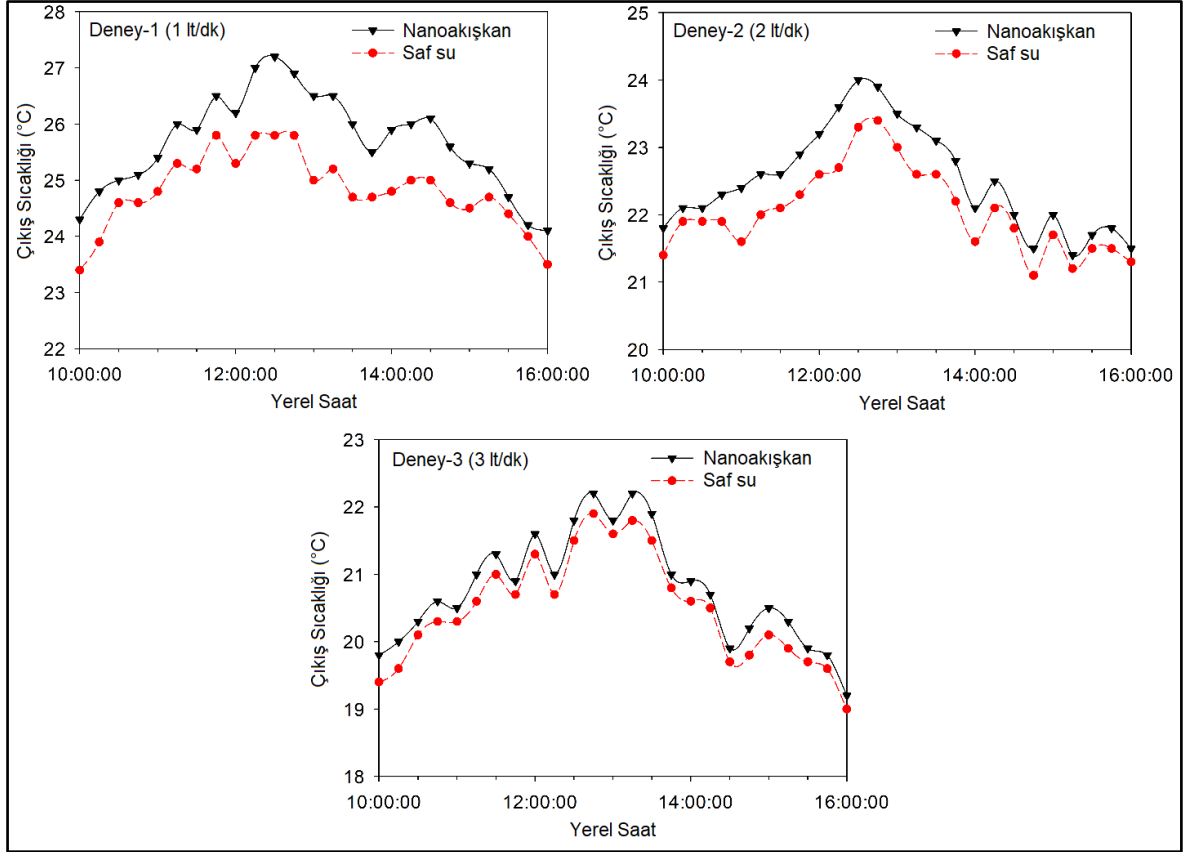
IBVTGK'nin verimini etkileyen bir diğer parametre güneş ışınım şiddetidir. Şekil 8.2'de deney süresince ölçülen güneş ışınım şiddetinin zamanla değişimi gösterilmiştir. 1 lt/dk,

2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerde ölçülen ortalama güneş ışınım şiddetleri sırasıyla 809 W/m², 828 W/m² ve 817 W/m² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ölçülen en yüksek güneş ışınım şiddeti 2 lt/dk akış debisi ile yapılan deneyde 956 W/m² olarak kaydedilmiştir.



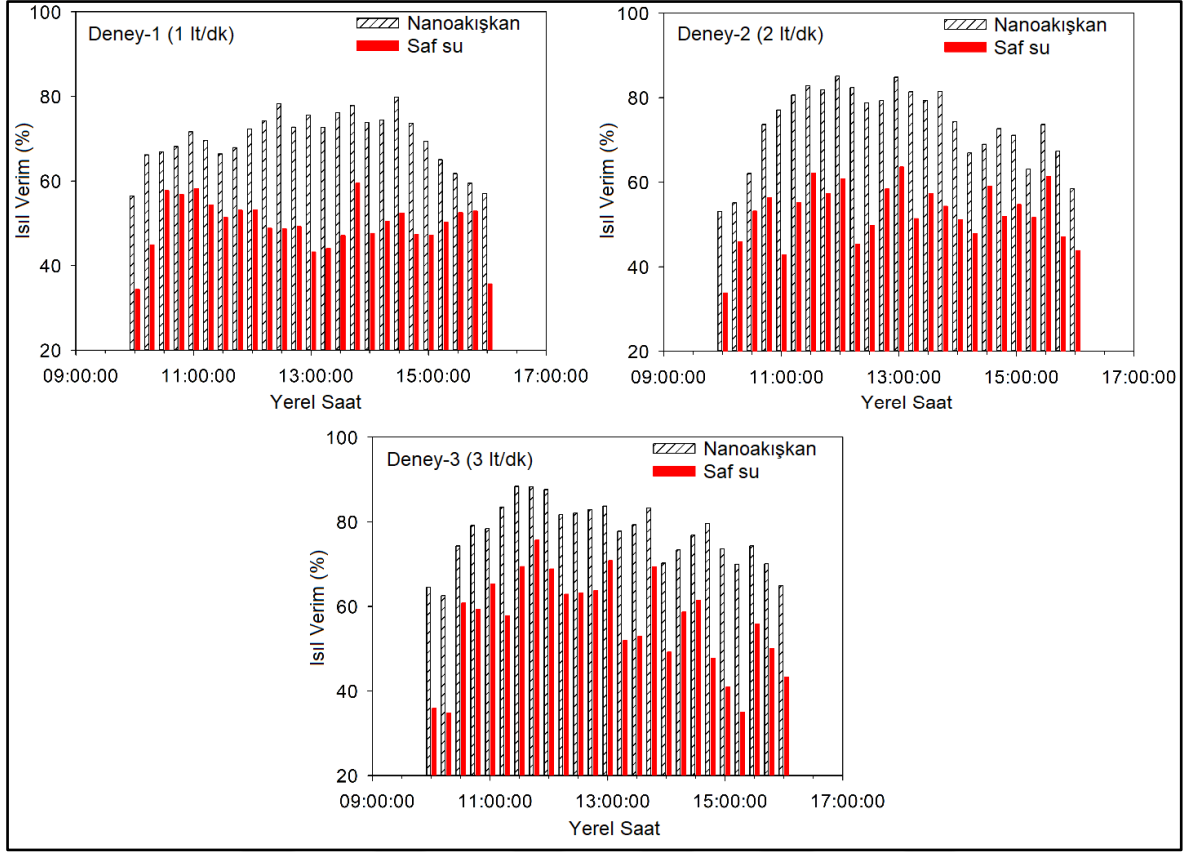
Şekil 8.2. Deney çalışması süresince güneş ışınım şiddeti değişimleri

Şekil 8.3'te deney çalışması süresince IBVTGK'de CuO+MgO/Saf su nanoakışkanı ile saf su akışkanı kullanımlarında ölçülen çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmiştir. IBVTGK'de saf su kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerde ölçülen ortalama çıkış sıcaklıkları sırasıyla 24,81°C, 22,05°C ve 20,48°C'dir. Ayrıca saf su kullanıldığında ölçülen en yüksek çıkış sıcaklığı 1 lt/dk akış debisi ile yapılan deneyde 25,8°C olarak kaydedilmiştir. IBVTGK'de CuO+MgO/Saf su nanoakışkanı kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerde ölçülen ortalama çıkış sıcaklıkları sırasıyla 25,67°C, 22,50°C ve 20,77°C'dir. Nanoakışkan kullanıldığında ölçülen en yüksek çıkış sıcaklığı 1 lt/dk akış debisi ile yapılan deneyde 27,2°C olarak kaydedilmiştir. IBVTGK'de nanoakışkan kullanılarak 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerde ortalama çıkış sıcaklıklarında saf su kullanımına göre sırasıyla %3,46, %2,06 ve %1,42 artış meydana gelmiştir. IBVTGK'de nanoakışkan kullanılması durumunda saf su kullanımına göre en yüksek artış 1 lt/dk debide yapılan deneyde %6 olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte IBVTGK'de CuO+MgO/Saf su nanoakışkan ve saf su kullanılması durumunda ısı enerjileri sırasıyla 205-229 W ve 145-168 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8.3. Deney çalışması süresince çıkış sıcaklığı değişimleri

Şekil 8.4'te deney çalışması süresince IBVTGK'de CuO+MgO/Saf su nanoakışkanı ile saf su akışkanı kullanımlarında ısıl verimlerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. IBVTGK'de saf su kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerdeki ortalama ısıl verimler sırasıyla %49,62, %52,64 ve %56,18 olarak elde edilmiştir. IBVTGK'de CuO+MgO/Saf su nanoakışkanı kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde yapılan deneylerdeki ortalama ısıl verimler sırasıyla %69,89, %73,41 ve %77,21 olarak elde edilmiştir. Ayrıca IBVTGK'de saf su kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde elde edilen ısıl verimler sırasıyla %34,35-58,19, %33,79-63,61 ve %35,85-70,83 aralığındadır. IBVTGK'de nanoakışkan kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde elde edilen ısıl verimler sırasıyla %56,43-79,83, %53,11-85,05 ve %64,53-88,38 aralığındadır. Bununla birlikte IBVTGK'de yapılan deneylerde elde edilen en yüksek ısıl verim 3 lt/dk debide yapılan deneyde saf su kullanıldığında % 70,83, nanoakışkan kullanıldığında % 88,38'dir. Yapılan bir araştırmada vakum tüplü güneş kolektöründe saf su ve Cu/saf su nanoakışkanı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada saf su ve Cu/saf su nanoakışkanı kullanılması durumlarında sırasıyla %52-55 ve %56-83 aralıklarında verim değerleri elde edilmiştir [68].



Şekil 8.4. Deney çalışması süresince ısıl verim değişimleri

Yapılan deney çalışması sonucu IBVTGK’de CuO+MgO/Saf su nanoakışkanı kullanılması durumunda saf su kullanılması durumuna göre 1 lt, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde kolektörün ortalama ısıl veriminde sırasıyla %40,85, %39,45 ve %37,43 artış meydana gelmiştir. İlgili bir araştırmada vakum tüplü güneş kolektöründe Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada ısıl verimde en fazla %28,4 artış olduğu görülmüştür [69]. Başka bir deneysel çalışmada vakum tüplü güneş kolektöründe TiO₂/su nanoakışkanı kullanıldığında ısıl verimde %16,67 artış meydana gelmiştir [70]. Yapılan diğer bir deneysel çalışmada ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe MgO+MWCNT/saf su nanoakışkanı kullanılması durumunda ısıl verimde %55,83 artış meydana gelmiştir [64].

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında ısı borulu vakum tüplü bir güneş kollektöründe çalışma akışkanı olarak saf su ve CuO+MgO/Saf su nanoakışkanının ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Temel akışkan olarak saf su içerisine kütleli olarak %2 CuO+MgO (50:50) ve %0,2 Triton X-100 yüzey aktifleştirici iki adım yöntemi ile karıştırılarak nanoakışkan elde edilmiştir. Deney düzeneğinde saf su akışkanı kullanılarak yapılacak deney için 7 adet, nanoakışkan kullanılarak yapılacak deney için 7 adet olmak üzere toplam 14 adet ısı borulu vakum tüplü güneş kollektörü kullanılmıştır. Hazırlanan nanoakışkan ısı borularına 1/3 oranında doldurulmuş ve ısı borusu vakumlanmıştır. Diğer bir grup ısı borusuna saf su eklenerek vakumlanmıştır. Hazırlanan ısı borulu vakum tüplü güneş kollektöründen 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerde kullanım suyu geçirilmiş ve sabah 10:00 ile akşam 16:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla ortam sıcaklığı, içerisinde saf su bulunan güneş kollektöründen geçen kullanım suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları, içerisinde nanoakışkan bulunan güneş kollektöründen geçen kullanım suyunun güneş kollektörü girişindeki sıcaklığı, güneş kollektörü çıkış sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu;

1. IBVTGK'de çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki ortama ısı verimleriyle sırasıyla %49,62, %52,64 ve %56,18 olarak elde edilmiştir.
2. Ayrıca çalışma akışkanı olarak CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanıldığında 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki ortama ısı verimleriyle sırasıyla %69,89, %73,41 ve %77,21 olarak elde edilmiştir.
3. Bununla birlikte elde edilen en yüksek ısı verim 3 lt/dk debide yapılan deneyde saf su kullanıldığında %70,83, nanoakışkan kullanıldığında %88,38'dir.
4. IBVTGK'de çalışma akışkanı olarak CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanılması durumunda 1 lt/dk, 2 lt/dk ve 3 lt/dk debilerdeki verim ortalama olarak sırasıyla %40,85, %39,45 ve %37,43 artış göstermiştir.
5. Yapılan bu çalışma ile ısı borulu vakum tüplü güneş kollektöründe CuO+MgO/saf su hibrit nanoakışkan kullanımının ısı performansı önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

9.2. Öneriler

Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörlerinde farklı nanopartiküller kullanılarak hazırlanacak değişik nanoakışkanlar ile sistem performansı incelenebilir. Temel akışkan olarak saf su yerine etilen glikol, etanol, metanol, aseton gibi farklı akışkanlar kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan deney düzeneğinin farklı mevsimlerdeki performansları incelenebilir. Ayrıca kullanılan nanoakışkanın depo kullanılarak kapalı devre, zorlanmış dolaşımli gibi değişik tipteki güneş kollektörlerindeki ısı performansları incelenebilir.



KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli. (2022). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, Son Erişim Tarihi: 10.09.2022.
2. Yargıcı, N. (1994). *Vakum Borulu Kolektörlerin İstanbul Şartlarında Teorik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-42.
3. Uyarel, A. Y. ve Öz, E. S. (1987). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 70-240.
4. Jang, S. P. and Choi, S. U. S. (2006). Cooling performance of a microchannel heat sink with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 26, 2457-2463.
5. Ünvar, S. (2021). *Isı Borulu Güneş Kollektörlerinde Nano Akışkanların Performans Üzerine Etkileri*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 60-70.
6. Ahmadlouydarab, M., Ebadolahzadeh, M. and Hafız, M. A. (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, 8-14.
7. Jamal-Abad, M. T., Zamzamian, A., İmani, E. and Mansouri, M. (2013). Experimental study of the performance of a flat-plate collector using Cu–water nanofluid. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 27(4), 756-760.
8. Kiliç, F., Menlik, T. and Sözen, A. (2018). Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector. *Solar Energy*, 164, 101-108.
9. Ghaderian, J. and 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.
10. Moghadam, A. J., Farzane-Gord, M., Sajadi, M. and 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.
11. Huang, X., Wang, Q., Yang, H., Zhong, S., Jiao, D., Zhang, K., Li, M. and Pei, G. (2019). Theoretical and experimental studies of impacts of heat shields on heat pipe evacuated tube solar collector. *Renewable Energy*, 138, 999-1009
12. Su, U. Ö., Sözen, A. ve Menlik, T. (2019). Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 245-257.

13. Noie, S. H., Heris, S. Z., Kahani, M. and Nowee, S. M. (2009). Heat transfer enhancement using Al_2O_3 /water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 700-705.
14. Humenic, G., Humenic, A., Morjan, I. and 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.
15. Chen, Y. J., Wang, P. Y., Liu, Z. H. and Li, Y. Y. (2013). Heat transfer characteristics of a new type of copper wire-bonded flat heat pipe using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 548-559.
16. Topal, M. A. (2018). *Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Performansa Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 32-51.
17. Budak, N. (2016). *Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 84-114.
18. Yıldırım, E. (2021). *U-Tüp Güneş Kolektörünün Çeşitli Nanoakışkanlar Kullanılması Durumunda Isıl Performansının Teorik Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 33-52.
19. Ezen, H. H. (2010). *Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 55-70.
20. Zamzamian, S. A. H. and Mansouri, M. (2018). Experimental investigation of the thermal performance of vacuum tube solar collectors (VTSC) using alumina nanofluids. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 5(2), 52-60.
21. Pise, A. G., Salve, S. S., Pise, A. T. and Pise, A. A. (2016). Investigation of solar heat pipe collector using nanofluid and surfactant. *Energy Procedia*, 90, 481-491.
22. Eidan, A. A., AlSahlani, A., Ahmed, A. Q., Al-fahham, M. and Jalilc, J. M. (2018). Improving the performance of heat pipe-evacuated tube solar collector experimentally by using Al_2O_3 and CuO/acetone nanofluids. *Solar Energy*, 173, 780-788.
23. Al-azmi, Y. K., Sakr, R. Y., Abdelatif, O. E. and Elsemary, I. M. M. (2022). Experimental investigation of an evacuated tube heat pipe solar collector using different fluids. *Engineering Research Journal*, 1(51), 1-12.
24. Mercan, M. (2019). *Nanoakışkanlı Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinde Isı Transferinin Sayısal Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 38-49.

25. Aytaç, İ. (2021). CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanların ısı borusu performansına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 24(3), 963-971.
26. Filiz, Ç. ve Yetiken, Y. (2021). Sıralı tip ısı borulu ısı değiştiricilerinde MgO+CuO/su ve MgO+Al₂O₃/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi: karşılaştırmalı deneysel çalışma. *Politeknik Dergisi*, 24(4), 1327-1335.
27. Tong, Y., Kim, J. and Cho, H. (2015). Effects of thermal performance of enclosed-type evacuated U-tube solar collector with multi-walled carbon nanotube/water nanofluid. *Renewable energy*, 83, 463-473.
28. Ashour, A. F., El-Awady, A. T. and Tawfik, M. A. (2022). Numerical investigation on the thermal performance of a flat plate solar collector using ZnO & CuO water nanofluids under Egyptian weathering conditions. *Energy*, 240, 12.
29. Choudhary, S., Sachdeva, A. and Kumar, P. (2020). Investigation of the stability of MgO nanofluid and its effect on the thermal performance of flat plate solar collector. *Renewable Energy*, 147, 1801-1814.
30. Dehaj, M. S. and Mohiabadi, M. Z. (2019). Experimental investigation of heat pipe solar collector using MgO nanofluids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 91-99.
31. Henein, S. M., Abdel-Rehim, A. A. and El-Nagar, K. (2023). Energy, economic and environmental analysis of an evacuated tube solar collector using hybrid nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 219, 11.
32. Janardhana, K., Sivakumar, A., Gladson, G. J. N., Ramesh, C., Musthafa, A. S. and Gopinathan, R. (2022). Study on the performance of a flat plate solar water heater using a hybrid nanofluid. *Materials Today: Proceedings*, 69, 1145–1149.
33. El, E. (2013). *Sıcak Su Kollektörü İle Birleştirilmiş Damıtma Sistemi Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 12-13.
34. Demircan, H. (2020). Doğal dolaşimli ile sıcaklık kontrollü güneş enerjili kullanım sıcak suyu hazırlama sistemlerinin karşılaştırılması. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 3(1), 12-25.
35. Şahin, E. (2006). *Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 10-17.
36. Norton, B. (2022). *Comprehensive Renewable Energy (Second edition)*. USA: Elsevier Science, 638-669.
37. Özsoy, A. ve Galip, M. (2018). Vakum tüplü u-borulu güneş kollektörünün güneş simülatöründeki test sonuçlarının analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 229-236.

38. Markal, B. ve Aksoy, K. (2018). Yenilikçi soğutma teknikleri: ısı boruları. *SETSCI Conference Indexing System*, 2, 336-342.
39. Boukhanouf, R. and Haddad, A. (2006). Experimental investigation of a flat plate heat pipe performance using IR thermal imaging camera. *Applied Thermal Engineering*, 26, 2148–2156.
40. Sakallı, U. (2005). *Antifrizli Sulu Vakumlu Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Klasik Direkt Dolaşımli Güneş Kollektörlerinin Verimlerinin Karşılaştırılması*. Bilim Uzmanlığı Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 8-13.
41. Groll, M., Schneider, M., Sartre, V., Zaghdoudi, M. C. and Lallemand M. (1998). Thermal control of electronic equipment by heat pipes. *Revue Générale de Thermique*, 37, 323-352.
42. Hung, Y. M. and Seng, Q. (2011). Effects of geometric design on thermal performance of star-groove micro-heat pipes. *International Journal Heat Mass Transfer*, 54, 1198-1209.
43. Ku, J. (1999). Operating characteristics of loop heat pipes. *Journal of Aerospace*, 108(1), 503-519.
44. Maydanik, Y. F. (2005). Loop heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 25, 635-657.
45. Lips, S., Bensalem, A., Bertin, Y., Ayel, V., Romestant, C. and Bonjour, J. (2010). Experimental evidences of distinct heat transfer regimes in pulsating heat pipes (PHP). *Applied Thermal Engineering*, 30, 900-907.
46. Çiftçi, E. (2020). AlN/saf su nanoakışkanının ısı borusu performans parametreleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(4), 858-871.
47. Yang, H., Khandekar, S. and Groll, M. (2008). Operational limit of closed loop pulsating heat pipes. *Applied Thermal Engineering*. 28, 49–59.
48. Zhen, H. L. and Yuan, Y. L. (2012). A new frontier of nanofluid resarch-application of nanofluids in heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 6786-6797.
49. Chen, S. W., Chiu, W. J., Lin, M. S., Kuo, F. J., Chai, M. L., Lee, J. D., Wang, J. R., Lin, H. T., Lin, W. K. and Shih, C. K. (2017). 1D and Q2D thermal resistance analysis of micro channel structure and flat plate heat pipe. *Microelectronics Reliability*, 72, 103-114.

50. Cleary, M., North, M. T., Lieshout, M. T., Brooks, D. A., Grimes, R. and Hodes, M. (2013). Reduced power precision temperature control using variable conductance heat pipes. *IEEE Transactions On Components Packaging And Manufacturing Technology*, 3(12), 2048-2058.
51. Chen, J., Fu, Y., Gu, Z., Shen, H. and He, Q. (2017). Study on heat transfer of a rotating heat pipe cooling system in dry abrasive-milling. *Applied Thermal Engineering*, 115, 736-743.
52. Waowaew, N., Terdtoon, P., Maezawa, S., Kamonpet, P. and Klongpanich, W. (2003). Correlation to predict heat transfer characteristics of a radially rotating heat pipe at vertical position. *Applied Thermal Engineering*, 23, 1019-1032.
53. Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Londra: Clarendon Press, 12-25.
54. Hamilton, R. L., Crosser O. K. (1962). Thermal conductivity of heterogeneous two component systems. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 1(3), 187-191.
55. Wasp, E. J., Kenny, J. P. and Gandhi, R. L. (1977). Solid-liquid flow slurry pipeline transportation. *Trans Tech Publications*, 1-4.
56. Das, S. K., Choi, S. U. S. and Patel, H. E. (2006). Heat transfer in nanofluids - a review. *Heat Transfer Engineering*, 27 (10), 3-19.
57. Choi, S. U. S. and Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, San Francisco, 3-7.
58. Goldenstein, L. K., Radford, D. W. and Fitzhorn, P. A. (2002). The effect of nanoparticle additions on the heat capacity of common coolants. *Vehicle Thermal Management: Heat Exchangers & Climate Control*, 97, 139.
59. Mukherjee, S. and Paria, S. (2013). Preparation and stability of nanofluids-a review. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 63-69.
60. Putra, N., Roetzel, W. and Das, S. K. (2003). Natural convection of nano-fluids. *Heat and Mass Transfer*, 39, 775-784.
61. Zhen, H. L. and Yuan, Y. L. (2012). A new frontier of nanofluid resarch-application of nanofluids in heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 6786-6797.

62. Habibi, A., Heidari, M. A., Al-Hadrami, H., Al-Ajmi, A., Al-Wahaibi, Y. and Ayatollahi, S. (2012). Effect of nanofluid injection on fines mitigation to remediate formation damage: a microscopic view. *Journal of Advanced Microscopy Research*, 7, 1–5.
63. Nazififard, M., Nematollahi, M., Jafarpur, K. and Suh, K. Y. (2012). Numerical simulation of water-based alumina nanofluid in subchannel geometry. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2012, 1-12.
64. Henein, S. M. and Abdel-Rehim, A. A. (2022). The performance response of a heat pipe evacuated tube solar collector using MgO/MWCNT hybrid nanofluid as a working fluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 33, 101.
65. Eltaweel, M., Abdel-Rehim, A. A. and Attia, A. A. (2020). Energetic and exergetic analysis of a heat pipe evacuated tube solar collector using MWCNT/water nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 10.
66. Selimefendigil, F. and Şirin, C. (2022). Energy and exergy analysis of a hybrid photovoltaic/thermal-air collector modified with nano-enhanced latent heat thermal energy storage unit. *Journal of Energy Storage*, 45, 103.
67. Akpınar, E. K. (2005). Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: kurutma deneylerindeki hata analizi. *Mühendis ve Makine*, 540, 41-48.,
68. Sharafeldin, M. A., Gróf, G., Abu-Nada, E. and Mahian, O. (2019). Evacuated tube solar collector performance using copper nanofluid: energy and environmental analysis. *Applied Thermal Engineering*, 162, 114.
69. Al-Mashat, S. M. S. and Hasan, A. A. (2013). Evaluation of convective heat transfer and natural circulation in an evacuated tube solar collector. *Journal of Engineering*, 19(5), 613-628.
70. Mahendran, M., Lee, G. C., Sharma, K. V., Shahrani, A. and Bakar, R. A. (2012). Performance of evacuated tube solar collector using water-based titanium oxide nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 3, 301-310.



Gazili olmak ayrıcalıktır