

# ISI BORULU GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

**Araş. Gör. Fırat ÖZDEMİR**

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

İzmir

[firatozdemir2009@hotmail.com](mailto:firatozdemir2009@hotmail.com)

**Prof. Dr. Ali GÜNGÖR**

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

İzmir

[ali.gungor@ege.edu.tr](mailto:ali.gungor@ege.edu.tr)

# ISI BORULU GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

## ÖZET

Günümüzde artan insanlık nüfusu ile birlikte ortaya çıkan büyük enerji ihtiyacının karşılanmasında; gerek ekonomik gerekse çevresel etkenler göz önünde bulundurulduğunda fosil kaynakların yetersizliği görülmektedir. Bu durum araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen temiz enerji kaynakları üzerinde çalışmaya itmiştir. Kullanılabilir enerji kaynakları arasında yüksek kapasitesi, çevreci yapısı ve ekonomikliği ile güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır. Gezegenimizin ana enerji kaynağı olarak kabul edilen güneş sahip olduğu yüksek potansiyel ile kullanıma en uygun kaynaklardan biri olarak görülmektedir. Güneş enerjisinden faydalanmanın pek çok yolu arasında, ısı boruları ile geliştirilen güneş enerjisi sistemleri gelecek vaat eden, çevreci sistemler olarak görülmektedir. Bu çalışmada ısı borulu güneş enerjisi sistemleri detaylı bir şekilde ele alınmış, literatürdeki çalışmalar incelenerek uygulamalar araştırılmış ve bu sistemlerin bugünkü konumu ortaya konulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Enerji insanlığın en temel ihtiyaçlarının başında gelen önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Günümüzde yaşam alanlarında her türlü yaşamsal fonksiyonu yürütmemiz için gerekli işlemleri gerçekleştirirken çeşitli sistemlere ihtiyaç duyarız ve bu sistemler de çalışmak için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Son yıllarda artan nüfus ile oluşan yüksek enerji ihtiyacının geleneksel kaynaklar tarafından karşılanması zorlaşmıştır. Öte yandan geleneksel yakıtların kullanımı sonucunda ortaya çıkan atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkileri de göz önünde bulundurulduğunda görülmektedir ki yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorunlu hale gelmiştir. Bu alanda çalışabilen insanlar son yıllarda araştırmalarını bu yeni kaynaklar üzerine yoğunlaştırmış ve dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yürütülen araştırmalar artmıştır. [1]

Gezegenimizin ana enerji kaynağı olarak kabul edilen güneş enerjisi çevreci yapısı, düşük maliyeti ve işletme kolaylığı ile kullanılabilir kaynaklar arasında öne çıkan bir yapıya sahiptir. Güneş enerjisinden faydalanmanın pek çok yolu mevcuttur. Dünya çapında insanlığın yıllık enerji tüketimi yaklaşık olarak 54 milyar MW/h iken gezegene bir yılda güneşten gelen enerjinin toplamı bu değer 28 bin katı yani 1.5 katrilyon MW/h değerindedir. Uluslararası enerji ajansına göre 1,5 saatte gezegene ulaşan güneş ışığı enerjisi ile 1 yıllık enerji ihtiyacı eşittir ve 2050 yılına gelindiğinde gezegenimizdeki enerji ihtiyacının %11'lik kısmının güneş enerjisinden sağlanacağı öngörülmektedir [2]

Güneş enerjisi sistemlerinin özellikle termal uygulamalarında çeşitli bütünleşik sistemlerin geliştirilmesi ile verim artışı çalışmalarına sık rastlanmaktadır. Bu çalışmada damıtma sistemleri, su ısıtma sistemleri, hacim ısıtma sistemleri ve güç üretimi sistemleri üzerine yapılan ısı borulu güneş enerjisi uygulamalarına yer verilmiştir.

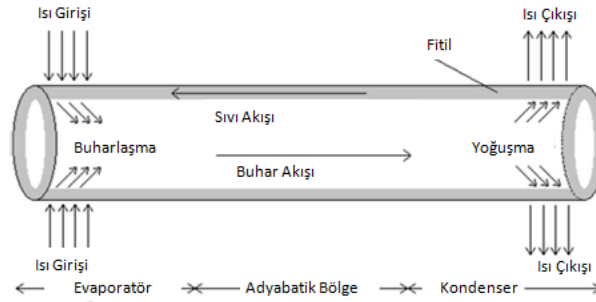
## 2. ISI BORULARI

Isı boruları, ısıyı bir noktadan diğerine, sıra dışı özellikleri ile taşıyan cihazlardır. Bu cihazlarda, ısı transferi işlemi buharlaşma ve yoğuşma prosesleri ile gerçekleşir. Bu yöntemle, yüksek miktarlarda ısı dışarıdan bir güç girdisine ihtiyaç duymaksızın ve neredeyse adyabatik bir biçimde aktarılabilir.

Isı borularının tarihi incelendiğinde bu tip bir sistemin ilk olarak 1839 yılında patentlenen Perkin'in Hermetik tüpü olduğu görülmüştür. [3.4]

### 2.1. ISI BORULARININ YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı boruları temelde evaporatör, kondenser ve adyabatik kısım olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Evaporatörde dış ortamdan alınan ısı ile buharlaşan iş akışkanı, oluşan buhar basıncı ile önce adyabatik kısma sonra da kondensere ilerler. Kondenserde ısını dış ortama bırakan yoğuşur. Yoğuşma işlemi sonrasında sıvı fazına geçen iş akışkanı yer çekimi etkisi ya da fitil marifeti ile tekrar adyabatik kısma ardından evaporatöre döner ve bu şekilde bir döngü tamamlanmış olur ve ısı girdisi devam ettikçe döngüler devam eder. Isı boruları. Şekil 2.1'de basit bir ısı borusu sisteminin şematik gösterimi verilmektedir.[5].



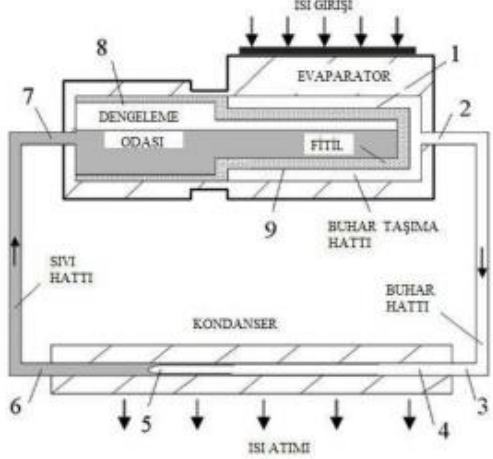
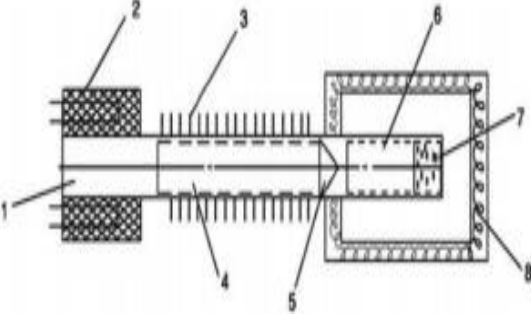
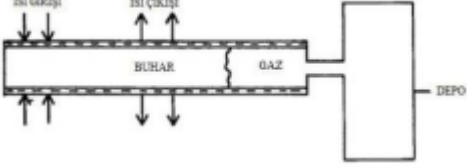
Şekil 2.1 Temel ısı borusu şematik gösterimi.

### 2.2 ISI BORUSU TÜRLERİ

Isı boruları temelde, en basit şekliyle boru şeklindeki yapılardır. Bunun yanı sıra çeşitli çalışma şartları için oluşan farklı ihtiyaçlara cevap vermesi amacıyla farklı tiplerde ısı borusu tasarımları da gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.1'de farklı tiplerdeki ısı boruları ve şematik gösterimleri verilmektedir[6].

Tablo 2.1 ısı borusu tipleri.

Isı Borusu Tipi	Açıklama	Şematik Gösterim
Mikro Isı Boruları	Mikro ısı boruları oldukça küçük boyutlu ve kılcal basıncı artıran keskin köşeler ihtiva eden yapıya sahip ısı borularıdır. [7]	<p>[6]</p>
Titreşimli Isı Boruları	Genel olarak bir titreşimli ısı borusu, kılcal tüplerin defaatle u bükümü sonrasında açık uçlarının birleştirilmesi ile üretilir. Burada ısı transferi işlemi çift fazlı akışın oluşturduğu titreşim ile elde edilir.[8,9]	<p>[10]</p>
Rotasyonlu Isı Boruları	Rotasyonlu ısı borularında, oluşturulan dönme hareketi ile elde edilen merkezkaç kuvveti, sıvı fazlı akışkanın evaporatöre dönmesini sağlayan itici gücü oluşturmaktadır. [11]	<p>[6]</p>

<p>Döngülü Isı Boruları</p>	<p>Temel olarak geleneksel ısı borularına benzer bir şekilde çalışan ısı döngülü ısı borularında evaporatör ve kondenser kısmı birbirinden ayrılmış ve buradaki akışkan akışı borular ile sağlanmaktadır. Bu şekilde yerçekimi değişimlerinden daha az etkilenirler ve uzay uygulamalarına elverişli hale gelirler.[12]</p>	 <p>[10]</p>
<p>Sorpsiyonlu Isı Boruları</p>	<p>Bu ısı boruları geleneksel ısı borularının katı absorpsiyonlu soğutucular ile entegrasyonundan meydana gelmişlerdir. Burada ısı borusundaki ısı ve kütle transferi işlemi içersine yerleştirildiği sorbent yatak sayesinde gerçekleşir.[13,14]</p>	 <p>(1) Buhar Kanalı; (2) Gözenekli Absorpsiyon Yapısı; (3) Isı Borusu Kondenser/Evaporatör; (4) Fitil Yapısı; (5) Valf; (6) Düşük Sıcaklık Evaporatörü; (7) Birikmiş Soğutucu Akışkan; (8) Soğuk Kutu.</p>
<p>Değişken İletkenlikli Isı Boruları</p>	<p>Değişken iletkenlikli ısı boruları, geleneksel sistemlerin kondenserineyoğuşmayanakışkan rezervuarı ilavesi ile oluşturulur. Sistem çalıştığında çalışma akışkanı buharlaşarak kondensere doğru hareket eder ve gaz rezervuara doğru sıkıştırılarak aktif kondenser uzunluğu artırır ve kondenserdeki ara yüzeyin ısıl direnci azalır [15].</p>	 <p>[16]</p>

## 2.2 ISI BORULARINDA KULLANILAN AKIŞKANLAR

Bir ısı borusu sisteminde kullanılacak çalışma akışkanı seçimi yapılırken, akışkanın kaynama noktası, kritik özellikleri, diğer malzemeler ile uyumu gibi pek çok özelliği göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışma akışkanının buharlaşma gizli ısı ve yüzey gerilimi yüksek, sıvı

viskozitesinin düşük ve ısı borusunun kullanılacağı sıcaklık aralığında kararlı bir yapıya sahip olması beklenir ki bütün bu özellikler sistemin ömrünü optimum seviyeye taşımada önemli rol oynar [17]. Son yıllarda bu alanda yürütülen çalışmalar da artmış ve nano akışkanlar üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır.

Nano akışkan terim olarak nanometre boyutunda katı parçacıklar ihtiva eden katı-sıvı kompozit malzemeler olarak tanımlanabilir. Carbidler, nitritler, saf metaller ve metal oksitler nano akışkan oluşturmada kullanılan katı malzemelere örnek gösterilebilirken su, etilen glikol, ve motor yağı da baz akışkan örneklerindedir. Nano akışkanlar; nükleer reaktörler, biyomedikal, ulaşım, gibi pek çok alanda kullanımda olmakla birlikte ilk çıkışları ısı iletkenlik artışı amacıyla yürütülen çalışmalarda gerçekleşmiştir. Bu özellikleri ile güneş enerjisi sistemlerinde kullanımı da oldukça yaygındır. [18-21] Tablo 2.2’de ısı borularında kullanılan akışkanlar ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.[22]

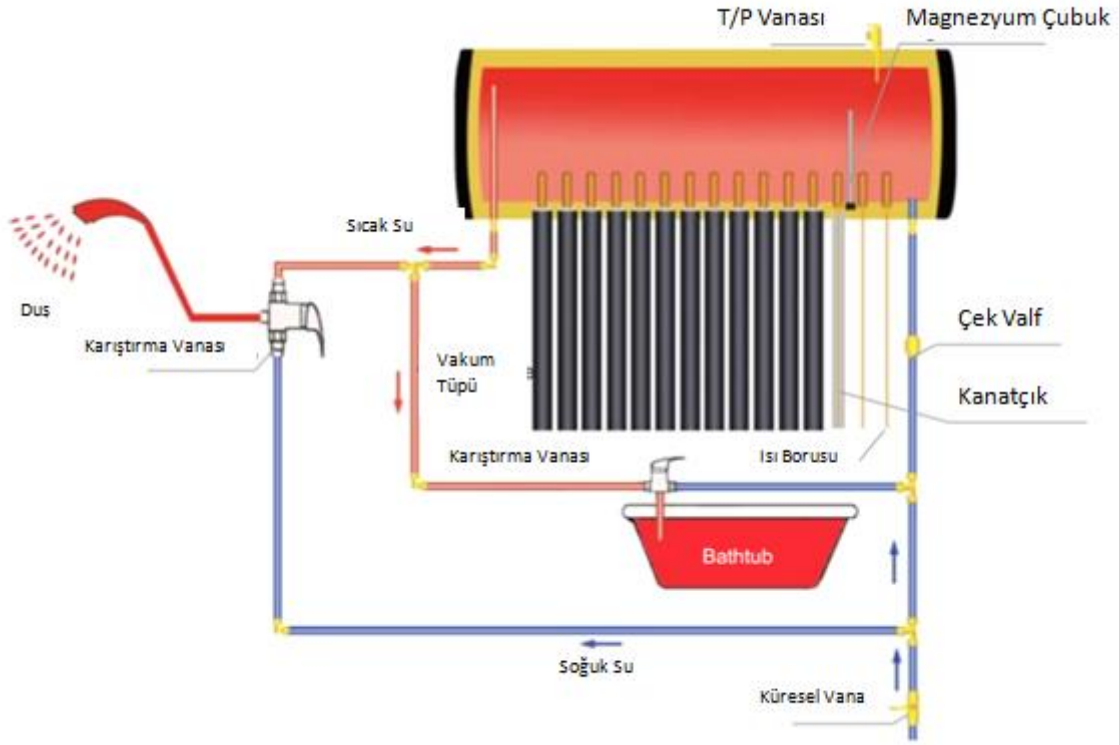
**Tablo 2.2 ısı borularında kullanılan iş akışkanları ve özellikleri.**

<b>İş Akışkanı</b>	<b>Donma Noktası (°C)</b>	<b>Atmosfer Basıncında Kaynama Noktası (°C)</b>	<b>Kullanım Aralığı (°C)</b>
Helyum	-271	-261	(-271)-(-269)
Nitrojen	-210	-196	(-203)-(-160)
Amonyak	-78	-33	(-60)-(100)
Pentan	-130	28	(-20)-(120)
Aseton	+95	57	(0)-(120)
Metanol	-98	64	(10)-(130)
Flutec PP2	-50	76	(10)-(160)
Etanol	-112	78	(0)-(130)
Heptan	-90	98	(0)-(150)
Su	0	100	(30)-(200)
Toluen	-95	110	(50)-(200)
Flutec PP9	-70	160	(0)-(225)
Termeks	12	257	(150)-(350)
Cıva	-39	361	(250)-(650)
Sezyum	29	670	(450)-(900)
Potasyum	62	774	(500)-(1000)
Sodyum	98	892	(600)-(1200)
Lityum	179	1340	(1000)-(1800)
Gümüş	960	2212	(1800)-(2300)

### 3. ISI BORULU GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

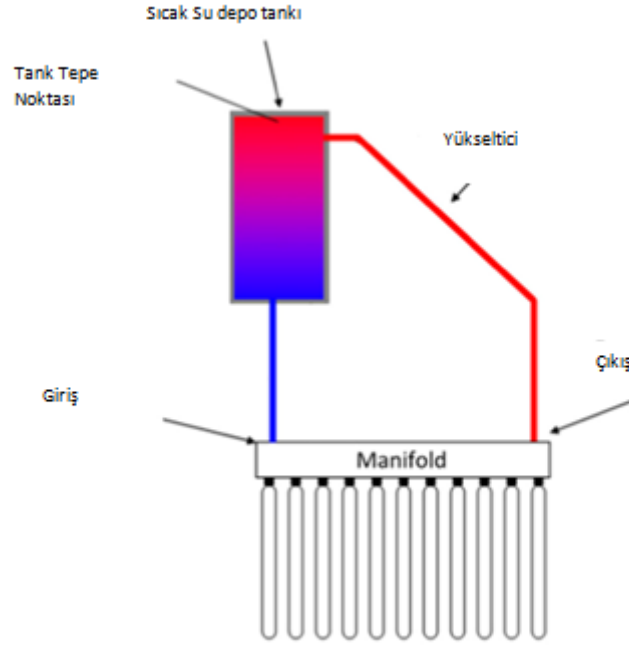
#### 3.1 KONUT TİPİ SU ISITMA

Konut tipi su ısıtmada kullanılan en yaygın ısı borulu güneş enerjisi sistemlerinden biri pasif sistemler olarak da bilinen termosifon sistemleridir. Bu sistemlerde sıcaklık farkının oluşturduğu kaldırma kuvveti, çalışma akışkanının gerçekleştirdiği döngünün itici gücü olarak kullanılır. [23]



Şekil 3.1 ısı borulu termosifon uygulaması.

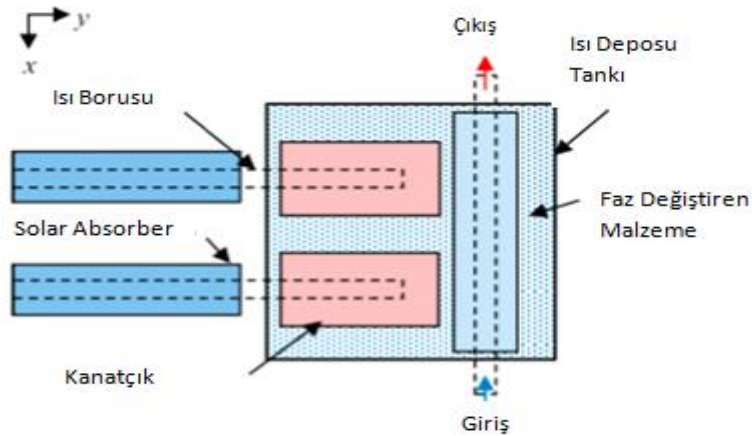
Literatür taramaları incelendiğinde termosifon sistemleri ile ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilen sistemde ısı borularının kondenserleri sıcak su deposu olarak kullanılan tankın ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu tasarımın piyasada oldukça yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, ısı borulu termosifon sistemlerine ait farklı tasarımların da mevcut olduğu kaydedilmelidir[24]. Bir diğer uygulama örneğinde ise Redpath ve arkadaşları ısı borulu solar kolektörleri depo tankından ayıran bir sistem tasarımı geliştirmişlerdir. Şekil 3.2'de gösterilen sistem üzerinde yürütülen çalışmalar sonucunda geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek performanslı ve düşük maliyetli bir sistem olduğu kaydedilmiştir[25].



Şekil 3.2 ayrıklı tasarımı ısı borulu termosifon sistemi.

Konut tipi uygulamalarda sık karşılaşılan bir diğerk örnek ise aktif güneş enerjili su ısıtma sistemleridir. Bu sistemlerde ısıtılan kullanım suyu için gerekli itici güç pompalar tarafından sağlandığından sistem bileşenlerinin konumlandırılmasında daha esnek tercihler uygulanabilmektedir.

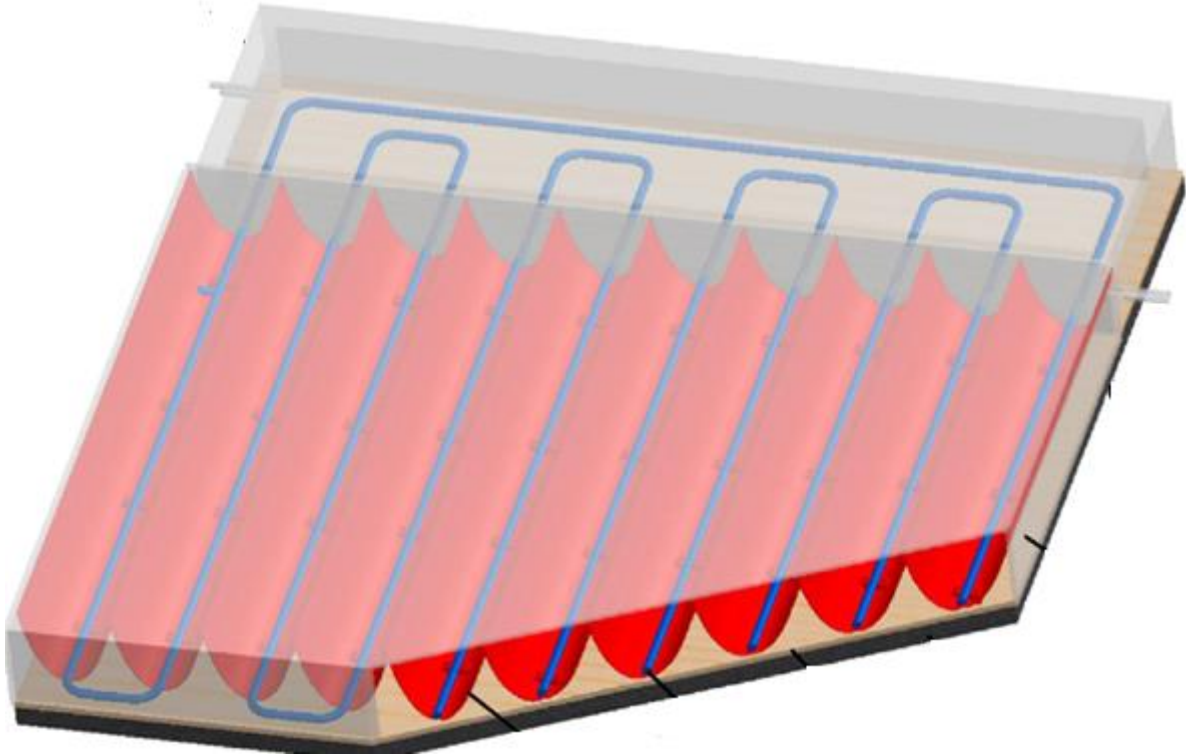
Naghavi ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada aktif güneş enerjili ısı borulu sistemin manifoldu içerisine yerleştirile faz değıştiren malzeme ile bir ısı depolama sistemi oluşturulmuştur. Şematik gösterimi Şekil 3.3'te verilen sistem üzerinde yürütülen çalışmalar sonucunda, sistemin geleneksel sistemlerle kıyaslandığında 50-80 L/saat su debileri için daha yüksek performans ile çalıştığı ayrıca oluşturulan ısı depo sayesinde gün ışığı saatleri dışında da çalışabildiği kaydedilmiştir[26].



Şekil 3.3 faz değıştiren malzeme uygulaması.



Şekil 3.4'te gösterilen Xu ve arkadaşları tarafından geliştirilen tasarımda kompakt parabolik yoğunlaştırıcılar ile entegre kapalı uçlu titreşimli ısı borusu sistemi %40 doluluk oranı ile test edilmiş ve sistem veriminin %50 olduğu kaydedilmiştir[27].

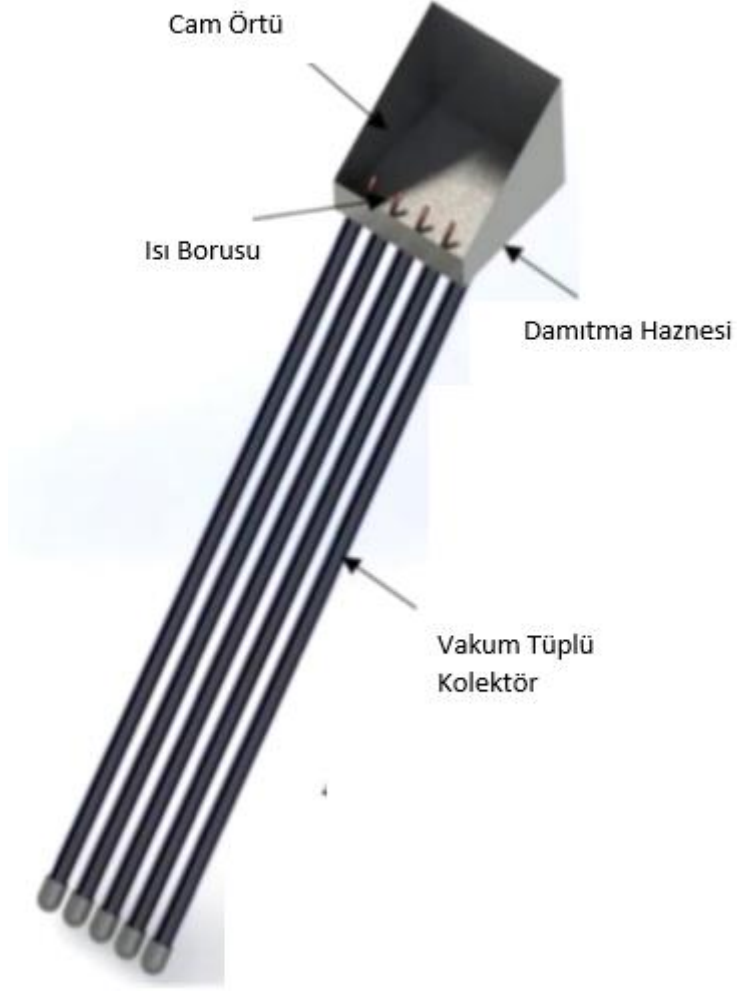


Şekil 3.4 titreşimli ısı borusu ile entegre güneş enerjili su ısıtma sistemi.

### 3.2 Damıtma Uygulamaları

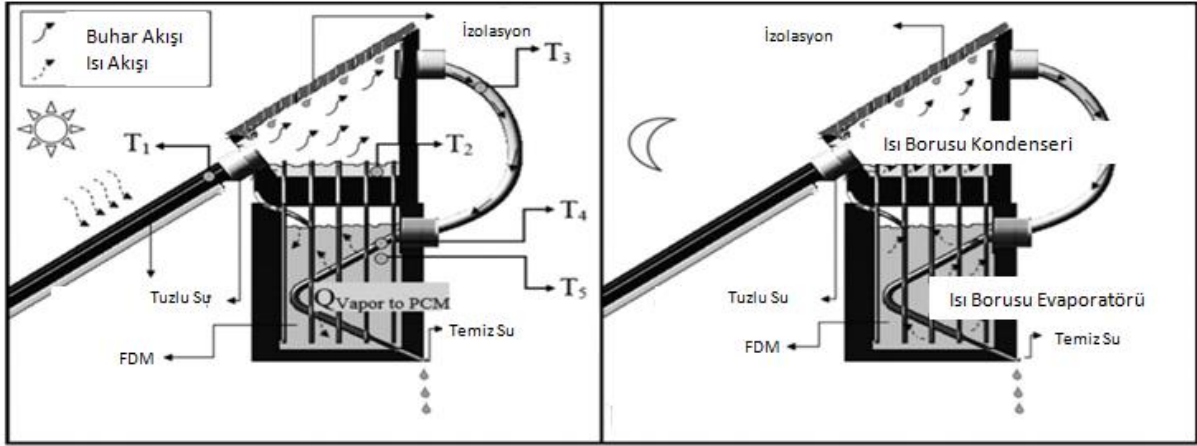
Günümüz çevresel şartları göz önünde bulundurulduğunda içilebilir su kaynaklarının hızla tükendiği görülmektedir. Bu sebeple son yıllarda su arıtma (tuz arındırma) sistemleri üzerine yürütülen çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda bu sistemlerin yüksek işletme maliyetleri öne çıkmaktadır. Bu durum karşısında güneş enerjili sistemlerden faydalanılması gelecek vaat eden sistemlerin geliştirilmesinde faydalı olmuştur.

En basit hali ile bir vakum tüplü güneş enerjili damıtma sistemine ait görsel Şekil 3.5'te verilmektedir. Bu sistemde güneş ışınlarından emilen ısıl enerji, ısı borusu kondenseri vasıtasıyla tuzlu su tankına iletilmekte ve buradaki suyun buharlaşması sağlanmaktadır. Daha sonra buhar fazına geçen saf su damıtma tankından alınmaktadır. Sistem üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda sistemin temiz su üretim miktarı  $1.02 \text{ kg/m}^3$  saat olarak ölçülmüş ve yeterince verimli olmadığı kaydedilmiştir[28].



**Şekil 3.5 vakum tüplü güneş enerjili damıtma sistemi.**

Isı borulu güneş enerjili damıtma sistemlerinde verim artışını hedefleyen çalışmalar yürütülmüştür. Mosleh ve arkadaşlarının geliştirdiği sistemde parabolik yansıtıcıların entegrasyonu ile sistemin su üretim kapasitesi artırılmış ve işletme maliyetleri düşürülmüştür[29].



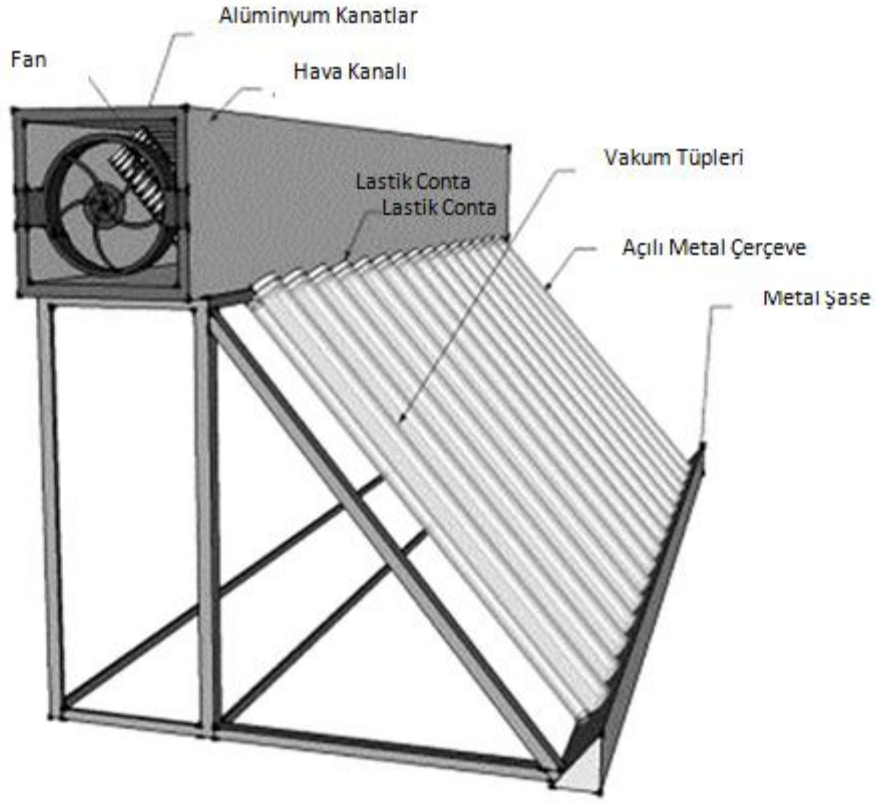
Şekil 3.6 ısı borulu güneş enerjili damıtma sisteminde faz değıştiren malzeme uygulaması.

Şekil 3.6'da şematik olarak verilen bir diğeri sistemde ise faz değıştiren malzeme ile oluşturulan ısı deposu sayesinde sistemin gün ışığı saatleri süresi dışında da çalışması sağlanarak temiz su üretim süresi ve dolayısıyla temiz su üretim miktarı artırılmıştır[30].

### 3.3 HACİM ISITMA

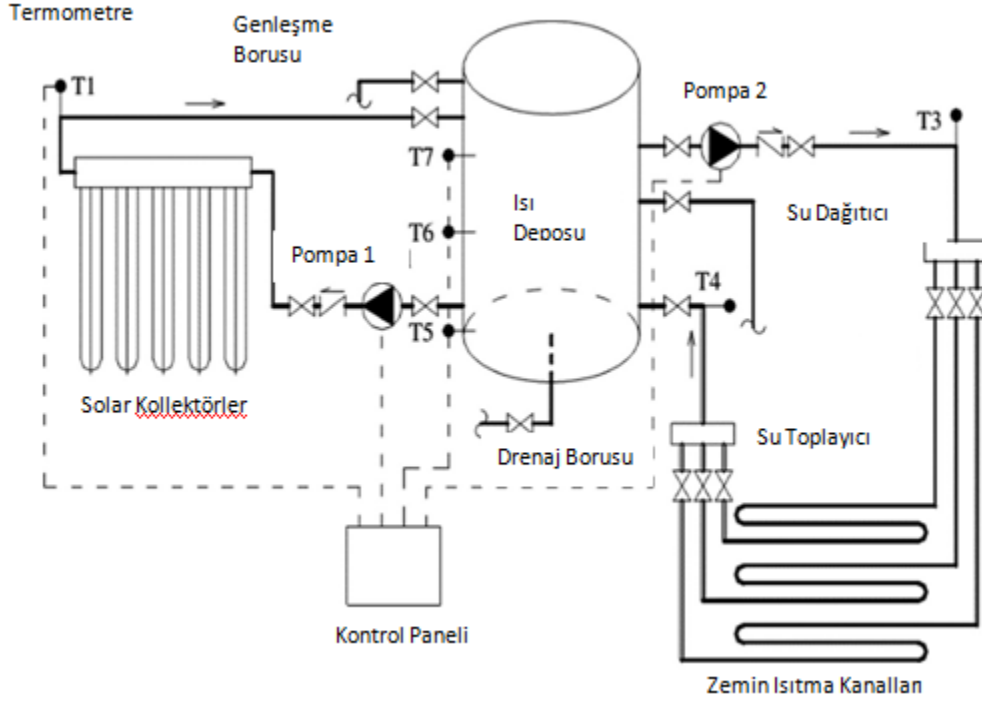
Yapılan araştırmalar ev tipi enerji tüketimlerinde hacim ısıtma sistemlerinin %50'den fazla paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Soğuk kuşak ülkeleri için bu değer çok daha yüksek noktalara çıkabilmektedir. Bilinmektedir ki barınma alanlarının iklimsel konforu insanın en önemli ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Isı borulu güneş enerjisi sistemleri güneş gibi bedava bir kaynaktan beslenmeleri yönüyle işletme maliyetlerinde kayda değer azalmalar oluşturan sistemlerdir. Isı borulu güneş enerjili hacim ısıtma sistemleri incelendiğinde temelde üç tip uygulamanın olduğu görülmektedir.

Birinci tip uygulamada ısıtma amacıyla kullanılan ana iş akışkanı havadır. Şekil 3.7'de gösterilen uygulamada ısı borusu kondenserleri bir hava kanalı içersine yerleştirilmiş ve bir fan yardımıyla kondenserler üzerinde hava akışı sağlanmıştır. Kanal içersinde ısıtılan hava işgal hacmine yönlendirilerek ısıtma sağlanmaktadır. Bu sistemde ısıl verim %73 olarak kaydedilmiş ve 200 m<sup>3</sup>/ saat değerinin altındaki hava debileri için basınç düşümü 25 Pa olarak ölçülmüştür[31].



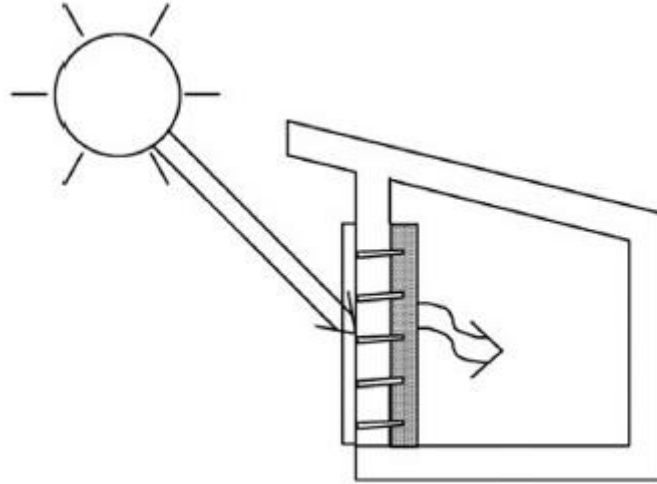
Şekil 3.7 ısı borulu güneş enerjili hava ısıtma sistemi.

İkinci tip uygulamada ana iş akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Şekil 3.8'de şematik olarak gösterilen sistemde ısı boruları kondenseri ile elde edilen sıcak su ısıtılacak hacmin zeminine yerleştirilmiş kanallar içerisinde dolaştırılmakta ve hacimde yerden ısıtma sağlanmaktadır. Ölçümler sonucunda sistemin ısıtma kapasitesi 25.04 kW olarak kaydedilmiştir[32].



Şekil 3.8 yerden ısıtmalı ısı borulu güneş enerjisi sistemi.

Üçüncü tip sistemde ise ısı boruları doğrudan ısıtılacak hacmi dış ortamdan ayıran duvara monte edilmektedir. Kondenser kısmı ısıtılacak hacimde kalacak şekilde entegre edilen ısı boruları güneş ışınlarından emdikleri ısı enerjisi doğrudan ısıtılacak hacme aktarmaktadırlar. Yürütülen deneysel çalışmada sistemin verimi %83.7 ve ısı kazancı 163 W olarak ölçülmüştür. Sisteme ait şematik gösterim Şekil 3.9'da verilmektedir[33].



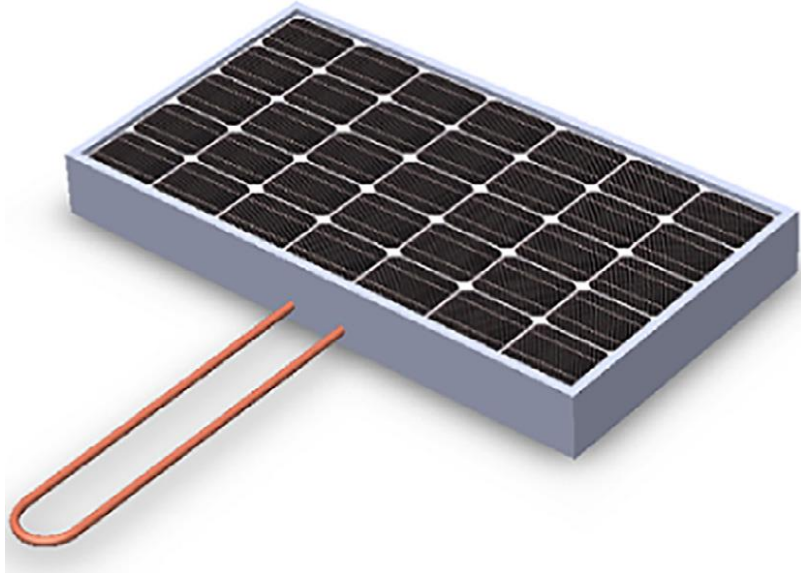
Şekil 3.9 duvara entegre ısı borulu güneş enerjili hacim ısıtma sistemi.

### 3.4 GÜÇ ÜRETİMİ

Mevcut çevre şartları ve fosil yakıtların sınırlı kapasiteleri göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin arttığı görülmektedir. Bu kaynaklar arasında

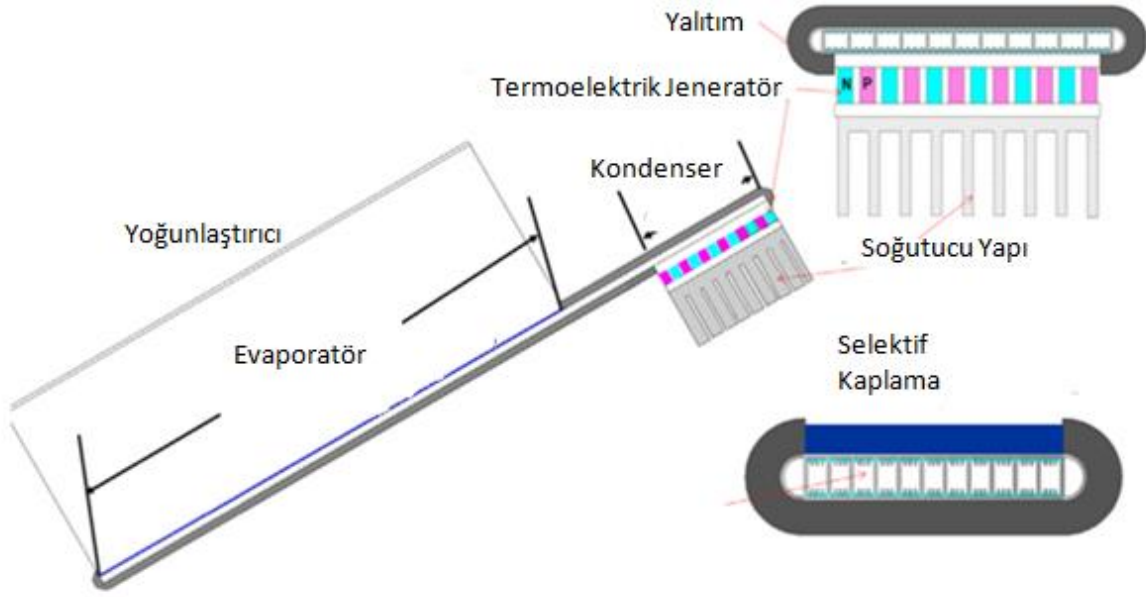
önemli bir yere sahip olan güneş enerjisinin kullanıldığı güç üretim sistemlerinde bir takım sınırlamaların önüne geçilmesi amacı ile bütünleşik sistem uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar da son yıllarda artış göstermiştir[34].

Güneş enerjisi ile güç üretiminin en yaygın yöntemi olan fotovoltaik hücrelerin,(PV) yüksek sıcaklıklarda verim kayıpları yaşadıkları bilinmektedir[35]. Alizadeh ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada bu sorunun üzerine odaklanılmış ve PV sıcaklığını kontrol altında tutmak amacı ile sisteme titreşimli ısı borusu entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistem analizleri için oluşturulan simulasyon sonuçlarına göre titreşimli ısı borusu entegrasyonu ile PV hücresinde  $10^{\circ}\text{C}$ 'den daha fazla sıcaklık düşüşü sağlanmış ve hücrenin verim kayıplarının belirli bir ölçüde engellendiği kaydedilmiştir. Ayrıca geliştirilen bu sistemde ısı borusu kondenserinden elde edilecek ısının, günlük kullanım sıcak su üretimi gibi alanlarda kullanımı da mümkündür. Tasarlanan sisteme ait görsel Şekil 3.10'da verilmiştir[36].



**Şekil 3.10 titreşimli ısı borusu entegre PV hücresi.**

Yürütülen bir diğer çalışmada Li ve arkadaşları termoelektrik jeneratörlerin ısı borulu güneş kolektörleri ile birleşimi sonucunda daha yüksek güç çıktıklarına ulaşıldığını kanıtlamıştır. Geliştirilen sistemde termoelektrik modülleri ısı borusu kondenseri altına yerleştirilmiş ve modüllerin kondensere çektiği ısı ile oluşan ısı gradyanı güç üretimini artırmıştır. Geliştirilen sisteme ait görsel Şekil 3.11'de verilmektedir[37].



Şekil 3.11 termoelektrik jeneratörlü ısı borusu güneş kolektörü tasarımı.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada güneş enerjisi ve ısı borusu sistemlerinin detaylı tanımları yapılmış ve güncel uygulamalar araştırılarak detaylı olarak tanıtılmıştır. Çalışma sonucunda pek çok alanda ısı borusu uygulamasının güneş enerjisinden faydalanma oranını artırdığı ve sistem üzerine olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen literatür araştırmaları sonucunda sı borulu güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik yönleri ve hacim ısıtma sistemleri üzerine yapılan çalışmaların yetersiz oldukları görülmüştür. Ayrıca ısı boruları için yeni akışkanlar üzerinde çalışmalar yapılabileceği ortadadır. Tuz arındırma sistemleri üzerinde yürütülen çalışmalar artırılmalı ve sistem verimini artırma yöntemleri araştırılmalıdır.

Sonuç olarak ısı borusu sistemlerinin güneş enerjisi uygulamalarında gelecek vaat eden yüksek potansiyele sahip sistemler olduğu görülmektedir.

#### 5. REFERANSLAR

- [1] Arslan: F., Uzun: A., "Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Sosyal Kabul Boyutu.", Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı 51, s. 95-116, 2017.
- [2] Kılıç; F., Ç., "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40, 2015.
- [3] Peterson; G., P., Heat Pipes Modelling Testing and Applications, John Wileyand Sons, 1994.
- [4] Silverstein; C., C., "Design and Technology of Heat Pipes For Cooling And Heat Exchange.", Hemisphere Publishing Corporation, 1992.



- [5] Chan; C., W., Siqueiros; E., Ling-Chin; J., Royapoor; M., Roskilly; A., P., "Heat Utilisation technologies: A critical review of heat pipes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 615-627, 2015.
- [6] Akdemi; Ö., "Isı Borusu Uygulamaları.", *Soğutma Dünyası*, Nisan Mayıs Haziran Sayı:51/53, s. 42-48, 2011.
- [7] Groll; M., Schneider; M., Sartre; V., Zaghoudi; M.C., Lallemand; M., "Thermal control of electronic equipment by heat pipes.", *Rev. Gen. Therm.* sayı: 37, s. 323-352, 1998.
- [8] Khandekar; S., Gautam; A.S., Sharma; P.S., "Multiple quasi-steady states in a closed loop pulsating heat pipe.", *Int J. Thermal Sciences* sayı: 48, s. 535-546, 2009.
- [9] Lips; S., Bensalem; A., Bertin; Y., Ayel; V., Romestant; C., Bonjour J., "Experimental evidences of distinct heat transfer regimes in pulsating heat pipes (PHP).", *Applied Thermal Engineering*, sayı: 30, s. 900-907, 2010.
- [10] Launay; S., Sartre; V., Bonjour; J., "Parametric analysis of loop heat pipe operation: a literature review.", *Int. J. Thermal Sciences*, sayı: 46, s. 621-636, 2007.
- [11] Waowaew; N., Terdtoon; P., Maezawa; S., Kamonpet; P., Klongpanich; W., "Correlation to predict heat transfer characteristics of a radially rotating heat pipe at vertical position.", *Applied Thermal Engineering*, sayı: 23, s. 1019-1032, 2003.
- [12] Vasiliev; L., Lossouarn; D., Romestant; C., Alexandre; A., Bertin; Y., Piatsiushyk; Y., Romanenkov; V., "Loop heat pipe for cooling of high-power electronic components.", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, sayı: 52, s. 301-308, 2009.
- [13] Vasiliev; L., Vasiliev; Jr., L., "Sorptions heat pipe a new thermal control device for space and ground application.", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, sayı: 48, s. 2464-2472, 2005.
- [14] Vasiliev; L.L., Vasiliev; Jr. L.L., "The sorptions heat pipe a new device for thermal control and active cooling.", *Superlattices and Microstructures*, sayı: 35, s. 485-495, 2004.
- [15] Chi; S.W., *Heat Pipe Theory and Practice*, Mc Grow Hill Book Company, 1976.
- [16] Dunn; P., Reay; D.A., *Heat Pipes Theory, Design and Applications*, Butterworth-Heinemann, 2006.
- [17] Güngör; A., "İklimlendirme Enerji Geri kazanımında Isı Borulu Isı Değiştiriciler.", 2. Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi 1995
- [18] Hussein; A., K., Li; D., Kolsi; L., Kata; S., Sahoo; B., "A Review of Nano Fluid Role to Improve the Performance of the Heat pipe Solar Collectors Energy Procedia.", sayı: 109, s. 417 – 424, 2017.
- [19] Choi; S. "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows.*", *ASME FED*, sayı: 231/MD-66, s. 99-105, 1995.
- [20] Li; Y., Zhou; J., Tung; S., Schneider; E., Xi; S. "A review on development of nanofluid preparation and characterization.", *Powder Technology*, sayı: 196, s. 89-101, 2009.



- [21] Bejan; A., Kraus; A., Heat Transfer Handbook, John Wiley and Sons, 2003.
- [22] Reay, D., Kew, P., Heat Pipes Theory, design and applications ISBN-13: 978-0-7506-6754-8 ISBN-10: 0-7506-6754-0
- [23] Shafieian; A., Khiadani; M., Nosrati; A., "A review of latest developments, progress, and applications of heat pipe solar collectors", Renewable and sustainable energy reviews, sayı: 95, s. 273-304, 2018.
- [24] Solar Water Heaters. Jiaying Jinyi Solar Energy Technology Co., Ltd. (<http://www.jinyi-solar.com/>).
- [25] Redpath; D., A., G., Lo; S., N., G., Eames; P., C., "Experimental investigation and optimisation study of a direct thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heater subjected to a northern maritime climate." Int J Ambient Energy, sayı: 31, s. 91-101, 2010.
- [26] Naghavi; M., S., Ong; K., S., Badruddin; I., A., Mehrali; M., Silakhori; M., Metselaar; H., S., C., "Theoretical model of an evacuated tube heat pipe solar collector integrated with phase change material.", Energy, sayı: 91, s. 911-924, 2015.
- [27] Xu; R., J., Zhang; X., H., Wang; R., X., Xu; S., H., Wang; H., S., "Experimental investigation of a solar collector integrated with a pulsating heat pipe and a compound parabolic concentrator.", Energy Convers Manag sayı: 148, s. 68-77 2017.
- [28] Mamouri; S., Derami; H., Ghiasi; M., Shafii; M., Shiee; Z., "Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still.", Energy Conversion Management, sayı: 75, s. 501-507, 2014.
- [29] Mosleh; H., J., Mamouri; S., J., Shafii; M., B., Sima; A., H., "A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic through collector.", Energy Conversion Management, sayı: 99, s. 141-50, 2015.
- [30] Faegh; M., Shafii; M., B., "Experimental investigation of a solar still equipped with an external heat storage system using phase change materials and heat pipes.", Desalination, sayı: 409, s. 128-135, 2017.
- [31] Zhu; T., T., Diao; Y., H., Zhao; Y., H., Deng; Y., C., "Experimental study on the thermal performance and pressure drop of a solar air collector based on flat micro-heat pipe arrays." Energy Conversion Management, sayı: 94, s. 447-457, 2015.
- [32] Zhai; X., Q., Yang; J., R., Wang; R., Z., "Design and performance of the solar-powered floor heating system in a green building." Renewable Energy, sayı: 34, 1700-1708, 2009.
- [33] Robinson; B., S., Chmielewski; N., E., Knox-Kelec; A., Brehob; E., G., Sharp; M., K., "Heating season performance of a full-scale heat pipe assisted solar wall" Solar Energy, sayı: 87, s. 76-83, 2019.
- [34] Nazari; M., A., Ahmadi; H., M., Ghasempour; R., Shafii; B., M., Mahian; O., Kalogirou; S., Wongwises; S., "A review on pulsating heat pipes: From solar to cryogenic applications," Applied Energy sayı: 222, s. 475-484, 2018.

[35] Ibrahim; H., Anani; N., "Variations of PV module parameters with irradiance and temperature." *Energy Proc.* sayı: 134, s.276–285, 2017.

[36] Alizadeh; H., Ghasempour; R., Razi; A., F., Alhuyi; N., M., "Numerical modeling of PV cooling by using pulsating heatpipe." In: 3rd Int. Conf. Exhib. Sol. Energy ICES-2016, Tehran; 2016.

[37] Li; G., Zhang; G., He; W., Ji; J., Lv; S., Chen; X., "Performance analysis on a solar concentrating thermoelectric generator using the micro-channel heat pipe array". *Energy Conversion Management*, sayı: 112 s. 191–198, 2016.