

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ ENERJİLİ YER ÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSUNDA
FARKLI ADYABATİK BÖLGE UZUNLUKLARININ SİSTEM
PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Saba SHABANI

Danışman:
Dr. Öğretim Üyesi Engin ÖZBAŞ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Saba SHABANI tarafından, Dr. Ögr. Üyesi Engin ÖZBAŞ danışmanlığında hazırlanan Güneş Enerjili Yer Çekimi Destekli Isı Borusunda Farklı Adyabatik Bölge Uzunlukların Sistem Performansı Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15/02/2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı/Soyadı
Üniversitesi

Ana Bilim/Ana Sanat Dalı

İmza

Sonuç

Başkan PROF.Dr. RECEP TAPRAMAZ , FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ / FİZİK BÖLÜMÜ	<input type="checkbox"/>	Kabul
	<input type="checkbox"/>	Ret
Üye Dr. Ögr. Üyesi Engin ÖZBAŞ , YEŞİLYURT DEMİR ÇELİK MESLEK YÜKSEKOKULU /Motorlu Araçlar ve Ulaştırma tek.	<input type="checkbox"/>	Kabul
	<input type="checkbox"/>	Ret
Üye Doç.Dr.BAHADIR ACAR , Teknoloji Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği / Isı Tekniği	<input type="checkbox"/>	Kabul
	<input type="checkbox"/>	Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

... / ... / 20...

Saba SHABANI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Güneş Enerjili Yer Çekimi Destekli Isı Borusunda Farklı Adyabatik Bölge Uzunluklarının Sistem Performansı Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafındantarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %

Tek kaynak oranı : % çıkmıştır.

İmza

... / ... / 20...

Dr. Öğretim. Üyesi. Engin ÖZBAŞ

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİLİ YER ÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSUNDA FARKLI ADYABATİK BÖLGE UZUNLUKLARININ SİSTEM PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Saba SHABANI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı

Yüksek Lisans, Ocak / 2021

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Engin ÖZBAŞ

Bu çalışmada yer çekimi destekli iki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusunda bulunan adyabatik bölge uzunluğunun ısı borusu üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bunun için 0 cm (a), 5 cm (b), 10 cm (c) ve 15 cm (d) adyabatik zon uzunluklarına sahip dört adet ısı borusu üretilmiştir. Aynı malzeme ve çaptaki a, b, c ve d ısı borularında çalışma sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Sonbaharda ısı boruları güneş enerjisi ile aynı zaman ve koşullarda çalıştırılarak deneysel olarak karşılaştırılmıştır. İki aşamalı deneylerin ilkinde, sadece ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. İkinci aşamada ise 0,4 litre hacmindeki su ısıtılarak ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. İlk aşama deneylerinde a, b, c ve d ısı boruları için en yüksek kondansatör sıcaklıkları sırasıyla 96.6 °C, 74.5 °C, 79.8 °C ve 84.8 °C idi. Depodaki suyun ısıtıldığı ikinci aşama deneylerinde, en yüksek tank sıcaklıkları sırasıyla a, b, c ve d ısı borularında 50.1 °C, 47.7 °C, 52.8 °C ve 47.2 °C olarak elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Isı borusu, Adyabatik bölüm, Güneş enerjisi

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT ADIABATIC ZONE LENGTH ON SYSTEM PERFORMANCE IN SOLAR ENERGY GROUND DRAWING SUPPORTED HEAT PIPE

Saba SHABANI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Renewable Energy and Applications Department

M.A., January / 2021

Supervisor: Dr. Faculty Member Engin ÖZBAŞ

In this study, the effect of the length of the adiabatic section in the gravity assisted two-phase closed thermosiphon type heat pipe on the heat pipe was investigated experimentally. For this, four heat pipes with adiabatic zone lengths of 0 cm (a), 5 cm (b), 10 cm (c) and 15cm (d) were manufactured. Pure water was used as the working fluid in a, b, c and d heat pipes of the same material and diameter. Heat pipes were actuated under the same time and conditions with solar energy in autumn and compared experimentally. In the first of the two-stage experiments, only the temperature distributions on the heat pipe were examined. In the second stage, the temperature distribution on the heat pipe was examined by heating water in a volume of 0.4 liters. The highest condenser temperatures for a, b, c and d heat pipes were 96.6 °C, 74.5 °C, 79.8 °C and 84.8 °C, respectively, in the first stage experiments. In the second stage experiments in which the water in the storage was heated, the highest tank temperatures of 50.1 °C, 47.7 °C, 52.8 °C and 47.2 °C were achieved in the heat pipes a, b, c and d respectively.

Keywords: Heat pipe, Adiabatic section, Solar energy

ÖN SÖZ

Çok uzun zamandır insanoğluna ev sahipliği yapan dünyanın gelecek kuşaklar için de bu görevini yerine getirebilirliğini sürdürebilmesi adına yapılan çalışmalar ve bu çalışmalara yapılan destekler düzenli bir şekilde artmaktadır. Her geçen gün hızla tüketilen kaynaklar, insanlığı yeni kaynaklar üretmeye mecbur kılmaktadır.

Günümüzde birçok bilim dalı insanların ve gezegenin sağlığını korumak için çalışmalar yapmaktadır. Elinizdeki çalışmayla da benzer amaçlara destek olabilmek hedeflenmiştir. Böyle bir amaç doğrultusunda eser meydana getirme mücadelesi vermiş olmaktan duyduğum mutluluğu da burada ifade etmek isterim.

Öncelikle belirtmek gerekir ki yüksek lisans tez çalışmam birçok kişinin katkı ve yardımları ile gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam süresince bilgisi ile bana yol gösteren, yardımları ve sabrıyla desteğini esirgemeyen tez danışmanım değerli Hocam Dr. Engin ÖZBAŞ'a teşekkürlerimi iletmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca desteklerini esirgemeyen, maddi manevi her konuda ellerini üzerimde hissettiğim annem Sima SHABANI, her aşamasında yardımlarıyla yanımda olan dostum Reihane SHEİBANI'e tez çalışmamda göstermiş oldukları manevi destekler ile teşvikleri için değerli Hocam Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ ve değerli çalışma arkadaşlarıma, son olarak bana bu yolda güç veren, beni özveriyle destekleyen yol arkadaşım Emel KARAOĞLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İnancınız ve desteğiniz olmadan başaramazdım.

Samsun, 2021
Saba SHABANI

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2. ISI BORUSU	6
2.1. Isı Borularının Tarihçesi.....	6
2.2. Isı Borunun Tanımı ve Çalışma Prensibi.....	6
2.3. Isı Borusu Malzemeleri.....	7
2.4. Isı Borusu Tipleri.....	8
2.4.1. Geneleksel Isı Borusu.....	8
2.4.2. Döngülü Isı Borusu.....	8
2.4.3. Titreşimli Isı Borusu.....	10
2.4.4. Dinamik Buharlı Termosifon (Vapor Dynamic Termosifon).....	10
2.4.5. Minyatür Isı Borusu.....	11
2.4.6. Yassı Plaka Isı Borusu.....	11
2.4.7. Yer Çekimi Destekli Termosifon Tipi Isı Borusu.....	12
2.5. Isı Borusu Çalışma Limitleri.....	13
2.6. Isı Borusunun Uygulama Alanları.....	13
3. MATERYAL	15
3.1. Deney Setinin Tasarımı ve İmalatı.....	15
3.2. Sistem Elemanları.....	15
3.2.1. Isı Borularında Adyabatik Bölgeyi Hazırlanması.....	17
4. METOT	20
4.1. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	20
4.2. Data Logger.....	20
4.3. Isıl Çift.....	20
4.4. Tank.....	21
4.5. Yalıtım Malzemeleri.....	21
4.6. Ölçüm Yapılan Noktaların Belirlenmesi.....	21
4.6.1. Birinci Aşamada Ölçüm Noktaları.....	22

4.6.2. İkinci Aşamada Ölçüm Noktaları.....	22
4.7. Teorik Hesaplamalar	23
5. DENEYLER VE SONUÇLARI.....	25
5.1. Deney Yerinin Tanıtılması ve İklim Özellikleri.....	25
5.2. Deneylerin Yapılışı.....	25
5.3. Deney Sonuçları	26
5.3.1. İlk Aşamada Deney Sonuçları	26
5.3.2. İkinci Deney Sonuçları	30
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR.....	36
ÖZ GEÇMİŞ.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Q_k	Kondenser su deposuna bıraktığı ısı [Kj]
m_k	Depodaki suyun miktarı, [Kg]
c_p	Suyun özgül değeri, [Kj/Kg °C]
ΔT	Depodaki suyun en yüksek-giriş sıcaklık farkı, [°C]
P	Güç verimi, [Kj/s]
t	En yüksek su sıcaklığı saniyede, [s]

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Yer Çekimi Destekli Isı Borusunda Bulunan Adyabatik Bölge Uzunluğunun Isı Borusu	15
Şekil 3. 2. Isı Borusu İmalatları.....	16
Şekil 3. 3. Üretilen Isı Boruları	16
Şekil 3. 4. 41°Eğimde Isı Borularına Yerleştirmek İçin.....	17
Şekil 3. 5. Isı Borularında Adyabatik Bölgenin Hazırlanması.....	18
Şekil 3. 6. Deneysel Karşılaştırma İçin Isı Boruları	18
Şekil 3. 7. Deneysel Düzeneğinden Genel Bir Görünüm	19
Şekil 4. 1. Çalışmada Kullanılan Data Logger.....	20
Şekil 4. 2. Deneysel Kullanılan Isıl Çift.....	21
Şekil 4. 3. Birinci Aşamada Ölçüm Noktaları.....	22
Şekil 4. 4. İkinci Aşamada Ölçüm Noktaları	23
Şekil 5. 1. Ölçüm Alınan Deneysel Düzeneğin Görünüşü.....	25
Şekil 5. 2. Meteorolojik Verilerin Ve Güneşlenme Değerlerinin Dağılımı.....	26
Şekil 5. 3. (a) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	27
Şekil 5. 4. (b) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	27
Şekil 5. 5. (c) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	28
Şekil 5. 6. (d) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	28
Şekil 5. 7. a, b, c ve d Tipi Isı Borularının Kondenser Sıcaklık Dağılımı	29
Şekil 5. 8. Meteorolojik Verilerin Ve Güneşlenme Değerlerinin Dağılımı.....	30
Şekil 5. 9. (a) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	31
Şekil 5. 10. (b) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	32
Şekil 5. 11. (c) tipi ısı borusu için sıcaklık dağılımı	32
Şekil 5. 12. (d) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı	33
Şekil 5. 13. a, b, c Ve d Tipi Isı Borularının Kondenser Sıcaklık Dağılımı	33

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5. 1. Meteorolojik Veriler ve Güneşlenme Değerleri	29
Tablo 5. 2. Tip-a Ve Tip-b Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C	30
Tablo 5. 3. c ve d Tipi Isı Borularının Sıcaklık Değerleri,	30
Tablo 5. 4. Meteorolojik Veriler ve Güneşlenme Değerleri	34
Tablo 5. 5. Tip-a ve Tip-b Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C	34
Tablo 5. 6. c-Tipi ve d-Tipi Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C	34

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi problemlerle artan kişisel ve sosyal enerji ihtiyacına katkıda bulunmak üzere giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin birçok uygulaması bulunmaktadır.

1800'lü yıllarda başlayan ısı boruları ile ilgili çalışmalar, ısı borularının geliştirilmesi için günümüzde de devam etmektedir. Isı borularının çok yaygın kullanım alanları vardır. Özellikle 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanan ısı boruları; elektronik bileşenlerin soğutulması, ısı eşanjörleri, köprü ve yollarda donun önlenmesi, lazer aynaların soğutulması, sondaj için kullanılan elmas uçların soğutulması, jeotermal enerjinin kullanıma sokulması, uzay aracının güneşsiz tarafı ile güneş tarafı arasında termal dengenin sağlanması (Yılmaz, 1988).

Isı borularının kullanım alanlarından biri de güneş enerjisi sistemleridir. Isı boruları genellikle vakum tüplü güneş kolektörlerinde sıcak su üretiminde kullanılmaktadır. Vakum tüpüne yerleştirilen ısı borusu ile vakum tüpü arasındaki boşluklar nedeniyle emilen güneş enerjisi doğrudan ısı borusuna iletilmez ve ısı kayıpları yaşanır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için Owens Illinois ve General Electric tipi ısı borulu vakum tüp tasarımları yapılmaktadır. Bu tasarımlarda hem odaklayıcı görevi görmesi hem de ısı transfer yüzey alanını arttırması için ısı borusunun altına alüminyum kanatlar eklenir.

Bu çalışmada, farklı adyabatik bölge uzunluklarının yer çekimi destekli iki fazlı kapalı termosifon tipli bir ısı borusundaki sıcaklık dağılımına etkisi araştırılmıştır. Bunun için 0 cm (a), 5 cm (b), 10 cm (c) ve 15 cm (d) adyabatik zon uzunluklarına sahip dört adet ısı borusu üretilmiştir. Aynı malzeme ve çaptaki a, b, c ve d ısı borularında çalışma sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Sonbaharda ısı boruları güneş enerjisi ile aynı zaman ve koşullarda çalıştırılarak deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Tezin ilk bölümünde yukarıda açıklandığı gibi ısı borularının kullanım alanlarından ve tezin amaçlarından bahsedilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde ısı boruları ve geçmişteki tezdeki araştırmalar

güncellenmiştir.

Üçüncü bölümde ısı borusunun tarihsel gelişimi, yapısı ve çalışma prensibinin yanı sıra ısı borusu melzemeleri, ısı borusu tipleri, ısı borusu çalışma limitleri, ısı borusu uygulama alanları da bu bölümde yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde deney setine ait tasarım, materyaller ve imalatı yapılan parçalara yer verilip deney düzeneğinin çalışma prensibi anlatılmıştır.

Beşinci bölümde deneylerde kullanılan ölçüm cihazları tanıtılmış, ölçüm alınan noktalar şekiller yardımıyla anlatılmış ve teorik hesaplamalarla ilgili eşitlikler verilmiştir.

Altıncı bölümde deneylerin yapılışı anlatılmış, deney sonuçlarıyla ilgili grafikler yorumlanmıştır.

Yedinci ve son bölümde deneysel sonuçlardan elde edilen bilgiler ışığında sistemin kullanımına ve geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı borusunun temel amacı ısı taşımaktır. Bu nedenle geçmişten günümüze endüstrinin birçok alanında çeşitli ısı boruları kullanılmıştır. Isı boruları ile ilgili çalışmalar genel olarak ısı transferini artırmaya yöneliktir. Isı borularında, güneş kolektörlerinde ve vakum tüplü güneş kolektörlerinin hava ısıtma için kullanıldığı sistemlerde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımına ilişkin çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

1964 yılından sonra ısı borusu performansı konusunda çeşitli çalışmalar yapıldı. Isı borularında performansı etkileyen bir faktör olan ısı direnci; ısı borusunda faz değişimi sırasında katı-sıvı arayüzünde bulunan buhar kabarcıklarının yapısıdır. Büyük baloncuklu çekirdek, katı yüzeyden sıvıya ısı transferini engelleyerek ısı direnci neden olur (Huminiç, 2011).

Noie vd.'nin yaptıkları çalışmada alümina nanoakışkanlarının ısı borusundaki performansları incelenmiştir. 1000 mm boyunda, 1 mm kalınlığında ve 20 mm iç çapa sahip bakır borudan imal edilen ısı borusunun 350 mm uzunluğa sahip evaporatör bölgesi 1000 W gücünde ısıtıcıyla ısıtılıp, kondenser bölgesi ise bir ısı değiştirici vasıtasıyla soğutulmuş bir deney düzeneği tasarlanmıştır. 20 mm boyutunda Al_2O_3 nanoparçacıkların ve saf suyun kullanıldığı, % 1'den % 3'e kadar farklı derişimlerde nanoakışkan hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %3 derişimli nanoakışkanın saf su ve diğer derişimdeki nanoakışkanlara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Heris, 2009).

Nanoakışkan, ısı transfer akışkanlarında yeni bir tür olarak, geniş uygulama olanaklarıyla, ısı borularındaki faz değişiminden yararlanarak ısı transferini iyileştirmek için yeni bir teknoloji girişimidir. Isı borularında nanoakışkan araştırması ilk olarak 2003 yılında yayınlandı. 2003 yılından bu yana, konuyla ilgili 30'dan fazla makale çalışıldı (Zhen, 2012).

Zhu ve ark. (2016)'da Çin'deki Pekin Teknoloji Üniversitesinde; ısı borulu kombine parabolik yoğunlaştırıcı hava güneş kolektörünün deneysel bir düzeneği kurulmuş ve performansı incelenmiştir. Deneysel kurulumlarda güneş radyasyonunu toplamak için 1800 mm uzunluk ve 47 mm iç çap vakum tüplü güneş kolektörü; ısı transferini sağlamak

için 1800 mm alüminyum yassı mikro ısı borusu ve çalışma sıvısı olarak aseton kullanılmaktadır. Tasarladıkları 10 mikro ısı borusu vakum tüplerine yerleştirildi ve bir dizi deney düzeneğinde bir araya getirildi. Hava ısıtması için tasarlanan bu sistemde kollektörün optik verimi teorik hesaplamalarda % 65,6 olarak hesaplanmıştır. Kollektörün anlık verimliliğinin test süresi boyunca % 62'ye ulaştığı görülmüştür. Ancak deney düzeneğinin yıllık ısı veriminin % 52 olduğu belirtilmiştir (Zhu, 2016).

Her sistemde olduğu gibi güneş enerjisi sistemlerinde de enerji tasarrufu ve verimliliği artırmak için ek sistemler kullanılabilir. Bu ek sistemlerden biri de ısı borusudur (Özbaş, 2019).

Literatür incelendiğinde fitilli, fitilsiz, yassı plakalı, ilmekli ve titreşimli tip ısı borularının olduğu görülmektedir (Khairnasov ve Naumova, 2016).

Qu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada \cap , N, ζ ve I şeklinde adyabatik kesitli ısı borularını deneysel olarak araştırdılar. Bunun için flor kauçuk malzemeden adyabatik bölgeci hibrit *esnek salımlı ısı boruları* (FOHP) üretildi. Isı borularında %50, %60 ve %70 hacimsel oranlarda çalışma sıvısı olarak deiyonize su kullanılmıştır (Qu vd., 2017).

Brahim ve Jemni, ısı borusu adyabatik bölgesinin, değişen evaporatör ve kondenser koşulları altında bir ısı borusunun akış ve ısı transfer performansı üzerindeki potansiyel etkisini araştırdı. Gözenekli sıvının sınır ve atalet etkileri Darcy-Brinkman-Forchheimer modeli ile incelenmiştir. Modelin çözümü için bir FORTRAN kodu geliştirilmiş ve gözenekli yapıda oluşan sıcaklık gradyanı nedeniyle adyabatik bölgede bir faz değişiminin olabileceği görülmüştür (Brahim ve Jemni, 2014).

Arab ve diğerleri, *bir güneş enerjili su ısıtıcısında (SWH) titreşimli ısı borularının (PHPs) uygulamasını* araştırdı. Bu çalışma için *Ekstra uzun titreşimli bir ısı borusu (ELPHP)* tasarlanmıştır. Üretilen ısı borusunun kondansatör ve evaporatör kesit uzunlukları sırasıyla 0.8 m ve 0.96 m iken adyabatik bölgenin uzunluğu 0.7 m ile 1.8 m arasında değişmektedir. Deneylerde dört farklı dolun oranı karşılaştırıldı. Deneylerde dört farklı doldurma oranı karşılaştırılmıştır (Arab vd., 2012).

Zhuang ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, geleneksel bir ısı borusunun (HP) adyabatik kısmının bir faz değişim malzemesi (PCM) ile sarılmasıyla yeni bir kompozit ısı borusu (CHP) önerilmiştir. Böylece, geleneksel ısı borusunun (HP) yüksek ısı

iletkenliği ile faz değişim malzemesinin (PCM) yüksek ısı depolama kapasitesinin birleştirilmesi (CHP) amaçlanmıştır. Deneysel sonuçlar, kompozit ısı borusu (CHP) ile termal performansın artırılabilceğini ve termal şokun büyük ölçüde azaltılabileceğini gösterdi (Zhuang vd., 2019).

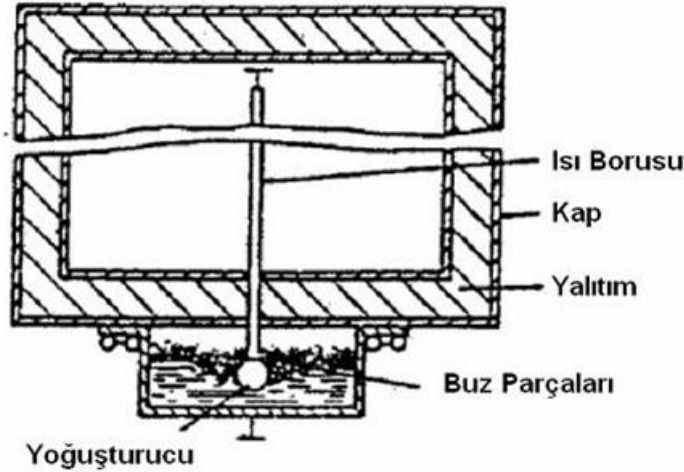
Czajkowski ve diğerleri tarafından; 2 kW'a kadar yüksek ısıtma gücü ile çalışabilen büyük ölçekli titreşimli ısı borusunda (PHP) aseton, etanol ve su gibi farklı çalışma akışkanları ile çalışan farklı dolum oranlarının (FR) ve farklı adyabatik kesit uzunluklarının etkisi araştırıldı. Deneysel sonuçlarında, adyabatik bölümün uzunluğunun belirli bir çalışma sıvısı için PHP performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gösterilmiştir. Ancak farklı çalışma sıvılarına göre etkinin farklı olduğu görülmüştür (Czajkowski vd., 2020).

2. ISI BORUSU

Son yıllarda ısı boruları çok farklı, çok verimli ve çok üstün uygulamalar ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ısı borularının adiyabatik bölge yalıtımına etkisi araştırılmıştır.

2.1. Isı Borularının Tarihçesi

Isı boruları ilk olarak 1830 yılında Perkins adlı bir mühendis tarafından keşfedildi ve "Perkins tube" adını aldı. O yıllardan bu yana ısı borusu fikirleri birçok çalışmaya dahil edildi. Isı boruları üzerine yapılan birçok çalışma ile mevcut durumunu korumuş ve araştırmacıların ilgisini çekmeye devam etmiştir. 18. yüzyılda ilk kez İngiltere'de yer çekimi destekli bir ısı borusu (termosifon olarak bilinir) inşa edildi. Tarihler sırasıyla 1944 ve 1962 yıllarını gösterdiğinde, Guagler ve Trefethen çalışmalarıyla ısı borusunun geliştirilmesinde büyük rol oynadılar. Gaugler, Heatpipe'nin ilk patentini 1942'de elde edebildi. Gaugler'in patentli ısı borusu Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Ancak teknolojinin günümüz seviyesine ulaşmaması ve ısı boruları konusunda yapılan çalışmaların yetersiz kalması ve ısı borusu fikrinin yaklaşık 20 yıldır sadece fikir olarak kalması nedeniyle böyle bir araca çok ihtiyaç olmadığına inanılıyordu (Yıldırım, 2014).



Şekil 2. 1. Gaugler'in Patentli Isı Transfer Cihazı Kesit Görünümü

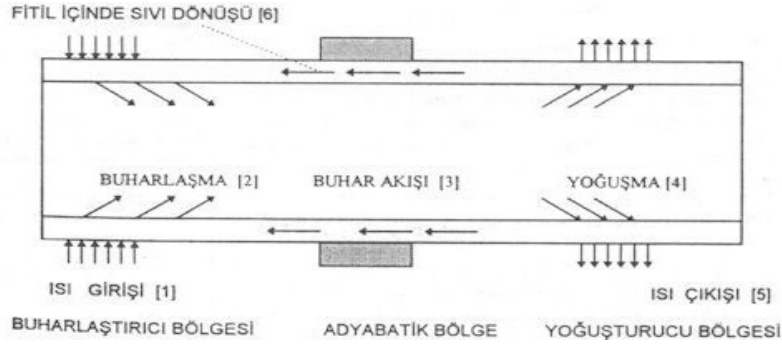
2.2. Isı Borunun Tanımı ve Çalışma Prensibi

Isı borusu vakum işlemleriyle kapalı bir hacimdir, genellikle tüp şeklinde silindirik ve iç yüzeyleri kaplanmış (yerleştirilmiş veya oluşturulmuş) ve tüm fitil yüzeyleri ve kapı

geçişleri çalışma (döngü) sıvısı dolu bir yapıya sahiptir. Tek bir ısı borusunun çalışma prensibini açıklamak için çizilmiş şematik bir yapı tasarlanmıştır. Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi ısı borusu genel olarak üç parçadan oluşmaktadır (Akyurt, 1983).

- a) Evaporatör (Evaporatör) bölgesi,
- b) Adyabatik (Isı kaybı olmayan orta) bölge,
- c) Kondenser (Kondenser) bölgesi (Akyurt, 1983).

Bir ısı borusunun [1] evaporatör bölgesine ısı uygulandığında, çalışma akışkanının bir kısmı buharlaşır [2] ve hemen bu buhar akışı hacim kondansatörünün içindeki bölümü doldurur ısı bölgesindeki ısı çıkışı [5] sonucunda yüzeylerde yoğunlaşma [4] meydana gelir ve bu yoğun sarı sıvı, fitilin içindedir. Eğer varsa kapılar ve yer çekimi [6] etkisiyle evaporatör bölgesine geri döner ve ısı alışverişini verileri döngüsü boyunca sürdürür (Akyurt, 1983).



Şekil 2. 2. Isı Borusu Prensibi

2.3. Isı Borusu Malzemeleri

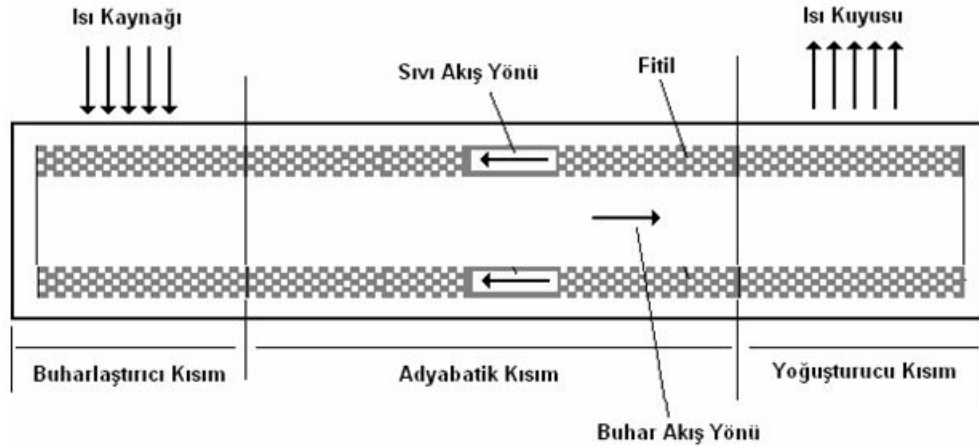
Isı borusu gövdesinde (dış boru) demir kullanılmıştır. Ancak kullanılan ısı borusu malzemeleri gerekli çalışma sıvısı ile uyumlu olmalıdır. Isı borusu çalışma akışkanı olarak saf su kullanılmıştır.

2.4. Isı Borusu Tipleri

1831 yılına kadar geçmişi devam eden ısı boruları günümüze kadar çok gelişmiştir ve kullanım amacına göre çok çeşitli ısı boruları üretilmiştir. Bunlardan en yaygın olanları bu başlık altında listelenmiştir.

2.4.1. Geneleksel Isı Borusu

Geleneksel ısı boruları kendi bünyelerinde buharlaştırıcı (evaporatör) ve yoğunlaştırıcı (kondenser) bölümlerini içerir. İçerideki havayı tamamen vakumlayarak saf soğutucu akışkanın faz değişimi prensibine göre çalışırlar. Buharlaştırıcı bölgesinde çalışma akışkanının ısıyla büzüşmesi sonucunda faz değişimi meydana gelir ve bu değişim sonucunda bir basınç gradyanı oluşur. Bu etki ile, çalışma sıvısı yoğunlaşma alanına doğru hareket eder. Evaporatör bölgesinin üst yüzeyindeki sıvı buhara dönüştüğü için bu noktadaki basınç artar. Bu olay neticesinde sıvı-buhar ara yüzeyi bir fitil yardımıyla evaporatöre doğru çekilir. Bu çekmeden kaynaklanan kılcal basınç, kondansatör bölgesindeki sıvı çalışma akışkanını fitil içine çeker ve buharlaştırıcı alanına geri taşır (Arslan, 2007). Şekil 2.3'de Geleneksel bir ısı borusunun bir kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 2. 3. Geneleksel ısı borusu

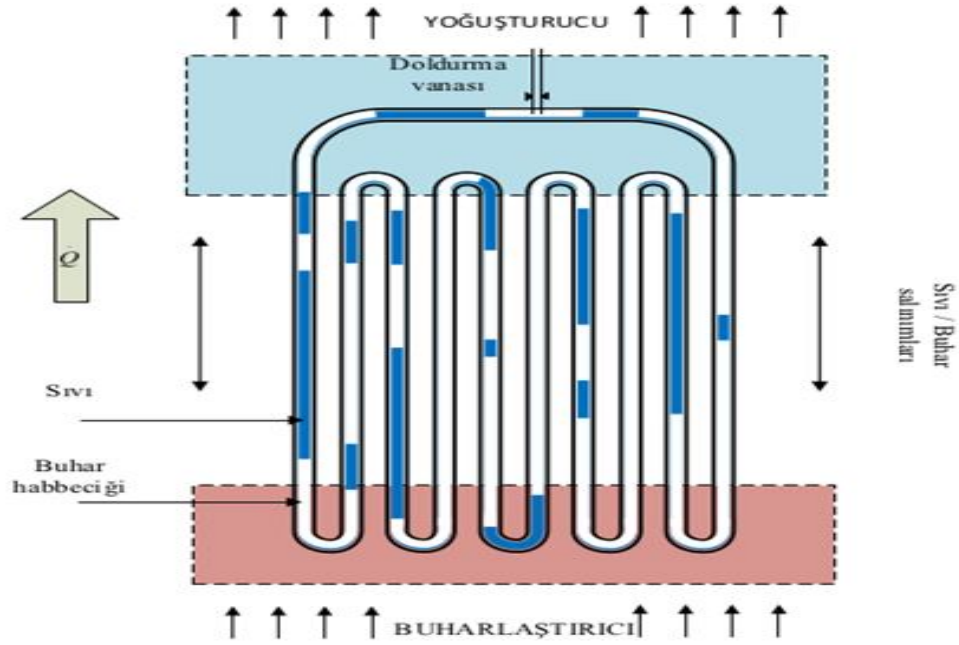
2.4.2. Döngülü Isı Borusu

Döngülü ısı boruları, geleneksel ısı borularında olduğu gibi düşük sıcaklık farkı ile iki fazlı ve yüksek ısı yükleri taşıyan pasif çalışan bir cihazdır. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi

Rus bilim adamları Gerasimov ve Maydanik tarafından 1972'de yapılan ilk ilmekli ısı borusu 1200 mm uzunluğundaydı. Çalışma sıvısı olarak su ilmekli ısı borularının verimi, kullanılan çalışma sıvısına ve fitil özelliklerine bağlı olarak 10.000 ile 100.000 W/m².K arasında değişir (Arslan, 2007).

2.4.3. Titreşimli Isı Borusu

Titreşimli ısı boruları, hızlı ısı tepkiye ve yüksek verime sahip basit yapılı cihazlardır. Bu tip ısı borularının parçaları; Bir evaporatör, kondansatör, adyabatik bölge ve kıvrımlı uzun kılcal borulardan oluşur. Titreşimli ısı borularında, geleneksel ısı borularında olduğu gibi kondenser ile evaporatör arasında akışkan hareketi sağlayan fitil yoktur. Buharlaştırıcıdan kondansatöre ısı transferi, borudaki çalışma sıvısının eksenel titreşimlerinden kaynaklanır. Kılcal boruların kullanılması, sıvı fazda çalışma sıvısı buhar kabarcıklarının çalışma sıvısından ayrılmasına izin verir (Demir, 2015). Şekil 2.5'te kapalı uçlu titreşimli bir ısı borusu verilmiştir.

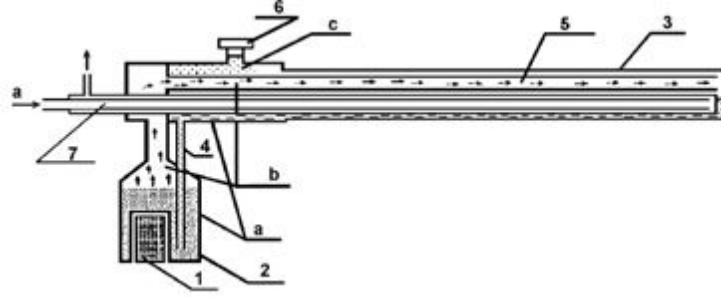


Şekil 2. 5. Kapalı Uçlu Titreşimli Isı Borusu

2.4.4. Dinamik Buharlı Termosifon (Vapor Dynamic Termosifon)

Bu ısı boruları, diğer ısı borularından daha düşük ısı kayıplarına sahiptir. Ayrıca bu ısı borularının ısı direnci düşüktür. Bu nedenle metre cinsinden boyutlara ulaşabilir. Isıyı

ısı buharlaştırıcı bölgesinden soğurma ortamına sıcak gaz veya alevle aktarın. Buhar akışı ve sıvı akışı bir duvarla ayrılır. İç ve dış borular arasındaki boşlukta ısı transferi gerçekleşir. Yoğuşma işlemi, dış yoğuşma borusunda gerçekleşir (Vasiliev, 2005). Buharlı dinamik termosifonun görüntüsü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Buharlı Dinamik Termosifon

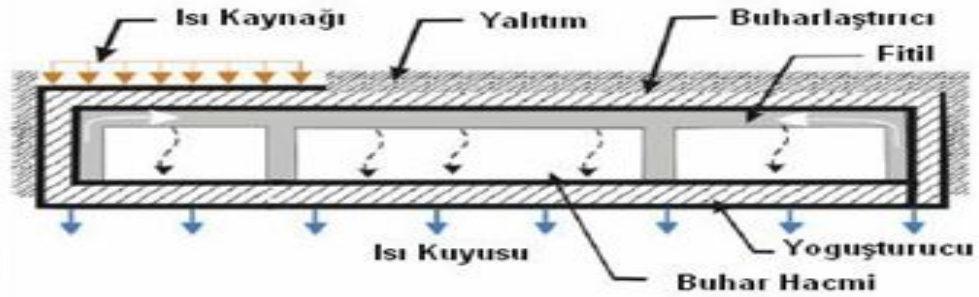
1)elektrikli ısıtıcı, 2) mini kazan 3) kondansatör, 4) sıvı kolon beslemesi, 5) buhar geçişi, 6) buhar kapama, 7) ısı eşanjörü, a) su, b) buhar, c) yoğunlaşmayan gaz NCG.

2.4.5. Minyatür Isı Borusu

Minyatür ısı boruları genellikle uzay uygulamalarında elektroniklerin termal kontrolünü sağlamak için kullanılır. Minyatür ısı boruları, tıpkı geleneksel ısı boruları gibi evaporatör, kondenser ve fitilden yapılır. Bu tip ısı borusunun geleneksel ısı borularından farkı boyutlarıdır. Genellikle 100 mm ile 300 mm boyutlarındadır (Vasiliev, 2005).

2.4.6. Yassı Plaka Isı Borusu

Düz plakalı ısı boruları, dikdörtgen bakır plakaların birleştirilmesiyle oluşturulan ısı borulardır.

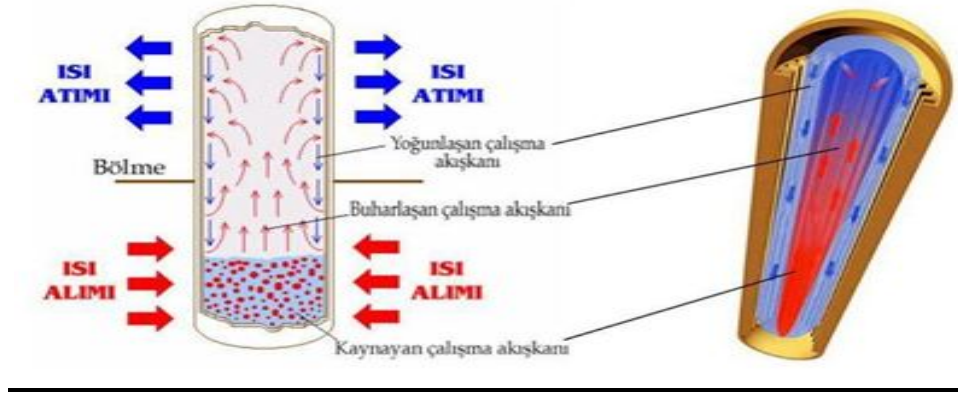


Şekil 2. 7. Yassı Plaka Isı Borusu

Şekil 2.7’de gösterilen düz plakalı ısı borusunda ısı, düz yüzeylerin (evaporatör) bir tarafından çekilir ve diğer taraftan (kondenser) atılır. Evaporatör kısmının iç yüzeyi fitil kapakla kapatılmıştır. Bu fitil sayesinde çalışma sıvısının evaporatör ile kondenser arasında hareketi sağlanır (Çelik, 2018).

2.4.7. Yer Çekimi Destekli Termosifon Tipi Isı Borusu

En basit ifadeyle, makul bir çalışma sıvısı içeren havalandırılmalı bir alan, ısı faktörünü kolayca alabilen evaporatör alanı, ısı faktörünü kolayca boşaltabilen kondenser ve izole (adyabatik) bir ısı taşıma cihazıdır. Bu ikisi arasındaki alan, ısı borularının çalışma prensipleri Şekil 2.8’de gösterildiği gibidir (Çelik, 2018).

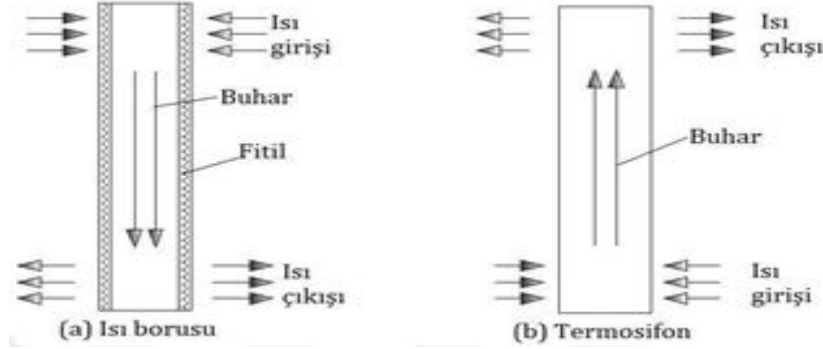


Şekil 2. 8. Isı Borusu Çalışma Şeması

Evaporatör, hacminin % 30'u kadar bir çalışma sıvısı ile ısı borularında ısı çeken evaporatördeki alandır. Bu bölgeden ısı çeken ısı borularının içindeki çalışma sıvısı bir kaynama reaksiyonu gösterir. Isı borularının içindeki çalışma sıvısı buharlaşır ve genellikle bir fitil yardımıyla yükselir ve kondansatöre ulaşır. Isı borularının soğuk tarafa bakan kısmı kondenser yani kondenser olarak bilinir. Kondenser alanında ısı giderme olayını gerçekleştiren çalışma sıvısı, yeniden yoğunlaşma ile damlacıklar halini alır ve yer çekiminin etkisi ile evaporatör alanına ulaşır. Isı borularındaki bu sirkülasyon, ısı borularını ısı geri çekmeye veya ısının atılmasına uygun olduğu sürece devam eder (Çelik, 2018).

Isı boruları ve su ısıtıcılarının benzer işlevleri nedeniyle birbirinden ayırt edilmesi zordur. Termosifonda yoğunlaşan çalışma sıvısı, yer çekimi etkisiyle buharlaşma alanına geri döner. Isı borularında da aynı işlem kılcal etki kullanılarak yapılabilir (Şekil 2.9). Isı

borularında evaporatör bölümü kondansatörden daha yükseğe yerleştirilir. Ancak termosifonlarda, evaporatör kondansatöründen daha düşük bir konuma yerleştirilmesi gerekir. Bu nedenle termosifon, yer çekimi olmadığında veya yer çekimi çok zayıf olduğunda aktif değildir (Yıldırım, 2014).



Şekil 2. 9. Termosifon ve Isı Borusunun Çalışma Mantığı

2.5. Isı Borusu Çalışma Limitleri

Isı borularında çalışmayı etkileyen sınırlar, ısı borusunun tasarımında bir endişe konusudur. Bu limitleri başlıklar altında incelersek; Kılcal sınıır, kaynama sınıır, köpürme sınıır, viskon sınıır ve ses sınıır olarak beşe ayırıyoruz (Çelik, 2014).

2.6. Isı Borusunun Uygulama Alanları

- Uzay araçlarında sıcaklık kontrolü,
- Elektronik cihazların soğutulması,
- Boru sisteminin stabilize edilmesi,
- Atık ısıların tekrar kullanılması gibi alanlarda uygulamalara rastlanır.
- Jeotermal enerjinin kullanılması,
- Enerji depolama,
- Makine elemanlarının soğutulması,
- Taşıtlarda iç ısıtma,
- Gaz türbini jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılması,

- Taşıtların iç ısıtmalarında egzozdan faydalanılması,
- Uçakların fren sistemlerinin soğutulması.

3. MATERYAL

3.1. Deneysel Setinin Tasarımı ve İmalatı

Bu çalışmada yer çekimi destekli iki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusunda bulunan adyabatik bölge uzunluğunun ısı borusu üzerindeki etkisi (Şekil 3.1) deneysel olarak araştırılmıştır.

İki aşamalı deneylerin ilkinde, sadece ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. İkinci aşamada ise 0,4 litre hacmindeki su ısıtarak ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir.



Şekil 3. 1. Yer Çekimi Destekli Isı Borusunda Bulunan Adyabatik Bölge Uzunluğunun Isı Borusu

3.2. Sistem Elemanları

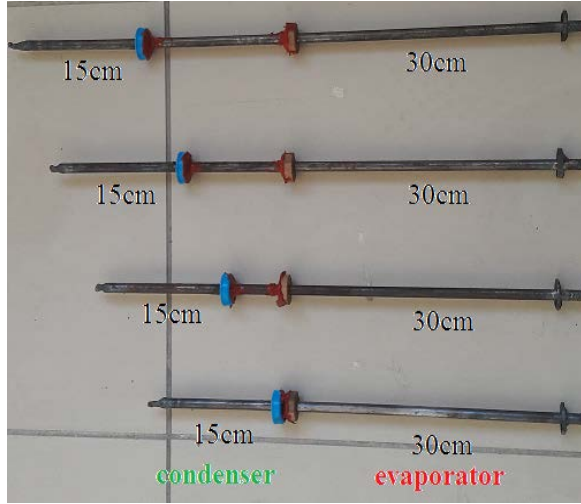
Sistem elemanları Şekil 3.2’de de görüldüğü üzere, vakumlu cam tüpü, ısı borusu vakumlu cam tüpe yerleştirilmiştir. Isı borularının içinde saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı adyabatik bölgeye sahip olan ısı boruları incelenmeye alınmıştır.



Şekil 3. 2. Isı Borusu İmalatları

Isı borusu (HP) iki fazlı bir ısı transfer cihazıdır.

Isı boruları aynı çap (16 mm) ve demir malzemedен dört adet üretilmiştir. Tüm ısı borularının (Şekil 3.2) evaporatör bölgesinin uzunluğu 30 cm ve kondansatör bölgesinin uzunluğu 15 cm'dir.



Şekil 3. 3. Üretilen Isı Boruları

Her ısı borusunun adyabatik bölgelerinin uzunlukları sırasıyla (a) 0 cm, (b) 5 cm, (c) 10 cm ve (d) 15 cm olarak tasarlanmıştır. Isı borusu tipleri ve sıcaklık ölçüm noktaları

(Şekil 3.3)'de verilmiştir. Sıcaklık ölçümleri, kondenser ve adyabatik bölgelerinin orta noktalarından ve evaporatör bölgesinin iki ucundan olmak üzere toplam dört yerden yapılmıştır.

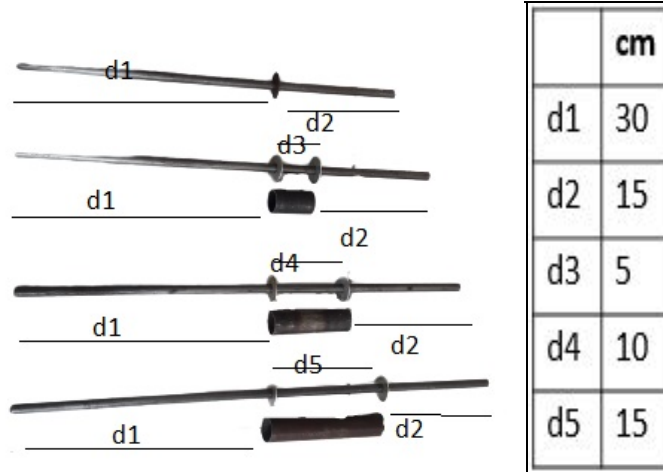
Denemeler sonbaharda yapıldığı için 41° eğimde ısı borularına yerleştirilmesi gerek. Çünkü güneş ışıkları Samsun ilinin coğrafi konumuna göre yaz şartlarında 21° ve kış şartlarında 56° maksimum verime sahiptir. Bu yüzden 41° de ısı borularına (Şekil 3.4) yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 4. 41° Eğimde Isı Borularına Yerleştirmek İçin

3.2.1. Isı Borularında Adyabatik Bölgeyi Hazırlanması

DeneySEL karşılaştırma için hazırlıkları tamamlanan ısı boruları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Isı borularının adyabatik bölgeleri ısı transferine karşı iyi yalıtılmıştır. Isı borularındaki sıcaklık dağılımı inceleneceğinden kondenser bölgeleri kaplanmamaktadır.



Şekil 3. 5. Isı Borularında Adıyabatik Bölgenin Hazırlanması



Şekil 3. 6. Deneysel Karşılaştırma İçin Isı Boruları

Güneş enerjisi ile yapılan denemelerde sistemlerin eğim açısının Samsun'un coğrafi konumu gereği yaz şartlarında 26° , kış şartlarında 56° yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneyler sonbahar şartlarında yapıldığından sistem 41° eğim açısı ile konumlandırılmıştır. Sistem üzerindeki tüm sıcaklık ölçümleri UDL100 model veri toplayıcılar ile yapılmıştır. DALI08 yazılımı ile veri toplayıcıdaki ölçümler bilgisayara kaydedilmiştir. Işınım şiddeti, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı okulumuzdaki meteorolojik istasyondan alınmıştır.



Şekil 3. 7. Deney Düzeneginden Genel Bir Görünüm

4. METOT

4.1. Deneyleerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Denemelerde yapılaş amacına göre ölçülecek değışkenler; ısı borusu sıcaklık, rüzgar hızı ve güneş ışınımı şiddetidir.

Yapılan bu çalışmada 4 adet ısı borusu, 16 adet ısı çift, 4 adet data logger (veri toplayıcı), 4 adet tank (su şişesi), 4 adet yalıtım malzemesi.

4.2. Data Logger

UDL 100 model cihazlar analog sinyalleri sayısal değere çevirerek bilgisayar ortamına kolay bir şekilde aktarılmasını sağlar. Aynı zamanda cihazdan aktarılan değeri DALI08 yazılımından yararlanarak bilgisayar üzerinde kaydedebiliriz.



Şekil 4. 1. Çalışmada Kullanılan Data Logger

4.3. Isıl Çift

Isıl çift veya termokupl, bir çeşit sıcaklık sensörü olarak tanımlanmaktadır. İki ayrı türde iletken malzemedan meydana gelmiştir. Materyalin iki ucu birleştirilip (sıcak nokta)

ısı verilirse, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim kazanılabilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim (EMF) yaratır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0 °C'de tutulması ile elde edilir. Termokupllar -200°C'den 2320 °C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda, ölçüm ve kontrol için yaygın olarak kullanılır.



Şekil 4. 2. Deneyleerde Kullanılan Isıl Çift

4.4. Tank

4 adet 500ml lik su şişesi ilk aşamada boş olarak kullanıldı ikinci aşamada 400 ml(g) su kullanılarak denemelere devam edildi.

4.5. Yalıtım Malzemeleri

4 adet alüminyum kağıt ve yün cam ile adyabatik bölge yalıtılmıştır.

4.6. Ölçüm Yapılan Noktaların Belirlenmesi

Tasarlanan ve imal edilen deney düzeneğinde iki aşama şeklinde deneyler yapılmıştır.

İki aşamalı deneylerin ilkinde, sadece ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. İkinci aşamada ise 0,4 litre hacmindeki su ısıtarak ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

4.6.1. Birinci Aşamada Ölçüm Noktaları

İlkinde, sadece ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. İlk aşama deneylerinde a, b, c ve d ısı boruları için kondansatör sıcaklıkları kaydedilmiştir.

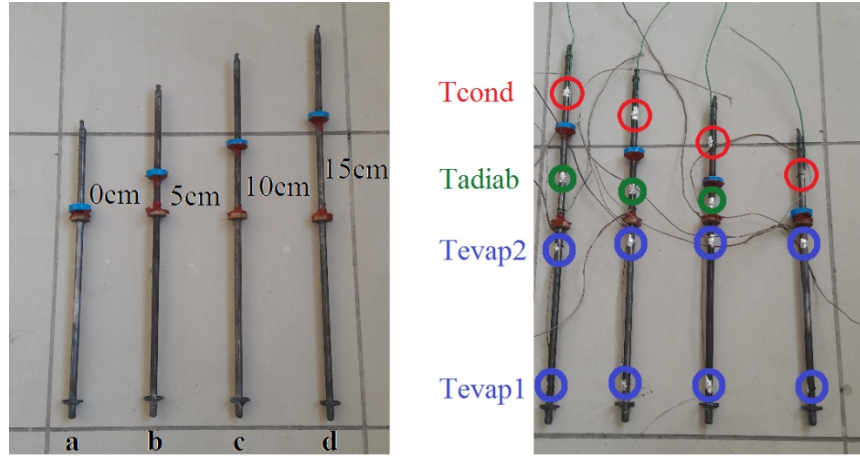
Ölçüm yapılan noktalardaki kısaltmalar aşağıdaki şekildedir:

T_{evap_1} : evaporatör birinci ucunda ($^{\circ}C$)

T_{evap_2} : evaporatör ikinci ucunda ($^{\circ}C$)

T_{adiab} : adyabatik tam orta kısımda ($^{\circ}C$)

T_{cond} : kondansatör tam orta kısımda ($^{\circ}C$)



Şekil 4.3. Birinci Aşamada Ölçüm Noktaları

4.6.2. İkinci Aşamada Ölçüm Noktaları

İkinci aşamada ise 0,4 litre hacmindeki su ısıtarak ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Depodaki suyun ısıtıldığı ikinci aşama deneylerinde, tank sıcaklıkları a, b, c ve d ısı borularında kaydedilmiştir.

Ölçüm yapılan noktalardaki kısaltmalar aşağıdaki şekildedir:

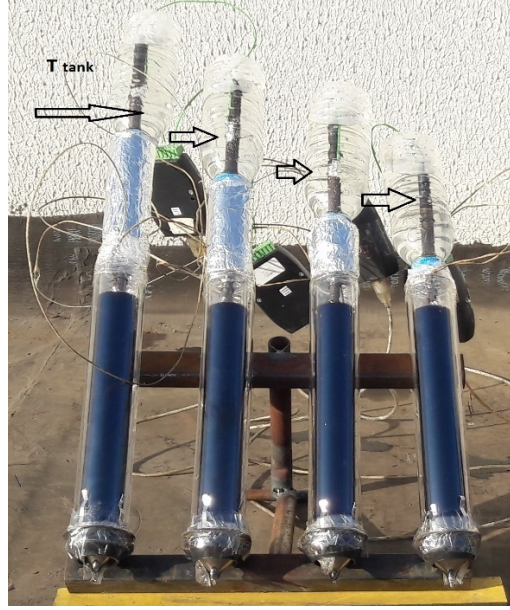
T_{evap_1} : evaporatör birinci ucunda ($^{\circ}C$)

T_{evap_2} :evapratör ikinci ucunda (°C)

T_{adiab} : adyabatik tam orta kısımda (°C)

T_{cond} : kondansatör tam orta kısımda (°C)

T_{tank} : depodaki su sıcaklığı (°C)



Şekil 4. 4. İkinci Aşamada Ölçüm Noktaları

4.7. Teorik Hesaplamalar

Deneyler sonucu elde edilen verilerle termal verimi formül 4.3'de ve güç miktarı formül 4.4 için kullanılması gereken eşitlikler:

Elde Edilen Isı Transfer Miktarı:

$$Q_k = m_k c_p (T_{en\ yüksek} - T_{giriş}) \quad (\text{formül: 4.3})$$

Q_k = Kondenser su deposuna bıraktığı ısı [Kj]

m_k = Depodaki suyun miktarı [Kg]

c_p = Suyun özgül değeri [Kj/Kg °C]

ΔT = Depodaki suyun en yüksek-giriş sıcaklık farkı, [°C]

Güç hesaplaması için aşağıdaki denklem 2 kullanılmıştır. Bu denklemde, en yüksek su

sıcaklığının olduğu saatte en yüksek termal enerji [Kj] miktarı belirlenir.

$$P = Q_k = m_k c_p (T_{en\ yüksek} - T_{giriş}) / t \text{ s} \quad (\text{formül 4.4})$$

P= güç verim [W]

Q_k = Kondenser su deposuna bıraktığı ısı [Kj]

t = en yüksek su sıcaklığı saniyede [s]

5. DENEYLER VE SONUÇLARI

DeneYler Samsun koordinatlarında, 15 Ekim 2020 ve 16 Ekim 2020 tarihlerinde yapılmıştır.

Bu çalışma sonbahar şartlarında yapılmıştır. Hava sıcaklığı 25°C civarındadır, çalışmaya sabah saatlerinde başlanılmıştır.

5.1. DeneY Yerinin Tanıtılması ve İklim Özellikleri

Bu çalışma sabah saat 10:40'da; tarih 2020 yılının ekim ayının 15. ve 16. gününde; 41°14N ve 36°26D GPS koordinatlarında Samsun, Türkiye'de yapılmıştır.

Güneş enerjisi ile yapılan denemelerde sistemlerin eğim açısının Samsun'un coğrafi konumu gereği yaz şartlarında 26°, kış şartlarında 56° yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneYler sonbahar şartlarında yapıldığından sistem 41° eğim açısı ile konumlandırılmıştır.

5.2. DeneYlerin Yapılışı

DeneYlere hazır hale gelen sistemin son hali Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5. 1. Ölçüm Alınan DeneY Düzeneginin Görünüşü

DeneY yapılan modeller daha önce Bölüm 4'te Model I ve Model II olarak tanıtılmıştı.

Birinci aşama ve ikinci aşama olarak ele alınan deneYlerde, deneY düzeneginin eğim

açısı 41° olacak şekilde sabit tutulmuştur. Her bir ölçüm 10 dakikalık periyotlarla alınmıştır.

Birinci aşama için ısı borusunda çalışma akışkanı olarak saf suyun kullanıldığı durumda, rüzgar hızı, ısınma şiddeti, dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak 15 Ekim tarihinde 4 adet ısı borusuyla aynı zamanda deneylere başlanılmıştır.

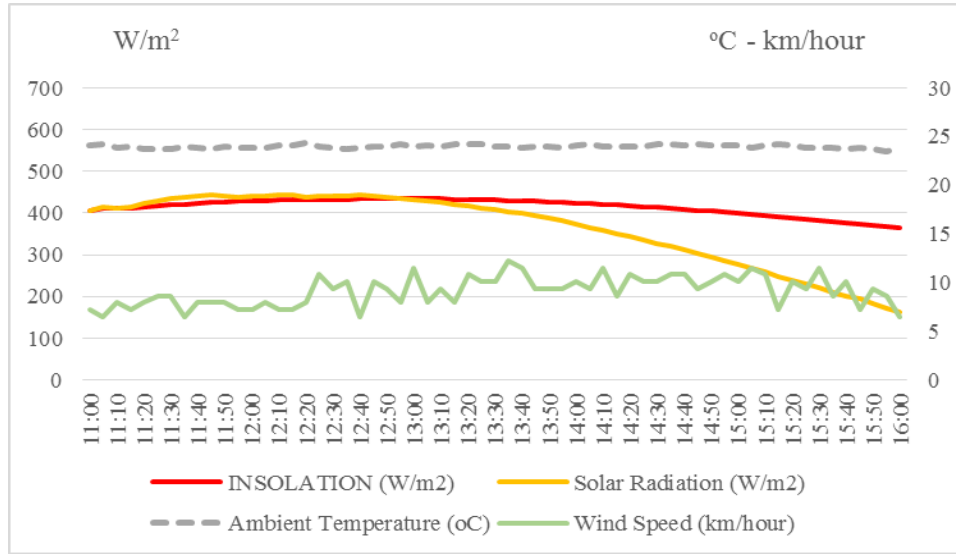
İkinci aşama içinse ısı borusunda çalışma akışkanı olarak saf suyun kullanıldığı durumda, yine rüzgar hızı, ısınma şiddeti, dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak 16 Ekim tarihinde 4 adet ısı borusuyla aynı zamanda deneylere başlanılmıştır.

5.3. Deneysel Sonuçları

İlk aşama denemelere başlanıldığı gün tanklar kuru bir şekilde koyulmuştur. İkinci aşamada, denemelerin ikinci gününde tanklar 0.4 litre su koyulduktan sonra denemelere başlanılmıştır.

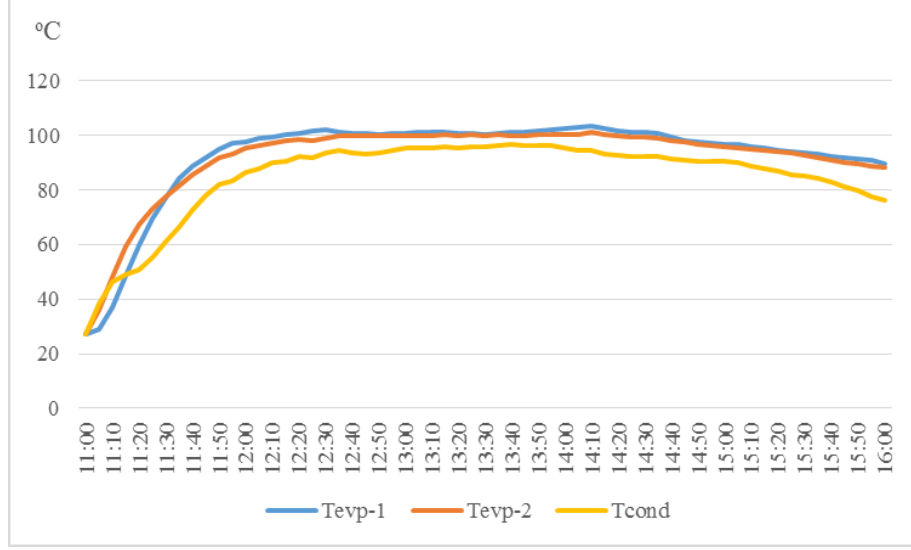
5.3.1. İlk Aşamada Deneysel Sonuçları

15 Ekim 2020 itibarıyla meteorolojik verilerin ve güneşlenme değerlerinin deneyin analizi sırasındaki dağılımı Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



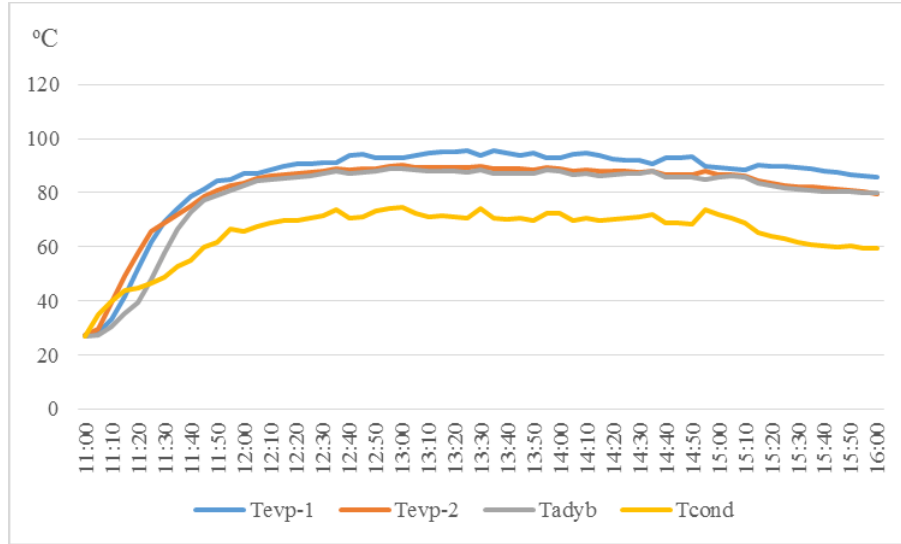
Şekil 5. 2. Meteorolojik Verilerin Ve Güneşlenme Değerlerinin Dağılımı

Şekil 5.3’de adyabatik bölge olmayan (a) tipi ısı borusunun sıcaklık dağılımı verilmiştir. Tevp-1 ve Tevp-2 noktalarının sıcaklık değerlerinin birbirine yakın ve 100°C civarında olduğu görülmektedir. Tcond noktasının sıcaklık değerleri 95°C civarına ulaştı.



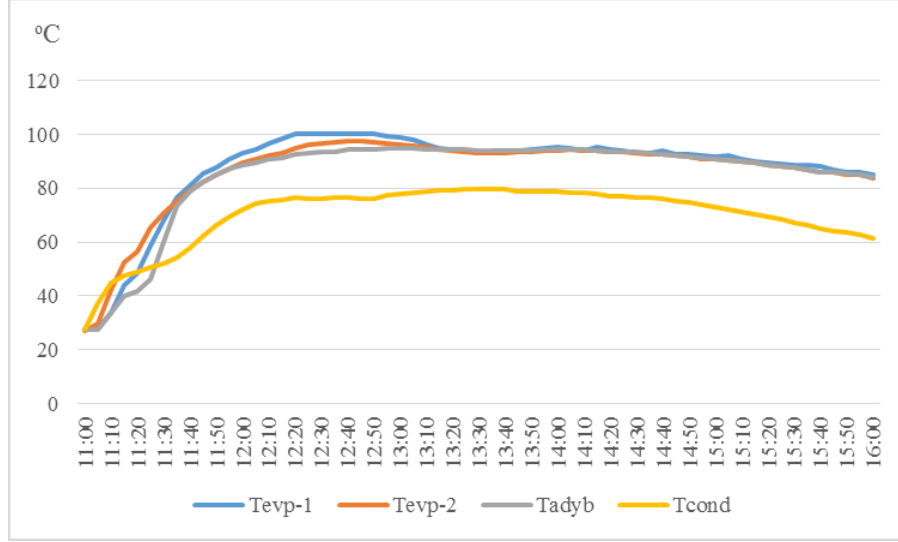
Şekil 5. 3. (a) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Adyabatik bölge uzunluğu 5 cm olan (b) tipi ısı borusundaki sıcaklık dağılımı Şekil 5.4’te gösterildiği gibidir. Tcond noktasının sıcaklığı 70°C'nin üzerinde kalmıştır.



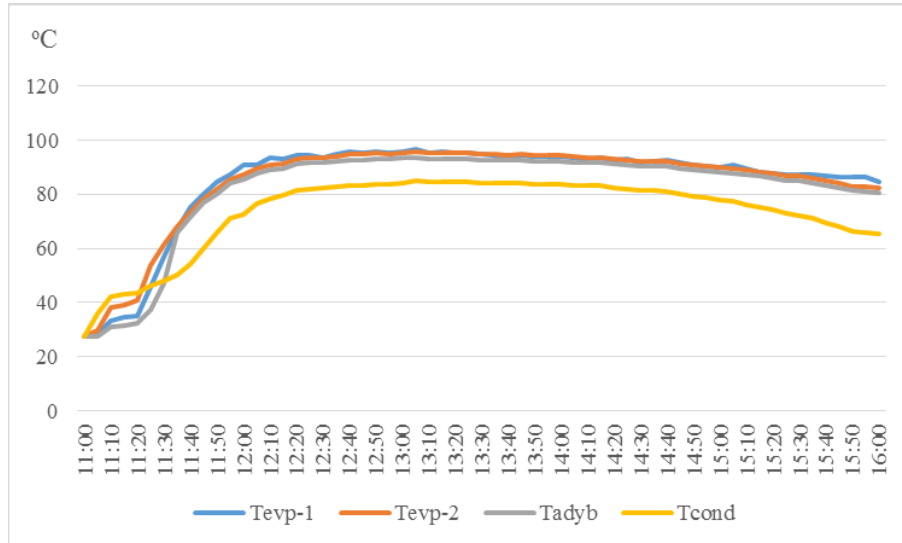
Şekil 5. 4. (b) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Adyabatik uzunluğu 10 cm olan (c) tipi ısı borusunun sıcaklık ölçüm noktalarının dağılımı Şekil 5.5'te gösterilmektedir. Bu ısı borusundaki Tcond noktasının sıcaklık değeri 80°C'ye yaklaşmıştır.



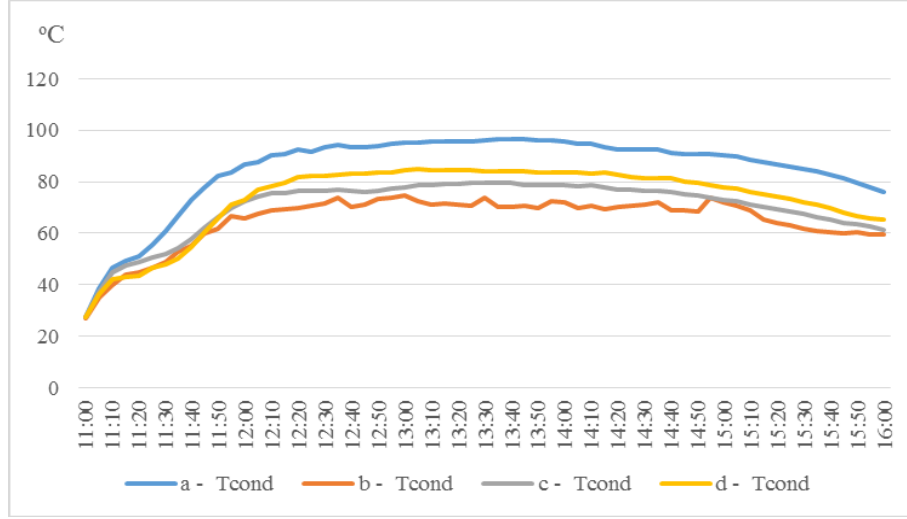
Şekil 5. 5. (c) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Şekil 5.6'da 15 cm ile en uzun adyabatik bölge uzunluğuna sahip (d) tipi ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. (d) tipi ısı borusunda Tcond noktasının sıcaklık değeri 85°C'ye ulaşmıştır.



Şekil 5. 6. (d) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Dört ısı borusunun kondenser sıcaklık dağılımının karşılaştırması Şekil 5.7'de verilmiştir. En yüksek kondenser sıcaklık değerlerine (a) tipi ısı borusu, ardından (d), (c) ve (b) tipi ısı boruları ile ulaşılmıştır. Sırasıyla



Şekil 5. 7. a, b, c ve d Tipi Isı Borularının Kondenser Sıcaklık Dağılımı

Tablo 5.1'de deney gününe ait saatlik meteorolojik veriler ile hesaplanan güneşlenme değerleri verilmiştir.

Tablo 5. 1. Meteorolojik Veriler ve Güneşlenme Değerleri

Time	Işınma (W/m ²)	Güneşlenme (W/m ²)	Dış Ortam (°C)	Rüzgar Hızı (km/hour)
11:00	406,80	406,80	24,06	7,2
12:00	428,92	440,00	23,86	7,2
13:00	434,26	431,40	23,98	11,5
14:00	424,54	373,60	24,06	10,1
15:00	399,44	275,80	24,04	10,1
16:00	363,30	163,00	23,82	6,5

Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 a, b, c ve d tipi ısı borularında ölçülen sıcaklık değerlerini göstermektedir. Deneyler 11.00-16.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ancak, tablolarda sadece saatlik sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 5. 2. Tip-a Ve Tip-b Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C

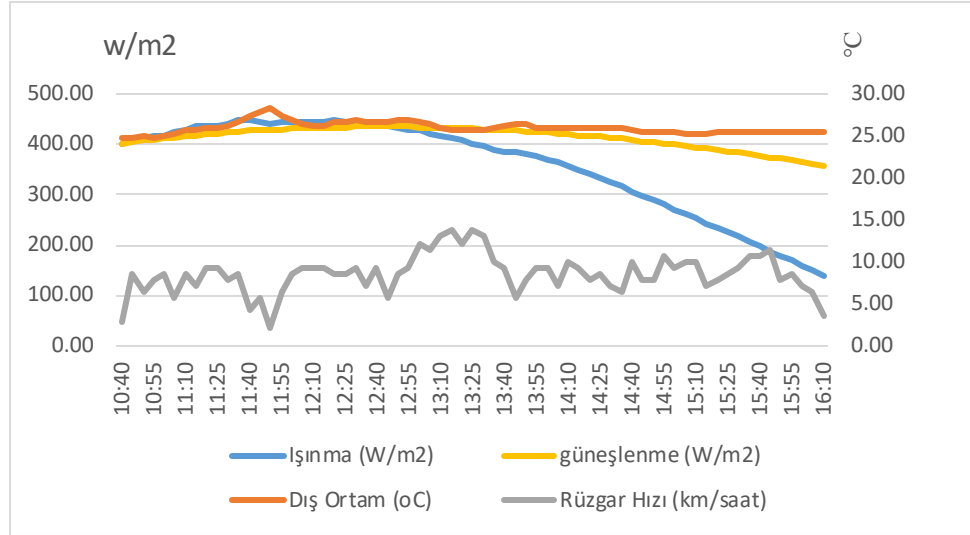
Time	Type-a			Type-b			
	Tevp-1	Tevp-2	Tcond	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond
11:00	27,1	27,2	27,2	27,2	27,3	27,1	27,1
12:00	97,8	95,6	86,6	87,2	83,7	82,5	65,9
13:00	100,8	100,0	95,2	93,0	90,1	88,9	74,5
14:00	102,7	100,5	95,6	92,9	89,0	88,0	72,2
15:00	96,6	95,8	90,4	89,3	86,8	85,6	71,8
16:00	89,7	88,1	76,0	85,6	79,7	80,0	59,4

Tablo 5. 3. c ve d Tipi Isı Borularının Sıcaklık Değerleri,

Time	Type-c				Type-d			
	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond
11:00	27,3	27,2	27,3	27,3	27,3	27,4	27,3	27,3
12:00	92,9	89,4	88,7	72,3	90,9	87,3	85,4	72,7
13:00	98,7	96,2	94,8	78,0	95,9	95,4	93,3	84,3
14:00	95,2	94,0	94,3	78,7	93,8	94,2	92,1	83,8
15:00	91,6	90,7	90,8	73,1	89,9	89,9	88,1	78,0
16:00	85,1	83,7	84,0	61,3	84,7	82,3	80,6	65,5

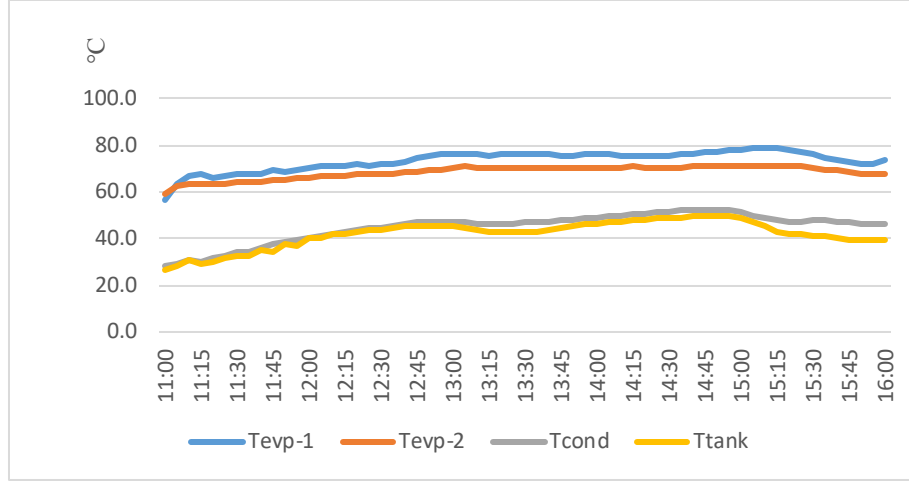
5.3.2. İkinci Deney Sonuçları

16 Ekim 2020 itibarıyla meteorolojik verilerin ve güneşlenme değerlerinin deneyin analizi sırasındaki dağılımı Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



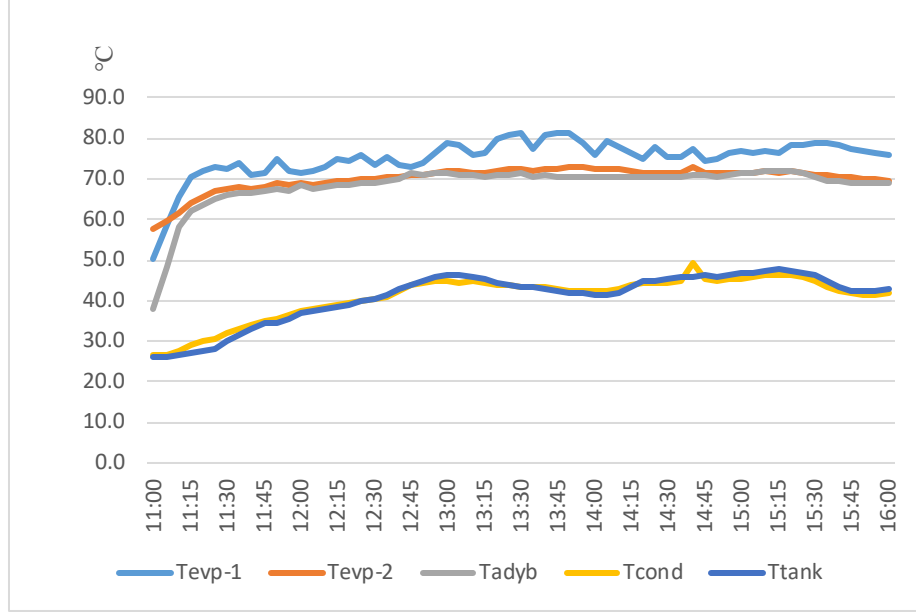
Şekil 5. 8. Meteorolojik Verilerin Ve Güneşlenme Değerlerinin Dağılımı

Şekil 5.9'da adyabatik bölge olmayan (a) tipi ısı borusunun sıcaklık dağılımı verilmiştir. Tevap-1 80°C sıcaklık civarında ve Tevap-2 70°C sıcaklığı olduğu görülmektedir. Tcond ve Ttank'ın birbirine en yakın sıcaklığı 50°C civarına ulaşmıştır. $Q(\text{Tank})=9.2\text{Kj}$ ve $P(\text{Tank})= 1.27\text{W}$ (4.3formülü ve 4.4formülü) formülleri kullanılmıştır.



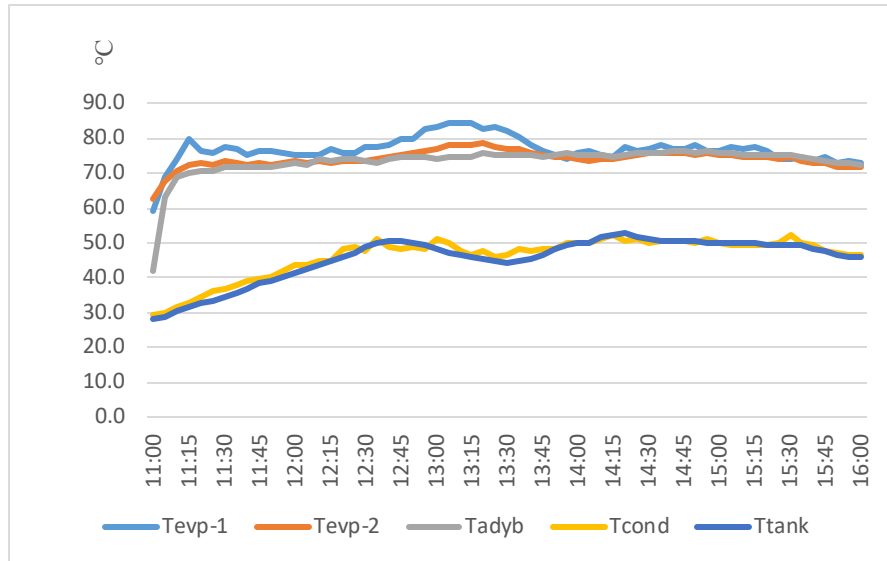
Şekil 5. 9. (a) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Adyabatik bölge uzunluğu 5 cm olan (b) tipi ısı borusundaki sıcaklık dağılımı Şekil 5.10'da gösterildiği gibidir. Tcond ve Ttank'ın birbirine en yakın noktasının sıcaklığı 40°C'ye yaklaşmıştır. $Q(\text{Tank})=8.68\text{Kj}$ ve $P(\text{Tank})=0.57\text{ W}$ (4.3formülü ve 4.4formülü) formülleri kullanılmıştır.



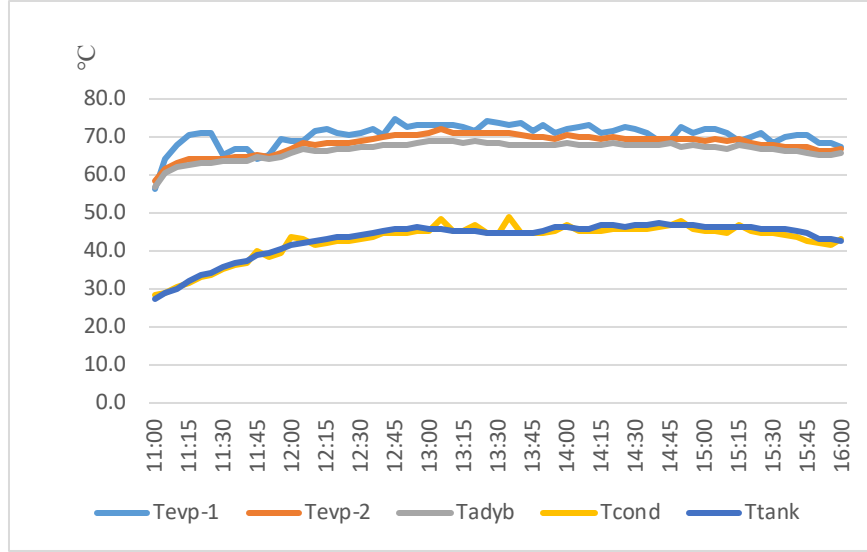
Şekil 5. 10. (B) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Adyabatik uzunluğu 10 cm olan (c) tipi ısı borusunun sıcaklık ölçüm noktalarının dağılımı Şekil 5.11’de gösterilmektedir. Bu ısı borusundaki Tcond ve Ttank’ın birbirine en yakın noktasının sıcaklık değerleri 50°C'ye ulaşmıştır. $Q(\text{Tank})=9.88\text{Kj}$ ve $P(\text{Tank})=0.82\text{ W}$ (4.3formülü ve 4.4formülü) formülleri kullanılmıştır.



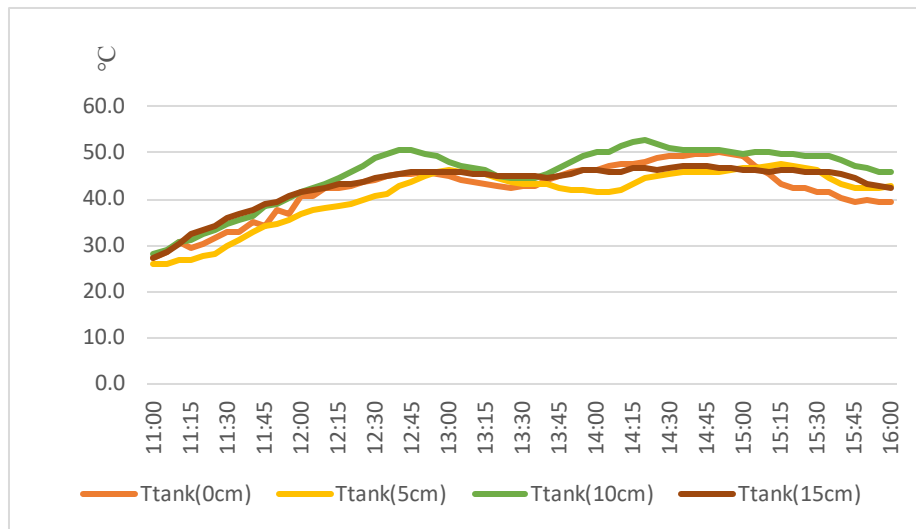
Şekil 5. 11. (c) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Şekil 12’de 15 cm ile en uzun adyabatik bölge uzunluğuna sahip (d) tipi ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. (d) tipi ısı borusunda Tcond ve Ttank noktasının sıcaklık değeri 45°C'ye ulaşmıştır. $Q(\text{Tank})=7.88\text{Kj}$ ve $P(\text{Tank})= 0.60\text{W}$ (4.3formülü ve 4.4formülü) formülleri kullanılmıştır.



Şekil 5. 12. (D) Tipi Isı Borusu İçin Sıcaklık Dağılımı

Dört ısı borusunun tank sıcaklık dağılımının karşılaştırması Şekil 5.13’de verilmiştir. En yüksek kondenser sıcaklık değerlerine (c) tipi ısı borusu, ardından sırasıyla (d), (a) ve (b) tipi ısı boruları ile ulaşılmıştır.



Şekil 5. 13. A, B, C Ve D Tipi Isı Borularının Kondenser Sıcaklık Dağılımı

Tablo 5.4'te deney gününe ait saatlik meteorolojik veriler ile hesaplanan güneşlenme değerleri verilmiştir.

Tablo 5.5 ve Tablo 5.6, a, b, c ve d tipi ısı borularında ölçülen sıcaklık değerlerini göstermektedir. Deneyler 11.00-16.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir; ancak, tablolarda sadece saatlik sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 5. 4. Meteorolojik Veriler ve Güneşlenme Değerleri

Saat	Işınma (W/m ²)	güneşlenme (W/m ²)	Dış Ortam (oC)	Rüzgar Hızı (km/saat)
11:00	414.60	410.48	24.92	8.6
12:00	443.60	430.6	26.78	8.6
13:00	427.20	434.23	26.58	12.2
14:00	369.40	422.86	25.92	9.4
15:00	271.00	399.31	25.46	9.4
16:00	158.00	364.6	25.50	7.2

Tablo 5. 5. Tip-A ve Tip-B Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C

Saat	Type (a)				Type (b)				
	Tevp-1	Tevp-2	Tcond	Ttank	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond	Ttank
11:00	56.8	59.0	28.4	27.1	50.5	57.9	37.7	26.5	26.0
12:00	70.5	66.5	40.8	40.5	71.6	69.2	68.5	37.6	36.7
13:00	76.5	70.4	46.9	45.1	78.9	72.0	71.6	45.0	46.4
14:00	76.4	70.5	49.1	46.1	75.9	72.3	70.6	42.3	41.5
15:00	78.1	71.5	51.5	49.3	77.1	71.7	71.3	45.5	46.7
16:00	73.5	67.4	46.1	39.2	76.1	69.5	69.0	41.7	42.7

Tablo 5. 6. Tip-C ve Tip-D Isı Borularının Sıcaklık Değerleri, °C

Saat	Type (c)					Type (d)				
	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond	Ttank	Tevp-1	Tevp-2	Tadyb	Tcond	Ttank
11:00	59.4	62.7	41.7	29.1	28.1	56.6	58.4	57.1	28.5	27.5
12:00	75.0	73.5	73.0	43.4	41.4	68.8	66.8	65.7	43.6	41.4
13:00	83.1	76.9	74.3	51.1	48.1	73.4	71.1	68.8	45.3	46.0
14:00	76.0	73.8	75.4	50.1	50.1	72.0	70.7	68.6	46.7	46.4
15:00	76.4	75.2	75.7	49.9	49.9	72.0	69.2	67.3	45.3	46.5
16:00	72.9	71.5	72.4	46.3	45.7	67.4	67.1	66.1	43.2	42.5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı adyabatik bölge uzunluklarına sahip yer çekimi destekli iki fazlı kapalı termosifon tipi ısı boruları incelenmiştir. 0 cm (a), 5 cm (b), 10cm (c) ve 15 cm (d) olmak üzere dört farklı adyabatik bölge uzunluğunun ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımına etkisi deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Adyabatik bölge uzunluğunun evaporatör bölgesinden kondenser bölgesine ısı geçişine etkisi aynı koşullarda ve güneş enerjisi ile eş zamanlı olarak gözlemlenmiştir.

Isı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelendiğinde adyabatik bölgenin ısı yalıtımının iyi sağlandığı anlaşılmaktadır. Birinci aşamanın sonuçları incelendiğinde adyabatik bölgenin olmadığı (a) tipi ısı borusunda ısı transferinin çok başarılı olduğu görülmektedir. Diğer ısı borularında adyabatik bölgenin uzunluğunun artmasıyla ısı transferi artmış ve en iyi sonuç (d) tipi ısı borusu ile elde edilmiştir. İkinci aşamanın sonuçları incelendiğinde (c) tipi en yüksek sıcaklığa sahiptir. Hemen ardından (d) tipi, (a) tipi ve (b) tipi sıcaklık değerine göre sıralanmıştır. Böylece bu aşamada sıcaklıklar birbirine çok yakın olmuştur.

Isı boruları güneş enerjisi ile çalıştırılmıştır. Sadece sıcaklık dağılımının incelendiği çalışmada performans analizi yapılmamıştır. Performans analizi için akışkan ısıtma yapılabilir. Deneyler sonbaharda yapıldığından 41° eğim açısında yapıldı. Farklı adyabatik bölge uzunluklarının farklı eğim açılarında ısı borusu üzerindeki etkisi incelenebilir. Deneysel çalışmada, ısı borularında çalışma sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Bu ısı boruları, nanoakışkanlar gibi farklı çalışma akışkanları ile deneysel olarak karşılaştırılabilir. Tank suyu yalıtılmış yaparsak daha farklı sonuçlar elde edebileceğiz.

KAYNAKLAR

- Akyurt, M., Basmacı, Y., "Jeotermal Kuyularda Isı Borusu Uygulaması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, Haziran 1983, sayfa 17-20.
- Arab, M., Soltanieh, M. ve Shafii, M. B. (2012). Experimental investigation of extra-long pulsating heat pipe application in solar water heaters. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 6-15.
- Arslan, G. (2007). *Üç kolonlu titreşimli ısı borusunun matematiksel modellenmesi ve deneysel incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brahim, T. ve Jemni, A. (2014). Effect of the heat pipe adiabatic region. *Journal of Heat Transfer*. 1-10.
- Czajkowski, C., Nowak, A. I., Błasiak, P., Ochman, A. ve Pietrowicz, S. (2020). Experimental study on a large scale pulsating heat pipe operating at high heat loads, different adiabatic lengths and various filling ratios of acetone, ethanol, and water. *Applied Thermal Engineering*. 1.
- Çelik, S. (2018). *Yoğunlaştırılmış vakum tüplü ısı borusu uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Huminić, G., Huminić, A., Morjan, I. ve Dumitrache, F. (2011). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*. 54(1), 656-661.
- Khairnasov, S. M. ve Naumova, A. M. (2016). Heat pipes application to solar energy systems. *Applied Solar Energy*. 47-60.
- Murer, S. (2005). Experimental and numerical analysis of the transient response of a miniature heat pipe. *Applied Thermal Engineering*. 25, 2566-2577
- Noie, S. H., Heris, S. Z., Kahani, M. ve Nowee, S. M. (2009). Heat transfer enhancement using Al₂O₃/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 700-705.
- Yılmaz, S. (1988). *Güneş enerjisi ısı borusuyla sıcak su üretimi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özbaş, E. (2019). Experimental study of thermal performance and pressure differences of different working fluids in two-phase closed thermosyphons using solar energy. *Journal of Polytechnic*. 121-128.
- Vasiliev, L. L. (2005). Modern ısı değiştiricilerinde ısı borusu. *Uygulamalı Isı Mühendisliği*. 25, 1-19.
- Qu, J., Li, X., Cui, Y. ve Wang, Q. (2017). Design and experimental study on a hybrid flexible oscillating heat pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 640-645.
- Zhen, H. L. ve Yuan, Y. L. (2012). A new frontier of nanofluid research application of nanofluids in heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 55, 6786-6797.
- Zhu, T. T., Diao, Y. H., Zhao, Y. H. ve Li, F. F. (2016). Thermal performance of a new CPC solar air collector with flat micro heat pipe arrays. *Applied Thermal Engineering*, 98, 1201-1213.
- Zhuang, B., Deng, W., Tang, Y., Ding, X., Chen, K., Zhong, G., Yuan, W. ve Li, Z. (2019). Experimental investigation on a novel composite heat pipe with phase change materials coated on the adiabatic section. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 42-5.
- Yıldırım, R. (2014). *Buzlanmayı önlemek için toprak kaynaklı ısı borularının teorik incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demiral Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

ÖZ GEÇMİŞ

Fotoğraf

Saba Shabani, 14.08.1994 tarihinde Mashhad'da doğdu. Imam Reza Lisesi'ni bitirdikten sonra Ferdowsi Mashhad Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden 2017 yılında mezun oldu. 2018. Temel ilgi alanları, (Tarih).

İletişim Bilgileri

E mail : shaabani.saba@gmail.com

Telefon : 05319472557

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Özbaş, E. & Shabani, S. (2020). Experimental Investigation of the Effects of Different Adiabatic Section Lengths on Temperature Distribution in Solar Powered Gravity Assisted Heat Pipe. Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology, 6 (2), 69-78.

2.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1.

2.