



**VAKUM TÜPLÜ ISI BORULU GÜNEŞ
KOLEKTÖRÜ TASARIMI VE PERFORMANSININ
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Samet DÖNMEZ

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

**VAKUM TÜPLÜ ISI BORULU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TASARIMI VE
PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Samet DÖNMEZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

**KARABÜK
Nisan 2022**

Samet DÖNMEZ tarafından hazırlanan “VAKUM TÜPLÜ ISI BORULU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TASARIMI VE PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Engin GEDİK

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisli Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KAYA (Bartın Üni.)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Samet DÖNMEZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VAKUM TÜPLÜ ISI BORULU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TASARIMI VE PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Samet DÖNMEZ

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:
Doç. Dr. Engin GEDİK
Nisan 2022, 62 sayfa**

Bu çalışmada, vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü incelenmiş ve vakum tüp içerisine yerleştirilen ısı borusunun farklı geometrik yapıda çalışma performansı sayısal olarak Ansys Fluent programı ile analiz edilmiştir. U-tip ve I-tip olarak 1 m uzunluğunda modeli oluşturulan ısı borularının ısı transferi yapacağı yüzey alanları eşit olmaları için I-tip ısı borusunun çapı 20mm ve U-tip ısı borusunun çapı 10mm olarak tasarlanmıştır. Evaporatör – kondenser çalışma sistemi ile ısı transferi sağlayan ısı borusunun boru malzemesi bakır ve iş akışkanı olarak su seçilmiştir. Evaporatör, kondenser ve adyabatik olarak üç bölümden oluşan ısı borusuna evaporatör yüzeyinde sabit 70 °C ve kondenser yüzeyinde sabit 10 °C sıcaklık sınır şartı olarak tanımlanmıştır. Verilen bu değerler ile Ansys Fluent programında U-tip ve I-tip ısı borusu modelleri kurulup analiz yapılmıştır. Yapılan analizde ısı borusunun çalışma sistemine uygun olarak buharlaşma ve yoğunlaşma görülmüştür. Kondenser kısmında yoğunlaşma ile oluşan suyun boru yüzeyinde tanecik ve film tabaka şeklinde yerçekimi etkisiyle evaporatöre doğru hareketi gözlemlenmiştir.

İki tip ısı borusunun kondenser yüzeylerinde oluşan ısı akısı değerleri karşılaştırılmıştır. U-tip ısı borusu kondenser bölümüne buhar 3. saniyede I-tip ısı borusunda 4.saniyede ulaşmıştır. Isı borusu verimi I-tip ısı borusunda %72,83 ve U-tip ısı borusunda % 80,1 olarak hesaplanmış ve oluşan ortalama ısı akısı değerlerine göre U-tip ısı borusunun daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Isı borusu, Güneş kolektörü, Ansys Fluent
Bilim Kodu : 92802

M. Sc. Thesis

**DESIGN AND NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TUBE VACUUM
TUBE SOLAR COLLECTOR**

Samet DÖNMEZ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineeringn**

Thesis Advisor:

Doç. Dr. Engin GEDİK

April 2022, 62 pages

In this study, the vacuum tube heat pipe solar collector was examined and the operating performance of the heat pipe placed in the vacuum tube in different geometrical structures was numerically analyzed with the Ansys Fluent program. The diameter of the I-type heat pipe is 20mm and the diameter of the U-type heat pipe is 10mm so that the surface areas on which the heat transfer will be made are approximately equal to the 1 m long model of U-type and I-type heat pipes. The pipe material of the heat pipe, which provides heat transfer with the evaporator-condenser operating system, is copper and water is chosen as the working fluid. The heat pipe, which consists of three sections as evaporator, condenser and adiabatic, is defined as a constant 70 °C on the evaporator surface and a constant 10 °C on the condenser surface. With these values given, U-type and I-type heat pipe models were established and analyzed in Ansys Fluent program. In the analysis, evaporation and condensation were observed in accordance with the working system of the heat pipe. It has been observed that the water formed by condensation in the condenser part moves towards the evaporator with the effect of gravity in the form of particles and film layer on the pipe surface.

The heat flux values formed on the condenser surfaces of the two types of heat pipes were compared and the steam reached the condenser section of the U-type heat pipe in the 3rd second and the I-type heat pipe in the 4th second. The efficiency of the heat pipe was calculated as 72.83% in the I-type heat pipe and 80.1% in the U-type heat pipe, and it was determined that the U-type heat pipe worked more efficiently according to the average heat flux values.

Key Word : Heat Pipe, Solar collector, Ansys Fluent.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK' e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan sevgili babam ve anneme, tez çalıőmam boyunca desteęini hep hissettięim sevgili eőim ve oęluma tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRAC	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	2
1.2. ÇATI VE CEPHE UYGULAMALI GÜNEŞ POTANSİYELİ	3
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR TARAMASI.....	6
BÖLÜM 3	18
GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ.....	18
3.1. VAKUM TÜPLÜ ISI BORULU GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ.....	18
BÖLÜM 4	22
ISI BORUSU.....	22
4.1 ISI BORUSUNUN TANIMI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	22
4.2. ISI BORUSUNUN ÖZELLİKLERİ	24
4.2.1 Çalışma Akışkanları ve Özellikleri.....	25
4.2.2 Isı Borularında Kullanılacak Akışkan Miktarı.....	27
4.2.3 Fıtil Yapı.....	28

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	30
MATERYAL VE METOD	30
5.1. MODEL TASARIMI	30
5.3. İŞ AKIŞKANI SEÇİMİ.....	34
5.4. SINIR ŞARTLARI.....	34
5.5. ANSYS PROGRAMI MODEL OLUŞTURMA.....	35
5.5.1. Katı Model Oluşturma	36
5.5.2. Eleman Ağı (Mesh) Oluşturma.....	37
5.5.3. FLUENT Programına Geçiş	39
5.5.3.1. Genel Özellikler	40
5.5.3.2. Model Kurma	40
5.5.3.3. Malzemelerin Seçimi ve Tanımlanması.....	42
5.5.3.4. Hücre Bölgesi Şartları	44
5.5.3.5. Sınır Şartları	45
5.5.3.6. Analizin Başlatılması	46
5.6. NÜMERİK EŞİTLİKLER.....	46
BÖLÜM 6	50
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
BÖLÜM 7	56
SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye toplam güneş radyasyonu haritası.....	3
Şekil 1.2. Türkiye aylık ortalama radyasyon değeri.....	3
Şekil 2.1. Perkins Hermetik boru kazanı.....	6
Şekil 2.2. Gaugler'in Patentli ısı borusu kesit resmi.....	7
Şekil 3.1. Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü.....	19
Şekil 3.2. Hava ısıtmada kullanılan vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü.....	19
Şekil 3.3. Isı borulu vakum tüplü bir güneş kolektörü.....	20
Şekil 4.1. Basit bir ısı borusu.....	23
Şekil 4.2. Isı borusu fitil yapısı.....	24
Şekil 4.3. Isı borusunun yapı elemanları.....	25
Şekil 4.4. Örnek Fitil Tipleri (a) ve (b) Sinter tozu tip, (c) ve (d) Metal örgü tip, (e) ve (f) Oluklu tip fitil detayları.....	29
Şekil 5.1. Güneş kolektörü kondenser kısmı.....	30
Şekil 5.2. Isı borulu vakum tüpü yapısı.....	31
Şekil 5.3. Isı borulu vakum tüplü kolektör elemanları.....	31
Şekil 5.4. I-Tip ve U-Tip ısı borusu.....	32
Şekil 5.5. Isı borusu modeli I-Tip ve U-Tip çapları.....	33
Şekil 5.6. Isı borusu iş akışı ısı verimleri.....	34
Şekil 5.7. Isı borusu modeli ve sınır şartları.....	35
Şekil 5.8. Ansys Geometri - Isı borusu çizim.....	36
Şekil 5.9. Ansys Geometri - Isı borusu alan oluşturma.....	37
Şekil 5.10. Ansys Mesh -Isı borusu mesh yapıları.....	37
Şekil 5.11. Ansys Mesh - Isı borusu bölümlerini tanımlama.....	38
Şekil 5.12. Farklı ağ yapılarında alınan sonuçlar.....	39
Şekil 5.13. Ansys Fluent - Model genel şartları.....	40
Şekil 5.14. Ansys Fluent - Model çalışma şartları.....	41
Şekil 5.15. Ansys Fluent - Faz modeli.....	41

Sayfa

Şekil 5.16. Ansys Fluent - Model akış tanımlama.....	42
Şekil 5.17. Ansys Fluent - Model malzeme tanımlama.....	43
Şekil 5.18. Ansys Fluent – Model iş akışkanı faz tanımlama.....	43
Şekil 5.19. Ansys Fluent - Isı borusu çalışma modeli.....	44
Şekil 5.20. Ansys Fluent - Isı borusu başlangıç çalışma şartları.....	45
Şekil 5.21. Ansys Fluent - Isı borusu sınır şartları.....	45
Şekil 5.22. Ansys Fluent - Model analizi başlatma.....	46
Şekil 6.1. U-tip ısı borusu ilk 5 saniye (Volume fraction water).....	51
Şekil 6.2 I-tip ısı borusu ilk 5 saniye (Volume fraction water).....	51
Şekil 6.3. Isı borusu kondenserde oluşan su formları.....	52
Şekil 6.4. Isı borusu yüzey sıcaklık grafiği.....	53
Şekil 6.5. I-tip ısı borusu kondenser bölgesi ısı akısı	54
Şekil 6.6. U-tip ısı borusu kondenser bölgesi ısı akısı	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Literatürde yapılan çalışmalar.....	16
Çizelge 4.1. Isı borusunun çalışma sınırları ve özellikleri.....	26
Çizelge 5.1. Isı borusu malzeme özellikleri.....	33
Çizelge 5.2. Ağ yapısı (Mesh) yakınsama.....	39
Çizelge 6.1. Ortalama ısı akısı değerleri.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Q : Evaporatör bölgesi ısı yükü

Le : Evaporatör uzunluğu

Lc : Kondenser uzunluğu

La : Adyabatik uzunluğu

d : Isı borusu çapı

hfg: Çalışma akışkanının buharlaşma gizli ısısı

μ_1 : Dinamik vizkozite

ρ_1 : Çalışma akışkanı yoğunluğu

g : Yerçekimi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

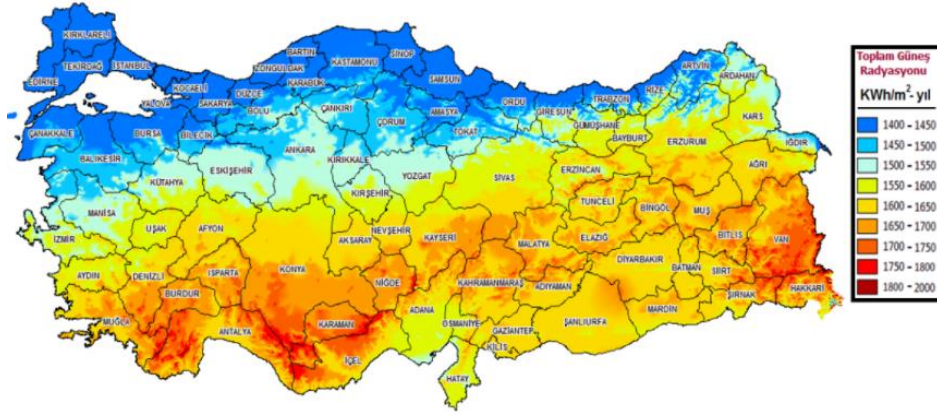
Günümüzde kullanılan enerji kaynakları teknolojik gelişmelerle birlikte değişim göstermektedir. İlk olarak odun ve benzeri katı yakacaklar enerji kaynağı olarak kullanılırken daha sonra kömür kullanılmış ve çok eski olmayan tarihte tabii gazlar ve petrol enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlamıştır. Mevcut durumda ise hidrolik enerji, nükleer enerji ve katı, sıvı ve gaz yakacaklar insanların ihtiyaç duyduğu enerji miktarının büyük çoğunluğunu karşılamaktadır. Nüfusun hızlı artışı, hızla büyüyen sanayileşme ve yatırımlar geliştirmekte olan ve gelişmiş ülkelerde enerji kullanımıyla beraber enerji ihtiyacını da arttırmıştır, buna bağlı olarak mevcut enerji kaynakları rezervi hızla azalmaya devam etmektedir bu nedenle insanlığın yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilmesi üzerine çalışmaları yoğunlaşmıştır. Hiç şüphesiz yenilenebilir enerji kaynakları arasında en kolay faydalanılabilen enerji kaynağı güneş enerjisidir [1].

Kullanım ve kurulum kolaylığı olmasıyla birlikte güneş enerjisi zararlı atık oluşturmaması ve çevre kirliliğine neden olmaması gibi iyi özelliklere de sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, güneşin merkezinde bulunan füzyon süreciyle (hidrojenin helyuma dönüşmesi) ortaya çıkan ışıma enerjisidir. Güneş yaklaşık olarak $3,9 \times 10^{26}$ W yaydığı güç ile dünyanın ihtiyaç duyduğu tüm enerjinin (2017 yılında 13.730 MTEP) hepsini karşılayabilecek tükenmez ve temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş her saniye durmaksızın çok büyük bir enerjiyi kendi sistemine yaymaktadır ve bu enerjinin çok az bir miktarı dünyamıza ulaşmaktadır. Dünyaya atmosferin dış tabakasının her metrekaresine düşen güç ortalama 1367 W ' tır. Atmosfere düşen bu güneş ışınları genel olarak X ve ultraviyole ışınlarıdır, bu ışınların bir kısmı atmosferden geçmekte ve bir kısmı da geri yansımaktadır.

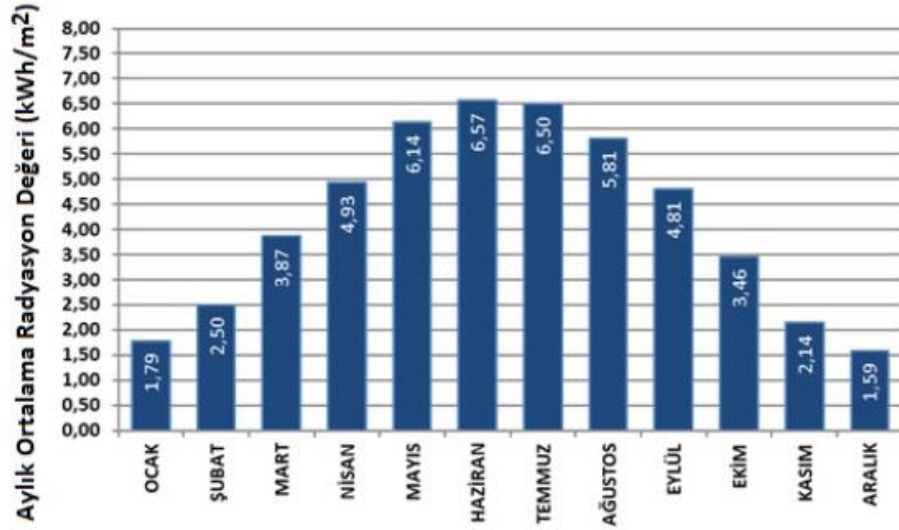
Dünyanın yüzeyine ulaşan güneş ışığının bir dakikalık enerjisi dünya genelinde kullanılan yıllık enerji miktarından daha fazladır. Bu denli büyük olan yenilenebilir enerji kaynağının kullanılabilmesi adına yapılan çalışmalar son zamanlarda hız kazanmıştır. Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararları azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla tüm dünyada artmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinin kullanımı, güneş enerjisinin ısı ve elektrik olarak kullanılabilmesi için birçok yeni araştırma yapılmakta olup güneş enerjisi kullanımı her yıl artmaktadır. Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için birçok metot olmasına rağmen güneş enerjisinin direk elektriğe çevrildiği fotovoltaik sistemlerin kullanımı daha fazladır. Güneş enerjisinden yararlanabilmek için yapılan çalışmalar özellikle 1970'lerden daha sonra hız kazanmış olup teknoloji olarak ilerlemesiyle beraber kullanım maliyetleri düşmüş ve çevre kirliliğine yol açmayan temiz enerji kaynağı olarak kabul bulmuştur. Güneş enerjisinin temiz enerji kaynağı olmasıyla birlikte kurulum ve kurulum sonrası düşük maliyetle çalışması güneş enerjisinin kullanımı ve önemini arttırmaktadır.

1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Coğrafi konum olarak ülkemiz güneş enerjisinin yüksek potansiyele sahip olduğu bir konumdadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) bakıldığında ülkemizin yıllık ortalama toplam güneş alma süresi 2741,07 saat olup yıllık toplam ortalama ışıma değeri 1527,46 kWh/m² olarak tespit edilmiştir. GEPA'da yer alan ülkemizin genel güneş enerjisi potansiyeli ve ay bazında ortalama radyasyon bilgileri aşağıda Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de yer almaktadır.



Şekil 1.1. Türkiye toplam güneş radyasyonu haritası.



Şekil 1.2. Türkiye aylık ortalama radyasyon değeri.

1.2. ÇATI VE CEPHE UYGULAMALI GÜNEŞ POTANSİYELİ

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde bulunan binaların yaklaşık %87'si konut niteliğindedir ve her yıl ülkemizde ortalama 100.000'den fazla yeni inşaat ve bina yapılmaktadır. Ülkemizde bulunan binaların çatı ve cepheleri de güneş enerjisi sitemlerinde kullanılabilir büyük alanları oluşturmaktadır.

Günümüzde en temel, çok kullanılan ve en çok ihtiyaç duyulan iki enerji türü ısı enerjisi ve elektrik enerjisidir, güneş enerjisini bu iki forma dönüştürülmesi için birçok

yöntem bulunmaktadır. Isı elde etmenin kolay ulaşılan, en yaygın ve basit uygulaması bina çatılarına ve uygun herhangi bir yere konumlandırılabilen ısı soğurucu güneş kolektörleri vasıtasıyla günlük yaşamda kullanılacak sıcak suyun elde edilmesidir. Ülkemizde dâhil olmak üzere birçok ülkede kullanılan bu yöntem oldukça etkili ve basit bir yöntemdir. Ülkemiz 36°-42° kuzey enlemleri arası coğrafi konumda yer almakta olup bu konum güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır. Yıllık güneş alma süresi ortalama 2609 saat(h) olup bir yılın %29,8'ine karşılık gelmektedir. Ülkemizin aylık güneşlenme süresine bakıldığında en çok 362 saat(h) ile Temmuz ayı ve en az 98 saat(h) ile Aralık ayıdır [2].

Tüm bu güneşlenme süreleri düşünüldüğünde ülkemiz güneş enerjisini kullanımı ve güneş enerjisi uygulamalarının yapılabileceği ülkelere birisidir. Güneş enerjisinin daha yüksek verimle kullanmanın yolları her geçen gün artmaktadır. Mevcut kullanılan sistemler düşünüldüğünde güneş enerjisi teknolojisini kullanılarak en çok verim elde edilen yöntem sıcak su elde etme sistemleri olarak bilinmektedir. Verimi arttırmak ve kayıpları en aza indirmek için sıcak su hazırlama sistemleri ve sistem elemanları üzerinde birçok bilimsel ve akademik çalışma yapılmış olup yapılmaya devam etmektedir.

Bireysel amaçlı, konutlar ve sanayi enerji kullanımları için ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacını, bitkilerde de olduğu gibi direk olarak güneşten elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle güneş enerjisi farklı enerji şekillerine dönüştürülerek kullanılabilir. Güneş enerjisi ve ışınlarından yararlanabilmek için çok sayıda teknoloji geliştirilmiştir. Güneş enerjisinin kullanımıyla alakalı malzeme, yöntem ve teknolojik düzey açısından çok fazla yöntem olmasıyla beraber bazı sistemler güneş enerjisini direk olarak ısı ya da ışık enerjisi olarak kullanmaktadır, bunların yanında güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek de kullanılmaktadır. Güneş enerji kullanım alanlarını doğrudan ve dolaylı olarak elektrik üretimi, sıcak su üretimi, bina alan ısıtma ve soğutma, sera ısıtma ve sanayiler için proses ısı enerjisi olarak söylenebilir [3].

Geçmişten bu güne yıllardır yapılan çalışmalarda araştırmacılar ve bilim insanları enerji kaynaklarından en yüksek verimlilikle kullanabilmek için enerji transferinin önemli olduğunu söylemişleridir. Elektrik üretimi, sıcak su elde etme, ısıtma ve

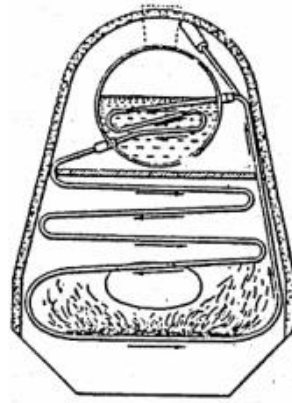
soğutma gibi proseslerde ısı enerjisi bir iş akışkanı ile taşınır, birim zamanda taşınan ısı enerjisinin yüksek olması enerji transferi için çok önemlidir. Bu ısı taşıma işlemi tek fazlı sistemlerle yapılabildiği gibi çift fazlı sistemlerle de yapılabilir. Tek fazlı sistemlerde iş akışkanı ısı transferi süresince faz değişimine uğramaz, çift fazlı sistemlerde ise iş akışkanı faz değiştirir. Çift fazlı sistemlerde doğal ve zorlanmış taşınımın yanı sıra kaynama ısı taşınım sistemi de aktiftir. Çift fazlı sistemlerde akışkanın gizli ısı miktarınca ısıyı da taşıması çift fazlı sistemleri tek fazlı sistemlere göre daha iyi yapmaktadır.

Isı enerjisini farklı sıcaklıktaki ortamlarda hızlı şekilde transferini sağlayan cihazlardan biriside ısı borusudur. Isı boruları içi vakumlanmış ve içinde belli oranda iş akışkanı bulunduran, ısı iletiminde çift fazlı akışa sahip ve yüksek ısıları da iletebilen pasif bir ısı iletim cihazıdır [4].

BÖLÜM 2

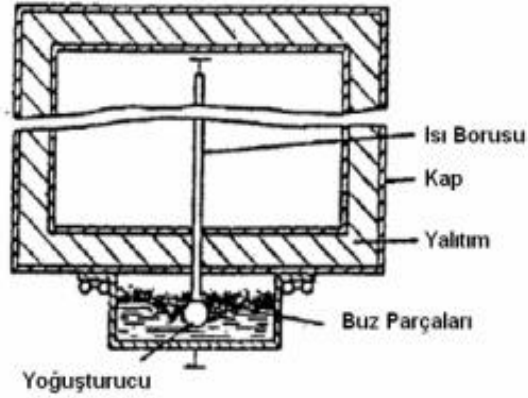
LİTERATÜR TARAMASI

Angier March Perkins'in 1831 yılında tasarladığı hermetik boru kazası, yapılan ilk ısı borusu tasarımı olarak kabul edilir. Şekil 2.1'de belirtildiği gibi bu tasarımda kızgın su buharı yüksek basınç ve tek fazda dolaştırılmaktadır [5].



Şekil 2.1. Perkins hermetik boru kazanı.

1942 yılında Gaugler tarafından ilk defa ısı borusu fikri önerilmiştir Şekil 2.2 [6]. Fakat Grover' in tasarladığı ısı borusu uygulamasına kadar ısı borusuyla alakalı çok fazla araştırma ve çalışma yapılmamıştır, 1960'lı yıllarda Grover'in yaptığı ısı borusu icadı ile bu alanda yapılan ilk çalışmalardandır [7,8].



Şekil 2.2. Gaugler'in patentli ısı borusu kesit resmi.

1980 yılında Dowing ve Waldin yaptıkları çalışmada, soğutucu gaz olarak R11 gazını kullanarak tasarladıkları güneş kolektörü ile iş akışkanı olarak glikol-su karışımını kullandığı güneş kolektörünü karşılaştırıp verimliliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada soğutucu akışkan olarak R11 gazını kullandıkları güneş kolektörü glikol-su karışımı kullanılarak tasarlanan güneş kolektöründen %35 daha verimli olduğunu saptamışlardır [9].

1984 yılında “Isı borusu prensibinin güneşli su ısıtıcılarında ve damıtmaya uygulanması” çalışmasıyla Uyarel tasarlamış olduğu açık ısı borusu prototipleriyle tuzlu suyu damıtıp tatlı suya çevirme deneyleri yapmıştır. Bu çalışmalarından uygun görülen Toka tipi için performans eğrileri çizilmiştir. Bu çalışma ile “açık ısı borusu” fiziksel hesaplarının yanı sıra ilk defa deneysel olarak da ispat edilmiştir [10].

1988 yılında Usta yapmış olduğu “Isı borulu güneş kolektörü destekli ısı pompası” çalışmasında, ısı borulu ve 1 m² yüzeye sahip kolektör ile güneş enerjisi sistemi yapmış ve bu tasarımda kondensere bir ısı pompasının evaporatörünü bağlamış ve bu tasarım ile 0.86x1.1x 1.0 m boyutlarında olan odayı ısıtmaya çalışmıştır. Bu tasarımda etanol ısı borusunda iş akışkanı olarak kullanılmış, ısı pompasında R12 gazı iş akışkanı olarak kullanılmıştır. [11].

“1988 yılında Yılmaz yapmış olduğu “Güneş enerjili ısı borusuyla sıcak su üretimi” çalışmasında ısı borulu su ısıtıcı tasarımı yapmış ve bu tasarımla aynı karakteristikte

ve ölçülerde klasik tabii dolaşimli su ısıtıcısını karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda 4194 KJ/m² güneş ışınımı altında 4 gün boyunca depo suyu sıcaklıkları takip edilerek, klasik tabii dolaşimli su ısıtıcısında depo suyu maksimum 55 °C olarak ölçülmüş olup ısı borulu yeni sistemde sıcaklık maksimum 75 °C olarak ölçülmüştür. Yılmaz yapmış olduğu ısı borulu tasarımda performans oranını 0.72 olarak ve klasik sistemin performans oranını 0.53 olarak hesaplamıştır, bu çalışma ile ısı borulu sistemin daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12].

Ersöz ve Yıldız (2013) yapmış oldukları ısı borulu vakum tüp güneş kolektörlerinde optimum boru çapının tespit edilmesi için 16,22 ve 28 mm çaplarında ısı borusu kullanarak güneş kolektörleri tasarlamıştır. Bu tasarımda etanolü iş akışkanı olarak seçmişler ve ısıtılacak olan akışkanı da hava olarak deney düzeneği oluşturmuşlardır. Deneyi 5 gün boyunca uşak ili hava şartlarında, 3 m/s hava çıkış hızında yapmışlardır. Kullanılan ısı borularının iç kısmını ilk olarak vakum pompası ile vakumlamışlar ve içine iç hacmin 1/3 oranında etanol katılmıştır. Farklı çaptaki ısı boruları kullanılan güneş kolektörlerini aynı şartlar altında incelemişler ve sonuç olarak ısı borusu çapı 22 m olan kolektörün ısı borusu çapı 16 mm ve 28 mm olan kolektörlerden daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir [13].

Acar, vd. yapmış oldukları “ Ayrık ve birleşik ısı borulu kolektör verimlerinin deneysel olarak incelenmesi” çalışmasında birleşik ısı borulu kolektör ile ayrı ısı borulu kolektörü karşılaştırmışlardır. İlk olarak ısı borularının iç kısımlarını vakumlamış ve içine iş akışkanı olarak iç hacmin %30 oranınca R-134a gazı doldurmuşlardır. Her iki kolektörü aynı şartlar altında incelemişler ve sonuç olarak birleşik ısı borulu güneş kolektörünün ortalama %57.6 verimlilikte, ayrı ısı borulu güneş kolektörünün ortalama %48.5 verimlilikte çalıştığını hesaplamışlardır [14].

Yılmaz ve Deniz 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada çift fazlı güneş enerjili sıcak su üretme sistemini farklı çalışma akışkanları kullanarak test etmişleridir, bu tasarımlarda R-134a ve R404a gazlarını çalışma akışkanı olarak kullanmışlardır. Yapmış oldukları tasarımda kolektörün eğim açısını 40° ve kolektör yüzey alanını 2 m² olarak deney düzeneğini oluşturmuşlar ve R-134a ve R-404a gazlarını soğutucu gaz olarak kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda R-404a gazı kullanılan tasarımın

veriminin R-134a gazı kullanılan tasarımdan %1.6 daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [15].

2005 yılında Yılmaz ve Deniz yapmış olduğu çalışmada ısı borulu güneş kolektöründe soğutucu akışkan olarak R-22 kullanıp, bu kolektörü deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada ısı borulu güneş kolektörü ve doğal sirkülasyonlu güneş kolektörünü aynı özellikte ve ölçüde tasarlayıp imal etmişlerdir. Yaptıkları deney düzenekleriyle aynı şartlar altında iki sistemi deneysel olarak ve teorik hesaplamalarla incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılan iki güneş kolektörünün de performanslarının yakın seviyede olduğunu ortaya koymuşlardır [16].

Özsoy (2005) yapmış olduğu çalışmada atılan baca gazının ısısını ısı borulu sistemle geri kazanmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada baca gazı ısısını suya aktarmak için gaz-su tipi ısı borulu sistemi deneysel olarak incelemiş ve bu çalışmada bakır ısı borusunu farklı eğim açılarında farklı güçlerde ve farklı soğutma suyu debilerinde incelemiş olup ısı borusunun farklı noktalarında oluşan sıcaklık farklılıklarını incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda ısı borusu kondenser bölümünde dolaşan iş akışkanının artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığını ve evaporatör bölümünde ısı yükünün artmasıyla doğru orantılı olarak ısı transfer katsayısının arttığını tespit etmiştir [17].

Kaya 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada ısı borulu güneş kolektörü sisteminin üst kısmında bulunan depoyu çatı altına konumlandırarak görüntü kirliliğini engellemeyi amaçlayıp bu sistemin çalışmasını incelemiştir. Çatı altına gizlediği depoda bulunan suyu ısıtmak için iş akışkanı olarak havayı kullanmıştır. Yapmış olduğu sistemde verimi arttırmak amacıyla farklı tipte üç ısı eşanjörü kullanmış ve yapmış olduğu deneyler sonucunda çoklu bakır borulu deney düzeneğinin en yüksek %37 verimlilikte çalıştığını, alüminyum borulu sistemin en yüksek %42 verimlilikte çalıştığını ve tek bakır borulu sistemin en yüksek %40 verimlilikte çalıştığını tespit etmiştir [18].

Köse 2014 yılında yapmış olduğu çalışmada su ve hava ısıtmak için kullanılan ısı borulu güneş kolektörlerinin tasarımını yapıp yaptığı tasarımı deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada iki birbirinden farklı kolektör tasarımı yapmış ve deney düzeneğini imal etmiştir. Yapmış olduğu tasarımların birinde hava ısıtmayı ikincisinde

ise su ısıtmayı hedeflemiştir. Aynı koşullar altında yaptığı çalışmalar sonucunda su ısıttığı deney düzeneğinin % 72 verimlilikte, hava ısıttığı deney düzeneğinin %74 verimlilikte çalıştığını tespit etmiştir [19].

Seven 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada ısı borusunun yalıtılmış kısmındaki akışı analitik yöntemlerle incelemiştir, ısı borusunun yalıtılmış kısmını modellemiştir. Isı borusunun gözenekli kısmında oluşan sıvı akışı ile ısı borusu merkezinde hareket eden buharın hareket yönlerini zıt olarak modellediğini oluşturmuştur. Isı borusunun gözenekli fitil kısmı için Darcy kanunu içeren Navier-Stokes denklemini kullanmış ve ısı borusu orta kısmı yani buhar bölgesini Navier- Stokes denklemini kullanarak iş akışkanının hızını, kütle akış hızının ve buhar basınçlarını hesaplamıştır. Bu çalışmada Seven ısı borusu veriminin ısı borusunun gözenekli fitil bölgesinin özelliklerine ve iş akışkanının cinsine göre değişim gösterdiğini tespit etmiştir. Dinamik sıvı viskozitesi düşük ve gizli ısıyı yüksek olan iş akışkanlarının ısı borusu verimini arttırdığını ve gözenekli fitil yapısının geçirgenliğinin ve gözenekli ortamın kalın olmasının ısı borusunda verimi arttırdığını tespit etmiştir [20].

Alt 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada çok kanallı ısı borusu ile tek kanallı ısı borusu karşılaştırmış ve verimlerini incelemiştir. Bu çalışmada bilgisayarlarımızda bulunan mikroişlemcilerin (CPU) çeşitli ısı borularıyla soğutulmasını incelemiştir. Yaptığı çalışmalarda ısı borusu için üç farklı iş akışkanını karşılaştırmıştır bunlar R22,R404a ve etanoldür. İş akışkanı dışında çok kanallı ısı borusu, tek kanallı ısı borusu, düz ve çok kanallı ısı borularını eğimli olarak deneyler yapmıştır. Bu çalışmaların sonucunda düz tip çok kanallı ısı borunun daha verimli olduğunu ve etanolün kullanılan iş akışkanları içerisinde en verimli olduğunu tespit etmiştir[21].

Özsoy ve Yıldırım (2016) yapmış oldukları çalışmada toprak ısını ısı borusuyla yola aktarıp yolun buzlanmasının önüne geçmeye çalışmışlardır ve bunu çalışmayı ülkemiz iklim şartları için teorik olarak analiz etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda ısı borusu kullanılarak toprak enerjisi kullanılarak ülkemiz iklim şartlarında yolda buzlanmanın engellenebileceğini tespit etmişlerdir [22].

Sarafaz ve Hormozi (2014) yapmış oldukları ‘‘ Bakırdan yapılmış termosifon ısı borusunun alimüna glikol temelli nano akışkanlar ile dolumu yapılarak termal performans ve verimliliğinin deneysel çalışması ‘‘ çalışmalarında alüminyum nano partikülleri ultrasonik homojenize edici yöntemle su-etilen ve su-dietilen glikol ile karışım hazırlanmıştır. Oluşturulan iş akışkanlarını ısı borusuna uygulanan ısı akısı değiştirilerek, ısı borusunun yer ile yaptığı açılar değiştirilerek deneyler yapılmış ve sonuç olarak kullanılan iş akışkanında nano akışkan miktarı arttıkça ısı transfer katsayısının arttığını ve bu durumun ısı borusu ısı verimini arttırdığını tespit etmişlerdir [23].

Jahanbakhsh, Hanghou ve Alizadeh (2015) yaptıkları çalışmada ısı borulu güneş kolektöründe ısı borusu içerisindeki iş akışkanı olarak su-etil alkol çözeltisini kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada ısı borularına farklı konsantrasyonda karışım koymuş ve ısı borularını bu karışımlarla farklı eğimde incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda düşük ısı akısında etanol karışımı ısı borusu çalışma performansında artış meydana getirdiği görülmüştür ayrıca elde edilen sonuçlar içinde en yüksek verimler %50 ve %75 konsantrasyon oranlarında olduğu saptanmıştır. Bu deneylerde %52’lik verim elde etmişlerdir. Bu deneylerde ısı transfer katsayısı 35° lik eğimde en yüksek değere ulaşmıştır [24].

Nemec, Caja ve Malcho (2013) yapmış oldukları çalışmada ısı borularının ısı transfer limitlerini matematiksel model olarak incelemişlerdir, bu çalışmada standart ısı borularını farklı iş akışkanı kullanarak -30° C den 140° C aralığında ki sıcaklıklarda ısı borularının ısı taşıma limitlerini hesaplamışlardır, bu çalışma ile ısı borularının ısı taşıma limitlerinin matematiksel olarak doğrulaması yapılmışlar ve bu limitlerin ısı borusu soğutma gücü etkisini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda ısı borusu kılcal limitinin ısı transferini etkileyen önemli bir limit olduğunu belirtmişlerdir [25].

Babu, Kamath 2015 yılında yaptığı çalışmada son gelişmeler ışığında yüksek performanslı ısı borularını ve ısı borusu yapımında kullanılan malzemeleri incelemişlerdir. Hafif malzemeler ile yapılan ısı borularında, standart bakır ısı borularına nazaran ısı borusunun ağırlığını %80 nin üzerinde hafifleme sağlanmıştır.

Fakat bazı malzemelerin bazı iş akışkanlarıyla uyumsuz olması gibi ısı borusu ağırlığının azaltılmasında farklı sınırlamalar bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır [26].

Xie, Xue, Qu ve Li 2015 yılında yaptıkları çalışmada dönen ısı borulu sistemlerin ısı transfer performanslarını incelemiştir, bu çalışmada yavaş dönüş hızlarında ısı borusunun ısı transfer performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Isı borularını aynı ölçülerde, dönen ve sabit olmak üzere iki farklı şekilde tasarlamışlar ve test etmişlerdir. Yapılan deneylerde her iki ısı borusunun kondenser ve evaporatör kısımları arasındaki sıcaklık dağılımlarını gözlemlemiştir. Dönen ısı borusunun ısı transferi yapan kondenser ve evaporatör kısımları arasında sıcaklık farkı 4 °C olarak tespit edilmesine karşılık sabit ısı borusunda her iki uç arasındaki sıcaklık farkı 27 °C olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda sabit ısı borulu sistemin uçları arasında sıcaklık farkının dönen ısı borulu sistemin iki ucundaki sıcaklık farkından daha büyük olduğu tespit edilmiştir [27].

Gedik, Yılmaz ve Kurt (2016) yapmış oldukları “İş akışkanı olarak R134a ve R410a kullanılan yer çekimi destekli ısı geri kazanım sistemlerinin termal performansının deneysel incelemesi” çalışmasında iki farklı iş akışkanını yer çekimli ısı borusunda deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada R134a ve R410a iş akışkanlarını karşılaştırmışlardır ve bu farklı iş akışkanı bulunan ısı borularının performansını ve ısı geri kazanım sistemlerinde hazır paket sistemlerin kullanılabilirliğini incelemiştir. Yaptıkları deney düzeneğinde farklı baca gazı sıcaklıkları, farklı baca gazı hızı ve farklı soğutma suyu debilerinde çalışmışlar ve sonuç olarak R134a iş akışkanının %1 daha verimli olduğunu hesaplamışlardır [28].

Ersöz ve Yıldız 2016 yılında yaptıkları çalışmada termosifon ısı boruları üzerinde çalışmış ve bu sistemin termoekonomik analizini yapmıştır. Bu çalışmada damıtılmış su, petrol eteri ve metil alkol iş akışkanı olarak kullanılmış ve bu akışkanları hava ısıtmada kullanıp bu sistemi termoekonomik olarak incelemiştir. Aynı şartlarda farklı hava hızları için kurulan sistemin ekserji ve enerji verimliliği hesaplanmış ve çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda farklı hava hızlarında yapılan deneylerden metil alkol en yüksek enerji ve ekserji verimliliğine sahip olduğu tespit edilmiş olup petrol eteri ise en düşük performansta çalışmıştır. Yapılan çalışmalar

sonucunda üç iş akışkanı içerisinde termoeconomik olarak en yüksek performansı veren iş akışkanı damıtılmış su olduğu hesaplanmıştır [29].

Ersöz (2016) yapmış olduğu “Vakum tüplü termosifon tip ısı borusu güneş kolektörü için farklı iş akışkanlarının kullanılmasının enerji ve ekserji performansları üzerindeki etkisi” çalışmasında altı farklı akışkanı havası boşaltılmış termosifon tipi ısı borulu güneş kolektöründe denemiş ve yaptığı bu deneyde sistemin enerji ve ekserji performansını 2,3, ve 4 m/s hava akış hızında incelemiştir. Ersöz bu çalışmada iş akışkanı olarak petrol eteri, hekzan, aseton, kloroform, etil ve metil alkol kullanmıştır. Deney düzeneğinde iş akışkanları dışında tüm sistem aynı şartlar ve ölçülerde imal edilmiş olup sistem Uşak ili hava şartlarında test edilmiştir. Sonuç olarak üç hava hızı içinde en düşük ekserji ve enerji verimliliği en az hekzan da, 2 ve 3 m/s hızlar için en yüksek verimi aseton da, 4 m/s hava hızı için en yüksek enerji verimini kloroform da, 2 m/s hız için en yüksek ekserji verimini aseton da, 3 ve 4 m/s hava hızında en yüksek ekserji verimliliğini kloroformda olduğu tespit edilmiştir [30].

Mamouri, Derami, Ghiasi, Shafii 2014 yılında yapmış olduğu çalışmada güneş ile su damıtma sisteminde termosifon tipi ısı borusu ve vakumlanmış cam kullanarak sistemin çalışmasını incelemiştir. Yapılan çalışmada termosifon tipi ısı borusunun ısı iletiminde hızlı ve performanslı olması ve vakum tip kolektörlerin avantajlarını kullanarak güneş enerjisi kullanarak suyu tuzdan arındırmak için çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda tuzdan arınan su miktarında artış elde edilmiştir. Bu sistemde üretim oranı maksimum 1.02kg/m² olarak ve verimlilik maksimum %22.9 olarak hesaplanmıştır [31].

Xionga ve diğerleri 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada ısı borusunda iş akışkanı olarak eritilmiş tuz kullanmış ve bu sistemin çalışma karakteristiğini incelemiştir. Bu çalışmada dört farklı tuz kullanmışlardır, kullanılan tuzlar NaNO₃, LiNO₃, Ca(NO₃)₂ ve KNO₃ dür. Aynı şart ve koşullarda dört tuz içinde deneyler yapılmış ayrıca 50° eğim açısında içine 40g, 60g, 70g ve 80g erimiş tuz doldurularak testler yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda 40g erimiş tuz ile yapılan ısı borusunun diğer tuz miktarları içerisinde maksimum yoğuşma sıcaklığına daha hızlı ulaştığı tespit

edilmiştir. Ayrıca 40 g erimiş tuzlu ısı borusu 40g naftalin doldurulmuş ısı borusundan daha hızlı iş yapmaya başlamıştır [32].

Hassan 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada ısı eşanjörü olarak ısı borusunda dört farklı iş akışkanını kullanarak oluşan sistemlerin performanslarını incelemiştir. İş akışkanı olarak R134a, R22,R407C ve R410A kullanmıştır. Hazırladığı deney düzeneğinde 20mm çapında 600mm uzunluğunda ısı borusu kullanmıştır. Deneyleri 35 °C -55 °C aralığında evaporatör sıcaklığında ve 20 °C - 25 °C aralığında kondenser sıcaklığında yapmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda R410A, R134a ve R22 iş akışkanları için ısı eşanjörlerinin termal etkinliği %25 ile %70 arasında olup R407C iş akışkanının ise termal etkinliği %15-%50 arasında hesaplanmıştır [33].

Memeli ve diğerleri 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada gelişmiş çok evaporatörlü döngülü termosifonu incelemiştir. Yapılan çalışmada bu termosifonu farklı ısı giriş seviyelerinde, farklı ısıtıcı pozisyonlarında ve farklı eğimde test etmişler ve bu şartlarda sistemin akış hareketlerini ve termal performansı arttırmaya çalışmışlardır. Bu deneylerin sonucunda kurulan sistemde ısı akısı kapasitesi diğer fitilsiz ısı borularına göre beş kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan sistemin elektronik soğutma sisteminde kullanılabilecek yeni bir fikir olduğu kanıtlanmaktadır [34].

Esen M. ve Esen H. 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada iki fazlı kapalı termosifon güneş enerjili su ısıtıcısı farklı soğutucu gazlar kullanılarak ısı performansını nasıl etkilediğini incelemiştir. Yaptıkları deneylerde iş akışkanı olarak R407C, R410A ve R134a kullanılmıştır. Tüm deney düzenekleri aynı şart ve koşulda test edilmiş ve toplam kolektör verimi ve sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda R410A iş akışkanı en yüksek performansı verdiği tespit edilmiştir [35].

Terdtoon, Payakaruk ve Ritthidech 2000 yılında yapmış oldukları “Eğimli bir çift kapalı çevrim termosifonun normal operasyon şartlarında tahmini ısı transferi karakteristiklerinin tahmini bağıntıları” çalışmasında eğimli termosifonlarda ısı transferi üzerinde etken boyutsuz parametreleri tanımlamışlardır. Çalıştıkları

parametreler sırasıyla froude sayısı, bond sayısı, Kutateladze sayısı ve bond sayısıdır. Yapılan çalışmalarda bu sayıların toplam ısı direnç ve ısı transferi oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. 7.5mm, 11.1 mm ve 25.4mm çaplarında bakır termosifonlar kullanılmış olup iş akışkanı olarak da su, etil alkol, R22,R134a ve R123 seçilmiştir. %50,%80 ve %100 dolum oranlarında, farklı eğim açılarında ve 0-30° aralığı buhar sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarında biri olarak modifiye edilmiş Kutateladze sayısı dikey ve Rm/R90 pozisyonlarında minimum toplam ısı direnç oranının tahmin edilebilmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir [36].

Wang Z., Zhang X., Li Z., ve Luo M. 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada birleşik ısı borulu sistemin data merkezleri için enerji verimlilikleri üzerine çalışmıştır. Yapılan bu çalışmada data merkezleri için buhar sıkışmalı ve ısı borusu soğutma çevriminden oluşan birleşmiş bir sistemi tasarlamışlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda data merkezlerinde kullanılan birleştirilmiş sistemin güç kullanımı Pekin ve Harbin gibi soğuk yerlerde kullanılan konvansiyonel hava soğutma sisteminden 0,3 daha az olduğu tespit edilmiştir [37].

Abas, Nawaz, Khan (2015) “Termosifonla çalışan güneş enerjisi ısıtma sistemi için düşük küresel ısınma potansiyelli soğutucu maddenin parametrik nicelendirilmesi” isimli çalışmalarında termosifon tip ısı borulu güneş kolektöründe optimum soğutucu iş akışkanı seçiminde akışkanın değişken nicelikleri metodu ile çalışmışlardır. 29 adet farklı iş akışkanı farklı basınç ve sıcaklık şartları altında PERFPROP kullanılarak simüle edilmiştir. Termosifon sisteminin parametreleri uluslararası güvenlik, çevre protokolleri ve ana denklemlerden faydalanılarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada oluşturulan simülasyonda en uygun soğutucu iş akışkanı tespit edilmiş olup sonrasında vakum tüp kolektörü tasarlanmış ve simülasyon sonucunda bulunda en uygun iş akışkanı ile çalıştırılıp testler yapılmıştır [38].

Seo, Lee J., Lee Y. 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada dik fitilsiz ısı borusunda uzunluğun sürüklenme limitleri üstündeki etkilerini incelemişlerdir, bu çalışmada sürüklenme limitinin ısı borusu uzunluk çap oranına hassasiyeti hesaplanmak istenmiştir. Deneyler farklı uzunluklardaki ısı boruları kullanılarak yapılmış ve

sürüklenme limitleri ölçülmüştür, yapılan ölçümlerde sürüklenme limitinin uzunluk çap oranından etkilendiği sonucunu bulmuşlardır. Bu şekilde deneysel verilere sonucunda uzunluk çap oranı etkisini içeren yeni bir etken geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada geliştirilen faktörün daha önce yapılmış çalışmalar ve deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir [39].

Çizelge 2.1. Isı borusu üzerine yapılan çalışmalar ve sonuçları.

	Çalışma	Sonuç
Ersöz ve Yıldız (2013)	Isı borusunda boru çapının ısı borusunun çalışma performansına etkisini incelemişler. 16, 22 ve 28 mm çapında ısı borusunu karşılaştırmışlardır.	Çapı 22 m olan ısı borusunun çapı 16 mm ve 28 mm olan ısı borularından daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir [13].
Acar, Öz ve Gedik (2008)	Ayrık ve birleşik ısı borulu kolektör verimlerini deneysel olarak incelenmişlerdir.	Birleşik ısı borulu güneş kolektörünün daha verimli çalıştığını tespit etmişlerdir [14].
Yılmaz ve Deniz (2007)	Isı borusunda farklı çalışma akışkanları kullanarak test etmişlerdir. R-134a ve R-404a gazlarının çalışma performanslarını karşılaştırmışlardır.	R-404a gazının daha verimli çalıştığını tespit etmişlerdir [15].
Esen M. ve Esen H. (2005)	Isı borusunda farklı çalışma akışkanları kullanarak test etmişleridir. R-407Ca, R-410A ve R-134a gazlarının çalışma performanslarını karşılaştırmışlardır.	R410A iş akışkanı en yüksek performansı verdiğini tespit edilmiştir [35].
Jahanbakhsh, Hanghrou ve Alizadeh (2015)	Isı borusu konumum olarak farklı eğimlerde çalışma performansını incelemişlerdir.	Isı transfer katsayısı 35°'lik eğimde en yüksek değere ulaştığını tespit etmişlerdir [24].

Literatürde Çizelge 2.1'de de verilen farklı çalışmalar yapılmıştır, bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak iki farklı geometrik şekilde ısı borusu tasarlanmıştır, tasarlanan ısı borularının Ansys Fluent programı kullanarak modeli oluşturulmuş ve sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analizler zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Isı boruları U-tip ve I- tip şeklinde ve eşit yüzey alanlarına sahip

olmaları için farklı boru çaplarında tasarlanmıştır. Boru malzemesi olarak bakır ve iř akışkanı olarak su seçilmiştir. Isı borusu kondenser ve evaporat3r y3zeylerine sabit sıcaklık girdisi tanımlanmış ve sayısal analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda ısı borularının kondenser y3zeyinde oluşan ısı akısı karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 3

GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Güneş Kolektörü güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştüren düzenektir. Güneş kolektörleri güneş ışınımını toplama özelliklerine göre odaklamalı, düz ve düz-yoğun olmak üzere üç farklı sınıfta incelenebilir ayrıca iş akışkanı cinsine göre gazlı ve sıvılı olarak iki tipte incelenebilir [45].

Güneş kolektörü, bünyesinde güneş radyasyonunu toplayarak bir akışkan üzerine bu enerjiyi aktaran bir eşanjör (ısı değiştiricisi) olarak tarif edilebilir. Güneş kolektörlerini üç grupta inceleyebiliriz. Bunlar; birincisi düz yüzeyli güneş kolektörü; yüzeyine düşen güneş ışınımı, radyasyonu kullanır, akışkan sıcaklığı 95 °C den küçüktür, sabit olarak çalışır. İkincisi tip güneş kolektörü, odaklamalı tip olup, güneş enerjisini bir noktada toplar, radyasyondan direk olarak faydalanıp yüksek sıcaklıkta akışkan elde etmek için kullanılabilir. Üçüncü grup güneş kolektörü ise hem düz hem odaklamalı tip güneş kolektörüdür. Her iki tip güneş kolektörlerinin özelliklerini taşır fakat odaklamalı tip güneş kolektörü gibi yüksek sıcaklıklar temin edilememektedir. Bu tip kolektörlerde ortalama 175 °C ye kadar sıcaklık elde edilebilmektedir. Düz yüzeyli kolektörler ısıtma ve soğutma proseslerinde kullanılmak için yaygın olarak tercih edilen güneş kolektörüdür. [46].

3.1. Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Kolektörleri

Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü genel olarak sıcak su elde etmek veya farklı proseslerde kullanılmak üzere sıcak hava elde etmek için kullanılmaktadır. Bu kolektörler ısı borusunun yoğunlaştırıcı (kondenser) bölgesinde ısıyı suya veya havaya aktardığı sistemlerdir. Şekil 3.1’de yaygın olarak su ısıtmada kullanılan bir vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü verilmiştir



Şekil 3.1. Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü.

Şekil 3.2’de hava ısıtmada kullanılan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü verilmiştir.



Şekil 3.2. Hava ısıtmada kullanılan vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü.

Su ve hava ısıtmak için kullanılan tüm sistem elemanları neredeyse aynı olup sadece ısıtılacak akışkan farklıdır. Kullanılan vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri üzerinde farklı sayıda vakum tüp bulunmaktadır bu sayı kolektör üretici firma tasarımı ve kullanım alanı gibi faktörlerden dolayı farklılık göstermektedir.

Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörlerinde kullanılan vakum tüp geçirgenliği yüksek olan saydam borosilikat camlardan iki adet silindir şeklinde cam tüpün iç içe geçirilip uç kısmından birleştirilerek kapatıp iki camın arasındaki havanın vakumlanmasıyla imal edilmektedir (Şekil 3.3). Bu camlardan iç kısımda bulunan camın dış yüzeyi güneş ışınlarını daha çok emmesi için selektif yüzey bulunmaktadır. Oluşturulan tüpün iç havasının vakumlanmasıyla selektif yüzeyin topladığı ısının dış tüpün yüzeyine doğru taşınımı engellenmiştir. Bu durumdan dolayı vakum tüplü güneş kolektörlerinde vakum tüp iç tarafı çok sıcak olmasına karşın vakum tüp dış yüzeyi dış ortam sıcaklığına yakındır ve ısı verimlilikleri yüksektir.

İki camın birleştirilmesi ve arasındaki havanın vakumlanmasıyla elde edilen vakum tüpün içerisine ısı borusu yerleştirilmesiyle vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü oluşturulmuştur. Isı borusunun vakum tüp içerisinde kalan kısmı evaporatör bölgesini oluşturmaktadır, vakum tüp dışında kalan ve ısının dış ortama atılacağı ısı borusu bölüm kondenser bölgesini oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. Vakum tüplü ısı borulu bir güneş kolektörü.

Vakum tüp içerisinde bulunan ısı borusu geleneksel ısı borularından farklı değildir ve çalışma prensibi tamamen aynıdır. Vakum tüpün iç katmanında bulunan emici yüzey tarafından emilen güneş ışınları ısı borusu içerisinde bulunan iş akışkanının sıcaklığını yükselterek ısı borusunun kondenser kısmına doğru bu akışkanın yükselmesine neden olmaktadır. Kondenser kısmında toplanan ısıyı kullanım ihtiyacı ve amacına göre ısı borusunun kondenser bölümü dış kısmında sıvı veya hava şeklinde olan bir akışkana transfer etmektedir. Kondenser kısmında ısıyı dışarıya transfer eden iş akışkanı

yoğuşarak ısı borusu içerisinde evaporatör kısma geri gelmektedir. Vakum tüp güneş ışınlarını topladığı sürece ısı borusu içerisinde iş akışkanının evaporatörden-kondensere ve kondenserden-evaporatöre hareketi devam etmektedir.

Isı borusu içerisinde bulunan hava vakumlanmıştır bu nedenle ısı borusu içerisinde bulunan iş akışkanı normal şartlara göre daha küçük sıcaklıklarda buharlaşacağından dolayı vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri ısı borusu bulunmayan vakum tüplü güneş kolektörlerinden daha kolay, kısa sürede ve daha düşük ısıda çalışabilmektedir[47].

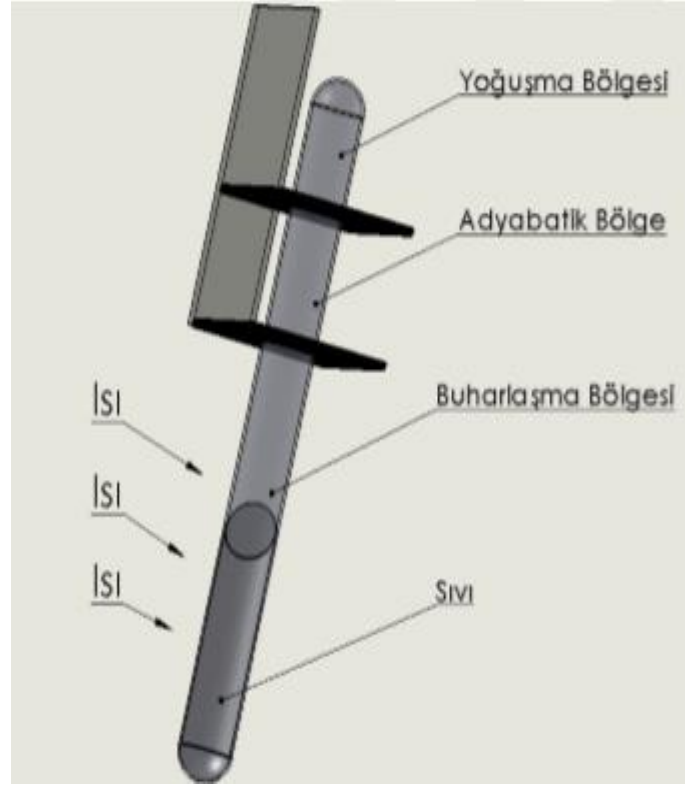
BÖLÜM 4

ISI BORUSU

4.1 ISI BORUSUNUN TANIMI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı borusu uçları tamamen kapalı, içi öncelikle vakumlanmış ve sonrasında belli bir oranda iş akışkanıyla doldurulmuş, bazı tiplerinde iç kısmında sıvı hareketliliğini kolaylaştıran fitil ile kaplanmış farklı materyallerden yapılabilen borudur. Basit yapılı bir ısı borusu Şekil 4.1' de verilmiştir.

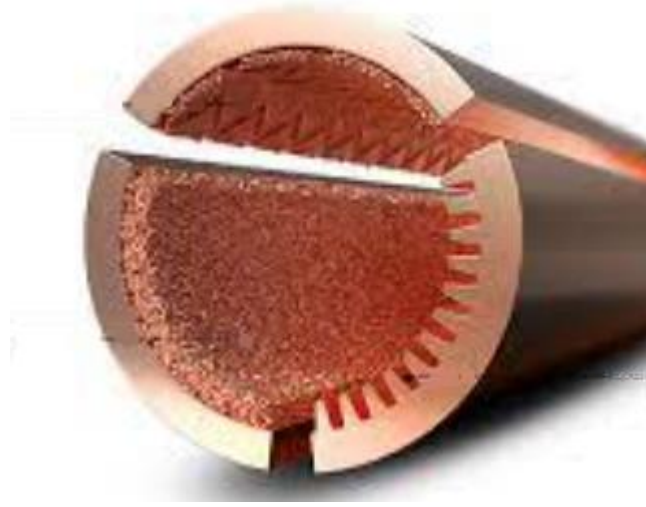
Isı borusu temel olarak çalışma biçimi, içinde bulunan iş akışkanının hal değiştirmesi ile oluşmaktadır. Sıvı halde bulunan iş akışkanının sıcaklık etkisiyle hal değiştirip buharlaşması sırasında buharlaşma gizli ısını ısı kaynağından almaktadır. Buharlaşan ve gaz haline dönüşen iş akışkanı ısı borusunun soğuk kısmında yüzeye çarpıp gazın üzerindeki gizli ısıyı ortama verip yoğunlaşmaktadır. Yoğuşan akışkanın yer çekimi etkisiyle sıvı haznesine doğru tekrar buharlaştırılmak üzere taşınmakta ve bu şekilde iş akışkanının buharlaşıp sıvılaşması ile ısı enerjisi ısı borusunun bir ucundan diğer ucuna taşınmaktadır.



Şekil 4.1. Basit bir ısı borusu.

Isı borusunun iş akışkanın buharlaşıp geri yoğuşmasına göre bölümleri Şekil 4.1 de belirtilmiştir [40].

Isı borusu başka bir ifadeyle içindeki hava vakumlanmış ve içinde belli bir oranda iş akışkanı bulunan iki ucu tamamen kapalı bir borudan meydana gelmektedir, boru içerisinde belli bir oranda bulunan iş akışkanının uygun fitil yapısı yardımıyla hareket etmesi sağlanıp ısı alışverişi yapmaktadır. Isı borusu sistemlerinde iş akışkanının hareketini düzenlemek için Şekil 4.2’de gösterildiği gibi ısı borusu iç kenarına farklı fitil yapı uygulanır.



Şekil 4.2. Isı borusu fitil yapı .

Yerçekimi kuvvetiyle çalışan ısı borularında güneşin ısısı ısı borusunun buharlaştırıcı (evaporatör) kısmına ulaştığında bu bölgede bulunan iş akışkanı buharlaşmaya başlar ve kısa sürede ısı borusunun neredeyse tamamı saf buhar ile dolar. Isı borusu içerisinde iş akışkanı hareketi ve oluşan faz döngüsü fitil yapı sayesinde daha hızlı gerçekleşmektedir. Isı borusu içerisindeki hava vakumlanarak boşaltılmıştır.

Isı borusunda iş akışkanın buharlaştığı kısım ile yoğunlaştığı kısım arasında sıcaklık farklarının çok küçük olması halinde bile ısı borusunun iki bölgesi arasında çok hızlı bir ısı transferi gerçekleşmektedir [41].

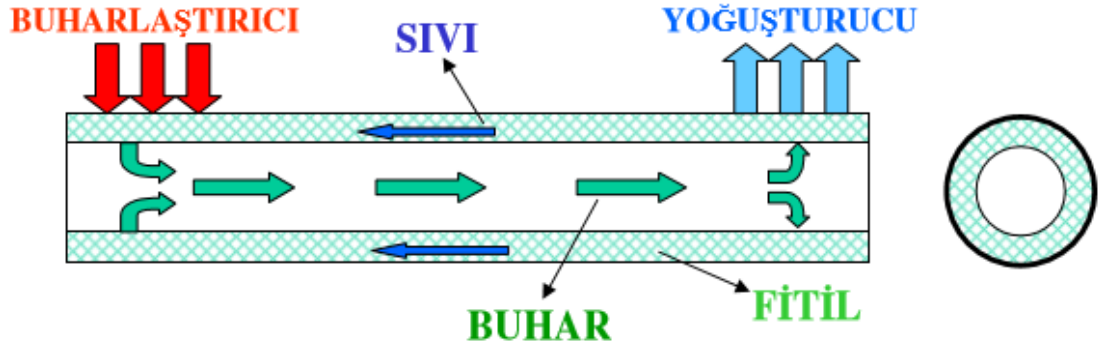
4.2. ISI BORUSUNUN ÖZELLİKLERİ

Isı borusunun çalışmasının daha verimli olması için ısı borusu ve iş akışkanının belirli özellikleri üzerinde barındırması gerekmektedir. Isı borusunun çalışma veriminin daha iyi olması için gereken özellikler aşağıda verildiği şekildedir;

- a. En az et kalınlığında maksimum basınca dayanıklı olmalı,
- b. Isı iletim özelliği fazla olmalı, çabuk ısınabilmeli,
- c. Akışkana (ve fitile) uyumlu olmalı,
- d. İyi vakumlanmış olmalı,
- e. Sıcaklık değişimlerinden etkilenmemeli,

- f. İçerisindeki sıvıyla kimyasal reaksiyona girmemeli,
- g. Sıcaklık boru boyunca homojen kalmalı,
- h. Çalışma ve reaksiyon zamanı kısa olmalı,
- i. Mümkün olduğunca estetik olmalı,
- j. Boru iç yüzeyi (fitilli olmayan tiplerde) mümkün olduğunca kanallı ve pürüzsüz olmalı,
- k. Yoğuşan akışkanlar yerçekimi etkisi ile buharlaştırıcı bölgesine taşımaya elverişli olmalı,
- l. Aynı çaptaki bakır boru çubuğunun boyu doğrultusunda nakledebildiği ısının bin mislini aynı yönde nakledebilmektedir [42].

Isı borusu temel olarak üç yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar boru, muhafaza kapakları ve kılcal fitil yapısıdır. Bu yapı elemanları Şekil 4.3’ de belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Isı borusunun yapı elemanları.

4.2.1 Çalışma Akışkanları ve Özellikleri

Isı borusunun çalışmasında dikkat edilmesi gereken unsurlardan biride iş akışkanının seçilmesidir. İş akışkanlarının ısı borusunda en önemli özelliği düşük sıcaklıkta buharlaşabilmesi ve don olayına engel olmasıdır. Çizelge 4.1’de buharlaşma ve donma sıcaklığına göre ısı borularında en çok tercih edilen iş akışkanları verilmiştir. Isı borusu içinde bulunan iş akışkanı ısı borusunun buharlaştırıcı kısmından aldığı ısıyı çok hızlı bir şekilde yoğuşurma kısmına iletebilmelidir, bunu sağlaması için belli bir takım özelliklere sahip olması gerekmektedir. Tercih edilen iş akışkanı ısı borusu içine

belirli bir oranda doldurulur. Isı borusu içine katılan iş akışkanının miktarının ısıtma verimine etkisi üzerine yapılan araştırmalarda ısıtma veriminin iş akışkanı miktarından etkilendiği tespit edilmiştir [43].

Çizelge 4.1. Isı borusunun çalışma sıvıları ve özellikleri.

İşletme Aralığı (°C)	Akışkan Cinsi	Kaynama Noktası Sıcaklığı (°C)	Gövde ve Fital için Uygun Malzeme
-200 ile -80	Nitrojen	-196	Paslanmaz çelik
-70 ile -60	Amonyak	-33	Nikel, Alüminyum, Paslanmaz çelik
-60 ile 40	Freon 12	-30	Paslanmaz çelik
-40 ile 120	Freon 114	3,77	Paslanmaz çelik
-40 ile 120	Freon 21	8,92	Paslanmaz çelik
-40 ile 120	Freon11	23,82	Paslanmaz çelik
-10 ile 180	Freon 113	47,6	Paslanmaz çelik
40 ile 220	Freon 114	92,8	Paslanmaz çelik
-20 ile 120	Pentan	28	Paslanmaz çelik
0 ile 120	Aseton	56,2	Bakır, Paslanmaz çelik
10 ile 130	Metanol	65	Bakır, Paslanmaz çelik
0 ile 150	Heptan	98,4	Bakır, Paslanmaz çelik
0 ile 130	Benzen	80,1	Tantalyum
0 ile 130	Etanol	78,6	Bakır, Paslanmaz çelik
0 ile 130	Sikloheksan	80,7	Paslanmaz çelik
10 ile 200	Su	100	Bakır, Nikel
190 ile 550	Cıva	356	Paslanmaz çelik
400 ile 800	Potasyum	760	Nikel, Paslanmaz çelik
500 ile 900	Sodyum	883	Nikel, Paslanmaz çelik
900 ile 1500	Lityum	1330	Niobium + %1 Zirkonyum

Isı boruları temel olarak iş akışkanına göre yüksek sıcaklık, orta sıcaklık ve düşük sıcaklık ısı boruları olarak tanımlanabilir. Düşük sıcaklık değerlerinde kullanılan iş akışkanları; Metan, Oksijen, Azot, Neon ve Hidrojendir. Orta sıcaklık değerlerinde kullanılan iş akışkanları; Freon, Metanol, Amonyak ve Su'dur. Yüksek sıcaklık değerlerinde kullanılan iş akışkanları; Gümüş, Lityum, Potasyum, Cıva vb'dir. Büyük değerde yüzey gerilimleri ısı borularında büyük değerde kılcal pompalama yetisine, daha iyi verimde ısı transferine, daha büyük değerde buharlaşma gizli ısısına, yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı kısımda fitilde daha küçük sıcaklık düşmesine ve daha büyük ısı iletkenliğe karşılık gelmektedir.

Ayrıca bunlara karşın buharlaşmanın oluşması için çalışmaya başlama sıcaklığı, malzeme akışkan uyumu gibi problemler ısı borusu tasarımı ve imalatı için önceden düşünülmesi ve ayarlanması gereken önemli parametrelerdir. Buhar çalışma aralığı ısı borusu iş akışkanı için ilk düşünülmesi gereken unsurdur. Birçok sistemde belirlenen tahmini bir sıcaklık değeri için ısı borusunda kullanılacak fazla sayıda iş akışkanı bulunabilir. Fakat seçilecek olan iş akışkanında yapılacak olan uygulamaya uygun iş akışkanları için belirli özelliklerin iş akışkanında aranması gerekir.

Isı borularında kullanılmak için seçilen iş akışkanlarında aranması gereken özellikler sırasıyla;

- a. Boru malzemesiyle uyumlu olmalı.
- b. Sıcaklığın artmasıyla bozulma tehlikesine maruz kalmamalı.
- c. Gizil ısı (buharlaşma ısı) kapasitesi yüksek olmalı.
- d. Çalışma sıcaklığı aralığı buharlaşma basıncının gereğinden büyük veya küçük olmamalı.
- e. Isıl iletkenliği yüksek olmalı.
- f. Sıvı ve buhar fazlarında kinematik viskozitesi düşük olmalı.
- g. Yüksek yüzey gerilimine sahip olmalı.
- h. Donma noktası kabul edilebilir olmalı.
- i. Zehirli olmamalı.
- j. Kolay temin edilmeli ve ucuz olmalıdır.

Isı borusu malzemesi ve iş akışkanının birbirleriyle uyumlu olmaması halinde ısı borusu içinde yoğunlaşmayan gaz oluşup ve korozyon meydana gelecektir [42].

4.2.2 Isı Borularında Kullanılacak Akışkan Miktarı

Isı borusu içerisine doldurulacak olan iş akışkanının miktarı ısı borusunun verimi için büyük önem taşımaktadır. Isı borusunun içerisine az iş akışkanı doldurulması halinde ısı borusu iç kısmı komple buhar olacaktır bu durumda ısı borusu buharlaştırıcı kısmında sıvı olmaması nedeniyle ısı borusu kesintili çalışır ve tam verim alınamaz. Isı borusu içerisine gereğinden fazla iş akışkanı konulması durumunda ısı borusunun çalışmamasına neden olan taşma limiti problemi meydana gelmektedir. Lee ve Bedrossian (1978) yapmış olduğu çalışmada ısı borusu için optimum iş akışkanı

miktarının ısı borusu toplam iç hacminin %15'i olarak, Feldman ve Srinivassan (1995) ise toplam iç hacmin %18-22' si kadar olmasını önermişlerdir. Bezrodyny ve Alekseyenko yaptıkları çalışma sonucu ısı borusu buharlaştırıcı bölgesinin hacminin yarısından fazla iş akışkanı doldurulabileceğini bildirmişlerdir. Faghri (1995) yaptığı çalışmada termosifonlarda iş akışkanı miktarını belirlemede aşağıda verilen eşitliği önermiştir [43].

$$V = \left[\frac{4}{5} (L_c + L_e) L_a \right] \left[\frac{3Q\mu_1(\pi d)^2}{\rho_1^2 g h_{fg}} \right]^{1/3}$$

Q: Evaporatör bölgesi ısı yükü

Le: Evaporatör uzunluğu

Lc: Kondenser uzunluğu

La: Adyabatik uzunluğu

d: Isı borusu çapı

h_{fg}: Çalışma akışkanının buharlaşma gizli ısısını

μ₁: Dinamik viskoziteyi

ρ₁: Çalışma akışkanı yoğunluğunu

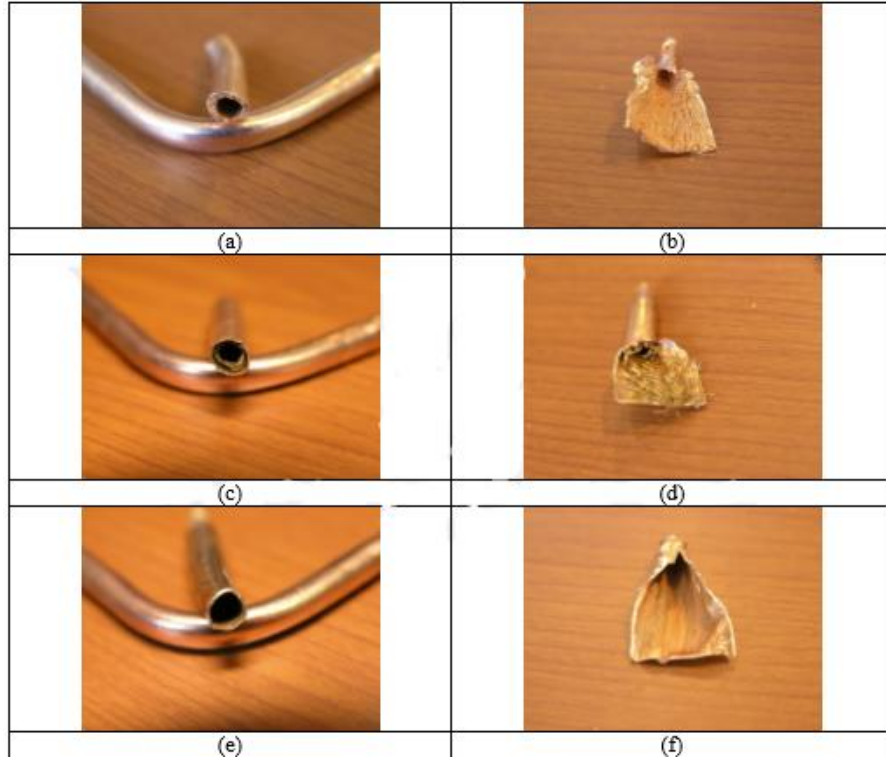
g: Yerçekimi

4.2.3 Fital Yapı

İki durumu ısı borusunun çalışmasında dikkate almak gerekir. Bunlar yoğuşma bölgesinde akışkanın tekrar buharlaştırıcı bölgeye nasıl geleceğidir, ikincisi ise tek yönden ısıya maruz kalan ısı borularında iş akışkanının ısı borusu iç hacmin dış çevresine homojen olarak nasıl dağıtılabilceğidir. Yoğuşan iş akışkanın buharlaştırıcı (evaporatör) bölgeye geri dönmesinde kılcallık, elektrostatik kuvvet, manyetik kuvvet, merkezci kuvvet, osmotik kuvvet ve yerçekimi kuvveti gibi etmenlerden faydalanılmaktadır. Osmotik kuvvetin kullanılmasında fitiller önemli rol üstlenmektedir. Şekil 4.4'de bazı fitil örnekleri verilmiştir. Fital malzemesinin aranan özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir;

- Yoğuşan iş akışkanının geri dönüşü için gerekli akış kesitini sağlaması

- Gerekli kılcal pompalama basıncının sağlanması için sıvı-buhar ara yüzeyinde gözeneklerin oluşmasına imkân vermesi,
- Sıvı-buhar ara yüzeyi ve ısı borusu iç yüzeyi arasında iyi bir ısı akışı sağlayabilmesi
- Buhar ile sıvı ara yüzeyinde oluşan taşınmayı azaltmak,
- Eğimli termosifonlarda sıvının dairesel olarak ısı borusu yüzeyine dağılımına yardımcı olmak,
- Evaporatörde çekirdek kaynamasını kolaylaştırmak,
- Kondenser kısmında yoğuşmayla olan ısı transferini artırmak [44].



Şekil 4.4. Örnek fitil tipleri (a) ve (b) Sinter tozu tip, (c) ve (d) Metal örgü tip, (e) ve (f) Oluklu tip fitil detayları [41].

BÖLÜM 5

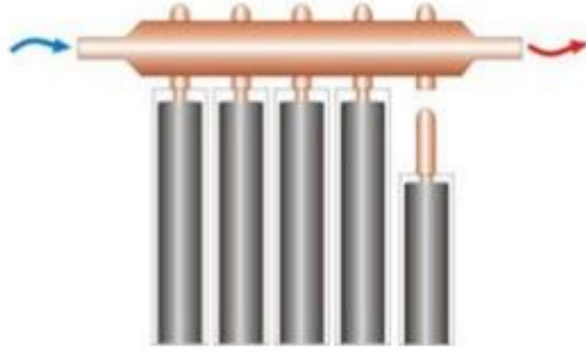
MATERYAL VE METOD

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber bu enerji kaynaklarının daha verimli nasıl kullanılabilceğine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Güneş enerjisi en kolay ulaşılabilen, temiz ve sınırsız kaynak olması dolayısıyla güneş enerjisi kullanımı için farklı sistemler ve çalışmalar yapılmıştır.

Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörü günlük hayatta da yaygın olarak kullanılan sistemlerden bir tanesidir. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörleri üzerine birçok farklı çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda güneş enerjisinin daha verimli nasıl kullanılacağı üzerine tespitler yapılmıştır. Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörleriyle ilgili olarak, ısı borusu boyunun etkisi, vakum tüp üzeri kaplanan malzemenin etkisi, ısı borusu içerisinde kullanılacak farklı iş akışkanları vb. konularda bu kolektörlerin sistem elemanları ve bu elemanların seçimi için farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörü sistem elemanlarından ısı borusunun farklı geometrik şekillerde kullanılmasının ısı borusunun çalışmasını nasıl etkilediği Ansys Fluent programı ile sayısal olarak analizi yapılmıştır.

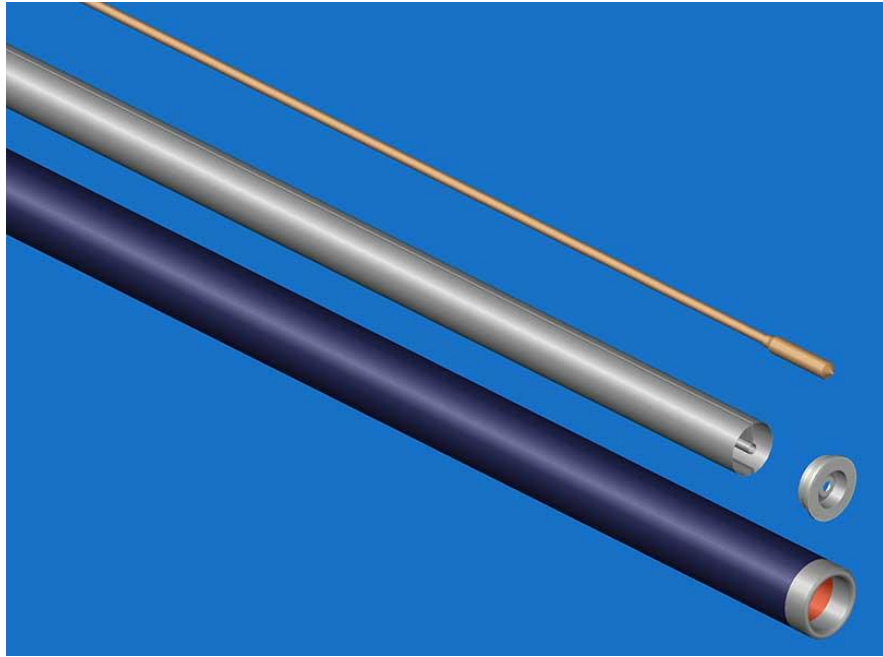
5.1. MODEL TASARIMI

Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü yoğuşturucu (kondenser) kısmı Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Hava ve su ısıtmada kullanılan kolektör sistemi resim ile aynıdır.



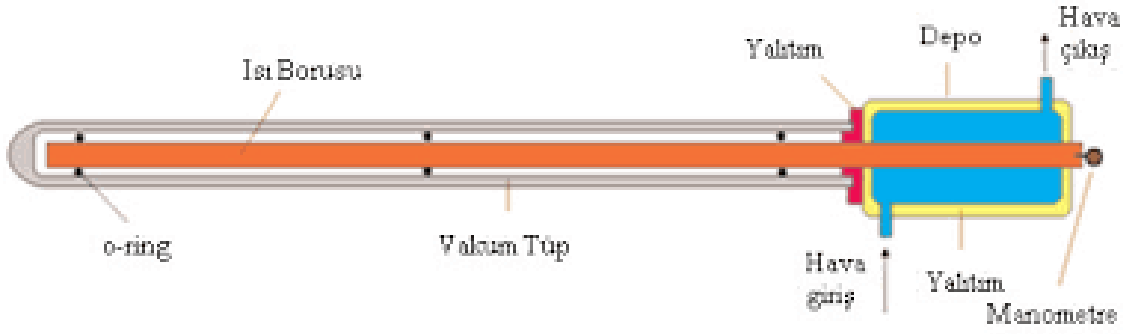
Şekil 5.1. Güneş kolektörü kondenser kısmı.

Bu çalışmada Şekil 5.1’de bulunan çoklu vakum tüplerden bir tanesi için model oluşturulmuştur. Şekil 5.2’de genel hatlarıyla bir adet ısı borulu vakum tüp verilmiştir.



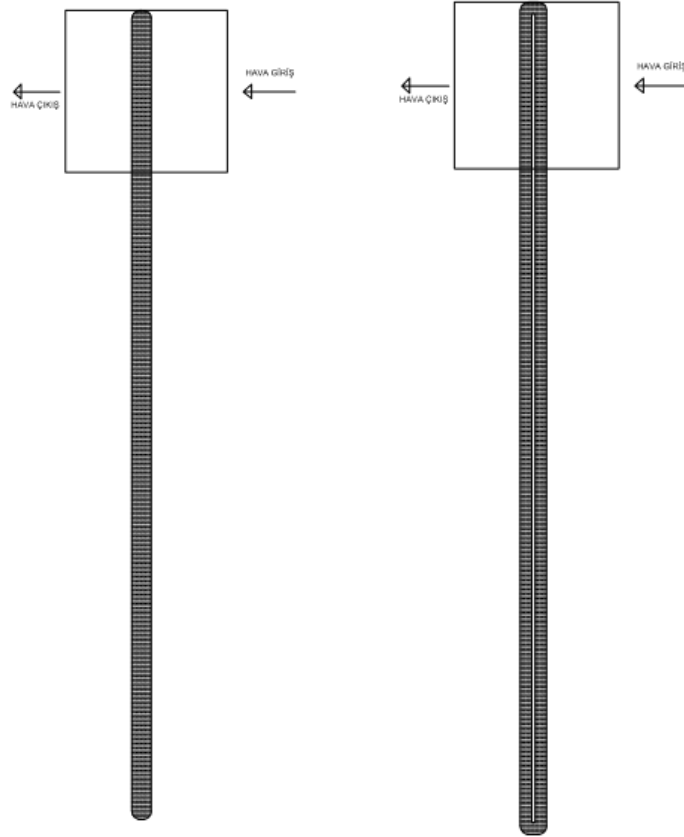
Şekil 5.2. Isı borulu vakum tüpü yapısı.

Yapılan analizde tek değişken ısı borusunun geometrik şekli olduğu için ısı borusu haricindeki materyaller modele ilave edilmeden model oluşturulmuştur, bunlar Şekil 5.3’de gösterilen vakum tüp, yalıtım malzemeleri, o-ringler, depo vb. diğer sistem elemanlarıdır.



Şekil 5.3. Vakum tüplü ısı borulu kolektör elemanları.

Analizi yapılan ısı borusu modelinde diğer sistem elemanları sabit olduğu için model sadece ısı borusundan oluşmaktadır. Sayısal analizler için I-tip düz ısı borusu ve U-tip ısı borusu modeli tasarlanmış olup, çalışma performansı karşılaştırılmıştır. Şekil 5.4’da I-tip ve U-tip ısı borusu analiz modeli verilmiştir.



Şekil 5.4. I-Tip ve U-Tip ısı borusu.

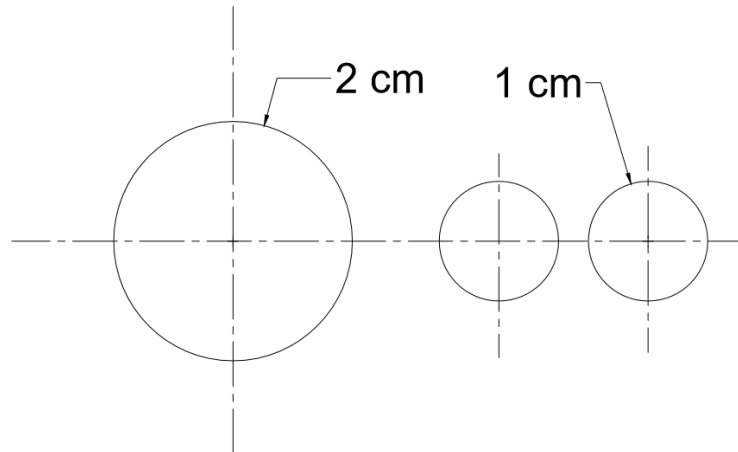
5.2. ISI BORUSU MALZEMESİ VE ÖLÇÜLERİ

Isı borusu imalatı için yaygın olarak kullanılan boru malzemesi ve bazı akışkanların bilgileri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Tabloda belirtilen sıcaklık aralıkları ve yaygın olarak kullanılmasından dolayı ısı borusu malzemesi bakır olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.1. Isı borusu malzeme özellikleri [48].

Sıcaklık aralığı °C	Akışkan cinsi	Boru malzemesi	Eksenel Isı Akısı kW/cm ²	Yüzeysel ısı akısı W/cm ²
-200 – -80	Sıvı Nitrojen	Paslanmaz Çelik	0,067 (-163 °C)	1,015 (-163 °C)
-70 – -60	Sıvı Amonyak	Nikel, alüminyum paslanmaz çelik	0,295 (100 °C)	2,295 (100 °C)
-45 – +120	Metanol	Bakır, Nikel	0,45 (100 °C)	75,5 (100 °C)
+5 – +230	Su	Bakır, Nikel	0,67 (200 °C)	146 (170 °C)
+190 – +550	Cıva	Paslanmaz çelik	25,1 (360 °C)	181 (360 °C)
+400 – +800	Potasyum	Nikel, Paslanmaz çelik	5,6 (750 °C)	181 (750 °C)
+500 – +900	Sodyum	Nikel, Paslanmaz çelik	9,3 (850 °C)	224 (760 °C)
+900 – +1500	Lityum	Niobium + % 1, zirkonyum	2,0 (1250 °C)	207 (1250 °C)
+1500 – +2000	Gümüş	Tantalum + % 1	4,1 (1250 °C)	4,13 (1250 °C)

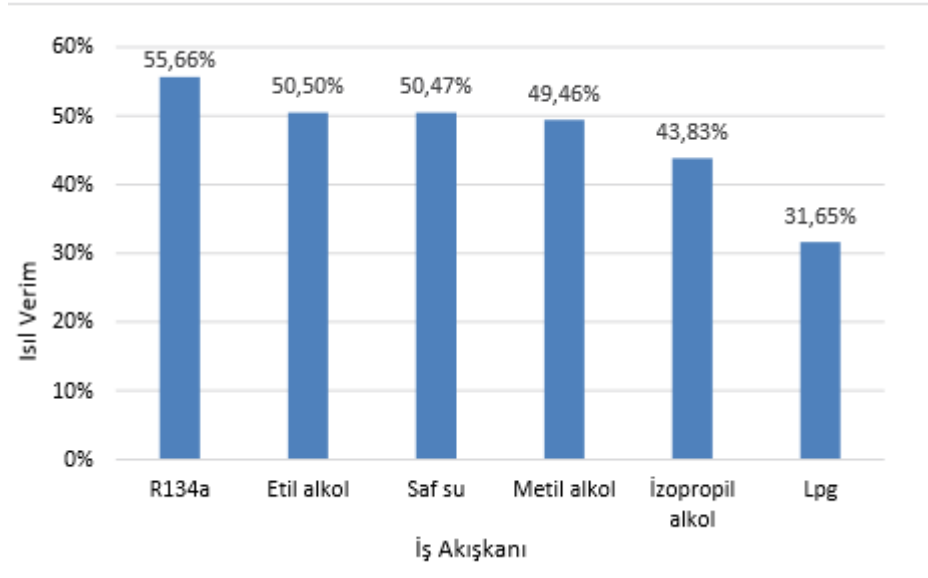
Modeli oluşturulan I-tip ve U-tip ısı borularının buharlaştırıcı (evaporatör) ve yoğunlaştırıcı (kondanser) kısımlarının yüzey alanlarının birbirine eşit olması için I-tip ısı borusu çapı U-tip ısı borusu çapının iki katı olarak model tasarımı yapılmıştır. I-tip ısı borusu uzunluk 1000mm ve çap 20mm olarak ölçülendirilmiş ve U-tip ısı borusu 1000mm uzunluk ve 10mm çap ölçülerinde tasarlanmıştır.



Şekil 5.5. Isı borusu modeli I-Tip ve U-Tip çapları.

5.3. İŞ AKIŞKANI SEÇİMİ

Çizelge 5.1’de ısı borusu malzemesiyle ısı borusu içerisinde kullanılacak ve birbiriyle tepkimeye girmeyecek akışkanlar verilmektedir. Isı borusu içerisinde kullanılabilen bazı akışkanların ısı verimleri incelenmiş ve Şekil 5.6’ de verilen sonuçlar elde edilmiştir [49]. Tabloda da belirtildiği gibi iş akışkanlarının ısı verimleri çok yakın olmakla beraber özellikle güvenli ve ekonomik olmasından dolayı saf su tercih edilmektedir. Bu özellikleri ve yaygın olarak kullanılmasından dolayı ve çalışma sıcaklığı aralığının günlük ortalama sıcaklıklar arasında kalması sebebiyle tasarlanan ısı borusu modelinde iş akışkanı olarak saf su kullanılmıştır.

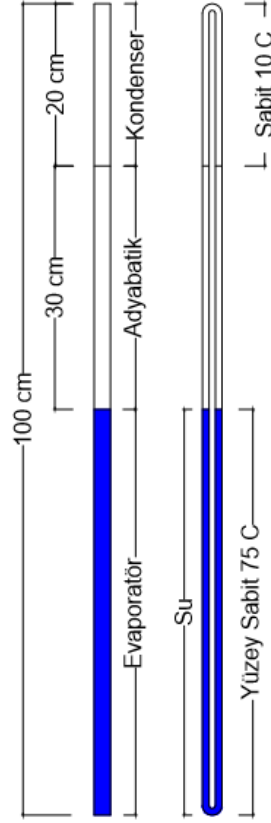


Şekil 5.6. Isı borusu iş akışı ısı verimleri [49].

5.4. SINIR ŞARTLARI

Vakum tüplü Isı borulu güneş kolektörlerinin performansında ve çalışmasında ortam sıcaklığı ve güneş ışınım değeri en önemli parametrelerdir, Çelik S. 2018 yılı Ocak ayında Karabük ilinde yapmış olduğu çalışmada ortalama 13.2 °C sıcaklıkta güneş ışınım değerini en yüksek 1005 W/m² olarak hesaplamış ve bu ışınım değerlerinde ısı borusu yüzey sıcaklığını en yüksek 74.6 °C olarak ölçmüştür [50]. Bu çalışmada sınır şartları belirtilen bu sıcaklık değerleri baz alınarak model oluşturulmuştur. Yapılan modelde kondenser yüzey sıcaklığı sabit 10 °C ve evaporatör yüzey sıcaklığı sabit 75

°C olarak tanımlanmıştır. Isı borusu ebatları, yüzey sıcaklıkları ve iş akışkanı Şekil 5.7’de gösterildiği gibi ısı borusu modeli oluşturulup analizler yapılmıştır.



Şekil 5.7. Isı borusu modeli ve sınır şartları.

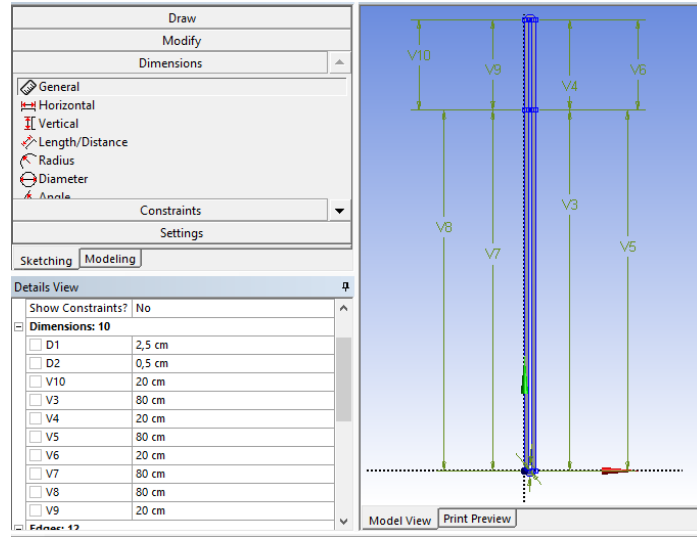
5.5. ANSYS PROGRAMI MODEL OLUŞTURMA

Bu çalışmada ANSYS FLUENT 21 R1 programı kullanılarak tasarlanan I ve U tip ısı boruları iki boyutlu olarak modellenmiş ve simülasyon oluşturulmuştur. Analiz edilecek ısı boruları ölçü, akışkan doluluk oranı ve sınır şartları Şekil 5.7’de verilmiştir.

Isı borusu evaporatör yüzeyine gelen sıcaklık sabit 75 °C ve kondenser yüzeyindeki sıcaklık sabit 10 °C olarak programda tanımlanmıştır. Suyun faz diyagramından vakum altında (4000Pa) suyun kaynama noktası 30 °C olarak belirlenmiş olup bu sınır şartları kullanılarak model oluşturulup analiz yapılmıştır.

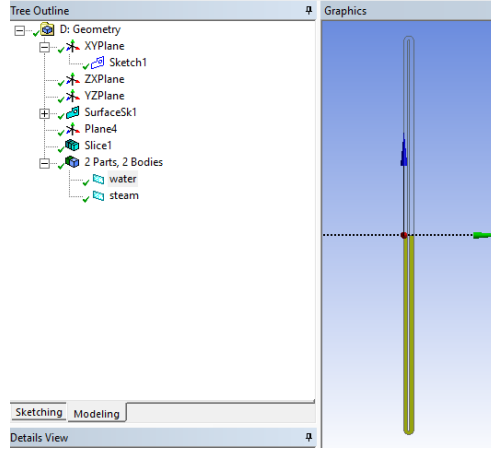
5.5.1. Katı Model Oluşturma

Isı borusu tasarımında belirlediğimiz ölçülerde Şekil 5.8’de belirtildiği gibi model çizimi oluşturulmuştur, çizim sırasında programın ilerleyen bölümlerinde kullanılacak model elemanlarına göre çizgiler ve şekillerin oluşturulması önemlidir, Şekil 5.8’de belirtildiği gibi model uzunluğu tek bir çizgiden oluşturulmayıp kondenser kısmını oluşturmak ve tanımlamak için bu bölümler ayrı çizilmiştir.



Şekil 5.8. Ansys Geometri - Isı borusu çizim.

Yapılacak analiz iki boyutlu çalışılacağı için 3 boyutlu bir tasarım yapılmayıp sadece yüzey olarak katı model oluşturulmuştur. Katı model oluşturulduktan sonra modelin su ve evaporatör bölümü Şekil 5.9’da belirtildiği gibi ayarlanmıştır. Model oluştururken analizin doğru yapılabilmesi için model elemanlarını çizim aşamasında ve katı model oluşturmada planlamak önemlidir.

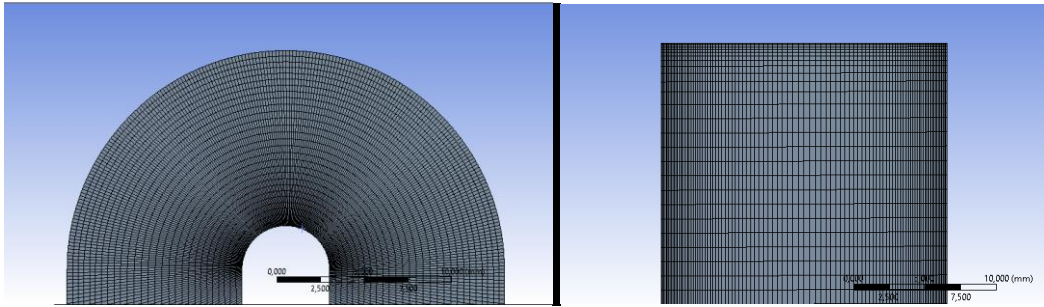


Şekil 5.9. Ansys Geometri - Isı borusu alan oluşturma.

5.5.2. Eleman Ağı (Mesh) Oluşturma

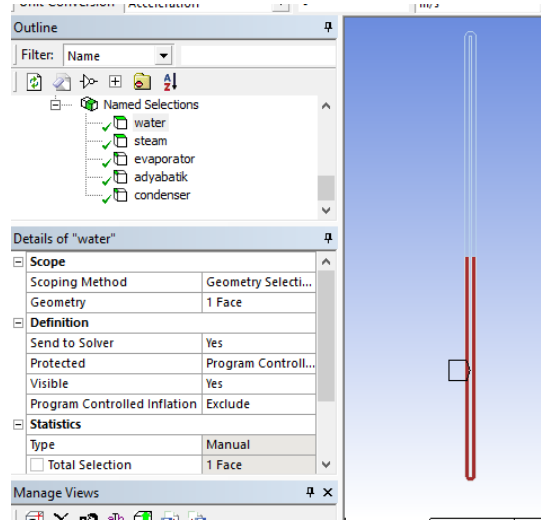
Eleman ağı yapısı, istenen bir model veya karmaşık hacmin simülasyonun yapılacağı programın analiz edeceği şekilde küçük parçalara ayrılmasıdır. Tanım olarak mesh hemen hemen her şekilde olabilen, noktalardan ve hücrelerden oluşan bir ağı yapısıdır, Kısmi Difarensiyel Denklemlerin çözümünde kullanılır [51]. Ağı yapısının (mesh) doğru oluşturulması yapılacak analizin doğru sonuçlar vermesi için önemlidir.

Oluşturduğumuz ısı borusu modelleri iki boyutlu olduğu için oluşturulan ağı yapısı (mesh) Şekil 5.10'da gösterildiği gibi yüzeysel ağı yapısı kullanılarak oluşturulmuştur. Isı alışverişi, faz değişimi ve yüzey akışlarını daha iyi incelemek ve görmek için ağı yapısı ısı borusu kenarlarında sıklaştırılarak bu alanda daha çok sayısal çözümleme yapılması hedeflenmiştir.



Şekil 5.10. Ansys Mesh -Isı borusu mesh yapıları.

Mesh bölümü içerisinde oluşturacağımız modelin bölüm ve elamanlarını tanımlanması için program içerisinde “ Named Selections” sekmesi kullanılarak modelin kondenser, evaporatör, adyabatik yüzeyleri ve suyun bulunduğu alan seçilip Fluent programı tarafında modelin bölümlerinin oluşması sağlanmaktadır.



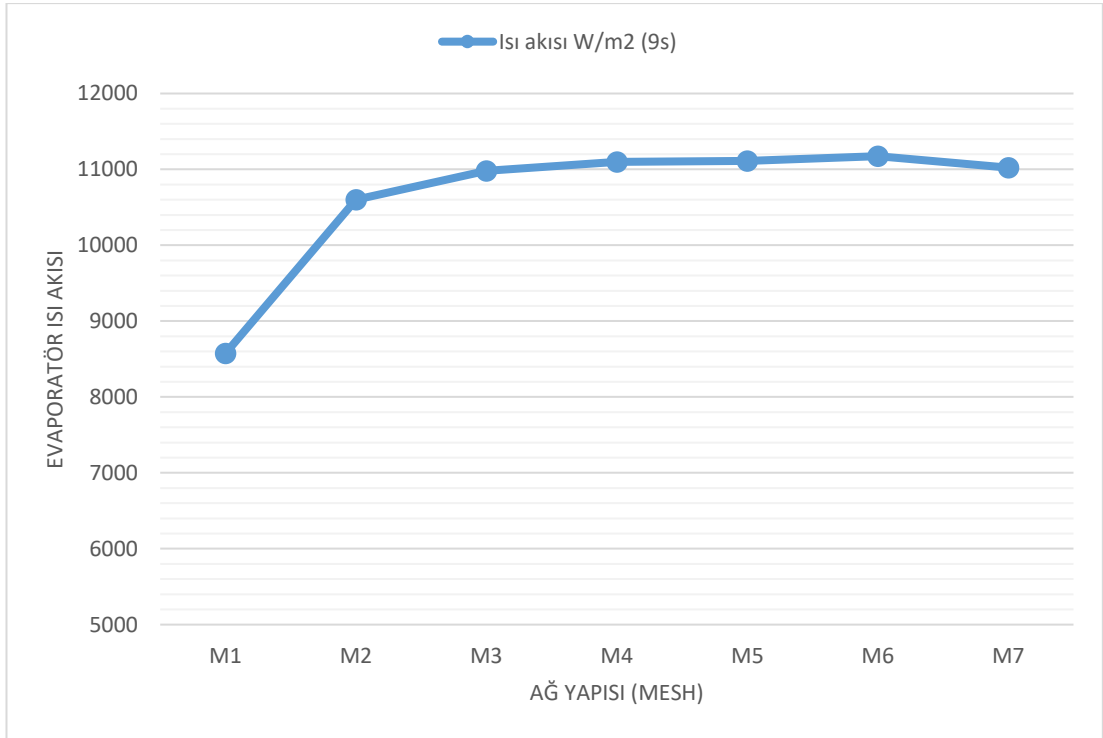
Şekil 5.11. Ansys Mesh - Isı borusu bölümlerini tanımlama.

Oluşturulan eleman ağının (Mesh) ideal nokta ve alan sayısını belirlemek yapılan analizin sonucunun doğruluğu ve optimum ağ yapısını seçmek için önemlidir. Ağ yapısının en uygun değerlerini tespit etmek için ağ yapısı yakınsama yapılmıştır. Farklı nokta ve alan sayılarında ağ yapısı oluşturulmuş ve 9. saniye de ısı borusu evaporatör kısmında oluşan ısı akısı karşılaştırılmıştır. Yakınsama işleminde oluşturulan ağ yapısı elemanları sayısı kademe kademe arttırılmış ve analiz sonucu istenen verilerde çok az değişim olana kadar analiz yapılmaya devam edilmiştir. Yakınsama işlemi ağ yapısı eleman sayıları ve sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ağ yapısı (Mesh) yakınsama.

	Mesh -1	Mesh-2	Mesh-3	Mesh- 4	Mesh-5	Mesh-6	Mesh-7
Hücre	81200	119840	134560	142970	151470	160400	168500
Nokta	82296	121419	136323	144738	153244	162486	170286
Evaporatör ısı akısı (W/m ²) (9s)	8574.49	10601.73	10981.67	11097.67	11112.52	11173.45	11024.01

Farklı ağ yapısı eleman sayılarında alınan sonuç Şekil 5.12’ de verilmiştir, eleman sayısı artışı Mesh 3 ağ yapısı eleman sayısından daha fazla eleman sayılı ağ yapısı seçildiğinde alınan sonuç çok değişmediği tespit edilmiştir ve sayısal analiz süreleri düşünüldüğünde yapılan modelde Mesh 3 ağ yapısı seçilmiştir.



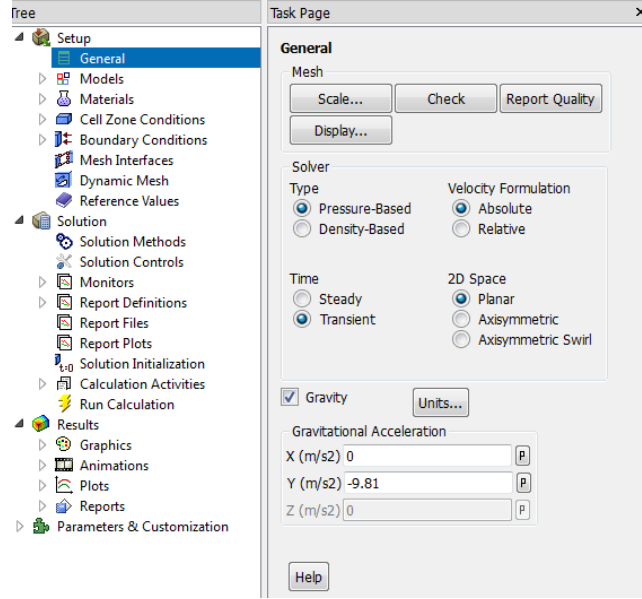
Şekil 5.12. Farklı ağ yapılarında alınan sonuçlar.

5.5.3. FLUENT Programına Geçiş

Bu bölümde adım adım simülasyonun nasıl yapıldığı ve girilen sınır değerleri verilmiştir.

5.5.3.1. Genel Özellikler

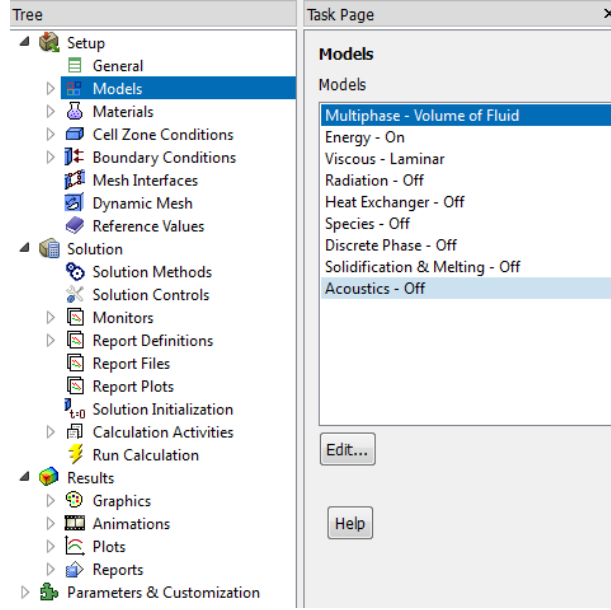
Oluşturulan modelde ısı borusu içerisindeki akışkanın hal ve durumu sabit olmadığından zamana bağlı (transient) model seçilmiştir. Yerçekimi –Y ekseninde sabit 9.81 m/s² olarak Şekil 5.13’de gösterildiği gibi ayarlanmıştır.



Şekil 5.13. Ansys Fluent - Model genel şartları.

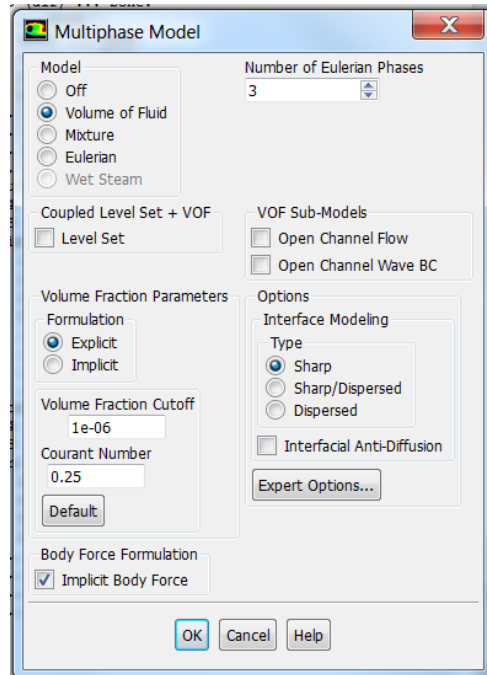
5.5.3.2. Model Kurma

VOF (volume of fluid) modelinde, akışkanlar tarafından tek bir momentum denklemleri seti paylaşılmaktadır ve her bir hesaplama hücresindeki akışkanların her birinin hacim oranı, etki alanı boyunca izlenmektedir. VOF modelinin uygulamaları arasında tabakalı akışlar, serbest yüzey akışları, doldurma, çalkantı, bir sıvıdaki büyük kabarcıkların hareketi, bir barajın yıkılmasından sonra sıvının hareketi, jet kırılmasının tahmini (yüzey gerilimi) vb. bulunmaktadır[52]. Isı borusu içerisinde kaynama ile beraber gaz kabarcıkları oluşacağı ve bu gaz kabarcıklarının sıvıyı öteleyip hareket ettireceğinden dolayı Volume of Fluid yaklaşımı seçilmiştir. VOF yöntemi hücrelerin boş, kısmen ya da tamamen suyla dolu olduğunu modellerde kullanılmaktadır[53] (Şekil 5.14).



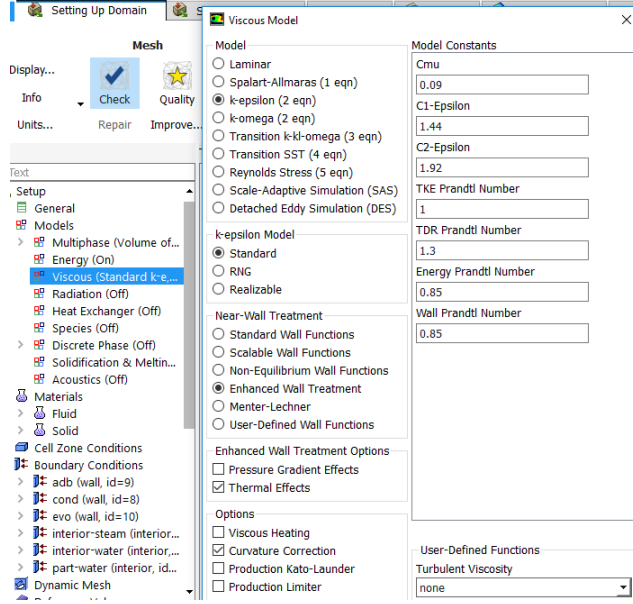
Şekil 5.14. Ansys Fluent - Model çalışma şartları.

Faz sayısı üç olarak seçilmiştir, bu üç faz sıvı, gaz ve havadır, havanın seçilme sebebi kaynama başlamadan önce kapalı ısı borusu içerisinde vakumlu hava olmasıdır, aksi halde model oluşturulurken içerde gaz (su buharı) var olarak model kurulmuş olacaktır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Ansys Fluent - Faz modeli.

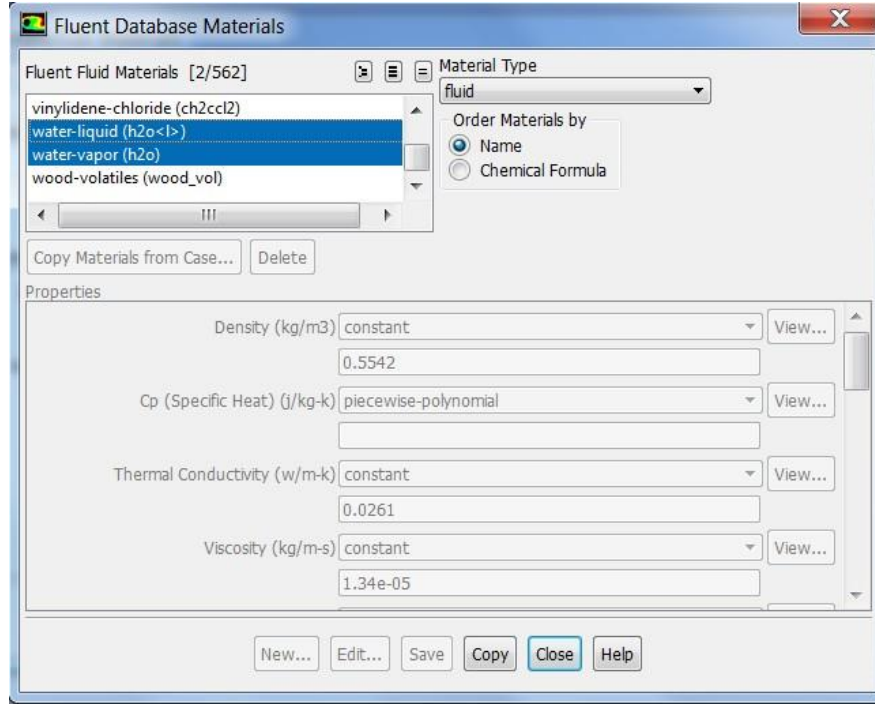
Enerji girişi ve enerji transferinden dolayı enerji sekmesi aktif edilmiştir. Modellenen ısı borusu içerisinde oluşacak kaynama, yağuşma ve bu faz değişim döngüsü girilen sıcaklık değerlerinden dolayı akış tipi türbülanslı seçilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Ansys Fluent - Model akış tanımlama.

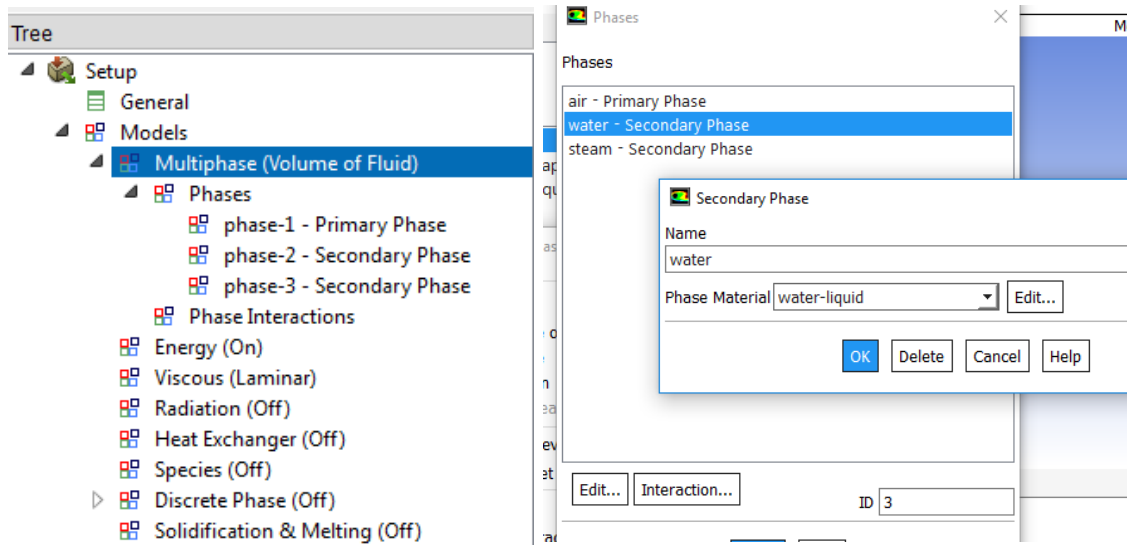
5.5.3.3. Malzemelerin Seçimi ve Tanımlanması

Bu bölümde oluşturulan model içinde bulunan su, buhar, hava ve ısı borusu malzemesi bakır olarak seçim yapılmıştır. Bu malzemeler program içinde bulunan malzeme kütüphanesinden Şekil 5.17’de belirtildiği gibi seçilmiştir.



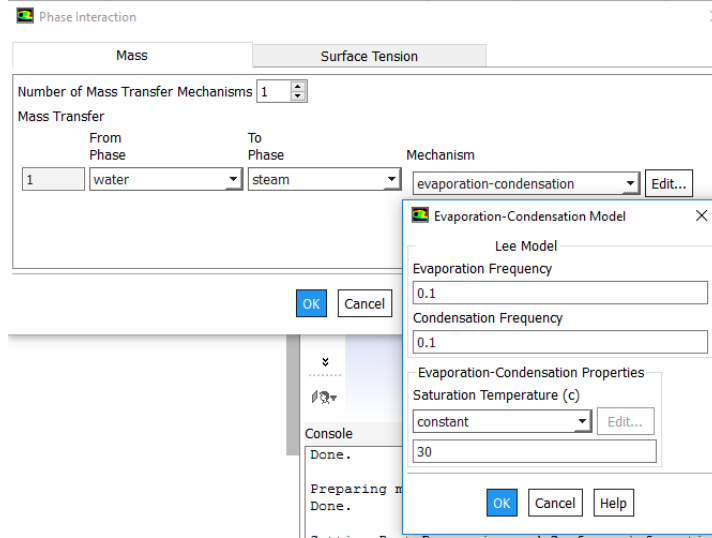
Şekil 5.17. Ansys Fluent - Model malzeme tanımlama.

Malzeme seçiminden sonra programın model kısmında seçilen üç faz için malzeme tanımlamaları yapılmıştır, burada seçilen üç faz hava, su ve buharın sisteme tanımlanması yapılmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Ansys Fluent – Model iş akışkanı faz tanımlama.

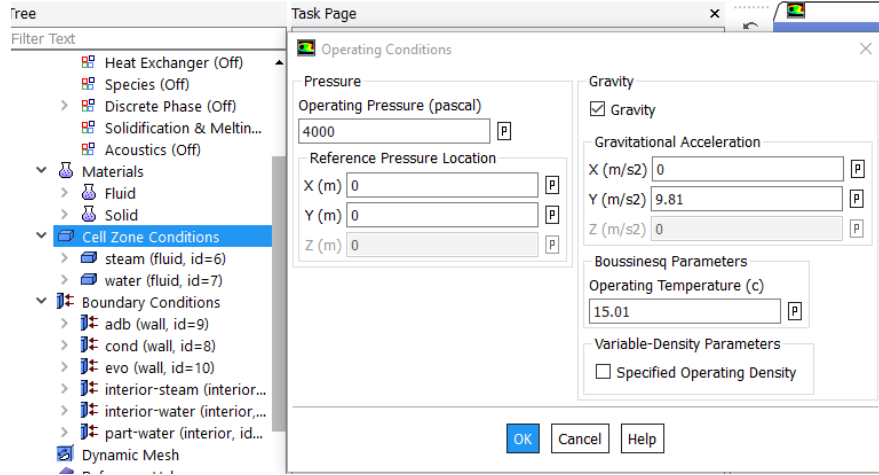
Modelde sıvının buhara ve buharın sıvıya dönüşümü yani kütle transferi oluşacaktır bunun için Şekil 5.19'da verildiği gibi kütle değişimi tanımlaması yapılmıştır. Oluşacak kütle değişimi için evaporatör- kondenser mekanizması seçilmiş ve ayarlar kısmından sınır şartları bölümünde belirttiğimiz suyun vakum altında buharlaşma sıcaklığı olan 30 °C işlem sıcaklığı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.19. Ansys Fluent - Isı borusu çalışma modeli.

5.5.3.4. Hücre Bölgesi Şartları

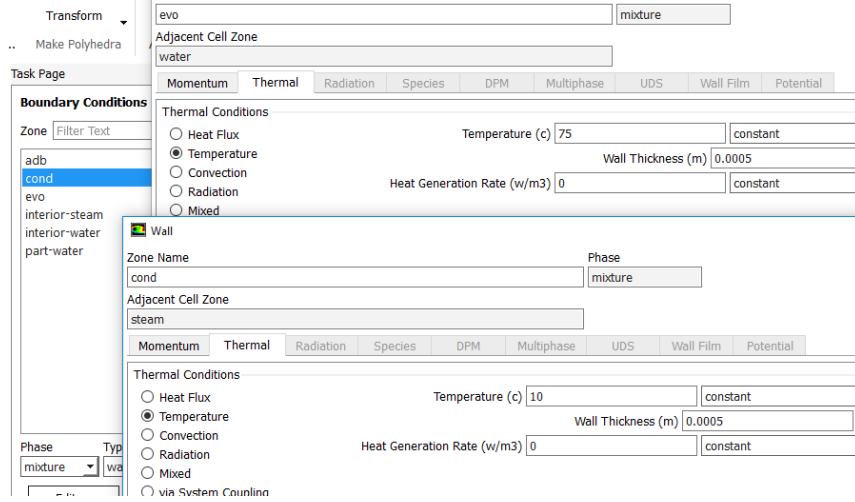
Bu bölümde boru içerisindeki vakum tanımlanmıştır, operasyon basıncı olarak 4000 Pa ayarlama yapılmıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Ansys Fluent - Isı borusu başlangıç çalışma şartları.

5.5.3.5. Sınır Şartları

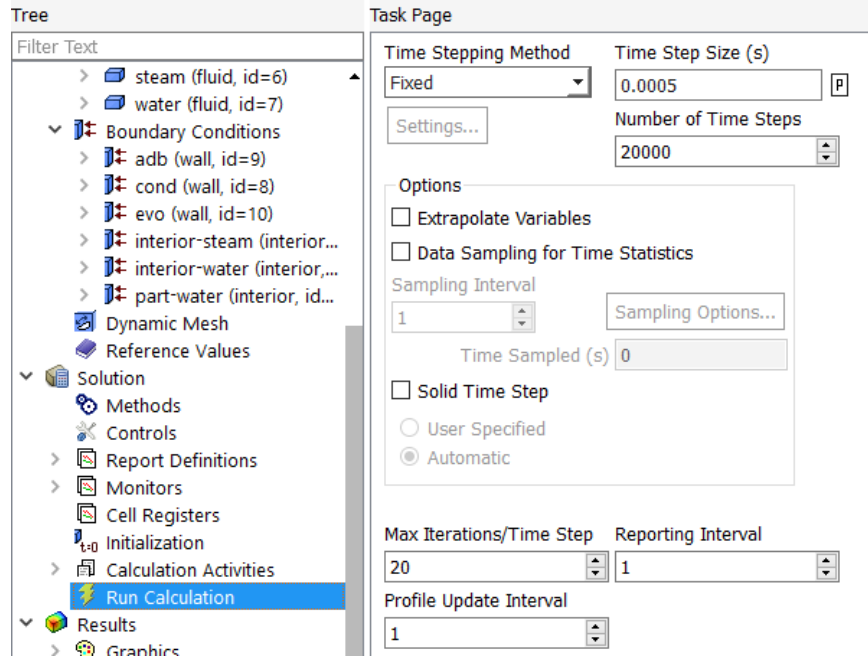
Şekil 5.21’de verildiği gibi ANSYS programına modelin sınır şartları girilmiştir, burada ısı borusu bölümlerin evaporatör, kondenser ve adyabatik yüzey sıcaklıkları ve boru et kalınlığı değerleri sisteme tanımlanmıştır.



Şekil 5.21. Ansys Fluent - Isı borusu sınır şartları.

5.5.3.6. Analizin Başlatılması

Programa tanımlanan ve sınır şartları girilen ısı borusu modelleri için 0.0005 s adım ile 20000 iterasyon sayısı ayarları yapılmış ve analiz çalıştırılmıştır (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Ansys Fluent - Model analizi başlatma.

5.6. NÜMERİK EŞİTLİKLER

Isı borusu, içerisinde bulunan iş akışkanının faz değiştirmesiyle ısı transferi yapmaktadır, tasarlanan model çift fazlı seçilmiştir, yüzey- akışkan arasında ve faz değişimi ile ısının aktarımı gerçekleşmektedir, ısı borusu çalışma sistemi ve matematiksel hesaplamalar için denklemler aşağıda verilmiştir.

Kütle korunumu denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte \vec{v}_q q fazının hızını, α_q q fazının hacim kesirini (volume of fraction), \dot{m}_{pq} p ve q fazları arasındaki kütle aktarımını, \dot{m}_{qp} p ve q fazları arasındaki kütle aktarımını, S_q ısı kaynağı terimini ifade eder.

μ ve p ifadeleri kullanılarak mevcut fazların hacim fonksiyonuna bağlı olan momentum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{pq} + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{wl,q} + \vec{F}_{vm,q} + \vec{F}_{td,q}) \quad (5.2)$$

\vec{F}_q dış kuvveti, $\vec{F}_{lift,q}$ kaldırma kuvvetini, $\vec{F}_{wl,q}$ duvarın yağlayıcı kuvvetini, $\vec{F}_{vm,q}$ kütle kuvvetini, $\vec{F}_{td,q}$ türbülanslı dağılım kuvvetini ifade eder. \vec{R}_{pq} fazlar arası etkileşim kuvvetini, \vec{v}_{pq} fazlar arası hızı, $\bar{\tau}_q$ stres – gerilim tensörünü ifade eder [54].

Stres – strain tensörü denklemi:

$$\bar{\tau}_q = \alpha_q \mu_q (\nabla \vec{v}_q + \nabla \vec{v}_q^T) + \alpha_q \left(\lambda_q - \frac{2}{3} \mu_q \right) \cdot \nabla \vec{v}_q \bar{I} \quad (5.3)$$

λ_q ve μ_q q fazının kütle ve kayma viskozitesidir.

Fazlar arasında aktarılan enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q h_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q h_q) = \alpha_q \frac{dp_q}{dt} + \bar{\tau}_q \cdot \nabla \vec{v}_q - \nabla \cdot \vec{q}_q + S_q + \sum_{p=1}^n (Q_{pg} + \dot{m}_{pq} h_{pq} - \dot{m}_{qp} h_{qp}) \quad (5.4)$$

h_g g fazı için spesifik entalpiyi, \vec{q}_q ısı akısını ifade eder. S_q entalpiyi içeren bir kaynak terimidir. Q_{pg} p ve q fazları arasındaki ısı transferini, h_{pq} fazlar arası entalpiyi ifade eder.

VOF (volume of fluid) modeli enerjii (E) ve sıcaklığı (T) kütle ortalama parametreleri olarak ele alır.

$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q p_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q p_q} \quad (5.5)$$

E_q her faz için o fazın özgül ısısına ve sıcaklığına bağlıdır, p yoğunluk ve k_{eff} (efektif termal iletkenlik) fazlar için ortaktır. S_h terimi radyasyon ve diğer ısı kaynaklarını ifade eder.

Hacim kesri (volume of fraction) denklemi:

$$\frac{1}{p_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (5.6)$$

\dot{m}_{pq} p fazından q fazına kütle transferini, \dot{m}_{qp} q fazından p fazına kütle transferidir.

VOF (volume of fluid) modeli difüzyon denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \nabla \cdot (\gamma_q \nabla \alpha_p) + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q \quad (5.7)$$

γ_q q fazındaki difüzyon kat sayısını, $\nabla \cdot (\gamma_q \nabla \alpha_p)$ terimi türbülanslı dağılımı ifade eder.

Tasarımı çözmek için k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır, k- ϵ türbülans model denklemleri:

$$\frac{\partial}{\partial t} (p_m k) + \nabla (p_m k \vec{v}_m) = \nabla (\alpha_k \mu_m \nabla k) + G_{k,m} - p_m \epsilon + S_{k,m} \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (p_m \epsilon) + \nabla (p_m \epsilon \vec{v}_m) = \nabla (\alpha_\epsilon \mu_m \nabla \epsilon) + \frac{\epsilon}{k} (C_{1\epsilon} G_{k,m} - C_{2\epsilon} p_m \epsilon) - R_\epsilon + S_{\epsilon,m} \quad (5.9)$$

$$\mu_m = \alpha_p \mu_p + \alpha_q \mu_q \quad (5.10)$$

\vec{v}_m karışım hızını, p_m karışım yoğunluğunu, μ_m karışımın viskozitesini ifade eder. $S_{k,m}$ ve $S_{\epsilon,m}$ enerji kaynağı terimleridir. α_k ve α_ϵ ters etkili Prandtl sayılarıdır. R Reynolds sayısıdır, $C_{1\epsilon}$ ve $C_{2\epsilon}$ ifadeleri sabit sayılardır (1.42 ve 1.68), $G_{k,m}$ türbülanslı kinetik enerji ifadesidir [54].

Isı transferi (\dot{Q}_e) denklemi:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}c(T_{out} - T_{in}) \quad (5.11)$$

Termal direnç (R) denklemi:

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_e} \quad (5.12)$$

$$\Delta T = \left(\frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n} \right) \quad (5.13)$$

Verim kondenser bölgesinde oluşan ısı transferinin (\dot{Q}_c) evaporatörde oluşan ısı transferine (\dot{Q}_e) oranıdır:

$$\eta = \left(\frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_e} \right) \quad (5.14)$$

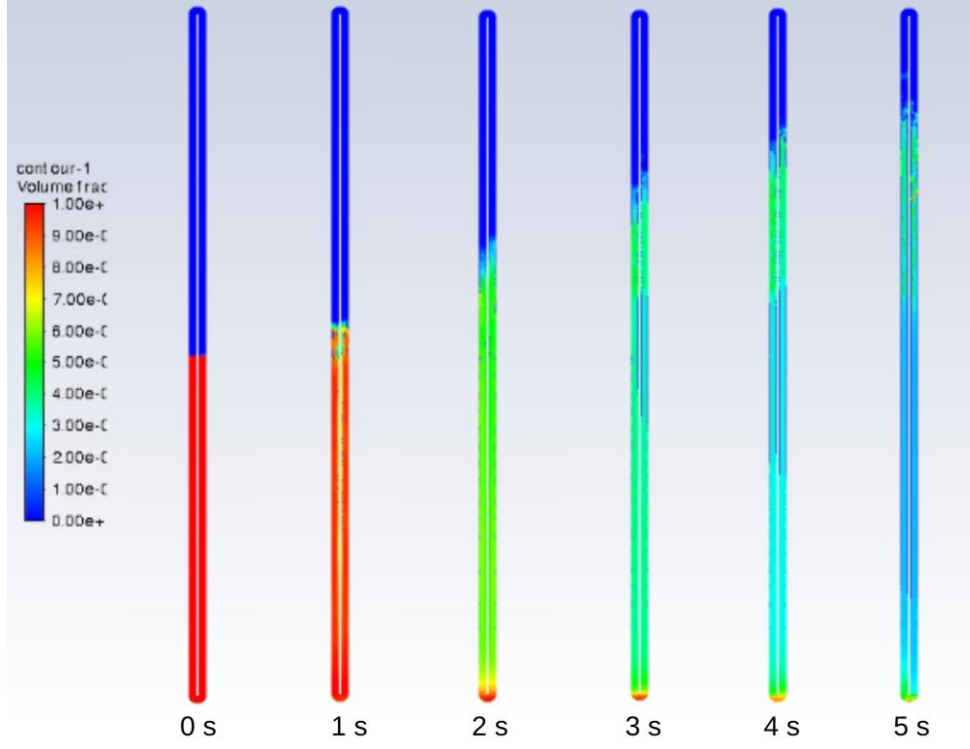
BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

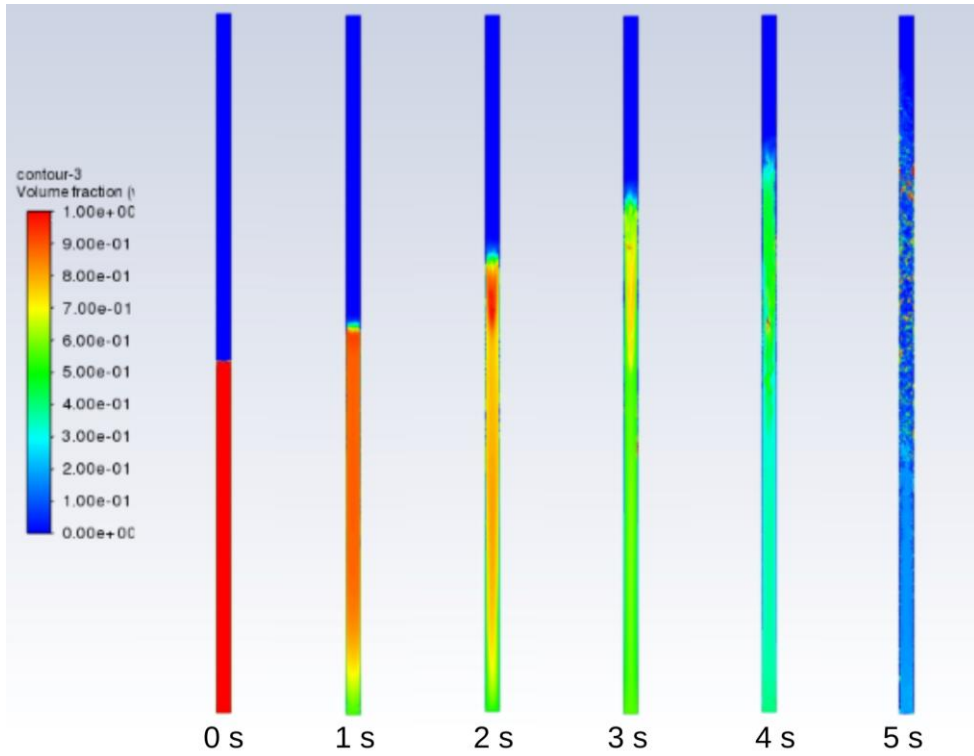
ANSYS Fluent programı ile iki model için yapılan analiz sonucunda her iki tip (U-tip ve I-tip) ısı borusunda çalışma prensibine uygun olarak buharlaşma, yoğuşma ve yoğuşma sonrası oluşan suyun boru yüzeyinden yer çekimi etkisiyle aşağı yönlü hareketi görülmektedir. Oluşturulan sayısal modellerin deneysel modellerle birebir aynı sonucu veren modeller olmadığı bilinmektedir, alınan sonuçlar deneysel çalışma ile desteklenip oluşturulan modeller geliştirilebilir fakat bu çalışmada iki farklı geometrideki ısı borusunun aynı sınır şartları altında çalışma verileri karşılaştırılacağı için yapılan analizlerden alınan sonuçlar yeterli görülmektedir.

I-tip ısı borusu modeli sayısal analizleri yapılmıştır ve kondenserde oluşan maksimum ısı akısı olduğu anda ısı borusu verimi %79,95 ($\dot{Q}_c = -6902 \text{ W/m}^2$, $\dot{Q}_e = 8632 \text{ W/m}^2$) olarak hesaplanmıştır. Sözen A. ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları çalışmada aynı uzunluk ve ölçülere sahip I-tip ısı borusu ile yapmış oldukları deneysel ve sayısal incelemede iş akışkanı su olan ısı borusunun verimini %83.6 olarak hesaplamışlardır [54]. Sözen A. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma ile karşılaştırıldığında %4,36 fark ile sayısal analiz sonucu alındığı hesaplanmıştır.

Zamana bağlı olarak yapılan analizde ısı boruları içerisinde suyun ısı transferi ile beraber sınır şartlarında girilen sıcaklık miktarlarının suyun vakum altında hesaplanan kaynama noktasından çok yüksek olması sebebiyle hal değişimi çok hızlı gerçekleşmiştir. Başlangıçta yarı seviyeye kadar su dolu olan ısı borularının iş akışkanının zamanla boru içerisindeki hal değişimi Şekil 6.1'de ve Şekil 6.2'de verilmiştir.



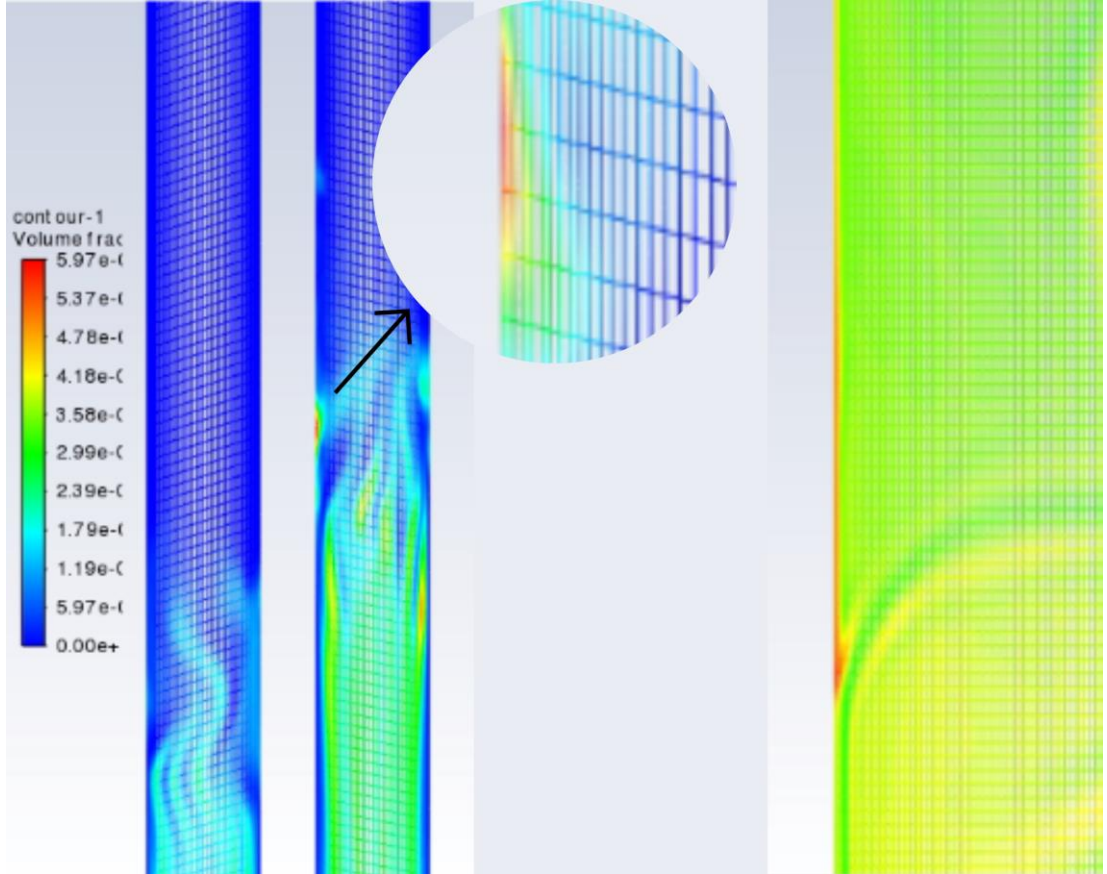
Şekil 6.1. U-tip ısı borusu ilk 5 saniye (Volume fraction water).



Şekil 6.2. I-tip ısı borusu ilk 5 saniye (Volume fraction water).

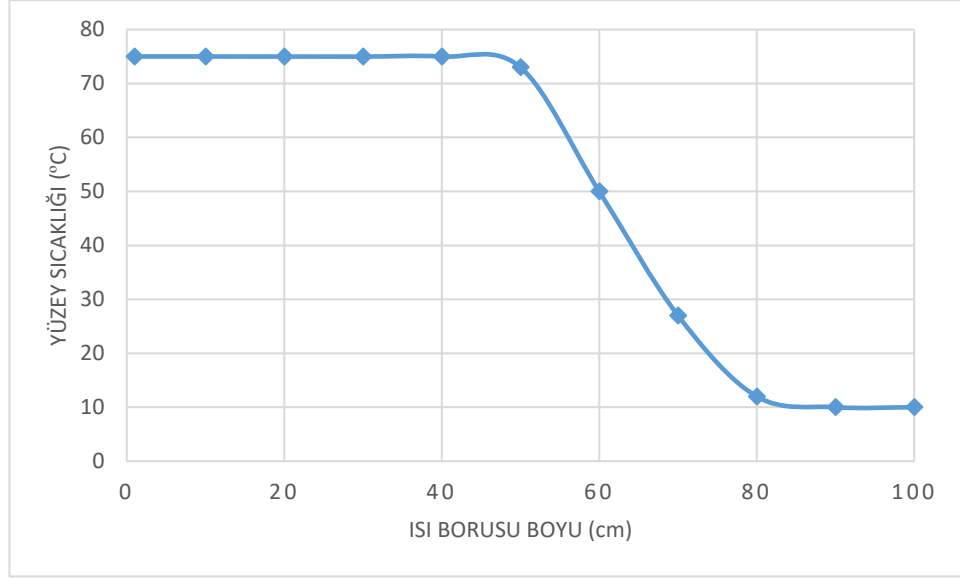
Analizin 1.saniyesinde ısı boruları içerisinde bulunan suyun buharlaşması başlamış ve buharlaşma su üst yüzeyinde daha yoğun oluşmuştur. 2.saniyede oluşan su buharı adyabatik bölgeye ulaşmıştır ve boru içerisindeki su neredeyse tamamen buhar haline dönüşmüştür. 3.saniyede oluşan buharın ısı borusu kondenser alanına ulaştığı görülmektedir. 4.saniyede U-tip ve I-tip ısı borusunda kondensere ulaşan buhar yoğunlaşmaya başlamamıştır. 5.saniyeden itibaren yoğunlaşan suyun yerçekimi etkisiyle evaporatöre doğru hareketi sebebiyle adyabatik-kondenser bölümü arasında buharlaşma ve yoğunlaşma yoğun olarak oluşmaktadır.

Şekil 6.3’de farklı zaman aralıklarında U-tip ve I-tip ısı borusu kondenser yüzeyinde oluşan su damlası ve su film tabakası şekli gösterilmiştir.



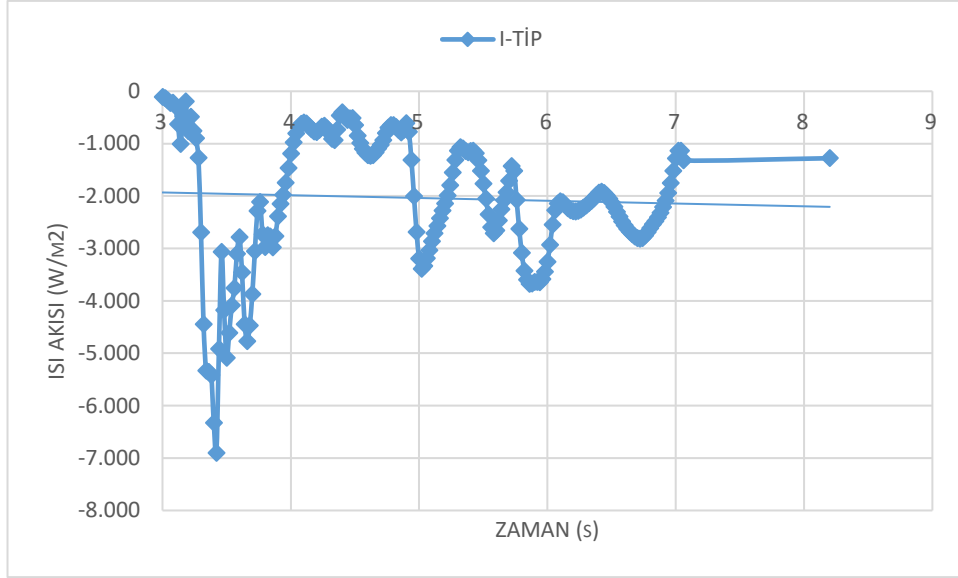
Şekil 6.3. Isı borusu kondenserde oluşan su formları.

Şekil 6.4’ de ısı borusu yüzey sıcaklığı grafiği verilmiştir, oluşturulan modelde evaporatör ve kondenser yüzeyine sabit sıcaklık tanımlanarak analiz yapıldığı için U-tip ve I-tip ısı borusu yüzey sıcaklık grafiği yaklaşık olarak aynı çıkmaktadır örneğin kondenser yüzey sıcaklığı I-tip ısı borusunda en yüksek 10.03 C° ve U-tip ısı borusunda en yüksek 10.15 C° olarak hesaplanmıştır.

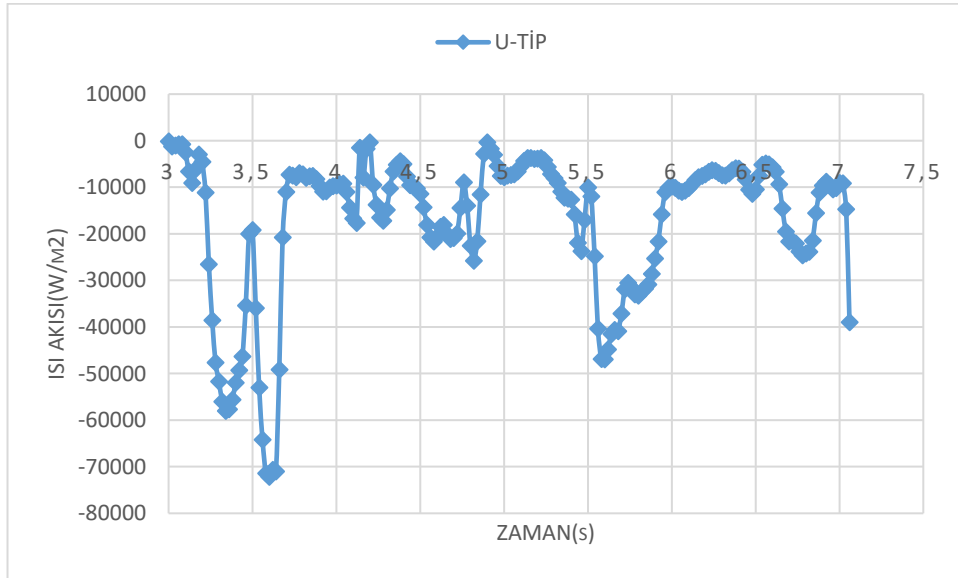


Şekil 6.4. Isı borusu yüzey sıcaklık grafiği.

U-tip ve I-tip ısı borularının performanslarını karşılaştırabilmek için ısı borusu kondenser kısmında oluşan ısı akısı zamana bağlı olarak analiz sonucunda Fluent programında hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. I-tip ısı borusu kondenser bölgesi ısı akısı.



Şekil 6.6. U-tip ısı borusu kondenser bölgesi ısı akısı.

Isı akısı birim alana birim zamanda aktarılan ısı miktarıdır, yapmış olduğumuz analizde ısı borusu kondenser kısmı ısı akısı değerleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'de zamana bağlı olarak verilmiştir. Isı akısı değerlerine göre U-tip ısı borusunda oluşan buhar 3. saniyede ısı borusu kondenser bölümüne ulaşmış ve buhardan boru yüzeyine ısı transferi başlamıştır, I-tip ısı borusunda ise kondenserde buhar ile yüzey arasında 4. saniyede ısı transferi başlamıştır. Grafik değerleri analizin ilk 10 saniyesini göstermekte olup bu süre içerisinde U-tip ısı borusu kondenser bölümünde oluşan ısı

akısı değeri maksimum -70000 W/m^2 seviyelerindedir, I-tip ısı borusunda bu değer -7000 W/m^2 'dir. Zamana bağılı ısı transferi değerlerinden U-tip ısı borusunun aynı zaman içerisinde daha fazla ısı transferi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Isı borusu içerisinde oluşan hava kabarcıkları, buhar ve yoğuşan sudan dolayı kondenser yüzeyinde farklı ve dalgalı ısı akısı oluşması ısı borusu çalışma sistemi gereği olup bu durum oluşan ısı akısı grafiklerinde de görülmektedir.

Zamana bağılı yapılan analizde I-tip ve U-tip ısı borusunun evaporatör ve kondenser kısmında her 0.02 saniyede oluşan ısı akısı 10 saniye boyunca hesaplanmıştır, hesaplanan evaporatör ve kondenser ısı akısının ortalamaları alınmış ve Çizelge 6.1 'de sonuçlar verilmiştir. Bu değerlerler kullanılarak ısı borusu verimi hesaplanmıştır. Isı borusu verimi I-tip ısı borusunda %72,83 ve U-tip ısı borusunda % 80,1 olarak hesaplanmıştır. Oluşan ortalama ısı akısı değerlerine göre U-tip ısı borunun daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1. Ortalama ısı akısı değerleri.

	I-tip ısı borusu	U-tip ısı borusu
Ortalama kondenser ısı akısı (W/m^2)	5390	32203
Ortalama evaporatör ısı akısı (W/m^2)	7400	40200

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

1. Her iki tip ısı borusunda da çalışma prensibine uygun olarak buharlaşma ve yoğuşma ile ısı transferi oluşmuştur.
2. U-tip ısı borusunda şeklinden dolayı bir taraftan diğer tarafa buhar döngüsü oluşmuştur, oluşan buhar döngüsü ve boru çapının daha küçük olması sebebiyle oluşan buharın U-tip ısı borusunda daha kısa sürede kondenser bölgesine ulaştığı tespit edilmiştir.
3. Isı boruları kondenser kısmında yoğunlaşan su U-tip ısı borusunda genel olarak damla tanecik şeklinde olduğu ve I-tip ısı borusunda genel olarak boru iç yüzeyinde su film tabakası şeklinde olduğu tespit edilmiştir.
4. U-tip ve I-tip ısı borusunun kondenser bölgesinde zamana bağlı ısı akısı değerleri karşılaştırmıştır, U-tip ısı borunda 3. saniyede, I-tip ısı borusunda 4.saniyede buhar kondenser kısmına ulaşmış ve ısı transferi başlamıştır. U-tip ısı borusunun I-tip ısı borusuna göre daha hızlı çalışmaya başladığı tespit edilmiştir.
5. U-tip ısı borusu kondenser kısmında ilk 10 saniyede oluşan ısı akısı en çok -70000 W/m^2 , I-tip ısı borusunda ise en çok -7000 W/m^2 değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Zamana bağlı ısı transferi değerlerinden U-tip ısı borusunun aynı zaman içerisinde daha fazla ısı transferi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.
6. Isı borusu verimi I-tip ısı borusunda %72,83 ve U-tip ısı borusunda % 80,1 olarak hesaplanmıştır. Oluşan ortalama ısı akısı değerlerine göre U-tip ısı borusunun daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Taktakođlu, K.R., Vakumlu güneş kolektörlerinde verimin tespiti ve incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Adana (1996).
2. TUSİAD, Türkiye Açısından Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri, Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneđi, (2006)
<http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/html/sec10.html#Heading5>
3. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
4. Özsoy A., Yıldırım R., Toprak Kaynaklı Isı Boruları ve Uygulama Alanları. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9.2: 61-73 (2012).
5. Çıkın, A., Isı Boruları, , *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul (1988).
6. *R.S. US Patent 2350348*. Appl. 21 Dec, 1942. Published 6 June (1944)
7. Grover, *G.M. US Patent 3229759*. Filed (1963).
8. Grover, G.M.,Cotter, T.P. and Erickson, G.F., Structures of very high thermal conductance, *Journal of Applied Physics*, 35, 1990-1991. (1964).
9. Dowing, R.C. and Waldin, V.H., Phase-ChangeHeat Transfer In Solar Hot Water Heating Using R-11 and R-114, *Ashrae Transactions*, 848-856 (1980).
10. Uyarel, Y., Isı Borusu Prensibinin Güneşli Su Isıtıcılarına ve Damıtmaya Uygulanması, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (1984).
11. Usta, H. Isı Borulu güneş Kolektörü Destekli Isı Pompası, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara(1988).
12. Yılmaz, S. Güneş Enerjili Isı Borusuyla Sıcak Su Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1988).
13. Ersöz, M.A. ve Yıldız, A., Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 133, 5-17 (2013).

14. Acar, B., Öz, E.S. ve Gedik, E., Ayrık ve Birleşik Isı Borulu Kolektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), 425-429 (2008).
15. Yılmaz, S. ve Deniz, E., Çalışma Akışkanı Olarak R-134a ve R-404a Kullanılan Çift Fazlı Güneş Enerjili Sıcak Su Üretme Sisteminin Tasarımı ve Deneysel Olarak İncelenmesi, *8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, İzmir, 10271033 (2007).
16. Yılmaz, S. ve Deniz, E., (2005). Isı Borulu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinde Soğutucu Akışkan R-22 Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 8(4), 349-356 (2005).
17. Özsoy A., Isıtma Sistemlerinden Isı Geri Kazanımında Isı Borularının Uygulanabilirliği, Ekserji ve Ekonomik Analizi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2005).
18. Kaya, M. Isı Borulu Hava Isıtımlı Gizli Depolu Düzlemsel Güneş Kolektörü ile Sıcak Su Hazırlama Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
19. Köse, T., Isı Borulu Hava ve Su Isıtma Amaçlı Güneş Kolektörlerinin Tasarımı İmalatı ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2014).
20. Seven, M., Isı Borusunun Yalıtılmış Bölgesindeki Akışın Analitik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul (2007).
21. Alt, N., Tek Kanallı Isı Borusu İle Çok Kanallı Isı Borusu Verimlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2010).
22. Ozsoy, A., Yildirim, R. Prevention of icing with ground source heat pipe: A theoretical analysis for Turkey's climatic conditions. *Cold Regions Science and Technology*, 125, 65–71 (2016).
23. Sarafraz, M.M., Hormozi, F. Experimental study on the thermal performance and efficiency of a copper made thermosyphon heat pipe charged with alumina–glycol based nano fluids. *Powder Technology*, 266, 378–387 (2014).
24. Jahanbakhsh, A., Haghgou, H.R., Alizadeh, S., Experimental analysis of a heat pipe operated solar collector using water–ethanol solution as the working fluid. *Solar Energy*, 118, 267–275 (2015).
25. Nemeç, P., Caja, A., Malcho, M., Mathematical model for heat transfer limitations of heat pipe. *Mathematical and Computer Modelling*, 57, 126–136 (2013).

26. Babu, N.N., Kamath, H.C., Materials Used in Heat Pipe. *Materials Today*, 2, 1469 – 1478 (2015).
27. Xie, M., Xue, Z., Qu, W., Li, W., Experimental investigation of heat transfer performance of rotating heat pipe. *Procedia Engineering*, 99, 746 – 751 (2015).
28. Gedik, E., Yılmaz, M., Kurt, H., Experimental investigation on the thermal performance of heat recovery system with gravity assisted heat pipe charged with R134a and R410A. *Applied Thermal Engineering*, 99, 334–342 (2016).
29. Ersöz, M.A., Yıldız, A., Thermo-economic analysis of thermosyphon heat pipes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 666–673 (2016).
30. Ersöz, M.A., Effects of different working fluid use on the energy and exergy performance for evacuated tube solar collector with thermosyphon heat pipe. *Renewable Energy*, 96, 244-256 (2016).
31. Mamouri, S.J., Derami, H.G., Ghiasi, M., Shafii, M.B., Shiee, Z., Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still. *Energy*, 75, 501-507 (2014).
32. Xionga, Y., Bo, L., Qiang, M., Wu, Y., Zhangc, X., Xu, P., Ma, C., A characteristic study on the start-up performance of molten-salt heat pipes: Experimental investigation. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 433–438 (2017).
33. Hassan, M.A.M., Investigation of Performance of Heat Pipe as Heat Exchanger Using Alternative Refrigerants. *Journal of Energy Engineering*, 139, 1824 (2013).
34. Mameli, M., Mangini, D., Vanoli, G.F.T., Araneo, L., Filippeschi, S., Marengo, M., Advanced multi-evaporator loop thermosyphon. *Energy*, 112, 562-573 (2016).
35. Esen, M., Esen, H., Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater. *Solar Energy*, 79, 459–468 (2005).
36. Payakaruk, T., Terdtoon, P., Ritthidech, S., Correlation to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions. *Applied Thermal Engineering*, 20, 781-790 (2000).
37. Wang, Z., Zhang, X., Li, Z., Luo, M., Analysis on energy efficiency of an integrated heat pipe system in datacenters. *Applied Thermal Engineering*, 90, 937-944 (2015).
38. Abas, N., Nawaz, R., Khan, N., Parametric Quantification of Low GWP Refrigerant for Thermosyphon Driven Solar Water Heating System. *Procedia Computer Science*, 52, 804 – 811 (2015).

39. Seo, J. Lee, J., Lee, Y., Length effect on entrainment limitation of vertical wickless heat pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 373–378 (2016).
40. Peterson G.P., An introduction to heat pipes modeling, testing, and applications, *New York: John Willey & Sons Ltd. Press*, 356 (1994).
41. Uyarel, A.Y. ve Öz, E.S., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, *Birsen Yayınevi*, Ankara, s. 104 -113, s. 195–201 (1987).
42. Yüksel, T., Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Isı Borulu Güneş Kolektörünün Kullanılabilirliğinin Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Yüksel Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (1998).
43. Alkaç, Ö., Isı Borusu Prensibinin Güneşli Su Isıtıcılarına Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak(1996)
44. Özsoy, A., “Isıtma sistemlerinden ısı geri kazanımında ısı borularının uygulanabilirliği, ekserji ve ekonomik analizi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2005).
45. İnternet: TermoLab Co. Ltd. Wick structures. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fthermolab.co.kr%2F3443%3Fckatempt%3D1&date=2018-07-20>
46. TSE, Genel Tip Güneş Enerjisi ile Su Isıtıcıları İçin Genel Kurallar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Standart No:3817, Ankara (1983).
47. İnternet: Dr. X Solar Energy, “heat pipe solar tube for solar collector”,
<http://www.doctorxsolar.com> (2018.)
48. Doğan, H., Isı Borulu Güneş Kolektörü İle Meyve Ve Sebze Kurutulmasında Önemli Parametrelerin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Ana Bilim Dalı*. Ankara (1995).
49. ÜÇKARDEŞLER E., Bütünleşik Isı Borulu Güneş Kolektörünün Tasarımı İmalatı ve Performans Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, (2018).
50. Çelik S., Yoğunlaştırılmış Vakum Tüplü Isı Borusu Uygulaması, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi (2018).
51. İPCİ D., Karmaşık Mühendislik Problemlerinin Çözümünde Mesh'in Önemi (<https://slideplayer.biz.tr/slide/14760959/>)
52. ANSYS Fluent Theory Guide, *ANSYS, Inc.* Release 2020 R2 Southpointe 2600 ANSYS Drive Canonsburg, PA 15317 (2020).

53. Şimşek, O., Aköz, M.S. ve Soydan, N.G., Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 16(6), 364-378 (2016).
54. Sözen A., Gürü M., Khanlari A., Çiftçi E., Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 114001 (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Samet DÖNMEZ ilk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2012 yılında mezun oldu. 2012-2014 yılında Gazi Antep Sanko Holding'de bakım onarım mühendisi, 2014-2017 yılları arasında Tosyalı Holding Tosçelik Boru, Profil ve Sac Endüstri'de üretim mühendisi olarak görev yaptı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Yenice M.Y.O. Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı halen aynı görevine ve idari görev olarak Karabük Üniversite Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında Proje, Etüt ve Kamulaştırma Şube Müdürü olarak görevine devam etmekte. Evli ve bir çocuk babası.