

**ISI GERİ KAZANIM AMAÇLI ISI BORUSU PERFORMANSININ  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Orhan ŞİMŞAK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
MAYIS 2009**

Orhan ŞİMŞAK tarafından hazırlanan “ISI GERİ KAZANIM AMAÇLI ISI BORUSU PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

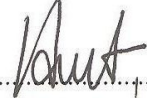
.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir. 21 / 04 / 2009

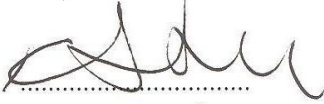
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kemal ATİK (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)


.....

Tarih 21 / 04 / 2009

Bu tez ile KBÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri 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.”*

Orhan SİMŞAK



## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ISI GERİ KAZANIM AMAÇLI ISI BORUSU PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Orhan ŞİMŞAK**

**Karabük üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT**

**Mayıs 2009, 51 sayfa**

Bu çalışmada, iki fazlı yerçekimi destekli ısı borusunun ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Isı borusu olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak da saf su, ispirto (etanol) ve antifriz kullanılmıştır. Isı borusunun evaporatör bölgesine elektrikli ısıtıcı ile verilen ısı enerjisi, kondenser bölgesinden soğutma suyu ile çekilmiştir. Farklı ısı güçlerinde, farklı eğim açılarında ve farklı soğutma suyu debilerinde, ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve soğutma suyu sıcaklık farkı deneysel olarak gözlenmiştir. Deneyler, 10, 20, 30 ve 40 lt/h su debilerinde, 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, ısı borusu ısı performansı açısından 90° eğim açısının ve çalışma akışkanı olarak da yüksek sıcaklıklarda ispirto ve antifrizin, düşük sıcaklıklarda ise suyun daha uygun çalışma akışkanı olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler** : Isı borusu, Termosifon, Su, İspirto, Antifriz.

**Bilim Kodu** : 626.11.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**(AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT PIPE PERFORMANCE  
FOR AIM OF WASTE HEAT RECOVERY)**

**Orhan ŞİMŞAK**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT**

**May 2009, 51 pages**

In this study, an apparatus of two phase closed termosyphon has been constructed to investigate experimentally its thermal performance for aim of heat recovery. Copper is used as heat pipe material and, water, ethyl alcohol and ethylene glycol are used as working fluids. Evaporator section is uniformly heated through electrical heater; the condenser section is cooled by cooling water. Temperature distribution along the length of heat pipe and temperature difference of cooling water have been observed experimentally at different heat flux, different tilt angles and different cooling water flow rate. Experiments are carried out wide ranges of cooling water (10, 20, 30 and 40 l/h), tilt angles (30°, 60° and 90°) and heat flux (200, 400, 600 and 800 W). The results showed that the tilt angel of heat pipe of 90° and ethylene glycol as working fluid provide highest thermal performance.

**Key words** : Heat pipe, Termosyphon, Water, Ethyl alcohol, Ethylene glycol.

**Science Code** : 626.11.01

## TEŞEKKÜR

Bu tezin seçiminde ve hazırlanmasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, bilgilerini ve deneyimlerini bizimle paylaşan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT hocama sonsuz teşekkür ederim.

Tezin deneylerinin yapılmasında bana yardımcı olan arkadaşım Selahattin BÜYÜKODACI' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen eşim Hüsne ŞİMŞAK' a, Şube Müdürüm Murat PALA'ya, Komiser Yardımcısı Kayhan TOSUN' a ve tüm grup arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ISI BORUSU .....	3
2.1. ISI BORULARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	3
2.2. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKANLAR.....	4
2.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARI.....	7
2.4. ISI BORULARINDA KULLANILAN MALZEMELER.....	7
2.5. FİTİLLER .....	8
2.6. ISI BORUSUNUN PERFORMANSI.....	9
2.7. YERÇEKİMİ TAKVİYELİ ISI BORUSU .....	9
2.8. ISI BORULARININ ÇALIŞMASINI SINIRLAYAN FAKTÖRLER....	10
2.9. ISI BORUSUNUN UYGULAMA ALANLARI.....	10
2.10. ISI BORUSUNUN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	11
BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD.....	12
3.1. ISI BORUSUNDA KULLANILACAK İŞ AKIŞKANI SECİMİ.....	12
3.2. ISI BORUSU MALZEMESİNİN SEÇİMİ.....	13
3.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARI.....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.4. ISI BORUSU ÜRETİM AŞAMALARI .....	14
3.5. SİSTEMDE KULLANILACAK ISITICILARIN YAPIM AŞAMASI.....	15
3.6. ISI BORULARININ YALITIMLARININ YAPILMASI.....	15
3.7. ELEKTRİK DEVRESİNİN YAPIM AŞAMASI.....	16
3.8. ISI BORUSU İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMA .....	17
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI.....	21
4.1. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	21
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	51



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Isı borusunun şematik gösterimi. ....	4
Şekil 3.1. Rezistansların yerleştirilmesi .....	15
Şekil 3.2. Isı borusu yalıtımlarının yapılması .....	16
Şekil 3.3. Bir dimmer devre şeması ve triyak uçlarının gösterilmesi .....	16
Şekil 3.4. Elektrik devresinin tamamlanmış hali .....	17
Şekil 3.5. Isı borusu deney düzeneğinin şematik olarak görünüşü .....	18
Şekil 3.6. Sıcaklık ölçme modülleri .....	18
Şekil 3.7. Debimetre .....	19
Şekil 3.8. Wattmetre .....	19
Şekil 3.9. Deneysel çalışmanın fotoğrafı .....	19
Şekil 4.1. Isı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı ölçüm noktaları .....	22
Şekil 4.2. Çalışma akışkanı su için 200 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	23
Şekil 4. 3. Çalışma akışkanı su için 400 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	24
Şekil 4. 4. Çalışma akışkanı su için 600 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	25
Şekil 4. 5. Çalışma akışkanı su için 800 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	26
Şekil 4. 6. Çalışma akışkanı ispirto için 200 W ısı yükünde (a). 30°, (b).60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları .....	28
Şekil 4. 7. Çalışma akışkanı ispirto için 400 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	29
Şekil 4.8. Çalışma akışkanı ispirto için 600 W ısı yükünde (a). 30°, (b).60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	30
Şekil 4.9. Çalışma akışkanı ispirto için 800 W ısı yükünde (a). 30°, (b).60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	31

Şekil 4.10. Çalışma akışkanı antifriz için 200 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	33
Şekil 4.11. Çalışma akışkanı antifriz için 400 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	34
Şekil 4.12. Çalışma akışkanı antifriz için 600 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	35
Şekil 4.13. Çalışma akışkanı antifriz için 800 W ısı yükünde (a). 30°, (b). 60° ve (c). 90° eğim acılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.....	36
Şekil 4.14. Çalışma akışkanı su için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d). 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları.....	39
Şekil 4.15. Çalışma akışkanı ispirto için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d). 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları .....	40
Şekil 4.16. Çalışma akışkanı antifriz için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d). 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları .....	41
Şekil 4.17. Çalışma akışkanı su için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d). 800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı .....	45
Şekil 4.18. Çalışma akışkanı ispirto için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d). 800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı .....	46
Şekil 4.19. Çalışma akışkanı antifriz için; (a). 200 W, (b). 400 W, (c). 600 W ve (d).800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı .....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Isı borularında sıvının evaporatöre dönüşünde uygulanan kuvvete göre ısı borularının sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.2. Isı borusunun çalışma sınırları ve özellikleri .....	6
Çizelge 2.3. Bazı akışkanlar ile malzemelerin uyumluluğu .....	8

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$C_p$	:	Özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
$\dot{m}$	:	Kütleli debi (kg/s)
$P_f$	:	Priming faktörü-Sıvı taşıma faktörü
$\dot{Q}$	:	Isı transfer miktarı (W)
$T$	:	Sıcaklık (°C)
$\Delta T$	:	Sıcaklık farkı (°C)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ülkemizin enerji ihtiyacı, gelişmekte olan diğer ülkeler gibi sürekli olarak artmaktadır. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de teknolojinin hızla ilerlemesi ve buna bağlı olarak da sanayinin hızla gelişmesi çok farklı sistemlerdeki ısının bir başka ortama aktarılması veya bu ısının atılmasını gerektirmektedir. Enerji konusunda dünyaya ayak uydurmanın yolu ve verimli bir şekilde kullanılması ise, bir yandan artan nüfusu enerjiyi en tasarruflu şekilde nasıl kullanacağı konusunda eğitmek ve atık ısının geri kazanılması yönünde araştırmalar yapmaktan geçer.

Isı taşıyan çok farklı elemanlar vardır. Atık ısı enerjilerinin geri kazanılmasında kullanılan sistemlerden biriside ısı borularıdır. Isı borusu, vakum işlemi uygulanmış kapalı bir hacim olup, çok geniş sıcaklık aralığında, farklı büyüklüklerde, sabit veya esnek şekillerde, silindirik, düzlemsel, dönele veya kullanım yerine ve amacına uygun olarak çok değişik geometrik şekillerde de yapılabilen iki fazlı bir ısı transfer cihazıdır. Vakum işleminden sonra içerisine belirli miktarda çalışma akışkanı doldurulmuş kapalı bir hacimden oluşur. Çalışma akışkanının akışını düzenlemek amacıyla kapalı hacmin iç cidarına ince tülde yapılmış bir fitil yerleştirilir.

Isı borularının çok yüksek miktardaki ısıyı çok küçük kesit alanları ile bir yerden başka bir yere taşınmasında ve bu taşıma işleminde başka bir güce gerek duymaması diğer taşıma sistemlerine göre en önemli özelliğidir. Ayrıca, hareketli parçasının olmaması, sessiz çalışması, reaksiyon zamanının kısa olması, her ortam ve sıcaklık mesafesi için ısı borularının geliştirilebilmesi ve farklı sıcaklık aralıklarında çalıştırılabilmesi, tasarım ve üretim kolaylığı, ısıyı alan ve veren bölgeler arasında çok küçük sıcaklık farkının yeterli olması, ısı borularının üstün özellikleri arasında yer alır. (Payakaruk vd, 2000; Ong and Haider-E. Alahi, 2003; Riffat and Zhu, 2004).

Isı borusu fikri, ilk önce 1942 yılında R.S. Gaugler tarafından ortaya atılmıştır. İlk patenti 1944 yılında alınan, uzun süre bilinmeyen bu uygulama, uzay araştırmaları ve nükleer endüstrisinin yayılımı ile geniş bir uygulama alanı kazanmıştır. Bugün gelinen noktada ise ısı boruları çok geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahip olmuştur. Günümüzde, ısı boruları bilgisayar CPU' larının ve elektronik devrelerin soğutulmasında, nükleer santrallerde, uzay araçlarında, güneş enerjisi uygulamalarında, döküm kalıplarının soğutulmasında, iklimlendirme sistemlerinde, otoyol ve köprülerde buzlanmanın önlenmesinde, bacalardaki atık ısının geri kazanılması gibi çok farklı yerlerde ısının taşınmasına veya atık ısının geri kazanılmasında kullanılmaktadır. Isı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli konu, taşıma işlemi yapılırken en az güç harcayarak yüksek verimde taşınmasını sağlamaktır (Özsoy, 2005).

Isı boruları ile egzoz gazlarındaki atık ısının kazanımında ve geri kazanılan enerji ile havayı soğutmada bir kolaylık sağladılar. Böylece paslanmaz çelik yanma odasında açığa çıkan gazın ısısı atılmadan ısı boruları ile geri kazandılar. Kazanılan ısıdan ticari sıvı amonyak soğutucu olarak yararlandılar. Soğutulan su; gaz türbini motorunun performansını artırmak için içeri alınan havanın soğutulması amacıyla fan-coil tipi soğutma tüneline alındı. Deney sonuçlarından deneysel tesisin performansının iyi olduğunu, sistemin egzoz gazlarından çıkan enerjinin % 70 ve % 93 arasında geri alındığını ve bunun hava soğutması için yeterli olduğunu tespit ettiler ( Habeebullah, 1997; Boran ve Ersöz, 2002).

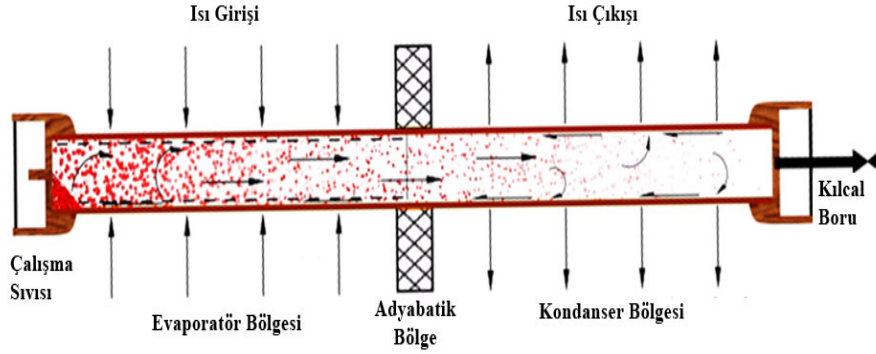
Yaptığımız bu çalışmada, ısı geri kazanım amacıyla imal edilmiş olan iki fazlı bir yerçekimi destekli ısı borusunun (termosifon) ısıl performansı deneysel olarak incelenmiştir. Isı borusunda malzeme olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak da saf su, ispiro ve antifriz kullanılmıştır. Farklı ısı güçlerinde, farklı eğim acılarında ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve soğutma suyu sıcaklık farkı deneysel olarak gözlenmiştir. Deneylerde ölçülen sıcaklık farklarına göre, kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisi hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen deney sonuçlarına göre çalışma akışkanı olarak su, ispiro ve antifriz ısı borularının ısıl performansları karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### ISI BORUSU

#### 2.1. ISI BORULARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı borusu, vakum işlemi uygulanmış kapalı bir hacim olup, klasik olarak boru şeklinde yapılabileceği gibi çok değişik geometri ve şekillerde yapılabilen iki fazlı bir ısı transfer cihazıdır. Vakum işleminden sonra içerisine belirli miktarda çalışma akışkanı doldurulmuş kapalı bir hacimden oluşur. Çalışma akışkanının akışını düzenlemek amacıyla kapalı hacmin iç cidarına fitil yerleştirilir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, ısı borusu, evaporatör (buharlaştırıcı) bölgesi, adyabatik bölge ve kondenser (yoğuşturucu) bölgesi olmak üzere üç farklı bölgeden oluşur. Bir ısı borusunun evaporatör bölgesine ısı uygulandığında çalışma akışkanını buharlaştırır ve kısa zamanda kapalı hacmin içerisinde doymuş buhar akışı oluşur. Kondenser bölgesinden ısı çekilmesi nedeniyle, cidar sıcaklığı düşük olacağından dolayı bu bölgeye ulaşan doymuş buhar yoğuşmaya başlar. Kondenser bölgesinde yoğuşan sıvı yerçekimi, kılcak, merkezkaç, osmotik, manyetik kuvvetler yardımıyla evaporatöre geri döner ve ısı borusu çevrimi tamamlanmış olur. Böylece ısı borusu, evaporatör bölgesinde dış ısı kaynağından çekilen ısının oluşturduğu buharlaşma gizli ısını kondenser bölgesindeki soğuk kaynağa sürekli olarak transfer eden bir ısı değiştirici görevini yerine getirmiş olur. Yoğuşan sıvının evaporatöre geri getirilmesi için kullanılan en genel yöntemler yerçekimi ve kılcak kuvvetlerdir (Ong and Haider-E. Alahi, 2003; Noie, 2005).



Şekil 2.1. Isı borusunun şematik gösterimi

Isı boruları çalışma sıcaklıklarına göre (düşük, orta ve yüksek sıcaklık), fitil yapısına göre (arter-damar, kompozit vs.) ve fonksiyonuna göre (dönel ısı borusu, mikro ısı borusu, ısı iletimi ayarlanabilir ısı borusu ve termal diyot vs.) olmak üzere çok değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Yoğuşan sıvının evaporatöre dönüşünde uygulanan kuvvete göre ısı borularının sınıflandırması Çizelge 2.1’ de verilmiştir (Özsoy ve Acar, 2005).

Çizelge 2.1. Isı borularında sıvının evaporatöre dönüşünde uygulanan kuvvete göre ısı borularının sınıflandırması (Özsoy ve Acar, 2005).

Uygulanan Kuvvet	Isı borusunun adı
Yerçekimi kuvveti	Termosifon
Kapiler (kılcal) kuvvet	Isı borusu
Merkezcil kuvvet	Dönel ısı borusu
Elektrostatik kuvvet	Elektrohidrodinamik ısı borusu
Magnetik kuvvet	Magnetohidrodinamik ısı borusu
Osmotik kuvvetler	Osmotik ısı borusu

## 2.2. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKANLAR

Çalışma şartlarına bağlı olarak, ısı borusu içerisinde ısı taşıyıcı akışkan görevi yapan birbirinden farklı çalışma akışkanları kullanılabilir. Kullanılan çalışma akışkanları kritik özellikleri bakımından kaynama noktası, buharlaşma ısısı, diğer malzemelerle uyumluluk, ısı iletkenlik, ıslatabilirlik, buhar basıncı, ısı kararlılık,



kinematik viskozite, yüzey gerilimi katsayısı, donma noktası gibi özelliklerine göre değerlendirilir. Düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında kullanılabilecek bazı çalışma akışkanları ve çalışma sıcaklığı aralıkları Çizelge 2.2’de verilmiştir. Çalışma akışkanının yüksek buharlaşma gizli ısı, yüksek yüzey gerilimi ve çalışma bölgesinde düşük sıvı viskozitesine sahip olması yanında bu bölgede ısı bakımından kararlı olması istenir. Çalışma akışkanının kullanılan boru malzemesi ile uyumlu olmaması nedeniyle yoğuşmayan gaz oluşturabilme özelliği, ısı borusu etkinliğini düşüreceğinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında en çok kullanılan akışkanlar su, metanol, amonyak ve diğer soğutucu akışkanlardır (Studer and McDonald, 1986; Abou-Ziyan vd.,2001; Özsoy ve Acar, 2005).

Isı borularının çalışma sıcaklıklarına göre sınıflandırılması:

- a. Düşük sıcaklıklarda: Oksijen, azot, hidrojen ve neon ve metan gibi gazlar kullanılır.
- b. Orta sıcaklıklarda: Su, freon, amonyak, tolun, neptalan ve metanol kullanılır.
- c. Yüksek sıcaklıklarda: Cıva, gümüş, sezyum, potasyum, lityum gibi sıvı metaller kullanılır.

Isı borularında kullanılan akışkanlarda aranan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Isı borusu akışkanı ile fitil uyum içinde olmalı birbiri ile reaksiyona girmemeli ve bozulmamalıdır.
- b. Isı borusu akışkanı ile ısı borusu malzemesi yine birbirinin özelliklerini bozmayacak şekilde olmalıdır.
- c. Akışkan ile fitil ve yüzey arasında yüksek temas acısı olmalıdır. Bu durum, sıvıya ısı iletiminde aşırı ısıtma gereksinimini azaltmaktadır.
- d. Isı borusunun buharlaşma gizli ısı yüksek olmalıdır. Çünkü ısı boruları, buharlaşma ve yoğuşmada üzerine aldıkları gizli ısıyı taşıdıkları için bu değer fazlalığı verimi artırır.
- e. Yüksek buhar yoğunluğunu sahip olmalıdır. Buhar yoğunluğunun yüksekliği sistem boyutlarının küçülmesini sağlar.

- f. Isı borusu akışkanının buharlaşma basıncı yüksek veya düşük olmamalıdır.
- g. Isı borusunun ısıl iletkenliği ve ısılatma özelliği yüksek olmalıdır.
- h. Isı borusu akışkanında kılcal basınç yüksek olmalıdır.
- i. Düşük sıvı ve buhar viskozitesine sahip olmalıdır.
- j. Kabul edilebilir donma noktasına sahip olmalıdır.
- k. Fital ve duvar malzemeleri ile uygun olmalıdır.
- l. Isı borusu akışkanının ısıl kararlılığı yüksek olmalıdır.

Çizelge 2.2. Isı borusunun çalışma sınırları ve özellikleri (Güngör, 1995).

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	Civa	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

### **2.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARI**

Isı borusu içerisine konulacak akışkan miktarının oranı çok önemlidir. Eğer gereğinden az akışkan konulursa, sistemin çalışması sürecinde akışkanın tamamı buharlaşıp kabın içerisini doldurur. Bu durumda evaporatör kısmında sıvı kalmayacağı için sistemin çalışması kesintiye uğrar. Isı borusu yüzeyi de aşırı ısınıp zarar görebilir. Fitilli ısı borularında bu olay fitilin kuruması olarak ifade edilir. Gereğinden fazla akışkan konulması durumunda ise özellikle yerçekimi destekli ısı borularında karşılaşılan taşma limiti ile karşılaşılır (Özsoy, 2005).

Termosifon tipi ısı borularında, ısı borusuna konulacak akışkan miktarı toplam hacmin % 15-20'si oranında olabileceği bildirilmiştir. Optimum akışkan miktarını Lee and Bedrossian (1978) toplam hacmin % 15'i olarak, Feldman and Srinivassan (Lin vd., 1995)'da % 18-22'si olarak önermişlerdir. Bezrodny and Alekseyenko ise evaporatör hacminin % 50'sinden fazla miktarda akışkan konulabileceğini bildirmişlerdir (Lind vd., 1995). Kamiya vd., ve Negishi vd., termosifon ısı değiştiricilerinde maksimum performansın % 40 dolum oranında (şarj oranı) sağlandığını bildirmişlerdir (Lamfon vd., 1994). Genel olarak yapılan literatür araştırmalarına göre, ısı borusu içine konulacak çalışma akışkanının belirlenmesinde boru iç hacminin üçte biri oranında alındığı görülmektedir (Özsoy, 2005).

### **2.4. ISI BORULARINDA KULLANILAN MALZEMELER**

Isı borusu gövde malzemesi olarak bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, seramik malzemeler kullanılabilirdiği gibi çalışma şartlarına bağlı olarak diğer malzemelerde kullanılabilir. Isı borusu malzemelerinin çalışma akışkanı olarak seçilen iş akışkanı ile uyumlu çalışabilir olması gerekmektedir. Çizelge 2.3'de bazı çalışma akışkanları ile uyumlu çalışabilen ısı borusu malzemeleri örnekleri verilmiştir. Uygun bir ısı borusu tasarımında en önemli kriter seçilen malzemenin çalışma akışkanı ile uyumlu çalışabilmesidir. Bu kriter, çalışma esnasında korozyon ve gaz oluşumunun neden olduğu sorunlar nedeniyle önem kazanmaktadır. (Özsoy ve Acar, 2005; Mahmood and Akhanda, 2008).

Çizelge 2.3. Bazı akışkanlar ile malzemelerin uyumluluğu (Özsoy ve Acar, 2005).

Malzeme	Çalışma Akışkanı			
	Su	Aseton	Amonyak	Metanol
Bakır	ÖG	ÖG	UD	ÖG
Alüminyum	GÜB	ÖL	ÖG	UD
Paslanmaz Çelik	GÜY	UO	ÖG	GÜY
Nikel	UO	UO	ÖG	ÖL

ÖG: Geçmiş uygulamalara göre önerilebilir. UO: Uygun olabilir.  
GÜB: Bütün sıcaklıklarda gaz üretimi. UD: Uygun değil.  
GÜY: Yüksek sıcaklıklarda gaz üretimi. ÖL: Literatüre göre önerilebilir.

## 2.5. FİTİLLER

Isı borusunda kullanılan çalışma akışkanının kondenserden, evaporatöre geri getirilmesini sağlayacak kapılar basıncın oluşturulması gerekmektedir. Isı borularında bu işlem ısı borusu iç cidarına yerleştirilen gözenekli yapı ile sağlanabilmektedir. Bu gözenekli yapı, bakır, pirinç, nikel, alüminyum, paslanmaz çelik gibi ayrı bir malzemeden örülmüş, dokunmuş malzemeler olabileceği gibi, pamuksu iplerden dokunmuş lifli malzemelerde olabilmektedir. Ayrıca, ısı borusu iç yüzeyine mekanik olarak oluşturulmuş yiv şeklinde veya toz metalurjisi ile üretilmiş gözenekli bir yapıda fitil görevini yapabilmektedir. Fitil malzemesinin başta çalışma akışkanı ile uyumlu olması yanında, çalışma akışkanını kısa zaman aralığında evaporatör bölgesine taşıyabilecek nitelikte olması istenir.

Fitil malzemesinden aranan özellikler şunlardır:

- 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 şeklinde sıralanabilir.

## 2.6. ISI BORUSUNUN PERFORMANSI

Isı borusunun performansı, çoğunlukla, eşdeğer ısı iletkenliği cinsinden ifade edilir. İyi bir ısı borusunun, aynı çaptaki dolu bakır çubuğun boyunca iletebildiği ısının birkaç bin mislini, aynı yönde iletebildiği belirtilmektedir.

Isı borusunun güç iletme kapasitesi çok yüksektir. 1500 °C'de çalışan ve akışkan olarak lityum kullanan ısı boruları, ekstenel olarak 10 ile 20 kW/cm<sup>2</sup>'lik ısı taşırlar. Isıtma akışkanının ve kap malzemelerinin uygun seçilmesi ile 4 K ile 2300 K arasındaki sıcaklıklardaki kullanım için, ısı borusu imal edilebilir. Birçok uygulamalar için, silindirik şekilli ısı boruları kullanılır. Özel şartları karşılamak için de farklı ısı boruları geliştirilebilir (Ersöz ve Boran, 2002).

## 2.7. YERÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSU

Yerçekimi destekli ısı borusunun çalışması sırasında, evaporatöre uygulanan ısı enerjisi, ısıtma akışkanının bir kısmının buharlaşmasına sebep olur. Isı borusunun içini dolduran saf buhar, kondenserin soğuk olan duvarına temas edince, kondenserde yoğuşma başlar. Yoğuşan ısıtma akışkanı, yerçekimi etkisiyle buharlaştırıcıya akar. Orada yeniden buharlaşır ve hızlı bir buhar akımı halinde yeniden kondensere döner. Bu çevrim sırasında buhar hızları, aksi yönde ilerleyen sıvı akışına kıyasla, yüksek olup, bazı hallerde buhar hızının ses hızına yaklaştığı ve hatta ses üstü hızlara ulaştığı görülür. Çift fazlı akımdaki bu büyük hız farkı, evaporatörden kondensere pompalama olayının doğmasına yol açar. Bunun sonucu olarak, ısı borusunun içinde kalan yoğuşmaz gazlar, önce kondenserde birikir; evaporatör sıcaklığı arttıkça, kondenserde sıkışan bu yoğuşmaz gaz sütunu, artan buhar momentumunun baskısı altında, kondenser üst ucuna hapsedilir. Pratikte, kondenser sıcaklığı ölçüldüğü zaman, kondenser bölgesi ile yoğuşmaz gaz sütununun yerini kesin hatlarla tespit etmek mümkündür; kondenser bölgesindeki sıcaklık, evaporatördakine eşit olduğu halde, yoğuşmaz gaz bölgesindeki sıcaklık ortam sıcaklığındadır (Ersöz, 2002).

Yerçekimi destekli ısı borusu aşağıda belirtilen özellikleri dolayısıyla seçilen bir ısı transfer elemanıdır.

- a. -50 °C ile 100 °C arasında iyi netice verebilecek ısıtma akışkanlarının varlığı,
- b. Isı borusu boyunca sıcaklığın yeknesak kalması, bu sebeple yüksek efektif ısı geçirgenliğe sahip olması,
- c. Ters sirkülasyon imkanı olmadığı için, gece kayıpların asgari olması,
- d. Sistem reaksiyon zamanının kısa olması,
- e. Sistem de hareketli eleman bulunmaması.

## **2.8. ISI BORULARININ ÇALIŞMASINI SINIRLAYAN FAKTÖRLER**

Isı borusu tasarımındaki en önemli kriter, ısı borusunun transfer edebileceği ısı miktarıdır. Isı borusu birkaç W' tan birkaç KW' a kadar ısı taşıyabilecek şekilde tasarlanabilir. Ancak ısı borularının da taşıyabilecekleri ısı yükü sınırlıdır. Bu limitler; viskoz, ses, kılcal pompalama, köpürme ve kaynama limitleri olarak sıralanmaktadır. Bu limitlerin her biri fitil yapısına, iş akışkanına, sıcaklığa, ısı borusunun konumuna ve boyutlarına bağlıdır. Isı borularının çalışmalarını kısıtlayan bu faktörlerle ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. (Shatto vd., 1997), (El-Genk and Saber, 1997), (Hashimoto and Kaminogo, 2002), (Peterson and Bage, 1991) tarafından yapılan araştırmalar, bu konuda yapılan araştırmalara örnek verilebilir (Özsoy, 2005).

## **2.9. ISI BORUSUNUN UYGULAMA ALANLARI**

- a. Uzay araçlarında sıcaklık kontrolü,
- b. Elektronik cihazların soğutulması,
- c. Boru sisteminin stabilize edilmesi,
- d. Atık ısıların tekrar kullanılmasında,
- e. Jeotermal enerjinin kullanılması,

- f. Enerji depolama,
- g. Makine elemanlarının soğutulması,
- h. Taşıtlarda iç ısıtma,
- i. Gaz türbini jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılması,
- j. Taşıtların iç ısıtmalarında egzozdan faydalanılması,
- k. Uçakların fren sistemlerinin soğutulması,
- l. Elektronik cihazların soğutulmasında,
- m. Otoyol ve köprülerin ton tehlikesine karşı korunmasında,
- n. Bacalardaki atık ısının geri kazanılmasında,
- o. Nükleer santrallerin soğutulmasında,
- p. Lazer aynalarının soğutulmasında,
- q. Fırınlarda ısıtılmasında, tava ve tencerelerin homojen ısıtılmasında,
- r. Güneş enerjisinde ve birçok alanlarda uygulanmaktadır.

## **2.10. ISI BORUSUNUN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI**

### **a) Avantajları**

- a. Hareketli parçaları yoktur, bundan dolayı sessiz çalışırlar.
- b. Her iki gaz tarafında da genişletilmiş yüzeyler kullanılabilir.
- c. Kontrüksiyonu basittir.
- d. Kullanım esnekliğine sahiptir.
- e. Son derece düşük sıcaklık düşümüyle önemli mesafeye yüksek miktarda ısı transfer kabiliyetine sahiptir.
- f. Kontrol edilebilirliği iyidir.
- g. Dış pompa gücü gerektirmez.

### **b) Dezavantajları**

- a. Düşük basınçlı gazlar için uygundur.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, ısı geri kazanımı amacıyla imal edilmiş olan iki fazlı bir yerçekimi destekli ısı borusunun (termosifon) ısıl performansı deneysel olarak incelenmiştir. Isı borusunda malzeme olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak da saf su, ispirto ve antifriz kullanılmıştır. Isı borusunun evaporatör bölgesine elektrikli ısıtıcı ile verilen ısı enerjisi, kondenser bölgesinden su ile çekilmiştir. Farklı ısı güçlerinde, farklı eğim açılarında ve farklı soğutma suyu debilerinde, ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve soğutma suyu sıcaklık farkı deneysel olarak gözlenmiştir. Deneyler, 10, 20, 30 ve 40 lt/dk su debilerinde, 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde yapılmıştır.

Bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bakır borudan yerçekimi destekli ısı borusu imal edilmiş, ikinci bölümde bu ısı borusunun çeşitli ısı yüklerindeki ve eğim açılarındaki performansı gözlenmiştir.

#### 3.1. ISI BORUSUNDA KULLANILACAK İŞ AKIŞKANI SECİMİ

Isı borularında kullanılacak akışkan seçiminde ilk önce dikkate alınacak konu çalışma sıcaklığıdır. Bu çalışmada ısı borusundan suya ısı aktarımı sağlanacağı için su sıcaklığı dikkate alındığında ısı borusundaki iç sıcaklığın 40 ile 120 °C arasında olacağı beklenmektedir. Çizelge 2.2. incelendiğinde ısı borusunun çalışma sıcaklığı aralığında (40–120 °C arasında) Su, Freon–11, Metanol, Etanol, Heptan ve Aseton'un kullanılabilceği görülmektedir. Akışkan seçiminde sadece sıcaklık aralığına bakmak yeterli değildir. Aynı zamanda akışkanın yoğunluğu, buharlaşma gizli ısısı, yüzey gerilmesi ve viskozitesini de dikkate alma zorunluluğu vardır.



Isı borularında kullanılan akışkanların seçiminde ilk devreye girme kolaylığı da bir başka kriterdir. Isı borulu sistemin, ilk çalıştırılmasında ısı borusunun devreye girmesinin hızlı olması istenir. Bu kriter, literatürde Priming faktör (Pf) olarak adlandırılır ve yüzey gerilmesinin, sıvı yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Yaptığımız araştırmalar sonucunda, 40–120 °C sıcaklık aralığında en uygun akışkan olan saf su, ispiro ve antifriz kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Saf su, buhar yoğunluğunun ve buharlaşma gizli ısısının yüksek olması, zehirleyici olmaması, çok ucuz olması gibi nedenlerden dolayı orta sıcaklıklarda çalıştırılacak ısı boruları için çok uygun bir akışkandır (Özsoy, 2005).

### **3.2. ISI BORUSU MALZEMESİNİN SEÇİMİ**

Çizelge 2.3 incelendiğinde daha önceden ısı taşıyan akışkan olarak kullanılmasına karar verilen saf su, ispiro ve antifriz ile en uyumlu malzemenin bakır boru olduğu görülmüştür. Literatüre göre, su ile uyumlu olarak çalışabilecek bir başka malzemede 347 paslanmaz çeliktir (Chi, 1976; Faghri, 1995; Rajesh and Ravindran, 1995; Özsoy, 2005). Ancak özel bir çelik türü olan bu malzemenin bulunması ülkemiz koşullarında çok zordur. Yapılan incelemeler sonucunda bu çalışma için kullanılacak en uygun ısı borusu malzemesinin bakır olduğuna karar verilmiştir.

### **3.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARI**

Isı borusu içerisine şarj edilecek akışkan miktarı birinci bölümde açıklandığı gibi çeşitli limitler nedeniyle önemli olmaktadır. Literatüre göre toplam hacmin % 15-22'si oranında veya evaporatör hacminin % 40-50'si oranında akışkan koyulabileceği bildirilmiştir. Literatürde verilen farklı akışkan miktarları yaklaşık olarak aynı miktarlara karşılık gelmektedir (Lee and Bedrossian, 1978; Lin vd., 1995; Özsoy ve Acar, 2005). Bu bilgilerden hareketle bu çalışmada, ısı borusu içerisine iç hacminin 1/3'ü oranında çalışma akışkanı konulmuştur.

### 3.4.ISI BORUSU ÜRETİM AŞAMALARI

Deneysel çalışmada, ısı borusu malzemesi olarak 18 mm çapında ve 1.1 mm et kalınlığında bakır boru kullanılmıştır. Isı borusu, evaporatör ve kondenser bölgeleri 45 cm, adyabatik bölge ise 10 cm olmak üzere, toplam 100 cm uzunluğundadır. Isı borusunda çalışma akışkanı olarak saf su, ispiro ve antifriz kullanılmıştır.

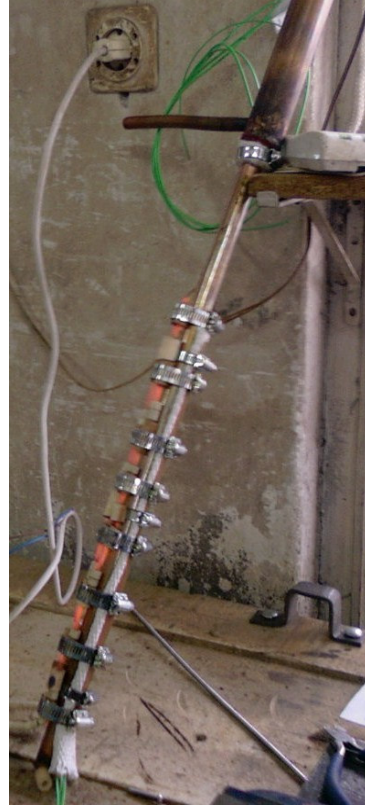
Bu çalışmada, ısı borusu imalatı gerçekleştirilirken, akışkan ve malzeme seçiminden sonra aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

- a. İstenilen uzunluk ve çaptaki borular hazırlandı, istenilen ölçülerde kesildi.
- b. Boru uçlarının kapatılması için, çaplara göre kapaklar kesildi.
- c. Kapakların birer tanesi elimizdeki kılcal boru çapında delindi.
- d. Boruların birer ucunun kapakları oksigaz kaynağı ile kaynatıldıktan sonra içleri saf su ile temizlendi.
- e. Diğer delikli kapaklar da kaynak işlemiyle birleştirildikten sonra kılcal borular kaynak işlemiyle sabitlendi.
- f. Boruların içlerine gerekli miktardan az fazla olacak şekilde çalışma akışkanları şırınga yardımı ile dolduruldu.
- g. Borular alttan ısıtılmak suretiyle vakumlama işlemi yapıldı, vakumlama işlemi sırasında kılcal boruların uçları oksigaz kaynak işlemiyle kapatıldı.
- h. Isı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımını gözlemlemek için evaporatör ve kondenser bölgelerine 3'er adet, adyabatik bölgeye ise 1 adet K tipi ısıl çift yerleştirilmiştir. Ayrıca kondenser bölgesine giren soğutma suyu sıcaklığını ölçmek için suyun giriş ve çıkış noktalarına birer adet ısıl çift sabitlenmiştir.
- i. ısıl çiftlerin yüzeydeki sıcaklığı iyi bir şekilde algılayabilmeleri için üzerlerine bakır levha konularak boruya sıkı bir şekilde kelepçelendi.

- j. Isı borusunun üzerine ısı çiftler yerleştirildikten sonra 45 cm uzunluğunda 28 mm çapındaki 1.2 mm et kalınlığındaki bakır boru kaynak işlemiyle sabitlenerek kondenser bölgesi oluşturuldu.
- k. Kondenser bölgesindeki kaynak işlemi yapılan boru üzerine, soğutma suyunun geçebilmesi için 1 cm çapında, 15 cm uzunluğundaki bakır borular kaynak işlemiyle sabitlendi.

### 3.5. SİSTEMDE KULLANILACAK ISITICILARIN YAPIM AŞAMASI

Dış ısı kaynağı olarak, 5  $\Omega$ 'luk nikel krom telden sarılmış, 1000 W güce sahip rezistanslar kullanılmış ve evaporatör bölgesi üzerine sarılarak yerleştirilmiştir. Boru üzerine sarılan rezistansın bakır boru ile temas ederek kısa devre yapmasını önlemek amacıyla, seramik boncuklar kullanılmış ve Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Rezistansların yerleştirilmesi

### 3.6. ISI BORULARININ YALITIMLARININ YAPILMASI

Isı borusu dış yüzeyinden ortama olan ısı kayıplarını önlemek amacıyla evaporatör bölgesindeki ısıtıcıların üzeri metal bir kılıf geçirilerek örülmüş asbest ile yalıtılmıştır. Kondenser bölgesinin yalıtımı ise, 28 mm çapında fleksi malzeme geçirilerek üzeri alüminyum bant sarılarak sağlanmıştır. Adyabatik bölgede ise ısı borusunun dış yüzeyi önce asbest ile sarılmış, üzeri cam yünü ile kaplanmıştır.

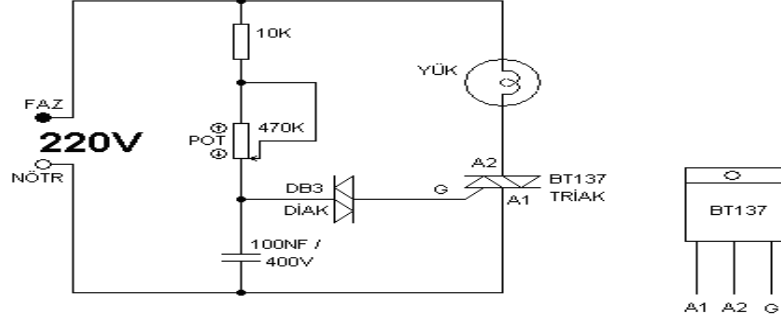


Şekil 3.2. Isı borusu yalıtımlarının yapımı

### 3.7. ELEKTRİK DEVRESİNİN YAPIM AŞAMASI

Elektrik devrelerinde sistemin gücünü ayarlayan devrelere dimmer adı verilir. Şekil 3.3'de devrede Triyaklı RC faz kaymalı yük kontrol devresi görülmektedir. Bu çalışmada, 2 adet 6 A ve 2 adet 40 A izoleli triyak kullanılarak 4 adet dimmer devresi yapılmıştır. İki tanesi 1000 W, diğer ikisi ise 800 W gücü kontrol edebilecek şekilde

hazırlanmıştır. Bu devreye 220V/10A' lik Wattmetre bağlanarak, deneyler sırasında 200, 400, 600 ve 800 W değerleri ayarlanmıştır.



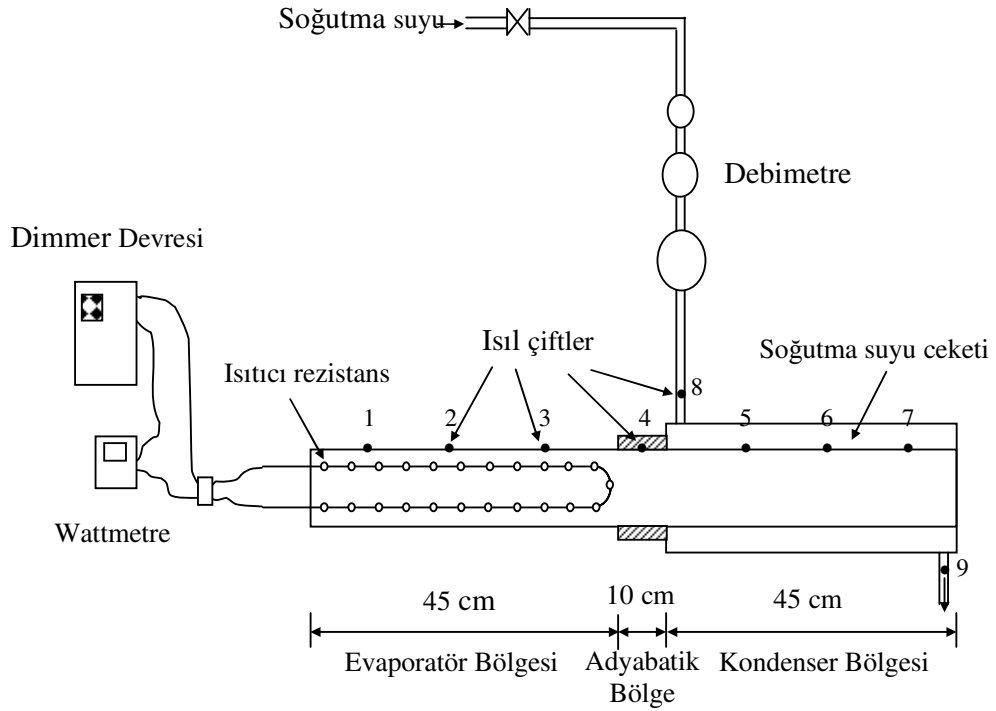
Şekil 3.3. Bir dimmer devre şeması ve triyak uçlarının gösterimi  
Deneyler sırasında, dimmerlerin kullanılabilirliğini kolaylaştırmak ve elektrik kaçaklarını önlemek amacıyla bir plakaya montajı yapılarak, metal kutu içerisine yerleştirilmiştir. Dimmer devrelerindeki triyakların ısınma sorununu çözmek için metal kutuya farklı iki konumda fanlar monte edilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan dimmer devresi Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Elektrik devresinin tamamlanmış hali

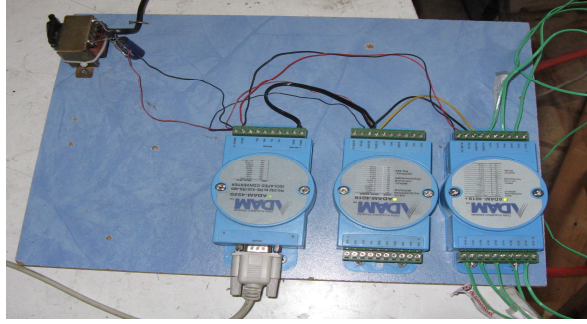
### 3.8. ISI BORUSU İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMA

Isı borusu ile ilgili deneysel çalışmada 18 mm çapındaki ve 1.1 mm et kalınlığında bakır boru kullanılmıştır. Isı borusunun evaporatör ve kondenser bölgeleri 45 cm, adyabatik bölge ise 10 cm olmak üzere, toplam 100 cm uzunluğundadır. Isı borusunda çalışma akışkanı olarak saf su, antifiriz ve etanol (ispirto) kullanılmıştır. Deneysel çalışmada üç parametre değiştirilmiştir. Bunlar; ısı borusunun eğim açısı, evaporatör bölgesine uygulanan ısı yükü ve kondenser bölgeden geçen soğutma suyu debisidir. Eğim açısı, ısı borusunun yer düzlemi ile 30°, 60° ve 90° açı yapacak şekilde ayarlanmıştır. İkinci parametre olan evaporatör bölgesine uygulanan ısı yükü 200, 400, 600 ve 800 W olarak seçilmiştir. Kondenser bölgeden ısıyı çeken soğutma suyu debisi ise 10, 20, 30 ve 40 lt/h olarak ayarlanmıştır. Bu parametrelerin ısı borusu performansına etkisi 30 dakikalık deney süresince gözlemlenmiştir. Şekil 3.5’ de şematik olarak ısı borusu deney düzeneği görülmektedir.

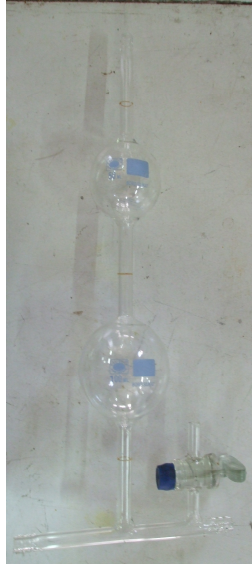


Şekil 3.5. Isı borusu deney düzeneğinin şematik olarak görünüşü.

Kondenser bölgesinde dolaşan su debisi, debimetre ile ölçülmüştür. Sisteme dimmer devresi ile verilen elektrik enerjisini ölçmek amacıyla 10A/220V özelliklerinde Wattmetre bağlanmıştır. Isı borusu üzerindeki sıcaklıklar K tipi ısı çiftlerinden gelen sinyalleri alan bir modül (Adam 4018 ve 4019) yardımıyla bilgisayardan sıcaklık değeri olarak okunmuştur. Şekil 3.6' da K tipi ısı çiftlerinden gelen sinyalleri sıcaklığa çeviren modüller, Şekil 3.7'de debimetre, Şekil 3.8'de Wattmetre görülmektedir. Şekil 3.9'da ise deneylerin yapılması aşamasında deney setinin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.6. Sıcaklık ölçme modülleri.



Şekil 3.7. Debimetre



Şekil 3.8. Wattmetre





Şekil 3.9. Deneysel çalışmanın fotoğrafı

Yapılan deneylerden alınan ölçüm sonuçlarına göre, ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımının ve kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisinin çalışma akışkanına, ısı yüküne ve soğutma suyu debisine bağlı değişimi gözlenmiştir. Kondenser bölgesinden soğutma suyu aracılığıyla transfer edilen ısı enerjisi, (3.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T_{su} \quad (3.1)$$

Denklemden,  $\dot{m}$ ; kondenser bölgesinde dolaşan soğutma suyu debisini,  $C_p$ ; suyun özgül ısısını,  $\Delta T_{su}$  ise kondenser bölgesine giren ve çıkan soğutma suyu sıcaklık farkını göstermektedir.



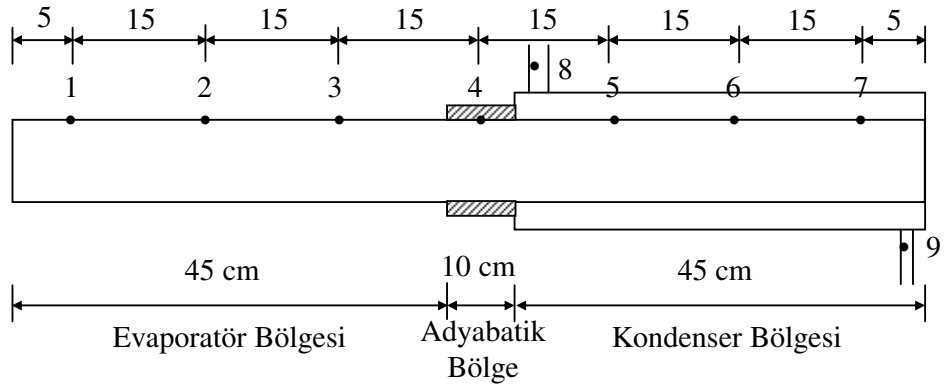
## BÖLÜM 4

### DENEY SONUÇLARI

#### 4.1. DENEYSEL ÇALIŞMA

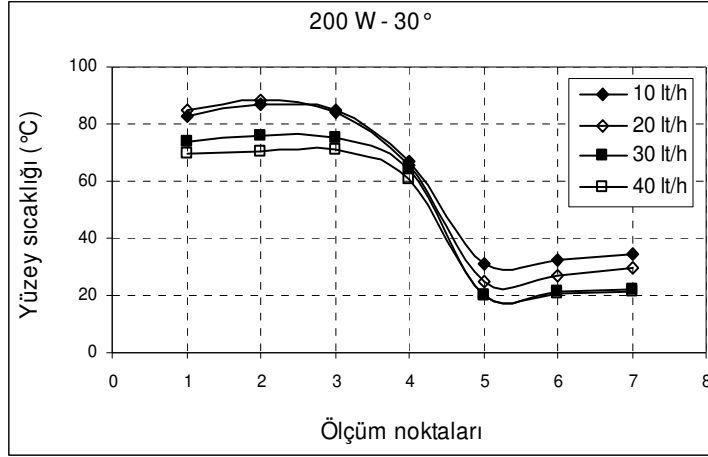
Deneysel çalışmada, ısı borusunun eğim açısı, evaporatör bölgesine uygulanan ısı yükü ve kondenser bölgesinden geçen soğutma suyu debisi değiştirilmek suretiyle ısı borusunun yüzey sıcaklık dağılımı ve soğutma suyu sıcaklık farkı ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık farkı değerlerine göre, kondenser bölgesinden soğutma suyu aracılığıyla transfer edilen ısı enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Deneyler, ısı borusu eğim açısı 30°, 60° ve 90° olmak üzere üç farklı açıda; 200, 400, 600 ve 800 W olmak üzere dört farklı ısı yükünde; kondenser bölgesinden geçen soğutma suyu debisi ise 10, 20, 30 ve 40 lt/h olmak üzere dört farklı debide yapılmıştır. Isı borusunda çalışma akışkanı olarak, saf su, ispirto ve antifriz kullanılmıştır. Deneylerde ilk olarak deney süresini belirlemek amacıyla ısı borusunun rejime ulaşma süresi tespit edilmiştir. Bir saatlik sürede yapılan deneyler sonucunda, ısı borusunun saf su, ispirto ve antifriz için yaklaşık 20 dakikalık bir sürede rejime ulaştığı ve kararlı hale geldiği görülmüştür. Bu süre dikkate alınarak deney süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Deneylerde sıcaklık ölçümleri, 5 dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Isı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı ölçüm noktaları Şekil 3’de görüldüğü gibi; 1, 2, 3 noktaları evaporatör bölgesi üzerindeki, 4 noktası adyabatik bölge üzerindeki, 5, 6, 7 noktaları ise kondenser bölgesi üzerindeki sıcaklık dağılımı ölçüm noktalarını, 8 ve 9 noktaları ise soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçüm noktalarını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, sıcaklık ölçüm noktalarına göre ısı borusu yüzey sıcaklığının değişimi; eğim açısına bağlı olarak soğutma suyu sıcaklık farkının değişimi ve eğim açılarına göre kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisinin değişimi olacak şekilde grafiklere aktarılarak incelenmiştir.

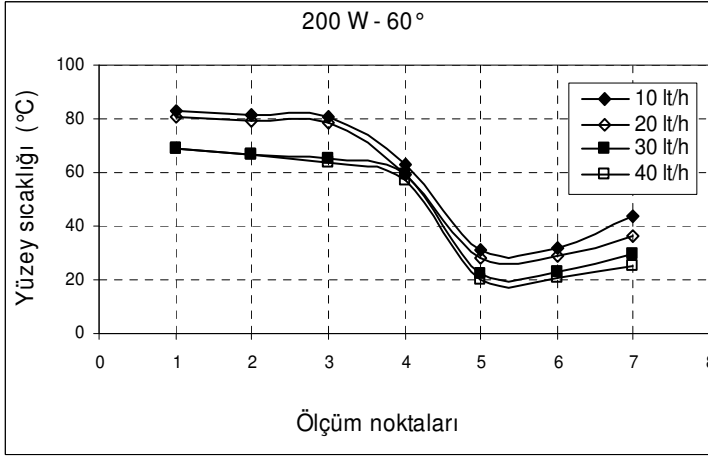


Şekil 4.1. Isı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımı ölçüm noktaları

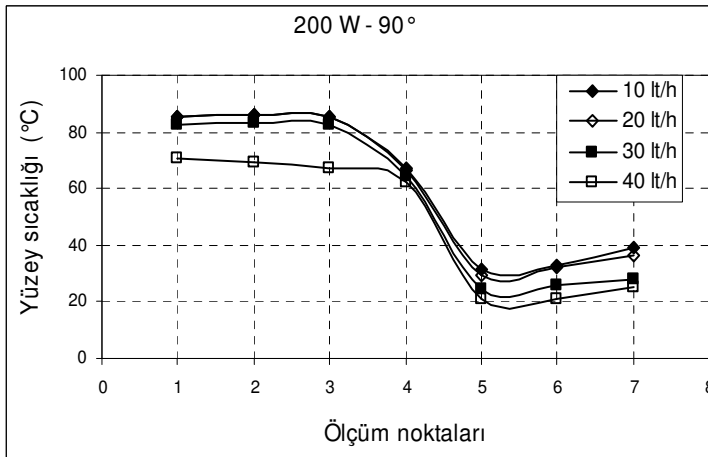
Şekil 4.2 - 4.5'de çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında, 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde; 30°, 60° ve 90° eğim açılarında; 10, 20, 30 ve 40 lt/h soğutma suyu debilerinde ölçülen ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları görülmektedir. Soğutma suyu debisinin artmasıyla birlikte kondenser bölgesinden çekilen ısı enerjisi artacağından dolayı kondenser bölgesi yüzey sıcaklığı da bağıl olarak azalmıştır. Örnek olarak 200 W ısı yükünde, 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde kondenser bölgesinin sıcaklık dağılımı ortalama 32 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 21 °C olmuştur. Kondenser bölgesinden çekilen ısı enerjisinin artmasıyla birlikte çalışma akışkanı kısa sürede yoğuşacağından ısı borusu içerisindeki çevrim daha hızlı gerçekleşmektedir. Bundan dolayı evaporatör bölgesi sıcaklık dağılımı soğutma suyu debisinin artmasıyla birlikte bağıl olarak azalmaktadır. Mesela; 200 W ısı yükünde 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesinin sıcaklık dağılımı ortalama 85 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 70 °C olarak ölçülmüştür. Isı borusu eğim açısı 30°'den 60°'ye getirildiğinde, 200 W ısı yükü ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde, evaporatör bölgesi sıcaklık dağılımı ortalama 85 °C'den 82 °C'ye düşmüş, kondenser bölgesi ortalama sıcaklık dağılımı ise 32 °C'den 35 °C'ye yükselmiştir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi, eğim açısı arttıkça evaporatör bölgesinden kondenser bölgesine taşınan ısı enerjisi miktarı da artmaktadır. Benzer durum, diğer ısı yüklerinde, eğim açılarında ve soğutma suyu debilerinde de gözlemlenmiştir.



a

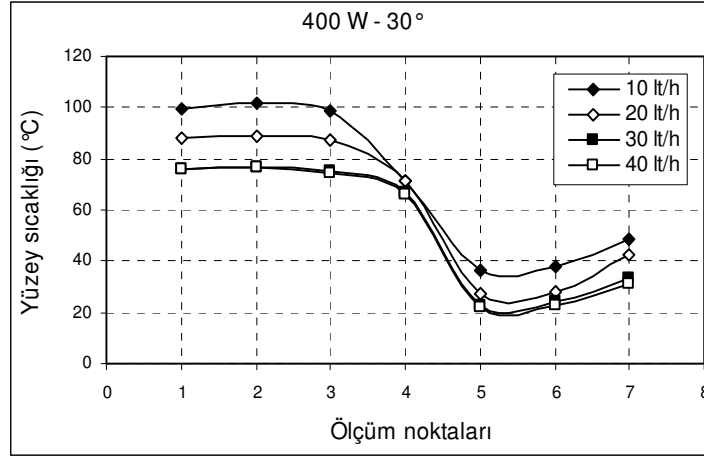


b

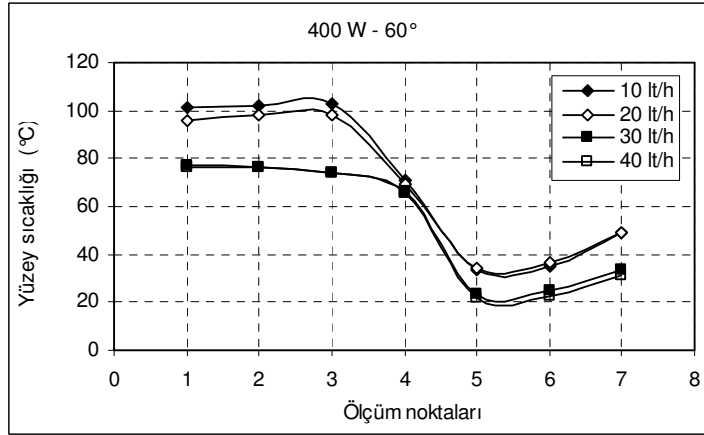


c

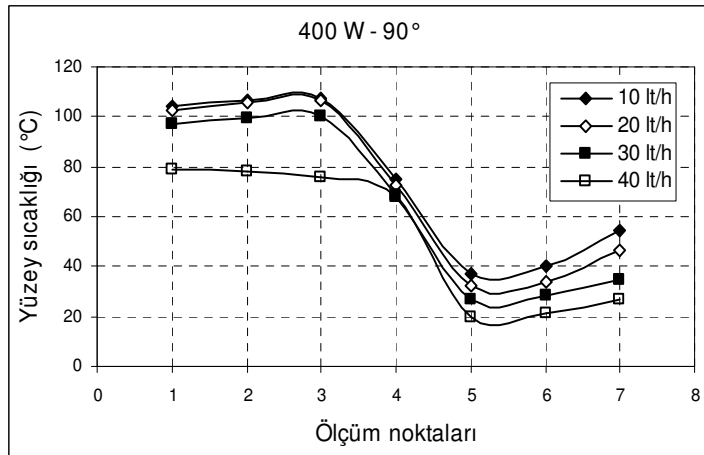
Şekil 4.2. Çalışma akışkanı su için 200 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a

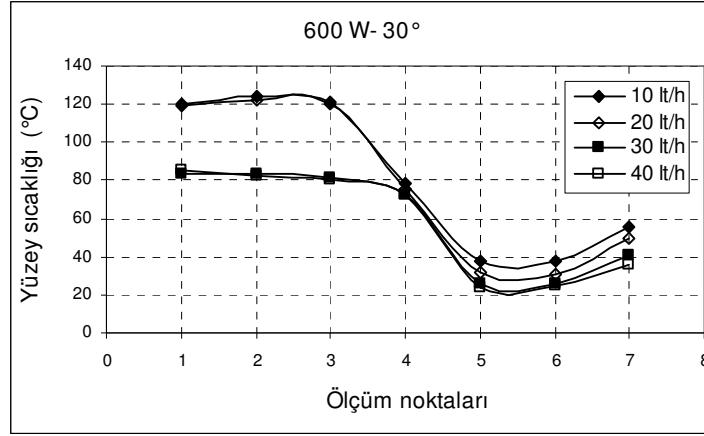


b

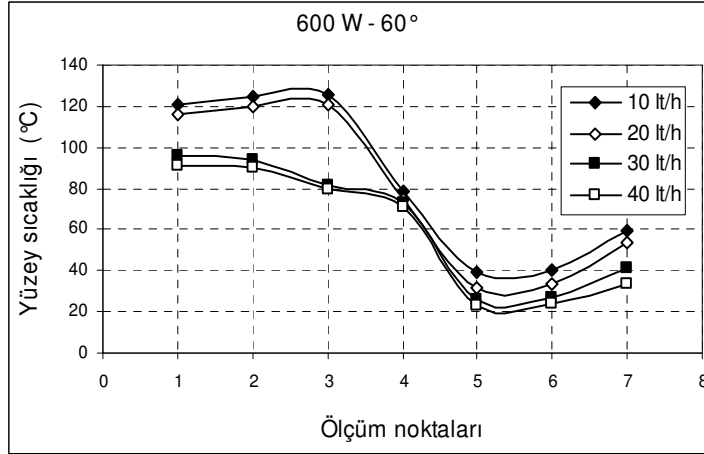


c

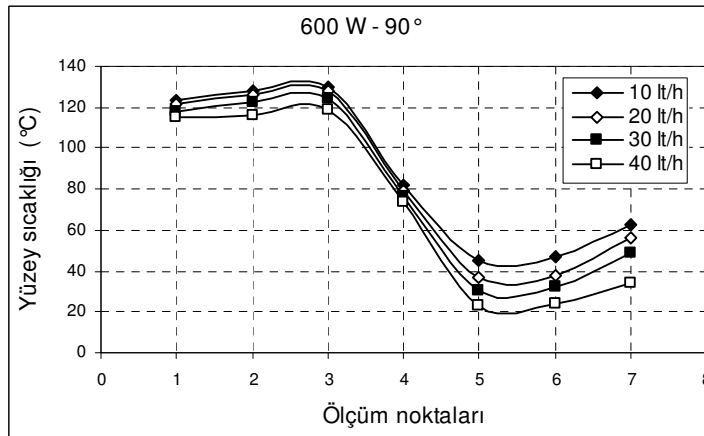
Şekil 4.3. Çalışma akışkanı su için 400 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a

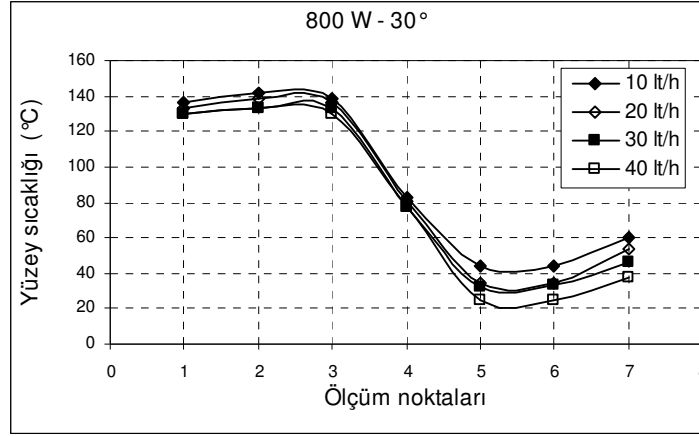


b

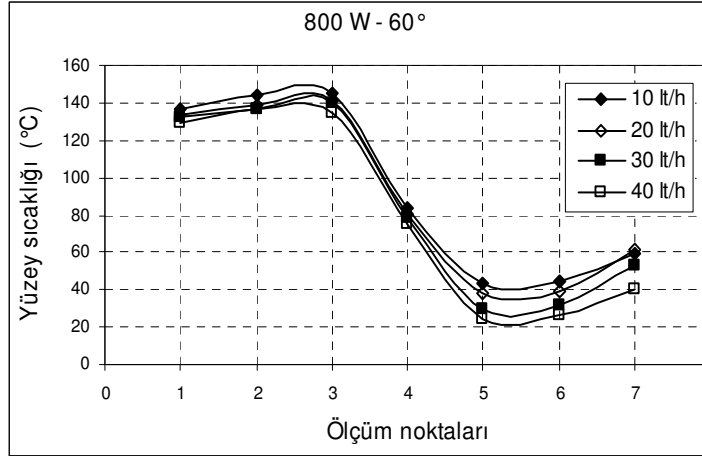


c

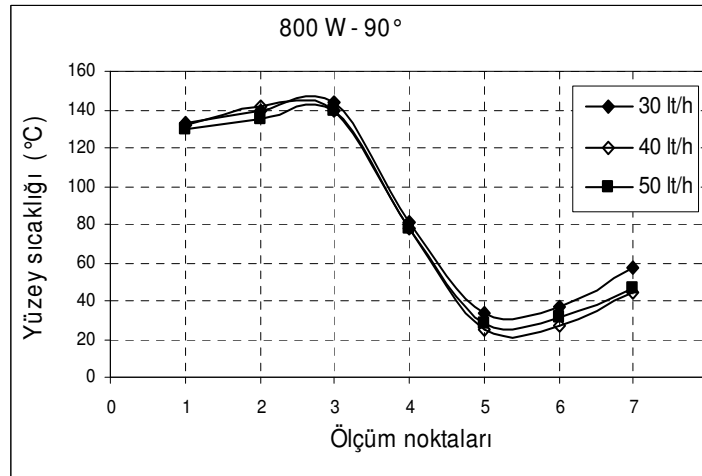
Şekil 4.4. Çalışma akışkanı su için 600 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a



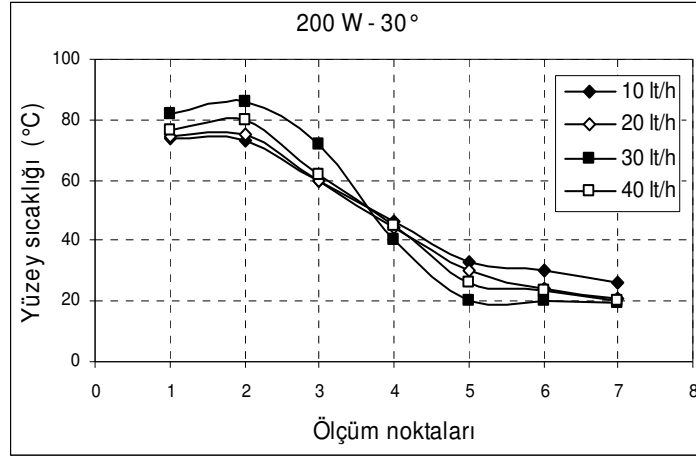
b



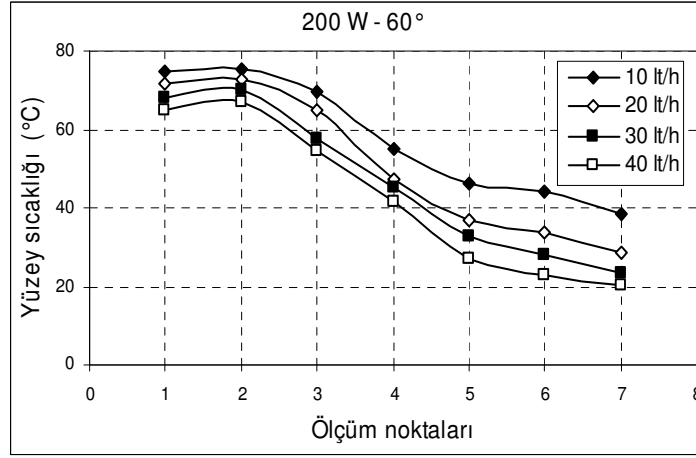
c

Şekil 4.5. Çalışma akışkanı su için 800 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.

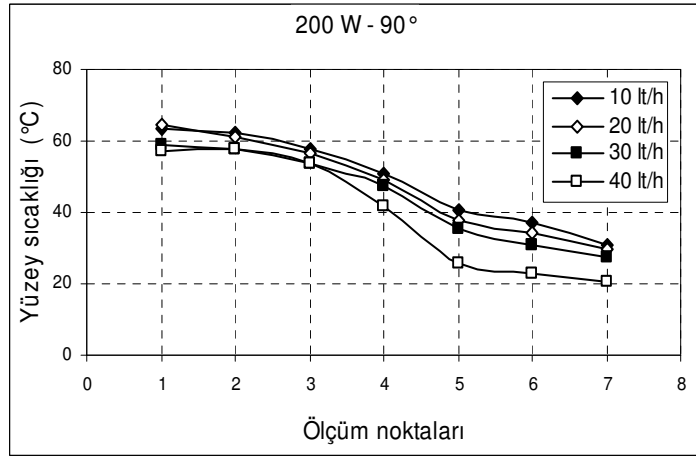
Şekil 4.6 - 4.9'da çalışma akışkanı olarak ispiroto kullanıldığında, 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde; 30°, 60° ve 90° eğim açılarında; 10, 20, 30 ve 40 lt/h soğutma suyu debilerinde ölçülen ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, çalışma akışkanı olarak su yerine ispiroto kullanıldığında, ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımı daha kararsız bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durumun, ispirotonun buharlaşma sıcaklığının suya göre daha düşük olmasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. 200 W ısı yükünde 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesinin sıcaklık dağılımı ortalama 69 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 73 °C olarak ölçülmüştür. Aynı değerlerdeki evaporatör bölgesi sıcaklık dağılımı 90° eğim açısında, ortalama 61 °C ve 56 °C olarak gözlemlenmiştir. Evaporatör bölgesi yüzey sıcaklık dağılımı suya göre daha düşük olurken, su kullanıldığında soğutma suyu debisi arttıkça yüzey sıcaklığı azalırken, ispiroto kullanıldığında tam tersi durum gerçekleşmektedir. Kondenser bölgesi sıcaklık dağılımı ise, 200 W ısı yükünde, 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde ortalama 30 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 23 °C olmuştur. Aynı değerlerdeki kondenser bölgesi sıcaklık dağılımı 90° eğim açısında, ortalama 36 °C ve 23 °C olarak gözlemlenmiştir. Bu değerler su için ölçülen değerlere yakın değerler olmuştur. Ölçülen bu değerlere göre, ısı borusu eğim açısı arttıkça kondenser bölgesine iletilen ısı enerjisinin, suda olduğu gibi ispirotoya arttığı gözlemlenmiştir.



a



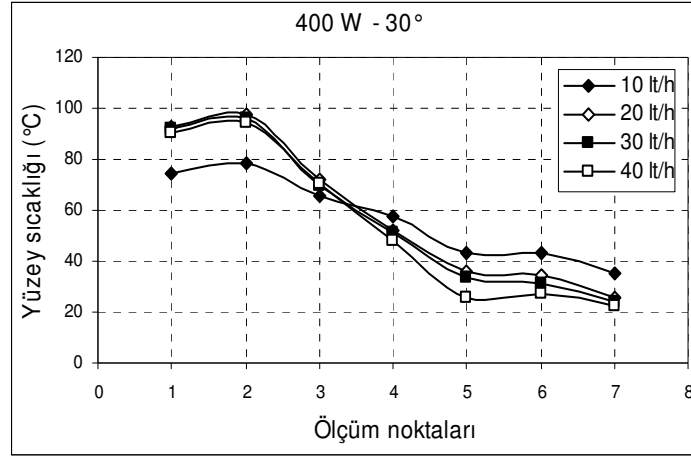
b



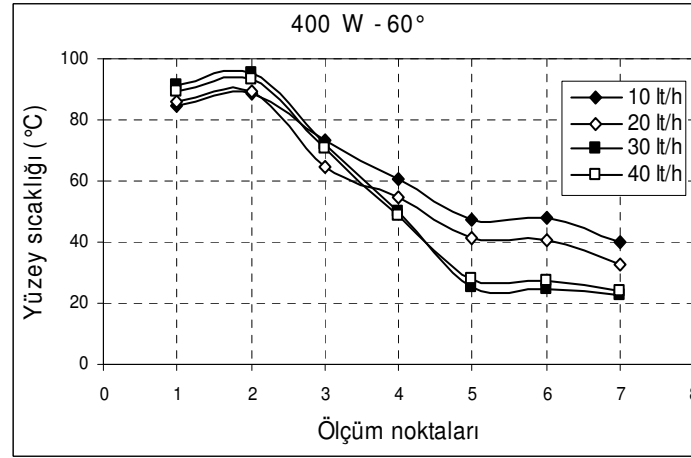
c

Şekil 4.6. Çalışma akışkanı ispirto için 200 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.

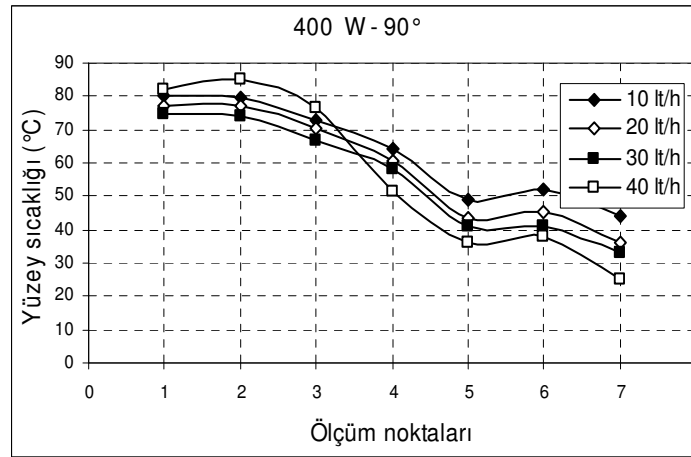




a

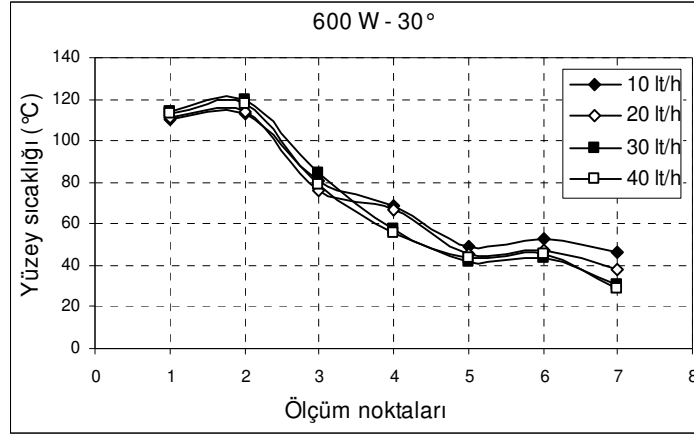


b

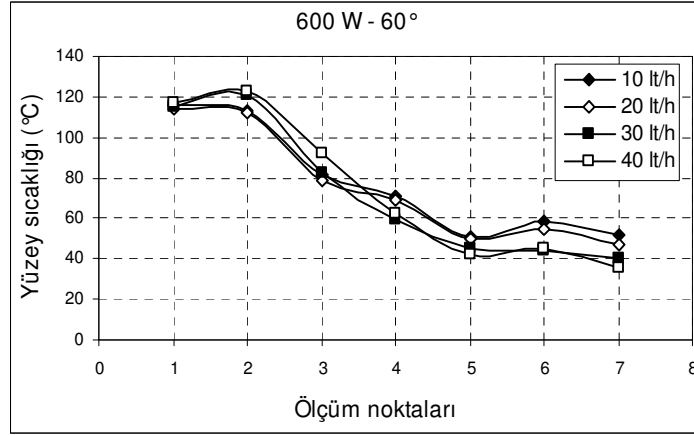


c

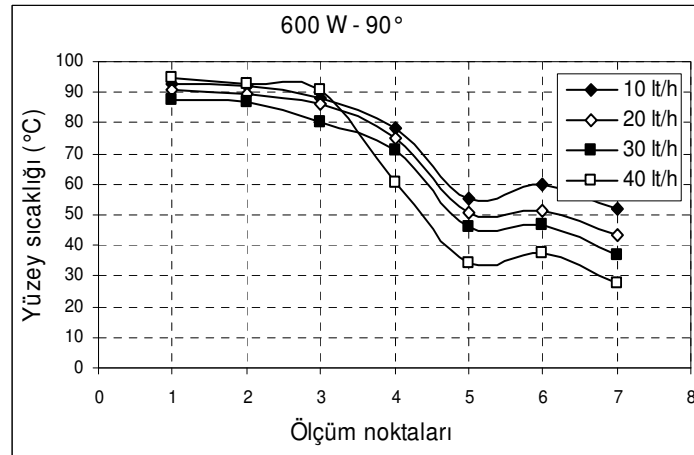
Şekil 4.7. Çalışma akışkanı ispirto için 400 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a

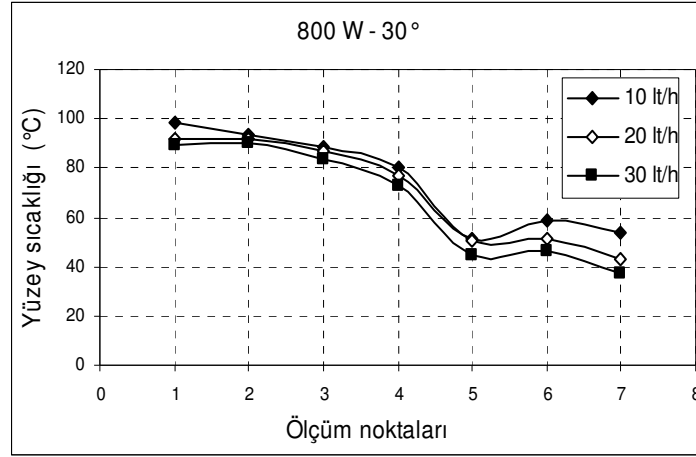


b

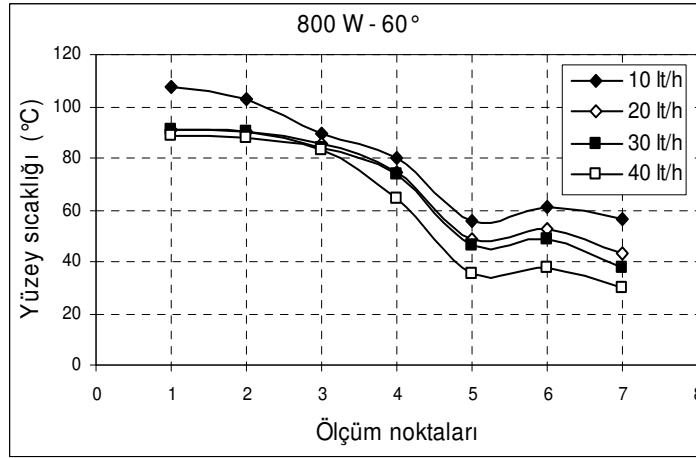


c

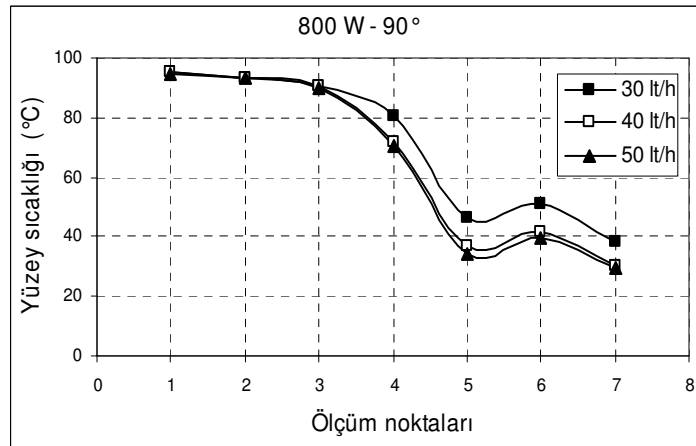
Şekil 4.8. Çalışma akışkanı ispirto için 600 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a



b

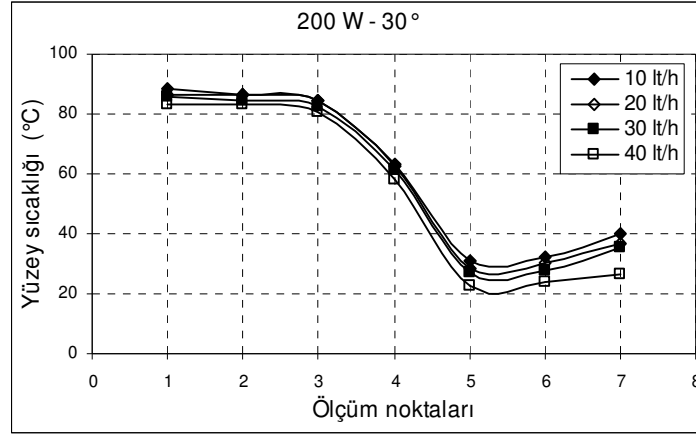


c

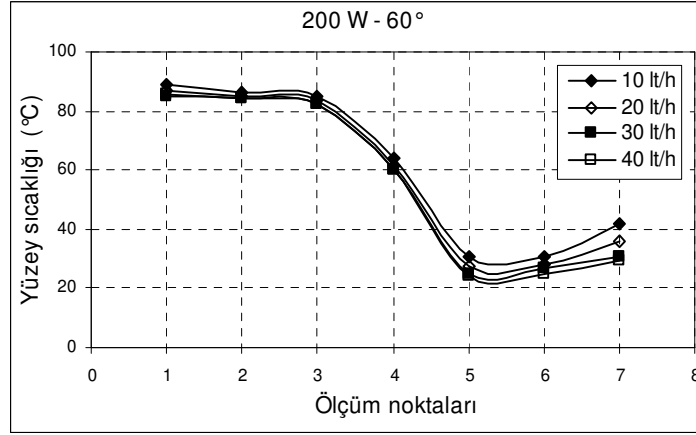
Şekil 4.9. Çalışma akışkanı ispirto için 800 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.

Şekil 4.10 - 4.13'de ise çalışma akışkanı olarak antifriz kullanıldığında, 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde; 30°, 60° ve 90° eğim açılarında; 10, 20, 30 ve 40 lt/h soğutma suyu debilerinde ölçülen ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları görülmektedir. Su, ispirto ve antifriz için verilen ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımlarını gösteren şekiller karşılaştırıldığında çalışma akışkanı olarak antifriz kullanıldığında daha kararlı bir sıcaklık dağılımı elde edildiği görülmektedir. Bu durumun antifrizin iyi bir ısı taşıyan akışkan olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. 200 W ısı yükünde 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesinin sıcaklık dağılımı ortalama 87 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 82 °C olarak ölçülmüştür. Aynı değerlerdeki evaporatör bölgesi sıcaklık dağılımı 90° eğim açısında, ortalama 90 °C ve 85 °C olarak gözlemlenmiştir. Evaporatör bölgesi yüzey sıcaklık dağılımı suya ve ispirtoya göre daha yüksek olurken, suda olduğu gibi soğutma suyu debisi arttıkça yüzey sıcaklığı azalmıştır. Kondenser bölgesi sıcaklık dağılımı ise, 200 W ısı yükünde, 30° eğim açısında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde ortalama 35 °C olurken, aynı değer 40 lt/h su debisinde 25 °C olmuştur. Aynı değerlerdeki kondenser bölgesi sıcaklık dağılımı 90° eğim açısında, ortalama 33 °C ve 25 °C olarak gözlemlenmiştir. Ölçülen bu değerlere göre, ısı borusu eğim açısı arttıkça kondenser bölgesine iletilen ısı enerjisinin, suda ve ispirtoya olduğu gibi antifrizde de arttığı gözlemlenmiştir.

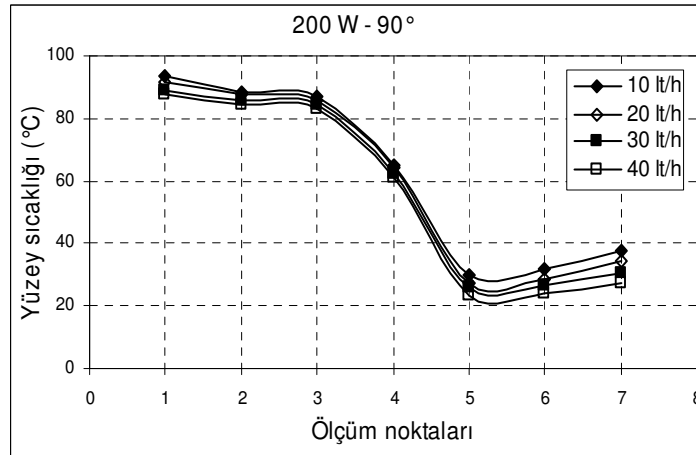
Şekillerden de görüldüğü gibi; çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında, 800 W ısı yükünde yüzey sıcaklıkları her bir su debisinde birbirine yakın olurken, 200, 400 ve 600 W ısı yükü değerlerinde aynı kararlılık gözlenememiştir. 200 W ısı yükünde, çalışma akışkanı saf su için evaporatör bölgesi yüzey sıcaklığının ortalama değeri 75 °C olurken, antifriz için bu değer 85 °C olmuştur. Isı yükü 800 W olduğunda ise aynı değerler, saf su için 138 °C, antifriz için ise 150 °C civarında olmuştur. Kondenser bölgesi yüzey sıcaklığı ise 200 W ısı yükünde saf su için ortalama 25 °C dolayında olurken, antifriz için 30 °C dolayında olmuştur. Aynı değerler 800 W ısı yükünde ise, saf su için 35 °C olurken, antifriz için 40 °C dolayında olmuştur. Bu değerler dikkate alındığında aynı ısı yüklerinde çalışma akışkanı saf su yerine antifriz kullanıldığında evaporatör ve kondenser bölgesi yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



a

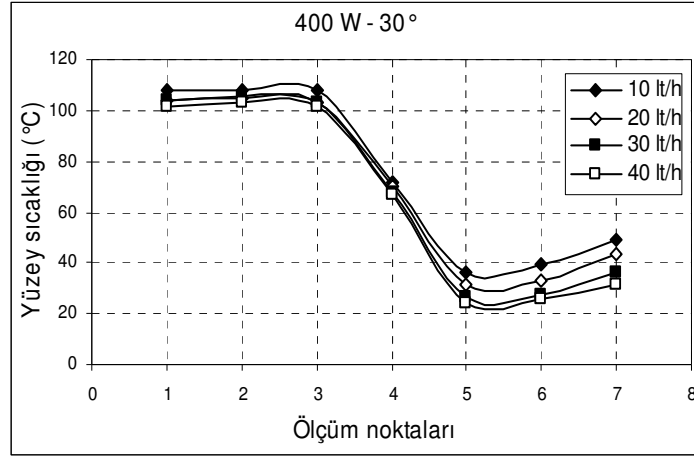


b

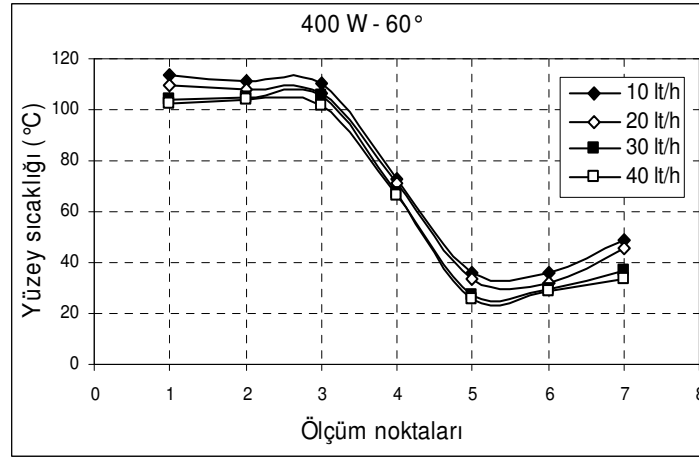


c

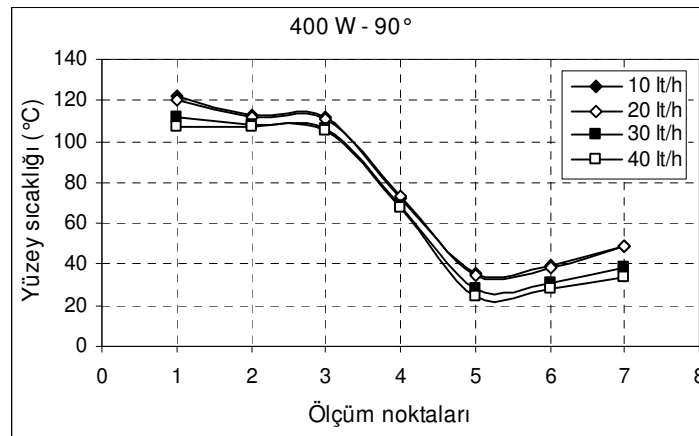
Şekil 4.10. Çalışma akışkanı antifriz için 200 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a

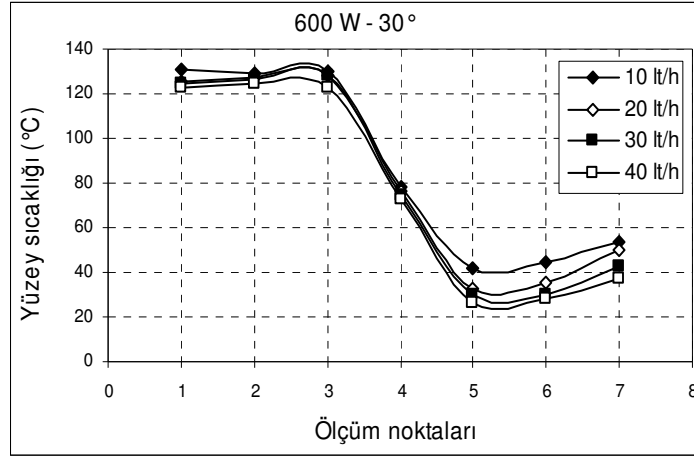


b

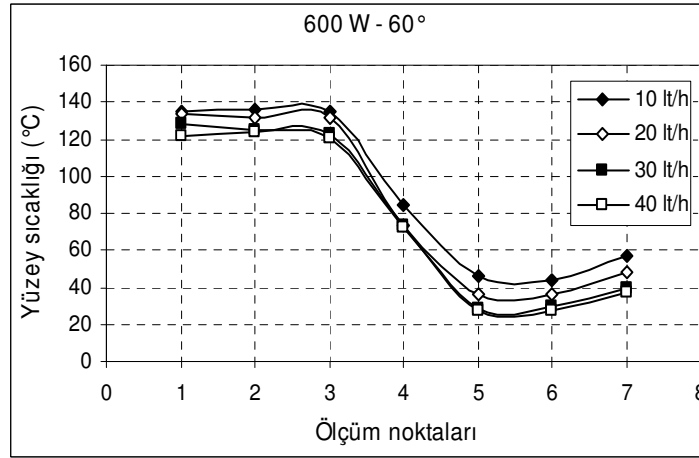


c

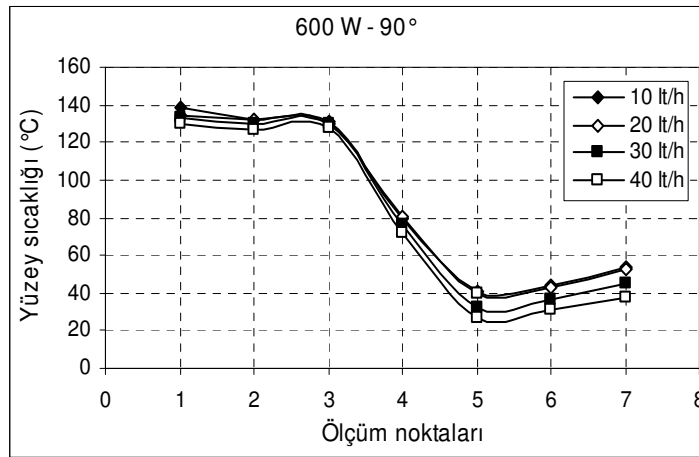
Şekil 4.11. Çalışma akışkanı antifriz için 400 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a

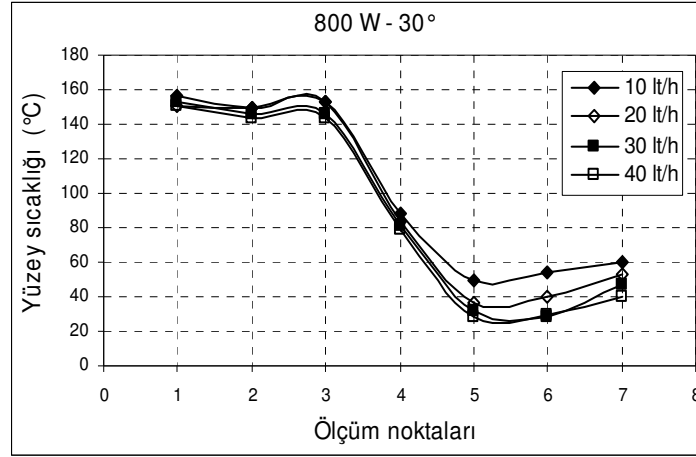


b

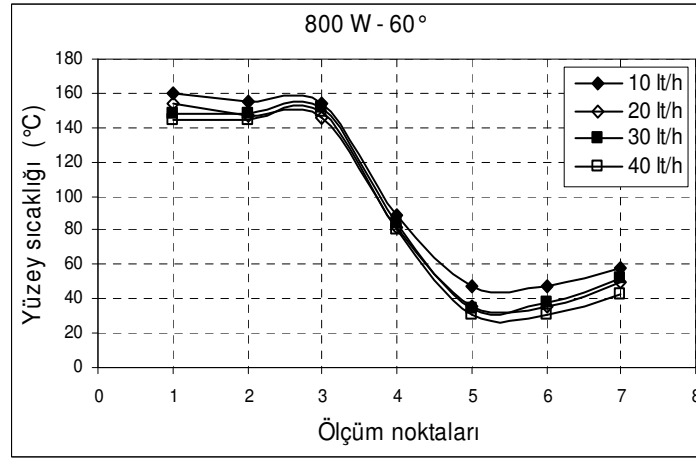


c

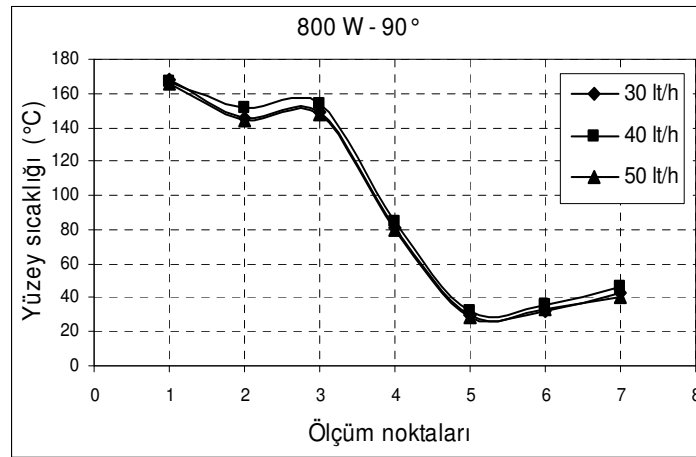
Şekil 4.12. Çalışma akışkanı antifriz için 600 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



a



b

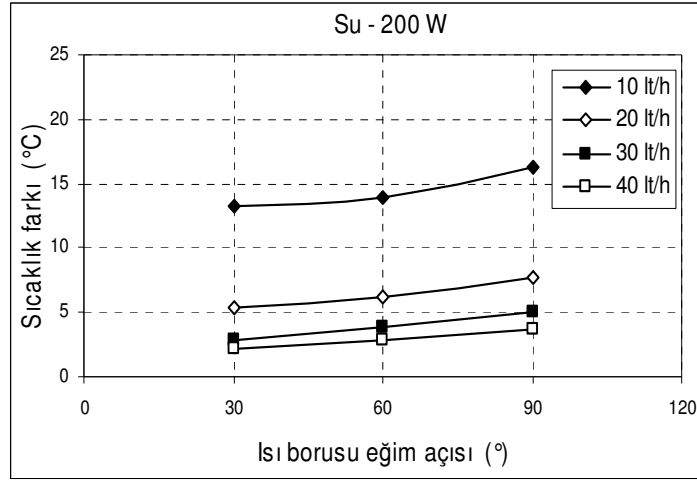


c

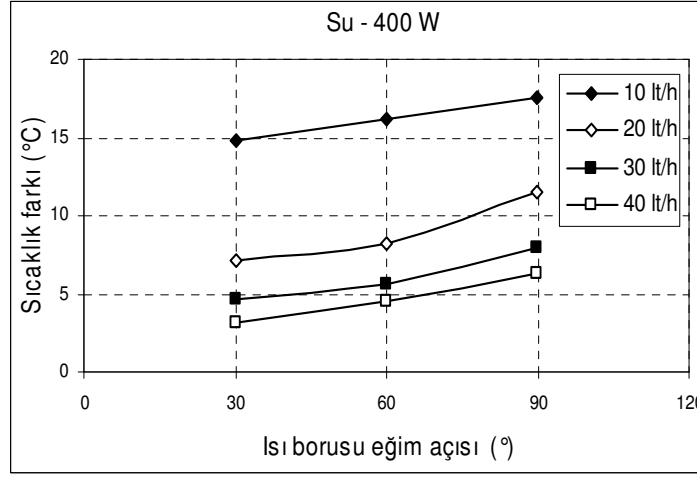
Şekil 4.13. Çalışma akışkanı antifriz için 800 W ısı yükünde a. 30°, b. 60° ve c. 90° eğim açılarında ısı borusu yüzey sıcaklık dağılımları.



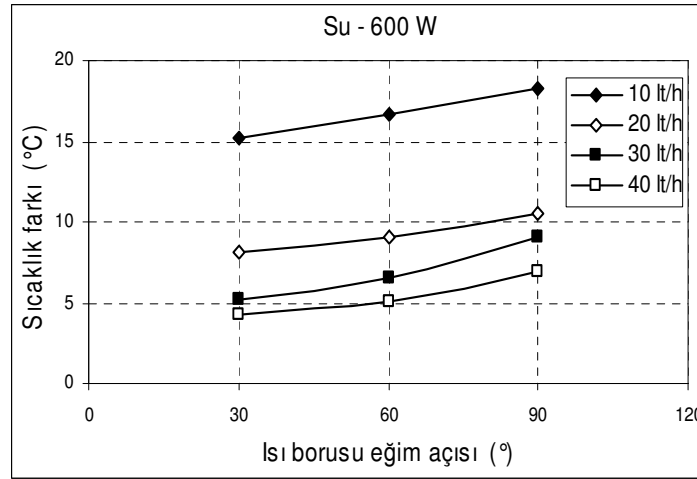
Şekil 4.14’de çalışma akışkanı su, Şekil 4.15’de ispirto ve Şekil 4.16’da antifriz için 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde 30°, 60° ve 90° eğim açılarında, dört farklı soğutma suyu debisinde ölçülen sıcaklık farkı değerleri görülmektedir. Isı borusu eğim açısı arttıkça, yerçekimi kuvvetinin etkisi arttığından dolayı ölçülen soğutma suyu sıcaklık farkı da artmıştır. Çalışma akışkanı su için evaporatör bölgesine 200 W ısı yükü uygulandığında, 10 lt/h su debisinde, 30° eğim açısında sıcaklık farkı 13.2 °C ölçülürken, aynı değer 60° ve 90° eğim açılarında 13.9 °C ve 16.2 °C olarak ölçülmüştür. İspirto için aynı değerlerde, 9.6, 11.1 ve 13.1 °C olarak ölçülürken, antifriz için ise 11.7 °C; 12.5 °C ve 14.5 °C olarak ölçülmüştür. Aynı ısı yükünde soğutma suyu debisi 40 lt/h olduğundaki sıcaklık farkı çalışma akışkanı su için 30° eğim açısında, 2.1 °C; 60° eğim açısında 2.8 °C; 90° eğim açısında ise 3.7 °C olarak ölçülmüştür. Aynı değerlerde ispirto için ölçülen sıcaklık değerleri, 2.3, 2.6 ve 3.1 °C olarak ölçülürken, antifriz için ise 2.3, 2.8 ve 3.5 °C olarak ölçülmüştür. Evaporatör bölgesine uygulanan ısı yükü 800 W olduğunda ise 10 lt/h su debisinde çalışma akışkanı su için 30° eğim açısında sıcaklık farkı 17 °C ölçülürken, aynı değer 60° eğim açısında 20 °C olarak ölçülmüştür. Aynı değerlerde ispirto için ölçülen sıcaklık değerleri, 32.5 ve 35.3 °C olarak ölçülürken, antifriz için ise 18 ve 21.7 °C olarak ölçülmüştür. Aynı ısı yükünde soğutma suyu debisi 40 lt/h olduğundaki sıcaklık farkı, su için 30° eğim açısında, 4.8 °C; 60° eğim açısında 6.2 °C; 90° eğim açısında ise 7.3 olarak ölçülmüştür. Aynı değerlerde ispirto için ölçülen sıcaklık değerleri, 6.8, 7 ve 7.8 °C olarak ölçülürken, antifriz için ise 5.7, 6.3 ve 7.1 °C olarak ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık farkı değerlerinden de görülebileceği gibi düşük ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde saf su daha iyi çalışma akışkanı, düşük ısı yüklerinde ve yüksek soğutma suyu debilerinde antifriz daha iyi çalışma akışkanı olurken, yüksek ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde ispirto daha iyi çalışma akışkanı olmuştur.



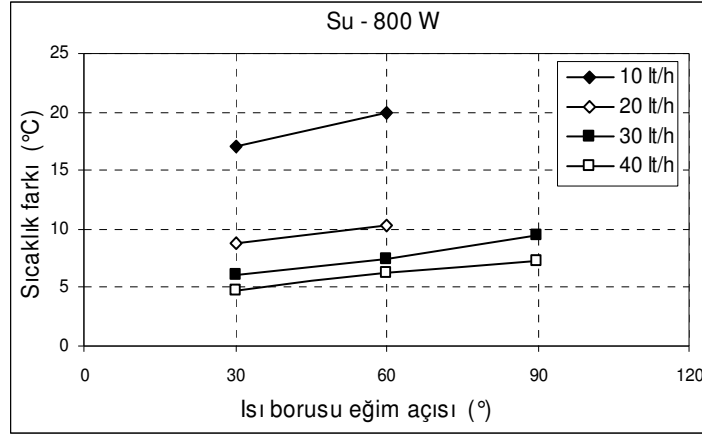
a



b

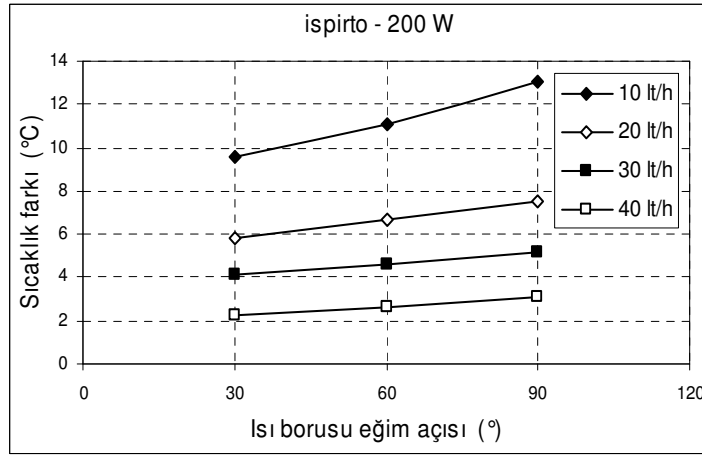


c

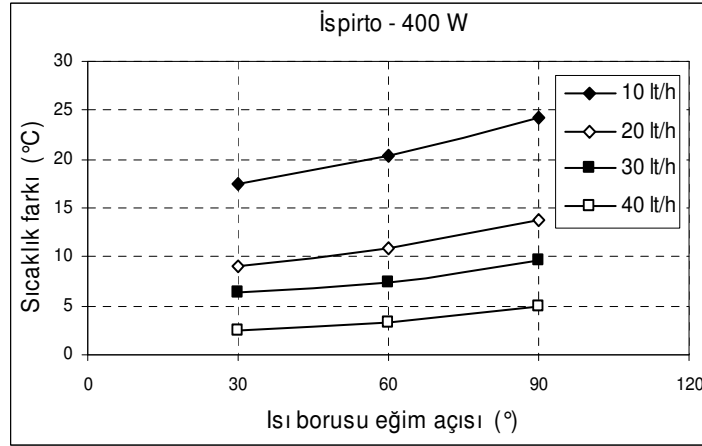


d

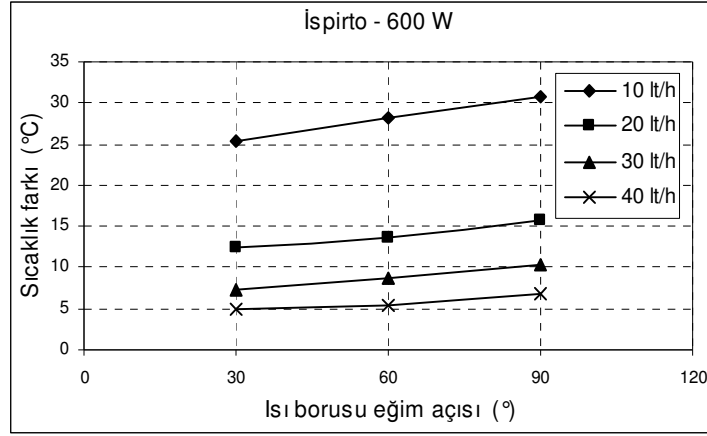
Şekil 4.14. Çalışma akışkanı su için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları.



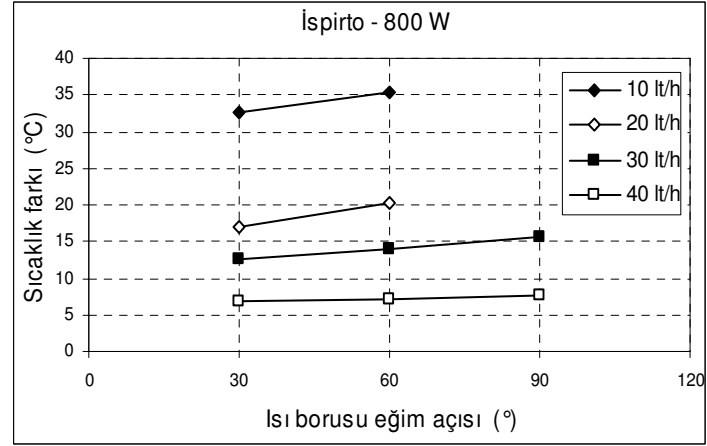
a



b

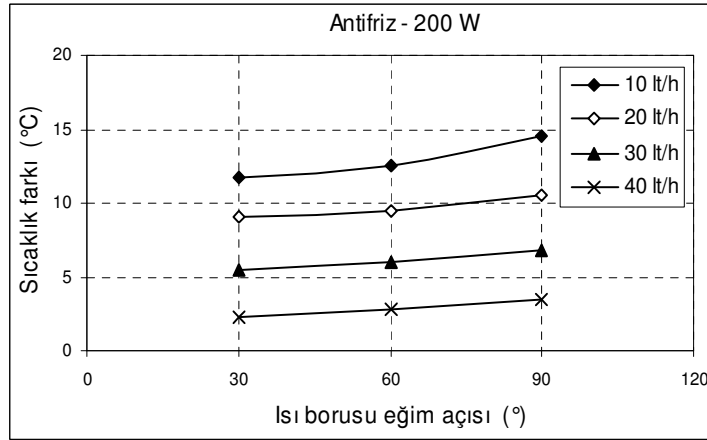


c

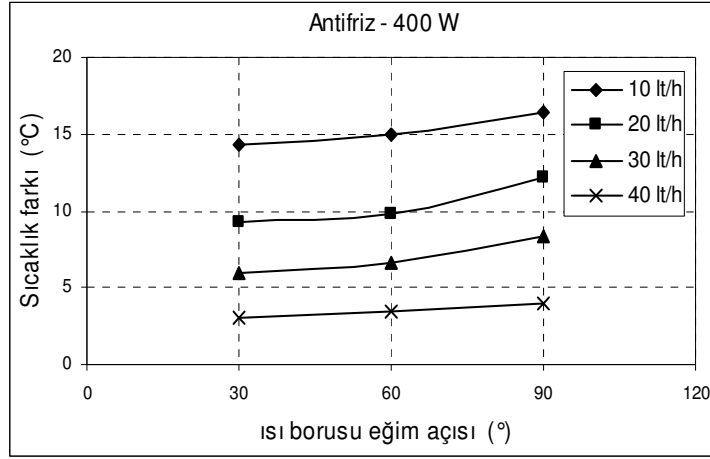


d

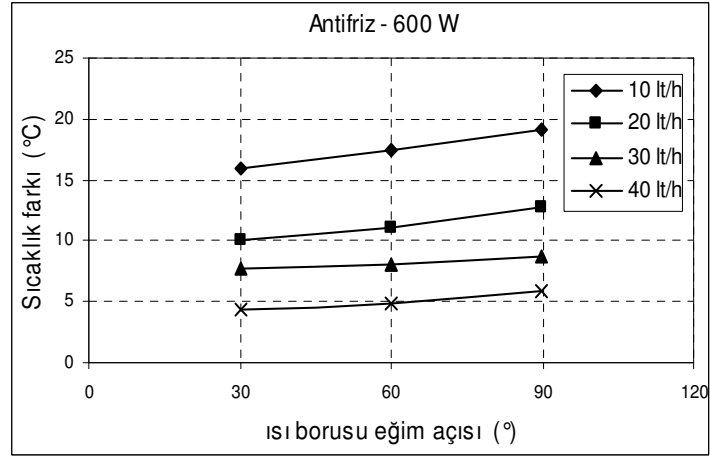
Şekil 4.15. Çalışma akışkanı ispirto için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları.



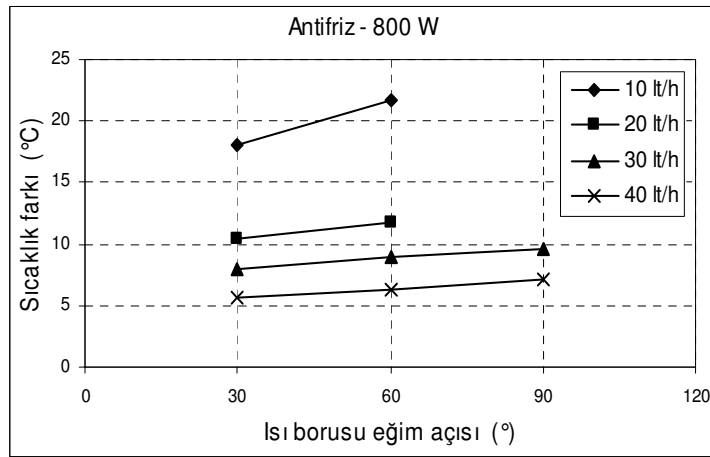
a



b



c



d

Şekil 4.16. Çalışma akışkanı antifriz için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yükünde soğutma suyu sıcaklık farkları.

Isı borusu kondenser bölgesinden soğutma suyu ile çekilen ısı enerjisi,

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T_{su} \quad (4.1)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemden,  $\dot{m}$ ; soğutma suyu debisini (kg/s),  $C_p$ ; suyun özgül ısısını (J/kgK),  $\Delta T_{su}$ ; soğutma suyu çıkış sıcaklığı ile giriş sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir.

Yapılan deneylerde ölçülen soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak her bir ısı yükünde, soğutma suyu debisinde ve ısı borusu eğim açısında kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aşağıda denklem (4.1) kullanılarak yapılan hesaplamalara ait örnekler gösterilmiştir.

200 W ısı yükünde, 10 l/h (0,002778 kg/s) soğutma suyu debisinde ve 30°, 60°, 90° eğim açılarında ısı borusu kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisi,

30° eğim açısı için;

$$\dot{Q} = 0.002778 \cdot 4187 \cdot 13.2$$

$$\dot{Q} = 153.523 \text{ W}$$

60° eğim açısı için;

$$\dot{Q} = 0.002778 \cdot 4187 \cdot 13.9$$

$$\dot{Q} = 161.664 \text{ W}$$

90° eğim açısı için;

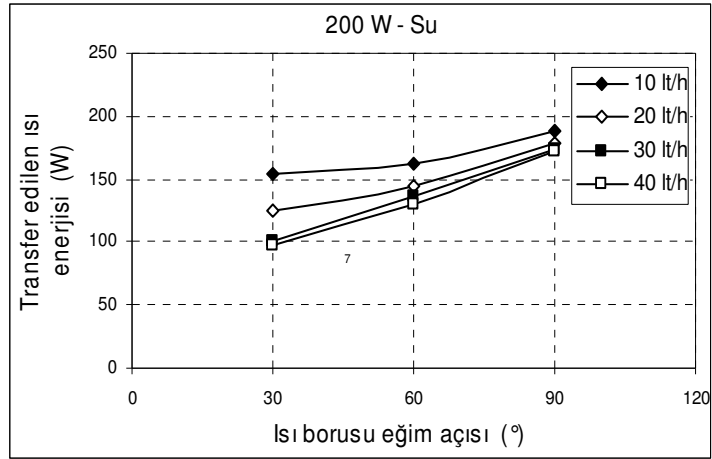
$$\dot{Q} = 0.002778 \cdot 4187 \cdot 16.2$$

$$\dot{Q} = 188.415 \text{ W}$$

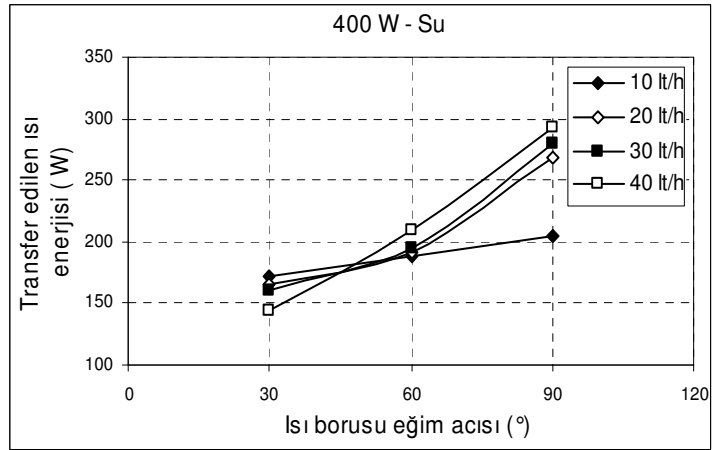
olarak bulunmuştur. Hesaplamalarda sıcaklık farkı ortalama olarak 15 °C olarak kabul edilmiş ve suyun özgül ısısı,  $C_p = 4187 \text{ J/kgK}$  olarak alınmıştır.

Şekil 4.17’de çalışma akışkanı su, Şekil 4.18’de ispirto ve Şekil 4.19’da antifriz için 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde 30°, 60° ve 90° eğim açılarında, dört farklı soğutma suyu debisinde ısı borusu kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisi

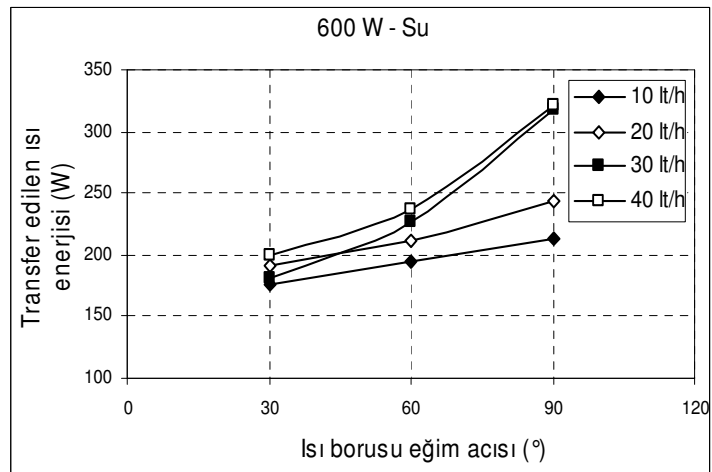
değerleri görülmektedir. Isı borusu eğim açısı arttıkça, yerçekimi kuvvetinin etkisi arttığından dolayı transfer edilen ısı enerjisi miktarı da artmıştır. Isı borusunda çalışma akışkanı olarak su kullanıldığında, evaporatör bölgesine 200 W ısı yükü uygulandığında, 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde kondenser bölgesinden 153.52, 161.66 ve 188.42 W; su yerine ispiroto kullanıldığında 111.65, 129.1 ve 152.36 W; antifriz kullanıldığında ise 136.1, 145.38, 168.64 W ısı transferi gerçekleşmiştir. Aynı değerlerde, soğutma suyu debisi 40 lt/h olduğunda transfer edilen ısı enerjisi miktarı ise su için 97.7, 130.26, 172.13 W; ispiroto için 107, 120.96, 144.22 W; antifriz için 107, 130.26, 162.83 W olmuştur. Isı yükü 400 W olduğunda, su için 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde kondenser bölgesinden 172.13, 188.42, 204.7 W; ispiroto için 202.37, 237.26, 282.63 W; antifriz için ise 166.32, 174.46, 190.74 W ısı transferi gerçekleşmiştir. Aynı değerlerde, soğutma suyu debisi 40 lt/h olduğunda transfer edilen ısı enerjisi miktarı ise su için 144.22, 209.35, 293.1 W; ispiroto için 116.3, 148.87, 227.96 W; antifriz için 144.22, 162.83, 186.1 W olmuştur. Isı yükü 600 W'a çıkarıldığında, su için 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde, 176.78, 194.23, 212.84 W; su yerine ispiroto kullanıldığında 294.26, 329.14, 357.1 W; antifriz için ise 186.1, 202.37, 223.3 W ısı transferi gerçekleşmiştir. Aynı değerlerde, soğutma suyu debisi 40 lt/h olduğunda transfer edilen ısı enerjisi miktarı ise su için 200, 237.26, 321 W; ispiroto için 232.61, 246.57, 311.7 W; antifriz için 204.7, 227.96, 274.48 W olmuştur. Isı yükü 800 W'a çıkarıldığında ise, su için 30° ve 60° eğim açılarında ve 10 lt/h soğutma suyu debisinde, 197.72, 232.61 W; ispiroto için 377.99, 410.56 W; antifriz için ise 209.35, 252.38 W ısı transferi gerçekleşmiştir. 800 W ısı yükünde, su için 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 40 lt/h soğutma suyu debisinde, 223.3, 288.44, 339.61 W; ispiroto için 316.35, 325.66, 339.61 W; antifriz için 265.18, 293.1, 330.3 W ısı transferi gerçekleşmiştir. Hesaplanan ısı transferi değerlerinden de görülebileceği gibi düşük ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde saf su daha iyi çalışma akışkanı, düşük ısı yüklerinde ve yüksek soğutma suyu debilerinde antifriz daha iyi çalışma akışkanı olurken, yüksek ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde ispiroto daha iyi çalışma akışkanı olmuştur.



a

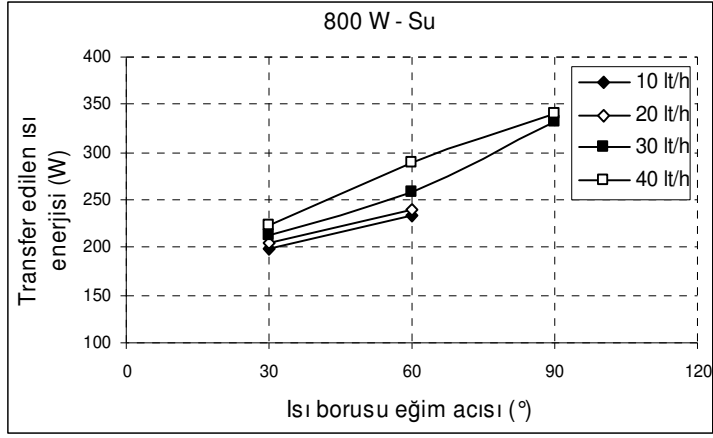


b



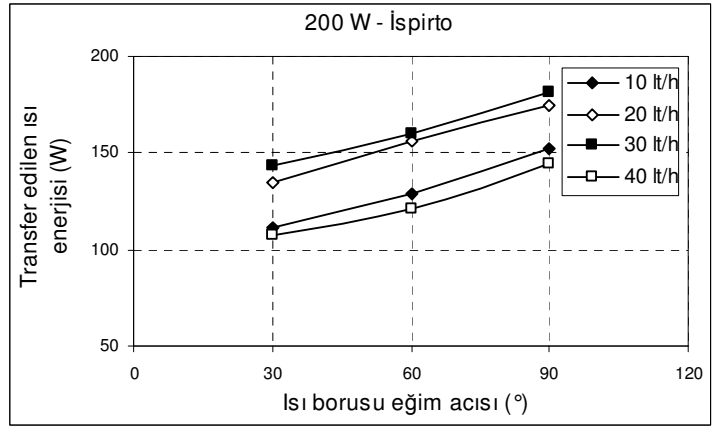
c



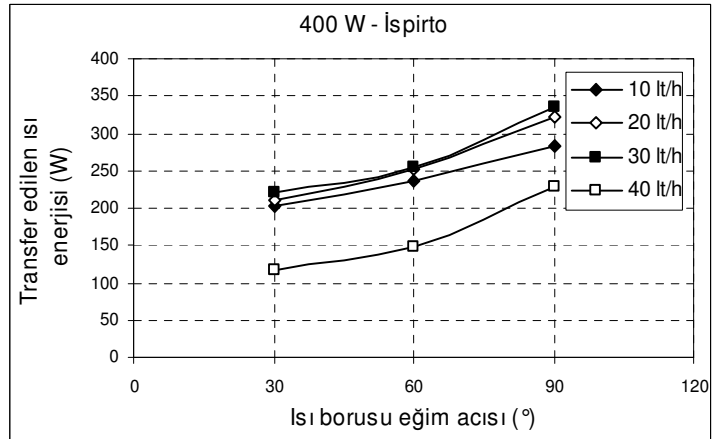


d

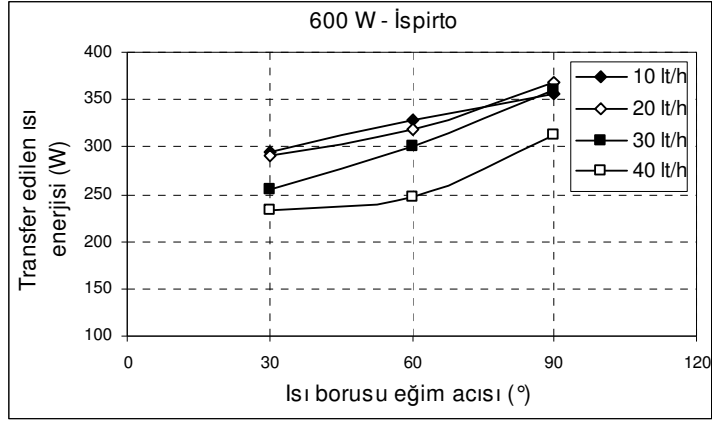
Şekil 4.17. Çalışma akışkanı su için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı.



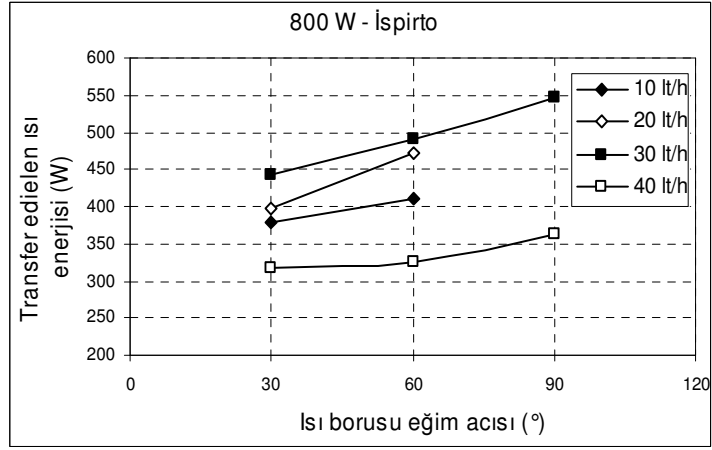
a



b

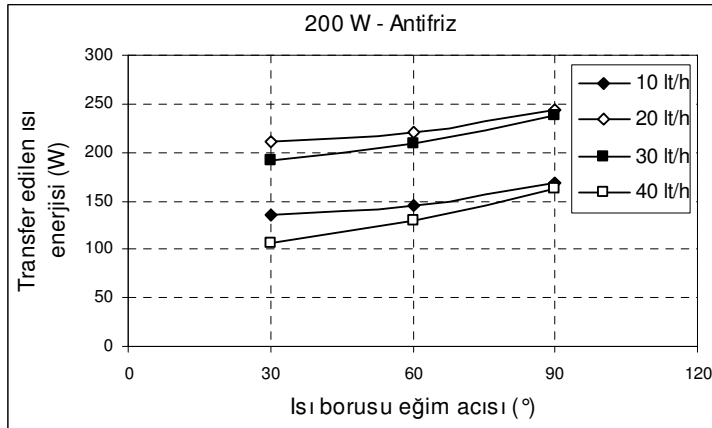


c

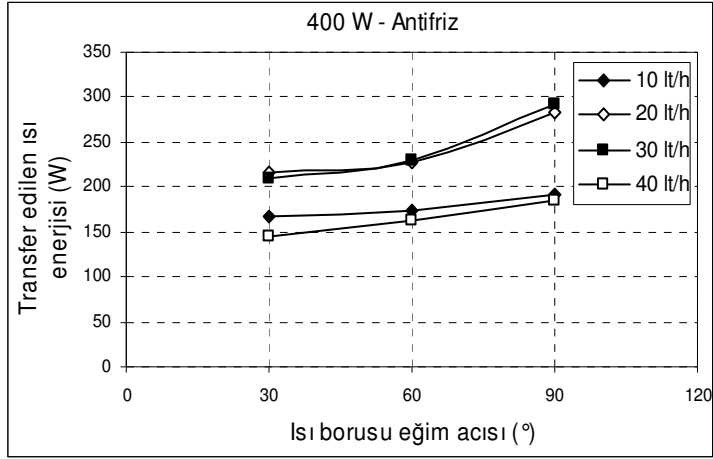


d

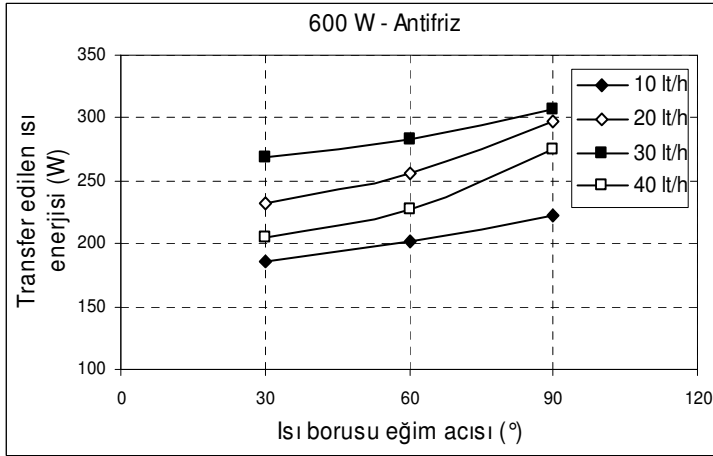
Şekil 4.18. Çalışma akışkanı ispirto için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı.



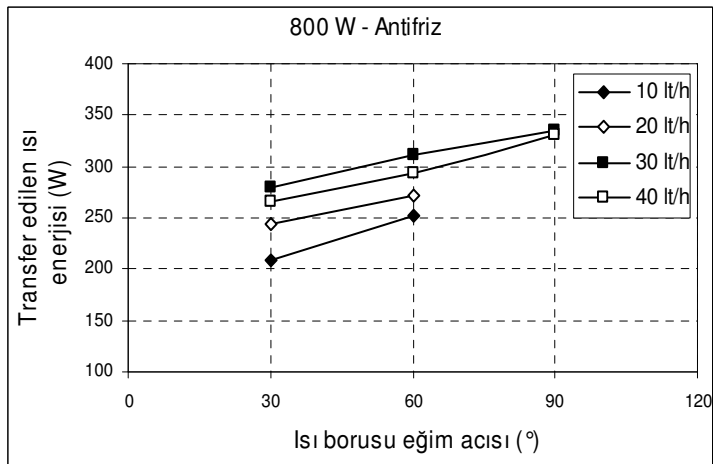
a



b



c



d

Şekil 4.19. Çalışma akışkanı antifriz için; a. 200 W, b. 400 W, c. 600 W ve d. 800 W ısı yüklerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarı.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çalışma akışkanı saf su, ispirto ve antifriz için 200, 400, 600 ile 800 W ısı yükünde, 30°, 60° ve 90° eğim açılarında, 10, 20, 30 ve 40 lt/h soğutma suyu debilerinde, yerçekimi destekli ısı borusu (termosifon) yüzey sıcaklık dağılımı, kondenser bölgesinden ısı çeken soğutma suyu sıcaklık farkı ve kondenser bölgesinden transfer edilen ısı enerjisi miktarı deneysel olarak gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, ısı borusu eğim açısı 90° iken kondenser bölgesinden ısı çeken soğutma suyu sıcaklık farkının ve transfer edilen ısı enerjisi miktarının diğer eğim açılara göre daha büyük olduğu görülmüştür. Düşük debi ve ısı yüklerinde saf su için daha büyük sıcaklık farkı elde edilirken, düşük ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde çalışma akışkanı antifriz için daha büyük sıcaklık farkı ve ısı transferi elde edilmiştir. Yüksek ısı yüklerinde ve düşük soğutma suyu debilerinde ise çalışma akışkanı ispirto için daha yüksek sıcaklık farkı ve ısı transferi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, düşük atık ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı amaçlı ısı borusu uygulamalarında, ısı borusunun ısıl performansı bakımından düşük soğutma suyu debisinde çalışma akışkanı olarak saf su daha etkin olurken, daha büyük debilerde antifrizin daha etkin çalışma akışkanı olduğu, yüksek atık ısı kaynaklarından ısı geri kazanımında ise çalışma akışkanı olarak ispirto kullanılmasının saf su ve antifrize göre daha etkin olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ısı borusu ile ısı geri kazanımının gerçek ortamlarda uygulamasının yapılacağı bundan sonraki çalışmalara katkı sağlayacağını ümit ediyorum.

## KAYNAKLAR

Abou-Ziyan, H.Z., Helali, A., Fatouh, M., Abo El-Nasr, M.M., “Performance of a stationary and vibrated thermosyphon working with water and R-134A”, *Applied Thermal Engineering*, 21: 813–830 (2001).

Boran, K., Ersöz, M.A., “Investigation of recovery of waste heat of chimney gases by heat pipe system”, *Teknoloji*, 3: 227-236 (2006).

Faghri A., “Heat pipe science and technology”, *Taylor and Francis*, London 874-885 (1995).

Güngör A., “İklimlendirmede enerji geri kazanımında ısı borulu ısı değiştiriciler”, *İkinci Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 639–655 (1995).

Habeebullah M.H., Akyurt, M., Najhar, Y.S.H., El-Kalay, A.K., “Experimental performance of a waste heat recovery and utilization system with a looped water-in-steel heat pipe”, *Applied Thermal Engineering*, 18 (7): 595–607 (1997).

Lee, Y., Bedrossian, A., “The characteristics of heat exchangers using heat pipes or thermosyphons”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21: 221–229 (1978).

Lin, T.F., Lin, W.T., Tsay, Y.L., Wu, J.C., “Experimental investigation of geyser boiling in an annular two-phase closed thermosyphon”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38 (2): 295–307 (1995).

Lin S., Broadbent J., McGlen R., , "Numerical study of heat pipe application in heat recovery systems", *Applied Thermal Engineering*, 25: 127-133 (2005).

Mahmoooh, S.L., Akhanda, A.R., “Experimental study on the performance limitation of micro heat pipes of non circular cross sections”, *Thermal Science*, 12: 91-102 (2008).

McDonald, T.W., Dominongez, I.R.M., Li. L., “Two phase thermosyphon run around loop heat exchangers”, Proceedings of the 5. *International Heat Pipe Symposium*, Melbourne, 389-396 (1996).

Noie, S.H., “Investigation of thermal performance of an air to air thermosyphon heat exchanger using e-NTU method”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 559-567 (2006).

Ong, K.S., Haider-E- Alahi, M., “Performance of a R-134A filled thermosyphon”, *Applied Thermal Engineering*, 23: 2373-2381 (2003).

Özsoy, A., Acar M., M., “Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma”, *Tesisat Mühendisliği dergisi*, 90: 13-18 (2005).

Payakaruk, T., Terdtoon, P., Ritthidech, S., “Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions”, *Applied Thermal Energy*, 20: 781–790 (2000).

Rajesh V.G., Ravindran K.P., “Optimum heat pipe design: a nonlinear programming approach”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 24 (3): 371–380 (1997).

Riffat, S.B., Zhu, J., “Mathematical model of indirect evaporative cooler using porous ceramic and heat pipe”, *Applied Thermal Engineering* 24: 457–470 (2004).

Studer, F.A., McDonald, T.W., “Experimental study of a two-phase thermosyphon loop heat exchanger”, *Transactions of Ashrae*, 92(2): 486–493 (1986).

## ÖZGEÇMİŞ

Orhan ŞİMŞAK 1981' de TRABZON' un Vakfıkebir ilçesinde doğdu. İlkokul ve ortaokulunu Şahinli köyü'nde, Çarşıbaşı çok programlı lisesinden mezun olduktan sonra 2000 yılında Ankara Üniversitesi CMYO Endüstriyel Elektronik Bölümünü okudu. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği' ne girdi; 2005 yılında iyi bir derece ile mezun olduktan sonra ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitim Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans programını sürdürmektedir.

### ADRES BİLGİLERİ

Adres: 152 Evler Mahallesi Eğitim Caddesi  
Öztürk Sokak no:27/4  
Yıldırım / BURSA

Tel: 0506 583 46 61  
E-posta: [orhansimsak61@mynet.com](mailto:orhansimsak61@mynet.com)