

**TEK KANALLI ISI BORUSU İLE ÇOK KANALLI  
ISI BORUSU VERİMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**2010  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**Nuri ALT**

**TEK KANALLI ISI BORUSU İLE ÇOK KANALLI ISI BORUSU VERİMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Nuri ALT**

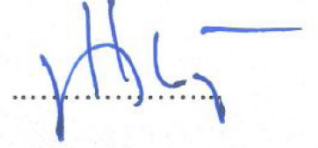
**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK**

**Haziran 2010**

Nuri ALT tarafından hazırlanan “TEK KANALLI ISI BORUSU İLE ÇOK KANALLI ISI BORUSUNUN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK  
Tez Danışmanı Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 23/ 06/ 2010

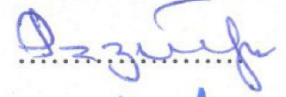
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ (KBÜ)



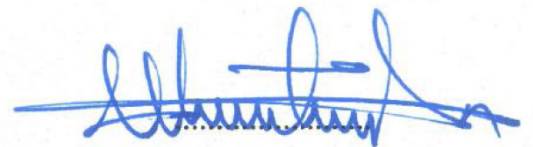
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)



...../...../2009

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, 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.”*

Nuri ALT

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TEK KANALLI ISI BORUSU İLE ÇOK KANALLI ISI BORUSU VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Nuri ALT**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**Haziran 2010, 47 sayfa**

Bu çalışmada kişisel bilgisayarlarda (PC) bulunan mikroişlemcilerin (CPU), çeşitli ısı borusu tipleri ile soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Isı biriktirmeli (heat sink) sistemlerde, biriken ısının sistemden atılmasında kanatlı yüzeylerle soğutma yapıldığından ve kanat verimlerinin düşük olması sebebiyle büyük hacimli yüzeyler gerekmektedir. Üfleyici (fan) sistemlerde elektriksel arıza ihtimali ve gürültü problemi mevcuttur. Kanat yüzeylerinin ısı borusu ile takviye edilmesi durumunda homojen sıcaklık dağılımı ve yüksek kanat verimlerine ulaşılmaktadır. CPU üzerinde meydana gelen ısının yüzeyden uzaklaştırılması, etkili ve güvenli şekilde sağlanmakta, gürültü ve mekanik arıza sorunu ortadan kalkmaktadır.

Yapılan deneylerde, ısı boruları için (tek borulu, çok kanallı borulu düz ve eğimli) üç farklı çalışma sıvısı (R22, R404a ve etanol) kullanılmıştır. Üç farklı ısı borusu tipinin

ve çalışma sıvılarının verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Isı borularından düz tip ısı borusu ve çalışma sıvılarından etanol en verimli akışkan olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Isı borusu, işlemci, soğutma, etanol, R22, R404A

**Bilim Kodu** : 626.11.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF THE SINGLE AND MULTI-CANAL HEAT PIPES**

**Nuri ALT**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor :**

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**June 2010, 47 pages**

In this study, the experiment of the cooling down of microprocessors with the aid of various heat tubes in the personal computers (pc) have been analyzed. In heat sink systems, the sinked heat is thrown away from the system by using winged surface cooling down, therefore since the productivity of the wings is low, large dimensioned surfaces are needed. There is a risk of electrical malfunctioning and noise problem in fan systems. In cases of heat tubes reinforcing the wing surfaces, homogenous heat dispersal and high productivity in wings are gained. The job of banishing the heat away from the surface of CPU is successfully and securely provided, the noise and mechanical malfunctioning problem is prevented.

In the experiments, three different liquids (R22, R404a ve ethanol) were used for the heat tubes (single tube, multi-canal tube, straight and bended tube). Three different

type of tubes and the liquids were compared. The single tube and ethanol has come up with the best results.

**Key Words** : Heat pipe, cpu, cool, etanol, R22, R404A

**Science Code** : 626.11.01



## TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıđım, her aőamada bana yardımcı olan ve destek veren hocam Doç. Dr. Mehmet ŐZKAYMAK 'a deney tesisatının yapımında, problemlerin özűmünde yardımlarını esirgemeyen Őđr. Gör. Dr. Engin ŐZBAŐ' a ve tezin her aőamasında bana yardımcı olan Teknik Őđretmen Bestami MELİK'e en derin űükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. Konunun Önemi .....	1
1.2. Tezin Amacı Ve Kapsamı .....	2
BÖLÜM 2. ....	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Kaynak Araştırması .....	4
2.2. Isı Borusu .....	10
2.2.1. Isı Borusunun Tarihçesi.....	10
2.2.2. Isı Borusunun Tanımı Ve Çalışması.....	11
2.2.3. Isı Borusunun Özellikleri.....	12
2.2.4. Çalışma Akışkanları Ve Özellikleri.....	14
2.2.5. Fitol Yapı.....	17
2.2.6. Dış Koruma.....	17
2.3. Isı Borulu Sistemler.....	18
2.3.1. Dönüş Borulu Sistemler.....	18
2.3.2. Tek Isı Borulu Sistemler.....	19
2.4. Soğutucu Akışkanlar .....	20

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.4.1. Soğutucu Akışkanlarda Aranılan Özellikler .....	23
2.4.2. Deneyde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar.....	24
2.5. Bakır Borular .....	25
2.5.1. Bakır Boru Kullanım Alanları .....	25
2.5.2. Bakır Boru Kullanım Avantajları .....	25
BÖLÜM 3. ....	28
MATERYAL VE YÖNTEM .....	28
3.1. Isı Borusu İmalatı .....	28
3.1.1. Düz Tip Isı Borusu.....	28
3.1.2. Çok Kanallı Düz Tip Isı Boruları .....	29
3.1.3. Çok Kanallı Eğik Tip Isı Boruları .....	30
BÖLÜM 4. ....	31
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER .....	31
4.1. Deney Sahası .....	31
4.2. Deney Sonuçları .....	32
BÖLÜM 5. ....	44
SONUÇ VE TARTIŞMA .....	44
KAYNAKLAR .....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Isı borulu sistemin kesit görünüşü. ....	6
Şekil 2.2.	Etanolle çalışan, ısı borulu, güneşli su ısıtıcısı. ....	8
Şekil 2.3.	Sıcaklık ölçüm noktalarıyla birlikte gösterilen deney seti. ....	9
Şekil 2.4.	Soğutucu akışkanlarla çalışan güneş kolektörü. ....	10
Şekil 2.5.	Isı borusu. ....	11
Şekil 2.6.	Yerçekimi tesirli ısı borusu. ....	12
Şekil 2.7.	Isı borusunun yapı elemanları ....	13
Şekil 2.8.	Dönüş borulu sistemler ....	18
Şekil 2.9.	Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11’li sistem. ....	19
Şekil 2.10.	Tek ısı borulu sistem. ....	19
Şekil 3.1.	Düz Tip Isı Boruları ....	29
Şekil 3.2.	Çok Kanallı Düz Tip Isı Boruları ....	30
Şekil 3.3.	Çok Kanallı Eğik Tip Isı Boruları. ....	30
Şekil 4.1.	Sıcaklık Ölçüm Cihazı ....	31
Şekil 4.2.	Verilerin Kaydedildiği Bilgisayar. ....	32
Şekil 4.3.	Isı Borusuz CPU Sıcaklık Grafiği ....	33
Şekil 4.4.	Isı Borusu Olmadan Deneyin Yapılışı ....	33
Şekil 4.5.	R22 Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği ....	34
Şekil 4.6.	Etanol Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği ....	34
Şekil 4.7.	R404a Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği ....	35
Şekil 4.8.	Düz Tip Isı Borusunun Deneyi ....	35
Şekil 4.9.	R404a Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği. ....	36
Şekil 4.10.	R22 Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği. ....	37
Şekil 4.11.	Etanol Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği. ....	37
Şekil 4.12.	Çok Kanallı Düz Tip Isı Borusunun Deneyi. ....	38
Şekil 4.13.	R404a Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği. ....	39
Şekil 4.14.	R22 Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği. ....	39

## **Sayfa**

Şekil 4.15. Etanol Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği .....	40
Şekil 4.16. Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borusunun Deneyi.....	40
Şekil 4.17. Deney Sisteminin Genel Görünüşü.....	41
Şekil 4.18. Cebri Soğutmanın CPU Sıcaklık Grafiği.....	41
Şekil 4.19. R22-R404A Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği .....	42
Şekil 4.20. R22-R404A Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.....	42
Şekil 4.21. R22-R404A Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Isı Borusunun çalışma sıvıları ve özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. Isı borusu malzemeleri ile çalışma akışkanlarının uyumluluk verileri...	16
Çizelge 2.3. Başlıca Saf Soğutucu Maddeler. ....	22
Çizelge 2.4. Karışım İle Elde Edilmiş Başlıca Soğutucu Maddeler. ....	23
Çizelge 2.5. Isı Borusu Çalışma Sıvısı Etanolun Bazı Sıcaklıklarda Özellikleri .....	25

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

### 1.1. KONUNUN ÖNEMİ

Bilgisayar piyasası her geçen gün büyük bir hızla büyümektedir. Bilgisayar, artık herkesin kullanmak zorunda kaldığı, insanlara büyük kolaylıklar sağlayan bir araç haline gelmiştir. Üniversitelerde, internet kullanımı ile kütüphanelere gidilmeden makale, yayın, kitap... vs. tarama işlerinde, insanların kendi meslek alanları ile ilgili tüm problemlerin çözümünde ve benzeri birçok alanda kullanılan bilgisayarların tasarımı ve imalatı büyük önem kazanmaktadır. Bilgisayar tasarlanırken hem ekonomik hem de fonksiyonel üretir olması göz önünde tutulur. CPU'lar 50 W ile 100 W arasında ısı üretir. CPU'ların doğru ve uygun şekilde görev yapabilmeleri için meydana gelen ısının uzaklaştırılması, yüzeyin soğutulması gerekir. Bilgisayar elemanlarının gittikçe küçülmesi ve güçlerinin artması, bu işlemi daha önemli ve daha zor hale getirmektedir. CPU'nun yüzeyindeki yüksek ısı birikiminin uzaklaştırılması için geleneksel olarak kullanılan soğutucu blok (heat sink) yeterli olamamaktadır. Bu yüzden CPU'ların soğutulmasında değişik yöntemler geliştirilmeye başlamıştır. Bu çalışmada, klasik olarak fan/soğutucu ile soğutulan mikroişlemcilerin, aynı soğutma şartlarını sağlayan daha uygun ve ekonomik bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Burada CPU, fan/soğutucu yerine sadece ısı boruları ile soğutulmuştur.

Isı borusu, içerisinde az miktarda çalışma sıvısı bulunan, havası alınmış kapalı bir hazneden oluşur. Çalışma sırasında, buharlaştırıcı (evaporatör) bölgesine uygulanan ısı, çalışma sıvısının bir kısmını buharlaştırır ve kısa bir zamanda haznenin tamamını çalışma sıvısının buharıyla doymuş hale getirir. Sistemde, ısı çekilişi nedeniyle yoğunlaştırıcı (kondenser) bölgesinde, hazne cidarı nispeten soğuk olacağı için, yoğunlaşma başlar. Açığa çıkan yoğunlaşma gizli ısıyı yoğunlaştırıcı bölgesinden dış

ortama atılır. Yoğunlaşan sıvı tekrar buharlaştırıcıya yerçekimi tesiriyle veya uygun şekilde yerleştirilen fitiller aracılığıyla döner ve çevrim tamamlanmış olur. İyi bir ısı borusunun aynı çaptaki bir bakır borudan 40 kat kadar daha fazla ısı ilettiği yapılan araştırmalarda tespit edilmiştir. Isı borusunun uygulama alanı geniştir. Hareketli parça olmaması, sessiz çalışması, reaksiyon zamanının kısa olması, her ortam ve sıcaklık miktarı için ısı borularının geliştirilebilmesi, ısı borularının üstün özellikleri arasında sayılabilir [1]. Bu çalışmada, ısı borusunun buharlaştırıcı bölgesi CPU üzerine ve yoğunlaştırıcı bölgesi bilgisayar içi boşluğuna gelecek şekilde monte edilmiştir.

Intel firmasının açıklamasına göre, CPU'lar 90°C 'den daha sıcak durumda çalışamaz. Fan/soğutucu ile soğutmada, fan gücü 1,9 W ile CPU'yu 32°C ile 48°C arasında muhafaza eder. Intel şirketi, ısı alarm lambasını devreye bağlayarak PC içerisindeki sıcaklık 45°C'yi geçtiğinde lambanın sesli ve ışıklı ikaz yapmasını sağlamıştır.

NCR firması tarafından geliştirilen KryoTech teknolojisi ile CPU aktif olarak soğutulmaktadır. Burada ısı, direkt olarak CPU'dan alınır ve yoğunlaştırıcıya taşınır. Isının çekilip atılması durumunda faz değişimi söz konusudur. CPU'nun aktif soğutulmasında performans maksimum % 30'dur ve fan ile soğutmadan daha sessizdir. KryoTech ile soğutma genellikle pahalıdır. Askeri alanlarda kullanımı ile sınırlıdır. Fakat büyük cihazların kullanımında maliyet düşmektedir.

Pentium işlemci kullanan bilgisayarlarda anakart ve diğer elemanların soğutulmasında, CPU yüzey sıcaklığı 100°C ve ortam sıcaklığı 35°C'dir. Anakart 4 W ve CPU 6,5 W'lık güce sahiptir. Bu işlemcinin; Alüminyum plaka ile, ısı borusu ile ve fan/soğutucu ile üç farklı yöntemle soğutulması mümkün olmuştur [1].

## **1.1. TEZİN AMACI VE KAPSAMI**

Bu çalışmanın amacı, günümüzde çeşitli alanlarda kullanılan cebri soğutma yerine soğutucu gazlar ile bu gazların kendi aralarındaki verimlilik farkını ortaya çıkarmaktır. Cebri havalandırmanın cihazlar üzerinde kullanımının gürültü



oluşturması ve enerji harcaması sonucunda bu gibi farklı soğutma yöntemlerini ortaya çıkarmaktadır.

Çalışmada, belirtilen hedefler doğrultusunda deney bilgisayarımızın işlemcisi üzerine yerleştirdiğimiz bakır plakaya çok kanallı, çok kanallı eğik ve düz şeklindeki, her üçü içinde R22, R404a, Etanol olmak suretiyle dokuz adet ısı borusu kullanıldı. Isı borularındaki akışkanlar işlemciden aldıkları ısı ile buharlaşıp st nokta ısıyı taşıyıp yine ısısını kaybedecek olan gazımız yoğuşarak tekrar ısı borusunun en alt noktasına inmektedir. Bu şekilde bir döngü oluşturarak çalışan işlemci ısısı ortama atılmaktadır. Çalışma sonucunda üç farklı akışkan üç farklı ısı borusu tipinde deneyleri yapıp verimlilikleri karşılaştırıldı.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

#### 2.1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Isı borusuyla ilgili ilk patent 1944 yılında ABD'den alınmıştır. 1960'larda uzay nükleer araştırma tatbikatlarında kullanılmaya başlayıncaya kadar, ısı borusu prensibi fazla ilgi görmedi. 1964 yılından başlamak üzere, ısı borulu sistemler bilim adamlarının tekrar araştırma konusu olmuştur.

Dowing vd. (1980), R11'li iki fazlı güneş kollektörü ile glikol-su karışımı güneş kollektörü sistemlerinin verimlerini karşılaştırmışlar ve freon gazlarının iki fazlı sistemlerde kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Soğutucu akışkanlar olarak kullanılan freon gazlarının sudan daha çabuk buharlaştığını tespit etmişler ve R11'i kullanan kollektörün veriminin yaklaşık % 35 daha büyük olduğu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak iki fazlı sistemin su sıcaklığı daha çabuk artmış ve verimi diğer sisteme göre daha yüksek çıkmıştır. Deneylelerinde soğutucu akışkanlardan R12, R113 ve R114'de kullanmışlardır [2].

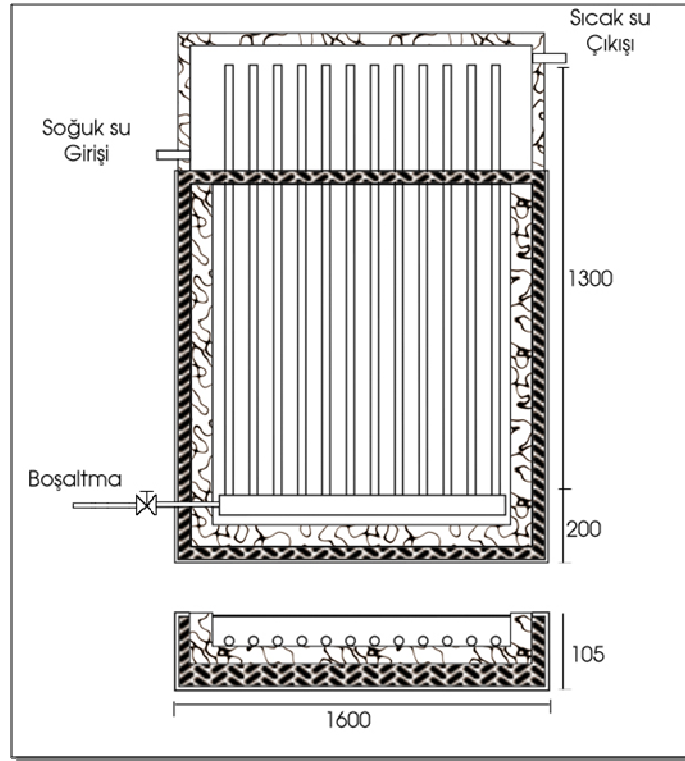
Bottum (1981), tarafından R11'li ve glikol-su karışımı sistemlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarda R11'i kullanılan sistemin veriminin, glikol-su karışımı sistemin verimine göre günün erken saatlerinde yaklaşık % 100, geç saatlerde de ise % 28 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Verimin yüksek çıkmasını R11'li sistemin, buharlaşma ve yoğunlaşma esasına göre çalışmasından dolayı gelen güneş ışınımını hemen iletebilmesi olarak açıklamıştır [3].

O'Gallagher, vd (1982), birlikte yaptıkları çalışmalarda havası alınmış tüplü güneş kollektörlerinin optik verimini yükseltmek için tüp içerisine çapı 9,5 mm olan daire şeklinde parabolik yoğunlaştırıcılar yerleştirmişlerdir. Çevre durumlarından dolayı

yansıtma yüzeylerini korumak için geçirgenliği 0,91 olan cam örtüyü sisteme monte edilmiştir. Ayrıca cam vakum zarfının yüzey yayıcılığını artırmak için metal yutucular tarafından korunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda havası alınmış kollektör tüplerinde yüksek seviyede optik verim oluşturmuşlardır. Optik verimi 0,71 olarak belirtmişlerdir [4].

Yılmaz (1988), Yaptığı çalışmada, güneşli su ısıtıcılarının kışın don olayına karşı korunamaması, termal ısı yüklerinin fazlalığı, sirkülasyon zorluğu, montaj işçiliğinin masraflı ve zor olması, estetik görünümünün düzgünsüzlüğü gibi olumsuz durumları ortadan kaldırılmasına yönelik ısı borulu güneşli su ısıtıcısı tasarlamıştır. Yapılan çalışmada, hazırlanan ısı borulu sistem ile birebir aynı özelliklere sahip olan tabii dolaşımli güneşli su ısıtıcı da imal edilmiş ve aynı şartlarda deneysel işleme tabi tutulmuştur. Sistemlerden elde edilen deney sonuçları karşılaştırıldığında, ısı borulu sistemin daha hızlı bir ısı sağladığı görülmüş, gece ters akım olmadığından kayıplarda en aza indirilmiştir. Temmuz ayında yapılan altı günlük deneylerde, depo suyu sıcaklığı klasik sistemde maksimum 55 °C olurken, yeni sistemde 75 °C'ye ulaşmış, yeni sistemin performans oranının (0,72), klasik sisteme göre (0,53) daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Yeni cihaz, yapısının basit oluşu, estetik yönden güzel görünüşü ve montaj kolaylığı sebepleriyle de tercih edilebileceği savunulmuştur [5].

Alkaç (1996) “Isı Borusunun Prensibinin Güneşli Su Isıtıcılarına Uygulanması” adlı çalışmasında, güneşli su ısıtıcılarına ısı borusu prensibi uygulayarak doğal dolaşımli güneşli su ısıtıcılarıyla ısı verilerini karşılaştırmıştır. Bu amaçla, bir ısı borulu sistem ve aynı özelliklere sahip olan tabii dolaşımli bir sistem hazırlamıştır. Hazırlanan ısı borulu sistemin şema ve kesitleri Şekil 2.1’de verilmiştir [6].



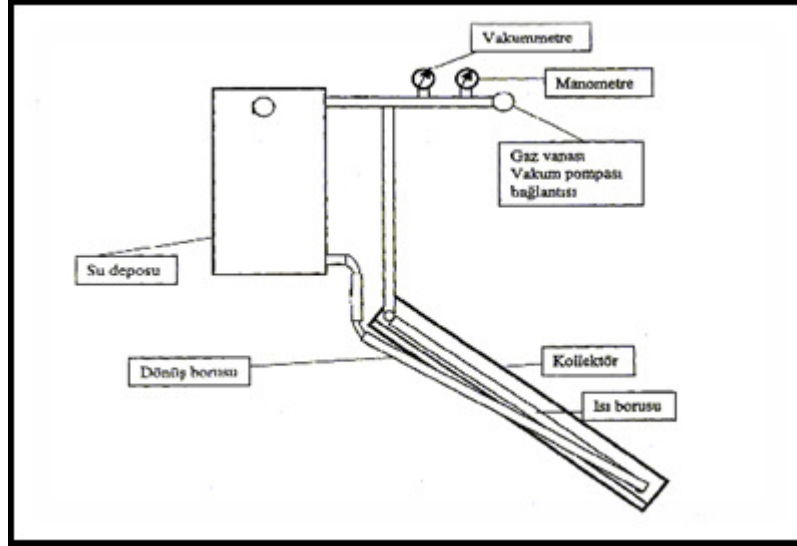
Şekil 2.1. Isı borulu sistemin kesit görünüşü [6].

Yenice (1998), sıcak su hazırlamak amacıyla ısı borulu güneş kollektörü geliştirerek, seçici yüzeyli tabii sirkülasyonlu güneş kollektörü ile karşılaştırmıştır. Geliştirdiği ısı borularının iki ucu kapalı olup, içinde alkol mevcuttur. Alkol, ısı borularının güneşi gören kısmında (kollektörde) buharlaşıp, depodaki kısmında buharın gizli ısını suya vererek yoğuşmaktadır. İstenilen çalışma sıcaklık aralığına göre seçilen akışkanın boru içerisindeki sirkülasyonu ile çalışan ısı borularının kışın donma tehlikesi de ortadan kalkmaktadır. Yaptığı ölçümler ve hesapladığı değerlere göre, ısı borulu kollektördeki çıkış suyu sıcaklığının, seçici yüzeyli kollektöre göre daha düşük olduğunu, yaptığı bazı değişiklikler ile de verimlerinin birbirine yaklaştığını tespit etmiştir [7].

Yüksel (1998), “Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Isı Borulu Güneş Kollektörünün Kullanılabilirliğinin Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması” adlı çalışmasında, dönüş borulu kollektörde çalışma sıvısı olarak çeşitli soğutucu akışkanlar kullanmıştır. Deneylerinde Freon 22, Freon 12, Freon 502 gazlarını kullanmıştır. Tek kollektör kasası içerisine yerleştirdiği her biri  $0.2 \text{ m}^2$  kollektör alanına sahip ve 10

litre depo hacminde olan 3 ayrı ısı borulu kollektör sisteminde deney süresi içerisinde en yüksek sıcaklık farkı (bir günlük) Freon 12'li sistemde 56 °C, Freon 22'li sistemde 43.2 °C ve Freon 502'li sistemde ise 45.3 °C olarak elde etmiştir. Sistemlerden su çekilmeden devam edilen deneylerde Freon 12 'li sistemin ikinci gün sonunda sıcaklığı 86.2 °C 'ye ulaşmıştır. İki günde ulaşılan toplam sıcaklık farkı en yüksek Freon 12'li sistemle elde edilmiş ve bu farklar toplamı 62.6 °C olarak tespit edilmiştir. Deney süresi içerisinde en yüksek sıcaklık farkları hep Freon 12 'li sistemde elde edilmiştir. Dolayısıyla en yüksek verime Freon 12 ile ulaşılabilmiştir. Sıcaklık farklarının en yüksek olduğu günler için yapılan performans hesabında Freon 12 ile % 52, Freon 502 ile % 50 ve Freon 22 ile % 47'lik değerler elde etmiştir [8].

Taban (2002), “Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Kullanılan Isı Borusunun Optimizasyonu ve Deneysel İncelemesi” adlı çalışmasında, bakır borulu kollektörde çalışma sıvısı olarak etanol kullanmıştır (Şekil 2.2). Hazırlanan ısı borulu sistemin kollektör açısı 30° ve 45° derecede yapılan deneylerinde birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yapılan bu deneylerde, vakum pompası yardımıyla elde edilen maksimum vakum basıncı - 0.6 bar olarak sağlamış ve ısı borusunda kullanılan etanol 37 °C ile 89,8 °C arasında sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Isı borulu güneş kollektöründe 75 ℓ'lik depodaki su sıcaklığı 69,4 °C'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Hava parçalı bulutlu olduğunda etanolün sıcaklığının düşmesi normal olarak karşılanırken buna paralel olarak da depo suyu sıcaklığının düşmesi deponun iyi bir şekilde izole edilmediği nedeniyle açıklamıştır [9].



Şekil 2.2. Etanolle çalışan, ısı borulu, güneşli su ısıtıcısı [9].

Deniz (2003), “Çift Fazlı Korunmuş Bölge Güneşli Su Isıtıcı ile Endirekt Isıtmalı Güneşli Su Isıtıcı Verimlerinin Karşılaştırılması” adlı çalışmada, çift fazlı sistemde çalışma sıvısı olarak etanol, endirekt sistemde ise çalışma sıvısı olarak su kullanmıştır. Eşit kollektör alanına ( $0,5 \text{ m}^2$ ) ve eşit depo kapasitesine (21 l) sahip olacak şekilde tasarlanan doğal sirkülasyonlu ve çift fazlı korunmuş bölge iki sistemden alınan ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında çift fazlı korunmuş bölge sistemin, doğal sirkülasyonlu sisteme göre %29 daha verimli olduğunu tespit etmiştir. Yapılan deneylerde dört gün süreyle kasım ayında ortalama 171 kcal’lik, üç gün süreyle mayıs ayında ortalama 154 kcal’lik ısı tasarrufu sağlandığını belirtmiştir [10].

Esen (2003) “Farklı Soğutucu Akışkan Kullanılarak Oluşturulan Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Fırınının Isıl Performans” adlı çalışmada, soğutma akışkanlı vakum tüplü ısı borusu kullanılarak güneş fırını oluşturuyor ve performansını deneysel olarak inceliyor. Deneyler Türkiye, Elazığ’da 2002 Temmuz ve Ağustos aylarında açık havada ve benzer koşullar altında 3 farklı soğutucu akışkan kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan soğutucu akışkanlar R-134a, R-407C ve R-22 gazlarıdır. Isı dağılım detayları ve zamanı ölçülmüştür. Sonuç olarak maksimum  $175 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık elde edilmiş ve pek çok yiyeceği 27-70 dk arasında pişirebileceği görülmüştür [11].



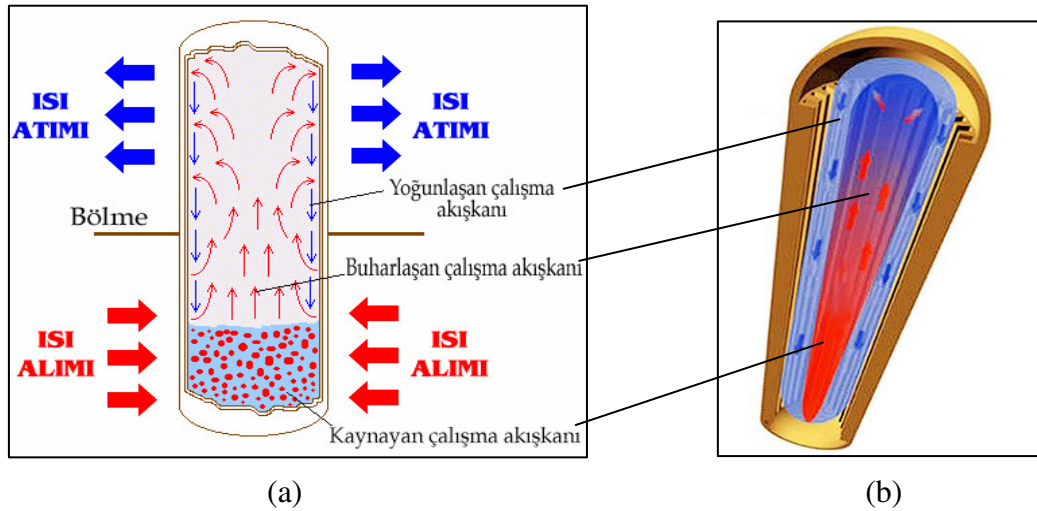




Araştırmalar sonucunda 5 Nisan 1967’de Los Alamos Bilim laboratuvarındaki bir grup mühendis tarafından, ısı borusunun uçak alanında kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar gösterildi ve bu ısı borusunun teknolojiye girişinin ilk adımı oldu [14].

## 2.2.2. Isı Borusunun Tanımı Ve Çalışması

Isı borusu, ısıyı bir noktadan diğer bir noktaya hızlı bir biçimde iletebilen basit bir cihazdır. Bu cihazlar genellikle süper ısı iletkenleri olarak bahsedilir [15]. En geniş anlamıyla havası alınmış, içinde az miktarda çalışma sıvısı bulunan, iki ucu kapatılmış bir borudan oluşur. Boru içine konulmuş olan az miktardaki çalışma sıvısı uygun bir fitil yardımıyla hareket ettirilerek ısı alış verişini sağlar. Bu sistemde, çalışma sıvısının akışını düzenlemek için hazne cidarına fitil kullanılır (Şekil 2.1).

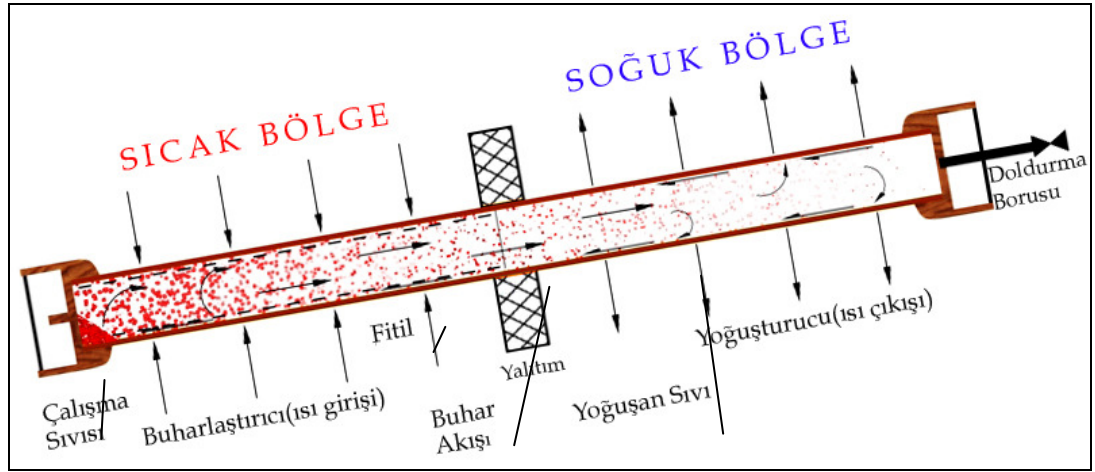


Şekil 2.5. Isı borusu a) çalışması b) kesit görünüşü. [13].

Yer çekim tesirli ısı borusunda güneşin yaydığı ısı, buharlaştırıcı bölgesine ulaştığında bir kısım sıvı buharlaşır ve kısa zamanda haznenin tamamı saf buharla dolar. Fitil malzeme saf buharı yoğunlaştırıcı bölgesine taşır. Yoğunlaştırıcı bölgesinde oluşan ısı kondüksiyonla, ısıtılacak akışkana nakledilir. Daha sonra yoğunlaşan sıvı zerreçikleri yerçekimi yardımıyla ısı borusu içindeki buharlaştırıcı bölgesine doğru damla damla geri akar. Sistem bu şekilde çalışarak hareketini sürdürür. Isı borusunun

içinde, boru iç hacminin yaklaşık % 30'u kadar bir çalışma sıvısı vardır. Borunun içindeki hava boşaltılmıştır (Şekil 2.6.)

Buharlaştırıcı bölge ile yoğuşturucu bölge arasındaki sıcaklık farkının çok az olması durumunda bile iki bölge arasında çok hızlı bir ısı akımı gerçekleşmektedir. Isı borusunun başlıca üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır [16].



Şekil 2.6. Yerçekimi tesirli ısı borusu [16].

- Çalışma sıvısının cinsine göre, değişik çalışma sıcaklıkları sağlanabilir,
- Ters akım söz konusu değildir,
- Isı nakli kolaydır,
- Sessiz çalışır, hareketli parçaları yoktur,
- Boru üzerindeki sıcaklık hemen hemen sabit kalır.

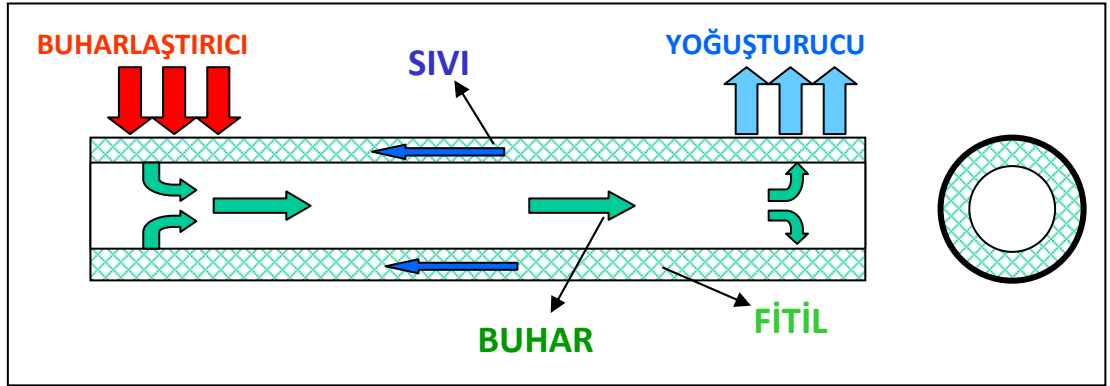
### 2.2.3. Isı Borusunun Özellikleri

Isı borusunu oluşturan yapı elemanlarından iyi bir düzeyde verim almak için çeşitli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. İyi bir ısı borusunda bulunması gerekli özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- En az et kalınlığında maksimum basınca dayanıklı olmalı,
- Isı iletim özelliği fazla olmalı, çabuk ısınabilmeli,
- 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 [8].

Isı borusu üç temel yapıdan oluşur. Bunlar; akışkan, kılcal yapı, boru ve kapaklardan oluşan dış muhafazadır. Isı borusunu oluşturan yapı elemanları Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7. Isı borusunun yapı elemanları [15].

#### 2.2.4. Çalışma Akışkanları ve Özellikleri

Isı borusunda dikkat edilecek nokta çalışma akışkanının seçimi olmalıdır. Çalışma akışkanının en önemli rolü don olayını önlemesi ve düşük sıcaklıklarda buharlaşmasıdır. Isı borusunda en çok kullanılan akışkanlar donma ve buharlaşma sıcaklığına göre Çizelge 1’de verilmiştir.

Isı borusundaki çalışma akışkanı, buharlaştırıcı bölgesinden aldığı ısıyı yoğuşurma bölgesine çok hızlı bir şekilde iletebilmelidir. Bu işlemi gerçekleştirebilmesi için, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Kullanılacak akışkan ısı borusu içerisine boru hacminin yaklaşık 1/3 ‘ü oranında doldurulur. Isı borusu içerisine doldurulan akışkan miktarı üzerine yapılmış olan araştırmalarda ısıtma veriminin akışkan miktarlarına göre değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Isı Borusunun çalışma sınırları ve özellikleri [6].

İşletme Aralığı (°C)	Akışkan Cinsi	Kaynama Noktası Sıcaklığı (°C)	Gövde ve Fıtil için Uygun Malzeme
-200 ile -80	Nitrojen	-196	Paslanmaz çelik
-70 ile -60	Amonyak	-33	Paslanmaz çelik
-60 ile 40	Freon 134a	-26,5	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	Siklohekzan	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

Isı boruları çalışma akışkanına bağlı olarak düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık ısı boruları olarak sınıflandırılabilir. Düşük sıcaklıklarda kullanılan akışkanlar; Hidrojen, Neon, Azot, Oksijen ve Metan'dır. Orta sıcaklıklarda kullanılan akışkanlar; su, amonyak, metanol ve freondur. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan akışkanlar; civa, potasyum, lityum, gümüş vb.' dir. Isı borularında büyük yüzey gerilimleri, büyük kılcal pompalama kabiliyetine, daha büyük buharlaşma gizli ısısına, daha verimli ısı iletimine, buharlaştırıcıda ve yoğuşturucuda fitil boyunca küçük sıcaklık düşümüne ve büyük ısı iletkenliğine karşılık gelir.

Buna karşın kaynama oluşumu, ilk çalışmaya başlama ve akışkan-malzeme uygunlukları gibi sorunlar ısı borusu tasarımında ve imalatında önceden bilinmesi

gerekli olan parametrelerdir. Uygun bir çalışma akışkanının tanımlanmasında ilk düşünce buhar çalışma sıcaklık aralığıdır. Birçok durumda tahmini sıcaklık bandı içinde ısı borusunda kullanılacak birçok çalışma akışkanı bulunabilir. Ancak bu akışkanlardan herhangi birinin seçilmesinden önce uygulamanın niteliğine uygun olarak akışkanda bazı özelliklerinde aranması gerekir.

Isı borularında kullanılan akışkanlarda aranan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Boru malzemesine uygun nitelikte 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 [17].

Malzemelerin birbirleriyle uygun olmaması durumunda yoğuşamayan gaz ve korozyon oluşacaktır. Yoğuşamayan gaz boru malzemesinde birikerek gaz geçişlerine engel olacaktır. Bundan dolayı farklı malzemelerde değişik akışkanlar kullanılmaktadır. Çizelge 2’de bakır, alüminyum, nikel ve paslanmaz çelik için çalışma akışkanlarına karşı uyumlulukları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Isı borusu malzemeleri ile çalışma akışkanlarının uyumluluk verileri [10].

Isı borusunun malzemesi	Çalışma akışkanları			
	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.  
GÜB : Bütün sıcaklıklarda gaz üretimi.  
GÜY : Yüksek sıcaklıklarda gaz üretimi.  
UD : Uygun değil.  
UO : Uygun olabilir.  
ÖL : Literatür tarafından önerilmekte [8].

### **2.2.5. Fitol Yapı**

Fitilin ısı borusunda önemli iki görevi vardır. Birincisi buharlaşan çalışma akışkanını yoğunlaşma bölgesine iletmek diğeri ise yoğunlaşan çalışma akışkanını buharlaşma bölgesine götürmektir. Böylece sistemde sürekli bir hareket olacaktır. Farklı akışkanlarda hareketin sağlanması için fitilin farklı kılcal yapılara sahip olması gerekir. İyi bir fitilde bulunması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- a. Akışkan ve duvar malzemesine uyumlu olmalı.
- b. Yüksek sıcaklıklarda bozulmamalı.
- c. Sürtünme katsayısı düşük olmalı yani kaygan yapıda olmalı.
- d. Sıcaklık değişimlerinde şekil bozukluğu ortaya çıkmamalı.
- e. Emici özelliği bulunmamalı, ısı borusuna uygun çapta ve ölçüde olmalıdır.

### **2.2.6. Dış Koruma**

Isı borusunun çevre şartlarından (rüzgar, kar, yağmur vb.) korunması gerekir. Bu nedenle dışta kullanılan mahfaza sızdırmaz olmalı, iç ve dış basınç farkına dayanabilmelidir.

Koruyucuda bulunması gerekli özellikler şunlardır:

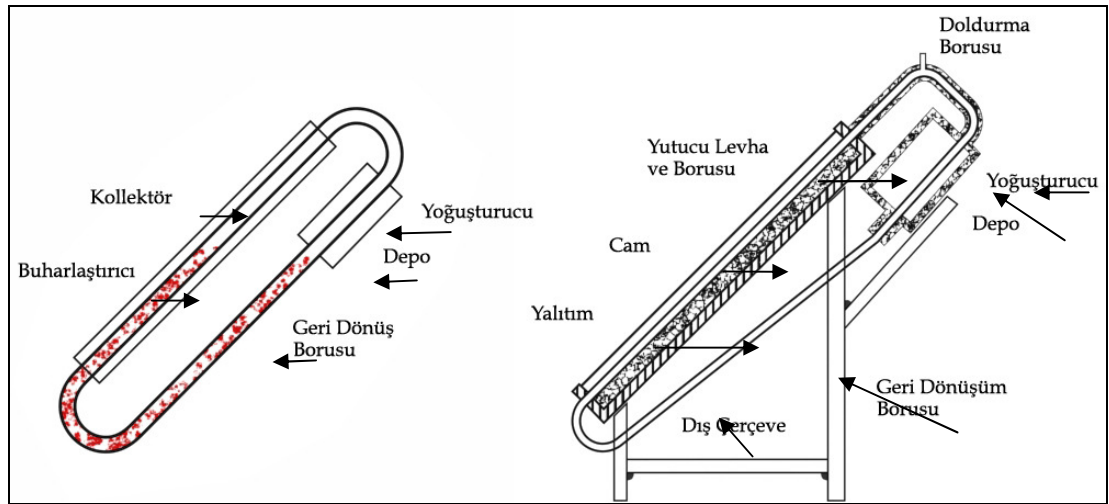
- a. Kullanım amacına uygun olmalı.
- b. Isı borusundaki akışkana ve çevre durumlarına uygun olmalı.
- c. Dayanıklı ve imalat usulüne uygun olmalı.
- d. Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır.

Bu özelliklere sahip olan koruyucu ısı borusunun verimini artıracak ve uzun süre kullanımına olanak sağlayacaktır [17].

## 2.3. ISI BORULU SİSTEMLER

### 2.3.1. Dönüş Borulu Sistemler

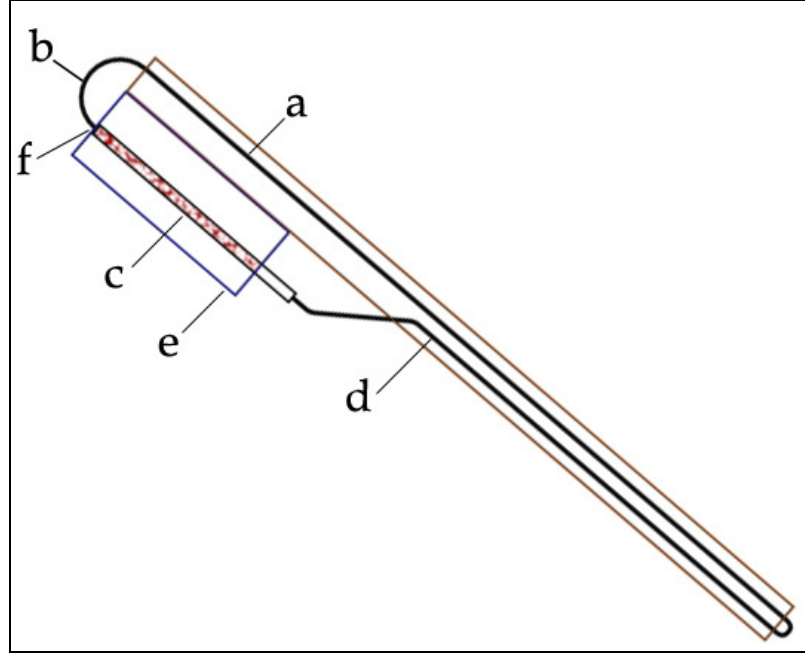
Bu sistemde ısı taşıyıcı akışkan önce kollektörde buharlaşmakta, buharlaşan akışkan depodaki boruda yoğuşup gizli ısını depodaki suya aktardıktan sonra, bir boru ile alttan kollektördeki boruya geri dönmektedir. Böylece ısı taşıyıcı akışkan sistemde bir dönüş hareketi yapmaktadır (Şekil 2.8) [8].



Şekil 2.8. Dönüş borulu sistemler [8].

Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11'li sistem Şekil 2.9'de gösterilmektedir. Burada buharlaşma borusu "a"dan çıkan buhar "b" borusu ile "e"deki "c" eşanjör borusuna girmekte, bu kısımda yoğuşuktan sonra "d" borusu ile kollektör altına dönmektedir. Depo doğrudan kollektör altına yerleştirildiğinden karşıdan bakıldığında sadece kollektör görülmektedir. Şekil 2.9'deki sistemde "a", "b", ve "d" boruları aynıdır. Burada depo uzunluğu kollektör uzunluğunun 1/3'ü olarak alınmıştır. Akışkan sıvı olarak R11 kullanılmıştır [8].

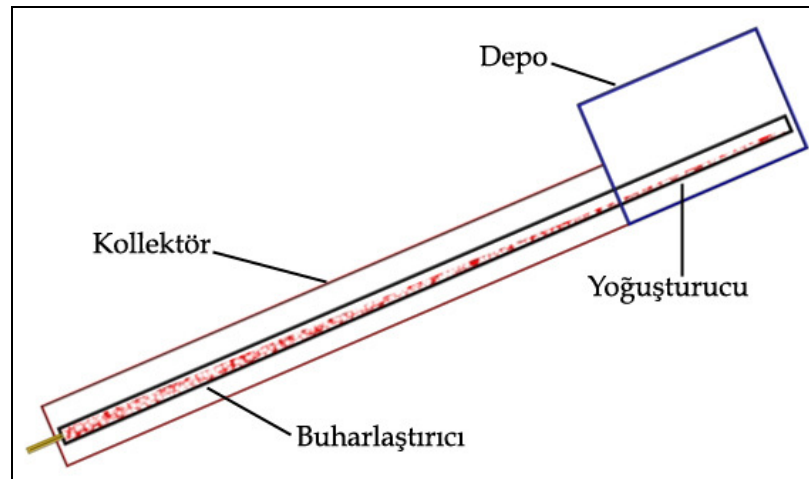




Şekil 2.9. Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11’li sistem [17].

### 2.3.2. Tek Isı Borulu Sistemler

Yoğuşma ve buharlaşma borusunun tek bir boruda olduğu sistemlerdir. Sistemin buharlaşma kısmı kollektörde olup, aldığı enerji ile taşıyıcı akışkanı buharlaştırarak gizli ısınıyoğuşarak suya vermektedir. Yoğuşan sıvı aynı ısı borusu içinden tekrar borunun alt kısmına yerçekimi etkisiyle geri dönmektedir.



Şekil 2.10. Tek ısı borulu sistem [10].

## 2.4. SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

Buhar sıkıştırma çevrimi esasına göre çalışan soğutma sistemlerinde hareket eden parçaların, birbiriyle temas ettiği yüzeylerdeki sürtünmeyi minimum seviyeye indirmek üzere yağlama yapılması gerekir. İyi bir yağlama yapılmaması halinde, hem sürtünen yüzeylerde hızlı bir aşınma, eskime hem de mekanik kayıpların artması ile aşırı ısınma ve güç israfı meydana gelecektir yağlama yapılan yüzeyler genellikle soğutucu akışkan ile temas etme durumundadır ve refrijeran ile yağın karışması, birbirini kimyasal ve görmeleri gereken işlem yönlerinden etkilemeleri söz konusu olmaktadır. Örneğin; yağlama yağının evaporatör iç yüzeylerine sıvılaşarak ısı transferini azaltması; soğutucu akışkanın (refrijeranın) yağlama yağını yataklardan yıkayıp atması; basınç ve yüksek sıcaklık altında yağ ile refrijeranın kimyasal reaksiyonlara girerek asit ve diğer zararlı maddeler meydana getirmesi gibi olaylara çok sık rastlamak mümkündür. Soğutucu akışkanlar ve yağlama yağlarını ayrı ayrı incelendikten sonra bunların reaksiyonları ve birlikte meydana koydukları olaylara değinilecek, soğutma aksamının diğer kısımlarındaki etkileri belirtilecektir.

Bir soğutma çevriminde ısının bir ortamdan alınıp başka bir ortama nakledilmesinde ara madde olarak yararlanılan soğutucu akışkanlar, ısı alış verişini genellikle sıvı halden buhar haline (soğutucu evaporatör devresinde) ve buhar halden sıvı hale (yoğuşturucu kondanser devresi) dönüşerek sağlarlar. Bu durum bilhassa buhar sıkıştırma çevrimlerinde geçerlidir.

Soğutucu akışkanların, yukarıda tarif edilen görevleri ekonomik ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilmesi için bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler, uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişeceği gibi her zaman bu özelliklerin hepsini yerine getirmek mümkün olmayabilir. Genel kayide olarak bir soğutucu akışkanlığı aranması gereken özelliklerin hepsini birden her şart altında yerine getire bilen universal bir refrijeran bir madde (soğutucu akışkan) mevcut değildir. Fakat, yukarıda da belirtildiği gibi, uygulamadaki şartlara göre bunlardan bir kısmı aranmayabilir.

Bilhassa emniyet ve güvenilirlik yönünden iyi olan, ayrıca iyi bir ısıl özelliği de sahip olan refrijeran madde için 1920' lerde yapılan araştırmalar Fluokarbon refrijeranların (florine edilmiş hidro karbonların) bulunmasını sağlamıştır. Halo karbon (halojene edilmiş hidro karbonlar) ailesinden olan fluo karbonlar, metan (CH<sub>4</sub>) veya etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) içerisindeki hidrojen atomlarından bir veya birkaçının yerine sentez yoluyla klor, flor veya brom (halojen) atomları yerleştirmek suretiyle elde edilmektedir. Fluo karbonlardan en sık rastlananlar; metandaki 4 hidrojen atomu yerine 2 klor ile 2 flor ikame edilen Dichloro difluoro methane / CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (freon 12 veya R12) ve metandaki 4 hidrojen yerine bir klor ile 2 flor atomu yerleştirilen Chlorodifluoromethane (freon 22 veya R22) soğutucu akışkanlarıdır. En sık rastlanan diğer soğutucu akışkanların tipik özellikleri aşağıda Çizelge 3 ve Çizelge 4' de özetlenmektedir [18].

Çizelge 2.3. Başlıca Saf Soğutucu Maddeler [18].

Soğutucu Madde	Kimyasal Tanımı	Kimyasal Formülü
R11 (CFC11)	Triklorflormetan	CFCL <sub>3</sub>
R12 (CFC12)	Diklorflormetan	CF <sub>2</sub> CL <sub>2</sub>
R13 (CFC13)	Klortriflormetan	CCLF <sub>3</sub>
R13B1 (BFC13)	Bromtriflormetan	CBRF <sub>3</sub>
R22 (HCFC22)	Klordiflormetan	CHF <sub>2</sub> CL
R23 (HCF23)	Triflormetan	CHF <sub>3</sub>
R32 (HCF32)	Diflormetan	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
R113 (CFC113)	Triklortrifloreten	C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> CL <sub>3</sub>
R114 (CFC114)	Diklortetrafloretan	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> CL <sub>2</sub>
R115 (CFC115)	Klortentafloretan	C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> CL
R123 (HCFC123)	Diklortrifloreten	C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> CL <sub>2</sub>
R125 (HFC125)	Pentafloretan	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>
R134a (HCF134a)	Tetrafloretan	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>
R141b (HCFC141b)	Flordikloreten	C <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> FH <sub>3</sub>
R143a (HFC143a)	Trifloreten	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
R152a (HCF152a)	Difloreten	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>
R290 (HC290)	Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
R600 (HC600)	Bütan	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
R600a (HC600a)	İzobütan	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
R717	Amonyak	NH <sub>3</sub>
R718	Su	H <sub>2</sub> O
R744	Karbondioksit	CO <sub>2</sub>
R764	Sülfürdioksit	SO <sub>2</sub>

Çizelge 2.4. Karışım İle Elde Edilmiş Başlıca Soğutucu Maddeler [18].

Soğutucu Madde	Bileşimi (Ağırlıkça)
R401A	% 52 R22 + % 33 R124 + % 15 R152a
R402A	% 38 R22 + % 60 R125 + % 2 R290
R404A	% 44 R125 + % 4 R134a + % 52 R143a
R407A	%20 R32 + % 40 R125 + % 40 R134a
R407B	%10 R32 + % 70 R125 + % 20 R134a
R407C	%23 R32 + % 25 R125 + % 52 R134a
R410A	%50 R32 + % 50 R125
R500	% 73,8 R12 + % 26,2 R152a
R502	% 51,2 R115 + % 48,8 R22
R507	% 50 R125 + % 50 R143a

#### 2.4.1. Soğutucu Akışkanlarda Aranılan Özellikler:

- Pozitif buharlaşma basıncı olmalıdır. Hava sızmasını, dolayısıyla havanın getirdiği su buharının soğuk kısımlarda katılaşıp işletme aksaklıklarına meydan vermesini önlemek için buharlaşma basıncının çevre basıncından bir miktar fazla olması gerekir.
- Düşük yoğuşma basıncı olmalıdır. Yüksek basınca dayanıklı kompresör, kondanser, boru hattı gibi tesisat olmalıdır.
- Buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır. Buharlaşma gizli ısısı ne kadar yüksek olursa sistemde o oranda gaz akışkan kullanılacaktır.
- Kimyasal olarak aktif olmamalıdır, tesisat malzemesini etkilememesi, korozyon olmaması, yağlama yağının özelliğini değiştirmemesi gerekir.
- Yanıcı patlayıcı ve zehirli olmamalıdır.
- Kaçakların kolay tespitine imkan veren özellikte olmalıdır. (Koku, renk)
- Ucuz olmalıdır.
- Isı geçirgenlik katsayısı yüksek olmalıdır.

- i. Dielektrik olmalıdır.
- j. Düşük donma derecesi sıcaklığı olmalıdır.
- k. Yüksek kritik sıcaklığı olmalıdır.
- l. Özgül hacmi küçük olmalıdır.
- m. Viskozitesi düşük olmalıdır.

Yukarıdaki özelliklerin hepsine sahip soğutucu akışkan bulunamamış ve duruma göre özelliklerin bazılarında vazgeçilmiştir. Verilmiş buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları için gerçek çevrim soğutma etkinliği soğutma devresinde kullanılan akışkanın cinsine bağlıdır. Akışkan seçiminde bu etken ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır. Soğutucu akışkanın suda erime durumu da gözden uzak tutulmamalıdır [18].

#### **2.4.2. Deneyde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar**

R22 (CHClF<sub>2</sub>): Diğer fluo karbon soğutucu akışkanlarda olduğu gibi R22'de emniyetle kullanılacak zehirsiz, yanmayan, patlamayan bir akışkandır. R22, derin soğutma uygulamalarına cevap vermek üzere geliştirilmiş bir soğutucu akışkandır, fakat paket tipi klima cihazlarında, ev tipi ve ticari tip soğutucularda da, bilhassa daha kompakt kompresör gerektirmesi (R12'ye nazaran takriben 0.60 katı) ve dolayısıyla yer kazancı sağlaması yönünden tercih edilir. Çalışma basınçları ve sıcaklıkları R12' den daha yüksek seviyede ve fakat birim soğutma kapasitesi için gerekli tahrik gücü takriben aynıdır. Çıkış sıcaklıklarının oldukça yüksek olması sebebiyle, bunun aşırı seviyelere ulaşmasına engel olmak için emiştaki kızgınlık derecesini mümkün mertebe düşük tutmalıdır. Derin soğutma uygulamalarında, aşırı çıkış sıcaklıkları ile karşılaşılabilirdiğinden (yüksek sıkıştırma oranı sebebiyle) silindirlerin su gömlekli olması tavsiye edilir. Yağ dönüşünü sağlamak için R12'ye nazaran daha dikkatli ve iyi işlenmiş dönüş boruları döşenmeli, derin soğutma uygulamalarında muhakkak yağ ayırıcı konulmalıdır. R12 yağ ile daha çabuk ve iyi karışmaktadır. Su ile ise R22 daha çabuk ve yüksek oranda karışır.

R404A: R125, R134a ve R143a'dan oluşan (ağırlıkça sırasıyla %44/4/52 oranında) ve R502 için alternatif kabul edilen zeotropik bir karışımdır. HCFC içerdiğinden

nihai bir alternatif olmayıp 2030 yılına kadar kullanılabilir. Bu soğutucu DUPONT tarafından SUVA HP62 ve ELF ATOCHEM tarafından FORANE FX70 adıyla piyasaya sunulmuştur.

Etanol: Kaynama noktası 78,3 °C, donma noktası -114 °C olan; üretimi stinol adı verilen yöntemle hidrojen ve karbondioksitin genellikle krom oksit ve çinko oksit gibi uygun bir katalizör içinden 350-400 °C den geçirilmesiyle yapılır.

Çizelge 2.5. Isı Borusu Çalışma Sıvısı Etanolun Bazı Sıcaklıklarda Özellikleri [1].

Sıcaklık °C	Gizli Isı kJ/kg	Sıvı Yoğ. kg/m <sup>3</sup>	Sıvı Isıl iletken. W/m°C	Sıvı Vizk. cP	Buh. Vzk. cP*10 <sup>2</sup>	Buh. Bas. bar	Buh. Özg. Isısı kJ/kg°C	Sıvı Yüz. Gerg. (N/m)x10 <sup>2</sup>
70	858,3	743,1	0,165	0,51	1,02	0,76	1,58	2,16
90	832,1	725,3	0,163	0,37	1,07	1,43	1,65	2,04
110	786,6	704,1	0,160	0,28	1,13	2,66	1,72	1,89

## 2.5. Bakır Borular

### 2.5.1. Bakır Boru Kullanım Alanları

Bakır Boru Şofbenlerde, kombilerde, sıhhi tesisatta, ısı tesisatında, sanayi ve ev tipi klimalarda, güneş enerji sistemlerinde, oto gaz LPG dönüşüm sistemlerinde, hava ve yağ tesisatlarında, medikal tesisatlarda, eşanjörlerde ve doğalgaz tesisatları gibi yerlerde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır.

### 2.5.2. Bakır Boru Kullanım Avantajları

a . Bakı Borular Korozyona karşı dayanıklıdır.

Bakır dış etkilerden etkilenmeyen bir madde olması sayesinde inşaatlarda çok rahat kullanılmaktadır. Alçı, çimento, beton beton veya su bakıra hiç zarar vermez. Ayrıca bakır ultraviyole ve enfraruj ışınlarından etkilenmediği gibi yıllar boyunca bile hiçbir eskime göstermez.

#### b. Bakır Boru Kullanım Kolaylığı

Bakır kolay şekillendirilen bir madde olduğundan kullanılması basit ve işlenmesi süratlidir. Bu sayede tesisatçı zaman kazanmakta, dolayısıyla maliyet düşmektedir. Ayrıca çok ucuz aletlerle çalışılabilmekte ve lehim sistemi sayesinde kaçak olmayan bir tesisat kurulabilmektedir.

#### c. Bakır Borularda Genleşme Özelliği

Düşük bir genleşme oranı betonun genleşme oranına çok yakın olması sayesinde bakır boru çok güvenlidir. Plastik borularda bu oran bakırdan 7- 10 kat fazla olduğundan sıcak su tesisatları sorun çıkartmaktadır.

#### d. Geçirgenlik

Bakır boru yüksek ısıda bile %100 oranında oksijen ve gaz geçirmeme özelliğine sahiptir. Bu sayede plastik ve demir tesisatlarda rastlanan mantar ve bakteri üremez. Bu özelliğin yıllar geçtikçe değişmesi söz konusu değildir.

#### e. Antibakterisit Özellik

Bakır bakterisid özelliği sayesinde tatil zamanları ihtiva ettiği su durgun olan ve bakteri ve yosun üremesi için ideal bir ortam yaratan tesisatlardaki suyu temizler ve bakterilerden arındırır.

#### f. Isı iletkenliği

Plastikten bin kat fazla olan ısı iletkenliği sayesinde bakır boru özellikle yerden ısıtma sistemlerinde çok verimli olmaktadır. Demir borulu sistemlerle karşılaştırıldığında ise ilk ısıtmada meydana gelen kayıplar çok aza inmektedir. Buna ısı geçirgenliğinin yanı sıra et kalınlığının da az olması yol açmaktadır.

#### g. Sürtünme Katsayısı

Bakır boruların diğer tesisat borularına kıyasla iç yüzeyleri çok kaygan olduğundan küçük çaplı borularla bile randımanlı bir tesisat kurulabilmektedir. Bu sayede daha küçük pompalar kullanılmakta ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



#### h. Sağlamlık

Bakır borunun çekme mukavemeti diğer malzemelere göre daha yüksektir: tavlı borularda 200Mpa, sert borularda 300Mpa. İnşaatlarda oluşan zor şartlarda bile bakır boru önlem almadan kullanılabilir. Ayrıca ateşten ve kemirgen hayvanlardan da etkilenmemektedir.

#### ı. Basınca Dayanıklılık

Bu özelliği sayesinde bakır boru tesisatta basınç veya ısı kısıtlaması olmadan kullanılabilir. Örneğin 22\*1 ölçüsündeki bir bakır boru içindeki suyun 200 santigrat derece'ye çıkması halinde bile 16 bar'a dayanabilmektedir. Bu değerler boru çapı düştükçe daha da artmaktadır. Dolayısıyla zaman zaman 80 santigrat derece'yi aşması muhtemel kalorifer tesisatlarında bakır boru mükemmel netice vermektedir.

#### i. Estetik

Bakır borunun ve bağlantı elemanlarının inceliği tesisata çok estetik bir görünüm sağlar. Bakır boru kolaylıkla boyanır.

#### k. Yangında Dayanıklılık

Metal olması sebebi ile bakır boru evlerde meydana gelebilecek yangın olaylarında etkilenmez. Bu konu maalesef plastik borulu sistemlerde büyük sorun teşkil etmektedir.

#### l. Çevreye Duyarlılık

Bakır doğadan elde edilen saf bir madendir. Çevreye hiçbir zarar vermediği gibi tamamen geri kazanılan bir maddedir [18].

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Isı borusu İmalatı

Çalışmamızda üç farklı soğutucu akışkan, üç farklı ısı borusu tipinde test edildi. Isı borularımız 12,70mm dış çapında, 0,5mm kalınlığında ve 0,170Kg/m ağırlığında seçildi. Toplamda 36cm boyutunda bakır kullanımı yapıldı.

##### 3.1.1. Düz Tip Isı Borusu

9cm boyunda 12 adet düz bakır borusu kesildi. Alt kısımları 0.5mm bakır levha ile kapatıldı. Üst tarafına ise bakır boruya basacağımız akışkanın dışarıya çıkmasını engellemek için siboplar kaynatıldı. Siboplara koruma amaçlı kapaklar kullanıldı.

Kaynaklanan ve akışkan basmaya hazır hale getirilen ısı boruları Şekil 3.1' de görüldüğü gibi ilk dört tanesine R22 akışkanı, orta bölümdeki dört tanesine etanol ve sonda kalan dördüne ise R404a akışkanları basıldı. Isı borularında ve siboplarda kaçak olmadığı teyit edildi.



Şekil 3.1. Düz Tip Isı Boruları.

### 3.1.2. Çok Kanallı Düz Tip Isı Boruları

Tamamı 36cm olan düz borudan 9cm kesilerek Şekil 3.2' de ki gibi bakır boruları yamultularak araya düz 9 cm'lik bakır boru kaynağı yapıldı. Sibop kaynakları yapıp kapakları takıldı.

Kaynaklanan ve akışkan basmaya hazır hale getirilen ısı boruları Şekil 3.2' de görüldüğü gibi baştakine R22 akışkanı, orta bölümdekine etanol ve sonda kalana ise R404a akışkanları basıldı. Isı borularında ve siboplarda kaçak olmadığı teyit edildi.

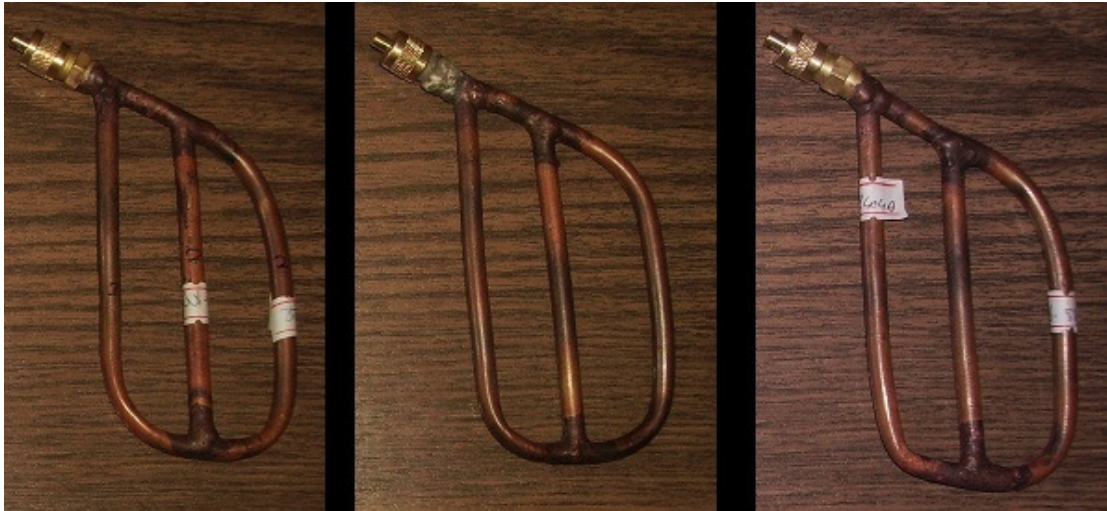


Şekil 3.2. Çok Kanallı Düz Tip Isı Boruları

### 3.1.3. Çok Kanallı Eğik Tip Isı Boruları

Tamamı 36cm olan düz borudan 9cm kesilerek Şekil 3.3’ de ki gibi bakır boruları yamultularak araya düz 9 cm lik bakır boru kaynağı yapıldı. Çok kanallı düz ısı borularına kıyasla üst bölümü yatayla  $30^\circ$  olacak şekilde eğim verildi. Sibop kaynakları yapıp kapakları takıldı.

Kaynaklanan ve akışkan basmaya hazır hale getirilen ısı boruları Şekil 3.3’ de görüldüğü gibi baştakine R22 akışkanı, orta bölümdekine etanol ve sonda kalana ise R404a akışkanları basıldı. Isı borularında ve siboplarda kaçak olmadığı teyit edildi.



Şekil 3.3. Çok Kanallı Eğik Tip Isı Boruları

## BÖLÜM 4

### DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

#### 4.1. Deney Sahası

Bu çalışmada deney laboratuvarı oda sıcaklığı  $20,5^{\circ}\text{C}$  –  $25,5^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir. Deneylerin yapımında termokupullar sayesinde en detaylı sıcaklık verileri bilgisayara kaydedildi. Deneyin yapımında deney bilgisayarı dışında verilerin kaydedildiği farklı bir bilgisayar daha kullanıldı.



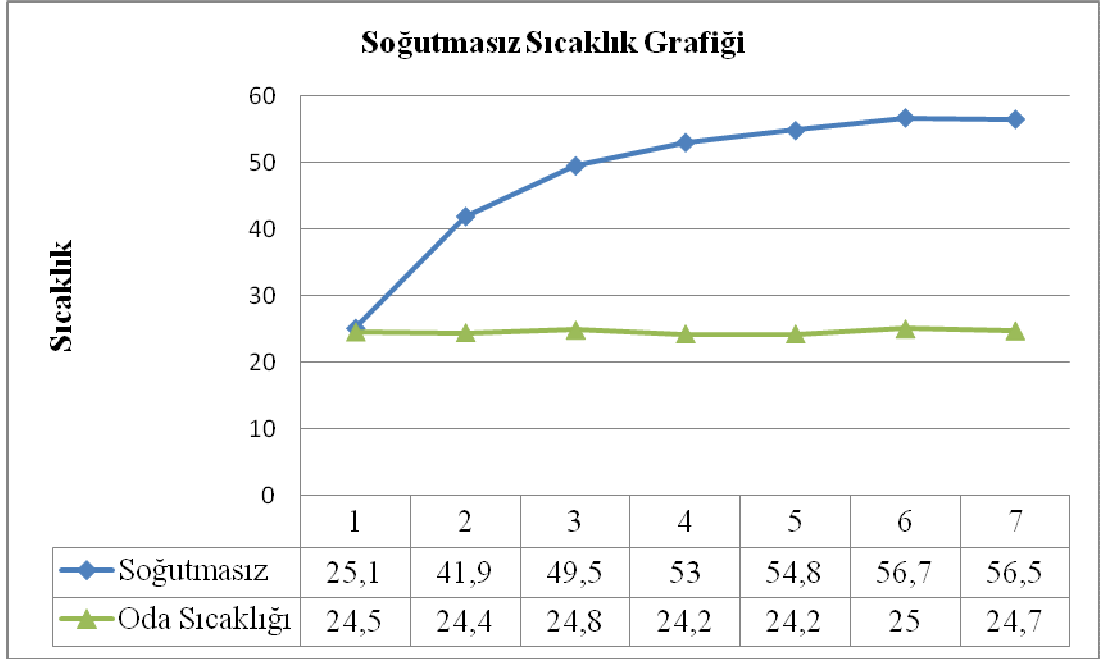
Şekil 4.1. Sıcaklık Ölçüm Cihazı.



Şekil 4.2. Verilerin Kaydedildiği Bilgisayar.

#### 4.2. Deney Sonuçları

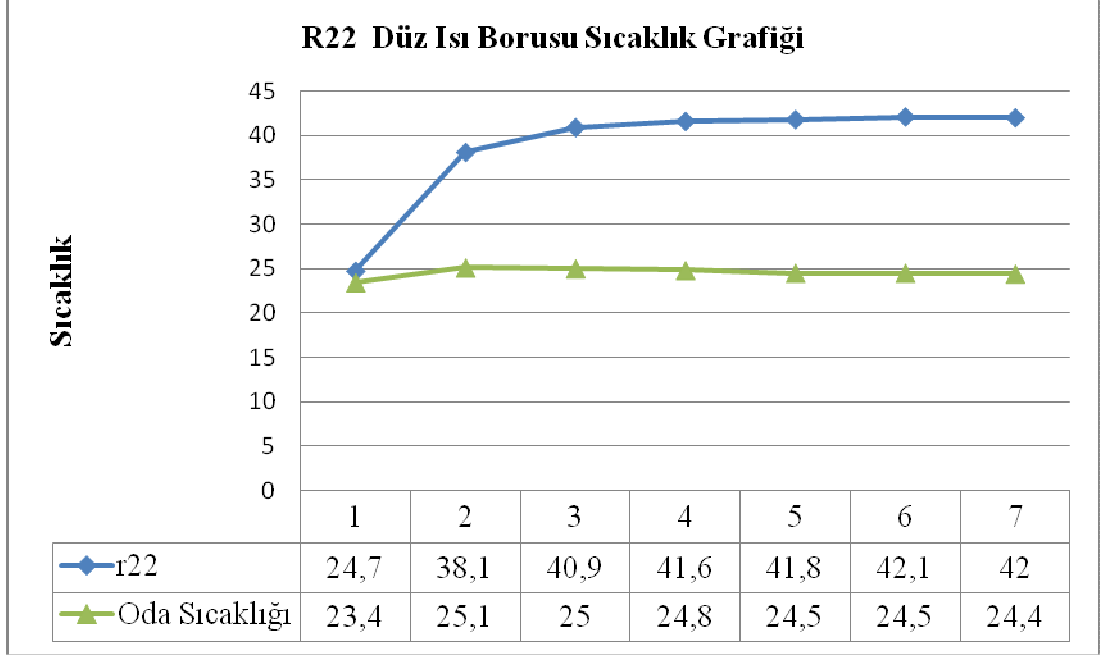
İlk testte ısı borusu koymadan sadece bakır plaka ile CPU ölçümü yapıldı. Şekil 4.2.1' de görüldüğü gibi saat 16:15' te bilgisayar kapalı konumda ve açıldıktan 5 dk sonra büyük bir sıcaklık artışı görülmekte fakat geri kalan dakikalarda işlemci sıcaklığının artış miktarının azalarak stabil bir sıcaklıkta kaldığı görülmektedir.



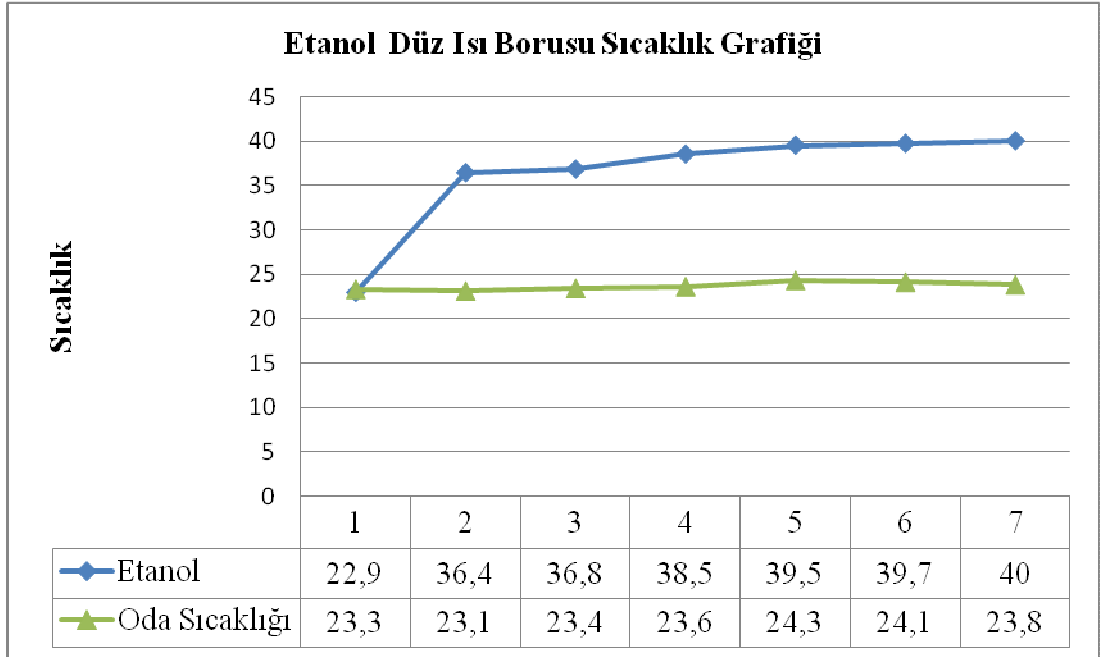
Şekil 4.3. Isı Borusuz CPU Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.4. Isı Borusu Olmadan Deneyin Yapılışı.

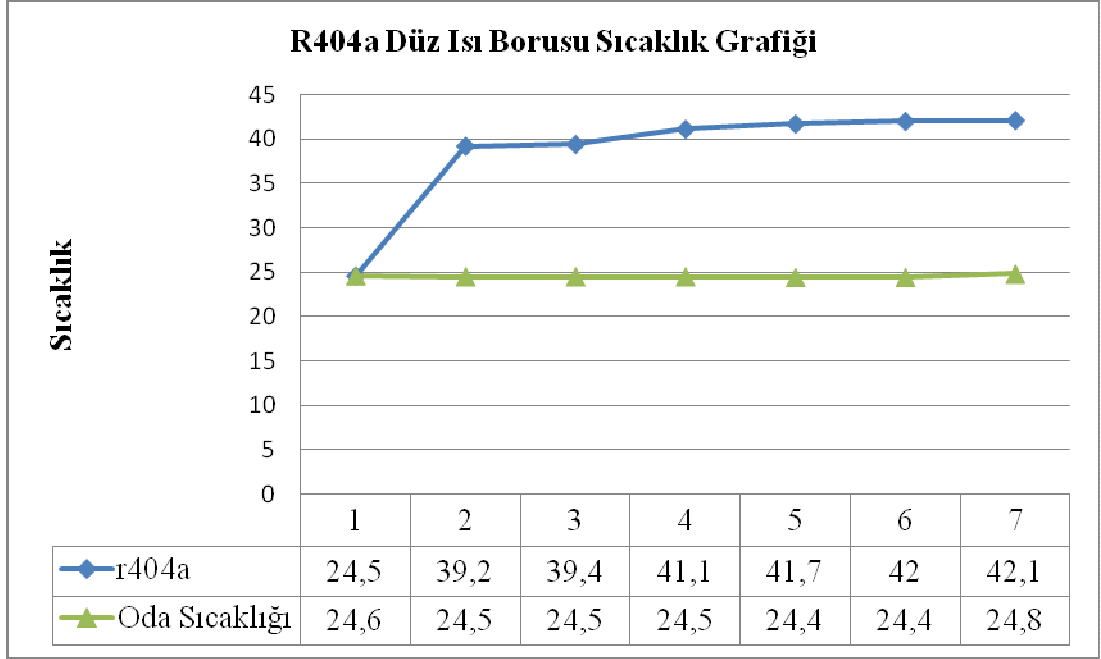


Şekil 4.5. R22 Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.

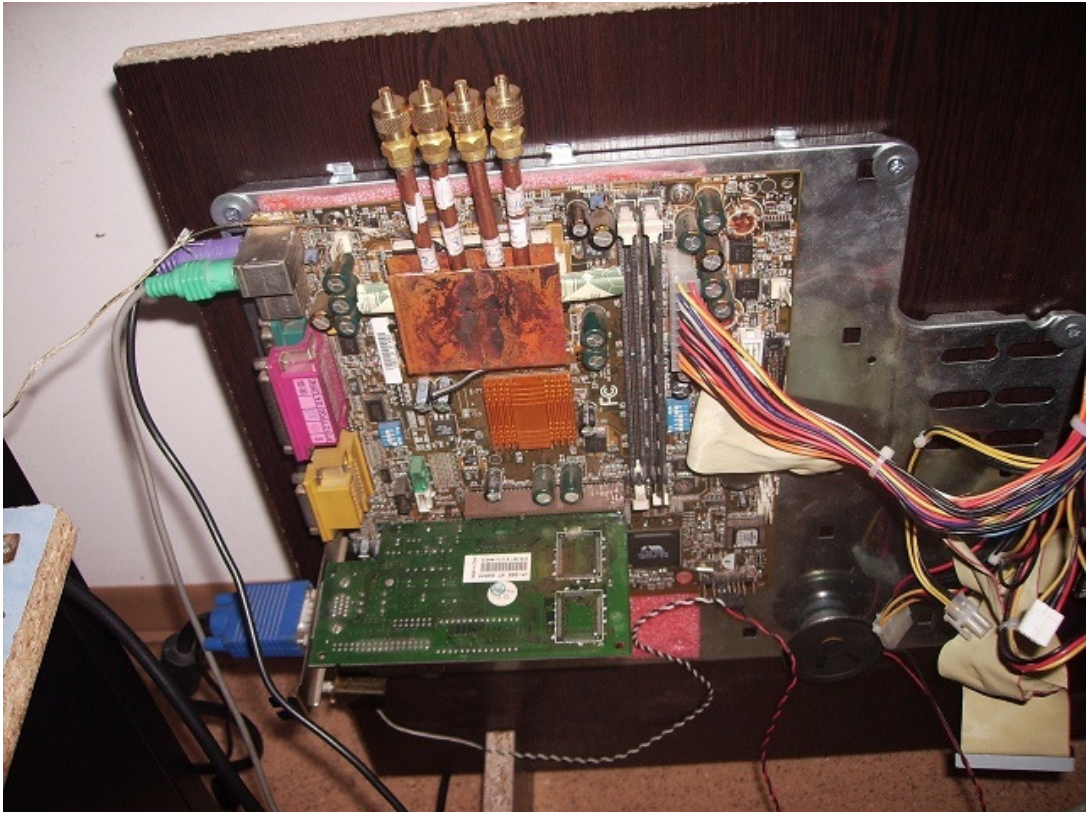


Şekil 4.6. Etanol Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



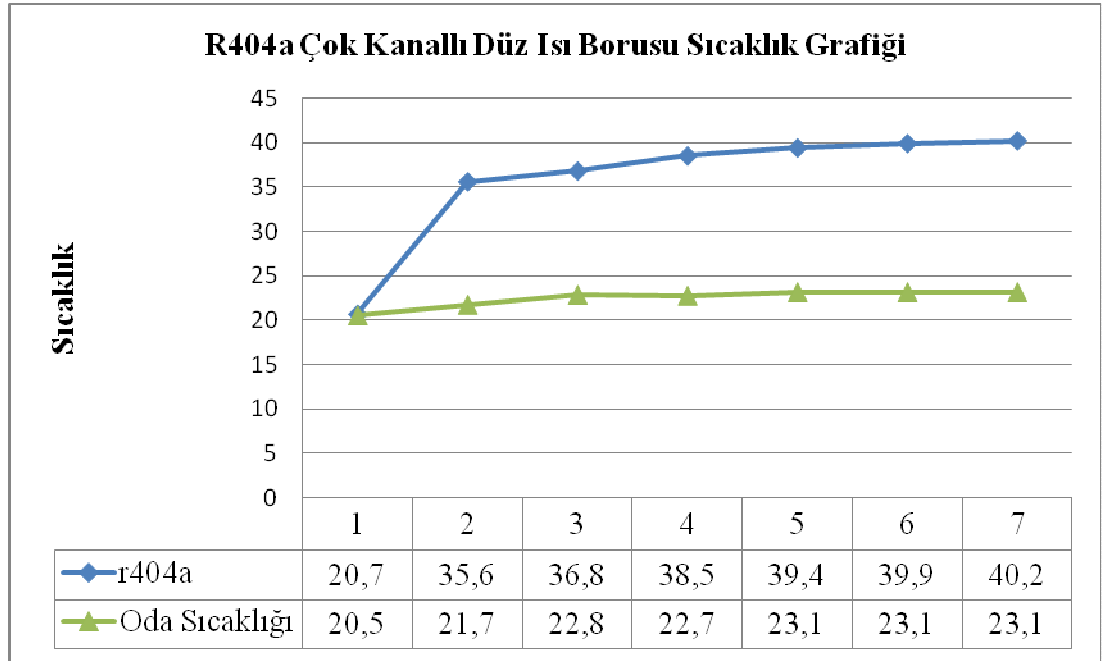


Şekil 4.7. R404a Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.

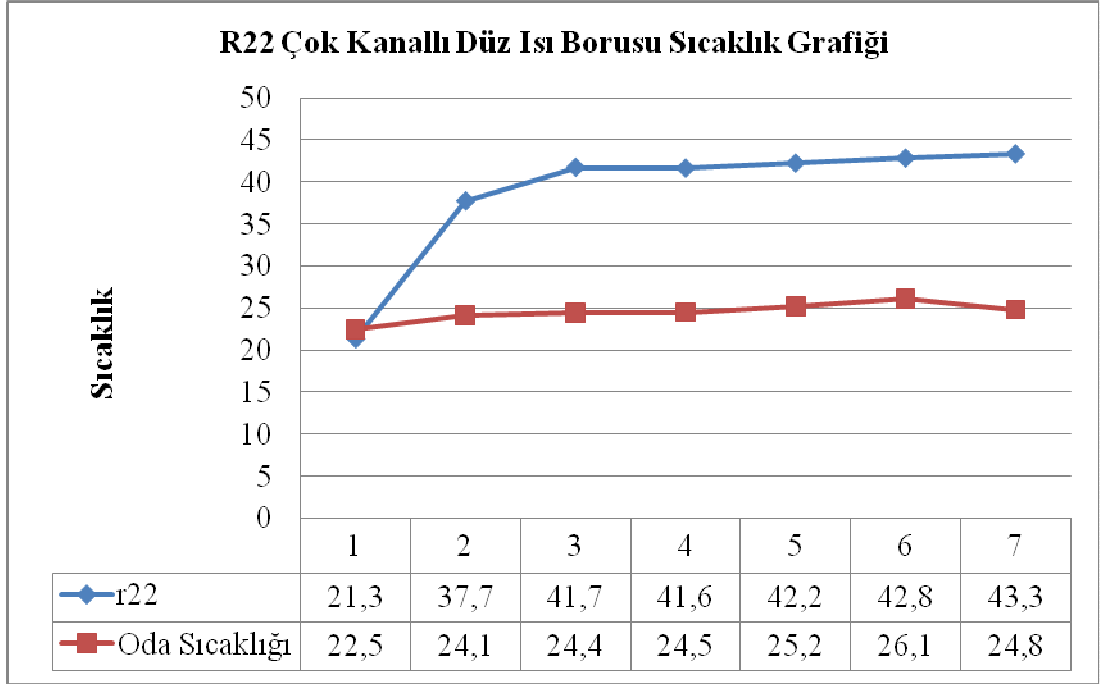


Şekil 4.8. Düz Tip Isı Borusunun Deneyi.

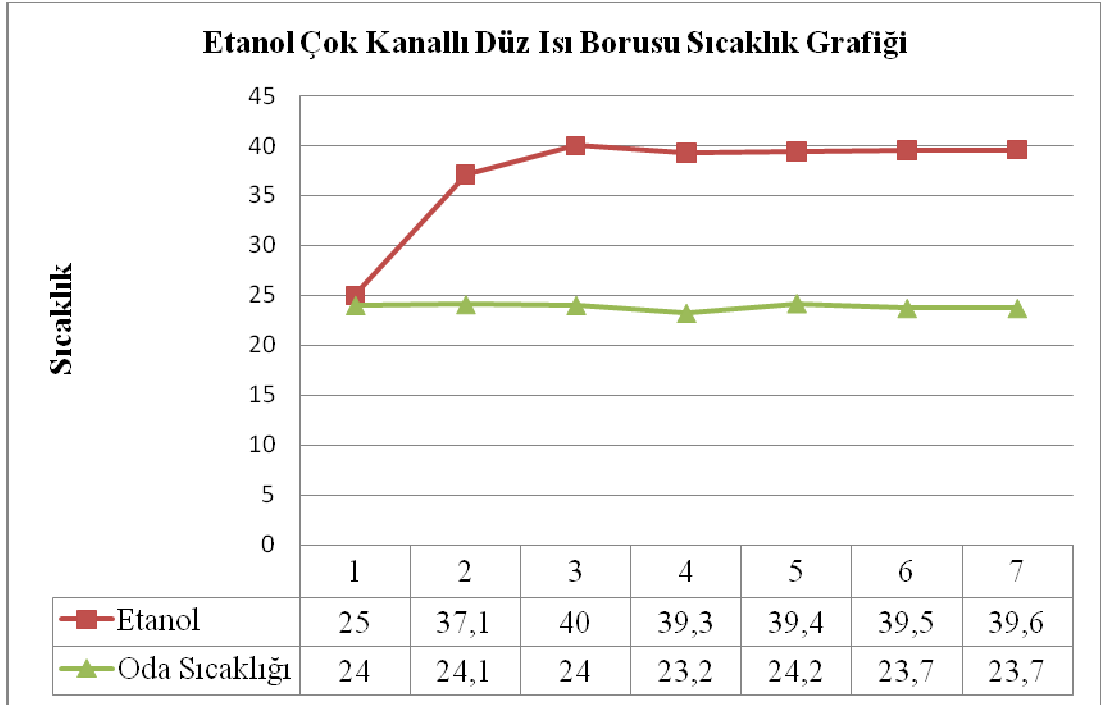
Düz tip ısı borularının deneylerinde ısı borusu olmadan 57°C'ye çıkan CPU sıcaklıklarında düşüş görülmektedir. Akışkanlar içerisinde düz tip ısı borularında en verimli akışkan etanol göze çarpmaktadır. R22 – 41°C'yi görürken R404a - 42,1°C'ye çıkmıştır. Etanol ise bir saat sonunda en fazla 40°C' de stabil soğutma yapmaktadır.



Şekil 4.9. R404a Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.10. R22 Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.

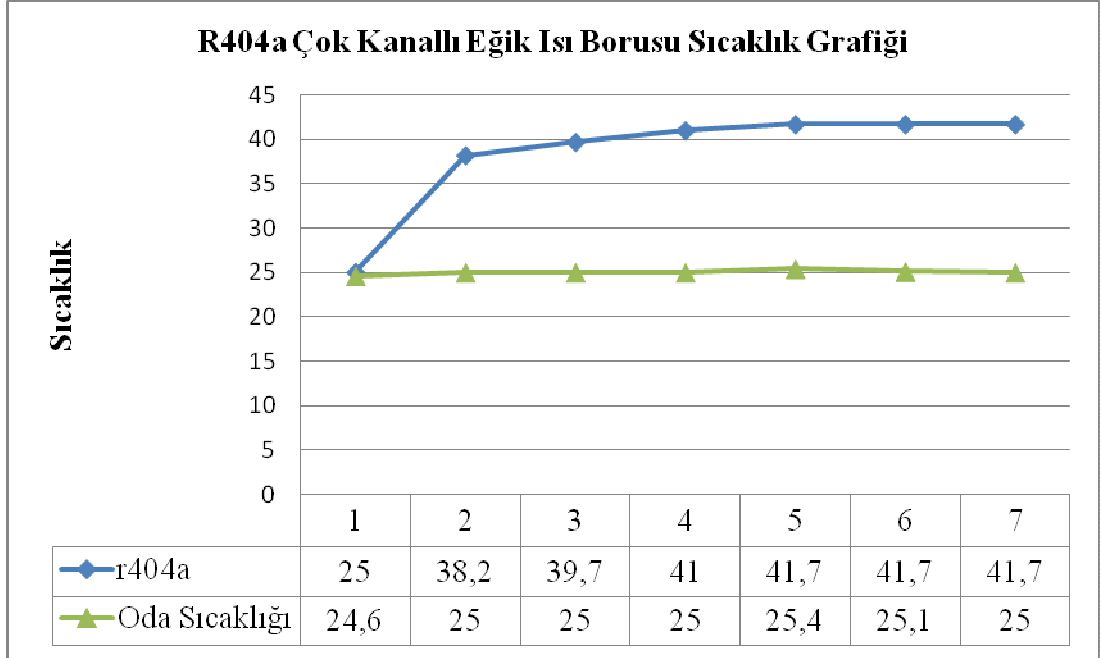


Şekil 4.11. Etanol Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.

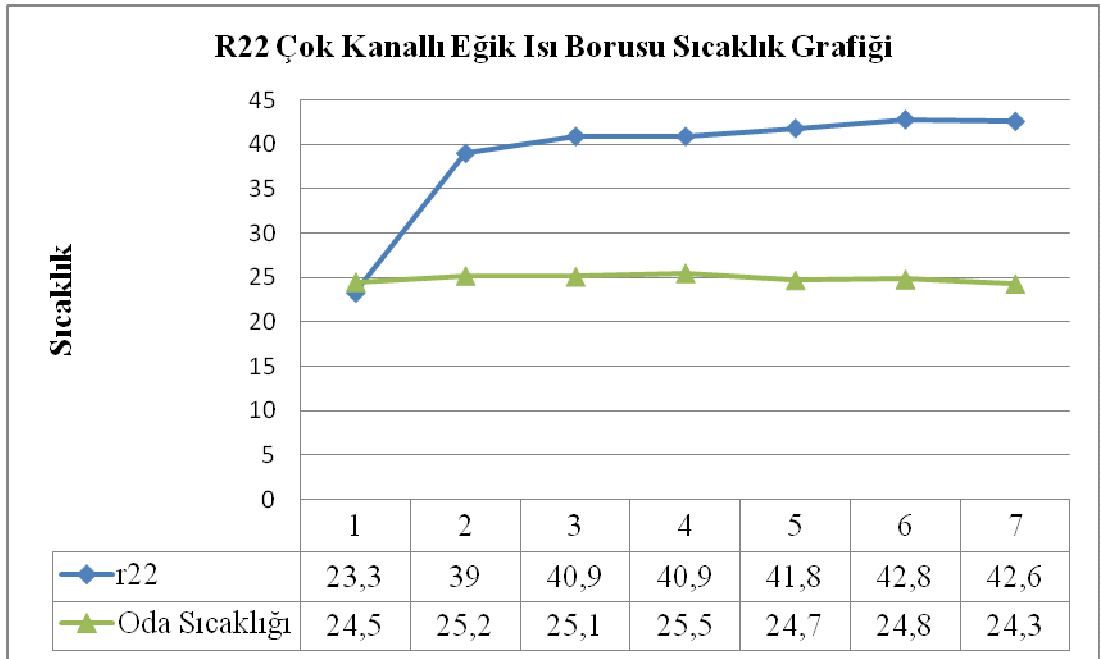


Şekil 4.12. Çok Kanallı Düz Tip Isı Borusunun Deneyi.

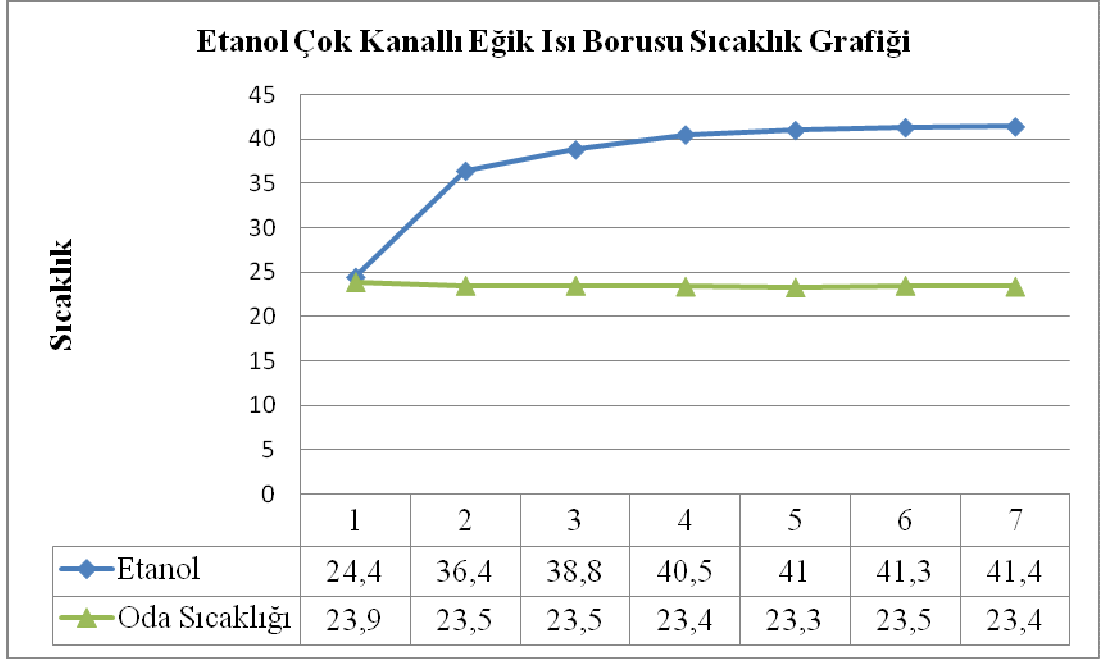
Akışkanlar içerisinde çok kanallı düz tip ısı borularında en verimli akışkan yine etanol oldu. R22 – 42,5°C’yi görürken R404a - 41°C’de stabil soğutmaktadır. Etanol ise bir saat sonunda en fazla 40°C’yi görmesine rağmen 39,5°C’de stabil soğutma yapmaktadır. R404a düz tipte R22’nin arkasında kalırken çok kanallı düz tip ısı borularında daha iyi soğutma yapmaktadır.



Şekil 4.13. R404a Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.14. R22 Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



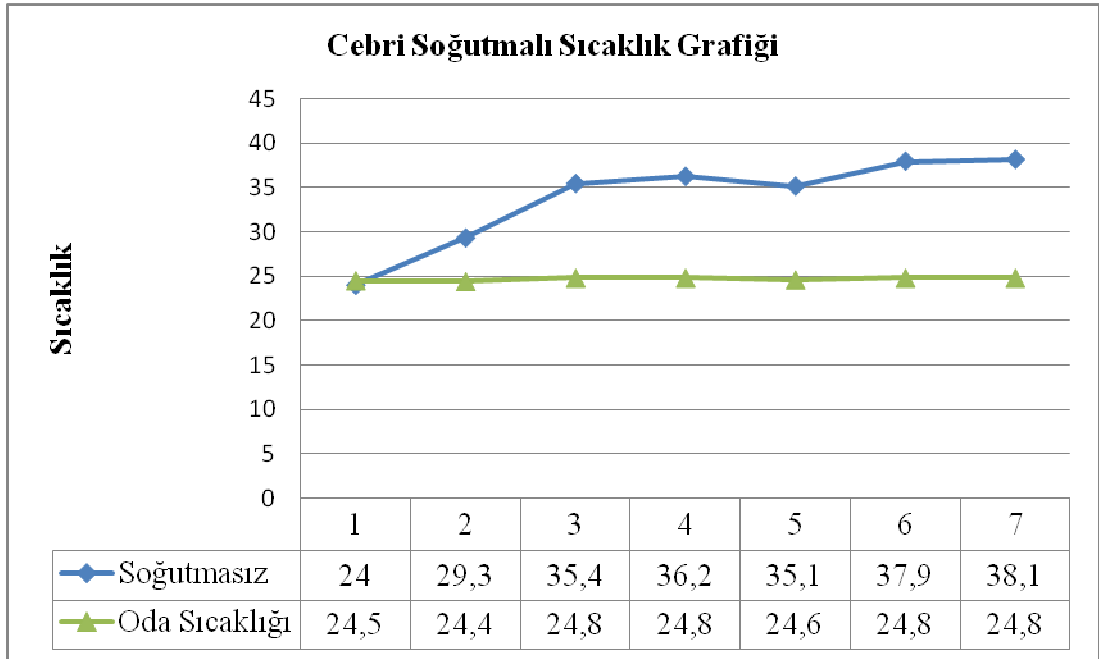
Şekil 4.15. Etanol Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.16. Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borusunun Deneyi.

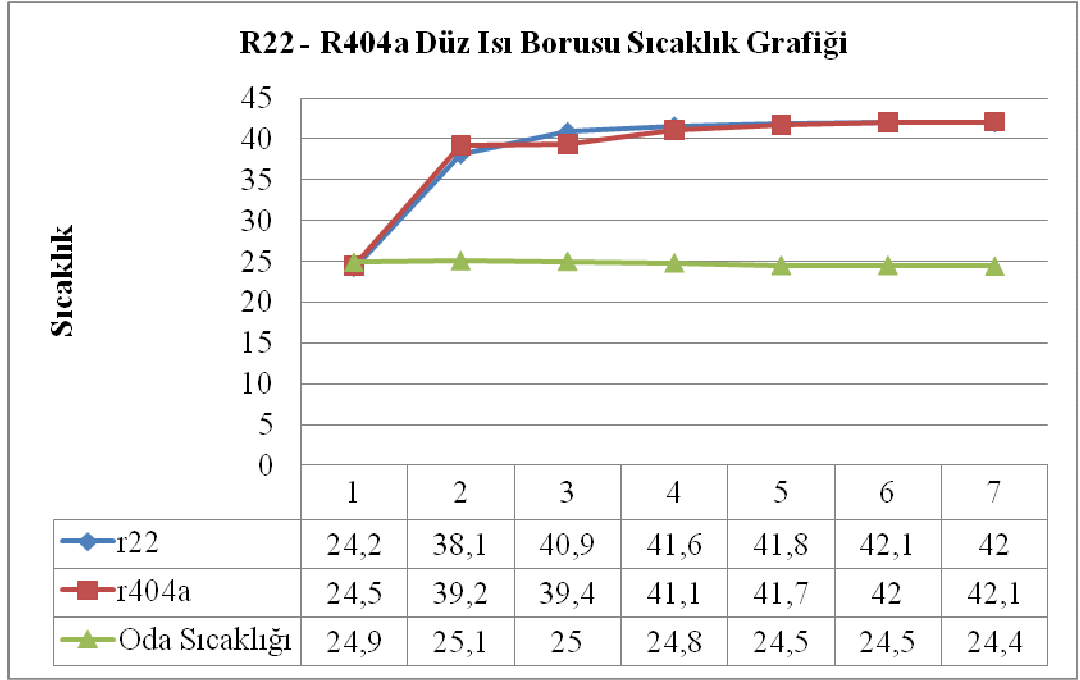


Şekil 4.17. Deney Sisteminin Genel Görünüşü.

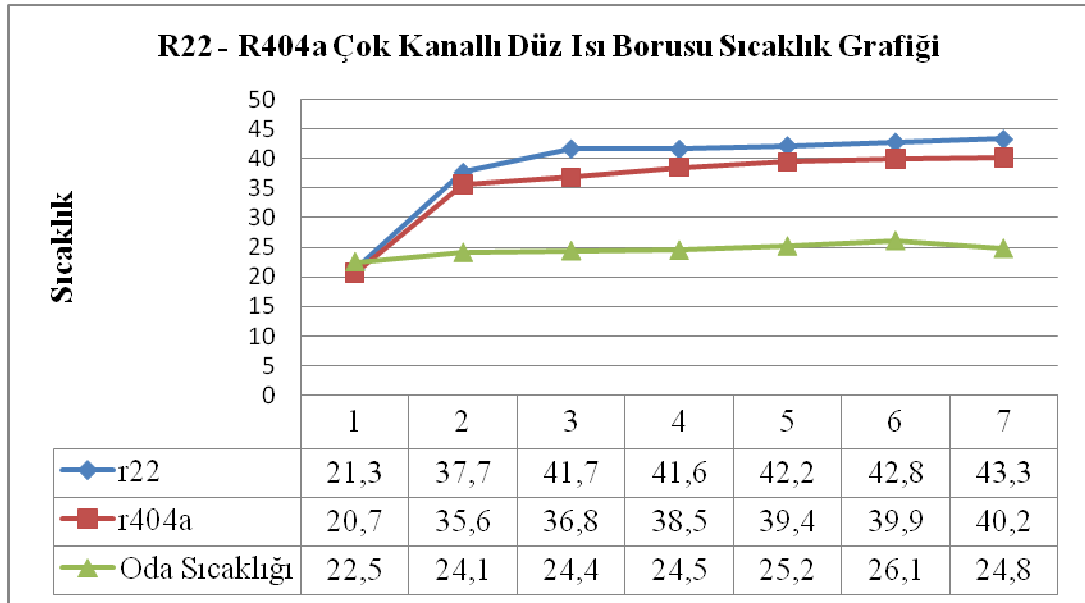


Şekil 4.18. Cebri Soğutmanın CPU Sıcaklık Grafiği.

Şekil 4.11’de de görüldüğü gibi işlemcimizin en verimli soğutma şekli cebri soğutma olduğu görülmektedir. Cebri soğutma ile 38°C’de stabil soğutma yapılmaktadır. Fakat cebri soğutma gürültü kirliliğine ve enerji harcamasına neden olmaktadır.

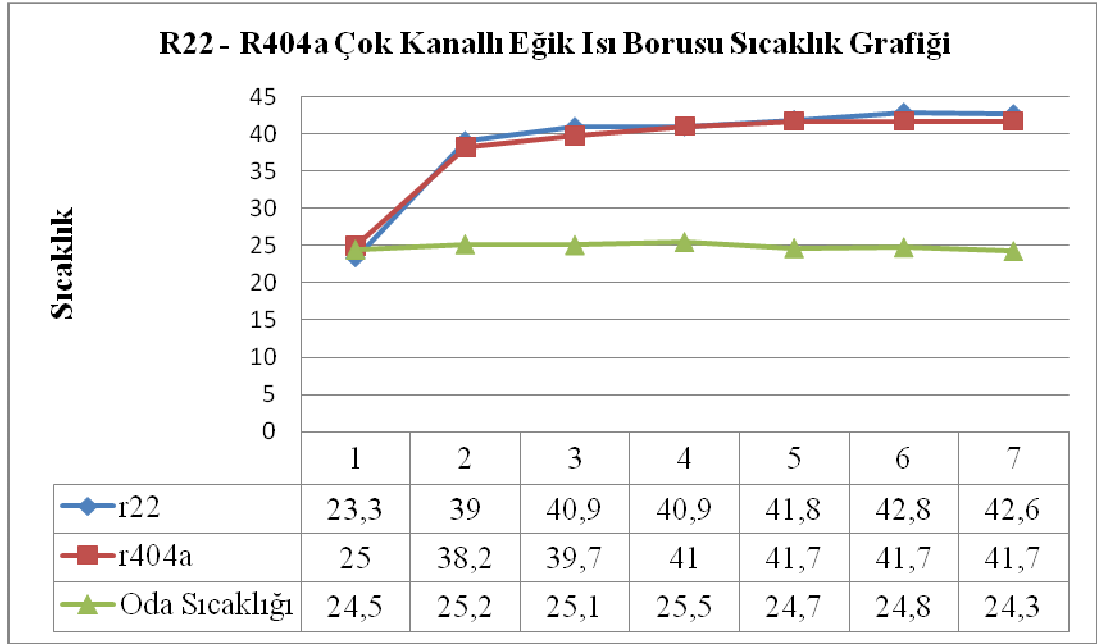


Şekil 4.19. R22-R404A Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.20. R22-R404A Çok Kanallı Düz Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.





Şekil 4.21. R22-R404A Çok Kanallı Eğik Tip Isı Borulu CPU Sıcaklık Grafiği.

Akışkanlar içerisinde çok kanallı eğik tip ısı borularında en verimli akışkan hemen hemen aynı değerleri alan R404a ve etanol oldu. R22 – 43°C’yi görürken R404a – 41,7°C’de stabil soğutma yapmaktadır. Etanol ise bir saat sonunda en fazla 41,6°C’de stabil soğutma yapmaktadır. R404a, düz tipte R22’nin arkasında kalırken çok kanallı eğik tip ısı borularında daha iyi soğutma yapmaktadır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, üç farklı akışkanın üç farklı tipteki ısı borusunda, bilgisayar CPU(Central Processing Unit) soğutması amaçlanarak birbirleriyle kıyası yapıldı.

Yapılan deneyler sonucunda en verimli akışkanın etanol olduğu görülmektedir. Ardından daha verimli olan R404 a gelmekte ve onu takip eden R22 bu akışkanlar içinde en az verimle soğutma yapmaktadır. Etanol'ün ise düz tip ısı borusunda en verimli soğutmayı yaptığı görülmektedir. Ardından çok kanallı tip ısı borusu ve üçüncü olarak çok kanallı eğimli tip ısı borusu takip etmektedir. R404 a soğutucu akışkanı için yapılan deneylerde en yüksek verimin çok kanallı düz tip ısı borusunda alındığı gözlenmiştir bunu sırasıyla çok kanallı eğimli tip ve düz tip ısı boruları takip etmektedir. R22 soğutucu akışkanı için yapılan deneylerde ise düz tip ısı borusunun en verimli soğutmayı yaptığı bunu sırasıyla çok kanallı eğimli tip ve çok kanallı düz tip ısı borularının takip ettiği gözlenmiştir

## KAYNAKLAR

1. Özkaymak, M., Menlik, T. “Kişisel bilgisayarlarda CPU'nun ısı borusu ile soğutulmasının deneysel incelenmesi” *Teknoloji dergisi*, 3 (4): 129-137 (2000).
2. Dowing, R.C. and Waldin, V.H., “Phase-change heat transfer in solar hot water heating using R-11 and R-114”, *Ashrae Transactions*, 12 (2): 201-207 (2000).
3. Bottum, E.W., “Refrigerant charged phase change, solar water and space heating systems”, *Journal Article*, 35 (4) 353-366 (1985).
4. O’Gallagher, J., Snail, K., Winston, R., Peek, C. and Garrison J.D., “A New evacuated CPC collector tube”, *Solar Energy*, 33 (5): 441-449 (1985).
5. Yılmaz, S., “Güneş enerjili ısı borusuyla sıcak su üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1988).
6. Alkaç Ö., “Isı borusu prensibinin güneşli su ısıtıcılarına uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (1996).
7. Yenice, O.T., “Isı borulu su ısıtıcı güneş kolektörü geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998).
8. Yüksel, T., “Soğutucu akışkanların kullanıldığı ısı borulu güneş kolektörünün kullanılabilirliğinin deneysel ve teorik olarak araştırılması”, Yüksel Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (1998).
9. Taban, M., “Düzlemsel güneş kolektöründe kullanılan ısı borusunun optimizasyonu ve deneysel incelemesi”, Yüksel Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya (2002).
10. Deniz, E., “Çift fazlı korunmuş bölge güneşli su ısıtıcı ile endirekt ısıtım güneş su ısıtıcı verimlerinin karşılaştırılması”, Yüksel Lisans Tezi, *ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (2003).
11. Esen M. and Esen H., “Experimental investigation of a two-phase closed termosyphon solar water heater”, *Solar Energy*, (79): 459-468 (2004).
12. Esen M., “Termal performance of a solar cooker integrated vacuum-tube collector with heat pipes containing different refrigerants”, *Solar Energy*, (76) 751- 757 (2003).
13. Acar,B. “Düz ısı borulu güneşli su ısıtma sistemleri ile birleşik ısı borulu güneşli su ısıtma sistemlerinin performans değerlerinin kıyaslamalı olarak belirlenmesi”,

Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (2007).

14. “Transterm overview of heat pipe, new approaches to heat transfer” <http://www.transterm.ro/overview.htm>. (2006).
15. Uyarel, A.Y. ve Öz, E.S. “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, 104 – 201 (1987).
16. “Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve bu akışkanların ozon tabakası üzerine etkileri”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi* (88) 46- 53, (2005).
17. Karalsoğutmaweb sitesi  
“BaşlıcaSoğutucuSafMaddeler ” <http://www.karalsoğutma.com/soğutucu-akışkanlar.htm> 2010.

## **ÖZGEÇMİŞ**

4 ocak 1979 tarihinde Manisa'nın Alaşehir ilçesinde doğdu. Celal Şükrü Sayınsoy ilkokulunu bitirdikten sonra Atatürk ilköğretim okulunda ortaokul öğrenimini tamamladı. Ardından Org. Kenan Evren Endüstri meslek lisesi Elektrik bölümünü bitirdi. 2001-2003 tarihleri arasında askerlik hizmetini tamamladıktan sonra 2003-2004 tarihleri arasında vestel high end fabrikasında çalıştı. 2004-2008 tarihleri arasında Z.K.Ü. Karabük teknik eğitim fakültesi makine eğitimi bölümü tesisat öğretmenliği ana bilim dalında üniversite eğitimini tamamladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (506) 6618725