

**ATIK BACA GAZLARINDAN ISI GERİ
KAZANIMININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Emre ÜRÜN

**ATIK BACA GAZLARINDAN ISI GERİ KAZANIMININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Emre ÜRÜN

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


KARABÜK

Haziran 2010

Emre ÜRÜN tarafından hazırlanan “ATIK BACA GAZLARINDAN ISI GERİ KAZANIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hüseyin KURT

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2010

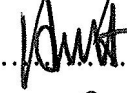
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)

.....

20.10.2010

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.”

Emre ÜRÜN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK BACA GAZLARINDAN ISI GERİ KAZANIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Emre ÜRÜN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin KURT

Haziran 2010, 54 sayfa

Bu çalışmada, yerçekimi destekli ısı borulu atık baca gazlarından ısı geri kazanım sisteminin ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Isı geri kazanım sistemi, bakır borudan yapılmış 16 adet ısı borusundan oluşmaktadır. Çalışma akışkanı olarak, R-134a ve R-410a soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Sistem, baca içerisine yerleştirilen evaporatör bölgesinin atık baca gazlarında almış olduğu ısı enerjisinin soğutma suyunun dolaştığı bir depo içerisine yerleştirilen kondenser bölgesine taşınması şeklinde çalışmaktadır. Deneyler, beş farklı baca gazı sıcaklığında (75, 100, 125, 150, 175 °C), dört farklı baca gazı hızında (1, 1.5, 2, 2.5 m/s) ve soğutma suyu debisinde (1, 2, 3, 4 lt/dk) yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, R-134a için ısı borusu etkinliği %57.7 olurken, aynı şartlar altında R-410a için %44.1 olmuştur. Isı borulu ısı geri kazanımında, R-134a, R-410a soğutucu akışkanına göre daha etkili olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yerçekimi destekli ısı borusu, ısı geri kazanımı, atık baca gazı.

Bilim Kodu : 708.1.065

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT RECOVERY FROM WASTE FLUE GASSES

Emre ÜRÜN

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin KURT

June 2010, 54 pages

In this study, thermal performance of heat recovery system gravity assisted heat pipe has been investigated experimentally. The heat recovery system consists of 16 pieces heat pipe made copper pipe. R-134a and R-410a refrigerants were used as working fluids. System works transporting to heat energy obtained from waste flue gases in the evaporator region to the condenser region that placed inside a store which is circulated cooling water. Experiments are carried out five different flue gases temperature (75, 100, 125, 150, 175 °C), different flue gases velocity (1, 1.5, 2, 2.5 m/s) and different cooling water flow rates (1, 2, 3, 4 lt/dk). According to the results obtained from experiments, while the heat pipe efficiency was 57.7% for R-134a, under the same conditions was 44.1% for R-410. At the end of the study, it showed that R-134a working fluids more efficiency than R-410 in the heat pipe heat recovery system.

Key Words : Gravity assisted heat pipe, heat recovery, waste flue gas.

Science Code : 708.1.065

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın baőlangıcından sonuna kadar her aőamasında benden yardımlarını esirgemeyen, beni yönlendiren ve yüreklendiren ve alıőmaktan her daim mutluluk duyduğum değerli hocam ve danıőmanım Doç. Dr. Hüseyin KURT'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında karşılaőtığım sorunları farklı bakıő açılarıyla yorumlamama yardımcı olan, bilgi birikimlerini her daim paylaşan Öğr. Gör. Ahmet BOSTANCI hocama teőekkürlerimi sunarım.

Mesleki yaőamım süresince ve tezimin yazımı sırasında desteğini hiçbir konuda esirgemeyen kadim dostum ve mesai arkadaşım İsa DEMİR'e, teőekkürü borç bilirim.

Çalıőmalarım boyunca sabrı ve sevgisi ile her zaman yanımda olan eőim Feride ÜRÜN'e teşekkür ederim. Böyle meőakkatli bir yolculukta onun desteği olmasaydı başarı elde etmek benim için zor olacaktı.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ixv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKANLAR	3
2.2. ISI BORUSUNDA KULLANILAN MALZEMELER	5
2.3. ISI BORULARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	6
2.4. ISI BORUSUNUN KULLANIM ALANLARI	7
2.5. ISI DEĞİŞTİRİCİ ÇEŞİTLERİ	8
2.6. ISI BORULARININ AVANTAJLARI	8
2.7. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKAN MİKTARININ TESPİTİ ..	9
2.8. ISI BORULARININDA KULLANILAN FİTİLLER	9
2.9. YERÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORULARI	10
2.10. ISI BORULARININ ÇALIŞMASINDAKİ SINIRLAMALAR	11
BÖLÜM 3	13
MATERYAL VE METOD	13
3.1. ISI BORUSU MALZEMESİNİN SEÇİMİ	14
3.2. ISI BORUSU ÇALIŞMA AKIŞKANI SEÇİMİ	15

3.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARININ TESPİTİ ...	15
3.4. ISI BORUSU YAPIM AŞAMASI	15
3.5. ISI BORULARININ VAKUMLANMASI VE AKIŞKAN DOLDURULMASI	17
3.6. KANAL TASARIMI VE YALITIMI	17
3.7. SİSTEM ELEKTRİK ÜNİTESİ	18
3.7.1. Isıtıcı Rezistans.....	18
3.7.2. Fan	19
3.7.3. Kontaktör.....	20
3.8. ÖLÇÜM CİHAZLARI	20
3.8.1. Termostat	20
3.8.2. Termokupl, Modül ve Bilgisayar	21
3.8.3. Debimetre.....	22
3.8.4. Dimmer	23
3.8.5. Anemometre.....	23
3.9. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	24
BÖLÜM 4	26
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. DENEY SONUÇLARI	26
4.2. ISI BORUSU ETKENLİK HESABI	43
BÖLÜM 5	51
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Isı borusunun çalışma şekli.....	7
Şekil 2.2. Fital yapıları.....	11
Şekil 3.1. Yerçekimi destekli ısı borulu ısı geri kazanım sisteminin şematik yapısı.....	14
Şekil 3.2. Kanatçıkların ısı borularına yerleştirilmesi.....	16
Şekil 3.3. Yönlendirme plakalarının yerleştirilmesi.....	17
Şekil 3.4. Isı borularının vakumlanması ve akışkan doldurulması.....	18
Şekil 3.5. Sistem elektrik ünitesi güç ve kumanda devre şemaları.....	19
Şekil 3.6. Isıtıcı rezistansların kanala yerleştirilmesi.....	20
Şekil 3.7. Sanayi tipi alçak basınçlı radyal fan.....	21
Şekil 3.8. Kontaktör.....	21
Şekil 3.9. Termostat.....	22
Şekil 3.10. Modül ve termokupl örnekleri.....	23
Şekil 3.11. Debimetre.....	23
Şekil 3.12. Dimmer.....	24
Şekil 3.13. Anemometre.....	23
Şekil 3.14. Deney düzeneği.....	25
Şekil 3.15. Verilerin modüller yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılması.....	25
Şekil 3.16 Deney düzeneğindeki sıcaklık ölçüm noktaları.....	26
Şekil 4.1. Çalışma akışkanı R-134a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	28
Şekil 4.2. Çalışma akışkanı R-134a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	29
Şekil 4.3. Çalışma akışkanı R-134a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	29
Şekil 4.4. Çalışma akışkanı R-134a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	30

Şekil 4.5. Çalışma akışkanı R-134a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	30
Şekil 4.6. Çalışma akışkanı R-134a için, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	31
Şekil 4.7. Çalışma akışkanı R-134a için, 2 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	32
Şekil 4.8. Çalışma akışkanı R-134a için, 3 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	32
Şekil 4.9. Çalışma akışkanı R-134a için, 4 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	33
Şekil 4.10. Çalışma akışkanı R-134a için, 1 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	34
Şekil 4.11. Çalışma akışkanı R-134a için, 1.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	34
Şekil 4.12. Çalışma akışkanı R-134a için, 2 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	35
Şekil 4.13. Çalışma akışkanı R-134a için, 2.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	35
Şekil 4.14. Çalışma akışkanı R-410a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	37
Şekil 4.15. Çalışma akışkanı R-410a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	38
Şekil 4.16. Çalışma akışkanı R-410a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	38
Şekil 4.17. Çalışma akışkanı R-410a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	39
Şekil 4.18. Çalışma akışkanı R-410a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	39

Şekil 4.19. Çalışma akışkanı R-410a için, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	40
Şekil 4.20. Çalışma akışkanı R-410a için, 2 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	40
Şekil 4.21. Çalışma akışkanı R-410a için, 3 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	41
Şekil 4.22. Çalışma akışkanı R-410a için, 4 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.....	41
Şekil 4.23. Çalışma akışkanı R-410a için, 1 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	42
Şekil 4.24. Çalışma akışkanı R-410a için, 1.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	43
Şekil 4.25. Çalışma akışkanı R-410a için, 2 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	43
Şekil 4.26. Çalışma akışkanı R-410a için, 2.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi.	44
Şekil 4.27. Çalışma akışkanı R-134a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	46
Şekil 4.28. Çalışma akışkanı R-134a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	47
Şekil 4.29. Çalışma akışkanı R-134a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.....	47
Şekil 4.30. Çalışma akışkanı R-134a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	48
Şekil 4.31. Çalışma akışkanı R-134a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	48
Şekil 4.32. Çalışma akışkanı R-410a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	49

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.33. Çalışma akışkanı R-410a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	49
Şekil 4.34. Çalışma akışkanı R-410a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	50
Şekil 4.35. Çalışma akışkanı R-410a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.	50
Şekil 4.36. Çalışma akışkanı R-410a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Isı borularında kullanılan bazı akışkanların özellikleri.	4
Çizelge 2.2. Bazı akışkanlar ile malzemelerin uyumluluğu.....	5
Çizelge 4.1. Hesaplamalarda kullanılan havanın fiziksel özellik değerleri.	45

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve buna bağlı olarak sanayinin gelişmesi enerji ihtiyacını gün geçtikçe artırmıştır. Üretimin olduğu yerde enerjinin olmaması mümkün değildir. Endüstriyel tesislerde kullanılan enerjiden açığa çıkan ısı çoğu zaman atmosfere atılmaktadır. Bir sistemin verimli çalışabilmesi için gerekli olan enerji miktarından kısıtlamaya gitmek mümkün değildir. Bu noktada sistemden atmosfere atılan ısıdan yararlanmak suretiyle tasarruf edilebilmektedir. Böylelikle aynı miktarda enerji girdisinden daha fazla verim alınarak ekonomiye katkı sağlanmaktadır. Her geçen gün artan enerji ihtiyacı, atık ısının geri kazanılması yönünde araştırmalar yapmayı zorunlu hale getirmiştir.

Atık ısı enerjisinin geri kazanılmasında kullanılan yöntemlerden birisi de ısı borulu sistemlerdir. 19. yy ortalarında (1836) İngiltere’de Perkins tarafından bulunan ve “Perkins Tübü” olarak adlandırılan sistem, ısı borusunun ilk ortaya çıkışı olarak bilinmektedir. Perkins tübü fitilsiz ve yerçekimi destekli bir ısı borusudur. Sistemdeki ısı transferi faz dönüşümü ile sağlanmaktadır. Fakat ısı borusu üzerine ilk kapsamlı çalışma 1944 yılında Gaugler ve 1962 yılında Trefethen tarafından yapılmıştır. Grover ve Gaugler tarafından 1960’lı yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Los Alamos Laboratuvarında yapılan çalışmaların ardından ‘Isı Borusu’ adı Grover tarafından verilmiştir.

Isı borusu, bir ısı taşıma cihazı olarak çok geniş sıcaklık aralığında, farklı büyüklüklerde, sabit veya esnek şekillerde, silindirik, düzlemsel, dönel veya kullanım yerine ve amacına uygun olarak çok farklı şekillerde üretilebilmektedir. Günümüzde ısı borularının kullanım alanı çok geniştir. Isı boruları, bilgisayar CPU’larının soğutulmasından nükleer santrallere (Doughty and Pruess, 1990), uzay araçlarındaki kullanımdan (Mo, 2000) elektronik uygulamalarına (Sauciuc et al.,

2000), çeşitli proseslerin kontrolünden güneş enerjisi uygulamalarına (Kalogirou, 2004), iklimlendirme tesislerinden (Noie-Baghban and Majideian, 2000) otoyollara (Faghri, 1995), petrol boru hatlarından sıcaklık ölçme sistemlerine (Marcarino, 2003) veya tıbbi uygulamalara (Hamilton and Hu, 1993) kadar pek çok uygulama alanında yer bulabilmektedir (Dunn and Reay, 1994; Peterson, 1994; Faghri, 1995; Zhang and Zhuang, 2003; Vasiliev, 1998; 2005).

Bu çalışmada, yerçekimi destekli ısı borulu atık baca gazlarından ısı geri kazanım sisteminin ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, ısı geri kazanım sisteminden oluşan bir deney düzeneği kurulmuştur. Isı geri kazanım sistemi, bakır borudan yapılmış 16 adet ısı borusundan oluşmaktadır. Çalışma akışkanı olarak, R-134a ve R-410a soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Sistem, baca içerisine yerleştirilen evaporatör bölgesinin atık baca gazlarında almış olduğu ısı enerjisinin şehir şebeke suyunun dolaştığı bir depo içerisine yerleştirilen kondenser bölgesine taşınması şeklinde çalışmaktadır. Deneyler, beş farklı baca gazı sıcaklığında (75, 100, 125, 150, 175 °C), dört farklı baca gazı hızında (1, 1.5, 2, 2.5 m/s) ve dört farklı soğutma suyu debisinde (1, 2, 3, 4 lt/dk) yapılmıştır. Sistemin ısı performansını, kondenser bölgesinden soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisinin baca gazlarından evaporatör bölgesine aktarılan ısı enerjisine oranına göre belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Isı borusu üzerindeki ilk deneyler, 1942 yılında R.S.Gaugler tarafından yapılmıştır. Gaugler'in çalıştığı ısı boruları zamanla gelişim göstererek şu an kullanılan ısı borularının temelini oluşturmuştur. Gaugler ısı borularında çelik fitiller kullanırken, günümüzde perde sargılı, sinterlenmiş metal, eksenel kanallı, annular dairesel, yarım ay, kompozit ve perde kaplı fitiller kullanılmaktadır. Isı borusunun bugünkü haline gelmesinde en büyük pay Grover'e aittir.

Isı borusu konusu, keşfinden sonra dünyadaki birçok bilim adamının ilgisini çekmeyi başarmıştır. 1970'li yıllara yaklaşıldığında dünyada uzay çalışmaları ön plana çıktığından ısı boruları da bu çalışmalarda yerini almıştır. Uzay çalışmalarında ısı borusu ilk kez D.K. Anand tarafından kullanılmıştır. En büyük gelişme ise Deverall ve Keme tarafından, akışkan olarak saf su kullanılan ısı borusunun üretilmesidir. Isıl iletkenliklerinin bakırdan bile kat kat fazla olması bilim adamlarının ısı borusuna olan ilgilerini arttırmıştır. Bu da ısı borusunun zamanla gelişim hızını ve kullanım alanlarını arttırmıştır.

Gelişen teknoloji ve geçen zamanla birlikte; günümüze ulaşan ısı borusunun yapısında farklılıklar, kullanım alanında da çeşitlilik görülmektedir. Isı boruları sırasıyla elektrik devrelerinde, daha sonrada gaz trübinlerinin soğutulmasında kullanılmıştır. W.B.Bienert ısı borularını güneş enerjisi toplama kollektörlerinde kullanarak enerji kaynaklarında da kullanılabileceğini göstermiştir.

2.1. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKANLAR

Isı borularının kullanıldığı sistemlerde akışkan seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus seçilen akışkan ile ısı borusunun yapıldığı malzemenin

uyumlu olmasıdır. Isı borusu, kullanılan akışkan ile reaksiyona girmemelidir. Isı borusunda kullanılan akışkan seçimi, kullanılacağı sistemdeki sıcaklık aralığına göre belirlenmektedir. Isı borusunun sistemde maruz kalacağı sıcaklık aralığına uygun, yüksek verimli akışkan seçilmelidir. Isı borusunun kullanıldığı sistemin sıcaklığı düşük seviyelerde ise, Hidrojen, Azot, Oksijen, Neon ve Metan gibi gazlar, sistemin sıcaklığı yüksek seviyelerde ise, Potasyum, Gümüş, Lityum, Sezyum ve Civa gibi çalışma akışkanları tercih edilmelidir.

Çizelge 2.1. Isı borularında kullanılan bazı akışkanların özellikleri (Faghri, 1995).

Çalışma Akışkanı	Erime Sıcaklığı (K) (1 atm basınçta)	Kaynama Sıcaklığı (K) (1 atm basınçta)	Kullanım Sıcaklığı Aralığı (K)
Helyum	1	4,21	2–4
Hidrojen	13.8	20.38	14–31
Argon	83.9	87.29	84–116
Metan	90.6	111.4	91–150
Etan	89.9	184.6	150–240
Freon 22	113.1	232.2	193–297
Amonyak	195.5	239.9	213–373
Freon 21	138.1	282.0	233–360
Freon 11	162.1	296.8	233–393
Pentan	143.1	309.2	253–393
Freon 113	239.5	320.8	263–373
Aseton	180	329.4	273–393
Metanol	175.1	337.8	283–403
Flutec PP2	223.1	349.1	283–433
Etanol	158.7	354.5	273–403
Heptan	182.5	371.5	273–423
Su	273.1	373.1	303–473
Tolun	178.1	383.7	323–473
Naptalen	353.4	490.0	408–478
Dowtherm	285.1	527.0	423–668
Cıva	234.2	630.1	523–923
Potasyum	336.4	1032	773–1273
Sodyum	371.0	1151	873–1473
Gümüş	1234	2485	2073–2573

Akışkan seçiminde ısı borusunun yapıldığı malzeme ile akışkanın uyumu ve ortam sıcaklığının yanında donma noktası, buharlaşma ısı, kaynama noktası, buhar basıncı, kinematik viskozite, ısıl iletkenlik ve yüzey gerilimi katsayısı da belirleyici unsurlardır.

Fitil kullanılan ısı borularında fitil ile reaksiyona girmeyen akışkan seçilmelidir. Verimli bir sistemde akışkan buharlaşma veya yoğuşmada gizli ısı taşıdığından akışkan buharlaşma gizli ısı yüksek olmalıdır. Gelişen teknoloji ile ısı borusu kullanım alanları artmış ve boyutları küçülmüştür. Bu yüzden akışkan yüksek buhar yoğunluğuna sahip olmalıdır. Isı borusunun dolayısıyla sistemin yüksek verimle çalışabilmesi, uyumlu akışkan seçimiyle mümkündür. Isı borusunda kullanılan akışkanlar ve özellikleri (Faghri, 1995), Çizelge 2.1’de verilmiştir.

2.2. ISI BORUSUNDA KULLANILAN MALZEMELER

Isı borusunun yapımında bakır ve alüminyum gibi metaller, Demir (Fe) ve Karbon (C) alaşımı olan çelik ve metal, ametal birleşmesi ile oluşan seramik malzemeler kullanılmaktadır. Isı borusu yapımında kullanılan bu malzemelerin ortak özelliği; erime noktasının yüksek olması ve ısı iletkenliğinin iyi olmasıdır. Isı borusundan en yüksek verimi alabilmek için ısı borusu yapımında kullanılan malzeme ile boru içerisinde kullanılan akışkanın uyumlu çalışması gerekir.

Çizelge 2.2. 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

Isı borusunda uyumlu akışkan kullanılmaması durumunda akışkan ve ısı borusunu oluşturan malzeme reaksiyona girerek sistemi çalışmaz hale getirir. Örneğin amonyak çelikle reaksiyona girmediği halde bakırla reaksiyona girer. Çizelge 2.2’de ısı borusu yapımında kullanılan malzeme ve akışkanların uyumu gösterilmiştir (Özsoy ve Acar, 2005).

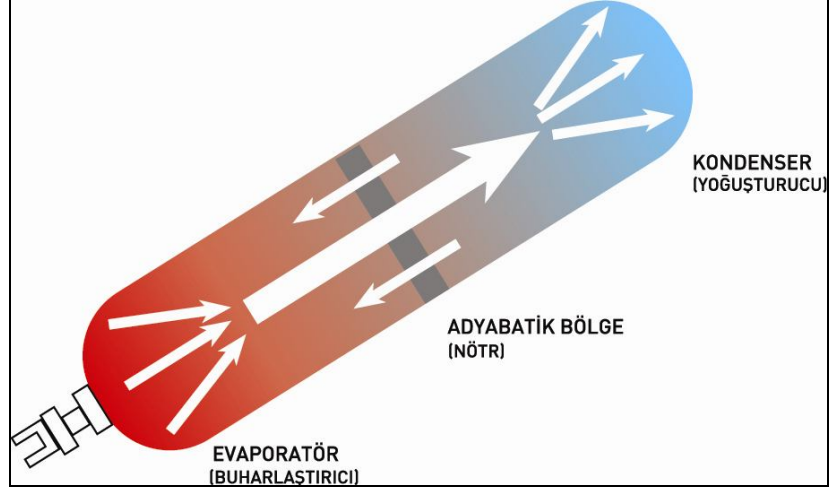
2.3. ISI BORULARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı boruları vakumlanmış, içinde bir miktar akışkan bulunan, evaporatör (buharlaştırıcı) ve kondenser (yoğuşturucu) bölgelerinden oluşan bir ısı transfer cihazıdır. Isı boruları, minimum ısı kayıplarıyla yüksek ısı transferi gerçekleştirmektedir.

Isı borusunun dışarıdan ısı absorbe ettiği kısım evaporatör (buharlaştırıcı), ısı borusunun dış ortama ısı transferinin olduğu kısım ise kondenser (yoğuşturucu) olarak tanımlanmaktadır. Adyabatik bölge ise herhangi bir ısı transferinin olmadığı nötr (geçiş) bölgesidir. Çalışma sırasında ısı borusunun evaporatör kısmına transfer edilen ısı, boru içerisindeki akışkanın buharlaşmasına sebep olmaktadır. Doymuş buhar haline gelen akışkan ısı borusunun kondenser bölgesinden ısı çekilmesi ile birlikte yoğuşmakta ve çeşitli yöntemlerle cihazın evaporatör kısmına geri dönmektedir. Bu şekilde ısı transferi gerçekleşmekte ve çevrim tamamlanmaktadır. Kondenser bölgesinde yoğuşan akışkanı tekrar evaporatör bölgesine iletmek için yerçekimi, merkezkaç, manyetik, elektrostatik v.b kuvvetlerden yararlanılmaktadır. Isı borusundaki akışkanın sirkülasyonunu düzenlemek amacıyla borunun iç kısmına uygun malzemelerden fitil yerleştirilmelidir.

Genelde ısı borulu ısı geri kazanım sistemlerinde evaporatör bölgesi sistemin alçak konumunda bulunmaktadır. Böylelikle ek bir kuvvete gereksinim duymadan yerçekimi kuvvetinden yararlanılarak çevrim kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Isı borularını kullanıldığı sistemlere, çalışma ortamlarına, çalıştırılacağı sıcaklık aralığına göre sınıflandırmak mümkündür. Isı borusunun çalışma şekli Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Isı borusunun çalışma şekli

2.4. ISI BORUSUNUN KULLANIM ALANLARI

Isı boruları, günümüz teknolojisinde birçok farklı alanda kullanılmakta olup, çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Isı borularının uygulama alanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Elektronik devrelerde bellek üzerinde bulunan çiplerin soğutulmasında,
- Bilgisayarlarda işlemci ve ekran kartlarının soğutulmasında,
- Uzay araçlarında ısı iletim mekanizmalarında,
- Jeotermal tesislerde yer altındaki kuyularda bulunan yüksek sıcaklıktaki kaynak suyunun ısınıyını yüzeye taşımakta,
- Alçı tozu üretim tesislerinde alçının kurutulurak su buharından ayrıştırılmasında,
- Vakum tüplü güneş enerji sistemlerinde,
- Köprü ve otoyollarda kar ve buzlanmayı önlemek amacıyla,
- İklimlendirme tesislerinde havanın ön ısıtılmasında,
- Nükleer reaktörlerde soğutma amacıyla,
- Termoiyonik ve termoelektrik üreteç yapımında,
- Motor ve tribünlerinin soğutulmasında,
- Metal kesme ünitelerinde,
- Gaz türbinü jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak,
- Uçakların fren sistemlerinin soğutulmasında,

- Atık ısı geri kazanım sistemlerinde tasarruf amaçlı kullanıldığı gibi nükleer santrallerde, petrol boru hatlarında v.b. tesislerde kullanılmaktadır.

Isı transferinin gerektiği çoğu alanda ve ısı geri kazanımından söz edilen sistemlerde ısı borularının geniş kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir.

2.5. ISI DEĞİŞTİRİCİ ÇEŞİTLERİ

Isı transferinin söz konusu olduğu ortamlarda en önemli hususlardan birisi de şartlara en uygun ısı değiştiricisinin seçilmesidir. Isı değiştiricisi tipini belirlemede basınç ve sıcaklık, kirlenme eğilimleri, temizleme, tamir, akışkan tipleri ve fazları, ısı değiştiricisinin boyutu ve ekonomik faktörler dikkate alınmalıdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tiplerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Spiral Borulu Isı Değiştiriciler
- Contalı Plakalı Isı Değiştiriciler
- Borulu Kanatlı Isı Değiştiriciler
- Hava Soğutmalı Isı Değiştiriciler
- Çift Borulu Isı Değiştiriciler
- Lamelli Isı Değiştiriciler
- Isı Borulu Isı Değiştiriciler
- Plakalı Kanatlı Isı Değiştiriciler
- Kaynaklı Plakalı (Contasız Plakalı) Isı Değiştiriciler
- Grafit Isı Değiştiriciler
- Rejenaratör

2.6. ISI BORULARININ AVANTAJLARI

Günümüz teknolojisinde birçok ısı değiştirici sistemi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan birisi olan ısı borusunun diğer ısı değiştirici sistemlere göre tercih edilmesini sağlayan faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Maksimum ısıyı minimum kesit alanları ile kısa sürede taşıyabilmesi,
- Isı alışverişinin söz konusu olduğu bölgeler arasındaki küçük sıcaklık farkının ısı borusunun verimli çalışabilmesi için yeterli olması,
- Çalışma sıcaklığı yelpazesinin geniş olması,
- Hareketli parça bulunmadığı için ses ve titreşim olmaması,
- Ortam ve sıcaklık mesafesine göre ısı borusunun geliştirilebilmesi,
- Kapalı bir sistem olması sebebiyle kolay arıza yapmaması,
- Sistemde ek bir cihaza (pompa vb.) gerek duymadan döngünün doğal olarak tekrarlanabilmesi.

2.7. ISI BORUSUNDA KULLANILAN AKIŞKAN MİKTARININ TESPİTİ

Isı borularında kullanılan akışkan miktarının belirlenmesi, ısı borusunun verimliliği açısından oldukça önemlidir. Kullanılacak akışkanın az ya da fazla doldurulması durumunda ısı borusunun performansı büyük ölçüde azalacaktır. Gerekli miktardan az akışkan kullanılması durumunda akışkan boru içerisinde tek fazda bulunacağından ısı alışverişi yavaşlayacak ve evaporatör bölgesinin aşırı ısınıp zarar görmesine neden olacaktır. Gereğinden fazla akışkan konulması durumunda ise kondenser bölgesindeki yoğunlaşma tam olarak gerçekleşemez.

Termosifon tipi ısı borularında, ısı borusuna konulacak akışkan miktarı toplam hacmin % 15-20'si oranında olabileceği bildirilmiştir. Optimum akışkan miktarını Lee ve Bedrossian (1978) toplam hacmin % 15'i olarak, Feldman ve Srinivassan (Lin et al., 1995)'da % 18-22'si olarak önermişlerdir. Bezrodny ve Alekseyenko ise evaporatör hacminin % 50'sinden fazla miktarda akışkan konulabileceğini bildirmişlerdir (Lin et al., 1995). Kamiya vd., ve Negishi vd., termosifon ısı değiştiricilerinde maksimum performansın % 40 dolum oranında sağlandığını bildirmişlerdir (Lamfon et al., 1994).

2.9. ISI BORULARINDA KULLANILAN FİTİLLER

Isı borularında fitil, kondenser kısmındaki akışkanı evaporatör kısmına geri döndürmek için kullanılan malzemedir. Fitiller ısı borusunun iç cidarına yerleştirilen gözenekli yapılardır. Fitil seçiminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktör çalşıma akışkanının özelliğidir. Akışkanın ısı borusu içerisinde taşınmasının sağlanabilmesi için akışkana en uygun fitil yapısı seçilmelidir. Yatay ve yerçekimi destekli ısı borularında düşük performanslı (büyük gözenekli) fitillerin kullanılması akışkanın taşınımı için yeterli iken, pompa vb. ek bir enerji gerektiren sistemlerde yüksek performanslı (küçük gözenekli) fitillerin kullanılması gereklidir.

Kullanılan fitil yapısının kalınlığı ısı transfer kapasitesi ile doğru orantılıdır. Fakat fitil kalınlığının ısı borusunda tıkanıklığa yol açması ve ısı direncini artırmasından dolayı, evaporatör bölgesinden ısı transferini azaltması fitil kullanılmasının dezavantajıdır. Kullanılan malzeme çeşitliliğine göre fitil yapıları iki çeşittir. Homojen yapılı fitiller bir tek malzemedен imal edilirler. Kompozit yapılı fitiller birden fazla malzemenin bir araya gelmesi ile oluşur. Yüzey ve şekil yapısı itibarıyla geliştirilen birçok fitil çeşidi mevcuttur. Bunlardan başlıcaları;

- Perde sargılı fitiller,
- Sinterlenmiş metalden oluşan fitiller,
- Kanallı fitiller,
- Dairesel fitiller,
- Perde kaplı kanallı fitiller 'dir.

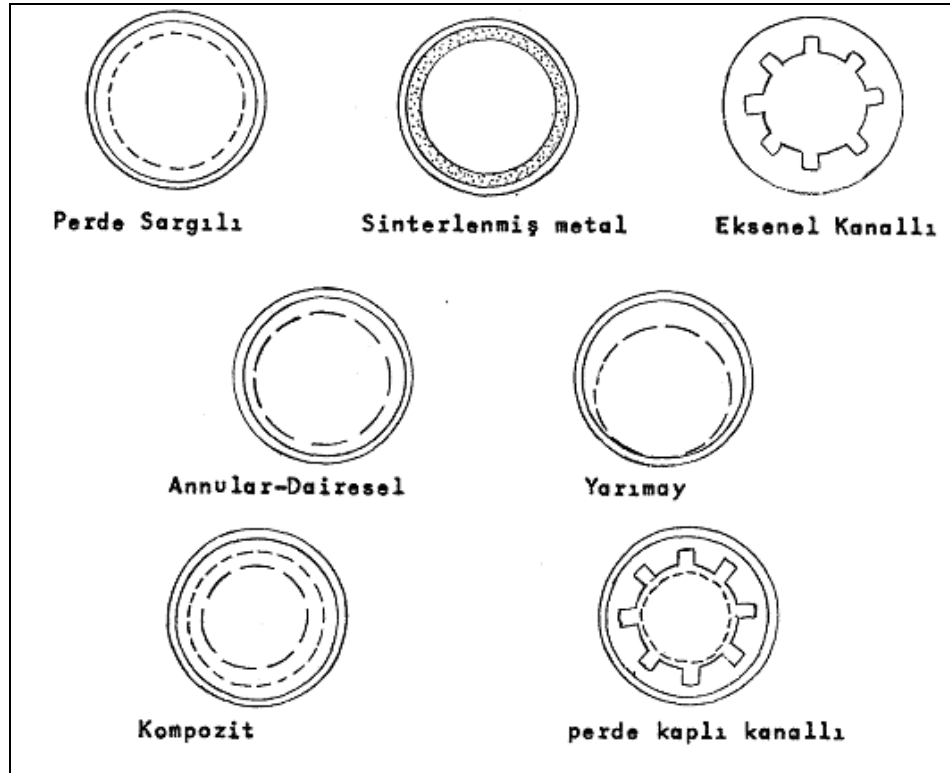
Şekil 2.2'de fitil yapıları şematik olarak gösterilmiştir.

2.10. YER ÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORULARI

Isı borusunun kullanıldığı bazı alanlarda yapay bir kuvvete ihtiyaç duymadan yer çekimi desteği ile ısı akışını sağlamak mümkündür. Yer çekimi kuvvetinden yararlanan ısı borusu sistemlerinde bazı şartlar sağlanmalıdır. Isı borularının çalışmasındaki temel mantık, evaporatör ile kondenser arasında akışkanın sürekli döngüsü ile maksimum ısının aktarılmasıdır. Bilindiği üzere akışkanlar dış ortamdan ısı çektiklerinde yükselir ve ısı kayıplarında ise yerçekimi kuvvetinin etkisiyle

alçalma eğilimi gösterir. Bu mantıktan yola çıkarak ısı borusundaki çevrimin tamamlanabilmesi için yerçekimi kuvvetinden yararlanılacak ise ısı borusunun evaporatör bölgesi, kondenser bölgesinden daha alçak seviyede olmalıdır.

Yerçekimi destekli ısı borusu, çalışma sıcaklığı aralığındaki akışkan çeşitliliği, hareketli parça olmaması, reaksiyon süresinin kısalığı ve sessiz çalışması sebebiyle tercih edilmektedir.



Şekil 2.2. Fital yapıları (Beşe 1988).

2.8. ISI BORULARININ ÇALIŞMASINDAKİ SINIRLAMALAR

Isı borularında çalışma esnasında transfer edilebilecek ısı yükü, tasarımı gereği belirli bir aralıkla sınırlıdır. Bu sınırı belirleyen etkenler; vizkoz limiti, kılcal basınç limiti, sonik hız limiti, kaynama ve köpürme limiti olmak üzere beş ana başlıkta toplamak mümkündür.

Isı borularının çalışmasını sınırlayan etkenler üzerine; Shatto vd.(1997), El-Genk ve Saber (1997), Hashimoto ve Kaminogo (2002) tarafından yapılan araştırmalar örnek olarak gösterilebilir.

BÖLÜM 3

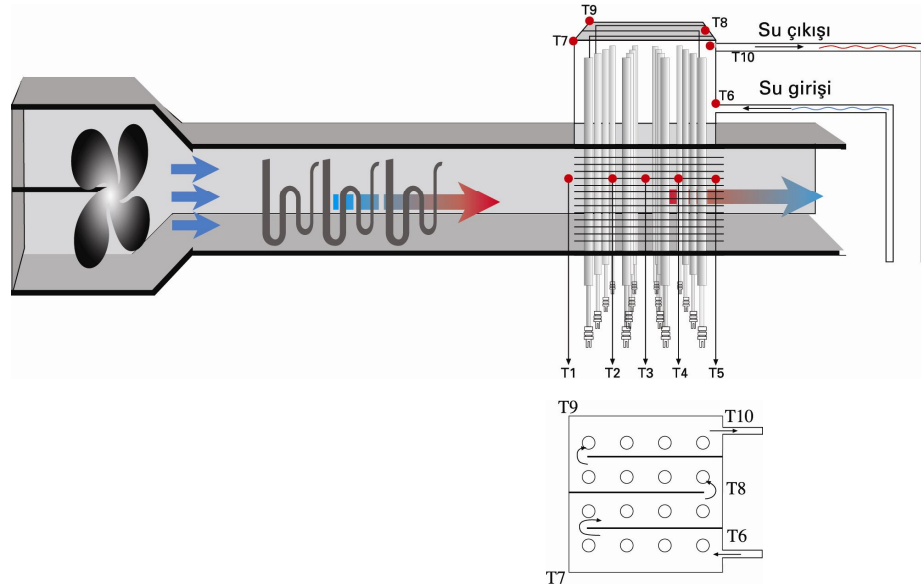
MATERYAL VE METOD

Ülkemizde, ısı değeri son derece yüksek olan taş kömürü havzasının tamamı Zonguldak ilimizde bulunmaktadır. Yüksek ısı değeri olan taş kömürü bu özelliği nedeniyle büyük sanayi kuruluşlarının ısı enerjisi ihtiyacını karşılamada vazgeçilmez bir maddedir. Bölgemizde Çatalağzı Termik Santrali, Ereğli Demir Çelik Fabrikası ve Karabük Demir Çelik Fabrikası gibi büyük ölçekli kuruluşların yüksek ısı ihtiyacını karşılamada kullanılan taş kömürü, sayılı enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

Üretim için yüksek ısının gerekli olduğu sistemlerde ısı enerjisinin büyük bir bölümü de istem dışı atık baca gazları ile atmosfere atılmaktadır. Atmosfere atılan bu ısı enerjisinin geri kazanımı yapılarak ekonomiye katkıda bulunmak ve atık gazların doğaya verdiği zararı azaltmak mümkündür.

Bu çalışmada, atık baca gazlarından yerçekimi destekli ısı boruları yardımıyla ısı geri kazanım sisteminin ısı performansı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bu amacı gerçekleştirecek şekilde ısı geri kazanım sisteminden oluşan bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğinde, bakırdan imal edilmiş 16 adet ısı borusu demeti ve ısı transfer yüzeyini arttırmak için ısı borusuna tespit edilmiş 13 adet levha tipi kanat kullanılmıştır. Isı borularında çalışma akışkanı olarak R-134a ve R-410a gazları kullanılmıştır. Sistemin evaporatör bölgesi baca gazının geçtiği kanal içerisine yerleştirilmiş, kondenser bölgesi ise soğutma suyunun dolaştığı bir depo içerisine yerleştirilmiştir. Isı borusundaki döngünün yerçekimi desteğiyle sağlanabilmesi için ısı borusu zemine dik olacak şekilde, evaporatör bölgesi altta olacak şekilde sisteme monte edilmiştir. Deney düzeneğinde atık baca gazı yerine rezistanslar yardımıyla ısıtılan hava kullanılmıştır. Isıtılan hava fan yardımıyla kanal içerisine gönderilerek, havanın sahip olduğu ısı enerjisi, ısı borusunun evaporatör bölgesine aktarılmıştır.

Aktarılan bu ısı enerjisi, ısı borusu içerisindeki çalışma akışkanını buharlaştırarak, çalışma akışkanının kondenser bölgesine doğru yükselmesini sağlar. Kondenser bölgesine buhar olarak ulaşan çalışma akışkanı, burada soğutma suyu ile karşılaştığından ısını soğutma suyuna vererek yoğuşmaya başlayacaktır. Böylece baca gazının sahip olduğu ısı enerjisi, soğutma suyuna aktarılmış olacaktır. Deneyleerde, baca gazı sıcaklığı, baca gazı hızı ve soğutma suyu debisi olmak üzere üç farklı parametre değiştirilmek suretiyle sistemin ısı performansını gözlemlenmiştir. Deneyleer, baca gazı sıcaklığı 75 °C'den 175 °C'ye kadar 25 °C'lik sıcaklık artışıyla beş farklı değerde, baca gazı hızı 1 m/s'den 2.5 m/s'ye kadar 0.5 m/s hız artışıyla dört farklı değerde, soğutma suyu debisi ise 1 lt/dk'dan 4 lt/dk'ya kadar 1 lt/dk'lık debi artışıyla dört farklı debide ölçümler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de sistemin şematik olarak yapısı görülmektedir. Şekil üzerinde de görüldüğü gibi sistem üzerinde T1'den T10 noktasına kadar gösterilen 10 farklı noktada sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.1. Yerçekimi destekli ısı borulu ısı geri kazanım sisteminin şematik yapısı

3.1. ISI BORUSU MALZEMESİNİN SEÇİMİ

Isı borusu malzemesi seçiminde en önemli unsur, çalışma akışkanı ile malzemenin uyumlu olmasıdır. Isı borularında çalışma akışkanı olarak belirlediğimiz R-134a ve R-410a soğutucu akışkanları birçok iklimlendirme sistemlerinde bakır malzemeyle

sorunsuz kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ısı borusu çok yüksek sıcaklıklara maruz kalmayacağından dolayı bakır ile çalışma akışkanlarının reaksiyona girmesi söz konusu değildir. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde seçilen çalışma akışkanlarına en uygun malzemenin bakır olduğu görülmüştür.

3.2. ISI BORUSU ÇALIŞMA AKIŞKANI SEÇİMİ

Bilindiği gibi iklimlendirme sistemlerinde soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. Ozon tabakasına zarar verdiği bilinen soğutucu R-12 vb. akışkanların yerini R-134a ve R-410a gibi çevreye zararsız soğutucu akışkanlar almaktadır. Bu çalışmada, çalışma akışkanı olarak R-134a ve R-410a soğutucu akışkanları seçilmiştir. Bu soğutucu akışkanların ısı borulu ısı geri kazanım sistemlerindeki performansı gözlemlenmiştir.

3.3. ISI BORUSUNA KONULACAK AKIŞKAN MİKTARININ TESPİTİ

Isı borularında kullanılan çalışma akışkanı miktarı, ısı borusunun verimli çalışabilmesi için en önemli faktörlerden birisidir. Isı borusu içerisine şarj edilecek akışkan miktarı daha önceden birinci bölümde açıklandığı gibi çeşitli sınırlamalar (vizkoz limiti, kılcal basınç limiti, sonik hız limiti vb.) nedeniyle önemli olmaktadır. Literatüre göre toplam ısı borusu hacminin % 15-22'si oranında veya evaporatör hacminin % 40-50'si oranında akışkan koyulabileceği bildirilmiştir (Lee and Bedrossian 1978; Lin et al., 1995; Lamfon et al., 1994). Literatürde verilen farklı akışkan miktarları yaklaşık olarak aynı miktarlara karşılık gelmektedir (Özsoy, 2005). Bu bilgilerden yola çıkılarak bu çalışmada ısı borularının her birine boru iç hacminin 1/3'ü oranında çalışma akışkanı konulmuştur.

3.4. ISI BORUSU YAPIM AŞAMASI

Isı borusu yapımında dış çapı 20 mm ve et kalınlığı 0.75 mm olan bakır borular kullanılmıştır. Isı borusunun evaporatör bölgesi 160 mm, kondenser bölgesi 125 mm, adyabatik bölge ise 15 mm olmak üzere toplam ısı borusu uzunluğu 300 mm'dir. Sistemde kullanılmak üzere aynı boyutlarda 16 adet ısı borusu hazırlanmıştır. Isı

boruları 350 mm boyunda olacak şekilde kesilerek oksit vb. oluşumlardan arındırmak için saf su ile temizlenmiştir. Her bir borunun bir ucu bükülerek kapatılmış, oksijen gaz kaynağı makinesi yardımıyla sert lehim ile kaynaklanmıştır. Boruların diğer uçlarına ise çalışma akışkanının kolayca doldurulabilmesi için supap kaynatılmıştır. Bu işlemler sonrasında borular içerisine kompresör yardımıyla hava basılarak kaçak testi yapılmıştır. Bu çalışmada yer çekiminden yararlanılacağı için ısı borularında fitil kullanılmamıştır.

Isı transfer yüzeyini artırmak amacıyla ısı borusunun evaporatör bölgesine 13 adet kanatçık yerleştirilmiştir. Kanatçıklar 180 mm x 180 mm ebatlarında bakır levhaların kesilmesiyle oluşturulmuştur. Isı borularının içerisinden geçirilebilmesi amacıyla kanatçıklara belirlenen aralıklarla 22 mm çapında 16 adet dairesel delik açılmıştır. Kanatçıklar arası mesafe 10 mm olacak şekilde kanatçıkların tamamı ısı borularına kaynakla sabitlenmiştir. Hazırlanan kanatçıkların ısı borularına yerleştirilmesi Şekil 3.2'de görülmektedir.

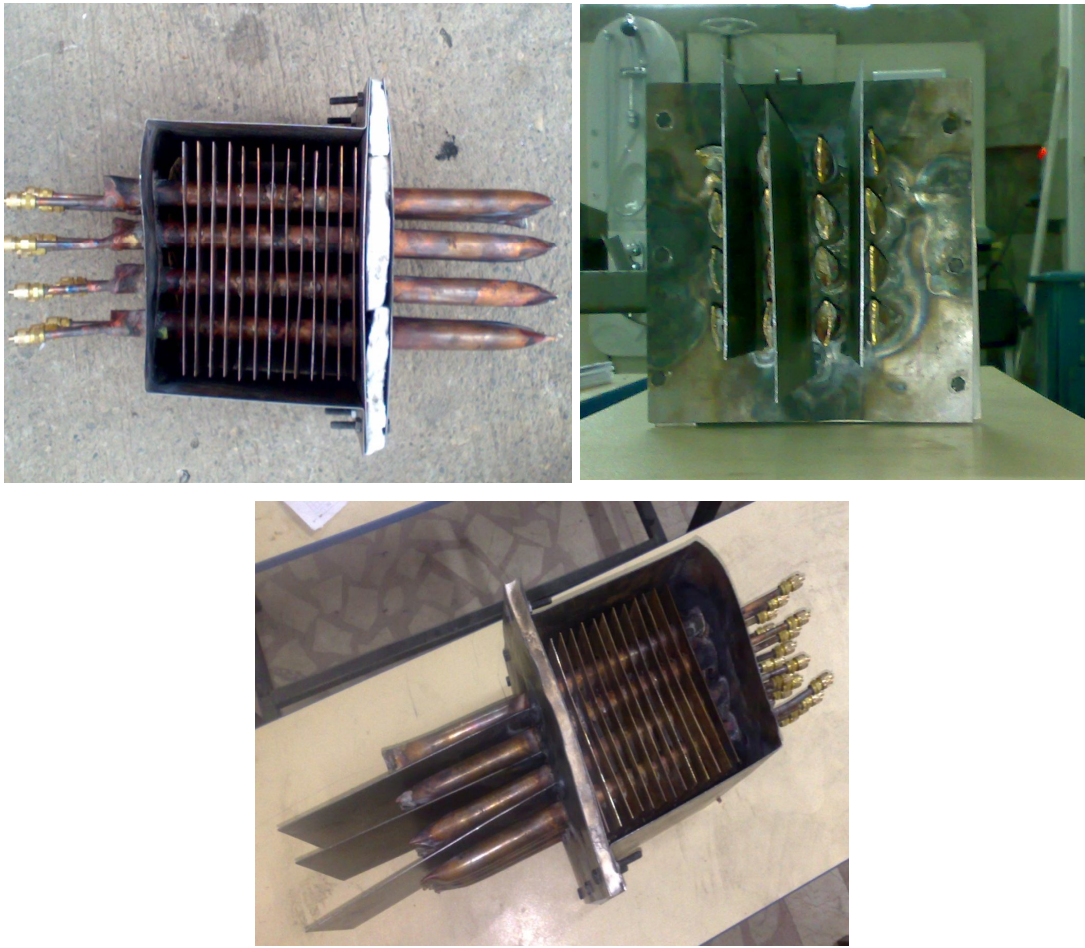


Şekil 3.2. Kanatçıkların ısı borularına yerleştirilmesi

Isı borusunun evaporatör bölgesine kanatçıkların sabitlenmesinden sonra adyabatik bölgenin yapımına geçilmiştir. Daha önceden ölçüleri belirlenen evaporatör ve kondenser bölgelerinin arasında bulunan 15 mm uzunluğundaki adyabatik bölgede yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Taş yünü iki adet sac levhanın karşılıklı vidalanmasıyla sıkıştırılmıştır. Bu işlem sırasında ısı borusu evaporatör

bölgesinin içinde bulunduğu kanal kısmı, adyabatik bölgedeki vidaya uygun şekilde sabitlenmiştir.

Kondenser bölgesinde ısı borularından suya olan ısı transferini artırmak amacıyla, borular arasına yönlendirme plakaları yerleştirilmiştir. Bu sayede soğutma suyu deposundan geçecek olan suyun kondenser bölgesinde daha uzun süre kalması sağlanmıştır. Yönlendirme plakalarının yerleştirilmesi Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yönlendirme plakalarının yerleştirilmesi

3.5. ISI BORULARININ VAKUMLANMASI VE AKIŞKAN DOLDURULMASI

Çalışma akışkanlarının ısı borularına şarjı, vakum pompasıyla supaplar aracılığıyla yapılmıştır. Önce ısı borularının içi vakum pompasıyla vakumlanarak ısı borusu içerisindeki hava boşaltılmıştır. Vakumlama işleminden sonra soğutucu akışkan dolu

tüp hassas terazi üzerine ters konumda yerleştirildikten sonra doldurma işlemi yapılmıştır. Isı borusu içerisine çalışma akışkanı sıvı fazda doldurulmuştur. Doldurulan çalışma akışkanı miktarı, hassas terazi ile kontrol edilerek daha önce belirlediğimiz miktardaki akışkan ısı borusuna doldurulmuştur. Şekil 3.4’de Isı borularının vakumlanması ve çalışma akışkanının doldurulması görülmektedir.



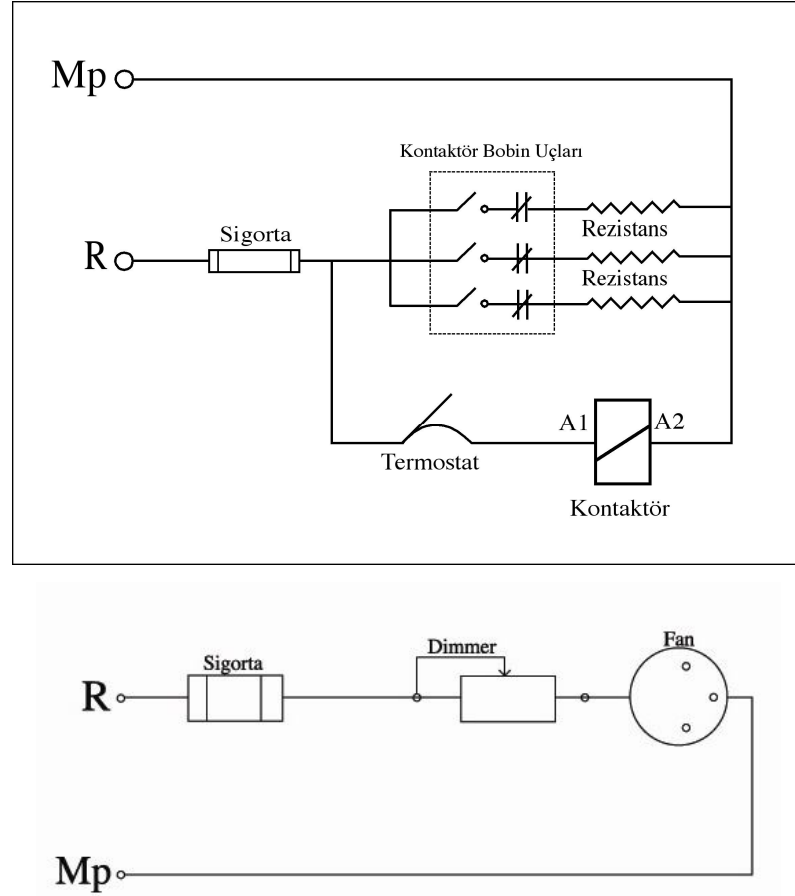
Şekil 3.4. Isı borularının vakumlanması ve akışkan doldurulması

3.6. KANAL TASARIMI VE YALITIMI

Kanal yapımında 1 mm kalınlığında sac levha kullanılmıştır. Sac levhalar ısı borusunun evaporatör kısmını içine alacak biçimde belirlenen ölçülerde kıvrılarak kanal haline getirilmiştir. Kondenser bölgesinin içinde bulunduğu soğutma suyu giriş-çıkışı olacak depo kısmı ise 3 mm kalınlığındaki sac levhadan yapılmıştır. Deponun alt köşesine su girişi için, girişin üst çaprazına ise su çıkışı için uygun ölçülerde delik açılmıştır. Kanal ve su deposunun yalıtımında yalıtım malzemesi olarak camyünü kullanılmıştır. Cam yününün yalıtım yapılacak yüzeylerde tutunabilmesi ve yalıtımın tam anlamıyla sağlanabilmesi için tüm yüzeyler yapışkanlı alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Bu işlemler sonrasında tüm deney sistemi, çelik konstrüksiyon ayaklar üzerine sabitlenmiştir.

3.7. SİSTEM ELEKTRİK ÜNİTESİ

Deney düzeneğimizdeki mekanik parçaların dizaynı ve montajı yapıldıktan sonra, sistemin çalışması için gerekli elektrik ünitesi Şekil 3.5’de gösterildiği gibi tamamlanmıştır. Elektrik ünite cihazları olarak ısıtıcı rezistans, fan ve kontaktör kullanılmıştır.

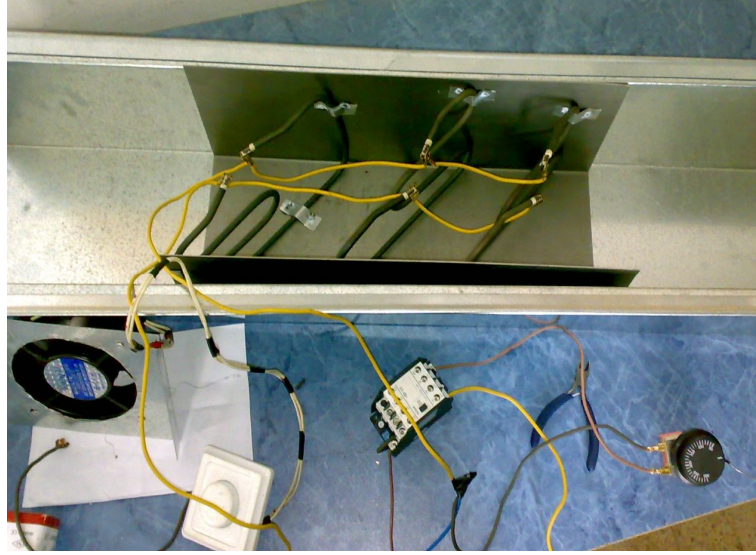


Şekil 3.5. Sistem elektrik ünitesi güç ve kumanda devre şemaları

3.7.1. Isıtıcı Rezistans

Isıtıcılar, sıcaklık elde etmek için kullanılan dirençlerdir. Sistemdeki kanal içerisine belirlenen noktalara, 220 V şebeke geriliminde çalışan, her biri 2000 W gücünde 3 adet rezistans yerleştirilmiştir. Rezistanslar devreye paralel bağlanmıştır. Rezistansların elektrik bağlantısında yanmaz kablolar kullanılmıştır. Rezistanslar ile

kanal arasına yüksek sıcaklıktan kaynaklanması muhtemel deformeyi en aza indirmek için 1 mm kalınlığında sactan koruyucu kılıf yapılmıştır. Şekil 3.6.'de ısıtıcı rezistansların kanala yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.6. Isıtıcı rezistansların kanala yerleştirilmesi

3.7.2. Fan

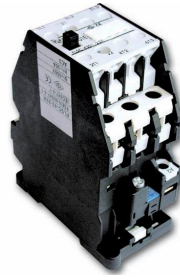
Fanlar belirli debi ve hızda hava üfleyen elemanlardır. Farklı şekillerde ve debi aralıklarında fanlar üretilmektedir. Bu çalışmada, Şekil 3.7'de görülen 220 V şebeke geriliminde çalışan sanayi tipi alçak basınçlı radyal fan kullanılmıştır. Fan, ısı borusunun evaporatör bölgesine, rezistans yardımıyla ısıtılan havayı belirlenen debilerde göndermek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Sanayi tipi alçak basınçlı radyal fan

3.7.3. Kontaktör

Kontaktör, elektrik devresini kontrol etmek için kullanılan elektromekanik bir cihazdır (Şekil 3.8). Elektrik devresindeki akımı, uzaktan kumanda edilebilen anahtarlama düzeneği ile kapama veya kesme görevi yapar. Bu çalışmada, kontaktör termostatın belirlediği sıcaklık aralıklarında ısıtıcıların devreye giriş-çıkışını sağlayan anahtar görevi yapmıştır.



Şekil 3.8. Kontaktör

3.8. ÖLÇÜM CİHAZLARI

Bu çalışmada, baca gazı sıcaklığı, baca gazı hızı ve soğutma suyu debisinin ölçümü yapılmıştır. Deneylerde, sıcaklık kontrolünün yapılmasında termostat, sıcaklık ölçümünde termokupl, soğutma suyu debisinin ölçümünde debimetre, fan hızının sabitlenmesinde dimmer, baca gazı hızının ölçümünde anemometre, termokuplların verdiği elektrik sinyalini sıcaklık değerine dönüştürmede ise bilgisayara bağlanabilen modül kullanılmıştır.

3.8.1. Termostat

Termostat, sıcaklığı istediğimiz değerlerde tutabilen kontrol cihazıdır. Sıcaklık değişimi termostat içindeki duyarlı bir parçaya etki ederek, elektrik veya basınç sinyali gönderilmesi ile ısıtma veya soğutma sisteminin kontrolünü sağlar. Termostat, kontrol edilecek devreye seri bağlanır. Kontrol edilmek istenilen noktaya

duyurga sabitlenir. Termostat, sistemdeki kanal içerisinde rezistanslar yardımıyla ısıtılan havanın sıcaklığını belirli değerlerde ayarlamakta kullanılmıştır. Deneylede, ısıtıcı rezistanslar ile ısıtılan hava, termostat yardımıyla 75, 100, 125, 150 ve 175 °C değerlerinde sabitlenmiş ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Kullanılan termostat, Şekil 3.9'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Termostat

3.8.2. Termokupl, Modül ve Bilgisayar

Termokupl, iki farklı ısı çiftten oluşan sıcaklık ölçümü yapan sensördür. Ölçülecek sıcaklık değerini elektrik sinyali olarak verir. Termokupllar, modüllere (dönüştürücü elamanlar) bağlanarak elektrik sinyalinin sıcaklık değerine dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada, sıcaklık ölçümleri için K tipi termokupl kullanılmıştır. K tipi termokupl, suyun termokupl telleri üzerindeki olumsuz etkisine karşı dayanıklı ve alaşım yönünden paslanmaz olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Isı geri kazanım sisteminde evaporatör bölgesine 5, kondenser bölgesine 3 ve soğutma suyu deposuna su giriş-çıkış noktalarında birer adet olmak üzere toplam 10 adet termokupl yerleştirilmiştir. Termokupllar, ADAM marka modüllere bağlanarak, termokuplların verdiği elektrik sinyali sıcaklık değerine dönüştürülmüştür. ADAM 4500 service pack programının yüklü olduğu bilgisayara sıcaklık değerleri kaydedilerek veriler bilgisayarda depolanmıştır. Şekil 3.10'da kullanılan modül ve termokupl örnekleri görülmektedir.



Modül (ADAM 4500)



Termokupl

Şekil 3.10. Modül ve termokupl örnekleri

3.8.3. Debimetre

Debimetre, bir tesisat üzerinden geçen gaz, sıvı ve buhar miktarını kontrol eden veya düzenleyen cihazlardır. Bu çalışmada, debimetre kondenser bölgesinden geçen soğutma suyu debisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Deneylerde, soğutma suyu debisi 1, 2, 3, 4 lt/dk olacak şekilde ayarlanmış ve bu değerlerde sabitlenerek ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.11’de sistemde kullanılan debimetre görülmektedir.



Şekil 3.11. Debimetre

3.8.4. Dimmer

Dimmer, üzerindeki ayar düğmesi yardımıyla elektrik akımını arttıran veya azaltan güç ayarlama devresidir. Aydınlatma sistemlerinde ve elektrikli cihazlarda kullanılır. Alternatif akıma direnç göstererek şebeke voltajının bir kısmının dimmer devresine, diğer kısmının ise dimmere seri bağlanan cihaza düşmesi ile elektrikli cihazın istenilen güçte çalışmasını sağlar. Bu çalışmada, dimmer fana gelen akımın gücünü ayarlayarak kanala giren hava hızını sabitlemede kullanılmıştır. Fanın gücü, dimmer ile 1, 1.5, 2, 2.5 m/s baca gazı hızı değerlerinde sabitlendikten sonra ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.12’de bu çalışmada kullanılan dimmer görülmektedir.



Şekil 3.12. Dimmer



Şekil 3.13. Anemometre

3.8.5. Anemometre

Anemometre, hava hızını ölçen cihazlardır. Meteoroloji istasyonlarında rüzgar hızını ve havalandırma sistemlerinde hava hızını ölçmede kullanılmaktadır. Bu çalışmada, anemometre evaporatörün içinde bulunduğu kanaldaki sıcak havanın hızını ölçmede

kullanılmıştır. Kanal içerisindeki sıcak baca gazının hızı, 1, 1.5, 2, 2.5 m/s olarak belirlenmiş, bu değerlerde sabitlenerek ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.13’de bu çalışmada kullanılan anemometre görülmektedir.



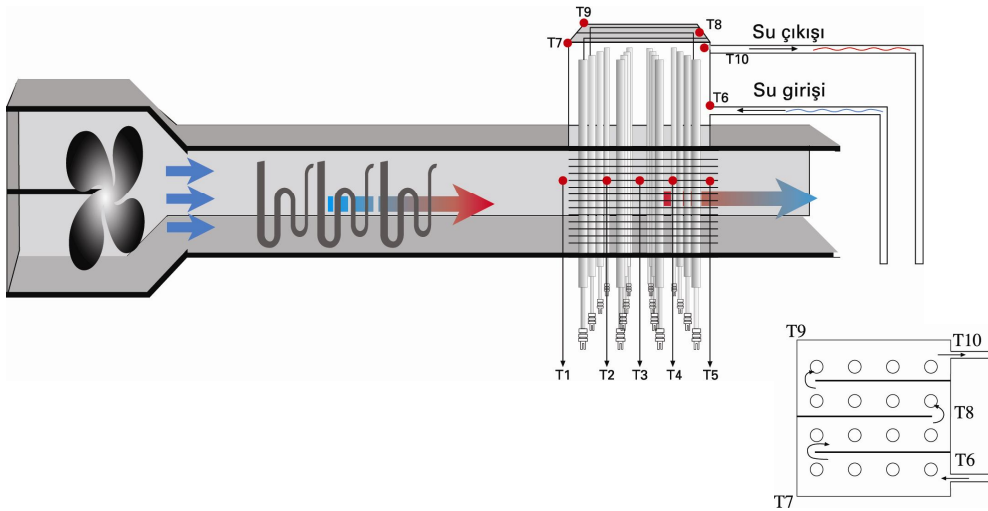
Şekil 3.14. Deney Düzeneği



Şekil 3.15. Verilerin modüller yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılması

3.9. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyleerde, farklı baca gazı sıcaklığında, farklı baca gazı hızında ve farklı soğutma suyu debisinde, soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklık farkı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Deneyleer, kanal içerisinden geçen hava sıcaklığı 75, 100, 125, 150, 175 °C olmak üzere beş farklı sıcaklıkta, kanal içerisindeki sıcak baca gazı hızı 1, 1.5, 2, 2.5 m/s olmak üzere dört farklı hava hızında ve kondenser bölgesinin içinde bulunduğru depoya giren-çıkran soğutma suyu debisinin 1, 2, 3, 4 lt/dk olduğru dört farklı su debisinde yapılmıştır. Isı borusunda çalışma akışkanı olarak, R-134a ve R-410a soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Deneyleerde ısı borusu evaporatör-kondenser bölgelerindeki çevrimin sağlanabilmesi ve sistemde kullanılan akışkanların faz değişiminin tamamlanabilmesi için deneyleerde ölçüm süresi 30 dk. olarak belirlenmiştir. Deneyleerde sıcaklık ölçümleri 5 dk'lık aralıklarla kaydedilerek, 30 dk. sonraki sıcaklık değerinin kararlı olduğru görülmüştür. Sistemde, 10 adet sıcaklık ölçüm noktası belirlenmiştir. Sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 3.16. Deneyle düzenindeki sıcaklık ölçüm noktaları

T1, T2, T3, T4, T5 noktaları, kanal içinde ısı borusunun evaporatör bölgesindeki her bir boru demeti sonrasındaki sıcaklığı, T6 ve T10 noktaları ısı borusunun kondenser bölgesini içine alan soğutma suyu deposuna suyun giriş-çıkış sıcaklığını, T7, T8 ve T9 noktaları ise soğutma suyu deposu içerisindeki sıcaklık dağılımını ölçüm noktalarını göstermektedir.

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. DENEY SONUÇLARI

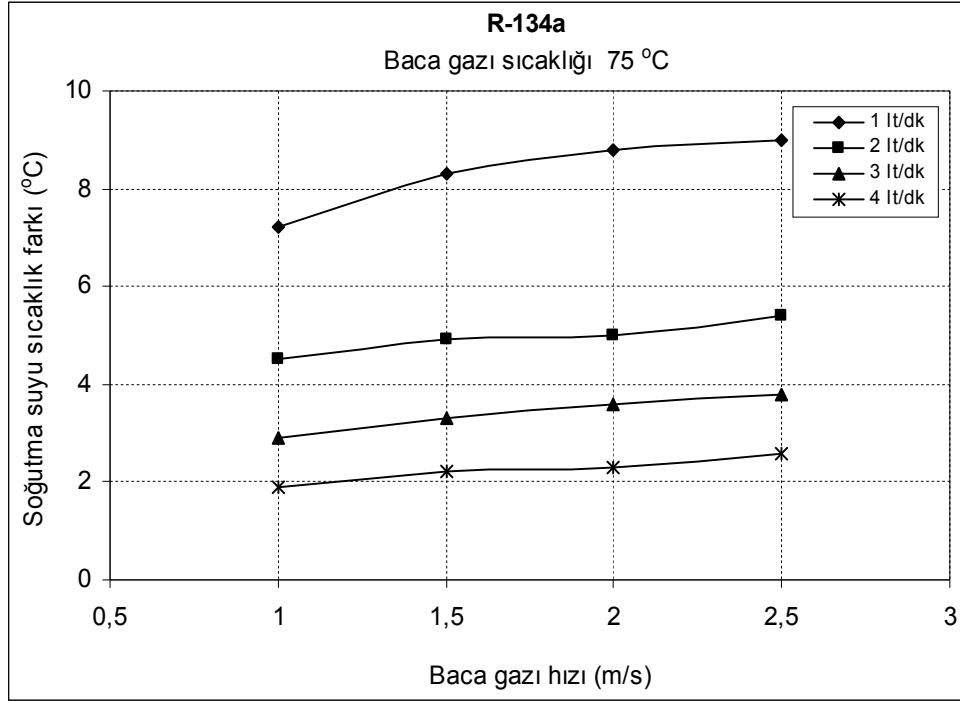
Deneyleerde, her bir baca gazı sıcaklığında baca gazı sıcaklığı sabit tutularak her bir soğutma suyu debisinde soğutma suyu sıcaklık farkı gözlemlenmiştir. Bu gözlemler, çalışma akışkanını R-134a ve R-410a için ayrı ayrı yapılmıştır. Böylece ısı geri kazanımında hangi çalışma akışkanının sistemin ısı performansı bakımından daha iyi olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada, 160 farklı deney yapılmıştır.

Isı borusunda çalışma akışkanını olarak R-134a kullanıldığında, 75, 100, 125, 150, 175 °C baca gazı sıcaklıklarında, 1, 1.5, 2 ve 2.5 m/s baca gazı hızlarında, 1, 2, 3 ve 4 lt/dk soğutma suyu debilerinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları Şekil 4.2-4.6'da gösterilmiştir. Soğutma suyu debisi arttığında, birim zamanda kondenser bölgesi yüzeyinden geçen su miktarı artmış, dolayısıyla kondenser bölgesi yüzey sıcaklığı bağıl olarak azalmıştır. Örnek olarak; 75 °C hava sıcaklığında, 1 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk soğutma suyu debisinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 7.2 °C olurken, aynı hava sıcaklığı ve hava debisinde, soğutma suyu debisi 2 lt/dk'ya çıkarıldığında, 4.5 °C; 3 ve 4 lt/dk çıkarıldığında ise, sırasıyla 2.9 °C ve 1.9 °C sıcaklık farkı elde edilmiştir.

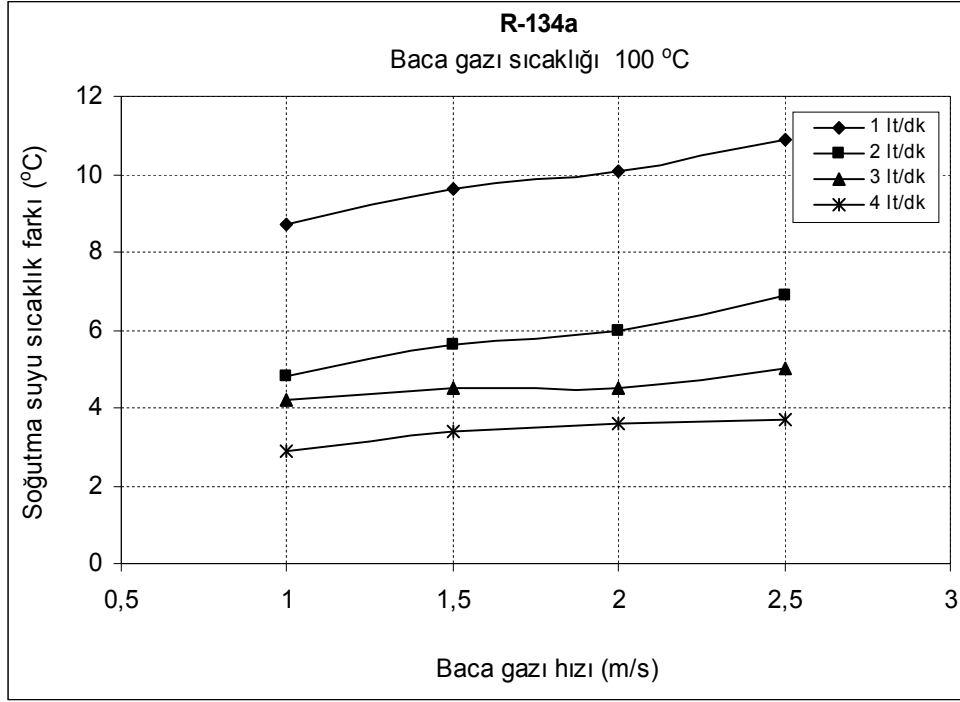
Isı borusu evaporatör bölgesinin maruz kaldığı ısı kaynağının sıcaklığı arttıkça, ısı borusu içindeki çevrim daha hızlı tamamlanmaktadır. Bunun sonucu olarak da soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisi artmaktadır. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 2 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk su debisinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 8.8 °C olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı sırasıyla 100, 125, 150 ve 175 °C olduğunda, 10.1, 11.7, 12.8 ve 15.6 °C soğutma suyu sıcaklık

farkları elde edilmiştir.

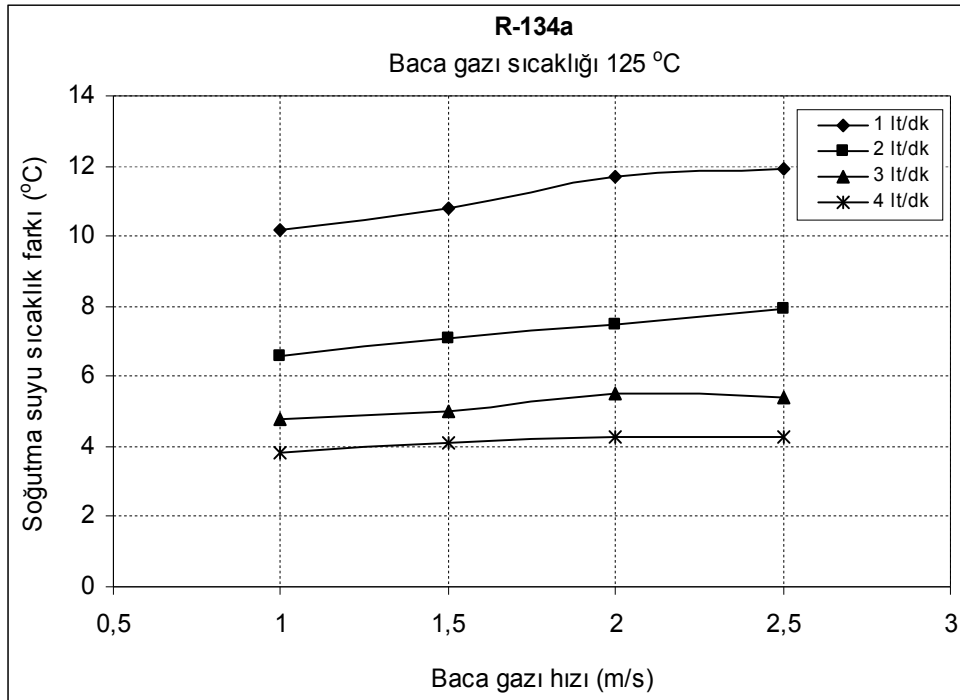
Isı borusu evaporatör bölgesinden geçen baca gazının hızı arttıkça, elde edilen soğutma suyu sıcaklık farklarının da arttığı gözlenmiştir. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve 1 m/s baca gazı hızında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 7.2 °C olurken, aynı hava sıcaklığında ve su debisinde, baca gazı hızı sırasıyla 1.5, 2 ve 2.5 m/s olduğunda ise 8.3, 8.8 ve 9 °C soğutma suyu sıcaklık farkı elde edilmiştir. Benzer eğilimler, baca gazı sıcaklığının 75 °C'den 100, 125, 150 ve 175 °C'ye çıkarıldığında, soğutma suyu sıcaklık farkında da görülmektedir.



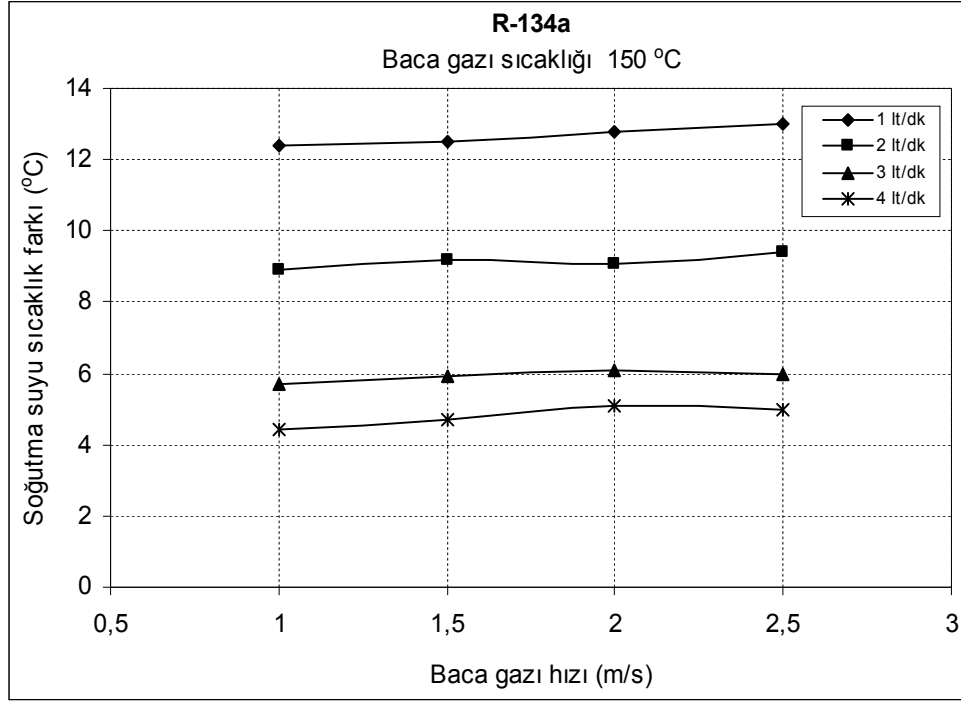
Şekil 4.1. Çalışma akışkanı R-134a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.



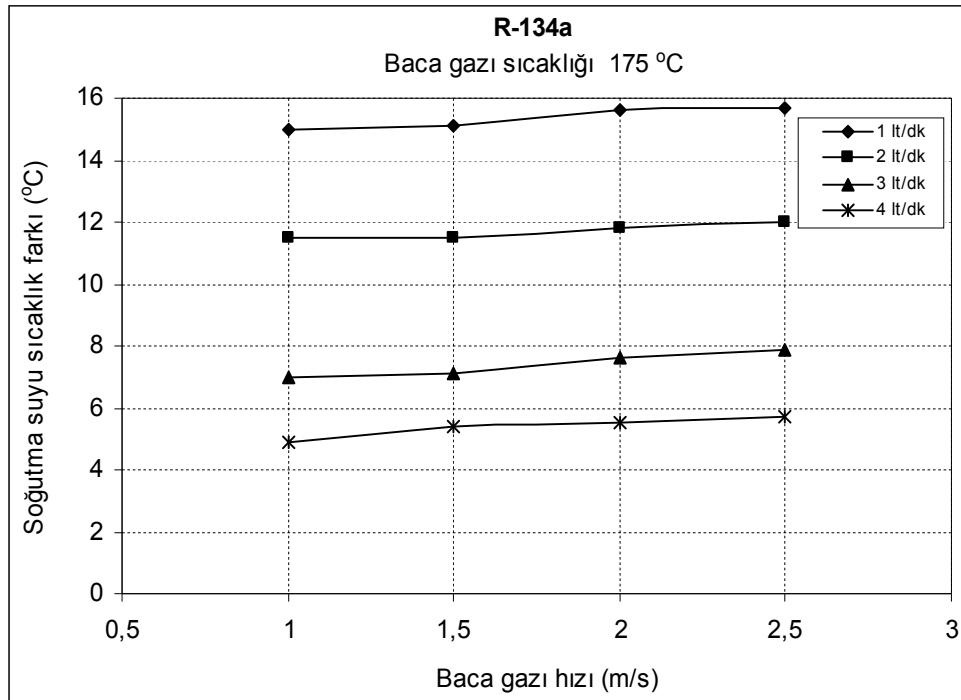
Şekil 4.2. Çalışma akışkanı R-134a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.



Şekil 4.3. Çalışma akışkanı R-134a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi.

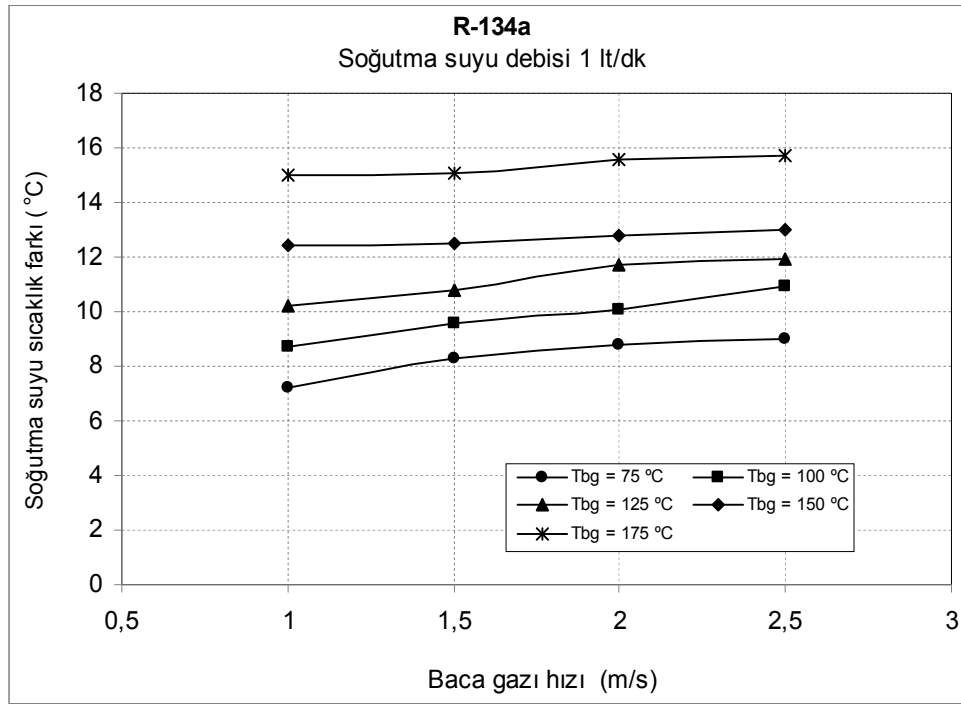


Şekil 4.4. Çalışma akışkanı R-134a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

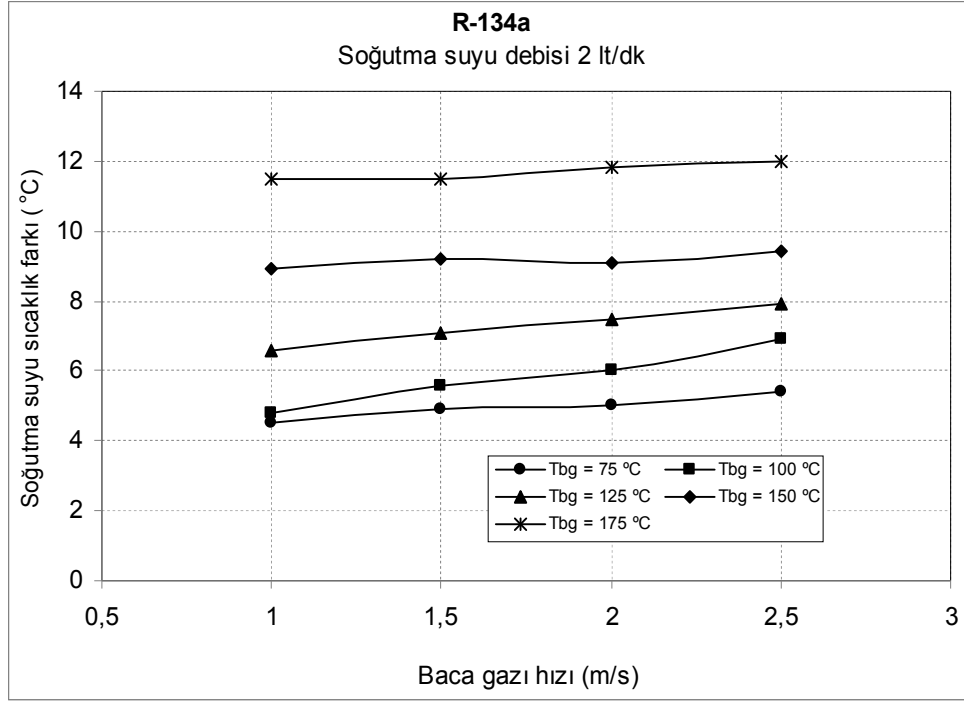


Şekil 4.5. Çalışma akışkanı R-134a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

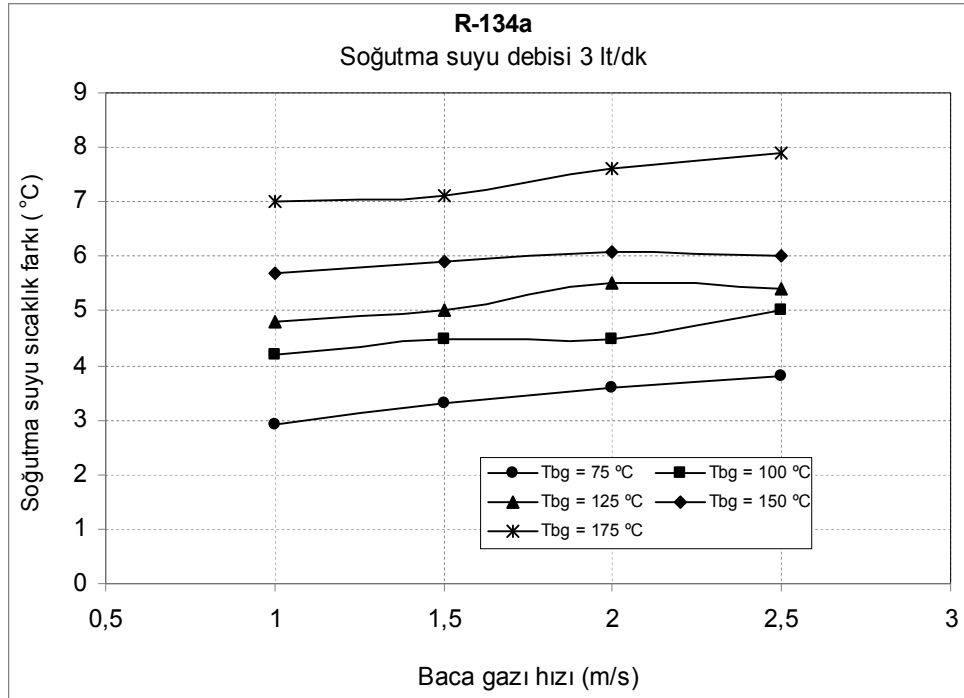
Isı borusunda çalışma akışkanı olarak R-134a kullanıldığında, her bir soğutma suyu debisi için baca gazı sıcaklığına göre elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları Şekil 4.7-4.10 'da görülmektedir. Bir başka ifadeyle baca gazı sıcaklığının, soğutma suyu sıcaklık farkı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere, baca gazı sıcaklığı arttıkça elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı da gözle görülür miktarlarda bağlı olarak artmaktadır. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 3 lt/dk su debisinde ve 2 m/s baca gazı hızında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 3.6 °C olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı 100, 125, 150, 175 °C olduğunda elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları sırasıyla 4.5, 5.5, 6.1 ve 7.6 °C olmuştur. Şekillerde görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı 75 °C 'den 150 °C 'ye çıkarıldığında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır.



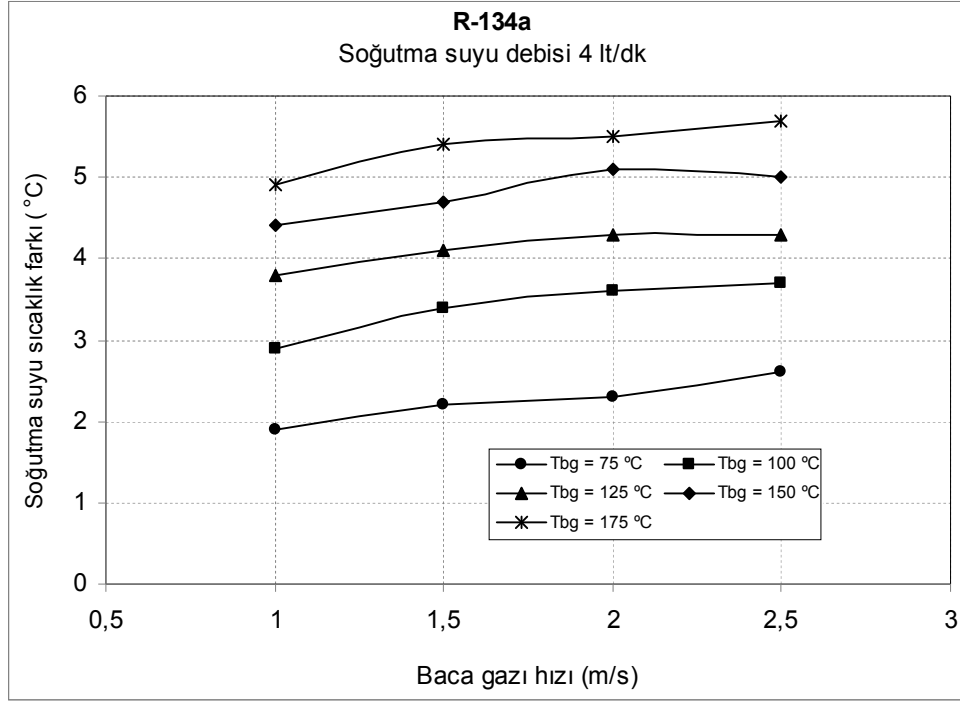
Şekil 4.6. Çalışma akışkanı R-134a için, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi



Şekil 4.7. Çalışma akışkanı R-134a için, 2 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

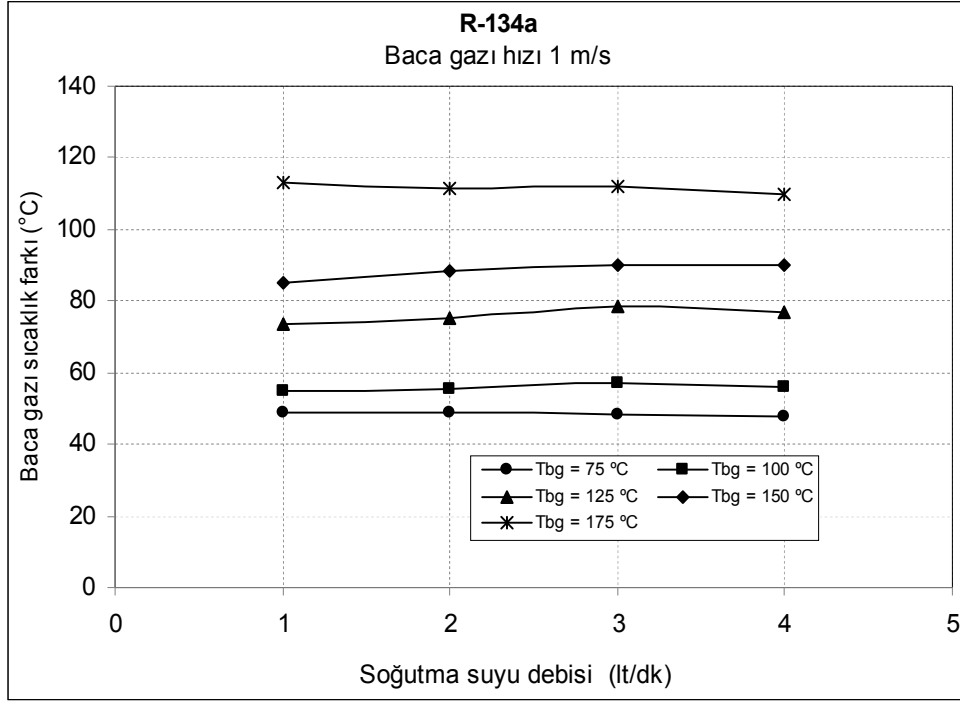


Şekil 4.8. Çalışma akışkanı R-134a için, 3 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

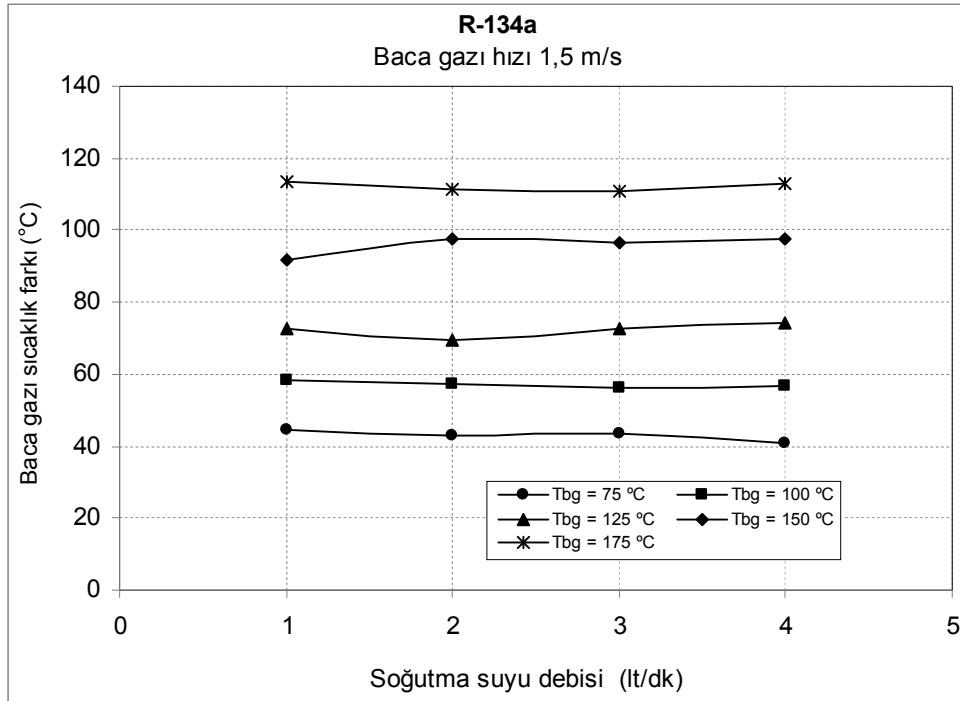


Şekil 4.9. Çalışma akışkanı R-134a için, 4 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

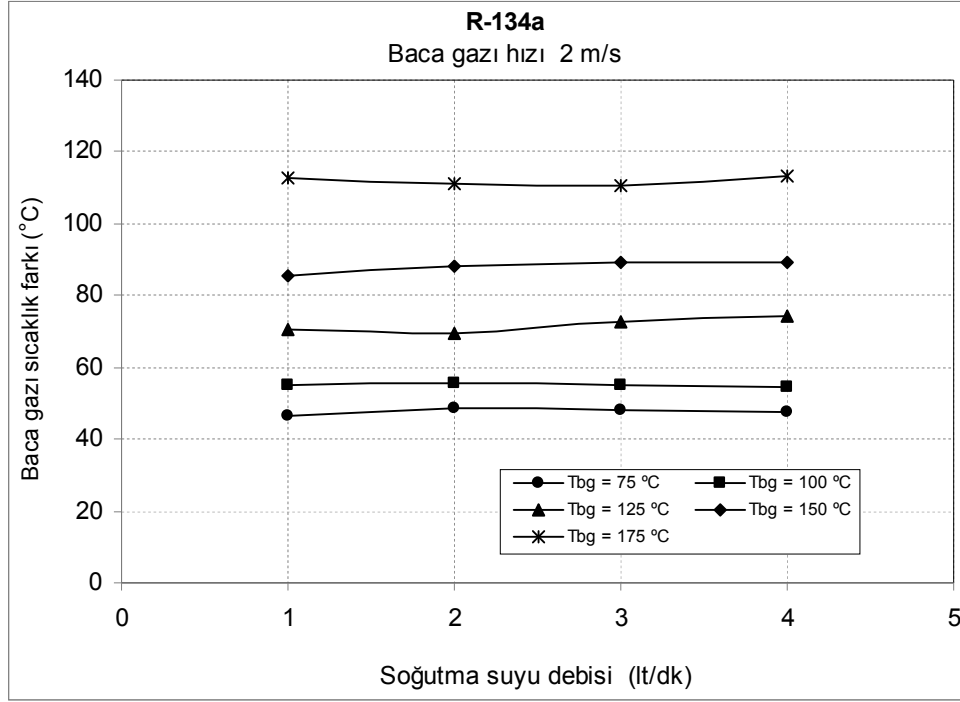
Isı borusunda çalışma akışkanı olarak R-134a kullanıldığında, ısı borusu evaporatör bölgesinin maruz bırakıldığı baca gazının sıcaklığına göre, sistemi terk eden baca gazı sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi Şekil 4.11-4.14'de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi evaporatör bölgesinin maruz kaldığı baca gazı ısısının büyük bir kısmı, ısı borusu tarafından soğutma suyuna aktarılmıştır. Örnek olarak: 1.5 m/s baca gazı hızında, 2 lt/dk su debi değerlerinde sisteme 75 °C sıcaklıkta gönderilen baca gazının sistemden çıkış sıcaklığı 32.2 °C olarak ölçülmüştür. Baca gazı hızının 2.5 m/s, soğutma suyu debisinin 1 lt/dk, baca gazı giriş sıcaklığının 100, 125, 150 ve 175 °C olduğunda, baca gazının sisteme giriş-çıkış sıcaklık farkları sırasıyla 55, 72.8, 87.1 ve 112.8 °C olmuştur.



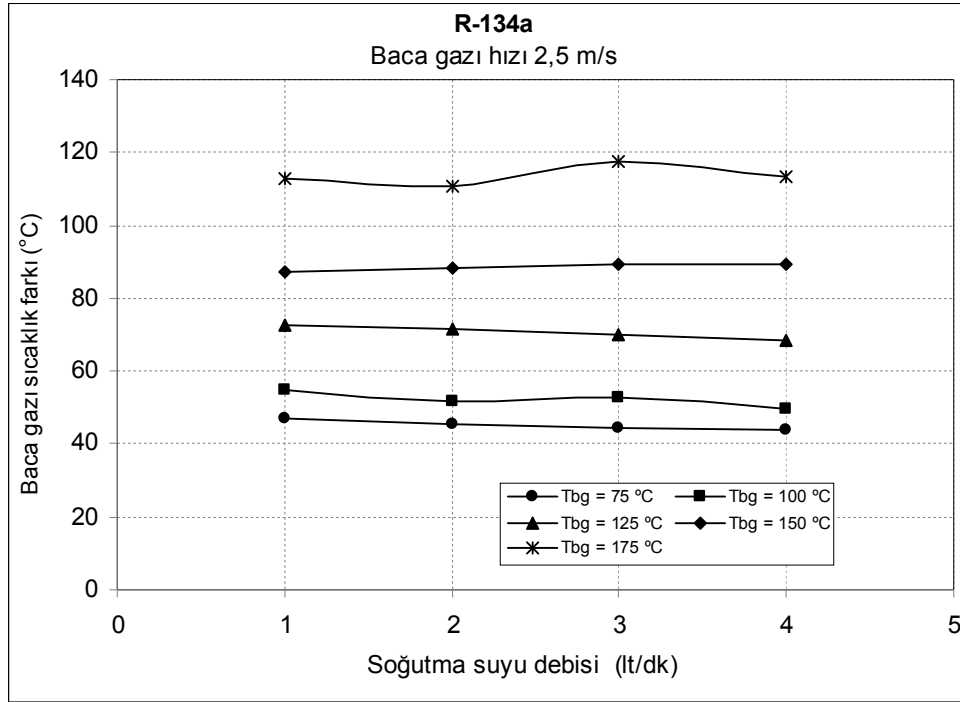
Şekil 4.10. Çalışma akışkanı R-134a için, 1 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.11. Çalışma akışkanı R-134a için, 1,5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.12. Çalışma akışkanı R-134a için, 2 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi

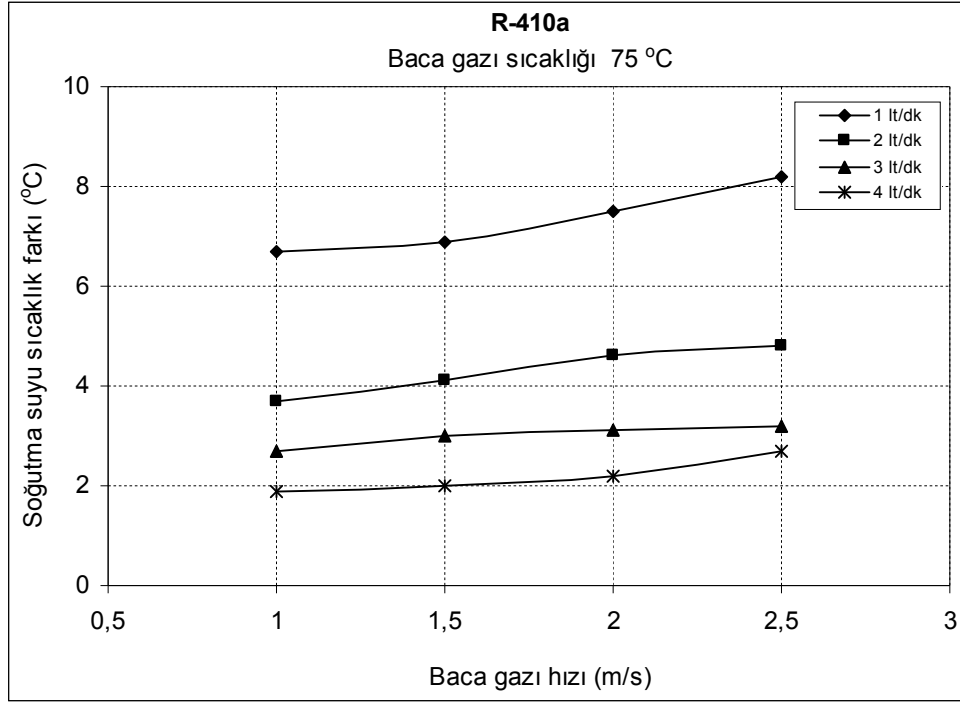


Şekil 4.13. Çalışma akışkanı R-134a için, 2,5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi

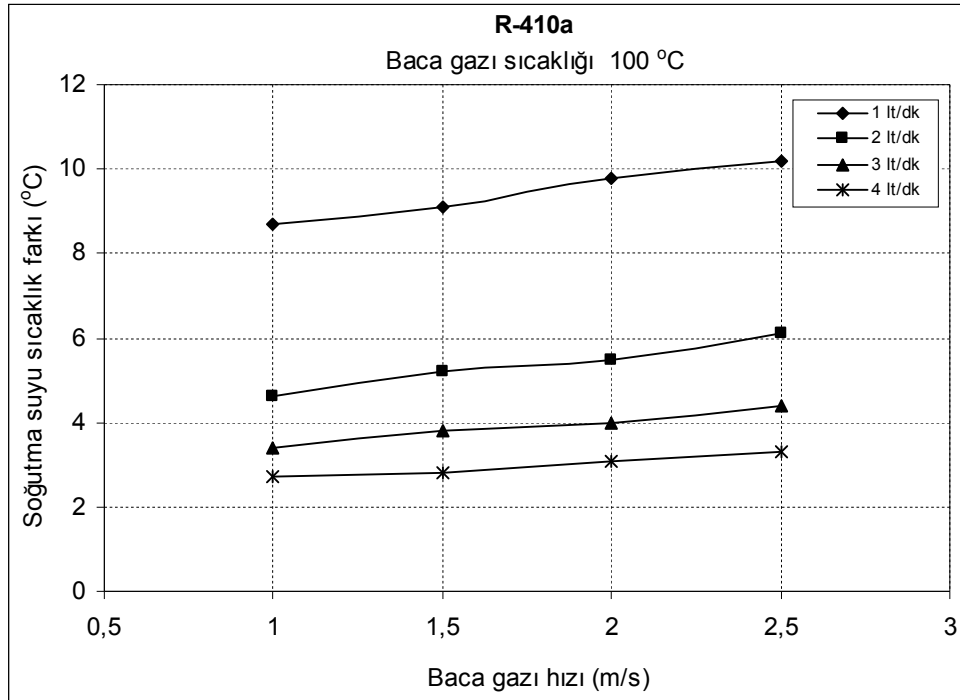
Isı borusunda çalışma akışkanı olarak R-410a kullanıldığında, 75, 100, 125, 150, 75 °C baca gazı sıcaklıklarında, 1, 1.5, 2 ve 2.5 m/s baca gazı hızlarında, 1, 2, 3 ve 4 lt/dk soğutma suyu debilerinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları Şekil 4.15-4.19 'da gösterilmiştir. Soğutma suyu debisi arttığında, birim zamanda kondenser bölgesi yüzeyinden geçen su miktarı artmış, dolayısıyla kondenser bölgesi yüzey sıcaklığı bağıl olarak azalmıştır. Örnek olarak; 75 °C hava sıcaklığında, 1 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk soğutma suyu debisinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 6.7 °C olurken, aynı hava sıcaklığı ve hava debisinde, soğutma suyu debisi 2 lt/dk'ya çıkarıldığında, 3.7 °C; 3 ve 4 lt/dk çıkarıldığında ise, sırasıyla 2.7 °C ve 1.9 °C sıcaklık farkı elde edilmiştir.

Isı borusu evaporatör bölgesinin maruz kaldığı ısı kaynağının sıcaklığı arttıkça, ısı borusu içindeki çevrim daha hızlı tamamlanmaktadır. Bunun sonucu olarak da soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisi artmaktadır. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 2 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk su debisinde elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 7.5 °C olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı sırasıyla 100, 125, 150 ve 175 °C olduğunda, 9.8, 10.5, 11.6 ve 13.6 °C soğutma suyu sıcaklık farkları elde edilmiştir.

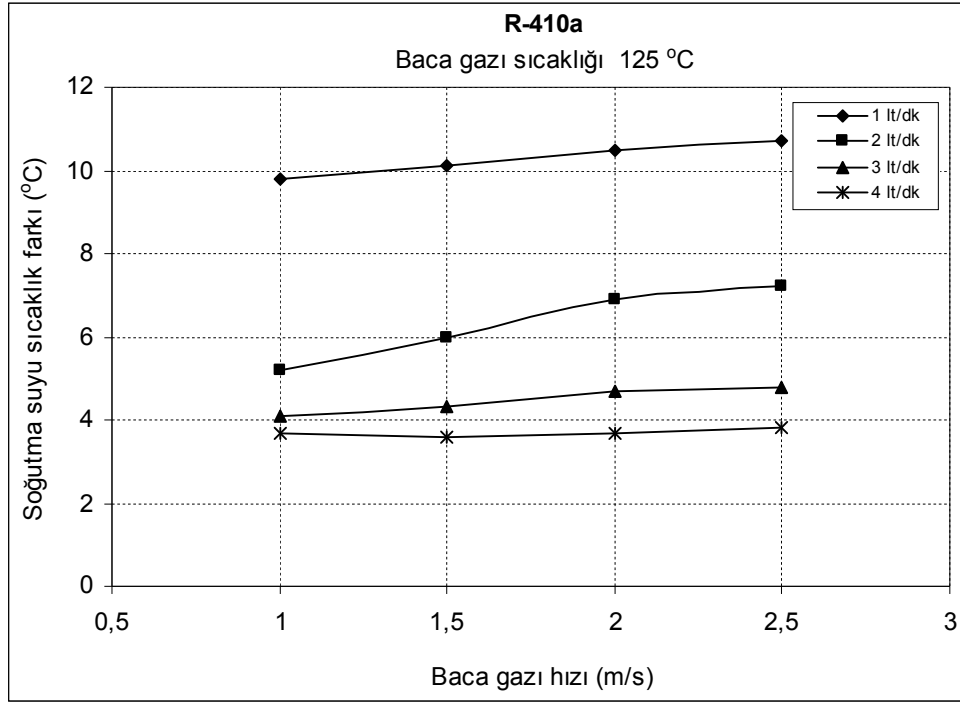
Isı borusu evaporatör bölgesinden geçen baca gazının hızı arttıkça, elde edilen soğutma suyu sıcaklık farklarının da arttığı gözlenmiştir. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve 1 m/s baca gazı hızında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 6.7 °C olurken, aynı hava sıcaklığında ve su debisinde, baca gazı hızı sırasıyla 1.5, 2 ve 2.5 m/s olduğunda ise 6.9, 7.5 ve 8.2 °C soğutma suyu sıcaklık farkı elde edilmiştir. Benzer eğilimler, baca gazı sıcaklığının 75 °C'den 100, 125, 150 ve 175 °C'ye çıkarıldığında, soğutma suyu sıcaklık farkında da görülmektedir.



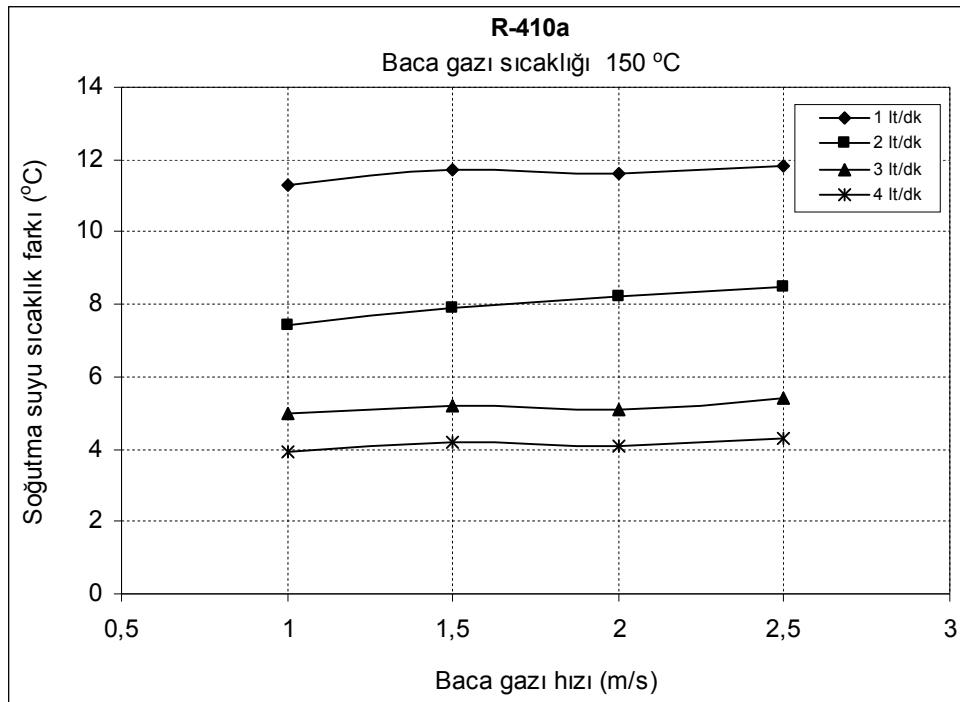
Şekil 4.14. Çalışma akışkanı R-410a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi



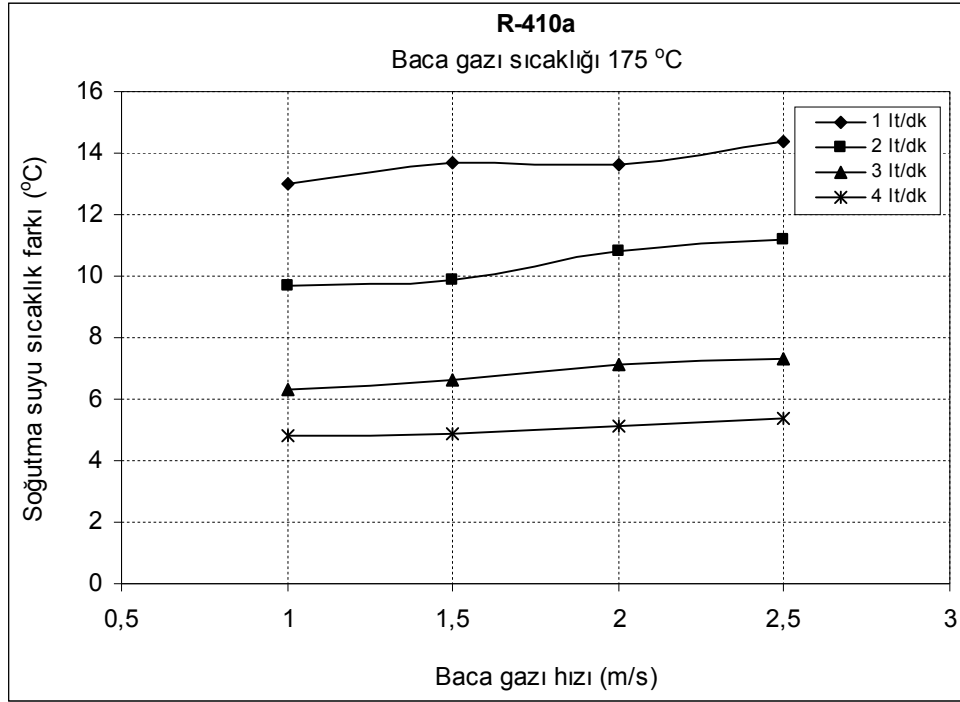
Şekil 4.15. Çalışma akışkanı R-410a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi



Şekil 4.16. Çalışma akışkanı R-410a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

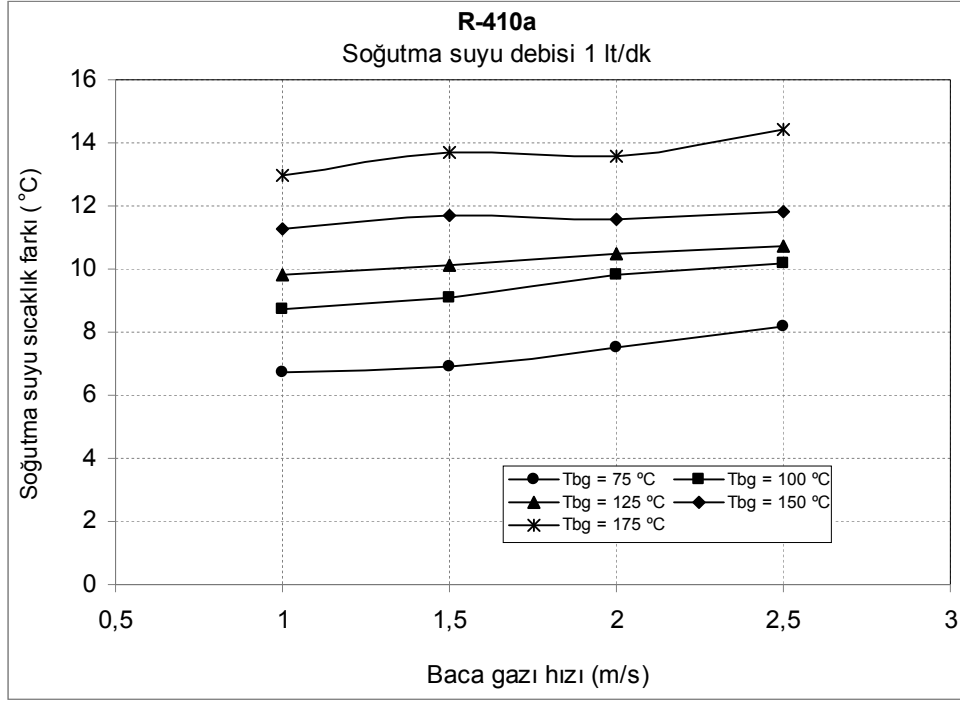


Şekil 4.17. Çalışma akışkanı R-410a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

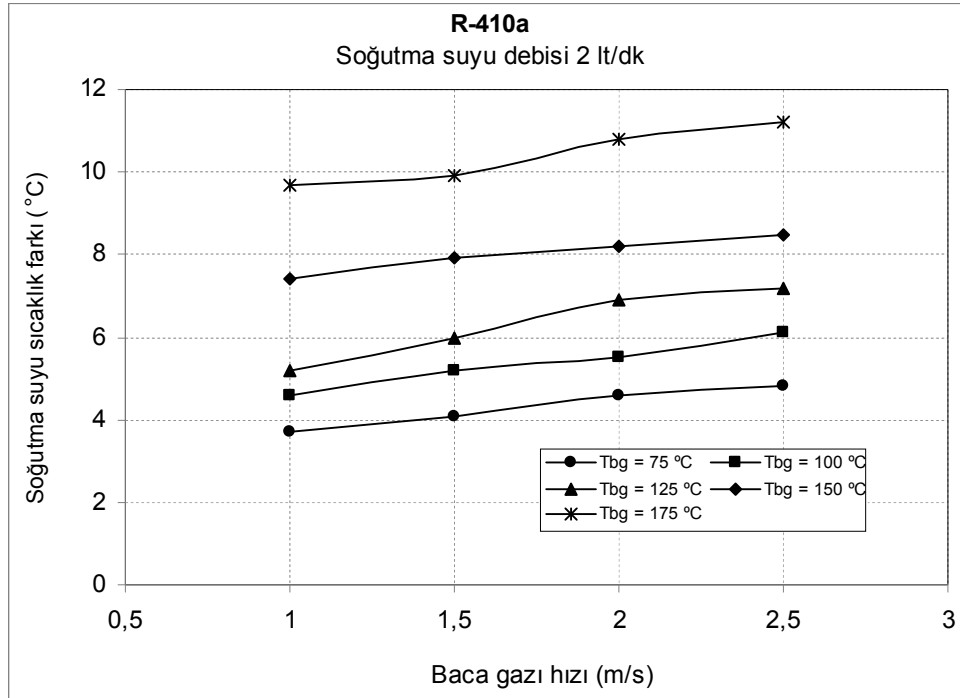


Şekil 4.18. Çalışma akışkanı R-410a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı soğutma suyu debilerinde, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

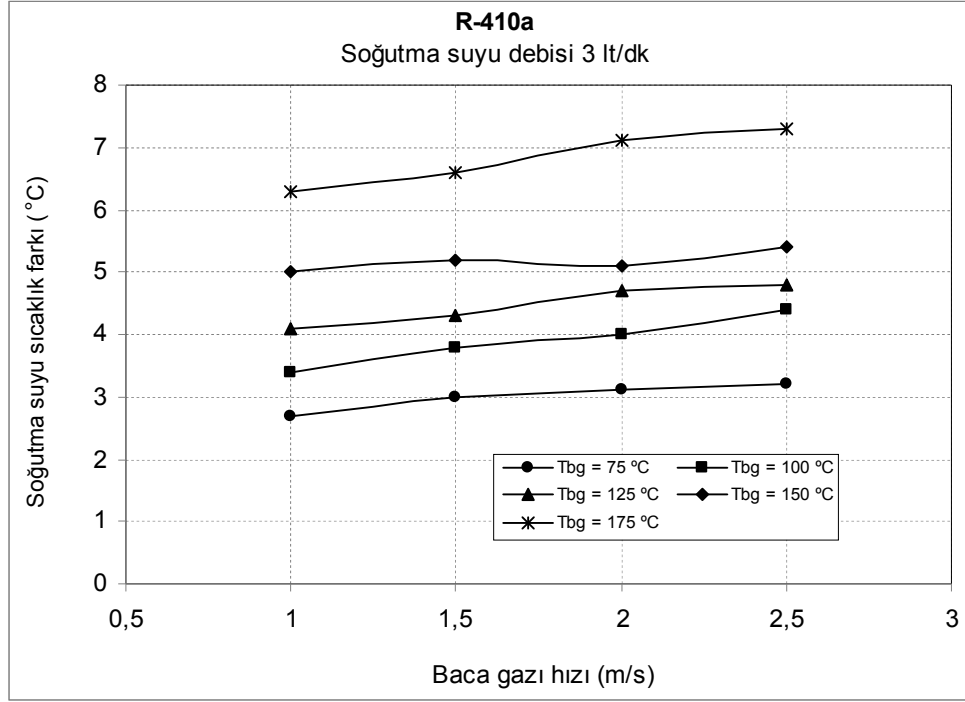
Isı borusunda çalışma akışkanı olarak R-410a kullanıldığında, her bir soğutma suyu debisi için baca gazı sıcaklığına göre elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları Şekil 4.20-4.23 'de görülmektedir. Bir başka ifadeyle baca gazı sıcaklığının, soğutma suyu sıcaklık farkı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere, baca gazı sıcaklığı arttıkça elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı da gözle görülür miktarlarda bağlı olarak artmaktadır. Örnek olarak; 75 °C baca gazı sıcaklığında, 3 lt/dk su debisinde ve 2 m/s baca gazı hızında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı 3.1 °C olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı 100, 125, 150, 175 °C olduğunda elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkları sırasıyla 4.0, 4.7, 5.1 ve 7.1 °C olmuştur. Şekillerde görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı 75 °C 'den 150 °C 'ye çıkarıldığında elde edilen soğutma suyu sıcaklık farkı yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır.



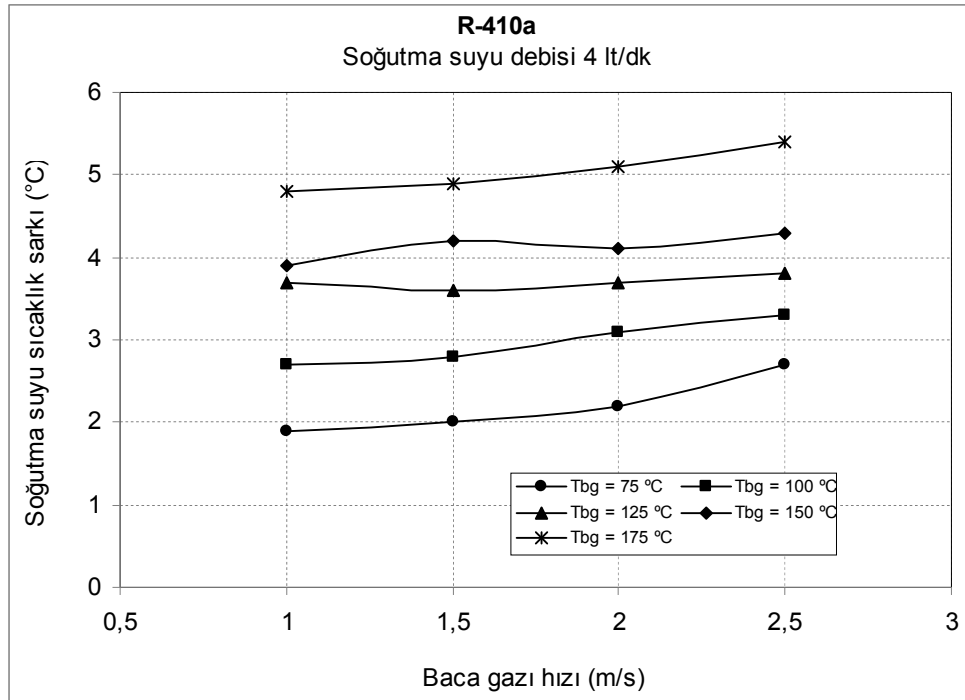
Şekil 4.19. Çalışma akışkanı R-410a için, 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi



Şekil 4.20. Çalışma akışkanı R-410a için, 2 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

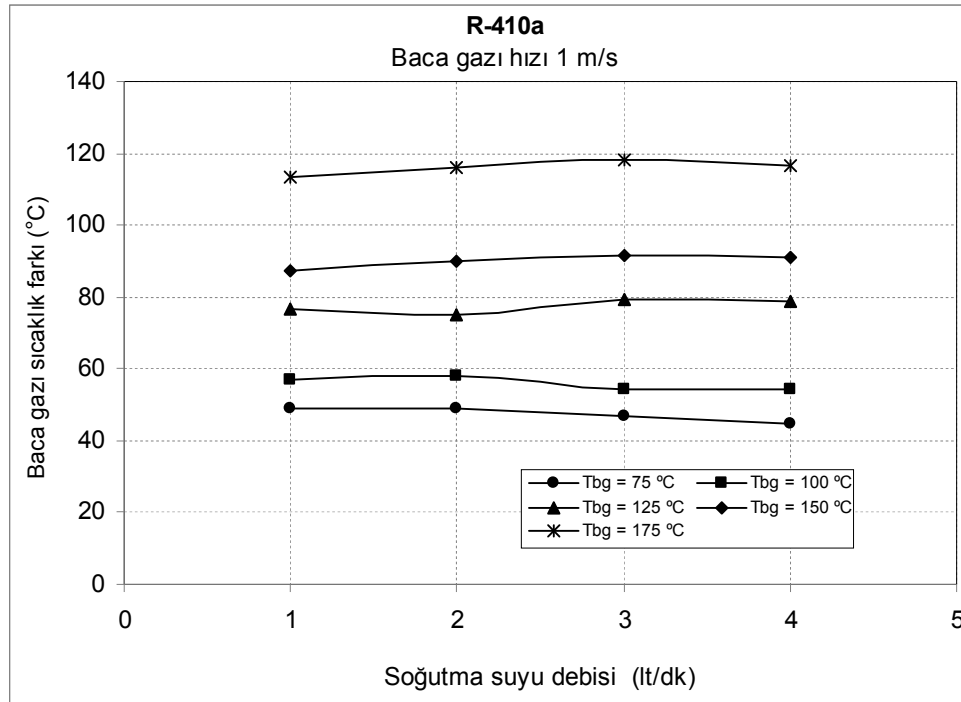


Şekil 4.21. Çalışma akışkanı R-410a için, 3 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

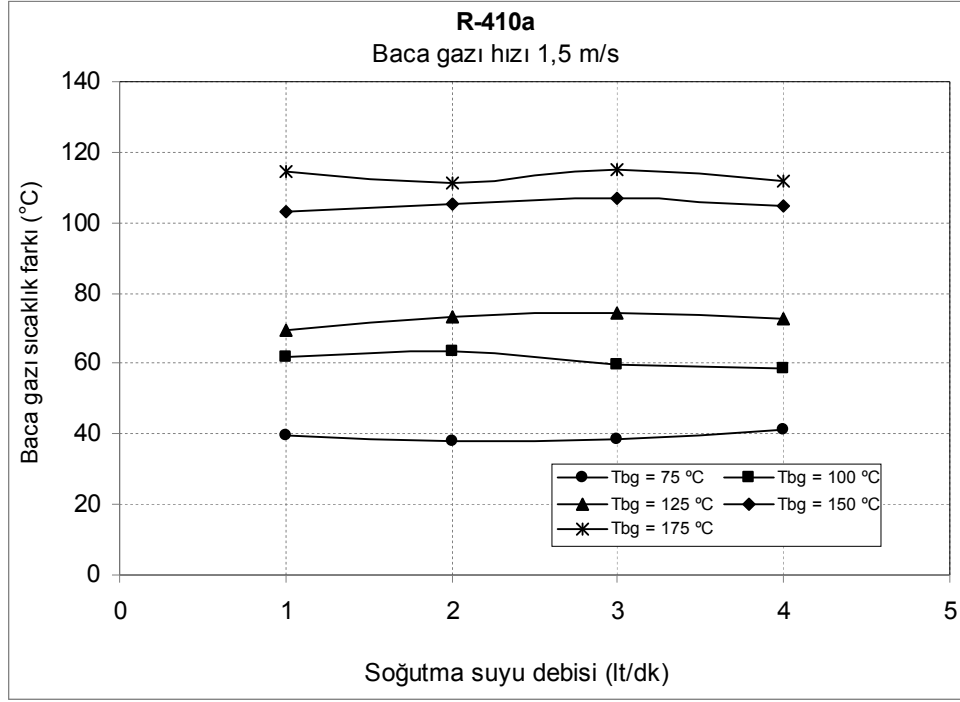


Şekil 4.22. Çalışma akışkanı R-410a için, 4 lt/dk soğutma suyu debisinde ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının baca gazı hızı ile değişimi

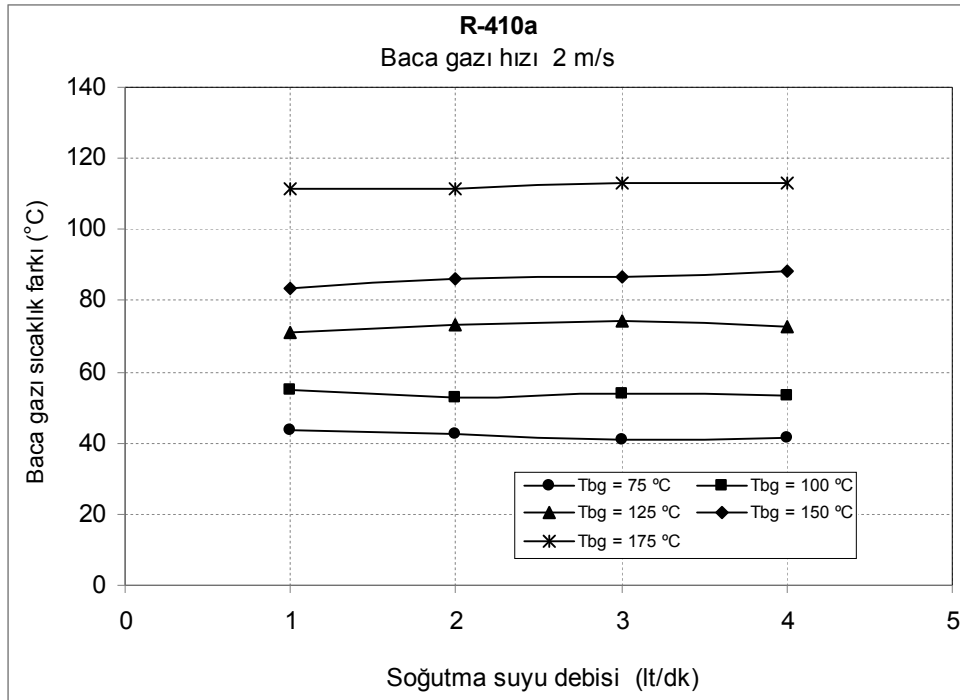
Isı borusunda çalışma akışkanı olarak R-410a kullanıldığında, ısı borusu evaporatör bölgesinin maruz bırakıldığı baca gazının sıcaklığına göre, sistemi terk eden baca gazı sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi Şekil 4.24-4.27’de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi evaporatör bölgesinin maruz kaldığı baca gazı ısısının büyük bir kısmı, ısı borusu tarafından soğutma suyuna aktarılmıştır. Örnek olarak: 1.5 m/s baca gazı hızında, 2 lt/dk su debi değerlerinde sisteme 75 °C sıcaklıkta gönderilen baca gazının sistemden çıkış sıcaklığı 38.0 °C olarak ölçülmüştür. Baca gazı hızının 2.5 m/s, soğutma suyu debisinin 1 lt/dk, baca gazı giriş sıcaklığının 100, 125, 150 ve 175 °C olduğunda, baca gazının sisteme giriş-çıkış sıcaklık farkları sırasıyla 46.7, 71.0, 84.5 ve 113.2 °C olmuştur.



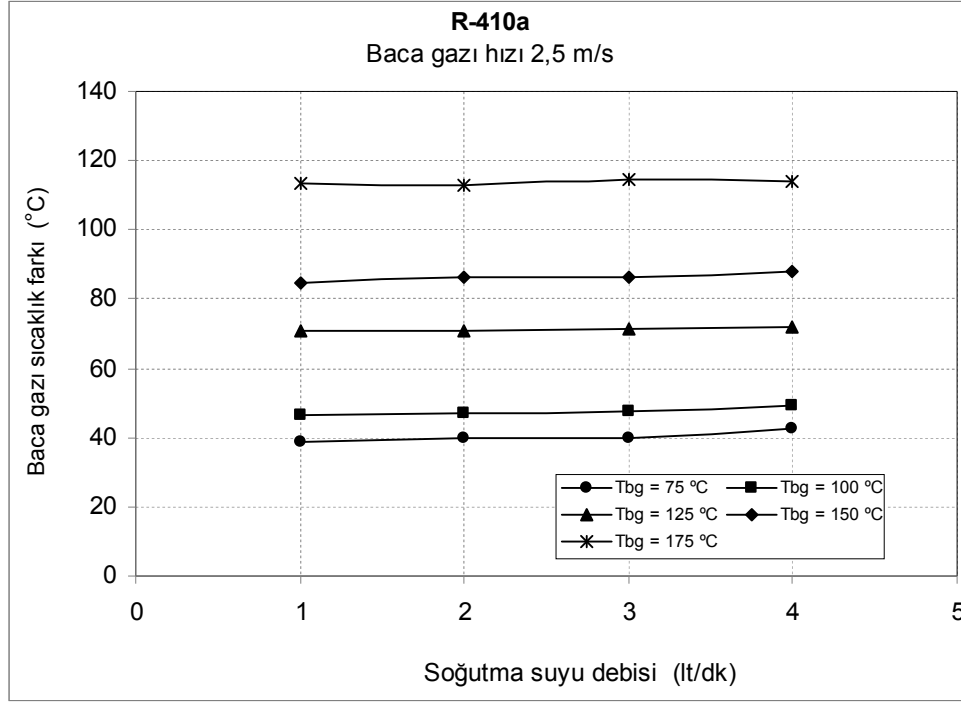
Şekil 4.23. Çalışma akışkanı R-410a için, 1 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.24. Çalışma akışkanı R-410a için, 1.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.25. Çalışma akışkanı R-410a için, 2 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.26. Çalışma akışkanı R-410a için, 2.5 m/s baca gazı hızında ve farklı baca gazı sıcaklıklarında, soğutma suyu sıcaklık farkının soğutma suyu debisi ile değişimi

4.2. ISI BORUSU ETKENLİK HESABI

Sistemin ısıl performansı bakımından hangi çalışma akışkanının daha iyi olduğunu belirlemek için ısı borusu etkenlik hesabı yapılmıştır. Isı borusu etkenliği, soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisinin, baca gazının sahip olduğu ısı enerjisine oranlanmasıyla belirlenmiştir. Isı borusu aracılığıyla soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisi,

$$\dot{Q}_{sg} = \dot{m}_{sg} C_p (T_{sg\check{c}} - T_{sgg}) \quad (4.1)$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır. Denklemde, \dot{Q}_{sg} ; soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisini (W), \dot{m}_{sg} ; soğutma suyu kütleli debisini (kg/s), C_p ; soğutma suyunun özgül ısısını (J/kg K), T_{sgg} ve $T_{sg\check{c}}$; soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarını (°C) göstermektedir.

Isı borusu demeti bölgesine giren-çıkan baca gazının sahip olduğu ısı enerjisindeki azalma miktarının tamamı ısı borusuna aktarıldığı kabul edilerek, ısı borusu evaporatör bölgesine aktarılan ısı enerjisi,

$$\dot{Q}_{bg} = \dot{m}_{bg} C_p (T_{bgg} - T_{bgç}) \quad (4.2)$$

Eşitliğine göre hesaplanmıştır. Denklemden, \dot{Q}_{bg} ; baca gazının sahip olduğu ısı enerjisindeki azalma miktarını (W), \dot{m}_{bg} ; baca gazı kütleli debisini (kg/s), C_p ; baca gazı özgül ısısını (J/kg K), T_{bgg} ve $T_{bgç}$; baca gazı giriş ve çıkış sıcaklıklarını (°C) göstermektedir.

Baca gazının kütleli debisi,

$$\dot{m}_{bg} = \rho_{bg} U_{bg} A_k \quad (4.3)$$

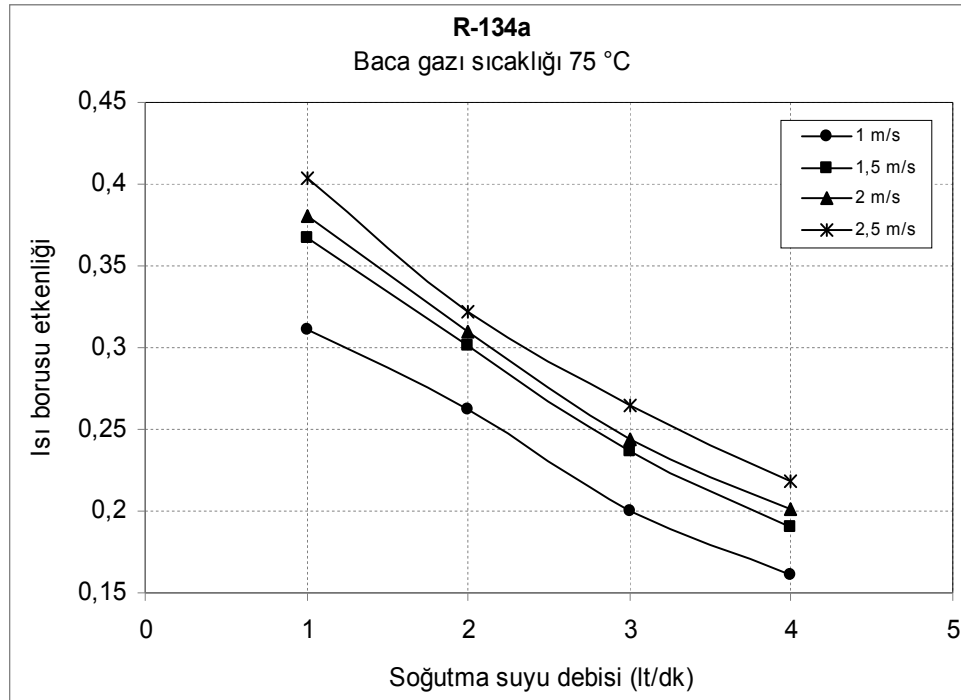
eşitliğinden bulunmuştur. Eşitlikte, ρ_{bg} ; baca gazının yoğunluğunu (kg/m³), U_{bg} ; baca gazının hızını (m/s), A_k ; baca gazı kesit alanını göstermektedir.

Hesaplamlarda kullanılan baca gazına ait termofiziksel özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Soğutma suyunun özgül ısısı ise ortalama 4180 J/kg K olarak kabul edilmiştir.

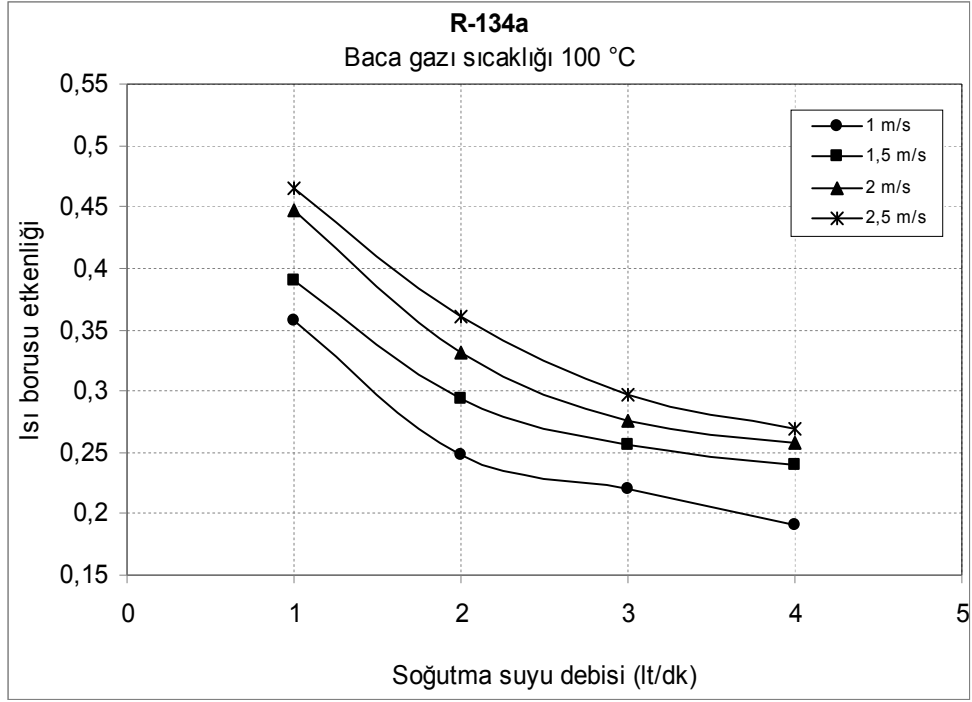
Çizelge 4.1. Hesaplamlarda kullanılan havanın fiziksel özellik değerleri

Baca gazı sıcaklığı (°C)	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)
75	1008	1.0137
100	1009	0.9458
125	1011	0.8864
150	1014	0.8345
175	1018	0.7892

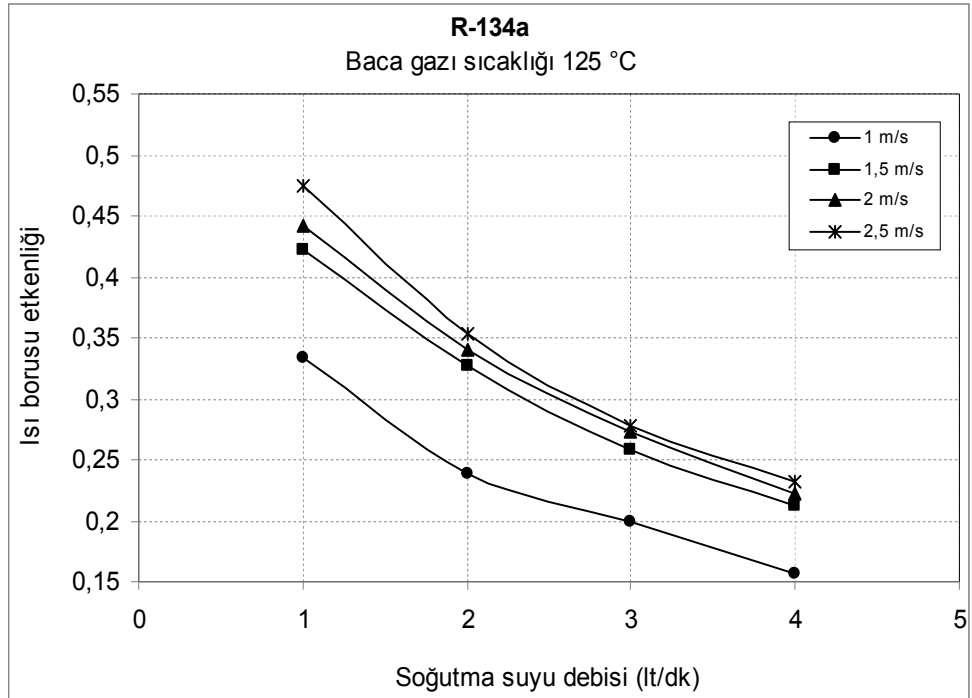
Isı borusu etkenliği her bir çalışma akışkanı için farklı baca gazı sıcaklıklarında baca gazı hızlarında soğutma suyu debisine bağlı olarak Şekil 4.28 - 4.37 verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi baca gazının hızı arttıkça ısı borusu etkenliği artarken, soğutma suyu debisi arttıkça ısı borusu etkenliği azalmaktadır. Çalışma akışkanı R-134a için 75 °C baca gazı sıcaklığında, 2.5 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ısı borusu etkenliği % 40.4 olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı 175 °C çıkarıldığında ise %57.7 olmuştur. Aynı şartlarda çalışma akışkanı R-410a için 75 °C baca gazı sıcaklığında, ısı borusu etkenliği % 35.7 olurken, 175 °C baca gazı sıcaklığında ise % 44.1 olmuştur. Bu değerlerden de görüldüğü gibi R-134a çalışma akışkanı aynı şartlarda R-410a çalışma akışkanından daha etkili olmuştur. Diğer baca gazı sıcaklıklarında ve soğutma suyu debilerinde benzer durum söz konusudur. Buna göre orta sıcaklığa sahip atık ısı kaynaklarından ısı borulu ısı geri kazanım sistemlerinde çalışma akışkanı olarak R-134a soğutucu akışkanı, R-410a soğutucu akışkanına göre daha etkili olmaktadır.



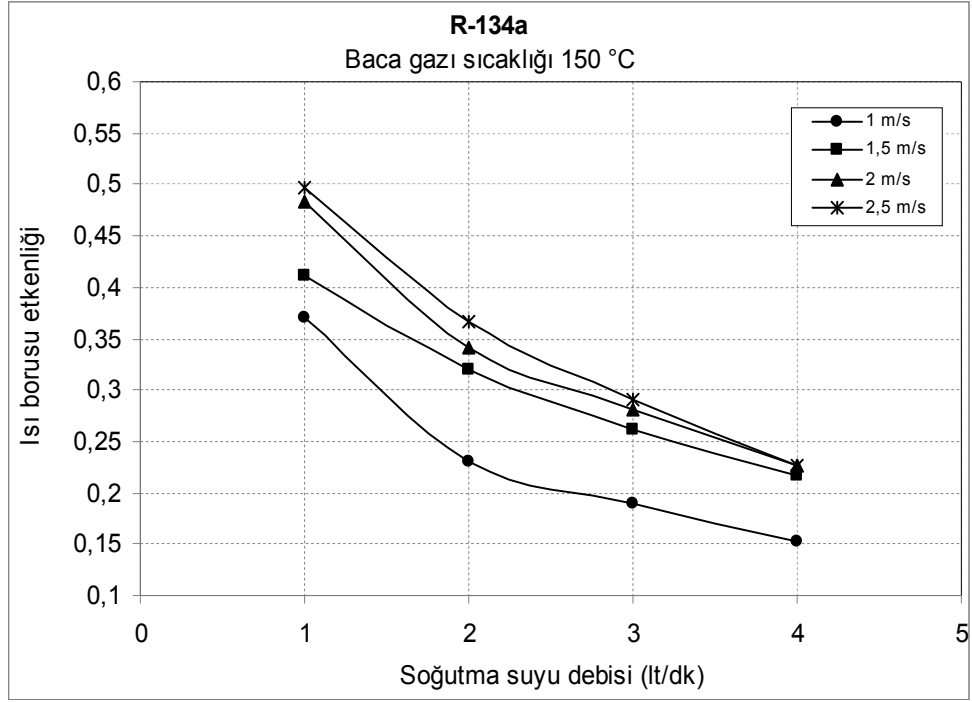
Şekil 4.27. Çalışma akışkanı R-134a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



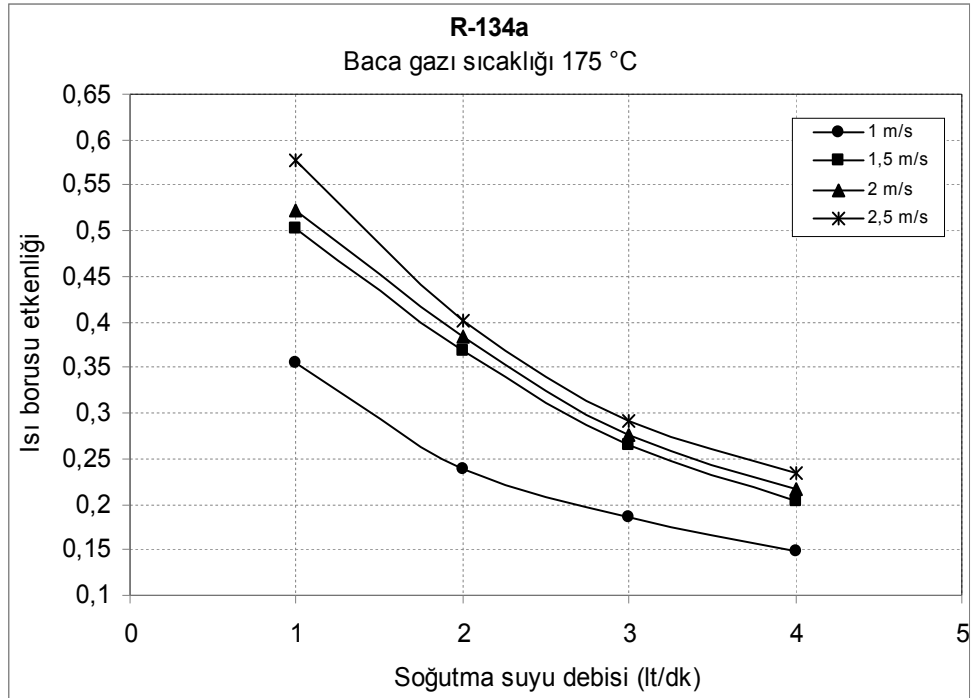
Şekil 4.28. Çalışma akışkanı R-134a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



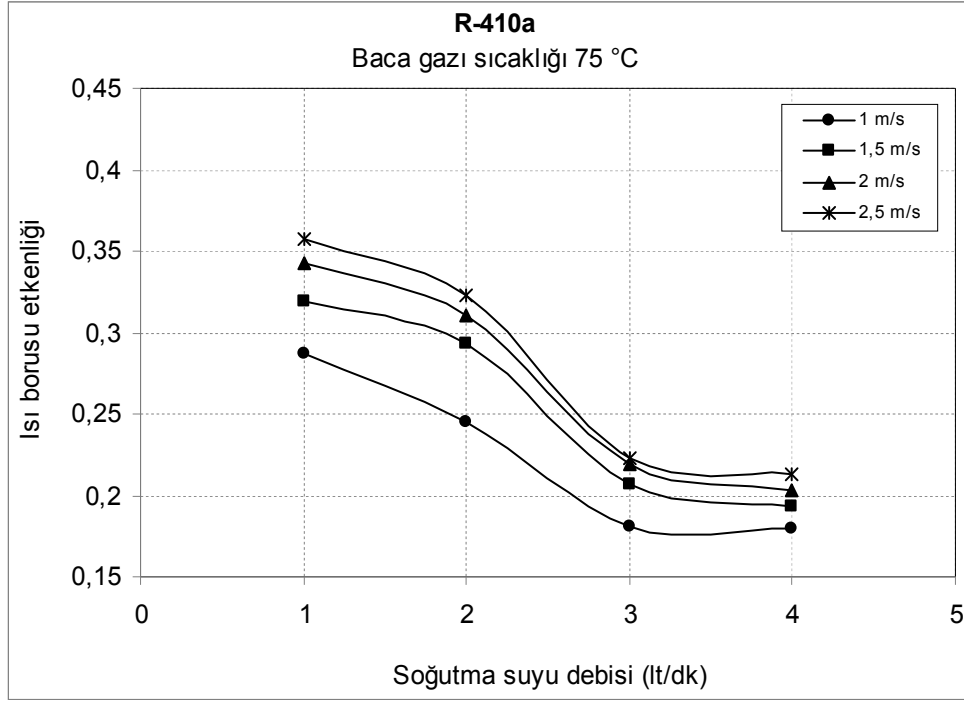
Şekil 4.29. Çalışma akışkanı R-134a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



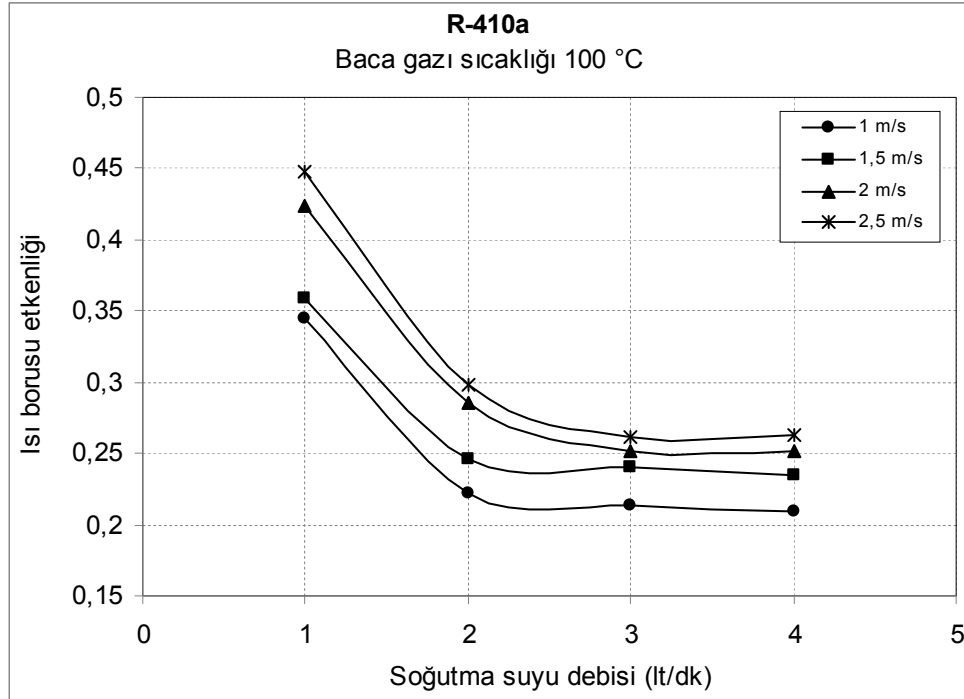
Şekil 4.30. Çalışma akışkanı R-134a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkinliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



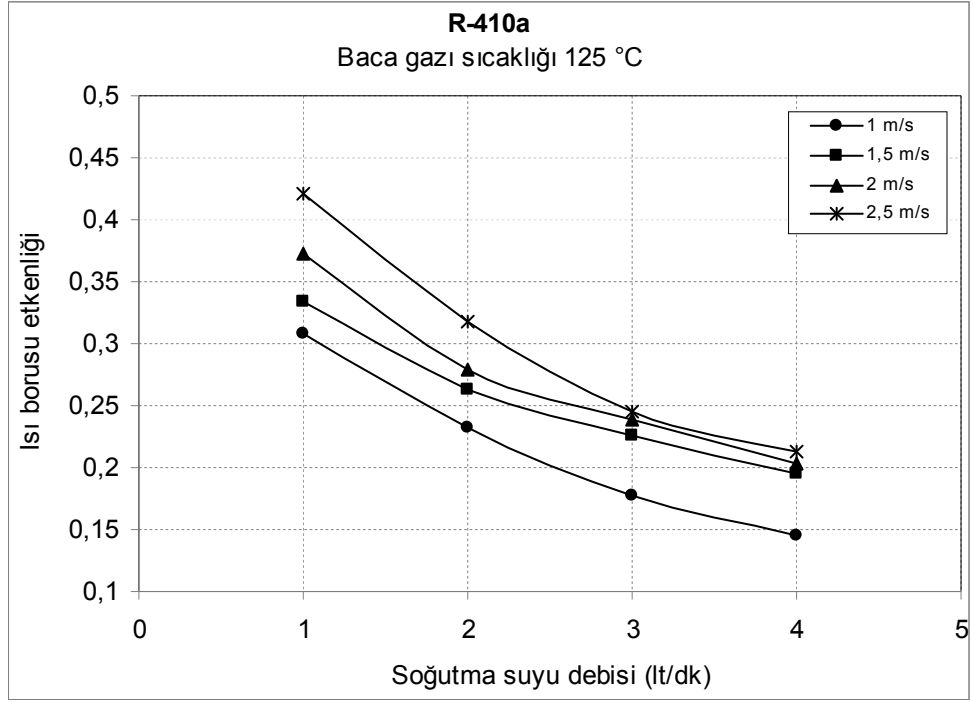
Şekil 4.31. Çalışma akışkanı R-134a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkinliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



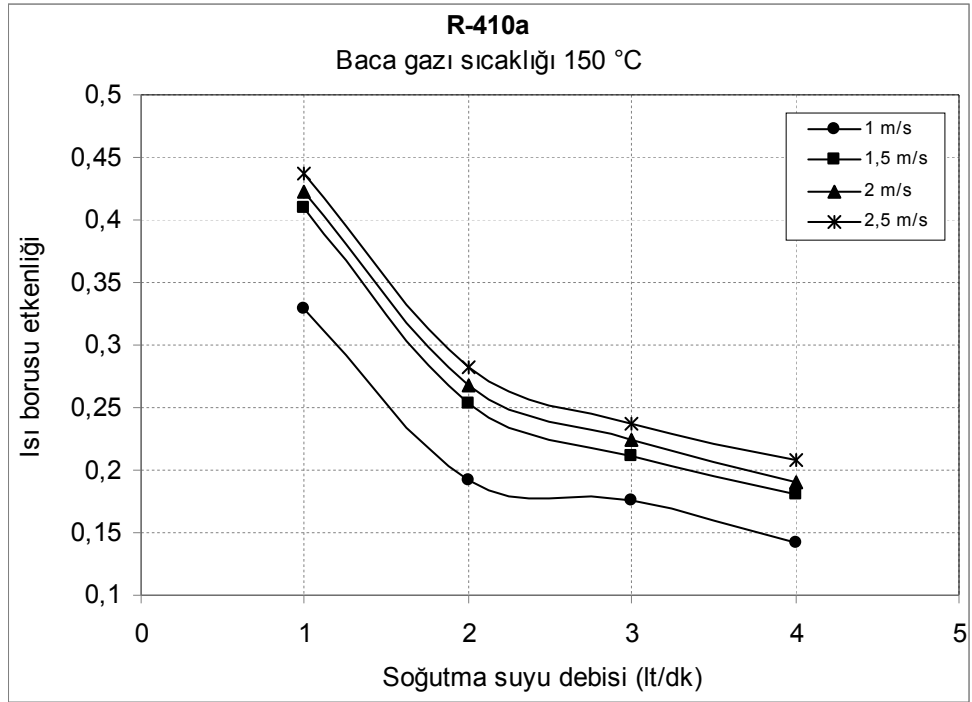
Şekil 4.32. Çalışma akışkanı R-410a için, 75 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



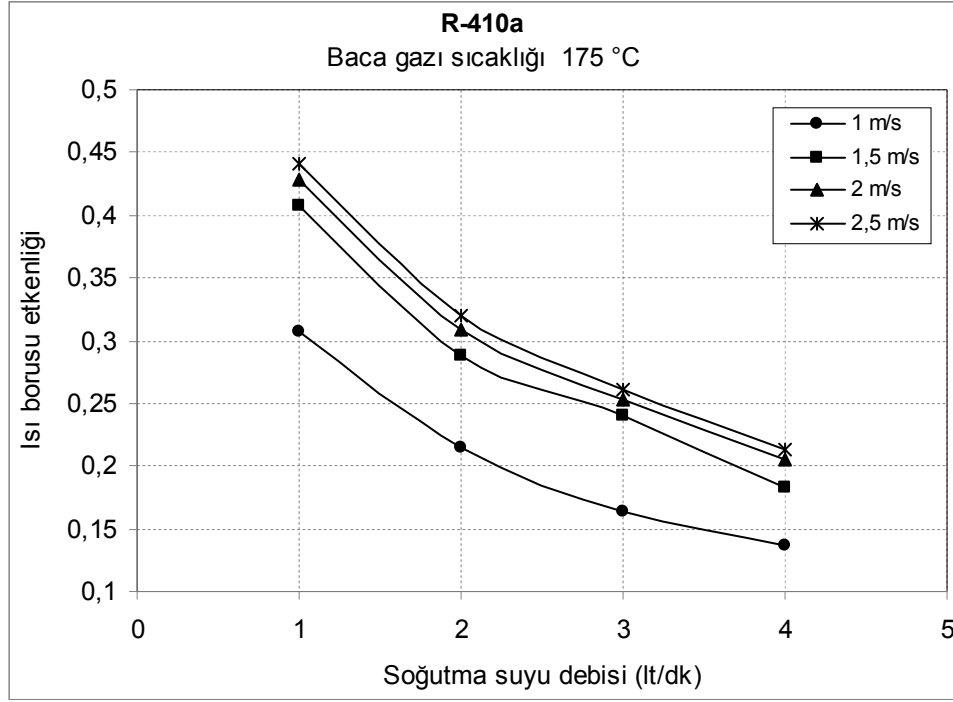
Şekil 4.33. Çalışma akışkanı R-410a için, 100 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.34. Çalışma akışkanı R-410a için, 125 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkinliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.35. Çalışma akışkanı R-410a için, 150 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkinliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi



Şekil 4.36. Çalışma akışkanı R-410a için, 175 °C baca gazı sıcaklığında ve farklı baca gazı hızlarında, ısı borusu etkenliğinin soğutma suyu debisi ile değişimi

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yerçekimi destekli ısı borulu ısı geri kazanım sisteminde çalışma akışkanı R-134a ve R-410a için 75, 100, 125, 150, 175 °C baca gazı sıcaklıklarında, 1, 1.5, 2 ve 2.5 m/s baca gazı hızlarında, 1, 2, 3 ve 4 lt/dk soğutma suyu debilerinde, ısı geri kazanım sisteminin ısıl performansı deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Çalışma akışkanı R-134a için 75 °C baca gazı sıcaklığında, 2.5 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk soğutma suyu debisinde ısı borusu etkenliği % 40.4 olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı 175 °C çıkarıldığında ise %57.7 olmuştur. Ay şartlarda çalışma akışkanı R-410a için 75 °C baca gazı sıcaklığında, ısı borusu etkenliği % 35.7 olurken, 175 °C baca gazı sıcaklığında ise % 44.1 olmuştur. Bu değerlerden de görüldüğü gibi R-134a çalışma akışkanı aynı şartlarda R-410a çalışma akışkanından daha etkili olmuştur. Diğer baca gazı sıcaklıklarında ve soğutma suyu debilerinde benzer durum söz konusudur. Buna göre orta sıcaklığa sahip atık ısı kaynaklarından ısı borulu ısı geri kazanım sistemlerinde çalışma akışkanı olarak R-134a soğutucu akışkanının R-410a soğutucu akışkanına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçların atık ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı konusunda çalışma yapacak araştırmacılara yol gösterici bir kaynak olacağını ümit ediyorum. Bu konuda yapılacak çalışmalarda, yerçekimi destekli ısı borulu ısı geri kazanım sisteminde, ısı borusunun yerçekimi desteği yanında fitilli yapıldığı takdirde ısı borusu etkenliğinin daha da yüksek değerlere çıkabileceği aşıkardır. Bu konuda çalışma yapacak araştırmacılar, yerçekimi destekli fitilli ısı borulu ısı geri kazanım sistemi üzerinde yoğunlaşırlarsa, bu çalışma bir adım ileriye götürülmüş olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ataer, Ö, E., Özalp, M. ve Bıyıkoğlu, A., “Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri için soğutucu akışkan seçimi”, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 481-488 (2001).
2. Beşe, U., “Baca gazları için ısı borusu tasarımı ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 10-80 (1988).
3. Chi, S, W., “Heat pipe theory and practice”, *Hemisphere Publishing Corporation*, Washington, 240-245 (1976).
4. Doughty, C. and Pruess, K., “A similarity solution for two-phase fluid and heat flow near high-level nuclear waste packages emplaced in porous media”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 33: 1205-1222 (1990).
5. Dunn, P, D. and Reay, D, A., “Heat pipes”, *Elsevier Science Ltd*, Great Britain, 348-356 (1994).
6. Ersöz, A, M., “Baca gazlarındaki atık ısının ısı borusu ile geri kazanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 8-60 (2002).
7. Faghri, A., “Heat pipe science and technology”, *Taylor and Francis*, London, 874-885 (1995).
8. Güngör, A., “İklimlendirmede enerji geri kazanımında ısı borulu ısı değiştiriciler”, *İkinci Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 639-655 (1995).
9. Hamilton, A. and Hu, J., “An electronic cryoprobe for cryosurgery using heat pipes and thermoelectric coolers: a preliminary report”, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 17(3): 104-109 (1993).
10. Kalogirou, S, A., “Solar thermal collectors and applications”, *Progress in Energy Combustion Science*, 30(3): 231-295 (2004).
11. Kotcioğlu, İ., Çalışkan, S. ve Manay, E., “Farklı soğutucular kullanarak cpu'nun ısı boruları ile soğutulması”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29(2): 109-116 (2009).

12. Lamfon, N, J., Akyurt, M., Najjar, Y, S, H., and Al-Rabghi, O, M.,
“Thermophysical relationships for waste heat recovery using looped heat pipes”,
International Journal of Energy Research, 18: 633-642 (1994).

13. Lee, Y. and Bedrossian, A., "The characteristics of heat exchangers using heat pipes or thermosyphons", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21: 221-229 (1978).
14. Lin, T. F., Lin, W. T., Tsay, Y. L. and 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).
15. Marcarino, P. and Merlone, A., "Gas-controlled heat-pipe for accurate temperature measurements", *Applied Thermal Engineering*, 23: 1145-1152 (2003).
16. Mo, B., Ohadi, M. M. and Dessiatoun, S. V., "Capillary pumped-loop thermal performance improvement with electrohydrodynamic technique", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 14 (1): 103-108 (2000).
17. Şimşak, O. "Isı geri kazanım amaçlı ısı borusu performansının deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 8-45 (2009).
18. Özsoy, A. ve Acar, M. M., "Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90: 13-18 (2005).
19. Peterson, G. P., "An introduction to heat pipes modeling, testing, and applications", *John Wiley and Sons Inc*, New York, 356-364 (1994).
20. Noie-Baghban, S. H. and Majideian, G. R., "Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals", *Applied Thermal Engineering* 20: 1271-1282 (2000).
21. Sauciu, I., Mochizuki, M., Mashiko, K., Saito, Y. and Nguyen, T., "The design and testing of the super fiber heat pipes for electronics cooling applications", *Sixteenth IEEE Semi-Therm Symposium*, San Jose, 27-32 (2000).
22. Vasiliev, L. L., "State of the art on heat pipe technology in the former Soviet Union", *Applied Thermal Engineering*, 18(7): 507-551 (1998).
23. Vasiliev, L. L., "Heat pipes in modern heat exchangers", *Applied Thermal Engineering*, 25: 1-19 (2005).
24. Zhang, H. and Zhuang, J., "Research, development and industrial application of heat pipe technology in China", *Applied Thermal Engineering*, 23: 1067-1083 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÜRÜN 1982 yılında Eskişehir’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Kütahya’da tamamladı. Kütahya Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü’nden mezun oldu. 2001 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2005 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2004 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümü’nde öğrenime başlayıp, 2006 yılında mezun oldu. Aynı yılda Zonguldak Emniyet Müdürlüğü’nde polis memuru olarak göreve başladı. Yine 2006 yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, 2010 yılına Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda tamamladı. Halen Zonguldak Emniyet Müdürlüğü’nde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: İl Emniyet Müdürlüğü
Muhabere Elektronik Şube Müdürlüğü
ZONGULDAK

Tel: (505) 843 28 99

E-posta: emre_urun@hotmail.com