

**YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA  
SİSTEMLERİNDE ISI KAYNAĞI OLARAK  
GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**İbrahim ERBECER**

**SYAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ISI KAYNAĞI  
OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**İbrahim ERBECER**

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

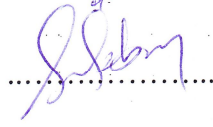
**KARABÜK**

**Ocak 2012**

İbrahim ERBECER tarafından hazırlanan “YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ISI KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13 / 01 / 2012

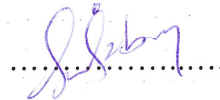
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

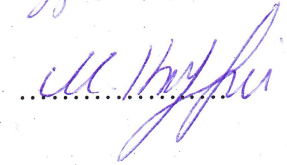
Başkan : Yrd. Doç. Dr. Süleyman SEMİZ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

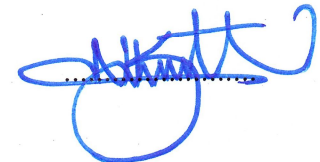


...../...../2012

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

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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.”*

İbrahim ERBECER

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ISI KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**İbrahim ERBECER**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ**

**Ocak 2012, 49 sayfa**

Bu çalışmada yayımlı (difüzyonlu) soğurmalı soğutma (YSS) sistemi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. YSS sisteminde soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su ve difüzör olarak helyum gazı kullanılmıştır. Tasarım ve imalatı yapılan sistem için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ısı kaynağı olarak tercih edilmiştir. Ön soğutmalı sistemde yapısal değişiklik yapılarak ön soğutmasız sistem (YSS2) imal edilmiştir. Sistemin yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışması sonucu ülkemizin zengin güneş enerjili kaynağının soğutma sisteminde kullanılabileceği deneysel olarak gösterilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş enerjisi, yayımlı soğurmalı soğutma.

**Bilim Kodu** : 708.1.038

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DIFFUSION ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEMS WITH A HEAT SOURCE OF SOLAR ENERGY**

**İbrahim ERBECER**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Engin ÖZBAŞ**

**January 2012, 49 pages**

In this study, diffusion absorption refrigeration (DAR) system was investigated experimentally and theoretically. Ammonia, water and helium were used in DAR as the refrigerant, absorber, and diffuser respectively. The system which was designed and made was heated by solar energy, as a renewable energy source. A system without condensate subcooling was made by modifying the subcooling system (DAR2). Running the system on renewable energy, it was experimentally shown that our rich resources of solar energy can be used in cooling system.

**Key Words** : Solar energy, diffusion absorption refrigeration.

**Science Code** : 708.1.038

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZBAŞ hocama teőekkürlerimi borç bilirim.

Bu tez çalıőmasının hazırlanmasında değerli yardımlarını esirgemeyen ve her türlü kolaylığı gösteren evik Kuvvet őube Müdürü Sayın Ufuk KAYADELEN, Emniyet Amiri Sayın Benhur AKSU, Kom. Yrd. Sayın Mehmet KAYGISIZ, Kom. Yrd. Sayın Nuri TOYGÜN'e teőekkürlerimi borç bilirim.

Değerli yardımlarını esirgemeyen evik Kuvvet őube Müdürlüğünde alıőan baőta Erdal YILDIZ olmak üzere tüm arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	2
BÖLÜM 3. ....	7
YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ .....	7
3.1. GİRİŞ .....	7
3.2. YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA (YSS) SİSTEMLERİ .....	7
3.3. SİSTEMDE KULLANILAN AKIŞKANLAR .....	9
3.4. DALTON YASASI VE YSS SİSTEMİYLE İLİŞKİSİ .....	10
3.5. ÖN SOĞUTMALI YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİ (YSS1) .....	11
3.5.1. YSS1 ile Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sisteminin Karşılaştırılması .....	13
3.5.2. YSS1 Sistemi İçin Zayıf Çözelti Çevrimi .....	14
3.5.3. YSS1 Sistemi İçin Amonyak ve Helyum Çevrimi .....	16
3.6. ÖN SOĞUTMASIZ YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİ (YSS2) .....	18
3.6.1. YSS2 Sisteminin Tasarımı .....	20
3.6.2. YSS2 Sisteminin Çalışması .....	21



	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 4. ....	23
MATERYAL ve METOT .....	23
4.1. ISI KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI .....	23
4.2. SİSTEMDE GÜNEŞ PİLLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ .....	25
4.3. SİSTEMİN DENEY DÜZENEĞİNİN KULLANILMASI .....	26
BÖLÜM 5. ....	30
YSS SİSTEMLERİ İÇİN SOĞUTMA TESİR KATSAYISI .....	30
5.1. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA GÜÇ HESABI.....	32
5.2. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA CİHAZLARIN STK SONUÇLARI .....	33
5.3. ÖN SOĞUTMASIZ YSS SİSTEMİNİN SOĞUTMA ÇEVİRİMİ .....	36
BÖLÜM 6. ....	38
DENEYSEL BULGULAR .....	38
BÖLÜM 7. ....	50
SONUÇ ve ÖNERİLER .....	50
7.1. SONUÇLAR.....	50
7.2. ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dalton 'un kısmi basınçlar yasası.....	10
Şekil 3.2. Ön soğutmalı yayınlı soğurmalı soğutma sistemi YSS1 .....	12
Şekil 3.3. YSS1 zayıf çözelti çevrimi.....	15
Şekil 3.4. YSS1 amonyak ve helyum çevrimi.....	17
Şekil 3.5. Ön soğutmasız yayınlı soğurmalı soğutma sistemi YSS2.....	19
Şekil 3.6. Ön soğutmasız ve ön soğutmalı sistemlerin buharlaştırıcıları.....	20
Şekil 3.7. Ön soğutmasız YSS2 sisteminin çevrim şeması.....	22
Şekil 4.1. Piyasada ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı .....	24
Şekil 4.2. Güneş pilleri ve solar metre .....	26
Şekil 4.3. Bilgisayar kontrollü deney düzeneğinin önden görünüşü .....	27
Şekil 4.4. Bilgisayar kontrollü deney düzeneğinin arkadan görünüşü .....	28
Şekil 4.5. Kurulumu tamamlanmış bilgisayar kontrollü deney düzeneği.....	28
Şekil 4.6. Kurulumu tamamlanmış bilgisayar kontrollü ADAM-4500 modülü .....	29
Şekil 5.1. STK hesabı için kullanılan değerlerin cihaz üzerindeki yerleri.....	31
Şekil 5.2. REFPROP programı ile ilgili etiket .....	32
Şekil 5.3. Güneş enerjisi kullanımında YSS2 cihazının STK değişimi.....	34
Şekil 5.4. YSS2 sisteminin soğutma çevrimi T-S diyagramı.....	34
Şekil 5.5. REFPROP programı ile saf amonyağın termodinamik özellikleri .....	35
Şekil 5.6. REFPROP programı ile elde edilen T-x grafiği.....	35
Şekil 5.7. REFPROP programı ile elde edilen T-x grafiği t.dinamik özellikleri.....	36
Şekil 5.8. Ön soğurmasız YSS sisteminin soğutma çevrimi T-S diyagramı .....	36
Şekil 6.1. Ön soğurmasız YSS için saflaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı .....	39
Şekil 6.2. Ön soğurmasız YSS için kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı .....	39
Şekil 6.3. Ön soğurmasız YSS için kaynatıcı noktasının sıcaklık dağılımı .....	40
Şekil 6.4. Ön soğurmasız YSS için kabarcık pompasının çıkış noktasının sıcaklık dağılımı .....	41
Şekil 6.5. Ön soğurmasız YSS için yoğuşurucu giriş noktasının sıcaklık d.....	41

Şekil 6.6. Ön soğurmasız YSS için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık d .....	42
Şekil 6.7. Ön soğurmasız YSS için düşük basınçlı sıvı amonyağının buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı .....	43
Şekil 6.8. Ön soğurmasız YSS için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık d.....	43
Şekil 6.9. Ön soğurmasız YSS için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık d .....	44
Şekil 6.10. Ön soğurmasız YSS için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık d.....	45
Şekil 6.11. Ön soğurmasız YSS için sistemin basınç dağılımı .....	45
Şekil 6.12. Ön soğurmasız YSS için dış sıcaklık dağılımı .....	46
Şekil 6.13. Ön soğurmasız YSS için iç sıcaklık dağılımı .....	47
Şekil 6.14. Ön soğurmasız YSS için gerilim dağılımı .....	47
Şekil 6.15. Ön soğurmasız YSS için akım dağılımı .....	48
Şekil 6.16. Güneş enerjili güç dağılımı .....	48
Şekil 6.17. Ön soğurmasız YSS için ışıının şiddeti dağılımı .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Boru malzemesine ve akışkan cinsine göre ısı borusunun sıcaklık aralıkları.....	24
Çizelge 5.1. YSS–2 cihazının güneş enerjisiyle yapılan deneyinden çeşitli zamanlardaki ölçüm ve hesap değerleri.....	33

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

A	: Alan
c	: Işık hızı
C	: Özgül ısı
$c_p$	: Sabit basınçta özgül ısı
$c_v$	: Sabit hacimde özgül ısı
f	: Dolaşım oranı
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Gibbs fazla enerji
h	: Entalpi
m	: Kütle
P	: Basınç
Q	: Isı
R	: Genel gaz sabiti
s	: Entropi
T	: Sıcaklık
v	: Özgül hacim
V	: Hız
W	: İş
w	: Kütle oranları
x	: Derişim
$\eta$	: Verim
$\tau$	: Sıcaklık oranı

## **KISALTMALAR**

- YSS : Yayınımılı Soğurmalı Soğutma  
YSS1 : Ön Soğutmalı Yayınımılı Soğurmalı Soğutma  
YSS2 : Ön Soğutmasız Yayınımılı Soğurmalı Soğutma  
STK : Soğutma Tesir Katsayısı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze ve geleceğe doğru sürekli bir gelişim göstermekte olan teknolojinin temelinde hep insan konforu olmuştur. Enerjinin verimli kullanılması ve enerji maliyetinin azaltılması üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Küresel ısınma ile birlikte daha da ön plana çıkan “Çevre Bilinci” kavramı da bundan sonraki teknolojik gelişmelere konfor faktörünün yanında yeni ve önemli bir yaklaşımı da gündeme getirmiştir. Kısacası teknolojik gelişmelerde artık sadece konfor değil aynı zamanda çevrecilik ve ekonomiklik de etkin ve belirleyici bir rol oynamaktadır [1].

Konfor denilince akla gelenlerden birisi de “Soğutma”dır. Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısının alınması işlemine soğutma denir [2].

Soğurmalı soğutma sistemleri; sistem olarak kesik kesik (aralıklı) çalışan ve sürekli (aralıksız) çalışan şeklinde sınıflandırılır. Ev tipi (domestic), karavan, yat vs. şeklindeki araçlarda, endüstriyel ve iklimlendirme uygulanma alanlarına sahiptir. Ayrıca gaz yağı, doğalgaz, LPG, buhar, elektrikli ısıtıcı ve güneş enerjisi gibi ısı kaynakları ile çalışırlar [3].

Yayınımlı soğurmalı soğutma çevrimi (YSS) ilk olarak Von Platen ve Munters tarafından ortaya atılmış ve günümüze kadar buzdolaplarında yaygın olarak kullanılmıştır. Çevrimde soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su, basınç dengeleyici gaz olarak da helyum gazı kullanılmıştır [4]. Bu sistem, çevrimde sıvı amonyak ön soğutmaya tabi tutulduğundan “Ön Soğurmalı” olarak adlandırabilir [5].

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Özbaş, yaptığı çalışmada yayınlı (difüzyonlu) soğurmalı soğutma (YSS) sistemi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. YSS sisteminde soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su ve difüzör olarak helyum gazı kullanılmıştır. Tasarım ve imalatı yapılan sistem için elektrik enerjisi, alternatif enerji kaynaklarından LPG ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ısı kaynağı olarak tercih edilmiştir. Elektrik ısıtıcılı sistemin performansını arttırmak amacıyla iki ayrı tasarım geliştirilmiştir: (i) Ön soğutmalı sistemde yapısal değişiklik yapılarak ön soğutmasız sistem (YSS2) imal edilmiştir. (ii) Ön soğutmalı sistemin absorber girişine yerleştirilen bir ejektörün kullanıldığı sistemin (YSS3) tasarım ve imalatı yapılmıştır. Elektrik enerjisi ile yapılan deneylerde iç ortam sıcaklığı 3°C ile en iyi sonuca ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) ulaşılmışken, soğutma tesir katsayısı bakımından dolaşım oranının yüksek olmasından dolayı ön soğutmasız sistemde (YSS2) %27 ile en iyi verim elde edilmiştir. Ayrıca ejektör kullanımı ile ön soğutmalı sistemin performansının %26 arttığı görülmüştür. Sistemin yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışması sonucu ülkemizin zengin güneş enerjili kaynağının soğutma sisteminde kullanılabileceği deneysel olarak gösterilmiştir [1].

Zohar vd. yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinin performansını arttırmaya yönelik bu çalışmalarında buharlaştırıcı üzerinde yapısal bir değişikliğe giderek normal kullanımda ön soğutmaya tabi tutulan sıvı amonyağı, ön soğutmaya tabi tutmadan doğrudan buharlaştırıcıya bağlamışlardır. Teorik olarak yapılan inceleme sonucunda sistem performansının ön soğutmasız yapılı sistemde ön soğutmalı (normal) sisteme göre %14–20 civarında arttığını belirlemişlerdir [5].



Arslan ve Eğrican, deneysel olarak inceledikleri buzdolabı uygulamasında kullanılan yayımlı soğurmalı soğutma sisteminin termodinamik analizini yapmışlardır. Tamamen ısı güç ile çalışan bu sistemlerin performansı düşüktür. Yapılan çalışmada sistem üzerindeki ısı kayıpları belirlenerek ısı kayıplarının azaltılması ile sistem performansının artırılması amaçlanmıştır. Deneysel verilerin ve teorik çalışmaların sonucunda sistemin bazı bölgelerindeki kayıpların çevrimin tamamlanabilmesi için mutlaka olması gerekli olduğu, bazı bölgelerdeki ısı kayıplarının ise gereksiz olduğunu tespit etmişlerdir. Bu gereksiz ısı kayıplarının önlenmesi ile sistem performansında belirgin bir iyileşmenin meydana geleceğini termodinamik analiz ile ortaya koymuşlardır [6].

Zohar vd. yaptıkları teorik çalışmada yayımlı soğurmalı soğutma sisteminde organik bir soğurucu olarak DMAC (dimethylacetamide) ve soğutucu olarak R22, R32, R124, R125 ve R134a akışkanlarının performansını karşılaştırmışlardır. Sistemlerde basınçlandırıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. Elde edilen veriler ayrıca amonyak-su çifti ile karşılaştırılmış ve STK'nın (soğutma tesir katsayısı) en yüksek değeri 0.298 ile amonyak-su çiftinde, en düşük 0.136 ile DMAC-R32 çiftinde elde edilmiştir. Organik soğurucu ile incelenen beş soğutucudan STK'nın en yüksek değeri 0.224 ile DMAC-R22 çiftinde elde edilmiştir [7].

Zohar vd. yaptıkları başka bir çalışmada yayımlı soğurmalı soğutma sistemlerindeki kaynatıcı ile kabarcık pompasının (bubble pump) yapısında değişiklik yaparak çevrimin performansını incelemişlerdir. Normalde dış cidar kaynatıcı iç cidar kabarcık pompası şeklinde iç içe bir yapıda iken, bunun yanı sıra kaynatıcı ile kabarcık pompası tamamen ayrı ve kısmen ayrı olmak üzere 2 farklı yapı daha tasarlanmıştır. Analizler sonucu bu üç yapı arasından, kaynatıcı ile kabarcık pompasının tamamen ayrı olduğu yapıda en düşük verim elde edilmiştir. Ancak bu yapıda verilen ısı doğrudan zengin çözeltiye ulaşmış, diğerlerinde ise ısı zayıf çözeltiyi geçtikten sonra zengin çözeltiye ulaşmıştır [8].

Moreira vd. soğutucu olarak amonyak, soğurucu olarak su ve basınç dengeleyici olarak da helyumun kullanıldığı yayımlı soğurmalı soğutma sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada sistemdeki kaynatıcı, kabarcık pompası,

saflaştırıcı, yoğurturucu, sıvı ısı değiştirici, soğurucu ve depo, genleşme bölgesi, buharlaştırıcı, amonyak n soğutma bölgesi ve gaz ısı değiştirici Termodinamiğin I. ve II. kanununa göre incelenmiştir [9].

Zohar vd. bu çalışmalarında yayınlı soğurtmalı soğutma sisteminde kullanılan amonyak-su ve çalışma akışkanlarından hidrojenin yerine helyum kullanılması durumunu termodinamik bir model ile incelemişlerdir. İnceleme sonucunda helyum kullanımının hidrojene göre çok daha iyi olduğu ve soğutma tesir katsayısının %40 kadar artış gösterdiği belirlenmiştir [10].

Srihirin ve Aphornratana, soğutucu akışkan olarak amonyağın, soğurucu akışkan olarak suyun ve basınçlandırıcı gaz olarak da helyumun kullanıldığı yayınlı soğurtmalı soğutma sistemi üzerine yaptıkları çalışmada sistem performansının kuvvetli şekilde kabarcık pompasının karakteristik özelliği ile buharlaştırıcı ve soğurucu kütle transfer performansına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır [11].

White, yayınlı soğurtmalı soğutma sistemlerindeki kabarcık pompası üzerine bir inceleme yaparak kabarcık akışını görüntülemişlerdir. Ayrıca soğutucu olarak amonyağın, soğurucu olarak suyun ve basınç dengeleyici olarak kullanıldığı The von Plantes ve Munters tarafından bulunan çevrimin dışında, soğutucu olarak btanın, soğurucu olarak suyun ve basınç dengeleyici olarak da amonyağın kullanıldığı Einstein soğutma çevrimi de ele alınmıştır [12].

Koyfman vd. yayınlı soğurtmalı soğutma sistemlerinin performansını etkileyen en önemli parçası olan kabarcık pompası üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Soğutucu olarak R22 akışkanının kullanıldığı düzenekte ısı kaynağı olarak 140W, 160W, 180W, 200W, 220W ve 240W'lık güce sahip elektrikli ısıtıcılar kullanılmıştır. Deneysel alışma boyunca en yüksek kaynaticı çıkış sıcaklığı ortalaması 90°C'nin altında seyretmiştir. Bu durum, soğutucu olarak hidrokloroflorokarbon (HCFC) akışkanlarının kullanıldığı sistemlerin güneş enerjisi gibi düşük ısı kaynaklarının sistemin çevrimi için kullanılabilirliğini ortaya koymuştur [13].

Jakob vd. çalışma ısıyı güneş enerjisinden sağlayan bir yayımlı soğurmalı soğutma sisteminin tasarım ve imalatını yaparak termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Tasarımı yapılan sistem, otel ve karavanlarda kullanılan 40-200 W kapasiteli soğutucudan farklı olarak, 2,5 kW kapasiteli olacak şekilde imal edilmiştir. Sistemde soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su ve basınç dengeleyici gaz olarak da helyum kullanılmıştır. Güneş kolektörünün çıkış sıcaklığı 120°C–160°C, buharlaştırıcı sıcaklığı ise +5°C ile -10°C kaydedilmiştir [14].

Ben Jemaa vd. soğutucu olarak amonyağın, soğurucu olarak suyun ve basınç dengeleyici gaz olarak hidrojenin kullanıldığı yayımlı soğurmalı soğutma sisteminin ekserji analizini yapmışlardır. İnceleme neticesinde diğer soğutma sistemlerine göre soğutma tesir katsayısı düşük çıkmıştır [15].

Chen vd. yayımlı soğurmalı soğutma sistemlerinin çevrim akışını arttırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bunun için ısı değiştiricili yeni bir kaynatıcı tasarımı ve imalatı yapmışlardır. Araştırma sonucunda yeni kaynatıcı tasarımı ile soğutma tesir katsayısı, değişiklik yapılmamış sisteme göre %50'den fazla ciddi bir iyileşmeyi sağlamıştır [16].

Smirnov vd. yayımlı soğurmalı ev tipi soğutucularda ısı transfer panellerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kristal tip yapıya sahip paneller ile 20°C dış ortam sıcaklığında -15°C'ye ve 43°C dış ortam sıcaklığında -1°C'ye ulaşılmıştır [17].

Kouremenos ve Stegou-Sagia, üç akışkanlı soğurmalı soğutmada basınç dengeleyici gaz olarak kullanılan hidrojenin yerine helyum gazının kullanılabilirliğini üzerine bir çalışma yapmışlardır. Amonyak-helyum gaz karışımındaki amonyağın ve amonyak-hidrojen gaz karışımındaki amonyağın özelliklerini geliştirilen bir bilgisayar programı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [18].

Alexis ve Rogdakis, amonyak-su çifti ile çalışan bir soğurmalı soğutma sisteminde iki farklı yere bağlanmış ejektör yapısının sistem performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. İlk sistemde (model-a) ejektör yoğunlaştırıcı girişine bağlanırken,

diğerinde (model-b) soğurucu girişine bağlanmıştır. Sonuçta model-a sisteminin soğutma tesir katsayısı model-b sistemine göre daha yüksek çıkmıştır [19].

## BÖLÜM 3

### YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ

#### 3.1. GİRİŞ

Soğutma, ortam sıcaklığını çevresinde bulunan diğer ortamlara göre daha düşük bir sıcaklığa getirme ve bu sıcaklık üzerinde kararlı kalmanın sağlanmasıdır. Soğutulacak ortam katı, sıvı ve buhar fazında olabilir. Soğutulacak ortamdaki duyulur veya gizli ısı etkisi, ışınım, kimyasal reaksiyon, termoelektrik ve manyetik etkilerle ısı çekilebilir. Soğutma işleminin sürekli olması amacıyla çevrimler oluşturulur [20].

Soğutma işleminin gerçekleşebilmesi için ısı enerjisinin sıcaklığı düşük bir ortamdaki, sıcaklığı daha yüksek bir ortama doğru akması gerekir. Dolayısıyla soğutma olayının gerçekleşebilmesi için çevrim dışarıdan ek bir güce gereksinim duyar [21].

#### 3.2. YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA (YSS) SİSTEMLERİ

Soğurmalı soğutma sisteminin buzdolaplarında kullanılmasının geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanılmadığı dönemlerde, buzdolaplarında soğutma sistemi olarak ısı gücü ile çalışan soğurmalı sistem kullanılmıştır. Fakat elektrik enerjisinin yaygınlaşması ile birlikte yerini klasik kompresörlü sisteme bırakmıştır. Kompresörlü sistemlerin buzdolaplarındaki kullanımının yaygınlaşması, soğurmalı soğutma sistemi üzerinde yapılan çalışmaları da uzun bir süre yavaşlatmıştır. Fakat kompresörlü sistemlerdeki gürültü sorununun çözülememiş olması, sessiz çalışma özelliğine sahip olan soğurmalı sistemi kısmen tercih edilir bir hale getirmiştir. Böylelikle soğurmalı sistem üzerinde yapılan çalışmalar son yıllarda tekrar hız kazanmıştır [6].

Soğurmalı soğutma çevrimi ilk olarak Von Platen ve Munters tarafından ortaya atılmış ve günümüze kadar buzdolaplarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu çevrimde sistem içerisinde üç akışkan dolaşmaktadır. Soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su, basınç dengeleyici gaz olarak da hidrojen veya helyum gazı kullanılır [4].

Büyük kapasiteli soğurmalı soğutma sistemlerinde eriyiğin dolaşımı soğurucu ile kaynatıcı arasına konan bir mekanik pompa ile sağlanmaktadır. Ev tipi küçük kapasiteli yayımlı soğurmalı soğutma sistemlerinde ise buharlaştırıcı ve soğurucu arasında dolaşan hidrojen veya helyum gazının kısmi basıncından yararlanarak soğurucu ile kaynatıcı arasındaki basınç farkı dengelenir. Böylece sistem basıncının sabit kalması nedeniyle eriyik dolaşımı için mekanik pompaya gerek kalmaz [22].

Sistemdeki dolaşım, sabit basınç altında habbecik pompasının akışkanları yukarıya doğru hareket ettirmesi ve yerçekiminin de akışkanları aşağı yönde hareket ettirmesi ile sağlanmaktadır [1].

Sistemin bazı bölgelerinde basınç küçük değişiklikler gösterse de toplam basınç göz önüne alındığında bu değişikliklerin ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu söylenebilir [11].

Aynı zamanda basınç dengeleyici gaz olarak kullanılan hidrojen veya helyumun sistem içindeki bir diğer görevi ise sistemin basıncını belirlemektir [11].

Ayrıca sistemin ısı güç ile çalışması ve çevrimdeki dolaşımın hiçbir mekanik parça içermeyen habbecik pompası (bubble pump) ile sağlanması sisteme sessiz çalışma imkânı da vermektedir [4].

Pompasız ev tipi yayımlı soğurmalı soğutma sisteminin çalışması aşağıda belirtilen iki esasa dayanır;

- Yüksek miktarlardaki amonyağın, düşük basınçta soğuk su tarafından emilmesi (soğurulması) ve yüksek sıcaklık ve basınçta ayrılması özelliğine,

- Amonyak buharının yüksek basınç ve sıcaklıkta yoğuşması ve düşük sıcaklıkta buharlaşma özelliğine bağlıdır [22].

### **3.3. SİSTEMDE KULLANILAN AKIŞKANLAR**

Ev tipi küçük kapasiteye sahip olan yayınımlı soğurmalı soğutma sistemlerinde, soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su, basınç dengeleyici gaz olarak da hidrojen veya helyum gazı kullanılır [4].

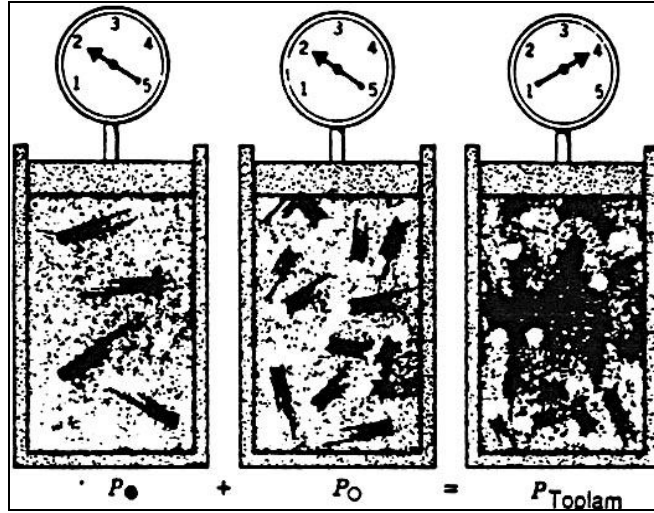
Amonyak-su çözeltilsinin kullanıldığı yayınımlı soğurmalı soğutma sistemlerinde seçilecek nötr gazın amonyak-su çözeltilsinden daha hafif olması istenir. Ayrıca nötr gazın özelliği öyle olmalıdır ki, amonyağın bu gaz içerisinde yayınımlı (difüzyonu) kolaylıkla gerçekleşebilsin. Bu şartlara uygun nötr gaz olarak, genellikle hidrojen ( $H_2$ ) ve helyum (He) kullanılır [22].

Yayınımlı soğurmalı soğutmalı sistemlerde basınç dengeleyici gaz olarak uzun yıllar boyunca hidrojen gazı kullanılmıştır. Buharlaşmanın sağlanabilmesi için, soğutucu akışkanın kısmi basıncının düşürülmesi ve basınç dengeleyici gaz içerisine yayılarak buharlaşabilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik düşünöldüğünde sistem için en uygun olan basınç dengeleyici gaz hidrojen gazıdır. Fakat hidrojen gazının yanıcı bir gaz olması alternatif basınç dengeleyici gaz arayışlarını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda hidrojene alternatif olarak helyum gazı kullanılmaya başlanmıştır. Helyum gazının hidrojene alternatif olmasında, helyumun diğer alternatif gazlara göre viskozite değerinin düşük, yayınımlı (difüzyon) katsayısının yüksek olmasının büyük bir etkisi vardır [1].

### **3.4. DALTON YASASI VE YSS SİSTEMİYLE İLİŞKİSİ**

Gaz basıncı, gaz taneciklerinin buldukları kabın çeperleriyle çarpışmalarından kaynaklanmaktadır. Kabın hacmini değiştirmeden, çarpışma sıklığını dolayısıyla basıncı artırmanın iki yolu vardır: Birincisi gazın sıcaklığını yükseltmektir. Böylece gaz taneciklerinin hızları ve çarpışma sayısı artar. İkincisi ise, kap içerisindeki gaz taneciklerinin sayısını artırmaktır. Çünkü sabit bir sıcaklıkta bir gazın uyguladığı

basınç gaz taneciklerinin cinsi ile ilgili olmayıp, mevcut gaz tanecik sayısına bağlıdır. Şekil 3.1'de de görülebileceği gibi, bir kap içerisindeki gazın basıncı, aynı ya da farklı bir gazdan eşit sayıda tanecik ilave edilerek iki katına çıkarılabilir [23].



Şekil 3.1. Dalton 'un kısmi basınçlar yasası [23].

Bir gaz karışımındaki herhangi bir gazın "o kapta yalnız başına bulunduğu zamanki basıncına, o gazın kısmi basıncı ( $P_i$ )" denir. Kısmi basınç belirli bir sıcaklıkta, sadece o gazın tanecik sayısına (veya mol sayısına) bağlıdır. Dalton Yasasına göre, bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımındaki her bir gazın kısmî basınçları toplamına eşittir. Buna göre A, B, C, D, E, ... gibi çeşitli gazlardan oluşan bir karışım için,

$$P_{\text{Toplam}} = P_A + P_B + P_C + P_D + P_E + \dots \quad (3.1)$$

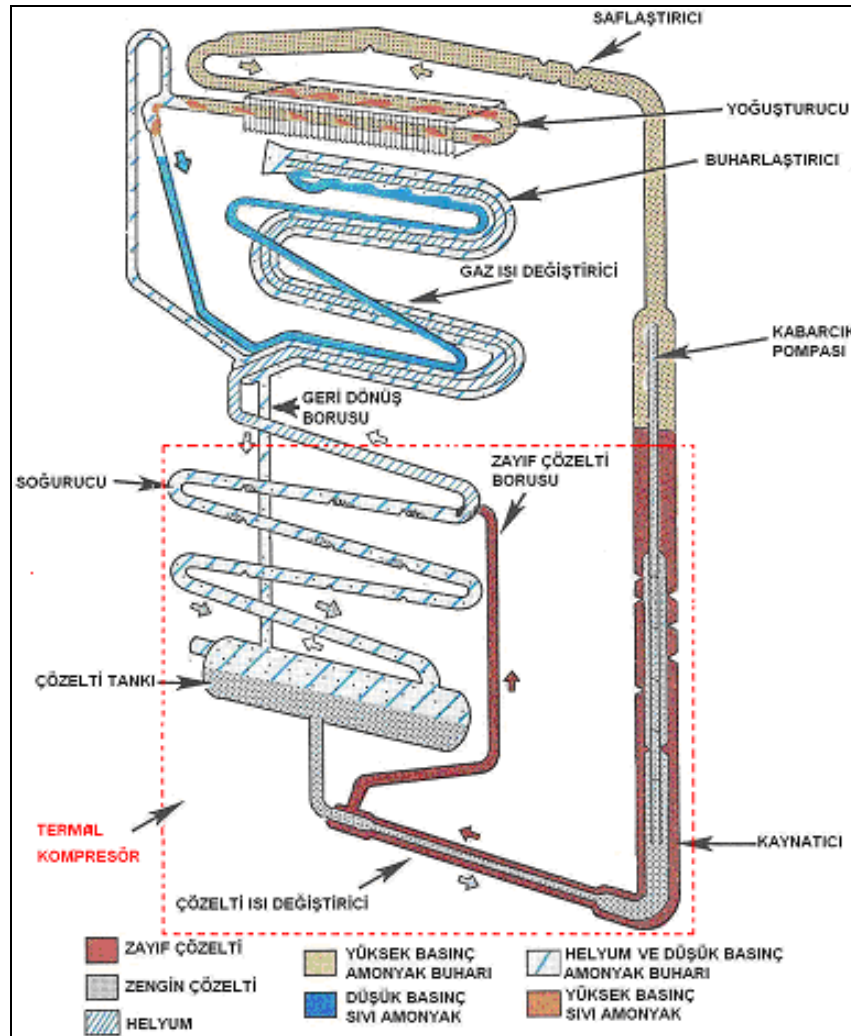
eşitliği ile toplam basınç bulunur [23].

Dalton Yasasına göre çalışan yayımlı soğurmalı soğutma (YSS) sistemlerinde de basınç değeri sistemin neresinden ölçülürse ölçülsün aynıdır yani ölçülen toplam basınçtır. Buharlaştırıcıya giren sıvı amonyak helyumla karşılaşınca Dalton Yasası gereğince sanki vakumlu (düşük basınçlı) bir ortama girmiş ve helyum gazı yokmuş gibi davranır. Bu şekilde kısmi basıncı düşen sıvı amonyak buharlaşır ve helyum gazı içerisinde kimyasal bir tepkime olmaksızın yayımlı (difüzyon) ilerler [24].



### 3.5. ÖN SOĞUTMALI YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİ

Yayınimli soğurmalı soğutma (YSS) çevrimi ilk olarak 1920 yıllarında İsveç-Stockholm'da bulunan Royal Teknoloji Enstitüsü öğrencilerinden Platen ve Muntres tarafından bulunmuştur ve "Electrolux" ticari ismi ile yıllardır üretilmektedir. Sistem içerisinde, soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su ve basınç dengeleyici olarak da hidrojen gazı olmak üzere üç çalışma akışkanı bulunur. Hareketli hiçbir paçanın bulunmadığı sistemde, bakım-onarım, gürültü ve titreşim de söz konusu değildir. Karavan ve kamp kullanımı için gaz yağı veya sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) yakılması sonucu elde edilen ısı enerjisi ile soğutucu cihaz çalıştırılabilir. Ayrıca gürültünün en az seviyede olması istenen otel gibi yerlerde de elektrikli ısıtıcı ile sistem sessiz olarak çalıştırılabilir [11].



Şekil 3.2. Ön soğutmalı yayınimli soğurmalı soğutma sistemi YSS [1].

Sistemdeki akışkanların akışını sağlayan tek güç, sistemin üst kısmı civarında meydana gelen önemsiz büyüklükteki hidrolik basınçtır. Böyle küçük basınç farkları ile akışkanların sıralanması oldukça önemlidir ve makul seviyede olmazlarsa sistem çalışmayacaktır [25].

### **3.5.1. YSS İLE BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Soğurma sistemi, ilk defa Michael Faraday tarafından bir asırdan fazla zaman önce amonyağın yoğuşturulması denemeleri sırasında keşfedilmiştir. Daha sonra 1862 yılında Franz Carre tarafından yapımı gerçekleştirilen sistemde mekanik enerji yerine “ısı enerjisi” kullanılmıştır [26].

Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve kısılma vanası ve kompresör olmak üzere dört ana elemandan oluşmakta olup, verilen iş sayesinde soğutucu akışkanın mekanik olarak kompresör tarafından sıkıştırılması esasına dayanır [26].

Soğurmalı soğutma çevrimiyle buhar sıkıştırımlı çevrim karşılaştırıldığında birçok benzerlik hemen göze çarpmaktadır. Buharlaştırıcı ile yoğuşturucu soğurmalı soğutma sisteminde de aynen mevcuttur. Fark olarak kompresör ve kısılma vanasının yerini bir kaynatıcı ile bir soğurucu almaktadır [2].

Soğurmalı soğutma çevriminde, buharlaştırıcıdan gelen soğutucu akışkan buharı, içinde soğurucu bulunan bir hücreye girerek soğurucu tarafından emilir. Soğutucu madde ile zenginleşen karışım kaynatıcı bölümüne sevk edilerek burada ısıtılır ve soğutucu madde daha yüksek basınçta buharlaşır. Soğurucu, zayıf eriyik durumunda tekrar soğurucuya dönerek soğutucu akışkanı emme işini tekrarlar [23].

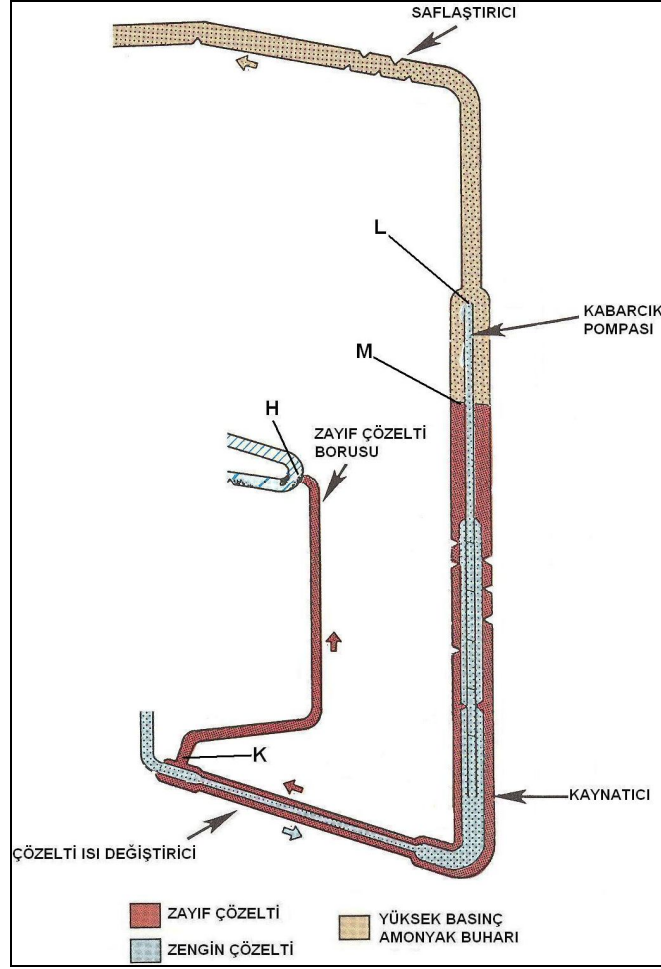
Amonyak-su çifti ile helyum veya hidrojen gazının akışkanlarını oluşturduğu yaygın soğurmalı soğutma sistemini içerisinde her akışkan için birer tane olmak üzere toplamda üç ayrı çevrim meydana gelmektedir. Bunlar, soğurucu akışkan çevrimi, soğutucu akışkan çevrimi ve basınçlandırıcı gaz çevrimidir [6].

Yayınımlı soğurmalı soğutma sistemine %35 yoğunluğa sahip amonyak-su çözeltisi doldurulur. Yani çözelti kütleli olarak %35 amonyak, %65 su içermektedir [11]. Amonyak miktarının fazla olduğu çözelti “zengin çözelti” olarak, amonyak miktarının az olduğu çözelti ise “zayıf/fakir çözelti” olarak belirtilir [24].

### **3.5.2. YSS SİSTEMİ İÇİN ZAYIF ÇÖZELTİ ÇEVİRİMİ**

Soğurucu akışkan yani suyun çevrimi çözelti tankı içerisinde amonyak ile karışım halinde başlar. Çift cidarlı yapıya sahip olan kaynatıcı kısmında zengin çözelti olarak ifade edebileceğimiz amonyak-su karışımı yaklaşık 180°C’de kaynamaya başlayarak amonyak buharlaşıp sudan ayrışır [11].

Kaynatıcıda amonyağın çözelti içinden buharlaşarak ayrışması sonucunda sıvı fazda kalan ve amonyak bakımından fakirleşen karışım, sistemde soğurucu akışkan olarak görev yapmaktadır [6]. Kaynatıcının iç cidarında yükselen zayıf çözelti, borunun üst kısmına yani kabarcık pompasına (L noktası) gelince dış boruya düşer ve bu arada bir miktar su buharı da içeren amonyak buharı yoğunlaştırucuya doğru ilerler.



Şekil 3.3. YSS zayıf çözelti çevrimi [1].

Amaç yoğuşturucuya saf amonyak buharı göndermek olduğundan amonyak buharının beraberinde taşıdığı su buharı bir su ayırıcı olan saflaştırıcı (rectifier) tarafından ayrıştırılır. Bu olay yaklaşık  $150^{\circ}\text{C}$ 'de kaynatıcıyı terk eden buharın saflaştırıcıdan geçerken çevreye ısı vermesi neticesinde  $70^{\circ}\text{C}$  civarına düşmesi sonucu içerdiği su buharının yoğuşması ve dış cidardan aşağıya doğru kayarak kaynatıcıya geri dönmesi ile gerçekleşir [23].

Bileşik kaplardaki durumu yayınlımlı soğurmalı soğutma sistemi için de geçeridir ve kaynatıcıda ayrılan zayıf çözelti seviyesi (M noktası), zayıf çözelti borusunun soğurucuya bağlantı yerinden (H noktası) daima yukarıda kalır.

Böylece soğutucu akışkanı soğuracak olan zayıf çözelti, zayıf çözelti borusundan soğurucuya doğru akar. Burada soğutucu akışkanı soğuran zayıf çözelti, zengin

çözelti haline gelerek çözelti tankına gider, tanktan da tekrar kaynatıcıya doğru ilerler.

Sonuç olarak soğurucu akışkan olarak zayıf çözelti çevrimi için kaynatıcı ve soğurucu bölgeleri arasında meydana gelmektedir denilebilir [6].

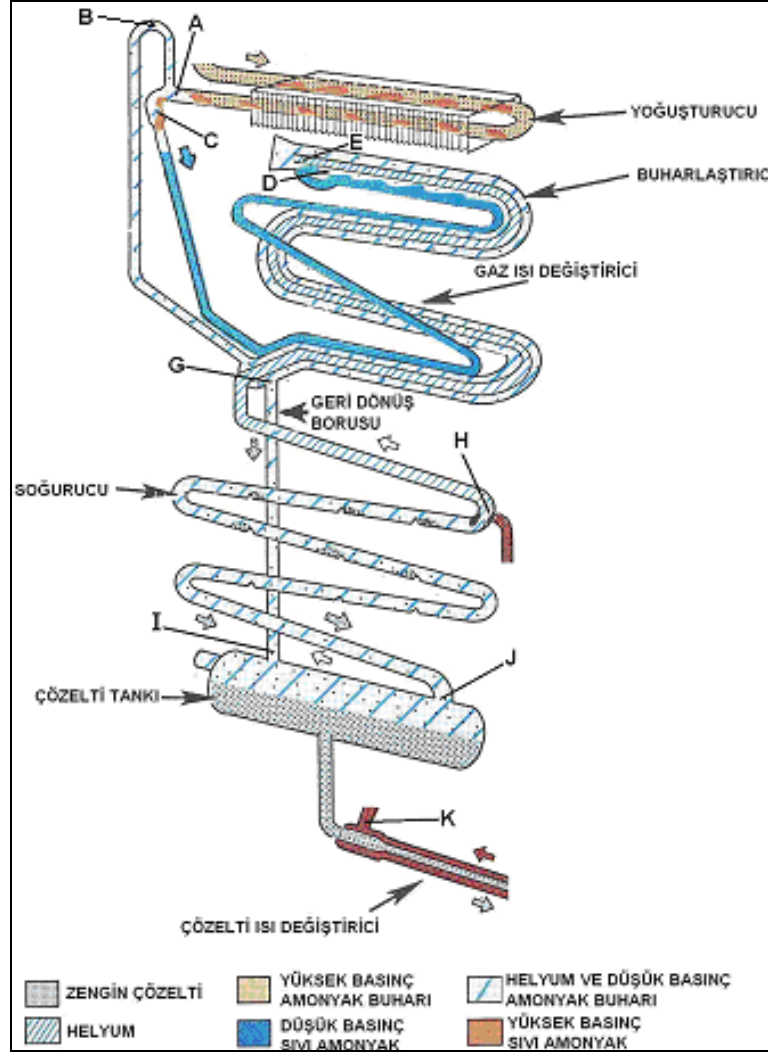
### **3.5.3. YSS SİSTEMİ İÇİN AMONYAK VE HELYUM ÇEVİRİMİ**

Soğutucu akışkan amonyağın çevrimi de çözelti tankı içinde başlar. Kabarcık pompasından çıkan amonyak buharı ise saflaştırıcıda içinde barındırdığı bir miktar su buharından kurtulduktan sonra yoğuşturucuya gider [6]. Yoğuşturucuya giren amonyak buharı 25°C civarında dışarıya ısı vererek yoğuşur [22]. Yoğuşturucu çıkışında (A noktası) sıvı hale gelen amonyak soğutma işlemini gerçekleştirebilmek için (C noktası) kılcal boru içinden gaz ısı değiştiricisine doğru akar. Eğer yoğuşturucu içinde sıvı hale dönüşmeyip gaz halinde amonyak kaldıysa gaz geçiş borusundan (B noktası) geçerek geri dönüş borusuna (G noktası), oradan da çözelti tankına (I noktası) gider [5].

Yoğuşmuş düşük basınçlı amonyak (C noktası) gaz ısı değiştiricisinde ön soğutmaya tabi olur [5]. Aynı zamanda ısınıyı helyuma aktararak helyumun genleşmesini sağlar. Böylelikle amonyaktan aldığı ısı ile genleşen helyumun da daha fazla amonyak buharını taşıyabilmesi sağlanmış olur. Gaz ısı değiştiriciden buharlaştırıcı girişine ulaşan düşük basınçlı sıvı amonyak helyum ile karşılaşır ve kısmi basıncı düşerek buharlaşır. Böylece ortamın gizli ısınıyı çekerek soğutma işlemini gerçekleştirir [22].

Buharlaştırıcı girişinde kısmi basıncı düşerek gaz haline gelen amonyak helyumla birlikte buharlaştırıcının iç cidarından (E noktası) soğurucuya doğru akar. Buradaki olay kuru hava ile nemli havanın durumuna benzetilerek açıklanabilir.

Nasıl ki nemli hava kuru havaya göre ağırlığı artıp yerçekimi etkisiyle yere doğru çöküyorsa, buharlaştırıcının iç cidarında da (E noktası) helyumun amonyak buharı ile ağırlığı artar ve soğurucuya doğru yerçekimi kuvvetiyle ilerlemesi mümkün olur [6].



Şekil 3.4. YSS amonyak ve helyum çevrimi [1].

Buharlaştırıcı girişindeki iç cidardan (E noktası) amonyak buharıyla helyum gazı yerçekimi etkisiyle soğurucu başlangıcına kadar (H noktası) beraber giderler. Soğurucu girişinde (H noktası) yaklaşık %10 yoğunluğa sahip zayıf çözelti ile karşılaşır. Bu noktadan itibaren, soğurucunun serpantin özelliğinden dolayı ortama ısı veren amonyak buharı yoğuşmaya başlar ve yoğuşan amonyak zayıf çözelti tarafından soğurur. Zengin çözelti haline gelen akışkan çözelti takına (J noktası) dökülür. Bu arada amonyak buharından kurtulan helyum gazı havadan hafif olduğu duruma tekrar kavuşur, geldiği yolu takip ederek, gaz ısı değiştiricide genişler ve buharlaştırıcı iç cidarına (E noktasına) ulaşır [22].

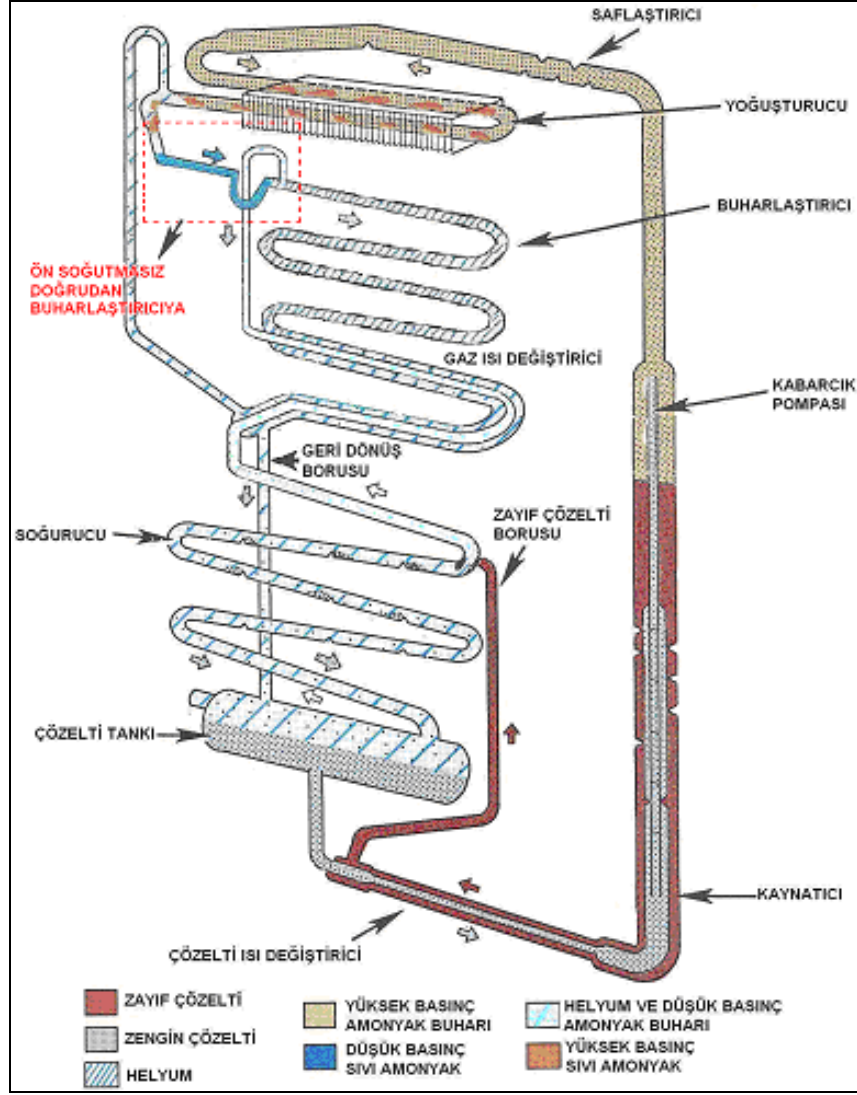
Yoğuşturucu ve gaz ısı değiştiriciden geçerek buharlaştırıcı girişine ulaşan dūřuk basınçlı sıvı amonyağın hepsi, özellikle sistemin ilk çalıştırıldığı zamanlarda, buharlaşmayıp sıvı olarak kalabilir. Böyle bir durumda da sıvı kalan amonyak buharlaştırıcının dış cidarından (D noktasından) yer çekimi etkisiyle aşağıya doğru akar. Geri dnūřüm borusuna ulaşan buharlaşmamış sıvı amonyak, daha önce yoğuşturucu çıkışında sıvı hale gelmemiş amonyak buharı ile birlikte (G noktası) zelti tankına giderek tekrar çevrime dāhil olur.

Soğurucu akışkan çevrimi, kimi yerde sıvı, kimi yerde gaz ve kimi yerde de çözelti halinde olmak üzere sistemin tamamında söz konusu iken, helyum gazının çevrimi ise buharlaştırıcı i cidarı (E noktası) ile soğurucu girişi (H noktası) arasında meydana gelmektedir [1].

### **3.6. N SOğUTMASIZ YAYINIMLI SOğURMALI SOğUTMA SİSTEMİ**

Zohar ve arkadaşları [5], normal n soğutmalı yayınımlı soğurmali çevrimden yola çıkarak sistem performansını arttırmak amacıyla buharlaştırıcı kısmında yapısal bir değişikliğe giderek sistemi incelemişlerdir. Normal çevrimde n soğutmaya tabi tutulan dūřuk basınçlı sıvı amonyağın, n soğutmaya tabi tutulmadan doğrudan buharlaştırıcıya gönderilmesi durumunu teorik olarak araştırmışlar ve sistem performansında %14–20 civarında bir artışın sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır. Yapılan teorik çalışmada, soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su ve basınç dengeleyici/basınçlandırıcı olarak da hidrojen gazı kullanılmıştır.

n soğutmasız yayınımlı soğurmali soğutma sisteminin deneysel olarak incelenmesine karar verilen bu çalışmada ise Zohar ve arkadaşlarının yapmış olduğu teorik çalışmadan farklı olarak hidrojen gazı yerine helyum gazı kullanılmıştır. Şekil 3.5.'te n soğutmasız YSS sisteminin şeması görülmektedir.

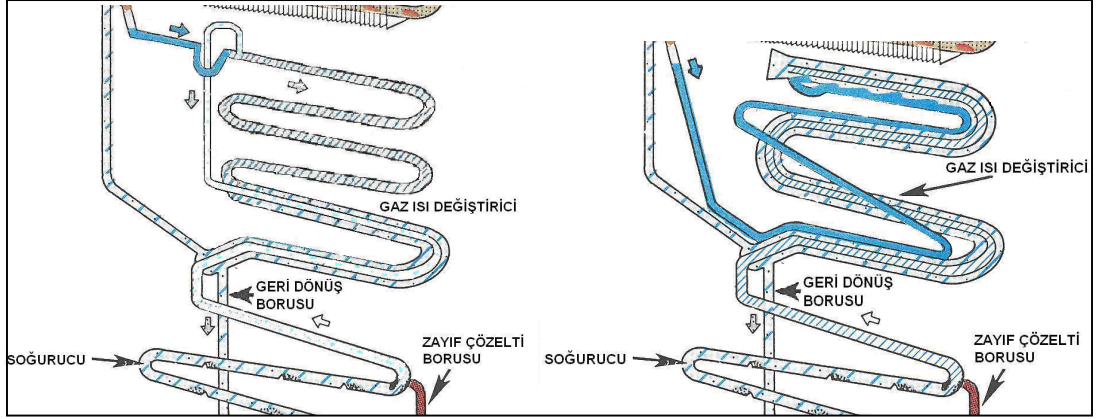


Şekil 3.5. Ön soğutmasız yayımlı soğurmalı soğutma sistemi [1].

### 3.6.1. ÖN SOĞUTMASIZ YSS SİSTEMİNİN TASARIMI

YSS1 sisteminden farklı olarak yoğuşturucudan çıkan sıvı amonyak ön soğutmaya tabi olmadan doğrudan buharlaştırıcıya gönderilir. Bunun gerçekleşebilmesi için Zohar ve arkadaşlarının yapmış olduğu teorik çalışma göz önüne alınarak normal sisteme göre farklı bir buharlaştırıcı tasarımı yapılmıştır. Şekil 3.6.'da ön soğutmasız sistem ile ön soğutmalı sistemlerin buharlaştırıcıları arasındaki fark şematik olarak görülmektedir.



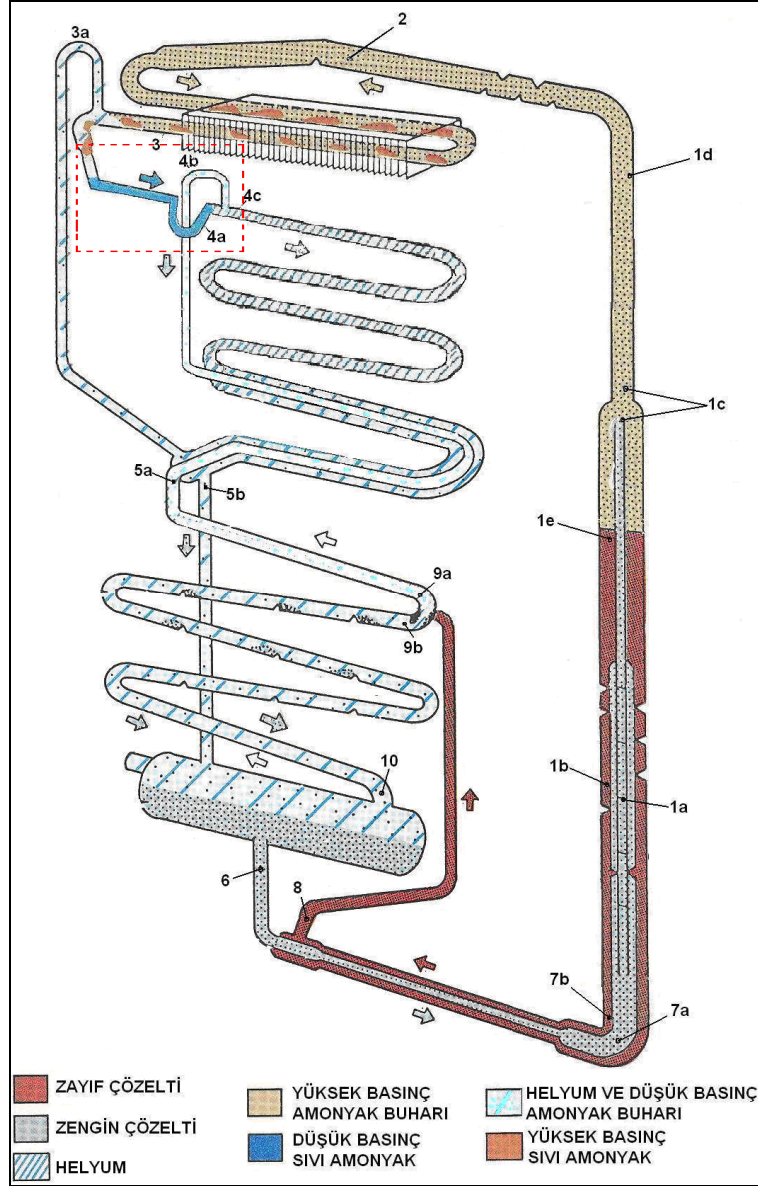


Şekil 3.6. Ön soğutmasız ve ön soğutmalı sistemlerin buharlaştırıcıları [1].

Ön soğutmalı sistemin buharlaştırıcı kısmı normal cihaza göre 0,5m daha uzundur. Bunun sonucu olarak da YSS2 sisteminde dolap içinde kalan buharlaştırıcı kısmı 0,5 m daha fazladır. Diğer kısımlar YSS1 ve YSS2 sistemlerinin her ikisi için de aynıdır. Ayrıca tasarım ve imalat sırasında yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu YSS1 sisteminin hacmi 1,7 lt bulunurken, ön soğutmasız YSS2 sisteminin hacmi 1,8lt olarak bulunmuştur.

### 3.6.2. ÖN SOĞUTMASIZ YSS SİSTEMİNİN ÇALIŞMASI

Ön soğutmasız YSS2 sisteminde yoğuşan amonyağın sıvı fazdaki kısmı (3) doğrudan buharlaştırıcı kısmına gider. Buharlaştırıcı girişinde (4c), soğuk helyum gazı ile karışan sıvı amonyağın kısmi basıncı düşer ve buharlaşarak iç ortamın gizli ısını çekmeye başlar (4a). Buharlaşan amonyak (4b) helyum gazının yoğunluğunu arttırarak (nemli hava gibi) helyum gazı ile birlikte gaz ısı değiştirici ve soğurucuya doğru yerçekimi etkisiyle ilerler. YSS1 sisteminde olduğu gibi soğurucu girişinde (9b) helyum içindeki amonyak buharı zayıf çözelti tarafından soğurularak çözelti tankına doğru devam ederek çevrimini tamamlar. Buharlaştırıcı içinde ilerleyen bulaşmamış sıvı amonyak gaz ısı değiştiriciden geçerken sıcaklığını bir miktar arttırarak doğrudan (5b) çözelti tankına geçer [5]. Şekil 3.7.'de ön soğutmasız YSS sisteminin çevrim şeması görülmektedir.



Şekil 3.7. Ön soğutmasız YSS sisteminin çevrim şeması [1].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL ve METOT

#### 4.1. ISI KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

YSS sistemlerinde amonyak su çözeltisinin ayrışması için gerekli sıcaklık miktarı  $\sim 180^{\circ}\text{C}$ 'dir [11]. Deneylere geçilmeden önce bu sıcaklık değerlerine nasıl ulaşılabileceğinin araştırılması yapılmıştır. Kollektör tipi güneş enerji sistemleri ile  $60-70^{\circ}\text{C}$  depo sıcaklığına ulaşıldığı görülmüştür [27]. Bu sıcaklık değeri ihtiyaç duyulan sıcaklık değerinin yarısından daha az seviyededir; dolayısıyla kolektör tipi sistemlerle istenilen sıcaklık değerine ulaşamayacağı anlaşılmıştır. Bunun üzerine ısı borulu havalı oluk tipi bir güneş enerjisi sistemi üzerine çalışılmıştır.

Isı borusunun içinde boru iç hacminin yaklaşık %30'u kadar bir çalışma sıvısı vardır. Borunun içindeki hava boşaltılmıştır. Buharlaştırıcı uca ısı girişi olduğunda boru içindeki çalışma sıvısı buharlaşır ve boru içini doymuş hale getirir. Buharlaşan sıvı daha soğuk olan yoğuşturucu uca hareket ederek burada yoğuşur. Yoğuşan sıvı bünyesindeki buharlaşma gizli ısını üst uca bırakmış olur. Yoğuşan çalışma sıvısı, yerçekimi tesirli ısı borularında yerçekimi, diğer tiplerde de boru içine yerleştirilecek fitil malzemesi kılcallık etkisi ile, buharlaştırıcı bölgeye geri döner ve çevrim yeniden başlar [27].

Özsoy ve Acar, deneysel olarak yaptıkları çalışmada bakır boru ile saf suyun kullanıldığı ısı borusunun sabit bir güçte çalıştırılması esnasında ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımını ve yoğuşturucudan transfer edilen ısı miktarını çeşitli eğim açıları ve değişik soğutma suyu debilerinde incelemiştir. Çalışma sonucunda eğim açısının  $0$  derece olduğu konumda transfer edilen ısı miktarının diğer eğim açılarına kıyasla daha az olduğu görülmüştür.  $30-90$  derece eğim açıları transfer edilen ısı miktarlarında ise fazlaca bir değişimin olmadığı gözlenmiştir.

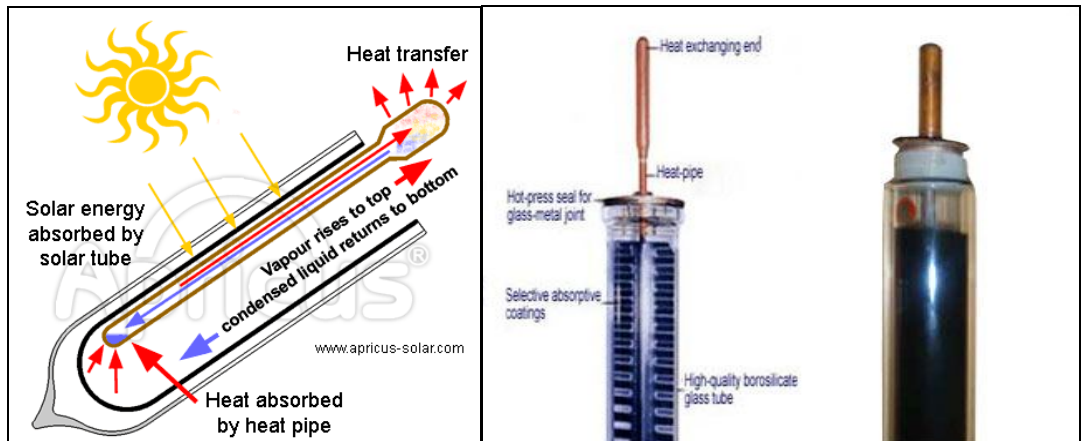
Deney sonuçlarına göre eğim açısına bağlı olarak 60°C ile 90°C arasında sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır [25].

Çizelge 4.1'den de anlaşılacağı gibi ısı borulu sistemin kullanımı ile YSS sisteminin çalışması için gerekli sıcaklık değerlerine ulaşılabilceği görülmektedir. Ancak yukarıda bahsedilen araştırmanın sonuçları da yeni bir yöntem kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.1. Boru malzemesine ve akışkan cinsine göre ısı borsunun sıcaklık aralıkları [27].

Boru Malzemesi	Akışkan Cinsi	Sıcaklık Aralığı (°C)
Paslanmaz Çelik	Sıvı Nitrojen	-200 ile -80
Nikel, Alüminyum, Paslanmaz Çelik	Sıvı Amonyak	-70 ile -60
Bakır, Nikel, Paslanmaz Çelik	Metanol	-45 ile +120
Bakır, Nikel	Su	+5 ile +230
Paslanmaz Çelik	Civa	+190 ile +550

Şekil 4.11.'de konu ile ilgili piyasada imalatı ve pazarlaması yapılan çalışmalar görülmektedir. Ancak piyasadaki ısı borularının çapı düşük olup cam kolektörün iç yüzeyini tamamen kaplamaktadır.



Şekil 4.11. Piyasada ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı.

## 4.2. SİSTEMDE GÜNEŞ PİLLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

YSS sistemlerinde önemli olan kaynatıcı bölgesinde en az 180 °C'ye ulaşabilmektir. Bu sıcaklığa doğrudan güneş enerjisinin ısıyı aktararak ulaşılabilceği gibi güneş

pilleri ile güneş enerjisinden elektrik üretilip uygun bir rezistans ile de ulaşılabilir. Bu çalışmada Özbaş tarafından doğrudan güneş enerjisi kullanımının dezavantajları incelenip güneş pillerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Güneş pilleri, üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektronik düzeneklerdir. Güneş pilinin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir.

- Güneş enerjisini elektrik enerjisine %25 gibi yüksek bir verimle çevirir.
- Sınırsız çalışma ömrüne sahiptir.
- Fabrikasyon üretimi kolaydır.
- Çıkış gücü/ağırlık oranı yüksektir.
- Temiz bir enerji kaynağıdır.

Güneş pili kullanımının dezavantajları şunlardır ;

- Pahalıdır.
- Birçok uygulamada büyük depolama elemanına ihtiyaç gösterir (Özellikle geceleri ve bulutlu havalarda).
- Çok fazla güneş ışığı alan bölgelerde yüksek sıcaklık nedeniyle verim düşer.

Bir fotovoltaik pilin üretmiş olduğu gerilim 0.6 volt civarındadır. Güneş pilleri seri olarak bağlanır ve fotovoltaik modülleri oluştururlar. Tipik bir modül 20 tane pilin bağlanması ile açık güneşli bir havada 12 volt, 10 amper yani 120 watt elektrik üretebilir. Modüller, elde edilen gerilimi artırmak için seri, akımı artırmak için ise paralel olarak bağlanırlar. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, inverterler, akü şarj kontrol cihazları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (PV sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, generatöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar.

Güneş pili sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin fazla olması, bugünkü şartlarda elektrik şebekesinin olduğu yerlerde kullanılmalarını ekonomik yönden sınırlamaktadır (28).

### 4.3. SİSTEMİN DENEY DÜZENEĞİNİN KURULMASI

YSS sistemlerinde güneş enerjisinden “güneş pilleri” kullanılarak yararlanmasına karar verildikten sonra deney düzeneğinin kurulmasına geçilmiştir. Güneş pilleri ile güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine çevrilmiş ve elektrik enerjisi de bir rezistans yardımıyla ısı enerjisine çevrilmiştir. Şekil 4.12.’de kullanılan güneş pillerinin genel görünümü bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Piyasada ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı.

Kullanılan güneş pilleri toplamda 0,5 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Güneş pillerinin üzerine düşen güneş radyasyonu da bir solar metre yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 4.12.’de güneş pilleri ile solar metre bir arada görülmektedir.

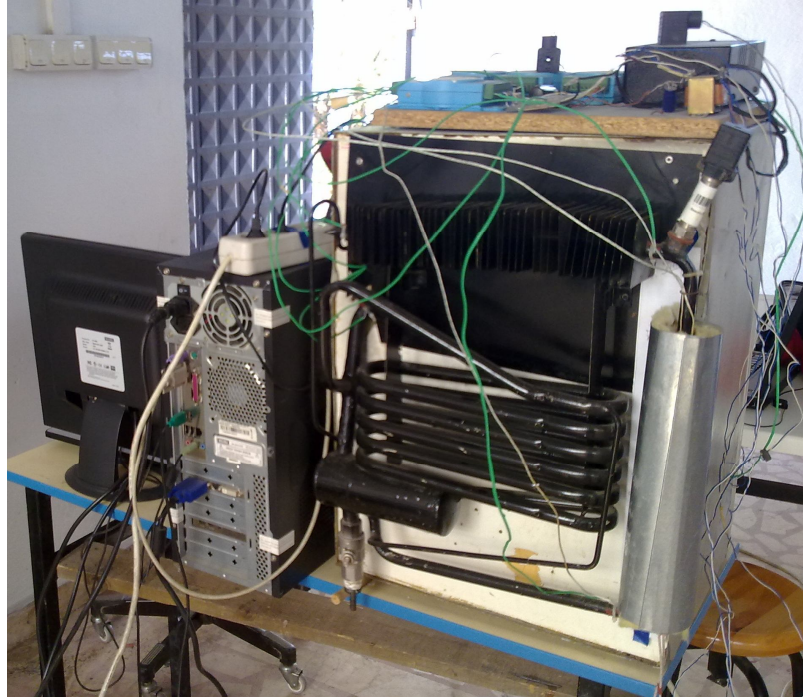


Şekil 4.13. Güneş pilleri ve solar metre.

Deney düzeneği tamamlanmış sistem üzerine sıcaklık ölçümü için termokupl, basınç ölçümü için de basınç transmitteri yerleştirilmiştir. Sıcaklık ve basınç ölçümü bilgisayar kontrollü yapılmıştır. Işık şiddeti ölçümü solar metre ile pillerin akım ve gerilim değerleri ise dijital multmetre kullanılarak manuel olarak ölçülmüştür. Şekil 4.13.'te kurulumu tamamlanmış bilgisayar kontrollü deney düzeneğinin önden görünüşü 4.14.'te ise deney düzeneğinin arkadan görünüşü görülmektedir.



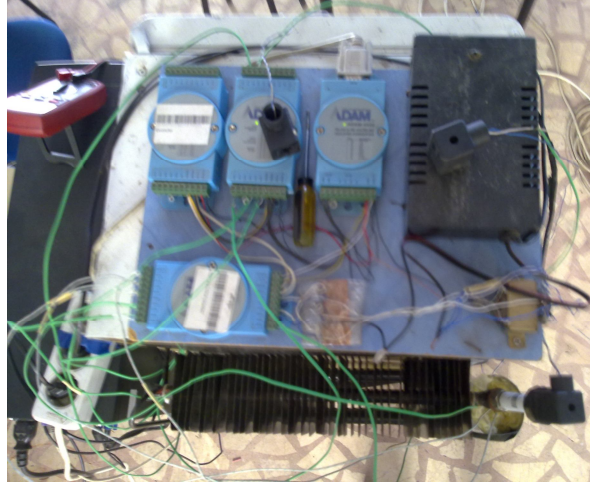
Şekil 4.14. Bilgisayar kontrollü deney düzeneğinin önden görünüşü.



Şekil 4.15. Bilgisayar kontrollü deney düzeneğinin arkadan görünüşü.

Şekil 4.16.'te gösterildiği gibi sıcaklık ve basınç değerlerinin bilgisayara aktarılmasında aynı anda 24 ölçüm yapabilen ADAM-4500 modülleri kullanılmıştır.



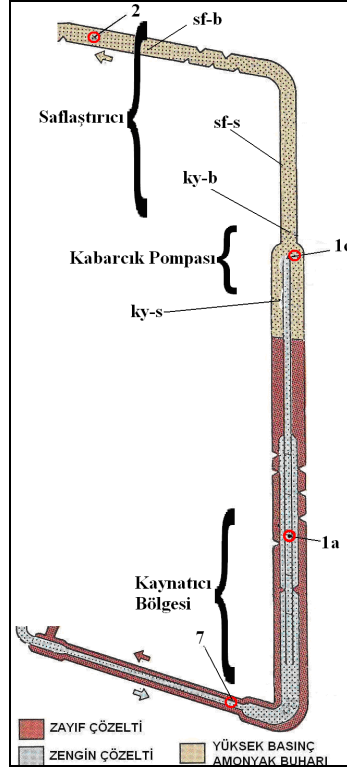


Şekil 4.16. Kurulumu tamamlanmış bilgisayar kontrollü ADAM-4500 modüllü.

## BÖLÜM 5

### YSS SİSTEMLERİ İÇİN SOĞUTMA TESİR KATSAYISI

Soğutma Tesir Katsayılarının (STK) hesaplanmasında kullanılan sıcaklık değerlerinin cihazlar üzerinden okunan noktaları şekilde görüldüğü gibidir. Kaynatıcı bölgesinde amonyak-su çözeltisinin sıcaklığı bir ısı kaynağı ile arttırılıp amonyağın sudan ayrışması ve yoğunlaştırucuya saf amonyağın ulaşması amaçlanır. Saflaştırıcıda ise ayrışma sırasında buharlaşan suyun yoğunlaşarak geri dönmesi sağlanır. Sistem performansı soğutma işlevini yerine getiren saf amonyağın kütleli debisi ile doğru orantılı olup STK hesabı için kütleli debinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için de kütle ve enerjinin korunumu denklemleri kullanılır. Şekil 5.1.'de STK hesaplamalarında kullanılan sıcaklık değerlerinin cihaz üzerindeki ölçüm yerleri görülmektedir [1].



Şekil 5.1. STK hesabı için kullanılan değerlerin cihaz üzerindeki yerleri [1].

Kabarcık pompası çıkışındaki kütle ve enerjinin korunum eşitlikleriyle kaynatıcıdan safılaştırıcıya giden amonyak-su buharının kütleli debisi,  $\dot{m}_{ky-b}$  bulunur.

$$\dot{m}_{1c} = \dot{m}_{ky-s} + \dot{m}_{ky-b} \quad (5.1)$$

$$x_{1c} \cdot \dot{m}_{1c} = x_{ky-s} \cdot \dot{m}_{ky-s} + x_{ky-b} \cdot \dot{m}_{ky-b} \quad (5.2)$$

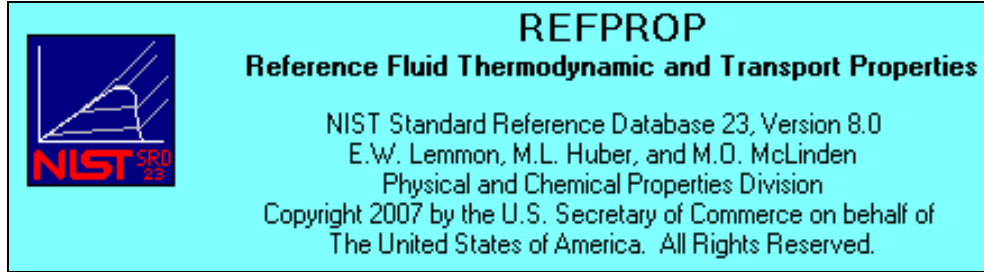
$$h_{1c} \cdot \dot{m}_{1c} + \dot{q}_{ky} = h_{ky-s} \cdot \dot{m}_{ky-s} + h_{ky-b} \cdot \dot{m}_{ky-b} \quad (5.3)$$

Safılaştırıcı bölgesindeki kütleli korunumu eşitlikleriyle de yoğuşturucuya giden saf amonyak buharının kütleli debisi,  $\dot{m}_{sf-b}$  bulunur.

$$\dot{m}_{ky-b} = \dot{m}_{sf-s} + \dot{m}_{sf-b} \quad (5.4)$$

$$x_{ky-b} \cdot \dot{m}_{ky-b} = x_{sf-s} \cdot \dot{m}_{sf-s} + x_{sf-b} \cdot \dot{m}_{sf-b} \quad (5.5)$$

Eşitliklerde kullanılacak kütle oranları ( $x$ ) ve entalpiler ( $h$ ) için akışkan gruplarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini gösteren REFPROP programından yararlanılmıştır. Şekil 5. 2. de program ile ilgili bilgilerin yer aldığı etiket görülmektedir.



Şekil 5.2. REFPROP programı ile ilgili etiket.

Gerekli hesaplamalar yapılarak sistemin performansını gösteren birim iş başına yapılan soğutma miktarı olan “Soğutma Tesir Katsayısı” bulunur.

$$STK = \dot{m}_{sf-b} \frac{h_{4c} - h_5}{\dot{q}_{ky}} \quad (5.6)$$

### 5.1. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA GÜÇ HESABI

Sistemde ısıtıcı güç olarak Güneş Enerjisi kullanılmıştır. Güneşten gelen ışınım güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisine, elektrik enerjisi de 75 W’lık bir rezistans ile ısı enerjisine çevrilmiştir. Deneyle saat 11:00 ‘de başlanıp 14:00’de bitirilmiş ve 3 saat boyunca 5’er dakikalık ölçümler yapılmıştır.  $\pm\%3$  toleransa sahip “Haenni, Solar 118” güneş ışınım şiddeti ölçüm cihazının kullanıldığı deneyde ortalama ışınım şiddeti  $751 \text{ W/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

Multimetre yardımıyla yapılan ölçümlerde ise akım değeri ortalama 6A, voltaj değeri ortalama 9,8 V olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ortalama Kollektör Gücü 58,8 W bulunmuştur.

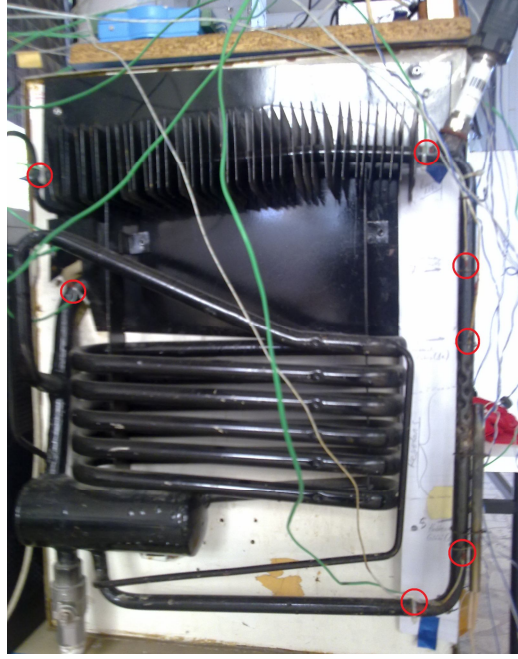
## 5.2. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA STK HESABI

Kütlesel olarak %25'lik 508g amonyak-su çözeltisinin kullanıldığı deneyin sonuçlarına göre soğumanın başladığı andan itibaren önemli görülen 10 farklı zamandaki sıcaklık değerleri Çizelge 5.1.'deki gibidir.

Çizelge 5.1. Ön Soğutmasız YSS cihazının çeşitli zamanlardaki ölçüm değerleri.

ZAMAN	11:00	11:20	11:25	11:30	11:35	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00
$T_{sf}$	27,6	109,9	112,9	112,9	113,0	114,7	114,8	114,4	113,0	106,6
$T_{kv}$	26,6	164,8	158,5	155,8	153,4	151,7	153,0	152,4	152,1	152,6
$T_{1a}$	38,9	246,0	244,1	241,9	240,1	240,5	241,7	240,8	239,1	232,9
$T_{1c}$	26,2	138,8	133,2	131,8	130,2	129,9	130,6	130,1	130,1	124,8
$T_2$	25,8	50,6	48,8	50,1	50,9	50,7	51,5	53,8	52,4	48,1
$T_3$	27,3	29,3	29,6	30,8	31,7	33,0	33,8	34,0	34,1	31,8
$T_{4a}$	27,7	27,8	20,2	12,3	9,8	4,7	2,3	1,1	1,0	1,4
$T_{4c}$	27,7	27,0	11,7	2,4	-1,1	-5,5	-8,0	-8,5	-9,0	-9,4
$T_5$	27,3	28,4	28,3	28,0	28,0	27,5	27,1	27,0	27,2	27,7
$T_7$	25,8	45,4	51,1	53,2	53,9	55,5	55,1	55,7	55,0	58,5
$P_{Sistem}$	11,4	12,2	12,3	12,3	12,2	12,2	12,3	12,3	12,4	12,4
$T_{Dış}$	26,7	26,9	26,8	27,1	27,1	27,5	27,7	28,0	28,3	28,8
$T_{ic}$	27,5	26,9	26,5	25,8	25,1	21,7	19,1	17,7	17,3	17,6
$V$	9,5	9,8	9,8	9,9	9,9	10,0	9,9	9,8	9,7	9,5
$A$	5,8	6,0	5,9	6,1	6,1	6,1	6,2	6,1	6,0	5,8
<b>Güç</b>	55,1	58,5	58,0	59,7	59,9	60,6	61,5	60,0	58,0	55,2
$W/m^2$	726	743	720	755	758	755	782	769	747	714

Yapılan deneylerde saflaştırıcı çıkış noktası ( $T_{sf}$ ), kaynatıcı çıkış noktası noktası ( $T_{kv}$ ), kaynatıcı ( $T_{1a}$ ), kabarcık pompası çıkış noktası ( $T_{1c}$ ), yoğuşturucu giriş noktası ( $T_2$ ), yoğuşturucu çıkış noktası ( $T_3$ ), buharlaştırıcı çıkış noktası ( $T_5$ ), kaynatıcı giriş noktası ( $T_7$ ) ve dış ortam ( $T_{Dış}$ ) sıcaklık değerleri bilgisayar ortamında ölçülmüştür. Şekil 5.3.'de ölçüm noktaları görülmektedir.



Şekil 5.3. Ön Soğutmasız YSS cihazının dış bölgeden ölçüm noktaları

Şekil 5.4.'de ise düşük basınçlı sıvı amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktası ( $T_{4a}$ ), buharlaştırıcı giriş noktası ( $T_{4c}$ ) ve iç ortam ( $T_{iç}$ ) sıcaklıklarının ölçüm noktaları görülmektedir.



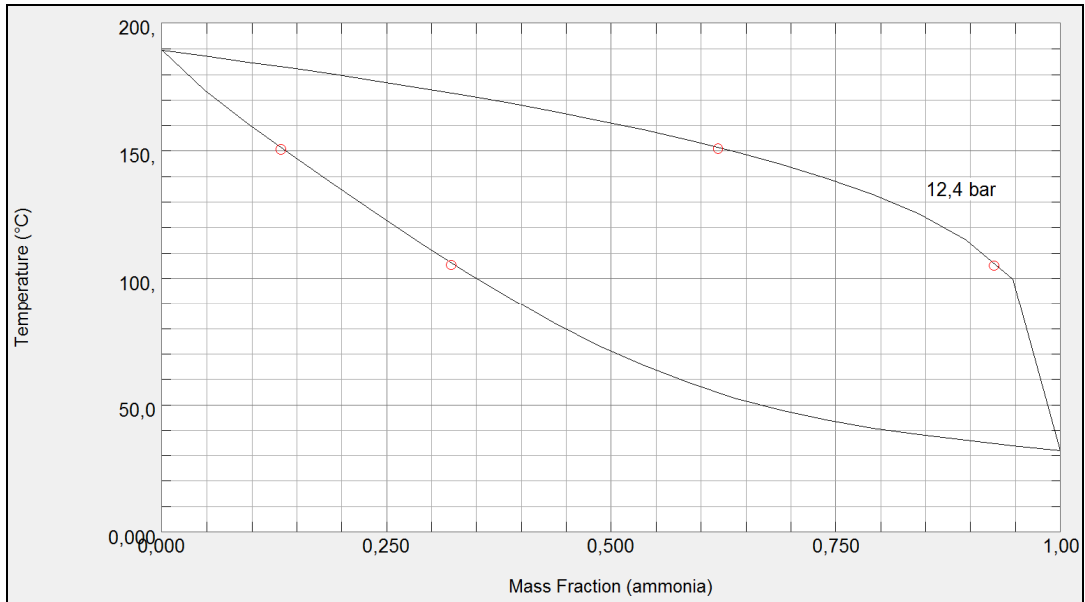
Şekil 5.4. Ön Soğutmasız YSS cihazının iç bölgeden ölçüm noktaları.

Elde edilen enerji hesabı için buharlaştırıcının giriş (T4c) ve çıkış (T5) noktalarındaki sıcaklıkların entalpi değerlerinin bilinmesi gerekir. Bunun için de REFPROP programından saf amonyağın termodinamik özelliklerine bakılmış ve sonuçlar Şekil 5.5.'de verilmiştir.

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	Vapor Density (kg/m <sup>3</sup> )	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-9,4000	2,9788	651,26	2,4461	299,91	1594,6	1,3112	6,2200
2	27,700	10,894	598,68	8,4614	473,80	1628,1	1,9233	5,7602

Şekil 5.5. REFPROP programı ile bulunan saf amonyağın termodinamik özellikleri.

STK hesabı için son olarak saflaştırıcı çıkışındaki kütleli debinin bulunması gerekmektedir. Bunun için de yine REFPROP programından faydalanılarak kabarcık pompası (1c), ortalama kaynatıcı (ky) ve ortalama saflaştırıcı (sf) sıcaklıklarındaki akışkanın küte oranları (x) Şekil 5. 6.'daki T-x grafiğinden okunarak bulunur.



Şekil 5.6. REFPROP programı ile elde edilen amonyak-su çözeltisinin T-x grafiği.

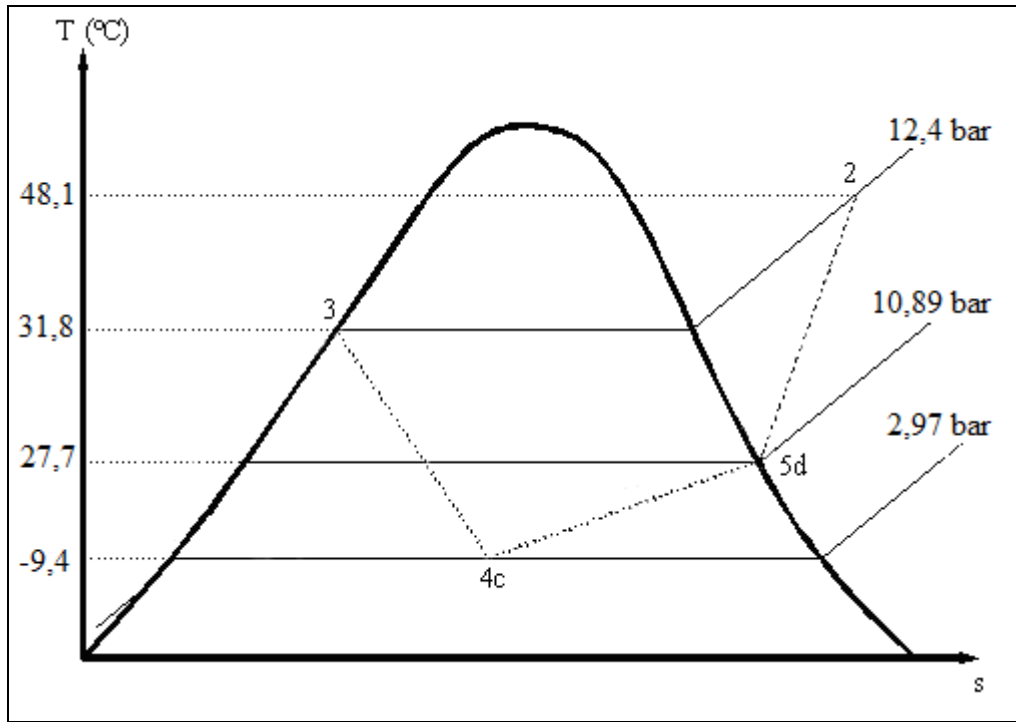
1c (kabarcık pompası çıkışı) noktasında tamamen sıvı, ortalama kaynatıcı sıcaklığına göre sıvı (ky-s) ile buhar (ky-b) ve ortalama saflaştırıcı sıcaklığında yine sıvı (sf-s)

ile buhar (sf-b) kütle oranları REFPROP programında %25 amonyak-su çözeltilisine göre yerine konulduğunda Şekil 5. 7.'deki tablo elde edilir.

	Mass Frac. (ammonia)	Mass Frac. (water)	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
1	0,25000	0,75000	124,80	12,400	312,55	480,15	1,9708
2	0,12270	0,87730	152,60	12,400	852,43	604,92	2,0705
3	0,60620	0,39380	152,60	12,400	6,5308	2242,2	6,8005
4	0,32000	0,68000	106,60	12,400	813,65	374,00	1,7826
5	0,92350	0,076500	106,60	12,400	7,1996	1880,9	6,3901

Şekil 5.7. REFPROP programı ile bulunan amonyak-su çözeltilisinin termodinamik özellikleri.

### 5.3. ÖN SOĞUTMASIZ YSS SİSTEMİNİN SOĞUTMA ÇEVİRİMİ



Şekil 5.8. Ön Soğutmasız YSS sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı [1].

Isı kaynağı olarak yine elektrik enerjisinin kullanıldığı ön soğutmasız sistemin (YSS2) soğutma çevrimi T-s diyagramı Şekil 5.8.'de görüldüğü gibidir. Soğurucu girişinde (5b) 27,7°C sıcaklık ve 10,89 bar basınca sahip soğutucu akışkan amonyak



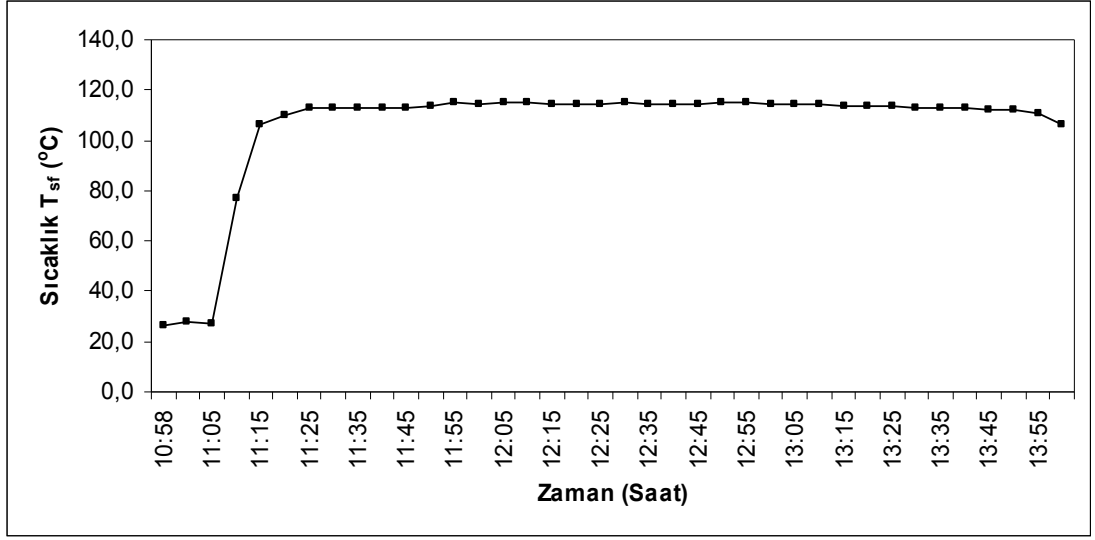
doymuş buhar halindedir. Kaynatıcıda sisteme ortalama 55W'lık ısı enerjisi verilmesiyle soğutucu akışkan kaynatıcı çıkışında (2) kızgın buhar fazında 48,1°C sıcaklığa ve 12,54 bar basınca ulaşmaktadır. Yoğuşturucu çıkışında (3) sabit basınç altında ısını atarak doymuş sıvı haline gelen soğutucu akışkan, 31,8°C sıcaklığındadır. Doymuş sıvı haldeki amonyak yoğuşturucu çıkışından sonra ön soğutmaya tabi tutulmayarak doğrudan buharlaştırıcı girişinde (4c) gitmektedir. Burada helyum gazı ile karşılaşan sıvı amonyağın helyum içinde yayını (difüzyon) sonucu kısmi basıncı düşer ve buharlaşma gerçekleşir. Buharlaştırıcı girişinde (4c) - 9,5°C sıcaklığına ve 2,96 bar basınca ulaşan amonyak ıslak buhar fazında termal kompresöre yani soğurucuya oradan da kaynatıcıya doğru ilerleyerek çevrimi tamamlar.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL BULGULAR

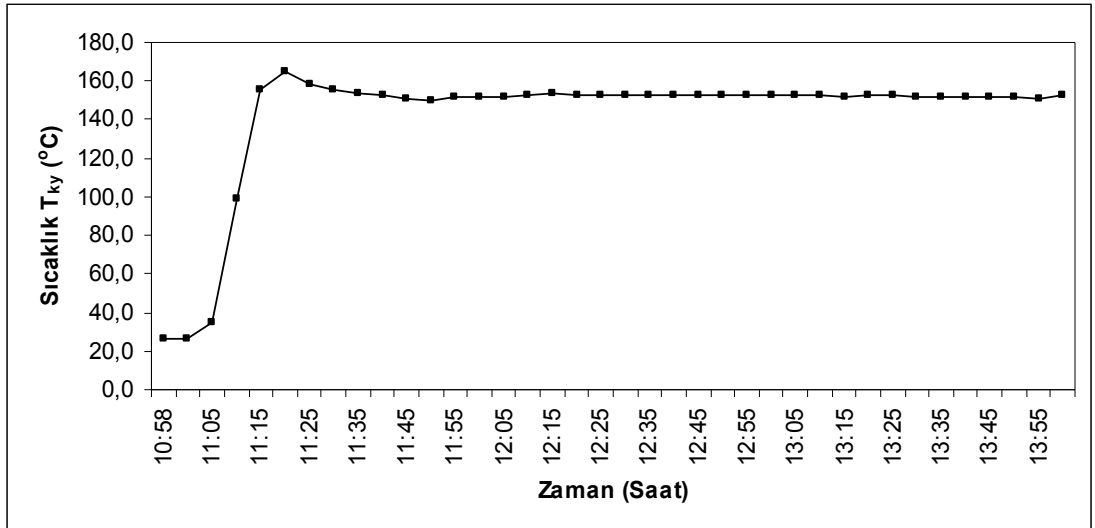
Güneş enerjisi ile yapılan deneylerde saflaştırıcı çıkış noktası ( $T_{sf}$ ), kaynatıcı çıkış noktası ( $T_{ky}$ ), kaynatıcı ( $T_{1a}$ ), kabarcık pompası çıkış noktası ( $T_{1c}$ ), yoğuşturucu giriş noktası ( $T_2$ ), yoğuşturucu çıkış noktası ( $T_3$ ), düşük basınçlı sıvı amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktası ( $T_{4a}$ ), buharlaştırıcı giriş noktası ( $T_{4c}$ ), buharlaştırıcı çıkış noktası ( $T_5$ ), kaynatıcı giriş noktası ( $T_7$ ) sıcaklıklarının zamana bağlı değişiminin grafikleri çıkartılmıştır. Ayrıca sistem basıncının tespiti için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasına ( $P_2$ ) bir basınçölçer bağlanmış ve sistem basıncının zamana bağlı değişiminin grafiği de çizilmiştir. Ölçümler bilgisayar destekli otomatik kayıt sistemi ile takip edilmiştir. Grafiklerde diğer deneylerden farklı olarak saate bağlı beşer dakikalık olmak üzere toplam 3 saatlik zamana bağlı sıcaklık ve basınç değişimi görülmektedir.

Şekil 6.1.'de Ön Soğutmasız YSS için saflaştırıcı çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık dağılımı görülmektedir. Deneylere saat 10:30'da başlanmıştır. Ancak 11:30'a kadar önemli bir gelişme olmadığından o aradaki değerlere yer verilmemiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi ön soğutmasız sistem YSS2 cihazı, ön soğutmalı sistem YSS1 cihazına göre daha yüksek sıcaklık değerlerinde ölçülmüştür. 13:00 civarında iki sistemin sıcaklıkları eşitlense de YSS1 cihazı  $90,3^{\circ}\text{C}$ 'de tutunamamış ve sıcaklığında bir miktar azalma göstererek deneyi tamamlamıştır. Bu grafikteki önemli bir nokta da YSS2 cihazı için soğutmanın başladığı anda bu noktadaki sıcaklığındaki  $3^{\circ}\text{C}$ 'lik ani düşüş olmuştur. Yine tekrarlamak gerekirse cihazlar farklı günlerde denenmiştir. (Deneyler Karabük ilinde yapılmış olup verilen değerler YSS2 için 3 Ağustos 2010 ve YSS1 için 14 Ağustos 2010 tarihlerine aittir.)



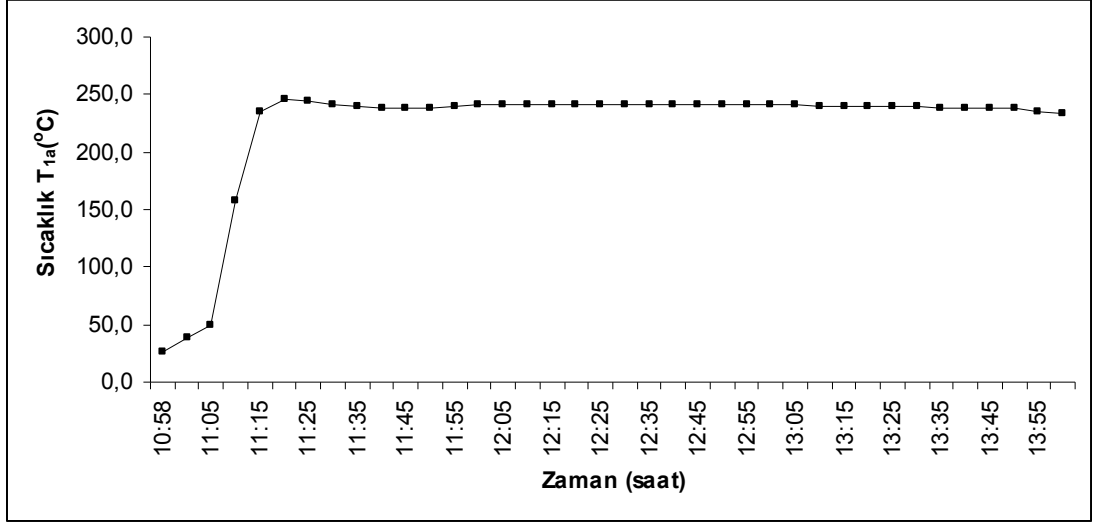
Şekil 6.1. Ön Soğutmasız YSS için saflaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.2.'de Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık dağılımı görülmektedir. Normalde saat 10:30'da başlanan deneylerde 11:30'a kadar önemli bir gelişme olmadığından o aradaki değerlere yer verilmemiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sıcaklık saat 11:05 ten 11:25'a kadar yükseliş göstermiştir. Kaynatıcı çıkış noktasındaki en yüksek sıcaklık 160 °C'ye ulaşmıştır. Saat 11:25'ten 14:00'a kadar sabit değerde devam etmiştir.



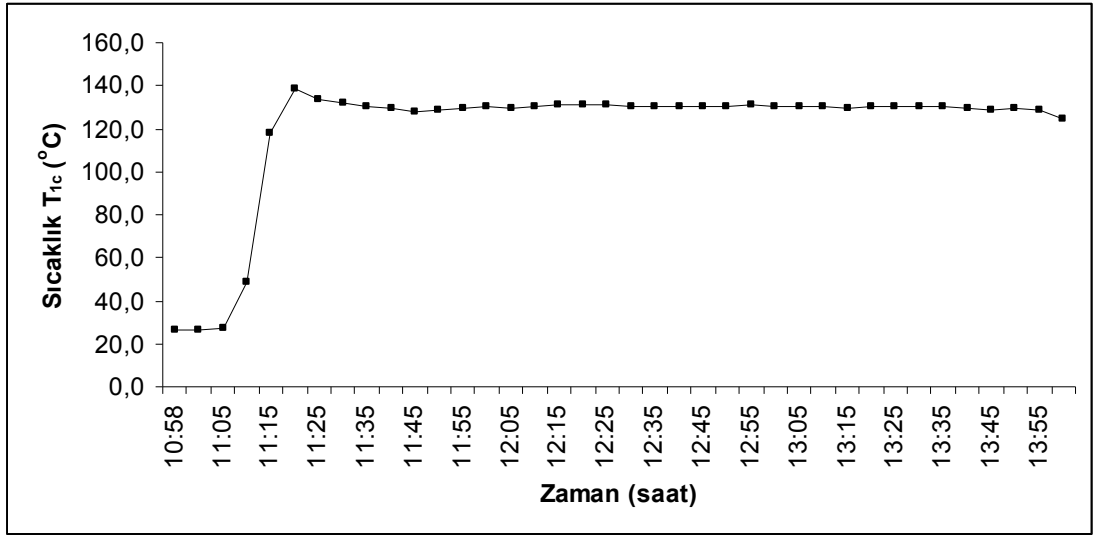
Şekil 6.2. Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.3.'te Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık dağılımı görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 10:30-11:10 saatleri arasında sıcaklık yükselişi fazla değil iken saat 11:10 dan 11:20 ye kadar çok hızlı bir yükselme meydana gelmiş, sistemdeki kaynatıcı çıkış noktasındaki en yüksek sıcaklık değeri 260 °C'ye ulaşmıştır. Saat 11:25'ten 14:00 'a kadar sabit kalmıştır.



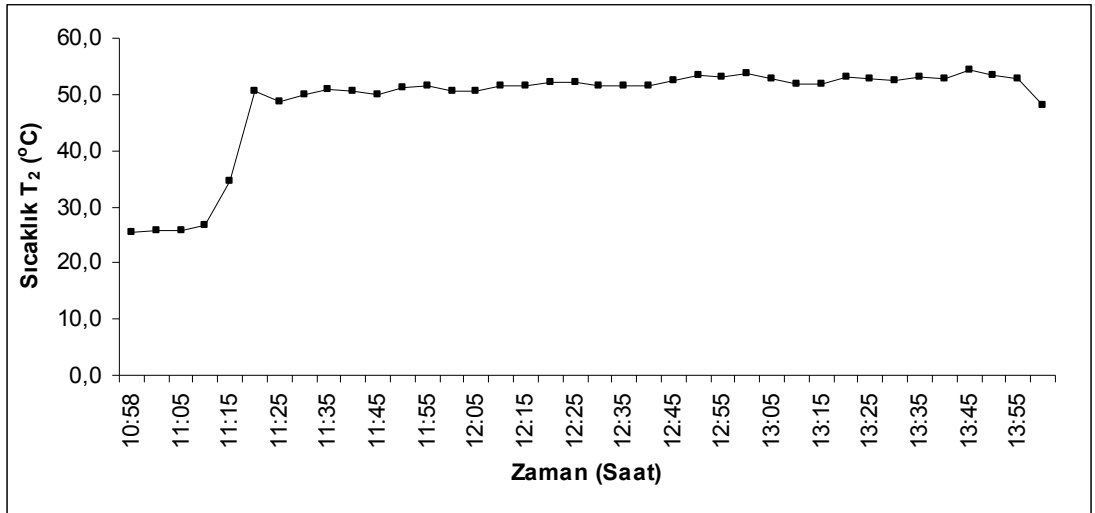
Şekil 6.3. Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.4. Ön Soğutmasız YSS için kabarcık pompası çıkış noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklığı saat 10:30'dan 11:10'a kadar sabit kalmıştır. Saat 10:10-11:25'e kadar yükseliş göstermekte olup; saat 11:25'ten 14:00'a kadar sabit kalmıştır.



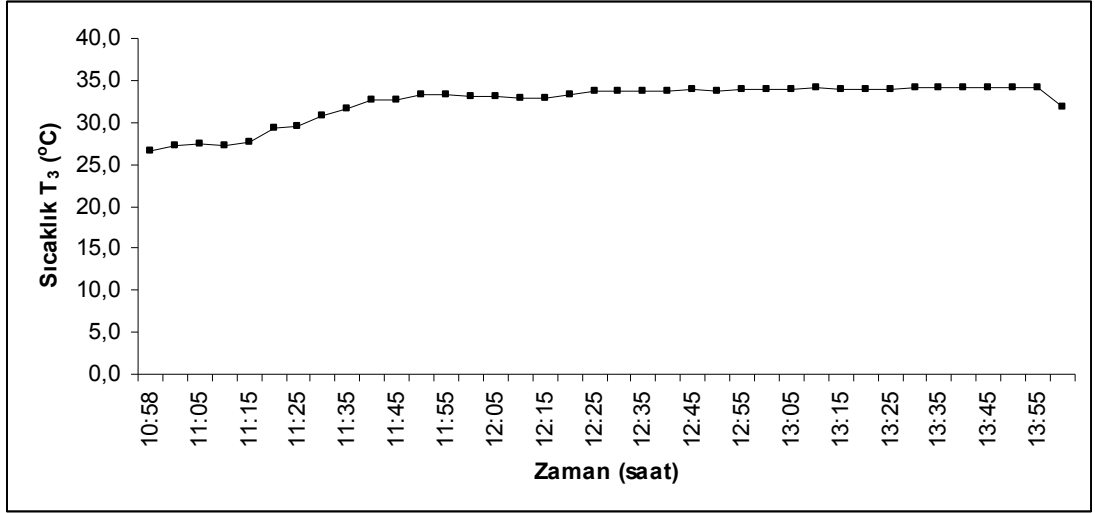
Şekil 6.4. Ön Soğutmasız YSS için kabarcık pompası çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.5. Ön Soğutmasız YSS için yoğuşturucu giriş noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sıcaklık saat 10:58'den 11:15'e kadar sabit kalırken saat 11:15 ile 11:25'e kadar yükseliş göstermektedir. Sistemde en yüksek sıcaklık 52°C kadar ulaşmıştır. 11:25-14:00 saatleri arasında ufak dalgalanmalar gerçekleşmiştir.



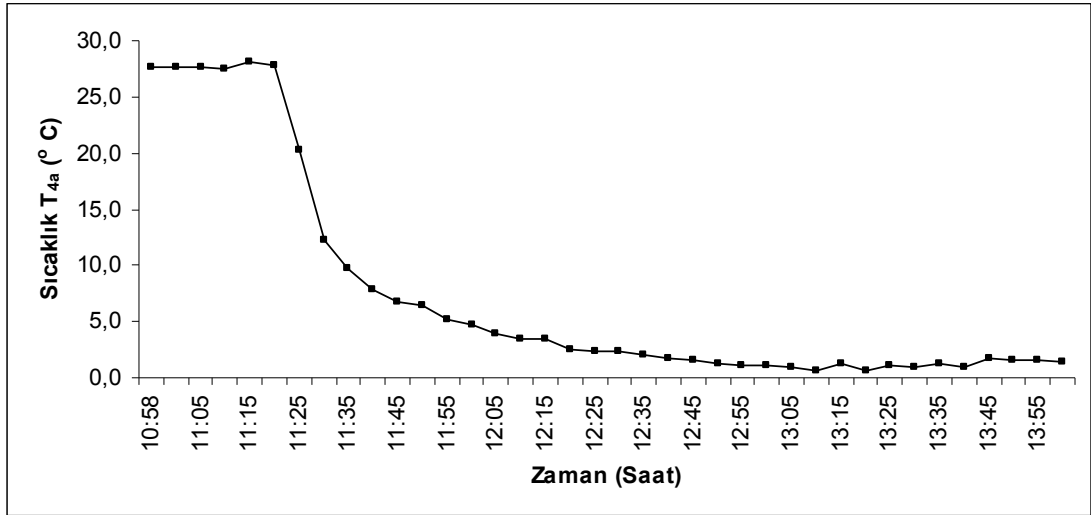
Şekil 6.5. Ön Soğutmasız YSS için yoğuşturucu giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.6. Ön Soğutmasız YSS için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sıcaklık 10:58'den 11:40'a kadar yükseliş göstermektedir. Saat 11:40'tan 14:00'a kadar sabit kalmıştır.



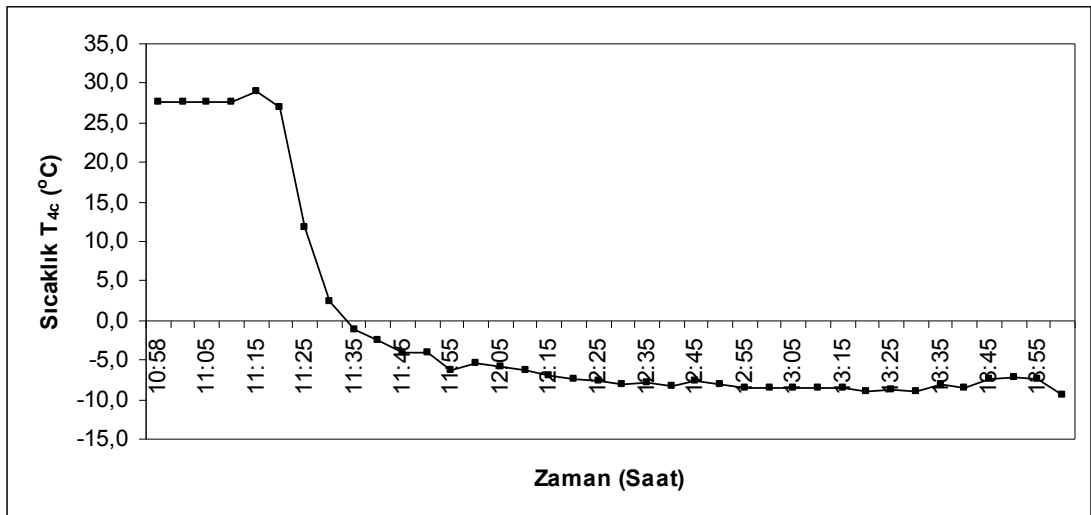
Şekil 6.6. Ön Soğutmasız YSS için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.7. Ön Soğutmasız YSS için düşük basınçlı sıvı amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sistemde sıcaklık saat 10:58'den 11:30'a kadar sabit kalmıştır. Saat 11:30'dan 14:00'a kadar düşüş göstermiştir. Düşük basınçlı sıvı amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklığı 2 °C'ye kadar düşmüştür.



Şekil 6.7. Ön Soğutmasız YSS için düşük basınçlı sıvı amonyakın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

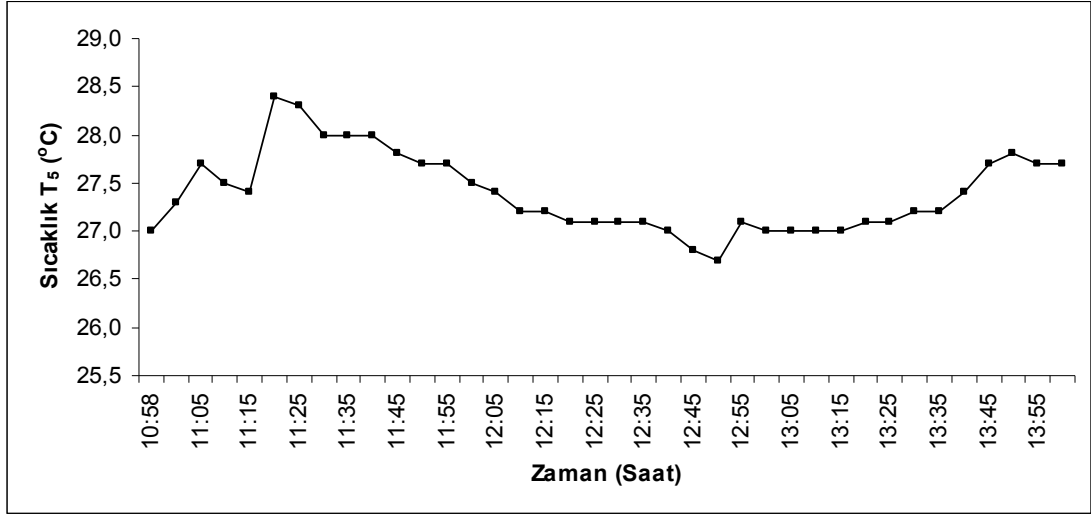
Şekil 6.8. Ön Soğutmasız YSS için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklığı başlangıçta 28 °C iken saat 11:25'e kadar sabit değerde kalmıştır. Saat 11:25'ten 14:00'a kadar sıcaklıkta sürekli düşüş görülmektedir. Sıcaklık saat 11:35'ten itibaren eksi değerlere düşmüş ve -10 °C de kalmıştır.



Şekil 6.8. Ön Soğutmasız YSS için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

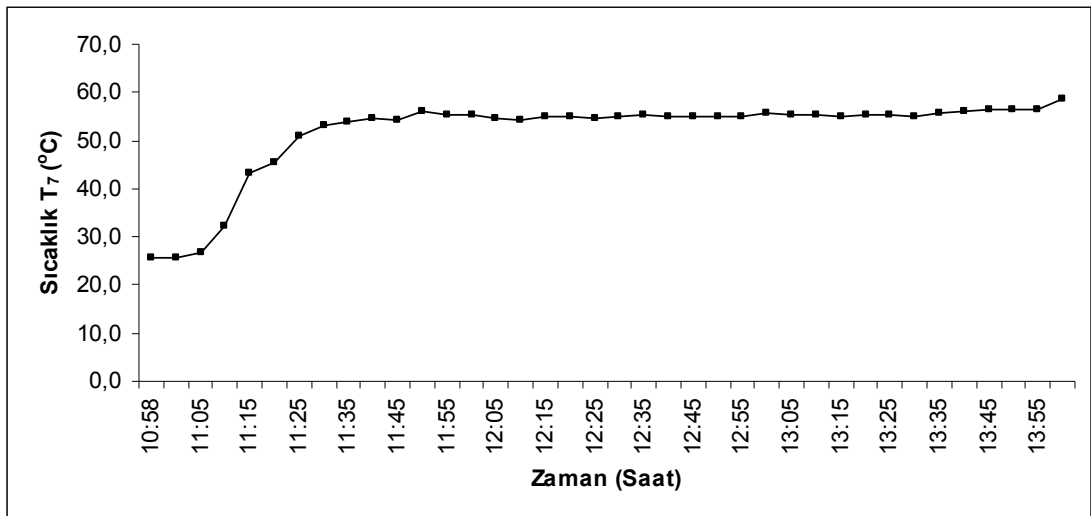
Şekil 6.9. Ön Soğutmasız YSS için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi buharlaştırıcı çıkış noktasının

sıcaklığı 10:58-11:10 saatleri arasında yükseliş kaydetmiştir. Saat 11:10'dan 11:20'ye kadar düşüş göstermiş, saat 14:00'a kadarda sıcaklıkta dalgalanmalar olmuştur. Sistemde en yüksek sıcaklık 28,5 °C en düşük sıcaklık 26,5 °C olmuştur.



Şekil 6.9. Ön Soğutmasız YSS için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

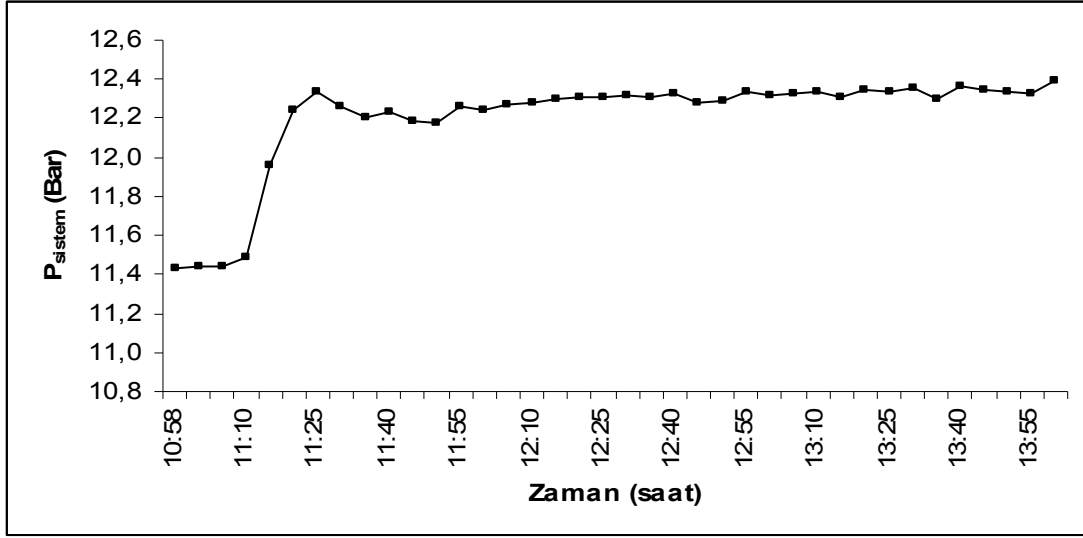
Şekil 6.10. Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı grafiği gösterilmektedir. Sistemde kaynatıcı giriş noktasının sıcaklığı saat 10:58'den 11:45'e kadar yükseliş göstermektedir. Saat 11:45'ten 14:00'a kadar sabit kalmıştır. Sistemde en yüksek sıcaklık 55 °C olmuştur.



Şekil 6.10. Ön Soğutmasız YSS için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

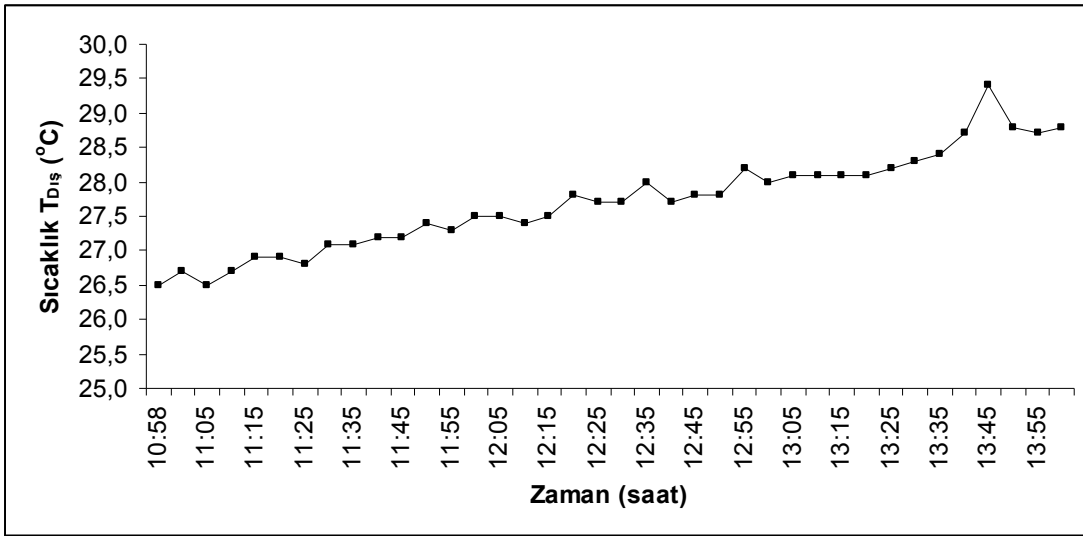


Şekil 6.11. Ön Soğutmasız YSS için sistemin basınç dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sistemdeki basınç saat 10:58'de 11,4 bar iken saat 11:20'de 1 bar artarak 12,4 bar'a yükselmiştir. Saat 11:20'den 14:00'a kadar sabit kalmıştır.



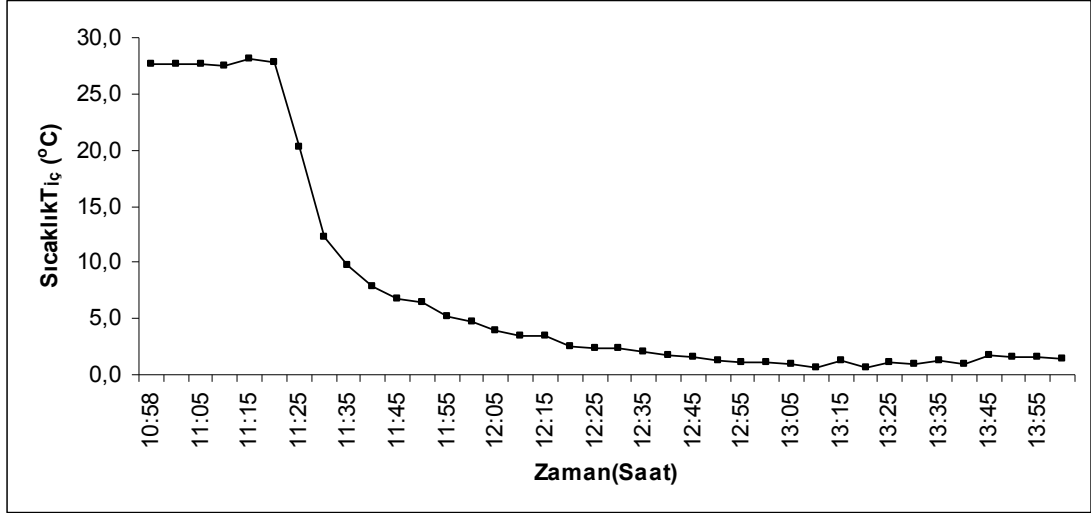
Şekil 6.11. Ön Soğutmasız YSS için sistemin basıncı dağılımı.

Şekil 6.12. Ön Soğutmasız YSS için dış sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 10:58-14:00 saatleri arasında sistemin dış sıcaklığı sürekli yükseliş göstermiştir. Sistemde en yüksek sıcaklık 29,5 °C olmuştur.



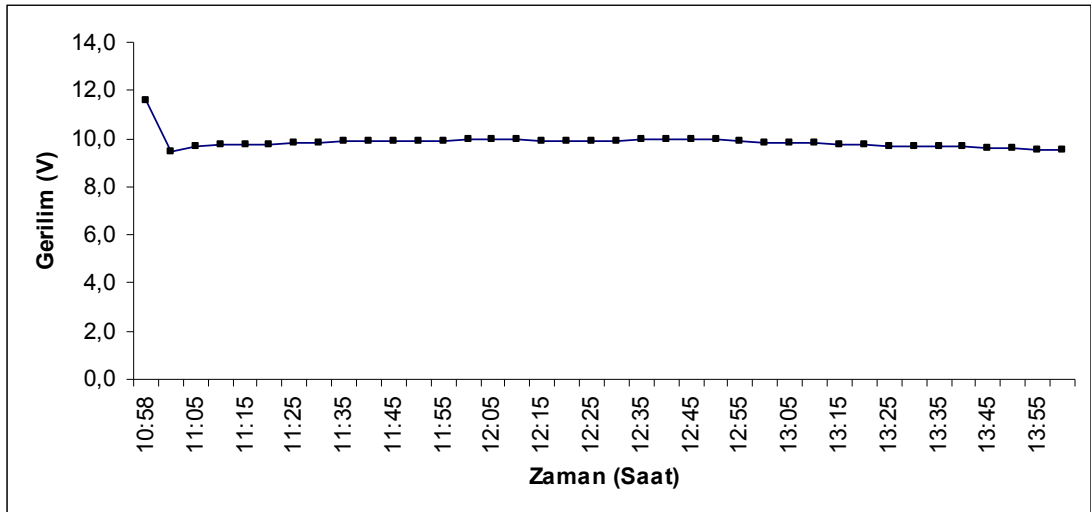
Şekil 6.12. Ön Soğutmasız YSS için dış sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.13. Ön Soğutmasız YSS için iç sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sistemde sıcaklık saat 10:58'den 11:30'a kadar sabit kalmıştır. Saat 11:30'dan 14:00'a kadar düşüş göstermiştir. Sitemin iç sıcaklığı 2 °C'ye kadar düşmüştür.



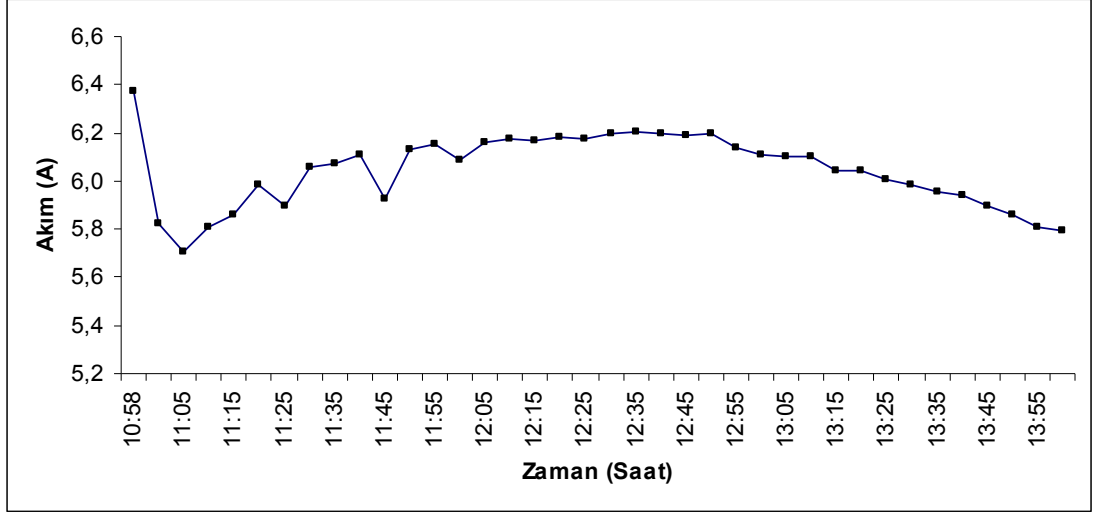
Şekil 6.13. Ön Soğutmasız YSS için iç sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.14. Ön Soğutmasız YSS için Gerilim dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi zamana bağlı olarak 2 volt düşüş gösterdikten sonra sabit kalmıştır.



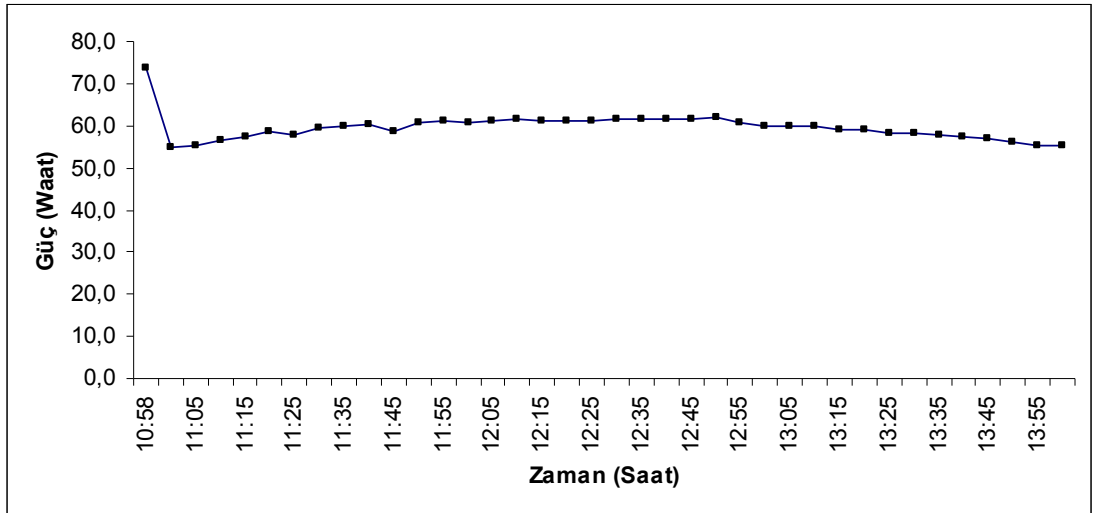
Şekil 6.14. Ön Soğutmasız YSS için Gerilim dağılımı.

Şekil 6.15. Ön Soğutmasız YSS için akım dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi akım inişli çıkışlı bir grafik çizmiştir.



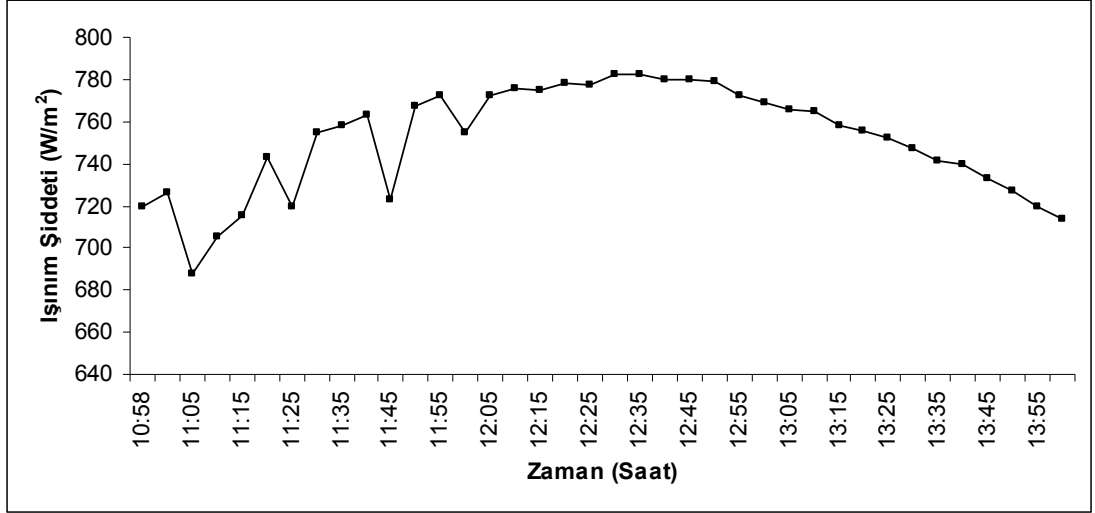
Şekil 6.15. Ön Soğutmasız YSS için akım dağılımı.

Şekil 6.16. Güneş enerjili güç dağılımı grafiği gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi ilk 10 dakikada düşüş gösterirken daha sonra sabit kalmıştır.



Şekil 6.16. Güneş enerjili güç dağılımı.

Şekil 6.17. Ön Soğutmasız YSS için ışınım şiddeti dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi zamana bağlı olarak inişler çıkışlar kaydetmiştir. Saat 10:58'de  $720 \text{ W/m}^2$  iken saat 12:30'da  $770 \text{ W/m}^2$  ye yükselmiştir. 10:58-14:00 saatleri arasında ışınım şiddetinde dalgalanmalar görülmektedir. En yüksek ışınım şiddeti  $770 \text{ W/m}^2$  iken en düşük ışınım şiddeti  $680 \text{ W/m}^2$  dir.



Şekil 6.17. Ön Soğutmasız YSS için ışınım şiddeti dağılımı.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ ve ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada tasarım ve imalatı yapılan ön soğutmasız YSS sisteminin güneş enerjisi ile çalışabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen deneysel verilerle sistemin soğutma tesir katsayısı hesaplanarak sayısal ve grafiksel olarak sunulmuştur. Çalışma boyunca yapılan gözlem, deney ve teorik hesaplamalarla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanıldığı deneylerde en pratik ve maliyeti en düşük tasarım ön planda tutulmuştur. Yapılan araştırma ve deneysel inceleme ile istenilen 180°C sıcaklık değerine yeni teknoloji olan vakumlu cam tüp ile ısı borusunun birlikte kullanıldığı kollektör ile ulaşılabileceği görülmüştür. Yapılan literatür araştırmasına göre böyle bir tasarım ve uygulama ilk defa bu çalışmada ortaya konulmuştur.
- Güneş enerjisi ile yapılan deneylerde ön soğutmalı normal sistem (YSS1) ile ön soğutmasız sistem (YSS2) karşılaştırılmıştır. Hava şartlarından dolayı sadece ön soğutmasız sistemde soğuma meydana gelmiştir. Saat 11:00'de deneylere başlanılmış ve saat 15:25'de buharlaştırıcı giriş sıcaklığı düşmeye başlamış ve saat 16:40'da -0,4°C'ye ulaşılmıştır. Ancak güneşin etkisini kaybetmeye başlamasıyla birlikte soğutma işlemi sona ermiştir. Literatür araştırmasından anlaşıldığı kadarıyla bu deney ile dünyada ilk defa yayınlı soğurmalı soğutma sistemi güneş enerjisi ile çalıştırılmıştır.
- Ön soğutmasız YSS sisteminde kullanılan ısı kaynağına göre ele alındığında buharlaştırıcı giriş sıcaklığının ve iç ortam sıcaklığının en düşük çıktığı sonuçlar elektrik enerjisi ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.

## 7.2. ÖNERİLER

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri üzerine yapılan bu çalışmada ön soğutmasız YSS sisteminin tasarım ve imalatı yapılmıştır. Enerji sıkıntısının yaşandığı ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların çok değerli olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin ısı kaynağı olarak yayımlı soğurmalı soğuma sistemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sistemin tasarım, imalat, dolun aşamalarından, deney sonuçlarından ve termodinamik hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- Yayımlı soğurmalı soğutma sistemlerin en önemli avantajları kullanılan akışkanların çevreci olması ile sessiz ve bakım gerektirmeyen bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu çalışma ile bilimsel olduğu kadar piyasaya dönük çalışmaların da önü açılabilir ve boyutları daha büyük cihazların tasarım ve imalatı ile minibar olarak kullanılan bu cihazlar mutfaklarda da yerini alabilir.
- Her tip soğutucuda olduğu gibi yayımlı soğurmalı soğutma sisteminde de yoğunlaştırıcı bölgesinden ne kadar iyi ısı çekilirse soğutma o kadar iyi olmaktadır. Bu sistemlerde ayrıca soğurucu kısmından da ısı atılması gerekmektedir. Bu bağlamda çalışabilirliği yapılan çalışma ile kanıtlanmış ön soğutmasız sistemin çeşitli şekillerde biri diğerinin yoğunlaştırıcı ve soğurucu bölgelerini soğutarak asıl soğutucu ile iç ortam sıcaklığının  $-5^{\circ}\text{C}$ 'ye veya  $-10^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutabilen sistemlerin tasarım ve imalatı araştırılabilir.
- Güneş enerjisinin kullanıldığı deneylerde tek bir kolektör tasarımı yapılmıştır. Ancak yapılacak yeni bir çalışmayla çoklu kolektör tasarımı yapılarak sistemin soğumaya başlama süresi kısaltılabilir.
- Yine güneş enerjisi kullanımında ısı borusu tercih edilen çalışmada ısıdan dolaylı olarak faydalanılmıştır. Fakat yeni bir tip kaynatıcı tasarımıyla örneğin ısı değiştiricili özelliğe sahip bir tasarımla güneş enerjisinin ısısından doğrudan faydalanılarak sistemin çalışma performansı geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Özbaş, E., “Yayınımlı soğurmalı soğutma sistemi tasarımı, imali, deneysel ve teorik analizi ile performans iyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-55 (2010).
2. Özkol, N., “Uygulamalı soğutma tekniği”, *TMMOB MMO Yayını*, Ankara,115:75-92 (1999).
3. Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist and Alfred F. Bracciano, “Modern refrigerator and air conditioning”, *The Goodheart-Willcox Company*, 611-632 (1988).
4. Platen, B. C. and Munters, C. G., “Refrigerator”, *U.S. Patent* 1,685,764, (1928).
5. A. Zohar, M. Jelinek, A. Levy and I. Borde, “The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance”, *Applied Thermal Engineering*, 27 (13): 2213-2219 (2007).
6. Arslan, M. E., Eğrican, A. N., “Buzdolabı uygulamasında kullanılan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 83: 53-63 (2004)
7. Zohar, A., Jelinek M., Levy A. And Borde I., “Performance of diffusion absorption refrigeration cycle with organic working fluids”, *International Journal of Refrigeration*, 32 (6): 1241-1246 (2009).
8. Zohar, A., Jelinek M., Levy A. and Borde I., “The influence of the generator and bubble pump configuration on the performance of diffusion absorption refrigeration (DAR) system”, *International Journal of Refrigeration*, 31 (6): 962-969 (2008).
9. Moreira, E.C.C., Santos, C.A.C., Ribeiro, C.M.C., Souza, W.L. and Leal, R.A., “Study of A diffusion-absorption refrigeration cycle using ammonia-water-helium as workin fluids”, *18th International Congress of Mechanical Engineering*, 1-8 (2005).
10. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I. and “Numerical investigation of a diffusion absorption refrigeration cycle”, *International Journal of Refrigeration*, 28 (4): 515-525, (2005).
11. Sriksirin, P. and Aphornratana, S., “Investigation of a diffusion absorption refrigeration”, *Applied Thermal Engineering*, 22 (11): 1181-1193 (2002).

12. White, S.J., “Bubble pump design and performance”, In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in Mechanical Engineering, *Georgia Institute of Technology*, 2-16 (2001).
13. Koyfman, A., Jelinek M., Levy A. and Borde I., “An experimental investigation of bubble pump performance for diffusion absorption refrigeration system with organic working fluids”, *Applied Thermal Engineering*, 23: 1881-1894 (2003).
14. Jakob, U., Eicker, U., Taki, A.H. and Cook, M.J., “Development of an optimised solar driven diffusion-absorption cooling machine” *International Solar Energy Society (ISES), Proceedings of the ISES Solar World Congress*, Göteborg, Sweden, 1-6 (2003).
15. Ben Jemaa, R., Ben Issa, N., Ben Issa and S., Bellagi, A., “Exergy analysis of a diffusion absorption refrigeration system”, *International Journal of Exergy*, 5 (5-6): 626-637 (2008).
16. Chen, J., Kim J.K. and Herold K.E., “Performance enhancement of a diffusion-absorption refrigerator”, *International Journal of Refrigeration*, 19 (3): 208-218 (1996).
17. Smirnov, G.F., Bukraba, M.A. and Fattuh and T., Nabulsi, B., “Domestic refrigerators with absorption – diffusion units and heat – transfer panels”, *International Journal of Refrigeration*, 19 (8): 517-521 (1996).
18. Kouremenos, D.A., Stegou-Sagia, A. and Antonopoulos, K.A., “Three-dimensional evaporation process in aqua-ammonia absorption refrigerators using helium as inert gas”, *International Journal of Refrigeration*, 17 (1): 58-67, (1994).
19. Alexis, G.K. and Rogdakis, E.D., “Performance characteristics of two combined ejector-absorption cycles”, *Applied Thermal Engineering*, 22 (1): 97-106 (2002).
20. Eames, I.W. and Wu, S., “A theoretical study of an innovative ejector powered absorption-recompression cycle refrigerator”, *International Journal of Refrigeration*, 23 (6): 475-484 (2000).
21. Özalp, M., “Alternatif çalışma akışkanları ile çalışan ejektörlü-absorbsiyon soğutma sisteminin yapay sinir ağları kullanılarak termodinamik analizi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 37-53 (2004).
22. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S. ve Yamankaradeniz, N., “Soğutma tekniği ve ısı pompası uygulamaları”, *DORA Yayıncılık*, 283-286 (2009).
23. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ. ve Çoşkun, S., “Soğutma tekniği ve uygulamaları”, *VİPAŞ A.Ş.*, 14-16 (2002).



24. Eastop, T. D. and Watson, W. E., “Mechanical services for buildings”, *Longman Scientific & Technical*, 375–376 (1992).
25. Özsoy, A. ve Acar, M., “Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90(5): 13-18 (2005).
26. Uyarel, A.Y. ve Öz, E.S., “Güneş enerjisi ve uygulamaları”, *Emel Matbaacılık*, 120-200 (1987).
27. Üçgöl, İ., Öztürk M. ve Özek, N., “Parabolik kolektörlerin optik, enerjetik ve ekserjetik verimliliklerinin analizi”, *Mühendis ve Makine*, 47 (561): 49-56 (2006).
28. Gençoğlu, M. , Cebeci, M. ve Güneş M., “Güneş enerjisi ile çalışan plc kontrollü su pompası sistem tasarımı”, *Electrotech Dergisi*, Elazığ, 1-3 (2002).

## **ÖZGEÇMİŞ**

İbrahim ERBECER 1982 yılında Van'da doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Van Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başladı ve 2007 yılında mezun oldu. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programında öğrenimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimler Enstitüsü  
Balıklar Kayası Mevkii / KARABÜK

Tel: (506) 752 39 10

E-posta: erbecer\_ibrahim65@hotmail.com