

**YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİ
TASARIMI, İMALİ, DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ İLE
PERFORMANS İYİLEŞTİRİLMESİ**

Engin ÖZBAŞ

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2009
ANKARA**

Engin ÖZBAŞ tarafından hazırlanan “Yayınımı Soğurmalı Soğutma Sistemi Tasarımı, İmalı, Deneysel ve Teorik Analizi ile Performans İyileştirilmesi” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Adnan SÖZEN
(Makine Teknoloji Anabilim Dalı)

Yrd. Doç. Dr. Veysel ÖZDEMİR
(Atatürk Meslek Yüksek Okulu)

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU
(Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Doç. Dr. Adnan SÖZEN
(Makine Teknoloji Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Güçlü YAVUZCAN
(Endüstriyel Teknoloji Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Doç. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU
(Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP
(Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi)

Tarih : 30/12/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Engin ÖZBAŞ

**YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİ
TASARIMI, İMALİ, DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ İLE
PERFORMANS İYİLEŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Engin ÖZBAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2009**

ÖZET

Bu çalışmada yayınımlı (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.

Bilim Kodu : 708.3.015
Anahtar Kelimeler : Amonyak, su, helyum, absorpsiyonlu soğutma, ejektör
Sayfa Adedi : 139
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adnan SÖZEN

**PERFORMANCE IMPROVEMENT ON DIFFUSION ABSORPTION
REFRIGERATION SYSTEM DESIGN AND MANUFACTURE BY
EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS
(Ph.D. Thesis)**

Engin ÖZBAŞ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2009**

ABSTRACT

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 electricity, LPG as an alternative fuel, and solar energy, as a renewable energy source. Two different systems were designed to improve the performance of the electric heater: i) a system without condensate subcooling was made by modifying the subcooling system (DAR2), ii) an ejector is inserted into the line before the absorber of the subcooled system (DAR3). With electricity as the heat source, DAR1 system reached the lowest temperature (3°C) inside the refrigerator, and DAR2 system showed the best COP (27%) due to its high flow rate. Besides the system performance of DAR1 was improved by 26% by using ejector (DAR3). Running the system on renewable energy, it was experimentally shown that our rich resources of solar energy can be used in cooling system.

**Science Code : 708.3.015
Keywords : Ammonia, water, helium, absorption refrigeration, ejector
Page Number : 139
Adviser : Associate Professor Adnan SÖZEN**

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli yardımlarını esirgemeyen ve her türlü kolaylığı gösteren sayın Doç. Dr. Adnan SÖZEN hocama teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER..	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ	10
3.1. Giriş.....	10
3.2. Yayınimli Soğurmalı Soğutma (YSS) Sistemleri	11
3.3. Sistemde Kullanılan Akışkanlar.....	12
3.3.1. Soğutucu akışkan olarak amonyak (R717)	13
3.3.2. Soğurucu akışkan olarak su.....	15
3.3.3. Basınç dengeleyici gaz olarak helyum.....	16
3.4. Dalton Yasası ve YSS Sistemiyle İlişkisi	16
3.5. Sistemdeki Akışkan Karışımlarının Termodinamik Özellikleri	18
3.5.1. Amonyak-su çözeltisi.....	18
3.5.2. Amonyak buharı-helyum gazı karışımı.....	21

Sayfa

3.6. Ön Soğutmalı Yayınımlı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS1)	21
3.6.1. YSS1 sistemi ile buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin karşılaştırılması	23
3.6.2. YSS1 sistemi için zayıf çözelti çevrimi	24
3.6.3. YSS1 sistemi için amonyak ve helyum çevrimi	25
3.7. Ön Soğutmasız Yayınımlı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS2)	27
3.7.1. YSS2 sisteminin tasarımı	29
3.7.2. YSS2 sisteminin çalışması	29
3.8. Ejektörlü Ön Soğutmalı Yayınımlı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS3)	31
3.8.1. YSS3 sisteminin tasarımı	31
3.8.2. YSS3 sisteminin çalışması	32
3.9. Ejektörün Termodinamiği	34
3.9.1. Ejektörün matematiksel modeli	36
3.9.2. Ejektörün termodinamik analizi	37
4. ISI KAYNAĞINA GÖRE YSS SİSTEMLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ	51
4.1. Isı Kaynağı Olarak Elektrikli Isıtıcı Kullanımı	51
4.2. Isı Kaynağı Olarak Sıvılaştırılmış Petrol Gazının (LPG) Kullanımı	61
4.3. Isı Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi Kullanımı	71
5. YSS SİSTEMLERİ İÇİN SOĞUTMA TESİR KATSAYISI	88
5.1. YSS1 Cihazında Elektrik Kullanımı için STK Hesabı	90
5.2. Elektrik Enerjisi Kullanımında Cihazların STK Sonuçları	93
5.3. LPG Kullanımında Güç Hesabı	94

Sayfa

5.4. LPG Kullanımında Cihazların STK Sonuçları.....	95
5.5. Güneş Enerjisi Kullanımında Güç Hesabı	96
5.6. Güneş Enerjisi Kullanımında Cihazların STK Sonuçları.....	97
5.7. Sistemlerin Soğutma Çevrimleri	99
5.7.1. Ön soğutmalı sistemin (YSS1) soğutma çevrimi	99
5.7.2. Ön soğutmasız sistemin (YSS2) soğutma çevrimi	100
5.7.3. Ön soğutmalı ejektörlü sistemin (YSS3) soğutma çevrimi	101
5.8. Ekonomik Açıdan Değerlendirme.....	102
5.8.2. Elektrikli ısıtıcı kullanımının ekonomik analizi	102
5.8.2. LPG kullanımının ekonomik analizi	102
5.8.3. Güneş enerjisi kullanımının ekonomik analizi.....	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	104
6.1. Sonuçlar	104
6.2. Öneriler	107
KAYNAKLAR	110
EKLER.....	115
EK-1 Cihazların şemaları ile T-s diyagramları	116
EK-2 Isı kaynağına göre deney sonuçları.....	119
EK-3 Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları	134
ÖZGEÇMİŞ	139

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Amonyağın diğer soğutucularla -15/+30 °C da kW başına soğutma kapasitesine göre karşılaştırılması	14
Çizelge 3.2. Eş. 3.2 için kullanılan sabit katsayılar	19
Çizelge 3.3. Eş.3.1, Eş. 3.3 ve Eş. 3.4 için kullanılan sabit katsayılar.....	19
Çizelge 3.4. Eş. 3.6, Eş. 3.7 ve Eş. 3.8 için kullanılan sabit katsayılar.....	20
Çizelge 4.1. Boru malzemesine ve akışkan cinsine göre ısı borsunun sıcaklık aralıkları	72
Çizelge 5.1. YSS1 cihazının elektrikle yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm değerleri.....	90
Çizelge 5.2. YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının elektrikle yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm ve hesap değerleri.....	93
Çizelge 5.3. Çeşitli yakıtlar için ısı değer tablosu.....	94
Çizelge 5.4. YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının LPG ile yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm ve hesap değerleri.....	95
Çizelge 5.5. YSS–2 cihazının güneş enerjisiyle yapılan deneyinden çeşitli zamanlardaki ölçüm ve hesap değerleri.....	97
Çizelge 5.6. Cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyet (Elektrik)	102
Çizelge 5.7. Cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyet (LPG)	103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Dalton 'un kısmi basınçlar yasası.....	17
Şekil 3.2. Ön soğutmalı yayınımlı soğurmalı soğutma sistemi YSS1	22
Şekil 3.3. YSS1 zayıf çözelti çevrimi	24
Şekil 3.4. YSS1 amonyak ve helyum çevrimi	26
Şekil 3.5. Ön soğutmasız yayınımlı soğurmalı soğutma sistemi YSS2	28
Şekil 3.6. Ön soğutmasız ve ön soğutmalı sistemlerin buharlaştırıcıları	29
Şekil 3.7. Ön soğutmasız YSS2 sisteminin çevrim şeması.....	30
Şekil 3.8. İmalatı yapılan ejektörün geometrisi	31
Şekil 3.9. YSS3 sistemi ile YSS1 sisteminin soğurucu ve zayıf çözelti bağlantısı	32
Şekil 3.10. Ön soğutmalı ejektörlü YSS3 sisteminin çevrim şeması.....	33
Şekil 3.11. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan ejektörün geometrisi.....	35
Şekil 3.12. Ejektörün geometrisi.....	35
Şekil 3.13. YSS sistemi için tasarlanan ejektörün geometrisi.....	36
Şekil 3.14. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan ejektörün analizi için referans noktaları	37
Şekil 3.15. Ejektör içinde basınç ve hızlardaki yükselme ve düşmeler	39
Şekil 4.1. YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	53
Şekil 4.2. YSS1, YSS2 ve YSS3 için yoğunlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	54
Şekil 4.3. YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkışı ile yoğunlaştırıcı çıkışı ölçüm yerleri.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. YSS1, YSS2 ve YSS3 için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı	55
Şekil 4.5. YSS1, YSS2 ve YSS3 için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	56
Şekil 4.6. YSS1 ve YSS3 ile YSS2 için buharlaştırıcı çıkışı ölçüm yerleri	56
Şekil 4.7. YSS1, YSS2 ve YSS3 için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	57
Şekil 4.8. YSS1, YSS2 ve YSS3 için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	58
Şekil 4.9. YSS1, YSS2 ve YSS3 sistemlerinde iç ortamın sıcaklık dağılımı	59
Şekil 4.10. YSS1, YSS2 ve YSS3 için sistem basınçlarının dağılımı	60
Şekil 4.11. YSS sistemlerinde LPG için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	63
Şekil 4.12. LPG kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkışı ile yoğunlaştırucu çıkışı ölçüm yerleri	63
Şekil 4.13. YSS sistemlerinde LPG için yoğunlaştırucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	64
Şekil 4.14. YSS sistemlerinde LPG için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı	65
Şekil 4.15. LPG için sıvı amonyağın buharlaştırıcıya girişi ve buharlaştırıcı girişi ölçüm yeri	65
Şekil 4.16. YSS sistemlerinde LPG için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	66
Şekil 4.17. YSS sistemlerinde LPG için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	67
Şekil 4.18. YSS sistemlerinde LPG için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	68
Şekil 4.19. YSS sistemlerinde LPG için sistemlerinde iç ortamın sıcaklık dağılımı	69

Şekil	Sayfa
Şekil 4.20. YSS sistemlerinde LPG için sistem basınçlarının dağılımı	70
Şekil 4.21. Güneş enerjisinde kullanılan parabolik odaklama şeması	75
Şekil 4.22. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	78
Şekil 4.23. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için yoğunlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	79
Şekil 4.24. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı	80
Şekil 4.25. YSS1 ve YSS2 için sıvı amonyağın buharlaştırıcıya girişi ile buharlaştırıcı girişi ölçüm yeri	80
Şekil 4.26. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	81
Şekil 4.27. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı	82
Şekil 4.28. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı	83
Şekil 4.29. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için soğurucu girişi ölçüm yeri	83
Şekil 4.30. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için soğurucu giriş noktasının sıcaklık dağılımı	84
Şekil 4.31. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için ısı borusu deposunun sıcaklık dağılımı	85
Şekil 4.32. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için sistem basınçların dağılımı	86
Şekil 5.1. STK hesabı için kullanılan değerlerin cihaz üzerindeki yerleri.....	88
Şekil 5.2. REFPROP programı ile ilgili etiket	89
Şekil 5.3. REFPROP programı ile elde edilen saf amonyağın termodinamik özellikleri	91
Şekil 5.4. REFPROP programı ile elde edilen amonyak-su karışımı için T-x grafiği	91

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. REFPROP programıyla bulunan amonyak-su karışımının termodinamik özellikler	92
Şekil 5.6. Elektrik enerjisi kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının zamana bağlı STK değişimi	94
Şekil 5.7. LPG kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının zamana bağlı STK değişimi	96
Şekil 5.8. Güneş enerjisi kullanımında YSS2 cihazının zamana bağlı STK değişimi	98
Şekil 5.9. YSS1 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı	99
Şekil 5.10. YSS2 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı	100
Şekil 5.11. YSS3 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı	101

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinde elektrikli ısıtıcı kullanımı	52
Resim 4.2. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinin önden görünüşü	52
Resim 4.3. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için iç ortam ölçüm yeri.....	59
Resim 4.4. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için sistem basıncının ölçüm yerleri	60
Resim 4.5. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için LPG kullanımının deney düzeneği.....	61
Resim 4.6. Kullanılan LPG brülörleri	62
Resim 4.7. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinde LPG kullanımından bir görünüş	62
Resim 4.8. LPG kullanımı için kaynakçı girişi ölçüm yeri.....	68
Resim 4.9. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için sistem basıncının ölçüm yerleri	70
Resim 4.10. Vakumlu cam tüp için basit deney düzeneği ve imalatı yapılan depo	73
Resim 4.11. Piyasada ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı	73
Resim 4.12. Tarafımızdan yapılan ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı	74
Resim 4.13. YSS2 sisteminde güneş enerjisi kullanımı.....	75
Resim 4.14. YSS2 sistemlerinde ısı borusunun bağlantısı ve yalıtımı	76
Resim 4.15. YSS2 sistemlerinde ısı borusu deposunun bağlantısı	77
Resim 4.16. YSS1 sisteminde güneş enerjisi kullanımı.....	77
Resim 4.17. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için ısı borusu deposu ölçüm yeri	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
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
M	Mach sayısı
P	Basınç
Q	Isı
R	Genel gaz sabiti
s	Entropi
T	Sıcaklık
v	Özgül hacim
V	Hız
W	İş
w	Kütle oranları
x	Derişim
η	Verim
τ	Sıcaklık oranı

Kısaltmalar**Açıklama**

YSS	Yayınimli Soğurmalı Soğutma
YSS1	Ön Soğutmalı Yayınimli Soğurmalı Soğutma
YSS2	Ön Soğutmasız Yayınimli Soğurmalı Soğutma
YSS3	Ön Soğutmalı Ejektörlü Yayınimli Soğurmalı Soğutma
STK	Soğutma Tesir Katsayısı

Alt indis**Açıklama**

ky	Kaynaticı
ky-s	Kaynaticıdan çıkan sıvı
ky-b	Kaynaticıdan çıkan buhar
sf	Saflaştırıcı
sf-s	Saflaştırıcıdan çıkan sıvı
sf-b	Saflaştırıcıdan çıkan buhar

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.

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 [1].

Soğutma konusunun çevre bilinci ile birlikte ele alınması zorunluluğu, soğutma sistemlerinde kullanılan akışkanların içeriğiyle ozon tabakasına vermiş olduğu zararın ortaya çıkmasıyla anlaşılmıştır. Sonuç olarak da “çevreci” ve “çevre ile dost” gibi kavramlarla geliştirilen teknolojinin üstünlüğü vurgulanmaya başlanmıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte kullanılan enerji kaynaklarının çevresel etkileri sonucu son yıllarda “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” üzerine yapılan araştırmaların oldukça hız kazandığı ve ciddi yatırımların yapılmasından kaçınılmadığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ilk akla gelenler ise güneş ve rüzgâr enerjisidir. Bu enerji kaynakları doğrudan kullanılabilirdiği gibi, elektrik üretimi ile dolaylı olarak da kullanılabilir. Kullanıma sunulan bir imalatın elektrik dışında aynı zamanda “Alternatif Enerji Kaynakları” ile çalışabilmesi de yine geliştirilen teknolojiye bir üstünlük kazandırmaktadır. Kullanılan bir cihazın yerine göre elektrik dışındaki bir enerji kaynağıyla da çalıştırılabilmesi tüketici açısından önemli bir tercih sebebi olabilmektedir.

Genel bir ifade ile geliştirilen bir teknolojinin hem çevreci olması hem de yenilenebilir enerji kaynağı ile kullanılabilmesi araştırmacılar açısından, bunların yanı sıra alternatif enerji kaynakları ile de çalıştırılabilmesi pazarlama açısından en önemli hedeftir.

Araştırma konusu olarak soğutmanın seçildiği bu çalışmada “çevrecilik” ve “alternatif enerji kaynakları” açısından bir uygulama yapılmıştır. 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 [2]. Bu çalışmada sürekli çalışan ev tipi “Yayınımli Soğurmalı Soğutma Sistemi”nin deneysel ve teorik analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışmada alternatif enerji kaynaklarının kullanımının incelenmesiyle beraber sistem performansının geliştirilmesi de hedeflenmiştir. Literatür taraması sonucu daha önce endüstriyel tip sitemlerde kullanılan “ejektör” yapısının, “ev tipi yayınımli soğurmalı soğutma sistemi” için kullanılabilirliğinin ilk defa bu çalışma ile hem teorik hem de deneysel olarak ele alındığı görülmüştür.

Deneysel yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, alternatif enerji kaynağı olarak sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve yaygın kullanım olarak da elektrik enerjisi tercih edilmiştir.

Yayınımli 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 [3]. Bu sistem, çevrimde sıvı amonyak ön soğutmaya tabi tutulduğundan “Ön Soğutmalı” olarak adlandırabilir [4].

Deneyler: i) Ön Soğutmalı (YSS1), ii) Ön Soğutmasız (YSS2) ve iii) Ejektörlü Ön Soğutmalı (YSS3) olmak üzere üç adet cihaz üzerinde yapılmıştır. YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazları aynı anda elektrik enerjisi ve LPG ile test edilirken, YSS1 ve YSS2 cihazları ayrı ayrı güneş enerjisi ile test edilmiştir. Uygulama boyunca 150 den fazla deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar teorik analizlerle termodinamik açıdan değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zohar, Jelinek, Levy ve Borde, yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinin performansını arttırmaya yönelik bu çalışmalarında buharlaştırıcı üzerinde yapısal bir değişikliğe giderek normal kullanımda ön soğutmaya tabi tutulan sıvı amonyak, ön soğutmaya tabi tutmadan doğrudan buharlaştırıcıya bağlamışlardır. Teorik olarak yapılan inceleme sonucunda sistem performansının ön soğutmasız yapı sistemde ön soğutmalı (normal) sisteme göre %14–20 civarında arttığını belirlemişlerdir [4].

Arslan ve Eğrican, deneysel olarak inceledikleri buzdolabı uygulamasında kullanılan yayınlı 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 [5].

Zohar, Jelinek, Levy ve Borde, yaptıkları teorik çalışmada yayınlı 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 [6].

Zohar, Jelinek, Levy ve Borde, yaptıkları başka bir çalışmada yayınlı 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 [7].

Moreira, Santos, Ribeiro, Souza, ve Leal, soğutucu olarak amonyak, soğurucu olarak su ve basınç dengeleyici olarak da helyumun kullanıldığı yayınlı soğurmalı soğutma sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada sistemdeki kaynatıcı, kabarcık pompası, saflaştırıcı, yoğunlaştırıcı, sıvı ısı değiştirici, soğurucu ve depo, genleşme bölgesi, buharlaştırıcı, amonyak ön soğutma bölgesi ve gaz ısı değiştirici Termodinamiğin I. ve II. kanununa göre incelenmiştir [8].

Zohar, Jelinek, Levy ve Borde, 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 [9].

Srikhirin ve Aphornratana, soğutucu akışkan olarak amonyağın, soğurucu akışkan olarak suyun ve basınçlandırıcı gaz olarak da helyumun kullanıldığı yayınlı soğurmalı soğutma sistemi üzerine yaptıkları çalışmada sistem performansının kuvvetli şekilde kabarcık pompasının karakteristik özelliği ile buharlaştırıcı ve soğurucu kütle transfer performansına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır [10].

White, yayınlı soğurmalı 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 bütanın, soğurucu olarak suyun ve basınç dengeleyici olarak da amonyağın kullanıldığı Einstein soğutma çevrimi de ele alınmıştır [11].

Koyfman, Jelinek, Levy ve Borde, yayınlı soğurmalı 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 çalışma boyunca en yüksek kaynatıcı 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 [12].

Jakob, Eicker, Taki ve Cook, çalışma ısını güneş enerjisinden sağlayan bir yayınlı 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 [13].

Lin, Wang, Al-Shemeri, Zeng, Huang, He, Huang, Li ve Yang, bir dizel motorunun atık ısı ile çalıştırılan yayınlı soğurmalı soğutucuların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Ayrıca bu ısı kaynağı ile AC, DC elektrikli ısıtıcılar ile LPG gazının kullanıldığı ısıtıcının performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçta dizel motorun atık ısıyla, AC ve DC elektrikli ısıtıcılara göre daha iyi bir performans sağlanmıştır [14].

Ben Jemaa, N. Ben Issa, S. Ben Issa ve Bellagi, soğutucu olarak amonyak, soğurucu olarak suyun ve basınç dengeleyici gaz olarak hidrojenin kullanıldığı yayınlı soğurmalı soğutma sisteminin ekserji analizini yapmışlardır. İnceleme neticesinde diğer soğutma sistemlerine göre soğutma tesir katsayısı düşük çıkmıştır [15].

Chen, K.J.K. ve Herold, yayınlı 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, Bukraba, Fattuh ve Nabulsi, yayınlı 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, Stegou-Sagia ve Antonopoulos, soğurmalı soğutucularda inert gaz olarak patlama olasılığından dolayı hidrojen yerine helyumun kullanımını matematiksel denklemlerle araştırmışlardır. Sonlu-fark çözüm yöntemi ile buharlaştırıcıdaki üç boyutlu ısı ve kütle hareketini incelemişler ve helyumun hidrojenin yerine kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır [18].

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 [19].

Sözen ve Arcaklıoğlu yapay sinir ağları tekniğini kullanarak ejektörlü soğurmalı ısı dönüştürücünün ekserji kayıplarını incelemişlerdir. Çalışma ısı güneş havuzundan sağlanan sistemin performansının yükseltilmesi amacıyla soğurucu girişinde bir ejektör kullanılmıştır [20].

Sözen ve Özalp, gerekli ısının güneş enerjisinden sağlandığı ejektörlü soğurmalı soğutma sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Amonyak-su çifti kullanıldığı ejektörlü sistem ve Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli ile çalışılabilirliği termodinamik olarak incelenmiştir [21].

Sözen ve Özalp, amonyak-su çifti ile çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinde ejektör kullanımı ile sistem performansını arttırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Yoğusturucu girişine bağlanan ejektör ile sisteme üçlü basınç meydana getirilerek sistemin soğutma tesir katsayısı %49 arttırılmıştır [22].

Sözen, Arcaklıoğlu ve Özalp, ejektörlü soğurmalı çevrimin termodinamik analizini yeni bir yaklaşımla; yapay sinir ağlarıyla incelemişlerdir. Metil alkol-lityum bromür akışkan çiftinin kullanıldığı sistemde ejektör yoğusturucu girişine bağlanmıştır [23].

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 yoğusturucu girişine bağlanırken, diğerinde (model-b) soğurucu girişine bağlanmıştır. Sonuçta model-a sisteminin soğutma tesir katsayısı model-b sistemine göre daha yüksek çıkmıştır [24].

Sözen, soğurucu soğutma sistemlerindeki ısı değıştircilerinin performans üzerine etkileri hakkında bir çalışma yapmıştır. Amonyak-su çifti ile çalışan sistemin performansı termodinamik olarak analiz edilmiş ve karışım ısı değıştirici için, soğutucu ısı değıştirici için ve her ikisi için ısıl işlemlerdeki tersinmezlik incelenmiştir [25].

Jiang, Gu, Feng ve Li, üç basınçlı soğurmalı-ejektörlü karma soğutma sistemi ile küçük çift etkili soğurmalı soğutma sisteminin soğutma tesir katsayılarını (STK) karşılaştırmışlardır. Ejektörlü sistemin STK'sı 0,9–1,0 kadar, çift etkili sistemin ise biraz daha düşük çıkmıştır. Ayrıca, her iki sistem ekonomiklik açısından da değerlendirilmiş ve yıllık olarak ejektörlü sistemin toplam maliyeti çift etkili sistem göre daha düşük bulunmuştur [26].

Orian, Jelinek ve Levy, üçlü basınç ile çalışan soğurmalı soğutma sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Üçlü basınç için sistemde buharlaştırıcı ile soğurucu arasına bir ejektör bağlantısı yapılmıştır. Akışkan olarak organik çözeltilerin kullanıldığı

sistemde ejektörün püskürtme açısının, oluşan püskürmeli akışın çekirdeği ile ilgili özelliklerin farklı basınçlar altındaki durumları deneysel olarak incelenmiştir [27].

Eames ve Wu, yeni tip ejektör gücü ile soğurma ve emiş çevrimli soğutucu üzerine teorik bir çalışma yapmışlardır. Lityum-bromür akışkanının kullanıldığı sistemde ejektör kullanımı ile tek etkili sistemlere göre daha iyi soğutma tesir katsayısı (STK) elde edilmiştir [28].

Sözen, Arcaklıoğlu, Özalp ve Yücesu, ejektörlü soğurmalı ısı dönüştürücüler üzerine yaptıkları çalışmada, gerekli ısıyı güneş havuzundan sağlamışlardır. Soğurucu girişine bağlanan ejektör ile elde edilen veriler yapay sinir ağları yöntemiyle incelenmiştir [29].

Shi, Yin, Wang ve Zhu, ejektörlü soğurmalı ısı dönüştürücüler üzerine yaptıkları çalışmada, tek kademeli ısı dönüştürücü, iki kademeli ısı dönüştürücü, çift soğurmalı ısı dönüştürücü ve ejektörlü soğurmalı ısı dönüştürücü sistemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Ejektörlü soğurmalı sistemde ejektör soğurucu girişine bağlanmıştır. Elde edilen verilere göre ejektörlü soğurmalı sistemin performansı diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır [30].

3. YAYINIMLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

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 ortamdan duyulur veya gizli ısı etkisi, ışıınım, kimyasal reaksiyon, termoelektrik ve manyetik etkilerle ısı çekilebilir. Soğutma işleminin sürekli olması amacıyla çevrimler oluşturulur [31].

Soğutma işleminin gerçekleşebilmesi için ısı enerjisinin sıcaklığı düşük bir ortamdan, sıcaklığı daha yüksek bir ortama doğru akması gerekir. Bilindiği gibi Clausius'un Termodinamiğin II. Kanunu ile ilgili ifadesine uygun olarak; işlemler topluluğundan meydana gelen herhangi bir çevrimde, çevrim dışarıdan bir güç almadan düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı alarak, daha yüksek sıcaklıktaki bir diğer kaynağa ısı veremez. Dolayısıyla soğutma olayının gerçekleşebilmesi için çevrim dışarıdan ek bir güce gereksinim duyar [28].

Günümüzde soğutulacak malzemeye, miktarına, soğutma yapılacak yere, istenilen sıcaklık değerine, vb. nedenlere bağlı olarak değişiklik gösteren soğutma çevrimleri kullanılmaktadır. Soğutma çevrimlerinden uygulamada en çok rastlanılanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [1].

- Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi,
- Hava Soğutma Çevrimi,
- Isı Pompası Çevrimi,
- Yayınimli Soğurmalı Soğutma Çevrimi,
- Diğer Soğutma Çevrimleri:
 - o Termoelektrik Soğutma,
 - o Vorteks Tüpü,
 - o Paramagnetik Soğutma,

- o Sterling Çevrimi,
- o Termo Akutik Soğutma,
- o Absorbsiyon/Sıkıştırma Çevrimi.

3.2. Yayınımlı Soğurmalı Soğutma (YSS) Sistemleri

Soğurmalı soğutma sisteminin buzdolaplarında kullanılmasının geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanılmadığı dönemlerde, buzdolaplarında soğutma sistemi olarak ısıl güç ile çalışan soğurmalı sistem kullanılmıştır. Hatta bu sistem için buzdolabı uygulamasında kullanılan ilk soğutma sistemi de denilebilir. 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 [5].

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 [3].

Büyük kapasiteli soğurmalı soğutma sistemlerinde eriyiğin dolaşımı soğurucu ile kaynatıcı arasına konan bir mekanik pompa ile sağlanmaktadır. Ev tipi küçük kapasiteli yayınımlı 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 [32].

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

Sistemin bazı bölgelerinde basınç küçük değişiklikler gösterse de toplam basınç göz önüne alındığında bu değişikliklerin ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu söylenebilir [10].

Yapılan ilk deneylerde kaynatıcı, buharlaştırıcı ve soğurucu basınçları ölçülmüş ve aralarında oldukça küçük basınç farkının olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı sonraki deneylerde sadece kaynatıcının basıncı ölçülmüş ve bu ölçüm değeri sistem basıncı olarak belirlenmiştir.

Aynı zamanda basınç dengeleyici gaz olarak kullanılan hidrojen veya helyumun sistem içindeki bir diğer görevi ise sistemin basıncını belirlemektir [10].

Ayrıca sistemin ısı gücü ile çalışması ve çevrimdeki dolaşımın hiçbir mekanik parça içermeyen habbecik pompası (bubble pump) ile sağlanması sisteme sessiz çalışma imkânı da vermektedir [3].

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

- a- Yüksek miktarlardaki amonyakın, düşük basınçta soğuk su tarafından emilmesi (soğurulması) ve yüksek sıcaklık ve basınçta ayrılması özelliğine,
- b- Amonyak buharının yüksek basınç ve sıcaklıkta yoğunlaşması ve düşük sıcaklıkta buharlaşma özelliğine bağlıdır [32].

3.3. Sistemde Kullanılan Akışkanlar

Ev tipi küçük kapasiteye sahip olan yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinde, soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su, basınç dengeleyici gaz olarak da hidrojen veya helyum gazı kullanılır [3].

Amonyak-su çözeltisinin kullanıldığı yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinde seçilecek nötr gazın amonyak-su çözeltisinden daha hafif olması istenir. Ayrıca nötr gazın özelliği öyle olmalıdır ki, amonyağın bu gaz içerisinde yayılımı (difüzyonu) kolaylıkla gerçekleşebilsin. Bu şartlara uygun nötr gaz olarak, genellikle hidrojen (H_2) ve helyum (He) kullanılır [32].

Yayınlı 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 düşünüldüğünde 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, yayılım (difüzyon) katsayısının yüksek olmasının büyük bir etkisi vardır [19].

3.3.1. Soğutucu akışkan olarak amonyak (R717)

Amonyak, soğutma ve ısı pompası uygulamaları için tasarımcılar ile amonyak kullanıcıları arasında tüm güvenlik kanunları, standartları ve yasal yönetmelikleri açısından güvenli ve verimli bir soğutucu olarak kabul edilmektedir. Amonyak, ağır ve keskin kokusundan dolayı çok tehlikeli ve korkutucu gibi algılansa da, diğer risklerle karşılaştırıldığında, kaza ve ölümcül kaza oranı oldukça düşüktür [33].

Soğutucu olarak amonyak, ilk kez 1872 yılında ABD’de David Boyle tarafından sıkıştırma işleminde kullanılmıştır. Laboratuvarında patlayan eteri denedikten sonra, amonyak ile işletmeyi seçen Carl von Linde, ilk kompresörünü 1876 yılında Trieste’de bir bira fabrikası için başlatmıştır. İkinci seçimi yani amonyak daha güvenli çıkmıştır. O tarihten itibaren amonyak endüstriyel uygulamalarda kullanılan öncelikli soğutucu madde olmuştur. Bunun sebebi, amonyağın eşsiz termodinamik

özellikleri ve amonyak kullanan soğutma sistemlerinin etkin olduğu kadar verimli de olmasıdır [33].

Amonyakın buharlaşma ısısı yüksek, sıvı akış oranı düşüktür. Bu yüzden kullanılan teknoloji, başka soğutucu maddeler ile kullanılan teknolojilerden farklılık göstermektedir (Çizelge 3.1). İlerleyen teknoloji sayesinde gelecekte küçük sistemleri için bir alternatif haline gelebilecek olmasına rağmen, bu düşük sıvı akışı, amonyakın daha küçük soğutma kapasiteleri için kullanımını sınırlamıştır [33].

Çizelge 3.1. Amonyakın diğer soğutucularla -15/+30 °C da kW başına soğutma kapasitesine göre karşılaştırılması [33].

Soğutucu	Bileşim Formülü	Kaynama Noktası (°C)	Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	Sıvı Akışı (dm ³ /s)	Sıkıştırma Gazı Akışı (dm ³ /s)	COP	ODP	GWP
134a	CH ₂ FCF ₃	-26,2	217	0,0056	0,814	4,60	0	1300
407C	32/125/134a	-43,8	248	0,0055	0,492	4,51	0	1525
410A	32/125	-51,6 -51,5	271	0,0058	0,318	4,41	0	1725
507C	125/134a	-47,0	196	0,0089	0,461	4,18	0	3800
Amonyak	R717, NH ₃	-33,3	1369	0,0015	0,463	4,84	0	0
Propan	R290, C ₃ H ₈	-42,1	426	0,0074	0,551	4,74	0	3
Karbondiyoksit	R744, CO ₂	-56,6	350	0,0123	0,065	2,96	1	1

Bir soğutucunun tüm özellikleri Montreal Protokolü'nden önce liste halinde sunulmuştur. O zamandan beri çevre (ODP ve GWP), zeotropik ve azeotropik harmanlar ve süper kritik işlem basamakları da eklenmiştir. Tüm bu özellikler, soğutucu maddenin doğru bir resmini elde edebilmek için gereklidir. Örneğin HFC soğutucular, endüstriyel sistemler için tercih edilmemektedir. Çünkü kaçakları önlemek daha zordur ve şarjı yenileme maliyeti çok yüksektir [34,35].

Amonyakın önemli bir avantajı da güçlü karakteristik bir kokuya sahip olan tek soğutucu madde olmasıdır. Amonyak denildiğinde, genelde tehlikeli, zehirli ve patlayıcı ve korkunç bir kokuya sahip olduğuna dair olumsuz bir tepki verilmektedir. Oysa amonyak kokusu gerçekten de bir avantajdır, zira en küçük kaçaklar bile hemen fark edilmekte ve düzeltilebilmektedir [33].

Günümüzde yapılan yoğun çalışmalar sonucu ozonu çok az veya hiç tahrip etmeyen karışımlar geliştirilmektedir. İnorganik soğutucu akışkanlar 1900'li yıllarda çok kullanılmasına rağmen günümüzde yalnızca zehirleyici özelliği olmasına rağmen termodinamik özellikleri mükemmel olan amonyak (NH_3) kullanılmaktadır [36].

Gelecekte HFC soğutucular üzerindeki siyasi baskı daha da artacak ve bunun sonucunda amonyak gibi doğal soğutucu maddeler içeren yeni teknik çözümlerin geliştirilmesi sağlanacaktır. Amonyak, mevcut itibarından çok daha iyi bir soğutucu akışkandır. Çevreye duyarlı oluşu ve birçok soğutucu akışkan arasında en iyi etkinliği sağladığı için amonyağın yaygınlığı dünya üzerinde gün geçtikçe artmaktadır [33].

3.3.2. Soğurucu akışkan olarak su

Su hidrojen ve oksijenden oluşan, oda sıcaklığında sıvı durumda bulunan, renksiz, kokusuz, tatsız bir maddedir. Su yeryüzünde üç fiziksel durumda bulunan tek maddedir. Katı (buz), sıvı (su), gaz (su buharı). Ancak su $+4^\circ\text{C}$ 'ye kadar bütün cisimlerin tersine ısıtıldıkça büzülür, soğutuldukça da genişler. Elementlerin büyük bir ısı çıkararak birleşmesinden meydana gelen su gözle görülen ve elle tutulur bir maddedir. Ancak, elementlerden biri veya diğeri ile birleşen maddeler etkisiyle ayrışabilir. Suyun ısı kapasitesi ve buharlaşma ısısı sırası ile 15°C 'de 1 kal/gr ve 580 kal/gr olup diğer cisimlere göre yüksektir [38].

Su, eriyebilen birçok madde için çok iyi bir çözücüdür. Bu tip maddeler (hidrofilik maddeler olarak da bilinir) iyice karıştırılmak sureti ile su içinde erirler (örneğin; tuz). Su ile karışmayan maddeler ise (örneğin; yağ) hidrofobik maddeler olarak bilinirler. Bir maddenin su içindeki erime kabiliyeti, maddenin su molekülleri arasına çekilme kuvvetinin durumuna bağlıdır. Eğer maddenin su içinde erime (çözülme) kabiliyeti yoksa moleküller su molekülleri arasından dışarı itilir ve çözülme olmaz. Su iyi bilinen bir çözücü olmasından dolayı özel bir maddedir. Birçok madde suyun

polar bir molekül olmasından dolayı çok iyi çözünür. Yüklü gruplar içeren hemen tüm maddeler bu nedenle su içinde çözünme eğilimindedir [39].

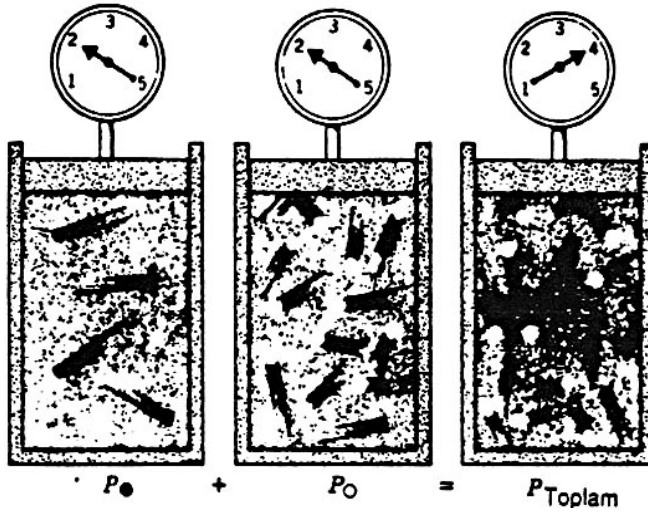
Hem suyun hem de amonyağın molekül yapısının polar olmasından dolayı aralarında oldukça kolay bağ meydana gelmekte, yani amonyak su içerisinde çözülebilmektedir. Sonuç olarak su amonyağı çok rahat bir şekilde soğurabilmektedir.

3.3.3. Basınç dengeleyici gaz olarak helyum

Yayınımlı soğurmalı soğutmalı sistemler için en iyi basınç dengeleyici gaz hidrojen gazı olup uzun yıllar boyunca kullanılmıştır [37]. 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, yayılım (difüzyon) katsayısının yüksek olmasının büyük bir etkisi vardır [19].

3.4. Dalton Yasası ve YSS Sistemiyle İlişkisi

Gaz basıncı, gaz taneciklerinin bulundukları 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 [61].



Şekil 3.1. Dalton 'un kısmi basınçlar yasası [61]

Bir gaz karışımındaki herhangi bir gazın "o kaptaki 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 [61].

Dalton Yasasına göre çalışan yayınlı 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 yayınlı (difüzyon) ilerler [62]. Böylece sistem iki basınçta (yüksek ve düşük) çalışır.

3.5. Sistemdeki Akışkan Karışımlarının Termodinamik Özellikleri

3.5.1. Amonyak-su çözeltisi

Sistemde termodinamik analizin yapılabilmesi için ilk olarak amonyak-su çiftinin oluşturduğu çözeltinin bazı termodinamik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çözeltinin termodinamik özellikleri ise, çözelti bileşenlerinin saf haldeki termodinamik özellikleri ile bulunabilir. Bundan dolayı öncelikle amonyak-su çözeltisine ait kaynama-yoğuşma sıcaklıklarına bakılmalıdır. Kaynama-yoğuşma sıcaklıkları elde edildikten sonra karışımın doyma noktasındaki özgül entalpi değerlerine ulaşılabilir. Aynı zamanda karışımın sıkıştırılmış sıvı halindeki entalpi değerlerini bulmak da mümkün olacaktır [5].

Amonyak-su çözeltisinin kaynama-yoğuşma sıcaklıklarına, çözeltinin sıvı ve buhar fazda dengede olduğu kabulü yapılarak ve bileşenlerin kısmi fugasiteleri eşitlenerek ulaşılabilir. Fakat hesaplama zamanı açısından bu yöntem uzun bir yöntemdir. Buna karşılık literatürden elde edilen amonyak-su çiftine ait kaynama-yoğuşma sıcaklıklarını veren analitik bağıntılar kullanılarak zamandan kazanılabilir [51]. Kaynama-yoğuşma sıcaklıklarına ait literatürden elde edilen analitik eşitlikler aşağıda gösterilmektedir [5].

$$T_k = T_{kr} - \sum_{i=1}^7 (c_i + \sum_{j=1}^{10} C_{ij} x^j) \left(\ln \left(\frac{P_{kr}}{14.5038 P} \right) \right)^i \quad (3.2)$$

$$T_y = T_{kr} - \sum_{i=1}^6 (a_i + \sum_{j=1}^{10} A_{ij} (\ln(1.0001 - x))^j) \left(\ln \left(\frac{P_{kr}}{14.5038 P} \right) \right)^i \quad (3.3)$$

$$T_{kr} = (1.8T_{kr,su} + 32) - \sum_{i=1}^4 a_i x^i \quad (3.4)$$

$$P_{kr} = 14.5038 P_{kr,su} \exp \left(\sum_{i=1}^8 b_i x^i \right) \quad (3.5)$$

Yukarıda belirtilen eşitliklerdeki katsayılar Çizelge 3.2., Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4. de verilmiştir. Bu eşitliklerde kullanılan basınç değerleri bar cinsinden, sıcaklık değerleri ise °C cinsinden alınmalıdır [5].

Çizelge 3.2. Eş. 3.2 için kullanılan sabit katsayılar [5].

a_i			
153.17055346	-11.7705687461	-1.78126355957	0.647385455059
-0.071995075189	0.00285423950786		
A_i			
194.7939133493	74.236124188	9.84103819552	0.436843852745
-74.3508283362	-33.2941879809	-4.78866918581	-0.225416733476
13.0175447367	6.1586564117	0.789740337141	0.0321510834958
-0.90857587517	-0.356752691147	0.0238067275502	0.0049559393395
-0.000718635742	-0.0251026383533	-0.0191664613304	-0.001701425387
0.0019544170298	0.00280533349937	0.0013899436563	0.0001164226116

Çizelge 3.3. Eş.3.1, Eş. 3.3 ve Eş. 3.4 için kullanılan sabit katsayılar [5].

a_i			
205.8889	280.930556	-317.0138889	263.194444
b_i			
0.368105524	-3.667954888	46.60004708	-262.921062
732.9953694	-1076.061349	797.948078	-235.9039042
c_i			
153.6345215	13.03055439	-1.14845283	0.550358094
-0.075345015	0.004811167	-0.000120434	
C_{ij}			
-462.4603214	23739.99863	-194504.3529	639383.5289
-523748.0576	-2.3282714755 $\times 10^6$	7.562418535 $\times 10^6$	-9.66829589 $\times 10^6$
5.92208187 $\times 10^6$	-1.4324055213 $\times 10^6$	421.4431222	-14560.35493
53051.44956	382763.7936	-3.583589869 $\times 10^6$	1.224326538 $\times 10^7$
-2.230797 $\times 10^7$	2.289665685 $\times 10^7$	-1.24833248091 $\times 10^7$	2.8133117163 $\times 10^6$
-248.7838042	4807.072411	13565.10033	-466407.7808
2.82708344 $\times 10^6$	-8.469715158 $\times 10^6$	1.445958889 $\times 10^7$	-1.428108753 $\times 10^7$
7.596403597 $\times 10^6$	-1.6840026448 $\times 10^6$	126.9655807	-2090.452706
1993.171012	100706.5104	-687388.8086	2.1324124696 $\times 10^6$
-3.69919966 $\times 10^6$	3.688365225 $\times 10^6$	-1.975122393 $\times 10^6$	440201.4461
-33.53434462	601.8785867	-3064.820707	71.79547521
51780.66666	-209714.8999	405011.9854	-428310.4616
238153.6983	-54497.09733	3.974549538	-77.02684647
541.1910581	-1696.60271	1713.459427	4019.010199
-14844.7928	19481.00946	-12107.07945	2966.928044
-0.17080617	3.481828593	-27.79575877	113.7620645
-258.7504969	311.0025852	-123.9179935	-123.4806275
154.3750421	-48.50838287		

Kaynama-yoğuşma sıcaklıkları kullanılarak amonyak-su çözeltisinin sabit basınç altındaki sıvı ve buhar fazına ait entalpi değerlerine ulaşmak mümkündür. Çözeltinin buhar fazına ait entalpi değerlerini bulmak için amonyağın ve suyun saf haldeki entalpi değerlerinin bilinmesi yeterli olacaktır. Çözeltinin sıvı fazına ait entalpi

değerleri için ise bileşenlerin saf haldeki entalpi değerlerinin bilinmesi gereklidir. Ancak amonyak-su karışımının buhar fazında mükemmel çözelti gibi davranmasına rağmen sıvı fazında aynı davranışı göstermemesinden dolayı bu yeterli değildir. Sıvı fazdaki entalpi değerinin bulunması için çözeltinin mükemmel çözelti halinden sapmasının bulunması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle sıvı fazın entalpi değerine, amonyağın ve suyun saf haldeki entalpi değerleriyle birlikte çözeltinin fazla entalpisi olarak nitelendirilen değerin bulunması ile ulaşılabilir [44]. Fazla entalpi değerinin bulunması için Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonunun kullanılması yeterli olacaktır. Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonunu veren eşitlik aşağıda gösterilmiştir [5].

$$G_{i,f} = (F_1 + F_2(2x - 1) + F_3(2x - 1)^2(1 - x)) \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte kullanılan sabit katsayıların açılmış hali aşağıda verilmiş ve aşağıdaki eşitliklere ait katsayılar ise Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Eşitliklerdeki basınç değerleri bar cinsinden sıcaklık değerleri ise K cinsinden alınmalıdır.

$$F_1 = E_1 + E_2P_i + (E_3 + E_4P_i)T_i + \frac{E_5}{T_i} + \frac{E_6}{T_i^2} \quad (3.7)$$

$$F_2 = E_7 + E_8P_i + (E_9 + E_{10}P_i)T_i + \frac{E_{11}}{T_i} + \frac{E_{12}}{T_i^2} \quad (3.8)$$

$$F_3 = E_{13} + E_{14}P_i + \frac{E_{15}}{T_i} + \frac{E_{16}}{T_i^2} \quad (3.9)$$

Çizelge 3.4. Eş. 3.6, Eş. 3.7 ve Eş. 3.8 için kullanılan sabit katsayılar [5].

E ₁ : -41.733398	E ₅ : 63.608967	E ₉ : 0.387983	E ₁₃ : -3.553627
E ₂ : 0.02414	E ₆ : -62.490768	E ₁₀ : -0.004772	E ₁₄ : 0.000904
E ₃ : 6.702285	E ₇ : 1.761064	E ₁₁ : -4.648107	E ₁₅ : 24.361723
E ₄ : -0.011475	E ₈ : 0.008626	E ₁₂ : 0.836376	E ₁₆ : -20.736547

Basınç ve sıcaklık değerlerinin boyutsuzlaştırılmasında Tr=100K, Pr=10 bar referans değerleri kullanılmıştır. Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonu kullanılarak ve Maxwell

bağıntılarından yararlanılarak karışımın sıvı fazına ait fazla entalpi değerinin bulunduğu eşitlik ise aşağıda verilmiştir [44]:

$$h_f = -RT_r T_{i^2} \left[\frac{\partial(G_{i,f} / T_i)}{\partial(T_i)} \right]_{P_{1,x}} \quad (3.10)$$

Fazla entalpi değerini kullanarak karışımın sıvı fazına ait entalpi değerinin bulunduğu ve buhar fazdaki karışımın entalpi değerinin bulunduğu bağıntılar sırasıyla aşağıda gösterilmektedir [5]:

$$h_{kar,s} = x_s h_{a,s} + (1 - x_s) h_{su,s} + h_f \quad (3.11)$$

$$h_{kar,b} = x_b h_{a,b} + (1 - x_b) h_{su,b} \quad (3.12)$$

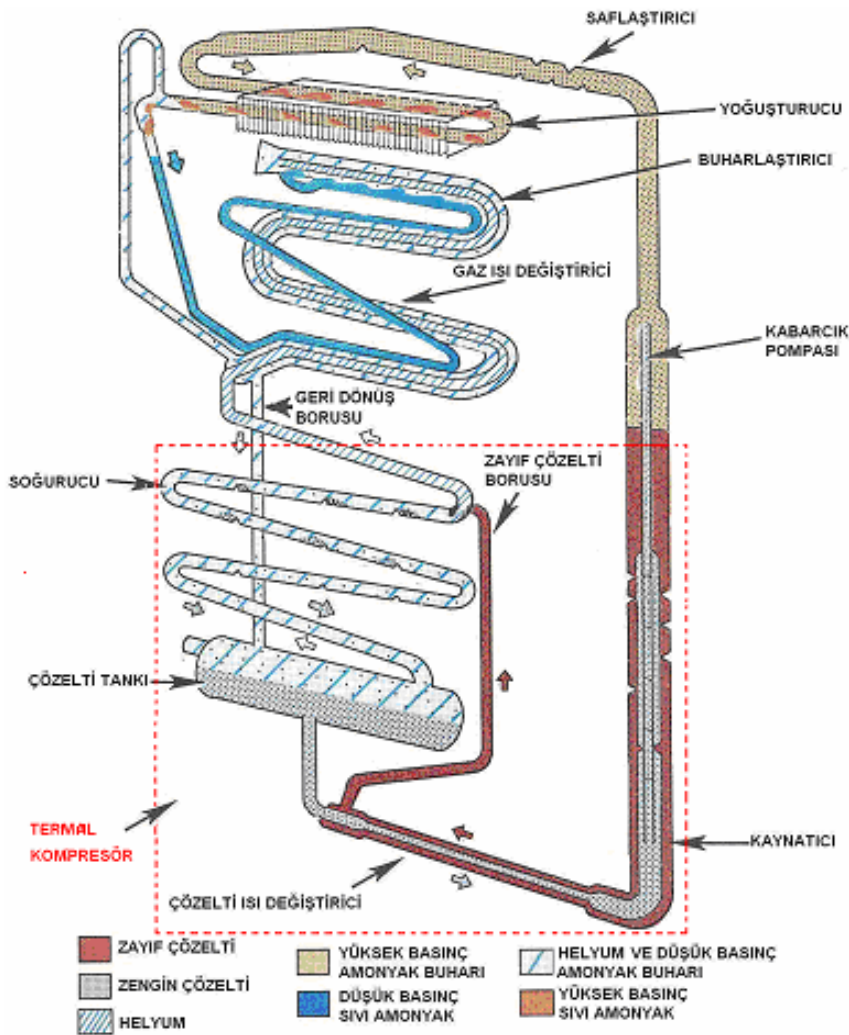
3.5.2. Amonyak buharı-helyum gazı karışımı

Amonyak buharı-helyum gazı karışımı, su buharı-kuru hava gaz karışımı (nemli hava) gibi düşünülebilir. Sistemde, su buharının yerini amonyak buharı, havanın yerini ise helyum gazı almaktadır. Su buharı-kuru hava gaz karışımının çığ noktası sıcaklığı göz önüne alındığında, hava belirli bir miktar su buharını taşıyabilir. Bu miktarın üzerindeki su buharı ise yoğunlaşarak sıvı hale geçecektir. Bu durum amonyak buharı-helyum gazı karışım için de geçerlidir. Helyum gazı doyma noktası sıcaklığında (çığ noktası sıcaklığında) belirli bir miktar amonyak buharı taşıyabilir. Bu miktarın üzerindeki amonyak buharı ise yoğunlaşmaktadır [19].

3.6. Ön Soğutmalı Yayınımlı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS1)

Yayınımlı 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 [10].



Şekil 3.2. Ön soğutmalı yayınımlı soğurmalı soğutma sistemi YSS1 [3,40].

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 [42].

3.6.1. YSS1 sistemi ile buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin karşılaştırılması

Soğurma sistemi, ilk defa Michael Faraday tarafından bir asırdan fazla zaman önce amonyakın yoğuşturulması denemeleri sırasında keşfedilmiştir. Daha sonra 1862 yılında Franz Carre tarafından yapımı gerçekleştirilen sistemde mekanik enerji yerine “ısı enerjisi” kullanılmıştır [41].

Buhar sıkıştırırmalı 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 [41].

Soğurmalı soğutma çevrimiyle buhar sıkıştırırmalı 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 [1].

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 [41].

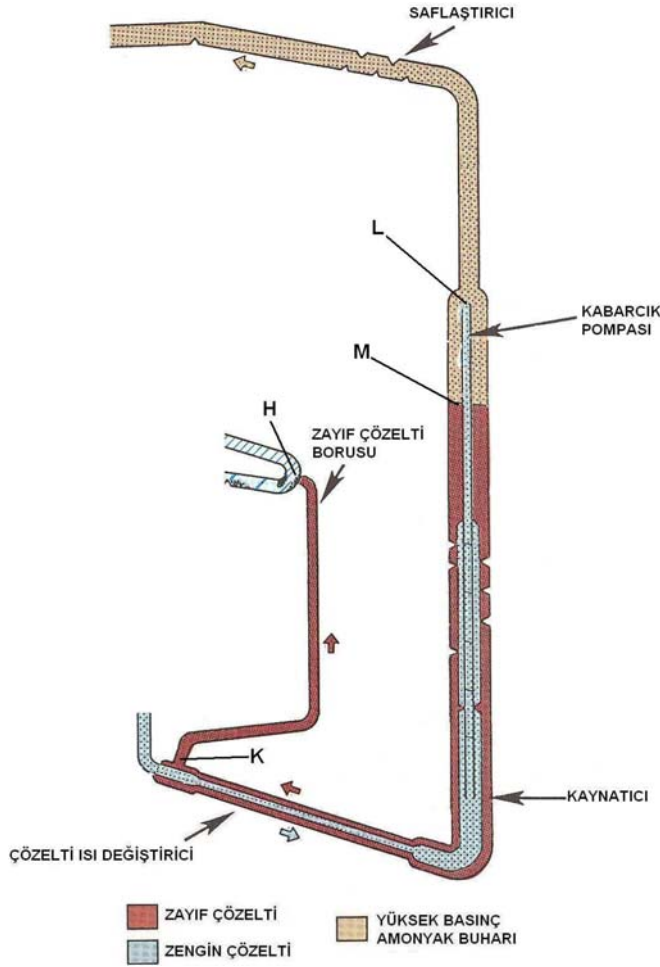
Amonyak-su çifti ile helyum veya hidrojen gazının akışkanlarını oluşturduğu yayınlımlı soğurmalı soğutma sistemini içerisinde her akışkan için birer tane olmak üzere toplamda üç ayrı çevrim meydana gelmektedir. Bunlar, soğurucu akışkan çevrimi, soğutucu akışkan çevrimi ve basınçlandırıcı gaz çevrimidir [5].

Yayınımılı soğurmalı soğutma sistemine %35 yoğunluğa sahip amonyak-su çözeltisi doldurulur. Yani çözelti kütleli olarak %35 amonyak, %65 su içermektedir [10]. Amonyak miktarının fazla olduğu çözelti “zengin çözelti” olarak, amonyak miktarının az olduğu çözelti ise “zayıf/fakir çözelti” olarak belirtilir [42].

3.6.2. YSS1 sistemi için zayıf çözelti çevrimi

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 [10].

Kaynatıcıda amonyağın çözelti içinden buharlaşarak ayrışması sonucunda sıvı fazda kalan ve amonyak bakımından fakirleşen karışım, sistemde soğurucu akışkan olarak görev yapmaktadır [5]. 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. YSS1 zayıf çözelti çevrimi [3,40].

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°C 'de kaynatıcıyı terk eden buharın saflaştırıcıdan geçerken çevreye ısı vermesi neticesinde 70°C civarına düşmesi sonucu içerdiği su buharının yoğuşması ve dış cidardan aşağıya doğru kayarak kaynatıcıya geri dönmesi ile gerçekleşir [41].

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.

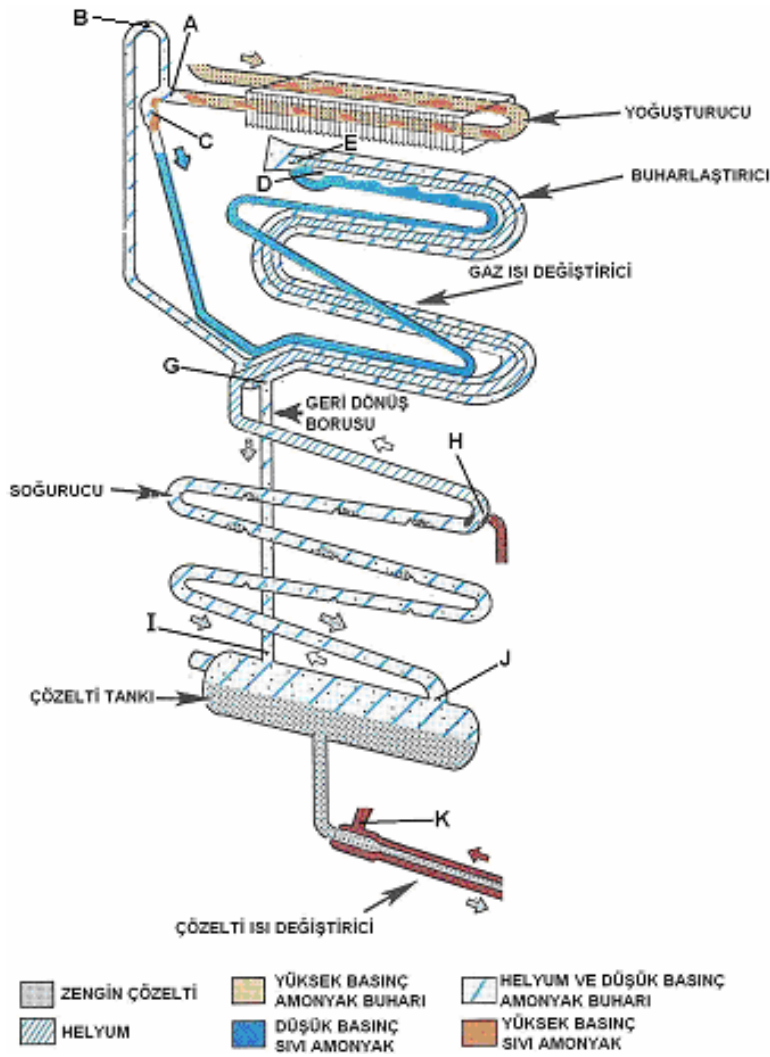
Sonuç olarak soğurucu akışkan olarak zayıf çözelti çevrimi için kaynatıcı ve soğurucu bölgeleri arasında meydana gelmektedir denilebilir [5].

3.6.3. YSS1 sistemi için amonyak ve helyum çevrimi

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 [5]. Yoğuşturucuya giren amonyak buharı 25°C civarında dışarıya ısı vererek yoğuşur [32]. 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 [4].

Yoğuşmuş düşük basınçlı amonyak (C noktası) gaz ısı değiştiricisinde ön soğutmaya tabi olur [4]. Aynı zamanda ısını heliyuma 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 ısını çekerek soğutma işlemini gerçekleştirir [32].

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 [5].



Şekil 3.4. YSS1 amonyak ve helyum çevrimi [3,40].

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 yoğunlaşmaya başlar ve yoğunlaşan amonyak zayıf çözelti tarafından soğurulur. 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 [32].

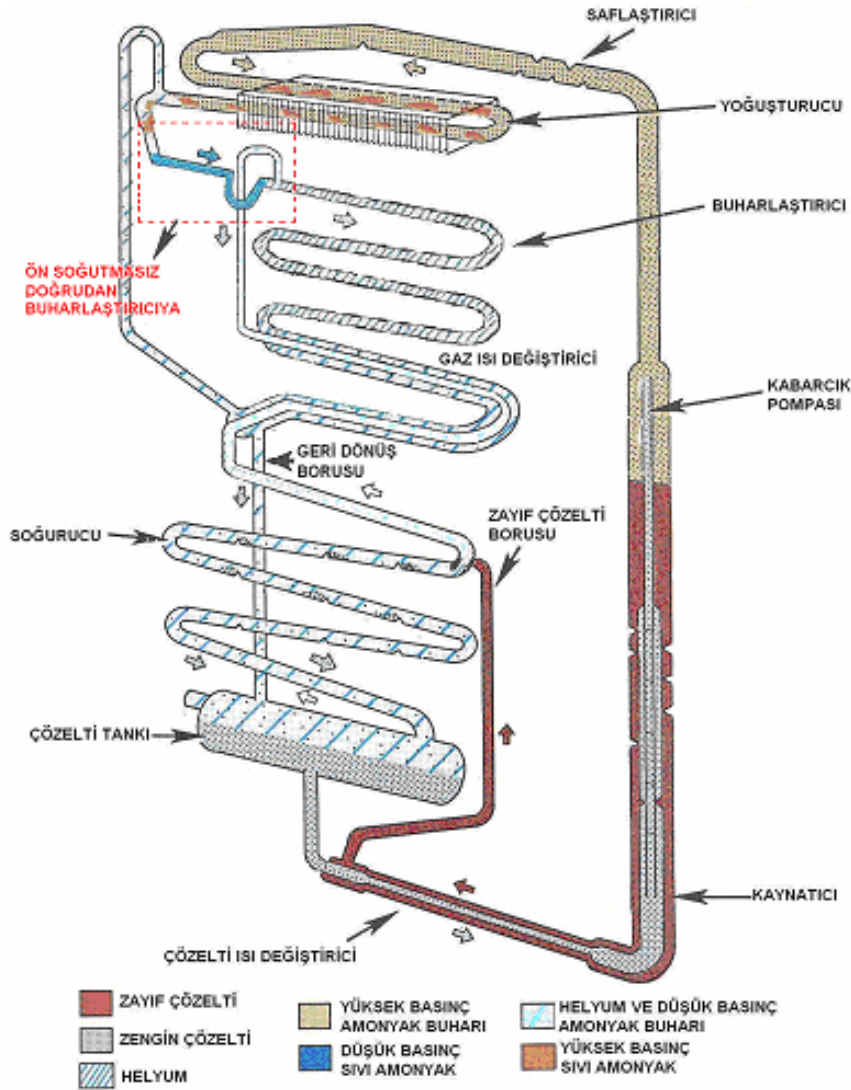
Yoğuşturucu ve gaz ısı değiştiriciden geçerek buharlaştırıcı girişine ulaşan dūřuk basınçlı sıvı amonyağın hepsi, özellikle sistemin ilk çalıştırıldığı zamanlarda, buharlaşmayıp sıvı olarak kalabilir. Böyle bir durumda da sıvı kalan amonyak buharlaştırıcının dış cidarından (D noktasından) yer çekimi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

3.7. n Soğutmasız Yayınımılı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS2)

Zohar ve arkadaşları [4], normal n soğutmalı yayınımılı soğurmalı 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/basinlandırıcı olarak da hidrojen gazı kullanılmıştır.

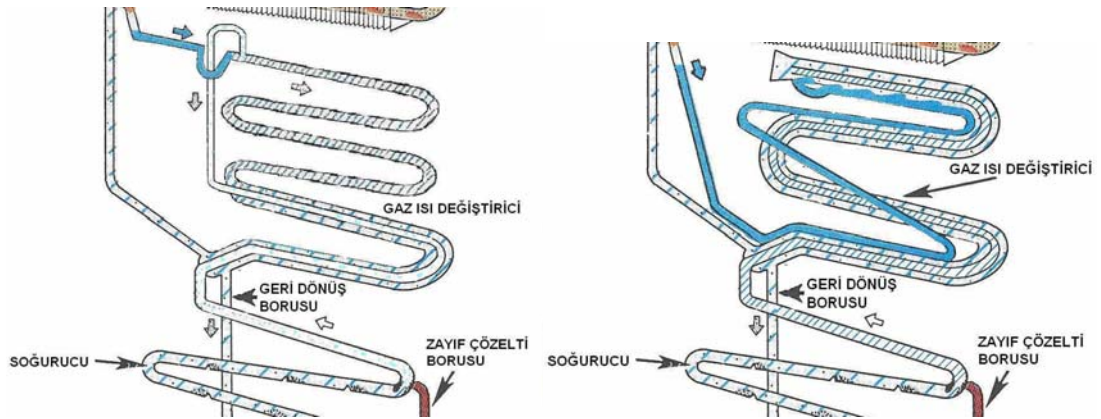
n soğutmasız yayınımılı soğurmalı soğutma sisteminin deneysel olarak incelenmesine karar verilen bu çalışmada ise Zohar ve arkadaşlarının yapmış olduğu teorik çalışmadan farklı olarak hidrojen gazı yerine helyum gazı kullanılmıştır. şekil 3.5.'de n soğutmasız YSS2 sisteminin şeması görülmektedir.



Şekil 3.5. Ön soğutmasız yayınlı soğurmalı soğutma sistemi YSS2 [4,40].

3.7.1. YSS2 sisteminin tasarımı

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.

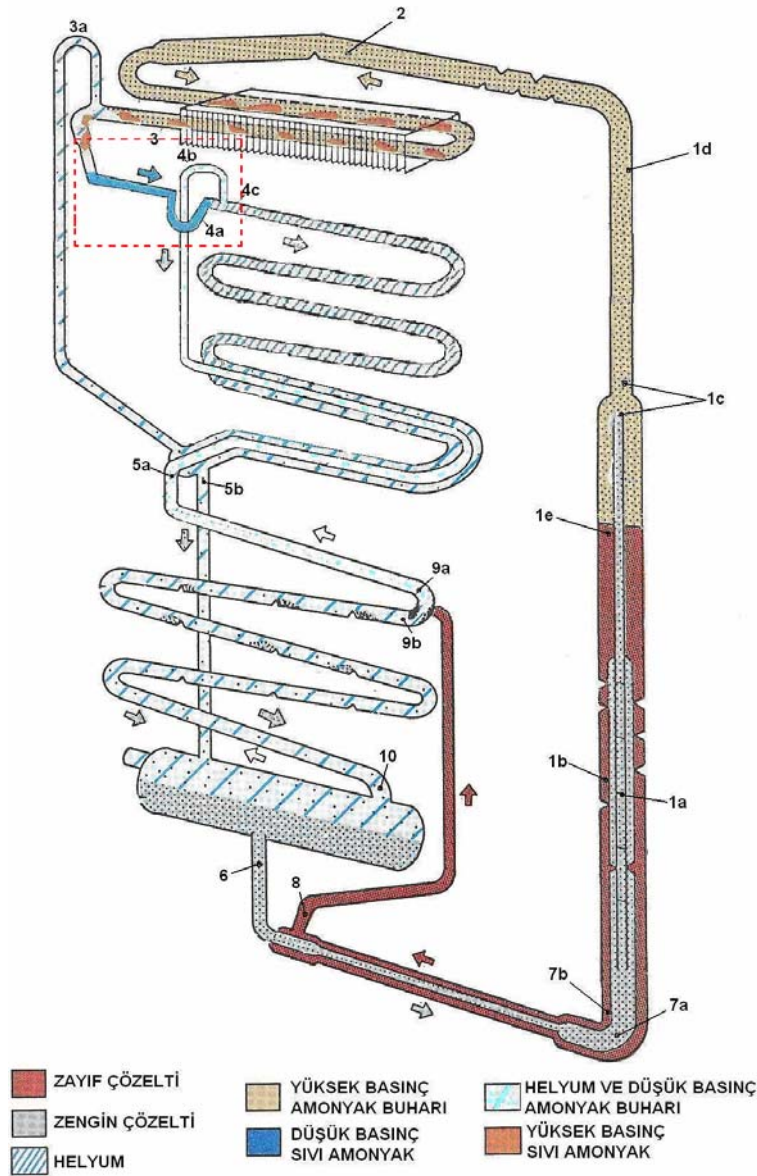


Şekil 3.6. Ön soğutmasız ve ön soğutmalı sistemlerin buharlaştırıcıları [4,40].

Ön soğutmalı sistemin buharlaştırıcı kısmı normal cihaza göre 0,5m daha uzundur. Bunun sonucu olarak da YSS2 sisteminde dolap içinde kalan buharlaştırıcı kısmı 0,5m 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 1,7lt bulunurken, ön soğutmasız YSS2 sisteminin hacmi 1,8lt olarak bulunmuştur.

3.7.2. YSS2 sisteminin çalışması

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. Diğer bütün çevrim olayları ve akışkanların sistemdeki durumu YSS1 cihazındaki ile aynıdır [4]. Şekil 3.7.'de YSS2 sisteminin çevrim şeması görülmektedir.

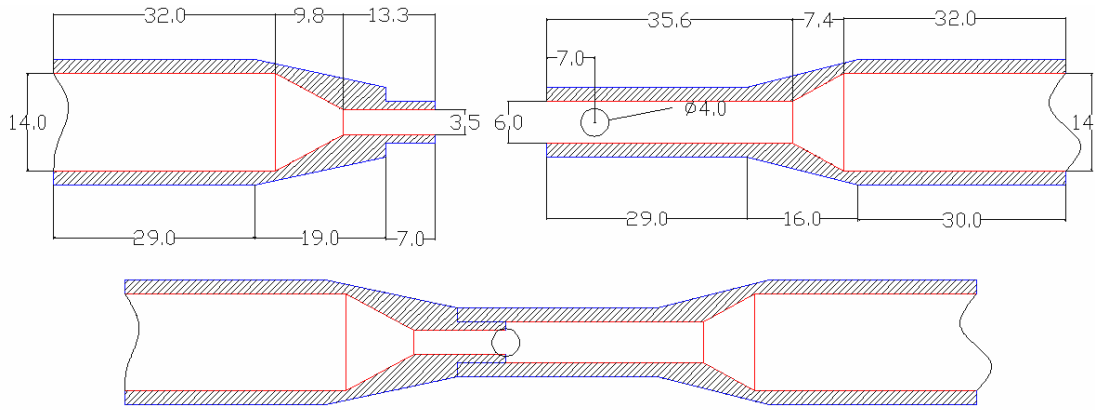


Şekil 3.7. Ön soğutmasız YSS2 sisteminin çevrim şeması [4,40].

3.8. Ejektörlü Ön Soğutmalı Yayınımı Soğurmalı Soğutma Sistemi (YSS3)

Yapılan literatür araştırmasında büyük sistemlerde ejektör kullanımının sistem performansını olumlu yönde etkilediği ve performansı arttırdığı görülmüştür [31]. Bazı çalışmalarda ejektör soğurucu girişine bazı çalışmalarda ise yoğurturucu girişine bağlanmış ve ejektörün etkisi incelenmiştir. Yapılan araştırmalar ejektör kullanımının sadece büyük sistemler için düşünüldüğünü küçük kapasiteli yayınımı soğutma sistemlerinde hiç kullanılmadığını göstermiştir. Bu nedenle küçük kapasiteli

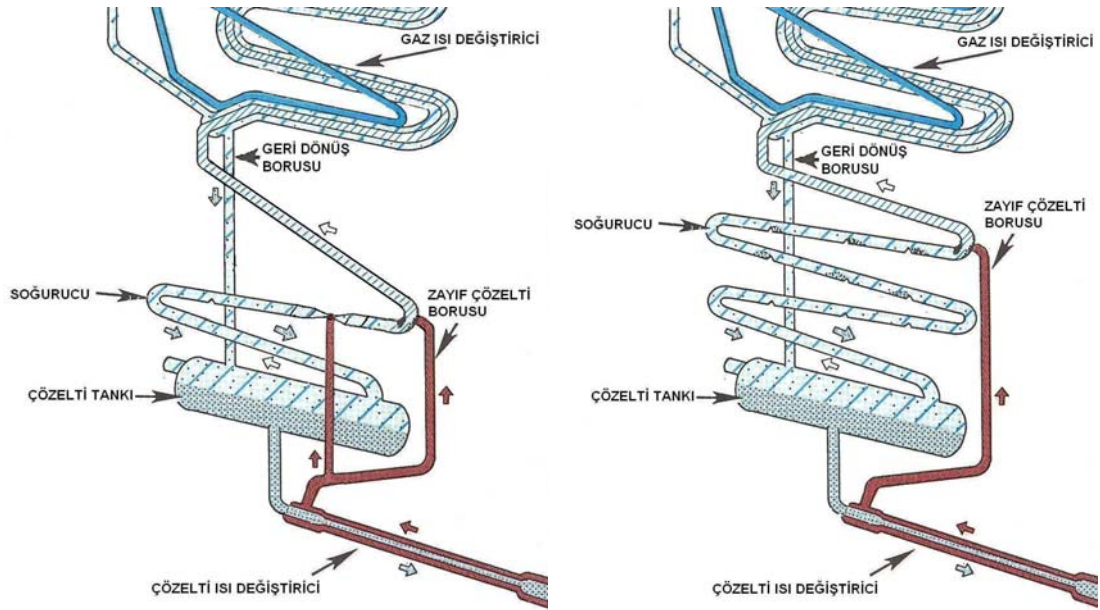
yayınımlı soğurmalı soğutma sistemlerinde ejektör kullanımının sistem performansı üzerindeki etkisini görmek amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Sözen ve arkadaşları tarafından kullanılan ejektörün tasarım ve imalatı yapılarak ön soğutmalı soğurmalı soğutma sistem olan YSS1 cihazında denenmiştir. Şekil 3.8.'de tasarım ve imalatı yapılan ejektörün (mm) cinsinden ölçüleri ve kesit geometrisi görülmektedir. Ejektörün optimum boyutları literatürde yapılan çalışmalar temel alınarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalar neticesinde boğaz çapı amonyağın geçişini sağlayacak şekilde denemelerden elde edilen verilerle tasarlanmıştır.



Şekil 3.8. İmalatı yapılan ejektörün geometrisi.

3.8.1. YSS3 sisteminin tasarımı

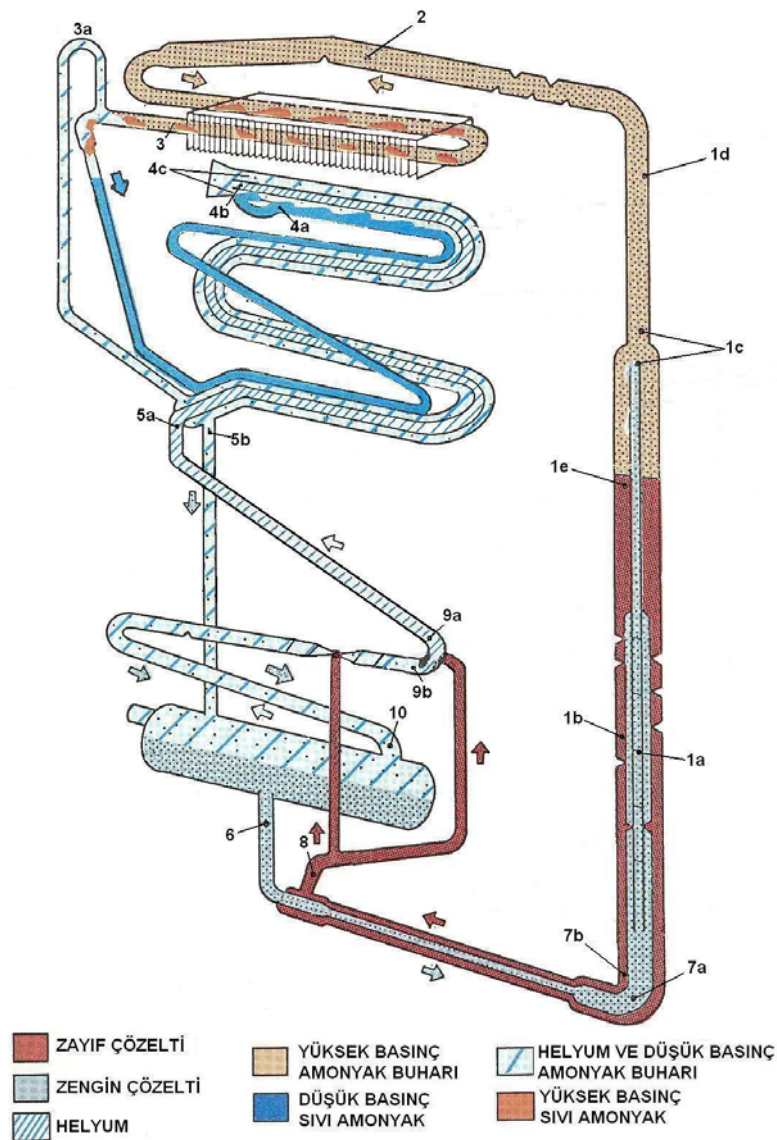
Tasarım ve imalatı yapılan ön soğutmalı YSS1 sisteminin soğurucu kısmı 1,2m kısaltılarak imal edilen ejektör soğurucu girişine bağlanmıştır. Soğurucu kısmındaki bu kısalma sonucu yapılan ölçüm ve hesaplamalar ile sistemin toplam hacmi normal sisteme göre %11 azalarak 1,51lt olarak bulunmuştur. Şekil 3.9.'da ön soğutmalı ejektörlü YSS3 sistemi ile ön soğutmalı YSS1 sistemlerinin soğurucu kısımları ile zayıf çözelti bağlantısının şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.9. YSS3 sistemi ile YSS1 sisteminin soğurucu ve zayıf çözelti bağlantısı.

3.8.2. YSS3 sisteminin çalışması

Tasarım ve imalatı yapılan ejektör yapı olarak nozul, karışım tüpü, ön soğurucu ve bir yayıcıdan meydana gelmektedir. Bu yapısı sayesinde buharlaştırıcıdan gelen amonyağın hızı artırılarak potansiyel enerjisi kinetik enerjiye çevrilir. Yayıcıda hızı düşürülüp basıncı artan gaz karışımının bu defa kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüştürülür. Bu işlemler sonucu küçük tanecikler haline gelen karışım zayıf çözelti ile çok daha iyi bir şekilde karışır ve karışımındaki amonyak zayıf çözeltideki su tarafından soğurulur. Aynı zamanda karışımın hızı da arttığından tüm sistemin de hızı arttırılmış olur. Sistemdeki diğer bütün işleyiş ön soğutmalı YSS1 sistemi ile tamamen aynıdır. Ejektör sistemde basıncı arttırır ve zayıf çözelti ile amonyağın normale göre çok daha iyi karışımın sağlar. Ayrıca sistem bağlantısı ile soğurucuda 1,2m'lik bir boru tasarrufu da sağlanarak seri imalat açısından da önemli bir kazanım sağlamaktadır. Şekil 3.10.'da ön soğutmalı ejektörlü YSS3 sisteminin çevrim şeması görülmektedir.



Şekil 3.10. Ön soğutmalı ejektörlü YSS3 sisteminin çevrim şeması.

3.9. Ejektörün Termodinamiği

Ozon tabakasına CFC'lerin etkilerini azaltarak enerji tüketimini en az seviyeye indirmek ve çevreyi korumak için ısı enerji kaynaklı birçok soğutma çevrimi (örneğin absorpsiyon ve adsorpsiyon gibi) ve ayrıca ejektörlü çevrimler son yıllarda araştırma konusu olmuştur [47].

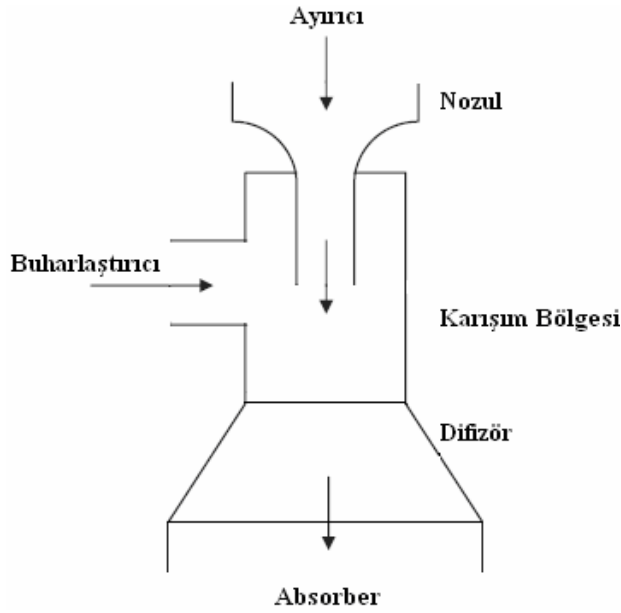
Bu sistemlerde ısı kaynağı olarak temiz enerji kullanımının yanında söz konusu amaçlar için sistemin geliştirilmesi ve soğutucu/soğurucu akışkanlarının iyi seçilmesi de gerekir. Çünkü buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde performans katsayısı (STK) 2-4 değerlerine ulaşırken, ejektörlü absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ancak 0.2-0.6 aralığında kalmaktadır [48- 49].

Rogdakis ve Alexis, optimum çalışma şartlarında ejektör tasarımı üzerine araştırma yapmışlar ve ejektörlü absorpsiyonlu sistemde ısı kazanç faktörünün, convensiyonal absorpsiyonlu sistemlere göre %0,8-37,7 daha fazla olduğunu göstermişlerdir [50].

Yine Rogdakis ve Alexis başka bir çalışmada, buharlı ejektörlü soğutma modeli üzerine araştırma yapmışlardır [51]. Ayrıca bir diğer çalışmalarında, iki farklı ejektör absorpsiyon çevrimini birbirleri ile karşılaştırmışlardır [52]. Metanol/su akışkan çiftini kullanan bir ejektörlü absorpsiyon çevriminin performansını araştırdıkları bir diğer çalışmalarında, Yunanistan'da kurulu güneş enerjili böyle bir sistemin ısı kazanç faktöründeki değişimleri incelediler [52].

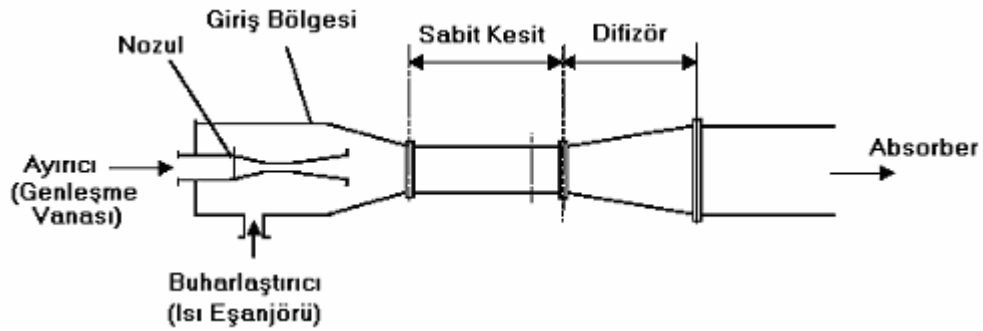
Chen ve arkadaşları, buharlı ejektörlü soğutma sistemlerinin performansı üzerine yaptıkları deneysel bir çalışmada ejektörlerin sistem performansını artırdığını göstermişlerdir [53].

Sözen ve arkadaşları, absorpsiyonlu ısı dönüştürücüler üzerine yaptıkları bir çalışmada ejektör kullanımı ile sistemin performansını %14 oranında arttırmışlardır [55]. Kullandıkları ejektörün geometrik yapısı Şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan ejektörün geometrisi [55].

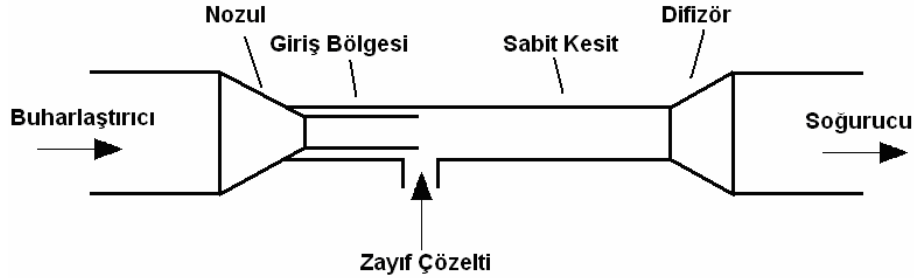
Özalp, ozon tabakasına zarar vermeyen soğutucu/soğurucu akışkan çiftlerini (metanol/LiBr, metanol/LiCl) kullandığı çalışmasında literatürde kondenser girişine yerleştirilen ejektörü absorber girişine koymuş ve böylece sistem farklı üç basınç seviyesinde çalıştırarak sistemin performans değerini arttırmıştır [31]. Şekil 3.12.'de sistemde kullanılan ejektörün görünüşüne yer verilmiştir.



Şekil 3.12. Ejektör geometrisi [31].

Literatür araştırması sonucu yayınlımlı soğurmalı soğutma (YSS) sistemleri için en uygun ejektör geometrisinin Sözen ve arkadaşları tarafından kullanılan geometrinin

olduğu görülmüştür. Şekil 3.13.'de YSS sisteminde kullanılan ejektörün geometrik yapısı verilmiştir.



Şekil 3.13. YSS sistemi için tasarlanan ejektörün geometrisi

Bir ejektör temelde; giriş bölgesi, nozul, sabit kesit bölgesi ve difüzörden oluşur. Buharlaştırıcıdan gelen amonyak ejektörün nozul kısmında hızlandırılır. Diğer taraftan kaynatıcıda ayrılan zayıf çözelti ejektörün giriş bölgesine ulaşır. Sabit kesitli kısımda buharlaştıracıdan gelen amonyak ile kaynatıcıdan gelen zayıf çözeltinin birbirleriyle teması sağlanır. Elde edilen yeni karışım difüzörden geçtikten sonra soğurucuya ulaşır [31].

Nozul, difüzör ve giriş bölgelerinin çap ve uzunlukları ile kaynatıcıdan gelen zayıf çözeltinin ve buharlaştıracıdan gelen amonyağın debileri, ejektör kapasitesini ve performansını tayin eder. Ejektöre giren bu akışkanların kütleli debi toplamaları, sıkıştırılmış akışkanın kütleli debisini verir. Ejektör performansı; akış hızı, genişleme ve sıkıştırma oranları ile tanımlanır. Kütle oranı (w) buharlaştıracıdan gelen amonyak ile kaynatıcıdan gelen zayıf çözeltilerinin birbirine bölümüdür [31].

3.9.1. Ejektörün matematiksel modeli

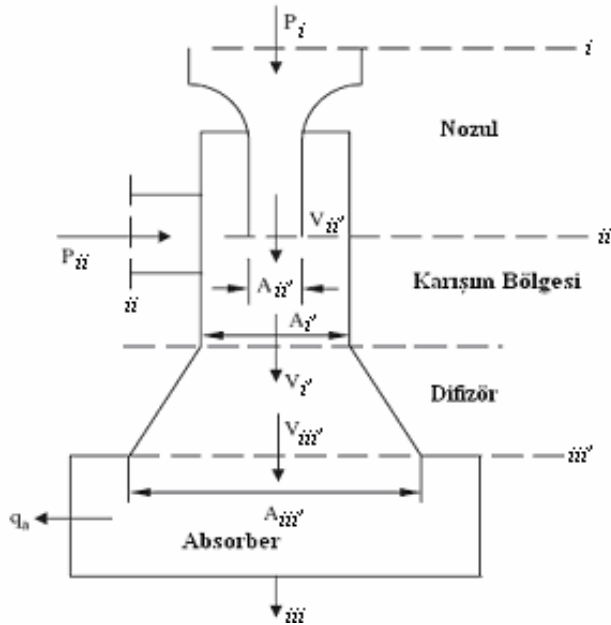
Sun ve Eames ejektörlerin matematik modellemesi ve tasarımı üzerine yaptıkları bir çalışmada ejektör analizinde iki temel yaklaşımın olduğunu göstermiştir. Bunlardan ilki ayırıcı ve buharlaştıracıdan gelen akışların karışması, diğeri sabit basınç veya sabit alandır [54].

Temel matematik model Keenan ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş, daha sonra birçok model ortaya konulmuştur. Bu çalışmada ele alınan modellemede aşağıdaki kabuller yapılmıştır [49]:

- Ayırıcıdan gelen karışım nozulda izentropik genişlemeye maruz kalır. Ayrıca, difüzöre her iki yönden gelen karışımlar izentropik olarak sıkışır.
- Buharlaştırıcı ve ayırıcıdan gelen akışkanların karışması giriş bölgesinde olur.
- Akış adyabatiktir.
- Sürtünme kaybı; nozul, difüzör ve karışma bölgesinde izentropik verimlerle tarif edilir.
- Ejektör içindeki akış bir boyutlu ve kararlı haldedir.

3.9.2. Ejektörün termodinamik analizi

Bu çalışmada tasarım ve imalatı tercih edilen Sözen ve arkadaşları tarafından kullanılan ejektörün termodinamik analizi için referans noktaları Şekil 3.14.'de verilmektedir. Yaptıkları analiz sonucu aşağıdaki denklemleri geliştirmişlerdir [55].



Şekil 3.14. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan ejektörün analizi için referans noktaları [55].

Buharlaştırıcıdan gelen akışkanın nozuldan çıkış hızı,

$$V_{ii'}^2 = \eta_N 2(P_i - P_{ii'}) / \rho_i \quad (3.13)$$

eşitliği ile bulunur. Akışkanın kütle akış oranı için,

$$\dot{m}_i = \rho_i V_{ii'} \cdot A_{ii'} \quad (3.14)$$

eşitliği kullanılır. Meydana gelen karışımın kütle akış oranı hesabı,

$$\dot{m}_T = \dot{m}_i + \dot{m}_n = A_{i'} \cdot V_{i'} \cdot \rho_{i'} = \dot{m}_{ii'} \quad (3.15)$$

eşitliği ile yapılır. Karışım bölgesinin momentum dengesinde ise,

$$\dot{m}_i \cdot V_{ii'} + P_{ii'} \cdot A_{i'} = (\dot{m}_i + \dot{m}_n) V_{i'} = P_{i'} \cdot A_{i'} \quad (3.16)$$

eşitliği kullanılır. Eş.(3.13), Eş.(3.14), Eş.(3.15) ve Eş.(3.16) birlikte düşünüldüğünde karışım bölgesindeki basınç artışı,

$$\frac{P_{i'} - P_{ii'}}{\frac{1}{2} \rho_{ii'} V_{ii'}^2} = 2 \left(\frac{A_{ii'}}{A_{i'}} \right) - 2 \left(\frac{\dot{m}_n + \dot{m}_i}{\dot{m}_i} \right)^2 \left(\frac{\rho_i}{\rho_{i'}} \right) \left(\frac{A_{ii'}}{A_{i'}} \right) \quad (3.17)$$

ile ifade edilmektedir. Difüzör için enerji eşitliği,

$$\eta_D \left(\frac{\rho_{i'} \cdot V_{i'}^2 - \rho_{iii'} \cdot V_{iii'}^2}{2} \right) = \frac{1}{\rho_{iii'}} (P_{iii'} - P_{i'}) \quad (3.18)$$

şeklindedir. Karışımın difüzör çıkış hızı için,

$$V_{iii'} = \frac{1}{A_{iii'} \cdot \rho_{iii'}} \dot{m}_{iii'} \quad (3.19)$$

eşitliği kullanılır. Soğurucu basıncı için,

$$P_s = P_{iii} = P_{iii'} \quad (3.20)$$

eşitliği kullanılırken kütleli debi için,

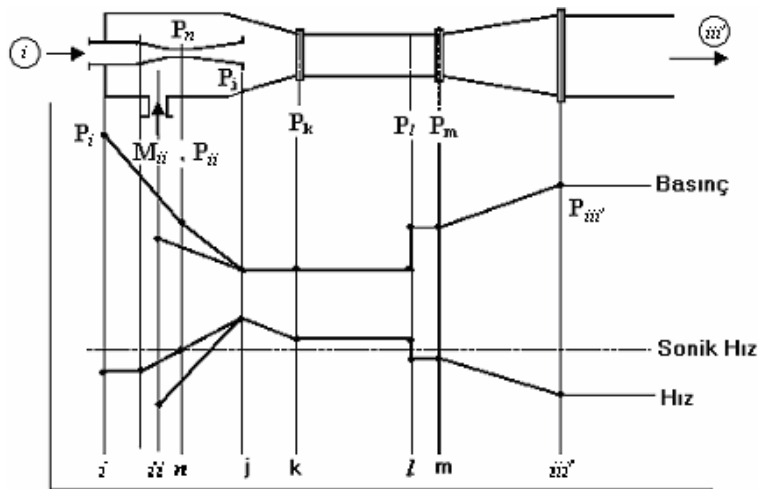
$$\dot{m}_s = \dot{m}_{iii'} \quad (3.21)$$

eşitliği kullanılır. Soğurucu basıncının buharlaştırıcı basıncına oranıdır (ε) ve,

$$\varepsilon = P_s / P_b \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir.

Literatürde termodinamik analizi yapılmış diğer bir ejektör ise Özalp tarafından kullanılan tasarımıdır. Şekil 3.15.'de analizi yapılan ejektör üzerindeki basınç ve hızlardaki yükselme ve düşüşler gösterilmiştir [31].



Şekil 3.15. Ejektör içinde basınç ve hızlardaki yükselme ve düşüşler [31].

Şekil 3.14.'den görüldüğü gibi, ejektöre giren karışımların basınç ve hızları farklı bölgelerde değişmiş veya aynı kalmıştır. Özalp bu şekil göz önüne alınarak aşağıdaki denklemleri geliştirmiştir [31].

Ejektör içindeki karışım kütlesi, buharlaştırıcı ve ayırıcıdan gelen karışımların kütlelerinin toplamına eşittir.

$$\dot{m}_n + \dot{m}_i = \dot{m}_{ii'} \quad (3.23)$$

Burada:

$\dot{m}_n$: Buharlaştırıcıdan gelen karışımın kütleli debisi

$\dot{m}_i$: Ayırıcıdan gelen karışımın kütleli debisi

$\dot{m}_{ii'}$: Ejektörden çıkan karışımın kütleli debisi

dir.

Nozuldaki izentropik genişleme, ayırıcıdan gelen karışımın, nozul çıkışındaki Mach sayısı ile ifade edilebilir. Şekil 3.14'deki nozul kontrol hacmi olarak kabul edildiğinde, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji yükleri birbirine eşit olacaktır.

$$dQ_{k.h.} + \delta W_{k.h.} + (h_0 + \frac{V_0^2}{2} + gz_0) d\dot{m}_0 - (h + \frac{V^2}{2} + gz) d\dot{m} = dE_{k.h.} \quad (3.24)$$

Eş 3.24'de, nozuldaki potansiyel enerji çok düşük olduğundan ihmal edilebilir ($\delta W_{k.h.} = 0$). İzentropik değişim söz konusu olduğundan $dQ_{k.h.} = 0$ olur. Sürekli akış halinde $dE_{k.h.} = 0$ olduğu düşünülürse Eş 3.24:

$$h_0 = h + \frac{V^2}{2} \quad (3.25)$$

eşitliğine dönüşür. Entalpi ifadesi için

$$h = C_p T \quad (3.26)$$

bağıntısı ve C_p ifadesi için,

$$C_p = \frac{Rk}{k-1} \quad (3.27)$$

ifadesi kullanıldığında, Eş. 3.25'den,

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{1}{C_p T} \frac{v^2}{2} \quad (3.28)$$

bağıntısı elde edilir. Mach sayısı için,

$$M = \frac{v}{c} \quad (3.29)$$

eşitliği yazılırsa; c , ısı hızının,

$$c = \sqrt{kRT} \quad (3.30)$$

ifadesi de hesaba katılarak,

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2 \quad (3.31)$$

ifadesi elde edilir. Nozul verimi, izantropik işlemdeki entalpi değişiminin, gerçek değişime oranı olarak tarif edilmektedir:

$$\eta_{\text{nozul}} = \frac{h_0 - h_j}{h_i - h_j} \quad (3.32)$$

Burada $h_0 - h_j$ ifadesi yerine Eş. 3.25'deki karşılığı yazılırsa nozul verimi:

$$\eta_{nozul} = \frac{1}{2} \frac{v_{ij}^2}{h_i - h_j} \quad (3.33)$$

ifadesine dönüşür. Bu ifade Eş. 3.26 ve Eş. 3.30 ile birlikte düşünüldüğünde,

$$\eta_{nozul} = \frac{1}{2} \frac{M_{ij}^2 k R T_j}{C_p (T_i - T_j)} \quad (3.34)$$

bağıntısı bulunur. Eş. 3.23'ün hesaba katılmasıyla ve Mach sayısının bu eşitlikten çekilmesiyle,

$$M_{ij} = \left(\frac{2\eta_{nozul}}{k-1} \right) \left(\frac{T_i}{T_j} - 1 \right) \quad (3.35)$$

ifadesi elde edilir. Eş. 3.35'de $\frac{T_i}{T_j}$ ifadesini basınç ifadesi cinsinden yazmak gereklidir. İzantropik değişim söz konusu olduğunda,

$$Pv^k = P_x v_x^k \quad (3.36)$$

olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan ideal gaz denklemi,

$$Pv = RT, \quad P = \rho RT \quad (3.37)$$

olarak yazılabilir. Eş. 3.36 ve Eş. 3.37, 6 ve j noktaları için düşünüldüğünde,

$$P_i v_i^k = P_j v_j^k \quad (3.38)$$

$$P_i v_i = RT_i \quad (3.39)$$

$$P_j v_j = RT_j \quad (3.40)$$

ifadeleri elde edilir. Eş. 3.38, Eş. 3.39 ve Eş. 3.40'dan,

$$\frac{T_i}{T_j} = \left(\frac{P_i}{P_j} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3.41)$$

eşitliği bulunur. Eş. 3.41, Eş. 3.35'de yerine yazıldığında,

$$M_{ij} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{P_i}{P_j} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]} \quad (3.42)$$

eşitliği bulunur. Giriş bölgesinde buharlaştırıcıdan gelen karışımın izentropik genişlemesi, nozul çıkışına ulaşan bu karışımın Mach sayısı ile ifade edilir:

$$M_{ij} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{P_{ii}}{P_j} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]} \quad (3.43)$$

Karıştırma işlemi, bir boyutlu süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve enerji denklemleriyle modellenebilir. Bu denklemler, ayırıcı ve buharlaştırıcıdan gelen karışımların kritik Mach sayısını ifade etmek için kullanılmıştır.

Kütle oranları için,

$$w = \frac{n\dot{x}_i}{n\dot{x}_t} \quad (3.44)$$

Sıcaklık oranları için,

$$\tau = \frac{T_{ii}}{T_i} \quad (3.45)$$

eşitliklerini kullanmak ifadeleri kolaylaştıracaktır. Eş. 3.23,

$$\frac{n\dot{m}_i}{n\dot{m}_i} + 1 = \frac{n\dot{m}_i}{n\dot{m}_i} \quad (3.46)$$

olarak yazılabilir. Eş. 3.46 ile birlikte, Eş. 3.44 dikkate alındığında,

$$n\dot{m}_{ii} = n\dot{m}_i(1 + w) \quad (3.47)$$

eşitliği elde edilir.

Momentum denklemi, Şekil 3.35’de ejektöre giren ve çıkan karışımlar için yazılırsa, Eş. 3.23 hesaba katılarak,

$$n\dot{m}_i v_{ij} + n\dot{m}_{ii} v_{iij} = n\dot{m}_i v_l \quad (3.48)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte her iki taraf $n\dot{m}_i$ ile bölünür ve Eş. 3.44 ile Eş. 3.47 düşünülürse,

$$v_{ij} + wv_{iij} = (1 + w)v_l \quad (3.49)$$

bağıntısı bulunur. İşlemleri kolaylaştırmak için,

$$M^* = \frac{v}{v_{kr}} \quad (3.50)$$

olarak tarif edilir ve bu eşitlik ij, iij, l noktaları için yazılırsa,

$$M_{ij}^* = \frac{v_{ij}}{v_{ijkr}}, \quad M_{ij}^* = \frac{v_{ij}}{v_{ijkr}}, \quad M_l^* = \frac{v_l}{v_{lkr}} \quad (3.51)$$

bağıntıları elde edilir.

Kritik halde $M=1$ 'dir. Eş. 3.31'den,

$$\frac{T_0}{T} = \frac{k+1}{2} \quad (3.52)$$

ifadesi elde edilir. Eş. 3.29'dan,

$$v_{jkr} = c_{jkr} = \sqrt{kRT_{kr}} \quad (3.53)$$

bulunur. Eş. 3.30 ve Eş. 3.52'den,

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{2kRT_0}{k+1}} \quad (3.54)$$

olduğu görülebilir. Eş. 3.49, Eş. 3.53 ve Eş. 3.54 birlikte düşünülerek;

$$M_{ijn}^* \sqrt{\frac{2kRT_i}{k+1}} + wM_{ij}^* \sqrt{\frac{2kRT_{ii}}{k+1}} = (1+w)M_l^* \sqrt{\frac{2kRT_l}{k+1}} \quad (3.55)$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlikte gereken sadeleştirmeler yapılarak,

$$M_{ij}^* \sqrt{T_i} + wM_{ij}^* \sqrt{T_{ii}} = (1+w)M_l^* \sqrt{T_l} \quad (3.56)$$

ifadesi elde edilir. Diğer taraftan Eş. 3.49, entalpi için düşünüldüğünde;

$$h_{ij} + wh_{ij} = (1+w)h_l \quad (3.57)$$

ifadesi yazılabilir. Eş. 3.26 hesaba katıldığında,

$$C_p T_i + w C_p T_{ii} = (1 + w) C_p T_l \quad (3.58)$$

eşitliği bulunur. Bu ifadeden, Eş. 3.45 de gözönüne alınarak,

$$\sqrt{\frac{T_i}{T_l}} = \sqrt{\frac{(1 + w)}{(1 + w \cdot \tau)}}, \quad \sqrt{\frac{T_{ii}}{T_l}} = \sqrt{\frac{(1 + w)}{(1 + w \cdot \tau)}} \quad (3.59)$$

bağıntısı elde edilir. Eş. 3.45, Eş. 3.56 ve Eş. 3.59 birlikte düşünüldüğünde,

$$M_{ij}^* \sqrt{\frac{(1 + w)}{(1 + w \cdot \tau)}} + w M_{ij}^* \sqrt{\frac{(1 + w)}{(1 + w \cdot \tau)}} = (1 + w) M_l^* \quad (3.60)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade M_l^* için düzenlendiğinde,

$$M_l^* = \frac{M_{ij} + w M_{ij} \sqrt{\tau}}{\sqrt{(1 + w\tau)(1 + w)}} \quad (3.61)$$

eşitliği bulunur. Burada M_l^* , kritik şartlarda yerel akışkan hızının ses hızına oranıdır.

M^* ile M arasındaki bağıntıyı bulabilmek için, Eş. 3.50 ve Eş. 3.54'den faydalanılabilir:

$$v_{kr} = \frac{v}{M^*} = \sqrt{\frac{2kRT_0}{k + 1}} \quad (3.62)$$

$v = M \sqrt{krT}$ olduğu hesaba katılırsa, Eş. 3.62;

$$\frac{M \sqrt{krT}}{M^*} = \sqrt{\frac{2kRT_0}{k + 1}} \quad (3.63)$$

eşitliğine dönüşür. Bu ifadede $\frac{T_0}{T}$ yerine Eş. 3.31'deki karşılığı konulduğunda:

$$\left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right) \frac{2}{k+1} = \frac{M^2}{M^{*2}} \quad (3.64)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadeden M^* terimi çekilirse;

$$M^* = \sqrt{\frac{M^2(k+1)}{M^2(k-1)+2}} \quad (3.65)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik M_{ij}^* , M_{iij}^* ve M_4^* 'ı hesaplamak için kullanılır.

Şok dalgasından sonra karışımın basıncını ve Mach sayısını (P_m, M_m) bulmak amacıyla hareket miktarı denklemi l ve m noktaları için yazılabilir:

$$(P_l - P_m)A = n(V_m - V_l) \quad (3.66)$$

Diğer taraftan l ve m noktaları için süreklilik denklemi uygulanırsa:

$$n = \rho_l AV_l = \rho_m AV_m \quad (3.67)$$

eşitliği bulunur. Eş. 3.66 ve Eş. 3.67 birlikte düşünülerek,

$$P_l - P_m = \rho_m V_m^2 \rho_l V_l^2 \quad (3.68)$$

bağıntısı elde edilir.

Eş. 3.39, Eş. 3.30 ve Eş. 3.37'den ;

$$c^2 = \frac{kP}{\rho} \quad (3.69)$$

eşitliği elde edilebilir. Eş. 3.29 ve Eş. 3.69, Eş. 3.68'de gereken yerlere yazılırsa;

$$\frac{P_m}{P_l} = \frac{1 + kM_l^2}{1 + kM_m^2} \quad (3.70)$$

bağıntısı bulunur. Eş. 3.70'den j ve l noktaları arasında basıncın sabit kaldığı görülür. Buna göre:

$$P_j = P_k = P_l \quad (3.71)$$

eşitliği yazılabilir.

Eş. 3.37, m ve l noktaları için yazılırsa:

$$\frac{T_m}{T_l} = \frac{P_m / \rho_m R}{P_l / \rho_l R} \quad (3.72)$$

eşitliği bulunur. Eş. 3.67'dan;

$$\frac{\rho_l}{\rho_m} = \frac{V_m}{V_l} \quad (3.73)$$

olarak yazılır ve Eş. 3.29 ve Eş. 3.30 ile Eş. 3.70 hesaba katılırsa, Eş. 3.72;

$$\frac{T_m}{T_l} = \left(\frac{1 + kM_l^2}{1 + kM_m^2} \right) \frac{M_m^2}{M_l^2} \quad (3.74)$$

eşitliğine dönüşür. Eş. 3.31, m ve l noktaları için ayrı ayrı yazıldığında;

$$\frac{T_m}{T_l} = \frac{1 + \frac{1}{2}(k-1)M_l^2}{1 + \frac{1}{2}(k-1)M_m^2} \quad (3.75)$$

eşitliği elde edilir. Eş. 3.74 ve Eş. 3.75 birbirine eşit olan iki denklemdir. Bu denklemler birbirine eşitlenerek M_m için çözülebilir:

$$M_m^2 = \frac{2 + (k-1)M_l^2}{2kM_l^2 - (k-1)} \quad (3.76)$$

Bu eşitlik şok dalgasından sonraki Mach sayısını vermektedir.

Difüzördeki basınç artışı; Eş. 3.42, 1' ve m noktaları için yazılarak bulunabilir.

$$\frac{P_{1'}}{P_m} = \left[\frac{\eta_d (k-1)}{2} M_s^2 + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (3.77)$$

Nozul boğazının kesit alanı, kritik şartlarda,

$$\frac{P_i}{P_n} = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3.78)$$

eşitliği ile Eş. 3.30 ve Eş. 3.42 dikkate alınarak bulunabilir,

$$A_i = \frac{m_i}{P_i} \sqrt{\frac{RT_i}{k\eta_{nozul}} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{(k+1)/(k-1)}} \quad (3.79)$$

Bu denklemden yararlanarak i, j ve k noktaları arasında,

$$\frac{A_n}{A_k} = \frac{P_{ii}}{P_i} \left(\frac{1}{(1+w)(1+w\tau)} \right)^{1/2} \frac{\left(\frac{P_j}{P_{ii}} \right)^{1/k} \left[1 - \left(\frac{P_j}{P_{ii}} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \right]^{1/2}}{\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left(1 - \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.80)$$

ve

$$\frac{P_j}{P_n} = \left[\frac{1}{M_{ij}} \left(\frac{2}{k+1} \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{ij}^2 \right) \right) \right]^{(k+1)/(k-1)} \quad (3.81)$$

eşitlikleri bulunabilir. Ejektöre girişte,

$$P_i = P_4 \quad (3.82)$$

olarak alınmıştır. Ayrıca,

$$n_4 = n_5 \quad (3.83)$$

olarak alınmıştır. Ejektördeki basınç artışı Eş. 3.81 kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklık artışı, Eş. 3.41 ve Eş 3.81 birlikte düşünülerek bulunmuştur [31].

4. ISI KAYNAĞINA GÖRE YSS SİSTEMLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Ev tipi küçük kapasiteli soğurmalı soğutma sistemi olarak da adlandırılabilen yayınlı soğurmalı soğutma sistemleri (YSS), çeşitli ısı kaynakları ile çalışabilir. Bu ısı kaynakları; gaz yağı, doğal gaz, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), buhar, elektrikli fişek rezistans, jeotermal ve güneş enerjisi şeklinde belirtilebilir [2].

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada tasarım ve imalatı yapılan cihazlar, yaygın kullanım olarak elektrikli ısıtıcı ile alternatif enerji kaynaklarından sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile denenmiştir.

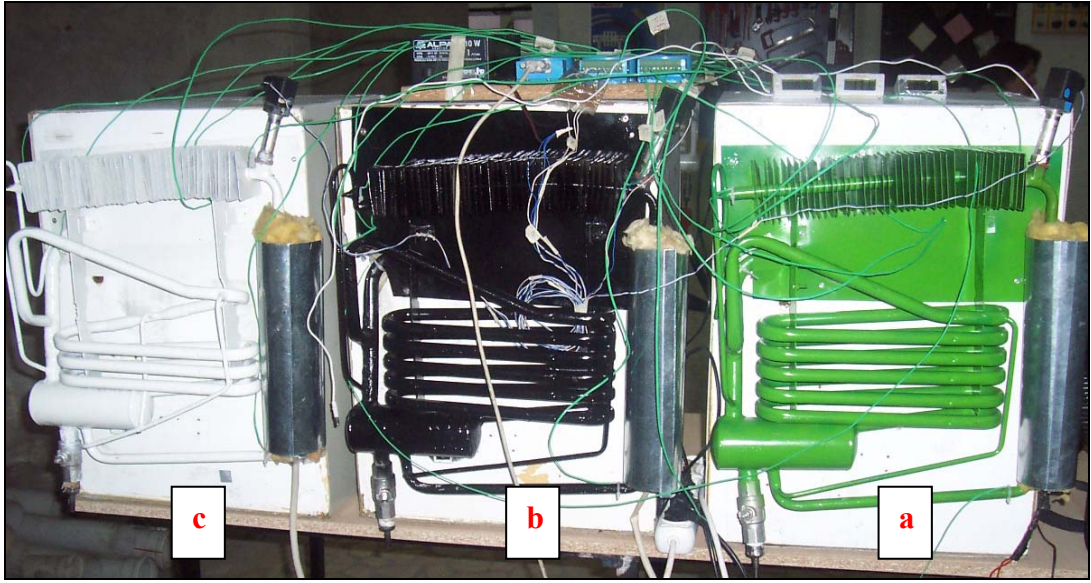
Elektrikli ısıtıcı ve LPG ile ön soğutmalı yayınlı soğurmalı soğutma sistemi (YSS1), ön soğutmasız yayınlı soğurmalı soğutma sistemi (YSS2) ve ejektörlü ön soğutmalı yayınlı soğurmalı soğutma sistemi (YSS3) cihazları aynı anda, YSS1 ve YSS2 cihazları ayrı ayrı güneş enerjisi ile denenmiştir. Bütün deneylerde %35'lik 408 gr amonyak-su çözeltisi ile 15 bar civarında helyum gazı kullanılmıştır. Tasarım, imalat ve denemeler süresince 150'den fazla deney yapılmış olup, burada üçlü elektrikli ısıtıcılı, üçlü LPG'li ve ayrı ayrı iki adet güneş enerjili olmak üzere toplam en iyi sekiz adet deney sonucuna yer verilmiştir. Deneyler yaklaşık üç yıl sürmüş ve bir adet çeyrek dolulukta hidrojen tüpü, bir adet tam dolu helyum tüpü, yeterli miktarda saf amonyak ve %25'lik yaklaşık 50 lt amonyak-su çözeltisi kullanılmıştır. Yapılan bütün deneylerde ölçümler bilgisayar destekli otomatik kayıt sistemi ile takip edilmiştir.

4.1. Isı Kaynağı Olarak Elektrikli Isıtıcı Kullanımı

Elektrikli ısıtıcı ile çalıştırılan cihazlar, özellikle sessizliğin çok önemli olduğu otel gibi yerlerde yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Tasarım ve imalatı yapılmış olan YSS1, YSS2, YSS3 cihazları 75 W güce sahip elektrikli ısıtıcı ile aynı anda test edilmişlerdir. 3 saatlik, 7 saatlik, 12 saatlik hatta 48

saatlik deneyler yapılmış ve sonuçların incelenmesi ile 3 saatlik bir süreden sonraki zaman diliminde sıcaklıklarda kararlı hale ulaşılmıştır. Bundan dolayı deney sonuçları 3 saatlik sonucuna göre çizilmiştir. Resim 4.1. ve Resim 4.2.'de tasarım ve imalatı yapılan cihazların arkadan dış kısmı, önden iç kısmı görülmektedir. Deneylerin yapılırken dış ortam sıcaklığı 18°C civarındandır.



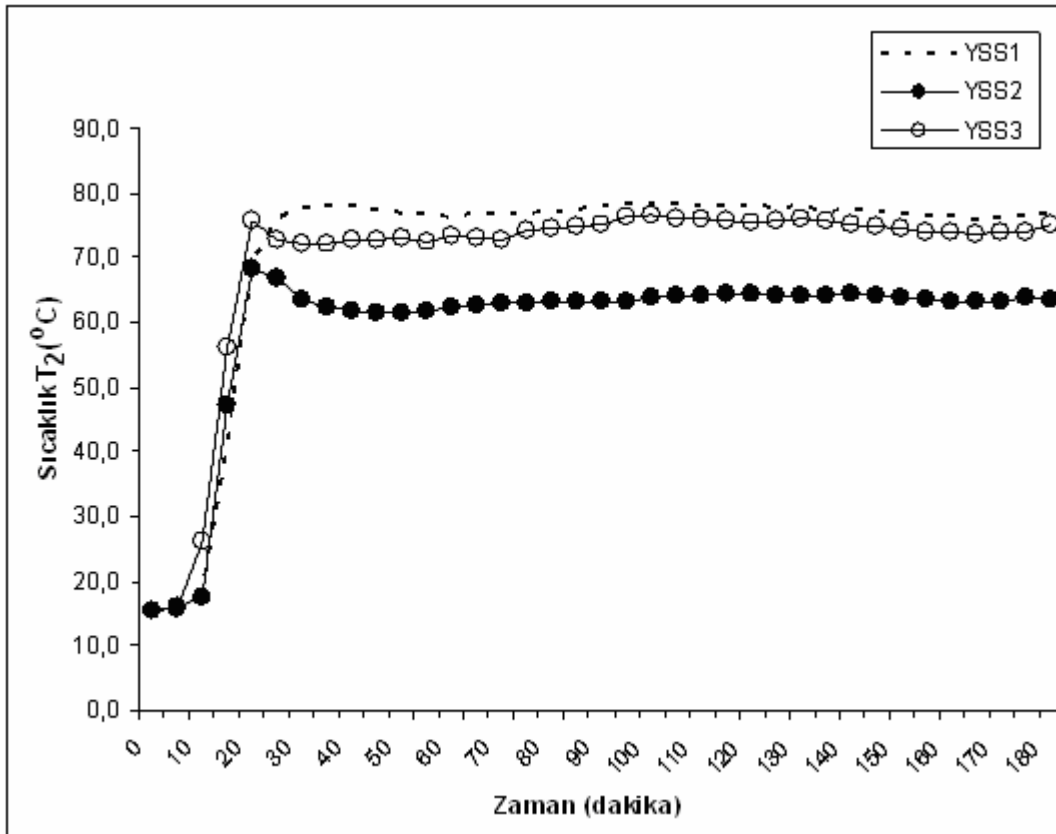
Resim 4.1. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinde elektrikli ısıtıcı kullanımı.



Resim 4.2. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinin önden görünüşü.

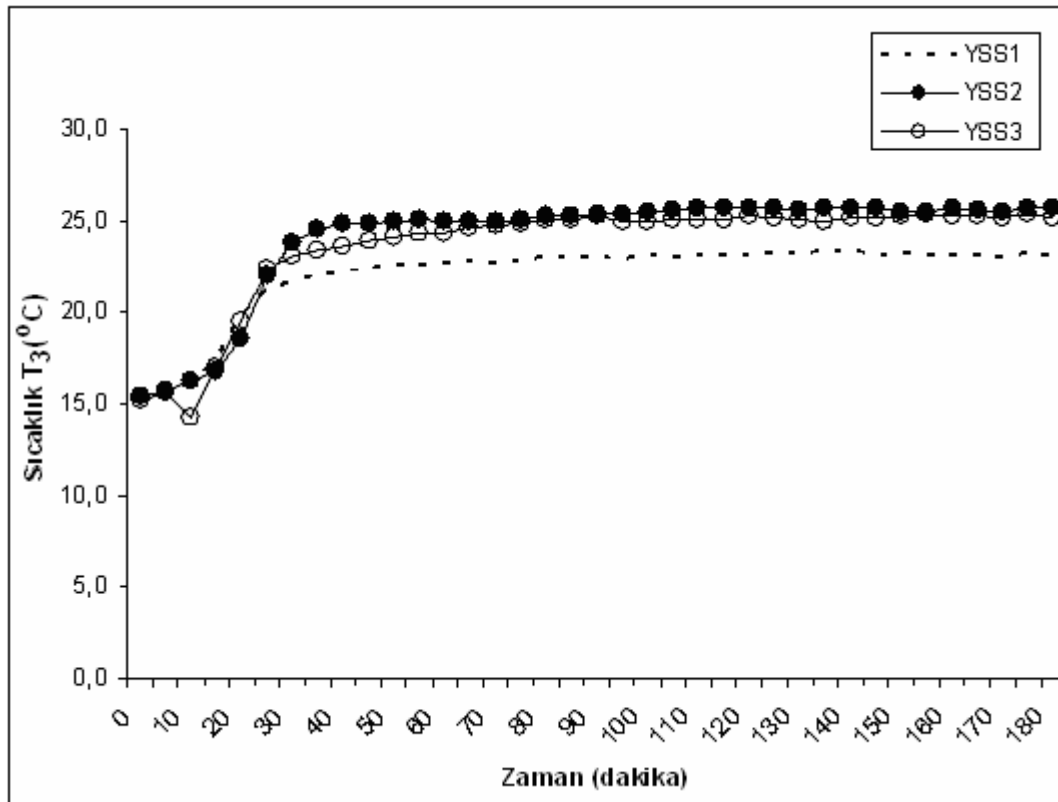
Elektrikli ısıtıcının kullanıldığı deneylerde saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktası (T_2), yoğunlaştırucu çıkış noktası (T_3), düşük basınçlı sıvı amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktası (T_{4a}), buharlaştırıcı giriş noktası (T_{4c}), buharlaştırıcı çıkış noktası (T_5), kaynatıcı giriş noktası (T_7), iç ortam ($T_{iç}$) 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 elde edilmiştir.

Şekil 4.1.'den de görüleceği gibi, çözelti sıcaklığındaki ilk artış YSS3 sistemindedir. Daha sonra onu YSS1 cihazı takip etmektedir. Ancak ilerleyen süreçte ön soğutmasız sistem olan YSS2 cihazının T_2 sıcaklığı diğerlerine göre daha düşük seviyelere inerek sabit kalmaktadır.

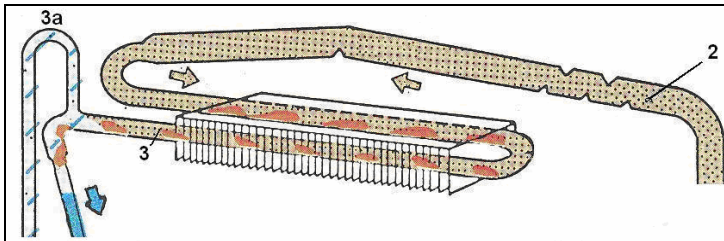


Şekil 4.1. YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.2.'de ise yoğuşturucu çıkış noktasının (3) zamana bağlı değişimi görülmektedir. İlk 25 dakika birbirlerine yakın değer seyrederken daha sonrası YSS1 sistemi diğerlerine göre daha düşük bir değerde kalmaktadır. Deneyin devamında YSS2 ve YSS3 cihazları birbirine yakın değerlerde 25–26°C civarındayken, YSS1 cihazı yaklaşık 23°C civarında kalmaktadır.

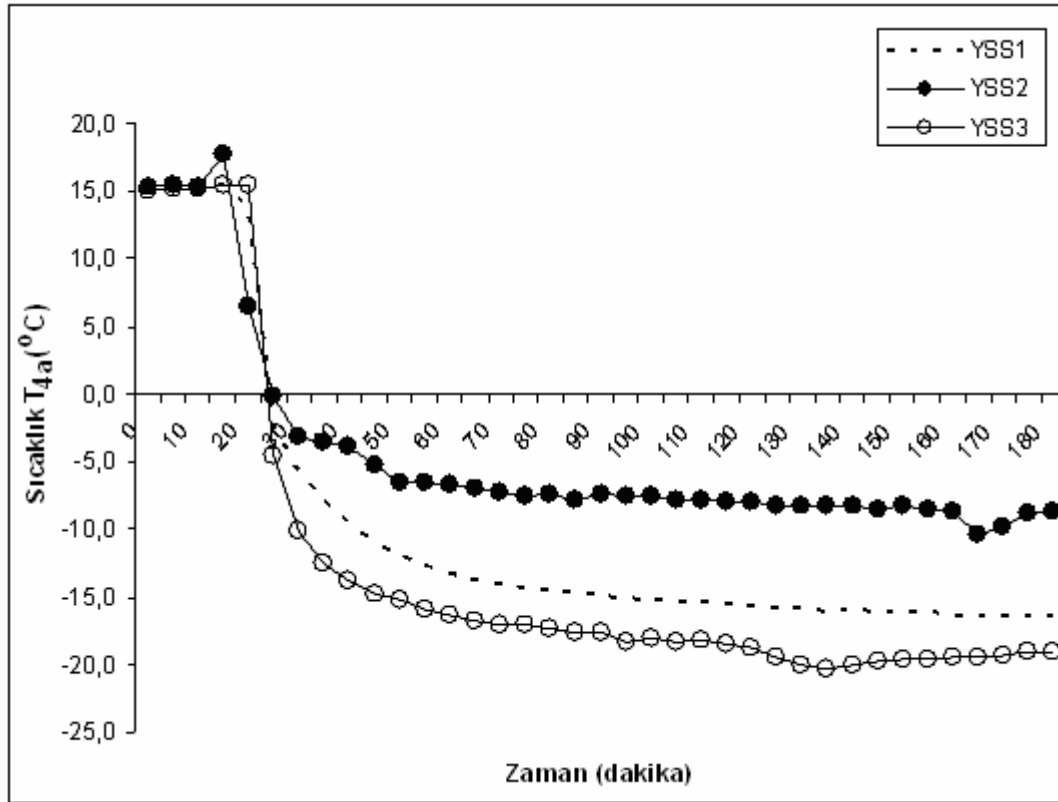


Şekil 4.2. YSS1, YSS2 ve YSS3 için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.



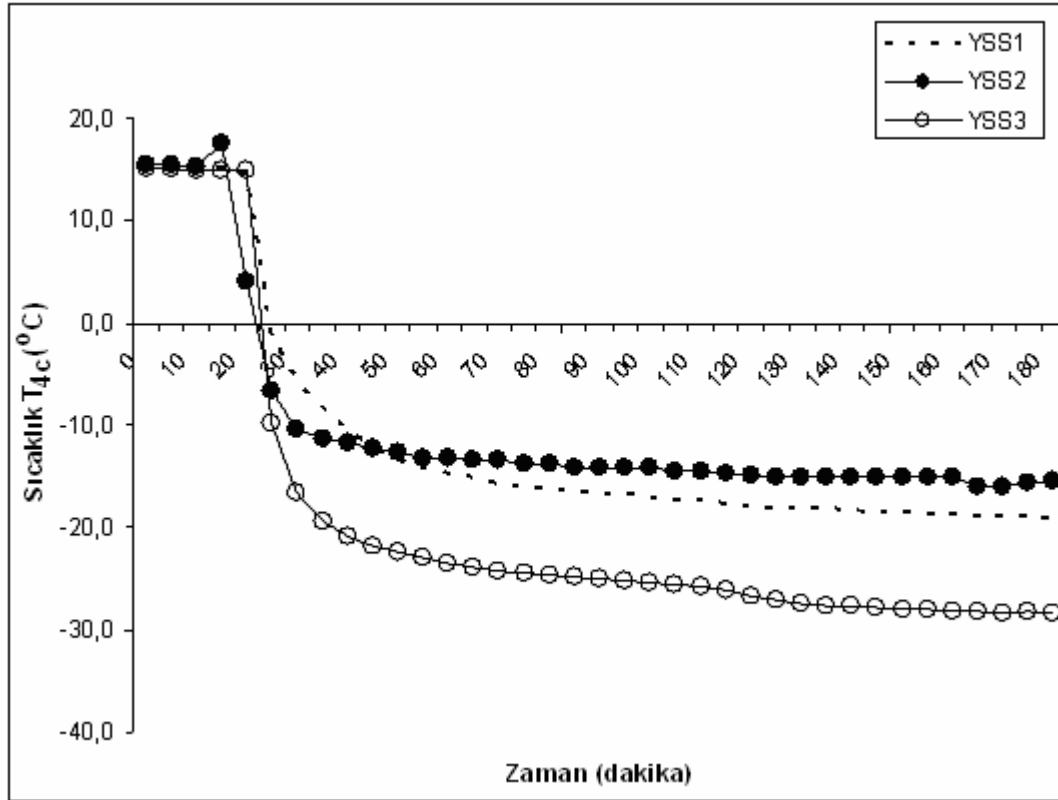
Şekil 4.3. YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkışı ile yoğuşturucu çıkışı ölçüm yerleri.

Şekil 4.4. ile yoğuşturucuda sıvı hale gelmiş saf amonyağın buharlaştırıcıya girmeden önceki zamana bağlı sıcaklık değişimi görülmektedir. YSS1 ve YSS3 cihazlarında herhangi bir sıcaklık artışı görülmeden doğrudan bir sıcaklık düşüşü gözlenirken, YSS2 cihazında 12. ile 15. dakikalar arası sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise YSS2 cihazının ön soğutma olmadığından yoğuşturucudan çıkan amonyağın doğrudan buharlaştırıcıya geçmesindendir. Bu durum aynı zamanda YSS2’de soğumanın daha çabuk başlamasına neden olmuştur. En düşük sıcaklıkta soğumaya başlayan ise YSS3 cihazı olmuştur.

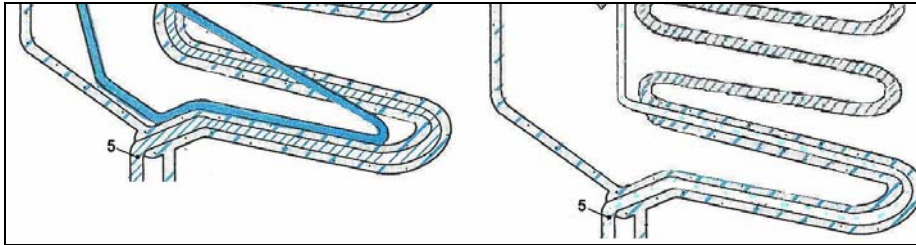


Şekil 4.4. YSS1, YSS2 ve YSS3 için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.5.’de üç cihaz için buharlaştırıcı girişindeki (T_{4c}) zamana bağlı sıcaklık grafiği görülmektedir. Yine T_{4a} noktası için çizilen grafikte değişime benzer bir başlangıç olduğu söylenebilir. Ancak buharlaşma noktası burası olduğu için T_{4a} noktasına göre daha düşük sıcaklıklarına, YSS1 için -19°C , YSS2 için $-15,5^{\circ}\text{C}$ ve YSS3 için $-28,3^{\circ}\text{C}$ derecelerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.5. YSS1, YSS2 ve YSS3 için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

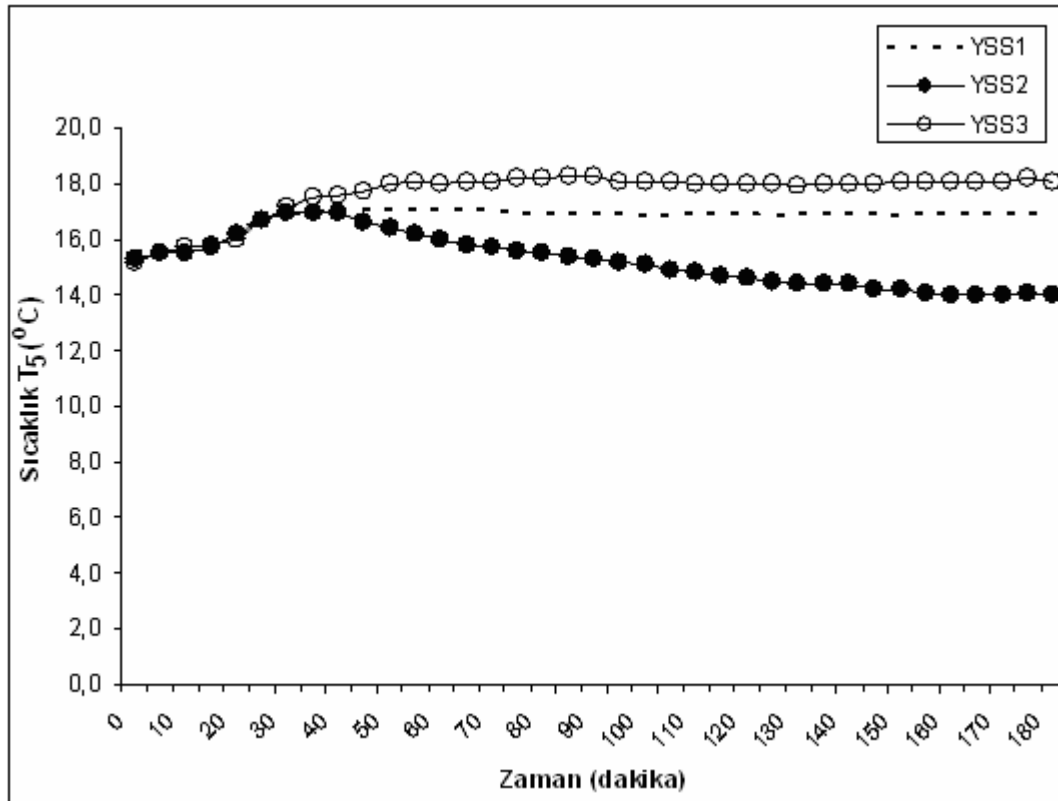


Şekil 4.6. YSS1 ve YSS3 ile YSS2 için buharlaştırıcı çıkışı ölçüm yerleri.

Şekil 4.7.'de üç cihazın buharlaştırıcı çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık değişimi görülmektedir. İlk yarım saat içinde de paralel bir artış gözlenmiş, diğer 15 dakikada önemli bir artış olmaksızın üçü de yaklaşık aynı sıcaklık değerinde seyretmiştir. 45. dakikadan sonra YSS2 cihazı için bir düşüş gözlenmiş ve diğerlerine göre 3–4°C daha düşük sıcaklığa 14°C'ye ulaşmıştır. Sıcaklığı en yüksek olan ise 18,1°C ile YSS2 cihazıdır.

Burada üzerinde durulması gereken bir ayrıntı da YSS2 cihazının bu noktada ulaştığı sıcaklık değeridir. Diğerlerinden farklı olarak ön soğutmasız bir buharlaştırıcıya sahip olan bu cihazın tasarım ve imalat açısından bir farkı da diğer buharlaştırıcılara göre boru boyunun 1 m kadar daha uzun olmasıdır. Böylece iç ortam sıcaklığını T4c noktasındaki $-15,5^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek değere rağmen daha iyi düşürebilmektedir.

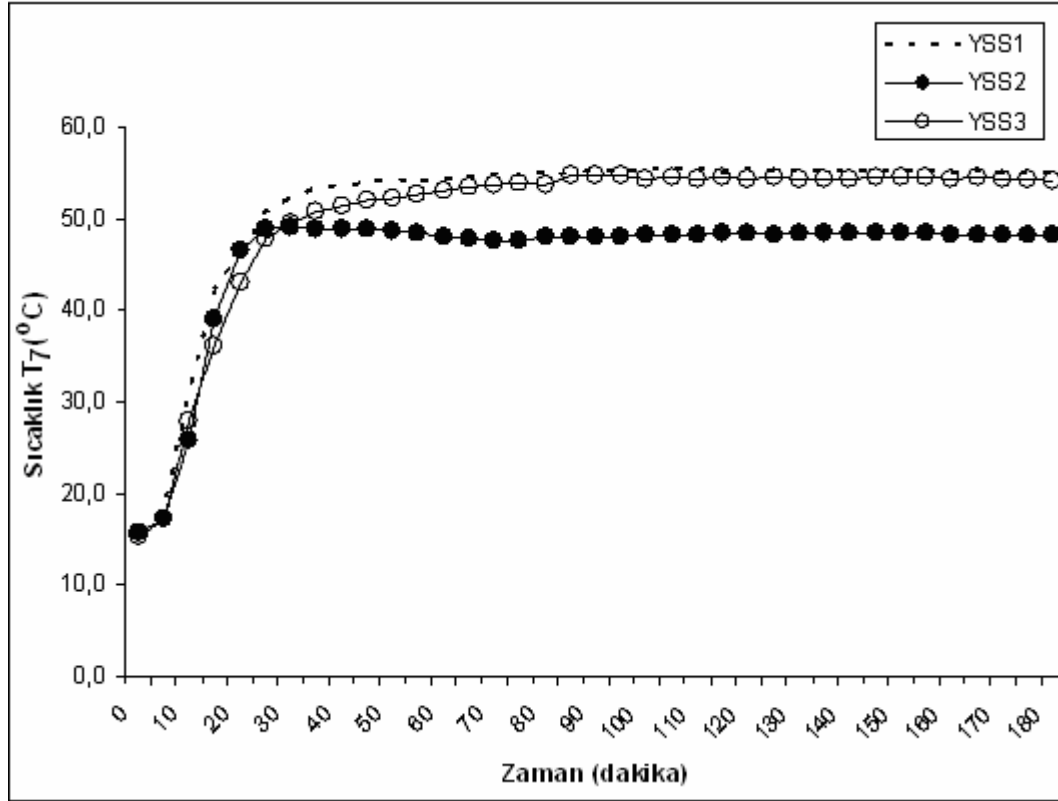
Buharlaştırıcılar açısından bakıldığında YSS1 için giriş: -19°C , çıkış: 17°C , YSS2 için giriş: $-15,5^{\circ}\text{C}$, çıkış: 14°C ve YSS3 için giriş: $-28,3^{\circ}\text{C}$, çıkış: $18,1^{\circ}\text{C}$ şeklinde belirtilebilir.



Şekil 4.7. YSS1, YSS2 ve YSS3 için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

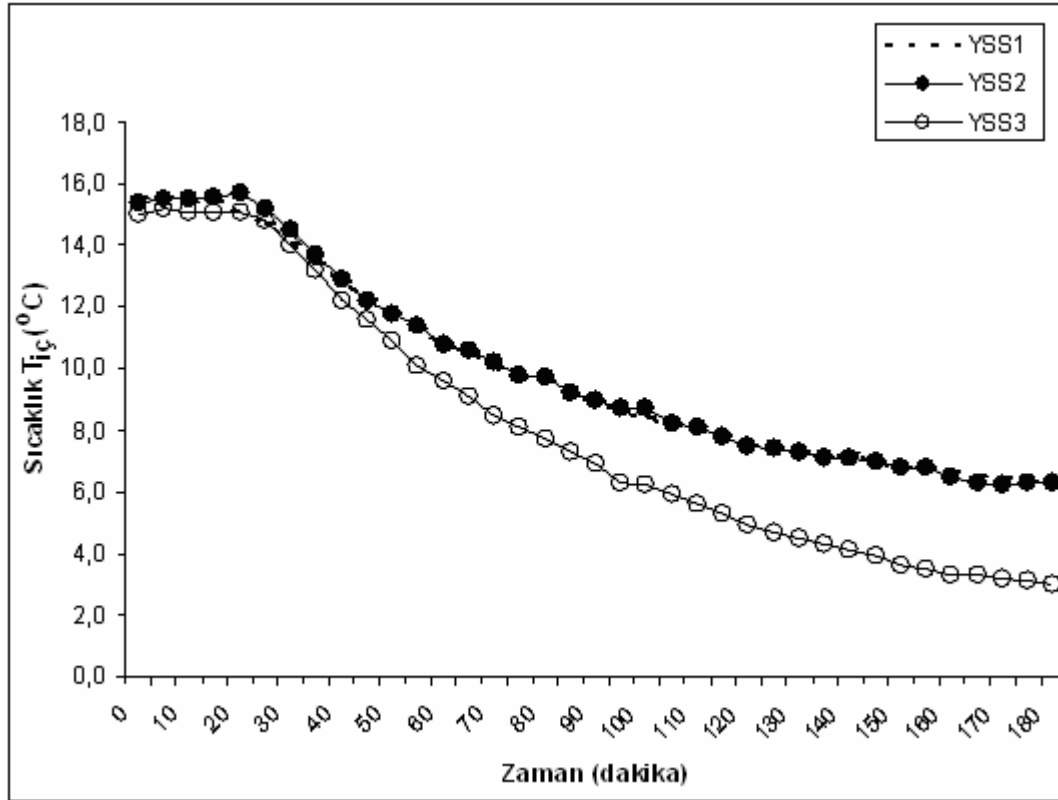
Şekil 4.8.'de üç cihaz için kaynatıcı giriş sıcaklığı görülmektedir. İlk 30 dakikada üçü de yaklaşık aynı değerlerde ve paralel bir artış göstermişlerdir. Ancak bir saatten sonra cihazlar arasındaki değerler farklılık göstermeye başlamıştır. Üç saatin sonunda ön soğutmalı sistemler YSS1 ve YSS3 cihazlarında birbirine yakın değerler

gözlenirken, ön soğutmasız cihaz olan YSS2 de diğerlerine göre 4–5°C daha düşük bir değer olarak 48,3°C kaydedilmiştir.

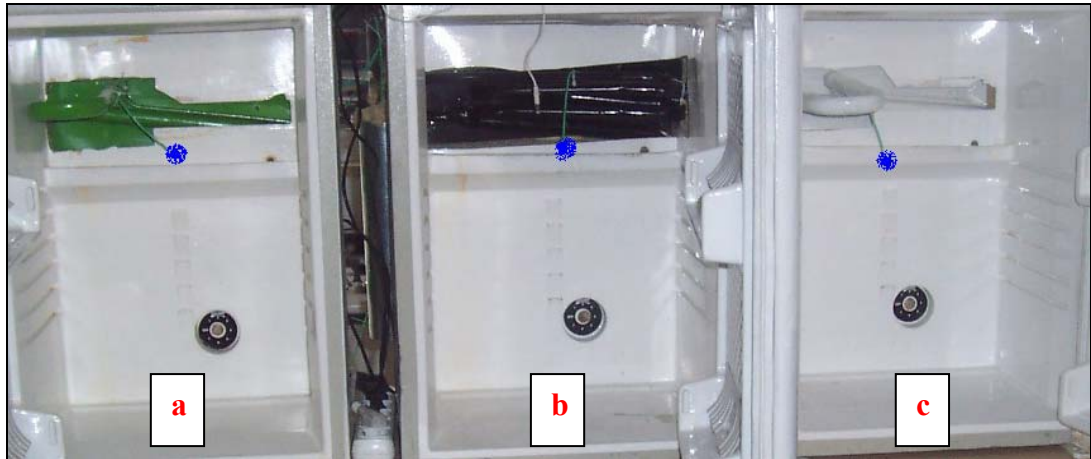


Şekil 4.8. YSS1, YSS2 ve YSS3 için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.9. ve Resim 4.3.'de YSS1, YSS2 ve YSS3 için zamana bağlı iç ortam sıcaklık dağılımı ile iç ortamda ölçüm alınan yerler görülmektedir. İç ortamı en iyi düşüren ejektörlü-ön soğutmalı sistem olan YSS3 cihazı olmuştur. Burada dikkati çeken nokta buharlaşma girişi (T_{4c}) en yüksek değere sahip olan ön soğutmasız YSS2 cihazının iç ortam sıcaklığı bakımından normal ön soğutmalı YSS1 cihazını yakalayabilmesidir. Bunda sistem gereği YSS2 cihazının buharlaştırıcısının 1 m kadar daha uzun olmasının katkısı vardır.



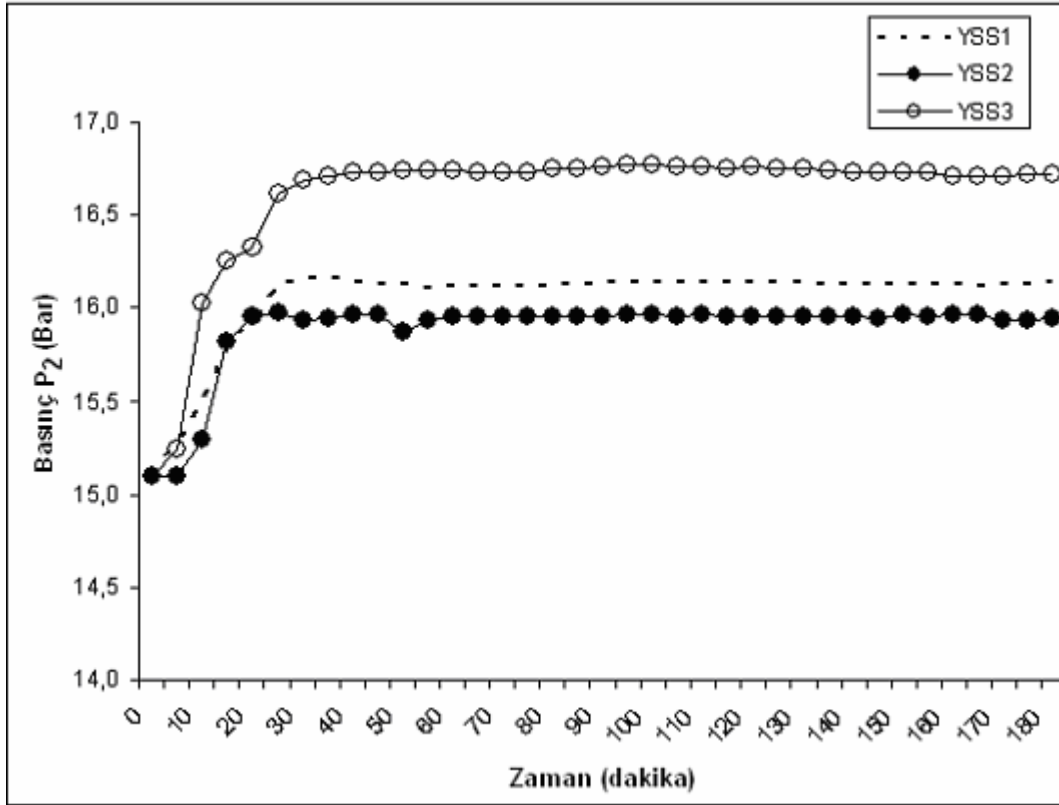
Şekil 4.9. YSS1, YSS2 ve YSS3 sistemlerinde iç ortamın sıcaklık dağılımı.



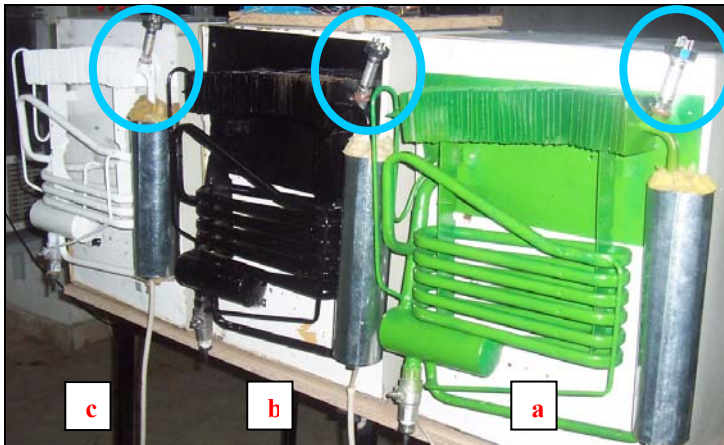
Resim 4.3. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için iç ortam ölçüm yeri.

Şekil 4.10. ve Resim 4.4.'de üç sistem için her birinin sistem basıncının zamana bağlı grafiği ile ölçüm yerleri görülmektedir. Başlangıç ile son basınç değerleri karşılaştırıldığında; YSS1 için fark 1 bar, YSS2 için fark 0,8 bar ve YSS3 için fark 1,6 bar olarak hesaplanır. Buradaki en yüksek farkın YSS3 cihazındaki ejektörden

dolayı meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla ejektör sistemin basıncını arttırmıştır.



Şekil 4.10. YSS1, YSS2 ve YSS3 için sistem basınçlarının dağılımı.



Resim 4.4. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için sistem basıncının ölçüm yerleri.

4.2 Isı Kaynağı Olarak Sıvılaştırılmış Petrol Gazının (LPG) Kullanımı

Tasarım ve imalatı yapılmış olan YSS1, YSS2, YSS3 cihazları elektrikli ısıtıcılar ile yapılan deneylerin ardından alternatif enerji kaynaklarından sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile deneylerine geçilmiştir. Resim 4.5, Resim 4.6. ve Resim 4.7.'de deney düzeneği ile imalatı yapılan brülörler görülmektedir. Elektrikli ısıtıcılar ile yapılan deneydeki düzeneğe ve bağlantılara dokunulmadan sadece kaynatıcı bölgesine yakıcılar ve yalıtım malzemesi bağlantısı yapılmıştır.

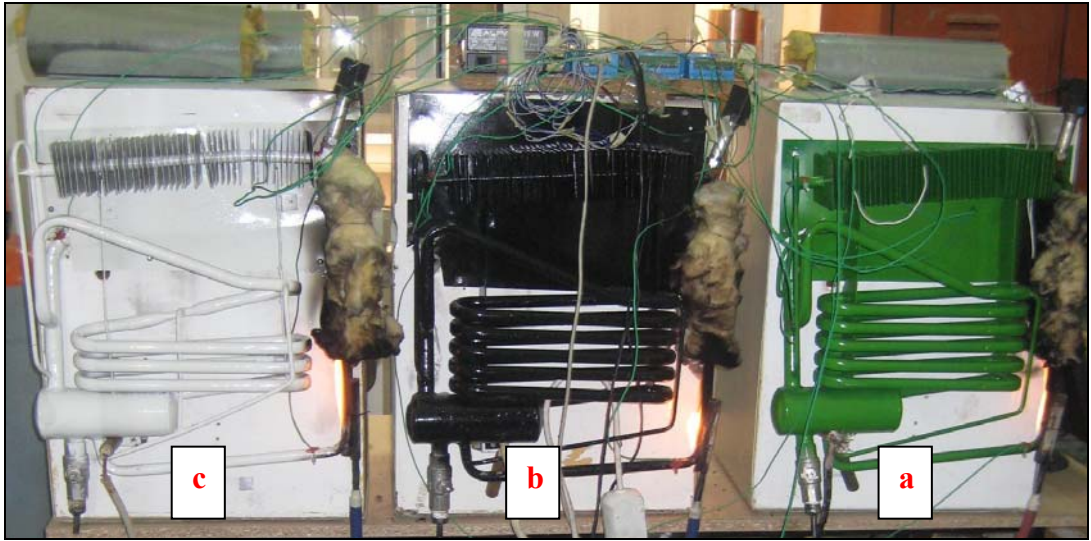
Deneyler yapılırken dış ortam sıcaklığı 22°C civarındandır. Yakılan LPG miktarı manüel olarak kontrol edilmiş olup 10 dakikada bir 18 gr olmak üzere, 3 saat boyunca toplam 324 gr gaz yakılmıştır.



Resim 4.5. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için LPG kullanımının deney düzeneği.



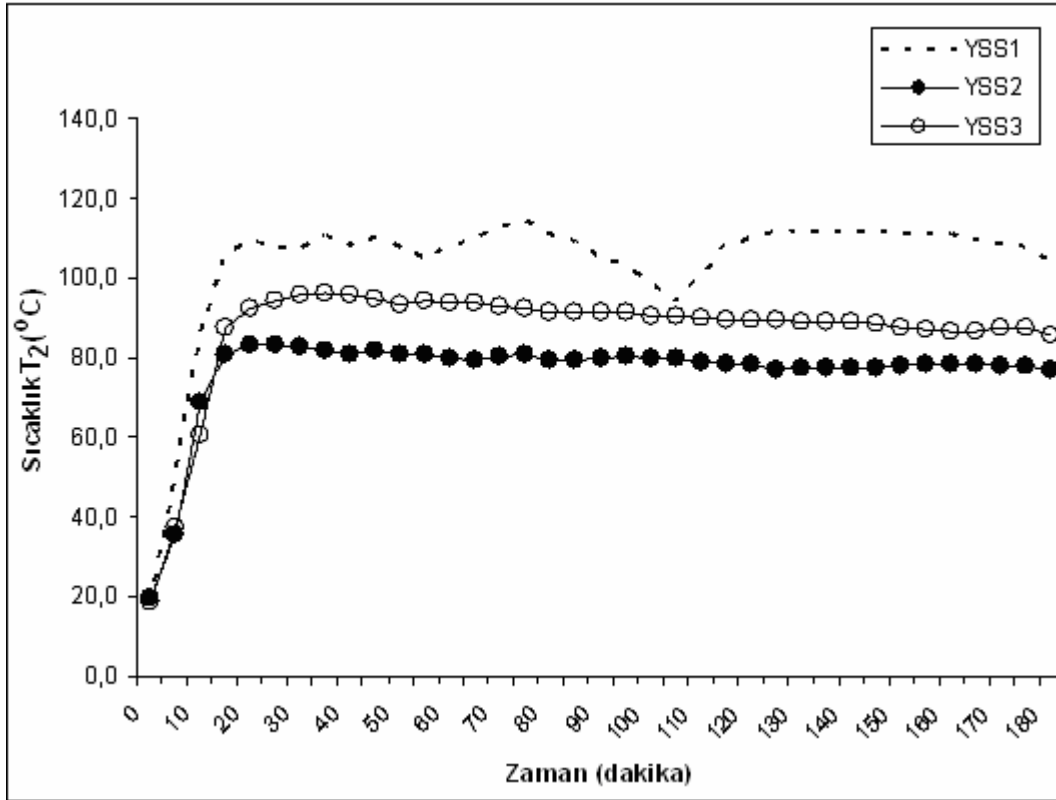
Resim 4.6. Kullanılan LPG brülörleri.



Resim 4.7. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) sistemlerinde LPG kullanımından bir görünüş.

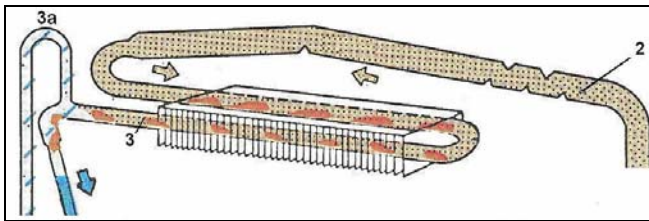
Elektrikli ısıtıcıda olduğu gibi deneylerdeki ölçümler bilgisayar destekli otomatik kayıt sistemi ile takip edilmiş ve yine aynı sürelerle göre toplam üç saatlik dilimde sıcaklık değişimleri elde edilmiştir.

Şekil 4.11.'e bakıldığında T_2 noktası için çözelti sıcaklığı ilk yükselen YSS1 cihazıdır. Daha sonra sırasıyla YSS2 ve YSS3 cihazları takip etmektedir. Bu durum deney sonuna kadar sürmüş ve yoğuşturucu giriş sıcaklığı (T_2) sırasıyla YSS1 cihazı için $104,1^{\circ}\text{C}$, YSS2 cihazı için 77°C ve YSS3 cihazı için $85,8^{\circ}\text{C}$ değerlerine ulaşmıştır.

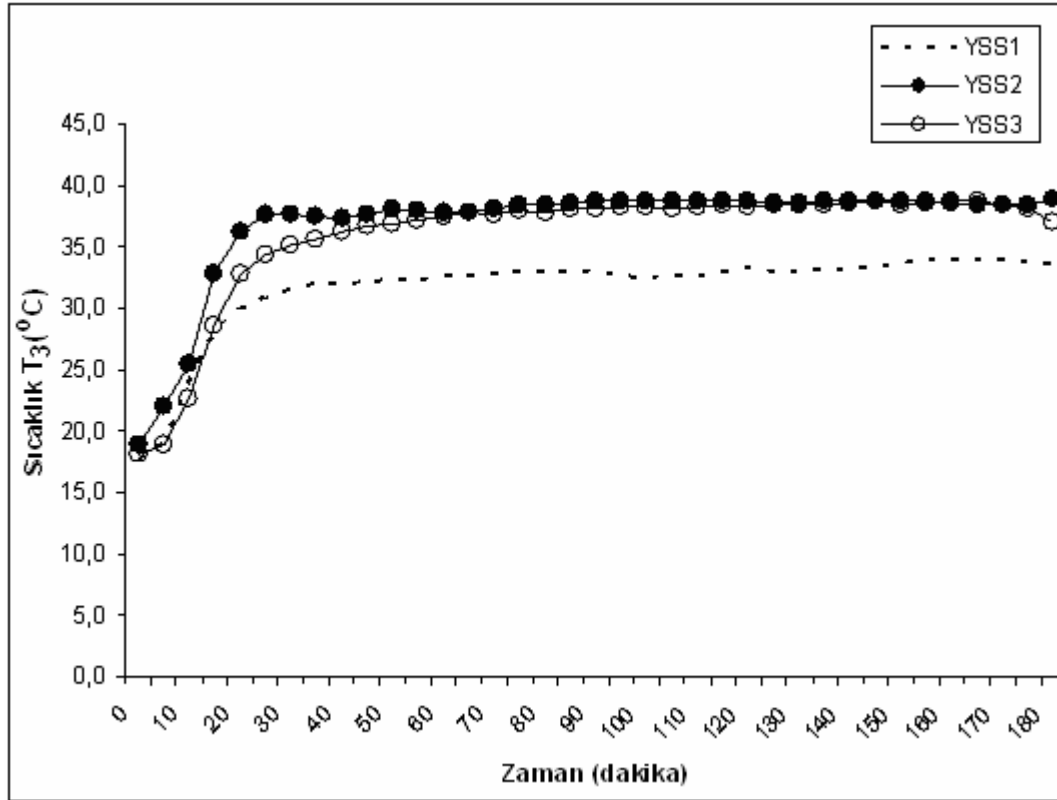


Şekil 4.11. YSS sistemlerinde LPG için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.12.'de yoğuşturucu girişi ile yoğuşturucu çıkışı ölçüm yerleri, Şekil 4.13.'de ise yoğuşturucu çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık değişimi görülmektedir. Elektrikli ısıtıcıdaki deneyden farklı olarak değerlerde ani bir artış görülmektedir. Bu ani artış 25. dakikadan sonra dengeye gelmekte ve deney sonuna doğru 1-2°C'lik daha artış gözlenmektedir. Deney sonunda YSS1, YSS2 ve YSS3 için sırasıyla: 33,8°C, 38,9°C ve 37,1°C sıcaklıklarına ulaşılmıştır.



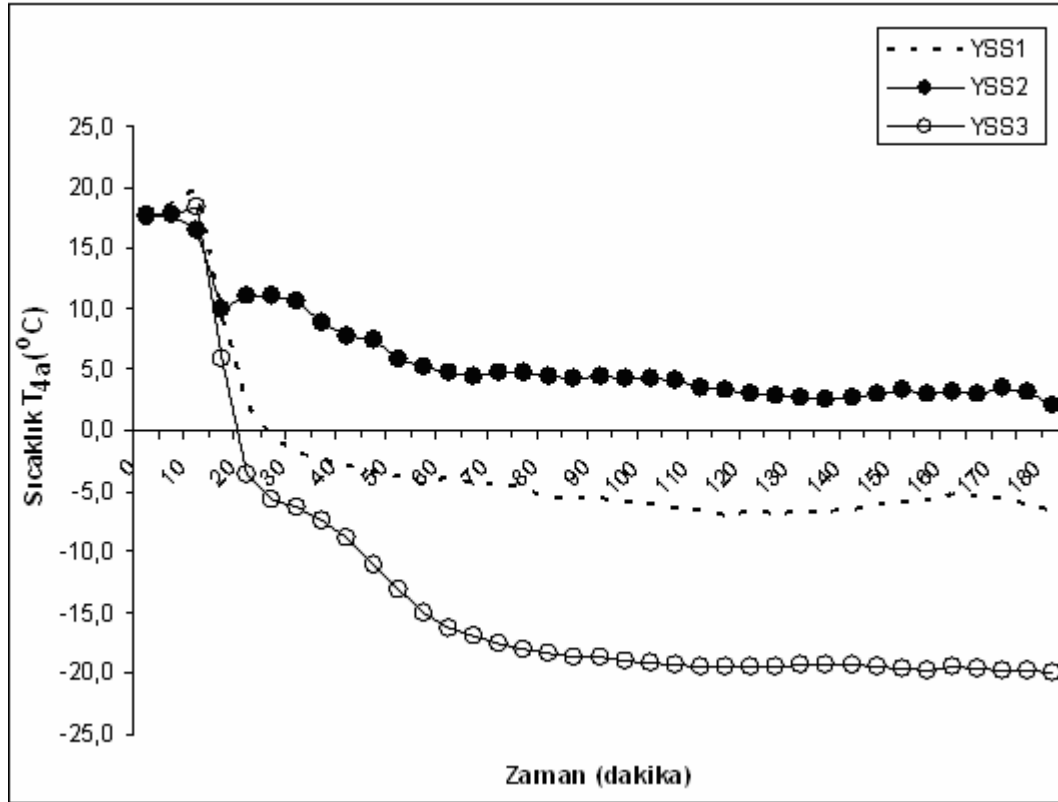
Şekil 4.12. LPG kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkışı ile yoğuşturucu çıkışı ölçüm yerleri.



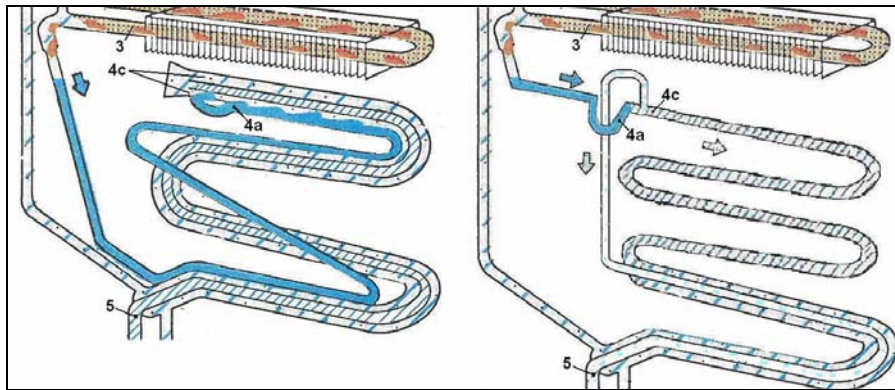
Şekil 4.13. YSS sistemlerinde LPG için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.14.'de yoğuşturucuda sıvı hale gelmiş saf amonyanın buharlaştırıcıya girmeden önceki zamana bağlı sıcaklık değişimi görülmektedir. Elektrikli ısıtıcıli deneyden farklı olarak her üç cihazda da bu noktada bir artış olmakla beraber yine büyük artışın ön soğutmasız YSS2 sisteminde meydana geldiği görülmektedir.

Elektrik ile yapılan deneyde soğuma cihaz sırasına göre 20., 16. ve 21. dakikalarda meydana gelirken, LPG ile yapılan deneyde bu süreler yine sırasıyla 12., 9. ve 13. dakikalardan sonra meydana gelmektedir



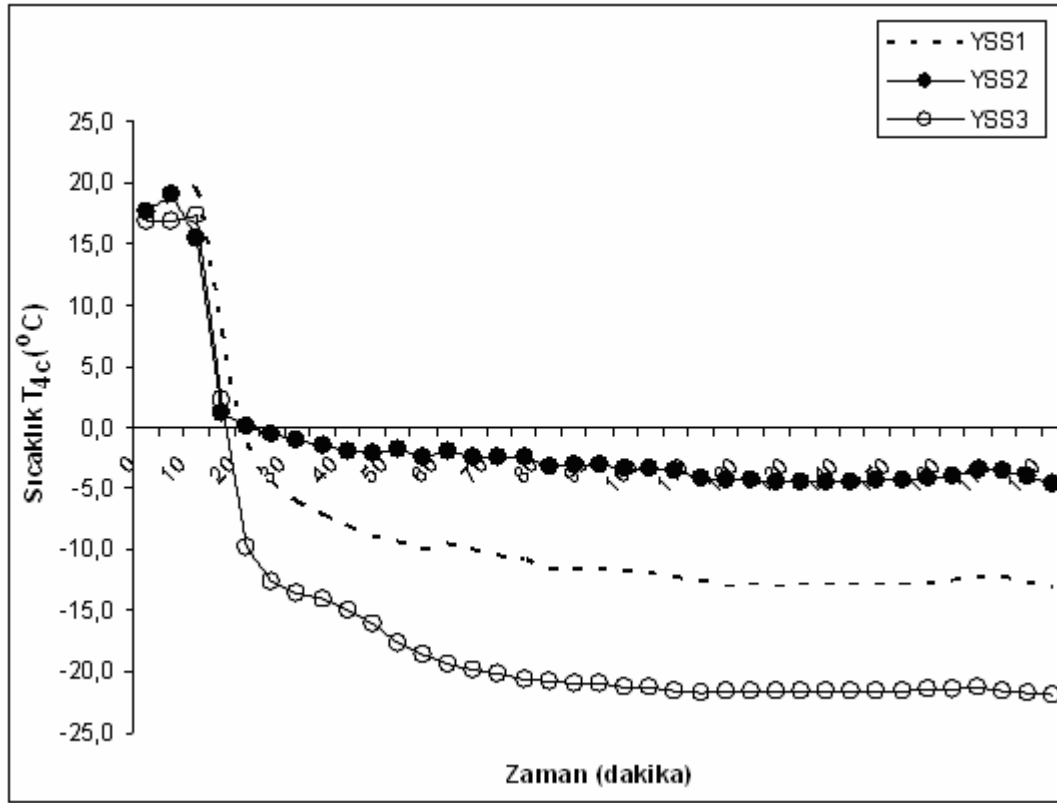
Şekil 4.14. YSS sistemlerinde LPG için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.15. LPG için sıvı amonyağın buharlaştırıcıya girişi ve buharlaştırıcı girişi ölçüm yeri.

Şekil 4.16. grafiğinde YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazları için buharlaştırıcı girişindeki zamana bağlı sıcaklık grafiği görülmektedir. Yine T_{4a} noktası gibi T_{4c} noktası için de sırasıyla 12., 9. ve 13. dakikalardan sonra soğumanın başladığı görülmektedir. Ancak buharlaşma noktası burası olduğu için T_{4a} noktasına göre daha düşük sıcaklık

değerlerine ulaşılmaktadır. Üç saatlik elektrikli ısıtıcı deneyde YSS1 için -19°C , YSS2 için $-15,5^{\circ}\text{C}$ ve YSS3 için $-28,3^{\circ}\text{C}$ derecelerine ulaşılmışken bu deneylerde YSS1 için $-13,1^{\circ}\text{C}$, YSS2 için $-4,7^{\circ}\text{C}$ ve YSS3 için $-21,9^{\circ}\text{C}$ derecelerine ulaşılmıştır.



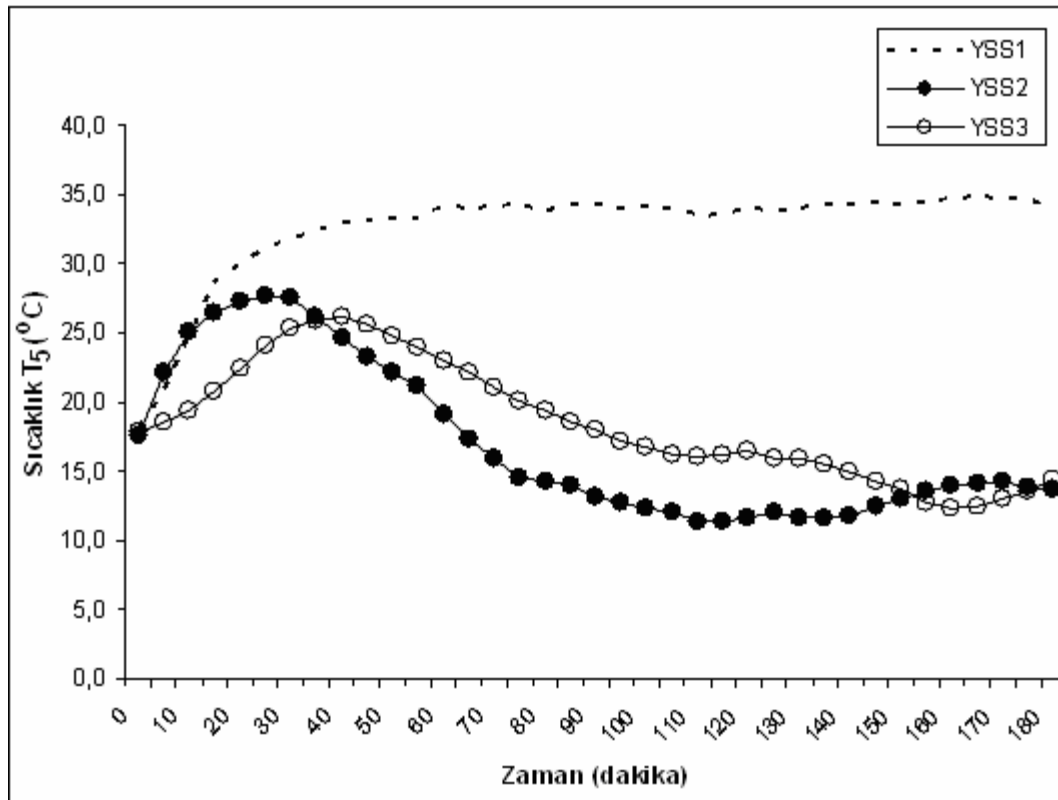
Şekil 4.16. YSS sistemlerinde LPG için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.17.'de üç cihazın buharlaştırıcı çıkış noktasının zamana bağlı sıcaklık değişimi görülmektedir. İlk yarım saat YSS3 cihazında daha az olmak kaydıyla üçünde de bir artış gözlenmiştir. YSS1 cihazı için T_5 çok az bir artışla deneyi paralel bir seyirde $33,8^{\circ}\text{C}$ ile tamamlamıştır. YSS2 ve YSS3 cihazlarında ise sırasıyla 40. ve 45. dakikadan sonra ciddi bir düşüş gözlenmiş ve YSS2 için T_5 $13,7^{\circ}\text{C}$, YSS3 için T_5 ise $14,4^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta deneyi tamamlamıştır.

Elektrikli ısıtıcı ile yapılan deneyde olduğu gibi burada üzerinde durulması gereken nokta YSS2 cihazının bu noktada ulaştığı sıcaklık değeridir. Daha önce de belirtildiği gibi diğerlerinden farklı olarak ön soğutmasız bir buharlaştırıcıya sahip olan bu

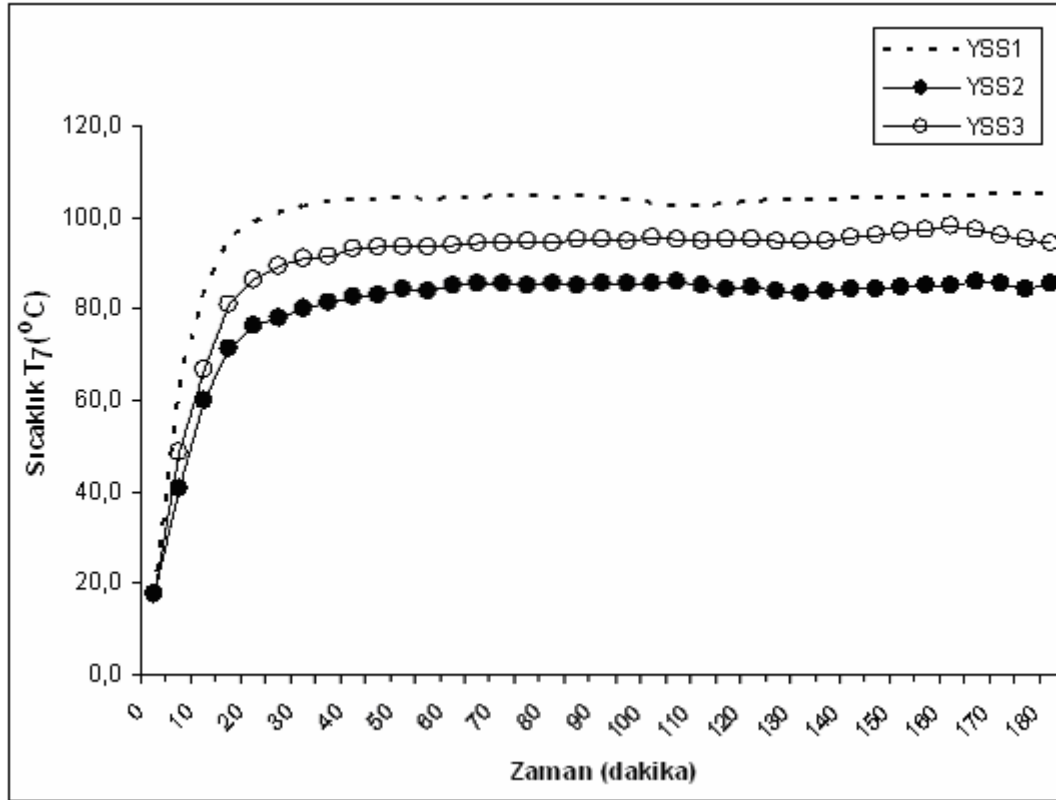
cihazın tasarım ve imalat açısından boru boyunun 1 m kadar daha uzun olmasıdır. Bu sayede iç ortamı sıcaklığı T_{4c} noktasındaki $-4,7^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek değere rağmen YSS1 cihazı ile aynı seviyelerdedir.

Buharlaştırıcılar bakımından YSS1 için giriş: $-13,1^{\circ}\text{C}$, çıkış: $33,8^{\circ}\text{C}$, YSS2 için giriş: $-4,7^{\circ}\text{C}$, çıkış: $13,7^{\circ}\text{C}$ ve YSS3 için giriş: $-21,9^{\circ}\text{C}$, çıkış: $14,4^{\circ}\text{C}$ şeklindedir.

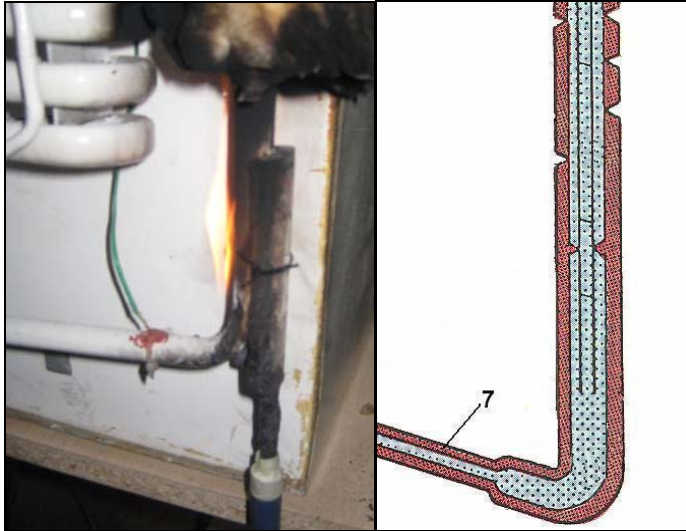


Şekil 4.17. YSS sistemlerinde LPG için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.18. ile üç cihaz için kaynatıcı giriş sıcaklığın dağılımı görülmektedir. Elektrikli ısıtıcıdan farklı olarak daha ilk dakikalarda değerlere ani bir artış gözlenmektedir. Her üç cihaz için de değerlerde bir paralellik söz konusu olup 30 dakikanın sonunda değerlerin dengeye ulaştığı görülmektedir. Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi elektrikli ısıtıcıya göre T_7 sıcaklığının bu derece yüksek olmasının sebebi alevli bir yanmanın direkt sıcaklığa etkisindendir.



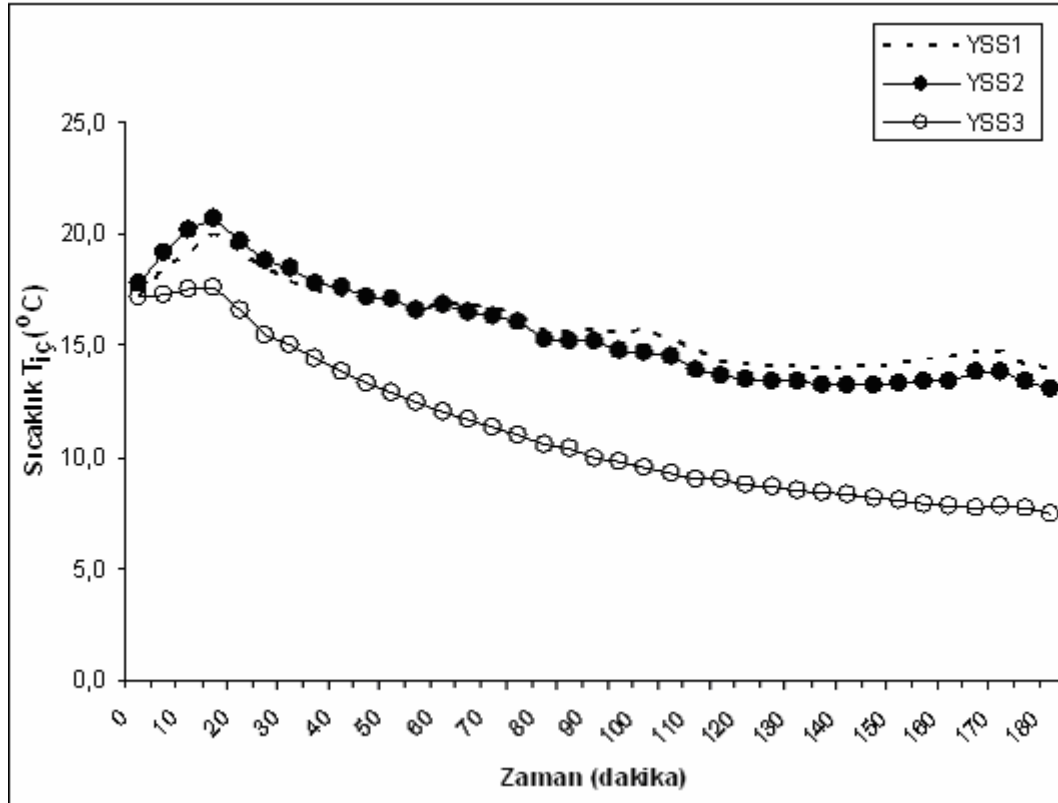
Şekil 4.18. YSS sistemlerinde LPG için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.



Resim 4.8. LPG kullanımı için kaynatıcı girişi ölçüm yeri.

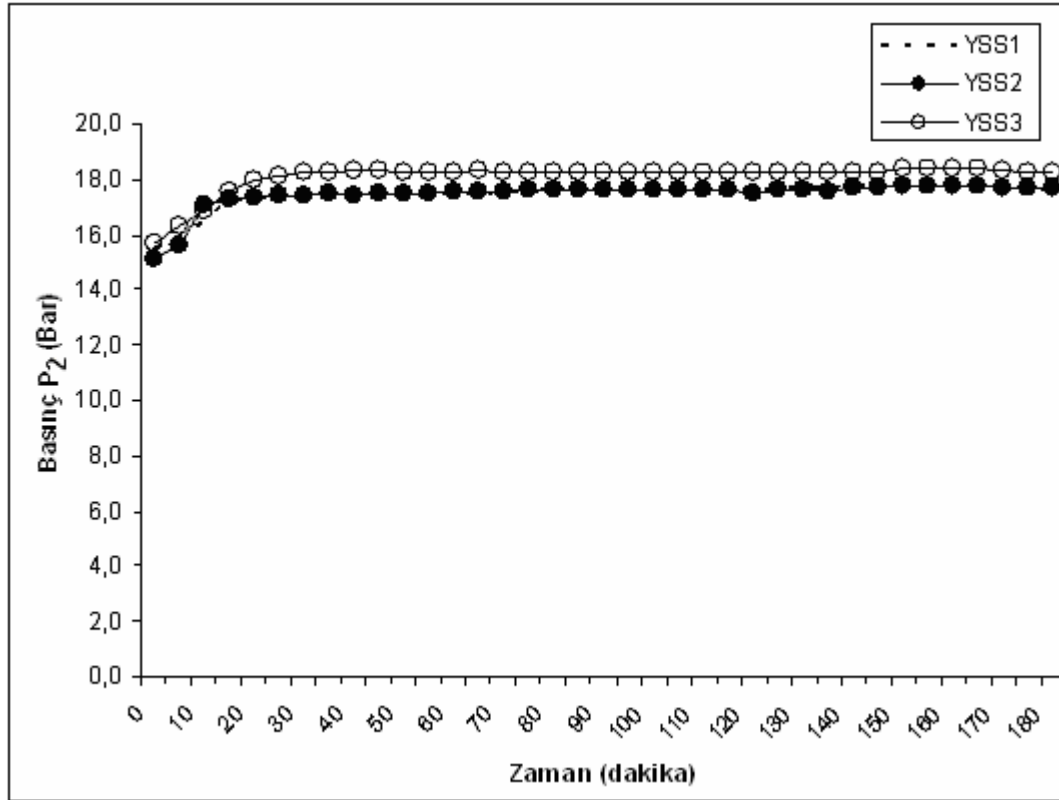
Şekil 4.19.'da üç sistem için zamana bağlı iç ortam sıcaklık dağılımı ile iç ortamda ölçüm alınan yerler görülmektedir. Elektrikli ısıtıcı deneyinde olduğu gibi yine iç

ortamı en iyi düşüren ejektörlü-ön soğutmalı sistem olan YSS3 cihazı olmuştur. Elektrikli ısıtıcı deneyinden farklı olarak buharlaşma girişi $-4,7^{\circ}\text{C}$ gibi daha yüksek değere sahip olan ön soğutmasız YSS2 cihazının iç ortam sıcaklığı bakımından normal ön soğutmalı YSS1 cihazını geçebilmiş olması dikkat çekici olmuştur.

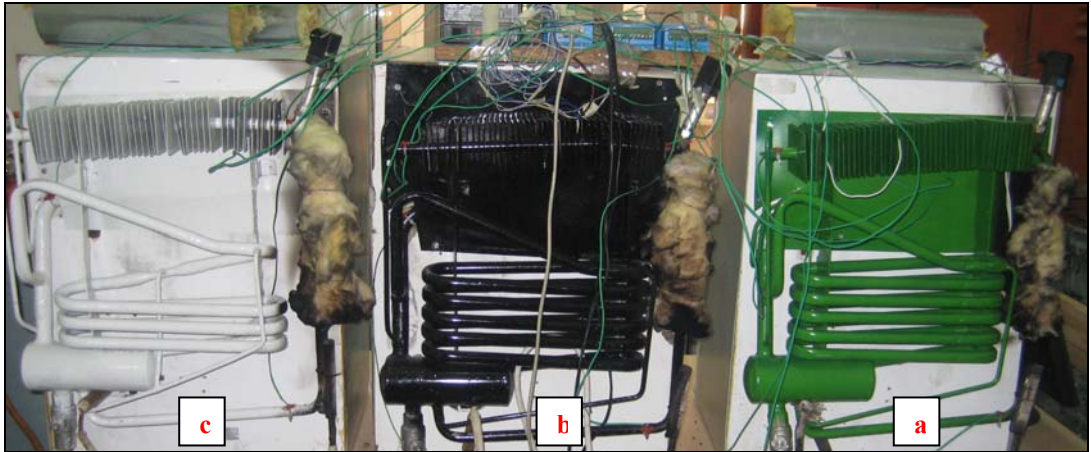


Şekil 4.19. YSS sistemlerinde LPG için sistemlerde iç ortamın sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.20. ve Resim 4.9.'da üç sistem için her birinin sistem basıncının zamana bağlı grafiği ile ölçüm yerleri görülmektedir. Elektrikli ısıtıcı deney düzeneği bozulmamasına rağmen basınç farkı ortam sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Başlangıç ve son basınç farkı açısından YSS2 cihazı YSS3 cihazını yakalamış gözükse bile ejektörlü sistem YSS3 daha dengeli bir çalışma sergilemiştir.



Şekil 4.20. YSS sistemlerinde LPG için sistem basınçlarının dağılımı.



Resim 4.9. YSS1 (a), YSS2 (b) ve YSS3 (c) için sistem basıncının ölçüm yerleri.

4.3. Isı Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi Kullanımı

Tasarım ve imalatı yapılmış olan YSS1 ve YSS2 cihazlarının elektrikli ısıtıcılar ve alternatif enerji kaynaklarından sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile yapılan

deneylerinden sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır.

YSS sistemlerinde amonyak su çözeltisinin ayrışması için gerekli sıcaklık miktarı $\sim 180^{\circ}\text{C}$ 'dir [10]. Deneylere geçilmeden önce bu sıcaklık değerlerine nasıl ulaşılabilceğinin araştırılması yapılmıştır. Kollektör tipi güneş enerji sistemleri ile $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$ depo sıcaklığına ulaşıldığı görülmüştür [57]. 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 yoğusturucu 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 [57].

Özsoy ve Acar [65] deneysel olarak yaptıkları çalışmada bakır boru ile saf suyun kullanıldığı ısı borusunun sabit bir güçte çalıştırılması esnasında ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımını ve yoğusturucudan transfer edilen ısı miktarını çeşitli eğim açıları ve değişik soğutma suyu debilerinde incelemiştir. Çalışma sonucunda eğim açısının 0 derece olduğu konumda transfer edilen ısının diğer eğim açılarına kıyasla daha az olduğu görülmüştür. $30\text{--}90$ 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. [56].

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 [57].

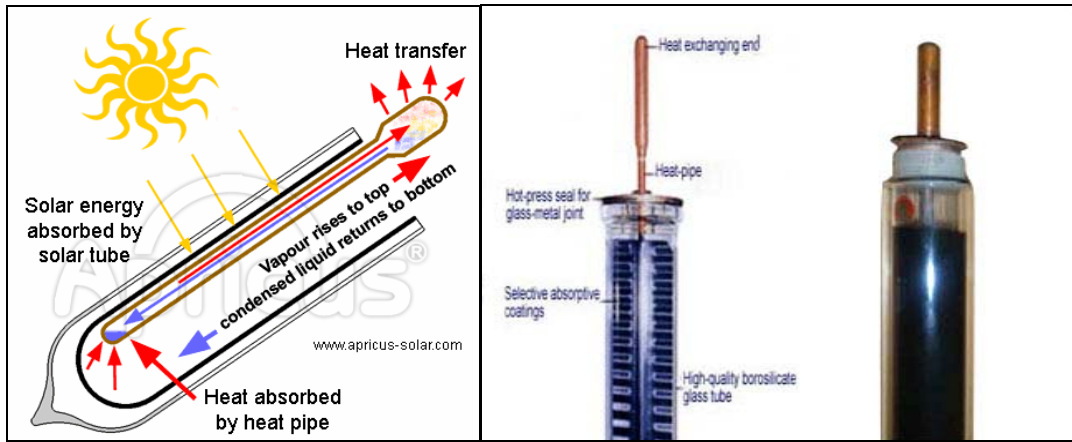
Boru Malzemesi	Akışkan Cinsi	Sıcaklık Aralığı (°C)
Paslanmaz Çelik	Sıvı Nitrojen	-200 ile -80
Nikel, Alüminyum, Paslanmaz Çelik	Sıvı Amonyak	-70 ile -60
Bakır, Nikel, Paslanmaz Çelik	Metanol	-45 ile +120
Bakır, Nikel	Su	+5 ile +230
Paslanmaz Çelik	Civa	+190 ile +550

Güneş enerjisi sektöründe yeni bir teknoloji olan vakumlu cam tüpünün bu süreçte kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla basit bir deney yapılmış, vakumlu cam tüpün performansı araştırılarak 1 saat içinde tüp içerisindeki suyun sıcaklığının 75°C'ye ulaştığı görülmüştür. Tüp ağzının atmosfere açık olmasından dolayı sıcaklığın daha fazla yükselmediği düşünülmüş ve YSS sistemlerinde de kullanılabilecek bir depo tasarım ve imalatına karar verilmiştir. İmalatı yapılan depo ile depo suyu sıcaklığı 93°C'ye ulaşmıştır. Resim 4.10.'da vakumlu cam tüp ile yapılan basit deney düzeneği ile YSS sistemine göre tasarım ve imalatı yapılmış olan küçük depo farklı açılardan görülmektedir.



Resim 4.10. Vakumlu cam tüp için basit deney düzeneği ve imalatı yapılan depo.

Bu hazırlık çalışmalarından sonra istenilen sıcaklık düzeyine her iki sistemin birleştirilmesi ile ulaşılabileceği fikri üzerine durulmaya başlanmıştır. Bu bağlamda ilk yapılan deneylerde 135°C'ye kadar ulaşılmıştır. Resim 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. Bizim imalatımız olan ısı borusunun çapı 32 mm olup kolektör iç çapına 35 mm'ye oldukça yakındır.



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

Bütün bu bilgilerin ışığında vakumlu cam tüp ile bakır ısı borusunun birleşim yerinin yalıtımı iyi yapılarak tüp ile boru arasında kalan havanın dışarı çıkması engellenmiştir. Böylece tüp içinde kalan borunun orta kısımlarında 185°C'ye, cihaza bağlanan depo kısmında ise 178°C'ye kadar ulaşılmıştır.

Resim 4.12.'de tarafımızdan tasarlanıp imalatı yapılan ısı borulu vakum tüplü güneş enerjisi çalışmaları görülmektedir.



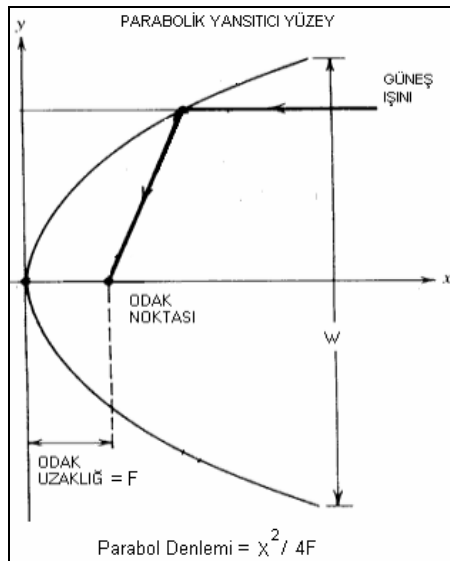
Resim 4.12. Tarafımızdan yapılan ısı borusu ile vakumlu cam tüpün ortak kullanımı.

Güneş enerjisi uygulamaları yaklaşık altı aylık bir süreç olup toplamda 100 günden fazla deneyler yapılmıştır. Temmuz 2008 başlarında 180°C 'ye oldukça yaklaşılmış ancak kullanılan ısı borunun deposunun kısa ve tek taraflı olmasından dolayı sistem çalışmamıştır. İlerleyen günlerde tasarım ve imalatı yapılan yeni ısı borusunun deposu cihazın kaynatıcı kısmı kadar uzun ve çift taraflı yapılmıştır. Bu yeni ısı borusuyla Ağustos 2008 başlarında başarı elde edilmiş ve YSS2 sistemi 178°C 'de cevap vererek soğutma sağlanmıştır. Deneyler güneşin durumuna göre yapılmış ve cihazların tiplerine göre bir sıra takip edilmemiştir.

Deneyleerde daha çabuk ve daha yüksek değerlere ulaşabilmek için oluk yansıtıcı ile vakumlu cam tüpe odaklama da yapılmıştır. şekil 4.21.'de parabolik odaklama ile ilgili şema ve hesap formülü görülmektedir. Bu hesaba göre paslanmaz elik sac alınarak parabolik odaklı yansıtıcı yapılmıştır.



Resim 4.13. YSS2 sisteminde güneş enerjisi kullanımı.



şekil 4.21. Güneş enerjisinde kullanılan parabolik odaklama şeması [58,59].

Resim 4.14.'de n soğutmasız sistem için yeni ısı borusunun cihaza bağlantısı ve boru yalıtımı görülmektedir. Bu yeni ısı borusu tasarımda depo kaynatıcı kısmı kadar uzun ve çift taraflı yapılmıştır. Böylelikle güneş tarafından elde edilen ısınnın kaynatıcıya daha iyi transfer edilmesi amaçlanmıştır.



Resim 4.14. YSS2 sistemlerinde ısı borusunun bağlantısı ve yalıtımı.

Yine ilk tasarımdan farklı olarak ısı borusundan depoya geçiş bölgesinin bağlantısı uygulama esnasında kolaylık sağlaması amacıyla küçük çapta altı adet bakır boru ile yapılmıştır. Böylece hem ısı borusunun cihaza bağlanması sırasında hem de çift taraflı bir yapıya sahip deponun iki yana açılıp sıkıştırılmasında bir esneme payı sağlanmıştır. Resim 4.15.'de altı adet ince bakır boru ile geçişin sağlandığı deponun kaynakçıya bağlanmış durumu ile esnek yapısından dolayı sökülürken sağladığı kolaylık görülmektedir.



Resim 4.15. YSS2 sistemlerinde ısı borusu deposunun bağlantısı.

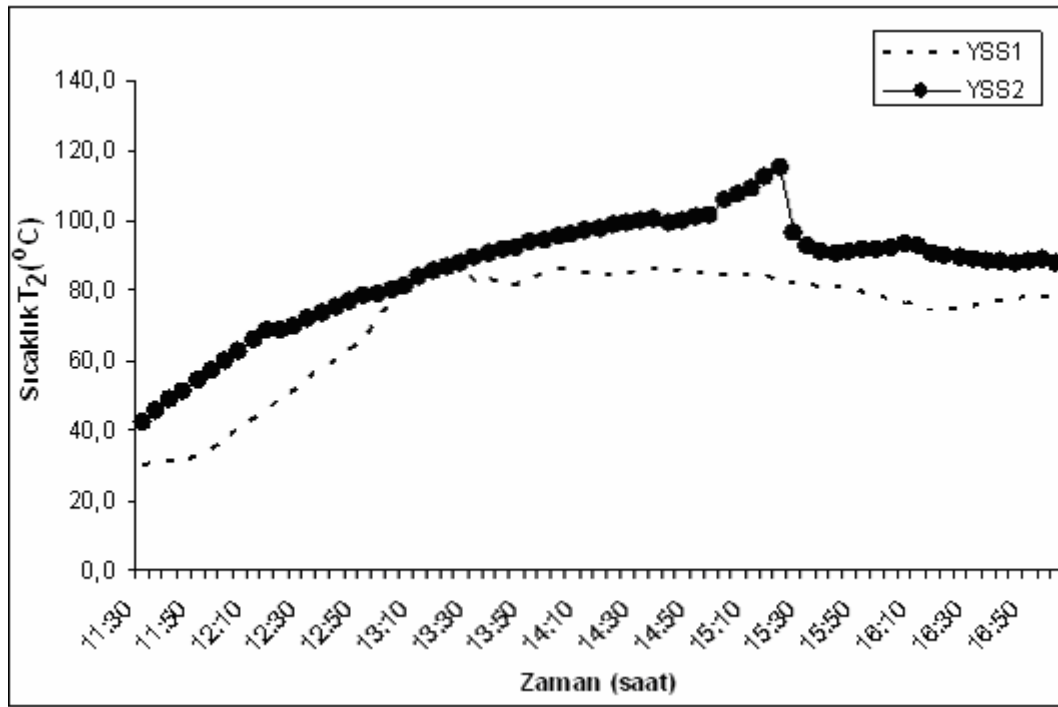
Ön soğutmasız sistem olan YSS2 cihazındaki başarıdan sonra Ağustos 2008 ortalarına kadar bütün çalışmalar ön soğutmalı sistem olan YSS1 üzerine yoğunlaştırılmıştır. Resim 4.16.'da YSS1 sistemi için kurulmuş deney düzeneği görülmektedir.



Resim 4.16. YSS1 sisteminde güneş enerjisi kullanımı.

Güneş enerjisi ile yapılan deneylerde saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktası (T_2), yoğunlaştırucu 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), soğurucu giriş noktası (T_{9b}) ve ısı borusunun depo yüzey 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 5,5 saatlik zamana bağlı sıcaklık ve basınç değişimi görülmektedir.

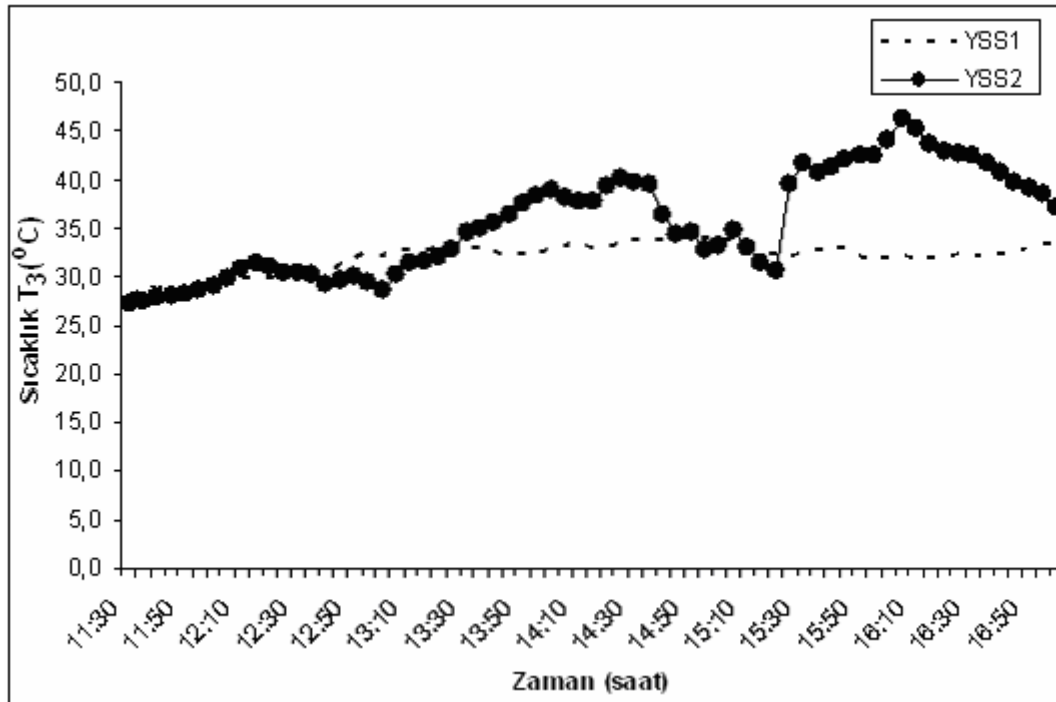


Şekil 4.22. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.22.'de YSS1 ve YSS2 sistemlerinin saflaştırıcı-kaynatıcı çıkış noktalarının 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 ön soğutmasız sistem YSS2 cihazı, ön soğutmalı sistem YSS1 cihazına göre daha yüksek sıcaklık değerlerinde seyretmiştir. 13:00 civarında iki sistemin sıcaklıkları eşitlense de YSS1 cihazı 90,3°C'de tutunamamış ve sıcaklığında bir miktar azalma göstererek deneyi tamamlamıştır. Bu

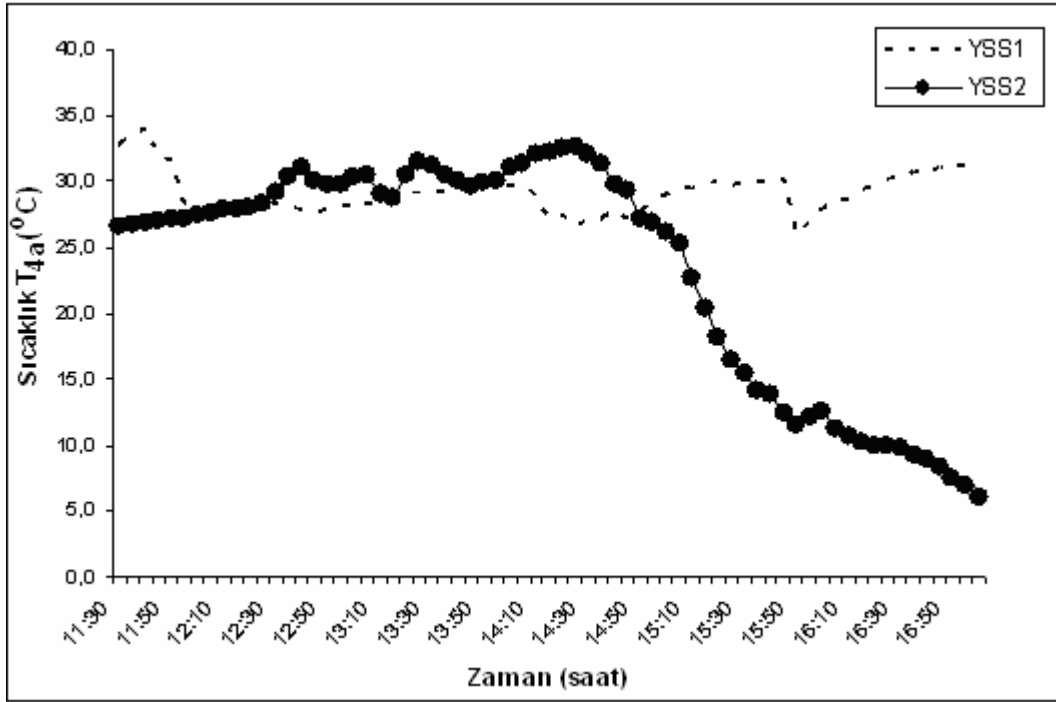
grafikteki önemli bir nokta da YSS2 cihazı için soğutmanın başladığı anda bu noktadaki sıcaklığındaki 3°C ani düşüş olmuştur. Yine tekrarlamak gerekirse cihazlar farklı günlerde denenmiştir. Deneyler Karabük ilinde yapılmış olup verilen değerler YSS2 için 3 Ağustos 2008 ve YSS1 için 14 Ağustos 2008 tarihlerine aittir.

Şekil 4.23. ile ön soğutmalı ve ön soğutmasız cihazlar için yoğuşturucu çıkışındaki sıcaklığın zamana bağlı dağılımı görülmektedir. Her iki cihazda da birbirine yakın değerlerde bir dağılım söz konusu iken YSS2 cihazı için soğutmanın başladığı andan itibaren sıcaklık değerinde bir artış meydana gelmiştir.

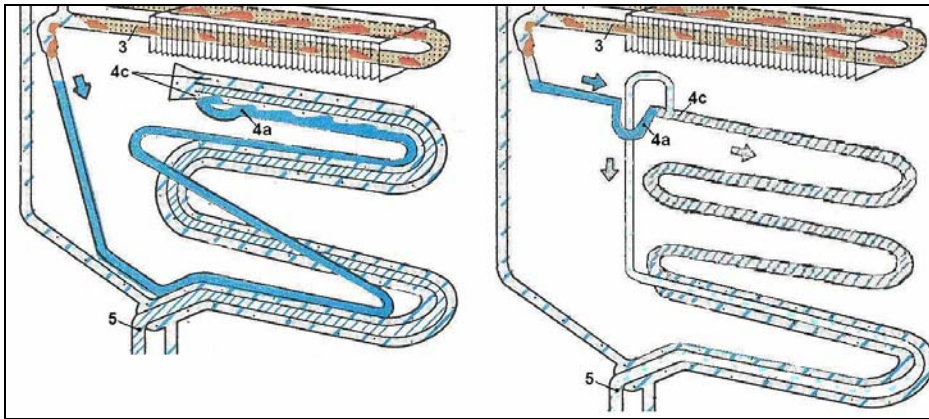


Şekil 4.23. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için yoğuşturucu çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.24.'de yoğuşturucuda sıvı hale gelmiş saf amonyağın buharlaştırıcıya girmeden önceki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Sıcaklık dağılımından da anlaşıldığı gibi saat 15:20 itibariyle YSS2 cihazında soğutma işlemi başlamış ve ani sıcaklık düşüşleri meydana gelerek deney sonunda 6,1°C sıcaklığa ulaşılmıştır. Saat 17:00 itibariyle de güneş ışınım şiddetinin düşüşüyle deney tamamlanmıştır.



Şekil 4.24. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için amonyağın buharlaştırıcıya giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

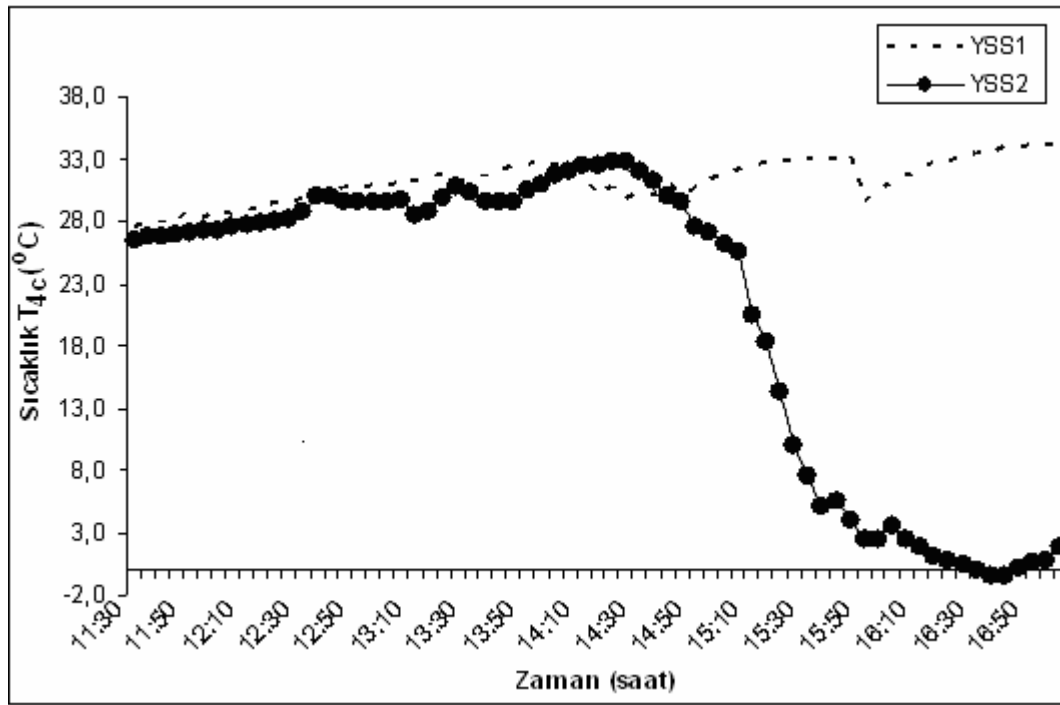


Şekil 4.25. YSS1 ve YSS2 için sıvı amonyağın buharlaştırıcıya girişi ile buharlaştırıcı girişi ölçüm yeri.

Şekil 4.26. ile buharlaşmanın başladığı noktanın sıcaklık dağılımı görülmektedir. 4a noktası ile benzer bir dağılım sergileyen YSS2 cihazında sıvı amonyağın kısmi basıncının düşerek buharlaştığı zaman yine saat 15:20 olmuştur. Bu olay yaklaşık altı aylık bir çalışmanın eseri olarak, yapılan literatür araştırmasından anlaşıldığı

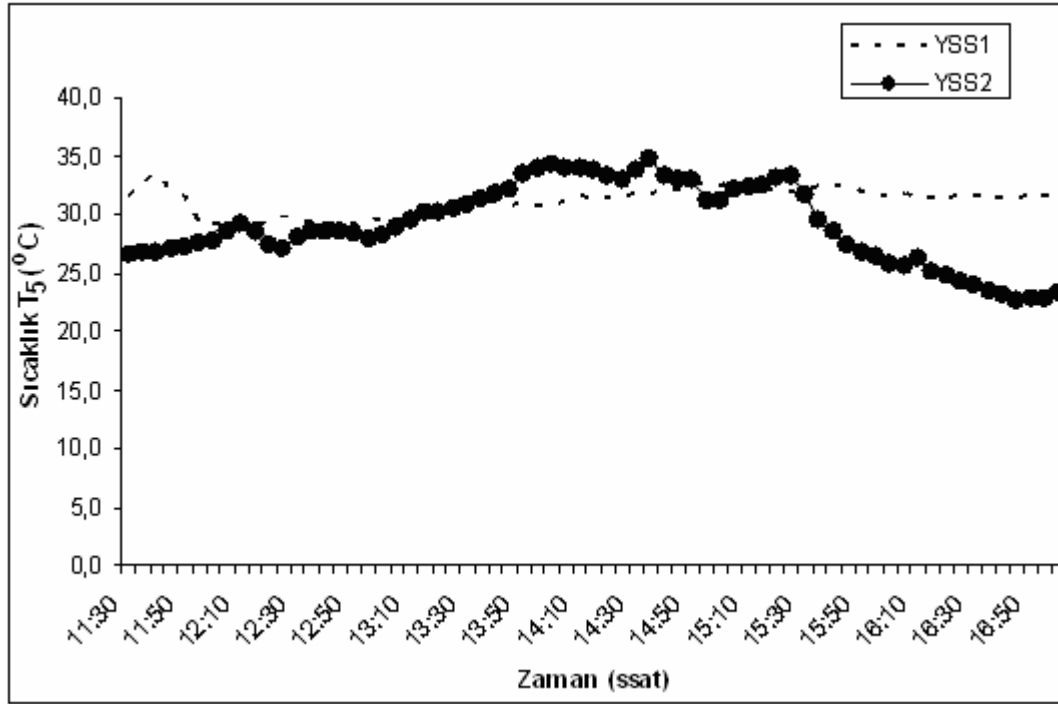
kadarıyla, yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinin güneş enerjisi ile dünyada ilk defa çalıştırıldığı bir andır.

YSS1 cihazı ise kaynatıcı bölgesinde yeterli sıcaklığa ulaşamadığından sıvı saf amonyak elde edilememiş ve neticede soğutma gerçekleşmemiştir. Ancak yine 15:50'de az bir sıcaklık düşüşü görülse de devamı gelmemiş ve o noktada sıcaklık artarak deney tamamlanmıştır. Eğer bulutlanma olmasaydı bu cihazda da soğutmanın gerçekleşeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.26. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için buharlaştırıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.27.'de YSS1 ve YSS2 cihazları için buharlaştırıcı çıkış noktalarının sıcaklık dağılımları görülmektedir. Diğer grafiklere benzer şekilde soğutmanın başladığı andan itibaren YSS2 sisteminin buharlaştırıcı çıkışında da sıcaklık değerinde bir düşüş başlamıştır. Soğutmanın başlamadan önceki sıcaklık değerleri her iki cihaz için birbirine yakın seyretmiştir.

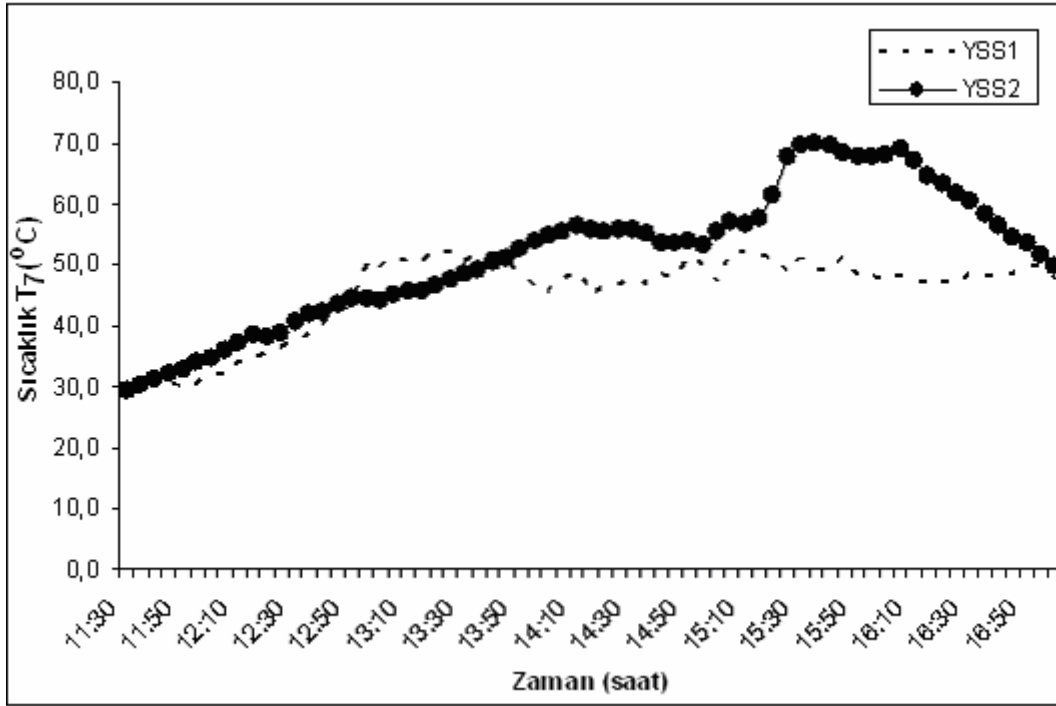


Şekil 4.27. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için buharlaştırıcı çıkış noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.28.'de cihazların kaynatıcı giriş sıcaklıklarının dağılımı görülmektedir. YSS2 cihazında saat 14:20'e kadar düzenli bir sıcaklık artışı olup soğutma başlayana kadar denge halinde bir hareketlilik görülmektedir. Soğutma işleminin başlamasından 10 dakika öncesinde ani bir sıcaklık artışı ve sonrasında da soğutma gerçekleşmektedir.

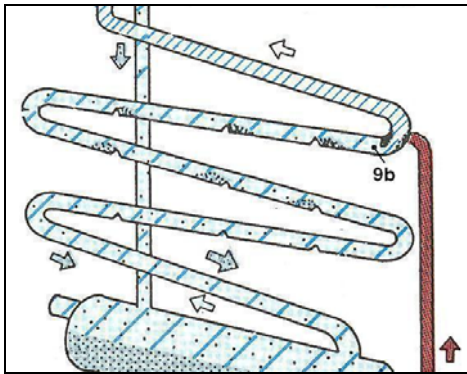
Ön soğutmalı YSS1 cihazında ise dalgalı bir artışın sergilendiği kaynatıcı çıkışı 14:20'den deney sonuna kadar hemen hemen denge halini korumaktadır.

Soğutmanın olduğu ön soğutmasız sistem ile ön soğutmalı sistemin 15:25'deki sıcaklık farkı 19,3°C'ye kadar ulaşmıştır. Bu da YSS1 sistemi için çözelti içerisindeki amonyağın ayrışma sıcaklığına henüz ulaşmadığının başka bir göstergesi olmuştur.

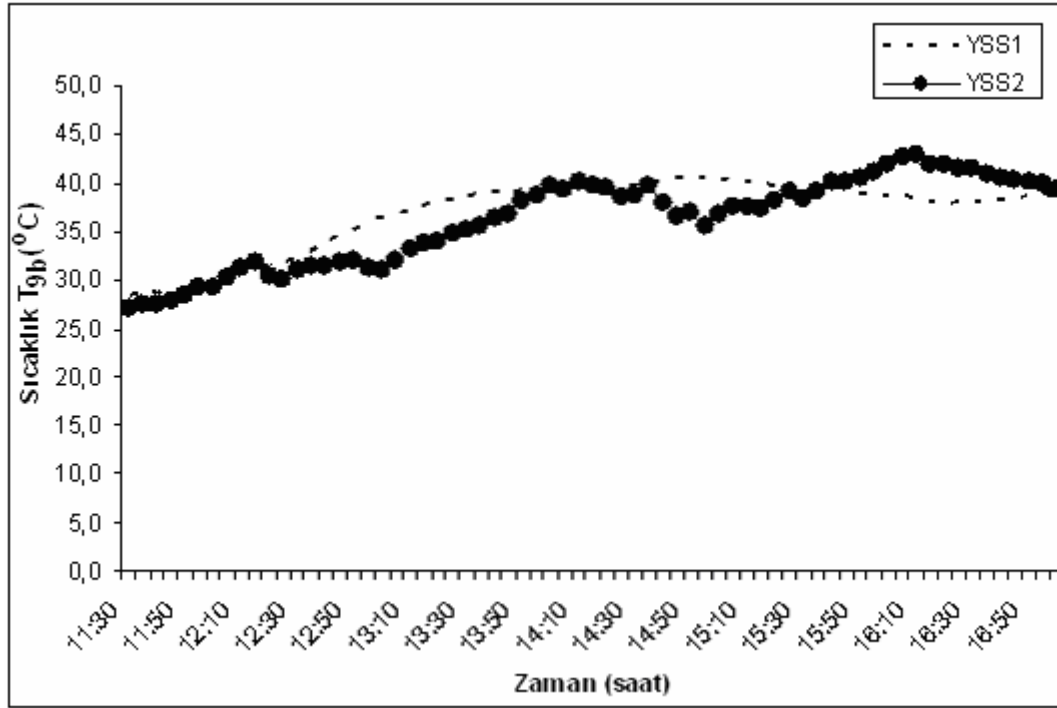


Şekil 4.28. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için kaynatıcı giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.29.'de her iki sistem için soğurucu girişi ölçüm yeri görülmektedir. Sadece güneş enerjili deneylerde bu noktadan ölçüm alınmış olup, elektrikli ısıtıcı ve LPG deneylerinde bu noktanın ölçümü alınmamıştır. Çok önemli bir değişikliğin olmadığı Şekil 4.30.'daki soğurucu girişi sıcaklık dağılım grafiğinden de anlaşılmaktadır. Ancak yine de soğutma işlemini başlamasıyla belli bir süre ön soğutmasız YSS2 sistemi için 2-3°C'lik sıcaklık artışının da olduğu görülmektedir. Bu artış kaynatıcıda sıcaklığı artmış olan zayıf çözeltinin sıcaklığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.29. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için soğurucu girişi ölçüm yeri.



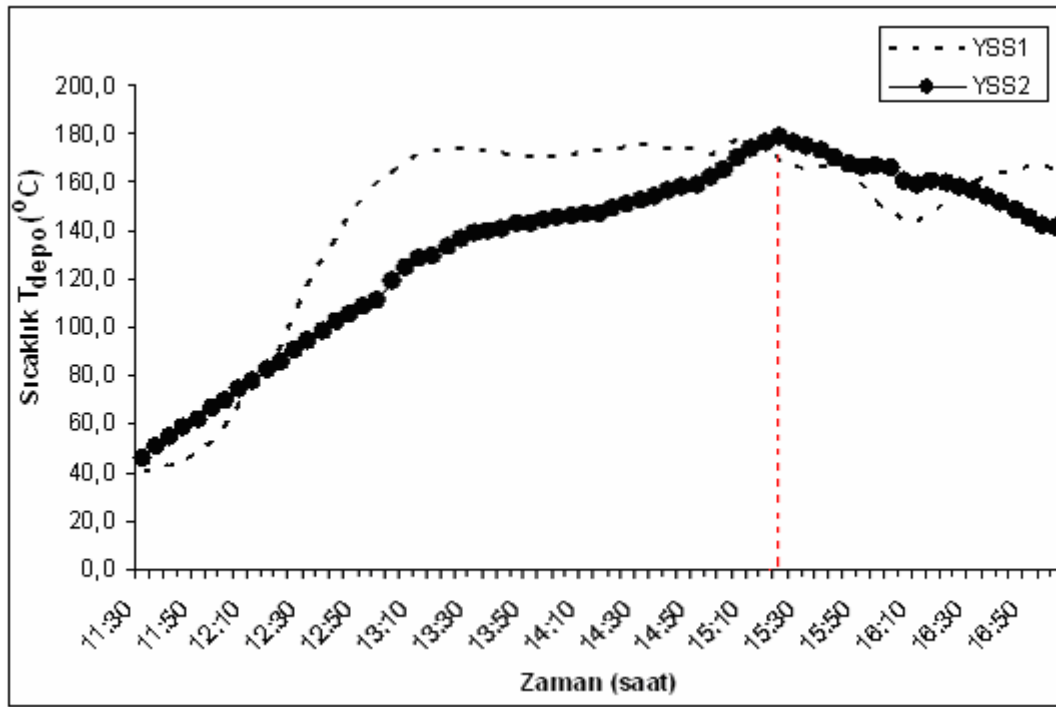
Şekil 4.30. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için soğurucu giriş noktasının sıcaklık dağılımı.

Resim 4.17.'de ısı borusu deposundan alınan ölçüm yeri görülmektedir. Depo sıcaklığı ile beraber ilk deneylerde ısı borusunun vakumlu cam tüp içinde kalan kısmının ortalarından da sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Resim 4.17. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için ısı borusu deposu ölçüm yeri.

Şekil 4.31.'de ısı borusu depo yüzeyinin zamana bağlı sıcaklık dağılımı görülmektedir. Daha önceden de bahsedildiği gibi deneyler Karabük ilinde yapılmış olup bu bölümde ön soğutmasız YSS2 cihazı için 3 Ağustos 2008 günü yapılan deney sonuçları ile ön soğutmalı YSS1 cihazı için de 14 Ağustos 2008 günü yapılan deney sonuçlarına yer verilmiştir. Bu farklı günlerdeki deney sonuçlarına göre ulaşılan depo yüzey sıcaklığı değerleri cihazların çalışıp çalışmaması açısından en önemli verilerden birisidir. Literatürden elde edilen bilgiye göre 15 bar basınçlı %35'lik amonyak-su çözeltisinin ayrışma sıcaklığı 180°C'dir [10].

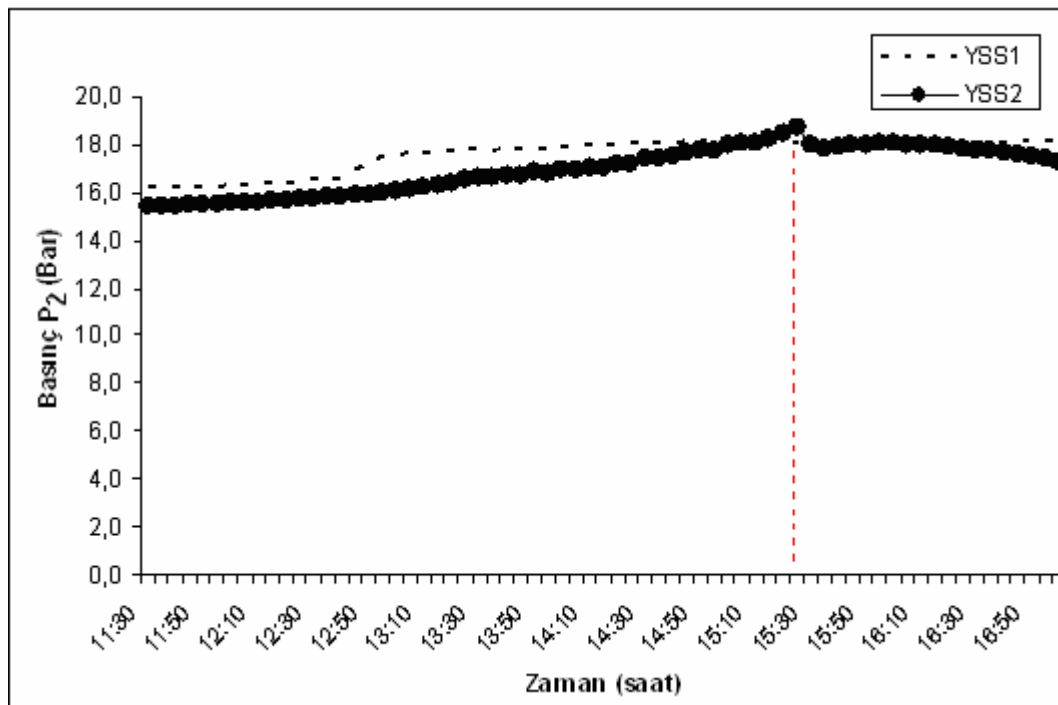


Şekil 4.31. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için ısı borusu deposunun sıcaklık dağılımı.

Isı borulu vakumlu cam tüplerin konumları birbirlerinden farklıdır. YSS2 sistemi için cam tüp güney-batı istikametine yerleştirilmişken, YSS1 sistemi için cam tüp güney-doğu istikametine yerleştirilmiştir. Bundan dolayı sıcaklığı ilk artan sistem ön soğutmalı YSS1 cihazının depo yüzey sıcaklığı olmuştur. YSS1 için cam tüpün güney-doğu yönünde yerleştirilmiş olması hedeflenen sıcaklık değerine daha kısa sürede ulaşılabilceğinin izlenimini uyandırmıştır. Ancak ilerleyen süre içerisinde hızlı artışın durduğu ve saat 15:05'e kadar herhangi bir değişimin olmadığı görülmüştür. Saat 15:05'de çözeltinin ayrışma sıcaklığına çok yaklaşılmış ancak

bulutlanma nedeniyle devamı gelmemiştir. YSS2 sisteminde ise çözeltinin ayrışma sıcaklığına saat 15:15’de 176°C olarak ulaşılmış ve sadece 10 dakika bu sıcaklık değerinde kalabilmesi sonucu sistemde soğutma meydana gelmiştir. Bundan sonraki sıcaklık düşüşü sistemdeki genel soğumadan kaynaklanmaktadır. Deneyler farklı günlerde yapılmış olmasına rağmen her iki gün için de dış ortam sıcaklıkları aynı olup dış ortam sıcaklığı 28°C’dir.

Şekil 4.32.’de YSS1 ve YSS2 sistemlerinde her birinin toplam sistem basınçlarının zamana bağlı grafiği görülmektedir. Normalde deneyler saat 10:00’da başlayıp 18:30’da sona ermiştir. Ancak sistemler farklı zamanlarda denendiği için aynı grafik içerisinde saat 11:30 ile saat 17:00 arasında gösterilmesi daha uygun görülmüştür. Sistemler arasındaki saat 11:30 için verilen değerler arasındaki fark bundan kaynaklanmaktadır. Yoksa her iki sistem için de yaklaşık aynı basınçta helyum gazı bulunmaktadır. Bu durum saat 15:10’daki depo yüzeyi sıcaklık değerleri ile basınç değerlerinin birbirleri ile örtüşmesinden de anlaşılmaktadır.

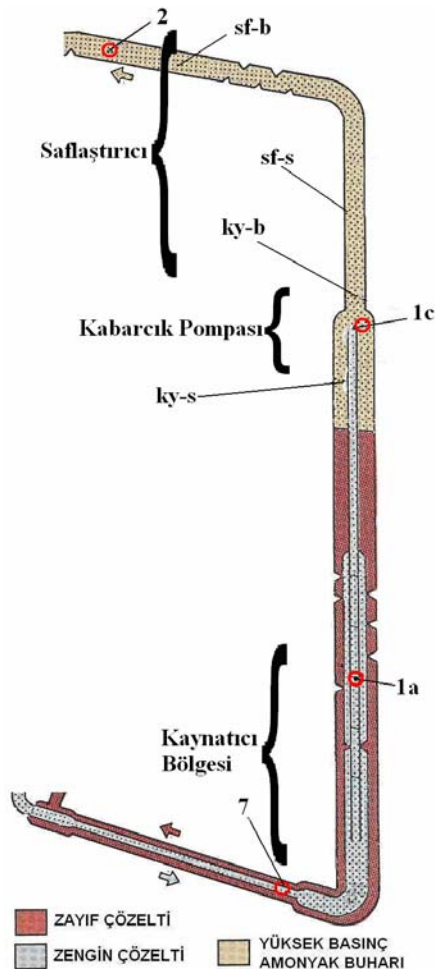


Şekil 4.32. Güneş enerjili YSS1 ve YSS2 için sistem basınçlarının dağılımı.

Ön soğutmalı cihaz için cam tüpün güney-doğu yönünde yerleştirilmesi sıcaklıkla birlikte basıncın da diğer cihaz için güney-batı yönünde yerleştirilmiş olana göre daha hızlı ve yüksek seviyelerde olmasını sağlamıştır. Ancak ön soğutmasız YSS2 cihazı saat 15:10'da YSS1 cihazının basınç miktarına ulaşmıştır. Sonraki 15 dakikalık süreçte ani bir yükselişle saat 15:25'de çözeltideki amonyak ayrışması gerçekleşmiş ve yine basınçta bu sefer ani bir düşüş meydana gelmiştir. Elektrikli ısıtıcı ile ve LPG ile yapılan deneylerin aksine güneş enerjisi ile yapılan deneylerde süreç çok yavaş ilerlemiştir.

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.



Şekil 5.1. STK hesabı için kullanılan değerlerin cihaz üzerindeki yerleri.

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

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

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

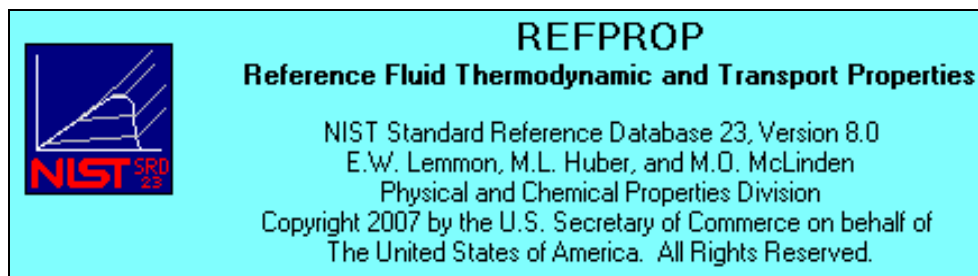
$$h_{1c} \cdot \dot{m}_{1c} + \dot{Q}_{ky} = h_{ky-s} \cdot \dot{m}_{ky-s} + h_{ky-b} \cdot \dot{m}_{ky-b} \quad (5.3)$$

Saflaştırıcı bölgesindeki kütleli korunumu eşitlikleriyle de yoğunlaştırıcıya 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.

Sistemin çalışması için gerekli ısı kaynağı olarak Elektrik, LPG ve Güneş Enerjisi kullanılmıştır. Her üç ısı kaynağı için de güç hesabı yapıldıktan sonra bulunan

değerler yerine konularak sistemin performansını gösteren birim iş başına yapılan soğutma miktarı olan “Soğutma Tesir Katsayısı” bulunur.

$$STK = n_{sf-b} \frac{h_{4c} - h_5}{\phi_{Tky}} \quad (5.6)$$

5.1. YSS1 Cihazında Elektrik Kullanımı için STK Hesabı

Her bir cihazın çalıştırıldıkları ısı kaynağına göre soğutmaya başladıkları andan itibaren çeşitli zamanlardaki STK hesaplarının yapıldığı bu çalışmada örnek olarak sadece elektriğin kullanıldığı ön soğutmalı YSS1 cihazının 170. dakikadaki STK hesabı gösterilmiştir. Diğer hesaplamalar da aynı şekilde yapıldıktan sonra sonuçlar toplu olarak grafik halinde sunulmuştur.

Elektriğin kullanıldığı ön soğutmasız YSS1 cihazına ait soğutmanın başladığı 17. dakika ile 21., 26., 75. ve 170. dakikalar için deneysel veriler Çizelge 5.1.görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.1. YSS1 cihazının elektrikle yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm değerleri.

Süre (dakika)	17	21	26	75	170
YSS1-T4c °C	15,3	10,0	-2,5	-15,8	-18,8
YSS1-T5 °C	16,0	16,3	16,8	17,0	17,0
YSS1-T2 °C	54,9	71,6	76,8	77,0	76,3
YSS1-T7 °C	41,2	47,7	51,1	54,8	55,2
YSS1-P2 Bar	15,8	16,1	16,1	16,1	16,1
Isıtıcı Güç W	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
YSS1-T1c °C	82,4	107,4	115,2	115,5	114,5
YSS1-Tky °C	123,6	149,1	159,8	167,4	167,6
YSS1-Tsf °C	68,6	89,5	96,0	96,3	95,4
YSS1-T1a °C	164,8	190,8	204,4	219,2	220,8

Isı kaynağı olarak elektriğin kullanıldığı deneylerde ısıtıcı olarak 75 watt güce sahip fişek rezistans kullanılmıştır. Bu durumda sisteme verilen enerji aşağıdaki gibidir.

$$\phi_{Tky} = 75 \text{ W}$$

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 5.3.'de verilmiştir.

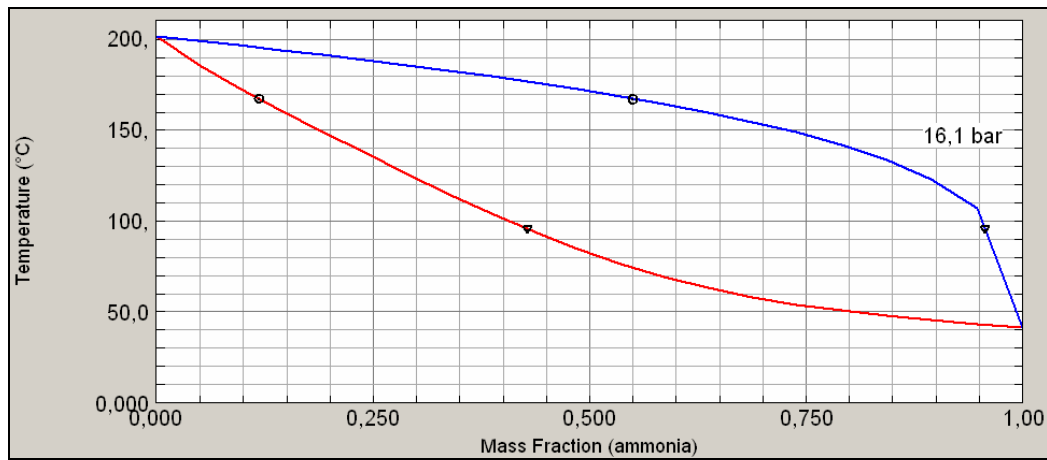
	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg·K)	Vapor Entropy (kJ/kg·K)
1	-18,800	2,0042	663,59	1,6850	257,13	1582,5	1,1467	6,3574
2	17,000	7,7817	614,59	6,1025	422,70	1621,1	1,7521	5,8824

Şekil 5.3. REFPROP programı ile elde edilen saf amonyağın termodinamik özellikleri.

Bu durumda buharlaştırıcıdan çekilen ısı,

$$Q_{1bh} = h_{4c} - h_5 = 1582,5 - 422,7 = 1159,8 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

STK hesabı için son olarak saflaştırıcı çıkışındaki kütleli debinin bulunması gerekmektedir. Bunun için de yine REFPROP programından faydalanılarak kaparcık pompası (1c), ortalama kaynatıcı (ky) ve ortalama saflaştırıcı (sf) sıcaklıklarındaki akışkanın küte oranları (x) Şekil 5. 4.'deki T-x grafiğinden okunarak bulunur.



Şekil 5.4. REFPROP programı ile elde edilen amonyak-su karışımı için T-x grafiği.

1c (kabarcık pompası) 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 %35 amonyak-su çözeltisine göre yerine konulduğunda Şekil 5. 5.'deki tablo elde edilir.

4: ammonia/water: Specified state points (35,/65,)							
	Mass Frac. (ammonia)	Mass Frac. (water)	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
1	0,35000	0,65000	114,50	16,100	291,97	443,95	1,9934
2	0,11550	0,88450	167,60	16,100	839,79	676,11	2,2204
3	0,54840	0,45160	167,60	16,100	8,3563	2306,4	6,7265
4	0,42804	0,57196	95,400	16,100	780,90	341,10	1,7859
5	0,95680	0,043200	95,400	16,100	10,038	1777,4	6,0271

Şekil 5.5. REFPROP programıyla bulunan amonyak-su karışımının termodinamik özellikler.

Şekil 5.5.'deki 1c noktası için sisteme yüklediğimiz %35 amonyak-su oranı doğrudan programa yazılır. Elde edilen veriler kabarcık pompası çıkışındaki kütle ve enerjinin korunum denklemlerinde yerine konularak üç bilinmeyenli üç denklem gurubunun çözümü ile kaynatıcıdan saflaştırıcıya giden amonyak-su buharının kütleli debisi, $\dot{m}_{ky-b}$ bulunur.

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

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

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

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

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

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

REFPROP programının ve matematiksel işlemler yardımıyla bulunan değerler yerine konularak sistemin performans göstergesi STK bulunur.

$$STK = m_{sf-b} \frac{h_{4c} - h_5}{\phi_{ky}} \quad (5.6)$$

5.2. Elektrik Enerjisi Kullanımında Cihazların STK Sonuçları

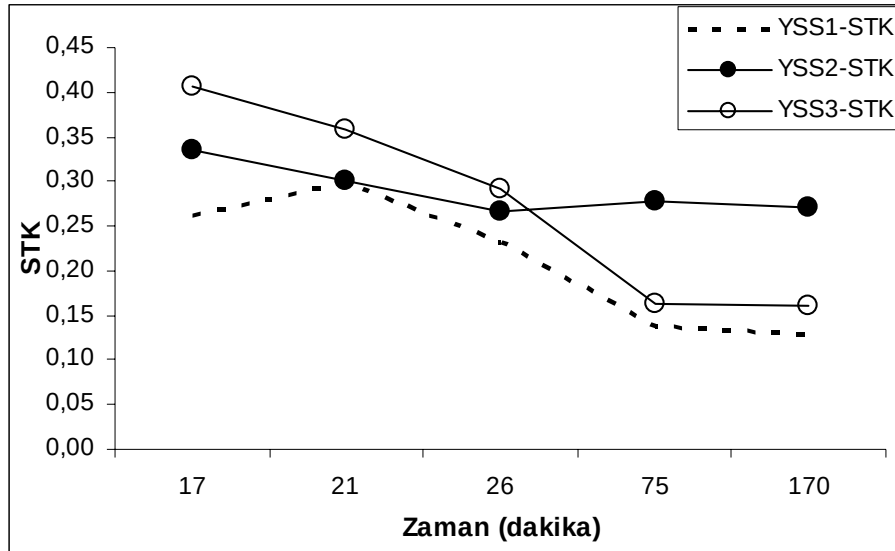
Elektrikli deney sonuçlarına göre soğumanın başladığı andan itibaren önemli görülen 5 farklı zamandaki sıcaklık değerleri ile bu değerler için yapılan hesaplamalarda elde edilen STK değerleri Çizelge 5.2.'deki olup, STK değerlerinin zamana bağlı grafiği de Şekil 5.6.'da görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.2. YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının elektrikle yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm ve hesap değerleri.

		Süre (dakika)	17	21	26	75	170
YSS1	Buharlaştırıcı Girişi	YSS1-T4c °C	15,30	10,00	-2,50	-15,80	-18,80
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS1-T5 °C	16,00	16,30	16,80	17,00	17,00
	İç Ortam	YSS1-Tiç °C	15,3	15,1	14,5	9,7	6,4
	Kaynatıcı	YSS1-T1a °C	164,80	190,80	204,40	219,20	220,80
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	2,1201E-05	3,3730E-05	3,7026E-05	3,6888E-05	3,6428E-05
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	1,6379E-05	1,8712E-05	1,4763E-05	8,8382E-06	8,2919E-06
	Soğutma Performansı	STK	0,26246	0,29838	0,23246	0,13715	0,12823
YSS2	Buharlaştırıcı Girişi	YSS2-T4c °C	13,50	0,50	-8,00	-13,70	-16,00
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS2-T5 °C	16,00	16,40	16,70	15,60	14,00
	İç Ortam	YSS2-Tiç °C	15,7	15,5	15,1	9,8	6,2
	Kaynatıcı	YSS2-T1a °C	164,80	188,00	195,20	190,80	193,20
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	2,7699E-05	3,2185E-05	3,1373E-05	3,0222E-05	3,0499E-05
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	2,0978E-05	1,8968E-05	1,6961E-05	1,7699E-05	1,7220E-05
	Soğutma Performansı	STK	0,33574	0,29995	0,26573	0,27684	0,27039
YSS3	Buharlaştırıcı Girişi	YSS3-T4c °C	14,80	14,80	-12,00	-24,50	-28,30
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS3-T5 °C	15,80	16,10	16,80	18,20	18,10
	İç Ortam	YSS3-Tiç °C	15,0	15,0	14,6	8,1	3,2
	Kaynatıcı	YSS3-T1a °C	153,60	178,00	191,60	216,00	217,20
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	3,1667E-05	3,5081E-05	3,3883E-05	3,4668E-05	3,4599E-05
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	2,5419E-05	2,2323E-05	1,8731E-05	1,0664E-05	1,0626E-05
	Soğutma Performansı	STK	0,40751	0,35745	0,29211	0,16296	0,16167

Çizelge 5.2. ve Şekil 5.6.'dan anlaşıldığı gibi STK değeri en yüksek cihaz YSS2 olmuştur. Ancak buharlaştırıcı giriş sıcaklığı (-28,3 °C) ve iç ortam sıcaklığı (3,2 °C) bakımından ejektörlü sistem olan YSS3 cihazı en düşük değere sahip olmuştur.

YSS2 cihazı en yüksek buharlaştırıcı giriş sıcaklığına ($-16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) sahip olmasına rağmen debisinin yüksek olmasından dolayı iç ortam sıcaklığı ($6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) YSS1 cihazının iç ortam sıcaklığından ($6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) daha düşük değere ulaşmıştır.



Şekil 5.6. Elektrik enerjisi kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının zamana bağlı STK değişimi.

5.3. LPG Kullanımında Güç Hesabı

Ülkemizde kullanılan LPG tüplerinin içeriği %30 Propan ve %70 Bütan bileşenlerinden meydana gelmektedir. Çizelge 5.3.'de verilen değerler ile yapılan hesaplama sonucu LPG 'nin ısı gücü, $45897,8\text{ kJ/kg}$ bulunur.

Çizelge 5.3. Çeşitli yakıtlar için ısı değeri tablosu [60].

Yakıt	Birim	Isıl Değeri H_u	
		kWh	kJ
Taş Kömürü	kg	8,14	29310
Doğalgaz L	m^3	9,03	32510
Propan	kg	12,87	46343
n-Bütan	kg	12,69	45707
Elektrik	kWh	1	3600

Yapılan deney sırasında alınan ölçümlerle cihaz başına 1 saatte 36 gr LPG kullanıldığı sonucu ile debi hesabı yapılacak olursa,

$$\dot{m}_{LPG} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s hesaplanır.}$$

Sonuç olarak, sistemde kullandığımız LPG Brülörünün gücü,

$$\text{Brülör}_{LPG} = 0,459 \text{ kJ/s (kW) bulunur.}$$

5.4. LPG Kullanımında Cihazların STK Sonuçları

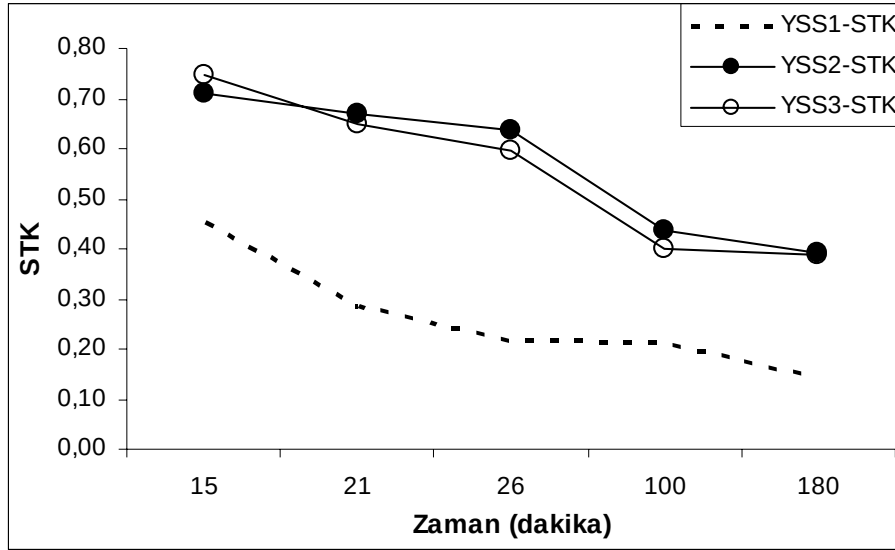
LPG ile yapılan deneyin sonuçlarına göre yine elektrikli deneyde olduğu gibi soğumanın başladığı andan itibaren önemli görülen 5 farklı zamandaki sıcaklık değerleri ile bu değerler için yapılan hesaplamalarda elde edilen STK değerleri Çizelge 5.4.'de görüldüğü gibidir. Farklı anlar için hesaplanan STK değerlerinin zamana bağlı grafiği de Şekil 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının LPG ile yapılan deneyinden çeşitli sürelerdeki ölçüm ve hesap değerleri.

		Süre (dakika)	15	21	26	100	180
YSS1	Buharlaştırıcı Girişi	YSS1-T4c °C	7,90	-2,20	-4,90	-11,90	-13,10
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS1-T5 °C	28,70	30,50	31,20	34,20	33,80
	İç Ortam	YSS1-Tiç oC	20,0	19,2	18,3	15,7	14,0
	Kaynatıcı	YSS1-T1a °C	191,60	199,00	203,20	206,40	210,40
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	5,0577E-04	4,7202E-04	4,1656E-04	3,4350E-04	3,5510E-04
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	1,8315E-04	1,1732E-04	8,9762E-05	9,0317E-05	6,0941E-05
	Soğutma Performansı	STK	0,45275	0,28517	0,21691	0,21373	0,14427
YSS2	Buharlaştırıcı Girişi	YSS2-T4c °C	1,20	0,10	-0,60	-3,30	-4,70
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS2-T5 °C	26,40	27,40	27,80	12,30	13,70
	İç Ortam	YSS2-Tiç oC	20,7	19,6	18,8	14,7	13,1
	Kaynatıcı	YSS2-T1a °C	143,00	154,20	157,00	171,40	171,60
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	3,4479E-04	3,5345E-04	3,4572E-04	2,4234E-04	2,1515E-04
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	2,8617E-04	2,7057E-04	2,5907E-04	1,6624E-04	1,5027E-04
	Soğutma Performansı	STK	0,71028	0,66795	0,63803	0,43508	0,38574
YSS3	Buharlaştırıcı Girişi	YSS3-T4c °C	2,20	-10,60	-12,80	-21,30	-21,90
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS3-T5 °C	20,80	22,90	24,40	16,80	14,40
	İç Ortam	YSS3-Tiç oC	17,6	16,5	15,4	9,5	7,5
	Kaynatıcı	YSS3-T1a °C	161,60	175,20	180,00	191,00	188,40
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	4,1530E-04	4,3227E-04	4,3041E-04	3,2439E-04	2,8234E-04
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	2,9373E-04	2,6073E-04	2,4226E-04	1,5880E-04	1,5161E-04
	Soğutma Performansı	STK	0,74676	0,64889	0,59772	0,40037	0,39061

LPG kullanımıyla ilgili sonuçların verildiği Çizelge 5.4. ve Şekil 5.7.'den anlaşıldığı gibi STK değeri en yüksek cihaz ön soğutmasız YSS2 cihazı ile ön soğutmasız ejektörlü YSS3 cihazları olmuştur. Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı (-21,9 °C) ve iç ortam sıcaklığı (7,5 °C) bakımından ejektörlü sistem olan YSS3 cihazı yine en düşük

değere ulaşmıştır. YSS2 cihazının buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ($-4,7^{\circ}\text{C}$) en yüksek değere sahip olmasına rağmen debisinin yüksek olmasından dolayı iç ortam sıcaklığı ($13,1^{\circ}\text{C}$), buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ($-13,1^{\circ}\text{C}$) daha düşük olan YSS1 cihazının iç ortam sıcaklığından ($14,0^{\circ}\text{C}$) daha düşük değere sahip olmuştur.



Şekil 5.7. LPG kullanımında YSS1, YSS2 ve YSS3 cihazlarının zamana bağlı STK değişimi.

5.5. Güneş Enerjisi Kullanımında Güç Hesabı

Sistemde ısıtıcı güç olarak Güneş Enerjisi kullanılmıştır. Yeni teknoloji olan vakumlu güneş kolektörünün tercih edildiği deney düzeneğinde ısı transferi cihazlara uygun olarak esnek yapılı ısı borusu ile sağlanmıştır. $\pm\%3$ toleransa sahip “Haenni, Solar 118” güneş ısıtım şiddeti ölçüm cihazının kullanıldığı deneyde ortalama ısıtım şiddeti 992 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak $0,047 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$ ölçülerine sahip kolektörün gücü,

Kollektör Gücü = $0,08392 \text{ kJ/s (kW)}$ bulunur.

5.6. Güneş Enerjisi Kullanımında Cihazların STK Sonuçları

Güneş enerjisiyle yapılan deneyin sonuçlarına göre yine elektrik ve LPG kullanılan deneylerde olduğu gibi soğumanın başladığı andan itibaren önemli görülen 5 farklı zamandaki sıcaklık değerleri ile bu değerler için yapılan hesaplamalarda elde edilen STK değerleri Çizelge 5.5.'deki gibidir. Farklı zamanlar için hesaplanan STK değerlerinin zamana bağlı grafiği de Şekil 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. YSS2 cihazının güneş enerjisiyle yapılan deneyinden çeşitli zamanlardaki ölçüm ve hesap değerleri.

		Zaman (saat)	13:30	15:30	15:40	16:05	16:35
YSS2	Buharlaştırıcı Girişi	YSS2-T4c °C	24,90	7,50	5,50	2,50	-0,40
	Buharlaştırıcı Çıkışı	YSS2-T5 °C	33,20	31,70	28,60	25,50	23,40
	İç Ortam	YSS2-Tiç oC	32,4	31,7	31,1	26,1	27,0
	Kaynatıcı	YSS2-T1a °C	176,10	174,30	170,20	160,20	154,20
	Kaynatıcı Buhar Debisi	mky-b	9,0690E-05	7,9560E-05	7,7472E-05	1,1940E-04	9,6420E-05
	Saflaştırıcı Buhar Debisi	msf-b	5,4194E-05	4,8565E-05	5,0140E-05	8,4618E-05	7,2207E-05
	Soğutma Performansı	STK	0,72709	0,64798	0,67677	1,15416	0,99095

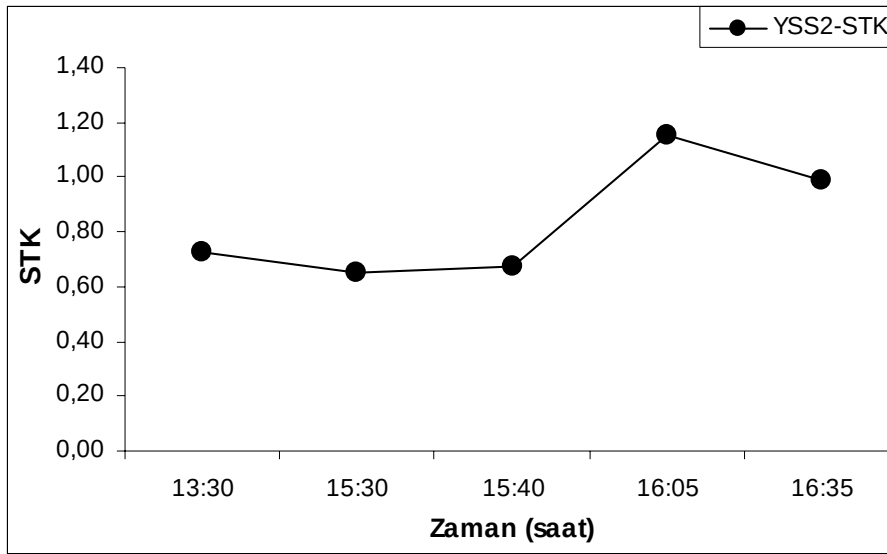
Güneş enerjisinin kullanıldığı deneyde elde edilen sonuçların verildiği Çizelge 5.5. ve Şekil 5.8.'den anlaşıldığı gibi YSS2 STK değeri diğer ısı kaynaklarının kullanıldığı deneylere göre oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise henüz çalışmaya yani soğutmaya başlamış cihazın dengeye ulaşamamasıdır. Nitekim ön soğutmasız YSS2 cihazının LPG deneyindeki soğumanın başladığı andaki STK değeri (0,71028) ile güneş enerjisi kullanılan deneyde soğumanın başladığı andaki STK değeri (0,72709) oldukça yakındır.

Buharlaştırıcı giriş sıcaklığındaki (-0,4°C) düşüşe rağmen STK değerindeki artışın güneş enerjisi ile elde edilen sıcaklık değerinin kararlı kalamamasından ve soğutmanın devamı için gerekli ısı miktarını karşılayamamasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü soğumanın gerçekleşmesiyle beraber sistemin her bölgesinde sıcaklık düşüşü meydana gelmiş ve güneşten sağlanan ısı enerji bu sıcaklık azalmasını aynı zamanda güneş ışıyım şiddetinde meydana gelen düşme nedeniyle karşılayamamıştır.

Aslında her cihaz için soğumanın başladığı anda sistemin bütününde bir sıcaklık düşüşü meydana gelmekte ancak elektrik ve LPG kullanımında sağlanan ısı enerjisi kararlı ve yeterli miktarda olduğundan bu durum belki de saniye geçmeden

atlatılmaktadır. Böylelikle soğutma daha düşük sıcaklık değerlerine doğru devam ederek kararlı hale gelmektedir.

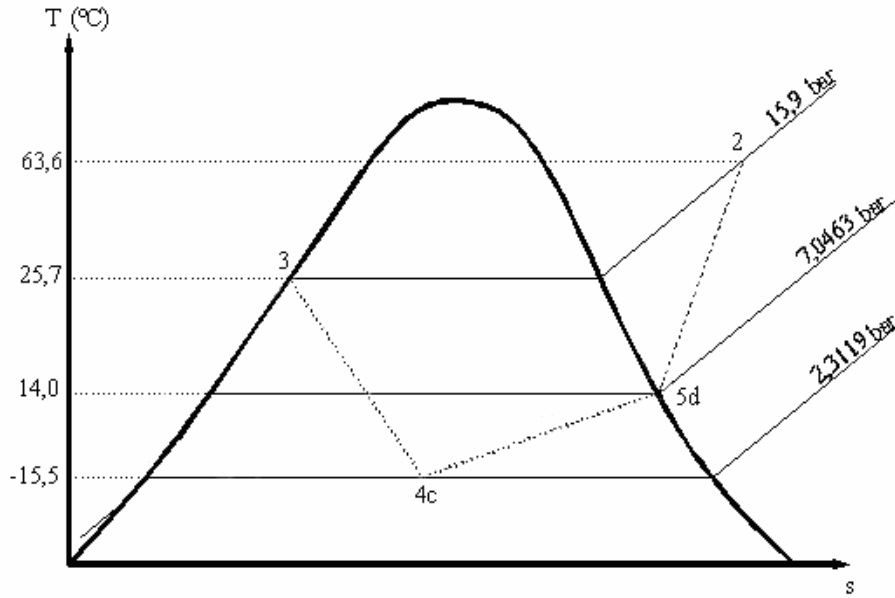
Sonuç olarak güneş enerjisinden sağlanan ısı miktarı yeterli ve karalı halde devam etseydi soğumanın başlamış olduğu 15:30'dan itibaren buharlaştırıcı girişindeki sıcaklık düşüşü ile beraber STK değeri de 0,4 civarında dengeye ulaşabilir.



Şekil 5.8. Güneş enerjisi kullanımında YSS2 cihazının zamana bağlı STK değişimi.

5.7. Sistemlerin Soğutma Çevrimleri

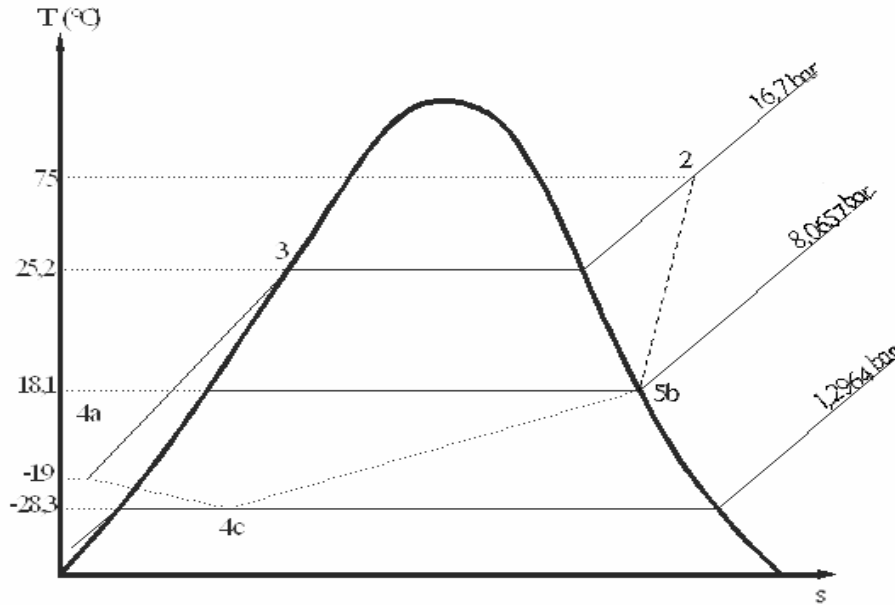
5.7.1. Ön soğutmalı sistemin (YSS1) soğutma çevrimi



Şekil 5.10. YSS2 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı

Isı kaynağı olarak yine elektrik enerjisinin kullanıldığı ön soğutmasız sistemin (YSS2) soğutma çevrimi T-s diyagramı Şekil 5.10.'da görüldüğü gibidir. Soğurucu girişinde (5b) 14°C sıcaklık ve 7,0463 bar basınca sahip soğutucu akışkan amonyak doymuş buhar halindedir. Kaynatıcıda sisteme 75 W'lık ısı enerjisi verilmesiyle soğutucu akışkan kaynatıcı çıkışında (2) kızgın buhar fazında 63,6°C sıcaklığa ve 15,9 bar basınca ulaşmaktadır. Yoğuşturucu çıkışında (3) sabit basınç altında ısısını atarak doymuş sıvı haline gelen soğutucu akışkan, 25,7°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 yayılımı (difüzyon) sonucu kısmi basıncı düşer ve buharlaşma gerçekleşir. Buharlaştırıcı girişinde (4c) -15,5°C sıcaklığına ve 2,3119 bar basınca ulaşan amonyak ıslak buhar fazında termal kompresöre yani soğurucuya oradan da kaynatıcıya doğru ilerleyerek çevrimi tamamlar.

5.7.3. Ön soğutmalı ejektörlü sistemin (YSS3) soğutma çevrimi



Şekil 5.11. YSS3 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı

Şekil.5.11.'de ön soğutmalı ejektörlü sistemin (YSS3) soğutma çevrimi T-s diyagramı görülmektedir. Soğurucu girişinde (5b) doymuş buhar halindeki soğutucu akışkan amonyak 18,1°C sıcaklık ve 8,0657 bar basınca sahiptir. Elektrikli ısıtıcının kullanıldığı sisteme 75 W'lık ısı enerjisi verilmesiyle soğutucu akışkan kaynatıcı çıkışında (2) kızgın buhar fazında 75°C sıcaklığa ve 16,7 bar basınca ulaşmaktadır. Sabit basınç altında ısısını atarak doymuş sıvı haline gelen soğutucu akışkan, yoğuşturucu çıkışında (3) 25,2°C sıcaklık değerindedir. Yoğuşturucudan çıkan sıvı amonyak ön soğutmaya tabi tutularak sıcaklığı -16,4°C'ye düşürülmektedir (4a). Sıcaklığı düşürülmüş sıvı amonyak buharlaştırıcı girişinde (4c) helyum ile karşılaşır ve meydana gelen gaz yayılımı (difüzyon) neticesinde kısmi basıncı düşen amonyak buharlaşmaya başlar. Buharlaştırıcı girişinde (4c) -28,3°C sıcaklığındaki ve 1,2964 bar basınçtaki amonyak ıslak buhar halinde soğurucuya oradan da kaynatıcıya girmekte ve çevrim bu şekilde tamamlanmaktadır.

5.8. Ekonomik Açıdan Değerlendirme

5.8.1. Elektrikli ısıtıcı kullanımının ekonomik analizi

TEDAŞ'dan alınan konutlarda elektriğin birim fiyatı 0,165 TL/kWh şeklindedir. Cihazlarda 75 W'lık (0,075kW) elektrikli ısıtıcının 180 dakika (3 saat) boyunca kullanımıyla harcanan enerjinin toplam maliyeti;

$$0,075 \text{ kW} * 3 \text{ saat} * 0,165 \text{ TL/kWh} = 0,037 \text{ TL olarak bulunur.}$$

Cihazların birim soğutma yükü başına düşen maliyetinin hesabı için bulunan toplam maliyet buharlaştırıcıdan çekilen enerjiye oranlanır.

Ön soğutmalı (YSS1) sistemi için buharlaştırıcıdan çekilen enerji 0,009617kJ/kgK olarak bulunduğundan birim soğutma yükü başına düşen maliyeti;

$$0,037 / 0,009617 = 3,847 \text{ TLkgK/kJ olarak hesaplanır.}$$

Aynı işlemler ön soğutmasız sistem (YSS2) ve ön soğutmalı ejektörlü sistem (YSS3) için yapılmış ve cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyetler tablo halinde Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyet (Elektrik)

	Isıtıcı Gücü (kW)	Süre (Saat)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Maliyet (TL)	Buharlaştırıcıdan Çekilen Enerji	Birim Soğutma Başına Düşen Maliyet
YSS1	0,075	3	0,165	0,037	0,009617	3,847359
YSS2	0,075	3	0,165	0,037	0,020280	1,824497
YSS3	0,075	3	0,165	0,037	0,012126	3,051405

5.8.2. LPG kullanımının ekonomik analizi

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan alınan verilere göre 12 kg'lık LPG tüpünün fiyatı 47,5 TL ve dolayısıyla kg başına LPG fiyatı 3,96 TL şeklindedir. 3 saatlik deneyler boyunca cihaz başına 108 gr (0,108 kg) LPG tüketildiğinden harcanan enerjini toplam maliyeti;

$$0,108 \text{ kg} * 3,96 \text{ TL/kg} = 0,4277 \text{ TL olarak hesaplanır.}$$

Elektrikli ısıtıcı kullanımında cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyet hesap yöntemi LPG kullanımı için de uygulanarak elde edilen sonuçlar tablo halinde Şekil 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Cihazlarda birim soğutma yükü başına düşen maliyet (LPG)

	Harcanan LPG (kg)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Maliyet (TL)	Buharlaştırıcıdan Çekilen Enerji	Birim Soğutma Başına Düşen Maliyet
YSS1	0,108	3,96	0,4277	0,066220	6,45874
YSS2	0,108	3,96	0,4277	0,179289	2,38553
YSS3	0,108	3,96	0,4277	0,177054	2,41565

5.8.3. Güneş enerjisi kullanımının ekonomik analizi

Güneş enerjisi kullanımının maliyet hesabı için kolektör maliyetinin hesaplanması yeterlidir. Tasarımı yapılan kollektörün imalatında 1,5kg bakır boru, 1,8m'lik vakumlu cam tüp ve odaklama için bir tabaka paslanmaz çelik sac kullanılmıştır.

2008 yılı piyasasına göre bakır boru 30 TL/kg, 1,8 m'lik vakumlu cam tüp 35 TL/adet ve 0,5 mm'lik paslanmaz çelik sac 50 TL/tabaka'dır. Sonuç olarak toplam kollektör maliyeti;

$(30 \text{ TL/kg} * 1,5 \text{ kg}) + (35 \text{ TL/adet} * 1 \text{ adet}) + (50 \text{ TL/tabaka} * 1 \text{ tabaka}) = 130 \text{ TL}$ olarak bulunur.

Kollektör için bu maliyet yatırım maliyeti olup diğer enerji türleri için böyle bir ilk yatırım maliyeti bulunmamaktadır. Güneş enerjisi ücretsiz olduğundan sistemin yatırım maliyeti bir süre sonra kendisini amorti eder ve işletme maliyeti bakımından herhangi bir enerji maliyeti olmaz.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada tasarım ve imalatı yapılan ön soğutmalı (YSS1), ön soğutmasız (YSS2) ve ön soğutmalı ejektörlü (YSS3) üç tip yayınlı soğurmalı soğutucu cihazın elektrik enerjisi, LPG ve güneş enerjisi ile çalışabilirliği araştırılmıştır. Farklı amonyak-su oranlarının, farklı çözelti miktarlarının ve farklı basınçların cihazlar üzerindeki etkisinin karşılaştırıldığı 150'den fazla deney yapılmıştır. Burada sadece üç cihazın elektrik ve LPG kullanımı için 6 deney sonucuna ayrıca güneş enerjisi kullanımı için ön soğutmalı (YSS1) cihaz ile ön soğutmasız (YSS2) cihazın karşılaştırıldığı 2 deney sonucuna yer verilmiştir.

Elde edilen deneysel verilerle cihazların kullanılan ısı kaynağına göre soğutma tesir katsayıları hesaplanarak sayısal ve grafiksel olarak sunulmuştur. Çalışma boyunca yapılan gözlem, deney ve teorik hesaplamalarla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Tasarım ve imalatı yapılan üç cihazın aynı anda elektrik enerjisi ile yapılan deneylerinde sıcaklık değeri bakımından buharlaştırıcı girişi $-28,3^{\circ}\text{C}$ ile en iyi sonuç ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) elde edilmiştir. Ön soğutmalı (YSS1) normal sistemde ise buharlaştırıcı girişi $-19,0^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. Ön soğutmasız sistemin (YSS2) buharlaştırıcı giriş sıcaklığı da $-15,5^{\circ}\text{C}$ olmuştur.
- Üçlü elektrikli deneylerde iç ortam sıcaklığı yine ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) 3°C ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Ön soğutmalı (YSS1) normal sistemle ön soğutmasız sistemde (YSS2) ise $6,3^{\circ}\text{C}$ değerine ulaşmıştır.
- Ejektör kullanımı ile dolaşımın sirkülasyon pompasıyla sağlandığı sistemlerde verim %20 verim artışı görülürken yayınlı soğurmalı soğutmalı sistem olan ön soğutmalı sistemde verimdeki iyileşme %26 olmuştur.

- Buhar sıkıştırılmalı sistemlerde 1–2 dakikada soğuma gözlenirken bu tip soğurmalı sistemlerde soğuma 21. dakikada meydana gelmektedir. Elektrik enerjisinin kullanıldığı deneylerde soğumaya başlama süresi en kısa olan 17 dakika ile ön soğutmasız sistem (YSS2) olmuştur. Ayrıca soğuma süreci açısından en iyi sonuç ön soğutmalı ejektörlü (YSS3) sistemde meydana gelmiştir. Örneğin 25. dakikada buharlaştırıcı girişi ön soğutmalı sistemde $-1,3^{\circ}\text{C}$ ve ön soğutmasız sistemde $-6,7^{\circ}\text{C}$ iken ön soğutmalı ejektörlü sistemde $-9,9^{\circ}\text{C}$ değerine ulaşılmıştır.
- Alternatif enerji kaynaklarından LPG ile yapılan üçlü karşılaştırma deneylerinde en düşük buharlaştırma giriş sıcaklığı $-21,9^{\circ}\text{C}$ ile ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) meydana gelmiştir. Aynı noktadaki sıcaklık ön soğutmalı normal sistemde (YSS1) $-13,1^{\circ}\text{C}$, ön soğutmasız sistemde (YSS2) ise $-4,7^{\circ}\text{C}$ olmuştur.
- LPG kullanılan deneylerde en düşük iç ortam sıcaklığı $7,5^{\circ}\text{C}$ ile yine ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) elde edilmiştir. İç ortam sıcaklığı ön soğutmalı normal sistemde (YSS1) ise $14,0^{\circ}\text{C}$ iken ön soğutmasız sistemde (YSS2) ise $13,1^{\circ}\text{C}$ olmuştur.
- LPG deneylerinde elde edilen verilerin termodinamik analizi sonucu en iyi verim 0,3906 ile ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) meydana gelmiştir. Ön soğutmalı normal sistemin (YSS1) verimi 0,1443 iken ön soğutmasız sistemin (YSS2) verimi 0,3857 olmuştur. Ön soğutmalı sistemde ejektör kullanımı ile verim 2,7 kat arttırılmıştır.
- Soğuma süreci açısından LPG deneyleri incelendiğinde yine ilk olarak 10. dakikada soğumanın gözlemlendiği ön soğutmasız sistem (YSS2) en iyi sonucu vermiştir. Ancak genel sürece bakıldığında en iyi performansı ön soğutmalı ejektörlü (YSS3) sistem sergilemektedir. Örneğin 20. dakikada buharlaştırıcı girişi ön soğutmalı sistemde (YSS1) $-1,4^{\circ}\text{C}$ ve ön soğutmasız sistemde (YSS2) $0,1^{\circ}\text{C}$ iken ön soğutmalı ejektörlü sistemde (YSS3) $-9,8^{\circ}\text{C}$ değerine 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 ulaşılabacağı 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 soğutmalı soğutma sistemi güneş enerjisi ile çalıştırılmıştır.
- Deneysel ve termodinamik hesaplamalar sonucu elde edilen veriler kullanılan ısı kaynağına göre değerlendirildiğinde ön soğutmalı normal sistemde buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ve iç ortam sıcaklığı en düşük değer elektrik enerjisi ile sağlanmıştır. En yüksek verim ise LPG ile yapılan deney ile elde edilmiştir.
- Ön soğutmalı normal sistemde (YSS1) soğuma süreci açısından en iyi sonuç LPG deneylerinde elde edilmiştir. Elektrik enerjisinin kullanıldığı deneyde 21. dakikadan itibaren soğuma gözlenirken LPG deneylerinde 13. dakikadan itibaren soğuma gözlenmiştir.
- Ön soğutmasız sistem (YSS2) kullanılan ısı kaynağına göre ele alındığında buharlaştırıcı giriş sıcaklığının ve iç ortam sıcaklığının en düşük çıktığı sonuçlar elektrik enerjisi ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.

- Yapılan maliyet analizi ile hem elektrik enerjisi hem de LPG kullanımında en uygun değerlere ön soğutmasız sistemde (YSS2) ulaşılmıştır.
- Soğuma süreci açısından ön soğutmasız sistem incelendiğinde yine en kısa soğumaya başlama süresi LPG deneylerinde görülmektedir. Elektrik enerjisi kullanımı ile 17. dakikadan itibaren soğuma başlamışken LPG deneylerinde 10. dakikadan itibaren soğuma başlamıştır.
- Tasarım ve imalatı sonradan yapılan ön soğutmalı ejektörlü sistem (YSS3) için elektrik enerjisi ile yapılan deneylerde en iyi buharlaştırıcı giriş sıcaklığına ve iç ortam sıcaklığına ulaşılmıştır. En iyi soğutma performansı ise LPG ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.
- Ön soğutmalı ejektörlü sistemin (YSS3) soğuma sürecinde de yine en iyi sonuçlar LPG deneylerinde meydana gelmiştir. Elektrik enerjisi ile 22. dakikada buharlaştırıcı girişinde soğuma başlamışken LPG deneylerinde 14. dakikadan itibaren soğuma gerçekleşmiştir.

6.2. Öneriler

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri üzerine yapılan bu çalışmada hem yayınlı soğurmalı soğutma sistemlerinde ejektör kullanımı hem de literatürde teorik olarak incelenmiş ön soğutmasız sistemin tasarım ve imalatı ilk defa tarafımızdan yapılarak çalışabilirliği deneysel olarak ele alınmıştır. Yine literatürde yapılan araştırmalardan anlaşıldığı kadarıyla ısı kaynağı olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı çalışmalara rastlanırken alternatif enerji kaynaklarından LPG kullanımı ilk defa bu çalışmada deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Ayrıca enerji sıkıntısının yaşandığı ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların çok değerli olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin ısı kaynağı olarak yayınlı soğurmalı soğuma sistemlerinde kullanılabilirliği yine literatürden anlaşıldığı kadarıyla ilk defa bu çalışma ile ortaya konmuş ve büyük bir başarı elde

edilmiştir. Bütün bu açıklamalar ile sistemlerin tasarım, imalat, dolum aşamalarından, deney sonuçlarından ve termodinamik hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

- Yayınimli 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 yayınimli 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 soğutmalı, ön soğutmasız ve ön soğutmalı ejektörlü sistemler çeşitli şekillerde biri diğerinin yoğunlaştırıcı ve soğurucu bölgelerini soğutarak asıl soğutucu ile iç ortam sıcaklığının -5°C 'ye veya -10°C 'ye kadar soğutabilen sistemlerin tasarım ve imalatı araştırılabilir.
- Sistemlerin LPG ile çalıştırılmasında kullanılan brülörler üzerine bir çalışma yapılarak ekonomiklik ve verim açısından en uygun brülör tasarım ve imalatı yapılabilir. Çünkü kaynatıcı bölgesinde kontrolsüz gereğinden fazla sıcaklık değerlerine ulaşıldığında sistem soğutma yapamamakta ve cihaz tümüyle ısınmaktadır.
- 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 dolayı olarak faydalanılmıştır. Fakat yeni bir tip kaynatıcı tasarımıyla örneğin ısı

değiştiricili özelliğe sahip bir tasarımla güneş enerjisinin ısısından doğrudan faydalanılarak sistemin çalışma performansı geliştirilebilir.

- Sistemin kaynatıcı bölgesinde yapılacak farklı bir tasarımla cihazın hem elektrik enerjisiyle, hem LPG ile hem de güneş enerjisi ile ortak çalışabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Özkol, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, **TMMOB MMO Yayını, Y. No:115**, Ankara, 75-92 (1999).
2. Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, Alfred F. Bracciano, “Modern Refrigerator And Air Conditioning”, **The Goodheart-Willcox Company**, 611-632 (1988).
3. Platen, B. C., Munters, C. G., “Refrigerator”, **U.S. Patent** 1,685,764, 1928.
4. A. Zohar, M. Jelinek, A. Levy, I. Borde, “The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance”, **Applied Thermal Engineering**, 27 (13): 2213-2219 (2007).
5. Arslan, M. E., Eğrican, A. N., “Buzdolabı Uygulamasında Kullanılan Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi”, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 83: 53-63 (2004)
6. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I., “Performance of diffusion absorption refrigeration cycle with organic working fluids”, **International Journal of Refrigeration**, 32 (6): 1241-1246 (2009).
7. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., 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).
8. Moreira, E.C.C., Santos, C.A.C., Ribeiro, C.M.C., Souza, W.L., 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).
9. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I., “Numerical investigation of a diffusion absorption refrigeration cycle”, **International Journal of Refrigeration**, 28 (4): 515-525, (2005).
10. Sriksirin, P., Aphornratana, S., “Investigation of a diffusion absorption refrigeration”, **Applied Thermal Engineering**, 22 (11): 1181-1193 (2002).
11. 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).
12. Koyfman, A., Jelinek M., Levy A., 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).
13. Jakob, U., Eicker, U., Taki, A.H., 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).
 14. Lin, L., Wang, Y., Al-Shemeri, T., Zeng, S., Huang, J., He, Y., Huang, X., Li, S., Yang, J., “Characteristics of a diffusion absorption refrigerator driven by the waste heat from engine exhaust”, *Journal of Process Mechanical Engineering*, 220 (3): 139-149 (2006).
 15. Ben Jemaa, R., Ben Issa, N., Ben Issa, 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., 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., Fattuh, 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., 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. Kouremenos, D.A., Stegou-Sagia, A., “Use of helium instead of hydrogen in inert gas absorption refrigeration”, *International Journal of Refrigeration*, 11 (5): 336-341, (1988).
 20. Sözen, A., Arcaklioğlu, E., “Exergy analysis of an ejector-absorption heat transformer using artificial neural network approach”, *Applied Thermal Engineering*, 27 (2-3): 481-491 (2006).
 21. Sözen, A., Özalp, M., “Solar-driven ejector-absorption cooling system”, *Applied Energy*, 80 (1): 97-113 (2005).
 22. Sözen, A., Özalp, M., “Performance improvement of absorption refrigeration system using triple-pressure-level”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (13): 1577-1593 (2003).
 23. Sözen, A., Arcaklioğlu, E., Özalp, M., “A new approach to thermodynamic analysis of ejector-absorption cycle: artificial neural network”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (8): 937-952 (2003).

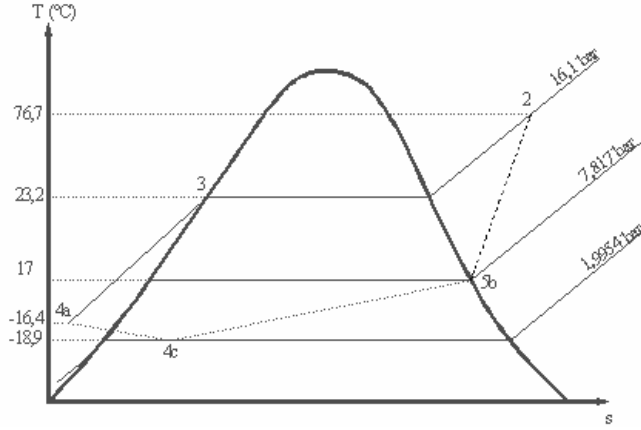
24. Alexis, G.K., Rogdakis, E.D., "Performance characteristics of two combined ejektor-absorption cycles", *Applied Thermal Engineering*, 22 (1): 97-106 (2002).
25. Sözen, A., "Effect of heat exchangers on performance of absorption refrigeration systems", *Energy Conversion & Management*, 42 (14): 1699-1716 (2001).
26. Jiang, L., Gu, Z., Feng, X., Li, Y., "Thermo-economical analysis between new absorption-ejektor hybrid refrigeration system and small double-effect absorption system", *Applied Thermal Engineering*, 22 (9): 1027-1036 (2002).
27. Orian, G., Jelinek, M., Levy, A., "Spray formation of binary organic solution for an absorption refrigeration system", *Applied Thermal Engineering*, 26 (8-9): 872-880 (2006).
28. Eames, I.W., Wu, S., "A theoretical study of an innovative ejektor powered absorption-recompression cycle refrigerator", *International Journal of Refrigeration*, 23 (6): 475-484 (2000).
29. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., Yücesu, S., "Performance parameters of an ejektor-absorption heat transformer", *Applied Energy*, 80 (3): 273-289 (2005).
30. Shi, L., Yin, J., Wang, X., Zhu, M.S., "Study on a new ejection-absorption heat transformer" *Applied Energy*, 68 (2): 161-171 (2001).
31. Özalp, M., "Alternatif çalışma akışkanları ile çalışan ejektörlü-absorbsiyon soğutma sisteminin yapay sınır ağları kullanılarak termodinamik analizi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 37-53 (2004).
32. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S., Yamankaradeniz, N., "Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları", *DORA Yayıncılık*, 283-286 (2009).
33. Lindborg, A., Çeviren: Uzman, A., Türköz, G., "Amonyak ve Amonyagin Soğutucu Olarak İtibarı", Termodinamik, *Doğa Yayın*, 40-50 (2008).
34. Calm, J. M., "Refrigerant Safety", *ASHRAE Journal*, 17-26, (1994).
35. Calm, J. M., "The Four R's, Responsible Responses to Refrigerant Regulation", *Engineered Systems*, 20 (10): 66-80 (2003).
36. Onat, A., İmal, M., İnan, A.T., "Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar", *K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 32-38 , (2004).

37. Aslan, M.E., “Absorbsiyonlu sistemle çalışan bir buzdolabının deneysel ve teorik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 12-15 (2003).
38. Ilgar, R., “Dünya su yönetimi ve su eğitimi”, 1. Uluslararası Türkiye Eğitim Araştırmaları Kongre Kitabı, 1-22 (2009).
39. Tarihten Sayfalar, “Doğada su”, **National Geographic**, 164 (2007).
40. Çengel, Y. A., Boles, M. A., “Thermodynamics An Engineering Approach, 5th Edition”, **McGraw-Hill Science/Engineering/Math**, 549-555 (2005).
41. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Çoşkun, S., “Soğutma Tekniği ve Uygulamaları”, **VİPAŞ A.Ş.**, 14-16 (2002).
42. Eastop, T. D., Watson, W. E., “Mechanical Services For Buildings”, **Longman Scientific & Technical**, 375–376 (1992).
43. El-Sayed, Y. M., Tribus, M., “Thermodynamic properties of water-ammonia mixtures theoretical implementation for use power cycles analysis”, **ASME Special Publication**, AES 1, New York (NY), 89-95 (1985).
44. Ziegler, B., Trepp, C., “Equation of state for ammonia-water mixtures”, **International Journal of Refrigeration**, 7: 101-106 (1984).
45. Bourseau, P., Bugarel, R., “Absorption-diffusion machines; comparison of the performances of NH₃-H₂O and NH₃-NaSCN, **International Journal of Refrigeration**, 9: 206-214 (1986).
46. Patek, J., Klomfar, J., “Simple functions for fast calculations of selected thermodynamic properties of ammonia-water system”, **International Journal of Refrigeration**, 18: 228-234 (1995).
47. Zhang, X.L., Wang, R.Z., “A new adsorption-ejector refrigeration and heating hybrid system powered by solar energy”, **Applied Thermal Engineering**, 22: 1245-1258 (2002).
48. Huang, B.J., Chang, J.M., Wang, C.P., Petranko, V.A., “A 1-D analysis of ejector performance”, **International Journal of Refrigeration**, 22: 354-364 (1999).
49. Keenan, J.H., Neumann, E.P., “A simple air ejector”, **Journal of Applied Mechanics**, 64: 85-91 (1942).
50. Rogdakis, E.D., Alexis, G.K., “Investigation of ejector design at optimum operating condition”, **Energy Conversion and Management**, 41: 1841-1849 (2000).

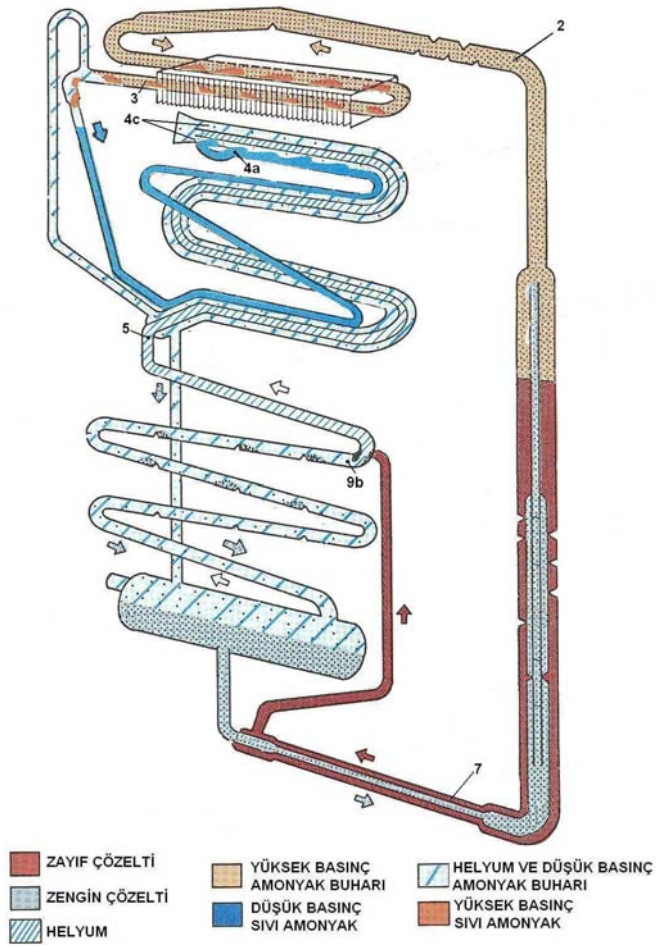
51. Alexis, G.K., Rogdakis, E.D., “A verification of steam-ejector refrigeration model”, *Applied Thermal Engineering*, 23: 29-36 (2003).
52. Alexis, G. K., Rogdakis, E. D., “Performance of solar driven methanol-water combined ejector-absorption cycle in the Athens area”, *Renewable Energy*, 25: 249-266 (2002).
53. Chen, Y.A., Sun, C.Y., “Experimental study of the performance characteristics of a steam-ejector refrigeration system”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 15: 384-394 (1997).
54. Sun, D.W., Eames, I.W., “Recent developments in the design theories and applications of ejectors-a review”, *Journal of Inst. Energy*, 68: 65-79 (1995).
55. Sözen, A., Yücesu, H. S., “Performance improvement of absorption heat transformer”, *Renewable Energy*, 32 (2): 267-284 (2006).
56. Özsoy, A., Acar, M., “Yerçekimi Destekli Bakır-Su Isı Borusu için Deneysel Bir Çalışma”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 90, 13-18 (2005).
57. Uyarel, A.Y., Öz, E.S., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, *Emel Matbaacılık*, 120-200, (1987).
58. Üçgül, İ., Öztürk M., Özek, N., “Parabolik Kolektörlerin Optik, Enerjetik ve Ekserjetik Verimliliklerinin Analizi”, *Mühendis ve Makine*, 47 (561): 49-56 (2006).
59. Sekin, C., “Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Termodinamik Değerlendirmesi”, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 157-172 (2007).
60. ISISAN Buderus, “Doğal Gaz – LPG Tesisatı ve Bacalar”, *Isısan Çalışmaları No: 345*, 134-135 (2003).
61. “Temel Kimya” *T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 672*, 99-101 (1996).
62. Granryd, E., Palm, B., “Refrigerating Engineering”, *Royal Institute of Technology*, Stockholm, 3-4 (2005).

EKLER

EK-1 Cihazların şemaları ile T-S diyagramları

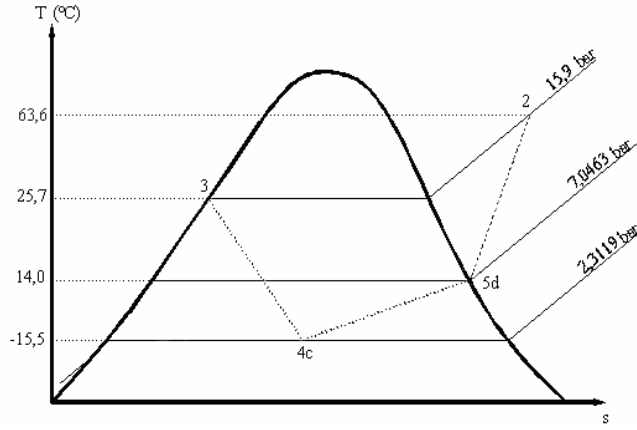


Şekil 1.1. YSS1 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı

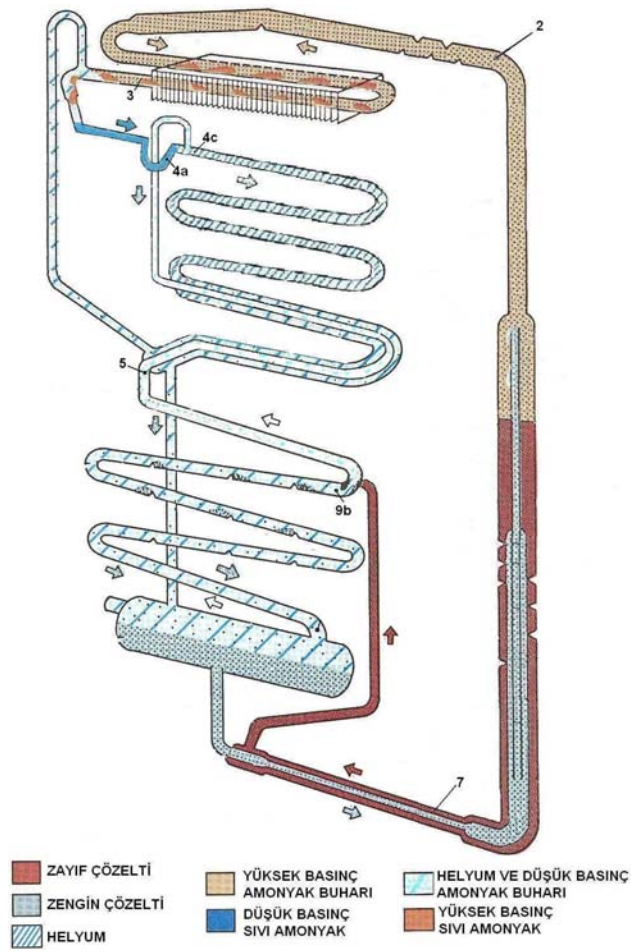


Şekil 1.2. YSS1 cihazının şeması

EK-1 (Devam) Cihazların şemaları ile T-S diyagramları

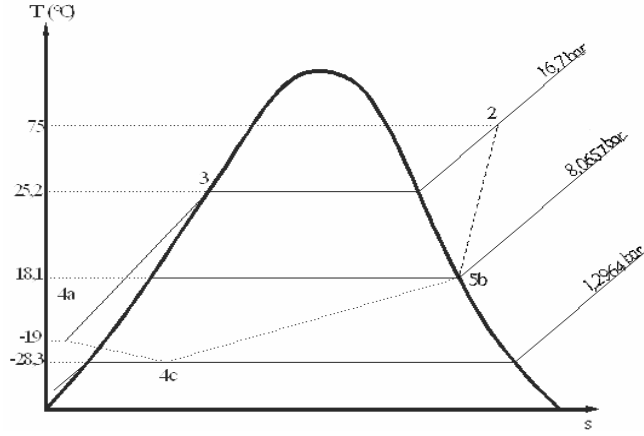


Şekil 1.3. YSS2 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı

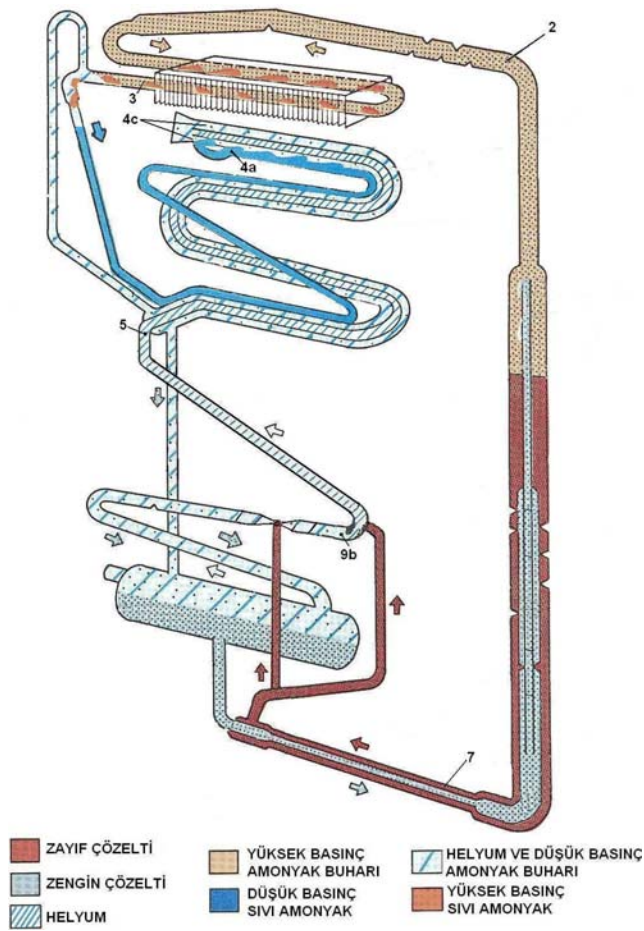


Şekil 1.4. YSS2 cihazının şeması

EK-1 (Devam) Cihazların şemaları ile T-S diyagramları



Şekil 1.5. YSS3 sisteminin soğutma çevrimi T-s diyagramı



Şekil 1.6. YSS3 cihazının şeması

EK-2 Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.1. Cihazlarda elektrik enerjisi kullanımında 0-50. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
YSS1-T ₂ (°C)	15,3	15,7	18,5	42,0	69,3	76,1	77,8	78,2	78,0	77,5	77,0
YSS2-T ₂ (°C)	15,5	16,0	17,6	47,1	68,2	66,9	63,6	62,5	61,7	61,5	61,5
YSS3-T ₂ (°C)	15,4	15,8	26,1	56,2	75,7	72,9	72,1	72,3	72,8	72,7	73,0
YSS1-T ₃ (°C)	15,4	15,6	16,0	17,5	19,7	21,2	21,8	22,1	22,2	22,5	22,7
YSS2-T ₃ (°C)	15,4	15,7	16,3	16,8	18,6	22,0	23,8	24,5	24,9	24,9	25,0
YSS3-T ₃ (°C)	15,2	15,6	14,3	17,0	19,5	22,3	23,1	23,4	23,6	23,9	24,1
YSS1-T _{4a} (°C)	15,4	15,5	15,3	15,4	13,6	-2,3	-5,8	-8,0	-9,7	-10,9	-12,0
YSS2-T _{4a} (°C)	15,3	15,4	15,3	17,7	6,5	-0,1	-3,2	-3,6	-3,8	-5,3	-6,5
YSS3-T _{4a} (°C)	15,0	15,2	15,2	15,4	15,5	-4,5	-10,1	-12,5	-13,8	-14,8	-15,2
YSS1-T _{4c} (°C)	15,3	15,4	15,3	15,3	14,6	-1,3	-5,6	-8,5	-10,5	-12,1	-13,4
YSS2-T _{4c} (°C)	15,5	15,5	15,4	17,5	4,1	-6,7	-10,4	-11,3	-11,7	-12,3	-12,6
YSS3-T _{4c} (°C)	15,1	15,1	15,0	14,9	15,0	-9,9	-16,6	-19,3	-20,8	-21,8	-22,3
YSS1-T ₅ (°C)	15,5	15,7	15,8	16,0	16,2	16,8	16,9	17,0	17,1	17,1	17,1
YSS2-T ₅ (°C)	15,3	15,5	15,5	15,7	16,2	16,7	17,0	17,0	17,0	16,6	16,4
YSS3-T ₅ (°C)	15,2	15,5	15,7	15,8	16,0	16,7	17,2	17,5	17,6	17,7	18,0
YSS1-T ₇ (°C)	15,5	18,1	31,5	42,2	46,0	50,8	52,2	53,3	53,7	54,0	54,3
YSS2-T ₇ (°C)	15,7	17,2	25,7	39,1	46,5	48,8	49,1	48,8	48,8	48,8	48,6
YSS3-T ₇ (°C)	15,4	17,2	27,8	36,0	43,1	47,8	49,5	50,8	51,5	52,1	52,3
YSS1-T _{iç} (°C)	15,5	15,5	15,4	15,4	15,1	14,7	14,0	13,4	12,8	12,2	11,8
YSS2-T _{iç} (°C)	15,4	15,5	15,5	15,6	15,7	15,2	14,5	13,7	12,9	12,2	11,8
YSS3-T _{iç} (°C)	15,0	15,2	15,1	15,1	15,1	14,8	14,0	13,2	12,2	11,6	10,9
YSS1-P ₂ (Bar)	15,1	15,3	15,5	15,8	15,9	16,1	16,2	16,2	16,1	16,1	16,1
YSS2-P ₂ (Bar)	15,1	15,1	15,3	15,8	16,0	16,0	15,9	15,9	16,0	16,0	15,9
YSS3-P ₂ (Bar)	15,1	15,2	16,0	16,2	16,3	16,6	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.2. Cihazlarda elektrik enerjisi kullanımında 55-105. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
YSS1-T ₂ (°C)	77,0	76,3	76,8	77,0	77,0	77,3	77,5	78,2	78,4	78,4	78,4
YSS2-T ₂ (°C)	61,9	62,3	62,6	63,1	63,0	63,2	63,4	63,4	63,4	64,0	64,3
YSS3-T ₂ (°C)	72,6	73,3	73,2	72,8	74,2	74,7	74,9	75,2	76,4	76,6	76,0
YSS1-T ₃ (°C)	22,7	22,8	22,9	22,8	22,9	23,1	23,1	23,1	23,0	23,2	23,1
YSS2-T ₃ (°C)	25,1	25,0	25,0	25,0	25,1	25,3	25,3	25,4	25,4	25,5	25,6
YSS3-T ₃ (°C)	24,3	24,3	24,6	24,8	24,9	25,1	25,1	25,3	25,0	25,0	25,1
YSS1-T _{4a} (°C)	-12,6	-13,2	-13,6	-14,0	-14,3	-14,5	-14,6	-14,9	-15,0	-15,2	-15,3
YSS2-T _{4a} (°C)	-6,5	-6,7	-7,0	-7,2	-7,5	-7,4	-7,8	-7,4	-7,6	-7,6	-7,8
YSS3-T _{4a} (°C)	-15,9	-16,3	-16,7	-17,0	-17,1	-17,4	-17,6	-17,6	-18,3	-18,0	-18,3
YSS1-T _{4c} (°C)	-14,1	-14,7	-15,0	-15,6	-15,8	-16,1	-16,4	-16,7	-16,8	-17,0	-17,3
YSS2-T _{4c} (°C)	-13,2	-13,2	-13,3	-13,4	-13,7	-13,7	-14,2	-14,1	-14,1	-14,2	-14,5
YSS3-T _{4c} (°C)	-23,0	-23,5	-23,9	-24,2	-24,5	-24,6	-24,8	-25,0	-25,2	-25,4	-25,5
YSS1-T ₅ (°C)	17,1	17,1	17,1	17,1	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	16,9	16,9
YSS2-T ₅ (°C)	16,2	16,0	15,8	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,2	15,1	14,9
YSS3-T ₅ (°C)	18,1	18,0	18,1	18,1	18,2	18,2	18,3	18,3	18,1	18,1	18,1
YSS1-T ₇ (°C)	54,2	54,4	54,6	55,0	54,8	55,2	55,0	55,3	55,3	55,4	55,5
YSS2-T ₇ (°C)	48,5	48,0	47,8	47,7	47,7	48,0	48,1	48,1	48,1	48,2	48,2
YSS3-T ₇ (°C)	52,7	53,0	53,4	53,7	54,0	53,7	54,7	54,8	54,8	54,4	54,5
YSS1-T _{iç} (°C)	11,3	10,8	10,5	10,0	9,7	9,5	9,1	8,9	8,6	8,4	8,2
YSS2-T _{iç} (°C)	11,4	10,8	10,6	10,2	9,8	9,7	9,2	9,0	8,7	8,7	8,2
YSS3-T _{iç} (°C)	10,1	9,6	9,1	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,3	6,2	5,9
YSS1-P ₂ (Bar)	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
YSS2-P ₂ (Bar)	15,9	15,9	16,0	16,0	15,9	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
YSS3-P ₂ (Bar)	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.4. Cihazlarda elektrik enerjisi kullanımında 165-180. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	165	170	175	180
YSS1-T ₂ (°C)	76	76,3	76,6	76,8
YSS2-T ₂ (°C)	63,2	63,2	63,9	63,6
YSS3-T ₂ (°C)	73,7	73,9	74,1	75,1
YSS1-T ₃ (°C)	23,2	23,1	23,3	23,2
YSS2-T ₃ (°C)	25,6	25,5	25,7	25,7
YSS3-T ₃ (°C)	25,3	25,2	25,4	25,2
YSS1-T _{4a} (°C)	-16,4	-16,4	-16,3	-16,4
YSS2-T _{4a} (°C)	-10,4	-9,8	-8,8	-8,7
YSS3-T _{4a} (°C)	-19,4	-19,3	-19,0	-19,0
YSS1-T _{4c} (°C)	-18,8	-18,8	-18,8	-19,0
YSS2-T _{4c} (°C)	-16	-16,0	-15,6	-15,5
YSS3-T _{4c} (°C)	-28,2	-28,3	-28,2	-28,3
YSS1-T ₅ (°C)	17	17,0	17,0	17,0
YSS2-T ₅ (°C)	14	14,0	14,1	14,0
YSS3-T ₅ (°C)	18,1	18,1	18,2	18,1
YSS1-T ₇ (°C)	55,3	55,2	55,2	55,2
YSS2-T ₇ (°C)	48,2	48,3	48,3	48,3
YSS3-T ₇ (°C)	54,6	54,3	54,4	54,1
YSS1-T _{iç} (°C)	6,5	6,4	6,3	6,3
YSS2-T _{iç} (°C)	6,3	6,2	6,3	6,3
YSS3-T _{iç} (°C)	3,3	3,2	3,1	3,0
YSS1-P ₂ (Bar)	16,1	16,1	16,1	16,1
YSS2-P ₂ (Bar)	16,0	15,9	15,9	15,9
YSS3-P ₂ (Bar)	16,7	16,7	16,7	16,7

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.5. Cihazlarda LPG kullanımında 0-50. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
YSS1-T ₂ (°C)	18,3	52,0	86,5	105,7	109,6	107,7	107,6	110,7	108,4	110,0	108,0
YSS2-T ₂ (°C)	19,8	35,5	69,0	80,9	83,1	83,4	82,7	81,7	80,7	81,6	81,0
YSS3-T ₂ (°C)	18,7	37,3	60,8	87,6	92,3	94,3	95,7	96,2	95,7	94,8	93,5
YSS1-T ₃ (°C)	17,5	19,1	24,1	28,2	30,0	31,0	31,6	32,0	32,1	32,2	32,4
YSS2-T ₃ (°C)	18,9	22,1	25,5	32,8	36,3	37,6	37,7	37,5	37,4	37,6	38,1
YSS3-T ₃ (°C)	18,2	18,9	22,7	28,6	32,8	34,3	35,2	35,7	36,3	36,7	36,9
YSS1-T _{4a} (°C)	17,2	18,6	19,8	9,5	2,0	-0,6	-1,7	-2,4	-2,8	-3,4	-3,8
YSS2-T _{4a} (°C)	17,7	17,7	16,5	10,0	11,0	11,0	10,6	8,8	7,7	7,5	5,9
YSS3-T _{4a} (°C)	17,6	17,8	18,3	5,8	-3,6	-5,7	-6,4	-7,4	-8,9	-11,1	-13,2
YSS1-T _{4c} (°C)	17,3	18,5	19,3	7,9	-1,4	-4,5	-6,0	-7,1	-8,1	-8,9	-9,3
YSS2-T _{4c} (°C)	17,6	19,0	15,5	1,2	0,1	-0,5	-1,0	-1,5	-1,9	-2,1	-1,8
YSS3-T _{4c} (°C)	16,8	16,9	17,3	2,2	-9,8	-12,6	-13,5	-14,1	-15,0	-16,1	-17,6
YSS1-T ₅ (°C)	18,1	20,8	24,8	28,7	30,1	31,1	31,9	32,4	33,0	33,2	33,4
YSS2-T ₅ (°C)	17,6	22,1	25,1	26,4	27,2	27,7	27,5	26,2	24,7	23,3	22,2
YSS3-T ₅ (°C)	17,8	18,5	19,4	20,8	22,4	24,1	25,3	25,9	26,1	25,6	24,8
YSS1-T ₇ (°C)	17,5	64,0	84,3	95,8	98,9	101,1	102,7	103,5	104,0	104,1	104,3
YSS2-T ₇ (°C)	17,5	40,5	60,1	71,5	76,5	78,2	80,2	81,3	82,7	82,9	84,2
YSS3-T ₇ (°C)	17,5	48,5	66,6	80,8	86,5	89,5	91,2	91,4	93,0	93,4	93,7
YSS1-T _{iç} (°C)	17,2	18,5	19,1	20,0	19,2	18,5	17,9	17,5	17,3	17,2	17,0
YSS2-T _{iç} (°C)	17,8	19,2	20,2	20,7	19,7	18,8	18,5	17,8	17,6	17,2	17,1
YSS3-T _{iç} (°C)	17,2	17,3	17,5	17,6	16,6	15,5	15,0	14,4	13,8	13,3	12,9
YSS1-P ₂ (Bar)	15,5	15,8	16,5	17,2	17,3	17,4	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5
YSS2-P ₂ (Bar)	15,1	15,6	17,1	17,3	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5	17,5	17,5
YSS3-P ₂ (Bar)	15,7	16,3	16,9	17,6	18,0	18,2	18,2	18,3	18,3	18,3	18,3

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.6. Cihazlarda LPG kullanımında 65-105. dakikalar için deney sonuçları

[illegible]

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.7. Cihazlarda LPG kullanımında 110-160. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
YSS1-T ₂ (°C)	100,4	108,2	110,2	111,9	111,6	111,4	111,5	111,4	111,0	111,0	110,9
YSS2-T ₂ (°C)	79,0	78,4	78,3	77,0	77,6	77,3	77,5	77,6	78,0	78,2	78,2
YSS3-T ₂ (°C)	90,2	89,7	89,3	89,3	89,2	89,0	88,8	88,4	87,6	87,2	86,5
YSS1-T ₃ (°C)	32,7	33,0	33,3	33,0	33,0	33,1	33,2	33,5	33,7	34,0	34,0
YSS2-T ₃ (°C)	38,7	38,8	38,7	38,6	38,6	38,7	38,7	38,7	38,7	38,8	38,6
YSS3-T ₃ (°C)	38,3	38,5	38,3	38,5	38,4	38,5	38,6	38,7	38,4	38,6	38,7
YSS1-T _{4a} (°C)	-6,5	-7,0	-6,7	-6,8	-6,7	-6,6	-6,5	-6,0	-5,9	-5,7	-5,3
YSS2-T _{4a} (°C)	3,5	3,3	3,0	2,8	2,7	2,6	2,7	3,0	3,3	3,0	3,2
YSS3-T _{4a} (°C)	-19,4	-19,4	-19,4	-19,4	-19,3	-19,3	-19,3	-19,4	-19,6	-19,7	-19,5
YSS1-T _{4c} (°C)	-12,5	-13,0	-12,8	-12,9	-12,8	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,6	-12,5
YSS2-T _{4c} (°C)	-4,1	-4,3	-4,3	-4,5	-4,4	-4,5	-4,5	-4,3	-4,3	-4,1	-4,0
YSS3-T _{4c} (°C)	-21,7	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,4	-21,4
YSS1-T ₅ (°C)	33,5	33,6	34,0	33,9	34,1	34,3	34,3	34,4	34,3	34,4	34,7
YSS2-T ₅ (°C)	11,4	11,3	11,6	12,0	11,6	11,6	11,7	12,4	13,0	13,6	14,0
YSS3-T ₅ (°C)	16,1	16,2	16,5	15,9	15,9	15,5	14,9	14,3	13,7	12,7	12,3
YSS1-T ₇ (°C)	102,8	103,3	103,8	104,1	104,1	104,2	104,5	104,6	104,5	104,7	104,9
YSS2-T ₇ (°C)	85,1	84,2	84,7	84,0	83,7	83,8	84,2	84,4	84,8	85,0	85,3
YSS3-T ₇ (°C)	95,0	95,1	95,1	95,0	94,7	95,0	95,8	96,2	97,0	97,5	98,1
YSS1-T _{iç} (°C)	14,8	14,3	14,2	14,1	14,1	14,0	14,1	14,1	14,3	14,4	14,5
YSS2-T _{iç} (°C)	13,9	13,7	13,5	13,4	13,4	13,2	13,2	13,2	13,3	13,4	13,4
YSS3-T _{iç} (°C)	9,0	9,0	8,8	8,7	8,5	8,4	8,3	8,2	8,1	7,9	7,8
YSS1-P ₂ (Bar)	17,4	17,6	17,6	17,7	17,8	17,7	17,8	17,8	17,8	17,9	17,9
YSS2-P ₂ (Bar)	17,6	17,6	17,5	17,6	17,6	17,6	17,7	17,7	17,8	17,8	17,8
YSS3-P ₂ (Bar)	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,4	18,4	18,4

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.8. Cihazlarda LPG kullanımında 165-180. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	165	170	175	180
YSS1-T ₂ (°C)	109,5	108,8	108,0	104,1
YSS2-T ₂ (°C)	78,5	78,0	77,7	77,0
YSS3-T ₂ (°C)	86,8	87,7	87,5	85,8
YSS1-T ₃ (°C)	34,1	34,0	33,8	33,8
YSS2-T ₃ (°C)	38,5	38,5	38,5	38,9
YSS3-T ₃ (°C)	38,7	38,4	38,1	37,1
YSS1-T _{4a} (°C)	-5,4	-5,5	-6,1	-6,7
YSS2-T _{4a} (°C)	3,0	3,5	3,1	2,1
YSS3-T _{4a} (°C)	-19,6	-19,7	-19,8	-20,0
YSS1-T _{4c} (°C)	-12,1	-12,1	-12,6	-13,1
YSS2-T _{4c} (°C)	-3,5	-3,5	-4,0	-4,7
YSS3-T _{4c} (°C)	-21,2	-21,5	-21,7	-21,9
YSS1-T ₅ (°C)	34,9	34,7	34,7	33,8
YSS2-T ₅ (°C)	14,1	14,2	13,8	13,7
YSS3-T ₅ (°C)	12,4	13,0	13,6	14,4
YSS1-T ₇ (°C)	104,8	105,2	105,2	105,2
YSS2-T ₇ (°C)	85,9	85,5	84,5	85,8
YSS3-T ₇ (°C)	97,4	96,1	95,1	94,2
YSS1-T _{iç} (°C)	14,8	14,8	14,2	14,0
YSS2-T _{iç} (°C)	13,8	13,8	13,4	13,1
YSS3-T _{iç} (°C)	7,7	7,8	7,7	7,5
YSS1-P ₂ (Bar)	17,7	17,7	17,7	17,6
YSS2-P ₂ (Bar)	17,8	17,7	17,7	17,7
YSS3-P ₂ (Bar)	18,4	18,3	18,3	18,2

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.9. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 0-50. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Saat	11:30	11:35	11:40	11:45	11:50	11:55	12:00	12:05	12:10	12:15	12:20
YSS1-T ₂ (°C)	30,1	30,5	31,3	31,1	32,9	34,8	37,5	40,4	43,6	46,2	49,1
YSS2-T ₂ (°C)	42,4	45,8	48,7	51,3	54,1	57,0	59,7	62,8	65,9	68,5	68,8
YSS1-T ₃ (°C)	28,3	28,4	29,0	28,5	28,6	28,5	29,0	29,3	30,1	30,1	30,1
YSS2-T ₃ (°C)	27,3	27,5	27,8	28,0	28,2	28,6	29,0	29,8	30,8	31,5	31,0
YSS1-T _{4a} (°C)	32,8	33,5	34,1	31,8	31,6	28,3	28,3	27,8	27,6	27,7	28,5
YSS2-T _{4a} (°C)	26,5	26,7	26,8	27,0	27,1	27,2	27,4	27,6	27,8	27,9	28,0
YSS1-T _{4c} (°C)	27,5	28,0	28,0	27,8	28,8	28,3	29,0	28,6	29,0	29,1	29,6
YSS2-T _{4c} (°C)	26,5	26,7	26,8	26,9	27,1	27,2	27,3	27,5	27,7	27,8	28,0
YSS1-T ₅ (°C)	31,5	32,4	33,6	31,8	31,4	29,2	29,1	29,0	29,0	29,1	29,5
YSS2-T ₅ (°C)	26,6	26,7	26,8	27,0	27,2	27,5	27,7	28,5	29,1	28,6	27,4
YSS1-T ₇ (°C)	30,4	30,1	31,4	30,7	30,2	30,6	32,0	32,1	34,0	34,7	35,7
YSS2-T ₇ (°C)	29,4	30,3	31,1	32,0	32,8	33,9	34,7	36,0	37,2	38,4	38,0
YSS1-T _{9b} (°C)	28,5	28,6	28,9	28,1	28,4	28,7	29,6	30,0	30,8	31,2	31,7
YSS2-T _{9b} (°C)	27,0	27,4	27,5	27,8	28,5	29,2	29,3	30,2	31,2	31,8	30,5
YSS1-T _{iç} (°C)	26,8	27,0	27,1	26,1	27,2	26,2	27,2	26,8	27,1	27,2	27,9
YSS2-T _{iç} (°C)	25,1	25,0	25,1	25,2	25,3	25,2	25,2	25,4	25,6	25,6	25,3
YSS1-T _{depo} (°C)	40,1	41,6	43,5	44,4	49,6	52,7	59,5	68,4	76,1	82,6	93,4
YSS2-T _{depo} (°C)	45,8	50,5	54,5	58,4	62,2	66,3	70,0	74,3	77,7	82,2	86,1
YSS1-P ₂ (Bar)	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,3	16,3	16,3	16,4	16,4	16,4
YSS2-P ₂ (Bar)	15,4	15,4	15,4	15,5	15,5	15,5	15,6	15,6	15,6	15,6	15,7
YSS1-Solar (W/m ²)	834		851		870		875		903		915
YSS2-Solar (W/m ²)	941		965		978		996		1012		1021

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.10. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 55-105. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
Saat	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00	13:05	13:10	13:15
YSS1-T ₂ (°C)	51,8	54,8	57,5	60,4	63,4	65,8	71,9	78,3	81,4	81,4	86,1
YSS2-T ₂ (°C)	69,7	72,0	73,7	75,3	76,9	78,7	79,0	79,9	81,5	84,0	85,5
YSS1-T ₃ (°C)	30,1	30,2	30,3	30,4	31,2	32,0	32,7	32,3	32,8	32,8	32,9
YSS2-T ₃ (°C)	30,4	30,5	30,2	29,2	29,6	30,0	29,5	28,7	30,2	31,4	31,7
YSS1-T _{4a} (°C)	28,7	28,3	28,1	27,8	27,7	27,9	28,1	28,1	28,3	28,4	28,8
YSS2-T _{4a} (°C)	28,3	29,1	30,3	31,0	30,0	29,8	29,8	30,3	30,5	29,0	28,8
YSS1-T _{4c} (°C)	29,5	29,8	30,6	30,4	30,8	30,7	31,0	31,0	31,1	31,3	31,5
YSS2-T _{4c} (°C)	28,2	28,8	30,0	30,0	29,6	29,6	29,5	29,6	29,7	28,5	28,7
YSS1-T ₅ (°C)	29,8	29,6	29,3	29,1	29,1	29,1	29,6	29,5	29,7	29,6	30,0
YSS2-T ₅ (°C)	27,1	28,0	28,6	28,6	28,6	28,3	27,9	28,2	28,8	29,5	30,1
YSS1-T ₇ (°C)	36,5	37,5	38,8	40,1	42,5	43,6	50,5	49,5	51,4	50,6	50,8
YSS2-T ₇ (°C)	38,8	40,7	41,9	42,2	43,5	44,5	44,3	44,2	45,0	45,7	45,8
YSS1-T _{9b} (°C)	31,9	32,5	33,1	33,8	34,6	35,1	36,0	36,5	36,9	37,2	37,7
YSS2-T _{9b} (°C)	30,0	31,0	31,4	31,5	31,8	32,0	31,3	31,1	32,1	33,2	33,8
YSS1-T _{iç} (°C)	27,7	27,7	28,1	28,3	28,5	28,6	28,7	28,7	28,8	28,9	29,1
YSS2-T _{iç} (°C)	24,2	23,4	23,2	24,0	23,7	21,4	20,4	25,7	29,0	29,0	27,7
YSS1-T _{depo} (°C)	105,4	118,2	128,5	138,2	147,2	153,7	159,6	164,3	168,2	171,6	173,2
YSS2-T _{depo} (°C)	90,8	94,4	98,2	102,4	105,4	108,4	110,8	118,9	124,8	128,4	129,4
YSS1-P ₂ (Bar)	16,5	16,5	16,6	16,7	17,0	17,3	17,5	17,6	17,7	17,7	17,7
YSS2-P ₂ (Bar)	15,7	15,7	15,8	15,8	15,9	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3	16,3
YSS1-Solar (W/m ²)		923		935		987		1018		1080	
YSS2-Solar (W/m ²)		1032		1137		1147		1152		1156	

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.11. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 110-160. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
Saat	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00	13:05	13:10	13:15
YSS1-T ₂ (°C)	51,8	54,8	57,5	60,4	63,4	65,8	71,9	78,3	81,4	81,4	86,1
YSS2-T ₂ (°C)	69,7	72,0	73,7	75,3	76,9	78,7	79,0	79,9	81,5	84,0	85,5
YSS1-T ₃ (°C)	30,1	30,2	30,3	30,4	31,2	32,0	32,7	32,3	32,8	32,8	32,9
YSS2-T ₃ (°C)	30,4	30,5	30,2	29,2	29,6	30,0	29,5	28,7	30,2	31,4	31,7
YSS1-T _{4a} (°C)	28,7	28,3	28,1	27,8	27,7	27,9	28,1	28,1	28,3	28,4	28,8
YSS2-T _{4a} (°C)	28,3	29,1	30,3	31,0	30,0	29,8	29,8	30,3	30,5	29,0	28,8
YSS1-T _{4c} (°C)	29,5	29,8	30,6	30,4	30,8	30,7	31,0	31,0	31,1	31,3	31,5
YSS2-T _{4c} (°C)	28,2	28,8	30,0	30,0	29,6	29,6	29,5	29,6	29,7	28,5	28,7
YSS1-T ₅ (°C)	29,8	29,6	29,3	29,1	29,1	29,1	29,6	29,5	29,7	29,6	30,0
YSS2-T ₅ (°C)	27,1	28,0	28,6	28,6	28,6	28,3	27,9	28,2	28,8	29,5	30,1
YSS1-T ₇ (°C)	36,5	37,5	38,8	40,1	42,5	43,6	50,5	49,5	51,4	50,6	50,8
YSS2-T ₇ (°C)	38,8	40,7	41,9	42,2	43,5	44,5	44,3	44,2	45,0	45,7	45,8
YSS1-T _{9b} (°C)	31,9	32,5	33,1	33,8	34,6	35,1	36,0	36,5	36,9	37,2	37,7
YSS2-T _{9b} (°C)	30,0	31,0	31,4	31,5	31,8	32,0	31,3	31,1	32,1	33,2	33,8
YSS1-T _{iç} (°C)	27,7	27,7	28,1	28,3	28,5	28,6	28,7	28,7	28,8	28,9	29,1
YSS2-T _{iç} (°C)	24,2	23,4	23,2	24,0	23,7	21,4	20,4	25,7	29,0	29,0	27,7
YSS1-T _{depo} (°C)	105,4	118,2	128,5	138,2	147,2	153,7	159,6	164,3	168,2	171,6	173,2
YSS2-T _{depo} (°C)	90,8	94,4	98,2	102,4	105,4	108,4	110,8	118,9	124,8	128,4	129,4
YSS1-P ₂ (Bar)	16,5	16,5	16,6	16,7	17,0	17,3	17,5	17,6	17,7	17,7	17,7
YSS2-P ₂ (Bar)	15,7	15,7	15,8	15,8	15,9	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3	16,3
YSS1-Solar (W/m ²)		923		935		987		1018		1080	
YSS2-Solar (W/m ²)		1032		1137		1147		1152		1156	

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.12. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 165-215. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215
Saat	13:20	13:25	13:30	13:35	13:40	13:45	13:50	13:55	14:00	14:05	14:10
YSS1-T ₂ (°C)	90,3	86,3	82,6	83,5	82,2	82,0	83,0	84,9	86,4	86,0	85,0
YSS2-T ₂ (°C)	86,8	88,0	89,6	90,7	91,6	92,0	93,7	94,7	95,7	96,3	97,2
YSS1-T ₃ (°C)	33,2	33,1	33,1	33,0	32,6	32,3	32,5	32,7	32,9	33,2	33,5
YSS2-T ₃ (°C)	32,1	32,8	34,5	34,9	35,5	36,4	37,5	38,4	39,0	38,1	37,8
YSS1-T _{4a} (°C)	29,1	29,1	29,1	29,3	29,5	29,5	29,8	29,9	29,7	29,8	28,6
YSS2-T _{4a} (°C)	30,5	31,5	31,2	30,4	30,0	29,6	29,9	30,1	31,0	31,4	32,0
YSS1-T _{4c} (°C)	31,9	31,3	31,5	31,7	32,0	32,4	32,6	32,7	32,6	32,7	31,6
YSS2-T _{4c} (°C)	29,8	30,7	30,3	29,5	29,5	29,6	30,5	31,0	31,7	32,0	32,4
YSS1-T ₅ (°C)	30,4	30,7	30,8	31,2	31,1	30,8	31,0	30,8	30,8	31,1	31,6
YSS2-T ₅ (°C)	30,1	30,5	30,8	31,3	31,8	32,2	33,4	34,0	34,3	34,0	34,0
YSS1-T ₇ (°C)	52,4	52,3	50,8	51,8	52,1	50,5	48,8	46,2	45,7	47,5	49,0
YSS2-T ₇ (°C)	46,6	47,6	48,6	49,0	50,5	50,9	52,7	54,0	54,7	55,4	56,5
YSS1-T _{9b} (°C)	38,3	38,4	38,8	39,0	39,2	39,1	39,3	39,2	39,2	39,7	39,8
YSS2-T _{9b} (°C)	34,0	34,7	35,2	35,6	36,3	36,8	38,1	38,8	39,7	39,4	40,1
YSS1-T _{iç} (°C)	29,2	29,5	29,6	29,7	29,9	30,1	30,3	30,3	30,5	30,7	30,9
YSS2-T _{iç} (°C)	29,7	31,5	32,4	32,3	32,1	32,1	32,2	32,0	31,8	31,8	31,6
YSS1-T _{depo} (°C)	173,4	173,6	173,3	172,9	172,1	171,6	170,6	170,7	170,7	171,3	172,7
YSS2-T _{depo} (°C)	133,0	136,2	138,7	139,5	140,4	142,8	143,2	144,7	145,0	145,8	147,0
YSS1-P ₂ (Bar)	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,9	17,9	17,9	18,0
YSS2-P ₂ (Bar)	16,4	16,5	16,6	16,6	16,7	16,7	16,9	16,8	17,0	16,9	17,1
YSS1-Solar (W/m ²)	1030		1031		1019		1052		1035		1027
YSS2-Solar (W/m ²)	1160		1160		1173		1170		1158		1158

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.13. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 220-270. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270
Saat	14:15	14:20	14:25	14:30	14:35	14:40	14:45	14:50	14:55	15:00	15:05
YSS1-T ₂ (°C)	84,4	84,9	85,2	85,8	86,0	85,7	86,0	85,7	85,3	84,5	84,7
YSS2-T ₂ (°C)	98,0	98,8	99,2	99,7	100,3	99,3	99,8	101,0	101,8	106,1	107,7
YSS1-T ₃ (°C)	33,1	33,3	33,4	33,7	33,7	34,0	34,0	34,0	34,0	33,7	33,8
YSS2-T ₃ (°C)	37,8	39,4	40,2	39,7	39,5	36,4	34,3	34,5	32,8	33,2	34,8
YSS1-T _{4a} (°C)	27,0	27,5	26,6	27,1	27,1	27,8	27,1	27,7	28,3	29,0	29,3
YSS2-T _{4a} (°C)	32,2	32,5	32,7	32,1	31,3	29,8	29,3	27,2	26,8	26,1	25,3
YSS1-T _{4c} (°C)	30,2	30,8	29,8	30,3	30,1	31,1	30,1	30,6	31,3	31,9	32,2
YSS2-T _{4c} (°C)	32,5	32,8	32,7	32,0	31,2	30,0	29,5	27,6	27,1	26,2	25,5
YSS1-T ₅ (°C)	31,4	31,4	31,7	31,8	31,8	32,1	32,2	32,7	32,7	32,4	32,8
YSS2-T ₅ (°C)	33,8	33,3	33,0	33,7	34,7	33,2	32,9	33,0	31,1	31,1	32,1
YSS1-T ₇ (°C)	45,0	46,2	47,0	47,9	46,8	48,4	48,0	51,4	49,9	47,1	52,4
YSS2-T ₇ (°C)	55,9	55,5	55,8	55,6	55,2	53,6	53,7	54,0	53,1	55,5	57,1
YSS1-T _{9b} (°C)	39,1	39,4	39,7	39,8	40,1	40,4	40,5	40,5	40,6	40,4	40,5
YSS2-T _{9b} (°C)	39,7	39,5	38,6	38,8	39,8	38,0	36,5	36,9	35,5	36,8	37,6
YSS1-T _{iç} (°C)	30,7	31,0	31,0	31,1	31,2	31,3	31,5	31,7	31,7	31,7	31,8
YSS2-T _{iç} (°C)	31,3	31,2	30,9	30,7	30,3	29,8	29,3	29,2	30,4	30,9	32,1
YSS1-T _{depo} (°C)	172,8	173,7	174,7	175,1	174,4	174,0	174,1	173,7	171,3	173,5	177,4
YSS2-T _{depo} (°C)	147,1	149,4	150,8	152,2	153,9	156,2	157,8	159,1	162,1	165,4	170,0
YSS1-P ₂ (Bar)	18,0	18,0	18,0	18,1	18,1	18,1	18,2	18,2	18,1	18,2	18,2
YSS2-P ₂ (Bar)	17,0	17,2	17,2	17,4	17,4	17,5	17,7	17,7	17,8	18,0	18,1
YSS1-Solar (W/m ²)		950		883		870		665		876	
YSS2-Solar (W/m ²)		1150		1137		1118		1072		1001	

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.14. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 275-325. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325
Saat	15:10	15:15	15:20	15:25	15:30	15:35	15:40	15:45	15:50	15:55	16:00
YSS1-T ₂ (°C)	85,1	84,5	83,0	82,1	81,7	81,3	81,0	80,7	79,8	79,0	77,2
YSS2-T ₂ (°C)	109,4	112,5	115,2	96,6	92,8	90,9	90,7	90,9	91,5	91,8	92,2
YSS1-T ₃ (°C)	33,0	32,7	32,5	32,3	32,7	32,8	33,0	33,0	32,1	32,2	32,1
YSS2-T ₃ (°C)	33,1	31,5	30,6	39,5	41,7	40,8	41,3	42,1	42,4	42,4	44,0
YSS1-T _{4a} (°C)	29,6	29,9	30,0	29,8	30,0	30,0	30,1	30,2	26,0	26,8	27,8
YSS2-T _{4a} (°C)	22,6	20,3	18,2	16,5	15,4	14,2	13,8	12,4	11,6	12,2	12,6
YSS1-T _{4c} (°C)	32,5	32,8	33,0	32,9	33,1	33,1	33,1	33,4	29,6	30,5	31,1
YSS2-T _{4c} (°C)	20,5	18,3	14,3	10,0	7,5	5,1	5,5	4,0	2,5	2,5	3,6
YSS1-T ₅ (°C)	32,2	32,2	32,2	32,0	32,2	32,4	32,5	32,5	32,0	31,7	31,7
YSS2-T ₅ (°C)	32,3	32,5	33,1	33,2	31,7	29,5	28,6	27,4	26,8	26,4	25,8
YSS1-T ₇ (°C)	52,4	51,8	51,1	48,5	50,9	49,6	49,2	51,2	47,9	48,3	47,9
YSS2-T ₇ (°C)	56,7	57,6	61,5	67,8	69,5	69,8	69,5	68,5	67,6	67,7	68,0
YSS1-T _{9b} (°C)	40,1	40,0	39,8	39,5	39,5	39,5	39,5	39,7	39,0	38,7	38,7
YSS2-T _{9b} (°C)	37,6	37,3	38,2	39,2	38,4	39,2	40,1	40,1	40,5	41,2	41,8
YSS1-T _{iç} (°C)	32,0	32,1	32,2	32,1	32,4	32,4	32,4	32,7	32,5	32,7	32,7
YSS2-T _{iç} (°C)	32,8	31,7	31,5	31,9	31,7	31,1	31,1	29,8	29,1	29,5	28,7
YSS1-T _{depo} (°C)	175,5	172,8	168,4	167,0	165,4	166,7	167,5	164,1	157,7	151,3	147,4
YSS2-T _{depo} (°C)	173,9	176,3	178,4	176,1	174,3	172,9	170,2	167,4	166,0	166,3	165,7
YSS1-P ₂ (Bar)	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,2	18,1	18,1
YSS2-P ₂ (Bar)	18,1	18,2	18,5	18,7	18,0	17,8	17,9	18,0	18,0	18,0	18,0
YSS1-Solar (W/m ²)	879		246		831		250		185		440
YSS2-Solar (W/m ²)	907		881		848		820		795		756

EK-2 (Devam) Isı kaynağına göre deney sonuçları

Çizelge 2.15. Cihazlarda güneş enerjisi kullanımında 330-380. dakikalar için deney sonuçları

Süre (dakika)	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380
Saat	16:05	16:10	16:15	16:20	16:25	16:30	16:35	16:40	16:45	16:50	16:55
YSS1-T ₂ (°C)	76,6	75,4	74,9	74,8	75,4	76,0	76,7	77,3	77,8	78,4	78,7
YSS2-T ₂ (°C)	93,6	93,0	90,7	89,9	89,3	89,1	88,6	88,2	88,0	88,4	89,1
YSS1-T ₃ (°C)	32,2	31,8	32,0	32,1	32,4	32,3	32,2	32,4	32,7	33,0	33,4
YSS2-T ₃ (°C)	46,2	45,2	43,7	42,9	42,7	42,5	41,7	40,7	39,8	39,1	38,6
YSS1-T _{4a} (°C)	28,4	28,8	29,5	29,7	30,2	30,5	30,8	30,8	31,0	31,2	31,2
YSS2-T _{4a} (°C)	11,3	10,7	10,2	10,0	10,0	9,8	9,2	9,0	8,4	7,5	6,9
YSS1-T _{4c} (°C)	31,7	32,1	32,7	33,0	33,2	33,5	33,6	34,0	34,0	34,1	34,2
YSS2-T _{4c} (°C)	2,5	1,8	1,1	0,8	0,5	0,0	-0,4	-0,4	0,1	0,6	0,8
YSS1-T ₅ (°C)	31,8	31,4	31,5	31,4	31,7	31,6	31,5	31,5	31,5	31,7	31,7
YSS2-T ₅ (°C)	25,5	26,3	25,1	24,7	24,2	23,9	23,4	23,1	22,7	22,8	22,8
YSS1-T ₇ (°C)	48,1	47,3	47,2	47,1	47,2	48,6	48,2	48,2	48,4	49,8	50,0
YSS2-T ₇ (°C)	68,9	67,1	64,7	63,3	61,8	60,6	58,4	56,5	54,6	53,4	51,7
YSS1-T _{9b} (°C)	38,7	38,3	38,1	38,0	38,1	38,1	38,2	38,4	38,6	38,8	39,0
YSS2-T _{9b} (°C)	42,7	42,9	41,9	41,8	41,5	41,5	41,0	40,5	40,4	40,1	40,0
YSS1-T _{iç} (°C)	32,7	32,7	32,7	32,8	32,8	32,8	32,8	32,9	32,9	33,0	33,0
YSS2-T _{iç} (°C)	26,1	25,2	25,8	26,5	26,9	26,8	27,0	26,5	26,0	25,8	25,7
YSS1-T _{depo} (°C)	144,5	144,7	146,4	151,7	156,2	160,1	162,4	164,0	165,2	166,3	166,7
YSS2-T _{depo} (°C)	160,2	159,0	160,3	159,6	158,2	156,5	154,2	151,5	148,7	145,5	141,7
YSS1-P ₂ (Bar)	18,1	18,0	18,0	18,0	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
YSS2-P ₂ (Bar)	18,0	18,0	18,0	17,9	17,8	17,8	17,7	17,6	17,6	17,5	17,4
YSS1-Solar (W/m ²)		199		630		599		552		534	
YSS2-Solar (W/m ²)		717		698		675		656		684	

EK-3 Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları



INTRINSICALLY SAFE PRESSURE TRANSMITTERS
FOR HAZARDOUS APPLICATIONS

Series 23 (S) Ei, 25 (S) Ei and 26 Ei pressure transmitters are all ATEX approved for use in Hazardous Areas where there is a high risk of explosion.

Series 23 Ei / 26 Ei

The Series 23 Ei / 26 Ei achieve high stability (especially in low pressure ranges) with large piezoresistive capsules and stress-free, floating mountings with O-rings.

Series 23 S Ei / 25 Ei / 26 S Ei

The 23 S Ei / 25 Ei / 26 S Ei offer a complete range of „Ported“ and „Flush Diaphragm“ pressure transmitters for ranges of 1bar and above. Still giving high stability and accuracy but without any internal O-rings. This is achieved using either an all welded 316L stainless steel housing and diaphragm or an all welded 316L housing fitted with a brazed Nickel diaphragm.

– **A complete range**

Absolute, barometric, gauge (positive and negative).
16 nominal pressure ranges. Current or voltage output.

– **Flexibility**

A modular concept is used, with fast and economical production achieved by using off-the-shelf sensors. Numerous options and variations are available to meet customers' specific requirements: Pressure ranges, mechanical- and electrical interface, process- and plug connection, signal outputs etc.

– **Reliability / Quality**

Each transmitter is subjected to severe test- and calibration procedures. Transmitters are manufactured and tested according to ISO 9001 / EN 29001.

Classification:

 II 1 G
 EEx ia IIC T6 to T4
 LCIE 01 ATEX 6002 X

 0081

SERIES 23 (S) Ei
SERIES 25 (S) Ei, 26 Ei



Series 23 Ei



Series 25 Ei



Series 23 S Ei

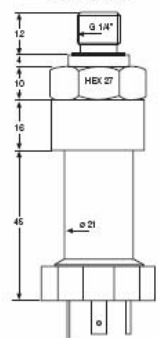


Series 25 S Ei

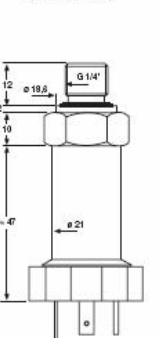


Series 26 Ei

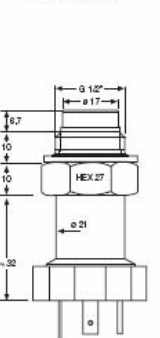
Series 23 Ei



Series 23 S Ei



Series 25 S Ei



Subject to alterations

12/06

KELLER AG für Druckmesstechnik
KELLER Ges. für Druckmesstechnik mbH

St. Gallerstrasse 119
Schwarzwaldstrasse 17

CH-8404 Winterthur
D-79796 Jestetten

Tel. +41 (0)52 - 235 25 25
Tel. +49 (0)7745 - 9214 - 0

Fax +41 (0)52 - 235 25 00
Fax +49 (0)7745 - 9214 - 60

Companies approved to ISO 9001:2000

www.keller-druck.com

Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan basınç ölçerin teknik özellikleri

EK-3 (Devam) Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları



KELLER

Specifications

	Pressure Ranges (FS) in Bar																
PR/PAA-23 Ei, PR/PAA-25 Ei / 26 Ei	-1	-0,5	-0,3	0,3	0,5	1	2	5	10	20							
PR/PAA-23 S Ei, PR/PAA-25 S Ei							2	5	10	20							
PA-23 Ei, PA-25 Ei						1	2	5	10	20	50	100	200	400	600	1000	
PA-23 S Ei							2	5	10	20	50	100	200				
PA-25 S Ei							2	5	10	20							
Overpressure	-1	-1	-1	2,5	2,5	3	4	10	20	40	100	200	300	600	900	1200	

PAA: Absolute. Zero at vacuum PA: Sealed Gauge. Zero at atmospheric pressure (at calibration day) PR: Vented Gauge. Zero at atmospheric pressure

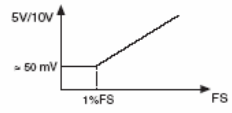
Linearity ⁽¹⁾ + Hysteresis + Repeatability	± 0,5 %FS	⁽¹⁾ best straight line through zero
EX-Temperature Classes	T6: -40 °C to 70 °C T5: -40 °C to 85 °C T4: -40 °C to 100 °C	
Compensated Temperature Range	-10...80 °C	
Temperature Coefficients...	of Zero, in %FS/°C	of Sensitivity
· Range > 1 bar	0,005 typ. 0,01 max.	0,02 %/°C max.
· Range 1 bar	0,010 typ. 0,02 max.	0,02 %/°C max.
· Range 0,5 bar	0,015 typ. 0,03 max.	0,02 %/°C max.
· Range 0,3 bar	0,025 typ. 0,05 max.	0,02 %/°C max.
Stability		
· Range > 2 bar	0,1 %FS typ. 0,2 %FS max.	
· Range ≤ 2 bar	2 mbar typ. 4 mbar max.	

• The transmitters must only be used in combination with certified intrinsically safe equipment!

• The certificate of Series 23 (S) Ei, 25 (S) Ei and 26 Ei is registered under the Nr. LCIE 01 ATEX 6002 X plus appendix at the LCIE in France.

Signal Output / Type	4...20 mA / 2-Wire	0...10 V / 3-Wire
Supply	10...30 VDC	15...30 VDC
Load Resistance (Ω)	(U-10 V) / 0,02 A	> 5 k
Frequency Response	5 kHz	1 kHz

Signal at zero for 0...5 V (0...10 V) transmitters



Electrical Connector	Plug DIN 43650
Dead Volume Change	< 0,1 mm ³
Material in Media Contact	Stainless steel 316L (DIN 1.4435), hard solder
Protection	IP 65
Weight (versions with plug)	23 Ei / 25 Ei: ≈ 260 g 23 S Ei / 25 S Ei: ≈ 130 g
Insulation	> 100 MΩ @ 50 V
Endurance	> 10 million cycles 0...100% FS at 25 °C

Options

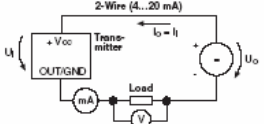
Pressure Port	On request
Electrical Output	Cable (with reference tube for gauge); protection IP 68
Pressure Ranges	Any range between 0,3 and 1000 bar, various units (PSI etc.)
Oil Filling	Fluorocarbon oil (O ₂ -compatible), olive-oil, low temperature oil

Electrical Connections

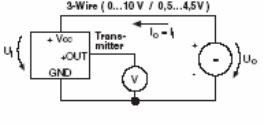
2-Wire Transmitter	3-Wire Transmitter	DIN 43650 Connector	Cable
-	0 V / GND	1	white
+OUT	OUT	2	red
+IN	+IN	3	black

Output Signal	4...20 mA / 0...10 V	0,5 V...4,5 V
Supply Voltage U _i	≤ 30 V	≤ 17,1 V
Current Input I _i	≤ 100 mA	≤ 100 mA
Power Consumption P _i	≤ 1,2 W	≤ 1,2 W
Capacitance C _i	0 nF	986 nF
Inductivity L _i	0 mH	0 mH

2-Wire (4...20 mA)



3-Wire (0...10 V / 0,5...4,5 V)



Subject to alterations

12/06

KELLER AG für Druckmesstechnik
KELLER Ges. für Druckmesstechnik mbH

St. Gallerstrasse 119
Schwarzwaldstrasse 17

CH-8404 Winterthur
D-79798 Jestetten

Tel. +41 (0)52 - 235 25 25
Tel. +49 (0)7745 - 9214 - 0

Fax +41 (0)52 - 235 25 00
Fax +49 (0)7745 - 9214 - 60

Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan basınç ölçerin elektronik özellikleri

EK-3 (Devam) Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları

ADAM-4500

PC-based Communication Controller

Features

- Powerful communication controller in a small package
- Built-in Boot ROM DOS to run PC programs
- Free HWM/RAM memory for user's applications
- 2-wire, multi-drop RS-485 networking
- Communication speed up to 115.2 Kbps
- RS-232/RS-485 modes (jumper selectable)
- Automatic data flow control in RS-485 mode
- Built-in real-time clock and watchdog timer
- Easy mounting on a DIN-rail or panel
- Accepts unregulated power sources between 10 to 30 V_{DC}
- Program download cable and utility included



80188 WDT ROM-DOS RS-485 RS-232

Introduction

The ADAM-4500 is a fully functional stand-alone controller for industrial automation and control. It provides an ideal environment for controlling PC hardware with a minimal amount of development effort. Its built-in ROM-DOS lets users run standard PC programs or new programs produced by PC language development tools. ROM-DOS is an MS-DOS equivalent operating system allowing you to run all standard PC software.

Built-in RS-232/485 COM Ports

The ADAM-4500 has two communication ports (COM1 and COM2). These provide easy communication between the controller and other devices in your applications. COM1 can be configured for RS-232 or RS-485 communication via a jumper setting, while COM 2 is dedicated as an RS-485 port. This design allows the controller to be used in a variety of applications. For example, a user can download an application into the ADAM-4500's on-board Flash memory while the ADAM-4500 is connected to an RS-485 network, then let it control all the modules in the network.

Built-in Real-time Clock and Watchdog Timer

The real-time clock in the controller ensures accurate time recording while the system operates. The watchdog timer is designed to automatically reset the CPU if the system fails.

Specifications

Board

▪ CPU	80188-40
▪ Flash ROM	256 KB (170 KB free memory for users)
▪ Operating System	Boot ROM UOS
▪ Timer BIOS	Yes
▪ SHAM	256 KB (234 KB free memory for users)
▪ Real-time Clock	Yes
▪ Watchdog Timer	Yes
▪ COM1	RS-232/485
▪ COM2	RS-485
▪ Program Download Port(RS-232)	Tx, Rx, GND
▪ Power Requirement	Unregulated +10 to +30 V _{DC}
▪ Power Consumption	2.0 W
▪ Operating Temperature	-10 ~ 70°C (14 ~ 158°F)
▪ Case	ABS with captive mounting hardware
▪ Plug-in Screw	Accepts 0.5 mm to 2.5 mm
▪ Terminal Block	1-#12 or 2-#14 ~ #22 AWG
▪ Dimensions	60 x 120 mm (2.36" x 4.72")

RS-232 Interface

▪ Signals	TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, RI, GND
▪ Mode	asynchronous full duplex, point to point
▪ Transmission Speed	Up to 115.2 kbps
▪ Max Transmission Distance	15.2 meters (50 feet)

RS-485 interface

▪ Signals	DATA+, DATA-, GND
▪ Mode	Half duplex, multi-drop
▪ Transmission Speed	Up to 115.2 kbps
▪ Max Transmission Distance	1200 meters (4000 feet)

Software

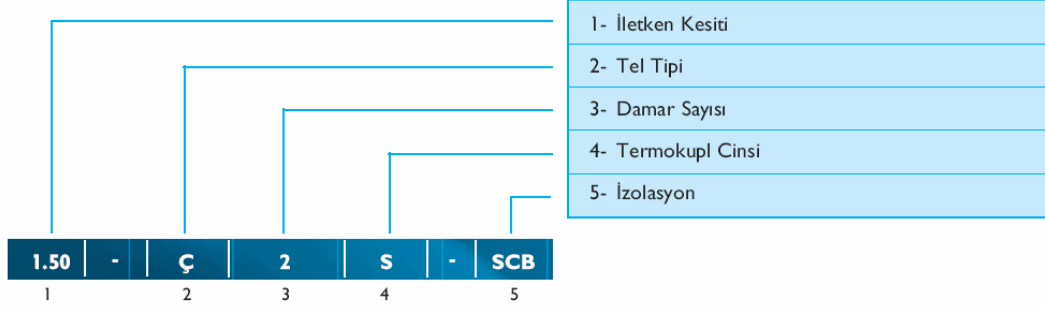
The ADAM-4500 module provides 170 KB ROM for your downloaded applications and 234 KB RAM for application operation. Its built-in ROM-UOS is an MS-UOS equivalent operating system, which provides all of the basic functions of MS-DOS except BIOS. Application programs written in high level languages such as C or C++ can run under ROM-UOS. Application programs should be converted into 80188 compatible code before being downloaded into the ADAM-4500. The download utility is included with the ADAM-4500.

Ordering Information

▪ ADAM-4500	PC-based communication controller
-------------	-----------------------------------

Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan data modülünün özellikleri

EK-3 (Devam) Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları

ELİMKO TERMOKUPL KOMPANZASYON KABLOLARI KODLAMA

1- İletken Kesiti	0.50, 0.75, 1.50 (mm ²)	Kabloların her bir damarı standart kesitlerden biri olabilir.
2- Tel Tipi	(T) Tekli (Ç) Çoklu	Tellerin her biri tekli-solid (katı) veya çoklu (fleksibl) olabilir.
3- Damar Sayısı	2 iki damarlı 4 dört damarlı 6 altı damarlı • • •	Tek veya çift elemanlı termokupllarla kullanılabilen çok damarlı kabloların damar sayısı belirtilir.
4- Termokupl Cinsi	U Cu-const L Fe-const T Cu-const J Fe-const K NiCr-Ni S Pt%Rh-Pt } DIN 43710 } IEC 584	Kompanzasyon kabloları kullanılacakları termokupl ile aynı cinsten olmalıdır.
5- İzolasyon	SS Silikon + Silikon SCB Silikon + Cam elyaf + Blendaj CC Cam elyaf + Cam elyaf PP PVC + PVC TT Teflon + Teflon TC Teflon + Cam elyaf SSK Silikon + Silikon (Tel üzeri kalay) CCB Cam elyaf + Cam elyaf + Blendaj TTE Teflon + Teflon (Eleman teli) • • •	DIN standartlarında yer alan DIN 43713 ve DIN 43714 normlarında imal edilen kablolarda izolasyonlar yandaki kodlara uygundur.

Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan K tipi termokuplun özellikleri

EK-3 (Devam) Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları



Resim 3.1. Güneş ışıının şiddeti ölçüm cihazı “Haenni, Solar 118”



Resim 3.2. Deneylerde kullanılan ışıının şiddeti ölçüm cihazının genel görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZBAŞ, Engin
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.01.1976 Turhal
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (370) 433 82 00
 Faks : 0 (370) 433 82 04
 e-mail : e.ozbas@mynet.com.

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitimi	2004
Lisans	Gazi Üniversitesi Tesisat Öğretmenliği	2001
Lise	Afyon Lisesi	1994

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. SÖZEN, A., ÖZBAŞ, E., “Performance Improvement of a diffusion solar-absorption refrigeration system”, World Renewable Energy Congress X, Glasgow, 2008.