

**MOTOR EGZOZ GAZINI ISI KAYNAĞI OLARAK KULLANAN
ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ İLE TAŞIT KABİNİ
SOĞUTULMASININ TEORİK İNCELENMESİ**

Ata ÖZDENAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2006

ANKARA

Ata ÖZDENAL tarafından hazırlanan MOTOR EGZOZ GAZINI ISI KAYNAĞI OLARAK KULLANAN ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ İLE TAŞIT KABİNİ SOĞUTULMASININ TEORİK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Üye: Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Üye: Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Üye: Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN

Üye: Yrd.Doç.Dr. İbrahim ATILGAN (Danışman)

Tarih: 11/07/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur

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.

Ata ÖZDENAL

**EGZOS GAZINI ISI KAYNAĞI OLARAK KULLANAN ABSORBSİYONLU
SOĞUTMA SİSTEMİ İLE TAŞIT KABİNİ
SOĞUTULMASININ TEORİK İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ata ÖZDENAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2006

ÖZET

Yapılan araştırmanın amacı; otomobil klima sisteminde, egzoz gazındaki atık ısıyı, temel ısı kaynağı olarak kullanan Absorbsiyonlu Soğutma Sistemini incelemektir. Bu şekilde, kompresör tarafından tahrik edilen klasik buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemine alternatif bir sistem oluşturulacaktır. Araştırmada incelenen absorbsiyonlu soğutma sistemi, 3.2 ila 29.6 kW soğutma kapasitesini sağlayan ve soğutucu olarak su, soğurucu olarak lityum-bromür kullanan sistemdir. Hesaplamalar, 1400 cc motorun farklı devir ve yük değerlerinde ürettiği egzoz gazı atık ısı enerjisi kullanılarak yapılmıştır. Absorbsiyonlu soğutma sistemini lehte destekleyen pek çok özelliği mevcuttur. Öncelikle sistemde, buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemindeki kompresöre gereken güçle kıyaslandığında çok düşük bir elektrik gücüyle çalışan eriyik pompası sayılabilir. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin diğer avantajları ise, sistemdeki eriyik pompası dışında hareketli parçalar bulunmadığından, daha az gürültü, yüksek güvenilirlik ve dayanıklılıktır. Klasik otomobil klima sistemi ve alternatif absorbsiyonlu soğutma sistemi kullanan sistem karşılaştırıldığında, egzoz gazı ile sürülen sistemin performansının kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Ancak araç, düşük hızlarda seyir ve/veya park halinde iken sistem performansı, daha efektif kaynatıcı tasarımı ile desteklenmelidir.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Absorbsiyonlu soğutma sistemi, LiBr/H₂O, termodinamik analiz
Sayfa Adedi : 139
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

**THEOROTICAL RESEARCH OF VEHICLE CABINET'S COOLING WITH
ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM WHICH IS USING
ENGINE EXHAUST GASES AS A THERMAL SOURCE
(M.Sc. Thesis)**

Ata ÖZDENAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2006**

ABSTRACT

The objective of this research is the theoretical investigation of using Vapour Absorption Refrigeration System in the Automobile Air Conditioning System, by utilising the waste heat in the exhaust gases of the main propulsion unit as the heat source. This method will be provided as an alternative to the conventional system that have an internal combustion engine driven Vapour Compression Refrigeration System. Vapour Absorption Refrigeration System is analysed in the study, uses water as the refrigerant and lithium-bromide as the absorbent, has a design cooling capacity of between 3,2 kW and 29,6 kW . The information values are based on heat distribution of the exhaust gases of the 1400 cc. engine under various speeds and loads. The Vapour Absorption Refrigerant Systems have many favorable characteristics. Firstly, they normally require a small electrical input to drive the solution pump, but this is very small compared to the power requirements of the compressor in the Vapour Compression Refrigeration System. Secondly, the absence of moving parts, except for the solution pump, means low noise, high reliability and long durability of the Vapour Absorption Refrigeration Systems. The comparison of the conventional Automobile Air Conditioning System and the alternative system using Vapour Absorption Refrigeration System showed that, the performance level of the exhaust gas driven system was acceptable.

Operation during the slow motor cycle condition, the performance of the system can be developed by more efficient design of the generator.

Science Code	: 914.1.065
Key Words	: Absorption refrigeration system, LiBr/H₂O, thermodynamic analysis.
Page Number	: 139
Adviser	: Assistant Prof. Dr. İbrahim ATILGAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN' a, yine tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Ö.Ercan ATAER' e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Banu ÖZDENAL'a, aileme ve YÜKSEL Holding çalışanlarına da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
3. SOĞUTMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	10
3.1. Soğutma Sistemi Tipleri	10
3.2. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi.....	11
3.3. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi	12
4. OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ	18
4.1. Otomobil Kliması Çalışma Prensipleri	19
4.2. Otomobil Kliması Çalışma Koşulları.....	21
4.3. Otomobil Klimalarının Soğutma Kapasitesi	23
4.4. Otomobil Klima Sistemlerini Oluşturan Başlıca Elemanlar	24
4.4.1. Kompresör.....	24
4.4.2. Yoğuşturucu (Kondenser)	26
4.4.3. Nem tutucu filtre	27
4.4.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör).....	28

Sayfa

4.4.5. Genleşme valfi (Expansion valve).....	29
4.4.6. Üç fazlı presostat.....	30
5. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ.....	31
5.1. Kaynatıcı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorber ile ilgili bağıntılar.....	31
5.2. Soğutma Tesir Katsayısı(COP) ile İlgili Bağıntılar	36
5.3. Motor Ömür Deneyi Verileri	39
5.4. Termodinamik Analiz	43
5.4.1. Egzoz gazının farklı sıcaklıklardaki termofiziksel özellikleri	43
5.4.2. Kaynatıcı tasarımı ve hesaplamaları	48
5.4.3. Absorber tasarımı ve hesaplamaları	54
5.4.4. Soğutma kapasitesinin hesaplanması	59
5.4.5. Soğutma yükü	63
5.4.6. Kaynatıcı basınç kayıpları.....	65
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	93
EK-1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı	94
EK-2. Bilgisayar programı akış şeması	113
EK-3. Su buharının doymuş haller tablosu	125
EK-4. Su buharının kızgın buhar tablosu.....	127
EK-5. Li-Br / Su eriyiği basınç – sıcaklık – konsantrasyon tablosu.....	131
EK-6. Li-Br / Su eriyiği için entalpi – konsantrasyon tablosu.....	132
EK-7. Hiperbolik fonksiyonlar tablosu	133
EK-8. Atmosfer basıncında gazların termo – fiziksel özellikleri	134
ÖZGEÇMİŞ	139

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Akerman absorbsiyonlu ve buhar sıkıştırılmalı sistemlerin karşılaştırılması	4
Çizelge 3.1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan sıvılarda aranan özellikler ve nedenleri	17
Çizelge 5.1. Motor ömür deneyi kapasite bilgileri	41
Çizelge 5.2. Hava yakıt oranı 15 alınarak oluşturulan motor kapasite bilgileri	42
Çizelge 5.3. Egzoz gazının termodinamik özellikleri	46
Çizelge 5.4. Egzoz gazının termofiziksel özellikleri	47
Çizelge 5.5. Kaynatıcı ısı transfer kapasiteleri	52
Çizelge 5.6. Motor gücü, verimi ve özgül yakıt sarfiyatı değerleri	53
Çizelge 5.7. Basınç düşümü – basınç – durum bilgileri	66
Çizelge 6.1. Durumlara göre akışkan debileri	68
Çizelge 6.2. Durumlara göre kapasite ve soğutma tesir katsayıları	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. C.L. Keating sisteminin şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Mc Namara sisteminin şematik gösterimi	6
Şekil 2.3. Ghassemi sisteminin şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.4. İ.Horuz deneysel çalışmasının şematik gösterimi	8
Şekil 3.1.a. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevrimi şematik gösterimi. b. Absorbsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi	13
Şekil 4.1. Soğutma, ısıtma ve havalandırma ünitelerini içeren otomobil klima ünitesi	19
Şekil 4.2. Otomobil klimasının soğutma sistemi elemanları	20
Şekil 4.3. Otomobil klima sisteminde soğutucu akışkanın termodinamik yapıları	20
Şekil 4.4. Elektrik motoru ile çalışan fan sayesinde yoğuşturucunun soğutulması	21
Şekil 4.5. Otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi	22
Şekil 4.6. Soğutma kapasite eğrisi	24
Şekil 4.7. V5 Kompresör kesiti.....	25
Şekil 4.8. Nem tutucu filtrenin kesiti	27
Şekil 4.9. Fan, buharlaştırıcı, ısıtma helezonları ve kanalların tesisat şeması	28
Şekil 4.10. Termostatik genleşme valfi.....	29
Şekil 5.1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi	31
Şekil 5.2. Su buharının basınç-entalpi diyagramı	31
Şekil 5.3. LiBr / su eriyiğinin basınç-sıcaklık diyagramı	32
Şekil 5.4. Kaynatıcı.....	32
Şekil 5.5. Yoğuşturucu.....	34
Şekil 5.6. Buharlaştırıcı.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Absorber	35
Şekil 5.8. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin Carnot sistemi şeklinde gösterimi	37
Şekil 5.9. Motor ömür deneyi egzoz gazı sıcaklık eğrisi	40
Şekil 5.10. Tek geçişli - kanatlı borulu kaynatıcı	48
Şekil 5.11. Çift sıralı ve sürekli kanatçıklı absorber	54
Şekil 5.12. Sürekli kanatlı borulu ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü	58
Şekil 5.13. Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli kanat verimi	59
Şekil 5.14. Sürtünme faktörü – Durum grafiği	67
Şekil 5.15. Basınç düşümü ΔP (Pa) – Durum grafiği	67
Şekil 6.1. Özgül hacim (c_p) – Durum grafiği	72
Şekil 6.2. Yoğunluk (ρ) – Durum grafiği.....	72
Şekil 6.3. Dinamik viskozite (μ) – Durum grafiği	73
Şekil 6.4. Isıl iletkenlik (k) – Durum grafiği.....	73
Şekil 6.5. Kinematik viskozite (ν) – Durum grafiği	74
Şekil 6.6. Kaynatıcı kapasitesi (Q_{kay}) – Durum grafiği.....	74
Şekil 6.7. Yoğuşturucu kapasitesi ($Q_{yoğ}$) – Durum grafiği	75
Şekil 6.8. Buharlaştırıcı kapasitesi (Q_{buh}) – Durum grafiği	76
Şekil 6.9. Absorber kapasitesi (Q_{abs}) – Durum grafiği	76
Şekil 6.10. Soğutma tesir katsayısı (COP) – Durum grafiği.....	77
Şekil 6.11. Soğutucu akışkan debisi (m_1) – Durum grafiği.....	78
Şekil 6.12. Fakir eriyik debisi (m_7) – Durum grafiği	78
Şekil 6.13. Zengin eriyik debisi (m_8) – Durum grafiği	79
Şekil 6.14. Kaynatıcı kapasitesi (kW) – Egzoz gazı sıcaklığı (K)	79

Şekil	Sayfa
Şekil 6.15. Kaynatıcı kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)	80
Şekil 6.16. Absorber kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)	81
Şekil 6.17. Yoğuşturucu kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)	81
Şekil 6.18. Buharlaştırıcı kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)	82
Şekil 6.19. Yakıt debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	83
Şekil 6.20. Hava debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	83
Şekil 6.21. Egzoz gazı debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs).....	84
Şekil 6.22. Egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi – Durum grafiği	85
Şekil 6.23. Egzoz gazı sıcaklığı (°C) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	85
Şekil 6.24. Egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs).....	86
Şekil 6.25. Motor gücü (kW) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	87
Şekil 6.26. Motor verimi – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	88
Şekil 6.27. Egzoz gazı verimi – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan, m^2
COP	Soğutma tesir katsayısı
C_p	Özgül ısı, kJ/kgK
C_p	Net kalorifik değer, kJ/m^3
d	Çap, m
g	Yerçekimi ivmesi, m/s^2
h	Entalpi, J/kg
k	Isıl iletkenlik, W/mK
l	Uzunluk, m
LMTD	Logaritmik ortalama sıcaklık, K
m	Debi, kg/s
M	Mol ağırlığı, $g/kmole$
P	Basınç, Pa
q	Isı transferi birim kütlede, J/kg
Q	Toplam ısı transferi, W
T	Sıcaklık, K
U	Toplam ısı transfer katsayısı, W/m^2K
W	Toplam iş, W
WZ	Dolaşım oranı
X	Konsantrasyon, kg/kg
Δ	Fark (delta)
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
μ	Dinamik viskozite, Ns/m^2
η	Verim
ν	Kinematik viskozite, m^2/s

Kısaltmalar**Açıklama**

a	Soğutucu akışkan
abs	Absorber
buh	Buharlaştırıcı
c	Carnot Çevrimi
exh	Egzoz
f	Kanatçık
F	Fakir eriyik
i	Giriş, giren
ideal	İdeal
kay	Kaynaticı
o	Çıkış, çıkan
yoğ	Yoğuşturucu
Z	Zengin eriyik

1. GİRİŞ

Bu araştırmanın temel amacı, otomobil klima sistemlerinde, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin kullanılabilirliğini incelemek ve otomobil üzerindeki mevcut klima tertibatından yararlanarak, sistemdeki kompresör yerine atık enerjiyi kullanan, kaynaticı-absorber düzenekli yeni bir soğutma sistemi geliştirmektir.

Otomobil klima sistemlerinde, genellikle Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi tercih edilir. Bu sistemde, kompresöre iş formunda enerji vermek gereklidir. Küçük sistemlerde kompresöre ana motor tarafından kayış sistemiyle hareket verilmesine rağmen; büyük sistemlerde, kompresör ayrı bir içten yanmalı motor tarafından tahrik edilir.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin en büyük avantajı, atık enerjinin geri kazanımını mümkün kılmasıdır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemindeki mekanik işlem, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde yerini fiziko-kimyasal işleme bırakmıştır. Sistem mekanik iş yerine ısı formunda enerji ile çalışır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemini, diğer sistemlere göre avantajlı kılan en büyük özelliği; buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sisteminde kullanılan kompresöre gereken güce kıyasla çok küçük miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyan eriyik pompası ile çalışabilmesidir. Diğer avantajları ise; daha az hareketli parçaya sahip olduğundan daha az gürültü, yüksek güvenilirlik ve uzun süreli dayanıklılıktır.

İçten yanmalı motorlarda verim %30 - %35'dir, yani yakıttan elde edilen enerjinin ancak üçte biri (1/3) kullanılabilir işe çevrilmektedir. Dolayısıyla üretilen enerjinin %65 - %70'i kullanılmadan atılmaktadır. Üretilen enerjinin %28 -%30'u motorun soğutulması. %30 -%32 egzoz gazı, kalan kısmı da radyasyonla çevreye atılır. Sistemdeki sürtünme vb. kayıplar da göz önüne alındığında net verim daha da düşecektir.

Bu araştırmada, egzoz gazı vasıtasıyla çevreye bırakılan atık ısıyı kullanarak, absorbsiyonlu soğutma sisteminin çalıştırılması ve bu sistemin mevcut otomobil klima tesisatına uygulanabilirliğinin incelenmesi esas alınmıştır. Eğer bu başarılırsa mevcut sistemdeki kompresöre ihtiyaç kalmayacaktır. Ayrıca sistem sessiz çalışacak, bakım maliyeti düşecek ve enerji korunumu sağlanacaktır.

Fakat Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin uygulamasında birtakım zorluklar olabileceği unutulmamalıdır. En önemli sorun, araç rölantide çalışırken yada sıkışık trafikte seyir halindeyken egzoz gazının debisi ve sıcaklığı düşeceğinden yeterli soğutma kapasitesine ulaşamamasıdır. Bu şartlarda kaynatıcıdan elde edilen ısı miktarı düşecek ve soğutma verimi azalacaktır. Kaynatıcı dizaynı aşamasında bu durum göz önüne alınmalıdır.

Araştırmada, otomobildeki mevcut klima sisteminin (kompresör hariç) elemanları kullanılacağından klima sistemi elemanları hakkında bilgi sonraki bölümlerde verilecektir. Araştırmada, 1400 cc hacimli motor ömür deneyi verileri baz alınmış ve LiBr-Su soğurucu-soğutucu akışkan çifti kullanılmıştır.

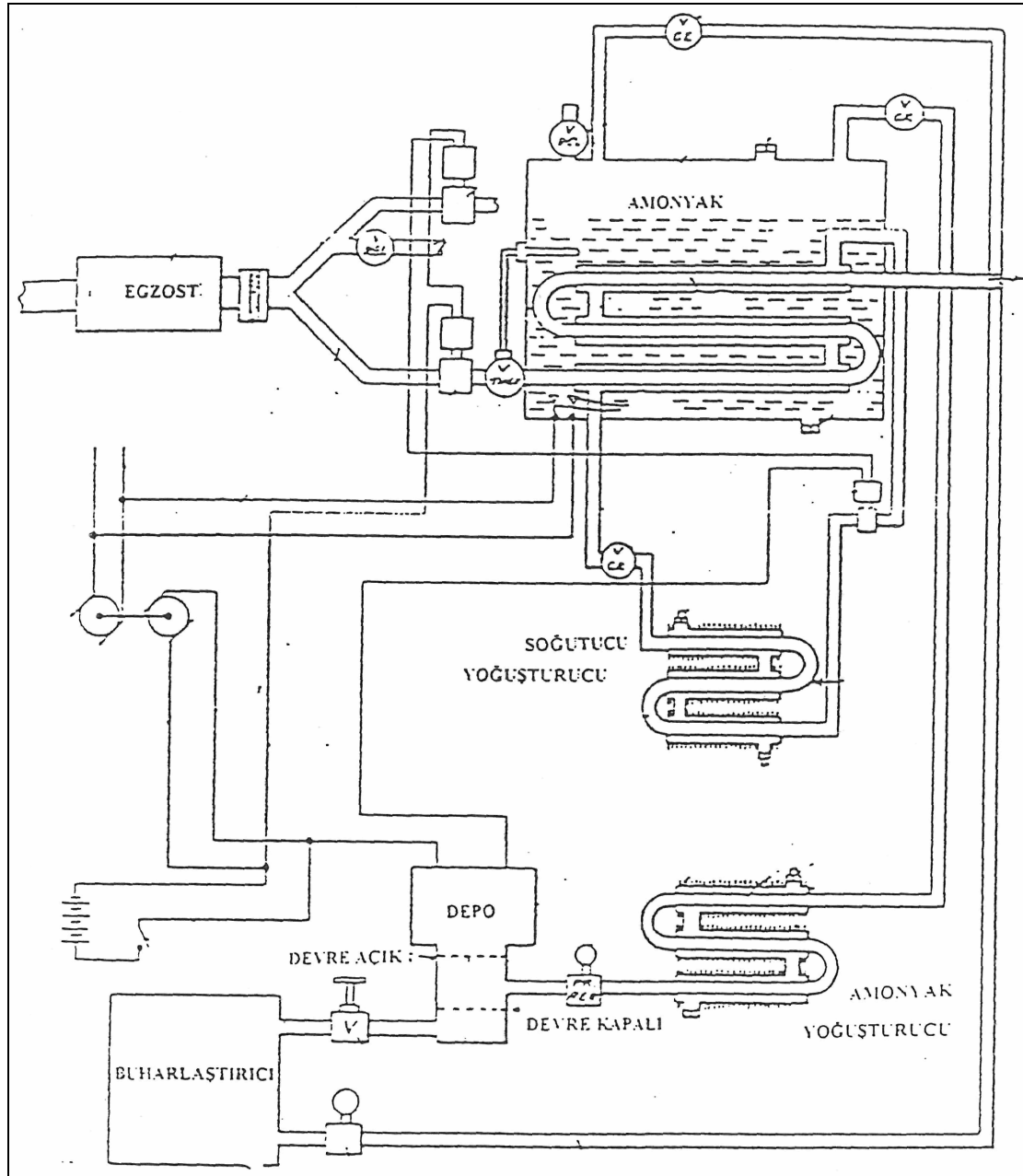
Araştırmada ayrıca motor ömür deneyindeki farklı devir ve tork değerlerinde Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin verimi, kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve absorber kapasiteleri incelenerek sistemin uygulanabilirliği incelenmiştir.

2. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

İlk defa Michael Faraday tarafından, amonyağı yoğuşurma denemeleri esnasında keşfedilen absorbsiyon prensibi, daha sonraki yıllarda geliştirilerek ilk kez 1859 yılında Ferdinand Carre tarafından Absorbsiyonlu Soğutma Sistemine dönüştürülmüştür.

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde kullanılan ikili karışımlar üzerine detaylı bir araştırma 1913 yılında Edmund Altenkirch tarafından yapılmıştır.

1954 yılında Keating C. L., absorbsiyonlu soğutma sisteminin araçlara uygulanabilirliğini keşfetmiş ve patentini almıştır. Keating'in çalışması, içten. yanmalı motorlar kullanan taşıtlar, gemiler ve trenlerin atık egsoz gazı sıcaklığını kullanarak çalışan soğutma sistemi dizaynıdır. C. L. Keating' in buluşu sayesinde, içten yanmalı bir motor yada elektrik sistemi kullanmaksızın yalnızca aracın egsoz gazı sıcaklığından yararlanarak soğutma uygulamasının yapılabilirliği ispatlanmıştır. Şekil 2.1' de Keating tarafından dizayn edilen absorbsiyonlu soğutma sistemi görülmektedir. Keating bu sistemde pek çok farklı çeşit soğutucu/soğurucu akışkan kombinasyonunun kullanılabileceğini ispatlamıştır. Keating çalışmasında soğurucu olarak gümüş-klörür, soğutucu olarak amonyak kullanmıştır. Ayrıca Keating sisteminin her türlü araca monte edilebileceğini belirtmiş ve sistemin verimliliği konusunda da araştırmalar yapmıştır[5].



Şekil 2.1. C.L. Keating sisteminin şematik gösterimi

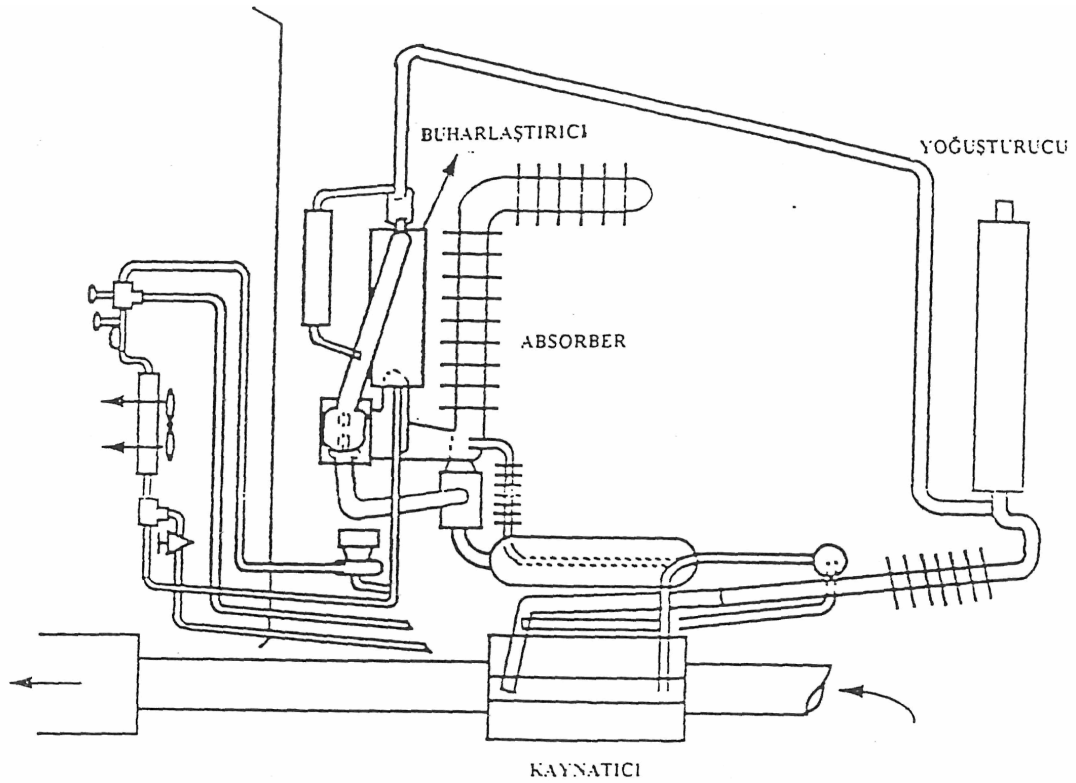
1971 yılında Akerman J. R., otomobil klima sistemine, absorbsiyonlu soğutma sisteminin uygulanabilirliğini incelemiştir. J. R. Akerman ısı kaynağı olarak motor soğutma suyu sıcaklığını kullanmıştır. Akerman'ın çalışması, absorbsiyonlu soğutma sisteminin temel prensipleri ve sistemin otomobil klima sistemine adaptasyonu üzerine idi. Akerman iki farklı absorbsiyon sisteminde, farklı soğurucu/soğutucu akışkan çifti kullanmış ve sistemleri bir-biri ile karşılaştırmıştır. Akışkan çiftleri olarak amonyak / su ve R22 / di-metiletertetraetilenglikol kullanmıştır. Ayrıca bu iki sistemi R-12 kullanan buhar sıkıştırırmalı klasik bir soğutma sistemi ile de kıyaslamıştır. Akerman'ın bulguları Çizelge 2.1' de görülebilir. Bu çizelgede üç sistemin performansları da karşılaştırılmıştır. Akerman, sistemindeki kaynatıcı ısı transfer yüzeyini arttırmak için ilave parçalara ihtiyaç duymuş ve bu sebepten kendi sisteminin otomobil klima sisteminde kullanılamayacağı sonucuna varmıştır[6].

Çizelge 2.1 Akerman absorbsiyonlu buhar sıkıştırırmalı sistemlerin karşılaştırılması.

	SİSTEM 1	SİSTEM 2	SİSTEM 3
Sistem Tipi	Absorbsiyonlu	Absorbsiyonlu	Buhar Sıkıştırırmalı
Soğutucu Akışkan	Amonyak	R-22	R- 12
Soğurucu Akışkan	Su	DME-TEG	Yok
Sisteme giren enerji			
Kaynatıcı (Watt)	14,653	13,187	Yok
Kompresör (Watt)	Yok	Yok	1,758-3,517*
Sistemden atılan enerji			
Düzenleyici (Watt)	6,447	Yok	Yok
Yoğuşturucu (Watt)	4,103	5,861	5,275 – 7,033*
Absorber (Watt)	7,619	12,601	Yok
Toplam (Watt)	18,169	18,462	5,275 – 7,033*
COP	0,23	0,26	2 : 1
Buharlaştırmacı sıc. (°C)	1,7	1,7	4,4
Buharlaştırmacı bas. (kPa)	4,55	5,24	2,76
Yoğuşma sıcaklığı (°C)	50,5	50,5	60,5
Yoğuşma basıncı (kPa)	13,8	19,6	15,4
Kaynatıcı sıcaklığı (°C)	148,9	148,9	Yok

* değerler motor devrine göre alınan minimum ve maksimum değerlerdir.

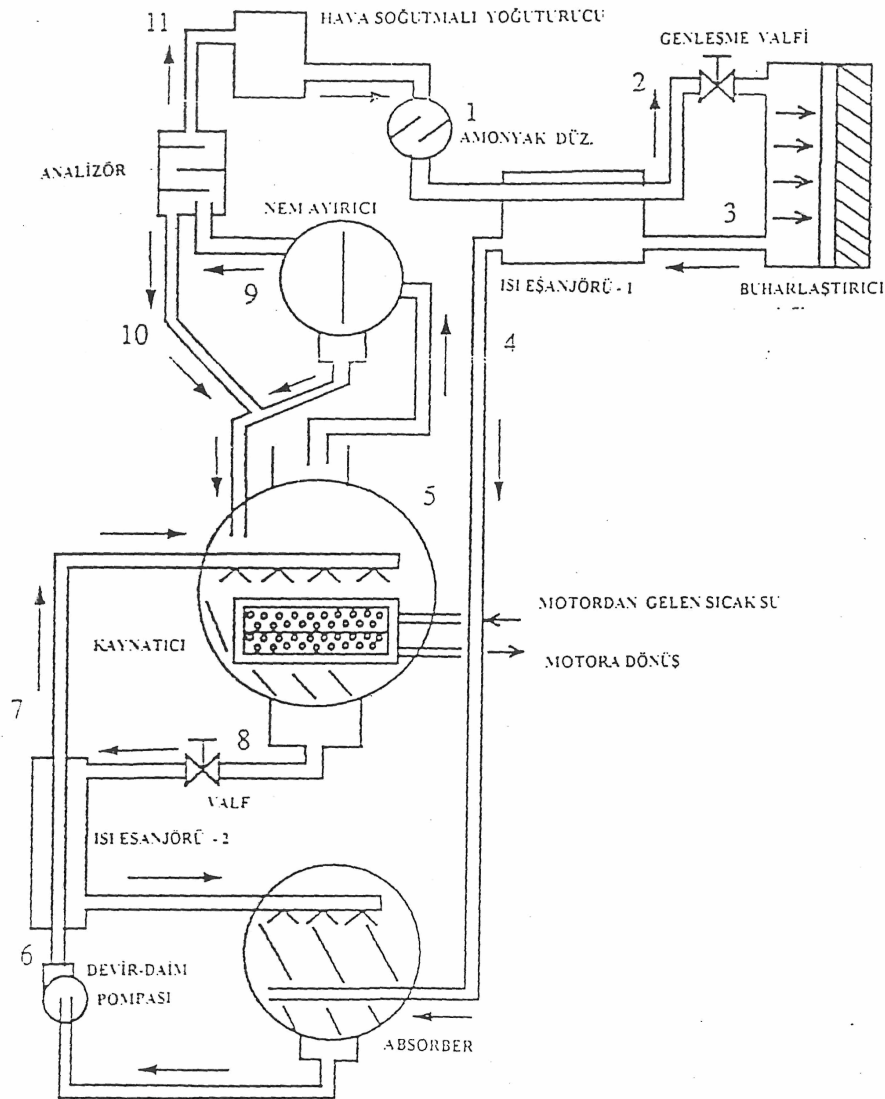
1972 yılında Mc Namara T.J., otomobil egzoz gaz sıcaklığını kullanarak absorbsiyonlu soğutma sistemi dizaynını yapmış ve patentini almıştır. Mc Namara'nın dizaynında kaynatıcı, direkt olarak egzoz borusunun etrafına monte edilmiştir. Bu şekilde egzoz sisteminin verimini etkilememiştir. Mc Namara'nın dizaynı Şekil 2.2' de görülebilir. Mc.Namara bu çalışmada, basit, düşük maliyetli ve kolaylıkla monte edilebilen ayrıca aracın atık ısını kullanın, sistemin performansını etkilemeyen bir tesisat üzerinde durmuştur. Fakat kaynatıcı ısı transfer yüzeyinin küçük olmasından dolayı yeterli ısı transferini sağlayamamıştır[7].



Şekil 2.2. Mc.Namara sisteminin şematik gösterimi

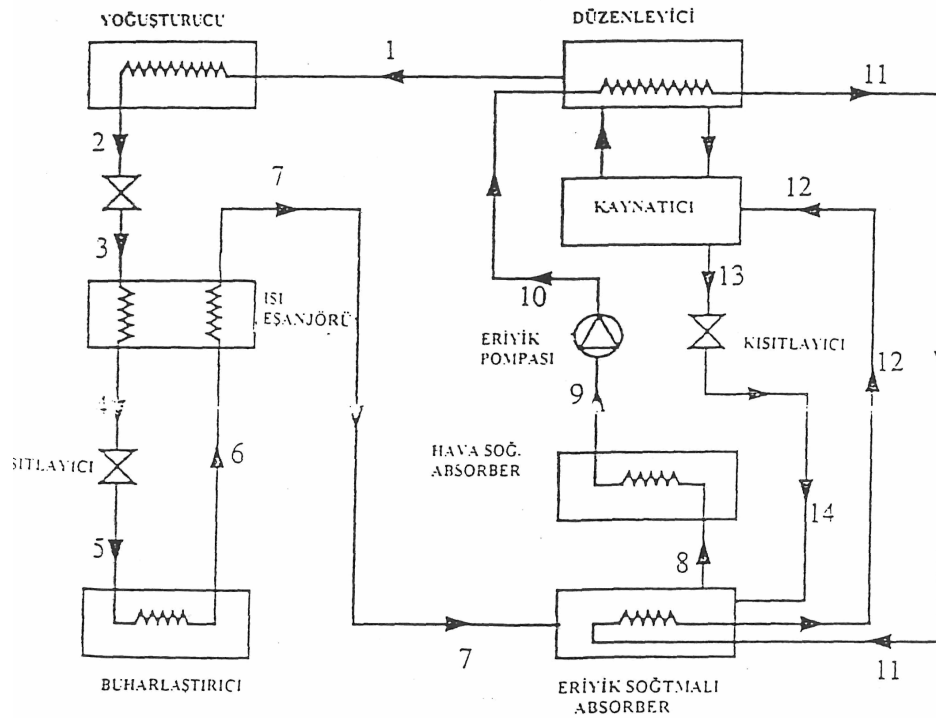
1987 yılında Ghassemi B., teorik olarak Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin araçlara uygulanmasını incelemiştir. Ghassemi araç radyatöründen çevreye atılan ısıyı kullanarak amonyak-su ile çalışan sistem üzerinde durmuştur. Radyatörden atılan enerji, araç motorundan elde edilen enerjinin yaklaşık 1/3'ü kadardır ve su sıcaklığı

80° C ulaşmaktadır. Ghassemi' nin dizaynı Şekil 2.3' de görülmektedir. Ghassemi' nin dizaynında, motordan gelen sıcak su devir daim pompası vasıtası ile kaynatıcı içerisinde yalıtılan ısı eşanjörüne gelerek amonyağı buharlaştırır. Çalışmada 422x233x247 cm boyutlarındaki kamyon kabininin soğutulması üzerinde çalışılmıştır. Sistemde üç yollu termostatik vana kullanılarak kabin sıcaklığı kontrol altına alınmıştır. Sistemdeki eriyik pompasının gücü ise yalnızca 0,2 kW olarak hesaplanmıştır. Sonuçta Ghassemi araç kabinlerinin daha düşük yatırım ile soğutulabileceğini ispatlamıştır[8].



Şekil 2.3. Ghassemi sisteminin şematik gösterimi

1994 yılında İ. Horuz frigorifik nakliye araçlarında Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi kullanımı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Horuz çalışmasında ısı kaynağı olarak egzoz gazı sıcaklığını kullanarak mevcut, içten yanmalı motor tarafından sürülen buhar sıkıştırıcı, sisteme alternatif yaratmıştır. İ. Horuz oluşturduğu düzenekte belli noktalardaki sıcaklık ve basınç değerlerini ölçerek sistemin performansını incelemiştir. İncelemeleri sonucunda Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi ile içten yanmalı motor tarafından sürülen buhar sıkıştırıcı sistemin performanslarının aynı olduğunu ispatlamıştır. İ. Horuz kendi sisteminin maliyet ve bakım masraflarını da mevcut sistemle kıyaslayıp, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin nakliye araçlarında kullanılabilirliğini her yönden incelemiştir[9].



Şekil 2.4. İ.Horuz deneysel çalışmasının şematik gösterimi

Aphornratana ve Eames H₂O/LiBr akışkan çiftiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizini yapmışlar, sistemi oluşturan tüm birimlerin ekserji değişimlerini ve tersinmezliklerini grafiklerle belirlemişlerdir. Ayrıca bu sistemlerin performanslarına etki eden önemli faktörleri incelemişlerdir. Sirkülasyon oranı arttıkça soğurucu ve ayırıcıdaki iç tersinmezliklerin arttığını, çözelti ısı değiştirgeci etkinliği artırılarak söz konusu tersinmezliklerin azaltılabileceğini,

buharlaştırıcıdaki ısı transferinin çevrim performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Ayırıcının ve karışım ısı değiştirgecinin performanslarının kristalizasyon sebebiyle sınırlı olması, bu nedenle ayırıcı sıcaklığının çok fazla artırılamayacağı, dolayısıyla yüksek sıcaklıktaki ısı kaynakları yerine düşük sıcaklıklı atık ısılardan yararlanılmasının daha verimli olduğunu belirlemişlerdir[10].

3. SOĞUTMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Soğutmanın amacı kapalı bir mahalde, çevre sıcaklığının altında sıcaklıklar elde etmek ve bu düşük sıcaklığı sürekli olarak muhafaza etmektir. Soğutma; ortamdaki ısıнын, ortamdan daha soğuk bir soğutucu akışkan tarafından çekilmesiyle sağlanır.

Isı transferi, sıcaklık farkından dolayı meydana gelir ve bu transfer yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğru oluşur.

Soğutma Sistemlerinde kullanılan sıvı, soğutucu akışkan olarak adlandırılır. Soğutucu akışkan, düşük basınç ve sıcaklıkta sıvı halden gaz haline geçerken ortamdan ısı çeker ve yüksek sıcaklık ve basınçta yoğunlaşırken de ortama ısı verir. En çok kullanılan soğutucu akışkanlar Su, Hava, Amonyak, R-11, R-12, R-22 ve Karbondioksittir.

Soğutma sistemi, önceden hesaplanmış ve tanımlanmış basınç aralıklarında soğutucu akışkan debisini kontrol edebilen birbirine bağlı boru sistemi içeren bağımsız ve kapalı bir sistemdir. Debi kontrolü sayesinde düşük basınçta kaynayan soğutucu akışkan ortamdan ısı çeker. Aynı kontrol sayesinde yüksek basınç da yoğunlaşan akışkan ortama ısı verir.

Sistemin temel olarak birbirinden farklı iki pratik uygulaması mevcuttur. Soğuk kaynaktan ısı çekecek soğutma, sıcak kaynağa ısı vererek ısıtma pratik uygulamalarıdır.

Isıtma yapan sisteme "Isı Pompası" , soğutma yapan sisteme "Soğutucu yada Soğutma Sistemi" adı verilir. Kesinlikle göz ardı edilmemelidir ki; bu iki uygulamanın temelde birbirinden farkı yoktur, aralarındaki fark sadece terminolojiktir. Hatta aynı sistemi hem Isı Pompası hem de Soğutucu olarak kullanmak mümkündür.

3.1. Soğutma Sistemi Tipleri

Soğutma Sistemleri açık değişim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayrılır.

Açık Değişim:

- a-) Eriyik Teşkili
- b-) Basıncılı Gazların Genişletilerek Sıvılaştırılması.
- c-) Suyun Hava İçinde Buharlaşması.

Kapalı Çevrim:

- a-) Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi,
- b-) Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi.
- c-) Havalı Soğutma Sistemi,
- d-) Buhar Jet Sistemli Soğutma Çevrimi,
- e-) Termo Elektrik Sistemli Soğutma Çevrimi.

Özel uygulama alanlarına göre soğutma sistemleri şu şekilde sınıflandırılır.

- a-) Buhar-jet soğutma sistemi,
- b-) Cryogenic soğutma sistemi,
- c-) Termoelektrik soğutma sistemi,
- d-) Kimyasal soğutma sistemi,
- e-) Manyetik soğutma sistemi,
- d-) Vortex-tüp soğutma sistemi.

Çalışmanın temelini teşkil eden Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin incelenmesine geçmeden önce araştırmamıza basamak teşkil eden ve otomobil klima sisteminde kullanılan “Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi” ni kısaca tanıtmak gerekir.

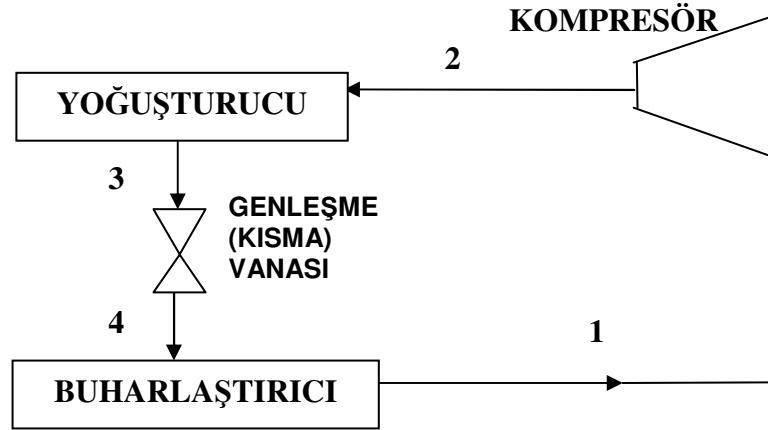
3.2. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi

Şekil 3.1.a’ da şematik olarak gösterilen Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi, dört temel elemandan meydana gelir; kompresör, yoğuşurcu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör) ve kısma vanası. Sistemde ısı transferi buharlaştırıcı ve yoğuşurucu da meydana gelir ve basınçtaki temel değişim kompresör ve kısılma vanası tarafından sağlanır.

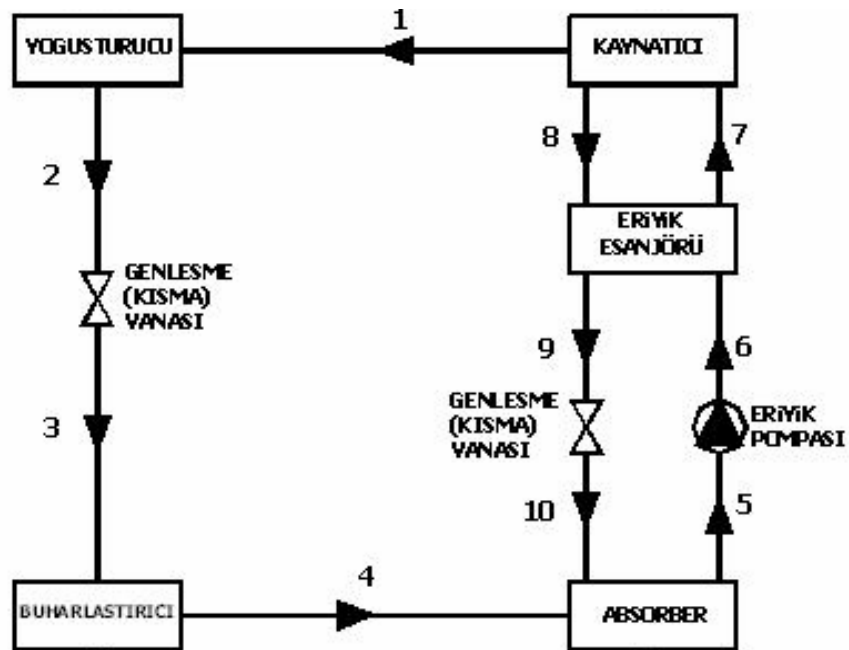
Şekil 3.1.a' daki şemanın takip edilmesiyle çevrim daha net anlaşılacaktır. Şekilde yüksek basınçta çalışan kısımlar üste, alçak basınçta çalışan kısımlar alta yerleştirilmiştir. Şekil üzerindeki numaralar, soğutucunun sistem içerisindeki termodinamik hallerine göre, ekipmanların giriş ve çıkışlarına göre belirlenmiştir.

Genellikle kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan yoğuşturucuya yüksek basınçta girer “1” ve yoğuşarak ortama duyulur ve gizli ısı verir. Daha sonra sıvı haldeki soğutucu akışkan yoğuşturucuyu terk eder “2” ve kısılma vanasından geçerek ıslak buhar fazında buharlaştırıcıya girer “3”. Buharlaştırıcıda ise, düşük basınçta ortamdan ısı çeken soğutucu akışkan buharlaşır.

Soğutucu akışkan buharlaştırıcıyı kesinlikle buhar halinde terk etmelidir. Doymuş yada kızgın buhar halinde buharlaştırıcıdan çıkan akışkan, sıkıştırılmak ve basıncı yükselmek üzere kompresöre gelir “4”. Basıncı yükselen akışkan yoğuşturucuda çevrimini tamamlanmış olur.



(a)



(b)

Şekil 3.1.a. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevrimi şematik gösterimi
b. Absorbisyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi

3.3. Absorbisyonlu Soğutma Sistemi

Absorbisyonlu Soğutma Sistemi, Buhar Sıkıştırırmalı Mekanik Soğutma Sistemi ile benzer özellikler taşır. İki sistemde de gerekli olan soğutma, soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda buharlaşması ile sağlanır. Buna rağmen Buhar Sıkıştırırmalı Mekanik

Soğutma Sistemindeki mekanik işlem ve elektrik enerjisi, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde yerini fiziko-kimyasal işlem ve ısı enerjisine bırakmıştır. Bu sistemin en büyük avantajı endüstriyel atık ısının yada güneş enerjisinin kullanılmasına imkan sağlamasıdır.

Şekil 3.1.b.' deki sistemin şematik olarak gösteriminden de anlaşılabileceği dört temel kısım mevcuttur. Bu temel kısımlar; kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve absorberdir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı aynen Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sisteminde olduğu gibi çalışır. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki soğutucu akışkan yoğuşturucuda yoğuşarak ısını çevreye verir, yoğuşan sıvı kısılma vanası vasıtası ile buharlaştırıcıya gelerek düşük basınç ve sıcaklıkta kaynar ve bu işlem sırasında ortamdan ısı çeker.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde bir tek soğutucu akışkan yerine soğurucu/soğutucu akışkan çifti bulunur. Soğurucu akışkanın çevrimdeki rolü; buhar halindeki soğutucu akışkanı absorbe etmektir.

Eriyik pompası, absorber ve kaynatıcı kombinasyonu, düşük basınçtaki eriyiği, yüksek basınç kısmına transfer ederek, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemindeki kompresörün işlevini yerine getirir. Absorber, buharlaştırıcıdan düşük basınçta gelen soğutucu akışkanın ve zayıf (fakir) soğurucu/soğutucu eriyiğinin egzotermik olarak karıştığı yerdir. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde genellikle, yoğuşturucu ve absorber aynı hava veya su kaynağı tarafından soğutulur.

Şekil 3.1.b' ye göre sistemin operasyon sırası şöyledir; yüksek basınçta ki soğutucu akışkan buharı, yoğuşturucuya girerek “1” yoğuşur ve ortama duyulur ve gizli ısını verir. Doymuş sıvı veya sıkıştırılmış sıvı halindeki soğutucu akışkan yoğuşturucudan ayrılır “2” ve kısılma vanasından geçer. Kısılma vanası çıkışında ıslak buhar halinde bulunan soğutucu akışkanın basıncı düşüktür ve buharlaştırıcıya girer “3”. Isı enerjisinin emilmesiyle soğutucu akışkan buharlaştırıcıyı doymuş buhar veya kızgın buhar fazında terk eder.

Absorberden çıkarak, pompa vasıtasıyla kaynatıcıya gelen hattan geçen soğurucu/soğutucu eriyiği, kuvvetli (zengin) eriyik olarak adlandırılır. Kaynatıcıdan

ıkararak absorbere gelen hattan geçen eriyik ise zayıf(fakir) eriyik adını alır. Zenginlik ve fakirlik soğutucu akışkanın çokluğu veya azlığı ile orantılıdır. Fakat, LiBr/Su eriyiğı kullanan sisteme özel olarak zenginlik ve fakirlik Lityum bromür çokluğu veya azlığıyla orantılıdır.

Absorberde, buharlaştırıcıdan gelen soğutucu buharı; fakir eriyik ile buluşur. Soğutucu buharı eriyik tarafından absorbe edilerek dışarıya ısı atılır ve tüm buhar absorbe edildiğinde zengin eriyik oluşur. Dışarıya atılan soğutucu akışkan buharının yoğuşma gizli ısısı, soğurucu/soğutucu akışkan dengesiyle bağlantılıdır.

Düşük basınçtaki eriyik, absorberden eriyik pompası sayesinde çekilerek basıncı yükseltilir “5”. Sirkülasyon pompası ve kaynatıcı arasında, eriyik eşanjörü bulunur. Absorberden gelen soğuk zengin eriyik “6” ile, kaynatıcıdan gelen sıcak fakir eriyik “8” eşanjörün girişleridir. Eriyik eşanjöründe zengin eriyik, fakir eriyiğın ısısını alır.

Kaynatıcı girişindeki zengin eriyik “7” genellikle yüksek basınçta, kaynama sıcaklığının altındadır. Bundan dolayı gaz alevi yada bir diğerk sıcak kaynak kullanılarak eriyik sıcaklığı kaynama sıcaklığına yükseltilir. Kaynama gerçekleştiğinde soğutucu akışkan buharı yoğuşturucuya geçer ve kaynatıcıda soğutucu akışkan bakımından fakir eriyik oluşur. Yüksek sıcaklıktaki fakir eriyik kaynatıcıyı, absorbere gitmek üzere terk eder “8”. Kaynatıcıya ısı çekilen kaynak, genellikle düşük basınçta buhar yada sıcak su olabildiğı gibi, küçük sistemlerde doğalk gaz, propan yada kerosenin yakıt olarak kullanılmasıyla elde edilen ısı da olabilmektedir. Ayrıca kaynatıcı çevresine yerleştirilmiş elektrik rezistanslı ısıtıcıda kullanmak mümkündür. Eriyik eşanjöründen geçen yüksek basınçtaki fakir eriyik kısılma vanasından geçer ve absorbere ulaşarak “10” çevrimini tamamlar.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde, eriyik pompasını tahrik etmek için elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu enerji Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sisteminde, kompresöre verilen enerjiye kıyasla hayli küçüktür. Absorbsiyonlu sistemlerde, sıvı haldeki eriyik düşük basınçtan, yüksek basına pompalanır. Bu esnada eriyiğın özgül hacmi düşük olduğundan, eriyik pompasının yüksek güçte olmasına gerek yoktur.

Sisteme, yüksek sıcaklıkta kaynaticıdan, düşük sıcaklıkta buharlaştırıcıdan alınan ısı, aynı sıcaklık aralıklarında absorber ve yoğuşturucu tarafından ortama transfer edilir. Pek çok absorbsiyonlu sistemde buharlaştırıcı tarafından çekilen ısı miktarı ile yoğuşturucu tarafından atılan ısı miktarı birbirine denktir. Bu durumda sistemdeki ısı dengesi göz önüne alındığında kaynaticı tarafından çekilen ve absorber tarafından atılan ısı miktarının da aynı olduğu görülür. Absorber ve yoğuşturucu genellikle aynı ısı kaynağı tarafından soğutulduğu için çıkış sıcaklıkları birbirine yakındır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde, buhar halindeki soğutucu akışkanı soğuracak (emecek) ikinci bir akışkan kullanılır. Soğurucu sıvı olabileceği gibi, katı yada karışım halde de kullanılabilir. Her çeşit soğurucu/soğutucu kombinasyonunun kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Sıvı soğurucunun ısı ve kütle transfer karakteristikleri diğerlerine göre iyi olmasına rağmen uçuculuk düzeyi yüksektir. Bu durumda kaynaticıdan ayrılan soğutucu akışkan buharı içerisinde soğurucu akışkan buharı da içerir. Soğutucu akışkan buharını, soğurucu akışkan buharından temizlemek için ilave bir sistem, ekipman ve dolayısıyla ek bir enerji kaybına gereksinim vardır. Diğer taraftan katı soğurucunun uçuculuk düzeyi düşük olduğundan ek bir sisteme ihtiyaç yoktur. Katı soğurucular genellikle sürekli olmayan sistemlerde tercih edilir. Katı soğurucunun uçuculuk problemi olmamasına rağmen, genelde katı tuz kullanıldığında belli şartlarda kristalleşme oluşur ve sistem tıkanabilir.

Bir çok soğurucu/soğutucu kombinasyonu deneyler sonucunda saptanmıştır. Bu deneylerde baz alınan özellikler; maddenin çözünübilirliği, uçuculuk düzeyi ve kimyasal dengesidir. Ayrıca seçilen kombinasyonun basınç-sıcaklık ilişkisi, gizli ısı, özgül ağırlığı, donma noktası, pas yapma özelliği ve güvenilirliğinin istenen düzeyde olması gerekir.

Pratikte, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin, soğutma tesir katsayısı (COP); soğurucu/soğutucu akışkan çiftinin kimyasal, termo-fiziksel ve termodinamik özelliklerine bağlıdır. Çizelge 3.1' de Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde kullanılan akışkanlarda aranan özellikler ve nedenleri özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan eriyiklerde aranan özellikler ve nedenleri

Akışkan	Aranan özellikler	Sebeup
- Soğutucu	-Yüksek gizli ısı -Yoğuşma sıcaklığında uygun basınç -Yüksek kritik nokta -Düşük sıvı özgül ısısı -Buhar özgül ısısının sıvı özgül -Düşük buhar özgül hacmi	-Akış debisini düşürmek -Kaynatıcı ve yoğuşturucuya oluşan dayanımı azaltmak. -Yoğuşma sıcaklığını. sınırlamak - Ön soğutucunun etkisini düşürmek. - Ön soğutucu etkinliği ısısına eşitliği -Buhar akışının kolaylaşması
- Soğurucu	- ihmal edilebilir buhar basıncı - Soğutucu akışkanı kolay absorbe etmesi	-Ek bir sisteme gerek duyulmaması, (soğurucu akışkan soğutucu akışkan buharından ayrılmak için) - Sistemin temel özelliği
- Eriyik	- Düşük özgül ısı - Düşük özgül hacim	- Eriyik ısı eşanjörünün görevini azaltmak. - Sirkülasyon pompasının işini azaltmak.
- Tüm Sıvılar	- Yüksek ısı iletimi - Düşük viskozite - Düşük yüzey gerilimi - Düşük toksitlenme özelliği - Kimyasal denge	- Isı transferini arttırmak - Basınç kayıplarını azaltmak - Soğurucu akışkan işlevini geliştirmek - Güvenlik - Sistem ömrünü arttırma

4. OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ

Otomobil klimaları birbirinden farklı olmayan temel çalışma prensipleri içermelerine rağmen, pratikte pek çok değişik uygulamaları mevcuttur. Hareket halindeki otomobilin iklimlendirilmesinde karşılaşılan problemlerin hiçbiri, soğutma yada iklimlendirme sistemleri tesisatlarından kaynaklanmamaktadır.

Otomobil klimaları, ısıtma, soğutma ve nem alma ünitelerini içerir. Yolcu kabininde ısıtma ihtiyacı olduğunda; genellikle bu ısı, ısıtma kanalları kullanılarak motordan sağlanır. Soğutma arzu edildiğinde ise, soğutma sistemi devreye girer. Sistemin özelliğinden dolayı buharlaştırıcıdan elde edilen soğuk hava yolcu kabinine gönderilir.

Ayrıca otomobil klimalarında sıcaklık, basınç ve vakum değerlerini referans alan otomatik kontrol sistemleri kullanılır. Yolcu kabinine gönderilen hava, motor soğutma suyu debisi ve soğutucu akışkan debisi bu sistemler sayesinde kontrol edilir. Kamyon, taksi, traktör vb pek çok aracın yolcu kabinleri aynı sistem ve kontrol mekanizmasıyla iklimlendirilmektedir.

Otomobillerde klima kullanımı hızla artmaktadır. Otomobil kabinleri oldukça küçük bir alan kaplamalarına rağmen, sıcak bir yaz günü araç seyir halindeyken kabin sıcaklığını belli bir konfor seviyesinde tutmak için gerekli olan soğutma kapasitesi hayli büyüktür. Aynı biçimde, soğuk bir kış günü araç seyir halindeyken kabini ılık tutmak için de hatırı sayılır miktarda ısıtma kapasitesine ihtiyaç vardır.

Otomobil kliması üreticileri; arzu edilen soğutma miktarını, otomobil motoru tarafından tahrik edilen soğutma sistemleri kullanarak elde etmektedirler. Çoğunlukla motor soğutma suyu ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

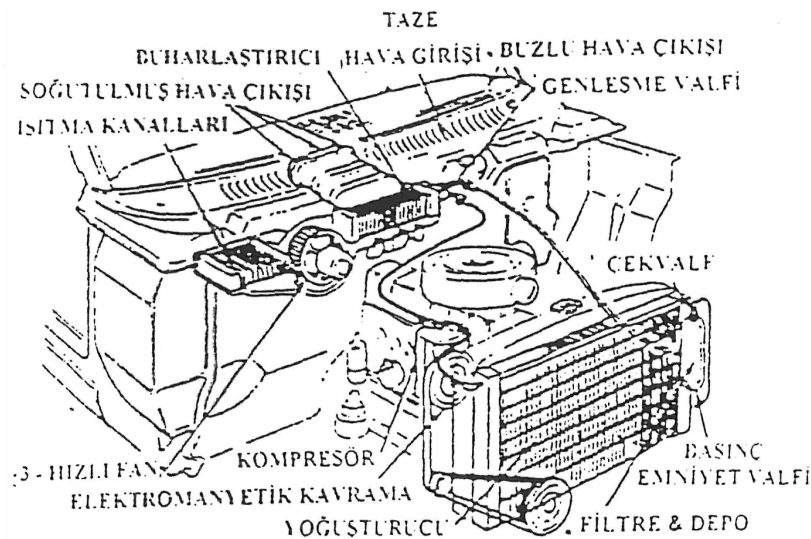
Klima sistemlerinin kontrol mekanizması, araç iç sıcaklığının kontrolü ve istenilen sıcaklığın seçimini mümkün kılacak şekilde düzenlenmiştir.

Yaz aylarında klimanın çalışmasıyla araç içi nem oranı da azalır. Ayrıca buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan nem, havadaki toz ve polenleri toplar. Buharlaştırıcı

tarafından toplanan partiküller yoğuşturucu tarafından taşınarak aracın altına atılır. Bu yolla yaz aylarında klimalar, kullanıcıya mümkün olduğu kadar temiz hava sunarken, sıcaklığı da kontrol ederler. Kış aylarında ise bu tip bir filtre sistemi kullanılmaz.

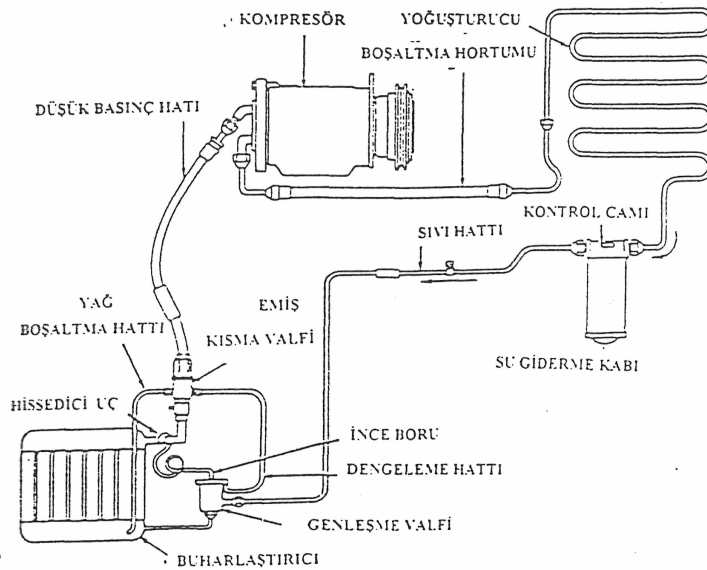
4.1. Otomobil Kliması Çalışma Prensipleri

Şekil 4.1' de otomobil klima ünitesi görülmektedir. Bu tesisatta kompresör, motor üzerine monte edilmiş ve kayış-kasnak sistemiyle tahrik edilmektedir. Yoğuşturucu ise, araç radyatörünün önüne yerleştirilmiştir.



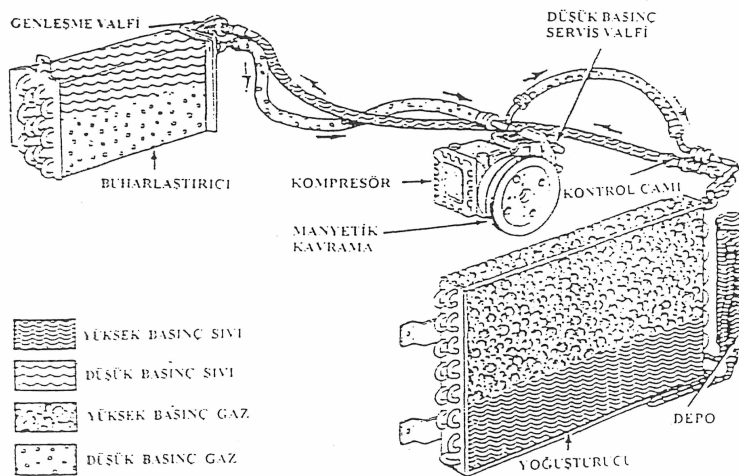
Şekil 4.1. Soğutma, ısıtma ve havalandırma üniteleri içeren otomobil klima ünitesi[1]

Operasyon esnasında, soğutucu akışkan, yoğuşturucudan nem tutucu filtre ve kısılma vanasına gelerek basıncı düşürülür ve filtre edilir. Soğutucu akışkan sıcaklık kontrolünün yapıldığı buharlaştırıcıya doğru ilerler ve burada buharlaşarak, ısı çeker. Buharlaşan soğutucu akışkan emiş hatlarından kompresöre gelerek basıncı yükseltilir. Bu esnada blower (fan) vasıtasıyla hava, aracın içinden buharlaştırıcıya doğru çekilir. Üretilen soğuk havanın (araç içindeki), kanallar ve panel sonlarındaki ızgaralar sayesinde araç içersindeki sirkülasyonu sağlanır. Otomobil kliması soğutma sistemi temel elemanları Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Otomobil kliması soğutma sistemi elemanları

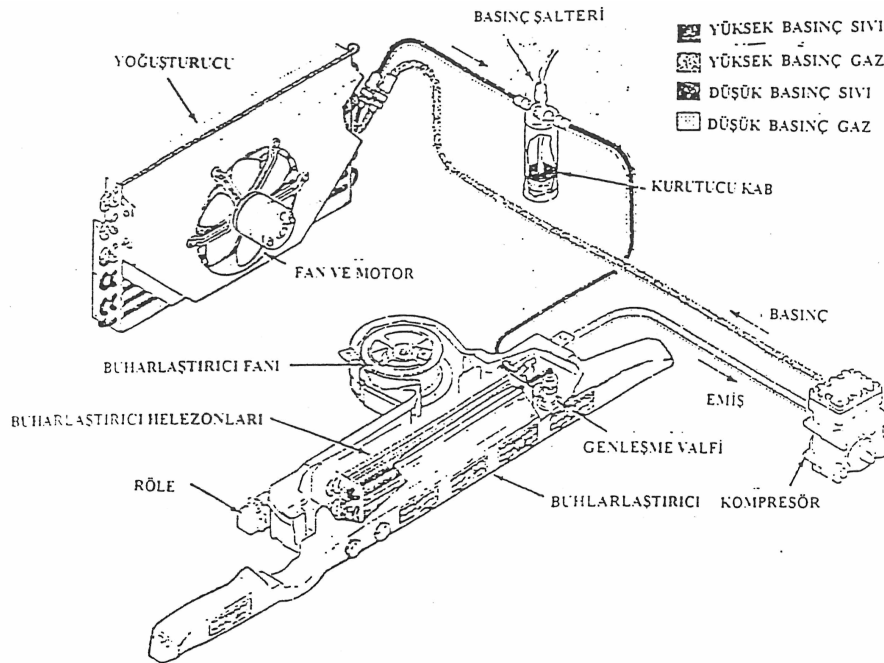
Düşük basıncıdaki soğutucu akışkan buharı, emiş servis vanasından geçerek kompresöre gelir. Buhar kompresör silindirlerine gelerek, piston sayesinde sıkıştırılır. Tahliye servis vanası yardımıyla, tahliye edilen buhar yoğuşturucuya gelir. Sıkışmadan dolayı oluşan ısıyı ve buharlaşma gizli ısını emen soğutucu akışkan, yoğuşturucudan geçerken bu ısıyı havaya iletir. Soğutucu akışkan artık sıvı haldedir ve kısılma vanasına gelerek çevrimi tamamlar. Şekil 4.3' de soğutma devresindeki, soğutucu akışkanın bulunduğu termodinamik yapılar görülmektedir.



Şekil 4.3. Otomobil klima sisteminde soğutucu akışkanın sıvı-gaz hal gösterimi[1]

Eğer klima sürekli çalışırsa, araç içindeki sıcaklık yolculara rahatsızlık verecek düzeye düşer ve buharlaştırıcı yüzeyi buz tutar. Bu durumu ortadan kaldırmak için, pek çok sistemde manyetik kavrama mekanizması kullanılır. Kompresör üzerine yerleştirilen elektromanyetik kavrama, termostat tarafından açılan elektrik devresi vasıtasıyla çalışır. Bu sistem sayesinde soğutma istenmediği durumlarda; kompresör kasnağı dönerken, kompresör krank mili sabit kalır.

Klima sistemi çalıştırılmadığı zaman (kış aylarında) soğutma mekanizması da çalışmaz. Dolayısıyla elektromanyetik kavramaya enerji gelmez. Sıcak su ısıtma kanallarında sirkülasyon yaparken, soğutmada kullanılan fan ve kanal sistemi çoğu zaman ısıtmada da kullanılır. Bazı hava-soğutma motorlu otomobillerde, yoğunlaştırıcıya hava akışını sağlamak için, elektrik motoru ile çalışan fan kullanılır. Bu fan Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



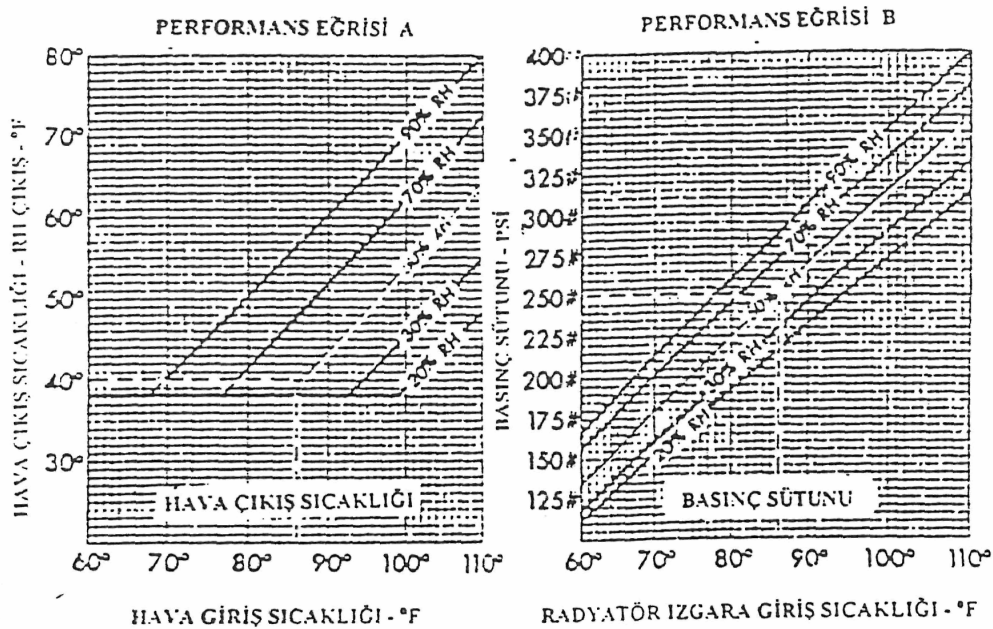
Şekil 4.4. Elektrik motoru ile çalışan fan sayesinde yoğunlaştırıcının soğutulması [1]

4.2. Otomobil Kliması Çalışma Koşulları

Otomobil klima üreticileri; soğuk, yumuşak ve sıcak havalarda araç içerisindeki havanın, kontrol ve konfor sınırları içerisinde olmasını sağlamalıdır. Daha basit bir

ifade ile ısıtma, soğutma ve nemlendirme yaparken aynı zamanda ortam içerisindeki toz, duman ve kokuyu uzaklaştıran sistemleri kullanmalıdırlar.

Kompresör motor tarafından kayışlar vasıtasıyla çalıştırıldığından, kompresörün devri motorun devrine göre değişmektedir. Dolayısıyla soğutma sisteminin; sıcak, güneşli ve rüzgarlı bir günde motor rölantide çalışırken yeterli miktarda soğutma kapasitesi sağlaması gerekmektedir. Bu ayar sayesinde özellikle sıcak günlerde, normal seyir esnasında soğutma kapasitesinde artış sağlanır. Şekil 4.5' de otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi görülebilir.



Şekil 4.5. Otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi

Dış hava şartlarındaki değişimlerde; sistemdeki soğutucu akışkanın sıcaklığı ve debisinin kontrolünde sorunlar yaşanabilir. Eğer soğutma ihtiyacı olmadığı halde kompresör çalışmaya devam ederse alçak basınç (kompresör giriş basıncı) daha da düşebilir.

Alçak basıncın düşmesi, buharlaştırıcı sıcaklığının da düşmesine sebep olur. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının 5°C den aşağıya düşmesine izin verilmemelidir. Eğer buharlaştırıcı 0°C veya daha alt sıcaklık seviyelerinde çalışırsa, yüzeyde karlanma olabileceği gibi tamamıyla buzlanma görülebilir. Bu durumda da buharlaştırıcı yüzeyindeki hava sirkülasyonu engellenmiş olur.

Ayrıca sistemin düşük alçak-basınçta çalıştırılmasıyla kompresörde yağ kaçaqları oluşur. Bu olay kompresör supaplarına zarar verir hatta bu şartlarda çalışmaya devam edilirse kompresör yanabilir.

Birbirinden ayrı devreli ve mekanik sistemlerde bu probleme çözüm bulunmuştur. Hatırlanacağı gibi bu sistemlerde; azami soğutma kapasitesine ulaşmak için. taze hava kanalları kapatıldığında buzlanma önlenir.

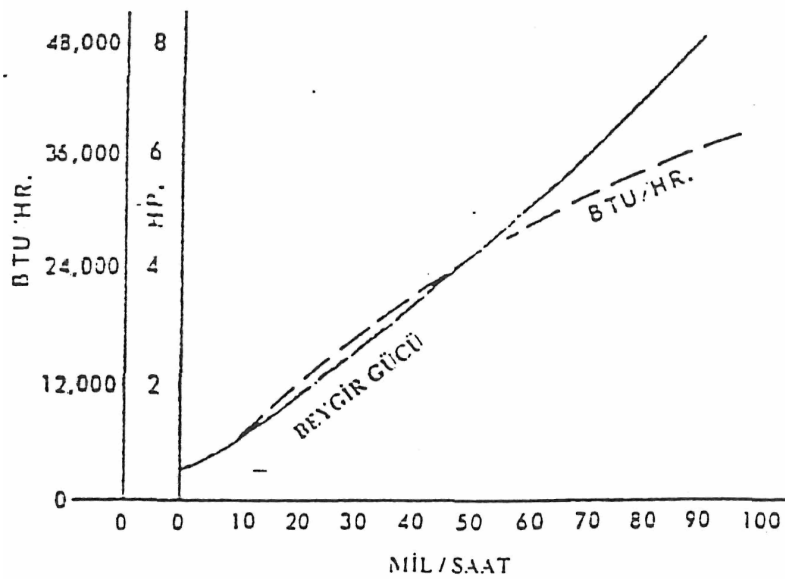
Tipik otomobil klima sistemleri, otomobil içindeki hava sıcaklığını 43 °C dan 29°C' ye on dakika içinde düşürebilirler. Eğer araç park halinde ve camları kapalı ise; araç iç sıcaklığı 66°C' ye kadar ulaşabilir. Otomobil ısı yükü yada ısı kazancının yüksek seviyelere çıkmasındaki başlıca etkenler güneş ışınları ve camlarda oluşan ısı iletimidir. Otomobil klima sistemleri, tamamıyla taze hava kullanılarak veya hiç taze hava kullanmadan da işletilebilir. Taze hava fanları yaklaşık 200 W enerji ile 250 ila 275 cfm. hava sağlayacak kapasitededir.

Ayrıca otomobil klimaları çalışma esnasında yakıt sarfiyatının da % 10 kadar artmasına sebep olur.

4.3. Otomobil Klimalarının Soğutma Kapasitesi

Otomobil klimalarının soğutma kapasitesi genelde, 3500 W (12000 Btu/h) ila 14050 W (48000 Btu/h) aralığındadır.

Otomobil klima kapasiteleri, otomobilin kabin hacmiyle doğru orantılıdır. Sistemin düşük kapasitede çalışması halinde soğutma sağlanamaz. Aynı şekilde yüksek kapasitede çalışması ise ekonomik değildir. Genellikle soğutma sistemleri, araç 45 km/h (30 mph.) hızla giderken araç iç sıcaklığını, ortam sıcaklığından 8 veya 11°C (15 veya 20°F) daha alt seviyede muhafaza edecek şekilde dizayn edilmelidir. Şekil 4.6' da değişik hızlarda araç için ihtiyaç duyulan soğutma kapasiteleri görülebilir.



Şekil 4.6. Soğutma kapasite eğrisi[12]

Araç hızının artması/azalması, kompresör kapasitesinin artması/azalmasına sebep olur. Otomobilin park ettiği yada düşük hızla seyrettiği durumlar dışında bu değişim sonucu, ısı kapasitesinde de paralel bir değişim görülür. Bu kritik durumlarda kompresör kapasitesi normalin altına düşebilir. Kompresör kapasitesini arttırmak için; motorun rölantisi yükseltilir veya ara dişli vasıtasıyla kompresör devri arttırılır.

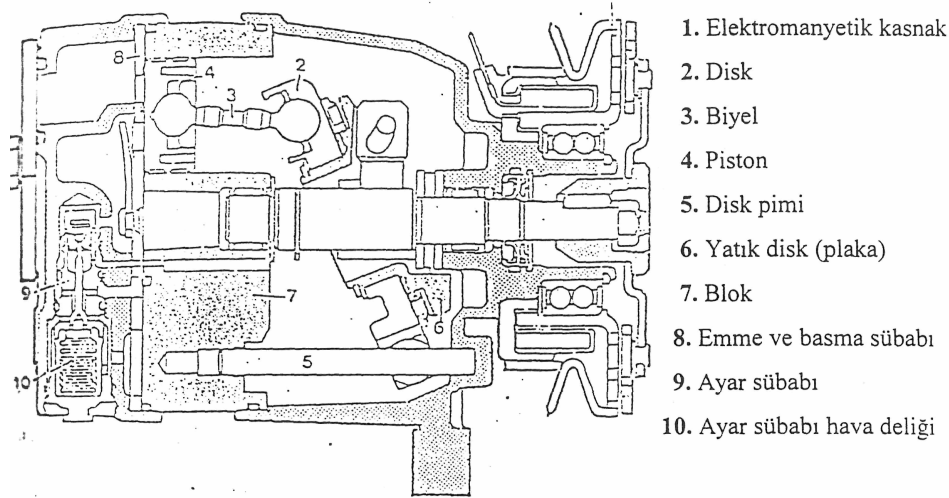
Klasik su soğutmalı motorlarda, sıcak su boruları üzerinden kanallarla geçirilen hava ısıtma amaçlı kullanılır. Soğutma ve ısıtma devrelerinde aynı fan kullanılabilir.

4.4. Otomobil Klima Sistemlerini Oluşturan Başlıca Elemanlar

4.4.1 Kompresör

Otomobillerdeki motor gruplarına göre iki değişik tip kompresör kullanılmıştır, normal (standart) kompresör ve değişken silindirli V5 tip kompresör olarak adlandırılır.

V5 tip kompresörün, normal kompresöre göre avantajı herhangi bir çalışma durumunda kasnağın devreye girip çıkmaması halinde dahi istenilen düzeyde soğutma yapıyor olmasıdır. Şekil 4.7' de V5 kompresör kesiti görülmektedir. Kompresör genel olarak;



Şekil 4.7. V5 Kompresör kesiti [16]

İçerisinde pistonların çalıştığı silindirlerin bulunduğu bir gövde grubu, mil ve milin üstüne monte edilmiş olan yatık bir plaka (disk) grubu olmak üzere iki kısımdır. Plaka üzerinde ayrıca bir disk vardır, bu disk pistonlara bağlı olan biyel kollarına yataklık yapar. Silindir kapakları üzerinde emme ve basma kanalları ve ayar supabının yuvası bulunmaktadır. Kapak üzerinde ayrıca conta, emme ve basma supablarının bulunduğu plaka ve emme diyaframı bulunmaktadır.

Pistonların silindir içindeki çalışmaları, rotatif olarak yatık plakanın (disk) tahrikiyle oluşmaktadır. Bu yatık plaka, biyel ve pistonlarla bağlantılı olduğundan dönme ve pistonların çalışma işlemini yapısı itibariyle yapamaz; işte bu sebepten yatık çalışan mil, pim ile kumanda edilir. Pim yatık diskin pozisyonlamasını ayarlar ve dolayısıyla pistonların çalışma işlemi meydana gelir.

Biyellerin bağlı olduğu diskin pozisyonunu ayarlayan, bu ayar pimine kumanda eden supab üzerinde bir hava deliği vardır. Bu delik kompresörün emme basıncını artırır ve kompresörün içindeki basınç ve hava deliğinden giren basınç değişkenliği itibariyle bu ayar supabı yatık diskin pozisyonunu değiştirerek diskin ve dolayısıyla pistonların çalışmasını sağlar.

Eğer fazla soğutma yükü isteniyor ise ayar supabı açılır ve bu suretle kompresörün içi emme kanalı ile iştirakleşir. Bu durumda bir basınç değişkenliği olmayacağından kompresör maksimum çalışma hızına ulaşır.

Eğer az soğutma yükü ihtiyacı varsa, ayar supabı gönderme kanalı ile iştirakleşir ve yukarıdaki olayın tersi bir durum meydana gelerek hava geçişi ortadan kalkar.

Biyel taşıyıcı yatık diskin açısı, iki ayrı basıncın değişikliği ile sağlanır. Kompresörün içindeki hava ile emme kanalından giren basınç arasındaki hafif bir değişkenlik pistonlar üzerinde büyük bir güç yaratarak tahrik pimini çalıştırır ve bu da diskin pozisyonunu ayarlar.

Kompresör içerisinde piston, silindir kapağından uzaklaştığı anda bir basınç meydana gelir. Basınç değişikliği emme supabını açarak, gaz durumunda olan soğutucu akışkanın silindir içine dolması sağlanır. Piston tekrar kompresörün içindeki silindirin kapağına çakmaya başladığında emme supabı kapanır ve dolayısıyla soğutucu akışkan gazı sıkışmış olur. Bu sıkışma olayı basma supabının açılması için gerekli olan basınç değeri meydana gelene kadar devam eder ve daha sonra soğutucu akışkan hortum vasıtasıyla yoğuşturucuya geçer.

Klima sistemi devrede değilken kompresörün kasnağı boşa döner ve dönme işlemi daima krank kasnağından hareket alan kayışla oluşur. Sistem devreye sokulunca mıknatıs diski çeker ve kompresörün çalışma işlemi başlamış olur.

4.4.2 Yoğuşturucu (Kondenser)

Yoğuşturucu, termik ısı-değişkenliği yaratan alüminyum veya bakır borulardan ve alüminyum peteklerden oluşan bir ünedir. Soğutucu akışkan gazı, yoğuşturucu serpantinlerinden geçerken gaz halinden sıvı hale dönüşür.

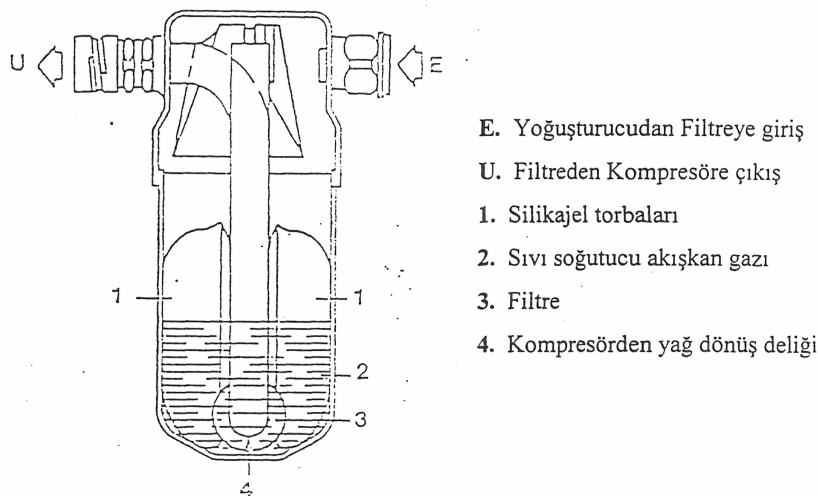
Yoğuşturucu genellikle araç radyatörünün önüne monte edilir. Kompresörden kondensere gelen tahliye hatlarına titreşim giderici üniteler konulur veya bu hatlarda esnek borular kullanılır. Pek çok sistemde ise bu hat üzerine susturucu konulur.

Yoğuşturucu genelde bakır veya alüminyumdan yapılır ve bir iki yada üç boru geçişli tipleri mevcuttur. Yoğuşturucu kasasının bağlantılarını sağlamlaştırmak için plastik perçin, rondela ve civata kullanılır.

Yoğuşturucu, radyatörün önüne monte edildiği zaman, havayla direkt temas edeceğinden, zamanla yoğuşturucu üzerinde sistemin düzgün çalışmasını etkileyecek miktarda yaprak, böcek ve pislik oluşabilir. Sistemin verimli çalışması için yoğuşturucu yüzeyi temiz tutulmalıdır. Yoğuşturucuda oluşan yetersiz bir ısı değişikliği, sistemde basıncın yükselmesine neden olacağı gibi, soğutucu akışkanın kondense (yoğuşma) olmamasına da neden olur. Bu da soğutucu akışkanın genleşme valfine gaz konumunda ulaşarak, sistem soğutma kapasitesini düşürecektir. Yoğuşturucu, araç seyir halindeyken normal dış hava ile, araç park halinde iken ve sıkışık trafikte elektro fan vasıtası ile soğutulmaktadır.

4.4.3 Nem tutucu filtre

Nem tutucu filtrenin değişik fonksiyonları vardır. Başlıca görevi sistemin sıvı ve gaz hallerini birbirinden ayırmaktır. Ayrıca sistemin çalışması esnasında devrede sıvı halinde büyük bir miktar soğutucu akışkan rezervi yapılır. Filtrenin bir başka görevi de iki adet silika jel torbası ile sistemde kalan muhtemel nem taneciklerini tutmaktır. Bundan dolayıdır ki; bu filtrenin sisteme monte edilmeden önce çok titiz bir şekilde imal edilip hazırlanması ve nemsiz yerlerde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Filtrenin içerisindeki profil borunun alt kısmında kompresöre buzlanmayı önleyici yağ gönderen bir delik vardır. Bu deliğe karşılık olarak ta profil boruda metalik bir filtre bulunmaktadır. Şekil 4.8’ de bu filtrenin kesiti bulunmaktadır.

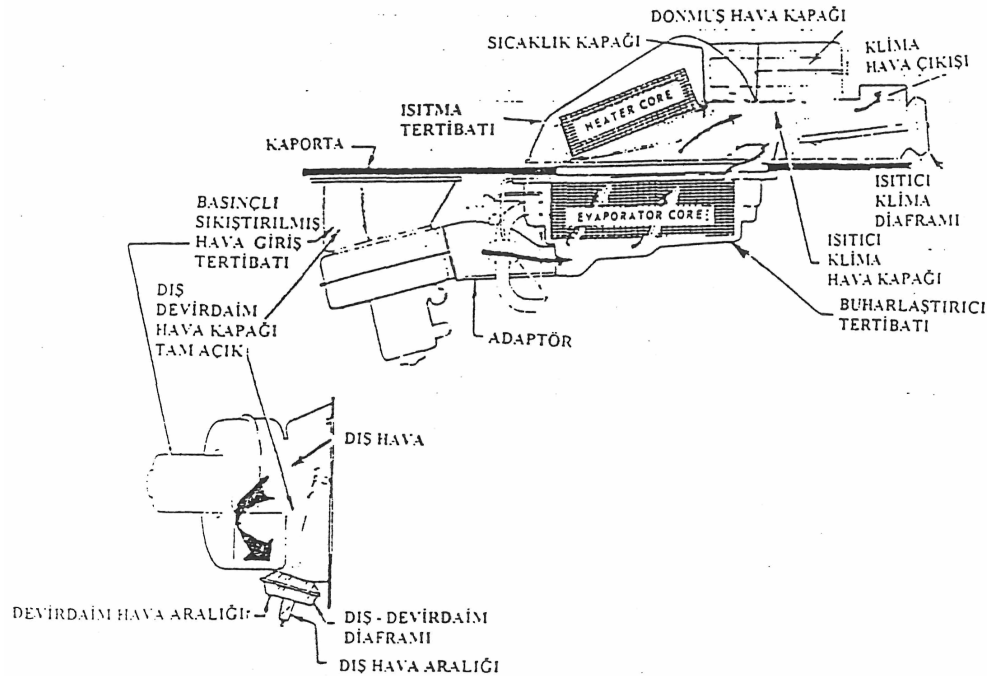


Şekil 4.8. Nem tutucu filtrenin kesiti [16]

4.4.4 Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Buharlaştırıcı genellikle kontrol panelinin her iki yanına (motor ya da yolcuların bulunduğu bölüme) monte edilebilir. Buharlaştırıcı, fan ve kanal sistemi kaputun altına Şekil 4.9' da olduğu gibi yerleştirilir. Isıtma helezonları da aynı kanal sistemine monte edilerek buharlaştırıcıyla yalıtımı sağlanır.

Buharlaştırıcı, alüminyum boru ve peteklerden oluşur ve klima sisteminin iki numaralı ısı değişkenliği sağlayan termik ünitesidir. Giriş ve çıkış boruları kendi üzerine kaynak edilmiştir. Buharlaştırıcı yapısı itibariyle korozyondan korunacak şekilde imal edilmiştir. Buharlaştırıcının sistemdeki rolü iki şekilde oluşmaktadır. Bunlardan biri araç içersindeki dahili hava ile olur, bu durumda buharlaştıracıdan daima daha soğuk ve nemsiz hava sağlanır. Bir diğeri ise otomobil içersindeki havanın, dış hava ile şartlandırılmasıdır, bu durumda dış hava buharlaştıracıdan geçerken daha az soğur fakat ortama daha temiz hava sağlar.



Şekil 4.9. Fan, buharlaştırıcı, ısıtma helezonları ve kanalların tesisat şeması[1]

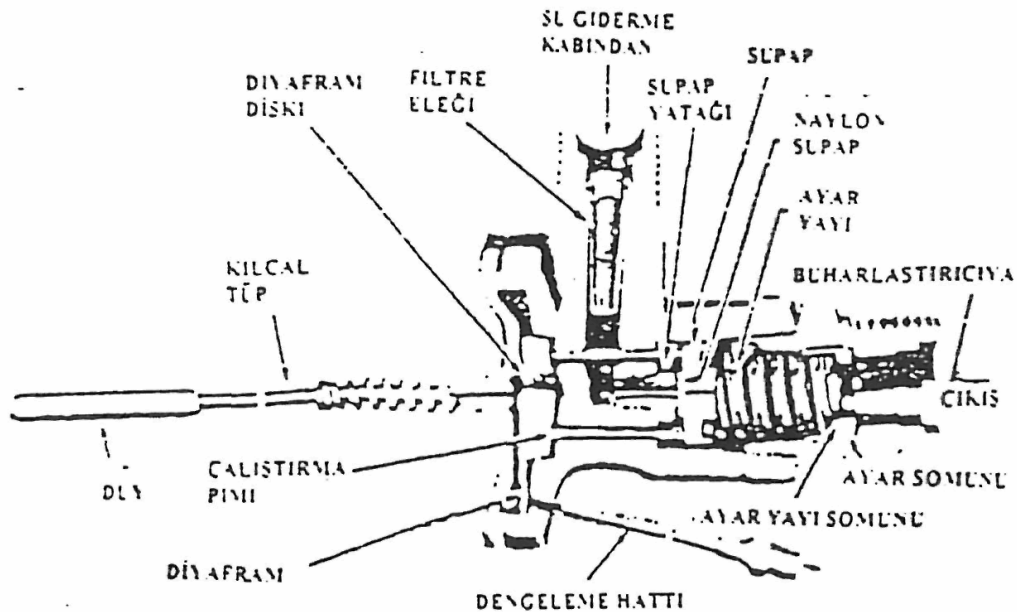
Dış hava buharlaştıracıdan geçerken, düşük basınçtaki soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlar. Gaz durumuna geçen soğutucu akışkan kompresöre gönderilir.

4.4.5 Genleşme valfi (Expansion valve)

Klima sistemlerinde, yüksek basınçtaki soğurucu akışkanın, buharlaştırıcı girişinde düşük basınca ulaşmasını sağlayan bir elemana ihtiyaç vardır. Otomobil klima üreticileri, bu elemanı “termostatik genleşme valfi” olarak adlandırmışlardır. Genleşme valfi, buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı kadar klima sisteminin düşük basınç değerini de kontrol eder. Genleşme valfinin kapasitesi , yani orifis çapı; klima ünitesinin kapasitesine uygun olmalıdır. Küçük orifis çaplı valf, kapasiteyi düşüreceği gibi büyük orifis çapı ise sistemde taşmaya neden olabilir.

Pek çok otomobil klimasında - buharlaştırıcı çıkışı ile valf gövdesi irtibatlı -basınç kontrol çubuğu bulunur. Basınç kontrol çubuğuna, buharlaştırıcıda oluşacak herhangi bir basınç kaybını eşitleyeceği için ihtiyaç duyulur.

Genleşme valfi, buharlaştırıcı girişine monte edilir. Kıskaçlarla sıkıca sabitlenmiş çıkış tüpü ve hissedici hassas uç (sensitive bulb) kesinlikle temiz olmalıdır. Bu uç monte edildikten sonra, mutlaka izole edilmelidir. Bu yolla genleşme valfinin, buharlaştırıcı çıkış sıcaklığını direk olarak kontrol etmesi sağlanır. Termostatik genleşme valf kesiti Şekil 4.10’ da sunulmuştur.



Şekil 4.10. Termostatik genleşme valfi [1]

4.4.6 Üç fazlı presostat

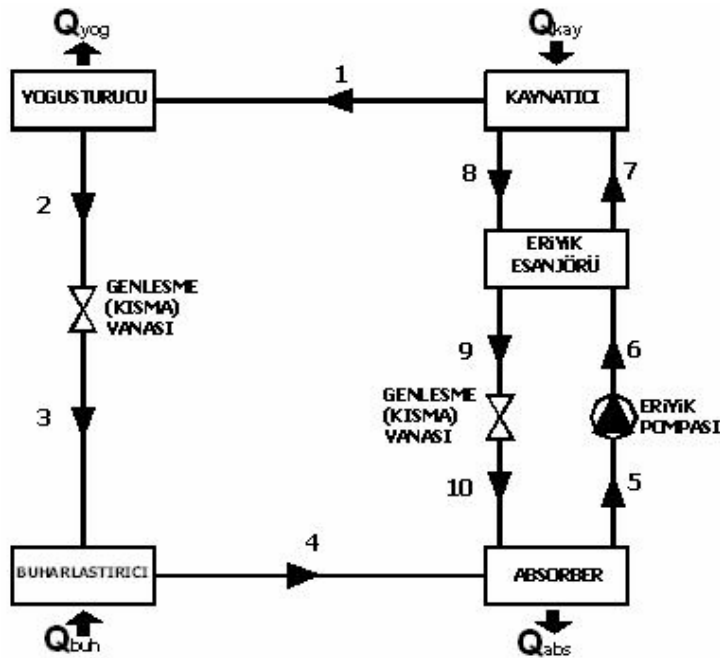
Üç fazlı presostatın görevi araç park halinde veya sıkışık trafikte iken, soğutucu akışkan gazının kondense (yoğuşma) olabilmesi için yoğuşturucunun ve radyatörün, elektro fanını devreye sokup, havalandırma yapmaktır.

Ayrıca bu presostat, radyatör ve yoğuşturucu fanlarının herhangi bir sebepten devreye girmemesiyle oluşabilecek tehlikeli limitler içerisine girildiğinde veya sistemde kaçak olduğunda, dış ortam 10°C ' nin altına düştüğünde soğutucu akışkan gazının termik olarak buharlaşmasının engellendiği durumlarda, kompresörü devreden çıkarır.

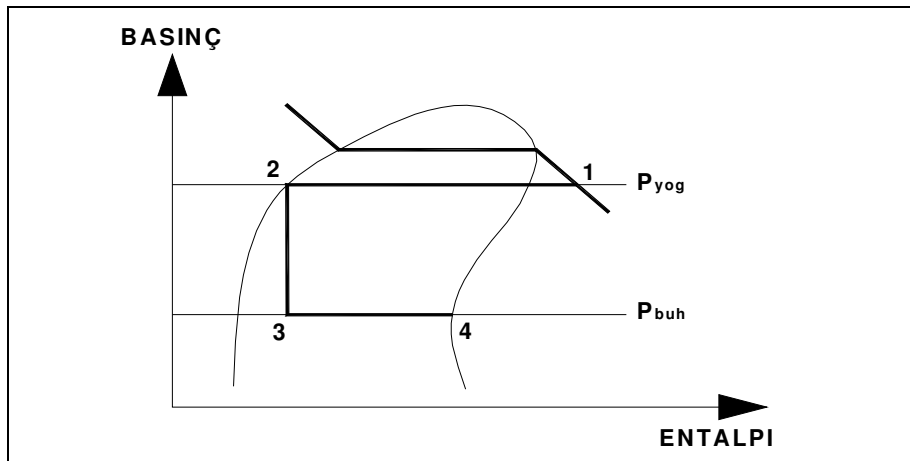
5. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

5.1. Kaynatıcı, Yoğusturucu, Buharlaştırıcı ve Absorber ile İlgili Bağlıntılar

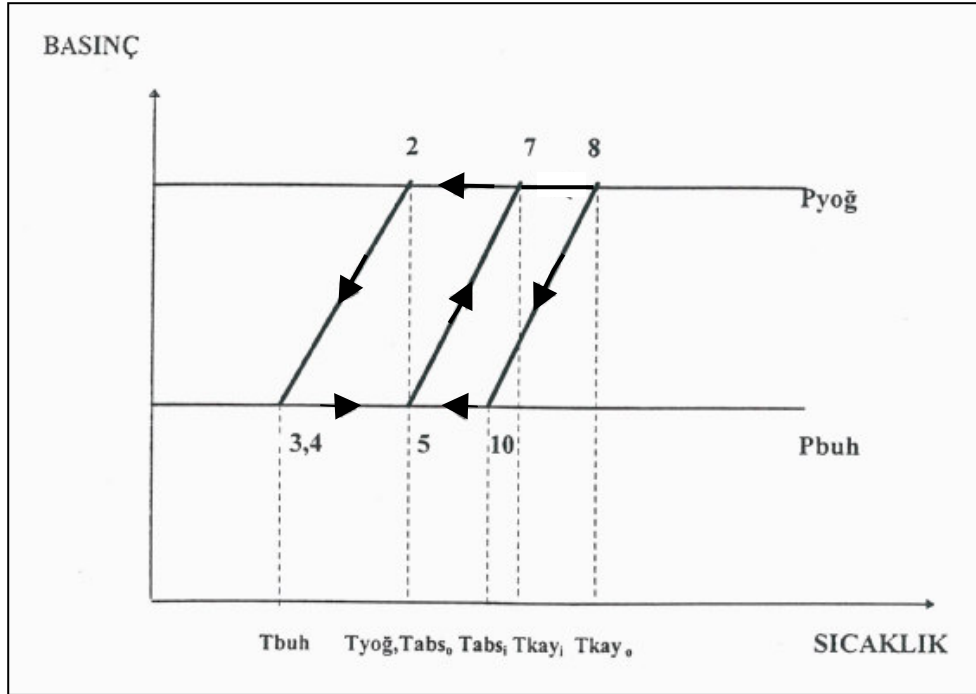
Şekil 5.1’de Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Lityum bromür-su eriyiği kullanan bir sistemde; su buharının basınç-entalpi diyagramı Şekil 5.2’de, LiBr-su eriyiğinin basınç-sıcaklık diyagramı Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi



Şekil 5.2. Su buharının basınç-entalpi diyagramı



Şekil 5.3. LiBr / su eriyiğinin basınç-sıcaklık diyagramı

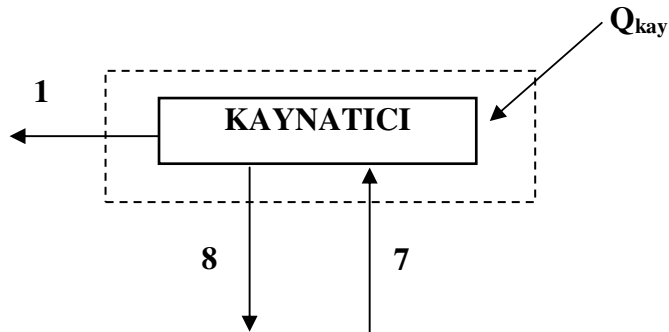
Dolaşım Oranı WZ, zengin eriyik ve soğutucu akışkan debilerinin oranı olarak tanımlanır,

$$WZ = m_z / m_a \quad (5.1)$$

m_z ; zengin eriyik akış debisi (kg/s)

m_f ; fakir eriyik akış debisi (kg/s)

m_a ; su buharı akış debisi (kg/s)



Şekil 5.4. Kaynatıcı

Şekil 5.4'deki kaynatıcı açık bir sistemdir.

$$m_z = m_7 \text{ ve } m_a = m_1$$

Dolayısıyla;

$$WZ = m_8/m_1 \quad (5.2)$$

Süreklilik denkleminde;

$$m_8 + m_1 = m_7 \quad (5.3)$$

Sistemdeki Lityum-Bromür dengesinden;

$$m_7 X_z = m_8 X_f \quad (5.4)$$

X_z ; Zengin eriyik konsantrasyonu

X_f ; Fakir eriyik konsantrasyonu

Eş. 5.3 ve Eş. 5.4 kullanılarak,

$$WZ = m_8/m_1 = X_f/(X_z - X_f) \quad (5.5)$$

$$m_7/m_1 = X_z/(X_z - X_f) = WZ + 1 \quad (5.6)$$

Kaynatıcı açık bir sistem, $P = \text{sabit}$ ve $W = 0$ dır. (W_{pompa} , diğer değerlere kıyasla çok küçük miktarlarda olduğundan ihmal edilir.) Kaynatıcıda oluşan kinetik ve potansiyel enerjinin ihmal edildiği kabul edilirse, Termodinamiğin I. kuralına göre;

$$\sum Q_{\text{sys}} - \sum W_{\text{sys}} = \sum H_o - \sum H_i \quad (5.7)$$

$\sum Q_{\text{sy}}$; Toplam ısı transferi (kW)

$\sum W_{\text{sys}}$; Toplam iş (kW)

$\sum H_o$; Entalpi çıkanlar.

$\sum H_i$; Entalpi girenler.

Kaynatıcı için Eş. 5.7' nin aldığı form;

$$Q_{kay} = H_1 + H_8 - H_7 \quad (5.8)$$

Ayrıca Eş. 5.8' in bir diğer yazılımı da,

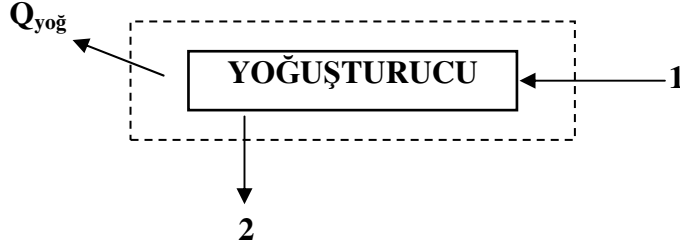
$$Q_{kay} = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7 \quad (5.9)$$

Eş. 5.9'un sisteme uyarlanması ise;

$$Q_{kay} = m_a h_1 + m_z h_8 - m_f h_7 \quad (5.10)$$

$$Q_{kay} / m_1 = q_{kay} = h_1 + WZ h_8 - (WZ + 1) h_7 \quad (5.11)$$

Yoğuşturucu için;



Şekil 5.5. Yoğuşturucu

Hava soğutmalı yoğuşturucu açık sistemdir, Şekil 5.5'den yararlanarak,

$$P_{yoğ} = \text{sabit}, W_{yoğ} = 0$$

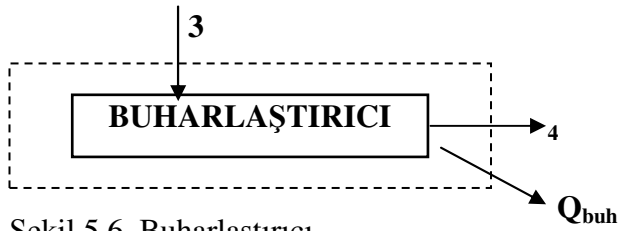
Eş. 5.7'yi kullanarak, yoğuşturucu ısı transferi;

$$Q_{yoğ} = H_2 - H_1 = m_2 h_2 - m_1 h_1 \quad (5.12)$$

Eş. 5.12' nin sisteme uyarlanması ise;

$$Q_{yoğ} = m_1 (h_2 - h_1) \Rightarrow Q_{yoğ} / m_1 = q_{yoğ} = (h_2 - h_1) \quad (5.13)$$

Buharlaştırıcı için;



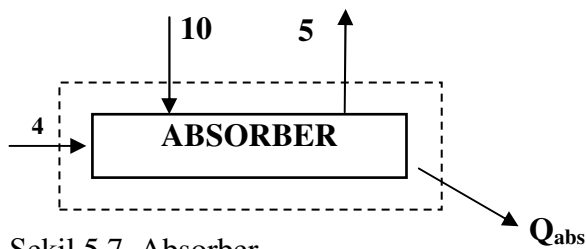
Şekil 5.6. Buharlaştırıcı

Buharlaştırıcı açık bir sistem, $P_{yog}=\text{sabit}$ ve $W_{yog}=0$ olmak üzere Şekil 5.6' yı kullanarak, buharlaştırıcı ısı transferi;

$$Q_{buh} = H_4 - H_3 = m_4 h_4 - m_3 h_3 \quad \text{Eş. 5.14' ün sisteme uyarlanması ise;} \quad (5.14)$$

$$Q_{buh} = m_1 (h_4 - h_3) \Rightarrow Q_{buh}/m_1 = q_{buh} = h_4 - h_3 \quad (5.15)$$

Absorber için;



Şekil 5.7. Absorber

Hava soğutmalı absorber açık sistem, $P_{abs}=\text{sabit}$, $W_{abs}=0$ olmak üzere Eş. 5.7 absorbere uygulanırsa Eş. 5. 16 oluşur. Eş. 5.16' nın sisteme uyarlanması ise;

$$Q_{abs} = m_5 h_5 - m_4 h_4 - m_{10} h_{10} \quad (5.16)$$

$$Q_{abs} = m_f h_5 - m_a h_4 - m_z h_{10} \quad (5.17)$$

$$Q_{abs} / m_1 = Q_{abs} = (WZ + 1) h_5 h_4 - WZ h_{10} \quad (5.18)$$

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin enerji dengesi ise;

$$Q_{abs} + Q_{yog} = Q_{kay} + Q_{buh} + W_{pompa} \quad (5.19a)$$

Genellikle W_{pompa} , diğer değerlere kıyasla ihmal edilebilecek küçüklükte olduğundan, Eş. 5.16' nın son hali,

$$Q_{abs} + Q_{yog} = Q_{kay} + Q_{buh} \quad (5.19b)$$

5.2. Soğutma Tesir Katsayısı (COP) İle İlgili Bağlıntılar

Soğutma tesir katsayısı, birim iş başına yapılan soğutma olarak tarif edilir. Tesir katsayısı, sistemin farklı sıcaklık değerleri arasındaki ısı transfer kapasitesidir. Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminde ilk amaç soğutma olmuştur ve dolayısıyla sistem geleneksel olarak soğutma katsayısı ile tanımlanır.

$$COP = \frac{\text{Soğutma Yüğü (Buharlaştırıcıdan)}}{\text{Verilen Enerji Girdisi (Kaynatıcı+Pompa)}} \quad (5.20)$$

Isıtma amaçlı sistemlerde ise; Isıtma tesir katsayısından bahsedilir. Isıtma tesir katsayısı birim iş başına yapılan ısıtmadır ve $(COP)_h$ şeklinde ifade edilir.

$$(COP)_h = \frac{\text{Isıtma Yüğü (Yoğuşturucu ve Absorber)}}{\text{Verilen Enerji Girdisi (Kaynatıcı+Pompa)}} \quad (5.21)$$

Sistemin ısıtma dengesinin son hali ise;

$$(COP)_h = 1 + COP \quad (5.22)$$

Bu ilişki, teoride olduğu kadar pratikte kolaylıkla görülür. Absorpsiyonlu soğutma sisteminde alınan ısıtmanın tümü, yoğuşturucu ve absorber tarafından ortama verilir. Buradan da anlaşılabacağı gibi $(COP)_h$ değerini COP değeri ile kıyaslırsak, ısıtma tesir katsayısının daha fazla olması gerektiği anlaşılır.

Belirli sıcaklık değerleri arasında, Carnot Sisteminin transfer edebileceği ısı enerjisi, sistemin üst limit değerleriyle ilişkilidir. Sistem sıcaklıkları buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıklarıdır ve Carnot sistemi ile çalışan Buhar Sıkıştırıcı Mekanik Soğutma Sisteminin COP değeri ise;

$$(\text{COP}) = \frac{\text{Sistemin Alt Sıcaklık Değeri}}{\text{Sisteme Verilen İş}} = \frac{T_{\text{yoğ}}}{T_{\text{buh}} - T_{\text{yoğ}}} \quad (5.23)$$

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde, ısı enerjisi kaynatıcı sıcaklığından, absorber sıcaklığına düşürülür ve bu sayede buharlaştırıcı – yoğuşturucu sıcaklıkları arasında ısıyı çekecek bir kuvvet sağlanır. Bu sıcaklıklar arasında çalışan Carnot sistemin COP değeri ise;

$$(\text{COP}) = \frac{(T_{\text{kay}} - T_{\text{abs}})}{T_{\text{kay}}} = \frac{T_{\text{buh}}}{(T_{\text{yoğ}} - T_{\text{buh}})} \quad (5.24)$$

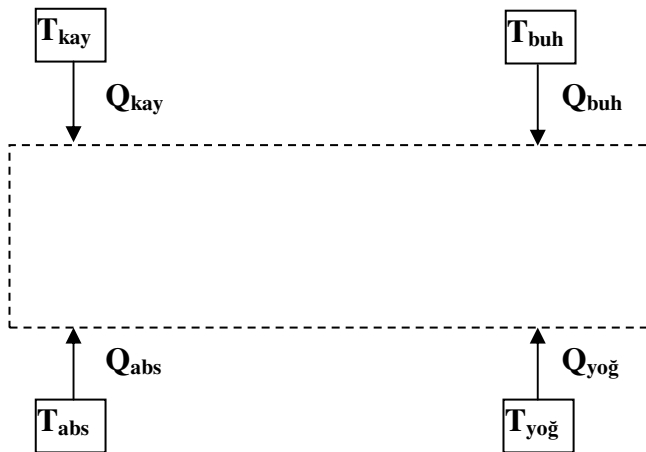
T_{buh} ; Buharlaştırıcı Sıcaklığı (K)

$T_{\text{yoğ}}$; Yoğuşturucu Sıcaklığı (K)

T_{kay} ; Kaynatıcı Sıcaklığı (K)

T_{abs} ; Absorber Sıcaklığı (K)

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin ideal COP değeri, Eş. 5.24 kullanılarak bulunabilir.



Şekil 5.8. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin CARNOT sistemi şeklinde gösterimi.

Termodinamiğin II. kanununu Absorbsiyonlu Soğutma Sistemine uygularsak ;

$$\Sigma \Delta S = \frac{Q_{kay}}{T_{kay}} + \frac{Q_{buh}}{T_{buh}} - \frac{Q_{yoğ}}{T_{yoğ}} - \frac{Q_{abs}}{T_{abs}} = 0 \quad (5.25)$$

Aynı zamanda, yoğuşturucu ve absorber aynı kaynak tarafından soğutulduğundan

$T_{yoğ} = T_{abs} = T$ olacaktır.

Eğer Eş. 5.19 ve Eş. 5.25 birleştirilirse,

$$\frac{Q_{kay}}{T_{kay}} + \frac{Q_{buh}}{T_{buh}} = \frac{Q_{yoğ}+Q_{abs}}{T} = \frac{Q_{kay}+Q_{buh}}{T} \quad (5.26)$$

Eşitliğin her iki tarafını T_{kay}/Q_{kay} ile çarparsak Eş. 5.26 şu hali alır;

$$1 + \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \frac{T_{kay}}{T_{buh}} = \frac{T_{kay}}{T} + \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \frac{Q_{buh}}{T} \quad (5.27)$$

Eş. 5.27 tekrar organize edilirse;

$$\frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \left(\frac{T_{kay}}{T_{buh}} - \frac{T_{kay}}{T} \right) = \frac{T_{kay}}{T} - 1 \quad (5.28)$$

Daha önce $COP=Q_{buh}/Q_{kay}$ olarak tanımlanmıştı, bu tanımı Eş. 5.28 uygularsak COP;

$$COP = \frac{T_{kay}-T_{yoğ}}{T_{kay}} = \frac{T_{buh}}{T_{yoğ} - T_{buh}} \quad (5.29)$$

$$COP = \eta_c \cdot (COP)_{BSS} \quad (5.30)$$

$(COP)_{BSS}$; Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi soğutma tesir katsayısı.

Sonuçta Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin soğutma tesir katsayısı, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Sisteme göre daima daha azdır. Eş. 5.29 incelendiğinde görülür ki; Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi soğutma tesir katsayısı dört temel sıcaklığa bağlıdır: T_{abs} , $T_{yoğ}$, T_{kay} , T_{buh}

Gerçek soğutma tesir ve ısıtma tesir katsayısı ise;

$$COP = \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} + \frac{m_1 (h_4 - h_3)}{m_1 h_1 + m_z h_8 + m_f h_7} \quad (5.31)$$

$$COP = \frac{q_{buh}}{q_{kay}} + \frac{(h_4 - h_3)}{h_1 + WZ h_8 + (WZ + 1) h_7} \quad (5.32)$$

$$(COP)_h = \frac{Q_{yog} + Q_{abs}}{Q_{kay}} + \frac{m_1 (h_2 - h_1) + m_f h_5 - m_a h_4 - m_5 h_{10}}{m_1 h_1 + m_z h_8 - m_f h_7} \quad (5.33)$$

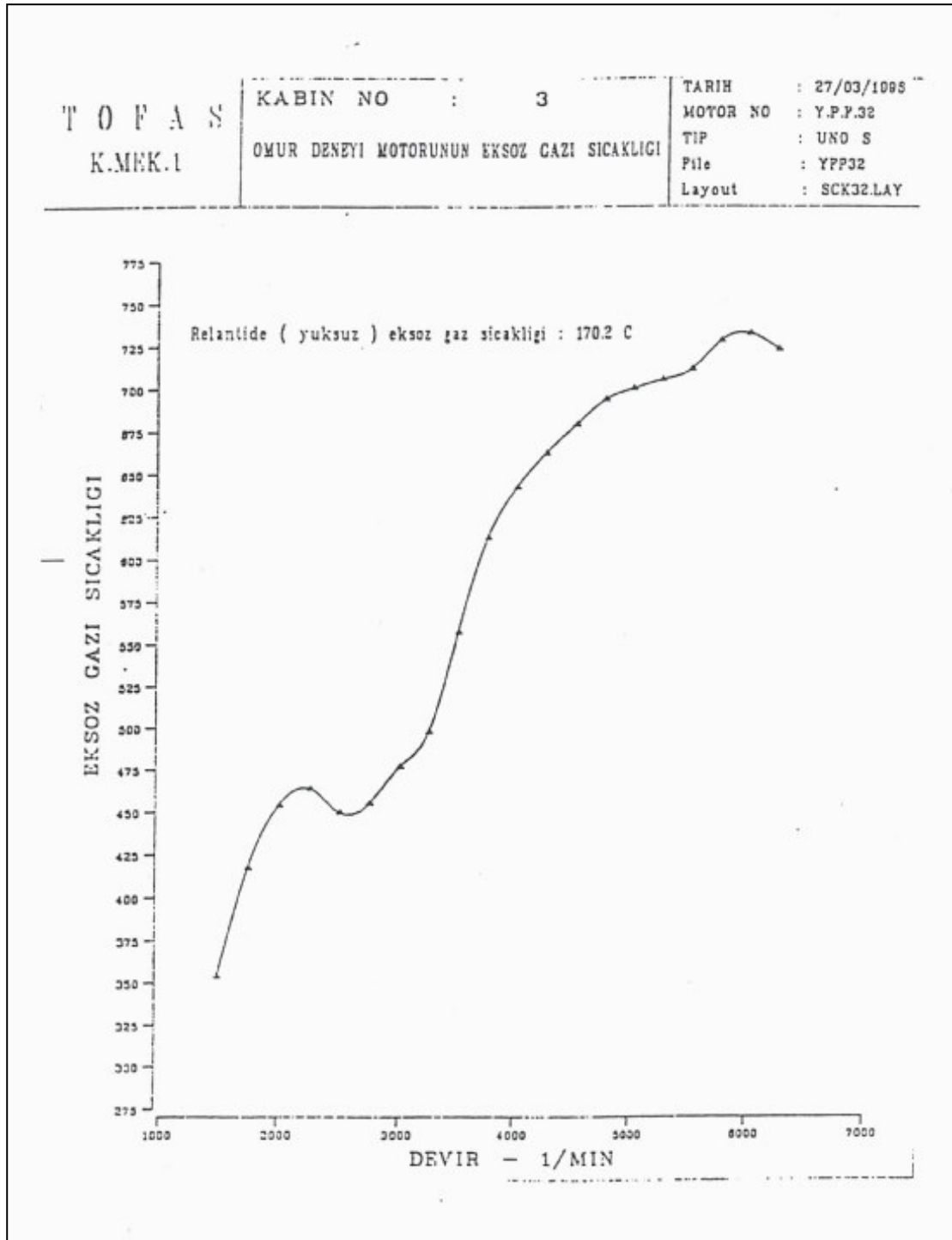
$$(COP)_h = \frac{q_{yog} + q_{abs}}{q_{kay}} + \frac{(h_2 - h_1) + (WZ + 1) h_5 - h_4 - WZ h_{10}}{h_1 + WZ h_8 + (WZ + 1) h_7} \quad (5.34)$$

$$(COP)_h = COP + 1 \quad (5.35)$$

5.3. Motor Ömür Deneyi Verileri

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin ısı enerjisi kaynağı olarak; 1400cc hacimli motor ömür deneyi verileri esas alınmıştır. [20]

Motor Ömür Deneyinde; farklı devirlerdeki egsoz gazı sıcaklıklarının yanında, tork değerleri ve yakıt sarfiyatı bilgileri de verilmiştir. Motor ömür deneyi orjinal verileri Şekil 5.9 ve Çizelge 5.1' de sunulmuştur. Çizelge 5.1' de yakıt debisi kg/h biriminde verilmiştir. Yakıt debisini kg/s birimine çevirerek ve hava – Yakıt oranını 15 alarak hesaplanan egsoz gazı debisi Çizelge 5.2' de verilmiştir[20]. Motor ömür deneyindeki 20 farklı motor devir değeri bundan sonra “Durum” olarak adlandırılacaktır.



Şekil 5.9. Motor ömür deneyi egzoz gazı sıcaklık eğrisi [20].

Çizelge 5.1. Motor ömür deneyi kapasite bilgileri [20]

Durum	Tekzoz °C	Zaman S: dk	Devir rpm	BH kg/h	Debi litre/s	Yağ Sıc. °C	Su giriş °C	Su çıkış °C	Ortam Sıc. °C	Yağ Basıncı bar
1	353,1	14,19	1523	4,48	6,0	93	73	86	21	3,0
2	416,6	14,17	1775	5,18	6,9	94	64	85	21	3,0
3	452,9	14,16	2027	5,69	7,6	96	56	85	21	3,2
4	462,9	14,14	2277	6,74	9,0	98	81	90	21	3,4
5	448,8	14,12	2528	8,04	10,8	99	72	85	21	3,7
6	454,1	14,11	2782	8,99	12,0	101	60	84	21	3,8
7	475,6	14,09	3033	9,85	13,2	101	82	89	21	4,0
8	496,4	14,07	3285	10,53	14,1	102	66	85	21	4,2
9	555,7	14,06	3537	11,30	15,1	103	71	89	21	4,4
10	611,2	14,04	3787	11,89	15,9	102	69	86	21	4,6
11	640,9	14,02	4041	12,55	16,8	101	78	91	21	4,6
12	660,9	14,01	4293	13,15	17,6	99	65	86	21	4,6
13	677,5	13,59	4545	13,72	18,4	98	83	90	21	4,8
14	692,0	13,57	4800	14,32	19,2	102	66	87	21	4,6
15	698,2	13,56	5050	14,80	19,8	100	76	87	21	4,7
16	703,3	13,54	5301	15,11	20,2	99	72	88	21	4,7
17	709,5	13,52	5556	15,59	20,9	101	65	87	21	4,7
18	726,2	13,51	5806	15,84	21,2	102	80	89	21	4,5
19	730,5	13,49	6060	16,29	21,8	103	68	87	21	4,4
20	721,5	13,47	6310	16,77	22,4	97	74	85	21	4,5

Çizelge 5.2 Hava yakıt oranı 15 alınarak oluşturulan kapasite bilgileri.

Durum	Tork yük N/m	Texh egzoz gazı sıcaklığı (°C)	m_{fuel} yakıt debisi kg/s (10^{-3})	m_{hava} hava debisi kg/s (10^{-3})	m_{exh} egzoz debisi kg/s (10^{-3})
1	90,3	353,1	1,24	18,6	19,84
2	97,1	416,6	1,44	21,6	23,04
3	100	452,9	1,58	23,7	25,28
4	101	462,9	1,87	28	29,87
5	100	448,8	2,23	34,9	37,13
6	101	454,1	2,5	37,5	40
7	102	475,6	2,74	41,1	43,84
8	105	496,4	2,93	43,9	46,83
9	105,9	555,7	3,14	41,7	50,24
10	107,9	611,2	3,3	49,5	52,8
11	106,9	640,9	3,49	52,3	55,79
12	105	660,9	3,65	54,7	58,35
13	102	677,5	3,81	57,1	60,91
14	99,1	692	3,98	59,7	63,68
15	95,2	698,2	4,11	61,6	65,71
16	91,2	703,3	4,19	62,8	66,99
17	87,3	709,5	4,33	64,9	69,23
18	84,3	726,2	4,4	66	70,4
19	83,4	730,5	4,53	67,9	72,43
20	78,48	721,5	4,66	69,9	74,56

*Yakıt debisi ve hava debisinin toplamı egzoz debisini vermektedir.

5.4. Termodinamik Analiz

Mevcut otomobil klima tertibatının soğutma kapasitesi 3500 ila 14050 W arasındadır. Bu da gösterir ki Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin de soğutma kapasitesi bu değerler arasında olmalıdır. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde COP değeri genellikle 0,7 – 0,8 arasındadır, dolayısıyla sistemimizin egzoz gazından alacağı ısı miktarı yani, kaynatıcı kapasitesi 4375 - 20071 W olmalıdır. Bu değer teorik bir değerdir, kayıplar göz önüne alındığında kaynatıcı kapasitesini daha yüksek değerlerde tutmak gerekebilir.

İlk olarak egzoz gazının farklı sıcaklıklarda ki termodinamik özellikleri, ardından ısı kapasitesinin, kaynatıcı kapasitesine yeterliliği incelenmiştir. Ayrıca mevcut sisteme ilave edilen absorber kapasitesi ve tasarımı, sistemin soğutma yükünü kaldırarak şekilde tasarlanmıştır. Detaylı hesaplamalar Bölüm 5.4.1, 5.4.2 ve 5.4.3’ de sunulmuştur.

5.4.1. Egzoz gazının farklı sıcaklıklardaki termodinamik özellikleri

Kaynatıcı dizaynı ve soğutma kapasitesi hesaplarına geçmeden önce egzoz gazının farklı sıcaklıklardaki termodinamik özelliklerinin saptanması gerekmektedir.

Araç motorunda yakıt olarak süper benzin kullanılmaktadır. Süper benzinin kimyasal özelliklerinden ve yanma denkleminde yararlanarak elde edilen egzoz gazının termodinamik özellikleri Çizelge 5.3’ de sunulmuştur.

Araç yakıtı olarak kullanılan süper benzinin kimyasal bileşimi;

C	84,91 %	$M_c = 12,0 \text{ kg/kmole}$
H	15,03 %	$M_H = 1,0008 \text{ kg/kmole}$
S	0,06 %	$M_s = 32,064 \text{ kg/kmole}$

şeklinde üretici firmalar tarafından tanımlanmıştır.

1 kg Süper benzin içeriğinde;

$$\frac{0,8491}{12} \text{ C} + \frac{0,1503}{1,008 \times 2} \text{ H}_2 + \frac{0,006}{32,064} \text{ S} \quad (5.36)$$

$$0,070758\text{C} + 0,0745536 \text{ H}_2 + 0,000018712 \text{ S} \quad \text{bulunur.} \quad (5.37)$$

Eş 5.37' ye yanma denklemi uygulanırsa;

$$0,070758 \text{ C} + 0,0745536 \text{ H}_2 + 0,000018712 \text{ S} + \text{X} (\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2) =$$

$$0,070758\text{CO}_2 + 0,0745536 \text{ H}_2\text{O} + 0,000018712 \text{ SO}_2 + \text{X}(3,76 \text{ N}_2) \quad (5.38)$$

Eş 5.38' de Oksijen (O₂) dengesi, X değerini bulmamızı sağlar.

$$\text{X} = 0,070758 + (0,0745536 / 2) + 0,000018712 = 0,108 \quad (5.39)$$

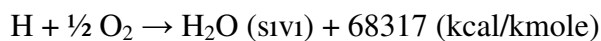
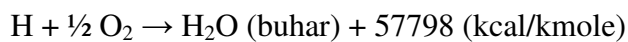
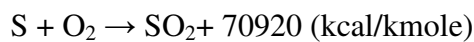
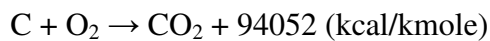
Sonuçta Eş 5.38 şu hali alır;

$$0,070758 \text{ C} + 0,07455396 \text{ H}_2 + 0,000018712 \text{ S} + 0,108 (\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) =$$

$$0,070758 \text{ CO}_2 + 0,0745536 \text{ H}_2\text{O} + 0,000018712 \text{ SO}_2 + 0,08(3,76\text{N}_2) \quad (5.40)$$

Havanın mol ağırlığı $M_{\text{air}} = 28,96 \text{ kg/Kmole}$ olmak üzere, Eş 5.40' daki havanın ağırlığı $m_{\text{air}} = 0,108 (1 + 3,76) \times 28,96 = 14,888 \text{ kg}$. dır. Bu demektir ki 1 kg. süper benzinin yanması için gerekli hava 14,888 kg. dır. Başka bir deyişle stoichiometrik hava/yakıt oranı 14,888 dir.

Yanma denkleminin kalorifik değerleri şu şekilde hesaplanabilir;



Bu değerler ışığında; Eş 5.40' dan yararlanarak kalorifik değerler bulunabilir.

$$0,070758 (C + O_2) \rightarrow 0,070758 CO_2 + (0,070758 \times 94052) \quad (5.41)$$

$$0,000018712 (S+O_2) \rightarrow 0,000018712 SO_2 + (0,00001872 \times 70920) \quad (5.42)$$

$$0,0745536 (H + \frac{1}{2} O_2) \rightarrow 0,0745536 H_2O + (0,0745536 \times 57798) \quad (5.43)$$

$$0,0745536 (H + \frac{1}{2} O_2) \rightarrow 0,0745536 H_2O + (0,0745536 \times 68317) \quad (5.44)$$

Eş 5.41, Eş 5.42, Eş 5.43 ve Eş 5.44 kullanılarak toplam kalorifik değer ve net kalorifik değerler hesaplanır.

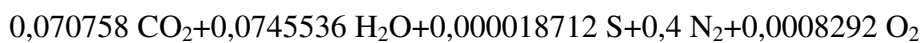
Toplam Kalorifik Değer:

$$(0,070758 \times 94052) + (0,00001872 \times 70920) + (0,0745536 \times 68317) \\ = 11749,5 \text{ kcal/kmole} = 49,2 \text{ MJ/kg} \quad (5.45a)$$

Net Kalorifik Değer:

$$(0,070758 \times 94052) + (0,00001872 \times 70920) + (0,0745536 \times 57798) \\ = 10965,3 \text{ kcal/kmole} = 45,9 \text{ MJ/kg} \quad (5.45b)$$

Araştırmamızda, egzoz gazı debisini hesaplarken oluşturduğumuz çizelgelerde; Hava/Yakıt oranını 15 almıştık. Fakat stoichiometric Hava/Yakıt oram 14,888 hesaplandı. Buna göre düzeltme faktörü = $15 / 14,888 = 1,008$ olur. Bu da gösterir ki hesaplamamızda 1,008 kat daha fazla havaya ihtiyacımız vardır. Sonuçta Eş 5.40 şu hali alır;



Bu özelliklere dayanarak ve “Durum 7” deki egzoz gazı değerleriyle yani; $T=475,6$ C° ve EK-8’ deki tablo bilgileriyle yapılan hesaplamalarla egzoz gazının termodinamik özellikleri bulunur.

Çizelge 5.3. Egzoz Gazının Termodinamik özellikleri

	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Toplam
M	44.0098	18.1520	28.0134	31.9988	
N	0,070758	0,0745536	0,4	0,0008292	
MxN	3.1140	1.3431	11.2136	0,26533	15.6972
ρ	0,7057	0,2931	0,45115	0,5154	
MxNx ρ	2.197578	0,393663	5.0590156	0,0136751	7.6639317
$\mu \times 10^{-6}$	32,1	26,04	33,5	39,8	
MxNx μ	$9,9960 \times 10^{-5}$	$3,49743 \times 10^{-5}$	$3,75655 \times 10^{-4}$	$1,05601 \times 10^{-6}$	$5,11646 \times 10^{-4}$
C _p	1,15	2,119	1,11	1.0425	
MxNx C _p	3.581146	2.84603	12.4771	0,0276606	18.90183
$k \times 10^{-3}$	51,7	54,9	52,35	55,85	
MxNxk	0,160996	0,07374	0,587032	0,0014819	0,82325
$v \times 10^{-6}$	45,5	88,84	74,805	77,79	
MxNxv	$141,688 \times 10^{-6}$	$119,321 \times 10^{-6}$	$838,833 \times 10^{-6}$	$2,064 \times 10^{-6}$	$1,101907 \times 10^{-3}$

Çizelge 5.3’ deki değerlerden yararlanarak “Durum 7” için;

$$C_p \frac{\sum M_i \times N_i \times C_{pi}}{\sum M_i \times N_i} = \frac{18,90193}{15,697273} \Rightarrow C_p = 1,2041 \text{ kJ/kgK.} \quad (5.46)$$

$$\rho \frac{\sum M_i \times N_i \times \rho_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{7,6639317}{15,697273} \Rightarrow \rho = 0,48823 \text{ kg/m}^3 \quad (5.47)$$

$$\mu \frac{\sum M_i \times N_i \times \mu_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{5,11645 \times 10^{-4}}{15,697273} \Rightarrow \mu = 3,25946 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2. \quad (5.48)$$

$$k \frac{\sum M_i \times N_i \times k_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{0,82325}{15,697273} \Rightarrow k = 52,4454 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K.} \quad (5.49)$$

$$\nu \frac{\sum M_i \times N_i \times \nu_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{1,101907 \times 10^{-3}}{15,697273} \Rightarrow \nu = 70,197 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad (5.50)$$

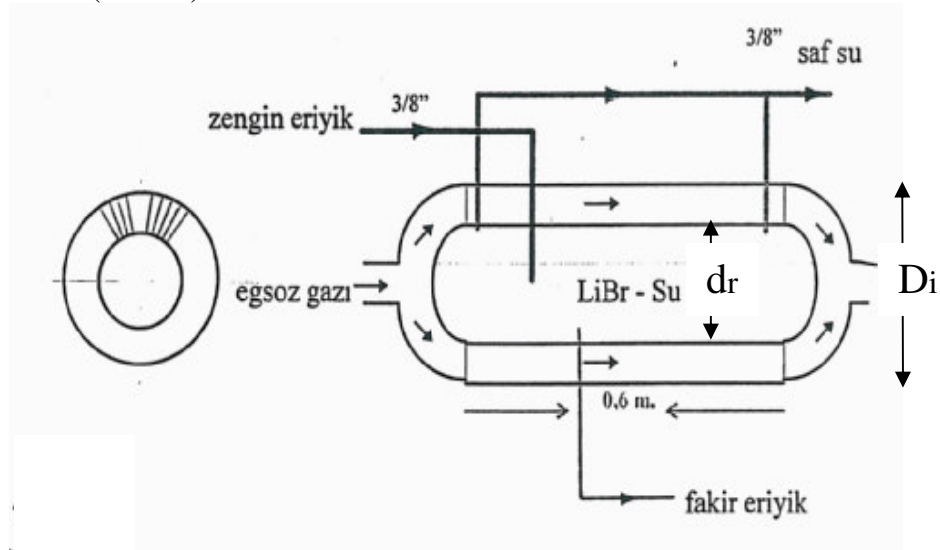
Bu hesaplamaları diğer motor durumları için tekrarlayacak olursak Çizelge 5.4 elde edilecektir.

Çizelge 5.4 Egzoz gazının termofiziksel özellikleri

Durum	Cp Özgül Isı kJ/kg.K	ρ Yoğunluk kg/m ³	μ Dinamik Viskozite N.s/m ² (10 ⁻⁵)	k Isıl İletkenlik W/m.K (10 ⁻³)	V Kinematik Viskozite m ² /s (10 ⁻⁶)
1	1,1649	0,58590	2,87343	45,1910	51,7140
2	1,1791	0,53580	3,05520	48,6300	59,8640
3	1,1967	0,50425	3,18540	51,0790	66,4450
4	1,1998	0,49758	3,21850	51,6483	68,0078
5	1,1955	0,50746	3,17715	50,8510	65,8184
6	1,2000	0,50358	3,19190	51,1360	66,6000
7	1,2041	0,48823	3,25946	52,4454	70,1970
8	1,2101	0,47583	3,31723	53,5305	73,3040
9	1,2284	0,44083	3,48890	56,8590	83,0470
10	1,2456	0,41095	3,64570	60	92,4460
11	1,2545	0,39588	3,72800	61,0300	97,5700
12	1,2603	0,38645	3,78220	62,8050	101,1070
13	1,2648	0,37890	3,82600	63,7200	103,9500
14	1,2690	0,37790	3,86650	64,5780	106,6000
15	1,2710	0,36910	3,88300	64,9200	107,6500
16	1,2724	0,36640	3,89700	65,2200	108,6000
17	1,2741	0,36340	3,91400	65,5800	109,6900
18	1,2792	0,35470	3,96000	66,5700	112,7700
19	1,2801	0,35400	3,97200	66,7800	113,4300
20	1,2773	0,35800	3,94700	66,2300	111,8000

5.4.2. Kaynatıcı tasarımı ve hesaplamaları

Pek çok kaynatıcı dizaynı denemesinden sonra; tek geçişli ve kanatlı borulu ısı eşanjörü şeklinde düşünülen kaynatıcı Şekil 5.10’ da verilmiştir.. Kaynatıcı ısı transfer kapasitesini artırabilmek için kanatçık kullanılmıştır. Aracın egzoz manifold çıkışı 1 ½” (40 mm) dir.



Şekil 5.10 Tek geçişli - kanatlı borulu kaynatıcı

Kaynatıcı Ölçüleri;

Dış çap $D_i = 4'' = 0,1016 \text{ m}$

İç çap $d_r = 2 \frac{1}{2}'' = 0,0635 \text{ m}$

Kanatçık kalınlığı $t_f = 0,002 \text{ m}$

Kanatçık yüksekliği $l_f = 0,018 \text{ m}$

Kaynatıcı uzunluğu $L_t = 0,6 \text{ m}$

“Durum 7” egzoz gazı değerlerini hatırlayacak olursak;

$T_{kay} = 368 \text{ } ^\circ\text{K}$ (95°C kabul edelim) $T_{exh,i} = 748,6 \text{ } ^\circ\text{K}$

$m_{exh} = 0,04384 \text{ kg/s}$

$C_p = 1,2041 \text{ kJ/kgK}$

$$\rho = 0,148823 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 3,25946 * 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$k = 52,4454 * 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K.} \quad \nu = 70,197 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\text{Kanatçık sayısı } N = \frac{\Pi d_r}{2t_f} = 50 \text{ adet bulunur fakat çalışmamızda } N=45 \text{ seçilmiştir.}$$

$$\text{Dış alan } A_e = \Pi(D_i)^2 / 4 = \Pi(0,1016)^2 / 4 \quad A_e = 0,00811 \text{ m}^2 \quad (5.51)$$

$$\text{Akış alanı (kesit) } A_x = A_e - \{(\Pi(d_f)^2 / 4) + N \cdot t_f \cdot 1_f\} \quad A_x = 0,003323 \text{ m}^2 \quad (5.52)$$

$$\text{Isı transfer alanı } A_t = \{(2N \cdot 1_f) + (\Pi \cdot d_r - N \cdot t_f)\} L_t \quad A_t = 1,0377 \text{ m}^2 \quad (5.53)$$

$$\text{Islak çevre } P_w = (\Pi \cdot D_i) + (A_t / L_t) \quad P_w = 2,0512 \text{ m} \quad (5.54)$$

$$\text{Egzoz gaz hızı } V = m_{\text{exh}} / (\rho \cdot A_x) \quad V = 27,022 \text{ m/s} \quad (5.55)$$

$$\text{Hidrolik çap } d_e = 4A_x / P_w \quad d_e = 0,00648 \text{ m} \quad (5.56)$$

$$\text{Reynolds sayısı } Re = (\rho \cdot V \cdot d_e) / \mu \quad Re = 2622,84 \quad (5.57)$$

Eğer $2000 \leq Re \leq 10000$ ise, radyal kanatçıklı borularda ısı taşınım katsayısı h_o denklemi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$h_o = 0,1 (k/d_e) (Re^{2/3} - 125) Pr^{0,495} [\exp\{-0,0225 (\ln Pr)^2\}] \{1 + d_e/L_t\}^{2/3} \quad (5.58)$$

$$\text{Prandtl sayısı } Pr = C_p \cdot \mu / k \quad Pr = 0,748$$

$$h_o = 46 \text{ W/m}^2\text{K. bulunur.}$$

Fakat kanatçıklı borularda ısı taşınım katsayısının daha net hesaplanması için kanatçık faktörünü içeren η_o kanatçık yüzeyi düzeltme katsayısını hesaplamak gerekir.

$$\eta_o = 1 - [(A_f/A_t)(1 - \eta_f)] \text{ olmak üzere, } k_{\text{çelik}} - 48,8 \text{ W/mK ise}$$

$$m = ((2 \cdot h_o)/(k_{\text{çelik}} \cdot t_f))^{1/2} \text{ buradan;} \quad (5.59)$$

$$m = 30,67$$

$$\eta_f = \frac{\tanh(m \cdot l_f)}{m \cdot l_f} \quad (5.60)$$

$$\eta_f = 0,91$$

$$A_f (\text{kanatçık toplam alanı}) = (2 \cdot N \cdot l_f) L_t \quad (5.61)$$

$$A_f = 0,972 \text{ m}^2$$

$$\eta_o = 1 - (A_f/A_t)(1 - \eta_f) \quad (5.62)$$

$$\eta_o = 0,9167$$

$$h_o' (\text{gerçek ısı taşıma katsayısı}) = \eta_o \cdot h_o \quad (5.63)$$

$$h_o' = 42,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Toplam ısı transfer katsayısı $U = h_o'$ olduğu varsayılırsa ve kaynatıcı enerji dengesi eşitliğinden, kaynatıcı ısı transferi Q_{kay} ;

$$Q_{\text{kay}} - m \cdot C_p \cdot (T_{\text{exh,i}} - T_{\text{exh,o}}) = U \cdot A_t \cdot \text{LMTD}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{\text{exh,i}} - T_{\text{exh,o}})}{\ln \frac{(T_{\text{exh,i}} - T_{\text{kay}})}{(T_{\text{exh,o}} - T_{\text{kay}})}} \quad (5.64)$$

$$T_{\text{exh,o}} = 537,8^\circ\text{K} \text{ bulunur.}$$

$$\Delta T = T_{\text{exh,o}} - T_{\text{exh,i}} \quad (5.65)$$

$$\Delta T = 210,7^\circ\text{K}$$

$$Q_{\text{kay}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5.66)$$

$Q_{\text{kay}} = 11447 \text{ W}$ (“Durum 7” için geçerlidir.)

Egzoz gazı İdeal Isı transfer kapasitesi;

Egzoz gazı manifold çıkış sıcaklığını, ideal koşullarda uygun kaynatıcı dizaynı ile ortam sıcaklığına kadar düşürmek mümkündür.

$$Q_{\text{exh,ideal}} = m_{\text{exh}} \cdot C_{p \text{ exh}} \cdot (T_{\text{exh,i}} - T_{\infty}) \quad (5.67)$$

$T_{\text{exh,i}}$; Kaynatıcı giriş egzoz gazı sıcaklığı (K)

$T_{\text{exh,o}}$; Kaynatıcı çıkış egzoz gazı sıcaklığı (K)

ΔT ; Kaynatıcı giriş-çıkış egzoz gazı sıcaklık farkı (K)

Q_{kay} ; Kaynatıcı ısı transfer kapasitesi (W)

$Q_{\text{exh,ideal}}$; Egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi (W)

Eş. 5.67’ den egzoz gazının ideal ısı transfer kapasitesi bulunur. “Durum 7” değerleri için $T_{\infty} = 300 \text{ K}$ alındığında;

$$Q_{\text{exh,ideai}} = (48,84 \times 10^{-3} \text{ kg/s}) (1,2041 \text{ kJ/kgK}) (748,5 - 300 \text{ K})$$

$Q_{\text{exh,ideal}} = 23675 \text{ W}$ bulunur.

Diğer durum değerleri içinde aynı hesaplamalar yapılmış ve Çizelge 5.5’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Kaynatıcı ısı transfer kapasiteleri

Durum	T _{exh,i} K	T _{exh,o} K	ΔT K	Q _{kay} W	Q _{exh,ideal} W
1	626,1	455,7	170,3	3934,3	7536
2	689,6	487	202,6	5508,3	10584
3	725,9	508,6	217,3	6575,8	12884
4	735,9	533,8	202,1	7244,5	15621
5	721,8	539,7	182,1	8091,2	18723
6	727,1	532,4	194,7	9340,6	20500
7	748,5	537,8	210,7	11447	23675
8	769,4	529,5	239,9	13494	26600
9	828,7	562,8	265,9	16440,9	32628
10	884,2	587,4	296,7	19514	38421
11	913,9	598	315,9	22106	42966
12	933,9	600	333,9	24507	46616
13	950,5	607	343,5	26451	50114
14	965	610,9	354,1	28607	53738
15	971,2	611	360,2	30005	56057
16	976,3	612	364,3	31026	57646
17	982,5	614	368,5	32495	60200
18	999,2	622	377,2	33861	62967
19	1003,5	626,4	377,1	34954	65227
20	994,5	615	379,5	36084	66141

Motor gücü, özgül yakıt sarfıyatı, motor ve egzoz verimi;

Farklı devirlerdeki motor gücü, “P_{motor}” olmak üzere,

$$P_{\text{motor}} = (2 \times \Pi \times \text{devir sayısı} \times \text{tork}) / 60 \quad (5.68)$$

Araç motoruna giren enerji, “E_{giren}” olmak üzere,

$$E_{giren} = m_{fuel} \times CV \quad (5.69)$$

CV; net kalorifik değer, CV = 45900 kJ/kg olarak Eş. 5.45b' de hesaplanmıştır.

$$\text{Özgöl yakıt sarfiyatı } m_{sp,fuel} = m_{fuel} / P_{motor} \quad (5.70)$$

$$\text{Motor Verimi } \eta_{motor} = P_{motor} / E_{giren} \quad (5.71)$$

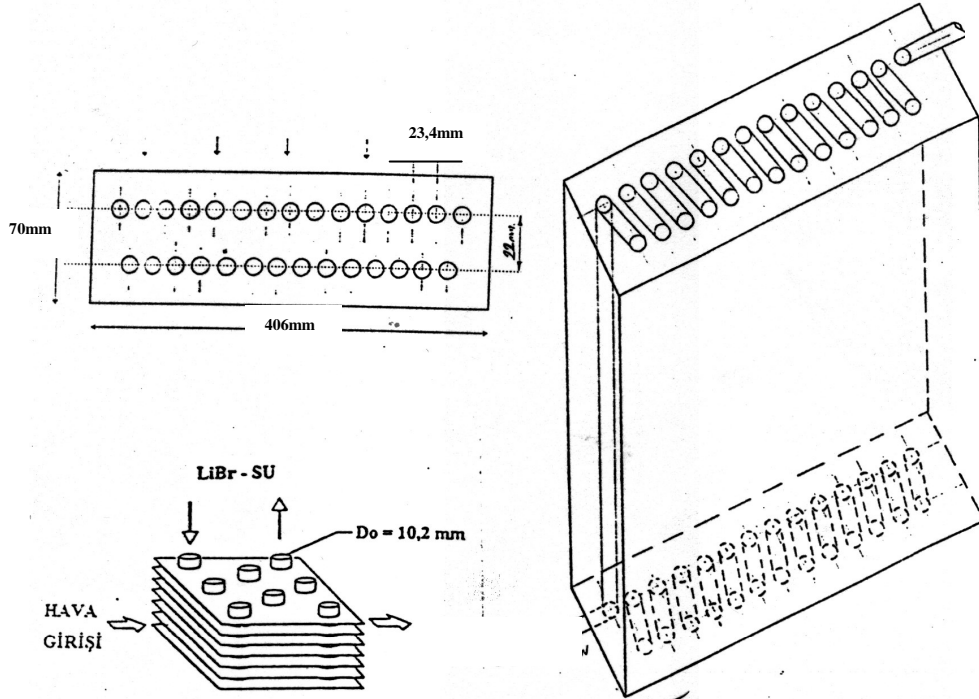
$$\text{Egsoz verimi } \eta_{egsoz} = Q_{exh,ideal} / E_{giren} \text{ şeklinde hesaplanır.} \quad (5.72)$$

Yukarıdaki formüller, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3' deki veriler yardımıyla, motorun farklı devir ve tork konumlarında hesaplanan; motor gücü, motora giren enerji, özgül yakıt sarfiyatı ve verim değerleri olarak Çizelge 5.6' da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Motor gücü, verimi ve özgül yakıt sarfiyatı değerleri

M_{fuel} kg/s (10^{-3})	Devir rpm	Tork N/m	P_{motor} kW	E_{giren} kW	$m_{sp,fuel}$ kg/kWs (10^{-5})	η_{motor}	η_{egsoz}
1,24	1523	90,3	14,402	56,91	8,61	0,253	0,132
1,44	1775	97,1	18,049	66,09	7,98	0,273	0,160
1,58	2027	100	21,227	72,52	7,44	0,292	0,178
1,87	2277	101	24,083	85,83	7,76	0,28	0,182
2,23	2528	100	26,473	102,36	8,42	0,258	0,183
2,50	2782	101	29,424	114,75	8,49	0,256	0,179
2,74	3033	102	32,397	125,77	8,46	0,257	0,188
2,93	3285	105	36,120	134,49	8,11	0,268	0,198
3,14	3537	106	39,225	144,13	8,00	0,272	0,226
3,30	3787	108	42,790	151,47	7,71	0,282	0,254
3,49	4041	107	45,237	160,19	7,71	0,282	0,256
3,65	4293	105	47,204	167,54	7,73	0,281	0,278
3,81	4545	102	48,547	174,88	7,85	0,277	0,286
3,98	4800	99,1	49,813	182,68	7,99	0,272	0,294
4,11	5050	95,2	50,345	188,65	8,16	0,266	0,297
4,19	5301	91,2	50,627	192,32	8,28	0,263	0,300
4,33	5556	87,3	50,793	198,75	8,52	0,255	0,303
4,40	5806	84,3	51,255	201,96	8,58	0,253	0,312
4,53	6060	83,4	52,926	207,93	8,56	0,254	0,314
4,66	6310	78,5	51,858	213,89	8,99	0,242	0,310

5.4.3. Absorber tasarımı ve hesaplamaları



Şekil 5.11. Çift sıralı ve sürekli kanatçıklı absorber

Eşanjör boyutları ; 70 x 406 x 400 mm ve boru adedi ; N= 29

İç çap $D_i = 10$ mm. dış çap $D_o = 10,2$ mm. ve kanatçık kalınlığı $t=0,33$ mm.dir.

Kanatçıklı boru malzemesi alüminyum olacaktır ve $k_{\text{alüminyum}} = 237$ W/mK dir. Radyatör hava alma penceresi 400 mm yüksekliğinde olduğundan $H=0,4$ m alınabilir. Şekil 5.11’ den kanat adımı 315/ m olarak görülür ve $N=315/m \cdot 0,4$ m. Fakat hesaplarımızda $N=120$ alınacaktır. Kabul değerleri;

Örnek hesaplama konum 5 değerleri için yapılmıştır.

Devir= 2528/dak, Tork=100 Nm.

Araç hızı, “Durum 5” değerinde 60 km/h olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla;

$V_{\text{hava}} = 60 \text{ km/h} = 16,6 \text{ m/s}$ olur.

Araç radyatörünün hava alma penceresi ölçüleri 400x400 mm ve A_{fr} ; hava alma alanı, $A_{fr} = 0,16 \text{ m}^2$ olur.

Absorber giriş sıcaklığı $T_{girış} = 315 \text{ °K}$, çıkış sıcaklığı $T_{çıkış} = 308 \text{ °K}$ ve

absorber yüzey sıcaklığı $T_{yüzey} = 312 \text{ °K}$ olarak saptanmıştır.

Ortam sıcaklığı $T_{\infty} = 300 \text{ °K}$ alınmıştır.

300 °K' deki havanın termodinamik özellikleri;

$C_{Phava} = 1007 \text{ J/kgK}$, $\mu_{hava} = 184,10^{-7} \text{ Ns/m}^2$, $\rho_{hava} = 1,1614 \text{ kg/m}^3$ ve $Pr = 0,707$ olmak üzere,

Absorber dizaynında kullanılacak kanatçıklı boru tipi Şekil 5.11' de görülebilir. Şekil 5.11' den görüleceği üzere çift sıralı ve sürekli kanatçıklı boru kullanılacaktır.

Absorber ısı kapasitesi hesabı

Kabul edilen değerler çerçevesinde, sistemin ısı yükünü karşılayabilecek kapasitede absorber dizaynı için, tek bir kanatçıklı borunun ısı transfer kapasitesini bulmak gerekir. Sonuçta bu değerleri Çizelge 6.1'deki kapasite değerleriyle karşılaştırarak kaç adet kanatçıklı boru kullanılacağını belirlemek gerekir.

Havanın kütle hızı;

$$G = m_{hava} / (\sigma \cdot A_{fr}) = (V_{hava} \cdot \rho_{hava} \cdot A_{fr}) / (a \cdot A_{fr}) \quad (5.73)$$

$$G = (16,6 \cdot 1,1614) / 0,534 \quad G = 36,1 \text{ kg/sm}^2$$

$$\text{Reynolds sayısı } Re = (G \cdot Dh) / V_{hava} \quad (5.74)$$

$$Re = (36,1)(3,63 \times 10^{-3}) / (184,6 \times 10^{-7})$$

$$Re = 7099$$

Şekil 5.12' den $J_h = 0,0049$ bulunur.

Dış hava ısı transfer katsayısı $h_{dış}$ ise;

$$h_{dış} = (J_h \cdot G \cdot C_{phava}) / Pr^{2/3} = (0,0049) (36,1) (1007) / (0,707)^{2/3} \quad (5.75)$$

$$h_{dış} = 224 \text{ W/m}^2\text{K bulunur.}$$

q_1 ; 1 adet kanatçıklı borunun ısı transferi

$$q_1 = N \cdot \eta_f \cdot h_{dış} \cdot 2\pi \cdot (r_{2c}^2 r_1^2) \cdot (T_{yüzey} - T_{\infty}) + h_{dış} \cdot (H - N_t) \cdot (2\pi r_1) \cdot (T_{yüzey} - T_{\infty}) \quad (5.76)$$

N ; kanatçık sayısı η_f ; kanat verimi

r_1 ; boru dışyarıçapı r_2 ; kanatçık yarıçapı

H ; boru boyu

Şekil 5.13' den;

$$r_1 = 5,1 \text{ mm.}$$

$$r_2 = 12,7 \text{ mm.}$$

$$t = 0,33 \text{ mm.}$$

$$L = 7,6 \text{ mm.}$$

$$r_{2c} = r_2 + 1/2 = 12,865 \text{ mm.}$$

$$L_c = L + 1/2 = 7,765 \text{ mm.}$$

$$A_p = L_c \cdot t = 2,56 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$L^{3/2} (h_{dış} / k_{\text{alüminyum}} - A_p) = 0,4 \text{ ve } \eta_f = 0,9 \text{ bulunur.}$$

Eş. 5.76' dan;

$$q_1 = (120)(0,9)(224)2n((12,865 \times 10^{-3})^2 - (5,1 \times 10^{-3})^2)(12) +$$

$$(224)(0,4 - (120)(0,33 \times 10^{-3})) 2\pi (5,1 \times 10^{-3})(12)$$

$$q_1 = 254,45 + 31$$

$$q_1 = 285,45 \text{ W.}$$

“Durum 5” için absorber kapasitesi Çizelge 6.1’ den; $Q_{abs} = 7628,7 \text{ W}$ bulunur.

$$\text{Sürekli boru adedi } N' = Q_{abs} / q_1 = 7628,7 / 285,45 = 26,7$$

$N' = 29$ alınabilir.

$$\text{“Durum 5” için absorber ısı kapasitesi } q' = N' \cdot q = 29 \times 285,45 = 8278 \text{ W}$$

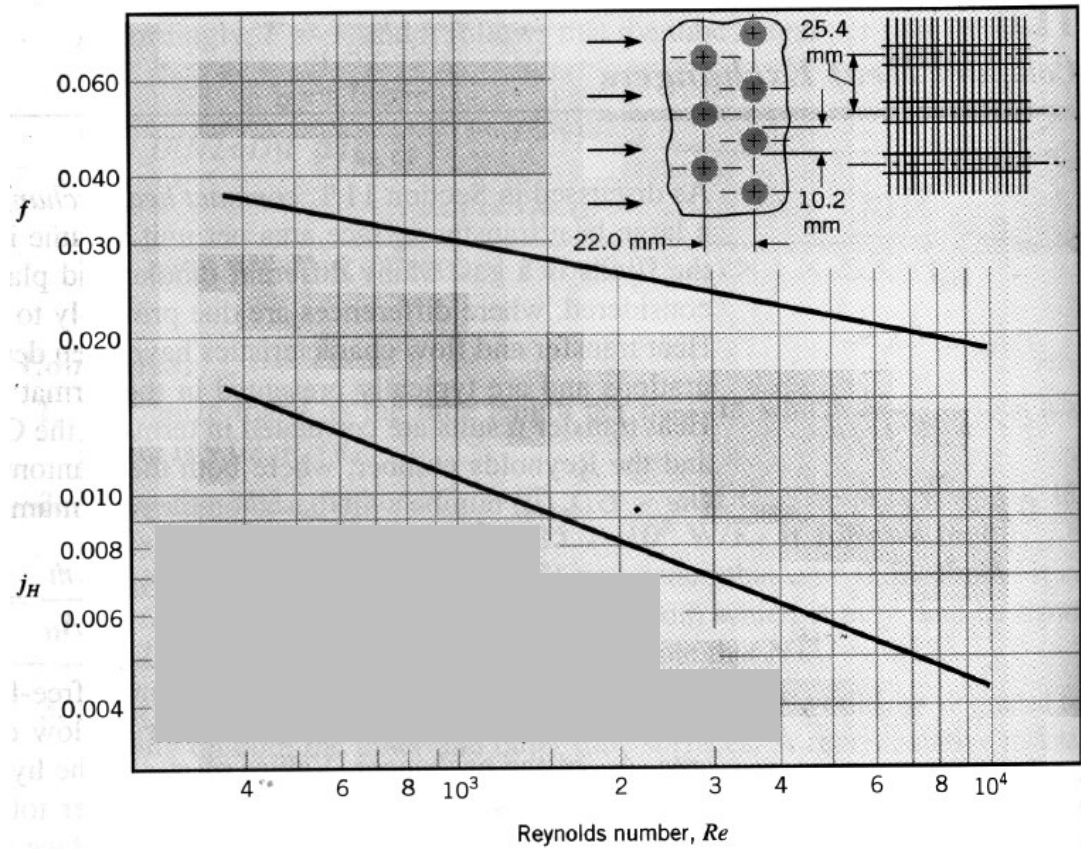
Absorber dizaynının, radyatör hava alma penceresine uygunluğunu kontrol etmek için ise Şekil 5.11’ den yararlanabiliriz. Şekil 5.11’ de boru eksenleri arası mesafeler 25,4 mm ve 22,0 mm verilmiştir. Ön boru sırasında 15, arka boru sırasında 14 adet boru bulunacağı düşünülürse absorber boyutları;

$$\text{Absorber uzunluğu; } L_{abs} = (15) (25,4) + 25,4 = 406 \text{ mm}$$

$$\text{Absorber yüksekliği; } H = 400 \text{ mm.}$$

$$\text{Absorber Kalınlığı; } T = (2) (22,0) + 22,0 = 70 \text{ mm. olur.}$$

Yapılan kabul değerleri ve hesaplamalar ışığında bulunan absorber ölçülerinin, araç radyatör alma penceresi ölçülerine ve sistem kapasitesine uygun olduğunu gösterir.



Şekil 5.12. Sürekli kanatlı borulu ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü[11]

Ayrıca yüksek hızlarda hava hızı da artacağından, absorberden atılan ısı miktarı da paralel olarak artacaktır.

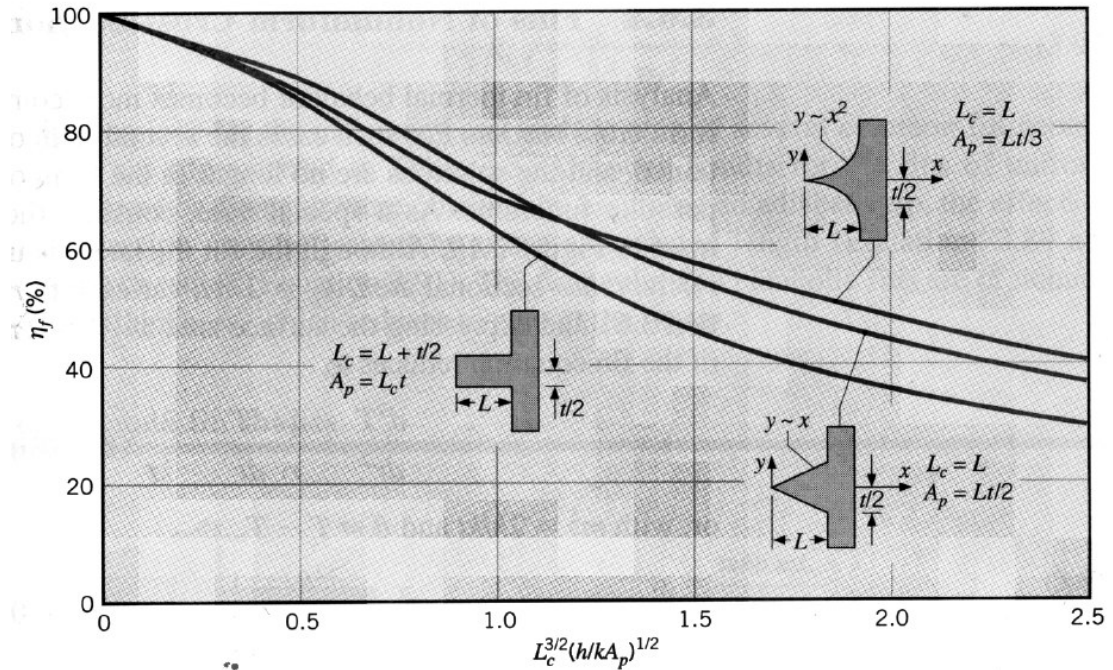
Boru dış çapı; $D_o = 10,2 \text{ mm}$

Kanat adımı = $315/\text{m}$

Hidrolik çap; $D_h = 3,63 \text{ mm}$

Kanat kalınlığı = $0,33 \text{ mm}$

Akış alanı/cephe alanı = $\sigma = 0,534$



Şekil 5.13. Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli kanat verimi [11]

5.4.4. Soğutma kapasitesinin hesaplanması

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin, soğutma kapasitesini hesaplarken öncelikle sistemde geçerli olan bir takım kabul değerlerinden söz etmemiz gerekir.

Bilindiği gibi klima sistemlerinde dikkat edilecek ilk husus, iklimlendirilecek mahaldeki konfor şartlarıdır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; insan için geçerli olan konfor sıcaklık değerleri 18 ila 22°C arasındadır. Araştırmada araç içi sıcaklığının 20°C olması öngörülmüştür. Dolayısıyla buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları ortam sıcaklığının 5 °C altında, yani $T_{buh} = 15\text{ °C}$ olacağı varsayılmıştır.

Kaynatıcı ısı transfer kapasitesi hesaplanırken de, sistemin özelliğinden dolayı soğutucu akışkan kaynatıcı çıkış sıcaklığı, $T_{kay} = 95\text{ °C}$ alınmıştır.

Sistemdeki absorber ve yoğuşturucu hava soğutmalı olduğundan ve buradan geçen soğutucu akışkanın en fazla ortam sıcaklığına kadar soğutulabilmesi düşünülürse soğutucu akışkan; buharlaştırıcı ve absorber çıkış sıcaklıkları ise $T_{abs} = T_{yog} = 35\text{ °C}$ alınabilir.

Tüm bu kabul değerleri ve Bölüm 5.1 Kaynatıcı, Yoğuşturucu, Buharlaştırıcı ve Absorber ile ilgili bağıntılar kullanılarak, sistemin soğutma kapasitesinin hesaplanması mümkündür.

Bölüm 5.1’ de açıklanan; sistemdeki ısı eşanjörlerinin kapasite hesaplarında kullanılan entalpi değerleri, sistemin o noktadaki konsantrasyon bilgileri ile bulunur. Sistemdeki konsantrasyon ve entalpi değerlerinin bulunmasında kullanılan tablo ve diyagramlar EK-3 - EK-8’ de sunulmuştur.

Soğutma kapasitesi örnek hesabında, “Durum 7” deki kaynatıcı ısı transfer kapasite bilgileri kullanılmıştır. Şekil 5.1’ i hatırlayacak olursak;

Nokta “1”;

$$T_1 = T_{\text{kay}} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$P_1 = P_{(\text{max}, T=35^{\circ}\text{C doyma basıncı})} = 5,622 \text{ kPa} \Leftrightarrow h_1 = 2669 \text{ kJ/kg}$$

Kızgın Buhar

Nokta “2”;

$$T_2 = T_{\text{yoğ}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_2 = P_1 = P_{\text{max}} = 5,622 \text{ kPa} \Leftrightarrow h_2 = 146,6 \text{ kJ/kg}$$

Doymuş Sıvı ($x=0$)

Nokta “3”;

$$T_3 = T_{\text{buh}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$P_3 = P_{(\text{max}, T=35^{\circ}\text{C doyma basıncı})} = 1,704 \text{ kPa} \Leftrightarrow h_3 = 146,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_2 \text{ (KV, } h = \text{sabit)}$$

Nokta “4” ;

$$T_4 = T_{\text{buh}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_4 = P_{\text{min}} = 1,704 \text{ kPa} \Leftrightarrow h_4 = 2528 \text{ kJ/kg}$$

Doymuş Buhar ($x = 1$)

Nokta “5”;

$$T_5 = T_{\text{abs}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_5 = P_{\text{min}} = 1,704 \text{ kPa} = 12,78 \text{ mmHg} \Leftrightarrow X_f = 48,75 \text{ },$$

$$\text{LiBr-Su} \quad h_5 = 70 \text{ kJ/kg}$$

Nokta “8” ;

$$T_8 = T_{\text{kay}} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_8 = P_{\text{max}} = 5,622 \text{ kPa} = 42,16 \text{ mmHg} \Leftrightarrow X_z = 64,5 \text{ },$$

$$\text{LiBr-Su} \quad h_8 = 232 \text{ kJ/kg}$$

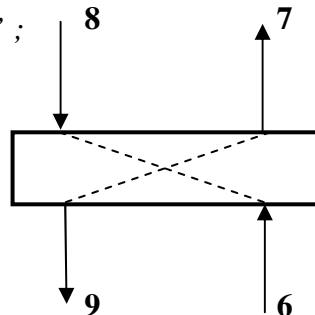
Dolaşım oranları $WZ = m_8/m_1$ ve $WF = m_7/m_1$ olmak üzere,

$X_7 = X_5 = X_f$ ve $X_9 = X_8 = X_z$ eşitliğinden;

$$WZ = X_7/(X_8 - X_7) = X_f/(X_z - X_f) = 48,75 / (64,5 - 48,75) \Leftrightarrow WZ = 3,095 \quad (5.77)$$

$$WF = X_8/(X_8 - X_7) = X_z/(X_z - X_f) = 64,5 / (64,5 - 48,75) \Leftrightarrow WZ = 4,095 \quad (5.78)$$

Nokta “9” ;



$$P_6 = P_{\text{max}}$$

$$X_6 = X_7 = X_f = 48,75 \text{ } \%$$

$$\epsilon_{\text{eşanjör}} = (h_8 - h_9) / (h_8 - h_{9s})$$

$\epsilon_{\text{eşanjör}}$; Isı eşanjörünün etkinlik katsayısı

h_s ; İdeal entalpi değeri

“9” noktasından ısı eşanjörünü terk eden soğutucu akışkanın sıcaklığı en fazla “6” noktasındaki sıcaklık değerine kadar düşeceği öngörülerek $T_9=T_6$ ve $T_9= 35^\circ\text{C}$ olarak kabul edilir ve “9” noktasının gerçek değerleri hesaplanabilir.

Ayrıca ısı eşanjörünün etkinlik katsayısı da “0,8” olarak kabul edilmiştir.

$$T_9 = 35^\circ\text{C}$$

$$X_9 = X_z = 64,5 \%$$

$$h_{9s} = 150 \text{ kJ/kg}$$

$$\epsilon_{\text{eşanjör}} = 0,8$$

$$\epsilon_{\text{eşanjör}} = (h_8 - h_9) / (h_8 - h_{9s})$$

(5.79)

$$0,8 = (232 - h_9) / (232 - 150)$$

$$h_9 = 166,4 \text{ kJ/kg}$$

$$X_9 = X_z = 64,5 \% \text{ ve } T_9 = 54^\circ\text{C} \text{ bulunur.}$$

Nokta “7” ;

Isı Eşanjörü LiBr - Su Dolaşım Oranları dengesi;

$$WF.(h_7 - h_6) = WZ.(h_8 - h_9)$$

(5.80)

$$4,095. (h_7 - 70) = 3,095. (232 - 166,4) \Rightarrow h_7 = 119,58 \text{ kJ/kg} \quad (5.81)$$

ve $X_7 = X_f = 48,75\%$ olduğundan $T_7 = 57,5^\circ\text{C}$ bulunur.

Sonuçta ısı eşanjörü giriş ve çıkış sıcaklıkları şu şekildedir;

$$T_6 = 35^\circ\text{C} - T_7 = 57,5^\circ\text{C} - T_8 = 90^\circ\text{C} - T_9 = 54^\circ\text{C}$$

Ayrıca sistemin özelliğinden dolayı;

$$h_6 = h_5 = 70 \text{ kJ/kg ve } h_{10} = h_9 = 166,4 \text{ kJ/kg dır.}$$

Soğutucu akışkan ve eriyik debilerini hesaplayacak olursak; Termodinamiğin I. kuralının kaynatıcıya uygulanmasından yararlanacağız. Eş. 5.9 hatırlandığında;

$$Q_{\text{kay}} = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7$$

ve denklemin her iki tarafı m_1 ' e bölüldüğünde eşitlik şu hali alır;

$$q_{\text{kay}} = h_1 + WZ h_8 - WF h_7 \text{ değerler yerlerine konulduğunda ise; } \quad (5.82)$$

$$q_{\text{kay}} = 2669 + (3,095).(232) - (4,095).(119,58)$$

$$q_{\text{kay}} = 2897,36 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Aynı zamanda ($q_{\text{kay}} = Q_{\text{kay}}/m_1$) olduğundan, Q_{kay} değeri biliniyorsa, m_1 hesaplanabilir.

$m_1 = Q_{\text{kay}} / q_{\text{kay}}$ ise ve $WZ = m_8 / m_1$ ve $WF = m_7 / m_1$ eşitliklerinden;

$$m_1 = 3,9508 \times 10^{-3} \text{ kg/s.}$$

$$m_8 = 12,228 \times 10^{-3} \text{ kg/s.}$$

$$m_7 = 16,178 \times 10^{-3} \text{ kg/s. bulunur.}$$

5.4.5. Soğutma yükü

Sistemin soğutma yükü, buharlaştırıcıda meydana gelen ısı transferi ile eşdeğerdir.

$$Q_{\text{buh}} = 3,9508 \times 10^{-3} (2528 - 146,6) \quad (5.83)$$

$$Q_{\text{buh}} = 9,4084 \text{ kW}$$

Yoğuşturucu ısı transferi

Hava soğutmalı yoğuşturucudan atılan ısı miktarı şu şekilde hesaplanabilir;

$$Q_{\text{yoğ}} = m_1 (h_2 - h_1) \quad (5.84)$$

$$Q_{\text{yoğ}} = 3,9508 \times 10^{-3} (146,6 - 2669)$$

$$Q_{\text{yoğ}} = 9,9647 \text{ kW}$$

Absorber ısı transferi

Hava soğutmalı absorberden atılan ısı miktarı şu şekilde hesaplanabilir;

$$Q_{\text{abs}} = m_5 h_5 - m_4 h_4 - m_{10} h_{10} \quad (5.85)$$

Ve $m_{10} = m_8$, $m_5 = m_7$ ve $m_4 = m_1$ olmak üzere,

$$Q_{\text{abs}} = (16,178 \times 10^{-3})(70) - (3,9508 \times 10^{-3})(2528) - (12,228 \times 10^{-3})(166,4)$$

$$Q_{\text{abs}} = 10,8899 \text{ kW}$$

Isı transfer değerlerinin kontrolü; Eş. 5.19b'den enerji korunumu yardımıyla yapılabilir.

$$Q_{\text{kay}} + Q_{\text{buh}} = Q_{\text{abs}} + Q_{\text{yoğ}}$$

$$11,4470 \text{ kW} + 9,4084 \text{ kW} = 10,8899 \text{ kW} + 9,9647 \text{ kW}$$

$$20,8554 \text{ kW} \approx 20,8546 \text{ kW}$$

Soğutma Tesir Katsayısı Eş. 5.29' da belirtildiği üzere;

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{buh}}}{Q_{\text{kay}}} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{buh}}}{Q_{\text{kay}}} = \frac{9,4084 \text{ kW}}{11,447 \text{ kW}} \Rightarrow \text{COP} = 0,8219 \text{ bulunur}$$

5.4.6. Kaynatıcı basınç kayıpları

Egzoz gazı basıncı P_{exh} , ideal gaz denkleminde bulunur.

$$P_{\text{exh}} = R_{\text{exh}} \cdot T_{\text{exh}} \cdot \rho_{\text{exh}} \quad (5.86)$$

R_{exh} :Gaz sabiti (egzoz gazı).

T_{exh} : Egzoz gazı sıcaklığı. (K)

ρ_{exh} : Egzoz gazı yoğunluğu (kg/m^3)

R_{exh} gaz sabiti ise $R_{\text{exh}} = R_u / M_{\text{exh}}$ formülünden bulunur.

R_u : Üniversal gaz sabiti = 8,315 kJ/kmol.K

M_{exh} : Egzoz gazı molar ağırlığı ise;

$M_{\text{exh}} = \sum M_i \times N_i = 15,697273 \text{ kg/kmol}$. Bölüm 5' de hesaplanmıştı.

$R_{\text{exh}} = R_u / M_{\text{exh}} = 8,315 \text{ kJ/kmol.K} / 15,697273 \text{ kg/kmol}$.

$R_{\text{exh}} = 0,5297 \text{ kJ/kgK}$ bulunur.

İdeal gaz denkleminde, her bir konumdaki sıcaklık ve yoğunluk değerleri vasıtasıyla (Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3) egzoz gazı basınç değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.7' de sunulmuştur.

Radyal kanatçıklı borularda basınç kayıp denklemi;

$$\Delta P = \frac{4f \cdot L_t \cdot m^2}{2 \cdot \rho \cdot d_e} \quad (5.87)$$

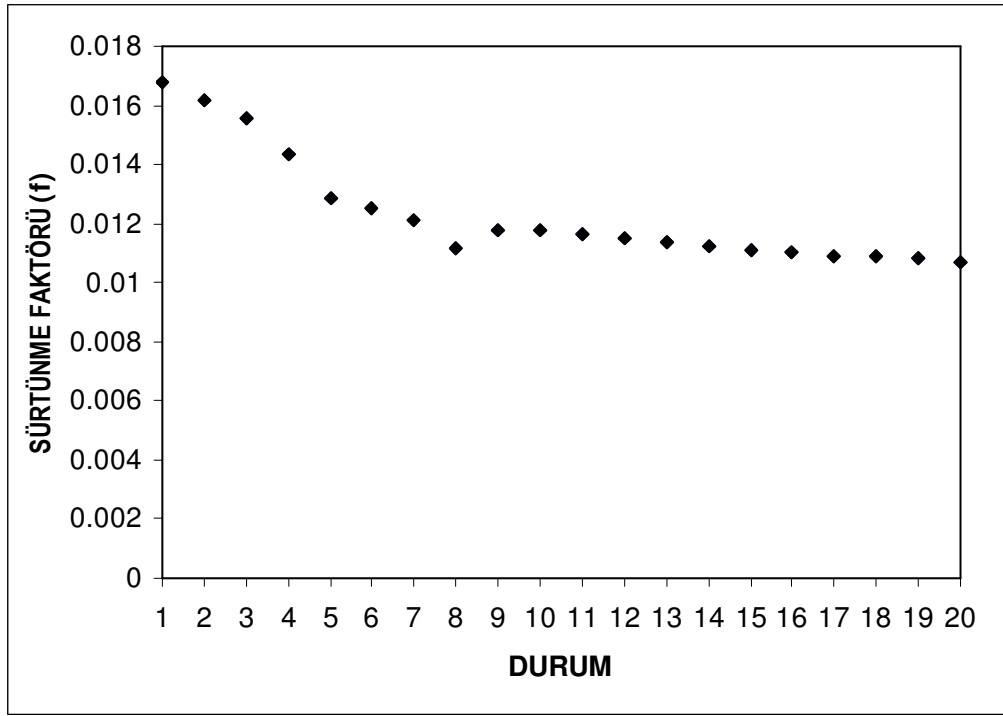
$$f = 0,00674 + 8,164 / \text{Re}^{0,93} \text{ olarak tanımlanmıştır.} \quad (5.88)$$

Bölüm 5.4.2’ deki değerler kullanıldığında bulunan basınç düşümü değerleri de yine Çizelge 5.7’ de sunulmuştur.

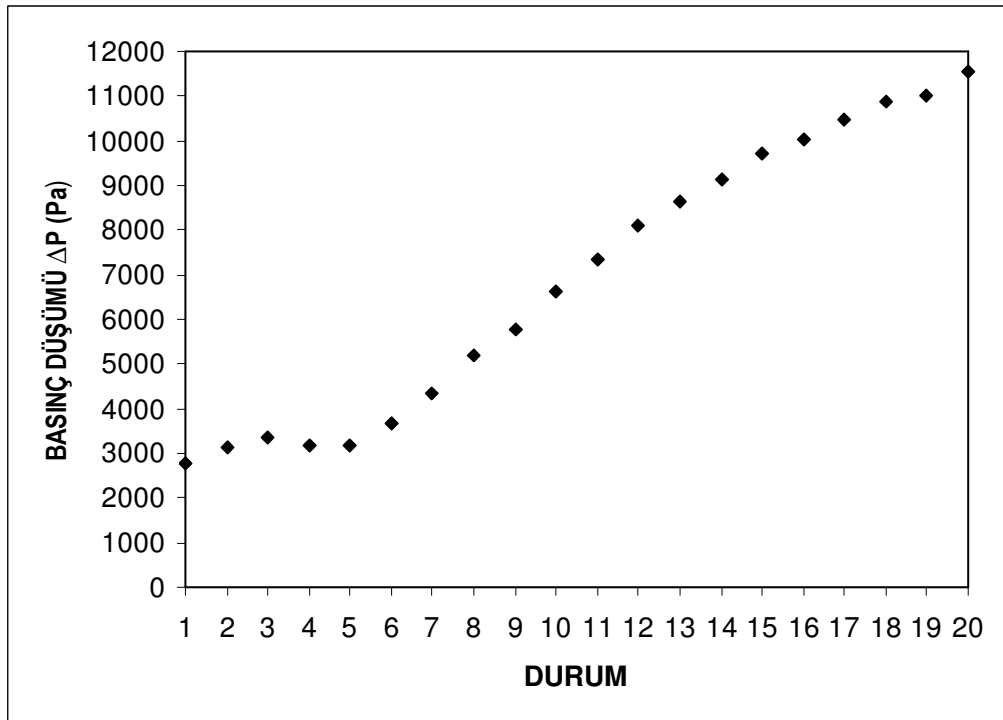
Diğer konum bilgileri için de yukarıdaki işlemler tekrarlanırsa Çizelge 5.7 oluşur. Bulunan değerler motor durumlarına göre Şekil 5.14 ve 5.15 grafiklerinde görülebilir.

Çizelge 5.7. Basınç düşümü – basınç – durum bilgileri

Durum	f	ΔP (Pa)	P_{exh} (Pa)
1	0,01678	2773,5	194311
2	0,01616	3145,1	195718
3	0,01556	3378,4	193889
4	0,01436	3196,9	193960
5	0,01289	3184,6	194021
6	0,01250	3670,2	193951
7	0,01214	4331,6	193574
8	0,01119	5191,9	193925
9	0,01180	5794	193508
10	0,01177	6614,1	192473
11	0,01163	7351,6	191643
12	0,01149	8117,4	191172
13	0,01135	8638,5	190769
14	0,01121	9147,9	193168
15	0,01110	9732,6	189882
16	0,01104	10030,3	189482
17	0,01092	10476,2	189124
18	0,01091	10889,9	187734
19	0,01081	11037,1	188170
20	0,01068	11567,7	188590



Şekil 5.14. Sürtünme faktörü (f) – durum grafiği



Şekil 5.15. Basınç düşümü ΔP (Pa) – durum grafiği

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin analizi için gerekli olan bilgiler Bölüm 5' de açıklanan yöntemlerle bulunur. Bu yöntemler kullanılarak soğutma kapasitesi hesaplarının, diğer durum bilgileri kullanılarak tekrarlanması halinde ise elde edilecek veriler Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2' de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Durumlara göre akışkan debileri

Durum	m_1 Soğutucu Akışkan Debisi kg/s (10^{-3})	m_7 Fakir Eriyik Debisi kg/s (10^{-3})	m_8 Zengin Eriyik Debisi kg/s (10^{-3})
1	1,3579	5,5605	4,2026
2	1,9011	7,7852	5,8841
3	2,2696	9,2940	7,0244
4	2,5	10,2375	7,7375
5	2,7677	11,3340	8,5663
6	3,2238	13,2010	9,9772
7	3,9508	16,1780	12,2272
8	4,6570	19,0700	14,4130
9	5,6634	23,1310	17,5276
10	6,7350	27,5800	20,8450
11	7,6300	31,2400	23,6100
12	8,4584	34,6370	26,1786
13	9,1290	37,3840	28,2550
14	9,8738	40,4320	30,5582
15	10,3560	42,4000	32,4400
16	10,7080	43,8500	33,1420
17	11,2150	45,9270	34,7120
18	11,6870	47,8570	36,1700
19	12,0640	49,4000	37,3360
20	12,4540	51	38,5460

Çizelge 6.2. Durumlara göre kapasite ve soğutma tesir katsayıları

Durum	$Q_{yoğ}$ kW	Q_{buh} kW	Q_{abs} kW	Q_{kay} kW	COP
1	3,4252	3,2337	3,7429	3,9343	0,8219
2	4,7953	4,5273	5,2401	5,5083	0,8219
3	5,7248	5,4048	6,2557	6,5758	0,8219
4	6,3060	5,9535	6,8911	7,2445	0,8217
5	6,9812	6,5910	7,6287	8,0192	0,8219
6	8,1317	7,6771	8,8860	9,3406	0,8219
7	9,9647	9,4084	10,8899	11,4470	0,8219
8	11,7468	10,8758	12,8363	13,4940	0,8060
9	14,2854	13,4868	15,6103	16,4090	0,8219
10	16,9883	16,0387	18,5640	19,5140	0,8219
11	19,5459	18,1700	21,0310	22,1060	0,8219
12	21,3355	20,1428	23,3142	24,5070	0,82189
13	23,0270	21,7400	25,1630	26,4510	0,8219
14	24,9050	23,5130	27,2150	28,6070	0,8219
15	26,1230	24,6620	28,5450	30,0050	0,8219
16	27,0100	25,5000	29,5150	31,0260	0,8219
17	28,2890	26,7070	30,9120	32,4950	0,8218
18	29,4790	26,7070	32,2130	33,8160	0,7890
19	30,4300	28,7290	33,2580	34,9540	0,8219
20	31,4140	29,6580	34,3270	36,0840	0,8219

Araştırmada, mevcut otomobil klima sistemlerine alternatif olan, araç egzoz gazı sıcaklığını kullanarak çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi incelenmiştir. Elde edilen sistemin kapasite ve performans değerleri ise çizelgeler ve grafikler yardımı ile anlatılabilir.

Araştırmada, 1400 cc. motor hacimli bir model üzerinde çalışılmıştır. Tofaş AŞ. Ar-Ge departmanı tarafından düzenlenen motor ömür deneyi esas alınmıştır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde Lityumbromür-Su soğurucu/soğutucu akışkan çifti kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda zengin eriyik konsantrasyonu %64,50 fakir eriyik konsantrasyonu % 48,75 bulunmuştur.

Teorik Hesaplama Sonuçları göstermiştir ki;

1. Egzoz gazı sıcaklığı arttıkça, sistemin soğutma kapasitesi de artmaktadır.
2. Soğutucu akışkan debisi arttıkça, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu kapasiteleri de artmaktadır.
3. Düşük egzoz gazı sıcaklığı, düşük soğutucu akışkan debisine ve dolayısıyla daha az soğutma etkisine sebep olur.
4. Sistemin soğutma tesir katsayısı $COP = 0,82$ olarak hesaplanmıştır.
5. Egzoz gazı sıcaklığı ve Reynold's sayısının artmasından dolayı, kaynamada oluşan basınç düşümü de artmaktadır. Fakat bu artış sistemin çalışmasını çok fazla etkilememiştir. Bu yüzden ihmal edilir. (Bkz. Bölüm 5.4.6)

Mevcut otomobil klima sistemlerinde kompresör gücünü motordan aldığından, motor performansını ve yakıt sarfiyatını olumsuz yönde etkilemektedir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki, uygun kaynatıcı dizaynı sayesinde bu olumsuz etkilerden kurtulmak mümkündür.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin performansı incelendiğinde, yapılan hesaplamalar göstermiştir ki; egzoz gazından çekilen ısı miktarı arttıkça, kaynatıcıdan soğutucu akışkana ısı transferi de artar. Dolayısıyla, soğutucu akışkan debisi artar ve bu da sistemin soğutma kapasitesini arttırır. Eğer düşük basınç kayıplı aynı zamanda yüksek ısı transfer etkili bir kaynatıcı dizayn edilebilirse, düşük hız ve motor devirlerinde bile yeterli soğutma kapasitesine ulaşılabilir. Bölüm 5.4.2 ve 5.4.3' deki hesaplamalar doğrultusunda, araştırmadaki kaynatıcı ve absorber tasarımları mevcut sistemin soğutma kapasitesini karşılamaktadır.

Çizelge 6.2 durum 20'den görülebileceği üzere, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin sağlayabileceği azami soğutma yükü - araç 6310 devir/dakika da 29 kW dır. Fakat her zaman bu soğutma kapasitesi değerine ulaşmak mümkün değildir. Öncelikle

aracın belli bir süreden fazla 6310 devir/dakika da kullanılamayacağı ve teorik hesaplamaların pratik hesaplarla farklılıklar göstereceği unutulmamalıdır.

Mevcut otomobil klimalarındaki en pahalı ekipman kompresördür. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi kullanıldığında kompresör yerine iki tane ısı değiştiricisi (absorber ve kaynatıcı) eklendiğinde bile ilk yatırım maliyeti oldukça düşmektedir. Ayrıca Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin yakıt sarfiyatını arttırmadığı, hafif ve sessiz çalıştığı unutulmamalıdır. Sistemde hareketli parçaları bulunan tek ekipman yalnızca çok düşük kapasitedeki eriyik pompasıdır. Dolayısıyla sistemin bakım ve onarım maliyeti de düşecektir.

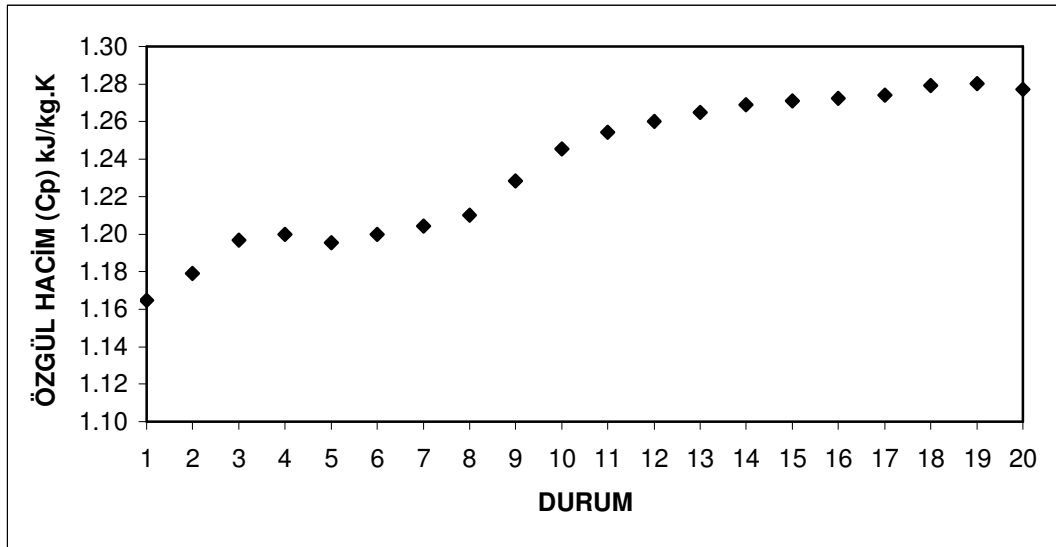
Kare veya dairesel kanatçıklı kaynatıcı dizaynı ile egzoz gazının basınç düşümü azaltıldığında motordaki atık ısıdan daha fazla verim alınacaktır. Kaynatıcı tasarımında galvaniz yada paslanmaz çelik malzemeler kullanıldığında egzoz gazının korozyon etkisi azaltılabilir fakat bu maliyeti de arttıracaktır.

Mevcut klima sisteminden kompresörü kaldırmakla motor grubunda boş yer yaratılacaktır. Fakat kaynatıcının egzoz manifoldu çıkışına yerleştirilmesinde egzoz gazı basınç düşümü ile ilgili problemler yaşanabilir. Bölüm 5.4.6' da kaynatıcıda oluşan egzoz gazı basınç kayıp değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerden elde edilen sonuca göre; kaynatıcının egzoz gazı basınç değerine olumsuz bir etkisi olmayacak kadar küçük değerlerde olduğu görülmektedir.

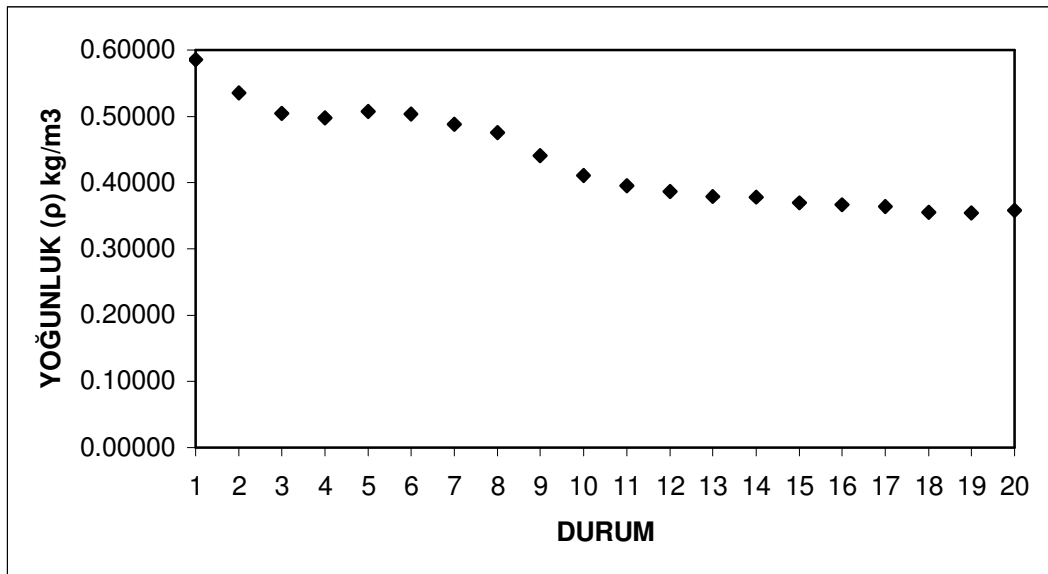
Absorber ve yoğunlaştırıcı araç radyatörünün arkasına yerleştirilerek, araç rölantide çalışırken dahi mevcut fan gücünün artırılması ile; absorber ve yoğunlaştırıcı dan daha fazla verim elde edilebilir.

Şekil 6.1 - Şekil 6.5' de egzoz gazının termodinamik özelliklerinin durum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Bölüm 5' de hesaplanan termodinamik özelliklerde, egzoz gazındaki sıcaklık değişimine göre her durum değeri için ayrı değerler bulunmuştur. EK-8' deki atmosfer basıncındaki gazların termodinamik özellikleri incelendiğinde, sıcaklık değişimlerine paralel olarak özgül hacim, dinamik viskozite, ısı iletkenlik ve kinematik viskozite değerlerinde artış, yalnızca yoğunluk

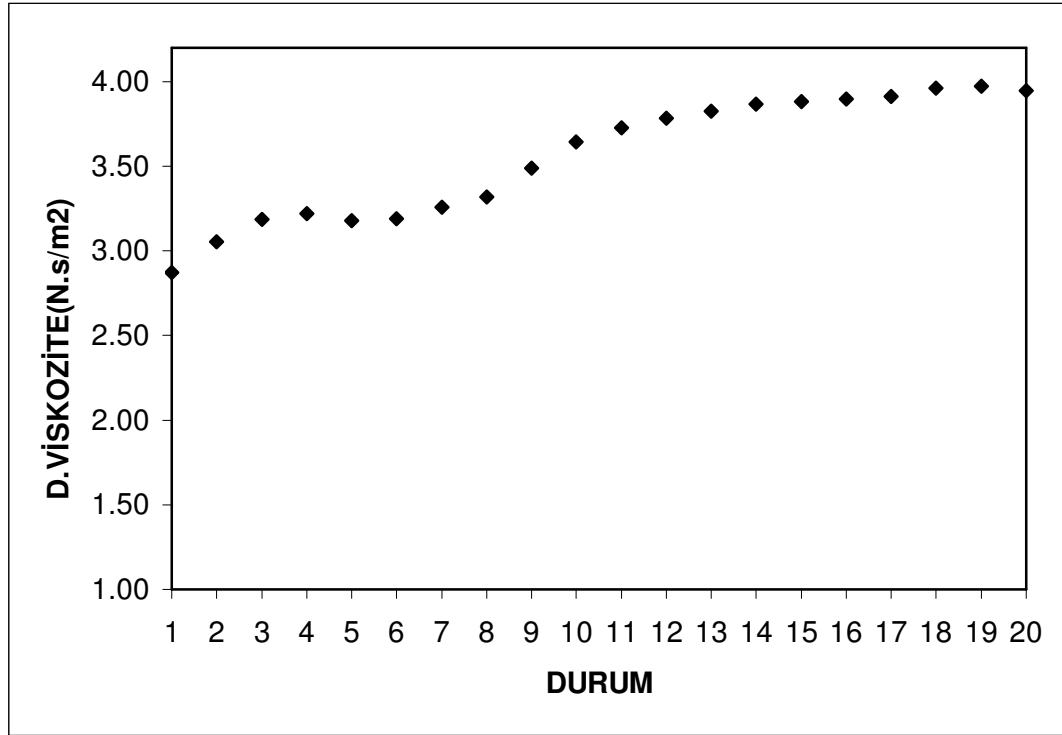
değerlerinde düşüş görülür. Dolayısıyla söz konusu grafiklerde bu prensip ile paralellik gösterir.



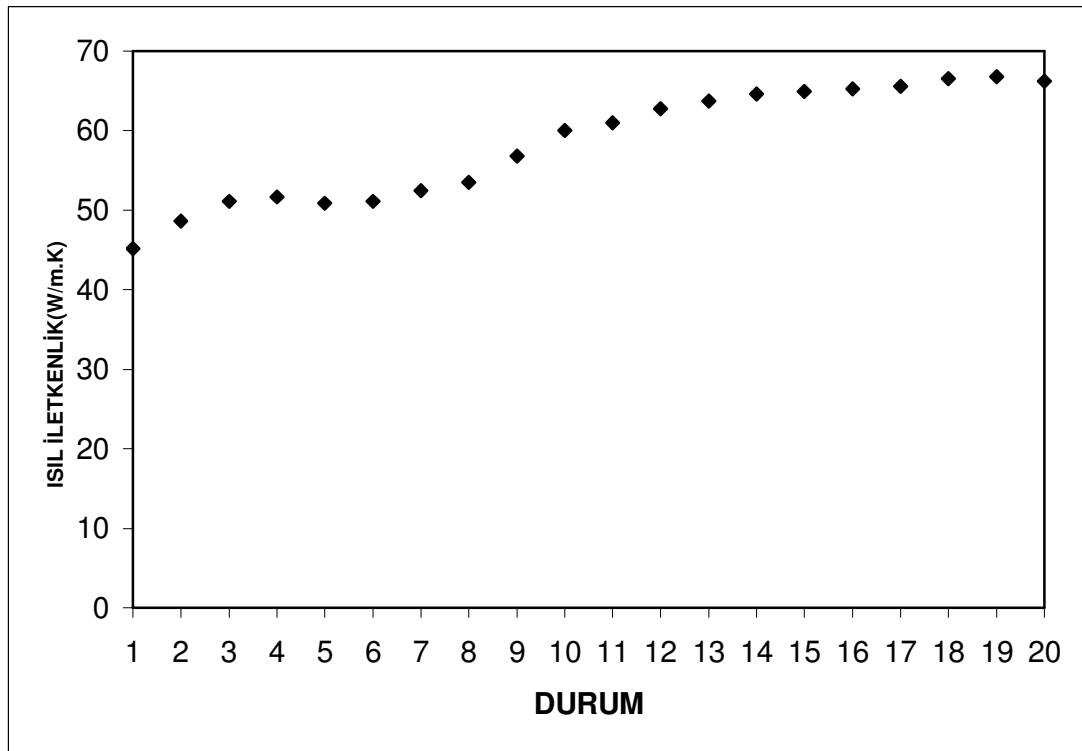
Şekil 6.1. Özgül hacim(c_p) – Durum grafiği



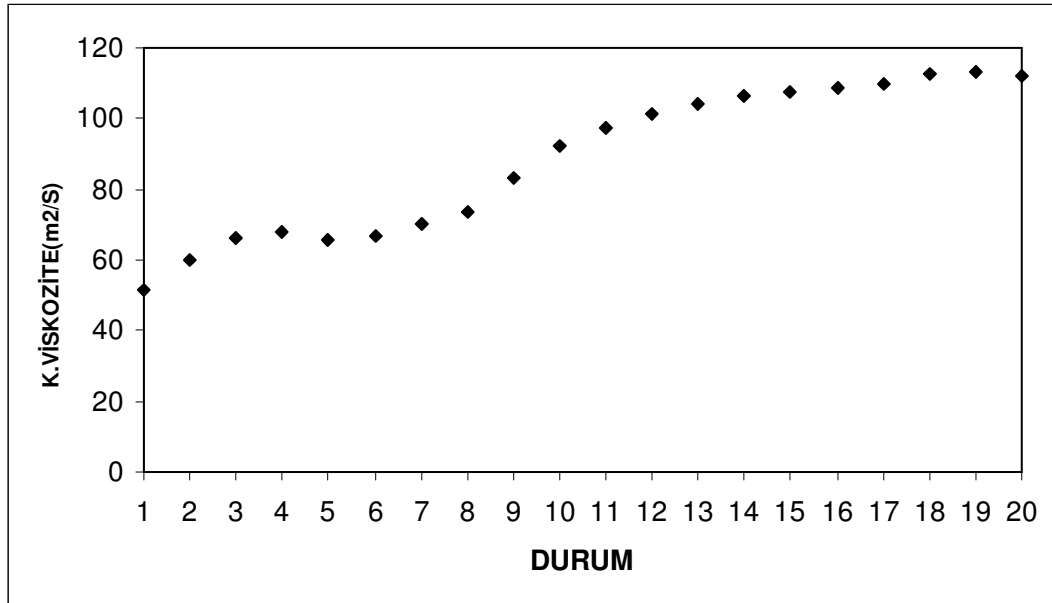
Şekil 6.2. Yoğunluk (ρ) – Durum grafiği



Şekil 6.3. Dinamik viskozite (μ) – Durum grafiği

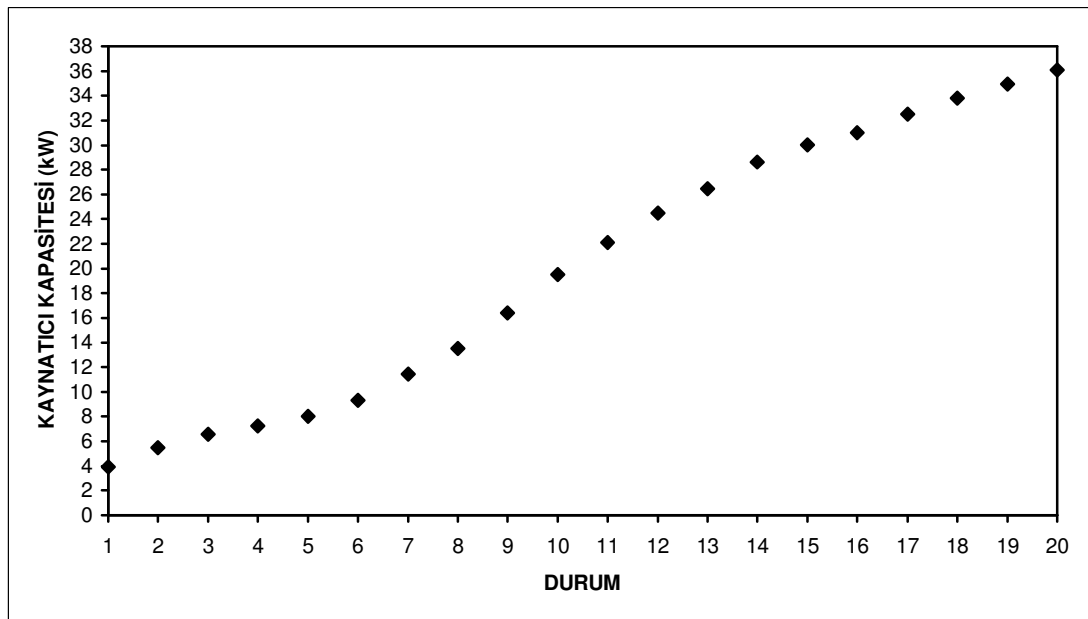


Şekil 6.4. Isıl iletkenlik (k) –Durum grafiği



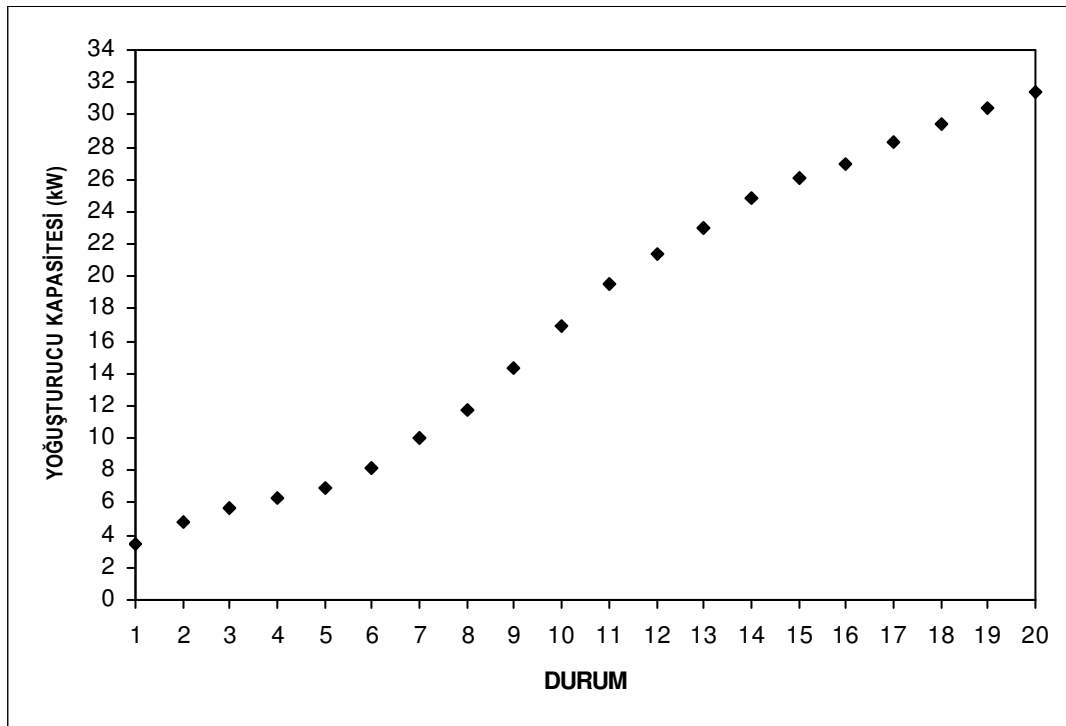
Şekil 6.5. Kinematik viskozite (v) – Durum grafiği

Şekil 6.6’ da kaynatıcı kapasitesinin konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Konum değerleri ve egzoz gazı sıcaklığının orantılı olduğu düşünülürse, kaynatıcı kapasitesinin; egzoz gazı sıcaklığının ve egzoz gazı debisinin artışı ile paralel olduğu görülür.

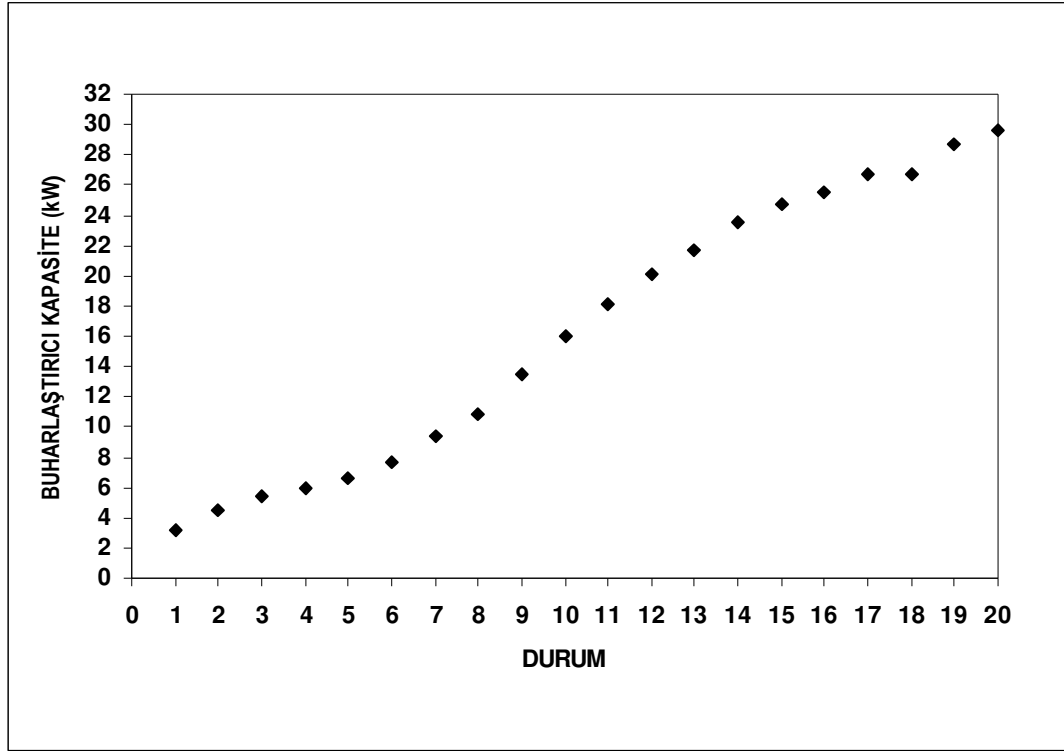


Şekil 6.6. Kaynatıcı kapasitesi (Qkay) – Durum grafiği

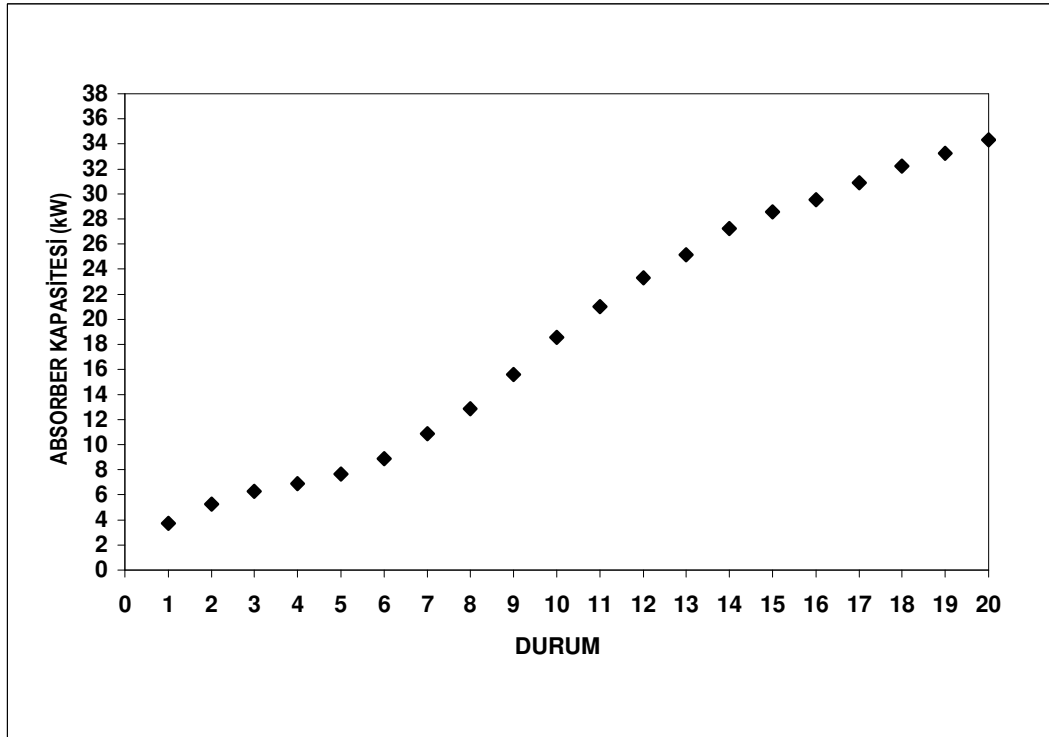
Şekil 6.7., Şekil 6.8, ve Şekil 6.9’ da sırasıyla yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorber kapasitelerinin durum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere tüm kapasite değerlerinin durum değerleri değişimi ile paralel olduğu görülür. Eş. 5.19b’ deki Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi enerji dengesi ve Eş. 5.13 hatırlandığında, sistemin özelliğinden dolayı kaynatıcı kapasitesinin artışı, absorber, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasitelerinin artmasına sebep olduğu görülür. Bunun sebebi de egzoz gazı sıcaklığının artmasıdır.



Şekil 6.7. Yoğuşturucu kapasitesi ($Q_{yoğ}$) – Durum grafiği

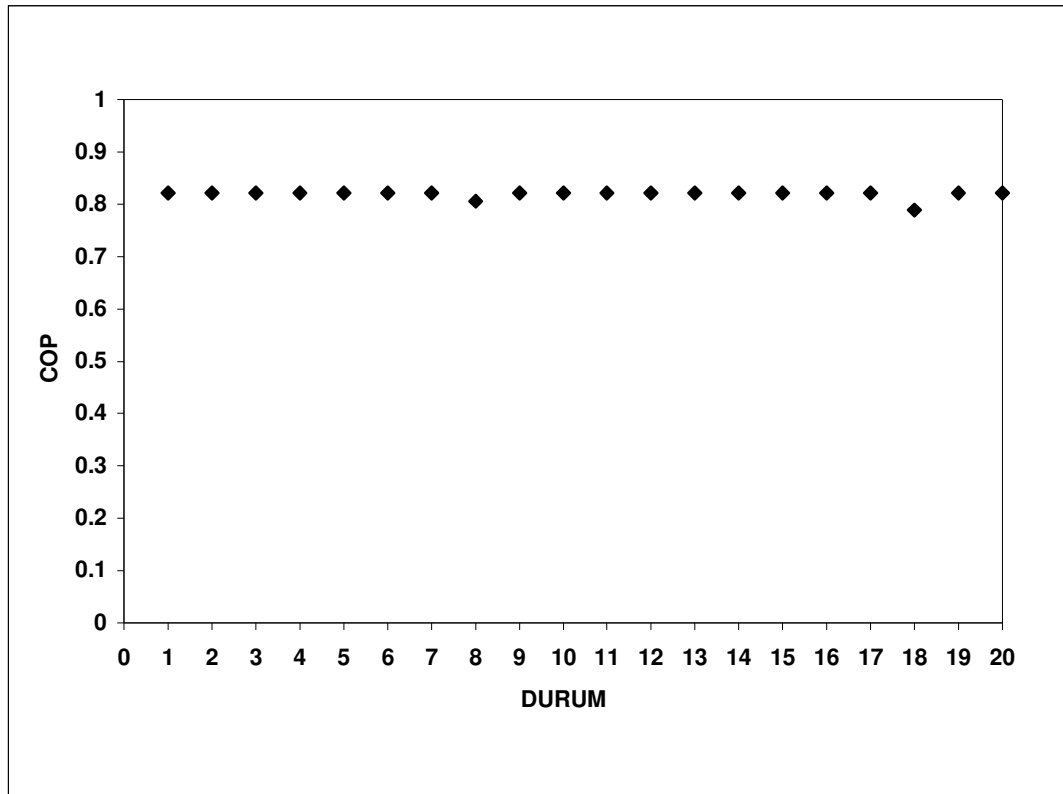


Şekil 6.8. Buharlaştırıcı kapasitesi (Q_{buh}) – Durum grafiği



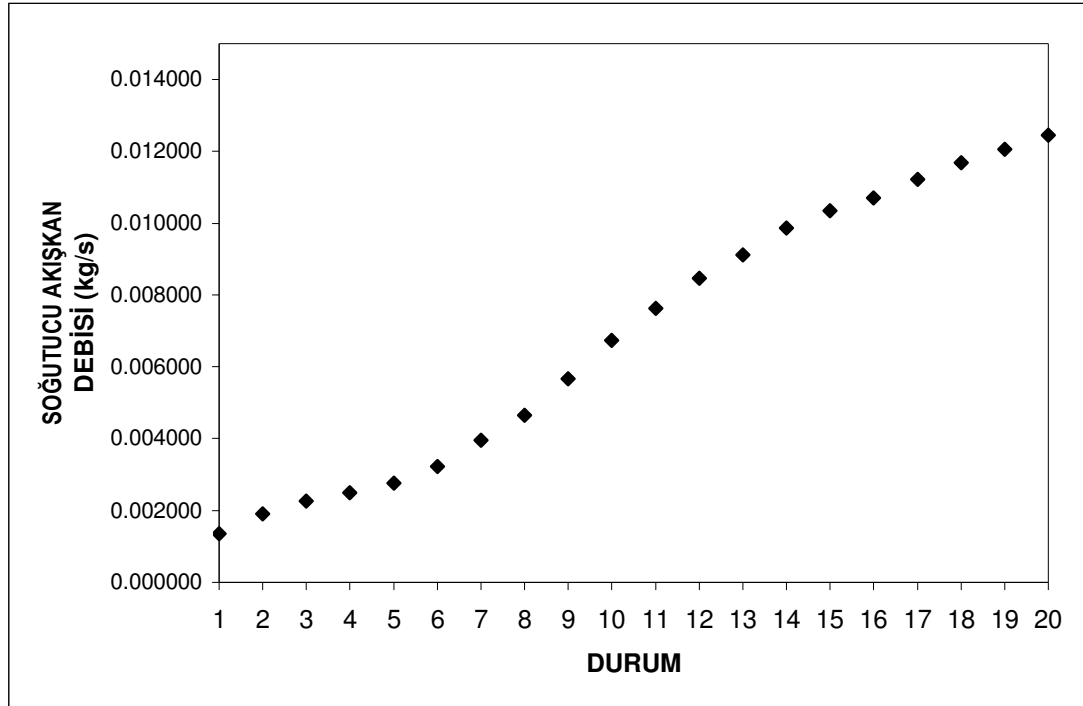
Şekil 6.9. Absorber kapasitesi (Q_{abs}) – Durum grafiği

Şekil 6.10’ da sistemin soğutma tesir katsayısının durum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere sistemin soğutma tesir katsayısı, egzoz gazı sıcaklığının artışına rağmen, sistemdeki enerji dengesinden dolayı sabit kalmıştır. Soğutma tesir katsayısı; buharlaştırıcı ve kaynatıcı kapasitelerinin oranıdır. Her iki kapasite değeri de egzoz gazı sıcaklığının değerindeki değişimle benzer oranda değiştiğinden COP değeri sabit kalmaktadır.

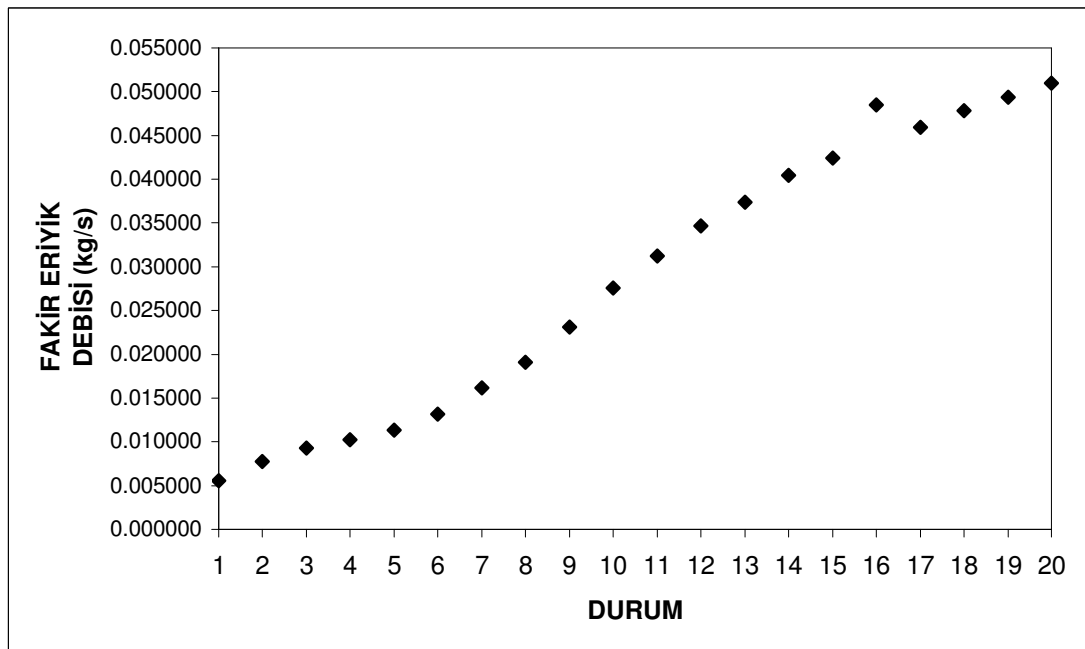


Şekil 6.10. Soğutma tesir katsayısı (COP) – Durum grafiği

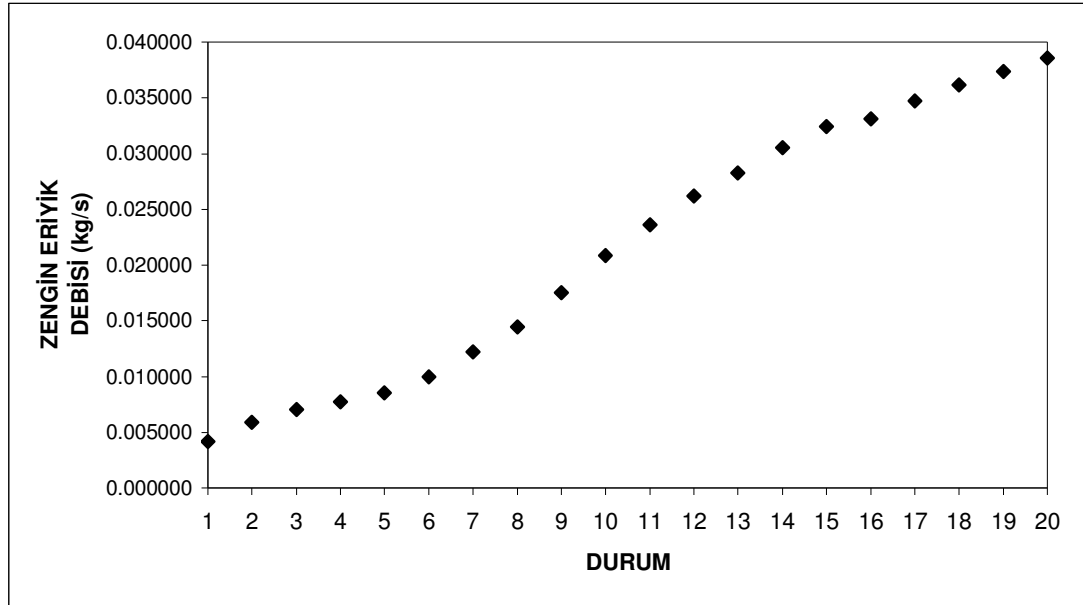
Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’ de soğutucu akışkan ve eriyik debilerinin durum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Tüm debi değerleri, durum değerlerindeki değişim ile paralellik göstermiştir. Bunun nedeni ise sistem kapasite değerlerinin egzoz gazı sıcaklığına paralel olarak artışı ve ısı transferinin akışkan debisi ile doğru orantılı olmasıdır.



Şekil 6.11. Soğutucu akışkan debisi (m_1) – Durum grafiği

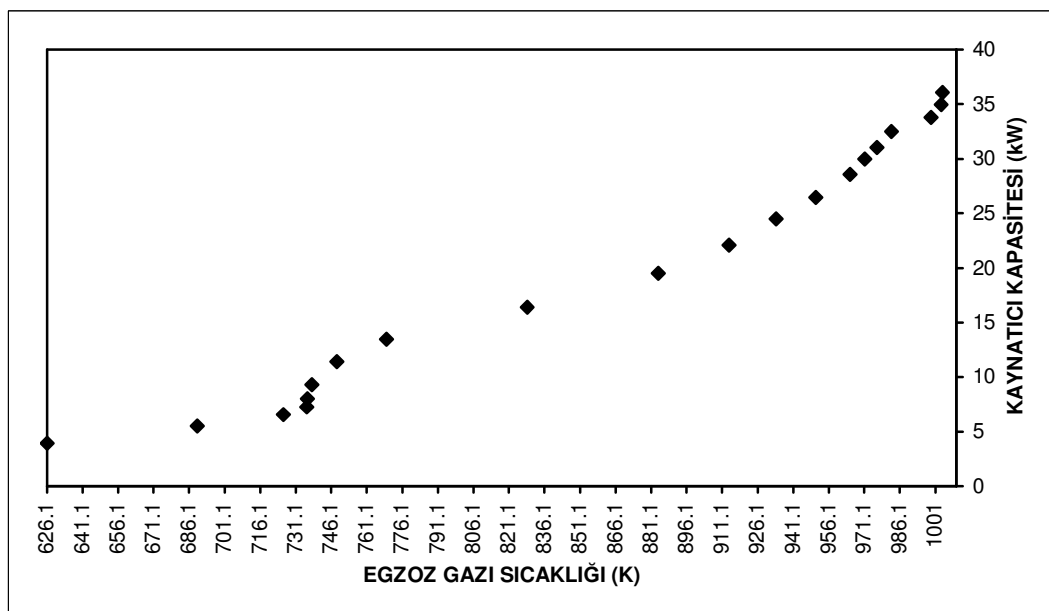


Şekil 6.12. Fakir eriyik debisi (m_7) – Durum grafiği



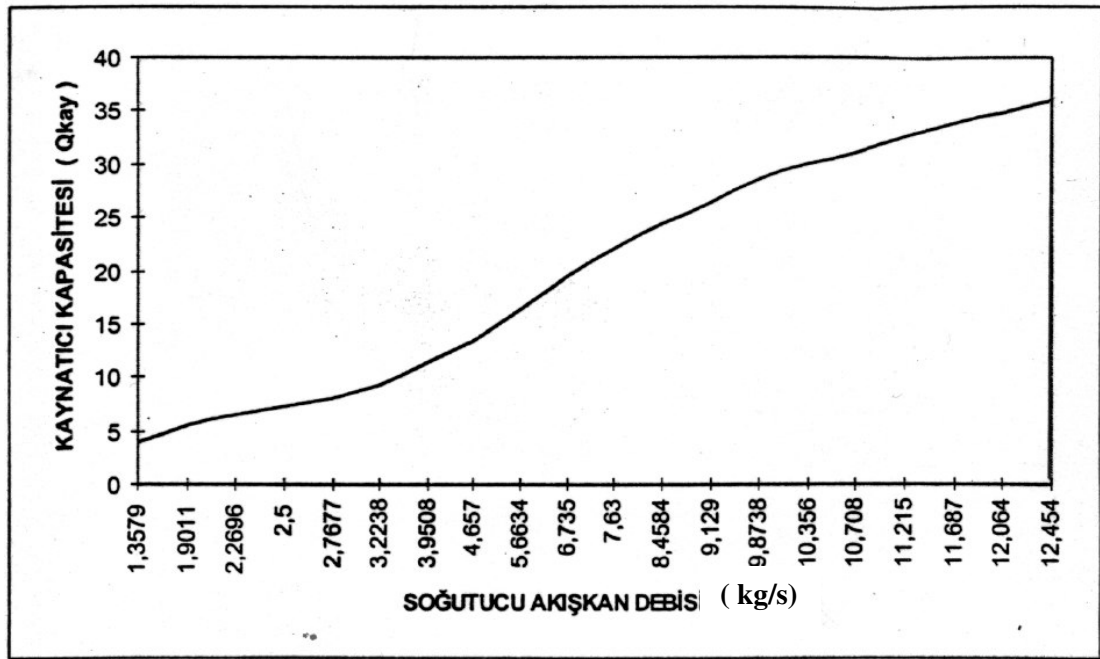
Şekil 6.13. Zengin eriyik debisi (m_8) – Durum grafiği

Şekil 6.14’ de kaynatıcı kapasitesinin, egzoz gazı sıcaklığına göre değişimi incelenmiştir. Şekil 6.14 ve Şekil 6.6 karşılaştırıldığında, grafikler arasında bir benzerlikten söz edilebilir. Bunun nedeni, durum değerlerindeki belirleyici faktörün egzoz gazı sıcaklığı olmasıdır. Ayrıca ısı transferinin sıcaklıkla doğru orantılı olduğu unutulmamalıdır.

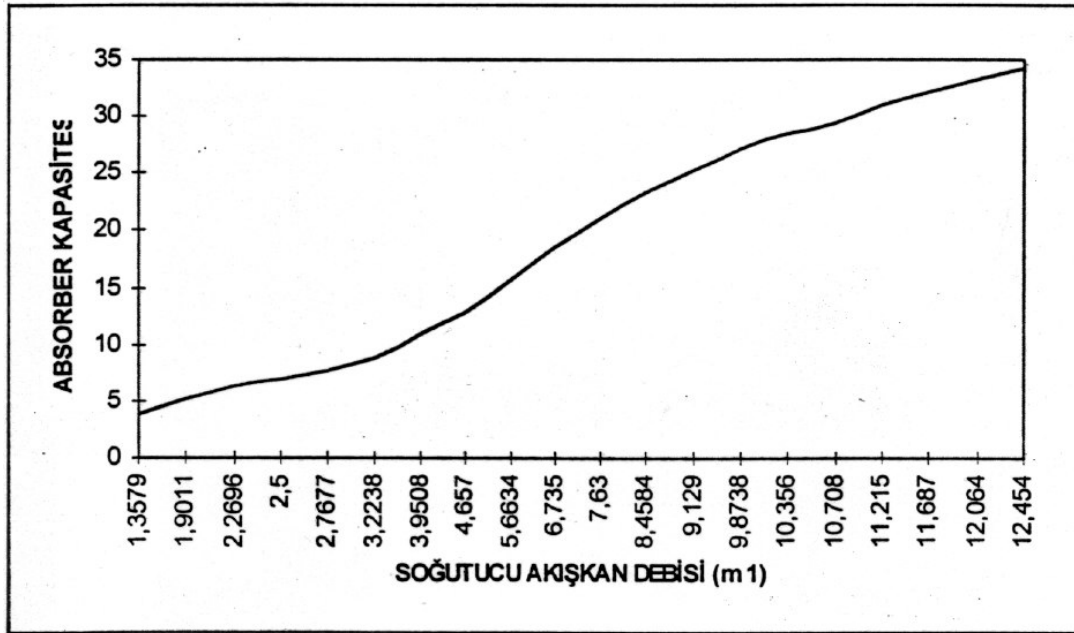


Şekil 6.14. Kaynatıcı kapasitesi (kW) – Egzoz gazı sıcaklığı (K)

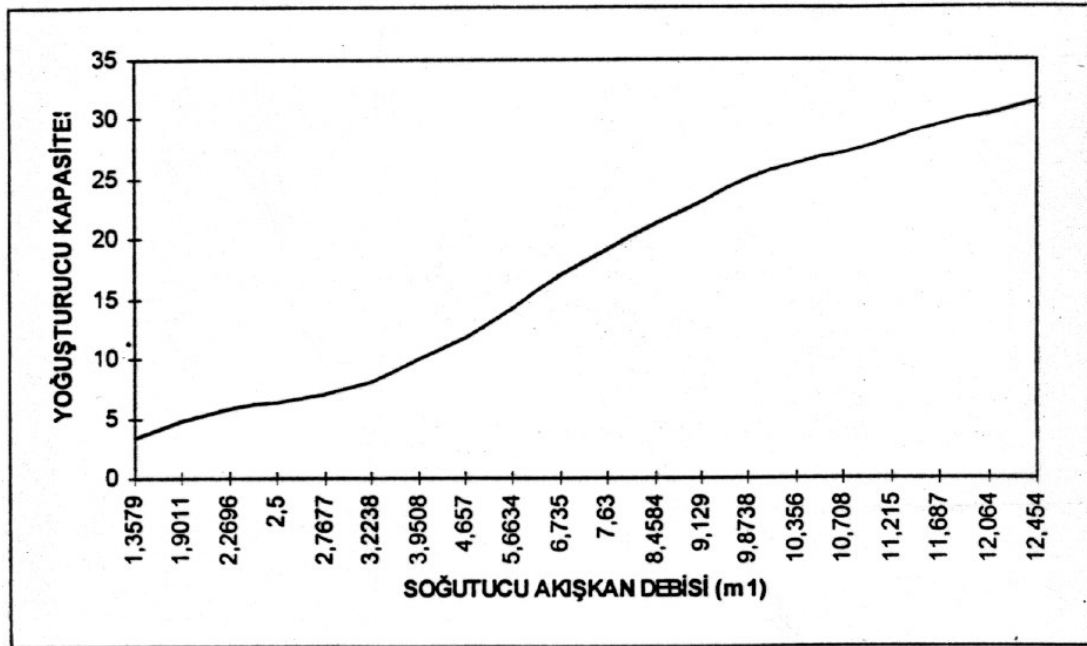
Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, ve Şekil 6.18’ de sistem kapasite değerlerinin soğutucu akışkan debisine göre değişimi incelenmiştir. Kaynatıcı, absorber, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasiteleri, soğutucu akışkan debisinin artışına paralel olarak artmıştır. Kapasite değerlerinin artması ısı transferinin artmasına sebep olmaktadır. Isı transferinin artması ise sistemin daha çok soğutucu akışkan debisine ihtiyaç duyması demektir.



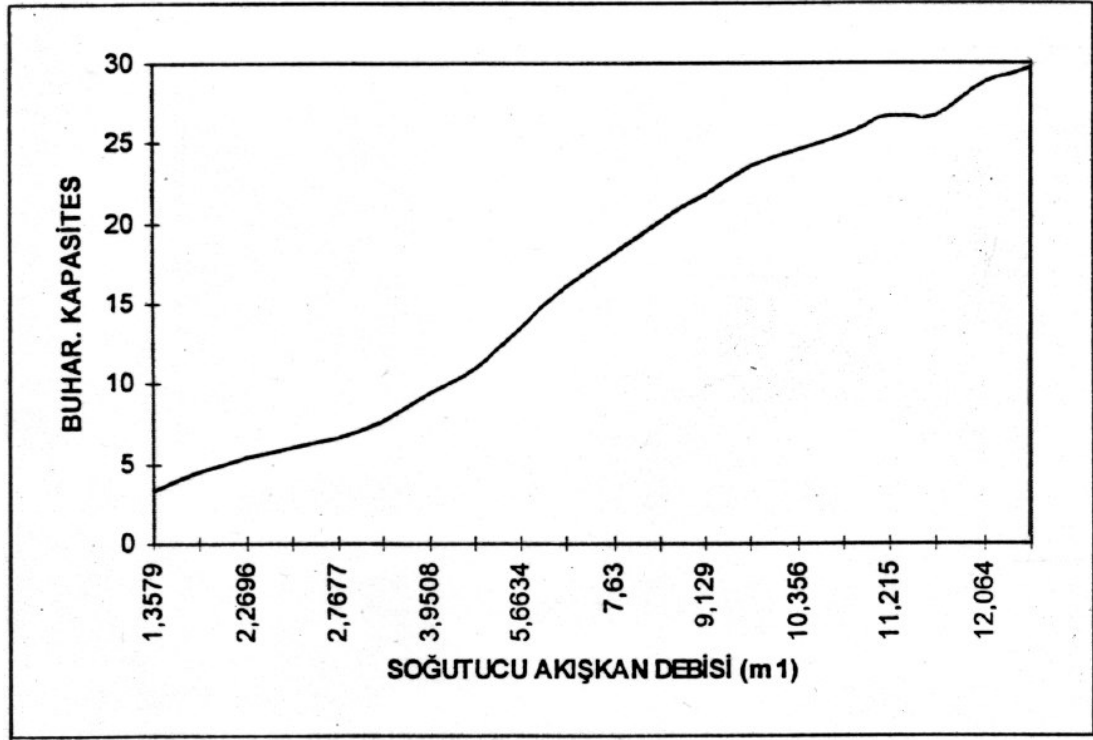
Şekil 6.15. Kaynatıcı kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)



Şekil 6.16. Absorber kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)

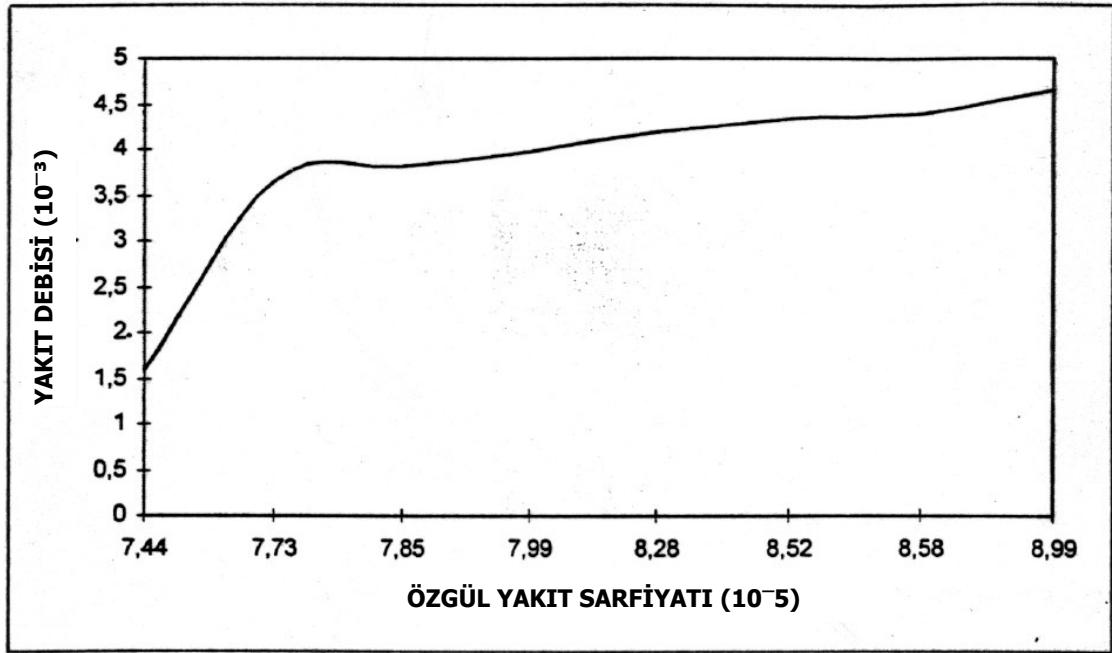


Şekil 6.17. Yoğuşturucu kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)

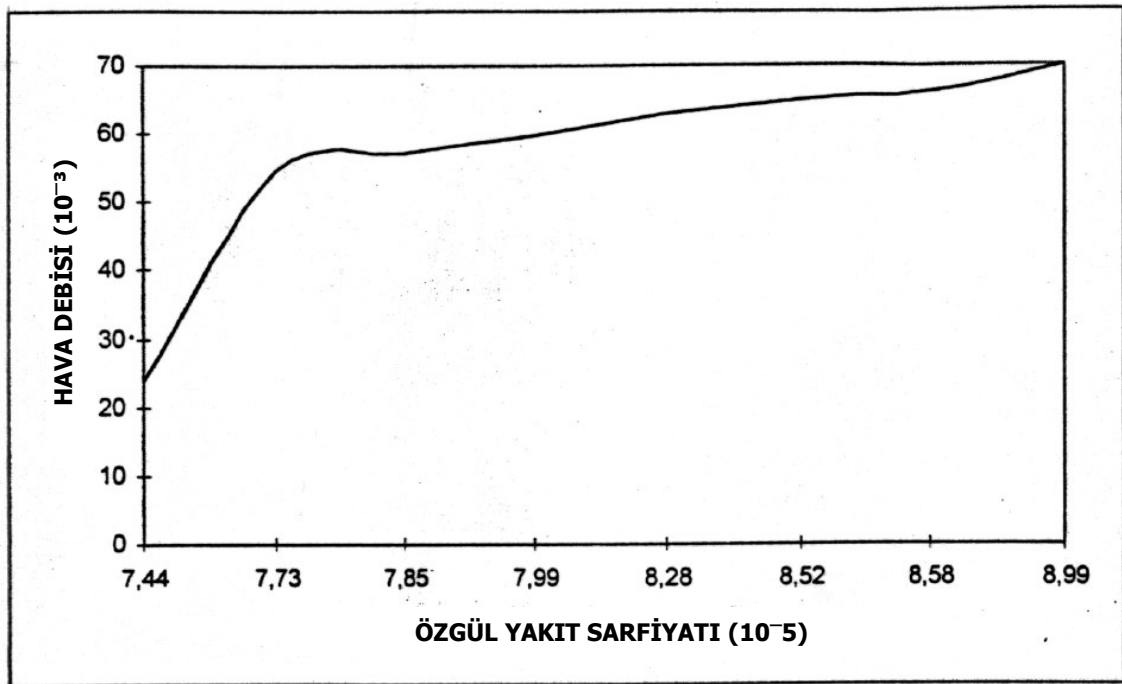


Şekil 6.18. Buharlaştırıcı kapasitesi (kW) – Soğutucu akışkan debisi (kg/s)

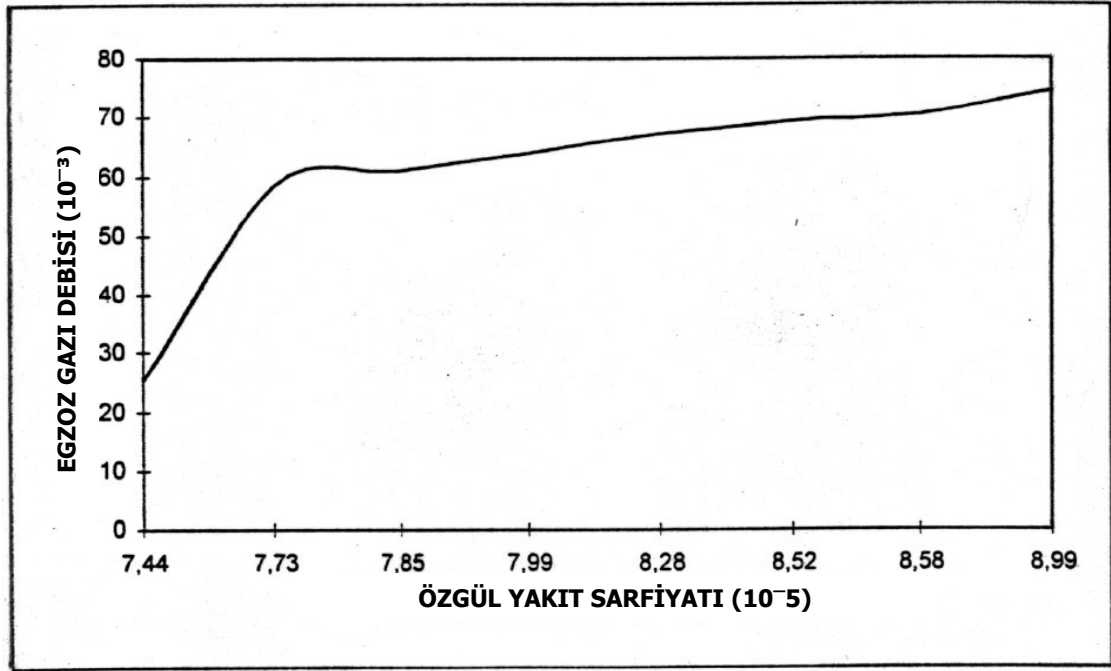
Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’ de yakıt, hava ve egzoz gazı debilerinin, özgül yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Özgül yakıt sarfiyatı, yakıt debisinin motor gücüne oranıdır. Motor gücü ise motor devri ve tork değerlerine bağlıdır. Çizelge 5.1 motor ömür deneyindeki devir ve tork değerlerinden birinin sabit olmaması, özgül yakıt sarfiyatının farklı konum değerleri için sıralanmasına sebep olmuştur. Söz konusu grafikler; araçta ki farklı devir ve tork değerleri için kullanılacak olan yakıt, hava ve egzoz gazı debileri, özgül yakıt sarfiyatına göre bulunabilir.



Şekil 6.19. Yakıt debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfıyatı (kg/kWs)

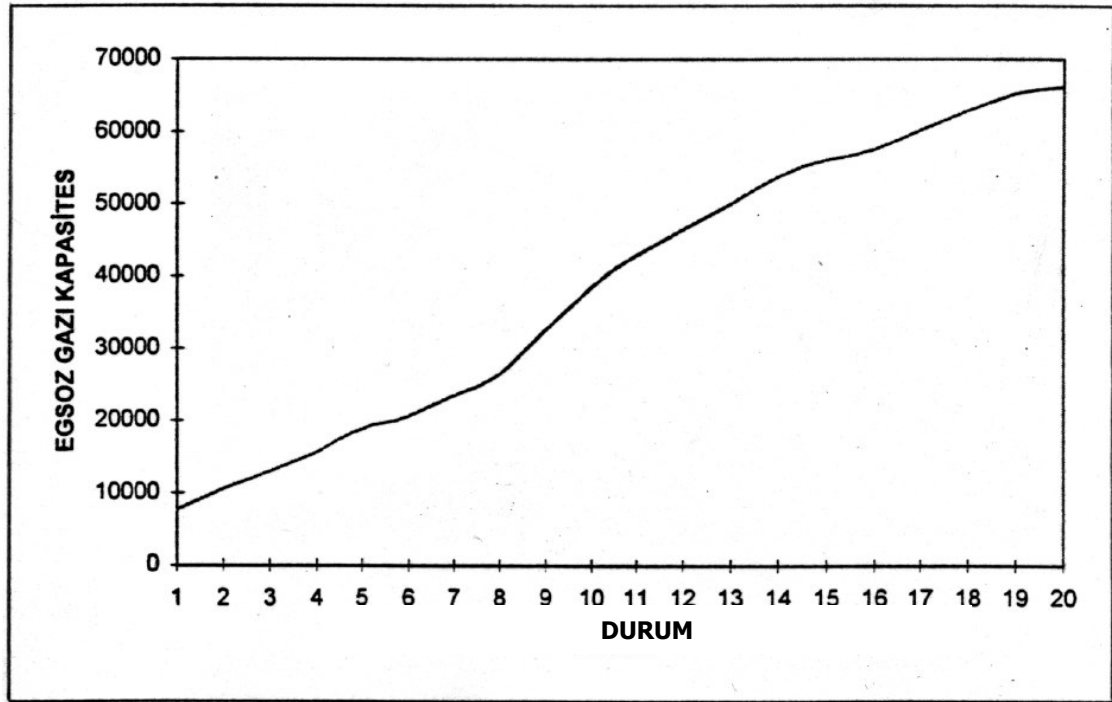


Şekil 6.20. Hava debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfıyatı (kg/kWs)

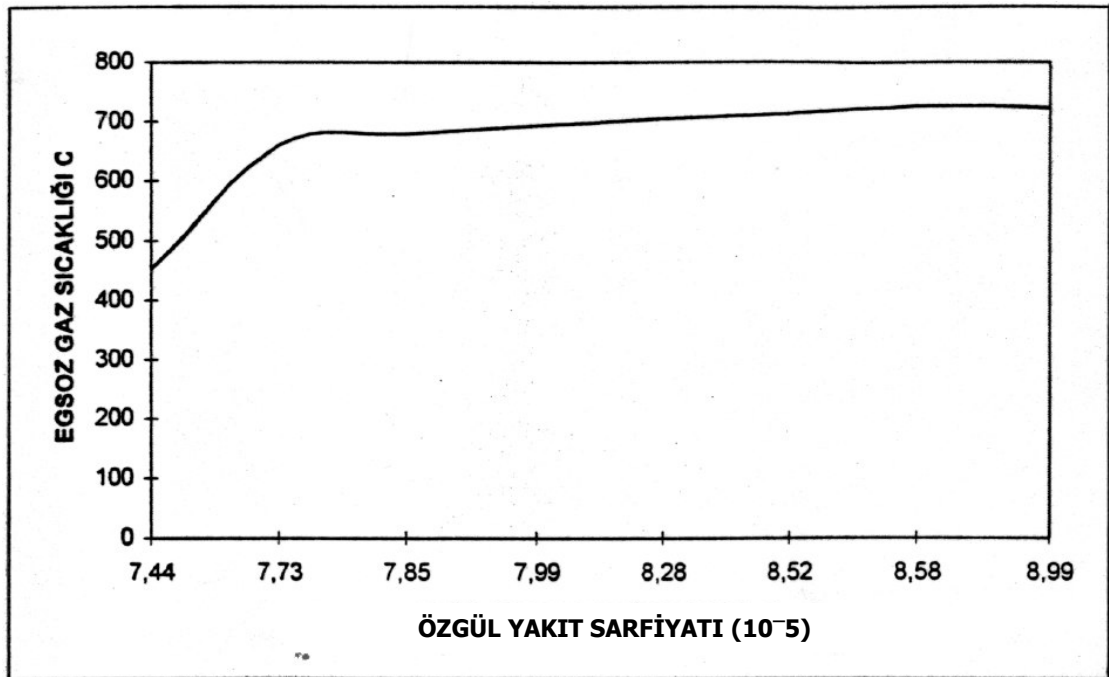


Şekil 6.21. Egzoz gazı debisi (kg/s) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)

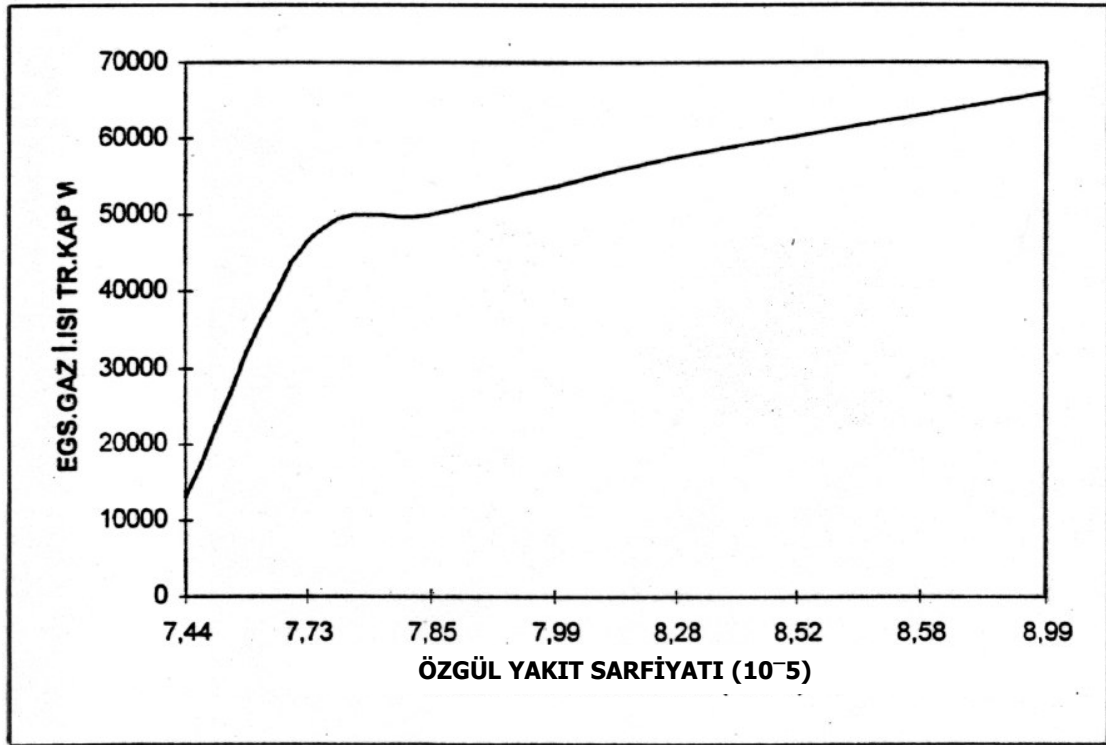
Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24 de egzoz gazı sıcaklığının ve egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesinin, özgül yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, özgül yakıt sarfiyatı değerleri hesaplanan, devir, tork, motor gücü ve hatta modeli farklı araçlarda absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışması için gerekli olan egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi değerleri, söz konusu grafikler yardımı ile belirlenebilir.



Şekil 6.22. Egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi – Durum grafiği

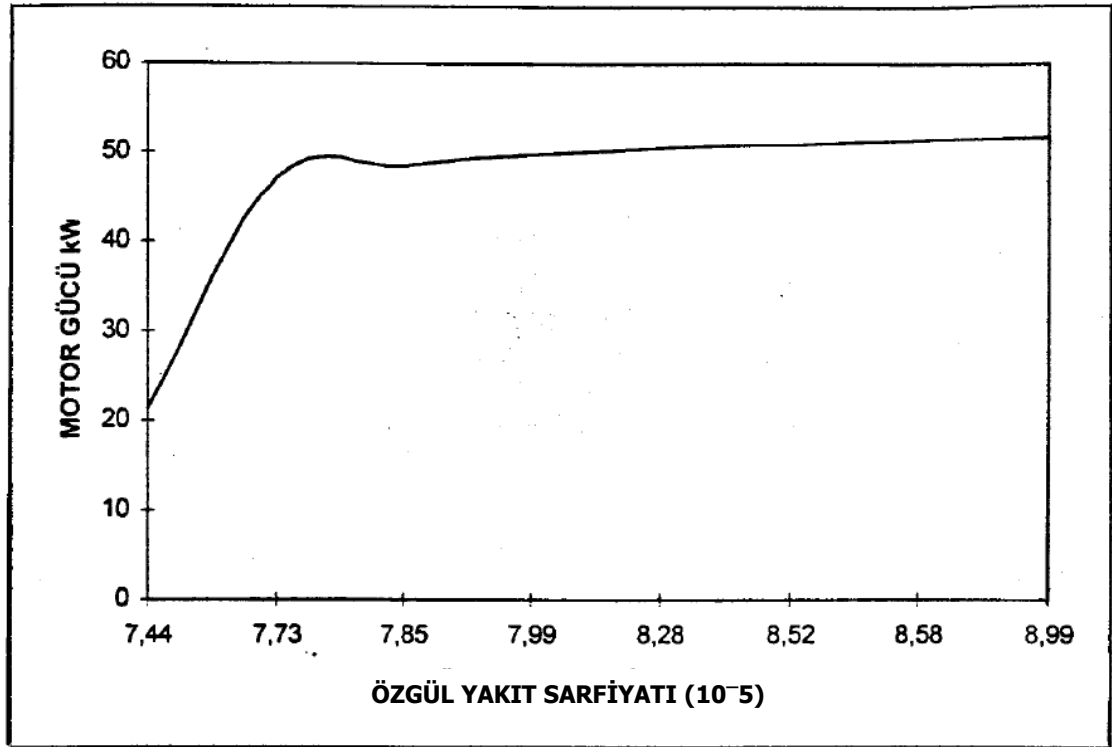


Şekil 6.23. Egzoz gazı sıcaklığı (°C) – Özgül yakıt sarfıyatı (kg/kWs)



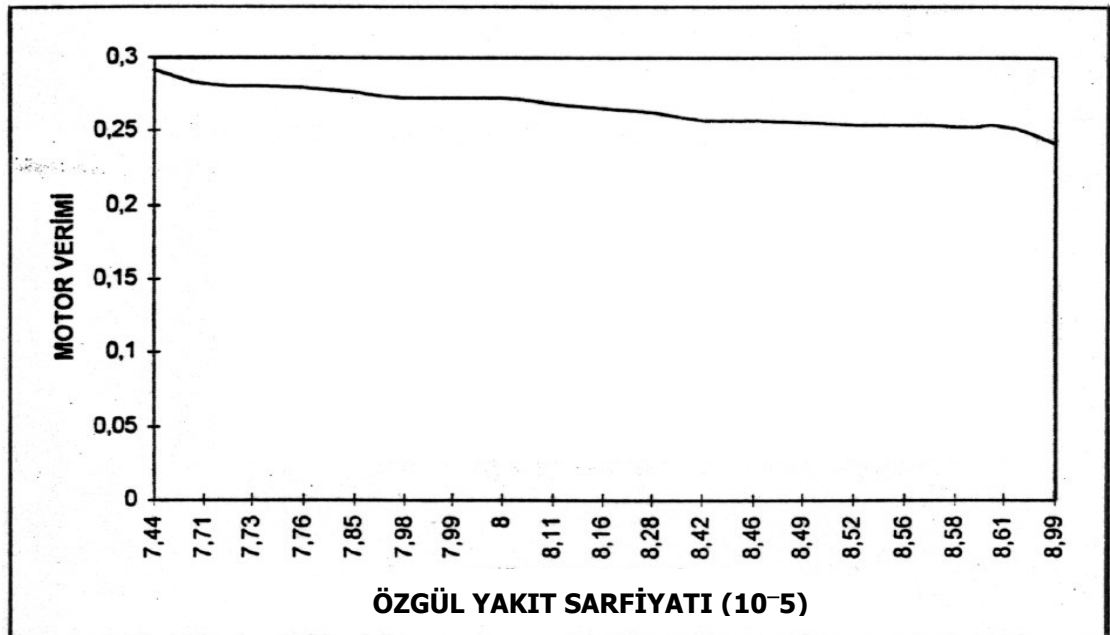
Şekil 6.24. Egzoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi – Özgöl yakıt sarfiyatı (kg/kWs)

Şekil 6.25’ de motor gücünün, özgöl yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Çizelge 5.6’ da görüleceği üzere, yakıt debisinin artışıyla motor gücü artmış fakat özgöl yakıt sarfiyatı değişimler göstermiştir. Şekil 6.25, farklı özgöl yakıt debisi değerlerindeki motor gücü değeri konusunda fikir vermektedir.

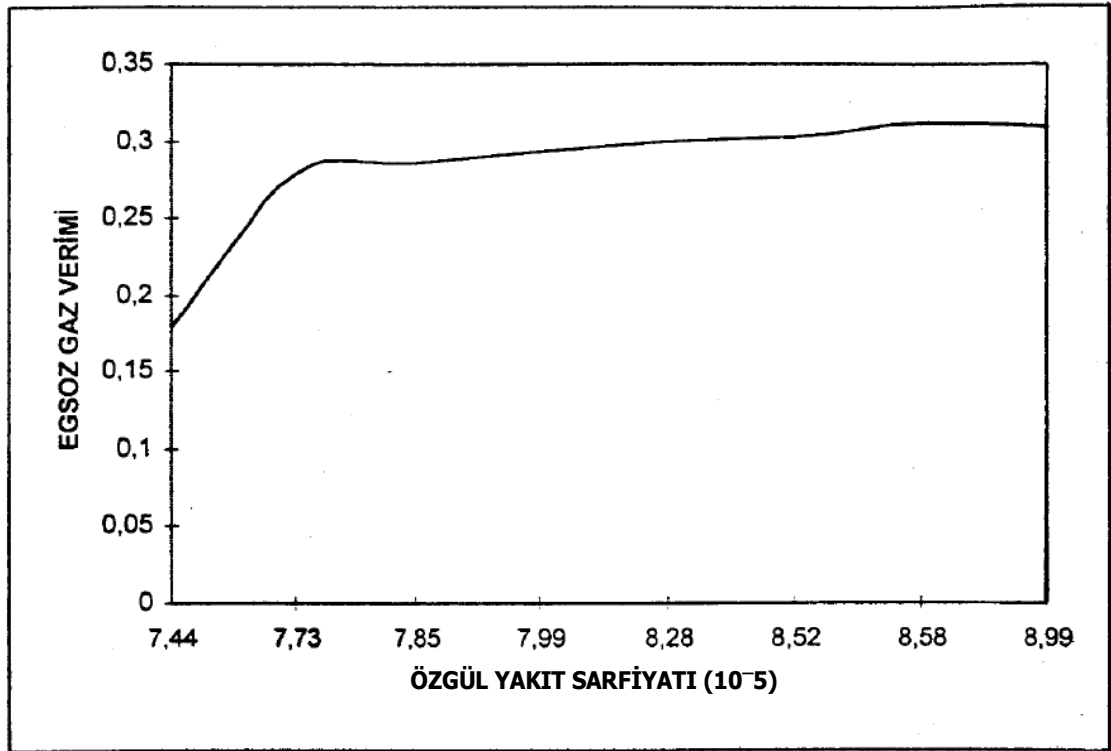


Şekil 6.25. Motor gücü (kW) – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)

Şekil 6.26, Şekil 6.27' de motor ve egzoz gazı veriminin, özgül yakıt sarfiyatına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6.26. Motor verimi – Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWs)



Şekil 6.27. Egzoz gazı verimi – Özgül yakıt sarfıyatı (kg/kWs)

Bölüm 1’ de içten yanmalı motorlarda motor veriminin %30-35 arasında olduğu ve motor tarafından üretilen enerjinin büyük bir kısmının %30-32 kadar egzoz gazı ile atıldığından bahsetmiştik. Söz konusu grafiklerden görüldüğü üzere 1400 cc motor için bu değerler ispatlanmıştır. Ayrıca motor tarafından üretilen enerjinin büyük bir kısmının egzoz gazı ve motor soğutma suyu tarafından kullanıldığı ve bu enerjinin başka şekillerde kullanılabilecek düzeyde olduğu kesindir. Egzoz gazı kaynatıcıdan geçerken; kanatçıklara çarpacak ve bu suretle basıncı düşecektir. Egzoz gazı basınç kayıpları hesabı ve oluşturulan grafikler Bölüm 5.4.6’ da daha önce verilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şekil 4.6' dan yararlanarak aracımızın 90 km/h (50 mph) hızında 4.viteste ve 3000 d/d (durum 7) motor devrinde seyir halinde iken ihtiyaç duyduğu soğutma kapasitesi yaklaşık 7,91 kW (27000 btu) dir. Bu değeri Çizelge 6.2 Q_{buh} kolonundan durum 7 için kontrol edecek olursak 9,4084 kW gibi oldukça yeterli bir soğutma kapasite değerinin bulunduğu görülür.

Yine Şekil 4.6' dan yararlanarak aracımızın 50 km/h (30 mph) hızında 3.viteste ve 2000 d/d (durum 3) motor devrinde seyir halinde iken ihtiyaç duyduğu soğutma kapasitesi yaklaşık 4,84 kW (16500 btu) dir. Bu değeri Çizelge 6.2 Q_{buh} kolonundan durum 3 için kontrol edecek olursak 5,4048 kW gibi oldukça yeterli bir soğutma kapasite değerinin bulunduğu görülür.

Son olarak aracımızın sıkışık şehir trafiğinde 20 km/h (13 mph) hızında 2.viteste ve 1500 d/d (durum 1) motor devrinde seyir halinde iken ihtiyaç duyduğu soğutma kapasitesi Şekil 4.6 verilerinden yaklaşık 3,22 kW (11000 btu) bulunur. Bu değeri Çizelge 6.2 Q_{buh} kolonundan durum 1 için kontrol edecek olursak 3,2337 kW gibi yine yeterli bir soğutma kapasite değerinin bulunduğu görülür.

Teorik hesaplama sonuçları göstermiştir ki; egzoz gazındaki atık ısı kullanılarak absorpsiyonlu soğutma sistemi sayesinde araç mahallinin yaz aylarında soğutulması mümkündür.

Araştırma şu öneriler dikkate alınarak daha da geliştirilebilir.

1. Egzoz sisteminde aşın basınç düşümü yaratmayacak, yüksek verimli; kaynatıcı tasarımı.
2. Egzoz gazının, kaynatıcı üzerindeki korozyon ve aşındırıcı etkileri.
3. Motor performansını etkileyecek negatif (geri tepme) basıncın sınır değerleri.
4. Çevre sıcaklıklarındaki değişikliklerin sistem performansına etkileri.
5. Araç park veya düşük hızlarda seyir halinde iken sistemi destekleyecek alternatif ısı enerjisi kaynağı/kaynakları.
6. Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin araç üzerinde yerleştirilebileceği noktalar.

7. Araç içindeki menfez yerleşiminin ısı konfora etkileri.
8. Araç hızındaki değişikliklerin, soğutma kapasitesinde neden olduğu dalgalanmalar.

Ayrıca söylenebilecek diğer bir sonuçta; mevcut klima sistemine kıyasla enerji ve yakıt tasarrufu sağlanabileceğidir. Araştırmanın pratik boyutlarda incelenmesi sistemin uygulanabilirliğini destekleyecektir.

KAYNAKLAR

1. Anon, "Automobile Air Conditioning", Section 26, *ASHRAE Equipment Handbook*, USA, 1-20 (1994).
2. Anon, "Heat Exchanger Design Handbook", *Hemisphere Publishing Co.*, 37-62 (1983).
3. Çengel, Y.A. & Boles M.A., "Thermodynamics An Engineering Approach" *McGraw Hill*, USA-Nevada, 866 (1989).
4. Rogers, D.F., "Computer Aided Heat Transfer", *Mc Graw Hill*, 54-95 (1973).
5. Keating, C.L., "Absorption Refrigeration System For Mobile Applications", *U.S. Patent No: 2.667.040.*, January, 1-25 (1954).
6. Akerman, J.R., "Automobile Air Conditioning System With Absorption Refrigeration. Automobile Engineering Congress", *Society Of Automotive Engineers*, 18-25 (1971).
7. Mc Namara, T.J., "Absorption Refrigeration and Air Conditioning System" *U.S. Patent No : 3.661.200*, May, 1- 37 (1972).
8. Ghassemi, B., "Theoretical Study Of Absorption Refrigeration For Vehicle Application", *XVII th. International Congress of Refrigeration*, Paris, Vol. D 258-261 (1987).
9. Horuz, İ., "An Experimental Study Of The Use Of Vapour Absorption Refrigeration in Road Transport Vehicles", *Glasgow University Of Strathclyde*, U.K., 1-407 (1994).
10. Aphornratana, S., Eames, I.W., "Thermodynamic analysis of absorption refrigeration cycles using the second law of thermodynamics method", *International Journal of Refrigeration*, 18:244-252 (1995).
11. Incopera, F.P., DeWitt, D.P., "Fundamentals Of Heat And Mass Transfer", *John Wiley & Sons. Inc.*, USA, 250-520 (1990).
12. Marsh, K., "Automotive Engineering", *Sae International*, USA, 45-53 (1994).
13. Mc Neely, L.A., "Thermodynamic Properties Of Aqueous Solutions Of Lithium Bromide", *ASHRAE*, USA, 1-20 (1997).
14. Öztürk, A. ve Kılıç A., "Termodinamik Çizelgeler ve Diyagramlar", *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul, 17-44 (1993).
15. Saunderson, E.A.D., "Heat Exchangers; Selection, Design and Construction" *Longman Group*, U.K., 423 (1983).

16. Tofaş A.Ş., “Aksesuar Teçhizat 50.Kısım Klima”, *TOFAŞ Yayınları*, Bursa, 3-66 (1997).
17. Genceli, O., “ASHRAE Fundamentals”, *Teknik Yayıncılık Tanıtım A.Ş.*, 22-74 (1996).
18. Cleland, A.C., “Computer subroutines for rapid evaluation of refrigerant thermodynamic properties”, *International Journal of Refrigeration*, 9:346-351, (1995).
19. Chungpaibulpatana, S., Srihirin, P., Aphornratana, S., “A review of absorption refrigeration Technologies”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 343-372 (2001).
20. Tofaş A.Ş., “Y.F.P.32 Model 1400 cc Motor Ömür Deneyi Verileri-GUCYAK-27.03.1996-13:46:24”, *Tofaş Ar-Ge Arşivi*, Bursa, 1-3 (1996).
21. Butterworth, D., “Basic Heat & Fluid Flow”, *Heat exchanger. In Kakaç, Bergles & Mginger*, 289-313 (1981).
22. Güldalı, Y., “Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutucu sistemin bilgisayar programı yardımıyla simülasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 65-74 (1990).
23. Haytabay, S., “Design of absorption refrigeration for vehicles by utilising exhaust gases”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 26-28 (1998).
24. Horuz, İ., “Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinden amonyak-su ile lityum bromür-su çiftinin mukayesesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa, 67-82 (1990).
25. Sevinecek, B.Ö., “Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Kullanan Bir Otomobil Kliması Projelendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa, 1-102 (1998).
26. Eker, A., “Egzoz Gazı Enerjisi Kullanarak, Motorlu Taşıtların İç Kısımının Soğutulmasında, Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Kullanımı, Termodinamik Analizi ve Boyutlandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi*, Kayseri, 84-102 (1993).

EKLER

EK-1 Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

DECLARE SUBNEWTON (P!, T!, X!)
DECLARE FUNCTION SL!(P!, T!, X!)
DECLARE FUNCTION SB!(P!, T!, X!)
DECLARE FUNCTION CPG!(T!, X!)
DECLARE FUNCTION CPL!(T!, X!)
DECLARE FUNCTION HBUH!(P!, T!, X!)
DECLARE FUNCTION HCOZ!(P!, T!, X!)
DECLARE FUNCTION P!(T!, X!)

***** DEGISKENLER *****

' TA= KAYNATICI SICAKLIGI (kaynatici,TG)
' TY= YOGUSTURUCU SICAKLIGI (kondenser,TK)
' TB= BUHARLASTIRICI SICAKLIGI (evaporator,TE)
' TS= SOGURUCU SICAKLIGI (absorber,TA)
' X7= KAYNATICI CIKISINDA LIBR AGIRLIK KESRI
OPEN "O", #1, "COP.DAT"
OPEN "O", #2, "SIC.DAT"
OPEN "O", #3, "ENT.DAT"
OPEN "O", #4, "BOY.DAT"
PRINT #1, "TA TS TY TB COP ECOP DOR X6 X5"
PRINT #1, "-----"
PRINT #2, "TA T1U TY T2U T3 TB T4 T4U TS T6 T7 T8 T9 T10"
PRINT #2, "-----"
PRINT #3, "H1 H1U H2 H2U H3 H3U H4 H4U H5 H6 H7 H8 H9 H10"
PRINT #3, "-----"
PRINT #4, "LJ LT LB LTA LTE"
PRINT #4, "-----"

***** VERILER *****

NA = .98: NS = .98: QBUH = 3: X1 = 1

*****

J1=3.971423E-02:J2=-1.790557E-05:J3=-1.308905E-02: J4=3.752836E-03
K1=2.748796E-02: K2=-1.016665E-05:K3=-4.452025E-03: K4=8.389246E-04

*****

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

FOR TS = 308.15 TO 315.15 STEP 5
FOR TB = 278.15 TO 293.15 STEP 10
FOR TY = 296.15 TO 313.15 STEP 5
CLS : SCREEN 2:
'*****

PB = P(TB, X1)
PY = P(TY, X1)
PS = .93 * PB
PA = 1.05 * PY
TAS = 2013.8 / (5.44 - LOG(PA) / LOG(10))
CALL NEWTON(PS, TS, X5)
X5 = X5 * 1
TAM=(2013.8-2155.7*X5+1540.9*X5^2-194.7*X5^3)/(-5-LOG(PA)/LOG(10)+
      10.44-1.767*X5+.9823*X5^2+.3627*X5^3)
ADIM = (TAS - TAM)/50
ALT = INT(TAM + 1): UST = INT(TAS)
FOR TA = ALT TO UST STEP 5
CALL NEWTON(PA, TA, X6)
X6 = X6 * .99
'*****LIBR VE H2O NUN SIVI FAZDAKI OZGUL HACIMLERI [m3/kg]
VL=8.314*100*((J1+J3*TS/100+J4*(TS/100)^2)/10+J2*PS/10^2)/3800
VH=8.314*100*((K1+K3*TS/100+K4*(TS/100)^2)/10+K2*PS/10^2)/1800
V = X1 * VL + (1 - X1) * VH
'*****POMPADAKI ENTALPI ARTISI [kJ/kg]
HP = V * (PA - PS) * 100
'*****

H5 = HCOZ(PS, TS, X5)
H6 = H5 + HP
T61 = TS
T62 = TS + 2
10 H61 = HCOZ(PS, T61, X5)

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

H62 = HCOZ(PS, T62, X5)
TU = T62 - (H62 - H6) * (T61 - T62) / (H61 - H62)
HU = HCOZ(PS, TU, X5)
IF ABS(HU - H6) > .01 THEN
T61 = T62: T62 = TU: GOTO 10
END IF
T6 = TU
*****

T3 = TB + 1
H3U = HBUH(PB, TB, X1)
20 H3 = HCOZ(PB, T3, X1)
M1 = QBUH / (H3U - H3)
MGLIBR = QBUH / (H3U - H3)
M6 = M1 * (X1 - X5) / (X5 - X6)
M5 = M6 + M1
*****

Z1 = M6 * CPL(TA, X6) / (M5 * CPL(T6, X5))
ID1 = 20
30 UA1 = ID1 * M6 ^ .9
N1 = UA1 / (M6 * CPL(TA, X6))
EE1 = (1 - EXP(-N1 * (1 - Z1))) / (1 - Z1 * EXP(-N1 * (1 - Z1)))
IF EE1 < .75 THEN EE1 = .75
IF EE1 > .85 THEN EE1 = .85
40 T9 = TA - EE1 * (TA - T6)
T7 = T6 + Z1 * (TA - T9)
H7 = HCOZ(PA, T7, X5)
H9 = HCOZ(PA, T9, X6)
*****

Z2=CPL(TB, X1) / CPL(TY, X1)
ID2 =20
50 UA2 = ID2 * M1 ^ 1.2
N2 = UA2 / (M1 * CPL(TB, X1))

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

EE2 = (1 - EXP(-N2 * (1 - Z2))) / (1 - Z2 * EXP(-N2 * (1 - Z2)))
IF EE2 < .75 THEN EE2 = .75
IF EE2 > .85 THEN EE2 = .85
60  T4 = TB + EE2 * (TY - TB)
    T2U = TY - Z2 * (T4 - TB)
    H2U = HC0Z(PY, T2U, X1)
    H4 = HBUH(PB, T4, X1)
    *****

    T31 = T3
    T32 = T3 + 5
70  H31 = HC0Z(PB, T31, X1)
    H32 = HC0Z(PB, T32, X1)
    TU = T32 - (H32 - H2U) * (T31 - T32) / (H31 - H32)
    HU = HC0Z(PB, TU, X1)
    IF ABS(HU - H2U) > .03 THEN
    T31 = T32: T32 = TU: GOTO 70
    END IF
    TU3 = TU
    *****

    IF ABS (T3-TU3) >.02 THEN
    T3=(TU3 + T3) * .5
    GOTO 20
    END IF
    *****

    T101 = T9
    T102 = T9 + 3
80  H101 = HCOZ(PS, T101, X6)
    H102 = HCOZ(PB, T102, X6)
    TU = T102 - (H102 - H9) * (T101 - T102) / (H101 - H102)
    HU = HCOZ(PB, TU, X6)
    IF ABS(HU - H9) > .03 THEN
    T101 = T102: T102 = TU: GOTO 80

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

END IF
T10 = TU: H10 = HU
'*****

T4U1 = T4
T4U2 = T4 + 1
90 H4U1 = HBUH(PS, T4U1, X1)
H4U2 = HBUH(PS, T4U2, X1)
TU = T4U2 - (H4U2 - H4) * (T4U1 - T4U2) / (H4U1 - H4U2)
HU = HBUH(PS, TU, X1)
IF ABS(HU - H4) > .02 THEN
T4U1 = T4U2: T4U2 = TU: GOTO 90
END IF
T4U = TU: H4U = HU
'*****

H1 = HBUH(PA, TA, X1)
T1U1 = TA
T1U2 = TA + 2
100 H1U2 = HBUH(PY, T1U2, X1)
TU = T1U2 - (H1U2 - H1) * (T1U1 - T1U2) / (H1U1 - H1U2)
HU = HBUH(PY, TU, X1)
IF ABS(HU - H1) > .02 THEN
T1U1 = T1U2: T1U2 = TU: GOTO 100
END IF
T1U = TU: H1U = HU
'*****

T8 = T9 + 2
H8 = HCOZ(PA, TA, X6)
H2 = HCOZ(PY, TY, X1)
H2U = HCOZ(PY, T2U, X1)
H4 = HBUH(PB, T4, X1)
'*****

EX5 = H5 - 293.15 * SL(PS, TS, X5)

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

EX6 = H6 - 293.15 * SL(PA, T6, X5)
EX7 = H7 - 293.15 * SL(PA, T7, X5)
EX8 = H8 - 293.15 * SL(PA, TA, X6)
EX9 = H9 - 293.15 * SL(PA, T9, X6)
EX10= H10 - 293.15 * SL(PS, T1O, X6)
EX1 = H1 - 293.15 * SB(PA, TA, X1)
EX1U= H1U-293.15 * SB(PY, T1U, X1)
EX2 = H2- 293.15 * SL(PY, TY, X1)
EX2U= H2U- 293.15 * SL(PY, T2U, X1)
EX3 = H3- 293.15 * SL(PB, T3, X1)
EX3U= H3U- 293.15 * SB(PB, TB, X1)
EX4 = H4- 293.15 * SB(PB, T4, X1)
EX4U= H4U- 293.15 * SB(PS, T4U, X1)
'*****

QKAYNATICI = M1 * H1 + M6 *H8 - M5 * H7
QYOG = M1 * (H1U - H2)
QSOG = M6 * H10 + M1 * H4U - M5 * H5
'*****SOGUTMA TESIR KATSAYISI

COP = QBUH / (QKAYNATICI + M5 * HP)
DOR = M5 / M1

PRINT USING "#.####"; COP; SPC(5); : PRINT TA - 273; SPC(7);

'***** SISTEMIN SOGUTMA YUKU HESAP VERILERI

TDIS = 40: 'CEVRE SICAKLIGI [C]
TIC = 20:'OTOMOBIL IC SICAKLIGI [C]
K = 3.96: 'ISI GECIS KATSAYISI [W/m2C]
AG = 2: 'GUNES GOREN YUZEYIN ALANI [m2]
AGM = 8:'GUNES GORMEYEN YUZEYIN ALANI [m2]
TC = 58: 'CEPER SICAKLIGI [C]
QY =112: 'BIR YOLCUNUN VERDIGI ISI [W]
NY = 4: 'YOLCU SAYISI

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

***** KAYNATICI BOYUTLARININ HESAP VERİLERİ

SCF = .325: 'BENZİNLİ MOTORLARDA ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI [KG/HP]

NC = 30: 'MOTORDAN SÜREKLİ OLARAK ALINAN GÜC (ORTALAMA)[HP]

TMO = 500: 'EKSOZ GAZI ÇIKIŞ SICAKLIĞI [C]

CPE = 1005: 'EKSOZ GAZI ÖZGÜL İSİSİ [J/KGC]

VE = 2.19: 'EKSOZ GAZI ÖZGÜL HACMI [M³/KG]

NU = .00006: 'KİNEMATİK VİSKOZİTE [m²/sn]

V = 23: 'EKSOZ GAZLARININ KAYNATICIDAN GEÇİŞ HIZI [m/sn]

PR = .71: 'PRANDTL SAYISI

KJ1 = .05: 'İSİ İLETİM KATSAYISI [W/mC]

H2A = 800: 'LIBR İSİ TAŞINIM KATSAYISI [W/m²C]

***** YOGUSTURUCU BOYUTLARININ HESAP VERİLERİ

V2 = 15: 'HAVA AKIM HIZI [m/sn]

V1 = 4.87: 'BORU İÇİNDEKİ AKIŞKANIN HIZI [m/sn]

NU1 = .000024: 'BORU İÇİNDEKİ KİNEMATİK VİSKOZİTE [m²/sn]

NI = 6.49: 'BORUDAKİ NUSSELT SAYISI

KK1 = .036: 'İSİ İLETİM KATSAYISI [W/mC]

L = .03: 'KANAT UZUNLUĞU [m]

NU2 = .000017: 'BORU DIŞINDAKİ KİNEMATİK VİSKOZİTE [m²/sn]

KK2 = .027: 'İSİ İLETİM KATSAYISI [W/mC]

ITA = .9: 'KANAT VERİMİ

AI = .68: 'BORU DİŞ YÜZEYİ İSİ TRANSFER ALANI [m²/m]

TW = 47.3: 'YOGUSMUS LIBR SICAKLIĞI [C]

***** BUHARLAŞTIRICI BOYUTLARININ HESAP VERİLERİ

V3 = 5: 'HAVA AKIM HIZI [m/sn]

LE = .04: 'KANAT GENİSLİĞİ [m]

KK3 = .026: 'İSİ İLETİM KATSAYISI [W/mC]

Y = .005: 'KANATLAR ARASI MESAFE [m]

B = .04: 'KANAT KENAR UZUNLUĞU [m]

***** ABSORBERİN BOYUTLARININ HESAP VERİLERİ

D2 = .14: 'KANAT ÇAPİ [m]

D1 = .1: 'BORU İÇ ÇAPİ [m]

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

LA = .157: '150 DERECELİK ACI GOREN EGRİNİN UZUNLUGU [m]

***** ESANJOR BOYUTLARININ HESAP VERİLERİ

KE = 1100: 'TERS AKIM İÇİN İSİ GECİS KATSAYISI [W/m²C]

DE = .005: 'ORTALAMA BORU CAPI [m]

***** SOĞUTMA YUKU HESABI

$Q1 = K * AG * (TC - TIC)$

$Q2 = K * AGM * (TDIS - TIC)$

$Q3 = NY * QY$

$QT = Q1 + Q2 + Q3 + 118$

$QG = MGLIBR * H1 + M6 * H8 - M5 * H7$

$QRK = M5 * (H7 - H6)$

$QRS = MGLIBR * (H1U - H2)$

***** YOGUSTURUCUDAN ÇEVREYE VERİLMESİ GEREKEN İSİ

$QK = MGLIBR * (H2 - H7U1)$

***** ABSORBERDEN ÇEVREYE VERİLMESİ GEREKEN İSİ

$QABS = ((M6 * H1O + MGLIBR * H4U) - M5 * H5) * 1000$

***** KAYNATICI BOYUT HESABI

$ME = 15 * SCF * NC / 3600$

$TM = TMO - (QG / (ME * CPE))$

$AJ = VE * MGLIBR / V$

$D = (4 * AJ / 3.14) ^ (.5)$

$RE = V * D / NU$

$NUJ = .023 * RE ^ .8 * PR ^ .3$

$H1A = NUJ * KJ1 / D$

$KJ = 10 / ((1 / H1A) + (1 / H2A))$

$XJ = (TM - TA) / (TMO - TA)$

$LJ = ((-ME * 1000 / 3) * CPE) / (KJ * 3.14 * D) * LOG(XJ)$

***** YOGUSTURUCU BOYUT HESABI

$AK = VE * MGLIBR / V2$

$DM = (4 * AK / 3.14) ^ (1 / 2)$

$RED = VI * DM / NU1$

$HIC = N1 * KK1 / DM$

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

REL = V2 * L / NU2
N2 = .664 * REL ^ (1 / 2) * PR ^ (1 / 3)
HDIS = N2 * KK2 / L
TM1 = 50: TM2 = 110: TDIS = 40
XK1 = (TM1 - TDIS) / (TM2 - TDIS)
L1=-(1/(HIC*2*L*DM))+(1/HDIS*A1*ITA))*MGLIBR*2*.O3*CPE*LOG(XK1)
L2 = QK / ((HDIS * A1 * ITA) / (TW - TDIS))
'***** BUHARLASTIRICI BOYUT HESABI
RE1 = V3 * LE / NU2
N3 = .664 * RE1 ^ (1 / 2) * (1 / 3)
HD = N3 * KK3 / LE
AE = 5*B^2/Y
Q = HD * AE * ITA * TIC
LB = QT / Q
DB = AE / 3.14 * LB
'***** ABSORBERIN BOYUT HESABI
RE2 = V2 * LA / NU2
ADIS = 2 / Y * ((3.14 * D2 ^ 2 / 4) - (3.14 * D1 ^ 2 / 4))
N4 = .664 * RE2 ^ (1 / 2) * PR ^ (1 / 3)
HD1 = N4 * KK2 / LA
QAB = (HD1 * ADIS * (T4U2 - T5)) / 10
LA = QABS / QAB
DA = ADIS / 3.14 * LA
'***** ESANJOR BOYUT HESABI
D1 = T9 - T6
D2 = T7 - T8
DTMK = (D1 - D2) / LOG(D1 / D2)
AEK = (QRK / KE * DTMK) * 100
LEK = AEK * 1000 / 3.14 * DE

'*****
PRINT #1, TA, TS, TY, TB, COP, DOR, X6, X5

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

```

PRINT #2, TA, T1U, TY, T2U, T3, TB, T4, T4U, TS, T6, T7, T8, T9, T10
PRINT #3, H1, H1U, H2, H2U, H3.H3U, H4, H4U, H5, H6, H7, H8, H9, H10
PRINT #4, LJ, LT, LB, LTE
NEXT TA
NEXT TY
NEXT TB
NEXT TS
*****
CLOSE #1
CLOSE #2
CLOSE #3
CLOSE #4
END

FUNCTION CPG (T, X)
CPGLIBR=(3.673647+9.989629E-02*T/100+3.617622E-02*(T/100)^2)* 8.314/17
CPGH20=(4.01917-.0517555*T/100+1.951939E-02*(T/100)^2)*8.314/18
CPG = X * CPGLIBR + (1 - X) * CPGH20
END FUNCTION

FUNCTION CPL (T, X)
CPLLIBR=(16.34519-6.508119*T/100+1.448937*(T/100)^2)*8.314/17
CPLH20=(12.14557-1.898065*(T/100)+.2911966*(T/100)^2)*8.314/18
CPL = X * CPLLIBR + (1 - X) * CPLH20
END FUNCTION

FUNCTION HBUH (P, T, X)
DK1 = 3.673647: DK2 = 9.989629E-02: DK3 = 3.617622E-02
H0GR=26.468879: CK1=-1.049377E-02: CK2=-8.288225: CK3=-664.7257
CK4 = -3045.352: TOR = 3.2252: POR = 2
*****

```

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

DHK1 = 4.01917; DHK2 = -.0517555; DHK3 = 1.951939E-02

HHOGR=60.965058; CHK1=2.136131E-02; CHK2=-31.69291; CHK3=-46346.11

TORR = 5.0705; PORR = 3

PP = P / 10; Q = T / 100

XM = 18 * X / (17 + X)

MK = 17 * XM + 18 * (1 - XM)

HGLIBR=H0GR-DK1*TOR-DK2*(Q^2+TOR^2)/2

DK3*(2*Q^3+TOR^3)/3+DK1*Q+DK2*Q^2+DK3*Q^3+CK1*(PP-POR)+4*CK2*(PP/Q^3-POR/TOR^3)+12*CK3*(PP/Q^11-POR/TOR^11)+4*CK4*(PP^3/Q^11-POR^3/TOR^11)

HGH20=HHOGR-DHK1*TORR-DHK2*(Q^2+TORR^2)/2-

DHK3*(2*Q^3+TORR^3)/3+DHK1*Q+DHK2*Q^2+DHK3*Q^3+CHK1*(PP-PORR)+4*CHK2*(PP/Q^3-PORR/TORR^3)+12*CHK3*(PP/Q^11-PORR/TORR^11)+4*CHK4*(PP^3/Q^11-PORR^3/TORR^11)

HBUH= 8.314 * (XM * HGLIBR + (1 - XM) * HGH20) * 100 / MK

END FUNCTION

FUNCTION HCOZ (P, T, X)

HOLR= 21.821141; TOLR= 5.0705; POLR= 3

AL1=2.748796E-02; AL2=-4.452025E-03; AL3=8.389246E-04; AL4=-1.016665E-05

BL1= 12.14557; BL2= -1.898065; BL3= .2911966

HOR= 4.878573; TOR= 3.2252; POR= 2

AR1= 3.971423E-02; AR2=-1.790557E-05; AR3=-1.308905E-02; AR4=3.752836E-03

BN1= 16.34519; BN2= -6.508119; BN3= 1.448937

E1= -46.26129; E2= 2.060225E-02; E3= 7.292369; E4= -1.032613E-02

E5= 80.74825; E6= -84.61214; E7= 24.52882; E8= 9.598768E-03; E9= -1.475383

E10= -5.038107E-03; E11= -96.40398; E12= 122.6973; E13= -7.582637

E14=6.012445E-04; E15=54.87018; E16=-76.67596

PP = P / 10 ; Q = T / 100

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

$$XM = 18 * X / (17 + X)$$

$$MK = 17 * XM + 18 * (1 - XM)$$

'*****'

$$HLH20 = HOLR - BL1 * TOLR - BL2 * (Q^2 + TOLR^2) / 2 - BL3 * (2 * Q^3 + TOLR^3) / 3 + BL1 * Q + BL2 * Q^2 + BL3 * Q^3 - (AL4 * Q^2 - AL1) * (PP - POLR) + AL2 * (PP^2 - POLR^2) / 2$$

$$HLLIBR = HOR - BN1 * TOR - BN2 * (Q^2 + TOR^2) / 2 - BN3 * (2 * Q^3 + TOR^3) / 3 + BN1 * Q + BN2 * Q^2 + BN3 * Q^3 - (AR4 * Q^2 - AR1) * (PP - POR) + AR2 * (PP^2 - POR^2) / 2$$

$$HCO = HLH20 * (1 - XM) + HLLIBR * XM + (E1 + E2 * PP + 2 * E5 / Q + 3 * E6 / Q^2 + (E7 + E8 * PP + 2 * E11 / Q + 3 * E12 / Q^2) * (2 * XM - 1) + (E13 + E14 * PP + 2 * E15 / Q + 3 * E16 / Q^2) * (2 * XM - 1)^2) * XM * (1 - XM)$$

$$HCOZ = HCO * 8.314 * 100 / MK$$

END FUNCTION

SUBNEWTON (P, T, X)

$$AO = 10.44 - 2013.8 / T - 5 - \log(P) / \log(10)$$

$$A1 = -1.767 + 2155.7 / T$$

$$A2 = .9823 - 1540.9 / T$$

$$A3 = .3627 + 194.7 / T$$

$$XO = .4$$

$$71 \quad FF = AO + A1 * XO + A2 * XO^2 + A3 * XO^3$$

$$FT = A1 + 2 * A2 * XO + 3 * A3 * XO^2$$

$$XY = XO - FF / FT$$

IF ABS(FF) > .0001 THEN

$$XO = XY$$

GOTO 71

END IF

$$X = XY$$

END SUB

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

FUNCTION P (T, X)

A= 10.44 - 1.767 * X + .9823 * X^2 + .3627 * X ^ 3

B= 2013.8 - 2155.7 * X + 1540.9 * X ^2 + 194.7 * X ^ 3

P= 10 ^(-5 + A - B / T)

END FUNCTION

FUNCTION SB (P, T, X)

SGORA= 8.339026: TORA = 3.2252: PORA = 2

C1A= -1.049377E-02: C2A= -8.288225: C3A= -664.7257: C4A= -3045.352

D1A= 3.673647: D2A= 9.989629E-02: D3A= 3.617622E-02

SGORS= 13.45343: TORS = 5.0705: PORS = 3

C1S= 2.136131E-02: C2S = -31.69291: C3S = -46346.11

D1S= 4.01917: D2S = -.517555: D3S = 1.951939E-02

TR = T / 100: PR = P / 10

XM = 18 * X / (17 + X)

MX = 17 * XM + 18 * (1- XM)

DGRGLIBR=-SGORA+D1A+D2A*TR+D3A*TR^2-D1A*LOG(TR/TORA)-D1A-

2*D2A*TR+D2A*TORA-1.5*D3A*TR^2+.5*D3A*TORA^2+LOG(PR/PORA)-

3*C2A*PR/TR^4+3*C2A*PORA/TORA^4-

11*C3A*PR/TR^12+11*C3A*PORA/TORA^12-

11*C4A*PR^3/((TR^12)*3)+11*C4A*PORA^3/(3*TORA^12)

DGRGH20=-SGORS+D1S+D2S*TR+D3S*TR^2-D1S*LOG(TR/TORS)-D1S-

2*D2S*TR+D2S*TORS-1.5*D3S*TR^2+.5*D3S*TORS^2+LOG(PR/PORS)-

3*C2S*PR/TR^4+3*C2S*PORS/TORS^4-

11*C3S*PR/TR^12+11*C3S*PORS/TORS^12-

11*C4S*PR^3/((TR^12)*3)+11*C4S*PORS^3/(3*TORS^12)

SB=8.314*(-XM*DGRGLIBR-(1-XM)*DGRGH20-(1-XM)*LOG(1-XM)-

XM*LOG(XM))/MK

END FUNCTION

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

FUNCTION SL (P, T, X)

E1=-46.26129; E2=2.060225E-02; E3=7.292369; E4=-1.032613E-02; E5=80.74825

E6=-84.61214; E7=24.52882; E8=9.598768E-03; E9=-1.4753; E10=-5.038107E-03

E11=-96.404; E12=122.69; E13=-7.582; E14=6.0124E-04; E15=54.87; E16=-76.675

A1A=3.971423E-02; A2A=-1.790557E-05; A3A=-1.308905E-02; A4A=3.752836E-03

B1A=16.34519; B2A= -6.508119; B3A= 1.448937

SLORA= 1.644773; TORA= 3.2252; PORA= 2

A1S=2.748796E-02; A4S=-1.016665E-05; A2S=-4.452025E-03; A3S=8.389246E-04

B1S=12.14557; B2S= -1.898065; B3S= .291196

SLORS= 5.733498; TORS= 5.0705; PORS= 3

TR = T / 100; PR = P / 10

XM = 18 * X / (17 + X)

MK = 17 * XM + 18 * (1 - XM)

SLLIBR=SLORA-B1A-B2A*TR-

B3A*TR^2+B1A*LOG(TR/TORA)+B1A+2*B2A*TR-B2A*TORA+1.5*B3A*TR^2-

B3A*.5*TORA^2-(A3A+2*A4A*TR)*(PR-PORA)

SLH2O=SLORS-B1S-B2S*TR-B3S*TR^2+B1S*LOG(TR/TORA)+B1S+2*B2S*TR-
B2S*TORA+1.5*B3S*TR^2-B3S*.5*TORA^2-(A3S+2*A4S*TR)*(PR-PORA)

SL=8.314*(SLLIBR*XM+(1-XM)*SLH2O-(1-XM)*LOG(1-XM)-XM*LOG(XM)-

(E3+E4*PR-E5/TR^2-2*E6/TR^3+(E9+E10*PR-E11/TR^2-2*E12/TR^3)*(2*XM-1)-

(E15/TR^2+2*E16/TR^3)*(2*XM-1)^2)*XM*(1-XM))/MK

END FUNCTION

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

Çizelge 1.1. Kaynatıcının farklı sıcaklık değerlerine göre *kaynatıcı* boyut değişimi (Tyoğ=23°C, Tabs= 25°C)

T _{kay}	T _{buh}	Boru uzunluğu LJ	Boru çapı exp-2 D	Debi exp-2 m	Entalpi h1
(°C)	(°C)	(m)	(m)	(kg/s)	(kJ/kg)
77	5	0.197287	1.228526	0.1244291	1430.053
87	5	0.2078144	1.228526	0.1244291	1455.092
97	5	0.2267705	1.228526	0.1244291	1479.937
107	5	0.2504901	1.228526	0.1244291	1504.650
117	5	0.2789425	1.228526	0.1244291	1529.282
127	5	0.3132566	1.228526	0.1244291	1553.875
137	5	0.3554081	1.228526	0.1244291	1578.462
147	5	0.4078750	1.228526	0.1244291	1603.073
157	5	0.4751117	1.228526	0.1244291	1627.732
167	5	0.5650249	1.228526	0.1244291	1652.462
177	5	0.6909542	1.228526	0.1244291	1677.280
57	10	0.1783157	1.230777	0.1248856	1379.050
67	10	0.1631436	1.230777	0.1248856	1404.740
77	10	0.1763762	1.230777	0.1248856	1430.053
87	10	0.1935509	1.230777	0.1248856	1455.092
97	10	0.2137296	1.230777	0.1248856	1479.937
107	10	0.2372880	1.230777	0.1248856	1504.650
117	10	0.2649776	1.230777	0.1248856	1529.282
127	10	0.2982070	1.230777	0.1248856	1553.875
137	10	0.3384793	1.230777	0.1248856	1578.462
147	10	0.3888319	1.230777	0.1248856	1603.073
157	10	0.4533366	1.230777	0.1248856	1627.732
167	10	0.5393239	1.230777	0.1248856	1652.462
177	10	0.6597674	1.230777	0.1248856	1677.280
47	15	0.1303287	1.234040	0.1255486	1352.846
57	15	0.1375078	1.234040	0.1255486	1379.050
67	15	0.1503054	1.234040	0.1255486	1404.740
77	15	0.1652259	1.234040	0.1255486	1430.053
87	15	0.1821759	1.234040	0.1255486	1455.092
97	15	0.2014677	1.234040	0.1255486	1479.937
107	15	0.2238509	1.234040	0.1255486	1504.650
117	15	0.2501687	1.234040	0.1255486	1529.282
127	15	0.2815770	1.234040	0.1255486	1553.875
137	15	0.3196379	1.234040	0.1255486	1578.462
147	15	0.3671944	1.234040	0.1255486	1603.073
157	15	0.4281218	1.234040	0.1255486	1627.732
167	15	0.5093902	1.234040	0.1255486	1652.462
177	15	0.6231623	1.234040	0.1255486	1677.280

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

Çizelge 1.2. Kaynatıcının farklı sıcaklık değerlerine göre 2 borulu *yoğuşturucunun* boyut değişimi ($T_{yog}=23^{\circ}\text{C}$, $T_{abs}=25^{\circ}\text{C}$)

T_{kay}	T_{buh}	Boru uzunluğu L1	Boru uzunluğu L2	Boru çapı exp-2 DM	Debi exp-2 m	Entalpi h2
($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(m)	(m)	(m)	(kg/s)	(kJ/kg)
77	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
87	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
97	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
107	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
117	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
127	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
137	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
147	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
157	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
167	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
177	5	3.4720	3.6500	1.521257	0.1244291	106.6764
57	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
67	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
77	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
87	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
97	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
107	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
117	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
127	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
137	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
147	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
157	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
167	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
177	10	3.4847	3.6640	1.524045	0.1248856	106.6764
47	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
57	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
67	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
77	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
87	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
97	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
107	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
117	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
127	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
137	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
147	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
157	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
167	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764
177	15	3.5032	3.6830	1.528085	0.1255486	106.6764

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

Çizelge 1.3. Kaynatıcının farklı sıcaklık değerlerine göre *buharlaştırıcı* boyut değişimi ($T_{yog}=23^{\circ}\text{C}$, $T_{abs}=25^{\circ}\text{C}$)

T_{kay} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{buh} ($^{\circ}\text{C}$)	Boru uzunluğu LB (m)	Boru çapı exp-2 DB (m)	Debi exp-2 (kg/s)	Entalpi h_3 (kJ/kg)
77	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
87	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
97	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
107	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
117	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
127	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
137	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
147	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
157	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
167	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
177	5	3.338952	2.180128	0.1244291	49.9513
57	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
67	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
77	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
87	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
97	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
107	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
117	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
127	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
137	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
147	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
157	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
167	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
177	10	3.338952	2.180128	0.1248856	66.8062
47	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
57	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
67	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
77	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
87	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
97	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
107	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
117	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
127	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
137	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
147	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
157	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
167	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002
177	15	3.338952	2.180128	0.1255486	84.0002

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

Çizelge 1.4. Kaynatıcının sıcaklık değerlerine göre *absorber* boyut değişimi (Tyoğ=23°C, Tabs= 25°C)

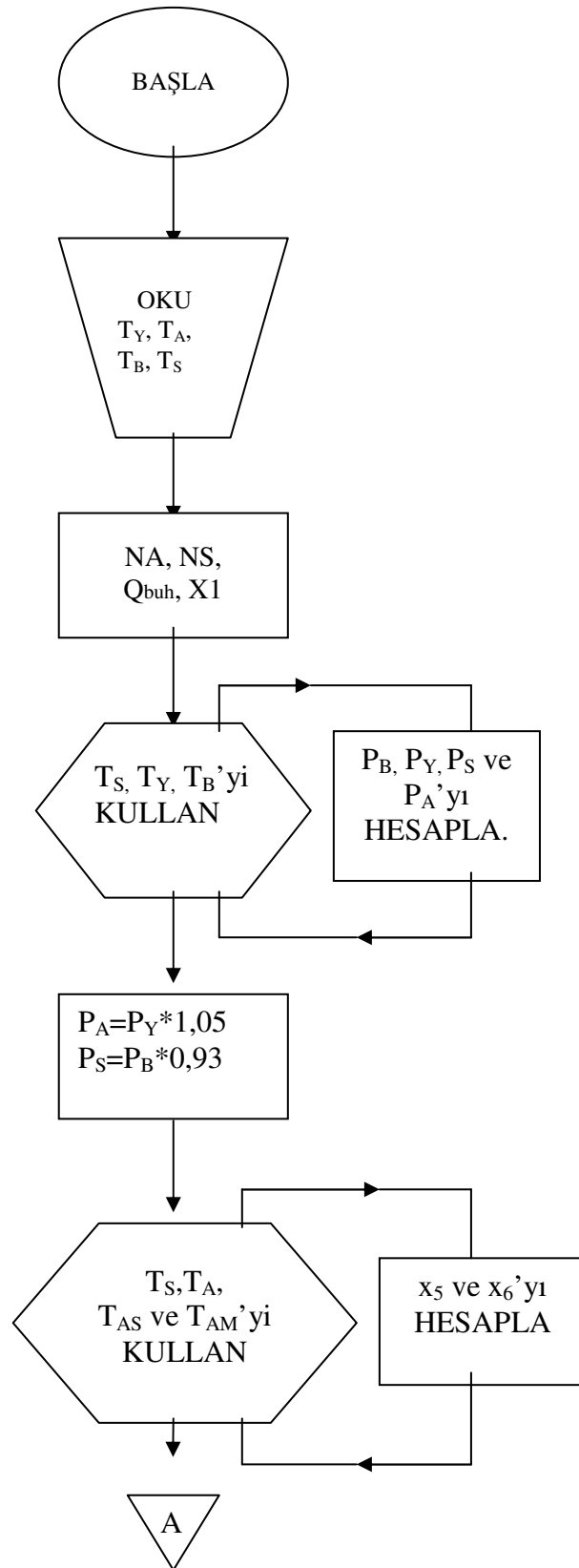
T _{kay} (°C)	T _{buh} (°C)	Boru uzunluğu LA (m)	Boru çapı exp-2 DA (m)	Debi exp-2 (kg/s)	Kütle kesri	Entalpi h ₅ (kJ/kg)
77	5	0.6969542	1.377422	0.9307911	0.460156	-134.7295
87	5	0.6583443	1.458204	0.7439892	0.460156	-134.7295
97	5	0.6530882	1.469939	0.5549974	0.460156	-134.7295
107	5	0.6553634	1.464836	0.4595660	0.460156	-134.7295
117	5	0.6600904	1.454346	0.4016398	0.460156	-134.7295
127	5	0.6656074	1.442292	0.3625379	0.460156	-134.7295
137	5	0.6712171	1.430238	0.3342465	0.460156	-134.7295
147	5	0.6765768	1.418908	0.3127507	0.460156	-134.7295
157	5	0.6814981	1.408661	0.2958137	0.460156	-134.7295
167	5	0.6858674	1.399688	0.2820894	0.460156	-134.7295
177	5	0.6896105	1.392091	0.2707179	0.460156	-134.7295
57	10	0.7463870	1.286196	0.9958474	0.542457	-129.3564
67	10	0.5902805	1.626346	0.8208012	0.542457	-129.3564
77	10	0.5843605	1.642822	0.5352070	0.542457	-129.3564
87	10	0.5885333	1.631174	0.4241505	0.542457	-129.3564
97	10	0.5950086	1.613422	0.3644271	0.542457	-129.3564
107	10	0.6020590	1.594528	0.3268101	0.542457	-129.3564
117	10	0.6090519	1.576220	0.3007694	0.542457	-129.3564
127	10	0.6157308	1.559123	0.2815713	0.542457	-129.3564
137	10	0.6219698	1.543483	0.2667672	0.542457	-129.3564
147	10	0.6276999	1.529393	0.2549606	0.542457	-129.3564
157	10	0.6328791	1.516877	0.2452954	0.542457	-129.3564
167	10	0.6374791	1.505932	0.2372166	0.542457	-129.3564
177	10	0.6414783	1.496543	0.2303480	0.542457	-129.3564
47	15	0.5373498	1.786546	0.9292135	0.640996	-103.5509
57	15	0.5193683	1.848399	0.5142211	0.640996	-103.5509
67	15	0.5246052	1.829947	0.3746065	0.640996	-103.5509
77	15	0.5318881	1.804891	0.3148048	0.640996	-103.5509
87	15	0.5393472	1.779931	0.2810432	0.640996	-103.5509
97	15	0.5465552	1.756456	0.2590971	0.640996	-103.5509
107	15	0.5533798	1.734794	0.2435505	0.640996	-103.5509
117	15	0.5597737	1.714979	0.2318801	0.640996	-103.5509
127	15	0.5657179	1.696959	0.2227470	0.640996	-103.5509
137	15	0.5712041	1.680660	0.2153719	0.640996	-103.5509
147	15	0.5762272	1.666012	0.2092692	0.640996	-103.5509
157	15	0.5807825	1.652942	0.2041230	0.640996	-103.5509
167	15	0.5848662	1.641401	0.1997053	0.640996	-103.5509
177	15	0.5884730	1.631341	0.1958703	0.640996	-103.5509

EK-1 (Devam) Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi ve elemanlarının boyutlandırılmasına ait bilgisayar programı

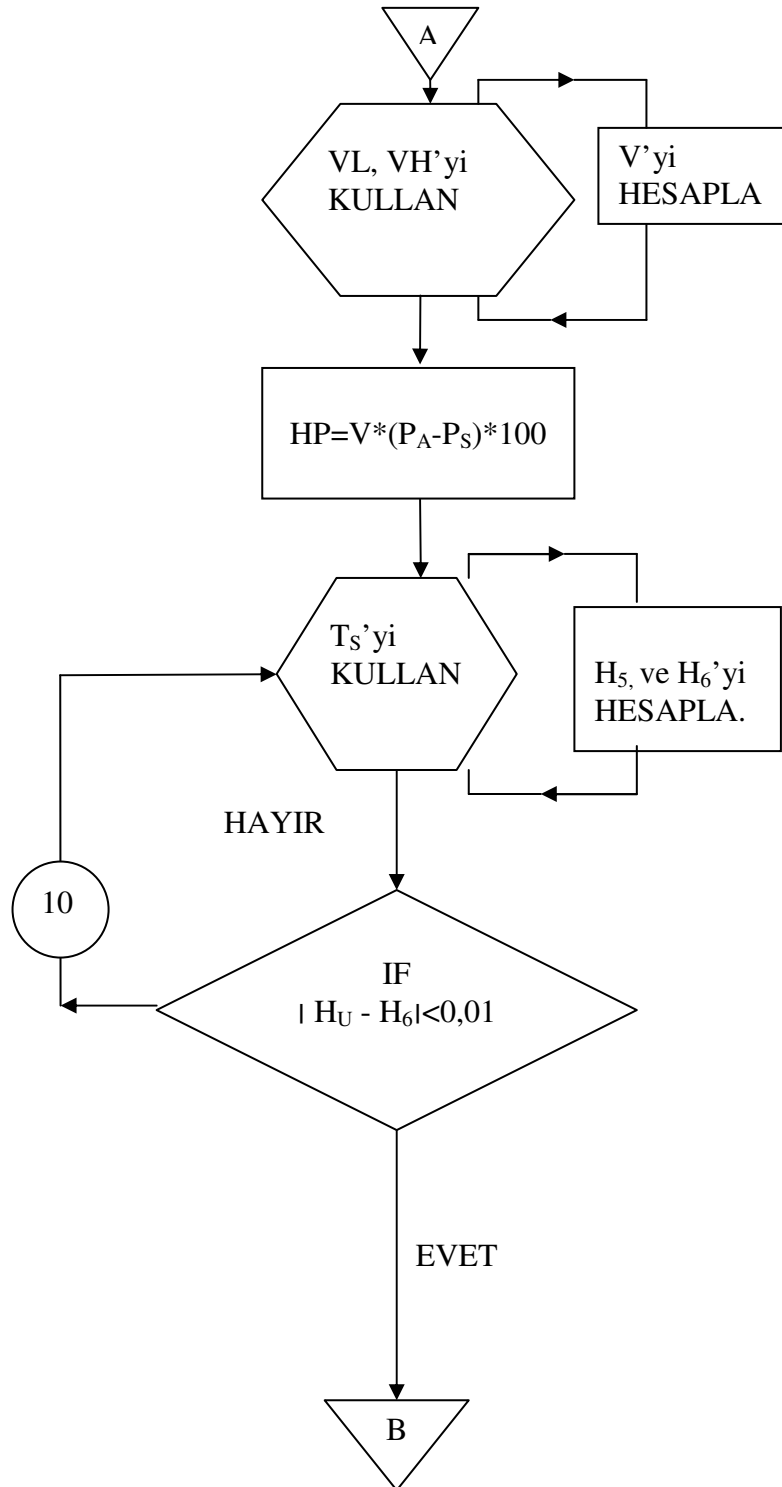
Çizelge 1.5. Kaynatıcının farklı sıcaklık değerlerine göre *eriyik eşanjörünün* boyut değişimi ($T_{yog}=23^{\circ}\text{C}$, $T_{abs}=25^{\circ}\text{C}$)

T_{kay} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{buh} ($^{\circ}\text{C}$)	Boru uzunluğu LE (m)	Boru çapı exp-2 DE (m)	Debi exp-2 (kg/s)	Kütle kesri	Entalpi h9 (kJ/kg)
77	5	2.13770	0.5	0.9183481	0.4035038	-91.284
87	5	1.49860	0.5	0.6195602	0.3519384	-72.526
97	5	1.33150	0.5	0.4305684	0.3044375	-49.290
107	5	1.27930	0.5	0.3351375	0.2600963	-22.689
117	5	1.27010	0.5	0.2772107	0.2182910	6.419
127	5	1.27930	0.5	0.2381088	0.1785721	37.336
137	5	1.29570	0.5	0.2098174	0.1406038	69.465
147	5	1.31340	0.5	0.1883216	0.1041287	102.270
157	5	1.32840	0.5	0.1713846	0.0689445	135.280
167	5	1.33800	0.5	0.1576603	0.0348894	168.040
177	5	1.34000	0.5	0.1462889	0.0018323	200.120
57	10	2.28090	0.5	0.9333588	0.5253539	-108.400
67	10	0.75181	0.5	0.6959156	0.4605284	-104.160
77	10	0.63358	0.5	0.4103214	0.4035038	-91.445
87	10	0.61879	0.5	0.2992649	0.3519384	-72.689
97	10	0.63307	0.5	0.2395415	0.3044375	-49.453
107	10	0.65834	0.5	0.2019245	0.2600963	-22.852
117	10	0.68770	0.5	0.1758839	0.2182910	6.257
127	10	0.71765	0.5	0.1566857	0.1785721	37.175
137	10	0.74602	0.5	0.1418816	0.1406038	69.306
147	10	0.77122	0.5	0.130075	0.1041287	102.110
157	10	0.79198	0.5	0.1204099	0.0689445	135.130
167	10	0.80719	0.5	0.1123310	0.0034889	167.890
177	10	0.81585	0.5	0.1054624	0.0083231	199.970
47	15	0.33734	0.5	0.6166586	0.6024674	-100.040
57	15	0.21151	0.5	0.3886725	0.5253539	-108.630
67	15	0.21398	0.5	0.2490579	0.4605284	-104.380
77	15	0.23219	0.5	0.1892563	0.4035038	-91.676
87	15	0.25505	0.5	0.1554946	0.3519384	-72.920
97	15	0.27940	0.5	0.1335485	0.3044375	-49.685
107	15	0.30381	0.5	0.1180019	0.2600963	-23.084
117	15	0.32737	0.5	0.1063316	0.2182910	6.025
127	15	0.34939	0.5	0.0971984	0.1785721	36.945
137	15	0.36926	0.5	0.0898233	0.1406038	69.078
147	15	0.38640	0.5	0.0837206	0.1041287	101.890
157	15	0.40027	0.5	0.0785714	0.0689445	134.910
167	15	0.41029	0.5	0.0741567	0.0348894	167.670
177	15	0.41592	0.5	0.0703214	0.0183231	199.760

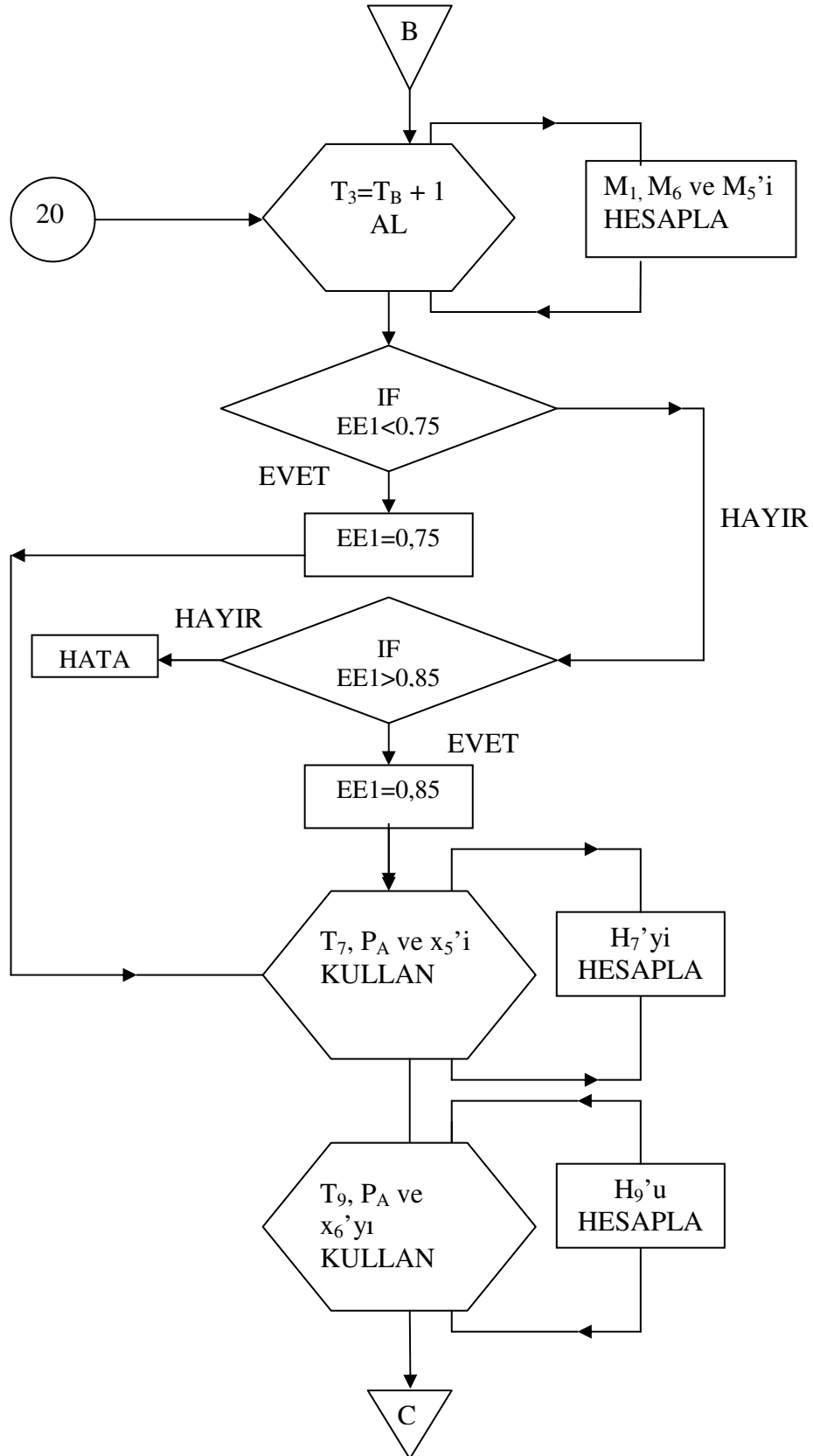
EK-2 Bilgisayar programı akış şeması



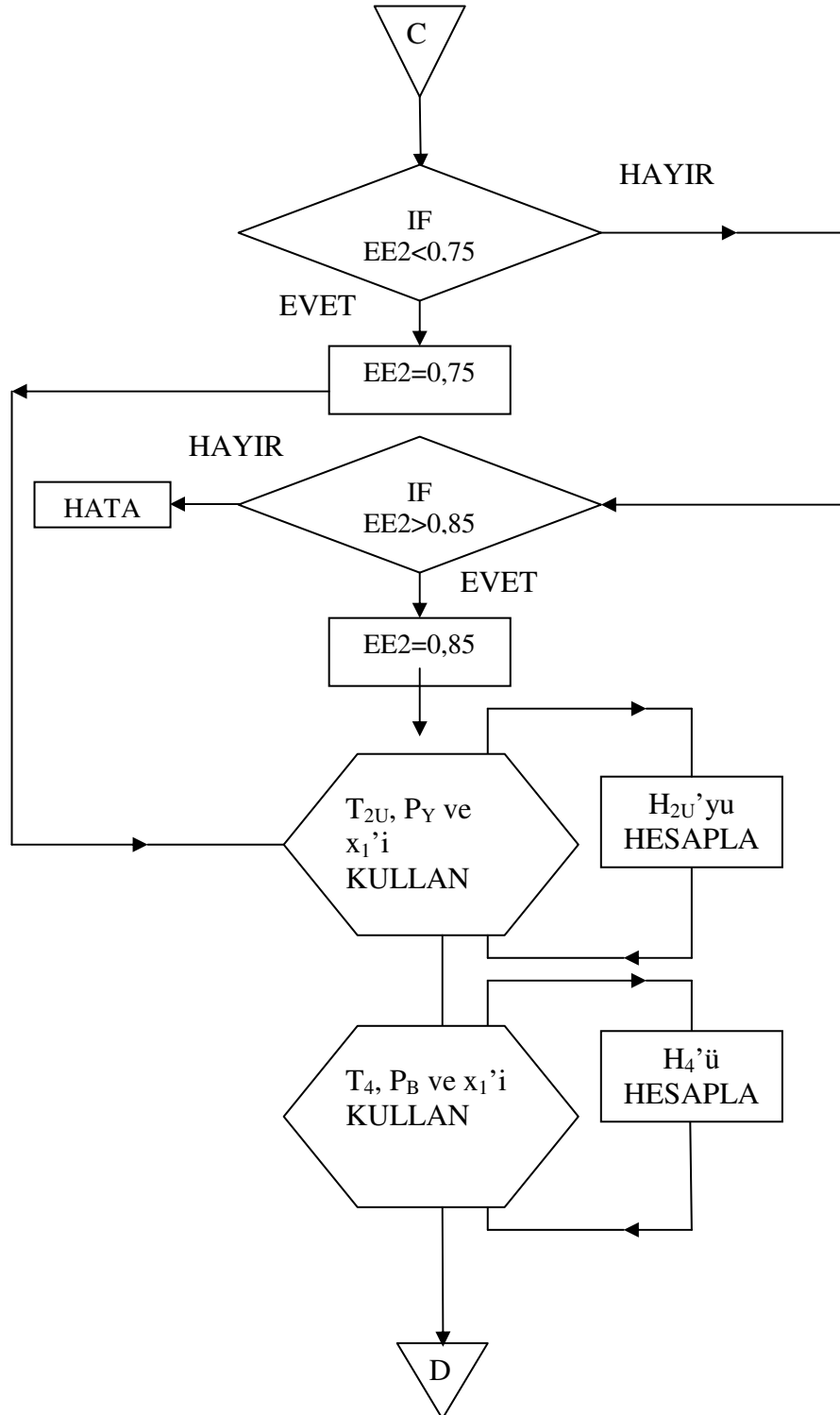
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



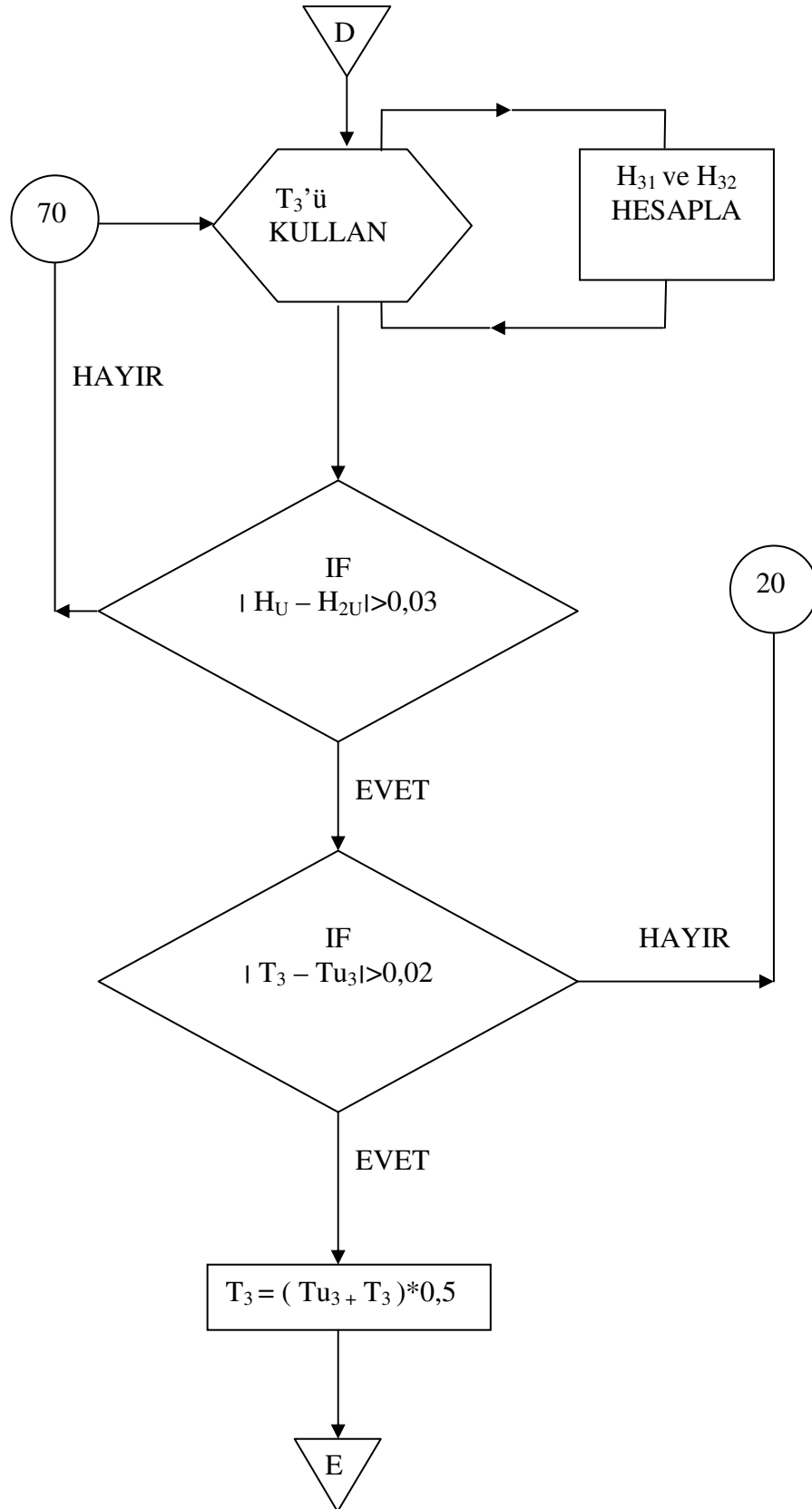
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



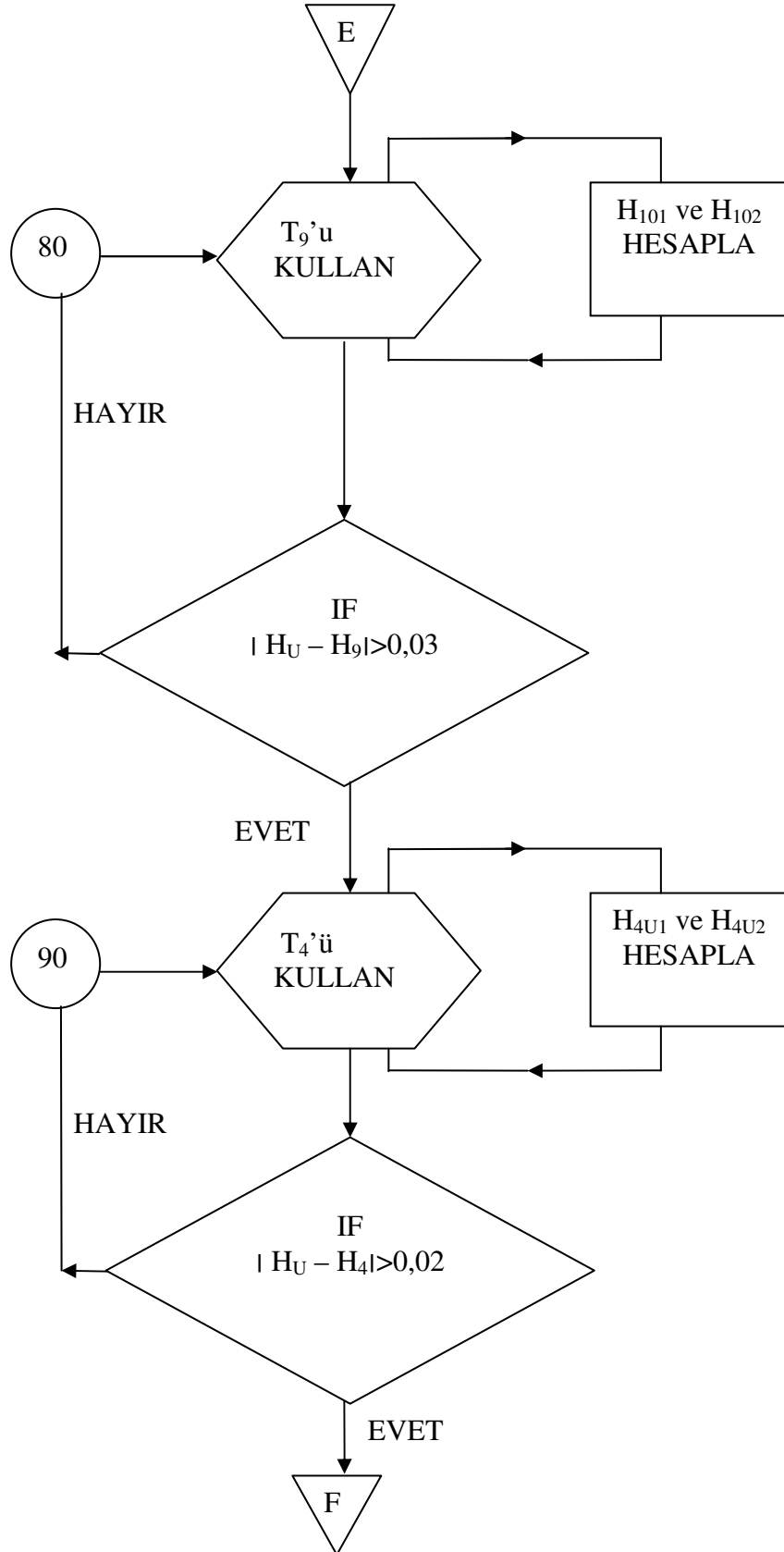
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



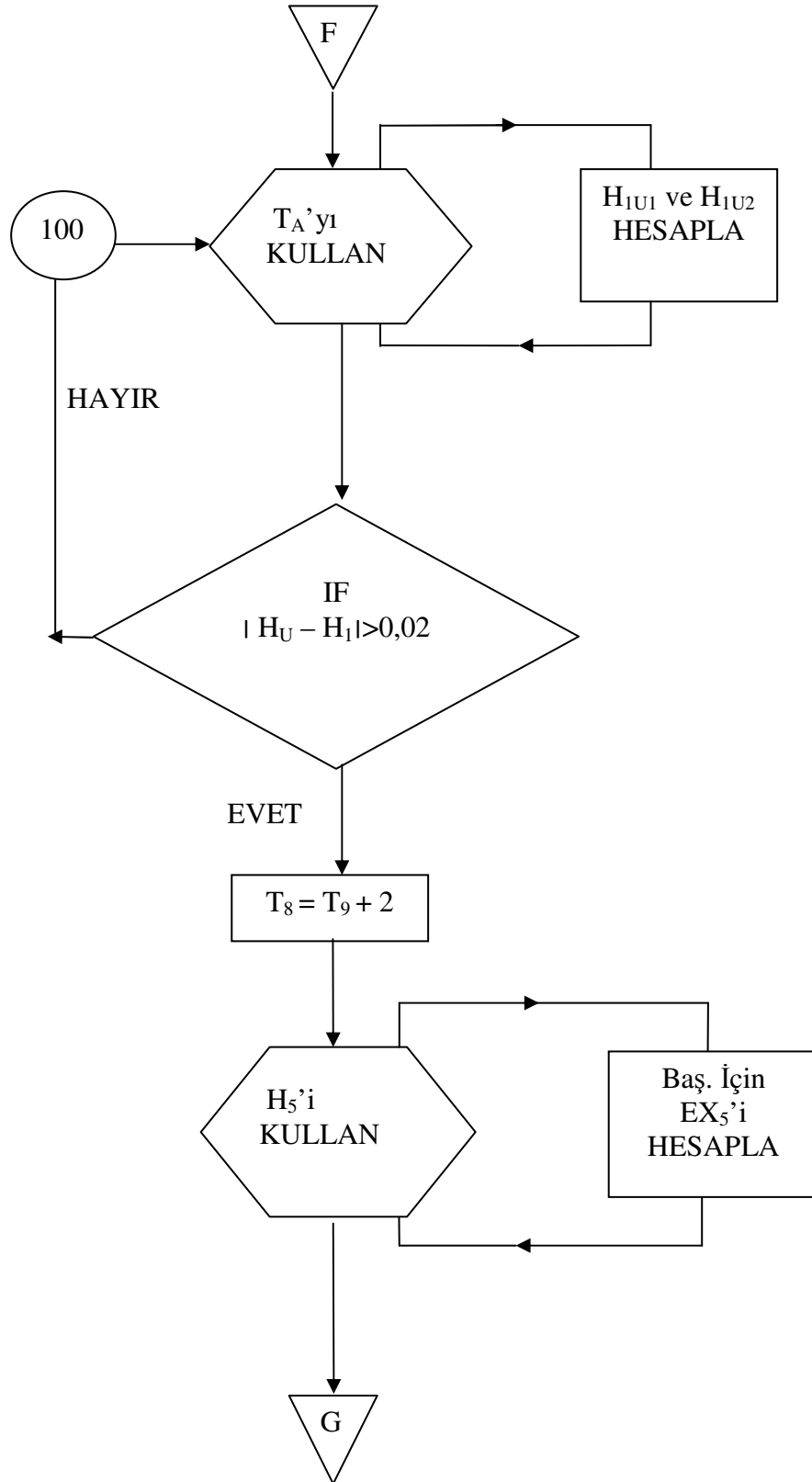
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



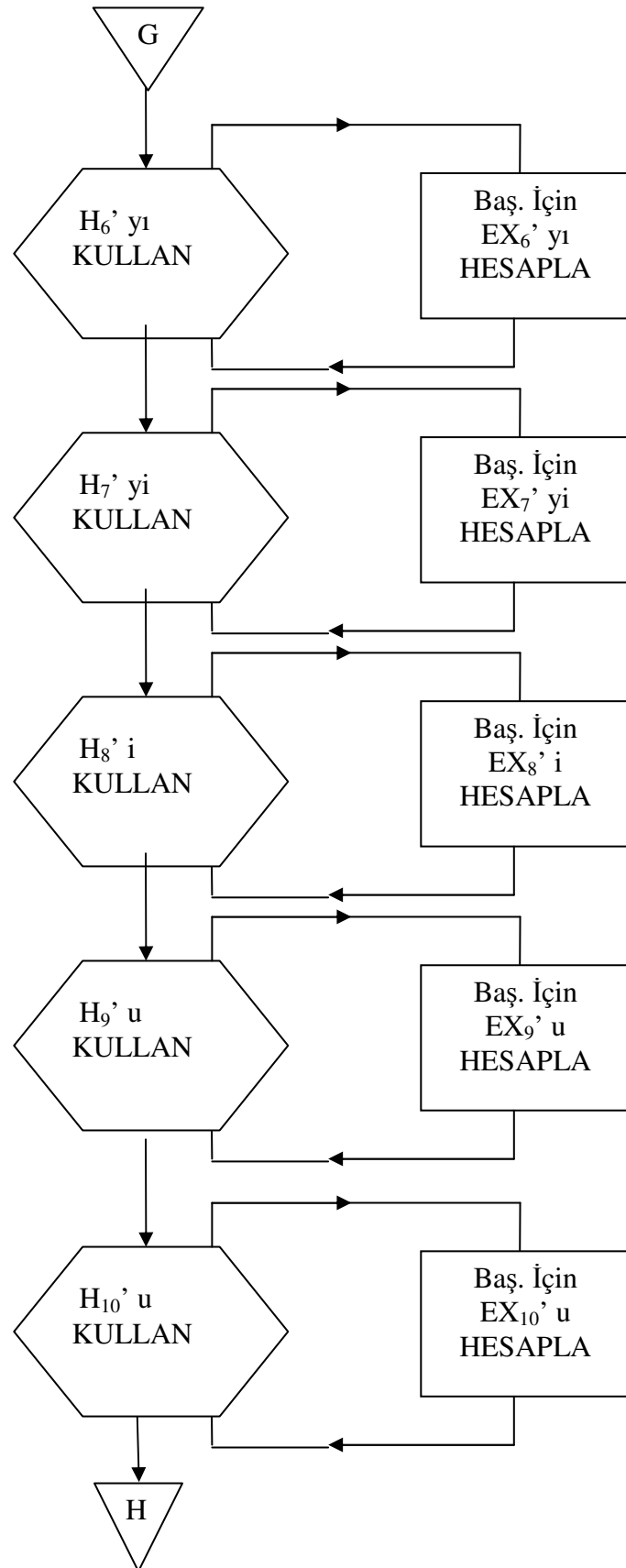
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



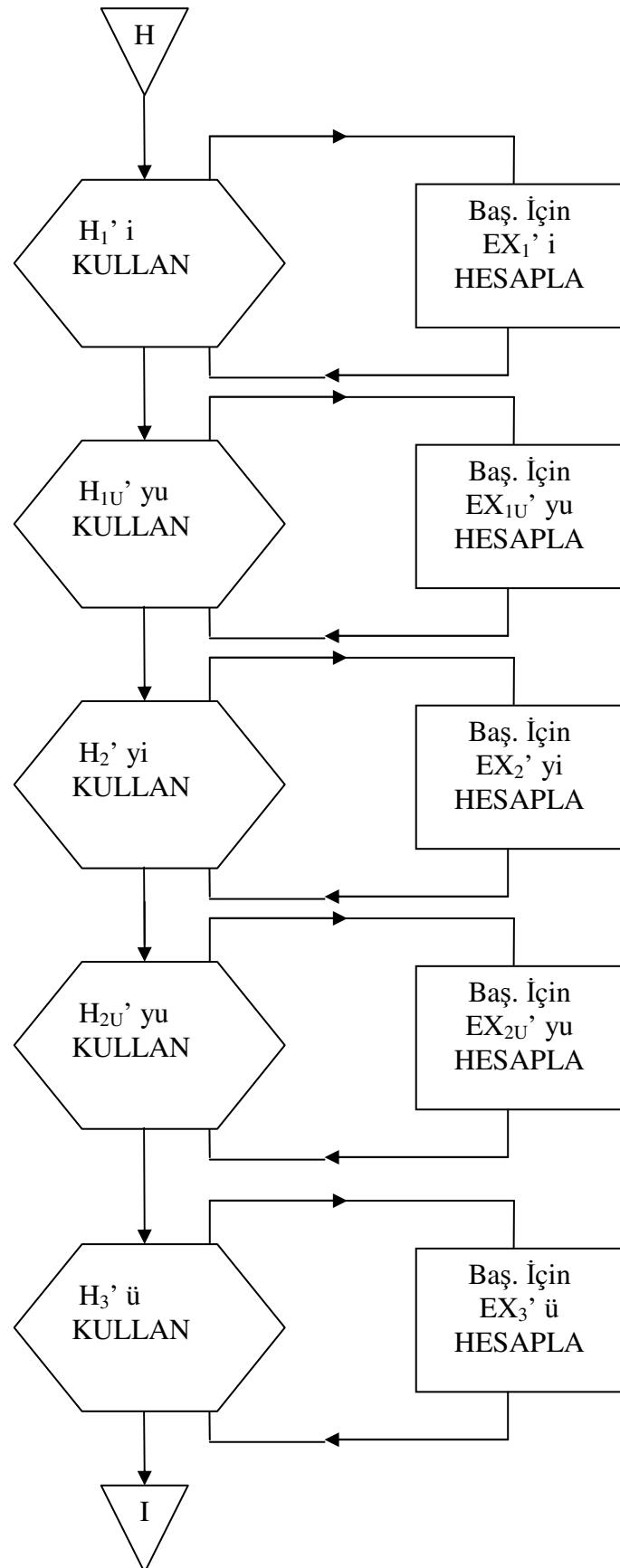
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



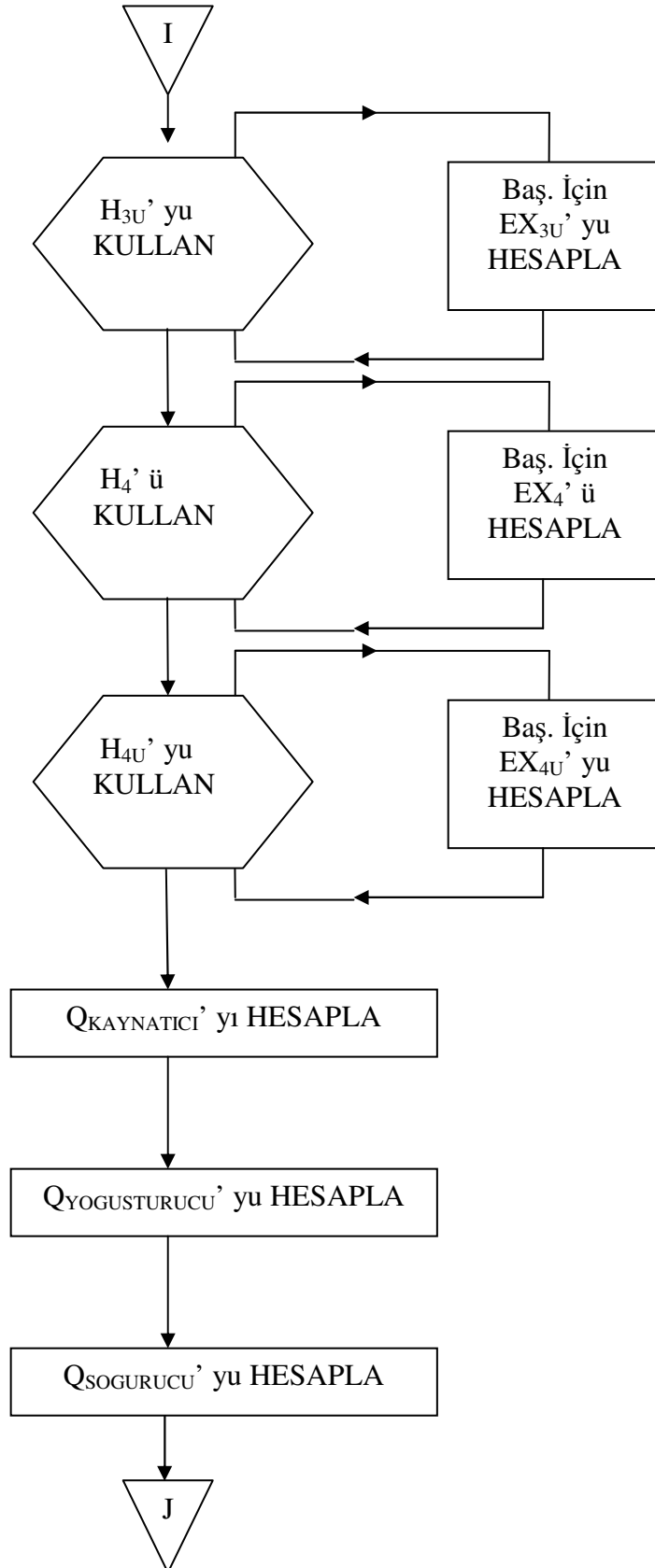
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



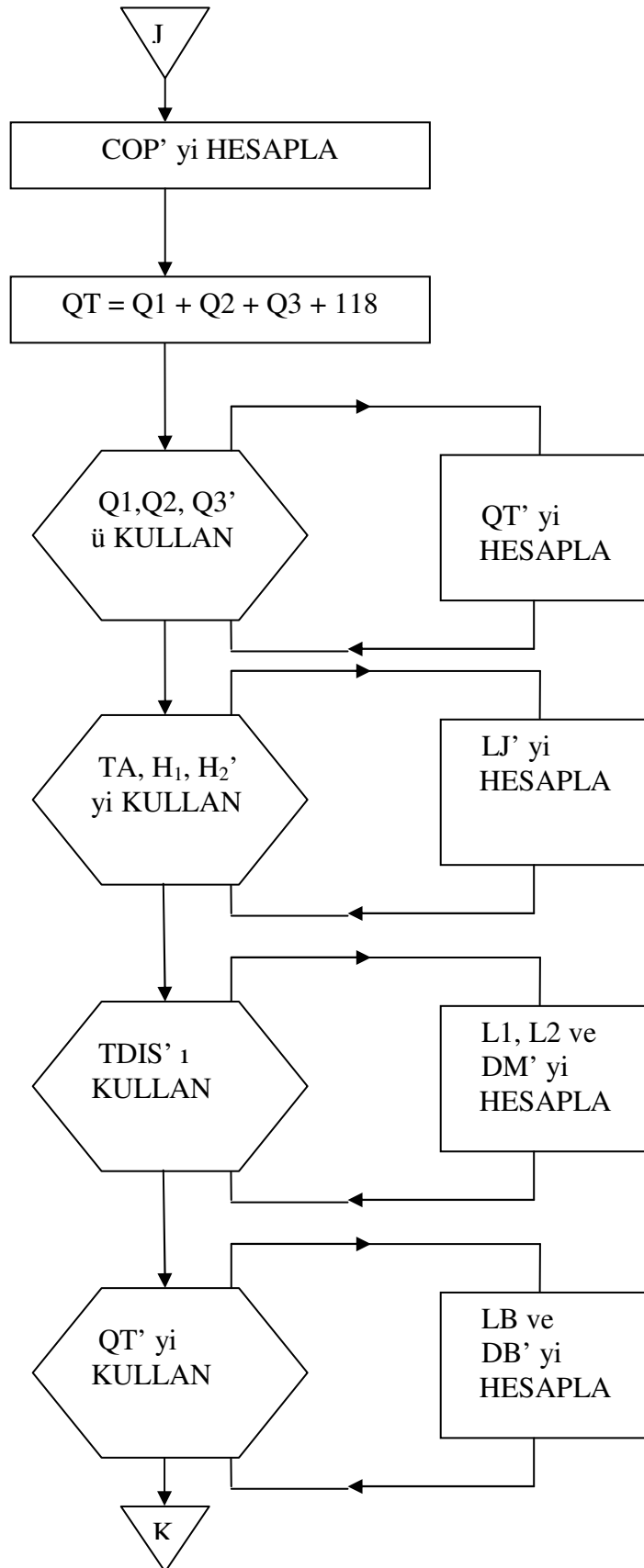
EK-2 (Devam) Bilgisayar programı akış şeması



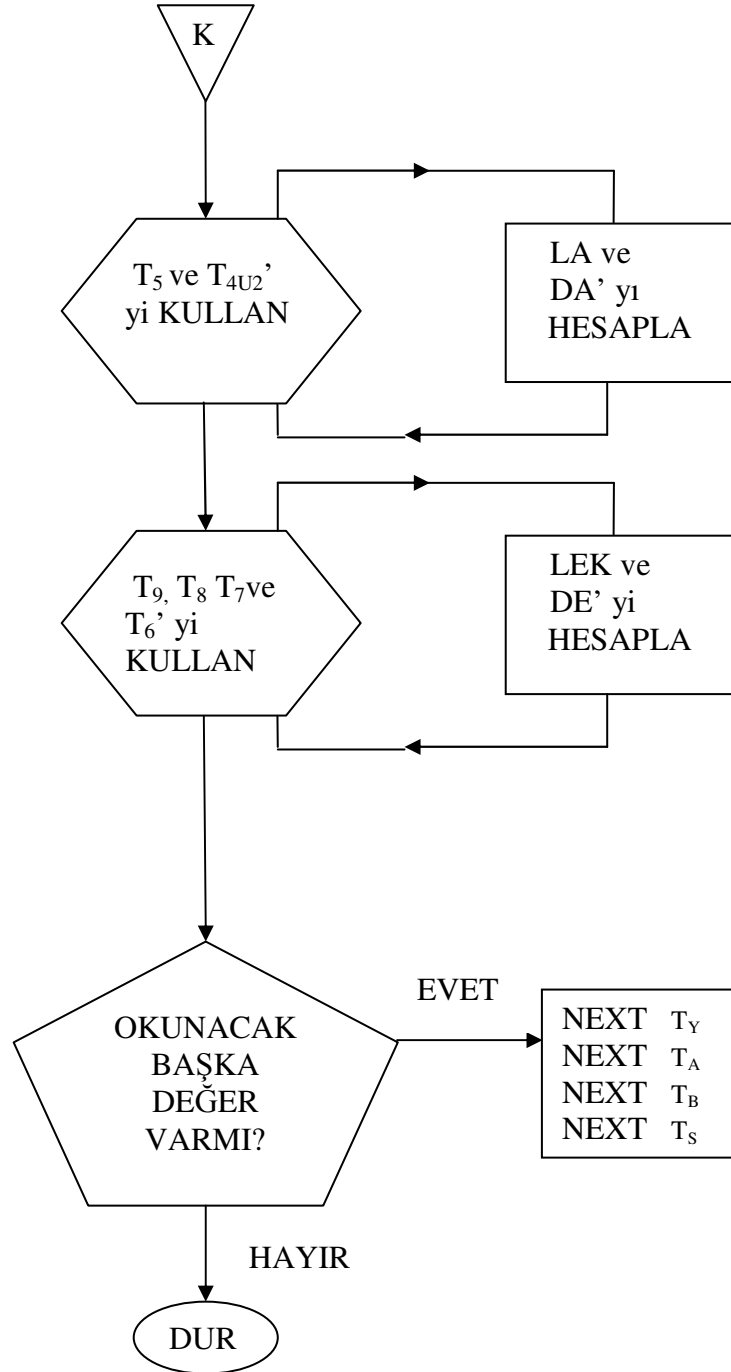
EK-2 (Devam) Bilgisayar Programı Akış Şeması



EK-2 (Devam) Bilgisayar Programı Akış Şeması



EK-2 (Devam) Bilgisayar Programı Akış Şeması



EK-3. Su buharının doymuş haller tablosu

Temperature, T (K)	Pressure, P (bars) ^a	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vapor- ization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temper- ature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

EK-3 (Devam) Su buharının doymuş haller tablosu

390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1		440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9		450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7		460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5		470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2		480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9		490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6		500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3		510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9		520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5		530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1		540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7		550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3		560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0		570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8		580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5		590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4		600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3		610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5		620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5		625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6		630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5		635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8		640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1		645
647.3°	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0		647.3°

*Adapted from Reference 19.

*1 bar = 10^5 N/m².

*Critical temperature.

EK-4. Su buharının kızgın buhar tablosu

Başlık		0.01 bar			0.04 bar			0.05 bar			0.06 bar		
Sıcaklık		$t_s = 6.92^\circ\text{C}$ $i'' = 2.513 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 129.9 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.975 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 25.979^\circ\text{C}$ $i'' = 2.554 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 1.01 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.473 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 32.88^\circ\text{C}$ $i'' = 2.561 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 28.19 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.393 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 36.18^\circ\text{C}$ $i'' = 2.567 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 21.74 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.328 \text{ kJ/kg K}$		
t	T	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
$^\circ\text{C}$	K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K
0	273.15	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
10	283.15	0.0010002	1.17	8.983	0.0010002	41.9	0.1511	0.0010002	41.9	0.1511	0.0010002	41.9	0.1511
20	293.15	0.0010002	2.33	9.055	0.0010002	83.7	0.2964	0.0010002	83.7	0.2964	0.0010002	83.7	0.2964
30	303.15	0.0010002	3.50	9.117	0.0010002	125.6	0.4353	0.0010002	125.6	0.4353	0.0010002	125.6	0.4353
40	313.15	0.0010002	4.67	9.178	0.0010002	167.5	0.5697	0.0010002	167.5	0.5697	0.0010002	167.5	0.5697
50	323.15	0.0010002	5.84	9.238	0.0010002	209.4	0.6999	0.0010002	209.4	0.6999	0.0010002	209.4	0.6999
60	333.15	0.0010002	7.01	9.296	0.0010002	251.3	0.8258	0.0010002	251.3	0.8258	0.0010002	251.3	0.8258
70	343.15	0.0010002	8.18	9.352	0.0010002	293.2	0.9472	0.0010002	293.2	0.9472	0.0010002	293.2	0.9472
80	353.15	0.0010002	9.35	9.406	0.0010002	335.1	1.0641	0.0010002	335.1	1.0641	0.0010002	335.1	1.0641
90	363.15	0.0010002	10.52	9.459	0.0010002	377.0	1.1765	0.0010002	377.0	1.1765	0.0010002	377.0	1.1765
100	373.15	0.0010002	11.69	9.510	0.0010002	418.9	1.2844	0.0010002	418.9	1.2844	0.0010002	418.9	1.2844
110	383.15	0.0010002	12.86	9.560	0.0010002	460.8	1.3878	0.0010002	460.8	1.3878	0.0010002	460.8	1.3878
120	393.15	0.0010002	14.03	9.609	0.0010002	502.7	1.4867	0.0010002	502.7	1.4867	0.0010002	502.7	1.4867
130	403.15	0.0010002	15.20	9.656	0.0010002	544.6	1.5811	0.0010002	544.6	1.5811	0.0010002	544.6	1.5811
140	413.15	0.0010002	16.37	9.703	0.0010002	586.5	1.6710	0.0010002	586.5	1.6710	0.0010002	586.5	1.6710
150	423.15	0.0010002	17.54	9.748	0.0010002	628.4	1.7564	0.0010002	628.4	1.7564	0.0010002	628.4	1.7564
160	433.15	0.0010002	18.71	9.793	0.0010002	670.3	1.8373	0.0010002	670.3	1.8373	0.0010002	670.3	1.8373
170	443.15	0.0010002	19.88	9.837	0.0010002	712.2	1.9137	0.0010002	712.2	1.9137	0.0010002	712.2	1.9137
180	453.15	0.0010002	21.05	9.880	0.0010002	754.1	1.9856	0.0010002	754.1	1.9856	0.0010002	754.1	1.9856
190	463.15	0.0010002	22.22	9.922	0.0010002	796.0	2.0530	0.0010002	796.0	2.0530	0.0010002	796.0	2.0530
200	473.15	0.0010002	23.39	9.963	0.0010002	837.9	2.1159	0.0010002	837.9	2.1159	0.0010002	837.9	2.1159
210	483.15	0.0010002	24.56	10.004	0.0010002	879.8	2.1743	0.0010002	879.8	2.1743	0.0010002	879.8	2.1743
220	493.15	0.0010002	25.73	10.044	0.0010002	921.7	2.2282	0.0010002	921.7	2.2282	0.0010002	921.7	2.2282
230	503.15	0.0010002	26.90	10.083	0.0010002	963.6	2.2776	0.0010002	963.6	2.2776	0.0010002	963.6	2.2776
240	513.15	0.0010002	28.07	10.121	0.0010002	1005.5	2.3225	0.0010002	1005.5	2.3225	0.0010002	1005.5	2.3225
250	523.15	0.0010002	29.24	10.159	0.0010002	1047.4	2.3629	0.0010002	1047.4	2.3629	0.0010002	1047.4	2.3629
260	533.15	0.0010002	30.41	10.196	0.0010002	1089.3	2.3988	0.0010002	1089.3	2.3988	0.0010002	1089.3	2.3988
270	543.15	0.0010002	31.58	10.233	0.0010002	1131.2	2.4302	0.0010002	1131.2	2.4302	0.0010002	1131.2	2.4302
280	553.15	0.0010002	32.75	10.269	0.0010002	1173.1	2.4571	0.0010002	1173.1	2.4571	0.0010002	1173.1	2.4571
290	563.15	0.0010002	33.92	10.305	0.0010002	1215.0	2.4795	0.0010002	1215.0	2.4795	0.0010002	1215.0	2.4795
300	573.15	0.0010002	35.09	10.340	0.0010002	1256.9	2.4974	0.0010002	1256.9	2.4974	0.0010002	1256.9	2.4974
310	583.15	0.0010002	36.26	10.374	0.0010002	1298.8	2.5108	0.0010002	1298.8	2.5108	0.0010002	1298.8	2.5108
320	593.15	0.0010002	37.43	10.408	0.0010002	1340.7	2.5197	0.0010002	1340.7	2.5197	0.0010002	1340.7	2.5197
330	603.15	0.0010002	38.60	10.441	0.0010002	1382.6	2.5241	0.0010002	1382.6	2.5241	0.0010002	1382.6	2.5241
340	613.15	0.0010002	39.77	10.474	0.0010002	1424.5	2.5249	0.0010002	1424.5	2.5249	0.0010002	1424.5	2.5249
350	623.15	0.0010002	40.94	10.507	0.0010002	1466.4	2.5212	0.0010002	1466.4	2.5212	0.0010002	1466.4	2.5212
360	633.15	0.0010002	42.11	10.539	0.0010002	1508.3	2.5140	0.0010002	1508.3	2.5140	0.0010002	1508.3	2.5140
370	643.15	0.0010002	43.28	10.571	0.0010002	1550.2	2.5033	0.0010002	1550.2	2.5033	0.0010002	1550.2	2.5033
380	653.15	0.0010002	44.45	10.603	0.0010002	1592.1	2.4891	0.0010002	1592.1	2.4891	0.0010002	1592.1	2.4891
390	663.15	0.0010002	45.62	10.635	0.0010002	1634.0	2.4714	0.0010002	1634.0	2.4714	0.0010002	1634.0	2.4714
400	673.15	0.0010002	46.79	10.667	0.0010002	1675.9	2.4502	0.0010002	1675.9	2.4502	0.0010002	1675.9	2.4502
410	683.15	0.0010002	47.96	10.698	0.0010002	1717.8	2.4255	0.0010002	1717.8	2.4255	0.0010002	1717.8	2.4255
420	693.15	0.0010002	49.13	10.729	0.0010002	1759.7	2.3974	0.0010002	1759.7	2.3974	0.0010002	1759.7	2.3974
430	703.15	0.0010002	50.30	10.759	0.0010002	1801.6	2.3659	0.0010002	1801.6	2.3659	0.0010002	1801.6	2.3659
440	713.15	0.0010002	51.47	10.789	0.0010002	1843.5	2.3300	0.0010002	1843.5	2.3300	0.0010002	1843.5	2.3300
450	723.15	0.0010002	52.64	10.819	0.0010002	1885.4	2.2897	0.0010002	1885.4	2.2897	0.0010002	1885.4	2.2897
460	733.15	0.0010002	53.81	10.848	0.0010002	1927.3	2.2450	0.0010002	1927.3	2.2450	0.0010002	1927.3	2.2450
470	743.15	0.0010002	54.98	10.877	0.0010002	1969.2	2.1959	0.0010002	1969.2	2.1959	0.0010002	1969.2	2.1959
480	753.15	0.0010002	56.15	10.906	0.0010002	2011.1	2.1424	0.0010002	2011.1	2.1424	0.0010002	2011.1	2.1424
490	763.15	0.0010002	57.32	10.935	0.0010002	2053.0	2.0845	0.0010002	2053.0	2.0845	0.0010002	2053.0	2.0845
500	773.15	0.0010002	58.49	10.964	0.0010002	2094.9	2.0221	0.0010002	2094.9	2.0221	0.0010002	2094.9	2.0221
510	783.15	0.0010002	59.66	10.993	0.0010002	2136.8	1.9552	0.0010002	2136.8	1.9552	0.0010002	2136.8	1.9552
520	793.15	0.0010002	60.83	11.022	0.0010002	2178.7	1.8838	0.0010002	2178.7	1.8838	0.0010002	2178.7	1.8838
530	803.15	0.0010002	62.00	11.051	0.0010002	2220.6	1.8079	0.0010002	2220.6	1.8079	0.0010002	2220.6	1.8079
540	813.15	0.0010002	63.17	11.080	0.0010002	2262.5	1.7275	0.0010002	2262.5	1.7275	0.0010002	2262.5	1.7275
550	823.15	0.0010002	64.34	11.109	0.0010002	2304.4	1.6426	0.0010002	2304.4	1.6426	0.0010002	2304.4	1.6426
560	833.15	0.0010002	65.51	11.138	0.0010002	2346.3	1.5532	0.0010002	2346.3	1.5532	0.0010002	2346.3	1.5532
570	843.15	0.0010002	66.68	11.167	0.0010002	2388.2	1.4593	0.0010002	2388.2	1.4593	0.0010002	2388.2	1.4593
580	853.15	0.0010002	67.85	11.196	0.0010002	2430.1	1.3609	0.0010002	2430.1	1.3609	0.0010002	2430.1	1.3609
590	863.15	0.0010002	69.02	11.225	0.0010002	2472.0	1.2580	0.0010002	2472.0	1.2580	0.0010002	2472.0	1.2580
600	873.15	0.0010002	70.19	11.254	0.0010002	2513.9	1.1506	0.0010002	2513.9	1.1506	0.0010002	2513.9	1.1506
610	883.15	0.0010002	71.36	11.283	0.0010002	2555.8	1.0387	0.0010002	2555.				

EK-4.(Devam) Su buharının kızgın buhar tablosu

Başlangıç		0.10 bar			0.10 bar			0.40 bar			0.50 bar		
Sıcaklık		$t_s = 60.08^\circ\text{C}$ $i'' = 2.609 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 7.617 \text{ m}^3/\text{kg}$ $i' = 2.907 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 69.12^\circ\text{C}$ $i'' = 2.625 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 5.226 \text{ m}^3/\text{kg}$ $i' = 2.749 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 75.88^\circ\text{C}$ $i'' = 2.636 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 3.994 \text{ m}^3/\text{kg}$ $i' = 2.760 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 81.35^\circ\text{C}$ $i'' = 2.645 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 3.219 \text{ m}^3/\text{kg}$ $i' = 2.593 \text{ kJ/kg K}$		
t	T	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
°C	K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K
0	273.15	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.1	0.0000
10	283.15	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	42.0	0.1511
20	293.15	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.8	0.2964
30	303.15	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363
40	313.15	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715
50	323.15	0.0010121	209.3	0.7030	0.0010121	209.3	0.7030	0.0010121	209.3	0.7030	0.0010121	209.3	0.7030
60	333.15	0.0010171	251.1	0.8307	0.0010171	251.1	0.8307	0.0010171	251.1	0.8307	0.0010171	251.1	0.8307
70	343.15	7.837	2619	7.761	5.168	1627	7.770	0.0010228	293.0	0.9546	0.0010228	293.0	0.9546
80	353.15	8.119	2648	8.015	5.400	1646	7.825	7.837	324.5	7.840	0.0010290	324.9	1.0748
90	363.15	8.351	2667	8.068	5.557	1666	7.879	4.163	2665	7.745	3.324	2663	7.640
100	373.15	8.584	2687	8.120	5.713	1685	7.931	4.202	2684	7.798	3.420	2683	7.693
110	383.15	8.816	2706	8.171	5.864	1705	7.982	4.199	2703	7.849	3.514	2703	7.745
120	393.15	9.049	2725	8.220	6.025	1724	8.031	4.516	2723	7.899	3.608	2722	7.795
130	403.15	9.281	2744	8.268	6.180	1743	8.079	4.433	2742	7.947	3.702	2741	7.843
140	413.15	9.513	2763	8.315	6.335	1762	8.126	4.750	2761	7.995	3.795	2761	7.890
150	423.15	9.745	2782	8.361	6.490	1782	8.172	4.866	2781	8.041	3.889	2780	7.936
160	433.15	9.977	2801	8.406	6.645	1801	8.217	4.582	2800	8.086	3.982	2799	7.981
170	443.15	10.209	2821	8.450	6.800	1820	8.261	5.099	2819	8.130	4.075	2819	8.025
180	453.15	10.441	2840	8.493	6.955	1839	8.304	5.215	2838	8.173	4.169	2838	8.069
190	463.15	10.673	2859	8.535	7.110	1859	8.346	5.331	2858	8.215	4.262	2858	8.111
200	473.15	10.905	2879	8.576	7.264	1878	8.388	5.447	2877	8.256	4.355	2877	8.153
210	483.15	11.137	2898	8.617	7.419	1898	8.429	5.564	2897	8.297	4.448	2897	8.193
220	493.15	11.369	2918	8.657	7.573	1917	8.469	5.680	2917	8.337	4.540	2916	8.233
230	503.15	11.600	2937	8.696	7.728	1937	8.509	5.795	2937	8.376	4.633	2936	8.272
240	513.15	11.832	2957	8.735	7.882	1956	8.549	5.912	2956	8.415	4.726	2956	8.311
250	523.15	12.064	2976	8.773	8.037	1976	8.585	6.028	2976	8.453	4.819	2975	8.349
260	533.15	12.295	2995	8.810	8.191	1996	8.621	6.144	2995	8.490	4.912	2995	8.386
270	543.15	12.528	3014	8.849	8.345	2016	8.654	6.276	3015	8.564	5.008	3015	8.460
280	553.15	12.760	3033	8.889	8.499	2036	8.686	6.408	3035	8.635	5.224	3036	8.531
290	563.15	13.452	3057	8.989	8.964	2056	8.801	6.723	3056	8.669	5.377	3056	8.565
300	573.15	13.683	3117	9.023	9.110	2116	8.833	6.839	3116	8.703	5.470	3116	8.599
310	583.15	13.914	3137	9.057	9.272	2136	8.864	6.954	3136	8.737	5.563	3136	8.633
320	593.15	14.145	3157	9.090	9.426	2157	8.900	7.070	3156	8.770	5.655	3156	8.666
330	603.15	14.376	3177	9.123	9.580	2177	8.935	7.186	3177	8.801	5.749	3176	8.699
340	613.15	14.606	3198	9.155	9.734	2198	8.967	7.301	3197	8.835	5.841	3197	8.731
350	623.15	15.059	3238	9.219	10.042	2238	9.031	7.533	3238	8.899	6.027	3237	8.795
360	633.15	15.530	3280	9.281	10.351	2280	9.093	7.765	3279	8.962	6.212	3279	8.858
370	643.15	15.761	3301	9.312	10.505	2300	9.124	7.880	3300	8.992	6.304	3300	8.889
380	653.15	15.992	3321	9.342	10.659	2321	9.155	7.996	3321	9.022	6.397	3320	8.919
390	663.15	16.220	3342	9.372	10.813	2342	9.185	8.112	3341	9.053	6.489	3341	8.949
400	673.15	16.45	3363	9.402	10.967	2363	9.215	8.228	3362	9.083	6.582	3362	8.979
410	683.15	16.60	3384	9.431	11.121	2384	9.244	8.343	3383	9.112	6.674	3383	9.009
420	693.15	16.80	3405	9.460	11.275	2405	9.273	8.459	3404	9.141	6.766	3404	9.037
430	703.15	17.36	3448	9.518	11.503	2447	9.331	8.670	3447	9.199	6.951	3447	9.095
440	713.15	17.62	3470	9.575	11.657	2470	9.388	8.921	3470	9.256	7.136	3470	9.152
450	723.15	18.05	3512	9.603	12.045	2512	9.416	9.036	3511	9.284	7.219	3511	9.180
460	733.15	18.28	3533	9.631	12.199	2533	9.444	9.152	3532	9.311	7.301	3532	9.208
470	743.15	18.51	3555	9.659	12.353	2555	9.472	9.267	3554	9.339	7.413	3554	9.276
480	753.15	18.75	3576	9.686	12.507	2576	9.499	9.382	3576	9.366	7.526	3576	9.263
490	763.15	18.99	3598	9.713	12.661	2598	9.526	9.498	3597	9.393	7.598	3597	9.290
500	773.15	19.22	3619	9.739	12.815	2619	9.552	9.613	3619	9.419	7.670	3619	9.316
510	783.15	19.46	3643	9.761	12.973	2643	9.604	9.842	3643	9.471	7.874	3643	9.368
520	793.15	20.15	3707	9.842	13.430	2707	9.655	10.074	3707	9.522	8.058	3707	9.419
530	803.15	20.38	3729	9.867	13.584	2729	9.680	10.190	3729	9.547	8.150	3729	9.444
540	813.15	20.61	3751	9.892	13.738	2751	9.705	10.305	3751	9.572	8.242	3741	9.469
550	823.15	20.84	3773	9.917	13.892	2773	9.730	10.420	3773	9.597	8.335	3773	9.494
560	833.15	21.07	3796	9.942	14.046	2796	9.755	10.536	3796	9.622	8.427	3795	9.519
570	843.15	21.30	3818	9.966	14.200	2818	9.779	10.651	3818	9.646	8.520	3818	9.543
580	853.15	21.53	3841	9.990	14.353	2841	9.803	10.767	3840	9.670	8.612	3840	9.567
590	863.15	21.76	3866	10.018	14.506	2866	9.827	10.882	3865	9.694	8.704	3865	9.591
600	873.15	22.45	3931	10.085	14.969	3031	9.893	11.220	3930	9.765	8.982	3930	9.662

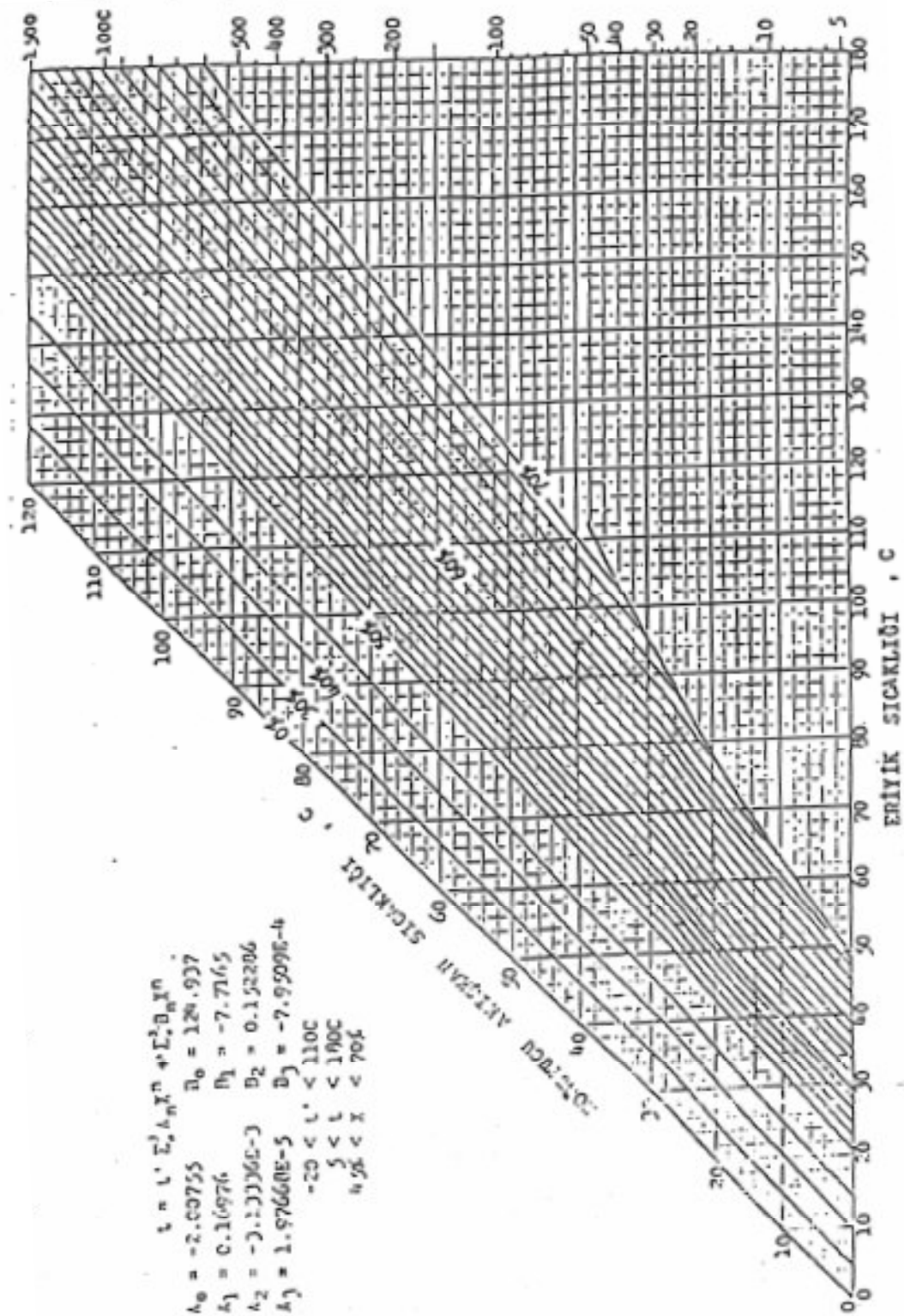
EK-4.(Devam) Su buharının kızgın buhar tablosu

Basınç		0.07 bar			0.08 bar			0.09 bar			0.10 bar		
Sıcaklık		$t_s = 10.01^\circ\text{C}$ $i'' = 2.572 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 20.53 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.274 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 11.54^\circ\text{C}$ $i'' = 2.576 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 18.10 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.227 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 13.29^\circ\text{C}$ $i'' = 2.580 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 16.70 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.186 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 15.84^\circ\text{C}$ $i'' = 2.581 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 14.60 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.145 \text{ kJ/kg K}$		
t	T	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
°C	K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K
0	273.15	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
10	283.15	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511
20	293.15	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964
30	303.15	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363
40	313.15	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715
50	323.15	0.0010127	209.4	0.7021	0.0010127	209.4	0.7021	0.0010127	209.4	0.7021	0.0010127	209.4	0.7021
60	333.15	0.0010186	251.3	0.8281	0.0010186	251.3	0.8281	0.0010186	251.3	0.8281	0.0010186	251.3	0.8281
70	343.15	0.0010256	293.2	0.9496	0.0010256	293.2	0.9496	0.0010256	293.2	0.9496	0.0010256	293.2	0.9496
80	353.15	0.0010337	335.1	1.0667	0.0010337	335.1	1.0667	0.0010337	335.1	1.0667	0.0010337	335.1	1.0667
90	363.15	0.0010429	377.0	1.1795	0.0010429	377.0	1.1795	0.0010429	377.0	1.1795	0.0010429	377.0	1.1795
100	373.15	0.0010532	418.9	1.2881	0.0010532	418.9	1.2881	0.0010532	418.9	1.2881	0.0010532	418.9	1.2881
110	383.15	0.0010646	460.8	1.3925	0.0010646	460.8	1.3925	0.0010646	460.8	1.3925	0.0010646	460.8	1.3925
120	393.15	0.0010771	502.7	1.4928	0.0010771	502.7	1.4928	0.0010771	502.7	1.4928	0.0010771	502.7	1.4928
130	403.15	0.0010907	544.6	1.5890	0.0010907	544.6	1.5890	0.0010907	544.6	1.5890	0.0010907	544.6	1.5890
140	413.15	0.0011054	586.5	1.6811	0.0011054	586.5	1.6811	0.0011054	586.5	1.6811	0.0011054	586.5	1.6811
150	423.15	0.0011212	628.4	1.7692	0.0011212	628.4	1.7692	0.0011212	628.4	1.7692	0.0011212	628.4	1.7692
160	433.15	0.0011380	670.3	1.8533	0.0011380	670.3	1.8533	0.0011380	670.3	1.8533	0.0011380	670.3	1.8533
170	443.15	0.0011558	712.2	1.9335	0.0011558	712.2	1.9335	0.0011558	712.2	1.9335	0.0011558	712.2	1.9335
180	453.15	0.0011746	754.1	2.0097	0.0011746	754.1	2.0097	0.0011746	754.1	2.0097	0.0011746	754.1	2.0097
190	463.15	0.0011944	796.0	2.0820	0.0011944	796.0	2.0820	0.0011944	796.0	2.0820	0.0011944	796.0	2.0820
200	473.15	0.0012152	837.9	2.1503	0.0012152	837.9	2.1503	0.0012152	837.9	2.1503	0.0012152	837.9	2.1503
210	483.15	0.0012370	879.8	2.2146	0.0012370	879.8	2.2146	0.0012370	879.8	2.2146	0.0012370	879.8	2.2146
220	493.15	0.0012598	921.7	2.2749	0.0012598	921.7	2.2749	0.0012598	921.7	2.2749	0.0012598	921.7	2.2749
230	503.15	0.0012836	963.6	2.3312	0.0012836	963.6	2.3312	0.0012836	963.6	2.3312	0.0012836	963.6	2.3312
240	513.15	0.0013084	1005.5	2.3835	0.0013084	1005.5	2.3835	0.0013084	1005.5	2.3835	0.0013084	1005.5	2.3835
250	523.15	0.0013342	1047.4	2.4318	0.0013342	1047.4	2.4318	0.0013342	1047.4	2.4318	0.0013342	1047.4	2.4318
260	533.15	0.0013610	1089.3	2.4761	0.0013610	1089.3	2.4761	0.0013610	1089.3	2.4761	0.0013610	1089.3	2.4761
270	543.15	0.0013888	1131.2	2.5164	0.0013888	1131.2	2.5164	0.0013888	1131.2	2.5164	0.0013888	1131.2	2.5164
280	553.15	0.0014176	1173.1	2.5527	0.0014176	1173.1	2.5527	0.0014176	1173.1	2.5527	0.0014176	1173.1	2.5527
290	563.15	0.0014474	1215.0	2.5850	0.0014474	1215.0	2.5850	0.0014474	1215.0	2.5850	0.0014474	1215.0	2.5850
300	573.15	0.0014782	1256.9	2.6133	0.0014782	1256.9	2.6133	0.0014782	1256.9	2.6133	0.0014782	1256.9	2.6133
310	583.15	0.0015099	1298.8	2.6376	0.0015099	1298.8	2.6376	0.0015099	1298.8	2.6376	0.0015099	1298.8	2.6376
320	593.15	0.0015426	1340.7	2.6579	0.0015426	1340.7	2.6579	0.0015426	1340.7	2.6579	0.0015426	1340.7	2.6579
330	603.15	0.0015763	1382.6	2.6742	0.0015763	1382.6	2.6742	0.0015763	1382.6	2.6742	0.0015763	1382.6	2.6742
340	613.15	0.0016109	1424.5	2.6865	0.0016109	1424.5	2.6865	0.0016109	1424.5	2.6865	0.0016109	1424.5	2.6865
350	623.15	0.0016465	1466.4	2.6948	0.0016465	1466.4	2.6948	0.0016465	1466.4	2.6948	0.0016465	1466.4	2.6948
360	633.15	0.0016831	1508.3	2.7001	0.0016831	1508.3	2.7001	0.0016831	1508.3	2.7001	0.0016831	1508.3	2.7001
370	643.15	0.0017207	1550.2	2.7024	0.0017207	1550.2	2.7024	0.0017207	1550.2	2.7024	0.0017207	1550.2	2.7024
380	653.15	0.0017593	1592.1	2.6980	0.0017593	1592.1	2.6980	0.0017593	1592.1	2.6980	0.0017593	1592.1	2.6980
390	663.15	0.0017989	1634.0	2.6913	0.0017989	1634.0	2.6913	0.0017989	1634.0	2.6913	0.0017989	1634.0	2.6913
400	673.15	0.0018395	1675.9	2.6816	0.0018395	1675.9	2.6816	0.0018395	1675.9	2.6816	0.0018395	1675.9	2.6816
410	683.15	0.0018811	1717.8	2.6689	0.0018811	1717.8	2.6689	0.0018811	1717.8	2.6689	0.0018811	1717.8	2.6689
420	693.15	0.0019237	1759.7	2.6532	0.0019237	1759.7	2.6532	0.0019237	1759.7	2.6532	0.0019237	1759.7	2.6532
430	703.15	0.0019673	1801.6	2.6345	0.0019673	1801.6	2.6345	0.0019673	1801.6	2.6345	0.0019673	1801.6	2.6345
440	713.15	0.0020119	1843.5	2.6128	0.0020119	1843.5	2.6128	0.0020119	1843.5	2.6128	0.0020119	1843.5	2.6128
450	723.15	0.0020575	1885.4	2.5881	0.0020575	1885.4	2.5881	0.0020575	1885.4	2.5881	0.0020575	1885.4	2.5881
460	733.15	0.0021041	1927.3	2.5604	0.0021041	1927.3	2.5604	0.0021041	1927.3	2.5604	0.0021041	1927.3	2.5604
470	743.15	0.0021517	1969.2	2.5297	0.0021517	1969.2	2.5297	0.0021517	1969.2	2.5297	0.0021517	1969.2	2.5297
480	753.15	0.0022003	2011.1	2.4960	0.0022003	2011.1	2.4960	0.0022003	2011.1	2.4960	0.0022003	2011.1	2.4960
490	763.15	0.0022499	2053.0	2.4593	0.0022499	2053.0	2.4593	0.0022499	2053.0	2.4593	0.0022499	2053.0	2.4593
500	773.15	0.0023005	2094.9	2.4196	0.0023005	2094.9	2.4196	0.0023005	2094.9	2.4196	0.0023005	2094.9	2.4196
510	783.15	0.0023521	2136.8	2.3769	0.0023521	2136.8	2.3769	0.0023521	2136.8	2.3769	0.0023521	2136.8	2.3769
520	793.15	0.0024047	2178.7	2.3312	0.0024047	2178.7	2.3312	0.0024047	2178.7	2.3312	0.0024047	2178.7	2.3312
530	803.15	0.0024583	2220.6	2.2825	0.0024583	2220.6	2.2825	0.0024583	2220.6	2.2825	0.0024583	2220.6	2.2825
540	813.15	0.0025129	2262.5	2.2308	0.0025129	2262.5	2.2308	0.0025129	2262.5	2.2308	0.0025129	2262.5	2.2308
550	823.15	0.0025685	2304.4	2.1761	0.0025685	2304.4	2.1761	0.0025685	2304.4	2.1761	0.0025685	2304.4	2.1761
560	833.15	0.0026251	2346.3	2.1184	0.0026251	2346.3	2.1184	0.0026251	2346.3	2.1184	0.0026251	2346.3	2.1184
570	843.15	0.0026827	2388.2	2.0587	0.0026827	2388.2	2.0587	0.0026827	2388.2	2.0587	0.0026827	2388.2	2.0587
580	853.15	0.0027413	2430.1	1.9970	0.0027413	2430.1	1.9970	0.0027413	2430.1	1.9970	0.0027413	2430.1	1.9970
590	863.15	0.0028009	2472.0	1.9333	0.0028009	2472.0	1.9333	0.0028009	2472.0	1.9333	0.0028009	2472.0	1.9333
600	873.15	0.0028615	2513.9	1.8676	0.0028615	2513.9	1.8676	0.0028615	2513.9	1.8676	0.0028615	2513.9	1.8676
610	883.15	0.0029231	2555.8	1.7999	0.0029231	2555.8	1.7999	0.0029231	2555.8	1.7999	0.0029231	2555.8	1.7999
620	893.15	0.0029857	2597.7	1.7302	0								

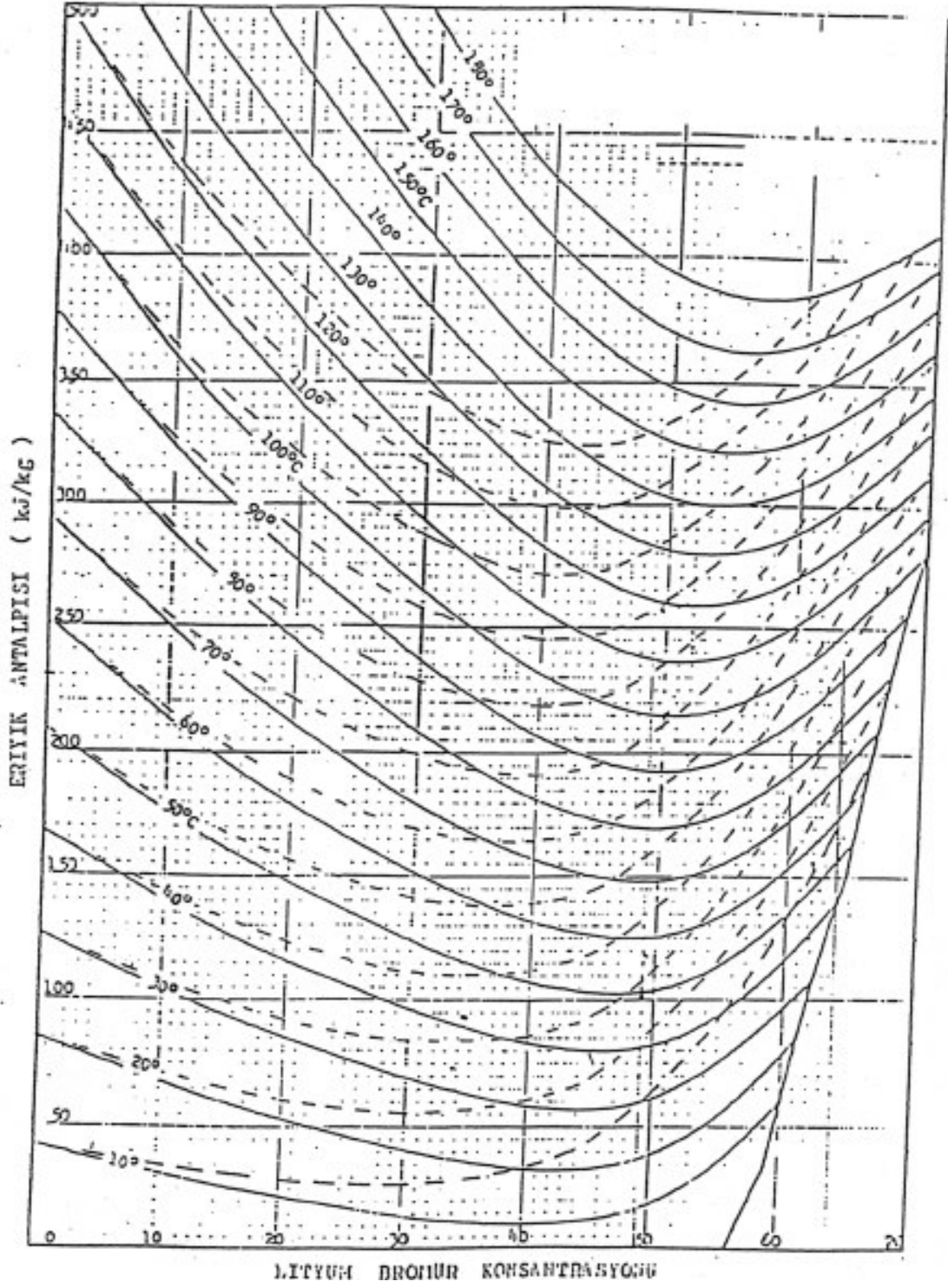
EK-4.(Devam) Su buharının kızgın buhar tablosu

Basınç		0.12 bar			0.14 bar			0.16 bar			0.18 bar		
Sıcaklık		$t_s = 45.45^\circ\text{C}$ $i'' = 2.591 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 12.35 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.085 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 52.38^\circ\text{C}$ $i'' = 2.596 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 10.69 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.031 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 55.34^\circ\text{C}$ $i'' = 2.601 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 9.429 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.984 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 57.82^\circ\text{C}$ $i'' = 2.605 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 8.444 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.944 \text{ kJ/kg K}$		
t	T	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
$^\circ\text{C}$	K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg K
0	273.15	0.0010002	-0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
10	283.15	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511
20	293.15	0.0010018	81.7	0.2764	0.0010018	81.7	0.2764	0.0010018	81.7	0.2764	0.0010018	81.7	0.2764
30	303.15	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363	0.0010044	125.6	0.4363
40	313.15	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715
50	323.15	12.44	2592	8.086	0.0010121	209.3	0.7030	0.0010121	209.3	0.7030	0.0010121	209.3	0.7030
60	333.15	12.70	2611	8.143	10.75	2611	8.071	9.573	2610	8.209	8.497	2610	7.954
70	343.15	13.17	2630	8.197	11.28	2630	8.127	9.867	2629	8.265	8.764	2629	8.010
80	353.15	13.55	2649	8.253	11.61	2649	8.191	10.160	2647	8.320	9.014	2648	8.064
90	363.15	13.94	2668	8.306	11.94	2668	8.235	10.450	2668	8.373	9.283	2667	8.117
100	373.15	14.33	2687	8.358	12.27	2687	8.287	10.740	2687	8.425	9.542	2687	8.169
110	383.15	14.72	2706	8.408	12.61	2706	8.337	11.030	2706	8.475	9.809	2706	8.220
120	393.15	15.10	2725	8.457	12.94	2725	8.386	11.320	2725	8.524	10.058	2725	8.269
130	403.15	15.49	2744	8.505	13.27	2744	8.434	11.610	2744	8.572	10.316	2744	8.317
140	413.15	15.87	2764	8.552	13.60	2763	8.481	11.899	2763	8.619	10.574	2763	8.364
150	423.15	16.26	2783	8.599	13.93	2782	8.527	12.189	2782	8.665	10.832	2782	8.410
160	433.15	16.64	2802	8.643	14.26	2802	8.572	12.478	2802	8.710	11.090	2802	8.455
170	443.15	17.03	2822	8.687	14.59	2821	8.616	12.768	2821	8.754	11.347	2821	8.499
180	453.15	17.42	2841	8.730	14.92	2840	8.659	13.057	2840	8.797	11.605	2840	8.542
190	463.15	17.80	2860	8.772	15.25	2860	8.701	13.346	2860	8.839	11.862	2860	8.584
200	473.15	18.19	2879	8.813	15.58	2879	8.742	13.635	2879	8.880	12.120	2879	8.625
210	483.15	18.57	2898	8.854	15.91	2898	8.783	13.924	2898	8.921	12.377	2898	8.666
220	493.15	18.96	2918	8.894	16.24	2918	8.823	14.213	2918	8.961	12.634	2918	8.706
230	503.15	19.34	2937	8.933	16.57	2937	8.864	14.502	2937	9.000	12.892	2937	8.745
240	513.15	19.73	2957	8.972	16.90	2957	8.905	14.790	2957	9.038	13.149	2957	8.784
250	523.15	20.11	2977	9.010	17.23	2977	8.946	15.079	2977	9.076	13.406	2976	8.823
260	533.15	20.50	2996	9.047	17.56	2997	8.985	15.367	2997	9.113	13.663	2997	8.859
270	543.15	21.27	3015	9.119	18.22	3017	9.049	15.943	3017	9.186	14.177	3017	8.932
280	553.15	22.04	3037	9.190	18.89	3037	9.119	16.52	3037	9.257	14.690	3037	9.003
290	563.15	22.82	3057	9.225	19.21	3057	9.154	16.81	3057	9.292	14.947	3057	9.038
300	573.15	23.61	3117	9.299	19.54	3117	9.199	17.10	3117	9.326	15.204	3117	9.072
310	583.15	23.12	3137	9.292	19.87	3137	9.221	17.39	3137	9.360	15.460	3137	9.106
320	593.15	23.50	3157	9.334	20.20	3157	9.255	17.68	3157	9.393	15.716	3157	9.137
330	603.15	23.76	3177	9.359	20.53	3177	9.288	17.96	3177	9.426	15.971	3177	9.171
340	613.15	24.15	3196	9.391	20.86	3198	9.320	18.25	3198	9.458	16.23	3198	9.204
350	623.15	24.52	3216	9.455	21.52	3238	9.393	18.83	3239	9.522	16.74	3238	9.259
360	633.15	25.00	3280	9.517	22.18	3300	9.446	19.41	3300	9.584	17.26	3300	9.320
370	643.15	26.20	3301	9.548	22.51	3301	9.476	19.70	3301	9.615	17.51	3301	9.361
380	653.15	26.66	3321	9.578	22.84	3321	9.506	19.99	3321	9.645	17.76	3321	9.391
390	663.15	27.04	3342	9.608	23.17	3342	9.536	20.28	3342	9.675	18.01	3342	9.421
400	673.15	27.43	3363	9.630	23.50	3363	9.566	20.56	3363	9.704	18.27	3363	9.450
410	683.15	27.82	3384	9.667	23.81	3384	9.596	20.85	3384	9.734	18.53	3384	9.480
420	693.15	28.20	3405	9.696	24.14	3405	9.625	21.13	3405	9.763	18.78	3405	9.507
430	703.15	28.74	3440	9.758	24.82	3440	9.691	21.71	3440	9.821	19.29	3440	9.567
440	713.15	29.24	3490	9.810	25.49	3490	9.739	22.29	3490	9.878	19.80	3490	9.621
450	723.15	30.13	3513	9.838	25.82	3512	9.767	22.58	3512	9.906	20.06	3512	9.652
460	733.15	30.52	3533	9.864	26.15	3533	9.795	22.87	3533	9.934	20.31	3533	9.680
470	743.15	30.90	3555	9.894	26.48	3555	9.823	23.16	3555	9.962	20.58	3555	9.708
480	753.15	31.27	3576	9.921	26.81	3576	9.850	23.45	3576	9.989	20.83	3576	9.735
490	763.15	31.67	3598	9.948	27.14	3598	9.877	23.74	3598	9.816	21.09	3598	9.762
500	773.15	32.06	3619	9.974	27.47	3619	9.903	24.03	3619	9.842	21.35	3619	9.788
510	783.15	32.43	3653	10.026	28.13	3653	9.955	24.60	3663	9.874	21.87	3663	9.840
520	793.15	33.60	3707	10.070	29.73	3707	10.007	25.18	3707	9.945	22.39	3707	9.891
530	803.15	33.98	3729	10.103	29.12	3729	10.032	25.47	3729	9.970	22.64	3729	9.916
540	813.15	34.37	3751	10.128	29.45	3751	10.057	25.76	3751	9.995	22.90	3751	9.941
550	823.15	34.75	3773	10.153	29.78	3773	10.082	26.05	3773	10.020	23.16	3773	9.966
560	833.15	35.14	3796	10.178	30.11	3796	10.106	26.34	3796	10.045	23.41	3796	9.991
570	843.15	35.52	3818	10.202	30.44	3818	10.130	26.63	3818	10.069	23.67	3818	10.015
580	853.15	35.91	3841	10.226	30.77	3841	10.154	26.92	3841	10.093	23.92	3841	10.039
590	863.15	36.28	3864	10.274	31.42	3866	10.202	27.50	3866	10.141	24.44	3866	10.087
600	873.15	37.44	3931	10.321	32.08	3931	10.249	28.08	3931	10.188	24.95	3931	10.133

EK-5. Li-Br / Su eriyiği basınç – sıcaklık – konsantrasyon tablosu



EK-6. Li-Br / Su eriyiği için entalpi – konsantrasyon tablosu



EK-7. Hiperbolik fonksiyonlar tablosu

x	$\sinh x$	$\cosh x$	$\tanh x$	x	$\sinh x$	$\cosh x$	$\tanh x$
0.00	0.0000	1.0000	0.00000	2.00	3.6269	3.7622	0.96403
0.10	0.1002	1.0050	0.09967	2.10	4.0219	4.1443	0.97045
0.20	0.2013	1.0201	0.19738	2.20	4.4571	4.5679	0.97574
0.30	0.3045	1.0453	0.29131	2.30	4.9370	5.0372	0.98010
0.40	0.4108	1.0811	0.37995	2.40	5.4662	5.5569	0.98367
0.50	0.5211	1.1276	0.46212	2.50	6.0502	6.1323	0.98661
0.60	0.6367	1.1855	0.53705	2.60	6.6947	6.7690	0.98903
0.70	0.7586	1.2552	0.60437	2.70	7.4063	7.4735	0.99101
0.80	0.8881	1.3374	0.66404	2.80	8.1919	8.2527	0.99263
0.90	1.0265	1.4331	0.71630	2.90	9.0596	9.1146	0.99396
1.00	1.1752	1.5431	0.76159	3.00	10.018	10.068	0.99505
1.10	1.3356	1.6685	0.80050	3.50	16.543	16.573	0.99818
1.20	1.5095	1.8107	0.83365	4.00	27.290	27.308	0.99933
1.30	1.6984	1.9709	0.86172	4.50	45.003	45.014	0.99975
1.40	1.9043	2.1509	0.88535	5.00	74.203	74.210	0.99991
1.50	2.1293	2.3524	0.90515	6.00	201.71	201.72	0.99999
1.60	2.3756	2.5775	0.92167	7.00	548.32	548.32	1.0000
1.70	2.6456	2.8283	0.93541	8.00	1490.5	1490.5	1.0000
1.80	2.9422	3.1075	0.94681	9.00	4051.5	4051.5	1.0000
1.90	3.2682	3.4177	0.95624	10.000	11013	11013	1.0000

¹The hyperbolic functions are defined as

$$\sinh x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x}) \quad \cosh x = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x}) \quad \tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{\sinh x}{\cosh x}$$

The derivatives of the hyperbolic functions of the variable u are given as

$$\frac{d}{dx}(\sinh u) = (\cosh u) \frac{du}{dx} \quad \frac{d}{dx}(\cosh u) = (\sinh u) \frac{du}{dx} \quad \frac{d}{dx}(\tanh u) = \left(\frac{1}{\cosh^2 u} \right) \frac{du}{dx}$$

EK-8. Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^5$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

EK-8.(Devam) Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Ammonia (NH₃) (continued)							
400	0.5136	2.287	138	26.9	37.0	31.5	0.853
420	0.4888	2.322	145	29.7	40.4	35.6	0.833
440	0.4664	2.357	152.5	32.7	43.5	39.6	0.826
460	0.4460	2.393	159	35.7	46.3	43.4	0.822
480	0.4273	2.430	166.5	39.0	49.2	47.4	0.822
500	0.4101	2.467	173	42.2	52.5	51.9	0.813
520	0.3942	2.504	180	45.7	54.5	55.2	0.827
540	0.3795	2.540	186.5	49.1	57.5	59.7	0.824
560	0.3708	2.577	193	52.0	60.6	63.4	0.827
580	0.3533	2.613	199.5	56.5	63.8	69.1	0.817
Carbon Dioxide (CO₂)							
280	1.9022	0.830	140	7.36	15.20	9.63	0.765
300	1.7730	0.851	149	8.40	16.55	11.0	0.766
320	1.6609	0.872	156	9.39	18.05	12.5	0.754
340	1.5618	0.891	165	10.6	19.70	14.2	0.746
360	1.4743	0.908	173	11.7	21.2	15.8	0.741
380	1.3961	0.926	181	13.0	22.75	17.6	0.737
400	1.3257	0.942	190	14.3	24.3	19.5	0.737
450	1.1782	0.981	210	17.8	28.3	24.5	0.728
500	1.0594	1.02	231	21.8	32.5	30.1	0.725
550	0.9625	1.05	251	26.1	36.6	36.2	0.721
600	0.8826	1.08	270	30.6	40.7	42.7	0.717
650	0.8143	1.10	288	35.4	44.5	49.7	0.712
700	0.7564	1.13	305	40.3	48.1	56.3	0.717
750	0.7057	1.15	321	45.5	51.7	63.7	0.714
800	0.6614	1.17	337	51.0	55.1	71.2	0.716
Carbon Monoxide (CO)							
200	1.6888	1.045	127	7.52	17.0	9.63	0.781
220	1.5341	1.044	137	8.93	19.0	11.9	0.753
240	1.4055	1.043	147	10.5	20.6	14.1	0.744
260	1.2967	1.043	157	12.1	22.1	16.3	0.741
280	1.2038	1.042	166	13.8	23.6	18.8	0.733
300	1.1233	1.043	175	15.6	25.0	21.3	0.730
320	1.0529	1.043	184	17.5	26.3	23.9	0.730
340	0.9909	1.044	193	19.5	27.8	26.9	0.725
360	0.9357	1.045	202	21.6	29.1	29.8	0.725
380	0.8864	1.047	210	23.7	30.5	32.9	0.729
400	0.8421	1.049	218	25.9	31.8	36.0	0.719
450	0.7483	1.055	237	31.7	35.0	44.3	0.714
500	0.67352	1.065	254	37.7	38.1	53.1	0.710
550	0.61226	1.076	271	44.3	41.1	62.4	0.710
600	0.56126	1.088	286	51.0	44.0	72.1	0.707

EK-8.(Devam) Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Carbon Monoxide (CO) (continued)							
650	0.51806	1.101	301	58.1	47.0	82.4	0.705
700	0.48102	1.114	315	65.5	50.0	93.3	0.702
750	0.44899	1.127	329	73.3	52.8	104	0.702
800	0.42095	1.140	343	81.5	55.5	116	0.705
Helium (He)							
100	0.4871	5.193	96.3	19.8	73.0	28.9	0.686
120	0.4060	5.193	107	26.4	81.9	38.8	0.679
140	0.3481	5.193	118	33.9	90.7	50.2	0.676
160	—	5.193	129	—	99.2	—	—
180	0.2708	5.193	139	51.3	107.2	76.2	0.673
200	—	5.193	150	—	115.1	—	—
220	0.2216	5.193	160	72.2	123.1	107	0.675
240	—	5.193	170	—	130	—	—
260	0.1875	5.193	180	96.0	137	141	0.682
280	—	5.193	190	—	145	—	—
300	0.1625	5.193	199	122	152	180	0.680
350	—	5.193	221	—	170	—	—
400	0.1219	5.193	243	199	187	295	0.675
450	—	5.193	263	—	204	—	—
500	0.09754	5.193	283	290	220	434	0.668
550	—	5.193	—	—	—	—	—
600	—	5.193	320	—	252	—	—
650	—	5.193	332	—	264	—	—
700	0.06969	5.193	350	502	278	768	0.654
750	—	5.193	364	—	291	—	—
800	—	5.193	382	—	304	—	—
900	—	5.193	414	—	330	—	—
1000	0.04879	5.193	446	914	354	1400	0.654
Hydrogen (H₂)							
100	0.24255	11.23	42.1	17.4	67.0	24.6	0.707
150	0.16156	12.60	56.0	34.7	101	49.6	0.699
200	0.12115	13.54	68.1	56.2	131	79.9	0.704
250	0.09693	14.06	78.9	81.4	157	115	0.707
300	0.08078	14.31	89.6	111	183	158	0.701
350	0.06924	14.43	98.8	143	204	204	0.700
400	0.06059	14.48	108.2	179	226	258	0.695
450	0.05386	14.50	117.2	218	247	316	0.689
500	0.04848	14.52	126.4	261	266	378	0.691
550	0.04407	14.53	134.3	305	285	445	0.685

EK-8.(Devam) Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Hydrogen (H₂) (continued)							
600	0.04040	14.55	142.4	352	305	519	0.678
700	0.03463	14.61	157.8	456	342	676	0.675
800	0.03030	14.70	172.4	569	378	849	0.670
900	0.02694	14.83	186.5	692	412	1030	0.671
1000	0.02424	14.99	201.3	830	448	1230	0.673
1100	0.02204	15.17	213.0	966	488	1460	0.662
1200	0.02020	15.37	226.2	1120	528	1700	0.659
1300	0.01865	15.59	238.5	1279	568	1955	0.655
1400	0.01732	15.81	250.7	1447	610	2230	0.650
1500	0.01616	16.02	262.7	1626	655	2530	0.643
1600	0.0152	16.28	273.7	1801	697	2815	0.639
1700	0.0143	16.58	284.9	1992	742	3130	0.637
1800	0.0135	16.96	296.1	2193	786	3435	0.639
1900	0.0128	17.49	307.2	2400	835	3730	0.643
2000	0.0121	18.25	318.2	2630	878	3975	0.661
Nitrogen (N₂)							
100	3.4388	1.070	68.8	2.00	9.58	2.60	0.768
150	2.2594	1.050	100.6	4.45	13.9	5.86	0.759
200	1.6883	1.043	129.2	7.65	18.3	10.4	0.736
250	1.3488	1.042	154.9	11.48	22.2	15.8	0.727
300	1.1233	1.041	178.2	15.86	25.9	22.1	0.716
350	0.9625	1.042	200.0	20.78	29.3	29.2	0.711
400	0.8425	1.045	220.4	26.16	32.7	37.1	0.704
450	0.7485	1.050	239.6	32.01	35.8	45.6	0.703
500	0.6739	1.056	257.7	38.24	38.9	54.7	0.700
550	0.6124	1.065	274.7	44.86	41.7	63.9	0.702
600	0.5615	1.075	290.8	51.79	44.6	73.9	0.701
700	0.4812	1.098	321.0	66.71	49.9	94.4	0.706
800	0.4211	1.22	349.1	82.90	54.8	116	0.715
900	0.3743	1.146	375.3	100.3	59.7	139	0.721
1000	0.3368	1.167	399.9	118.7	64.7	165	0.721
1100	0.3062	1.187	423.2	138.2	70.0	193	0.718
1200	0.2807	1.204	445.3	158.6	75.8	224	0.707
1300	0.2591	1.219	466.2	179.9	81.0	256	0.701
Oxygen (O₂)							
100	3.945	0.962	76.4	1.94	9.25	2.44	0.796
150	2.585	0.921	114.8	4.44	13.8	5.80	0.766
200	1.930	0.915	147.5	7.64	18.3	10.4	0.737
250	1.542	0.915	178.6	11.58	22.6	16.0	0.723
300	1.284	0.920	207.2	16.14	26.8	22.7	0.711

EK-8.(Devam) Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Oxygen (O₂) (continued)							
350	1.100	0.929	233.5	21.23	29.6	29.0	0.733
400	0.9620	0.942	258.2	26.84	33.0	36.4	0.737
450	0.8554	0.956	281.4	32.90	36.3	44.4	0.741
500	0.7698	0.972	303.3	39.40	41.2	55.1	0.716
550	0.6998	0.988	324.0	46.30	44.1	63.8	0.726
600	0.6414	1.003	343.7	53.59	47.3	73.5	0.729
700	0.5498	1.031	380.8	69.26	52.8	93.1	0.744
800	0.4810	1.054	415.2	86.32	58.9	116	0.743
900	0.4275	1.074	447.2	104.6	64.9	141	0.740
1000	0.3848	1.090	477.0	124.0	71.0	169	0.733
1100	0.3498	1.103	505.5	144.5	75.8	196	0.736
1200	0.3206	1.115	532.5	166.1	81.9	229	0.725
1300	0.2960	1.125	588.4	188.6	87.1	262	0.721
Water Vapor (Steam)							
380	0.5863	2.060	127.1	21.68	24.6	20.4	1.06
400	0.5542	2.014	134.4	24.25	26.1	23.4	1.04
450	0.4902	1.980	152.5	31.11	29.9	30.8	1.01
500	0.4405	1.985	170.4	38.68	33.9	38.8	0.998
550	0.4005	1.997	188.4	47.04	37.9	47.4	0.993
600	0.3652	2.026	206.7	56.60	42.2	57.0	0.993
650	0.3380	2.056	224.7	66.48	46.4	66.8	0.996
700	0.3140	2.085	242.6	77.26	50.5	77.1	1.00
750	0.2931	2.119	260.4	88.84	54.9	88.4	1.00
800	0.2739	2.152	278.6	101.7	59.2	100	1.01
850	0.2579	2.186	296.9	115.1	63.7	113	1.02

^aAdapted from References 8, 14, and 15.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDENAL, Ata
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.03.1977 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 286 06 04
 Faks : 0 (312) 285 82 26
 e-mail : ataozdenal@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Mühendisliği	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Mühendisliği	2000
İlkokul-Ortaokul-Lise	Ankara Yükseliş Koleji	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006	Yüksel İnşaat A.Ş.	Makine Mühendisi
2005	Ersel İnşaat A.Ş.	Makine Mühendisi
2003-2005	Emo Teknik A.Ş.	Makine Mühendisi
2000-2001	Diktaş A.Ş.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

- Özdenal, A., Yılmaz B., “Gazlı Yangın Söndürme Sistemleri Temel Prensipleri ve Karşılaştırmaları”, TTMD Yayınları, Sayı:34, Kasım-Aralık, 26-30, 2004.

Hobiler

Yüzme, Futbol, Amatör Dalgıçlık, Seyahat ve Sinema.