

79078

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KULLANAN BİR OTOMOBİL KLİMASI PROJELENDİRİLMESİ

BEDİİ ÖZGÜR SEVİNECEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI**

1998

79079

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEZ YAKLAŞIM MERKEZİ

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KULLANAN
BİR OTOMOBİL KLİMASI PROJELENDİRİLMESİ

BEDİİ ÖZGÜR SEVİNECEK

79078

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

1998

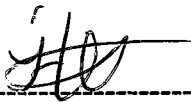
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

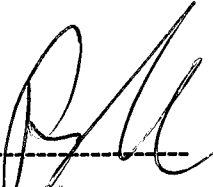
ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KULLANAN
BİR OTOMOBİL KLİMASI PROJELENDİRİLMESİ

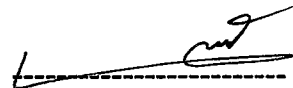
BEDİİ ÖZGÜR SEVİNECEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

Bu tez 10/04/1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. İlhami HORUZ


Prof. Dr. Recep YERLİ


Doç. Dr. Abdulkadir YILGİN

Ö Z E T

Yapılan teorik araştırmanın amacı, Otomobil Klima Sisteminde - egsoz gazındaki atık ısıyı, temel ısı kaynağı olarak kullanan - Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin kullanılmasını incelemektir. Bu şekilde, kompresör tarafından tahrik edilenn klasik Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sistemine alternatif bir sistem sağlayacaktır.

Araştırmada incelenen Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi, TOFAŞ AŞ'den alınan bilgilere göre 3,2 ila 29,6 kW soğutma kapasitesini sağlayan ve soğutucu olarak su, soğurucu olarak lityum-bromür kullanan sistemdir.

Teorik hesaplamalar, TOFAŞ AŞ tarafından üretilen FIAT - UNO SX modeli üzerine yapılmıştır. Farklı devir ve yük değerlerindeki 1400 cc motorun egsoz gazı ısı dağılımı üzerine tesis edilen değerler kullanılmıştır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemini lehte destekleyen pek çok özelliği mevcuttur. Öncelikle sistemde, Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sistemindeki kompresöre gereken güçle kıyaslandığında çok düşük bir elektrik gücüyle çalışan eriyik pompasının bulunmasıdır. 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, egsoz gazı ile sürülen sistemin performansının kabul edilebilir düzeyde olduğu görüldü. Araç, düşük hızlarda seyir veya park halinde iken sistem performansı, daha efektif kaynatıcı dizaynı ile geliştirilebilir.

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 would provide an alternative to the conventional system that have an internal combustion engine driven Vapour Compression Refrigeration System.

Vapour Absorption Refrigeration System that is analysed in the study, uses lithium bromide - water solution with water as the refrigerant and lithiumbromide as the absorbent has a design cooling capacity of between 3,2 kW and 29,6 kW due to information given by TOFAŞ A.Ş.

The theoretical calculations were performed on FIAT - UNO SX model which is produced by TOFAŞ. The information values are based on heat distribution of the exhaust gases of the 1400 cc. engine under various speed and load.

The Vapour Absorption Refrigerant Systems have many favourable 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 alternative the system using Vapour Absorption Refrigeration System showed that, the performance level of the exhaust gas driven system was acceptable. The operation during the off road and slow condition, the performance of the system can be developed by more efficient design of the generator.

İÇİNDEKİLER

Abstract / Özet	I
İçindekiler	II
Simgeler Dizini	III
Şekiller Dizini	IV
Tablolar Dizini	V

1. GİRİŞ	1
1.1 Soğutma ve Soğutma Sistemleri	3
1.1.1 Soğutma	3
1.1.2 Soğutma Sistemleri	3
1.1.3 Soğutma Sistemleri Tipleri	4
1.1.4 Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi	5
1.1.5 Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi	5
1.1.6 Soğurucu / Soğutucu Akışkan Kombinasyonu	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL BİLGİLER	
2.1 Konu İle İlgili Önceki Çalışmalar	12
2.2 Otomobil Klima Sistemleri	19
2.2.1 Otomobil Kliması Kullanımı	19
2.2.2 Otomobil Kliması Çalışma Prensipleri	20
2.2.3 Otomobil Kliması Çalışma Koşulları	23
2.2.4 Soğutma Kapasitesi	25
2.2.5 Kompresör	26
2.2.6 Yoğuşturucu (Kondenser)	29
2.2.7 Nem Tutucu Filtre	29
2.2.8 Buharlaştırıcı (Evaporatör)	30
2.2.9 Genleşme Valfi (Expansion Valf)	32
2.2.10 Üç Fazlı Presostat	33

2.3 Termodinamik Analiz	34
2.3.1 Termodinamik Çevrim Analizi	34
2.3.2 Soğutma Tesir Katsayısının Değerlendirilmesi	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. Materyal	44
3.2. Yöntem	49
3.2.1 Kaynatıcı Dizaynı	50
3.2.2 Soğutma Kapasitesinin Hesaplanması	51
3.2.3 Soğutma Yüğü	
3.3. Yöntem Sonuçları	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	75
5. SONUÇ	78
Kaynaklar	79
Teşekkür	81
EKLER	
EK A Egsoz Gazının Termodinamik Özelliklerinin Hesaplanması	82
EK B Kaynatıcı Dizaynı ve Hesapları	87
EK C Kaynatıcı Basınç Düşümü	95
EK D Absorber Dizaynı ve Hesapları	98
EK E Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Tesisat Şeması	103
EK F Tablo ve Diyagramlar	104
Özgeçmiş	117

SİMGELER DİZİNİ

SİMGESİ	BİRİM	TANIM
A	m ²	Alan
COP	-	Soğutma tesir katsayısı
c _p	kJ/kgK	Özgöl ısı
c _v	kJ/m ³	Net kalorifik değer
d	m	Çap
g	m/s ²	Yerçekimi ivmesi
h	J/kg	Entalpi
k	W/m ² K	Isıl iletkenlik
l	m	Uzunluk
LMTD	K	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
m	kg/s	Debi
M	g/kmole	Mol ağırlığı
P	Pa	Basınç
q	J/kg	Isı transferi birim kütlede
Q	W	Toplam ısı transferi
T	K	Sıcaklık
U	W/m ² K	Toplam ısı transfer katsayısı
W	W	Toplam iş
WZ	-	Dolaşım oranı
X	kg/kg	Konsantrasyon
ρ	kg/m ³	Yoğunluk
μ	Ns/m ²	Dinamik viskozite
η	-	Verim
ν	m ² /s	Kinematik viskozite

ALT İNDİSLER

KISALTMA

TANIM

a	Soğutucu akışkan
abs	Absorber
buh	Buharlaştırıcı
exh	Egsoz
f	Kanatçık
f	Fakir eriyik
i	Giriş, giren
kay	Kaynatıcı
o	Çıkış, çıkan
yoğ	Yoğuşturucu
z	Zengin eriyik
ideal	İdeal
c	Carnot

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Konu	Sayfa
1.1	Buhar sıkıştırılmalı ve absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin şematik gösterimleri	8
2.1	C.L.Keating dizaynının şematik gösterimi	14
2.2	McNamara dizaynının şematik gösterimi	15
2.3	Ghassemi dizaynının şematik gösterimi	16
2.4	Horuz deneysel çalışmasının şematik gösterimi	17
2.5	Vincent ve arkadaşlarının çalışmalarının şematik gösterimi	18
2.6	Soğutma, ısıtma ve havalandırma ünitelerini içeren otomobil klima ünitesi	20
2.7	Otomobil klimasının soğutma sistemi temel elemanları	22
2.8	Otomobil klima sisteminde soğutucu akışkanın termodinamik yapıları	22
2.9	Elektrik motoru ile çalışan fan sayesinde yoğuşturucunun soğutulması	23
2.10	Otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi	24
2.11	Soğutma kapasite eğrisi	26
2.12	V5 Kompresör kesiti	27
2.13	Nem tutucu filtrenin kesiti	30
2.14	Fan, buharlaştırıcı, ısıtma helezonları ve kanalların tesisat şeması	31
2.15	Termostatik genişleme valfi	32
2.16	Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi	34
2.17	Su buharının basınç - entalpi diyagramı	35
2.18	LiBr eriyiğinin basınç - sıcaklık diyagramı	35
2.19	Kaynatıcı	36
2.20	Yoğuşturucu	38

Şekil No	Konu	Sayfa
2.21	Buharlaştırıcı	38
2.22	Absorber	39
2.23	Absorbsiyonlu soğutma sisteminin Carnot sistemi şeklinde gösterimi	41
3.1	UNO S motor ömür deneyi egsoz gazı sıcaklığı	46
3.2	Özgül hacim - Konum grafiği	58
3.3	Yoğunluk - Konum grafiği	58
3.4	Dinamik viskozite- Konum grafiği	59
3.5	Isıl iletkenlik - Konum grafiği	59
3.6	Kinematik viskozite - Konum grafiğ	60
3.7	Kaynatici kapasitesi - Konum grafiği	60
3.8	Yoğuşturucu kapasitesi - Konum grafiği	61
3.9	Buharlaştırıcı kapasitesi - Konum grafiği	61
3.10	Absorber kapasitesi - Konum grafiği	62
3.11	Soğutma tesir katsayısı - Konum grafiği	62
3.12	Soğutucu akışkan debisi - Konum grafiği	63
3.13	Fakir eriyik debisi - Konum grafiği	63
3.14	Zengin eriyik debisi - Konum grafiği	64
3.15	Kaynatici kapasitesi - Egsoz gazı sıcaklığı	64
3.16	Kaynatici kapasitesi - Soğutucu akışkan debisi	65
3.17	Absorber kapasitesi - Soğutucu akışkan debisi grafiği	65
3.18	Yoğuşturucu kapasitesi - Soğutucu akışkan debisi grafiği	66
3.19	Buharlaştırıcı kapasitesi - Soğutucu akışkan debisi grafiği	66
3.20	Yakıt debisi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	67
3.21	Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi- Konum grafiği	67
3.22	Hava debisi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	68
3.23	Egsoz gazı debisi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	68
3.24	Egsoz gazı sıcaklığı - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	69
3.25	Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	69

Şekil No	Konu	Sayfa
3.26	Motor gücü - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	70
3.27	Motor verimi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	70
3.28	Egsoz gazı verimi - Bağlı yakıt sarfiyatı grafiği	71
B.1	Dairesel boru - dairese kanat tip ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü	94
C.1	Sürtünme faktörü - Konum grafiği	97
C.2	Basınç düşümü ΔP - Konum grafiği	97
D.1	Sürekli kanatlı borulu ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü	101
D.2	Kanat Verimi	102
E.1	Absorbsiyonlu soğutma sistemi tesisat şeması	103

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Konu	Sayfa
1.1	Absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan sıvılarda aranan özellikler ve nedenleri	11
2.1	Akerman absorbsiyonlu ve buhar sıkıştırırmalı sistemlerin karşılaştırılması	13
3.1	UNO S motor ömür deneyi kapasite bilgileri	47
3.2	A/F oranı 15 alınarak oluşturulan motor kapasite bilgileri	48
3.3	Egsoz gazının termo-dinamik özellikleri	49
3.4	Kaynatıcı ısı transfer kapasiteleri	50
3.5	Konumlara göre akışkan debileri	56
3.6	Konumlara göre kapasite ve soğutma tesir katsayıları	57
B.1	Motor gücü, verimi ve bağıl yakıt sarfiyatı değerleri	91
C.1	Basınç düşümü - Basınç - Konum bilgileri	96
F.1	Su buharının doymuş haller tablosu	104
F.2	Su buharının kızgın buhar tablosu	107
F.3	Lityumbromür - Su eriyiğinin basınç - sıcaklık - konsantrasyon diyagramı	111
F.4	Lityumbromür - Su eriyiği için entalpi - konsantrasyon diyagramı	112
F.5	Atmosfer basıncında gazların termo-fiziksel özellikleri	113
F.6	Hiperbolik fonksiyonlar	116

1. GİRİŞ

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

Bu araştırmanın temel amacı, otomobil klima sistemlerinde, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin kullanılabilirliğini incelemek ve otomobil üzerindeki mevcut klima tertibatından yararlanarak, mevcut sistemdeki kompresör yerine atık enerjiyi kullanan kaynatıcı - absorber düzeneği kullanarak soğutma sisteminin çalıştırılmasıdır.

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 temel özellikler mevcuttur. Öncelikle bu sistemin 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 kullanılabilir işe çevrilmektedir. Dolayısıyla üretilen enerjinin %65 - %70'i kullanılmamaktadır. Üretilen enerjinin %28 -%30'u motorun soğutulması, %30 -%32 egsoz gazı, kalan kısmı da radyasyonla çevreye atılır. Sistemdeki sürtünme vb. kayıplar da göz önüne alındığında net verim daha da düşecektir.

Araştırmada otomobildeki mevcut klima sisteminin (kompresör hariç) ekipmanları kullanılacağından Bölüm 2’ de klima sistemleri ekipmanları hakkında bilgi verilmiştir. Araştırmada, Tofaş AŞ. AR-GE bölümü tarafından hazırlanan TOFAŞ-FIAT ‘ın UNO-SX modeli motor ömür deneyi temel alınmış ve LiBr-Su soğutucu akışkan çifti kullanılmıştır.

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

1.1 SOĞUTMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin, genel soğutma sistemleri sınıflandırılmasındaki yerinin tespiti için Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin esasını teşkil eden Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sisteminden kısaca bahsetmek gerekir.

1.1.1 SOĞUTMA

Soğutmanın amacı kapalı bir mahalde, çevre sıcaklığının altında sıcaklıklar elde etmek ve bu düşük sıcaklığı sürekli olarak muhafaza etmektir. Soğutma; ortamdaki ısının, 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 Karbondioksit dir.

1.1.2 SOĞUTMA SİSTEMLERİ

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 basınç da 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.

1. 1. 3 SOĞUTMA SİSTEMLERİ TİPLERİ

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

Açık Değişim;

- a-) Eriyik Teşkili
- b-) Basınçlı 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.
- f-) Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi

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 Çevrimini kısaca tanıtmak gerekir.

1. 1. 4 BUHAR SIKIŞTIRMALI MEKANİK SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Şekil 1.1.a 'da şematik olarak gösterilen Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi, dört temel elemandan meydana gelir; kompresör, yoğuşurucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör) ve kısılma vanası. Sistemde ısı transferi buharlaştırıcı ve yoğuşurucu da meydana gelir ve basınçtaki temel değişim kompresörde ve kısılma vanası tarafından sağlanır.

Şekil 1. 1. a'daki şemanın takip edilmesiyle çevrim daha net anlaşılır. 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 yoğuşurucuya yüksek basınçta girer (1) ve yoğuşarak ortama duyulur ve gizli ısı verir. Daha sonra sıvı haldeki soğutucu akışkan yoğuşurucuyu terk eder (2) ve kısılma vanasından geçerek ıslak buhar fazında buharlaştırıcıya girer (3). Buharlaştırıcıda düşük basınçta, ortamdaki 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 yoğuşurucuya gelir ve çevrim tamamlanmış olur.

1. 1. 5 ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi ile benzer özellikler içerir. İki sistemde de gerekli olan soğutma, soğutucu akışkanın

buharlaştırıcıda buharlaşması ile sağlanır. Buna rağmen Buhar Sıkıştırılmalı 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 1. 1. b 'deki sistemin şematik olarak gösteriminden de anlaşılabileceği dört temel kısım mevcuttur. Bu temel kısımlar; kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve absorber'dir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı aynen Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sisteminde olduğu gibi çalışır. Yüksek sıcaklık ve basınçdaki 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 rolü, buhar halindeki soğutucu akışkanı absorbe etmek (yutmak) tir. Soğurucu ve soğutucu akışkanlar Kısım 1. 1. 6'da incelenecektir.

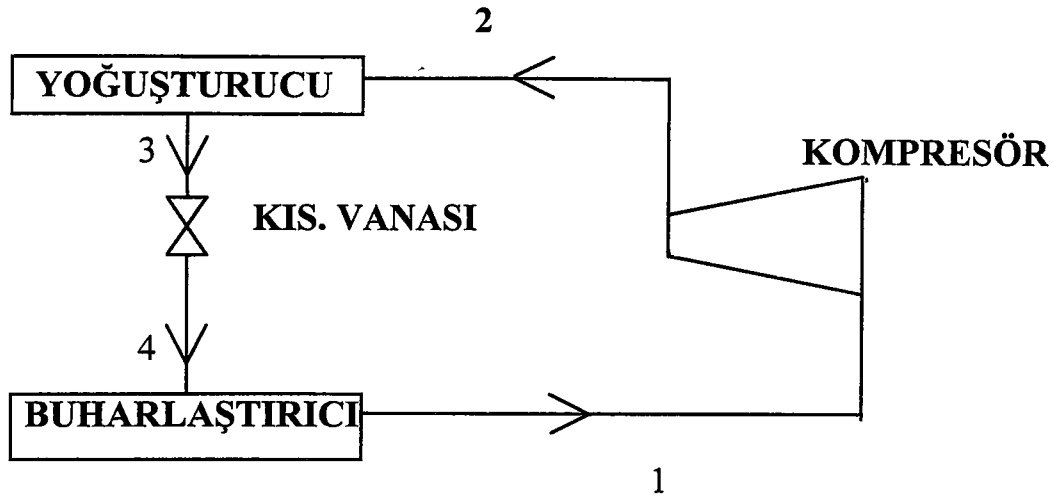
Eriyik pompası, absorber ve kaynatıcı kombinasyonu, düşük basınçdaki eriyiği, yüksek basınç kısmına transfer ederek, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemindeki kompresör'ün işlevini yerine getirir. Absorber, buharlaştırıcıdan düşük basınçda gelen soğutucu akışkanın ve zayıf (fakir) soğurucu/soğutucu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

Şekil 1. 1. b'ye göre sistemin operasyon sırası şöyledir; Yüksek basınçdaki 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).

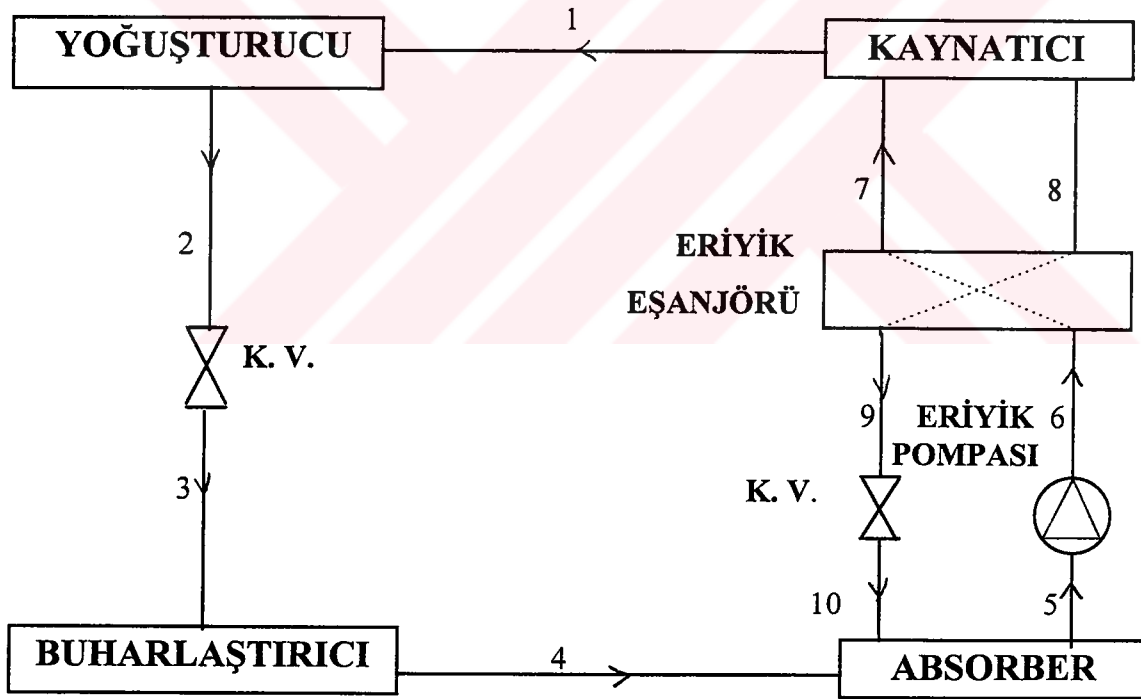
Isı enerjisinin emilmesiyle soğutucu akışkan buharlaştırıcıyı doymuş buhar veya kızgın buhar fazında terk eder.

Absorberden çıkarak pompa vasıtasıyla kaynatıcıya gelen hattan geçen soğurucu/soğutucu eriyiği kuvvetli(zengin) eriyik olarak adlandırılır. Kaynatıcıdan çıkarak absorbere gelen hattan geçen eriyik ise zayıf(fakir) eriyik adını alır. Zenginlik ve fakirlik soğutucu akışkanın çokluğu veya azlığı ile orantılıdır. Fakat, LiBr - Su eriyiği kullanan sisteme özel olarak zenginlik ve fakirlik Lityum bromür çokluğu veya azlığıyla orantılıdır.

Absorberde, buharlaştırıcıdan gelen soğutucu buharı ve 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 buharını yoğuşma gizli ısı, soğurucu/soğutucu akışkan dengesiyle bağlantılıdır.



(a) : Buhar sıkıştırmalı mekanik soğutma çevrimi



(b) : Absorbsiyonlu soğutma sistemi

ŞEKİL 1. 1 Buhar sıkıştırmalı ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin şematik gösterimleri

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 eriyiğin ısısını alır.

Kaynatıcı girişindeki zengin eriyik (7) genellikle yüksek basınçta, kaynama sıcaklığının altındadır. Bundan dolayı gaz alevi yada bir diğer sıcak kaynak kullanılarak eriyik sıcaklığı kaynama sıcaklığına yükseltilir. Kaynama gerçekleştiğinde soğutucu akışkan buharı yoğunlaştırıcıya 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 olabildiği gibi, küçük sistemlerde doğal gaz, propan yada kerosenin yakıt olarak kullanılmasıyla elde edilen ısı kullanılabilir. Ayrıca kaynatıcı çevresine yerleştirilmiş elektrik resistanslı 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 basınca pompalanır. Bu esnada eriyiğin özgül hacmi düşük olduğundan, eriyik pompasının yüksek güçte olmasına gerek yoktur.

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

1. 1. 6 SOĞURUCU / SOĞUTUCU AKIŞKAN KOMBİNASYONU

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 kaynatıcıdan ayrılan soğutucu akışkan buharı içerisinde soğurucu akışkan buharıda 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 çözünürlüğü, uçuculuk düzeyi ve kimyasal dengesidir. Ayrıca seçilen kombinasyonun basınç-sıcaklık ilişkisi, gizli ısı, özgül ağırlığı, donma noktası, pas yapma özelliği ve güvenliliğinin kullanılabilirlik düzeyinde olması gerekir.

Pratikte, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin, soğutma tesir katsayısı (STK); soğurucu/soğutucu akışkan çiftinin kimyasal, termo-fiziksel ve termodinamik özelliklerine bağlıdır.

Tablo 1. 1’de Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde kullanılan akışkanlarda aranan özellikler ve nedenleri özetlenmiştir.

TABLO 1. 1 Absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan eriyiklerde aranan özellikler ve nedenleri

AKIŞKAN	ARANAN ÖZELLİKLER	SEBEP
- 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 sıc. sınırlamak - Ön soğutucunun etkisini düşürmek. - Ön soğutucu etkinliği ısısına eşitliği -Buhar akışının kolaylaşması
- Soğurucu	- İhmal 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 artırma

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL BİLGİLER

2.1 KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ 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 yapılmış, 1979 yılında Lowell A. Mcneely, LiBr-su akışkan çiftinin fiziksel ve termodinamik özelliklerini tablo ve diyagramlar halinde yayınlamıştır.

1954 yılında Keating, absorbsiyonlu soğutma sisteminin araçlara uygulanabilirliği 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 taşıyıcı yada araca monte edilebileceğini belirtmiş ve sistemin verimliliğini araştırmıştır.

1971 yılında J. R. Akerman, otomobil klima sistemine, absorbsiyonlu soğutma sisteminin uygulanabilirliğini incelemiştir. J. R. Akerman ısı kaynağı olarak motor soğutma suyu sıcaklığını kullanmıştır. Akermanın çalışması, absorbsiyonlu soğutma

sisteminin temel prensipleri ve sistemin otomobil klima sistemine adaptasyonu üzerine idi.

Akerman iki farklı absorpsiyon sisteminde, farklı soğurucu/soğutucu akışkan çifti kullanmış ve sistemleri birbiri ile karşılaştırmıştır. Akışkan çiftleri olarak amonyak-su ve R22-dimetil eter tetra etilen glikol kullanmıştır. Ayrıca bu iki sistemi R-12 kullanan buhar sıkıştırma klasik bir soğutma sistemi ile de kıyaslamıştır.

Akermanın bulguları Tablo 2. 1'de görülebilir. Bu tabloda 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.

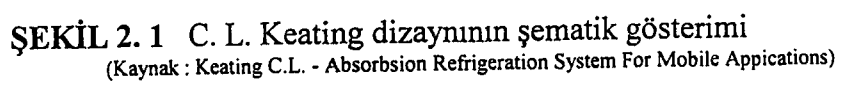
TABLO 2. 1 Akerman absorpsiyonlu buhar sıkıştırma sistemlerinin karşılaştırılması.

(Kaynak : Akerman J.R. - Automobile Air Conditioning System With Absorption Refrigeration)

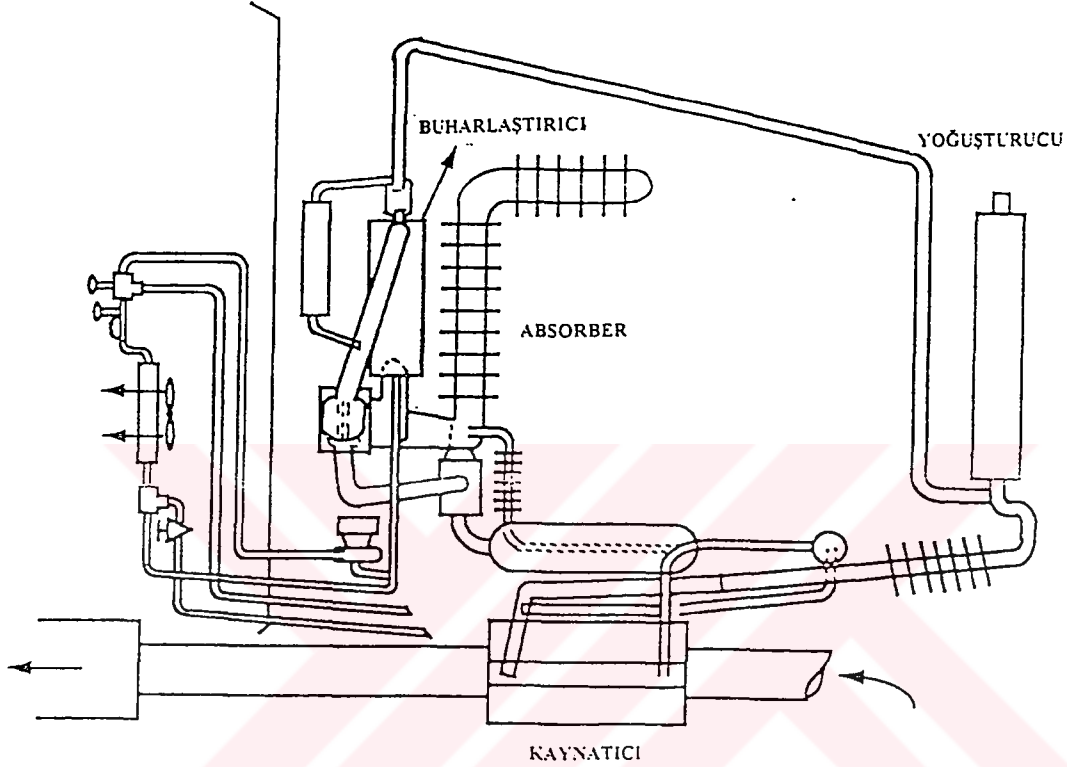
	<i><u>SİSTEM 1</u></i>	<i><u>SİSTEM 2</u></i>	<i><u>SİSTEM 3</u></i>
Sistem tipi	Absorpsiyonlu	Absorpsiyonlu	Buhar Sıkıştırma
Soğutucu Akışkan	Amonyak	R - 22	R - 12
Soğurucu Akışkan	Su	DME-TEG	Yok
Sisteme giren enerji			
Kaynatıcı W	14.653	13.187	Yok
Kompresör * W	Yok	Yok	1.758 -3.517
Sistemden atılan enerji			
Düzenleyici W	6.447	Yok	Yok
Yoğuşurucu * W	4.103	5.861	5.275 - 7.033
Absorber W	7.619	12.601	Yok
Toplam * W	18.169	18.462	5.275 - 7.033
COP	0.23	0.26	2 : 1
Buharlaştırıcı sic. °C	1.7	1.7	4.4
Buharlaştırıcı 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

Tablodaki enerji değerleri W birimindedir

* değerler motor devrime göre alınan minimum ve maksimum değerlerdir.



1972 yılında McNamara, otomobil egsoz gaz sıcaklığını kullanarak Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi dizaynı yapmış ve patentini almıştır. McNamara'nın dizaynında kaynatıcı, direkt olarak egsoz borusunun etrafına monte edilmiştir. Bu şekilde egsoz sisteminin verimini etkilememiştir. McNamara'nın dizaynı Şekil 2. 2'de görülmektedir.

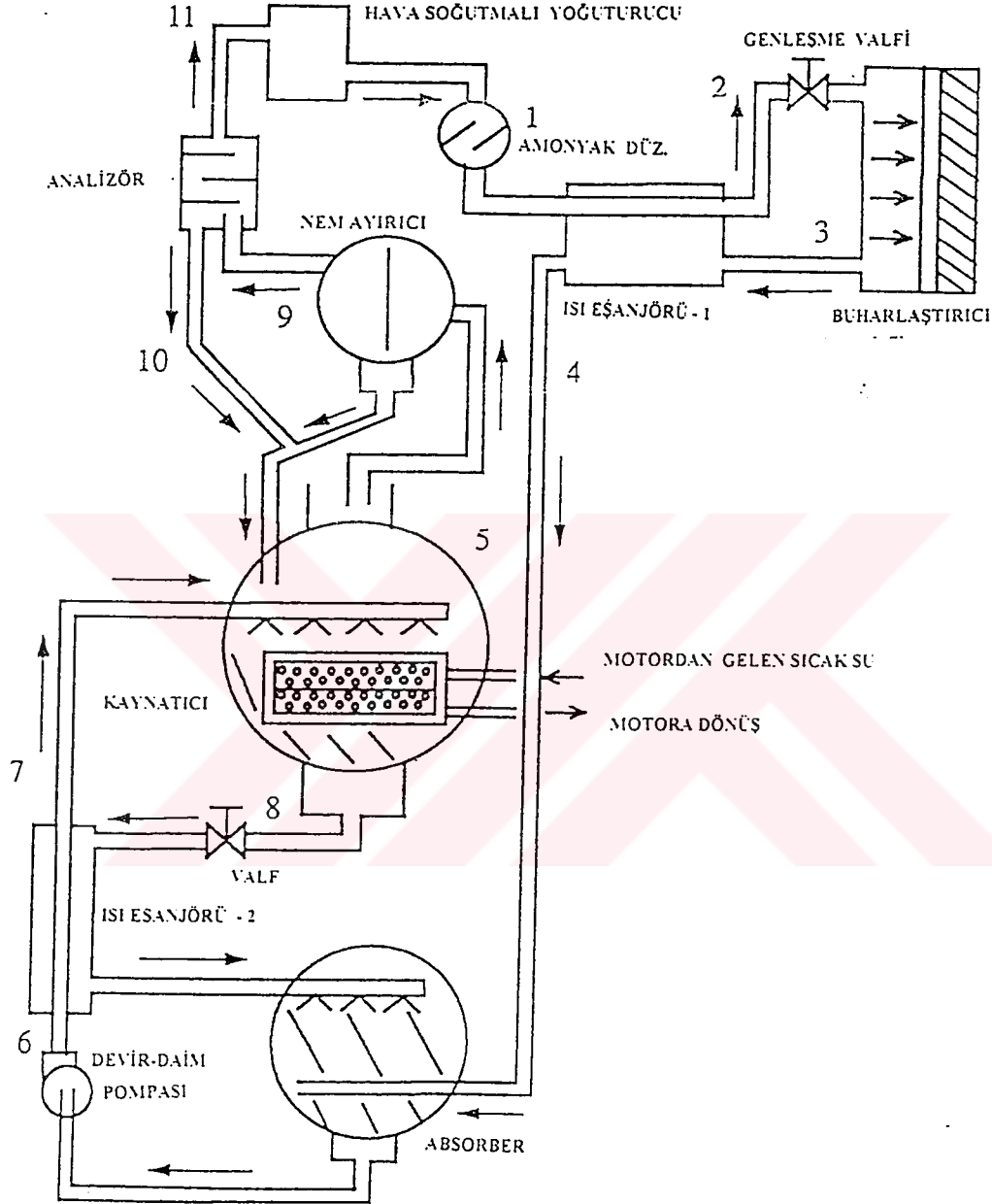


ŞEKİL 2. 2 McNamara dizaynının şematik gösterimi
(Kaynak : McNamara T.J. - Absorption Refrigeration And Air Contionig System)

McNamara bu çalışmada, basit, düşük maliyetli ve kolaylıkla monte edilebilen ayrıca aracın atık ısını kullanan, aynı zamanda sistemin performansını etkilemeyen bir tesisat üzerinde durmuştur. Fakat kaynatıcı ısı transfer yüzeyinin küçük olmasından yeterli ısı transferini sağlayamamıştır.

1987 yılında Ghassemi, 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.

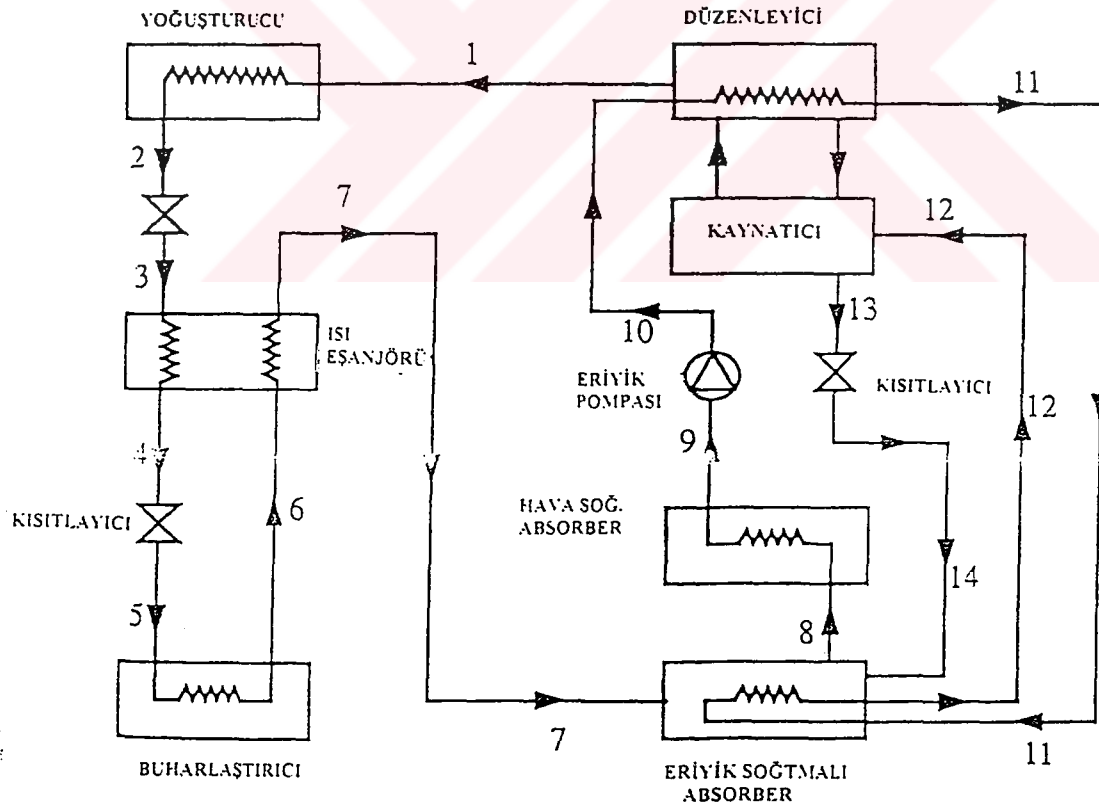


ŞEKİL 2. 3 Ghassemi dizaynının şematik gösterimi
(Kaynak : Ghassemi B. - Teoratical Study Of Absorption Refrigeration For Vehicle Application)

Ghassemi'nin dizaynında, motordan gelen sıcak su devir daim pompası vasıtası ile kaynatıcı içersinde yalıtılan ısı eşanjörüne gelerek amonyağı buharlaştırır. Çalışmada 422 x 233 x 247 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.

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.

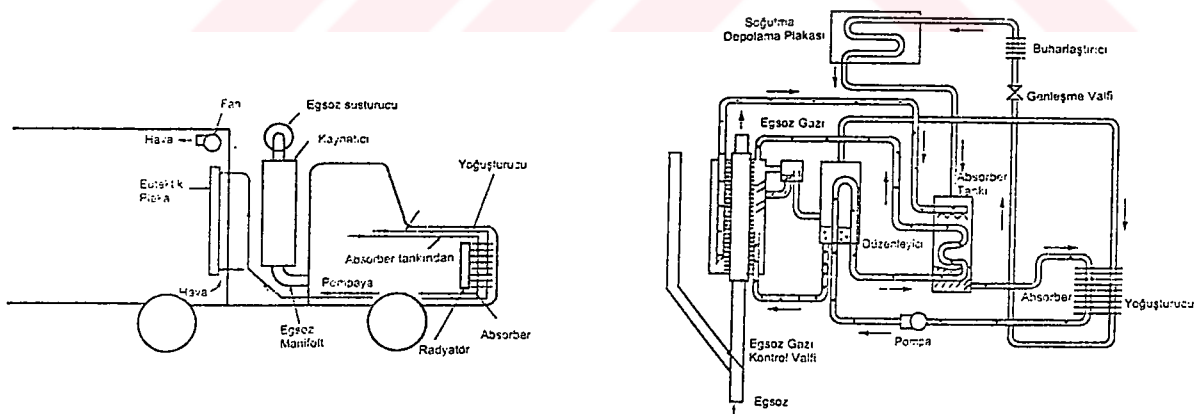


ŞEKİL 2. 4 İ. Horuz deneysel çalışmasının şematik gösterimi

(Kaynak : Horuz İ. - An Experimental Study Of The Use Of Vapour Absorbition Refrigeration In Road Transport Vehicles)

İ. Horuz kendi sisteminin maliyet ve bakım masraflarını da mevcut sistemle kıyaslayıp, Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin nakliye araçlarında kullanılabilirliğini her yönden incelemiştir. Bakınız Şekil 2. 4

Vincent ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmanın tesisat şeması ve araç üzeri yerleşim planı Şekil 2. 5’de sunulmuştur.



(Kaynak : Horuz İ. - An Experimental Study Of The Use Of Vapour Absorbtion Refrigeration In Road Transport Vehicles)

2.2 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.

2.2.1 OTOMOBİL KLİMASI KULLANIMI

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.

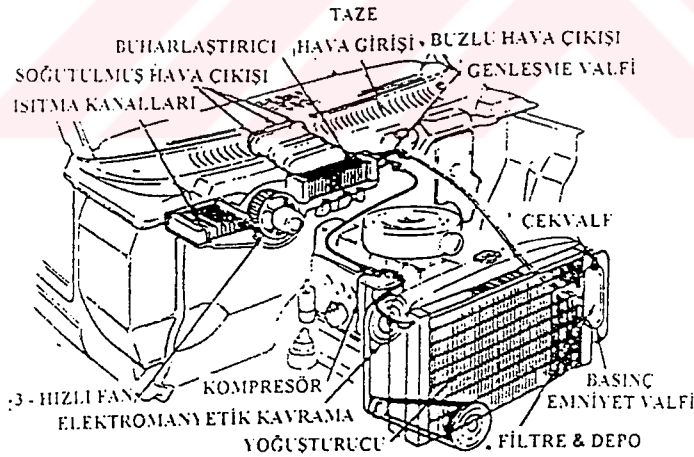
Otomobil kliması üreticileri; arzu edilen soğutma miktarını, otomobil motoru tarafından tahrik edilen soğutma sistemleri kullanarak elde etmektedirler. Çoğunlukla motor soğutma suyu ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

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.

2.2.2 OTOMOBİL KLİMASI ÇALIŞMA PRENSİBLERİ

Şekil 2.6'da otomobil klima ünitesi görülmektedir. Bu tesisatta kompresör, motor üzerine monte edilmiş ve kayış-kasnak sistemiyle tahrik edilmektedir. Yoğuşturucu ise, araç radyatörünün önüne yerleştirilmiştir.



ŞEKİL 2. 6 Soğutma, ısıtma ve havalandırma üniteleri içeren otomobil klima ünitesi (American Motors Corp.)

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)

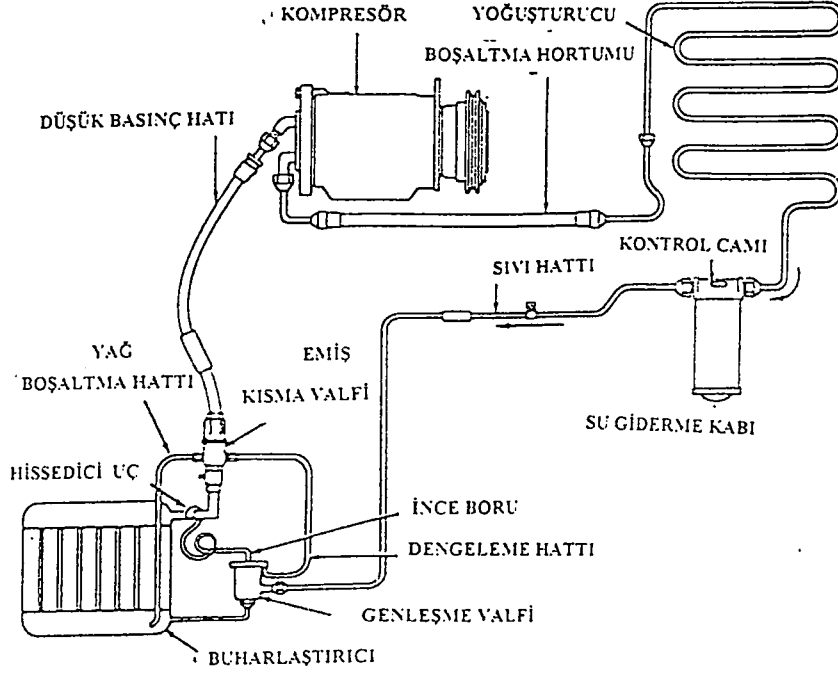
Operasyon esnasında, soğutucu akışkan, yoğuşturucudan nem tutucu filtre ve kısılma vanasına gelerek basıncı düşürülür ve filtre edilir. Soğutucu akışkan sıcaklık kontrolünün yapıldığı buharlaştırıcıya doğru ilerler ve burada buharlaşarak, ısı çeker. Buharlaşan soğutucu akışkan emiş hatlarından kompresöre 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 2. 7’de gösterilmiştir.

Düşük basınçtaki 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 2. 8’de soğutma devresindeki, soğutucu akışkanın bulunduğu termodinamik yapılar görülmektedir.

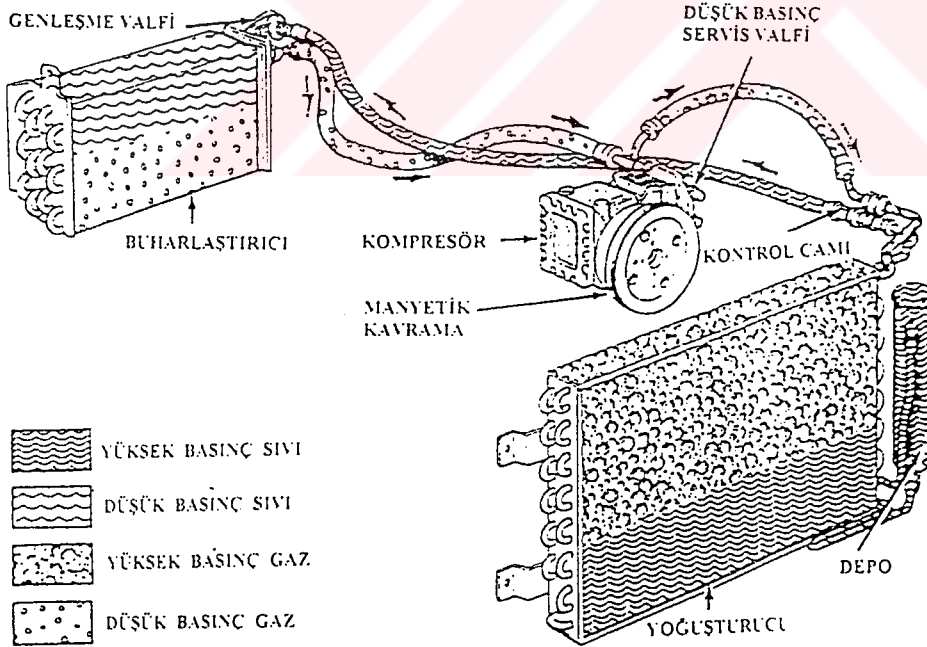
Eğer klima sürekli çalışırsa, araç içindeki sıcaklık yolculara rahatsızlık verecek düzeye düşer ve buharlaştırıcı yüzeyi buz tutar. Bu durumu ortadan kaldırmak için, pek çok sistemde manyetik kavrama mekanizması kullanılır. Kompresör üzerine yerleştirilen elektromanyetik kavrama, termostat tarafından 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, yoğuşturucuya hava akışı sağlamak için elektrik motoru ile çalışan fan kullanılır Şekil 2. 9.



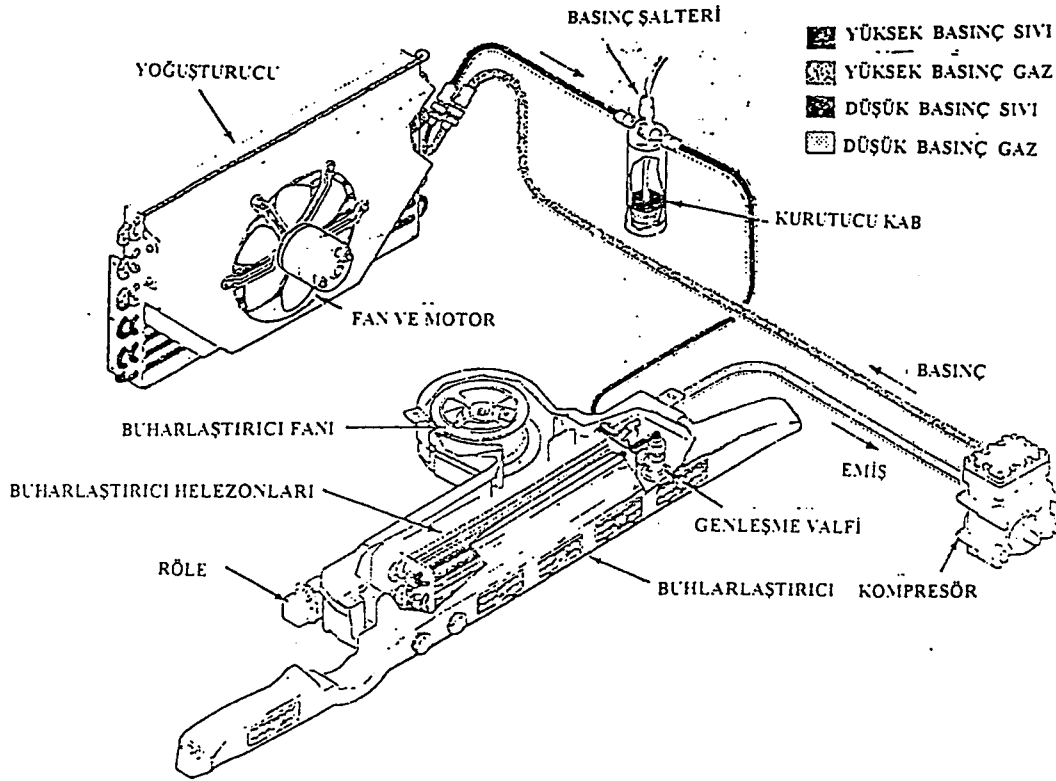
ŞEKİL 2. 7 Otomobil kliması soğutma sistemi temel elemanları
(General Motors Comp.)

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)



ŞEKİL 2. 8 Otomobil klima sisteminde soğutucu akışkanın termodinamik yapıları (Ford Motor Comp.)

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)



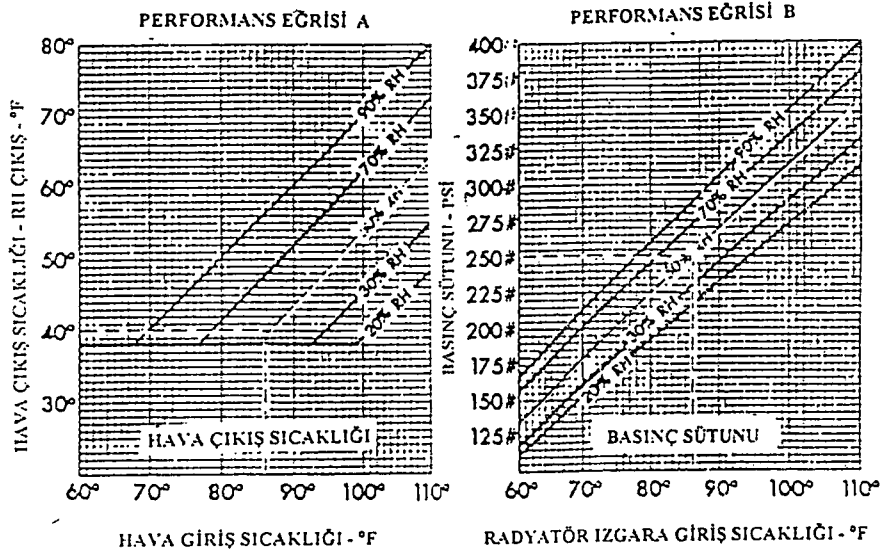
ŞEKİL 2. 9 Elektrik motoru ile çalışan fan sayesinde yoğuşturucunun soğutulması (Volkswagen Pro. Co.)

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)

2. 2. 3 OTOMOBİL KLİMASI ÇALIŞMA KOŞULLARI

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 relantide çalışırken yeterli miktarda soğutma kapasitesi sağlaması gerekmektedir. Bu ayar sayesinde özellikle sıcak günlerde, normal seyir esnasında soğutma kapasitesinde artış sağlanır. Şekil 2. 10'da otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi görülebilir.



ŞEKİL 2. 10 Otomobil klima sistemlerindeki performans eğrisi

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)

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'a on dakika içinde düşürebilirler. Eğer araç park halinde ve camları kapalı ise; araç iç sıcaklığı 66°C'a 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 havanın kullanarak veya hiç taze hava kullanmadan da kullanılabilir. 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.

2. 2. 4 SOĞUTMA KAPASİTESİ

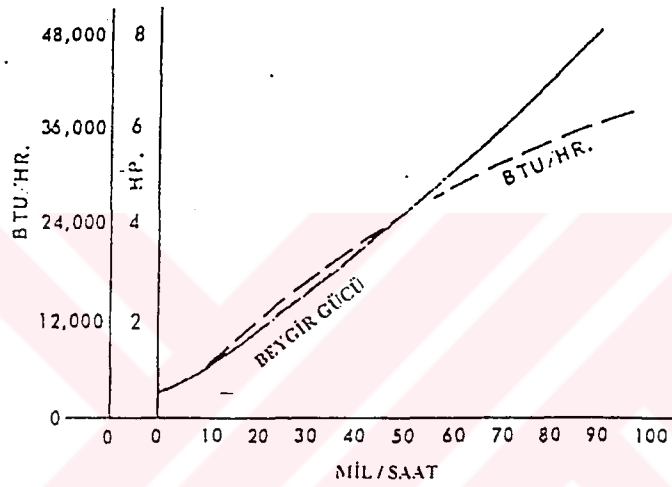
Otomobil klimalarında, soğutma kapasitesi 3500 W (12000 Btu/hr) ila 14050 W (48000 Btu/hr) aralığındadır.

Otomobil klima kapasiteleri, otomobilin ebatıyla orantılıdır. Sistemin düşük kapasitede çalışması halinde soğutma sağlanamaz. Aynı şekilde yüksek kapasitede çalışma ise ekonomik değildir. Genellikle soğutma sistemleri, araç 45 km/hr. (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 2. 11'de değişik hızlarda araç için ihtiyaç duyulan soğutma kapasiteleri görülebilir.

Araç hızının artması ve eksilmesi, kompresör kapasitesinin çoğalması ve 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 ya motorun relantisi yükseltilir yada ara dişli vasıtasıyla kompresör devri artırılır.

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



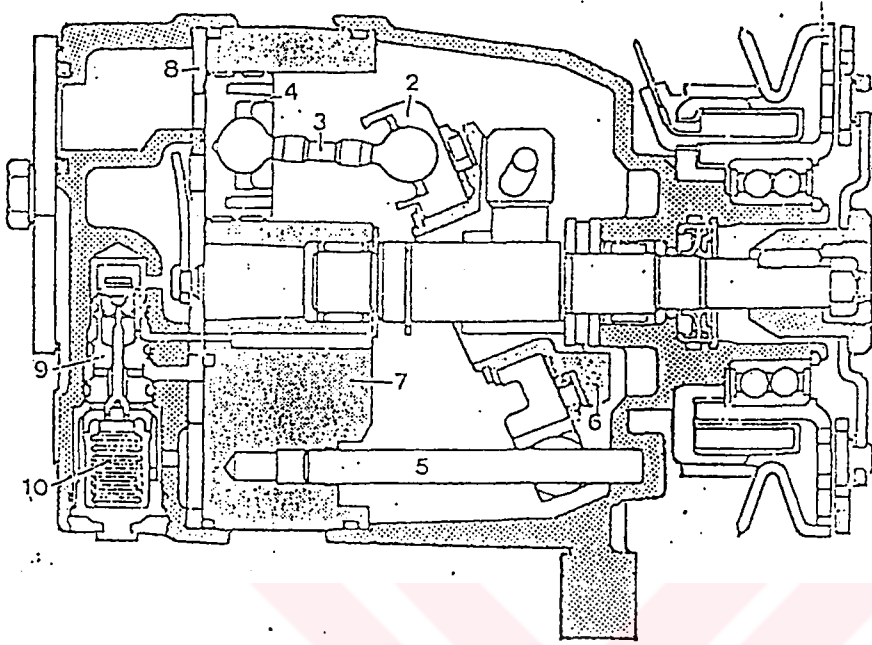
ŞEKİL 2.11 Soğutma kapasite eğrisi
(Kaynak : Marsh K. - Automotive Engineering April 1994)

2.2.5 KOMPRESÖR

Otomobillerdeki motor gruplarına göre iki değişik tip kompresör kullanılmıştır, bunlardan biri değişken silindirli V5, diğeri ise normal kompresör olarak adlandırılır.

V5 tip kompresörün, normal kompresöre göre avantajı herhangi bir çalışma durumunda kasnağın devreye girip çıkmaması halinde dahi istenilen düzeyde soğutma yapmasıdır. Şekil 2. 12'de V5 kompresör kesiti görülmektedir.

Kompresör genel olarak;



1. Elektromanyetik kasnak
2. Disk
3. Biyel
4. Piston
5. Disk pimi
6. Yatık disk (plaka)
7. Blok
8. Emme ve basma sübabı
9. Ayar sübabı
10. Ayar sübabı hava deliği

ŞEKİL 2. 12 V5 Kompresör kesiti

(Kaynak : Tofaş AŞ. - Aksesuar Techizat 1996)

İçersinde pistonların çalıştığı silindirlerin bulunduğu bir gövde grubu, bir mil ve milin üzerinde 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 sübabının yuvası bulunmaktadır. Kapak üzerinde ayrıca conta, emme ve basma sübaplarının bulunduğu plaka ve emme diyaframı bulunmaktadır.

Pistonların silindirleri içindeki çalışmaları, rotatif olarak yatık plaka (disk)nın 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 bağılı olduğu diskin pozisyonunu ayarlayan, bu ayar pimine kumanda eden sübap üzerinde bir hava deliği vardır. Bu delik kompresörün emme basıncını artırır ve kompresörün içindeki basınç ve hava deliğinden giren basınç değişkenliği itibarıyla bu ayar sübabı yatık diskin pozisyonunu değiştirerek diskin ve dolayısıyla pistonların çalışmasını sağlar.

Eğer fazla soğutma yükü isteniyor ise ayar sübabı 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 sübabı 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 içersinde piston, silindir kapağından uzaklaştığı anda bir basınç meydana gelir. Basınç değişikliği emme sübabını açarak, gaz durumunda olan soğutucu akışkanın silindir içine dolması sağlanır. Piston tekrar kompresörün içindeki silindirin kapağına çakmaya başladığında emme sübabı kapanır ve dolayısıyla soğutucu akışkan gazı sıkışmış olur. Bu sıkışma olayı basma sübabını açılması için gerekli olan basınç değeri meydana gelene kadar devam eder ve daha sonra soğutucu akışkan hortum vasıtasıyla yoğurturucuya 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.

2.2.6 YOĞUŞTURUCU (KONDENSER)

Yoğuşturucu, termik ısı değişkenliği yaratan alüminyum veya bakır borulardan ve alüminyum peteklerden oluşan bir ünitelendir. 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 teması olacağından, yoğuşturucu üzerinde sistemin çalışmasını etkileyecek miktarda yaprak, böcek ve pislik oluşabilir. Sistemin randımanlı çalışması için yoğuşturucu yüzeyi temiz tutulmalıdır.

Yoğuşturucuda oluşan yetersiz bir ısı değişikliği, sistemde basıncın yükselmesine neden olacağı gibi, soğutucu akışkanın kondense (yoğuşma) olmamasına ve genleşme valfine hala gaz konumunda ulaşacağından sistemin soğutma kapasitesini düşürecektir.

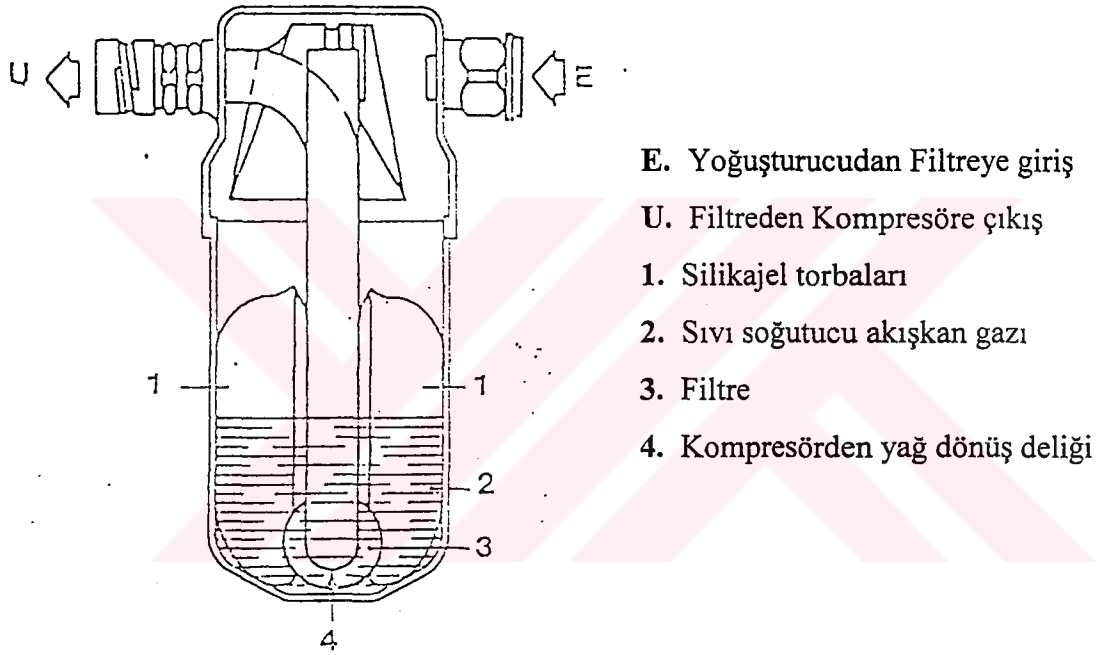
Yoğuşturucu, araç seyir halindeyken normal dış hava ile, araç park halinde iken ve sıkışık trafikte elektro fan vasıtası ile soğutulmaktadır.

2.2.7 NEM TUTUCU FİLTRE

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 Silikajel torbası ile sistemde kalan muhtemel nem taneciklerini tutmaktır.

Bundan dolayıdır ki; bu filtrenin sisteme monte edilmeden evvel çok titiz bir şekilde imal edilip hazırlanması ve nemsiz yerlerde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Filtrenin içersindeki profil borunun alt kısmında kompresöre buzlanmayı önleyici yağ gönderen bir delik vardır. Bu deliğe karşılık olarak ta profil boruda metalik bir filtre bulunmaktadır. Şekil 2.13



ŞEKİL 2. 13 Nem tutucu filtrenin kesiti

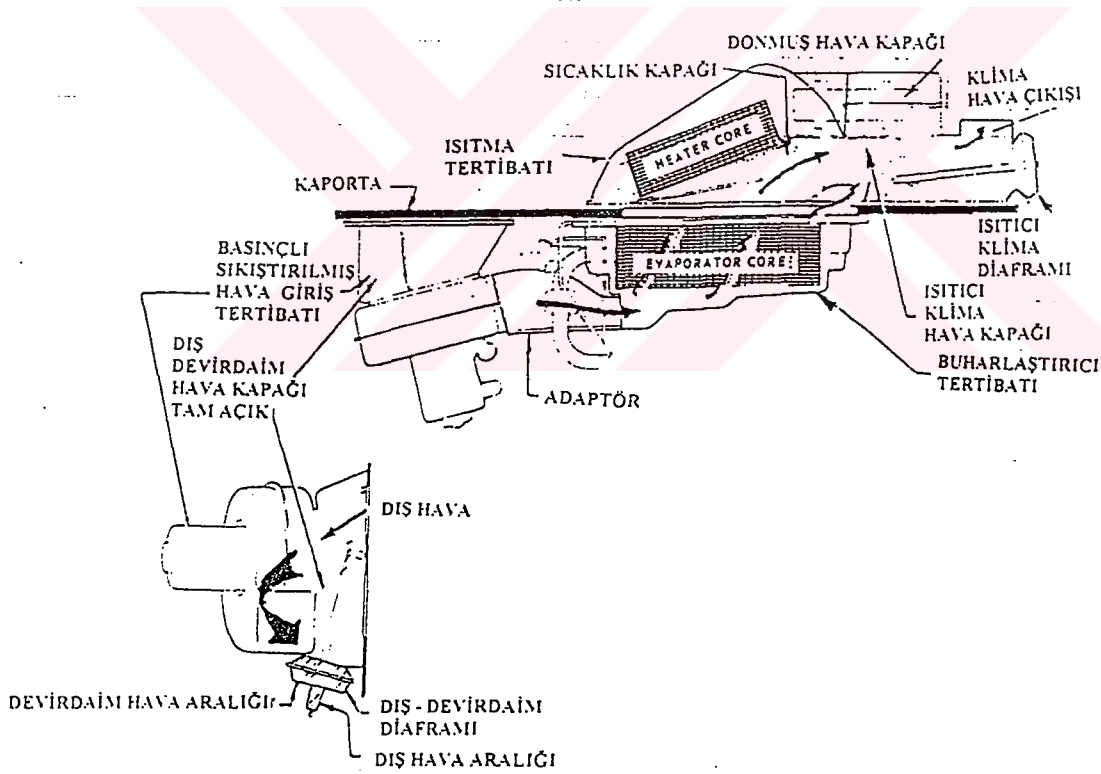
(Kaynak : Tofaş AŞ. - Aksesuar Techizat 1996)

2. 2. 8 BUHARLAŞTIRICI (EVAPARATÖR)

Buharlaştırıcı genellikle kontrol panelinin her iki yanına (motor ya da yolcuların bulunduğu kısım) monte edilebilir. Buharlaştırıcı, fan ve kanal sistemi kaputun altına, Şekil 2. 14’de olduğu gibi yerleştirilir. Isıtma helezonları da aynı kanal sistemine monte edilerek buharlaştııcıyla yalıtımı sağlanır.

Buharlaştırıcı, alüminyum boru ve peteklerden müteşekkil klima sisteminin ikinci ısı değişkenliğini 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 içerisindeki dahili hava ile olur, bu durumda buharlaştırmacıdan daima daha soğuk ve nemsiz hava sağlanır. Bir diğeri ise otomobil içerisindeki havanın, dış hava ile şartlandırılmasıdır, bu durumda dış hava buharlaştırmacıdan geçerken daha az soğur fakat ortama daha temiz hava sağlar.

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



ŞEKİL 2.14 Fan, buharlaştırmacı, ısıtma helezonları ve kanalların tesisat şeması

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)

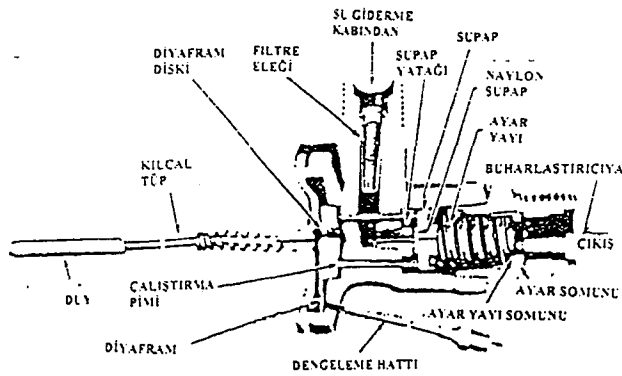
2.2.9 GENLEŞME VALFİ (EXPANSION VALVE)

Klima sistemlerinde, yüksek basınçtaki soğutucu akışkanın, buharlaştırıcı girişinde düşük basınca ulaşmasını sağlayan bir elemana ihtiyaç vardır. Otomobil klima üreticileri, bu elemanı “ termostatik genleşme valf” 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 hissetici 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. Şekil 2. 15



ŞEKİL 2. 15 Termostatik genleşme valfi

(Kaynak : ASHRE Equipment Handbook - 1994)

2. 2. 10 ÜÇ FAZLI 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.

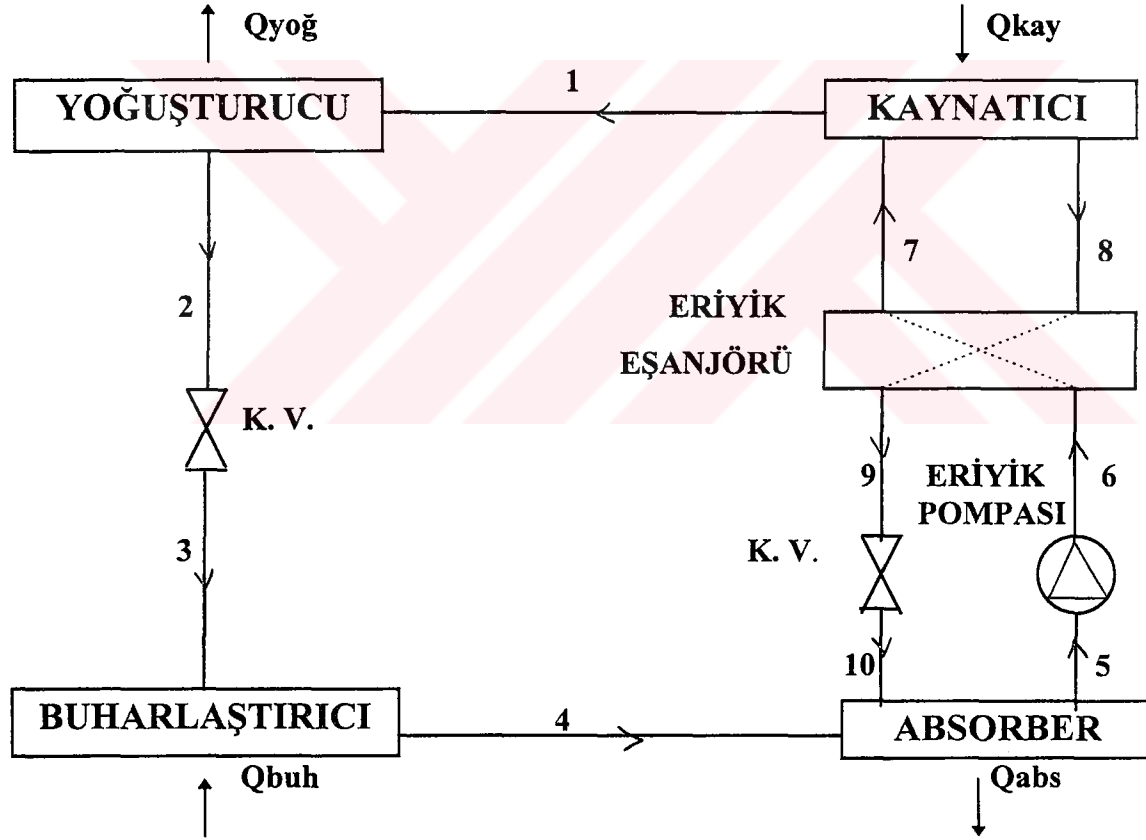
Ayrıca bu presostat, radyatör ve yoğuşturucu fanlarının herhangi bir sebepten devreye girmeyip tehlikeli limitler içerisinde girildiğinde veya sistemde kaçak olduğunda, dış ortam 10°C'ın altına düştüğünde soğutucu akışkan gazının termik olarak buharlaşmasının engellendiği durumlarda kompresörü devreden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



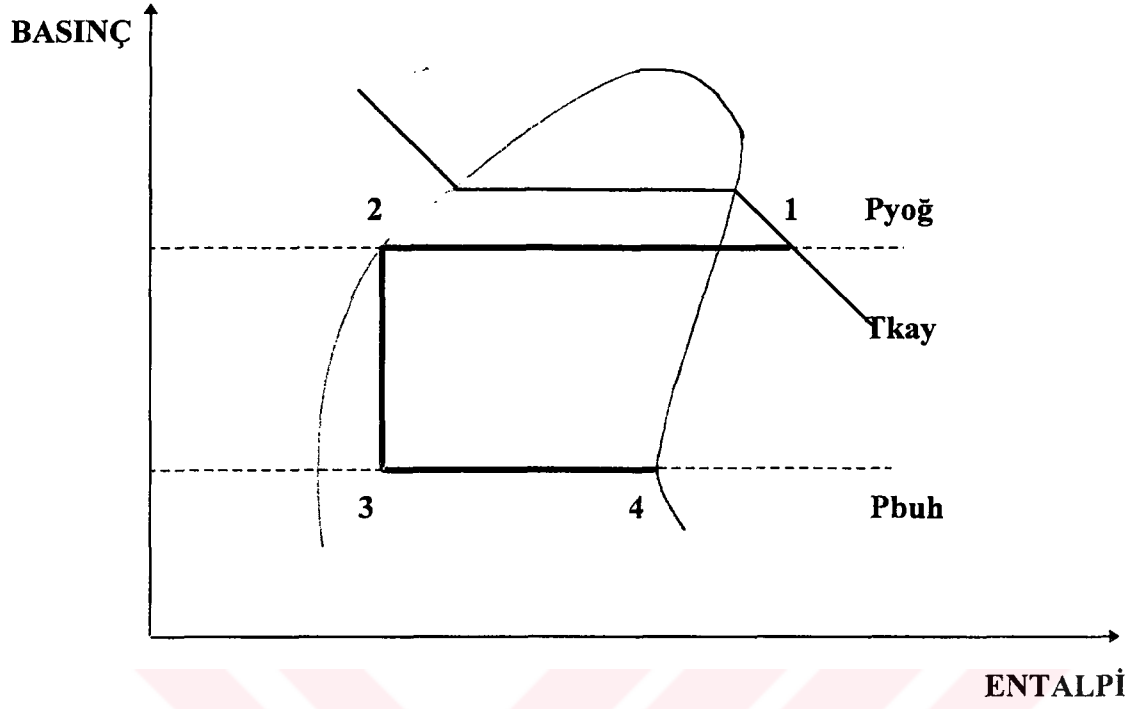
2.3 TERMODİNAMİK ANALİZ

2.3.1 TERMODİNAMİK ÇEVİRİM ANALİZİ

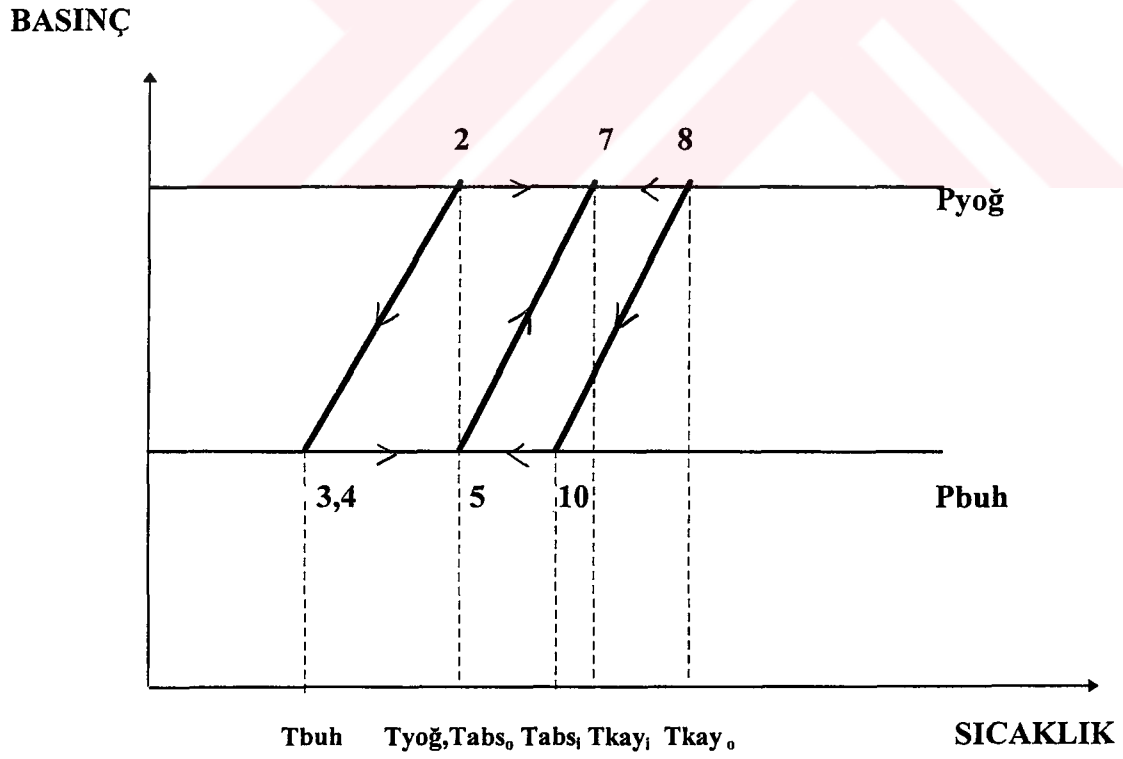
Şekil 2. 16'da Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin termodinamik analizi şematik olarak gösterilmiştir. Lityum bromür-su eriyiği kullanan bir sistemde; su buharının basınç-entalpi diyagramı Şekil 2. 17'de, LiBr-su eriyiğinin basınç-sıcaklık diyagramı Şekil 2. 18'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 2. 16 Absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi



ŞEKİL 2. 17 Su buharının basınç - entalpi diyagramı



ŞEKİL 2. 18 LiBr eriyiğinin basınç - sıcaklık diyagramı

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

$$WZ = m_z / m_a \quad (2.1)$$

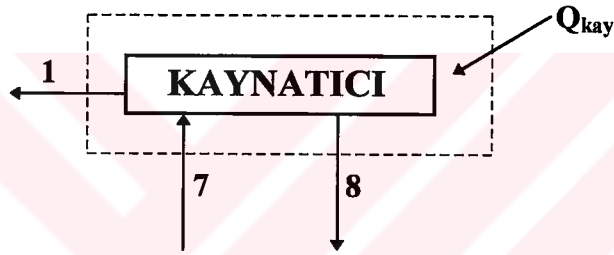
burada ;

WZ ; Dolaşım oranı

m_z ; zengin eriyik akış debisi (kg/s)

m_f ; fakir eriyik akış debisi (kg/s)

m_a ; su buharı akış debisi (kg/s)



şEKİL 2.19 Kaynatıcı

şekil 2.19'daki kaynatıcı açık bir sistemdir. (SASA)

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

Dolayısıyla;

$$WZ = m_8 / m_1 \quad (2.2)$$

Süreklielik denkleminden ;

$$m_8 + m_1 = m_7 \quad (2.3)$$

Sistemdeki Lityum - Bromür dengesinden ;

$$m_7 X_z = m_8 X_f \quad (2.4)$$

X_z ; Zengin eriyik konsantrasyonu

X_f ; Fakir eriyik konsantrasyonu

Denklem (2.3) ve (2.4) kullanılarak,

$$WZ = m_8 / m_1 = X_f / (X_z - X_f) \quad (2.5)$$

$$m_7 / m_1 = X_z / (X_z - X_f) = WZ + 1 \quad (2.6)$$

Kaynatıcı açık bir sistemdir, dolayısıyla $P = \text{sabit}$ ve $W = 0$ dır.

Kaynatıcıda oluşan kinetik ve potansiyel enerjinin ihmal edildiği kabul edilirse, Termodinamiğin I. kuralına göre ;

$$\sum Q_{\text{sys}} - \sum W_{\text{sys}} = \sum H_o - \sum H_i \quad (2.7)$$

$\sum Q_{\text{sys}}$; Toplam ısı transferi (Kw)

$\sum W_{\text{sys}}$; Toplam iş (Kw)

$\sum H_o$; Entalpi çıkanlar.

$\sum H_i$; Entalpi girenler.

Kaynatıcı için Denklem (2.7) nin aldığı form ;

$$Q_{\text{kay}} = H_1 + H_8 - H_7 \quad (2.8)$$

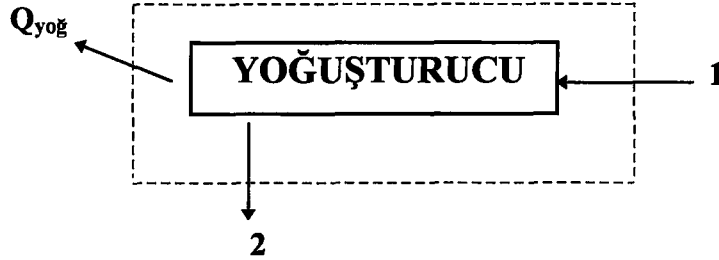
Ayrıca Denklem (2.8) in bir diğer yazılımı da,

$$Q_{\text{kay}} = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7 \quad (2.9)$$

Denklem (2.9) in sisteme uyarlanması ise;

$$Q_{kay} = m_a h_1 + m_z h_8 - m_f h_7 \quad (2.10)$$

$$Q_{kay} / m_1 = q_{kay} = h_1 + WZ h_8 - (WZ + 1) h_7 \quad (2.11)$$



ŞEKİL 2.20 Yoğuşturucu

Hava soğutmalı yoğuşturucu açık sistemdir, Şekil 2. 20 den yararlanarak,

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

Denklem (2.7)'yi kullanarak, yoğuşturucu ısı transferi;

$$Q_{yoğ} = H_2 - H_1 = m_2 h_2 - m_1 h_1 \quad (2.12)$$

Denklem (2.12)'nin sisteme uyarlanması ise;

$$Q_{yoğ} = m_1 (h_2 - h_1) \Rightarrow Q_{yoğ} / m_1 = q_{yoğ} = (h_2 - h_1) \quad (2.13)$$



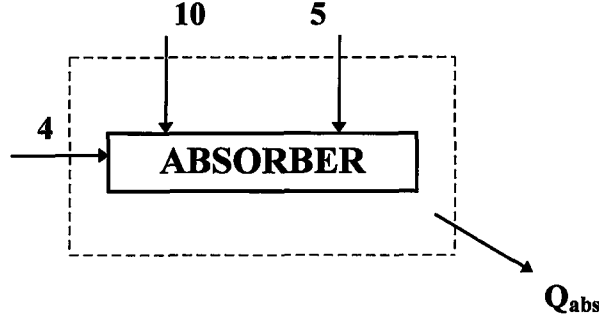
ŞEKİL 2.21 Buharlaştırıcı

Buharlaştırıcı açık bir sistemdir, dolayısıyla $P_{yoğ} = \text{sabit}$ ve $W_{yoğ} = 0$ olmak üzere Şekil 2.21'i kullanarak, buharlaştırıcı ısı transferi ;

$$Q_{buh} = H_4 - H_3 = m_4 h_4 - m_3 h_3 \quad (2.14)$$

Denklem (2.14)'in sisteme uyarlanması ise ;

$$Q_{buh} = m_1 (h_4 - h_3) \Rightarrow Q_{buh} / m_1 = q_{buh} = h_4 - h_3 \quad (2.15)$$



ŞEKİL 2.22 Absorber

Hava soğutmalı absorber açık sistemdir ve $P_{abs} = \text{sabit}$, $W_{abs} = 0$ olmak üzere denklem (2.7) absorbere uygulanırsa ;

$$Q_{abs} = m_5 h_5 - m_4 h_4 - m_{10} h_{10} \quad (2.16)$$

Denklem (2.16)'nın sisteme uyarlanması ise,

$$Q_{abs} = m_f h_5 - m_a h_4 - m_z h_{10} \quad (2.17)$$

$$Q_{abs} / m_1 = q_{abs} = (WZ + 1) h_5 - h_4 - WZ h_{10} \quad (2.18)$$

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin enerji dengesi ise ;

$$Q_{abs} + Q_{yoğ} = Q_{kay} + Q_{buh} + W_{pompa} \quad (2.19)$$

Genellikle W_{pompa} , diğer değerlere kıyasla ihmal edilebilecek miktarlarda olduğundan, Denklem (2.16) nın son hali,

$$Q_{abs} + Q_{yog} = Q_{kay} + Q_{buh} \quad (2.19)$$

2.3.2 SOĞUTMA TESİR KATSAYISININ DEĞERLENDİRİLMESİ (COP)

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

$$COP = \frac{\text{Soğutma Yüğü (Buharlaştırıcıdan)}}{\text{Verilen Enerji Girdisi (Kaynatıcı + Pompa)}} \quad (2.20)$$

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

$$(COP)_h = \frac{\text{Isıtma Yüğü (Yoğuşturucu ve Absorber)}}{\text{Verilen Enerji Girdisi (Kaynatıcı + Pompa)}} \quad (2.21)$$

Sistemin ısıtma dengesinin son hali ise;

$$(COP)_h = 1 + COP \quad (2.22)$$

Bu ilişki teoride olduğu kadar pratikte de kolaylıkla görülür. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde alınan ısıtmanın tümü, yoğuşturucu ve absorber tarafından ortama verilir. Buradan da anlaşılacağı gibi $(COP)_h$ değerini COP değeri ile kıyaslarsak, 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;

$$\text{COP} = \frac{\text{Sistemin Alt Sıcaklık Değeri}}{\text{Sisteme Verilen İş}} = \frac{T_{\text{yoğ}}}{T_{\text{buh}} - T_{\text{yoğ}}} \quad (2.23)$$

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 ;

$$\text{COP} = \frac{(T_{\text{kay}} - T_{\text{abs}})}{T_{\text{kay}}} \cdot \frac{T_{\text{buh}}}{(T_{\text{yoğ}} - T_{\text{buh}})} \quad (2.24)$$

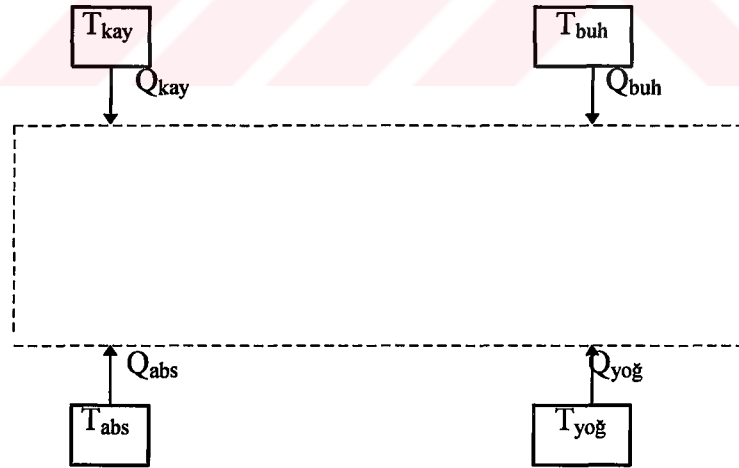
T_{buh} ; Buharlaştırıcı Sıcaklığı (K)

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

T_{kay} ; Kaynatıcı Sıcaklığı (K)

T_{abs} ; Absorber Sıcaklığı (K)

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin ideal COP değeri, Denklem (2. 24) kullanılarak bulunabilir.



ŞEKİL 2. 23 Absorbsiyonlu soğutma sisteminin Carnot sistemi şeklinde gösterimi

Termodinamiğin II. kanununu Absorbsiyonlu Soğutma Sistemine uygularsak ;

$$\sum \Delta S = \frac{Q_{kay}}{T_{kay}} + \frac{Q_{buh}}{T_{buh}} - \frac{Q_{yoğ}}{T_{yoğ}} - \frac{Q_{abs}}{T_{abs}} = 0 \quad (2.25)$$

Aynı zamanda, yoğuşturucu ve absorber aynı kaynak tarafından soğutulduğundan

$$T_{yoğ} = T_{abs} = T$$

Eğer Denklem (2. 19) ve Denklem (2. 25) birleştirilse,

$$\frac{Q_{kay}}{T_{kay}} + \frac{Q_{buh}}{T_{buh}} = \frac{Q_{yoğ} + Q_{abs}}{T} = \frac{Q_{kay} + Q_{buh}}{T} \quad (2.26)$$

Eşitliğin her iki tarafını T_{kay} / Q_{kay} ile çarparsak Denklem (2. 26) şu hali alır ;

$$1 + \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \frac{T_{kay}}{T_{buh}} = \frac{T_{kay}}{T} + \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \frac{T_{kay}}{T} \quad (2.27)$$

Denklem (2. 27) tekrar organize edilirse;

$$\frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} \cdot \left(\frac{T_{kay}}{T_{buh}} - \frac{T_{kay}}{T} \right) = \frac{T_{kay}}{T} - 1 \quad (2.28)$$

Daha önce $COP = Q_{buh} / Q_{kay}$ olarak tanımlanmıştı, bu tanımı Denklem (2. 28) uygularsak COP ;

$$COP = \frac{T_{kay} - T_{yoğ}}{T_{kay}} \cdot \frac{T_{buh}}{T_{yoğ} - T_{buh}} \quad (2.29)$$

$$COP = \eta_c \cdot (COP)_{BSS} \quad (2.30)$$

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

Sonuçta Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin soğutma tesir katsayısı, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Sisteme göre daima daha azdır. Denklem (2. 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 ;

$$COP = \frac{Q_{buh}}{Q_{kay}} = \frac{m_1 (h_4 - h_3)}{m_1 h_1 + m_z h_8 + m_f h_7} \quad (2.31)$$

$$COP = \frac{q_{buh}}{q_{kay}} = \frac{(h_4 - h_3)}{h_1 + WZ h_8 + (WZ + 1) h_7} \quad (2.32)$$

$$(COP)_h = \frac{Q_{yoğ} + Q_{abs}}{Q_{kay}} = \frac{m_1 (h_2 - h_1) + m_f h_5 - m_a h_4 - m_5 h_{10}}{m_1 h_1 + m_z h_8 - m_f h_7} \quad (2.33)$$

$$(COP)_h = \frac{q_{yoğ} + q_{abs}}{q_{kay}} = \frac{(h_2 - h_1) + (WZ + 1) h_5 - h_4 - WZ h_{10}}{h_1 + WZ h_8 + (WZ + 1) h_7} \quad (2.34)$$

$$(COP)_h = COP + 1 \quad (2.35)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 MATERYAL

Araştırmada, TOFAŞ AŞ. tarafından üretilen UNO S modeli esas alınmış ve Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi kullanarak araç kabininin teorik olarak ısıtma ve soğutulması üzerinde çalışılmıştır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sistemindeki kaynatıcı görevi; araç egzosa yerleştirilecek ve egsoz gazı sıcaklığını emecek bir ısı eşanjörü, absorber görevi; araç radyatörünün arkasına yerleştirilecek ve ısını fan yardımıyla havaya verecek bir ısı eşanjörü tarafından sağlanacaktır. Mevcut klima sistemindeki buharlaştırıcı ve yoğuşturucu aynen kullanılarak, kompresör devre dışı bırakılacaktır.

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 egsoz gazından alacağı ısı miktarı yani, kaynatıcı kapasitesi 17000 - 200000 W olmalıdır. Bu değer teorik bir değerdir, kayıplar göz önüne alındığında kaynatıcı kapasitesini daha yüksek değerlerde tutmak gerekir.

Araştırmada kullanılan veri ve bilgiler; TOFAŞ AŞ Araştırma ve Geliştirme Departmanı tarafından hazırlanan UNO S MOTOR ÖMÜR DENEYİ esas alınarak hazırlanmıştır.

Öncelikle araştırmamızda UNO S modelinin egsoz gazı ısı kapasitesinin, kaynatıcı kapasitesine yeterliliği incelenmiştir. Uygun kaynatıcı seçiminde, pek çok kaynatıcı tipi üzerinde hesaplamalar yapılmış ve uygun kapasitede kaynatıcı dizayn edilmiştir.

Ayrıca mevcut sisteme ilave edilen absorber ve kaynatıcı kapasitesi ve dizaynı sistemin yükünü kaldıracak şekilde yapılmıştır. Her iki dizayn hesapları **Ek B** ve **Ek D** kısmında sunulmuştur.

UNO S Motor Ömür Deneyinde; farklı devirlerdeki egsoz gazı sıcaklıklarının yanında, tork değerleri ve yakıt sarfiyatı bilgileri verilmiştir. UNO S motor ömür deneyi orijinal verileri Şekil 3. 1 ve Tablo 3. 1’de sunulmuştur.

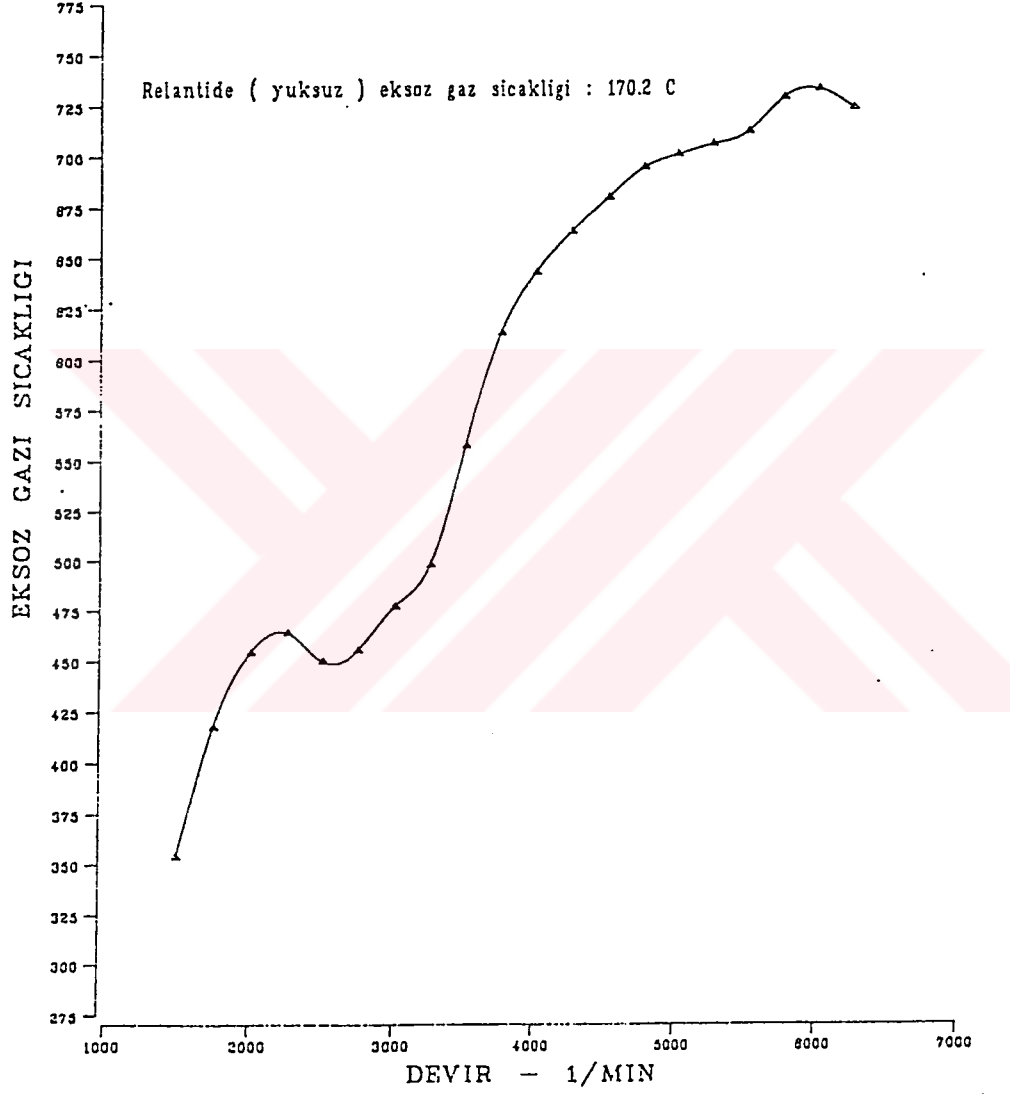
UNO S Motor Ömür Deneyi düzenlenerek ve Motor Hava - Yakıt oranı 15 alınarak hesaplanan egsoz gazı debisi Tablo 3. 2’de gösterilmiştir. Motor ömür deneyindeki her veri (tork ve devir) değeri **Konum** olarak adlandırılmıştır.



T O F A S
K.MEK.1

KABIN NO : 3
OMUR DENEYİ MOTORUNUN EKSOZ GAZI SICAKLIĞI

TARİH : 27/03/1996
MOTOR NO : Y.P.P.32
TİP : UNO S
File : YFP32
Layout : SCK32.LAY



ŞEKİL 3.1 UNO S motor ömür deneyi egsoz gazı sıcaklığı
(Kaynak : Tofaş AŞ. - Arge Bölümü Motor Ömür Deneyi)

(Kaynak : Tofaş AŞ. - Arge Bölümü Motor Ömür Deneyi)

```

MOTOR MODELİ      UNO-S      OPERATOR          0.00000
MOTOR NUMARASI    Y.F.P.32    DENETLEYEN        0.00000
DENEY ADI         GUCYAK      SILINDIR SAYISI    4.0000
OLCME DOSYASI ISMI :          TOPL.SILIND.HACMI CC 1400.00
GUCYAK.....      TARİH           27-MAR-96 13:46:24

```

47

TABLO 3. 2 A/F oranı 15 alınarak oluşturulan kapasite bilgileri.

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

Tablo 3. 1’de yakıt debisi kg/h biriminde verilmiştir. Yakıt debisinin kg/s birimine çevirerek ve hava yakıt oranı 15 alınarak bulunan değerler Tablo 3. 2’ de sunulmuştur. Ayrıca yakıt debisi ve hava debisinin toplamıda egzoz debisini vermektedir.

3.2 Y Ö N T E M

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin termodinamik analizi Bölüm 2. 3'de açıklanmıştır. Kaynatıcı dizaynı ve soğutma kapasitesi hesaplarına geçmeden önce egsoz gazının farklı sıcaklıklardaki termofiziksel özelliklerinin saptanması gerekmektedir.

Araç motorunda yakıt olarak normal benzin kullanılmaktadır. Normal benzinin kimyasal özelliklerinden ve yanma denkleminde yararlanarak elde edilen egsoz gazının termo-fiziksel özellikleri Tablo 3. 3'de, kullanılan yöntem ise Ek A'da sunulmuştur.

TABLO 3. 3 Egsoz gazının termofiziksel özellikleri

KONUM	C_p Özgül Isı Kj/kg.K	ρ Yoğunluk kg/m ³	μ Dinamik Viskozite N.s/m ² (exp -5)	k Isıl İletkenlik W/m.K (exp -3)	ν Kinematik Viskozite m ² /s (exp -6)
1	1,1649	0,5859	2,87343	45,191	51,714
2	1,1791	0,5358	3,0552	48,63	59,864
3	1,1967	0,50425	3,1854	51,079	66,445
4	1,1998	0,49758	3,2185	51,6483	68,0078
5	1,1955	0,50746	3,17715	50,851	65,8184
6	1,2	0,50358	3,1919	51,136	66,6
7	1,2041	0,48823	3,25946	52,4454	70,197
8	1,2101	0,47583	3,31723	53,5305	73,304
9	1,2284	0,44083	3,4889	56,859	83,047
10	1,2456	0,41095	3,6457	60	92,446
11	1,2545	0,39588	3,728	61,03	97,57
12	1,2603	0,38645	3,7822	62,805	101,107
13	1,2648	0,3789	3,826	63,72	103,95
14	1,269	0,3779	3,8665	64,578	106,6
15	1,271	0,3691	3,883	64,92	107,65
16	1,2724	0,3664	3,897	65,22	108,6
17	1,2741	0,3634	3,914	65,58	109,69
18	1,2792	0,3547	3,96	66,57	112,77
19	1,2801	0,354	3,972	66,78	113,43
20	1,2773	0,358	3,947	66,23	111,8

3. 2. 1 KAYNATICI DİZAYNI

Kaynatıcı dizaynı ve hesaplamaları Ek B’de sunulmuştur. Egsoz borusunun ölçülerine göre, tek geçişli ve kanatlı borulu ısı eşanjörü şeklinde düşünülen kaynatıcının farklı egsoz sıcaklıklarına göre düzenlenen kapasite bilgileri Tablo 3. 4’de gösterilmiştir. Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi, egsoz gazı sıcaklığının kaynatıcı tarafından ortam sıcaklığına kadar düşürülebileceği varsayılarak hesaplanmıştır.

$T_{exh,i}$; Kaynatıcı giriş egsoz gazı sıcaklığı (K)

$T_{exh,o}$; Kaynatıcı çıkış egsoz gazı sıcaklığı (K)

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

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

$Q_{exh,ideal}$; Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi (W)

TABLO 3. 4 Kaynatıcı ısı transfer kapasiteleri

KONUM	$T_{exh,i}$ K	$T_{exh,o}$ K	ΔT K	Q_{kay} W	$Q_{exh,ideal}$ W
1	626,1	455,77	170,33	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	539,72	182,08	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	16409	32628
10	884,2	587,48	296,72	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

3. 2. 2 SOĞUTMA KAPASİTESİNİN HESAPLANMASI

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 $T_{buh} = 15^{\circ} C$ olacağı düşünülmüştür.

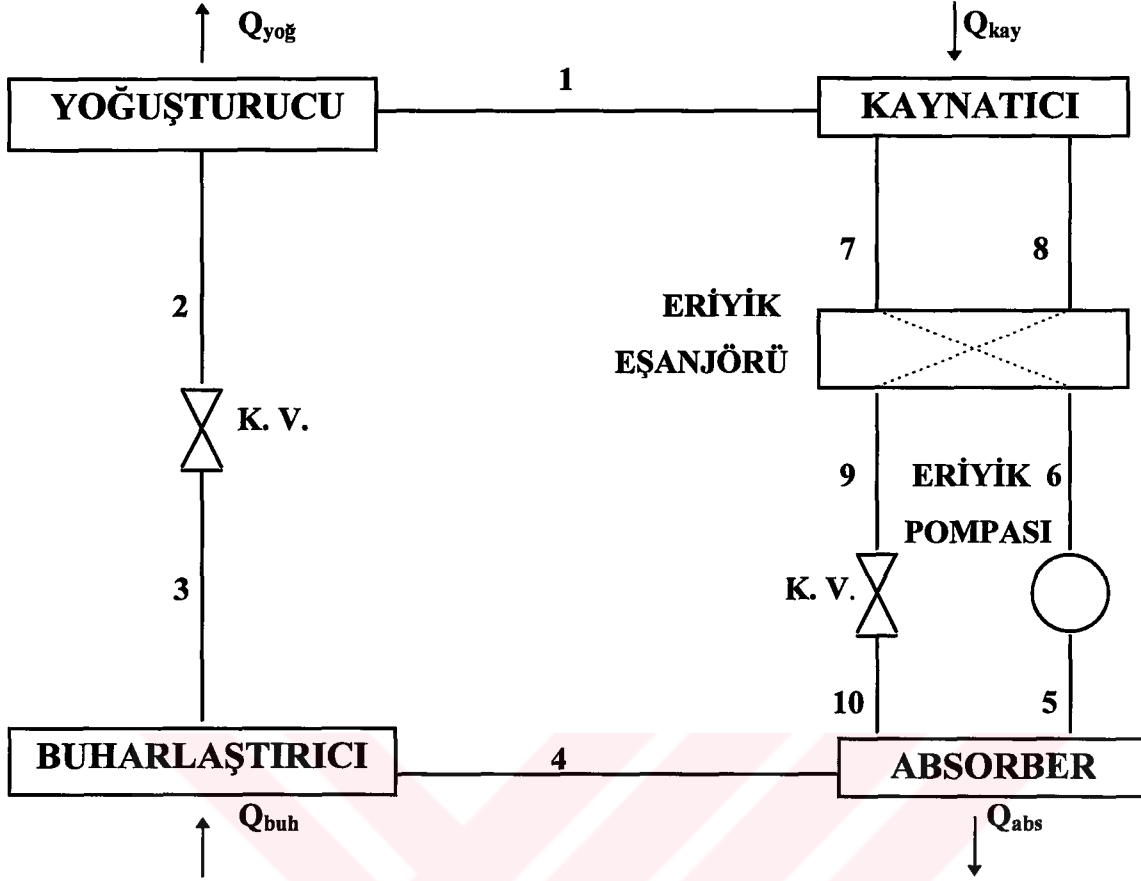
Kaynatıcı ısı transfer kapasitesi hesaplanırken de, sistemin özelliğinden dolayı soğutucu akışkan kaynatıcı çıkış sıcaklığı, 90° C alınmıştır. $T_{kay} = 90^{\circ} C$

Sistemdeki absorber ve yoğusturucu hava soğutmalı olduğundan ve buradan geçen soğutucu akışkanın en fazla ortam sıcaklığına kadar soğutulabileceği düşünülürse soğutucu akışkan buharlaştırıcı ve absorber çıkış sıcaklıkları ise $T_{abs} = T_{yoğ} = 35^{\circ} C$ alınabilir.

Tüm bu kabul değerleri ve Bölüm 2. 3' de açıklanan Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin termodinamik analizi doğrultusunda sistemin soğutma kapasitesinin hesaplanması mümkündür.

Bölüm 2. 3'de açıklanan sistemin termodinamik analizinde, sistemdeki ısı eşanjörlerini kapasite hesaplarında kullanılan entalpi değerleri, sistemin o noktadaki konsantrasyon bilgileri ile bulunur. Sistemdeki konsantrasyon bilgilerinin ve entalpi değerlerinin bulunmasında kullanılan Tablo ve Diyagramlar Ek F' de sunulmuştur.

Soğutma kapasitesi örnek hesabında, Konum 7'deki kaynatıcı ısı transfer kapasite bilgileri kullanılmıştır.



NOKTA 1 ; $T_1 = T_{\text{kay}} = 90^\circ\text{C}$

$P_1 = P_{\text{max}}$, $T=35^\circ\text{C}$ DOYMA BASINCI = 5,622 kPa

$\Leftrightarrow h_1 = 2669 \text{ kJ/kg}$

Kızgın Buhar

NOKTA 2 ; $T_2 = T_{\text{yog}} = 35^\circ\text{C}$

$P_2 = P_1 = P_{\text{max}} = 5,622 \text{ kPa}$

$\Leftrightarrow h_2 = 146,6 \text{ kJ/kg}$

Doymuş Sıvı ($x = 0$)

NOKTA 3 ; $T_3 = T_{\text{buh}} = 15^\circ\text{C}$

$P_3 = P_{\text{min}}$, $T=15^\circ\text{C}$ DOYMA BASINCI = 1,704 kPa

$\Leftrightarrow h_3 = 146,6 \text{ kJ/kg}$

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

NOKTA 4 ; $T_4 = T_{\text{buh}} = 15^\circ\text{C}$

$P_4 = P_{\text{min}} = 1,704 \text{ kPa}$

$\Leftrightarrow h_4 = 2528 \text{ kJ/kg}$

Doymuş Buhar ($x = 1$)

NOKTA 5 ; $T_5 = T_{abs} = 35^\circ\text{C}$

$P_5 = P_{min} = 1,704 \text{ kPa} = 12,78 \text{ mmHg} \Leftrightarrow X_f = 48,75 \% , h_5 = 70 \text{ kJ/kg}$
LiBr - Su

NOKTA 8 ; $T_8 = T_{kay} = 90^\circ\text{C}$

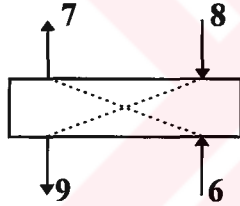
$P_8 = P_{max} = 5,622 \text{ kPa} = 42,16 \text{ mmHg} \Leftrightarrow X_z = 64,5 \% , h_8 = 232 \text{ kJ/kg}$
LiBr - Su

Dolaşım oranları $WZ = m_8 / m_1$ ve $WF = m_7 / m_1$ olmak üzere ve $X_7 = X_5 = X_f$ ve $X_9 = X_8 = X_z$ eşitliğinden;

$$WZ = X_7 / (X_8 - X_7) = X_f / (X_z - X_f) = 48,75 / (64,5 - 48,75) \Rightarrow \mathbf{WZ = 3,095}$$

$$WF = X_8 / (X_8 - X_7) = X_z / (X_z - X_f) = 64,5 / (64,5 - 48,75) \Rightarrow \mathbf{WF = 4,095}$$

NOKTA 9 ;



$$P_6 = P_{max}$$

$$X_6 = X_7 = X_f = 48,75 \%$$

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

$\epsilon_{\text{eşanjör}}$; Isı Eşanjörünün Etkinlik Katsayısı

h_s ; İdeal entalpi değeri

9 Noktasından ısı eşanjörünü terkeden 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.

$T_9 = 35^\circ\text{C}$ Şekil 4. 3'den bulunur.

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

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

$$\epsilon_{\text{eşanjör}} = 0,8$$

$$\epsilon_{\text{eşanjör}} = (h_8 - h_9) / (h_8 - h_{9s}) \Rightarrow 0,8 = (232 - h_9) / (232 - 150)$$

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

$X_9 = X_z = 64,5\%$ ve $T_9 = 35^\circ\text{C}$ bulunur.

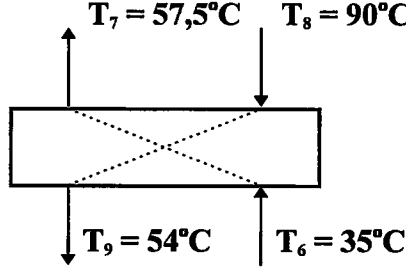
NOKTA 7 ; Isı Eşanjörü LiBr - Su Dolaşım Oranları dengesi ;

$$WF \cdot (h_7 - h_6) = WZ \cdot (h_8 - h_9)$$

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

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;



Ayrıca Sistemin özelliğinden dolayı;

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

SOĞUTUCU AKIŞKAN VE ERİYİK DEBİLERİNİN HESAPLANMASI

Soğutucu akışkan debisinin hesaplanmasında termodinamiğin I. kuralının kaynatıcıya uygulanmasından yararlanacağız. Denklem (2. 8) hatırlandığında,

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

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

$$q_{kay} = h_1 + WZ h_8 - WF h_7 \quad \text{değerler yerlerine konulduğunda,}$$

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

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

Aynı zamanda $q_{kay} = Q_{kay}/m_1$ Q_{kay} değeri bilindiğinde, m_1 hesaplanabilir.

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

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

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

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

3. 2. 3 SOĞUTMA YÜKÜ

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

$$Q_{buh} = m_1 (h_4 - h_3)$$

$$Q_{buh} = 3,9508 \times 10^{-3} (2528 - 146,6) \Rightarrow Q_{buh} = 9,4084 \text{ kW.}$$

YOĞUŞTURUCU ISI TRANSFERİ

Hava soğutmalı yoğuşturucudan atılan ısı miktarı şu şekilde hesaplanabilir;

$$Q_{yoğ} = m_1 (h_2 - h_1) = 3,9508 \times 10^{-3} (146,6 - 2669) \Rightarrow Q_{yoğ} = 9,9647 \text{ kW.}$$

ABSORBER ISI TRANSFERİ

Hava soğutmalı absorberden atılan ısı miktarı şu şekilde hesaplanabilir;

$$Q_{abs} = m_5 h_5 - m_4 h_4 - m_{10} h_{10} \text{ ve } m_{10} = m_8, m_5 = m_7 \text{ ve } m_4 = m_1 \text{ olmak üzere,}$$

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

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

Isı transfer değerlerinin kontrolü enerji korunumu yardımıyla yapılabilir.

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

$$11,447 \text{ kW} + 9,4084 \text{ kW} = 10,8899 \text{ kW} + 9,9647 \text{ kW}$$

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

SOĞUTMA TESİR KATSAYISI

Soğutma Tesir Katsayısı Denklem (2. 29)'da belirtildiği üzere;

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

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

Yukarıda açıklanan soğutma kapasitesi hesaplarının, diğer konum bilgileri kullanılarak tekrarlanması halinde elde edilecek bilgiler Tablo 3 .5 ve Tablo 3. 6'da sunulmuştur.

TABLO 3.5 Konumlara göre akışkan debileri

KONUM	m ₁ Soğutucu Akışkan Debisi kg/s (exp-3)	m ₇ Fakir Eriyik Debisi kg/s (exp-3)	m ₈ Zengin Eriyik Debisi kg/s (exp-3)
1	1,3579	5,5605	4,2026
2	1,9011	7,7852	5,8841
3	2,2696	9,294	7,0244
4	2,5	10,2375	7,7375
5	2,7677	11,334	8,5663
6	3,2238	13,201	9,9772
7	3,9508	16,178	12,2272
8	4,657	19,07	14,413
9	5,6634	23,191	17,5276
10	6,735	27,58	20,845
11	7,63	31,24	23,61
12	8,4584	34,637	26,1786
13	9,129	37,384	28,255
14	9,8738	40,432	30,5582
15	10,356	42,4	32,044
16	10,708	43,85	33,142
17	11,215	45,927	34,712
18	11,687	47,857	36,17
19	12,064	49,4	37,336
20	12,454	51	38,546

TABLO 3.6 Konumlara göre kapasite ve soğutma tesir katsayıları

KONUM	$Q_{yoğ}$ 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	6,306	5,9535	6,8911	7,2445	0,8217
5	6,9812	6,591	7,6287	8,0192	0,8219
6	8,1317	7,6771	8,886	9,3406	0,8219
7	9,9647	9,4084	10,8899	11,447	0,8219
8	11,7468	10,8758	12,8363	13,494	0,806
9	14,2854	13,4868	15,6103	16,409	0,8219
10	16,9883	16,0387	18,564	19,514	0,8219
11	19,2459	18,17	21,031	22,106	0,8219
12	21,3355	20,1428	23,3142	24,507	0,8219
13	23,027	21,74	25,163	26,451	0,82189
14	24,905	23,513	27,215	28,607	0,8219
15	26,123	24,662	28,545	30,005	0,8219
16	27,01	25,5	29,515	31,026	0,8219
17	28,289	26,707	30,912	32,495	0,8218
18	29,479	26,707	32,213	33,816	0,789
19	30,43	28,729	33,258	34,954	0,8219
20	31,414	29,658	34,327	36,084	0,8219

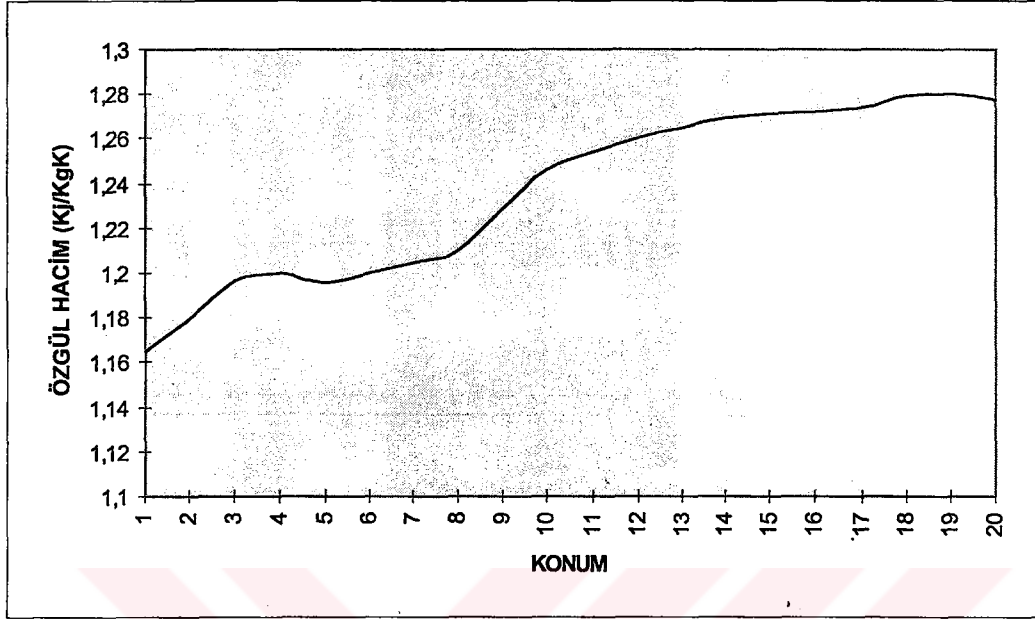
3.3 YÖNTEM SONUÇLARI

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin analizi için gerekli olan bilgiler Konu 3. 2’de açıklanan yöntemlerle bulunur. Bu yöntemler sonucunda hazırlanan tablolardaki değerler sistemin kapasitesi hakkında bilgi verir.

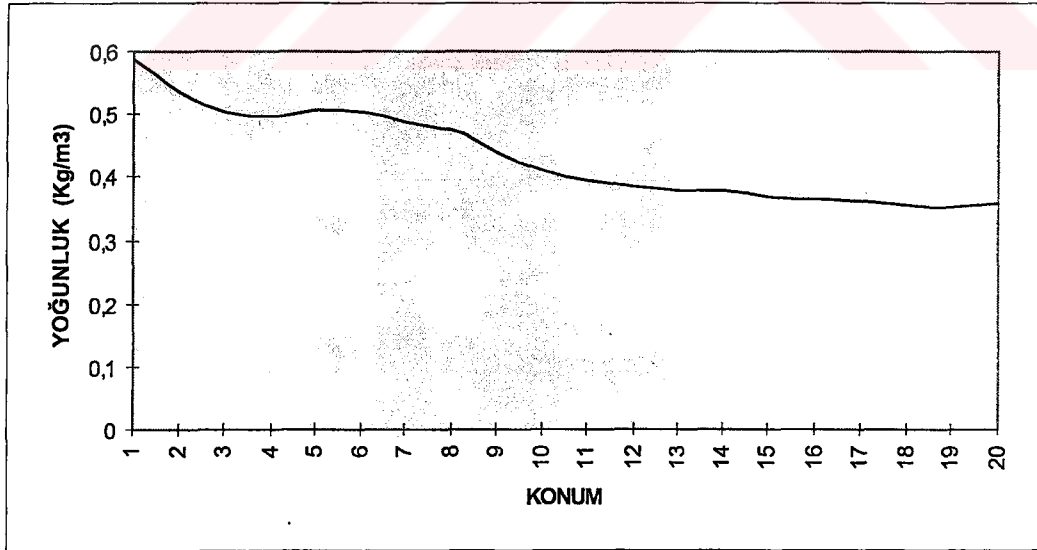
Sistem kapasitesinin daha net incelenebilmesi için farklı egsoz gazı sıcaklık ve motor devirlerinde ulaşılan değerler grafikler halinde sunulmuştur.

Bu grafiklerden elde edilecek sonuçlara göre, egsoz gazı sıcaklığı kullanılacak Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin araçlara uygulanabilirliği hakkında bilgi sahibi olabileceğiz.

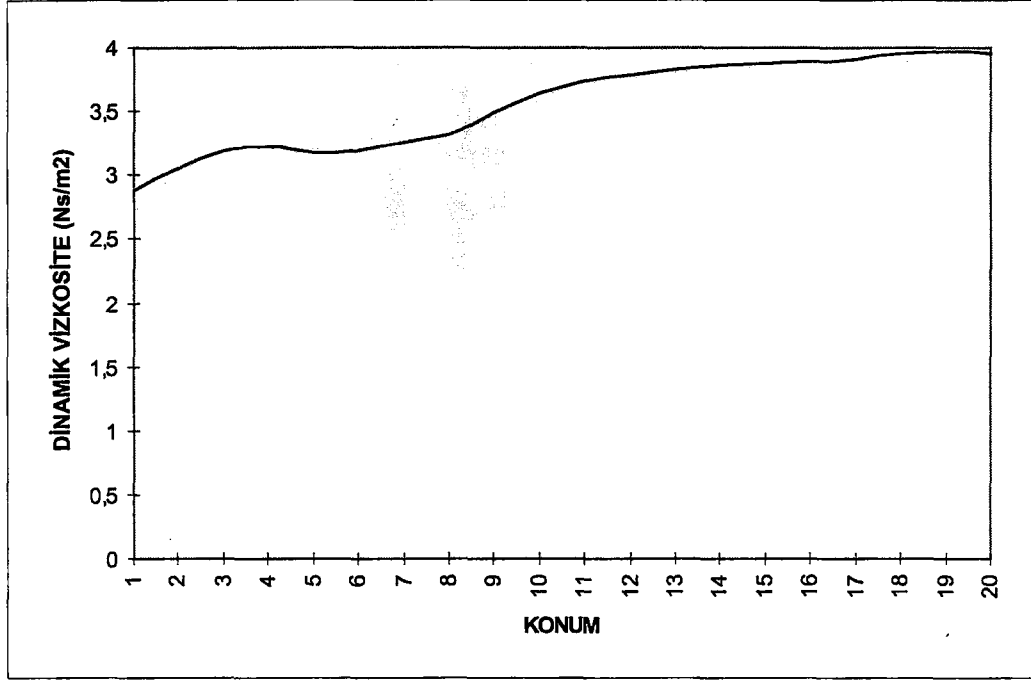
EGSOZ GAZI TERMO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ;



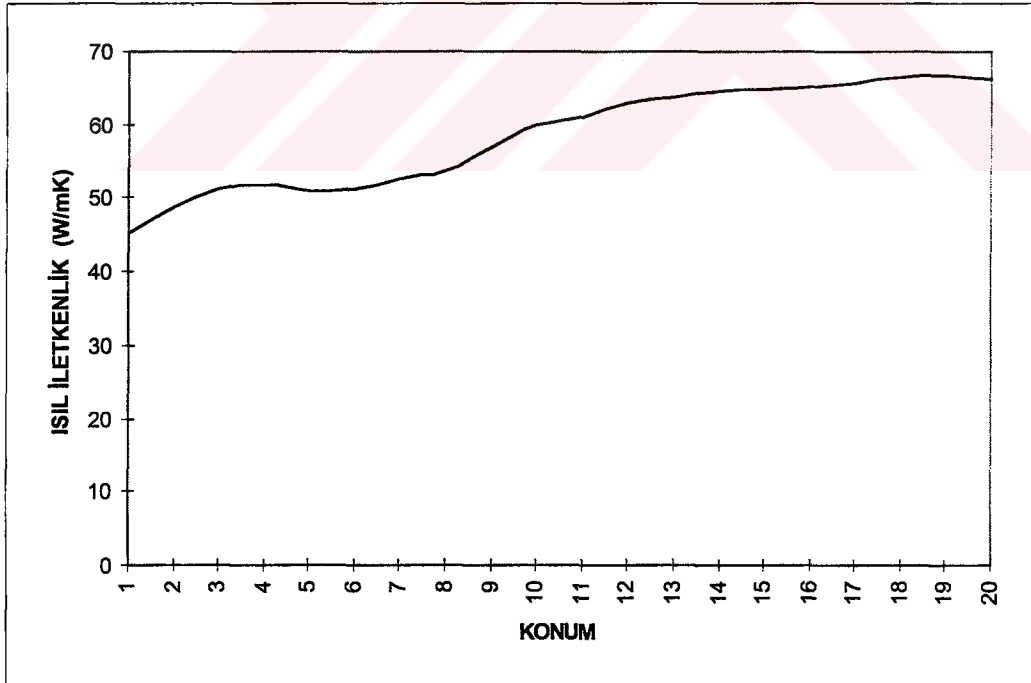
ŞEKİL 3.2 Özgül hacim (c_p) - Konum grafiği



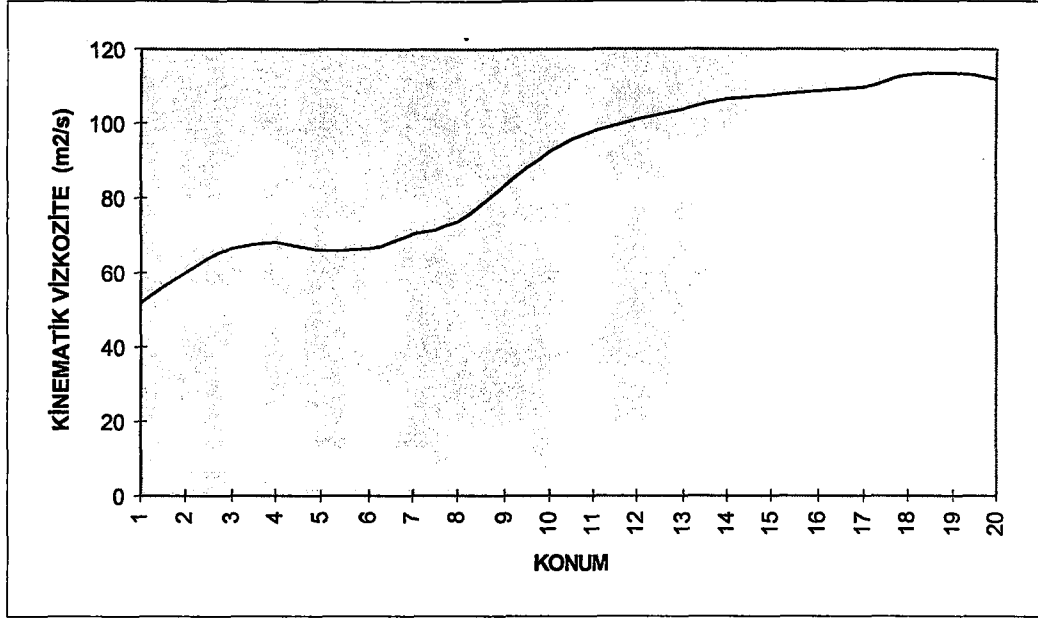
ŞEKİL 3.3 Yoğunluk (ρ) - Konum grafiği



ŞEKİL 3. 4 Dinamik vizkozite (μ) - Konum grafiği

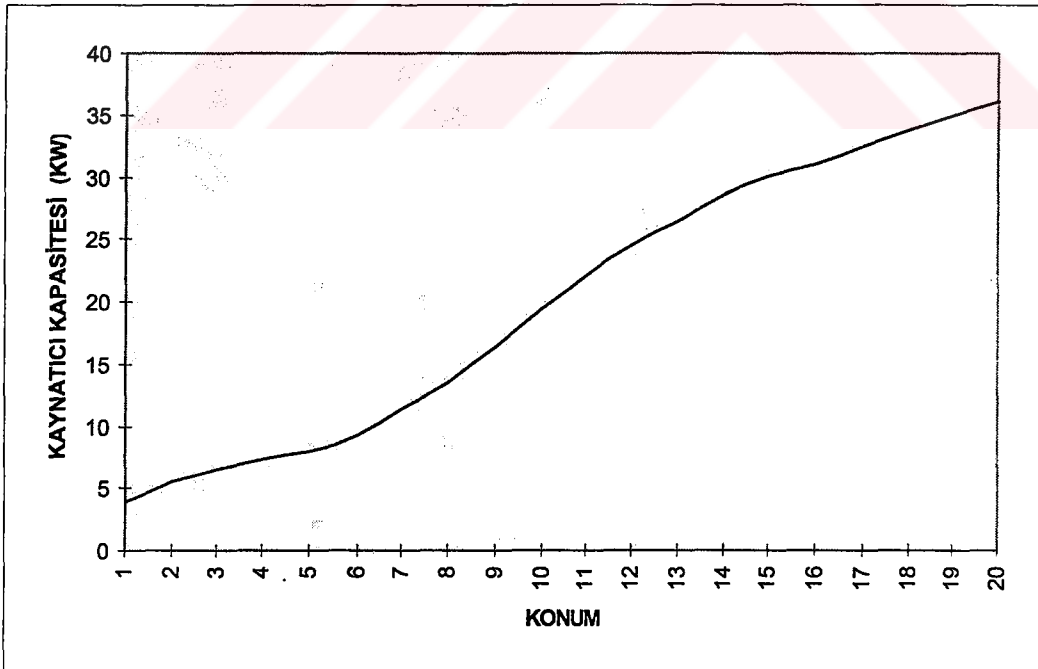


ŞEKİL 3. 5 Isıl iletkenlik (k) - Konum grafiği

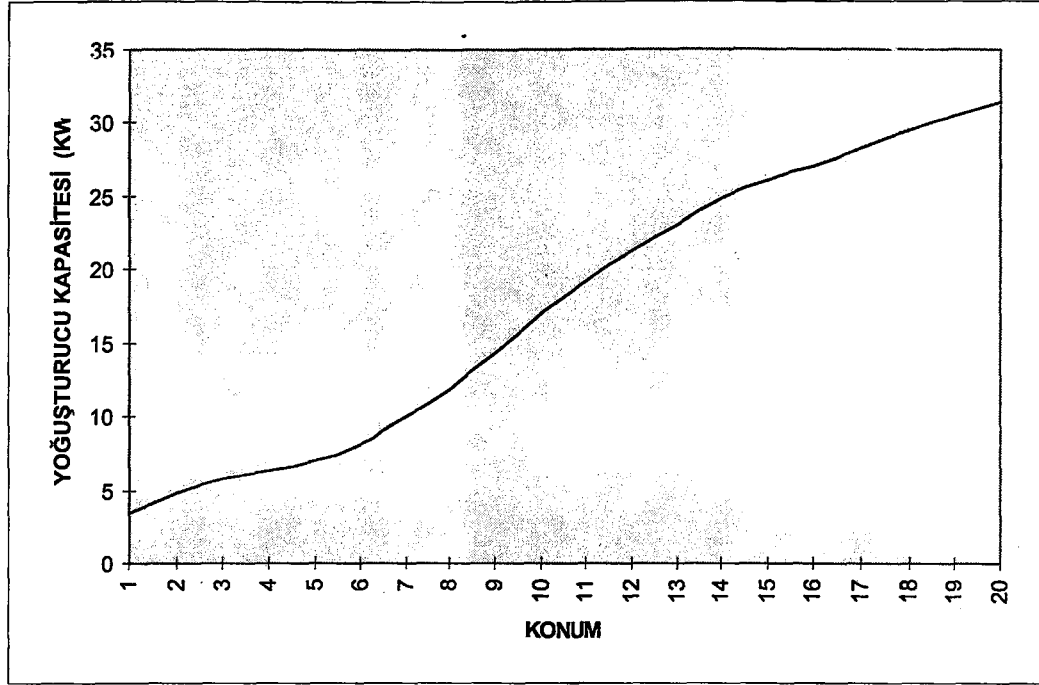


ŞEKİL 3. 6 Kinematik vizkozite (ν) - Konum grafiği

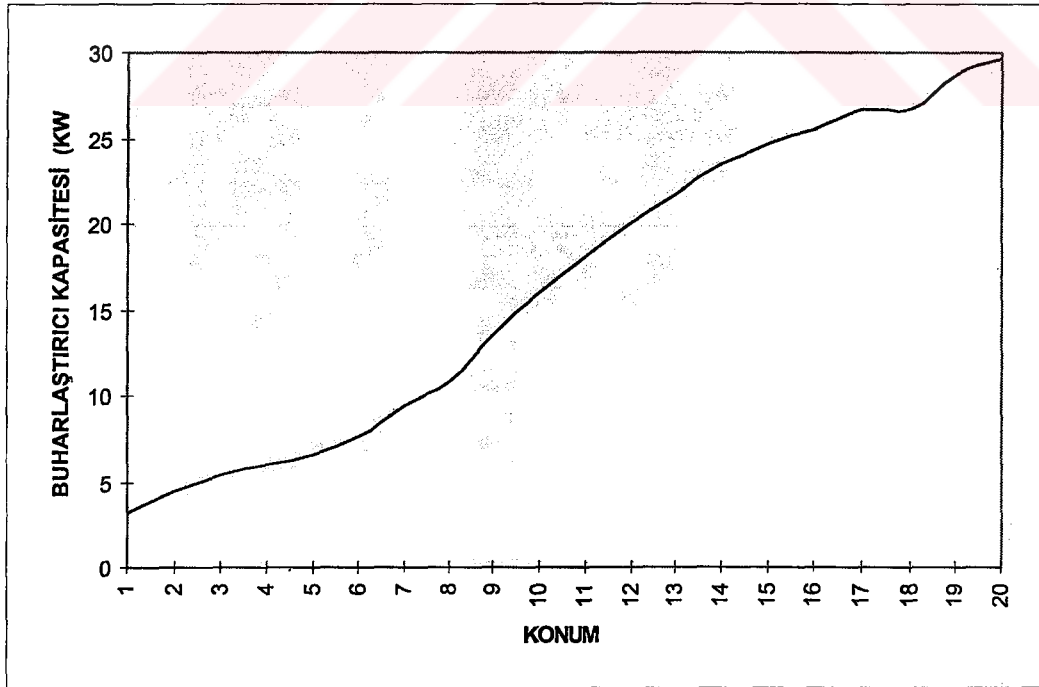
SİSTEM KAPASİTE BİLGİLERİ



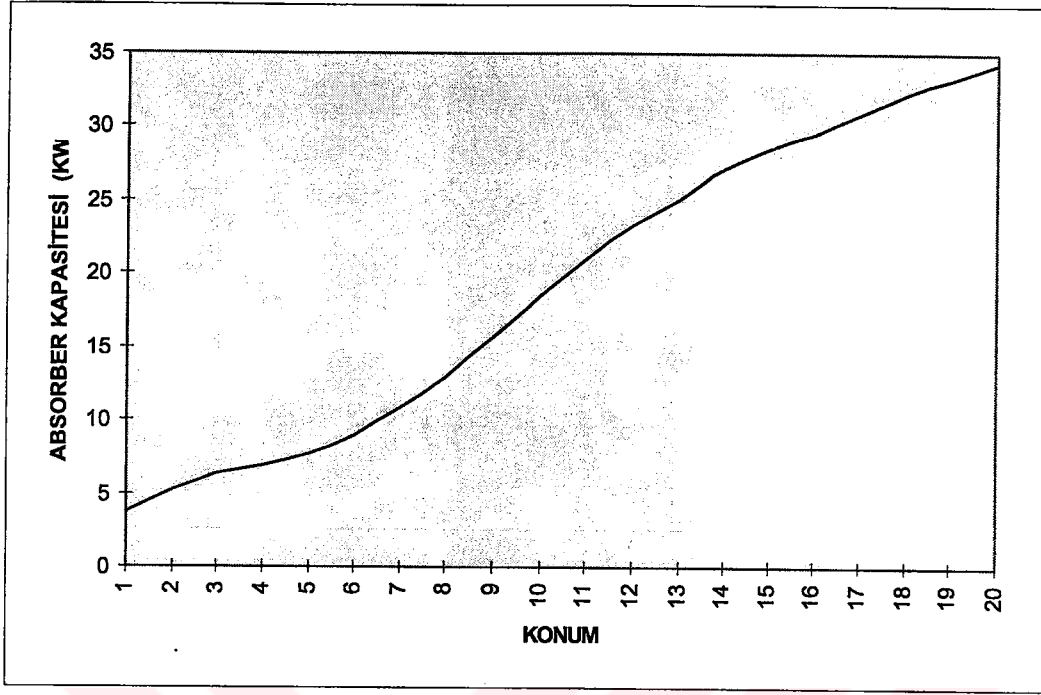
ŞEKİL 3. 7 Kaynatıcı kapasitesi (Q_{kay}) - Konum grafiği



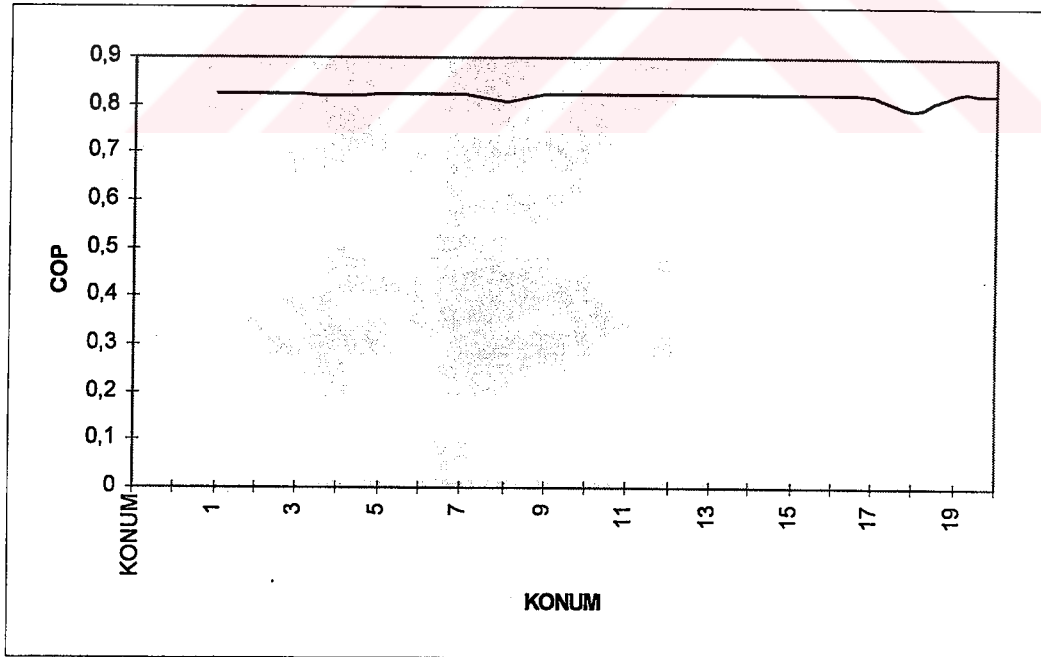
ŞEKİL 3.8 Yoğuşturucu kapasitesi (Q_{yog}) - Konum grafiği



ŞEKİL 3.9 Buharlaştırıcı kapasitesi (Q_{buh}) - Konum grafiği

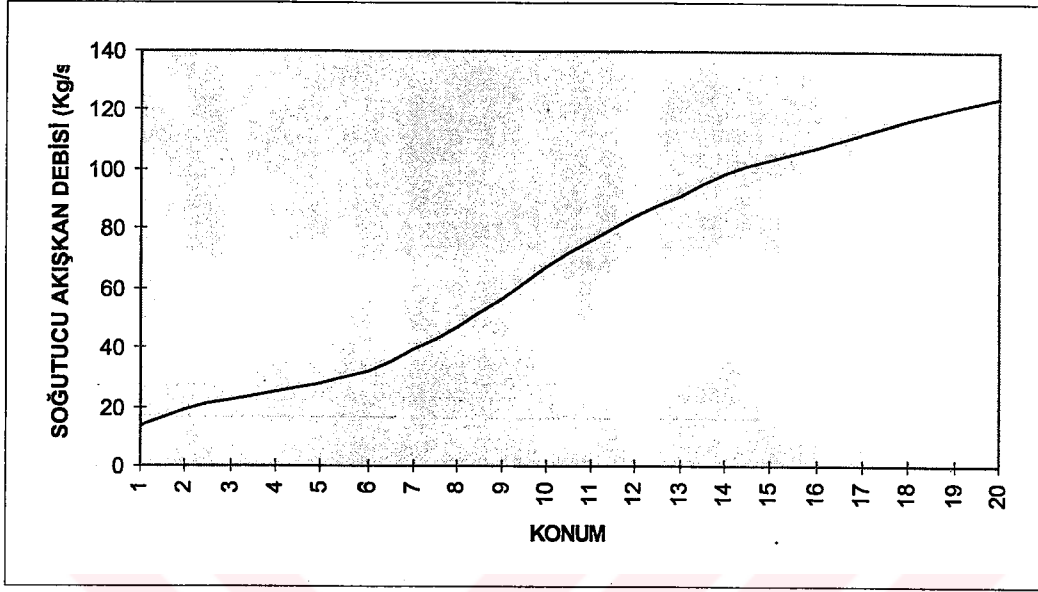


ŞEKİL 3. 10 Absorber kapasitesi (Q_{abs}) - Konum grafiği

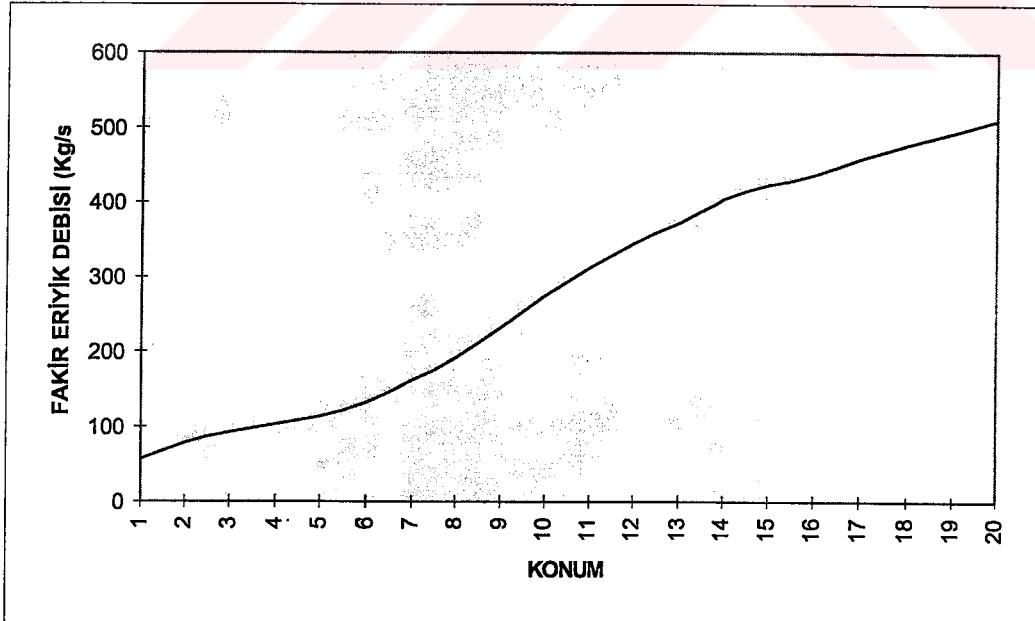


ŞEKİL 3. 11 Soğutma tesir katsayısı (COP) - Konum grafiği

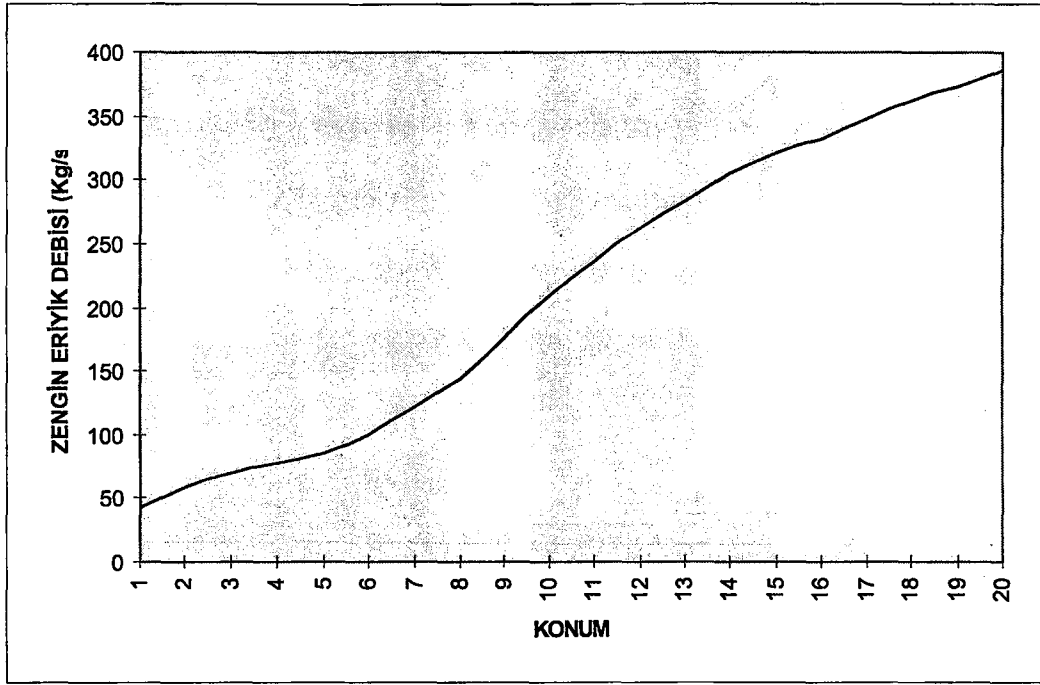
SOĞUTUCU AKIŞKAN - ERİYİK DEBİ BİLGİLERİ



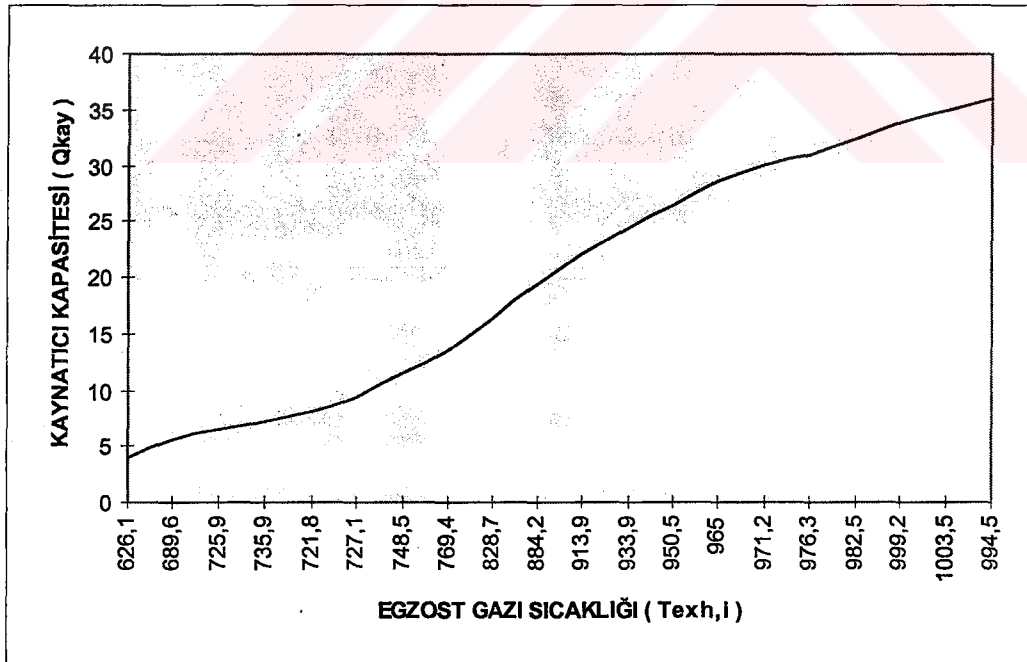
ŞEKİL 3.12 Soğutucu akışkan debisi (m_1) - Konum grafiği



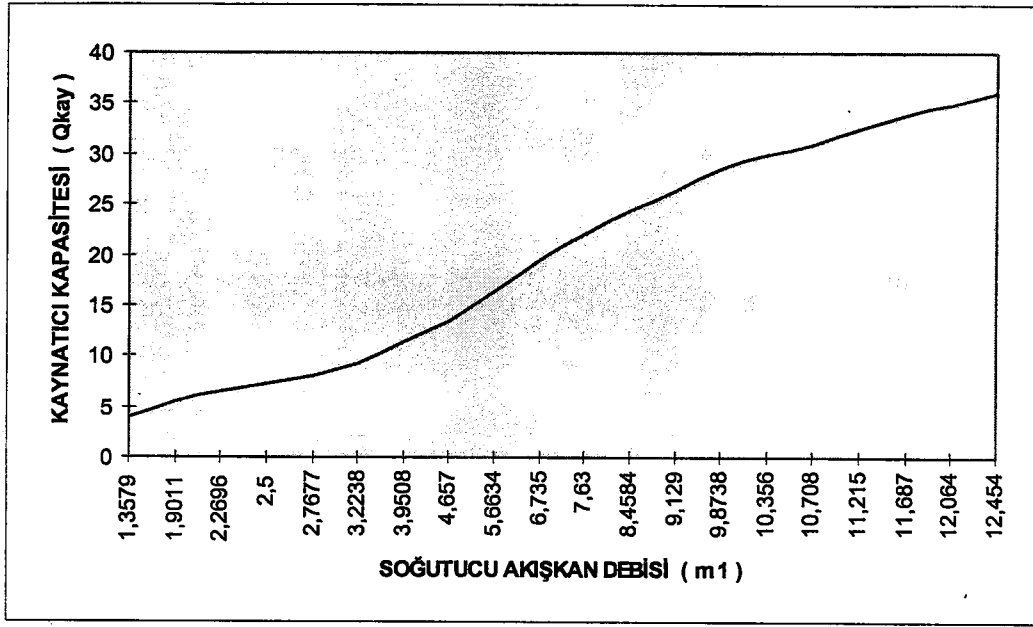
ŞEKİL 3.13 Fakir eriyik debisi (m_7) - Konum grafiği



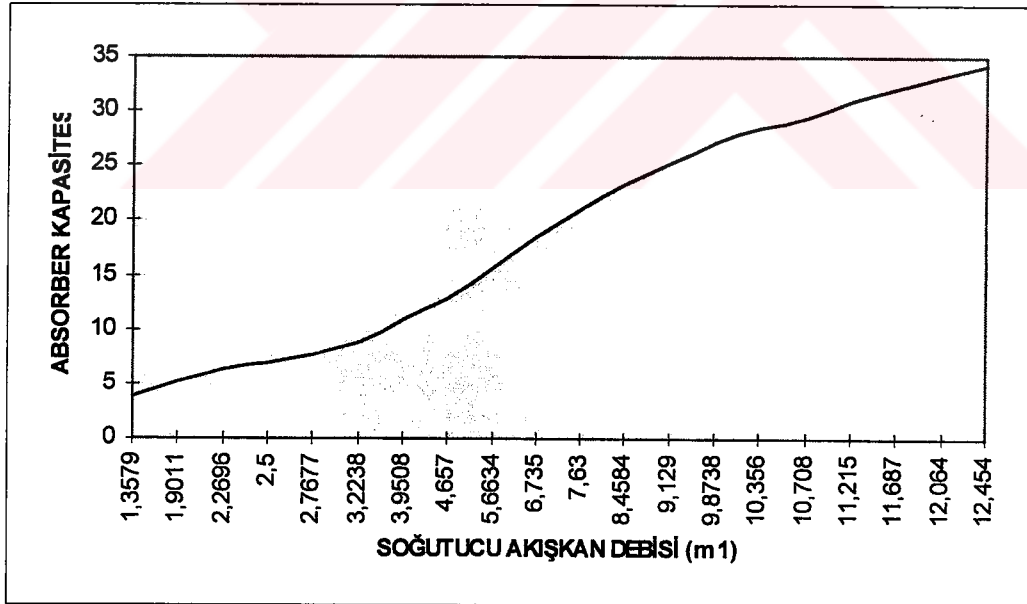
ŞEKİL 3. 14 Zengin eriyik debisi (m_g) - Konum grafiği



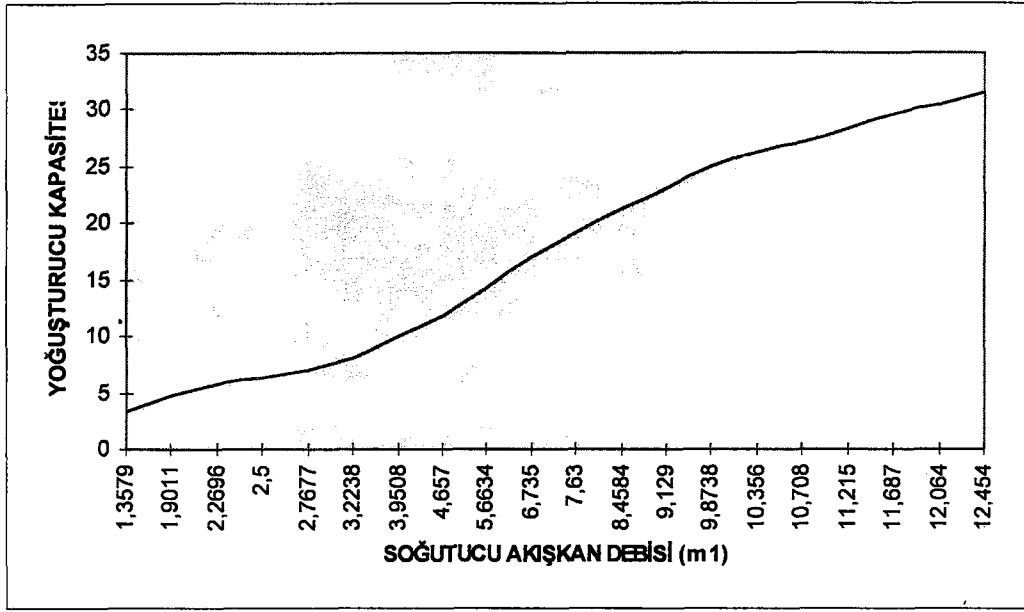
ŞEKİL 3. 15 Kaynatici kapasitesi (kW) - Egzost gazı sıcaklığı (K)



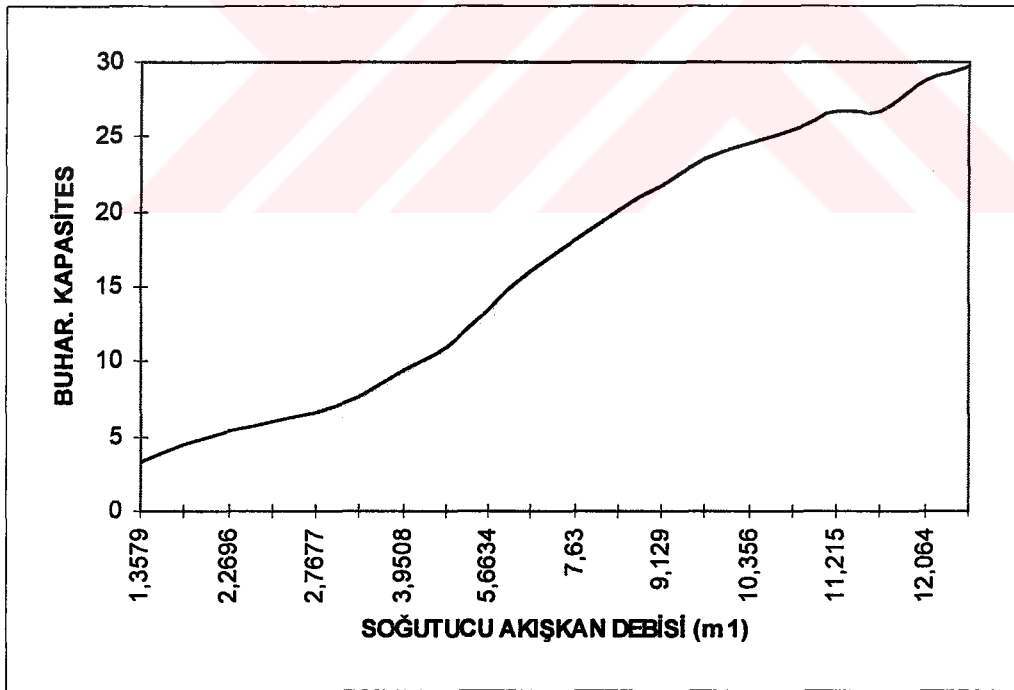
ŞEKİL 3. 16 Kaynatıcı kapasitesi (kW) - Soğutucu akışkan debisi (kg/s)



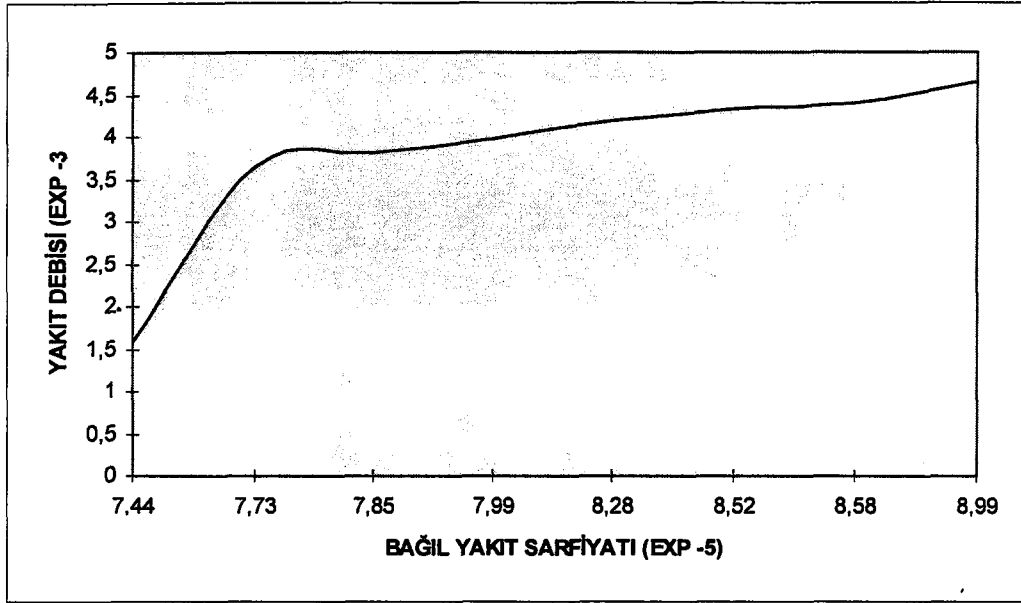
ŞEKİL 3. 17 Absorber kapasitesi (kW) - Soğutucu akışkan debisi (kg/s)



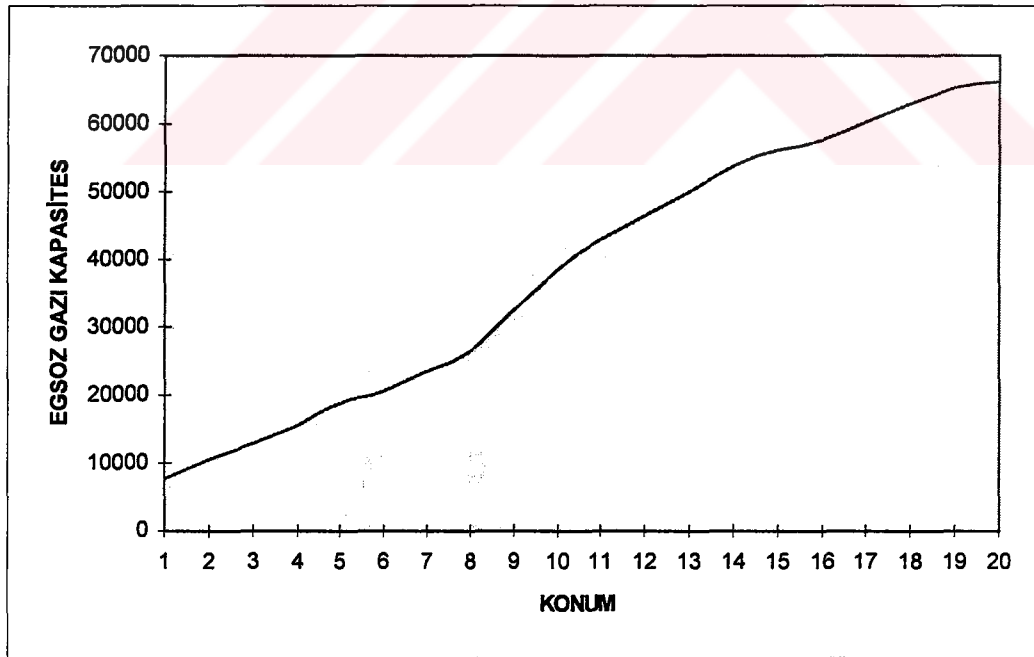
ŞEKİL 3. 18 Yoğuşturucu kapasitesi (kW) - Soğutucu akışkan debisi (kg/s)



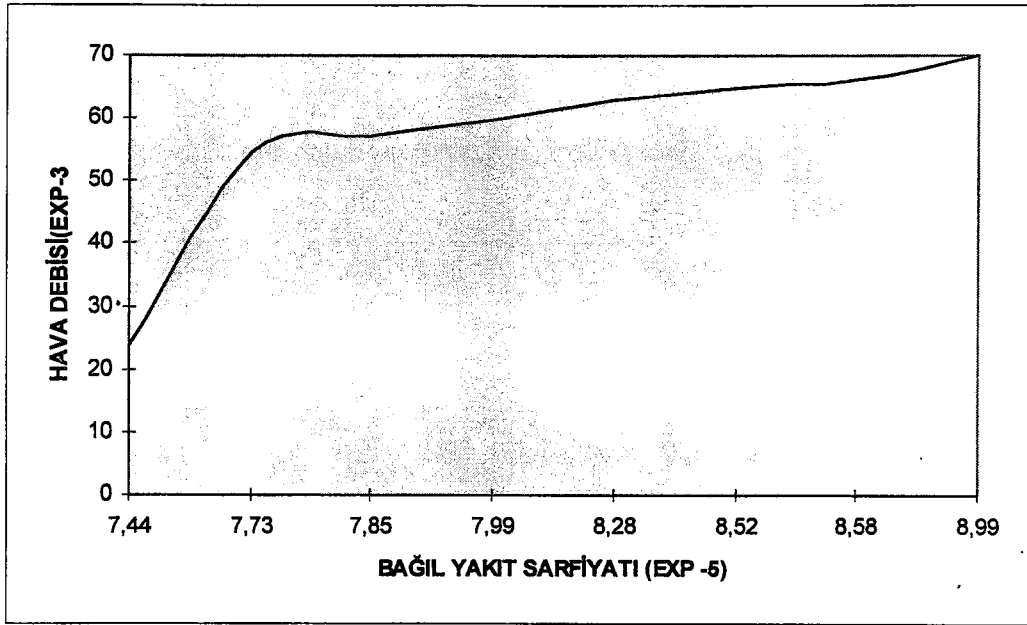
ŞEKİL 3. 19 Buharlaştırıcı kapasitesi (kW) - Soğutucu akışkan debisi (kg/s)



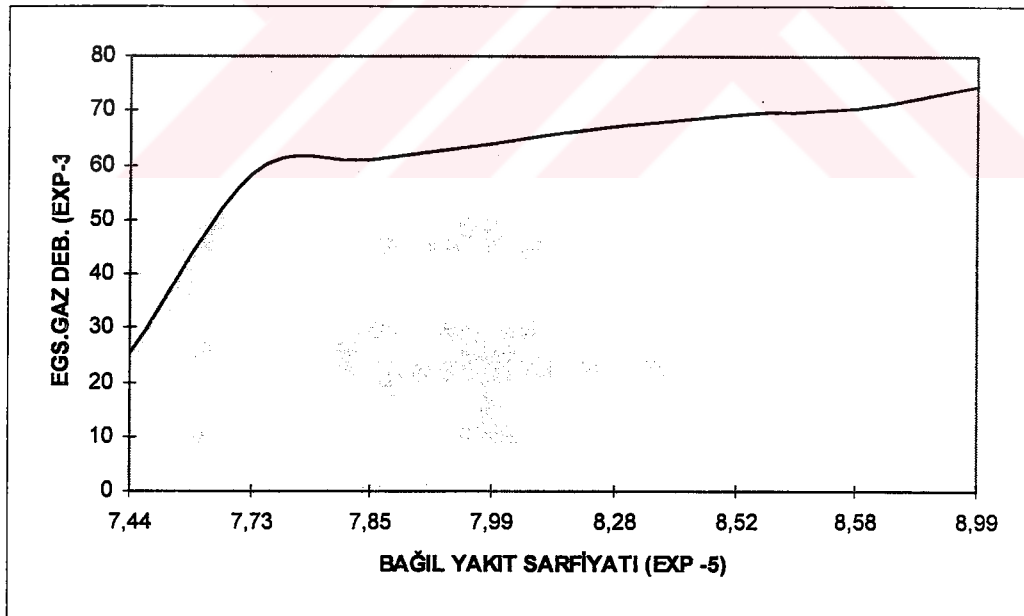
ŞEKİL 3. 20 Yakıt debisi (kg/s) - Bağıl yakıt sarfiyatı (kg/kWs) grafiği



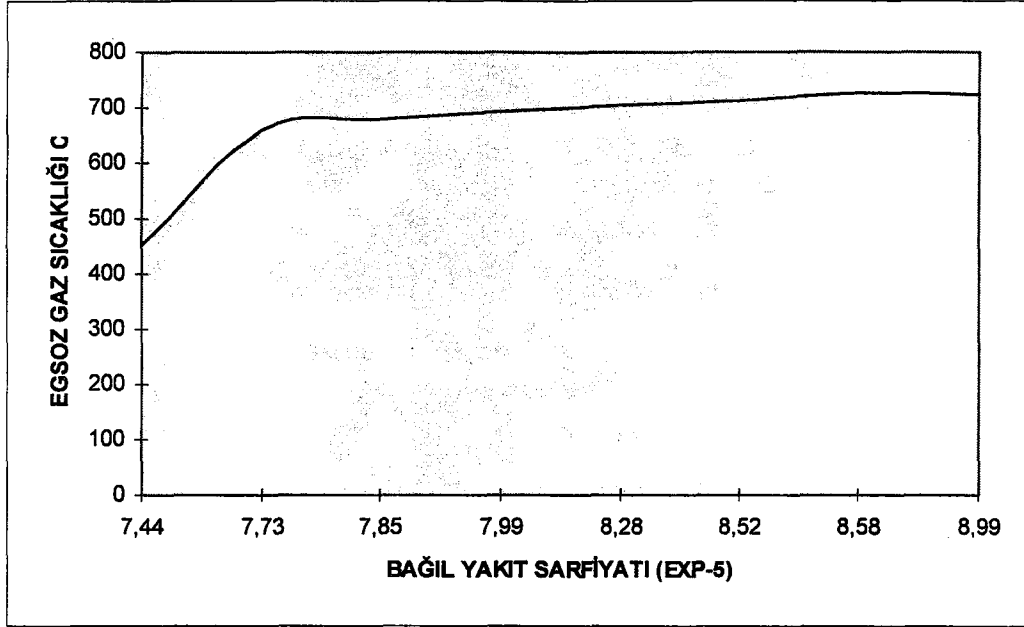
ŞEKİL 3. 21 Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi- Konum grafiği



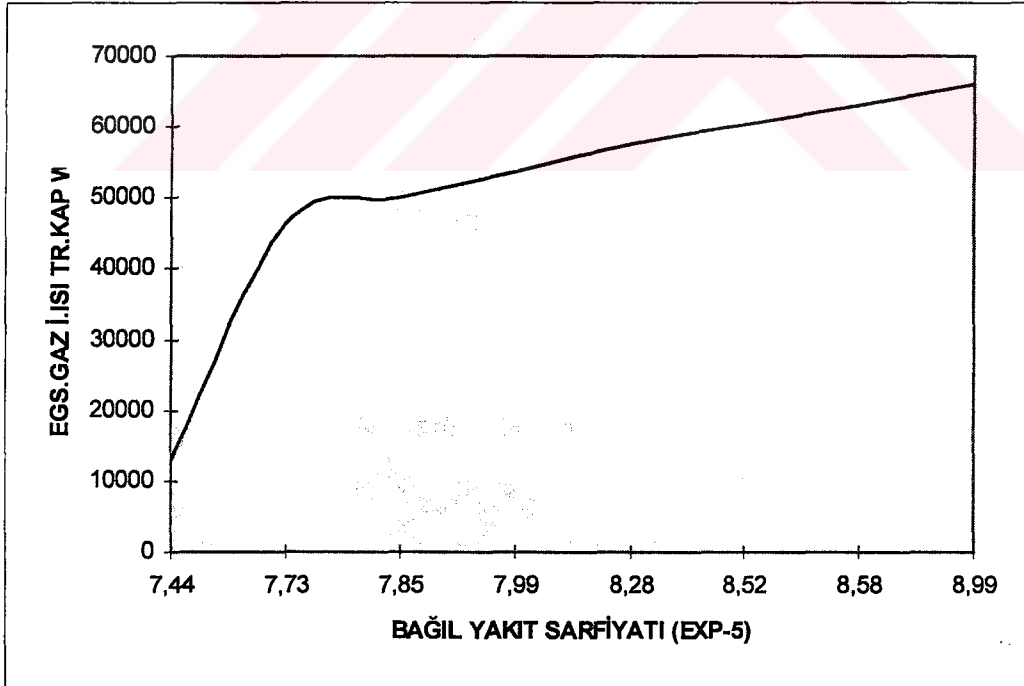
ŞEKİL 3. 22 Hava debisi (kg/s) - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği



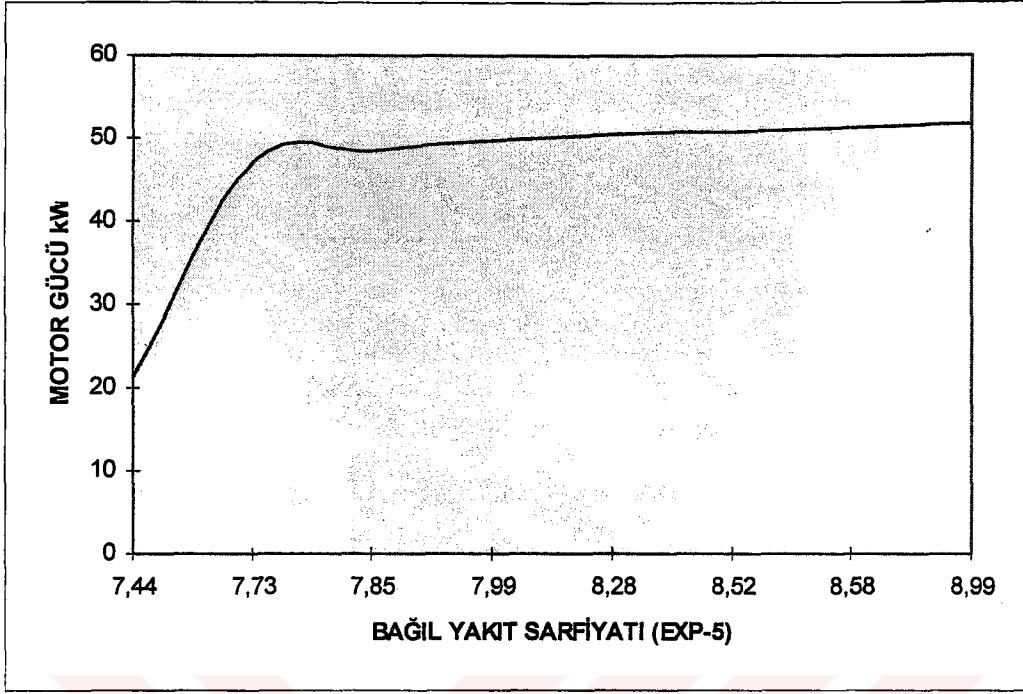
ŞEKİL 3. 23 Egsoz gazı debisi (kg/s) - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği



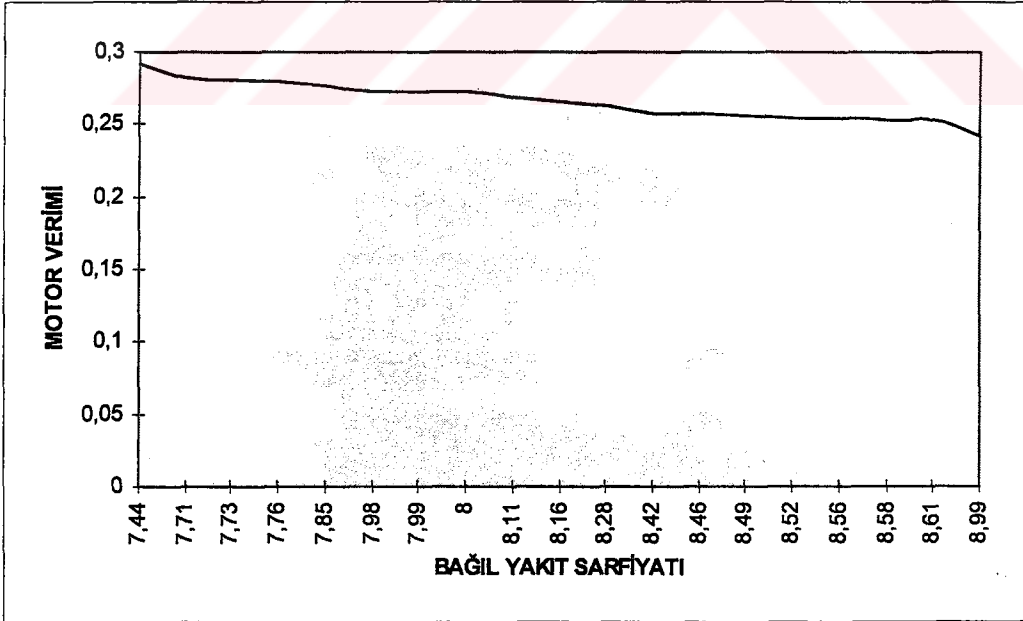
ŞEKİL 3. 24 Egsoz gazı sıcaklığı (C) - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği



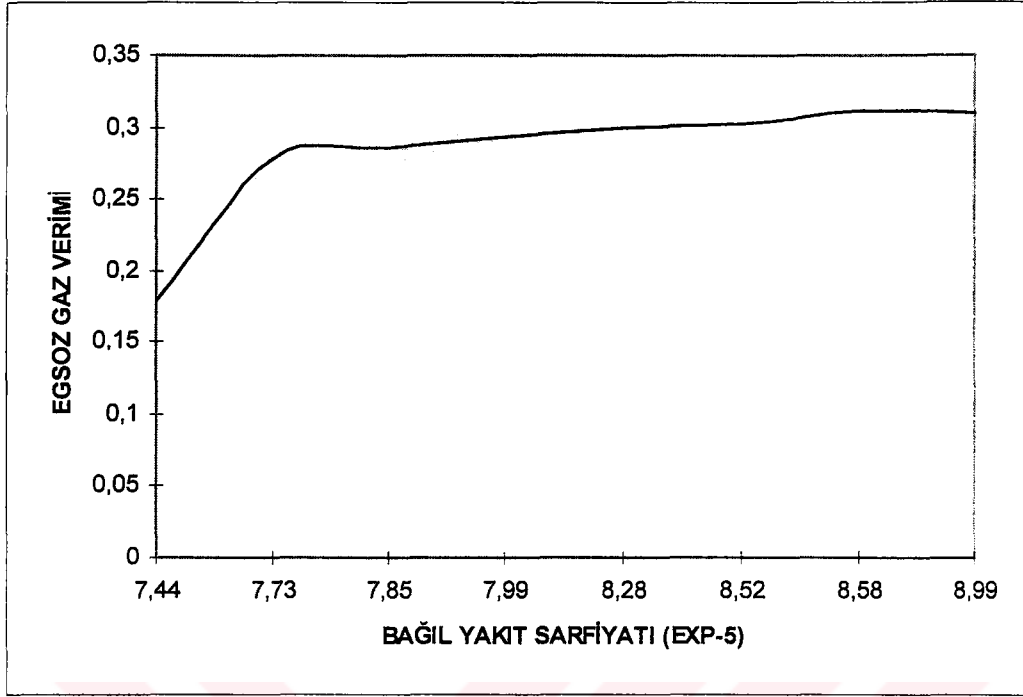
ŞEKİL 3. 25 Egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi - Bağıl yakıt sarfıyatı grafiği



ŞEKİL 3. 26 Motor gücü (kW) - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği



ŞEKİL 3. 27 Motor verimi - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği



ŞEKİL 3. 28 Egsoz gazı verimi - Bağıl yakıt sarfıyatı (kg/kWs) grafiği

Şekil 3. 2, Şekil 3. 3, Şekil 3. 4, Şekil 3. 5 ve Şekil 3. 6'da egsoz gazının termo-fiziksel özelliklerinin konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Ek A'da hesaplanan termo-fiziksel özelliklerde, egsoz gazındaki sıcaklık değişimine göre her konum değeri için ayrı değerler bulunmuştur. Tablo F. 5 deki atmosfer basıncındaki gazların termo-fiziksel özellikleri incelendiğinde, sıcaklık değişimlerine paralel olarak özgül hacim, dinamik viskozite, ısıl iletkenlik ve kinematik viskozite değerlerinde artış, yalnızca yoğunluk değerinde düşüş görülür. Dolayısıyla söz konusu grafiklerde bu değerlerle paralellik gösterir.

Şekil 3. 7'de kaynatıcı kapasitesinin konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Konum değerleri ve egsoz gazı sıcaklığının orantılı olduğu düşünülürse, kaynatıcı kapasitesinin artışı da egsoz gazı sıcaklığının ve egsoz gazı debisinin artışı ile paralel olmuştur.

Şekil 3. 8, Şekil 3. 9 ve Şekil 3. 10'da sırasıyla yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorber kapasitelerinin konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere tüm kapasite değerlerinin konum değerleri değişimi ile paralel olduğu görülür. Denklem 2. 19 daki Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi enerji dengesi ve Denklem 2. 13 hatırlandığında, sistemin özelliğinden dolayı kaynatıcı kapasitesinin artışı, absorber, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasitelerinin artmasına sebep olduğu görülür. Bunun sebebidir egsoz gazı sıcaklığının artmasıdır.

Şekil 3. 11'de sistemin soğutma tesir katsısının konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Grafikten görüldüğü üzere sistemin soğutma tesir katsayısı, egsoz gazı sıcaklığının artmasına rağmen, sistemdeki enerji dengesinden dolayı sabit kalmıştır. Soğutma tesir katsayısı bilindiği üzere buharlaştırıcı ve kaynatıcı kapasitelerinin oranıdır. Her iki kapasite değerinde egsoz gazı sıcaklığı değerindeki değişimle benzer oranda değiştiğinden COP değeri sabit kalmaktadır.

Şekil 3. 12, Şekil 3. 13 ve Şekil 3. 14'de soğutucu akışkan ve eriyik debilerinin konum değerlerine göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere tüm debi değerleri, konum değerlerindeki değişim ile paralellik göstermiştir. Bunun nedeni ise sistem kapasite değerlerinin egsoz gazı sıcaklığına paralel olarak artışı ve ısı transferinin akışkan debisi ile doğru orantılı olmasıdır.

Şekil 3. 15'de kaynatıcı kapasitesinin, egsoz gazı sıcaklığına göre değişimi incelenmiştir. Şekil 3. 15 ve Şekil 3. 7 karşılaştırıldığında, grafikler arasında bir benzerlikten söz edilebilir. Bunun nedeni, konum değerlerindeki belirleyici faktörün egsoz gazı sıcaklığı olmasıdır. Ayrıca ısı transferinin sıcaklıkla doğru orantılı olduğu unutulmamalıdır.

Şekil 3. 16, Şekil 3.17, Şekil 3. 18 ve Şekil 3. 19'da sistem kapasite değerlerinin soğutucu akışkan debisine göre değişimi incelenmiştir. Kaynatıcı, absorber, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasiteleri, soğutucu akışkan debisinin artmasına paralel olarak artmıştır.

Kapasite değrlerinin artması ısı transferinin artmasına sebep olmaktadır. Isı transferini artması ise sistemin daha çok soğutucu akışkan debisine ihtiyaç duyması demektir.

Şekil 3. 20, Şekil 3. 22 ve Şekil 3. 23'de yakıt, hava ve egsoz gazı debilerinin, bağıl yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Bağıl yakıt sarfiyatı, yakıt debisinin motor gücüne oranıdır. Motor gücü ise motor devri ve tork değerlerine bağlıdır. Tablo 3. 1 Tofaş AŞ tarafından Uno S modeli için yapılan motor ömür deneyindeki devir ve tork değerlerinden birinin sabit olmaması, bağıl yakıt sarfiyatının farklı konum değerleri için sıralanmasına sebep olmuştur. Söz konusu grafiklerde araçdaki farklı devir ve tork değerleri için kullanılacak olan yakıt, hava ve egsoz gazı debileri, bağıl yakıt sarfiyatına göre bulunabilir.

Şekil 3. 24 ve Şekil 3. 25'de egsoz gazı sıcaklığının ve egsoz gazı ısı ideal ısı transfer kapasitesinin, bağıl yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, bağıl yakıt sarfiyatı değeri hesaplanan, devri, torku, motor gücü hatta tipi farklı araçlarda absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışması için gerekli olan egsoz gazı sıcaklığı ve egsoz gazı ideal ısı transfer kapasitesi değerleri, söz konusu grafikler yardımı ile belirlenebilir.

Şekil 3. 26 da motor gücünün, bağıl yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. Tablo B. 1 de görüleceği üzere, yakıt debisinin artışıyla motor gücü artmış fakat bağıl yakıt sarfiyatı değişimler göstermiştir. Şekil 3. 26, farklı bağıl yakıt debisi değerlerindeki motor gücü değeri konusunda fikir vermektedir.

Şekil 3. 27 ve Şekil 3. 28 de motor ve egsoz gazı veriminin, bağıl yakıt sarfiyatına göre değişimi incelenmiştir. 1. Bölüm'deki giriş kısmında, içten yanmalı motorlarda motor veriminin %30 ila %35 arasında olduğu ve motor tarafından üretilen enerjinin büyük bir kısmının %30 - %32 egsoz gazı tarafından dışarıya atıldığından bahsetmiştik. Söz konusu grafiklerden görüldüğü üzere Uno - S motoru için bu değerler ispatlanmıştır. Ayrıca motor tarafından üretilen enerjinin büyük bir kısmının egsoz gazı ve motor soğutma suyu tarafından kullanıldığı ve bu enerjinin başka şekillerde kullanılabilecek düzeylerde olduğu şüpesizdir.

Ayrıca egsoz gazı kaynaticıdan geçerken kanatçıklara çarpacak ve bu suretle basıncı düşecektir. Mevcut egsoz gazı basıncı , egsoz gazı basınç düşümü hesapları ve oluşturulan grafikler **Ek. C'**de sunulmuştur.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Araştırmada, mevcut otomobil klima sistemlerine alternatif olan, Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi yerine araç egsoz gazı sıcaklığı kullanarak çalışan Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi ve bu sistemin kapasitesi ile performansı incelenmiştir.

Araştırmada, 1400 cc. motor hacimli Tofaş-Fiat Uno-SX modeli üzerinde çalışılmıştır. Deneysel veri olarak Tofaş AŞ. tarafından düzenlenen motor ömür deneyi esas alınmıştır.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde Lityumbromür - Su soğurucu/soğutucu akışkan çifti kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda zengin eriyik konsantrasyonu %64,5 fakir eriyik konsantrasyonu %48,75 bulunmuştur.

Teorik Hesaplama Sonuçları göstermiştir ki;

1. Egsoz gazı sıcaklığı arttıkça, sistemin soğutma kapasitesi de artmaktadır.
2. Soğutucu akışkan debisi arttıkça, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu kapasiteleri artmaktadır.
3. Düşük egsoz 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. Egsoz gazı sıcaklığı yükselmesiyle Reynolds sayısının artmasından dolayı kaynaticıda oluşan basınç düşümü de artmaktadır. Fakat bu artış sistemi etkilememiştir. Bakınız Ek C.

Mevcut otomobil klima sistemlerinde kompresörler işlevlerini direk motordan aldığından motor performansını ve yakıt sarfiyatını negatif yönde etkilemektedirler. Araştırma sonuçları göstermiştir ki, uygun kaynatıcı dizaynı sayesinde bu negatif etkilerden kurtulmak mümkündür.

Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin performansı incelendiğinde, yapılan hesaplamalar göstermiştir ki; egsoz gazından çekilen ısı miktarı arttıkça, kaynatıcıda soğutucu akışkana ısı transferi de artar. Dolayısıyla, soğutucu akışkan debisi artar ve bu da sistemin soğutma kapasitesini artırır. Eğer düşük basınç düşümlü aynı zamanda yüksek ısı transfer etkili kaynatıcı dizayn edilebilirse, düşük hız ve motor devirlerinde bile yeterli soğutma kapasitesine ulaşılabilir. Ek B ve Ek D deki hesaplamalar doğrultusunda, araştırmadaki kaynatıcı ve absorber dizaynları mevcut sistemlerin soğutma kapasitesini karşılamaktadır.

Sekil 3. 9'da 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 öyle ki; Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi kullanıldığında kompresör yerine iki tane ısı değiştiricisi eklendiğinde - absorber ve kaynatıcı- bile ilk yatırım maliyeti 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 düşürecektir.

Kare veya dairesel kanatçıklı kaynatıcı dizaynı ile egsoz gazının basınç düşümü azaltıldığında motordaki atık ısıdan daha fazla verim alınacaktır. Kaynatıcı dizaynında

galvaniz yada paslanmaz elik malzemeler kullanıldığında egsoz gazının korozif etkisi azaltılabilir fakat bu şekilde maliyette artacaktır.

Mevcut klima sisteminden kompresörü kaldırmakla motor grubunda boş yer doğacaktır. Fakat kaynatıcının egsoz manifoldu çıkışına yerleştirilmesinde egsoz gazı basınç düşümü ile ilgili problemler yaşanabilir. Ek C’de egsoz gazı basınç değeri ve kaynatıcıda oluşan egsoz gazı basınç düşümü değeri görülebilir. Ek C’de, dizayn edilen kaynatıcının egsoz gazı basınç değerine olumsuz bir etkisi olmadığı görülüyor.

Absorber ise yoğuşturucu ile birlikte araç radyatörünün arkasına yerleştirilerek araç relantide iken fan gücünün arttırılmasıyla tam kapasite olarak çalışması sağlanabilir.



5. SONUÇ

Teorik hesaplama sonuçları göstermiştir ki; egsoz gazındaki atık ısıyı kullanılarak Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi sayesinde araç mahallinin iklimlendirilmesi mümkündür. Ayrıca araştırma şu kıstaslar dikkate alınarak geliştirilebilir.

1. Egsoz sisteminde aşırı basınç düşümü yaratmayacak ve egsoz gazı sıcaklığını çekebilecek kaynatıcı ve absorber dizaynı.
2. Egsoz gazının, kaynatıcı malzemesi üzerindeki korozif etkisi.
3. Motor performansını etkileyecek geri basıncın artması.
4. Ortam sıcaklıklarındaki değişikliklerin sistem performansına etkileri.
5. Araç park veya düşük hızlarda seyir halinde iken sistemi destekleyecek alternatif bir ısı enerjisi.
6. Sistemin araçta yerleştirileceği konum.
7. Aracın hızındaki değişikliklerden dolayı soğutma kapasitesi değerindeki dalgalanma.

Ayrıca araştırma sonucunda kesinlikle söyleyebilir ki; Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminde, mevcut klima sistemine kıyasla enerji ve yakıt tasarrufu sağlanır. Araştırmanın pratik boyutlarda incelenmesi sistemin uygulanabilirliğini destekleyecektir.

KAYNAKLAR

- AKERMAN J.R. January 1971. Automobile Air Conditioning System With Absorption Refrigeration. Automobile Engineering Congress. Society Of Automotive Engineers. Detroit. USA. 18 - 25 s.
- ANON. 1994 ASHREE Equipment Handbook. Automobile Air Conditioning. USA. Bölüm 26.
- ANON. 1983. Heat Exchanger Desing Handbook. Hemispere Publishing Co.
- ÇENGEL Y.A. & BOLES M.A. 1989. Thermodynamics An Engineering Approach. McGraw-Hill. USA - Nevada. 866 S.
- GHASSEMİ B. 1987. Teoratical Study Of Absorption Refrigeration For Vehicle Application. XVII th. İnternational Congress of Refrigeration. Paris. Vol D. 258 - 261 s.
- HORUZ İ. 1994. An Experimental Study Of The Use Of Vapour Absorption Refrigeration In Road Transport Vehicles. University Of Strathclyde. 1 - 407 S.
- INCROPERA F. P. & DE WITT D.P. 1990. Fundamentals Of Heat And Mass Transfer. John Wiley & Sons. USA. Purdue University. 250-520 s.
- KEATING C.L. January 1954. Absorption Refrigeration System For Mobile Applications. U.S. Patent No : 2.667.040. 1 - 25 s.
- MARSH K. 1994. Automotive Enginnering. Sae International USA. 45 - 53 s.
- McNAMARA T.J. May 1972. Absorption Refrigeration and Air Conditioning System. U.S. Patent No : 3.661.200. 1 - 37 s.

- McNEELY L. A. 1977. Thermodynamic Properties Of Aqueous Solutions Of Lithium Bromide. Ashree. USA. 1 - 20 s.
- ÖZTÜRK A. ve KILIÇ A. 1993. Termodinamik Tablolar ve Diyagramlar. Çağlayan Kitapevi. İstanbul. 94 s.
- SAUNDERS E. A. D. 1983. Heat Exchangers; Selection, Desing and Construction. Longman Group. U.K. 423 s.
- TOFAŞ AŞ. 1996. Aksesuar Techizat. Bursa. 50. Kısım. Klima.
- TOFAŞ AŞ. 1997. Arge Bölümü Motor Ömür Deneyi.



TEŞEKKÜR

- Yrd. Doç. Dr. İLHAMİ HORUZ ve Doç. Dr. MUHSİN KILIÇ, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi, danışmanlığımı yaptıkları çalışmam süresince gösterdikleri ilgi, alaka, sabır ve teknik destekten dolayı,
- Prof. Dr. RECEP YAMANKARADENİZ, Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı, çalışmam esnasında verdiği teknik ve pratik fikirler nedeniyle,
- Makina Yüksek Mühendisi MURAT AYHANER, TOFAŞ AŞ. Arge Bölümü, araştırmamın temelini teşkil eden teknik verileri sağladığından,
- UFUK KARLI, İHLAS BİLGİ İŞLEM Müdürü, çalışmamın şekillendirilmesinde sağladığı bilgisayar desteğinden dolayı,
- Aileme ve Dostlarıma verdikleri moralden dolayı,

TEŞEKKÜR EDERİM.

EK A

EGSOZ GAZININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ HESAPLANMASI

Egsoz gazının termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında, araçta kullanılan normal benzinin kimyasal özelliklerinden ve yanma denkleminde faydalanacağız.

Günümüzde araç yakıtı olarak kullanılan normal 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. Normal benzin içeriğinde;

$$\frac{0,8491}{12} C + \frac{0,1503}{1,008 \times 2} H_2 + \frac{0,006}{32,064} S \quad (A.1)$$

$$0,0070758 C + 0,0745536 H_2 + 0,000018712 S \quad (A.2)$$

bulunur.

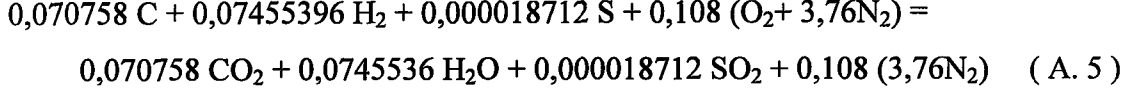
Denklem (A. 2)'ye yanma denklemi uygulanırsa;

$$0,07058 C + 0,0745536 H_2 + 0,000018712 S + X (O_2 + 3,76 N_2) = \\ 0,070758 CO_2 + 0,0745536 H_2O + 0,000018712 SO_2 + X (3,76 N_2) \quad (A.3)$$

Denklem (A. 3)'de Oksijen (O_2) dengesi, X değerini bulmamızı sağlar.

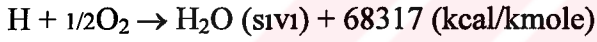
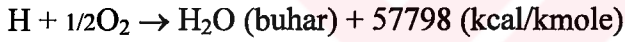
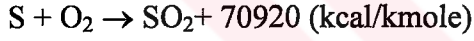
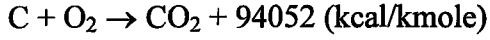
$$X = 0,070758 + (0,0745536 / 2) + 0,000018712 = 0,108 \quad (A.4)$$

Sonuçta Denklem (A. 3) şu hali alır;

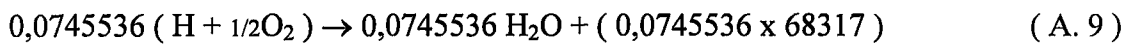
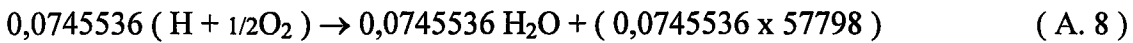
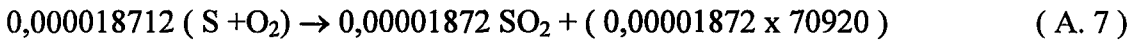
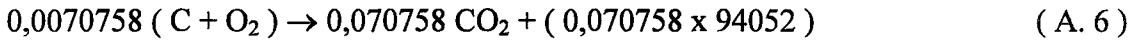


Havanın mol ağırlığı $M_{\text{air}} = 28,96 \text{ Kg/Kmole}$ olmak üzere, Denklem (A. 5) deki havanın ağırlığı $m_{\text{air}} = 0,108 (1 + 3,76) \times 28,96 = 14,888 \text{ kg.}$ dır. Bu demektir ki 1 kg. Normal benzinin yanması için gerekli hava 14,888 kg. dır. Başka bir değişle stoichiometrik hava/yakıt oranı 14,888 dir.

Yanma denkleminin kalorifik değerleri şu şekilde hesaplanabilir;



Bu değerler ışığında Denklem (A. 5) den yararlanarak kalorifik değerler hesaplanabilir.



Denklem (A. 6), (A. 7), (A. 8) ve (A. 9) kullanılarak toplam kalorifik değer ve net kalorifik değer hesaplanır.

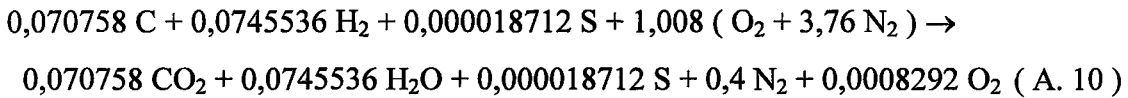
TOPLAM KALAORİFİK DEĞER ;

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

NET KALORİFİK DEĞER ;

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

Araştırmamızda, egsoz gazı debisini hesaplarken oluşturduğumuz tablolarda, Hava/Yakıt oranını 15 almıştık. Fakat stoichiometric Hava/Yakıt oranı 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 denklem (A.5) şu hali alır.



Bu özelliklere dayanarak ve Konum 7'deki egsoz gazı değerleriyle yani; $T = 475,6 \text{ C}^\circ$ ve **Ek G**'deki tablo bilgileriyle yapılan hesaplamalarla egsoz gazının Termodinamik özellikleri hesaplanabilir.

EGSOZ GAZININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ ;

	M	N	M*N	ρ	M*N* ρ	$\mu*10^{-8}$	M*N* μ
CO ₂	44,0098	0,070758	3,11404	0,7057	2,197578	32,1	9,9960*10 ⁻⁵
H ₂ O	18,152	0,0745536	1,3431	0,2931	0,393663	26,04	3,49743*10 ⁻⁵
N ₂	28,0134	0,4	11,2136	0,45115	5,0590156	33,5	3,75655*10 ⁻⁴
O ₂	31,9988	0,0008292	0,026533	0,5154	0,0136751	39,8	1,05601*10 ⁻⁶
TOPLAM			15,697273		7,6639317		5,11646*10 ⁻⁴

	C _p	M*N*C _p	k*10 ⁻³	M*N*k	$\nu*10^{-6}$	M*N* ν
CO ₂	1,15	3,581146	51,7	0,160996	45,5	141,688*10 ⁻⁶
H ₂ O	2,119	2,84603	54,9	0,07374	88,84	119,321*10 ⁻⁶
N ₂	1,11	12,4771	52,35	0,587032	74,805	838,833*10 ⁻⁶
O ₂	1,0425	0,0276606	55,85	0,0014819	77,79	2,064*10 ⁻⁶
TOPLAM		18,90193		0,82325		1,101907*10 ⁻³

Bu değerlerden yararlanarak Konum 7 için;

$$c_p = \frac{\sum M_i \times N_i \times c_{pi}}{\sum M_i \times N_i} = \frac{18,90193}{15,697273} \Rightarrow c_p = 1,2041 \text{ kJ/kgK.}$$

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

$$\mu = \frac{\sum M_i \times N_i \times \mu_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{5,11646*10^{-4}}{15,697273} \Rightarrow \mu = 3,25946*10^{-5} \text{ Ns/m}^2.$$

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

$$v = \frac{\sum M_i \times N_i \times v_i}{\sum M_i \times N_i} = \frac{1,101907 \cdot 10^{-3}}{15,697273} \Rightarrow v = 70,197 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}.$$

bulunur.

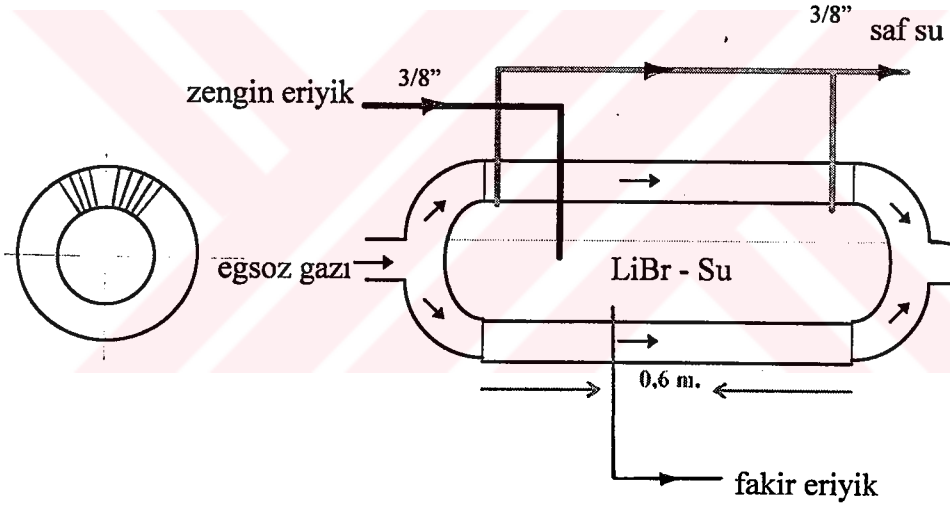


E K B

KAYNATICI DİZAYNI VE HESAPLARI

ISI EŞANJÖRÜ HESAPLARI;

Pek çok kaynatıcı dizaynı denemesinden sonra çalışmamıza ve hesaplamalarımıza en uygun kapasiteyi sağlayan, araca monte edilebilir boyutlarda oluşturulan kaynatıcı aşağıdaki şekilde ölçülendirilmiştir. Kaynatıcı ısı transfer kapasitesini artırabilmek için kanatçık kullanılmıştır. Aracın egsoz manifold çıkışı 1 1/2" olmak üzere;



$\varnothing_{dış} = 4''$

$\varnothing_{iç} = 2 \frac{1}{2}''$

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 $l_f = 0,018 \text{ m.}$ olmak üzere,

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

$$\text{Dış } A_e = \Pi (D_o)^2 / 4 - \Pi (D_i)^2 / 4 \Rightarrow A_e = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\text{Akış alanı veya Kesit alanı } A_x = A_e - \{(\Pi (d_r)^2 / 4) + N \cdot t_f \cdot l_f\} \Rightarrow A_x = 0,003323 \text{ m}^2$$

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

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

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

$$\text{Hidrolik çap } d_e = 4A_x / P_w \Rightarrow d_e = 0,00648 \text{ m}$$

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

Eğer $2000 \leq Re \leq 10000$ ise, ESDU 1967 ve 1968 göre radyal kanatçıklı borularda ısı taşınım katsayısı h_o denklemi;

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

$$\text{Prantl sayısı } Pr = c_p \cdot \mu / k \Rightarrow Pr = 0,748$$

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

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

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

$$m = ((2 \cdot h_o)/(k_{\text{çelik}} \cdot t_f))^{1/2} \Rightarrow m = 30,67$$

$$\eta_f = \frac{\tanh(ml_f)}{ml_f} \Rightarrow \eta_f = 0,91$$

$$\text{Kanatçık Toplam Alanı } A_f = (2 \cdot N \cdot l_f) L_t \Rightarrow A_f = 0,972 \text{ m}^2.$$

$$\eta_o = 1 - (A_f/A_t)(1 - \eta_f) \Rightarrow \eta_o = 0,9167$$

$$\text{Gerçek Isı Taşınım Katsayısı } h_o' = \eta_o \cdot h_o \Rightarrow h_o' = 42,17 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

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

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

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{\text{exh},i} - T_{\text{exh},o})}{\ln \frac{(T_{\text{exh},i} - T_{\text{kay}})}{(T_{\text{exh},o} - T_{\text{kay}})}} \Rightarrow T_{\text{exh},o} = 537,8^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = T_{\text{exh},o} - T_{\text{exh},i} \Rightarrow \Delta T = 210,7^\circ\text{K} \text{ bulunur.}$$

$$Q_{\text{kay}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \Rightarrow Q_{\text{kay}} = 11447 \text{ W. bulunur. (Konum 7 için)}$$

Egsoz gazı ısı transfer kapasitesi ;

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

$$Q_{exh,ideal} = m_{exh} \cdot c_{p,exh} \cdot (T_{exh,i} - T_{\infty})$$

formülünden egsoz gazının ideal ısı transfer kapasitesi bulunur. Konum 7 değerleri için $T_{\infty} = 300 \text{ K}$ alındığında $Q_{exh,ideal}$

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

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

Diğer konum değerleri içinde aynı hesaplamalar yapılmış ve Tablo 3. 4’de sunulmuştur.

Motor gücü, bağıl yakıt sarfiyatı, motor ve egsoz verimi

Farklı devirlerdeki motor gücü, P_{motor} ; motor gücü olmak üzere,

$$P_{motor} = (2 \times \Pi \times \text{devir sayısı} \times \text{tork}) / 60 \text{ formülü ile bulunur.}$$

Araç motoruna giren enerji, E_{giren} ; motora giren enerji olmak üzere

$E_{giren} = m_{fuel} \times CV$ CV; net kalorifik değer, $CV = 45900 \text{ kJ/kg}$ olarak Ek A’ da hesaplanmıştır.

$$\text{Bağıl yakıt sarfiyatı } m_{sp,fuel} = m_{fuel} / P_{motor}$$

$$\text{Motor verimi } \eta_{motor} = P_{motor} / E_{giren}$$

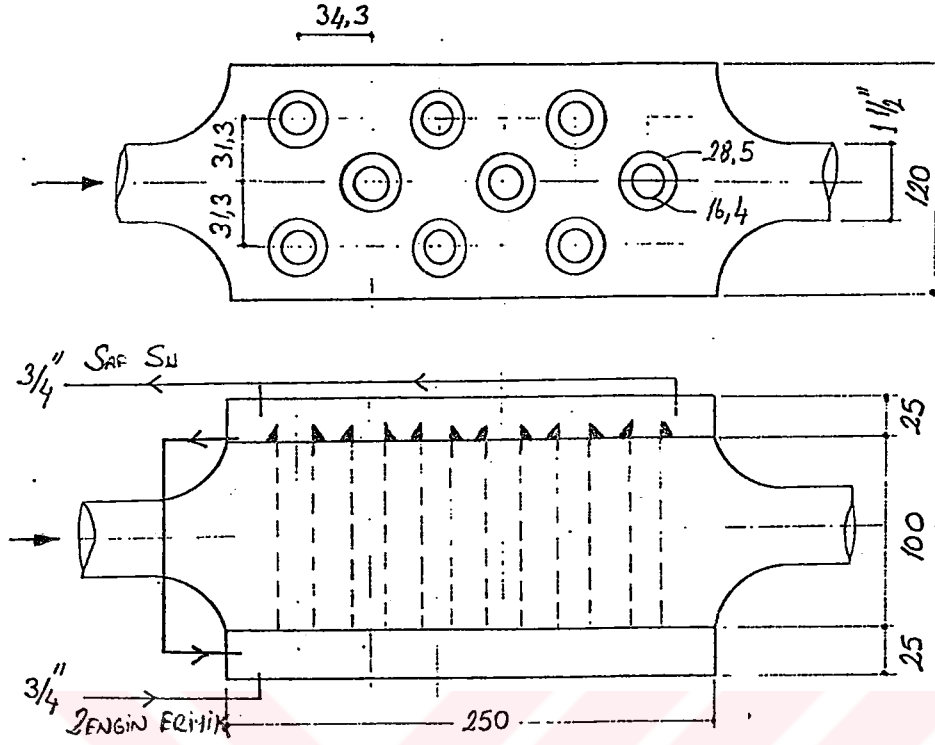
$$\text{Egsoz verimi } \eta_{egsoz} = Q_{exh,ideal} / E_{giren} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Yukarıdaki formüller ve Tablo 3. 1 ve Tablo 3. 2’ deki değerler yardımıyla farklı devir ve tork değerlerinde hesaplanan motor gücü, motora giren enerji, bağıl yakıt sarfiyatı ve verim değerleri Tablo B, 1’ de sunulmuştur. Ayrıca bu değerlere göre oluşturulan grafikler Bölüm 3’ de görülebilir.

TABLO B. 1 Motor gücü, verimi ve bağıl yakıt sarfiyatı değerleri

m_{fuel}	Devir	Tork	P_{motor}	E_{giren}	$m_{sp,fuel}$	η_{motor}	η_{egsoz}
kg/s (exp -3)	1/dak	N/m	kW	kW	kg/kWs (exp -5)		
1,24	1523	90,3	14,402	56,916	8,61	0,253	0,132
1,44	1775	97,1	18,049	66,096	7,98	0,273	0,16
1,58	2027	100	21,227	72,522	7,44	0,292	0,178
1,87	2277	101	24,083	85,833	7,76	0,28	0,182
2,23	2528	100	26,473	102,36	8,42	0,258	0,183
2,5	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	36,12	134,49	8,11	0,268	0,198
3,14	3537	106	39,225	144,13	8	0,272	0,226
3,3	3787	108	42,79	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	0,3
4,33	5556	87,3	50,793	198,75	8,52	0,255	0,303
4,4	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	0,31

ALTERNATİF KAYNATICI DİZAYNI



Boru dış çapı, $D_o = 16,4 \text{ mm}$

Kanat kalınlığı, $t_f = 0,254 \text{ mm}$

Boru yüksekliği $L = 100 \text{ mm}$

Konum 7 egsoz gazı değerleri ;

$$T_{kay} = 368^\circ\text{K}$$

$$T_{exh,i} = 748,6^\circ\text{K}$$

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

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

$$\rho = 0,48823 \text{ kg/m}^3.$$

$$\mu = 3,25946 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/ m}^2.$$

$$k = 52,4454 \cdot 10^{-3} \text{ W/ m}^2\text{K.}$$

$$\nu = 70,197 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s. olarak hesaplanmıştı.}$$

Alternatif kaynatici dizaynında kullanılan kanatlı borulu tipi Şekil B. 1'de görülebilir. Kaynatici dizaynında 6 sıralı ve dairesel boru - dairesel kanatlı tip eşanjör kullanılacaktır. Dolayısıyla $N_{boru} = 9$ olacaktır.

Kanat adımı = 275/m Kanat sayısı $N_f = 275/m \times 0,1m \Rightarrow N_f \cong 25$ alınacaktır.

Toplam alan; A_{tot} , Kanat yüzey alanı; A_{fin} , Boru yüzey alanı; A_o olmak üzere

$$A_o = N_{boru} \Pi D_o (L - N_f t_f) \Rightarrow A_o = 0,0434 \text{ m}^2$$

$$A_f = [0,12 \times 0,24 - ((\Pi D_o^2/4) \times 9)] N_f \cdot 2 \Rightarrow A_f = 1,345 \text{ m}^2$$

$$A_{tot} = A_o + A_f \Rightarrow A_{tot} = 1,388 \text{ m}^2$$

$$\text{Ön yüzey alanı; } A_c = 0,1m \times 0,12m \Rightarrow A_c = 0,012 \text{ m}^2$$

$$\text{Islak çevre } P = (2 \times 0,1) + (2 \times 0,12) \Rightarrow P = 0,44 \text{ m}$$

$$\text{Reynold sayısı } Re = (4 \times m_{exh}) / (P \times \mu_{exh}) \Rightarrow Re = 12227 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Şekil F. 1 den; } j_H = 0,0059 \text{ ve } f = 0,024 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Kanat uzunluğu } l_f = (28,5 - 16,4) / 2 = 6,05 \text{ mm Şekil F. 1 den bulunur.}$$

$$\text{Serbest akış alanı; } A_{ff} = A_c - [(N_f \cdot t_f \cdot l_f) 4 + (D_o \cdot L \cdot 2)] \Rightarrow A_{ff} = 0,00856 \text{ m}^2$$

$$\text{Kütle hızı } G = m_{exh} / A_{ff} \Rightarrow G = 5,12 \text{ kg/ms}^2 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Coulborn faktörü } j_H = St \cdot Pr^{2/3} \text{ ve Stanton sayısı } St = h / (G \cdot c_p) \text{ ve Prandtl}$$

$$\text{sayısı } Pr = c_p \cdot \mu / k \Rightarrow Pr = 0,748 \text{ olmak üzere,}$$

$$\text{Isı taşınım katsayısı } h = j_H \cdot G \cdot c_p / Pr^{2/3} \Rightarrow h = 44,128 \text{ W/ m}^2\text{K} \text{ bulunur.}$$

Daha önce sunulan kaynatıcı dizaynı hesaplamalarını hatırlarsak;

$$Q_{kay} = m_{exh} \cdot c_{p \text{ exh}} (T_{exh,i} - T_{exh,o}) = h \cdot A_{tot} \cdot LMTD$$

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

$$T_{exh,o} = 487,3^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 261,3^\circ\text{K}$$

$$Q_{kay} = 13795 \text{ W}$$

Bulunan değerler daha önce yapılan kaynatıcı dizaynı hesaplama sonuçları ile karşılaştırıldığında, alternatif dizaynın kapasitesinde sisteme uyduğu görülür. Ayrıca daha kapsamlı bir kıyaslama için alternatif kaynatıcı dizaynın basınç düşümü değerleride incelenecektir.

Alternatif kaynatıcı basınç düşüm değeri;

$$\Delta P = \frac{G^2 \cdot v_i}{2} \left[(1 + \sigma^2) \left(\frac{v_o}{v_i} - 1 \right) + f \frac{A_{tot}}{A_{ff}} \frac{v_m}{v_i} \right] \text{ formülünden}$$

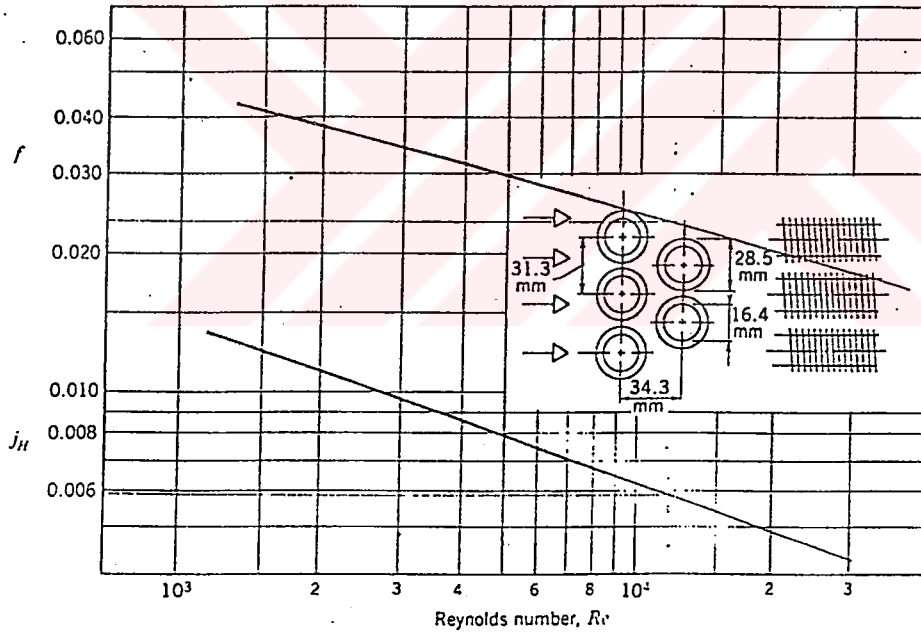
$v = 1/\rho$, i; giriş $\cong 750^\circ\text{K}$, o; çıkış $\cong 360^\circ\text{K}$, m; ortalama $\cong 550^\circ\text{K}$, olmak üzere

$v_o = 1,254 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_i = 2,0482 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_m = 1,547 \text{ m}^3/\text{kg}$ bulunur

Şekil B.1 den $\sigma = 0,449$ ve $f = 0,024$ olduğu görülür.

Dolayısıyla $\Delta P \cong 80 \text{ Pa}$ bulunur.

Ek C'deki Konum 7 basınç düşümü değerleri ile karşılaştırıldığında bu değer hayli küçük kalmaktadır. Sonuçta alternatif kaynatıcı hem ısı transfer kapasitesi hem de basınç düşümü değerleri göz önüne alındığında daha önce dizayn edilen kaynatıcıdan daha iyi bir kullanılabilirlik düzeyine sahip olduğu söylenebilir.



Boru dış çapı; $D_o = 16,4 \text{ mm}$

Kanat adımı = 275/m

Hidrolik çap; $D_h = 6,68 \text{ mm}$

Kanat kalınlığı = 0,254 mm

Akış alanı/çephe alanı = $\sigma = 0,449$

ŞEKİL B. 1 Dairesel boru - dairesel kanatlı tip ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü

(Kaynak : Incorpera F.P. De Witt D.P. - Fundamentals Of Heat And Mass Transfer)

E K C

KAYNATICI BASINÇ DÜŞÜMÜ

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

$$P_{exh} = R_{exh} \cdot T_{exh} \cdot \rho_{exh} \quad (C.1)$$

R_{exh} : Gaz sabiti (egsoz gazı).

T_{exh} : Egsoz gazı sıcaklığı. (K)

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

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

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

M_{exh} : Egsoz gazı molar ağırlığı ise;

$M_{exh} = \sum M_i \times N_i = 15,697273 \text{ kg/kmol.}$ olarak Ek A'da hesaplanmıştı.

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

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

İdeal gaz denkleminde, her bir konumdaki sıcaklık ve yoğunluk değerleri vasıtasıyla (Tablo 3. 2 ve Tablo 3. 3) egsoz gazı basınç değerleri hesaplanmış ve Tablo C. 1 de sunulmuştur.

Radyal kanatçıklı borularda basınç düşümü denklemi;

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

$$f = 0,00674 + 8,164 / Re^{0,93} \text{ olarak tanımlanmıştır.} \quad (C.3)$$

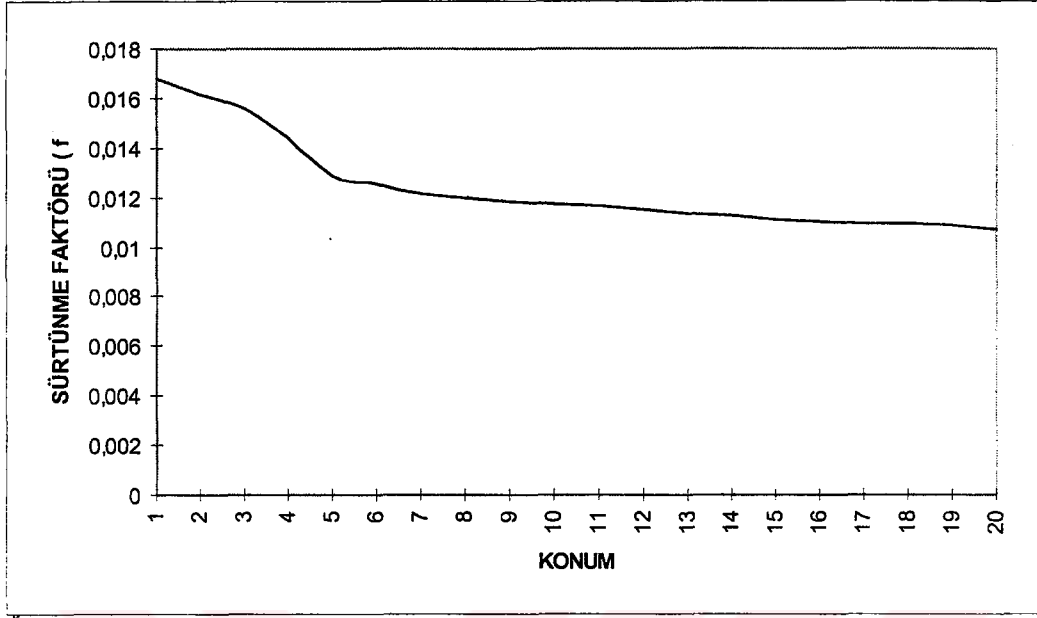
Ek B deki değerler kullanıldığında bulunan basınç dūřümü değerleri Tablo C. 1'de sunulmuştur.

Dięer konum bilgileri için basınç dūřümü hesapları yapıldığında ise;

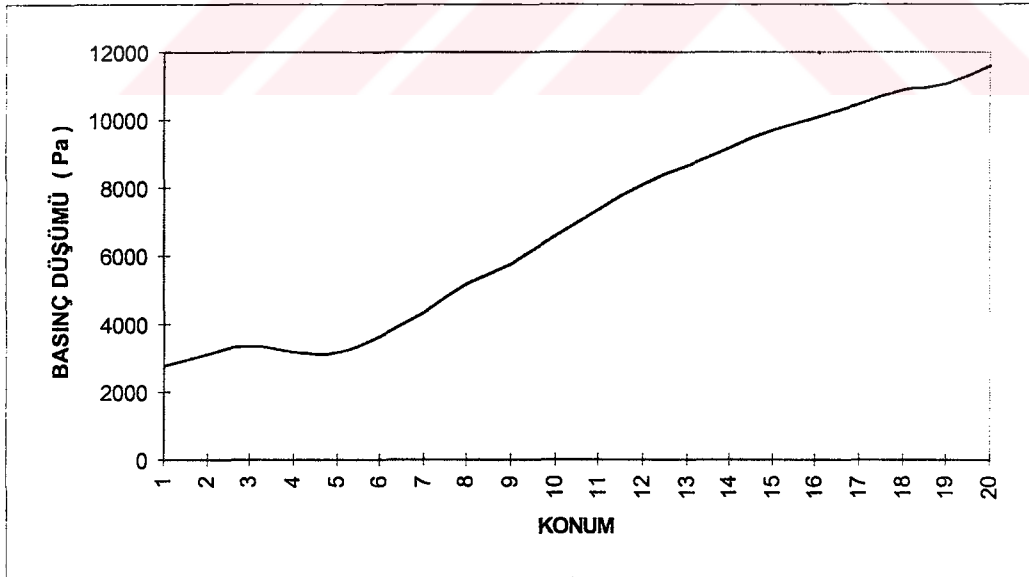
TABLO C. 1 Basınç dūřümü - basınç - konum bilgileri

KONUM	f	ΔP (Pa)	P_{exh} (Pa)
1	0,01678	2773,5	194311
2	0,016168	3145,1	195718
3	0,01556	3378,4	193889
4	0,014369	3196,9	193960
5	0,01289	3184,6	194021
6	0,0125	3670,2	193951
7	0,01214	4331,6	193574
8	0,01119	5191,9	193925
9	0,0118	5794	193508
10	0,01177	6614,1	192473
11	0,01163	7351,6	191643
12	0,01149	8117,4	191172
13	0,011357	8638,5	190769
14	0,01121	9147,9	193168
15	0,0111	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

Tablo C. 1' deki bilgiler doğrultusunda oluşturulan grafikler;



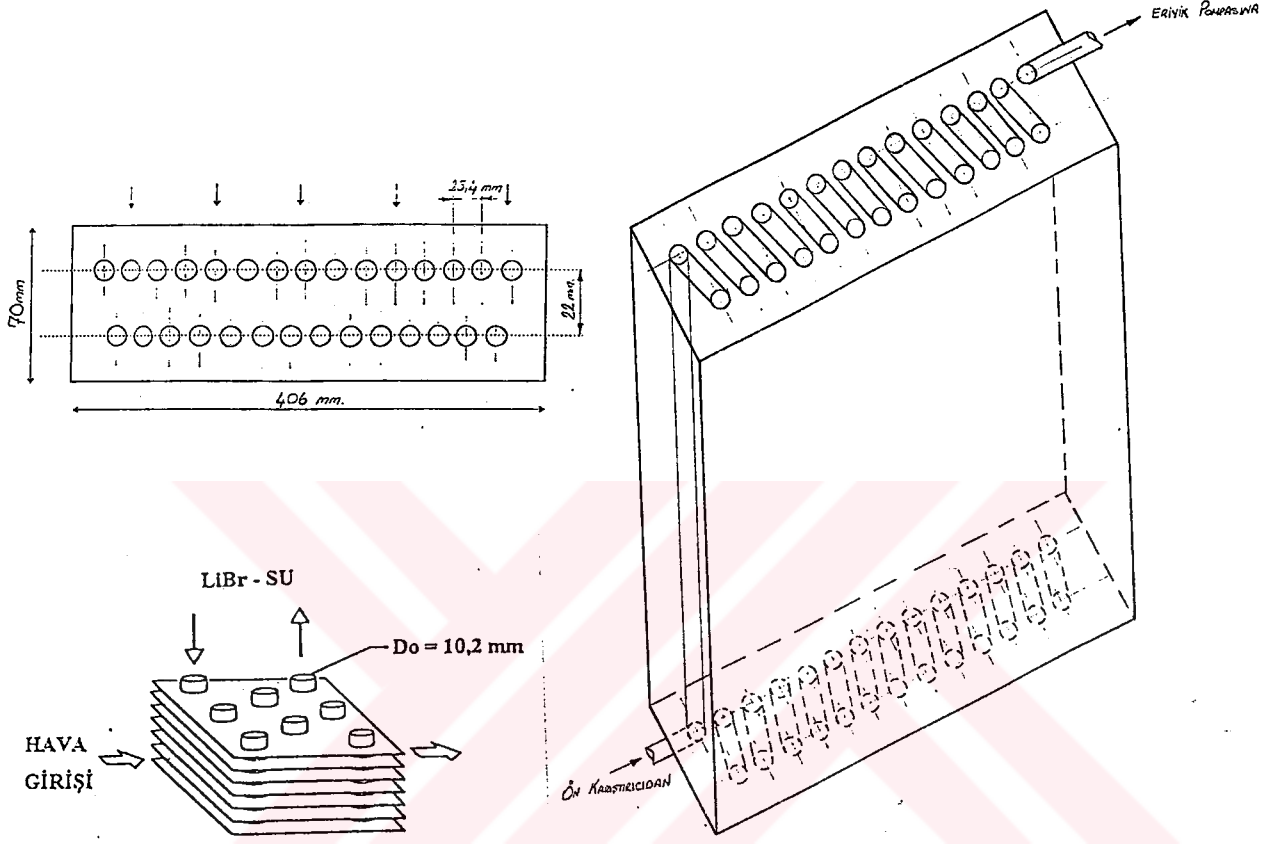
ŞEKİL C.1 Sürtünme faktörü (f) - konum grafiği



ŞEKİL C.2 Basınç düşümü Δp (Pa) - konum grafiği

E K D

ABSORBER DİZAYNI ve HESAPLARI



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 $k_{\text{alüminyum}} = 237 \text{ W/mK}$ dir.
Radyatör hava alma penceresi 400mm yüksekliğinde olduğundan $H = 0,4$ m alınabilir.
Şekil D. 1 den kanat adımı 315/m olarak görülür ve $N = 315/m \cdot 0,4m = 126$
Fakat hesaplarımızda $N = 120$ alınacaktır.Kabul değerleri ;

Örnek hesaplama konum 5 değerleri için yapılmıştır.

Devir = 2528 /dak , Tork = 100 Nm.

Araç hızı, konum 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 (UNO - S modeli için)
400x400 mm. dir ve A_{fr} ; hava alma alanı, $A_{\text{fr}} = 0,16 \text{ m}^2$ olur.

Absorber giriş sıcaklığı $T_{\text{giriş}} = 315^\circ\text{K}$, çıkış sıcaklığı $T_{\text{çıkış}} = 308^\circ\text{K}$ ve absorber yüzey sıcaklığı $T_{\text{yüzey}} = 312^\circ\text{K}$ olarak saptanmıştır.

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

300°K ' deki havanın termodinamik özellikleri;

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

Absorber dizaynında kullanılacak kanatçıklı boru tipi Şekil D. 1' de görülebilir.
Absorber dizaynında 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 Tablo 3. 6 daki kapasite değerleriyle karşılaştırarak kaç adet kanatçıklı boru kullanılacağını belirlemek gerekir.

$$\text{Havanın kütle hızı; } G = m_{\text{hava}} / (\sigma \cdot A_{\text{fr}}) = (V_{\text{hava}} \cdot \rho_{\text{hava}} \cdot A_{\text{fr}}) / (\sigma \cdot A_{\text{fr}}) \quad (\text{D. 1})$$

$$G = (16,6 \cdot 1,1614) / 0,534$$

$$G = 36,1 \text{ kg/sm}^2$$

$$\text{Reynold sayısı } Re = (G \cdot Dh) / \mu_{\text{hava}} = (36,1)(3,63 \times 10^{-3}) / (184,6 \times 10^{-7}) \quad (\text{D. 2})$$

$$Re = 7099$$

Şekil D. 1 den $J_h = 0,0049$ bulunur.

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

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

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

q_1 ; 1 adet kanatçıklı borunun ısı transferi

$$q_1 = N \cdot \eta_f \cdot h_{dış} \cdot 2\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot (T_{yüzey} - T_{\infty}) + h_{dış} \cdot (H - N_t) \cdot (2\pi r_1) \cdot (T_{yüzey} - T_{\infty}) \quad (D. 4)$$

N ; kanatçık sayısı

η_f ; kanat verimi

r_1 ; boru dış yarıçapı

r_2 ; kanatçık yarıçapı

H ; boru boyu

Şekil D. 2 den ; $r_1 = 5,1 \text{ mm}$.

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

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

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

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

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

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

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

Denklem D. 4 den ;

$$q_1 = (120)(0,9)(224)2\pi((12,865 \times 10^{-3})^2 - (5,1 \times 10^{-3})^2)(12) + (224)(0,4 - (120)(0,33 \times 10^{-3}))2\pi(5,1 \times 10^{-3})(12)$$

$$q_1 = 254,45 + 31$$

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

Konum 5 için absorber kapasitesi Tablo 3. 6 dan $Q_{abs} = 7628,7 \text{ W}$ bulunur.

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

$$N' \cong 29 \text{ alınabilir.}$$

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

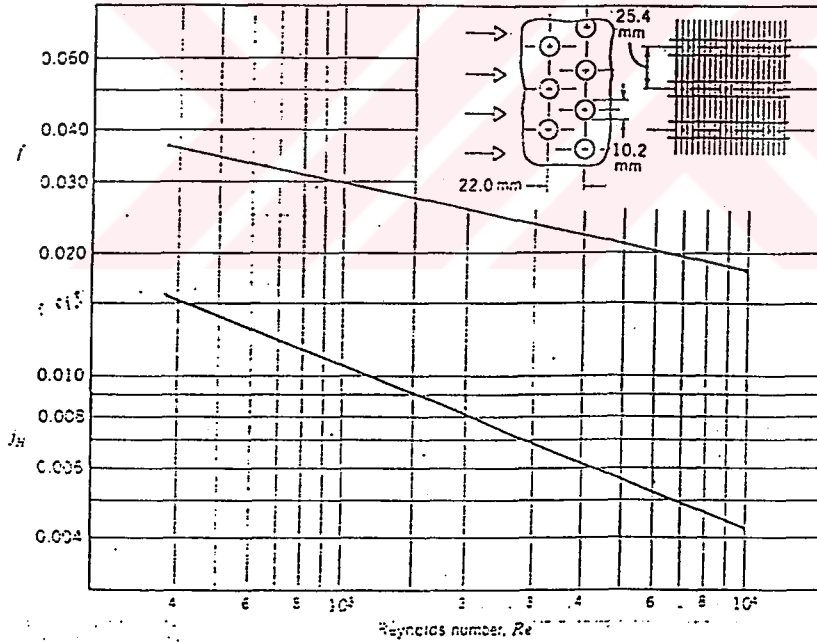
Absorber dizaynının, radyatör hava alma penceresine uygunluğunu kontrol etmek için ise Şekil D. 1 den yararlanabiliriz. Şekil D. 1 de boru eksenleri arası mesafeler 25,4mm ve 22,0mm verilmiştir. Ön boru sırasında 15, arka boru sırasında 14 adet boru bulunacağı düşünülürse absorber boyutları;

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

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

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

Yapılan kabul değerleri ve hesaplamalar ışığında bulunan absorber ölçülerinin, araç radyatör hava alma penceresi ölçülerine ve sistem kapasitesine uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek hızlarda hava hızıda artacağından, absorberden atılan ısı miktarıda artacaktır.



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

Kanat adımı = 315/m

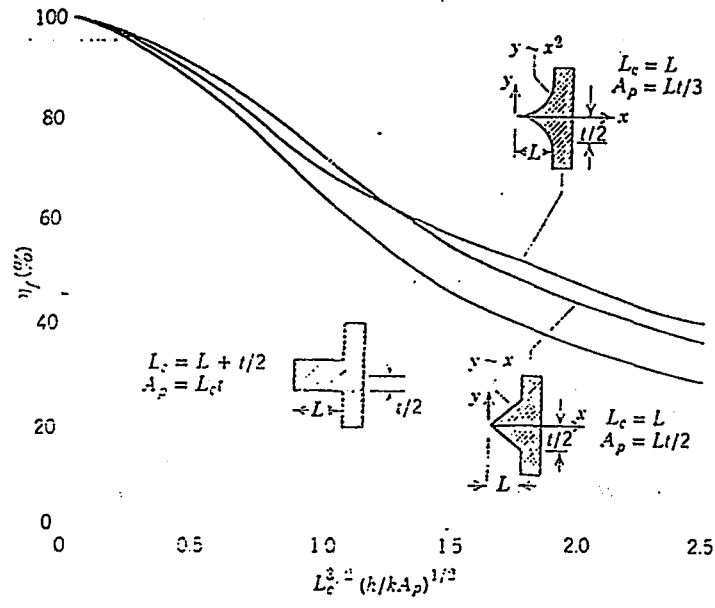
Hidrolik çap; $D_h = 3,63 \text{ mm}$

Kanat kalınlığı = 0,33 mm

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

ŞEKİL D. 1 Sürekli kanatlı borulu ısı eşanjörü, ısı transfer ve sürtünme faktörü

(Kaynak : Incorpera F.P. De Witt D.P. - Fundamentals Of Heat And Mass Transfer)

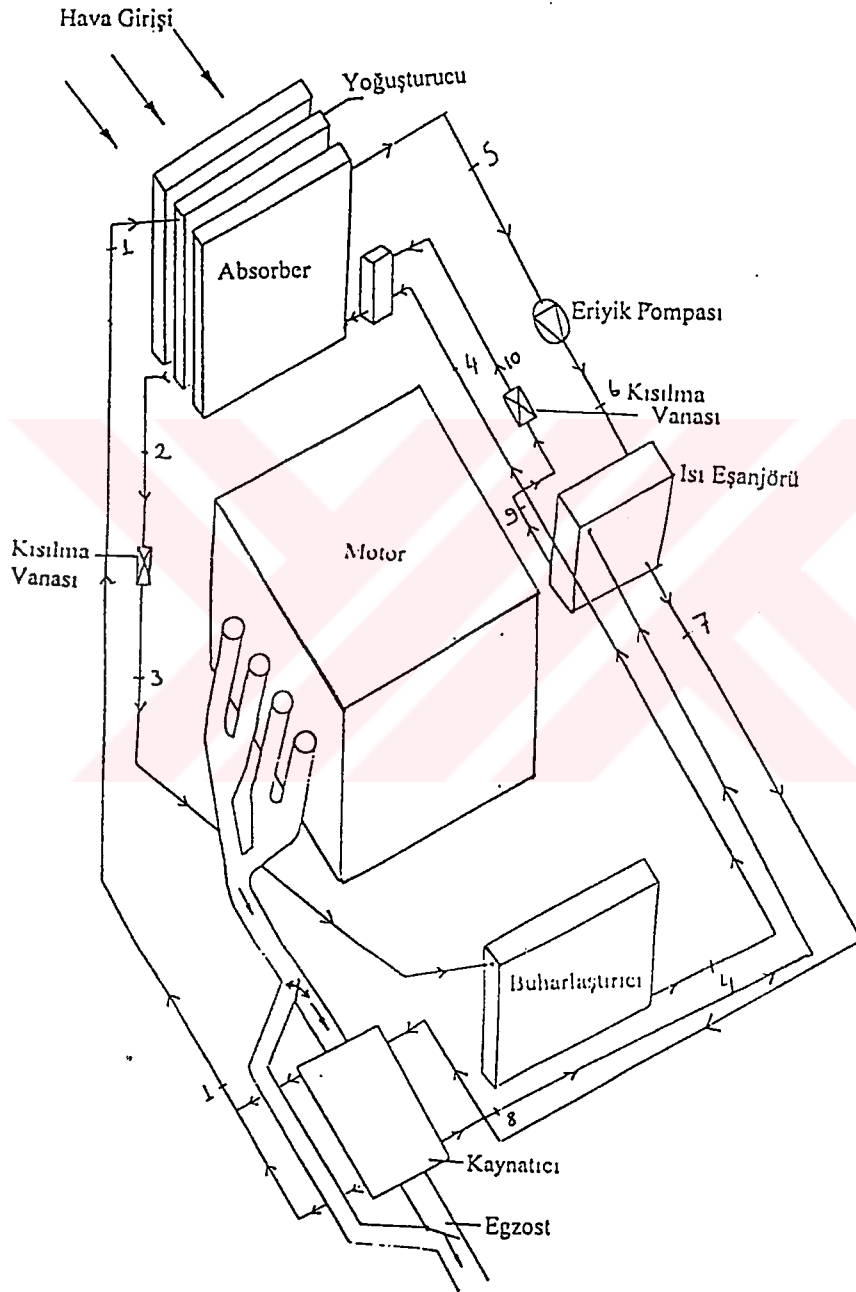


ŞEKİL D. 2 Kanat verimi

(Kaynak : Incropera F.P. De Witt D.P. - Fundamentals Of Heat And Mass Transfer)

E K E

ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ TESİSAT ŞEMASI



ŞEKİL E. 1 Absorbsiyonlu soğutma sistemi tesisat şeması

E K F

TABLO VE DİYAGRAMLAR

TABLO F.1 Su buharının doymuş haller tablosu *

Sıcaklık		Basınç	Özgül Hacim		Yoğunluk		Özgül Entalpi		Buharla Gizli Isı	Özgül Entropi	
			Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar		Sıvı	Buhar
t	T	p	v'	v''	ρ'	ρ''	i'	i''	i''-i'	s'	s''
°C	°K	bar	m³/kg	m³/kg	kg/m³	kg/m³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg K
0.01	273.16	0.006112	0.0010002	206.3	999.80	0.001847	0.00	2501	2501	0.0000	9.1544
1	274.15	0.006566	0.0010001	192.6	999.90	0.005192	4.22	2502	2498	0.0154	9.1281
2	275.15	0.007054	0.0010001	179.9	999.90	0.005559	8.42	2504	2496	0.0306	9.1018
3	276.15	0.007575	0.0010001	168.2	999.90	0.005945	12.63	2506	2493	0.0458	9.0757
4	277.15	0.008129	0.0010001	157.3	999.90	0.006357	16.84	2508	2491	0.0610	9.0498
5	278.15	0.008719	0.0010001	147.2	999.90	0.006793	21.05	2510	2489	0.0762	9.0241
6	279.15	0.009347	0.0010001	137.8	999.90	0.007257	25.25	2512	2489	0.0913	8.9978
7	280.15	0.010013	0.0010001	129.1	999.90	0.007746	29.45	2514	2485	0.1063	8.9716
8	281.15	0.010721	0.0010002	121.0	999.80	0.008264	33.65	2516	2482	0.1212	8.9485
9	282.15	0.011473	0.0010003	113.4	999.70	0.008818	37.85	2517	2479	0.1361	8.9238
10	283.15	0.012277	0.0010004	106.42	999.60	0.009398	42.04	2519	2477	0.1510	8.8974
11	284.15	0.013118	0.0010005	99.91	999.50	0.010001	46.22	2521	2475	0.1658	8.8732
12	285.15	0.014016	0.0010006	93.84	999.40	0.01066	50.41	2523	2473	0.1805	8.8513
13	286.15	0.014967	0.0010007	88.18	999.30	0.01134	54.60	2525	2470	0.1952	8.8276
14	287.15	0.015974	0.0010008	82.90	999.20	0.01206	58.78	2527	2468	0.2098	8.8040
15	288.15	0.017041	0.0010010	77.97	999.00	0.01282	62.97	2528	2465	0.2244	8.7836
16	289.15	0.018170	0.0010011	73.39	998.90	0.01363	67.16	2530	2463	0.2389	8.7574
17	290.15	0.019354	0.0010013	69.10	998.70	0.01447	71.34	2532	2461	0.2534	8.7344
18	291.15	0.02062	0.0010015	65.09	998.50	0.01536	75.53	2534	2458	0.2678	8.7116
19	292.15	0.02196	0.0010016	61.34	998.40	0.01630	79.72	2536	2456	0.2821	8.6890
20	293.15	0.02337	0.0010018	57.84	998.20	0.01729	83.90	2537	2454	0.2964	8.6665
21	294.15	0.02486	0.0010021	54.56	997.90	0.01833	88.09	2539	2451	0.3107	8.6442
22	295.15	0.02643	0.0010023	51.50	997.71	0.01942	92.27	2541	2449	0.3249	8.6220
23	296.15	0.02803	0.0010025	48.62	997.51	0.02057	96.46	2543	2447	0.3391	8.6001
24	297.15	0.02962	0.0010028	45.93	997.21	0.02177	100.63	2545	2444	0.3532	8.5785
25	298.15	0.03166	0.0010030	43.40	997.01	0.02304	104.81	2547	2442	0.3672	8.5570
26	299.15	0.03350	0.0010033	41.04	996.71	0.02437	108.99	2548	2440	0.3812	8.5358
27	300.15	0.03564	0.0010036	38.82	996.41	0.02576	113.17	2550	2437	0.3951	8.5147
28	301.15	0.03779	0.0010038	36.73	996.21	0.02723	117.35	2552	2435	0.4090	8.4938
29	302.15	0.04004	0.0010041	34.77	995.92	0.02876	121.53	2554	2432	0.4228	8.4730
30	303.15	0.04241	0.0010044	32.93	995.62	0.03037	125.71	2556	2430	0.4366	8.4523
31	304.15	0.04491	0.0010047	31.20	995.32	0.03205	129.89	2558	2428	0.4503	8.4319
32	305.15	0.04753	0.0010051	29.57	994.93	0.03382	134.07	2559	2425	0.4640	8.4117
33	306.15	0.05029	0.0010054	28.04	994.63	0.03566	138.25	2561	2423	0.4777	8.3916
34	307.15	0.05318	0.0010057	26.60	994.33	0.03759	142.42	2563	2421	0.4913	8.3716
35	308.15	0.05622	0.0010061	25.24	993.94	0.03962	146.60	2565	2418	0.5049	8.3519
36	309.15	0.05940	0.0010064	23.97	993.64	0.04172	150.78	2567	2416	0.5185	8.3323
37	310.15	0.06274	0.0010068	22.77	993.25	0.04392	154.96	2569	2414	0.5320	8.3129
38	311.15	0.06624	0.0010071	21.63	992.85	0.04623	159.14	2570	2411	0.5455	8.2930
39	312.15	0.06991	0.0010075	20.56	992.56	0.04864	163.32	2572	2409	0.5589	8.2740
40	313.15	0.07375	0.0010079	19.55	992.16	0.05115	167.50	2574	2406	0.5723	8.2559
41	314.15	0.07777	0.0010083	18.59	991.77	0.05379	171.67	2575	2403	0.5856	8.2377
42	315.15	0.08198	0.0010087	17.69	991.38	0.05653	175.86	2577	2401	0.5988	8.2187
43	316.15	0.08639	0.0010091	16.84	990.98	0.05938	180.04	2579	2399	0.6120	8.2003
44	317.15	0.09101	0.0010095	16.04	990.59	0.06234	184.22	2581	2397	0.6252	8.1820
45	318.15	0.09584	0.0010099	15.28	990.20	0.06544	188.40	2582	2394	0.6384	8.1638
46	319.15	0.10088	0.0010103	14.56	989.81	0.06868	192.58	2584	2391	0.6516	8.1451
47	320.15	0.10614	0.0010108	13.88	989.32	0.07205	196.76	2586	2389	0.6647	8.1279
48	321.15	0.11161	0.0010112	13.23	988.92	0.07559	200.93	2588	2387	0.6778	8.1102
49	322.15	0.11736	0.0010116	12.62	988.53	0.07924	205.11	2590	2385	0.6908	8.0927
50	323.15	0.12335	0.0010121	12.04	988.04	0.08306	209.3	2592	2383	0.7038	8.0753
51	324.15	0.12960	0.0010126	11.50	987.56	0.08696	213.5	2593	2380	0.7167	8.0579
52	325.15	0.13612	0.0010130	10.98	987.17	0.09107	217.7	2595	2377	0.7295	8.0407

TABLE F.1 Devam

Sıcaklık		Basınç	Özgül Hacim		Yogunluk		Özgül Entalpi		Düğümlü Gizli Isı	Özgül Entropi	
			Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar		Sıvı	Buhar
			v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''		s'	s''
t	T	p	m^3/kg	m^3/kg	kg/m^3	kg/m^3	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	$kJ/kg \cdot K$	$kJ/kg \cdot K$
$^{\circ}C$	K	bar							$t = t' - t''$		
55	328.15	0.15740	0.0010145	9.578	985.71	0.1044	230.2	2600	2370	0.7679	7.4921
56	329.15	0.16510	0.0010150	9.158	985.22	0.1092	231.4	2602	2359	0.7806	7.4794
57	330.15	0.17312	0.0010155	8.757	984.74	0.1142	232.6	2604	2345	0.7933	7.4667
58	331.15	0.18146	0.0010160	8.380	984.25	0.1193	242.8	2606	2333	0.8059	7.4540
59	332.15	0.19014	0.0010166	8.020	983.67	0.1247	246.9	2608	2321	0.8185	7.4413
60	333.15	0.19917	0.0010171	7.670	983.19	0.1302	251.1	2609	2309	0.8311	7.4286
61	334.15	0.2085	0.0010177	7.333	982.61	0.1360	255.3	2611	2295	0.8436	7.4159
62	335.15	0.2184	0.0010182	7.013	982.13	0.1420	259.5	2613	2283	0.8561	7.4032
63	336.15	0.2285	0.0010188	6.719	981.55	0.1482	263.7	2614	2270	0.8685	7.3905
64	337.15	0.2391	0.0010193	6.458	981.07	0.1546	267.9	2616	2258	0.8810	7.3778
65	338.15	0.2501	0.0010199	6.201	980.49	0.1613	272.1	2617	2245	0.8934	7.3651
66	339.15	0.2615	0.0010205	5.947	979.91	0.1681	276.2	2619	2233	0.9057	7.3524
67	340.15	0.2733	0.0010210	5.705	979.43	0.1753	280.4	2621	2221	0.9180	7.3397
68	341.15	0.2856	0.0010216	5.475	978.86	0.1826	284.6	2623	2209	0.9303	7.3270
69	342.15	0.2984	0.0010222	5.255	978.28	0.1903	288.8	2625	2196	0.9426	7.3143
70	343.15	0.3117	0.0010229	5.045	977.71	0.1982	293.0	2626	2183	0.9549	7.3016
71	344.15	0.3254	0.0010234	4.846	977.14	0.2064	297.2	2628	2171	0.9672	7.2889
72	345.15	0.3396	0.0010240	4.655	976.56	0.2148	301.4	2630	2159	0.9794	7.2762
73	346.15	0.3543	0.0010246	4.473	975.99	0.2236	305.6	2631	2146	0.9916	7.2635
74	347.15	0.3696	0.0010252	4.299	975.42	0.2326	309.8	2633	2133	1.0037	7.2508
75	348.15	0.3855	0.0010258	4.133	974.85	0.2420	314.0	2635	2121	1.0157	7.2381
76	349.15	0.4019	0.0010264	3.975	974.28	0.2516	318.2	2636	2108	1.0277	7.2254
77	350.15	0.4189	0.0010270	3.824	973.71	0.2615	322.4	2638	2096	1.0396	7.2127
78	351.15	0.4365	0.0010277	3.679	973.15	0.2718	326.6	2639	2083	1.0515	7.2000
79	352.15	0.4547	0.0010283	3.540	972.48	0.2825	330.6	2641	2070	1.0634	7.1873
80	353.15	0.4735	0.0010290	3.408	971.82	0.2934	334.9	2643	2058	1.0753	7.1746
81	354.15	0.4931	0.0010297	3.282	971.16	0.3047	339.1	2645	2045	1.0872	7.1619
82	355.15	0.5133	0.0010304	3.161	970.50	0.3164	343.3	2646	2033	1.0990	7.1492
83	356.15	0.5342	0.0010310	3.045	969.93	0.3284	347.5	2648	2020	1.1107	7.1365
84	357.15	0.5558	0.0010317	2.934	969.27	0.3408	351.7	2650	2008	1.1225	7.1238
85	358.15	0.5781	0.0010324	2.828	968.62	0.3536	355.9	2651	1995	1.1342	7.1111
86	359.15	0.6011	0.0010331	2.727	967.96	0.3667	360.1	2653	1983	1.1459	7.0984
87	360.15	0.6249	0.0010338	2.629	967.31	0.3804	364.3	2655	1971	1.1576	7.0857
88	361.15	0.6495	0.0010345	2.536	966.65	0.3943	368.5	2656	1958	1.1693	7.0730
89	362.15	0.6749	0.0010352	2.447	966.00	0.4087	372.7	2658	1946	1.1809	7.0603
90	363.15	0.7011	0.0010359	2.361	965.34	0.4235	377.0	2659	1933	1.1925	7.0476
91	364.15	0.7281	0.0010366	2.279	964.69	0.4388	381.2	2661	1920	1.2041	7.0349
92	365.15	0.7560	0.0010373	2.200	964.04	0.4545	385.4	2662	1908	1.2157	7.0222
93	366.15	0.7848	0.0010381	2.124	963.30	0.4708	389.6	2664	1895	1.2272	7.0095
94	367.15	0.8145	0.0010389	2.052	962.65	0.4873	393.8	2666	1883	1.2387	7.0000
95	368.15	0.8451	0.0010396	1.982	961.91	0.5045	398.0	2668	1870	1.2502	6.9873
96	369.15	0.8767	0.0010404	1.915	961.17	0.5222	402.2	2669	1858	1.2617	6.9746
97	370.15	0.9093	0.0010412	1.851	960.43	0.5402	406.4	2671	1845	1.2731	6.9619
98	371.15	0.9429	0.0010420	1.789	959.69	0.5590	410.7	2673	1833	1.2845	6.9492
99	372.15	0.9775	0.0010427	1.730	959.05	0.5780	414.9	2674	1820	1.2958	6.9365
100	373.15	1.0131	0.0010435	1.673	958.31	0.5977	419.1	2676	1808	1.3071	6.9238
101	374.15	1.0498	0.0010443	1.618	957.58	0.6181	423.3	2677	1795	1.3184	6.9111
102	375.15	1.0876	0.0010450	1.566	956.84	0.6386	427.5	2679	1783	1.3297	6.8984
103	376.15	1.1265	0.0010458	1.515	956.11	0.6601	431.7	2680	1770	1.3409	6.8857
104	377.15	1.1666	0.0010466	1.466	955.37	0.6821	436.0	2681	1758	1.3521	6.8730
105	378.15	1.2079	0.0010474	1.419	954.72	0.7047	440.2	2683	1745	1.3632	6.8603
106	379.15	1.2504	0.0010482	1.374	954.02	0.7278	444.4	2685	1733	1.3743	6.8476
107	380.15	1.2941	0.0010490	1.331	953.29	0.7513	448.6	2687	1720	1.3854	6.8349
108	381.15	1.3390	0.0010498	1.289	952.55	0.7758	452.9	2689	1708	1.3964	6.8222
109	382.15	1.3852	0.0010507	1.249	951.75	0.8006	457.1	2690	1695	1.4074	6.8095

TABLE F.1 Devam

Sıcaklık		Basınç	Özgül Hacim		Yoğunluk		Özgül Entalpi		Buharlaşma Gizli Isısı	Özgül Entropi	
			Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar		Sıvı	Buhar
t	T	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r = h'' - h'	s'	s''
°C	K	bar	m³/kg	m³/kg	kg/m³	kg/m³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg K
110	383.15	1.4326	0.0010515	1.210	951.02	0.8264	461.3	2691	2230	1.4184	7.2387
111	384.15	1.4914	0.0010523	1.173	950.30	0.8525	465.6	2693	2272	1.4294	7.2274
112	385.15	1.5316	0.0010532	1.137	949.49	0.8795	469.8	2694	2224	1.4404	7.2162
113	386.15	1.5811	0.0010540	1.102	948.77	0.9074	474.0	2696	2222	1.4514	7.2051
114	387.15	1.6361	0.0010549	1.069	947.96	0.9354	478.2	2697	2219	1.4624	7.1941
115	388.15	1.6905	0.0010559	1.036	947.15	0.9652	482.5	2698	2216	1.4733	7.1832
116	389.15	1.7464	0.0010567	1.005	946.34	0.9950	486.7	2700	2213	1.4842	7.1724
117	390.15	1.8038	0.0010576	0.9754	945.54	1.025	491.0	2702	2211	1.4951	7.1616
118	391.15	1.8628	0.0010585	0.9465	944.73	1.055	495.2	2703	2208	1.5060	7.1509
119	392.15	1.9233	0.0010594	0.9186	943.93	1.085	499.5	2705	2205	1.5169	7.1403
120	393.15	1.9854	0.0010603	0.8917	943.13	1.121	503.7	2706	2202	1.5277	7.1298
121	394.15	2.0491	0.0010612	0.8657	942.33	1.155	507.9	2708	2200	1.5385	7.1193
122	395.15	2.1144	0.0010621	0.8407	941.53	1.189	512.2	2709	2197	1.5492	7.1089
123	396.15	2.1814	0.0010630	0.8164	940.73	1.225	516.5	2710	2194	1.5599	7.0985
124	397.15	2.2502	0.0010640	0.7930	939.95	1.261	520.8	2712	2191	1.5706	7.0881
125	398.15	2.3208	0.0010649	0.7704	939.06	1.298	525.0	2713	2188	1.5814	7.0777
126	399.15	2.3932	0.0010658	0.7486	938.26	1.336	529.2	2715	2186	1.5922	7.0674
127	400.15	2.4674	0.0010668	0.7276	937.38	1.371	533.4	2716	2183	1.6029	7.0573
128	401.15	2.5434	0.0010677	0.7074	936.59	1.411	537.7	2718	2180	1.6135	7.0472
129	402.15	2.6213	0.0010687	0.6880	935.72	1.454	542.0	2719	2177	1.6240	7.0372
130	403.15	2.7011	0.0010697	0.6683	934.84	1.496	546.3	2721	2174	1.6354	7.0272
131	404.15	2.7829	0.0010707	0.6499	933.97	1.539	550.5	2722	2171	1.6450	7.0173
132	405.15	2.8668	0.0010717	0.6321	933.10	1.582	554.8	2723	2168	1.6555	7.0074
133	406.15	2.9528	0.0010727	0.6148	932.23	1.626	559.0	2724	2165	1.6659	6.9976
134	407.15	3.041	0.0010737	0.5981	931.36	1.672	563.2	2725	2162	1.6764	6.9878
135	408.15	3.130	0.0010747	0.5820	930.49	1.718	567.5	2727	2159	1.6869	6.9781
136	409.15	3.222	0.0010757	0.5664	929.63	1.765	571.8	2728	2156	1.6973	6.9685
137	410.15	3.317	0.0010767	0.5512	928.76	1.814	576.1	2730	2154	1.7078	6.9589
138	411.15	3.414	0.0010777	0.5366	927.90	1.864	580.4	2731	2151	1.7183	6.9493
139	412.15	3.513	0.0010783	0.5224	926.96	1.914	584.7	2733	2148	1.7278	6.9398
140	413.15	3.614	0.0010790	0.5087	926.10	1.966	589.0	2734	2145	1.7392	6.9304
141	414.15	3.717	0.0010808	0.4953	925.24	2.019	593.3	2735	2142	1.7495	6.9211
142	415.15	3.823	0.0010819	0.4824	924.30	2.073	597.6	2737	2139	1.7599	6.9117
143	416.15	3.931	0.0010829	0.4699	923.45	2.128	601.9	2738	2136	1.7702	6.9024
144	417.15	4.042	0.0010840	0.4579	922.51	2.184	606.2	2739	2133	1.7804	6.8932
145	418.15	4.155	0.0010851	0.4461	921.57	2.242	610.5	2740	2130	1.7907	6.8839
146	419.15	4.271	0.0010862	0.4347	920.64	2.300	614.8	2742	2127	1.8009	6.8747
147	420.15	4.389	0.0010873	0.4237	919.71	2.360	619.1	2743	2124	1.8112	6.8655
148	421.15	4.510	0.0010884	0.4130	918.78	2.421	623.4	2744	2121	1.8214	6.8564
149	422.15	4.634	0.0010895	0.4026	917.85	2.484	627.8	2745	2117	1.8316	6.8473
150	423.15	4.760	0.0010906	0.3926	916.93	2.547	632.2	2746	2114	1.8418	6.8383
151	424.15	4.889	0.0010917	0.3828	916.00	2.612	636.6	2748	2111	1.8520	6.8293
152	425.15	5.020	0.0010928	0.3733	915.08	2.679	641.0	2749	2108	1.8622	6.8204
153	426.15	5.155	0.0010939	0.3641	914.16	2.746	645.3	2750	2105	1.8723	6.8115
154	427.15	5.293	0.0010950	0.3552	913.24	2.815	649.6	2752	2102	1.8824	6.8027
155	428.15	5.433	0.0010962	0.3466	912.24	2.885	653.9	2753	2099	1.8924	6.7940
156	429.15	5.576	0.0010974	0.3381	911.24	2.955	658.2	2754	2096	1.9025	6.7854
157	430.15	5.723	0.0010986	0.3299	910.25	3.030	662.5	2755	2092	1.9125	6.7768
158	431.15	5.872	0.0010998	0.3220	909.26	3.106	666.9	2756	2089	1.9226	6.7681
159	432.15	6.024	0.0011009	0.3143	908.35	3.182	671.2	2757	2086	1.9326	6.7595
160	433.15	6.180	0.0011021	0.3068	907.36	3.258	675.6	2758	2082	1.9427	6.7508
161	434.15	6.339	0.0011033	0.2996	906.37	3.338	679.9	2759	2079	1.9527	6.7421
162	435.15	6.502	0.0011044	0.2925	905.47	3.415	684.2	2760	2076	1.9627	6.7335
163	436.15	6.667	0.0011056	0.2856	904.49	3.500	688.6	2761	2072	1.9726	6.7250
164	437.15	6.836	0.0011069	0.2790	903.42	3.581	692.9	2762	2069	1.9825	6.7165

TABLE F.2 Su buharının kızgın buhar tablosu *

Başlangıç		0.01 bar			0.04 bar			0.05 bar			0.06 bar		
Sıcaklık		$t_s = 6.92^\circ\text{C}$ $i'' = 2513 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 129.9 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.975 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 25.979^\circ\text{C}$ $i'' = 2554 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 4.81 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 5.473 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 32.88^\circ\text{C}$ $i'' = 2561 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 28.19 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.393 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 36.18^\circ\text{C}$ $i'' = 2567 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 23.74 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.328 \text{ kJ/kg K}$		
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	131.3	2518	8.995	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511	0.0010003	41.9	0.1511
20	293.15	136.0	2537	9.056	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964	0.0010018	83.7	0.2964
30	303.15	140.7	2556	9.117	34.95	2556	8.470	0.0010044	125.6	0.4163	0.0010044	125.6	0.4163
40	313.15	145.4	2575	9.178	36.12	2574	8.537	28.87	2574	8.434	24.72	2574	8.350
50	323.15	150.0	2594	9.238	37.29	2593	8.595	29.80	2593	8.492	24.82	2593	8.407
60	333.15	154.7	2613	9.296	38.45	2612	8.651	30.73	2612	8.549	25.59	2612	8.464
70	343.15	159.4	2632	9.352	39.60	2631	8.707	31.65	2631	8.605	26.36	2631	8.520
80	353.15	164.0	2651	9.406	40.75	2650	8.762	32.58	2650	8.659	27.13	2650	8.574
90	363.15	168.7	2669	9.459	41.91	2669	8.815	33.50	2669	8.712	27.91	2669	8.627
100	373.15	173.3	2688	9.510	43.07	2688	8.867	34.43	2688	8.764	28.69	2688	8.679
110	383.15	177.9	2707	9.560	44.23	2707	8.917	35.35	2707	8.814	29.45	2707	8.729
120	393.15	182.6	2726	9.609	45.39	2726	8.965	36.28	2726	8.863	30.22	2726	8.778
130	403.15	187.2	2745	9.656	46.54	2745	9.014	37.20	2745	8.911	30.99	2745	8.826
140	413.15	191.9	2764	9.703	47.69	2764	9.060	38.13	2764	8.957	31.76	2764	8.873
150	423.15	196.5	2783	9.748	48.85	2783	9.104	39.05	2783	9.002	32.53	2783	8.918
160	433.15	201.1	2803	9.793	50.01	2803	9.150	39.98	2803	9.047	33.30	2803	8.963
170	443.15	205.8	2822	9.837	51.16	2822	9.195	40.90	2822	9.092	34.07	2822	9.007
180	453.15	210.4	2841	9.880	52.31	2841	9.239	41.83	2841	9.135	34.84	2841	9.050
190	463.15	215.1	2860	9.922	53.47	2860	9.280	42.75	2860	9.177	35.61	2860	9.092
200	473.15	219.8	2880	9.963	54.63	2880	9.324	43.68	2880	9.219	36.38	2880	9.134
210	483.15	224.4	2899	10.004	55.78	2899	9.362	44.60	2899	9.259	37.15	2899	9.175
220	493.15	229.1	2918	10.044	56.93	2918	9.401	45.53	2918	9.299	37.92	2918	9.215
230	503.15	233.7	2938	10.083	58.09	2938	9.441	46.45	2938	9.338	38.69	2938	9.254
240	513.15	238.3	2958	10.121	59.24	2958	9.479	47.37	2958	9.376	39.46	2958	9.292
250	523.15	243.0	2977	10.159	60.40	2977	9.517	48.30	2977	9.414	40.23	2977	9.330
260	533.15	247.6	2997	10.196	61.55	2997	9.554	49.22	2997	9.451	41.00	2997	9.367
270	543.15	256.9	3017	10.269	63.67	3017	9.627	51.07	3017	9.524	42.54	3017	9.440
280	553.15	266.2	3037	10.340	66.18	3037	9.690	52.92	3037	9.595	44.08	3037	9.511
290	563.15	270.8	3057	10.374	67.33	3057	9.717	53.84	3057	9.630	44.85	3057	9.545
300	573.15	275.4	3117	10.408	68.49	3117	9.766	54.77	3117	9.664	45.62	3117	9.579
310	583.15	280.1	3137	10.441	69.64	3137	9.800	55.69	3137	9.697	46.39	3137	9.613
320	593.15	284.8	3157	10.474	70.80	3157	9.833	56.62	3157	9.730	47.16	3157	9.646
330	603.15	289.5	3177	10.507	71.96	3177	9.866	57.54	3177	9.763	47.93	3177	9.679
340	613.15	294.1	3198	10.539	73.11	3198	9.899	58.47	3198	9.796	48.70	3198	9.711
350	623.15	298.8	3218	10.572	74.27	3218	9.932	59.39	3218	9.829	49.47	3218	9.744
360	633.15	303.5	3238	10.605	75.42	3238	9.965	60.32	3238	9.862	50.24	3238	9.777
370	643.15	308.2	3258	10.638	76.57	3258	9.998	61.25	3258	9.895	51.01	3258	9.810
380	653.15	312.9	3278	10.671	77.72	3278	10.031	62.18	3278	9.928	51.78	3278	9.843
390	663.15	317.6	3298	10.704	78.87	3298	10.064	63.11	3298	9.961	52.55	3298	9.876
400	673.15	322.3	3318	10.737	80.02	3318	10.097	64.04	3318	9.994	53.32	3318	9.909
410	683.15	326.9	3338	10.770	81.17	3338	10.130	64.97	3338	10.027	54.09	3338	9.942
420	693.15	331.6	3358	10.803	82.32	3358	10.163	65.90	3358	10.060	54.86	3358	9.975
430	703.15	336.3	3378	10.836	83.47	3378	10.196	66.83	3378	10.093	55.63	3378	10.008
440	713.15	341.0	3398	10.869	84.62	3398	10.229	67.76	3398	10.126	56.40	3398	10.041
450	723.15	345.7	3418	10.902	85.77	3418	10.262	68.69	3418	10.159	57.17	3418	10.074
460	733.15	350.4	3438	10.935	86.92	3438	10.295	69.62	3438	10.192	57.94	3438	10.107
470	743.15	355.1	3458	10.968	88.07	3458	10.328	70.55	3458	10.225	58.71	3458	10.140
480	753.15	359.8	3478	10.999	89.22	3478	10.361	71.48	3478	10.258	59.48	3478	10.173
490	763.15	364.5	3498	11.032	90.37	3498	10.394	72.41	3498	10.291	60.25	3498	10.206
500	773.15	369.2	3518	11.065	91.52	3518	10.427	73.34	3518	10.324	61.02	3518	10.239
510	783.15	373.9	3538	11.098	92.67	3538	10.460	74.27	3538	10.357	61.79	3538	10.272
520	793.15	378.6	3558	11.131	93.82	3558	10.493	75.20	3558	10.390	62.56	3558	10.305
530	803.15	383.3	3578	11.164	94.97	3578	10.526	76.13	3578	10.423	63.33	3578	10.338
540	813.15	388.0	3598	11.197	96.12	3598	10.559	77.06	3598	10.456	64.10	3598	10.371
550	823.15	392.7	3618	11.230	97.27	3618	10.592	77.99	3618	10.489	64.87	3618	10.404
560	833.15	397.4	3638	11.263	98.42	3638	10.625	78.92	3638	10.522	65.64	3638	10.437
570	843.15	402.1	3658	11.296	99.57	3658	10.658	79.85	3658	10.555	66.41	3658	10.470
580	853.15	406.8	3678	11.329	100.72	3678	10.691	80.78	3678	10.588	67.18	3678	10.503
590	863.15	411.5	3698	11.362	101.87	3698	10.724	81.71	3698	10.621	67.95	3698	10.536
600	873.15	416.2	3718	11.395	103.02	3718	10.757	82.64	3718	10.654	68.72	3718	10.569
610	883.15	420.9	3738	11.428	104.17	3738	10.790	83.57	3738	10.687	69.49	3738	10.602
620	893.15	425.6	3758	11.461	105.32	3758	10.823	84.50	3758	10.720	70.26	3758	10.635
630	903.15	430.3	3778	11.494	106.47	3778	10.856	85.43	3778	10.753	71.03	3778	10.668
640	913.15	435.0	3798	11.527	107.62	3798	10.889	86.36	3798	10.786	71.80	3798	10.701
650	923.15	439.7	3818	11.560	108.77	3818	10.922	87.29	3818	10.819	72.57	3818	10.734
660	933.15	444.4	3838	11.593	109.92	3838	10.955	88.22	3838	10.852	73.34	3838	10.767
670	943.15	449.1	3858	11.626	111.07	3858	10.988	89.15	3858	10.885	74.11	3858	10.800
680	953.15	453.8	3878	11.659	112.22	3878	11.021	90.08	3878	10.918	74.88	3878	10.833
690	963.15	458.5	3898	11.692	113.37	3898	11.054	91.01	3898	10.951	75.65	3898	10.866
700	973.15	463.2	3918	11.725	114.52	3918	11.087	91.94	3918	10.984	76.42	3918	10.899

TABLE F.2 Devam

Basınç		0.10 bar			0.10 bar			0.40 bar			0.50 bar		
Sıcaklık		$t_s = 60.08^\circ\text{C}$ $i'' = 2.609 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 7.647 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.907 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 69.12^\circ\text{C}$ $i'' = 2.625 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 5.226 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.769 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 75.88^\circ\text{C}$ $i'' = 2.636 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 3.994 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.760 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 81.35^\circ\text{C}$ $i'' = 2.645 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 3.239 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.591 \text{ kJ/kg K}$		
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	0.1	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	7.887	2629	7.761	5.268	2627	7.770	0.0010228	293.0	0.9546	0.0010228	293.0	0.9546
80	353.15	8.119	2648	8.015	5.400	2646	7.025	4.080	2645	7.690	0.0010290	334.9	1.0748
90	363.15	8.351	2667	8.068	5.557	2666	7.879	4.163	2665	7.745	3.324	2663	7.640
100	373.15	8.584	2687	8.120	5.713	2685	7.931	4.282	2684	7.798	3.420	2683	7.693
110	383.15	8.816	2706	8.171	5.867	2705	7.982	4.399	2703	7.849	3.514	2703	7.745
120	393.15	9.049	2725	8.220	6.025	2724	8.031	4.516	2723	7.899	3.608	2722	7.795
130	403.15	9.281	2744	8.268	6.180	2743	8.079	4.633	2742	7.947	3.702	2741	7.843
140	413.15	9.513	2763	8.315	6.335	2762	8.126	4.750	2761	7.995	3.795	2761	7.890
150	423.15	9.745	2782	8.361	6.490	2782	8.172	4.866	2781	8.041	3.889	2780	7.936
160	433.15	9.977	2801	8.406	6.645	2801	8.217	4.982	2800	8.086	3.982	2799	7.981
170	443.15	10.209	2821	8.450	6.800	2820	8.261	5.099	2819	8.130	4.075	2819	8.025
180	453.15	10.441	2840	8.493	6.955	2839	8.304	5.215	2838	8.173	4.169	2838	8.069
190	463.15	10.673	2859	8.535	7.110	2859	8.345	5.331	2858	8.215	4.262	2858	8.111
200	473.15	10.905	2879	8.576	7.264	2878	8.388	5.447	2870	8.256	4.355	2877	8.152
210	483.15	11.137	2898	8.617	7.419	2898	8.429	5.564	2897	8.297	4.448	2897	8.193
220	493.15	11.369	2918	8.657	7.573	2917	8.469	5.680	2917	8.337	4.540	2916	8.233
230	503.15	11.600	2937	8.696	7.728	2937	8.503	5.795	2937	8.376	4.633	2936	8.272
240	513.15	11.832	2957	8.735	7.882	2956	8.541	5.912	2956	8.415	4.725	2956	8.311
250	523.15	12.064	2976	8.773	8.037	2976	8.585	6.028	2976	8.453	4.819	2975	8.349
260	533.15	12.295	2996	8.810	8.191	2996	8.627	6.144	2995	8.490	4.912	2995	8.386
270	543.15	12.528	3016	8.848	8.346	3016	8.669	6.276	3035	8.564	5.058	3035	8.460
280	553.15	12.760	3036	8.889	8.500	3036	8.716	6.408	3076	8.635	5.284	3076	8.531
290	563.15	13.000	3057	8.934	8.654	3057	8.766	6.540	3096	8.669	5.377	3096	8.565
300	573.15	13.240	3077	8.989	8.809	3076	8.816	6.672	3116	8.703	5.470	3116	8.599
310	583.15	13.480	3097	9.043	8.964	3096	8.867	6.804	3136	8.737	5.563	3136	8.633
320	593.15	13.720	3117	9.097	9.119	3116	8.918	6.936	3156	8.770	5.656	3156	8.666
330	603.15	13.960	3137	9.151	9.274	3136	8.969	7.068	3176	8.803	5.749	3176	8.699
340	613.15	14.200	3157	9.205	9.428	3157	9.020	7.200	3196	8.835	5.841	3197	8.731
350	623.15	14.440	3177	9.259	9.583	3177	9.071	7.332	3216	8.867	5.934	3217	8.763
360	633.15	14.680	3198	9.313	9.737	3198	9.122	7.464	3236	8.899	6.027	3237	8.795
370	643.15	14.920	3218	9.367	9.892	3218	9.173	7.596	3256	8.931	6.120	3257	8.827
380	653.15	15.160	3239	9.421	10.046	3239	9.224	7.728	3276	8.963	6.213	3277	8.859
390	663.15	15.400	3260	9.475	10.200	3260	9.275	7.860	3296	8.995	6.306	3297	8.891
400	673.15	15.640	3281	9.529	10.354	3281	9.326	7.992	3316	9.027	6.399	3317	8.923
410	683.15	15.880	3302	9.583	10.508	3302	9.377	8.124	3336	9.059	6.492	3337	8.955
420	693.15	16.120	3323	9.637	10.662	3323	9.428	8.256	3356	9.091	6.585	3357	8.987
430	703.15	16.360	3344	9.691	10.816	3344	9.479	8.388	3376	9.123	6.678	3377	9.019
440	713.15	16.600	3365	9.745	10.970	3365	9.530	8.520	3396	9.155	6.771	3397	9.051
450	723.15	16.840	3386	9.799	11.124	3386	9.581	8.652	3416	9.187	6.864	3417	9.083
460	733.15	17.080	3407	9.853	11.278	3407	9.632	8.784	3436	9.219	6.957	3437	9.115
470	743.15	17.320	3428	9.907	11.432	3428	9.683	8.916	3456	9.251	7.050	3457	9.147
480	753.15	17.560	3449	9.961	11.586	3449	9.734	9.048	3476	9.283	7.143	3477	9.179
490	763.15	17.800	3470	10.015	11.740	3470	9.785	9.180	3496	9.315	7.236	3497	9.211
500	773.15	18.040	3491	10.069	11.894	3491	9.836	9.312	3516	9.347	7.329	3517	9.243
510	783.15	18.280	3512	10.123	12.048	3512	9.887	9.444	3536	9.379	7.422	3537	9.275
520	793.15	18.520	3533	10.177	12.202	3533	9.938	9.576	3556	9.411	7.515	3557	9.307
530	803.15	18.760	3554	10.231	12.356	3554	9.989	9.708	3576	9.443	7.608	3577	9.339
540	813.15	19.000	3575	10.285	12.510	3575	10.040	9.840	3596	9.475	7.701	3597	9.371
550	823.15	19.240	3596	10.339	12.664	3596	10.091	9.972	3616	9.507	7.794	3617	9.403
560	833.15	19.480	3617	10.393	12.818	3617	10.142	10.104	3636	9.539	7.887	3637	9.435
570	843.15	19.720	3638	10.447	12.972	3638	10.193	10.236	3656	9.571	7.980	3657	9.467
580	853.15	19.960	3659	10.501	13.126	3659	10.244	10.368	3676	9.603	8.073	3677	9.499
590	863.15	20.200	3680	10.555	13.280	3680	10.295	10.500	3696	9.635	8.166	3697	9.531
600	873.15	20.440	3701	10.609	13.434	3701	10.346	10.632	3716	9.667	8.259	3717	9.563
610	883.15	20.680	3722	10.663	13.588	3722	10.397	10.764	3736	9.699	8.352	3737	9.595
620	893.15	20.920	3743	10.717	13.742	3743	10.448	10.896	3756	9.731	8.445	3757	9.627
630	903.15	21.160	3764	10.771	13.896	3764	10.499	11.028	3776	9.763	8.538	3777	9.659
640	913.15	21.400	3785	10.825	14.050	3785	10.550	11.160	3796	9.795	8.631	3797	9.691
650	923.15	21.640	3806	10.879	14.204	3806	10.601	11.292	3816	9.827	8.724	3817	9.723
660	933.15	21.880	3827	10.933	14.358	3827	10.652	11.424	3836	9.859	8.817	3837	9.755
670	943.15	22.120	3848	10.987	14.512	3848	10.703	11.556	3856	9.891	8.910	3857	9.787
680	953.15	22.360	3869	11.041	14.666	3869	10.754	11.688	3876	9.923	9.003	3877	9.819
690	963.15	22.600	3890	11.095	14.820	3890	10.805	11.820	3896	9.955	9.096	3897	9.851
700	973.15	22.840	3911	11.149	14.974	3911	10.856	11.952	3916	9.987	9.189	3917	9.883
710	983.15	23.080	3932	11.203	15.128	3932	10.907	12.084	3936	10.019	9.282	3937	9.915
720	993.15	23.320	3953	11.257	15.282	3953	10.958	12.216	3956	10.051	9.375	3957	9.947
730	1003.15	23.560	3974	11.311	15.436	3974	11.009	12.348	3976	10.083	9.468	3977	9.979
740	1013.15	23.800	3995	11.365	15.590	3995	11.060	12.480	3996	10.115	9.561	3997	10.011
750	1023.15	24.040	4016	11.419	15.744	4016	11.111	12.612	4016	10.147	9.654	4017	10.043
760	1033.15	24.280	4037	11.473	15.898	4037	11.162	12.744	4036	10.179	9.747	4037	10.075
770	1043.15	24.520	4058	11.527	16.052	4058	11.213	12.876	4056	10.211	9.840	4057	10.107
780	1053.15												

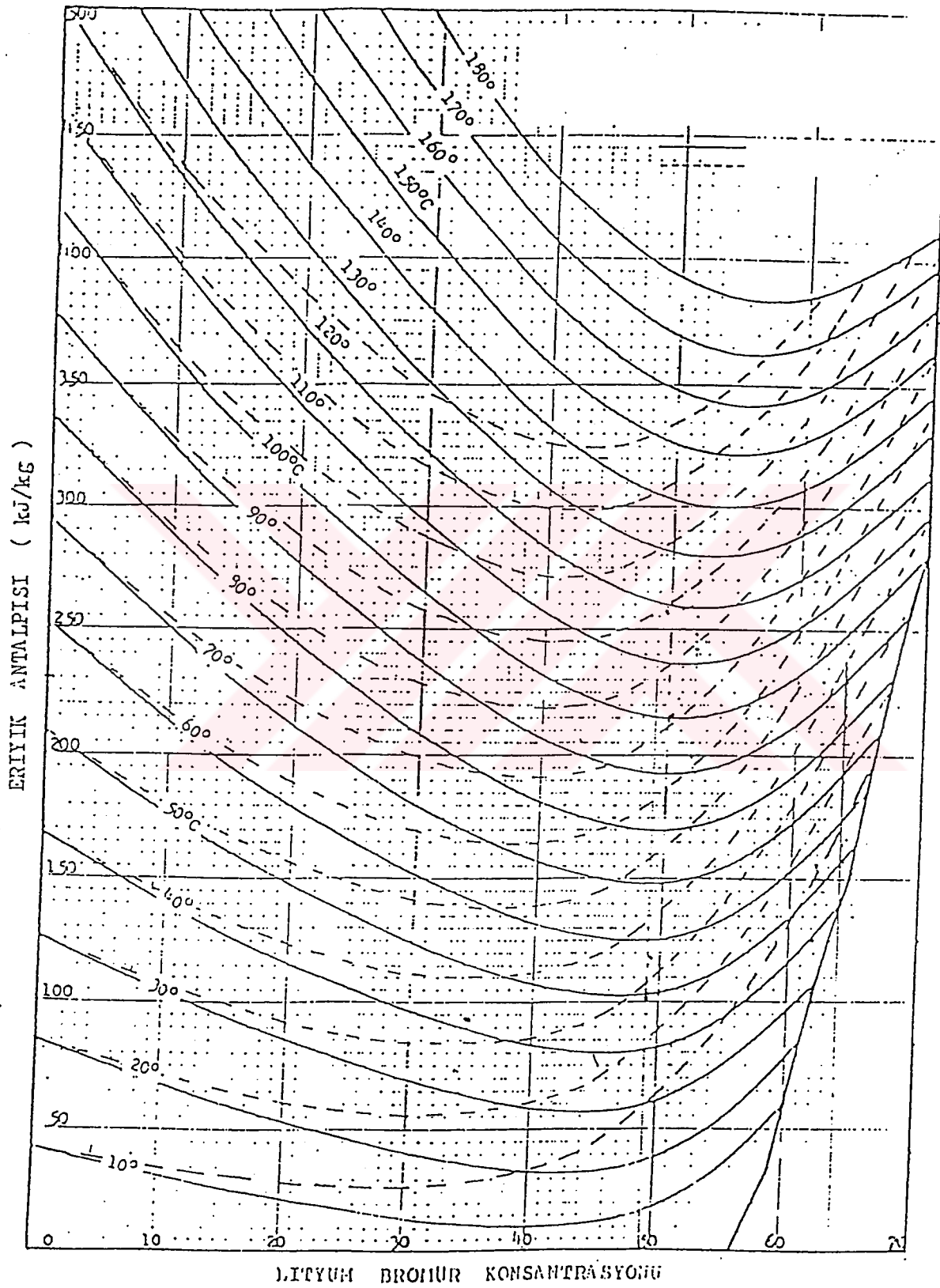
TABLO F.2 Devam

Basınç		0.07 bar			0.08 bar			0.09 bar			0.10 bar		
Sıcaklık		$t_s = 39.01^\circ\text{C}$ $i_s = 2.572 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 20.53 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.274 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 41.54^\circ\text{C}$ $i_s = 2.576 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 18.10 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.227 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 43.79^\circ\text{C}$ $i_s = 2.580 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 16.20 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.186 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 45.84^\circ\text{C}$ $i_s = 2.584 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 14.68 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.149 \text{ kJ/kg K}$		
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	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	20.94	2574	8.279	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715	0.0010079	167.5	0.5715
50	323.15	21.27	2593	8.336	18.61	2593	8.274	16.57	2593	8.220	15.00	2592	8.170
60	333.15	21.94	2612	8.393	19.19	2612	8.331	17.09	2612	8.277	15.35	2611	8.227
70	343.15	22.60	2631	8.449	19.74	2631	8.387	17.61	2631	8.333	15.81	2630	8.283
80	353.15	23.26	2650	8.503	20.31	2650	8.441	18.12	2650	8.387	16.27	2649	8.337
90	363.15	23.92	2669	8.556	20.92	2669	8.494	18.64	2669	8.440	16.74	2669	8.390
100	373.15	24.58	2688	8.608	21.50	2688	8.546	19.16	2688	8.492	17.20	2688	8.442
110	383.15	25.24	2707	8.658	22.08	2707	8.596	19.67	2707	8.542	17.67	2707	8.493
120	393.15	25.90	2726	8.707	22.26	2726	8.645	20.19	2726	8.591	18.13	2726	8.542
130	403.15	26.56	2745	8.755	23.24	2745	8.693	20.70	2745	8.639	18.59	2745	8.589
140	413.15	27.22	2764	8.802	23.82	2764	8.740	21.22	2764	8.686	19.06	2764	8.636
150	423.15	27.88	2783	8.847	24.40	2783	8.785	21.73	2783	8.731	19.52	2783	8.682
160	433.15	28.54	2802	8.892	24.97	2802	8.830	22.25	2802	8.776	19.98	2802	8.727
170	443.15	29.20	2822	8.936	25.55	2822	8.874	22.76	2822	8.820	20.44	2822	8.771
180	453.15	29.86	2841	8.979	26.13	2841	8.917	23.28	2841	8.863	20.90	2841	8.814
190	463.15	30.52	2860	9.021	26.71	2860	8.959	23.79	2860	8.905	21.36	2860	8.856
200	473.15	31.18	2880	9.062	27.29	2880	9.000	24.31	2879	8.946	21.83	2879	8.897
210	483.15	31.84	2899	9.103	27.86	2899	9.041	24.83	2899	8.987	22.30	2899	8.938
220	493.15	32.50	2918	9.143	28.44	2918	9.081	25.34	2918	9.027	22.76	2918	8.978
230	503.15	33.16	2938	9.187	29.02	2938	9.120	25.86	2938	9.066	23.22	2938	9.017
240	513.15	33.82	2957	9.221	29.60	2957	9.159	26.37	2957	9.105	23.68	2957	9.056
250	523.15	34.48	2977	9.258	30.18	2977	9.197	26.89	2977	9.143	24.14	2977	9.094
260	533.15	35.14	2997	9.295	30.75	2997	9.234	27.40	2997	9.180	24.60	2997	9.131
280	553.15	36.46	3037	9.368	31.90	3037	9.306	28.43	3037	9.252	25.53	3037	9.203
300	573.15	37.78	3077	9.439	33.06	3077	9.377	29.46	3077	9.323	26.46	3077	9.274
310	583.15	38.44	3097	9.474	33.64	3097	9.412	29.98	3097	9.358	26.92	3097	9.307
320	593.15	39.10	3117	9.508	34.22	3117	9.446	30.49	3117	9.392	27.38	3117	9.341
330	603.15	39.76	3137	9.541	34.79	3137	9.480	31.00	3137	9.426	27.84	3137	9.374
340	613.15	40.42	3157	9.574	35.37	3157	9.513	31.51	3157	9.459	28.30	3157	9.407
350	623.15	41.08	3177	9.607	35.94	3177	9.546	32.02	3177	9.492	28.76	3177	9.440
360	633.15	41.74	3198	9.640	36.52	3198	9.579	32.54	3198	9.524	29.21	3198	9.473
380	653.15	43.06	3238	9.703	37.69	3238	9.641	33.57	3238	9.587	30.15	3238	9.539
400	673.15	44.38	3280	9.765	38.84	3280	9.704	34.60	3280	9.650	31.08	3280	9.601
410	683.15	45.04	3301	9.796	39.41	3301	9.735	35.12	3301	9.681	31.54	3301	9.632
420	693.15	45.70	3321	9.826	39.98	3321	9.766	35.63	3321	9.711	32.00	3321	9.663
430	703.15	46.36	3342	9.856	40.56	3342	9.795	36.15	3342	9.741	32.46	3342	9.694
440	713.15	47.02	3363	9.886	41.14	3363	9.825	36.66	3363	9.771	32.93	3363	9.725
450	723.15	47.68	3384	9.916	41.72	3384	9.854	37.18	3384	9.800	33.39	3384	9.756
460	733.15	48.34	3405	9.945	42.30	3405	9.883	37.69	3405	9.829	33.85	3405	9.786
470	743.15	49.00	3426	9.974	42.88	3426	9.911	38.21	3426	9.857	34.31	3426	9.816
480	753.15	50.78	3490	10.059	44.61	3490	9.997	39.75	3490	9.943	35.70	3490	9.895
500	783.15	51.64	3512	10.086	45.10	3512	10.025	40.27	3512	9.971	36.16	3512	9.923
520	793.15	52.30	3533	10.114	45.76	3533	10.053	40.78	3533	9.999	36.63	3533	9.950
540	803.15	52.96	3555	10.142	46.34	3555	10.080	41.30	3555	10.026	37.09	3555	9.977
560	813.15	53.62	3576	10.169	46.91	3576	10.107	41.81	3576	10.053	37.55	3576	10.001
580	823.15	54.28	3598	10.196	47.49	3598	10.134	42.32	3598	10.080	38.01	3598	10.011
600	833.15	54.94	3619	10.223	48.07	3619	10.161	42.83	3619	10.107	38.47	3619	10.038
620	843.15	55.60	3640	10.250	48.65	3640	10.188	43.34	3640	10.134	38.93	3640	10.110
640	853.15	56.26	3661	10.277	49.23	3661	10.215	43.85	3661	10.161	39.39	3661	10.182
660	863.15	56.92	3682	10.304	49.81	3682	10.242	44.36	3682	10.188	39.85	3682	10.254
680	873.15	57.58	3703	10.331	50.39	3703	10.269	44.87	3703	10.215	40.31	3703	10.326
700	883.15	58.24	3724	10.358	50.97	3724	10.296	45.38	3724	10.242	40.77	3724	10.398
720	893.15	58.90	3745	10.385	51.55	3745	10.323	45.89	3745	10.269	41.23	3745	10.470
740	903.15	59.56	3766	10.412	52.13	3766	10.350	46.40	3766	10.296	41.69	3766	10.542
760	913.15	60.22	3787	10.439	52.71	3787	10.377	46.91	3787	10.323	42.15	3787	10.614
780	923.15	60.88	3808	10.466	53.29	3808	10.404	47.42	3808	10.350	42.61	3808	10.686
800	933.15	61.54	3829	10.493	53.87	3829	10.431	47.93	3829	10.377	43.07	3829	10.758
820	943.15	62.20	3850	10.520	54.45	3850	10.458	48.44	3850	10.404	43.53	3850	10.830
840	953.15	62.86	3871	10.547	55.03	3871	10.485	48.95	3871	10.431	43.99	3871	10.902
860	963.15	63.52	3892	10.574	55.61	3892	10.512	49.46	3892	10.458	44.45	3892	10.974
880	973.15	64.17	3913	10.601	56.19	3913	10.539	49.97	3913	10.485	44.91	3913	11.046

TABLO F.2 Devam

Basınç		0.12 bar			0.14 bar			0.16 bar			0.18 bar		
Sıcaklık		$t_s = 49.45^\circ\text{C}$ $i'' = 2.591 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 12.35 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.085 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 52.58^\circ\text{C}$ $i'' = 2.596 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 10.69 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 8.031 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 55.34^\circ\text{C}$ $i'' = 2.601 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 9.429 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.984 \text{ kJ/kg K}$			$t_s = 57.82^\circ\text{C}$ $i'' = 2.605 \text{ kJ/kg}$ $v'' = 8.444 \text{ m}^3/\text{kg}$ $s'' = 7.944 \text{ kJ/kg K}$		
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	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	12.44	2592	8.085	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	10.95	2611	8.071	9.573	2610	8.009	8.497	2610	7.954
70	343.15	13.17	2630	8.199	11.29	2630	8.177	9.867	2629	8.065	8.764	2629	8.010
80	353.15	13.55	2649	8.253	11.61	2649	8.191	10.160	2649	8.120	9.024	2648	8.054
90	363.15	13.94	2668	8.305	11.94	2668	8.235	10.450	2668	8.173	9.283	2667	8.117
100	373.15	14.33	2687	8.358	12.27	2687	8.297	10.740	2687	8.225	9.542	2687	8.169
110	383.15	14.72	2706	8.408	12.61	2706	8.337	11.030	2706	8.275	9.809	2706	8.220
120	393.15	15.10	2725	8.457	12.94	2725	8.396	11.320	2725	8.324	10.058	2725	8.269
130	403.15	15.49	2744	8.505	13.27	2744	8.434	11.610	2744	8.372	10.316	2744	8.317
140	413.15	15.87	2764	8.552	13.60	2763	8.481	11.900	2763	8.419	10.574	2763	8.364
150	423.15	16.26	2783	8.599	13.93	2782	8.527	12.190	2782	8.465	10.832	2782	8.410
160	433.15	16.64	2802	8.643	14.26	2802	8.572	12.478	2802	8.510	11.090	2802	8.455
170	443.15	17.03	2822	8.687	14.59	2821	8.616	12.760	2821	8.554	11.347	2821	8.499
180	453.15	17.42	2841	8.730	14.92	2840	8.659	13.057	2840	8.597	11.605	2840	8.542
190	463.15	17.80	2860	8.772	15.25	2860	8.701	13.346	2860	8.639	11.862	2860	8.584
200	473.15	18.17	2879	8.813	15.58	2879	8.742	13.635	2879	8.680	12.120	2879	8.625
210	483.15	18.57	2898	8.854	15.91	2898	8.783	13.924	2898	8.721	12.377	2898	8.666
220	493.15	18.96	2918	8.894	16.24	2918	8.823	14.213	2918	8.761	12.634	2918	8.706
230	503.15	19.34	2937	8.933	16.57	2937	8.862	14.502	2937	8.800	12.892	2937	8.745
240	513.15	19.73	2957	8.972	16.90	2957	8.900	14.790	2957	8.838	13.149	2957	8.784
250	523.15	20.11	2977	9.010	17.23	2977	8.938	15.079	2977	8.876	13.406	2976	8.822
260	533.15	20.50	2996	9.047	17.56	2997	8.975	15.367	2997	8.913	13.663	2997	8.859
270	543.15	20.87	3015	9.084	17.89	3017	9.010	15.654	3017	8.948	13.917	3017	8.896
280	553.15	21.27	3035	9.119	18.22	3037	9.044	15.943	3037	8.985	14.177	3037	8.932
290	563.15	21.64	3054	9.154	18.55	3057	9.077	16.232	3057	9.020	14.437	3057	8.968
300	573.15	22.02	3073	9.188	18.88	3077	9.110	16.521	3077	9.057	14.697	3077	9.003
310	583.15	22.42	3093	9.222	19.21	3097	9.144	16.810	3097	9.092	14.957	3097	9.038
320	593.15	22.81	3112	9.255	19.54	3117	9.178	17.100	3117	9.126	15.204	3117	9.072
330	603.15	23.21	3132	9.288	19.87	3137	9.211	17.390	3137	9.160	15.450	3137	9.106
340	613.15	23.58	3151	9.321	20.20	3157	9.245	17.680	3157	9.193	15.696	3157	9.139
350	623.15	23.96	3170	9.354	20.53	3177	9.278	17.969	3177	9.226	15.941	3177	9.171
360	633.15	24.35	3189	9.387	20.86	3198	9.310	18.259	3198	9.258	16.187	3198	9.204
370	643.15	24.72	3208	9.419	21.19	3218	9.343	18.548	3218	9.292	16.432	3218	9.236
380	653.15	25.10	3227	9.451	21.52	3238	9.375	18.838	3238	9.322	16.677	3238	9.268
390	663.15	25.48	3246	9.483	21.85	3258	9.408	19.127	3258	9.354	16.922	3258	9.299
400	673.15	25.86	3265	9.515	22.18	3278	9.440	19.417	3278	9.386	17.167	3278	9.331
410	683.15	26.24	3284	9.547	22.51	3298	9.472	19.706	3298	9.418	17.412	3298	9.362
420	693.15	26.62	3303	9.579	22.84	3318	9.504	19.996	3318	9.450	17.657	3318	9.394
430	703.15	27.00	3322	9.611	23.17	3338	9.536	20.285	3338	9.482	17.902	3338	9.425
440	713.15	27.38	3341	9.643	23.50	3358	9.568	20.575	3358	9.514	18.147	3358	9.456
450	723.15	27.76	3360	9.675	23.83	3378	9.599	20.864	3378	9.546	18.392	3378	9.487
460	733.15	28.14	3379	9.707	24.16	3398	9.631	21.154	3398	9.578	18.637	3398	9.518
470	743.15	28.52	3398	9.739	24.49	3418	9.663	21.443	3418	9.610	18.882	3418	9.549
480	753.15	28.90	3417	9.771	24.82	3438	9.695	21.733	3438	9.642	19.127	3438	9.580
490	763.15	29.28	3436	9.803	25.15	3458	9.727	22.022	3458	9.674	19.372	3458	9.611
500	773.15	29.66	3455	9.835	25.48	3478	9.759	22.312	3478	9.706	19.617	3478	9.642
510	783.15	30.04	3474	9.867	25.81	3498	9.791	22.601	3498	9.738	19.862	3498	9.673
520	793.15	30.42	3493	9.899	26.14	3518	9.823	22.891	3518	9.770	20.107	3518	9.704
530	803.15	30.80	3512	9.931	26.47	3538	9.855	23.180	3538	9.802	20.352	3538	9.735
540	813.15	31.18	3531	9.963	26.80	3558	9.887	23.470	3558	9.834	20.597	3558	9.766
550	823.15	31.56	3550	9.995	27.13	3578	9.919	23.759	3578	9.866	20.842	3578	9.797
560	833.15	31.94	3569	10.027	27.46	3598	9.951	24.049	3598	9.898	21.087	3598	9.828
570	843.15	32.32	3588	10.059	27.79	3618	9.983	24.338	3618	9.930	21.332	3618	9.859
580	853.15	32.70	3607	10.091	28.12	3638	10.015	24.628	3638	9.962	21.577	3638	9.890
590	863.15	33.08	3626	10.123	28.45	3658	10.047	24.917	3658	9.994	21.822	3658	9.921
600	873.15	33.46	3645	10.155	28.78	3678	10.079	25.207	3678	10.026	22.067	3678	9.952
610	883.15	33.84	3664	10.187	29.11	3698	10.111	25.496	3698	10.058	22.312	3698	9.983
620	893.15	34.22	3683	10.219	29.44	3718	10.143	25.786	3718	10.090	22.557	3718	10.014
630	903.15	34.60	3702	10.251	29.77	3738	10.175	26.075	3738	10.122	22.802	3738	10.045
640	913.15	34.98	3721	10.283	30.10	3758	10.207	26.365	3758	10.154	23.047	3758	10.076
650	923.15	35.36	3740	10.315	30.43	3778	10.239	26.654	3778	10.186	23.292	3778	10.107
660	933.15	35.74	3759	10.347	30.76	3798	10.271	26.944	3798	10.218	23.537	3798	10.138
670	943.15	36.12	3778	10.379	31.09	3818	10.303	27.233	3818	10.250	23.782	3818	10.169
680	953.15	36.50	3797	10.411	31.42	3838	10.335	27.523	3838	10.282	24.027	3838	10.200
690	963.15	36.88	3816	10.443	31.75	3858	10.367	27.812	3858	10.314	24.272	3858	10.231
700	973.15	37.26	3835	10.475	32.08	3878	10.399	28.102	3878	10.346	24.517	3878	10.262

TABLO F. 4 Lityumbromür - Su eriyiği için entalpi - konsantrasyon diyagramı *



TABLO F. 5 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)	$\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s)	Pr
Ammonia (NH ₃) Continued							
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 (CO ₂)							
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
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

TABLO F. 5 Devam

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
Hydrogen (H ₂) Continued							
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 (N ₂)							
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	1.127	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 (O ₂)							
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
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

TABLO F. 5 Devam

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
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	1.935	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

TABLO F. 6 Hiperbolik Fonksiyonlar **

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

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

* Kaynak : McNelly L.A. - Thermodynamic Properties Of Aqueous Solution Of Lithium Bromide)

** Kaynak : Incorpera F.P. - De Witt D.P. - Fundamentals Of Heat And Mass Transfer)

Ö Z G E Ç M İ Ş

Bedii Özgür SEVİNECEK, 19. 11. 1972 tarihinde Bursa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra, 1990 yılında **Bursa Tophane Teknik Lisesi, Makina Bölümünden** mezun oldu. Üniversite eğitimini 1995 yılında Gazimağusa - K.K.T.C. **Eastern Mediterranean University, Makina Mühendisliği Bölümünde** tamamladı. Aynı yıl **Uludağ Üniversitesi, Makina Mühendisliği, Termodinamik Anabilim Dalı'nda** Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

