

**R-508B GAZI İLE ÇALIŞAN KASKAT SOĞUTMA SİSTEMİNDE
KILCAL BORU BOYUNUN ANALİZİ**

İsmail ALTINOK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2008
ANKARA**

İsmail ALTINOK tarafından hazırlanan R-508B GAZI İLE ÇALIŞAN KASKAT SOĞUTMA SİSTEMİNDE KILCAL BORU BOYUNUN ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile MAKİNE EĞİTİMİ Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Musa Galip ÖZKAYA

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tayfun MENLİK

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman Selim TÜRKBAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 10/01/2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

İsmail ALTINOK

**R-508B GAZI İLE ÇALIŞAN KASKAT SOĞUTMA SİSTEMİNDE KILCAL
BORU BOYUNUN ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

İsmail ALTINOK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2008

ÖZET

Düşük sıcaklıklı kaskat soğutma cihazları çeşitli kullanım alanına sahip olmalarına rağmen ülkemizde üretimi yapılamamaktadır. Bu durum düşük sıcaklık gazlarının termodinamik özellikleri ve sistem analizi hakkında literatürde yeterli bilginin olmamasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma; alçak basınç tarafında alternatif soğutucu akışkan R-508B kullanılacak kaskat soğutma sistemleri için, gaz miktarına ve kılcal boru çapına göre çeşitli basınç ve sıcaklıklarda uygun kılcal boru boyunun Visual Basic tabanlı Microsoft Excel programıyla hazırlanan makrolarla hesaplamasını kapsamaktadır.

Bilim Kodu : 708.3.015
Anahtar Kelimeler : Soğutma, kaskat sistem, soğutucu akışkan, R-508B, kılcal boru
Sayfa Adedi : 116
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA

**ANALYSIS ON SIZE OF CAPILLARY TUBE IN CASCADE
REFRIGERATION SYSTEM OPERATED WITH R-508B GAS**

(M. Sc. Thesis)

İsmail ALTINOK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2008

ABSTRACT

Although low temperature cascade refrigeration machines have various areas of use, those cannot be produced in our country. This state is due to not having sufficient knowledge in literature about thermodynamic properties and system analysis of low temperature gas.

This study comprises the calculation of capillary tube size applicable for various pressures and temperatures according to gas quantity and diameter of capillary tube via macros prepared by Visual Basic based Microsoft Excel for cascade refrigeration systems having fluid R-508B as an alternative refrigerant within its low temperature part.

Science Code : 708.3.015

Key Words : Refrigeration, cascade system, refrigerant, R-508B, capillary tube

Page Number: 116

Adviser : Assist. Prof.Dr. Hüseyin USTA

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA' ya ve yine Hocam Yrd. Doç. Dr. Tayfun MENLİK' e değerli arkadaşlarım Mustafa KARAGÖZ ve Turgay ERYILMAZ' a ayrıca program tasarımında katkılarını esirgemeyen öğretmen arkadaşım Süleyman KOÇ' a ve her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SOĞUTMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	5
2.1. Soğutma	5
2.2. Soğutma Yöntemleri	6
2.2.1. Absorpsiyonlu soğutma sistemi	6
2.2.2. Ejektör soğutma sistemi	8
2.2.3. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	9
2.2.4. Kademeli soğutma sistemi	20
2.3. Soğutma Yüğü Hesabı.....	21
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	29
3.1. Giriş.....	29
3.2. Kademeli Soğutma Sistemleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar	29

	Sayfa
4. KADEMELİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ	33
4.1. Kademeli Soğutma Sistemleri	33
4.1.1. Kademeli sıkıştırma	33
4.1.2. Tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı kademeli sistemler	37
4.1.3. Kaskat soğutma sistemleri	39
5. KASKAT SİSTEMLERİNDE KILCAL BORU VE HESAP PROGRAMI	58
5.1. Giriş	58
5.2. Kılcal Boru Genleşme Elemanı Seçimi	58
5.2.1. Kılcal boru boyunun teorik olarak hesaplanması	58
5.2.2. Kılcal boru boyunun pratik olarak hesaplanması	67
5.3. Kullanılan Hesaplama Metodu	68
5.3.1. Hesaplama programı	69
5.4. Hesap Parametreleri	69
5.5. Hesap Sonuçları	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
6.1. Sonuçlar ve Tartışmalar	79
6.2. Öneriler	80
KAYNAKLAR	81
EKLER	84

	Sayfa
EK-1 R-508B'nin Termodinamiksels Özellikleri.....	85
EK-2 Hesap programı Akış Şeması	112
ÖZGEÇMİŞ	116

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Kaskat sistemlerde kullanılan R-13, R-23, R-503, R-508B'nin teorik performanslarının karşılaştırılması.....	44
Çizelge 4.2. R-23 ve R-508B'nin farklı buharlaşma sıcaklıklarında teorik kompresör performansları.....	45
Çizelge 4.3. R-508B gazının genel özellikleri	46
Çizelge 4.4. R-13, R-503, R-23, ve R-508B kullanan kademeli sistemlerin teorik performansları.....	47
Çizelge 4.5. Çeşitli statik dolular	51
Çizelge 5.1. Hesaplama yapılacak çalışma şartları	69
Çizelge 5.2. Hesaplama yapılacak sistemin çalışma şartları.....	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi	7
Şekil 2.2. Ejektörlü soğutma sistemi.....	9
Şekil 2.3. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi.....	10
Şekil 2.4. Sabit çıkış basınçlı genişleme vanası.....	12
Şekil 2.5. TGV'in bağlantısı	13
Şekil 2.6. İçten dengelemeli TGV.....	14
Şekil 2.7. Dıştan dengelemeli TGV	14
Şekil 2.8. Kılcal borunu buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemindeki yeri	15
Şekil 2.9. Soğutma akış şeması.....	22
Şekil 2.10. Buhar sıkıştırırmalı çevriminin T-s diyagramı.....	23
Şekil 2.11. Buhar sıkıştırırmalı çevriminin log P-h diyagramı	23
Şekil 2.12. İdeal carnot çevrimi	24
Şekil 2.13. Basit buhar sıkıştırırmalı çevrimin iki değişiklik ile carnot çevrimine dönüşümü	24
Şekil 4.1. Kademeli sıkıştırma işlemi ve logP-h diyagramı.....	34
Şekil 4.2. Üç kademeli sıkıştırma	36
Şekil 4.3. Tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı kademeli sistem.....	38
Şekil 4.4. Dört kademeli soğutma sistemi.....	39
Şekil 4.5. Kademeli soğutma sistemi ve logP-h diyagramı	40
Şekil 4.6. Kademeli soğutma sisteminde yağ ayırıcı ve sıvı tutucu bağlantısı	42
Şekil 5.1. Kılcal boru parçasının çözümü	59
Şekil 5.2. Kılcal boru boyunun grafiksel tespiti.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Hesaplama da kullanılan sistem.....	70
Şekil 5.4. 0,00267 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	72
Şekil 5.5. 0,00277 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	73
Şekil 5.6. 0,00305 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	74
Şekil 5.7. 0,00333 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	75
Şekil 5.8. 0,00361 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	76
Şekil 5.9. 0,00388 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	77
Şekil 5.10. 0,00416 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için b: 1,2 - 1,25 ve 1,27 mm çap için	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Kılcal boru kesit alanı, m ²
d	Piston Çapı, m
D	Kılcal boru çapı, m
f	Sürtünme katsayısı
f_{ort}	Ortalama sürtünme katsayısı
G	Soğutucu akışkan ağırlığı, kg
g	Yerçekimi ivmesi, m/sn ²
h	Entalpi, kJ/kg
ℓ	Süpürge uzunluğu, m
m	Soğutucu akışkanın kütleli debisi, kg/sn
n	Devir sayısı
P_E	Evaporatör basıncı, kPa
P_K	Kondenser basıncı, kPa
Q_E	Evaporatörden çekilen ısı, kW
Q_K	Kondenserden çekilen ısı, kW
Q_T	Toplam ısı kazancı, kW
r	Silindir sayısı
R_e	Reynolds sayısı
T_E	Evaporatör yüzey sıcaklığı, °C
T_K	Kondenser yüzey sıcaklığı, °C
V	Hacimsel debi, m ³ /sn
v	Özgül hacim, m ³ /kg
v_f	Doymuş sıvının özgül hacmi, m ³ /kg
v_g	Doymuş buharın özgül hacmi, m ³ /kg

Simgeler**Açıklama**

W	Soğutucu akışkan hızı, m/sn
W_C	Kompresör işi, kW
W_{ort}	Ortalama akışkan hızı, m/sn
x	Kuruluk derecesi
μ	Soğutucu akışkan viskozitesi, kg/m.sn
η	Sistem verimi
Δl	Kılcal boru parçası, m

Kısaltmalar**Açıklama**

ASME	Amerikan Makine Mühendisleri Birliği
CFC	Kloroflorokarbon
COP	Soğutma Sisteminin Soğutma Etkinliği
DB	Düşük Basınç
DSD	Düşük Sıcaklık Devresi
EVO	Enerji Verim Oranı
HFCF	Hidrokloroflorokarbon
ITK	Isıtma Tesir Katsayısı
KBB	Kılcal Boru Boyu
ODP	Ozon Tabakasını Tahrip Etme Etkisi
POE	Polyol Ester
STK	Soğutma Tesir Katsayısı
TGV	Termostatik Genleşme Vanası
YB	Yüksek Basınç
YSD	Yüksek Sıcaklık Devresi

1. GİRİŞ

İnsanların daha iyi, rahat, huzurlu ve sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmesi için soğutma ve iklimlendirme tesislerinin kurulmasına ihtiyaç vardır.

Soğutma; sebze, meyve, et, balık, tavuk, süt ve süt ürünlerinin, çiçek ve benzeri bitkiler ile ilaç, kan vb. maddelerin bozulmadan korunmasında, metalürjik, kimyasal vb. endüstriyel uygulamalarda, buz üretiminde, soğutulmuş gazlardan arındırılma işlemlerinde, tıp alanında, klima uygulamalarında, ısı depolama amaçlı ısı pompası uygulamalarında, enerji geri kazanım işlemlerinde, jeotermal enerji ve güneş enerjisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Türkiye'nin sıcak bir iklime sahip olması ve tarım potansiyeli yüksek bir ülke olması nedeniyle soğutmaya ya da sıcaklığının düşürülmesine ihtiyaç duyulan alanlar daha da önem kazanmaktadır. Soğutma uygulamalarının en yaygın olduğu alan denince gıda maddelerinin, soğutulması ve soğuk muhafazası akla gelmektedir. İnsanlar önceleri havanın sıcak olduğu zamanlarda içtikleri suyu soğutmaya çalıştılar. Bu yüzden soğuk havalarda buz üretmeye, daha sonra bunu muhafaza edip, çabuk bozulan yiyecek ve içecekleri kar ve buzla saklama yöntemini geliştirdiler. Daha sonraları teknolojinin gelişmesiyle evlerde soğutucular (buzdolapları) kullanılmaya başlandı. Böylelikle insanlar yiyeceklerini uzun süre aynı tazelikte koruyabilmekte, istediği kadar tüketebilmektedir.

Plastik ve tekstil fabrikaları, ilaç sanayi, bilgi üretim yerleri gibi pek çok endüstri alanlarında da soğutma tekniğinden faydalanılmaktadır. Enerjide de yabancılardan ithal edilen doğal gazın, sıvıya dönüştürülmesi için de, soğutmaya ihtiyaç vardır. Soğutma tesislerinin kurulması, en iyi şekilde işletilmesi, ekonomik olması büyük önem taşır.

Yukarıda yapılan gruplandırmalar için kullanılan soğutma sistemleri ve bu sistemlerin çalışma sıcaklıkları hepsinde birbirinden farklıdır. Örneğin; klima vb. uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcaklık değeri en düşük 0 °C civarında iken, endüstriyel soğut-

ma uygulamalarında $-35\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Kas hücresi, kemik dokusu, bakteri, virüs, aşı, kimyasal maddeler vb. birçok biyolojik ve tıbbi ürü-nün saklanıp ve depolanması ile ziraat, eczacılık, kimya ve petrol alanlarında $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -100\text{ }^{\circ}\text{C}$; oksijen-hidrojen ayırımı (oksijen tüplerinin dolumu) ve doğal gazın sıvılaştırılması gibi kriyojenik uygulamalar için $-150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -190\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır [2].

Yukarıda saydığımız ve sayısını artırabileceğimiz nedenlerden dolayı günümüzde soğutma sistemlerinin kullanım alanını sınırsız olarak algılamak ve yaşamımızın ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirmek hatalı olmayacaktır. Soğutma sistemlerinin kullanım alanının her geçen gün artması soğutma konusuna yeni teknolojilerin eklenmesini beraberinde getirmektedir.

Diğer yandan; soğutma sistemlerinin yaygın kullanımının yanında getirdiği bazı zorlukları göz ardı etmemek gerekir. Özellikle elektrik – elektronik bilgisine, gıda maddelerinin soğuk ortamda korunması konusunda gıda kimyası bilgisi ve teknolojisine ihtiyaç duyulmakla birlikte, tıp, metalürji, petrol, kimya vb. alanlarda kullanılan bir çok soğutma uygulamasında daha sağlıklı ve geniş kapsamlı sonuçlara ulaşabilmek için konunun uzmanlarından oluşan bir ekip çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Günümüz soğutma uygulamalarında en yaygın şekilde kullanılan soğutma sistemi buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleridir. Bu sistemler en basit şekliyle buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı, sıkıştırma (kompresör) ve genleştirme elemanından (genleşme valfi veya kılcal boru) oluşmaktadır. Sayılan elemanlar ile oluşturulan tek kademeli soğutma sistemlerinin çalışma sıcaklıkları sistemde kullanılan soğutucu akışkan türüne bağlı ve en düşük sıcaklık olarak $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -45\text{ }^{\circ}\text{C}$ seviyelerindedir. Bu tür sistemler özellikle eczacılık, ziraat, petrol ve tıp alanlarında ihtiyaç duyulan sıcaklık değerlerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır [3].

Tek kademeli soğutma sistemleri ile $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına inilmek istendiğinde, yüksek sıkıştırma basıncı gerekebilir. Sıkıştırma sonunda kompresör sıcaklığı çok yükseldiği

için yağlama yağını olumsuz etkileyebilir, kompresörün parçalarını bozabilir. Sıkıştırma sonunda sıcaklığın yükselmesine engel olmak ve sıcaklık yükselmesinin sakıncalarını ortadan kaldırmak zorlaşır [2]. Ayrıca, buhar sıkıştırılmalı sistemlerde, düşük buharlaşma sıcaklıklarındaki çalışma şartlarında, soğutma çevriminin kapasitesi ile birlikte performans katsayısı da hızla düşmektedir. Bunun sebeplerinden biri, düşük emiş basıncı ile başlayan sıkıştırma işleminin, aynı çıkış-yoğunlaşma basıncına ulaşabilmesi için daha yüksek bir sıkıştırma oranı ile çalışması gerekliliğidir. Düşük buharlaşma sıcaklıkları gerektiğinde buhar sıkıştırılmalı sistemlerin ihtiyaca cevap verememesinin sebepleri; kompresör çıkış basıncı ve sıcaklığının aşırı yükselmesinin yanında, büyük sıcaklık aralığında çalışabilecek bir soğutucu akışkanın bulunmamasıdır [1]. Bu sebeplerden dolayı düşük sıcaklık uygulamaları kaskat sistemlere göre tasarlanmalıdır.

Düşük sıcaklık uygulamaları, diğer soğutma uygulamalarından farklı ele alınması gereken uygulamalardır. Bunun sebebi; $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında çalışan sistemlerin tasarım ve yapım özellikleri kriyojenik ve endüstriyel soğutma uygulamalarındaki farklıdır. Piyasada mevcut en önemli tip düşük sıcaklıklı soğutma sistemleri, soğutma odaları ve özel amaçlı (hastane, kan bankası vb yerlerde) uygulamalarda kullanılan paket tipi soğutucular ile müşteri istekleri ve saha şartlarına göre tasarlanan özel tip sistemlerdir [2,4].

Kademeli sistemler, soğutucu akışkanın iki veya daha fazla kompresör ile sıkıştırıldığı (kademeli sıkıştırma), iki veya ikiden fazla karışım haldeki soğutucu akışkanın bir veya daha fazla kompresör vasıtasıyla sıkıştırıldığı (tek akışlı karışık akışkanlı) veya her birisinde yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklık ve basınçları farklı soğutucu akışkan kullanılan iki buhar sıkıştırılmalı sistemin ortak bir ısı değiştirici ile birleştirildiği (kaskat) sistemlerdir [5,6]. Günümüzde imal edilen bütün soğutucularda olduğu gibi bu sistemlerde de, 1995 Montreal Protokol'ü uyarınca alternatif akışkan kullanılması zorunluluğu vardır. Bu protokol ile ülkeler ozon tabakasını tahrip etme etkisi (ODP) yüksek olan soğutucu akışkanları belirli zaman dilimi içerisinde kullanımdan kaldırmalarını ve mevcut sistemlerdeki ODP'si yüksek gazları alternatifleri ile değiştirmelerini belirlemektedir [5,6].

Bu çalışmanın amacı, günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan düşük sıcaklıklı kaskat soğutucuların imalatlarında kullanılan alternatif akışkanlardan R-508B gazı ile çalışan sistemlerde genleşme elemanı olarak kullanılacak kılcal boru boyu ve çapının sistemdeki değişik basınç ve sıcaklıklar ile gaz miktarına bağlı olarak değişiminin incelenmesidir.

Çalışmanın ikinci bölümünde; soğutma, soğutma sistemleri, bu sistemlerin çalışma prensipleri, bu sistemlerde kullanılan elemanlar ile soğutma yükü ve buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimin termodinamik analizi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde konu ile ilgili yapılan literatür araştırmasının özeti verilmiştir. Yapılan araştırmada soğutma sistemlerinde kullanılan kılcal boruların hesaplarıyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda çeşitli kılcal boru uzunlukları bulunmuştur. Ayrıca benzer alanlardaki hesaplamalarla ilgili geliştirilen programlar ve hesap yöntemleri de bulunmaktadır. Zaten günümüzde mevcut ticari soğutuculardaki kılcal boru uzunlukları üretici firmaların yaptıkları hesaplar sonucunda kullanılan akışkanların katalog değerlerinde verilmektedir. Bundan dolayı yapılan literatür araştırması üretici firmaların katalog ve el kitaplarından ibarettir.

Dördüncü bölümde, kademeli soğutma sistemlerinin çalışma prensipleri, soğutucu akışkanın seçimi, alternatif akışkanlardan R-508B gazının termodinamik özellikleri ve çalışma şartları, sistemde kullanılan elemanlar ve özellikleri, sistem elemanlarının log P-h diyagramı kullanılarak kapasitelerinin belirlenmesi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, kademeli soğutma sistemlerinde kullanılan elemanlardan kılcal boruların teorik hesapları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca yapılan hesaplardaki bazı parametrelerin değiştirilmesi sonucu ortaya çıkan değerler bulunmaktadır. Sonuçta bulunan değerler ve analizler de yine bu bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Altıncı bölümde yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar ışığında yapılan öneriler bulunmaktadır.

2. SOĞUTMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ

2.1. Soğutma

Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen sıcaklığın altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısısının alınması işlemine soğutma denir.

Bugün yeryüzünde yaşayan insanlığın en az üçte biri açlığa maruz olup, yeterli derecede beslenememektedir. Ancak ne yazık ki, yine bugün insanlığın besin ihtiyacı için üretilen gıda maddelerinin en az üçte biri insanlığın ihtiyacına arz edilmeden bozulmakta ve çürümektedir. Bugün insanlığın besin ihtiyacı için üretilen tüm gıda maddeleri bozulmadan ve çürümeden insanlığa arz edilmiş olsaydı, insanlık belki de açlığa maruz kalmayacak ve yeterli derecede beslenebilecekti [7].

İnsanlığın besin ihtiyacı için üretilen gıda maddelerinin bozulmadan ve çürümeden pazarlanması, nakli ve gerektiğinde tüketime kadar muhafazası için de insanlık öteden beri bazı tedbirlere başvurmuş ve bazı usuller geliştirmiştir.

Bu konuda Türk Tarihine baktığımızda atalarımızın etin bozulmadan değerlendirilmesi için pastırma ve sucuğu, sütün bozulmadan değerlendirilmesi için de peyniri ve tereyağını icat ettiklerini görürüz. Atalarımız aynı zamanda ot, balık ve çeşitli meyve ve sebzelerin kurutularak muhafazasını da sağlamışlar ve her türlü gıda maddelerinin serin mağaralarda saklanması yoluna gitmişlerdir.

Gıda maddelerinin belirli bir müddet bozulmadan saklanması için atalarımızın tarihte sarf ettikleri çaba ve kullandıkları yöntemler sayısızdır. Bu konunun tam olarak tespiti için derinlemesine bir Türk Besin Tarihi etüdü yapmak gerekir.

Zaman içerisinde imkanlar ve usuller değişmiş ve en nihayet 19. asrın sonlarında ve 20. asrın başlarında Avrupa'da ve bilhassa Amerika Birleşik Devletleri'nde gıda maddelerinin genellikle mekanik usullerle soğutulan soğuk depolarda muhafazası yoluna gidilmiştir.

Alınan olumlu sonuçlar neticesinde soğutma başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere batı ülkelerinde bugüne kadar hızla gelişmiştir.

Ülkemizde soğutma adli vakalarda ve hastanelerde I. Dünya Savaşından önce morg odaları ile başlamış olmakla birlikte II. Dünya Savaşından sonra gıda maddesi muhafazası konusunda ticari bir önem kazanmış ve son senelerde bu önem büyük ve hızlı bir artış göstermeye başlamıştır.

2.2. Soğutma Yöntemleri

Günümüzde soğutulacak malzemeye, miktarına, soğutma yapılacak yere, istenilen sıcaklık değerine vb. nedenlere bağlı olarak değişiklik gösteren soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Soğutma sistemlerinin yaygın olarak kullanılanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

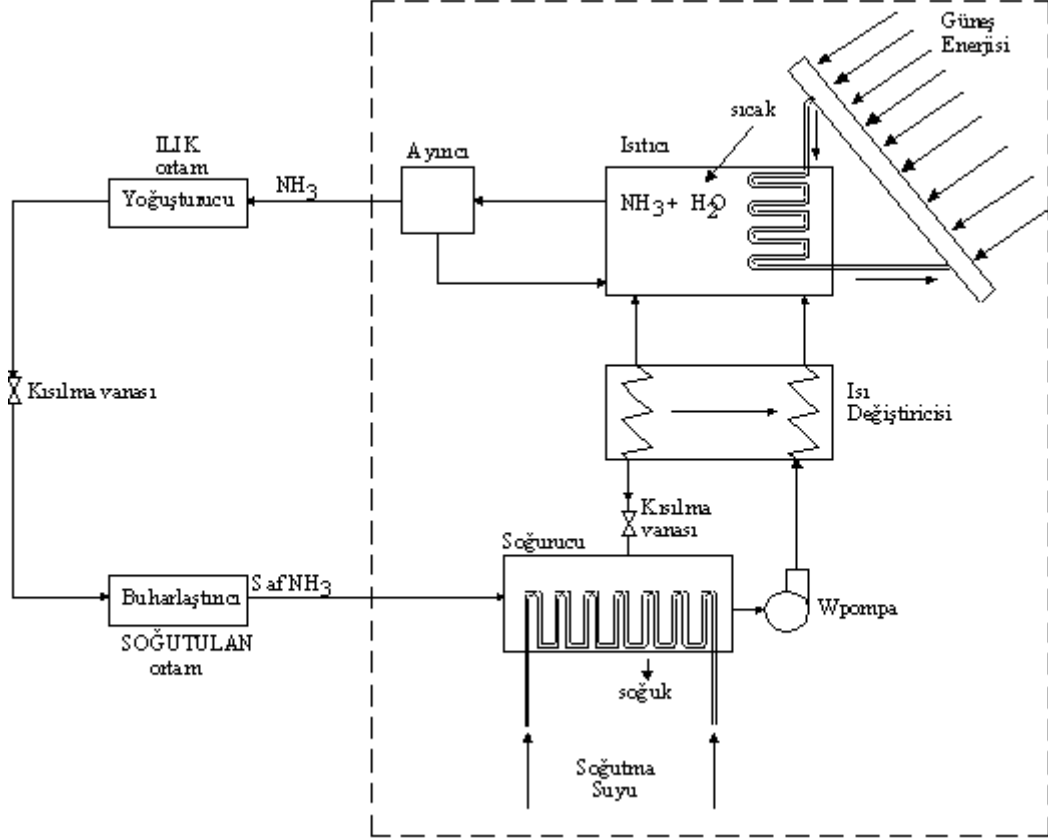
- Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi,
- Ejektörlü Soğutma Sistemi,
- Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sistemi,
- Kademeli Soğutma Sistemi [7].

Bu bölümde absorpsiyonlu, ejektörlü, gaz sıkıştırırmalı ve buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri kısaca izah edilip; kademeli soğutma sistemlerinden dördüncü bölümde ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

2.2.1. Absorpsiyonlu soğutma sistemi

Bu sistemde akışkan sıvı halde iken ısıtılarak basınç kazandırılır. Buharlaştırıcıya gelen soğutucu akışkan buharı absorberdeki sıvı tarafından absorblanır. Ortaya çıkan ısı, hava veya soğutma suyu ile uzaklaştırılır. Karışımın basıncı pompada artırılır ve jeneratörde yüksek sıcaklıkta ısı verilerek, soğutucu akışkan zengin buhar karışımı elde edilir. Karışım yoğunlaştırıcıya gitmeden önce, absorblayıcı akışkan buharının çoğu yoğunlaştırılarak saflık artırılır. Buharlaştırıcıya gelen soğutucu akışkan ısı a-

olarak buharlaşır ve çevrim devam eder. Şekil 2.1’de $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ (amonyak – su) akışkan çifti ile çalışan absorpsiyon soğutma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.1. $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi

Bugün absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde en çok kullanılan soğutucu akışkan ve absorban madde çiftleri şunlardır;

1. Amonyak-Su
2. Su-Lityum klorür
3. Su-Lityum bromür
4. Metil klorür-Dimetil eter

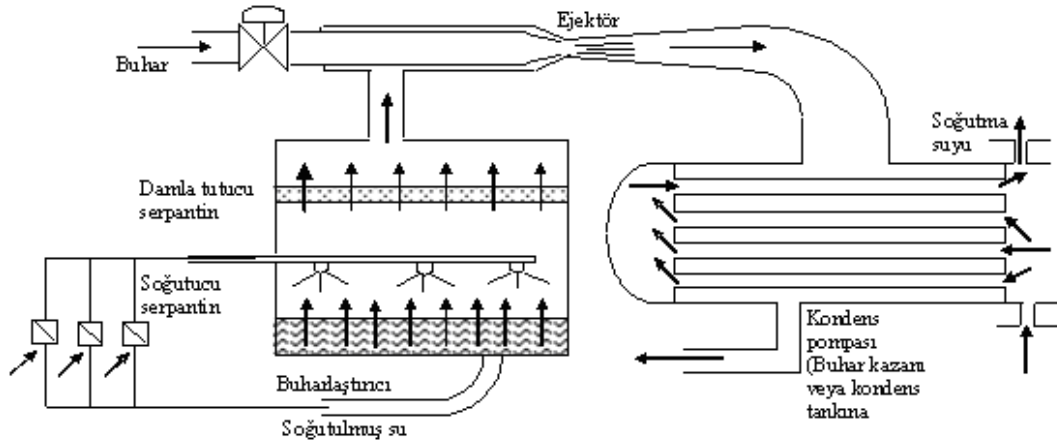
Şekil 2.1’de soğurma mekanizması içinde soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştirici, kısılma vanası ve ayırıcı vardır. Bu elemanların hepsi NH_3 ’ün basıncını yükseltmek için bir araya getirilmiştir. NH_3 , basıncı bu depo içerisinde yükseltildikten sonra

yoğunlaştırıcıda soğutularak yoğunlaştırılmakta, buharlaştırıcı basıncına kısılmakta ve buharlaştırıcıdan geçerken soğutulan ortamdan ısı çekmektedir. Depo içerisinde ise amonyak buharı, buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer, burada su içinde soğurularak ve suyla kimyasal reaksiyona girerek $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisini oluşturur. Bu reaksiyon ısı veren (ekzotermik) bir reaksiyondur. Gaz haldeki amonyak su ile karışarak sıvı hale dönüştüğünden yoğunlaşma gizli ısıyı karışım sıcaklığını yükseltmektedir. H_2O içinde soğurulabilen NH_3 miktarı sıcaklıkla ters orantılıdır. Bu nedenle soğurucu sıcaklığını olabildiğince düşük tutmak ve buna bağlı olarak soğurulabilen NH_3 miktarını artırmak için soğurucudan ısı çekilir. Ayrıca soğurulma suyun yüzeyinde olduğu için, su yüzeyinin sıcaklığı artar ve soğurulma yavaşlar. Bunun için soğurucunun karıştırılması gerekir.

Amonyak bakımından zengin olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisi daha sonra ayırıcıya pompalanır. Çözelti ayırıcıda dış kaynaktan sağlanan ısıyla ısıtılır burada NH_3 buharlaştırılır. Elde edilen saf amonyak buharı yoğunlaştırıcıya geçerek çevrimi sürdürür. Isıtıcıda kalan amonyak bakımından zayıf $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisi, bir ısı değiştiricisinden geçer, pompadan çıkan çözeltiye bir miktar ısı verir ve daha sonra soğurucu basıncına kısılır. Burada su amonyak bakımından zengin olan buhardan ayrılarak soğurucuya geri dönmüş olur.

2.2.2. Ejektör soğutma sistemi

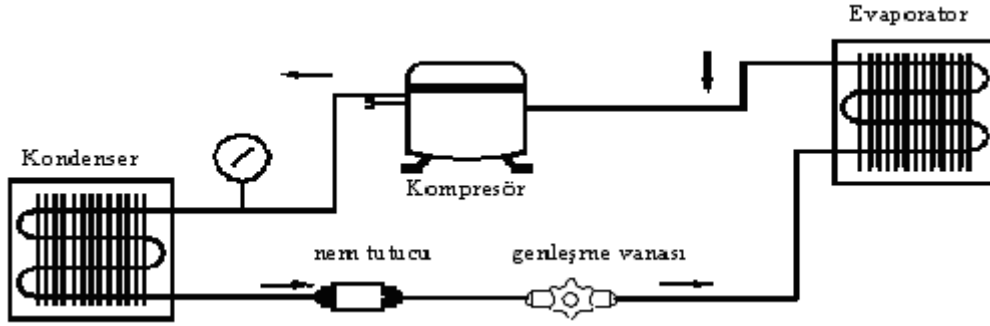
Bu sistemler buhar tesislerinin bulunduğu ve buharın ucuz olduğu yerlerdeki klima soğutmalarında tercih edilir. Buharlaştırıcıda buharlaşan soğutucu akışkan bir ejektör ile sürüklenerek soğutmayı gerçekleştirmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Ejektörlü soğutma sistemi

2.2.3. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi

Günümüzde soğutma uygulamalarında en çok kullanılan soğutma sistemi buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleridir. Bir miktar soğutucu akışkan çevrim sırasında yoğunlaştırılıyor ve buharlaştırılıyor buna “Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi” denir. Çevrim esnasındaki yoğunlaşma ile buharlaşma işlemleri sırasındaki basınçlara sırasıyla yoğunlaşma (P_K), bu-harlaşma (P_E) basıncı; sıcaklıklara ise yoğunlaşma (T_K), buharlaşma (T_E) sıcaklıkları adı verilir. Şekil 2.3’te buhar sıkıştırımlı soğutma düzeni görülmektedir. Buradaki sistemde iki farklı basınç ve iki farklı sıcaklık bölgesi bulunur. Basınçlar; emme hattındaki buharlaşma basıncı ya da alçak basınç bölgesi, basma hattındaki yoğunlaşma basıncı veya yüksek basınç bölgeleridir. Sıcaklıklar ise emme hattındaki düşük sıcaklık bölgesi ve basma hattındaki yüksek sıcaklık bölgeleridir. Sistemde kullanılan gazın ısıl özelliği dikkate alınarak soğutulacak hacmin iç şartlarına göre düşük sıcaklık ve dış şartlara göre de yüksek sıcaklık sağlayacak şekilde basınçlar kompresör gücü, gaz miktarı ve genleşme vanası (veya kılcal boru uzunluğu) gibi üç değişkenin bileşkesi ile ayarlanır.



Şekil 2.3. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi

Soğutucu akışkanlar

Buhar sıkıştırırmalı bir soğutma çevrimin de ısının düşük sıcaklıklı ortamdaki alınarak yüksek sıcaklıktaki başka bir ortama iletilmesinde kullanılan ara maddeye soğutucu akışkan denir [7,8,9]. Bu durum çevrim içerisinde dışarıdan kompresör ile verilen bir iş sayesinde sıvı ve buhar halleri arasında gerçekleşir.

Son 20 yıla kadar soğutma sistemlerinde inorganik soğutucu akışkanlar olan kloroflorokarbon (CFC) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) yaygın olarak kullanılmaktaydı. Ancak CFC'lerin çevreyi kirlettikleri ve ozon tabakasına zarar verdiklerinin gündeme geldi. Bunun tespitinden sonra CFC içeren maddelerin kullanımının azaltılması ve CFC içermeyen yapay soğutucu akışkanlar üzerine çalışmalar başladı.

Soğutucu akışkanlardan meydana gelen ozon tahribatının önlenmesiyle ilgili ilk çalışma 1985 yılında Viyana'da Birleşmiş Milletler Çevre Programının (UNEP) katkılarıyla imzalanan Viyana Sözleşmesi ile başlamıştır. Bu sözleşme, imzalayan ülkelere yükümlülükler getirmek yerine, olayın güncelliğinin korunması üzerinedir. 1987 Eylül'ünde ABD, o günkü SSCB, Japonya ve Avrupa Topluluğu ülkelerinden oluşan 43 ülkenin katılımıyla Montreal Protokolü imzalanmıştır. Bu protokole göre, taraf olan ülkeler ODP özelliği olan maddelerin kullanımını 1986 yılı verileri ışığında toplam kullanım miktarlarını 1995 yılında % 50, 1997'de % 85 azaltılarak 2000 yılında tamamen kullanımını durdurmayı kabul etmişlerdir. Montreal Protokolüne imza atan ülke sayısı 1992'de 80'e, 1994'de 134'e, 1995'de 150'ye ulaşmıştır. Bu toplantıların

en sonucusu 2000 yılında Londra'da yapılmış ve CFC ve halonların üretim ve kullanımlarını öncelikle durdurulmasına, daha sonra kademeli olarak ülkelere göre sistemlerdeki mevcut gazlar ile alternatiflerinin değiştirilmesine karar verilmiştir.

Türkiye Montreal Protokolüne 20 Eylül 1991 yılında imza atmıştır. ODP'sı olan madde tüketimi yıllık kişi başı ortalama 0,3 kg ile Türkiye geliştirmekte olan ülkeler grubunda yer almaktadır. Türkiye bu protokole göre 2010 yılına kadar CFC tüketimini sıfırlayacaktır. Protokoldeki kademelendirme de bu süre gelişmiş ülkelere göre 10 yıllık bir ilave zaman dilimi anlamına gelmektedir [10,11].

Soğutucu akışkanlarda aranan özellikler

- Buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır.
- Buharlaştırıcı basıncı mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır.
- Yoğunlaştırıcı basıncı mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır.
- Viskozitesi düşük ve yüzey gerilimi az olmalıdır.
- Az enerji ile fazla soğutma elde edilebilmelidir.
- Kaçak anında yiyeceklere, insanlara ve çevreye zarar vermemelidir.
- Kompresör yağlama yağları ile tepkimeye girmemelidir.
- Yanıcı ve patlayıcı olmamalıdır.
- Kritik çalışma noktalarına gelene kadar çözülmemeli, bütün özelliklerini muhafaza etmelidir.
- Hermetik kompresörler için elektriksel özellikleri uygun olmalıdır.
- Çevreye uyumlu olmalıdır [12].

Sayıdığımız bu özelliklerin hepsini tek bir soğutucu akışkanda bulmak mümkün olmamakla beraber çalışma şartlarına bağlı olarak bir kısmını temin etmek mümkün olabilir.

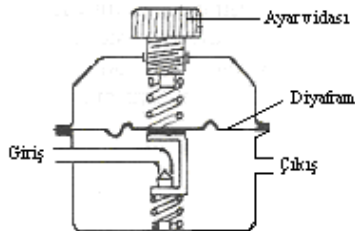
Genleşme elemanları

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri düşük ve yüksek basınç kısımları olarak iki farklı basınç bölgesinden oluşurlar. Bu iki bölge arasında akışkan kompresör vasıtasıyla dolaştırılır. Akışkanın düşük basınç bölgesine geldiğinde buharlaşabilmesi için basıncının buharlaşma basıncına düşürülmesi gerekir. Soğutma sistemlerinde bu görev genişleme vanası veya kılcal boru ile sağlanır. Farklı bir tarif ile kompresör vasıtasıyla akışkanın basıncı yoğunlaştırıcıda genişleme elemanı sayesinde yükseltilecek yoğunlaşması sağlanır ve yine genişleme elemanı sayesinde basıncı buharlaştırıcıda buharlaşma basıncına düşürülerek buharlaşması sağlanır.

Genleşme vanaları

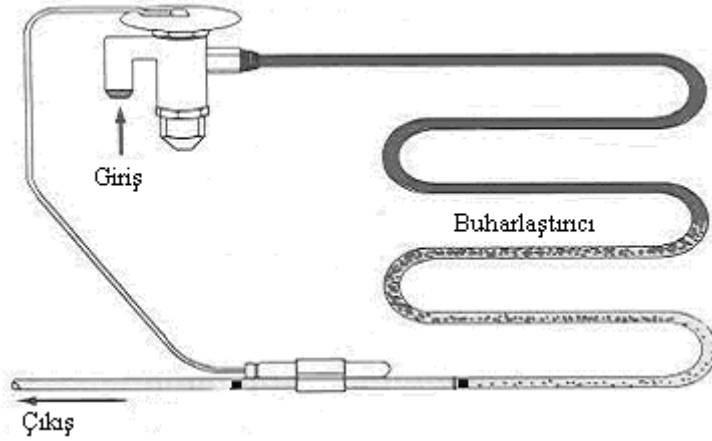
Genleşme vanaları iki gruba ayrılır. Bunlar sabit çıkış basınçlı ve termostatik genişleme vanalarıdır.

Sabit çıkış basınçlı genişleme vanalar (SÇBGV) daha çok küçük kapasiteli soğutma uygulamalarında kullanılır. Elle yapılan çıkış basınç ayarı sabit olup çalışma süresince hiç değişmez. Dolayısıyla buharlaşma yükleri sabittir. Buharlaştırıcı yükündeki olası bir değişmeye bağlı farklılaşan kızgınlık değerini karşılamak sıvının buharlaştırıcıya daha fazla geçmesini sağlamak bu tip vanalarla mümkün değildir. Bu nedenle, bu tip vanalar sadece yük değişimleri çok az olan buharlaştırıcı uygulamaları için kullanılmalıdır. Şekil 2.4'te sabit çıkış basınçlı genişleme vanası görülmektedir.



Şekil 2.4. Sabit çıkış basınçlı genişleme vanası

Termostatik genleşme vanaları (TGV) buharlaştırıcıya sıvı akışkan akışını kontrol eden ve ayarlayan, buharlaşan miktarda soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya geçmesine imkan veren hassas genleşme elamanlarıdır. Buharlaştırıcıdan çekilen soğutucu akışkan miktarı, TGV yardımıyla soğutucu akışkan çıkış sıcaklığı ve çıkış basıncını ölçerek, belirli ve emniyetli bir kızgınlık değerinin muhafaza edilmesini sağlar. Bu suretle uygun miktarda soğutucu akışkan TGV sayesinde buharlaştırıcıya gönderilir. Böylece buharlaştırıcıya gereğinden fazla akışkan gitmesi önlenmiş; dolayısıyla kompresöre sıvı giderek zarar görmesi engellenmiş ve sistemin dengede çalışması sağlanmış olur. TGV'in sisteme bağlantısı Şekil 2.5'te görülmektedir.

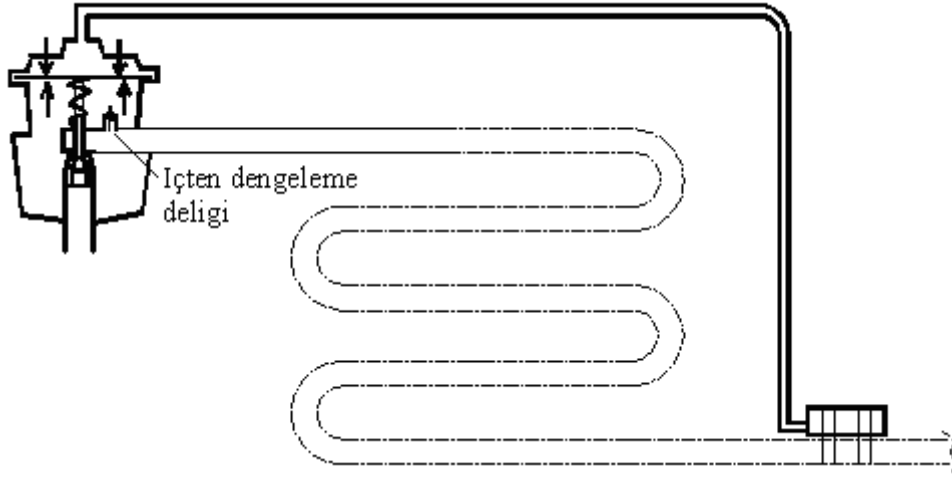


Şekil 2.5. TGV'in bağlantısı [13]

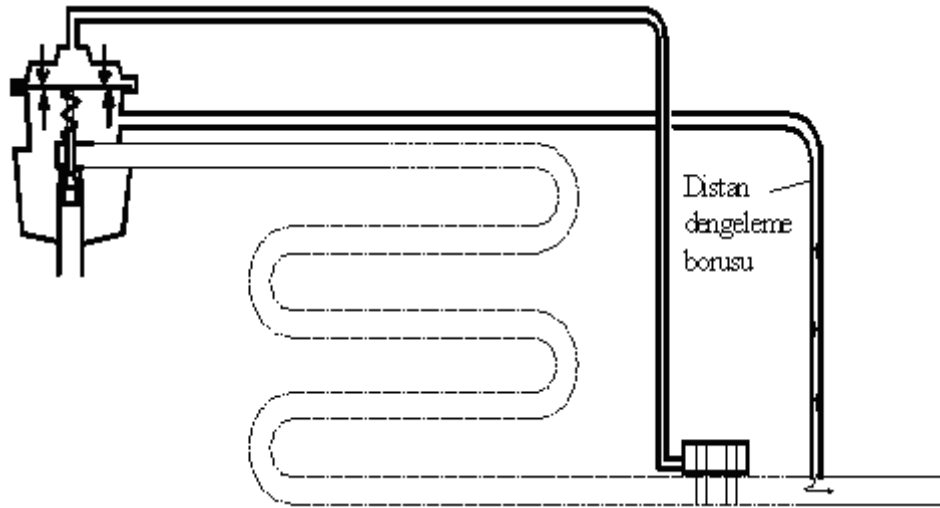
TGV' ler dengeleme çeşitlerine göre ikiye ayrılır.

Bunlar;

- İçten dengelemeli TGV' ler (Şekil 2.6),
 - Dıştan dengelemeli TGV' ler (Şekil 2.7)
- dir.



Şekil 2.6. İçten dengelemeli TGV [13]



Şekil 2.7. Dıştan dengelemeli TGV [13]

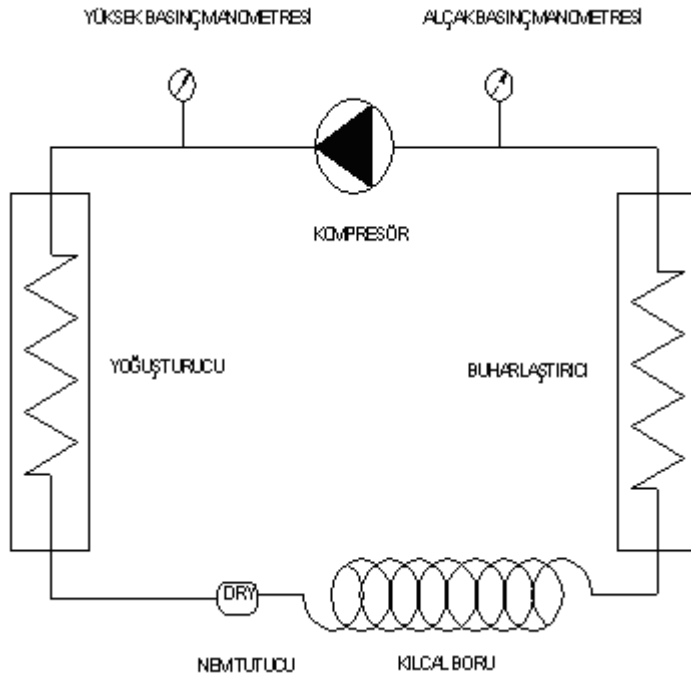
Şekillerden de görüldüğü üzere, içten dengelemeli TGV' de dengeleme, vana çıkış noktasında sıvı fazındaki soğutucu akışkanın basıncı tarafından yapılmaktadır. Dıştan dengelemeli TGV' de ise buharlaştırıcı çıkış noktasında gaz fazındaki soğutucu akışkanın basıncına göre yapılmaktadır.

Kılcal boru

Kılcal borular, montajlarının kolay olması, ekonomik olmaları ve tıkanma dışında

herhangi bir arızaya yol açmamalarından dolayı buhar sıkıştırımlı evsel ve ticari soğutucularda yaygın olarak kullanılır [3].

Soğutma sisteminde, yüksek basınç tarafından düşük basınç tarafına sıvı soğutucu akışkanın geçişini ölçülü şekilde kontrol etmek üzere, küçük kapasiteli sistemlerde pratik ve ekonomik bir çözüm sağlar.



Şekil 2.8. Kılcal borunu buhar sıkıştırımlı soğutma sistemindeki yeri

Kılcal borular, genişleme vanaları, akış vanaları vb. ile aynı sınıfa dahil edilerek soğutucu akışkan kontrol cihazları olarak tanımlanırlar ve yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasına bağlanırlar. Şekil 2.8’ de kılcal borunun basit bir soğutma sistemine bağlantısı gösterilmiştir.

Özellikle paket halde seri olarak imal edilen ev tipi soğutucular, klima cihazları gibi soğutucu akışkan borularını çapları ile sistem bileşenlerinin geometrisi belli olan ve daha ziyade hermetik kompresörle çalışan sistemlerde sık kullanılırlar.

Kılcal boru, çapı küçük ve boyu gerektiği şekilde uzun tutulmuş bir boru olup

akışkanın geçişini sınırlayarak basıncını düşürmektedir. Kılcal boru iç çapı ile boyu, kullanılacağı soğutucu akışkanın türüne, soğutma kapasitesine ve buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklık şartlarına göre değişir.

Soğutucu akışkanın en büyük basınç düşümü, kılcal borunun son kısımlarında ve kısmen buharlaşmaya başladığında (hacimsel debi ve hızlar arttığında) meydana gelmektedir ki buharlaştırıcıya girişte buharlaşan akışkan miktarı % 10 - %20 arasında olabilsin.

İç çapının çok küçük olması, sistemde kalabilecek kaynak çapağı, pislik, bakır talaşı, su vb. gibi yabancı maddelerle kolayca tıkanabilmesine neden olacağından kılcal borunun önüne bir pislik tutucu konulması çok yararlı olmaktadır.

Kılcal boru seçiminde, iç çapı biraz büyük seçmek tıkanma ihtimalini azaltacaktır. Kılcal boru açık bir boru olduğu için sızdırmazlık görevi yapamaz. Kompresör durduğunda, soğutucu yüksek ve düşük basınçlar dengelenene kadar kılcal borudan akmaya devam eder. Kompresör bu anda yüksüz bir haldedir ve kompresörü yeniden çalıştırmak için nispeten küçük bir tork gerekir. Bu çoğunlukla kılcal boru uygulaması için tasarlanmış, düşük maliyetli, düşük torklu hermetik motor-kompresör tertibatı kullanmayı mümkün kılar. Sistem çevrime başladığı zaman, birden yüksek basınç oluşur ve sıvı soğutucu akışkan kılcal borudan akmaya başlar. Kılcal borunun akış kapasitesi emme basıncından çok basma basıncına bağlıdır.

Basma basıncı çok hızlı bir şekilde artmadığı için kompresör soğutucu akışkanın buharını yoğuşturucu dışına normalden yüksek oranda pompalayacak ve emme basıncı çok hızlı bir şekilde düşecek ve sonuçta normalin altında ölçümler yapılacaktır. Yoğuşturucu ısı şeklinde normal çalışma ısısına ve basıncına dönene kadar bu durum devam edecektir.

Kılcal borulu sistemlerin özellikle yüksek basınç tarafı dikkatle tasarlanıp hesabı yapılmalıdır. Yoğuşturucu hacmi gerektiğinde tüm sıvı soğutucu akışkanı toplayabilecek kadar büyük, buharlaştırıcıdan tüm soğutucu akışkanın süpürülerek yoğuşturucu-

ya yığılmasına, yani soğutucu akışkan eksikliğini oluşturmayacak şekilde küçük olmalıdır. Bu iki sınırlayıcı değer yoğuşturucunun iç hacminin tayininde esas olacaktır. Diğer yandan, yoğusturucu da yoğuşan soğutucu akışkanın, kompresör durduğunda kılcal boru girişine doğru yerçekimiyle akarak toplanması sağlanmalıdır. Aksi halde, yani; sıvı soğutucu akışkanın yoğusturucunun değişik yerlerinde toplanmasıyla, kılcal boruya sıcak gaz gelerek kılcal borudan geçip buharlaştırıcıya girer ve orada yoğuşur. Bu durum, hem düşük ve yüksek basınç taraflarındaki basınçların aynı seviyeye gelmesini geciktirip tekrar kalkışta kompresörün yük altında kalmasına sebep olur, hem de kompresöre sıvı gelmesine sebep olabilir. Düşük basınç tarafının tasarımında önemli olan husus soğutucu akışkan şarjının gerekli miktarının mümkün olduğu kadar az olmasıdır. Buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarı, sistem dururken en yüksek değere erişecek, çalışırken ise aksine en düşük seviyede olacaktır.

Alçak basınç tarafının tasarımında önemli olan husus soğutucu akışkan şarjının gerekli miktarının mümkün olduğu kadar az olması ve bu şarj miktarındaki toleransın geniş olmasıdır.

Kılcal borunun seçiminde en güvenli yaklaşım yoğusturucu, kompresör ve buharlaştırıcı kapasitelerinin dengelenmesi şeklindedir. Eğer kılcal borunun direnci yoğusturucu da sıvı soğutucu akışkan yığılmasını önleyecek ve kılcal boru girişinde yeterli bir sıvı birikiminin meydana gelmesini sağlayacak şekilde olabiliyorsa sistem dengelidir denir.

Kılcal boru kullanılan soğutma sistemlerinde gereğinden fazla soğutucu akışkan şarj edilmemesine çok dikkat edilmelidir. Aksi halde kompresöre sıvı halde soğutucu akışkan gelecektir ve bu kompresörde ciddi hasarlara yol açabilir. Aşırı şarjın önlenmesi, cihaz imalatçısının verdiği değerleri aşmamak suretiyle sağlanabilir. Emiş borusundaki karlanma oluşması aşırı şarjın göstergesidir.

Çoğu uygulamada kılcal boru, bir ısı değişirme etkisi sağlamak üzere buharlaştırıcı çıkışından kompresöre giden emiş borusuna tespit edilerek boylu boyunca sert lehimle bağlanır. Böylece sistemin performans katsayısı artırılmış olur. Ancak, kaynak

işlemi yapılırken aşırı ısıtma, iç yüzeylerde oksidasyona sebep olacağından çok dikkatli davranılmalı, mümkünse kılcal boruya içten azot vb. bir asal gaz sürekli şekilde hafifçe üflenmelidir.

Kılcal boruda oluşabilecek keskin kıvrımlar ek bir basınç düşümüne sebep olacağından, yani doğru seçilmiş bir elemanın çalışması sırasında, hatalı kontrol yapmasına neden olabileceği için bu ayrıntıya dikkat edilmelidir.

Paket soğutucu ve klima imalatçıları genellikle yaptıkları numune modeller üzerinde deneyerek en uygun çap ve boydaki kılcal boruyu seçmektedirler. Bu nedenle, yenilenmesi gereken bir kılcal boruyu yine aynı iç çap ve boydaki boru ile değiştirmelidir.

Kılcal boru prensibine göre kılcal borudaki sıvı haldeki soğutucu akışkan gaz halden daha kolay ve çabuk hareket eder. Bu suretle herhangi bir sebeple sistem dengesi bozularak kılcal boruya gaz halinde soğutucu akışkan girdiğinde, akış debisi düşecek ve basınç farkları çok az değişecektir. Kılcal borudan geçen soğutucu akışkanın debisi, yoğunlaştırıcı basıncı arttıkça artar. Böyle bir durumun neden ve anlamı, sistemin soğutucu akışkan şarjının sıvı olarak buharlaştırıcıda yığılması, yani; ısı yükünün azalması demektir ki, kılcal borudan birim zamanda geçen soğutucu akışkanın azalması zaten istenen bir durumdur. Basınç farkının değişmemesi ise sistemin dengesi için gereklidir. Aksi durum olduğunda ise; sıvı soğutucu akışkan yoğunlaştırıcı da yığılacak ve bunun sonucu aşırı soğutma etkisi kazanarak, hem kılcal borudan daha yüksek debiyle geçmesi, hem de buharlaştırıcıda daha fazla soğutma etkisi meydana getirmesi sağlanmış olacaktır. Böylece buharlaştırıcıdaki ısı yükünün artması karşılanmış olur. Doğru şekilde uygulanmış bir kılcal boru, sistemin artan ve azalan soğutma yükleri karşısında dengeleyici etki yaparak vazife görür ki bu önemli ve istenen bir özelliktir.

Kılcal borunun içerisinden geçen soğutucu akışkanın debisi, kılcal boruya giriş ve yoğunlaştırıcı tarafı basıncı arttıkça artar. Çıkış tarafı basıncının belirli bir değerine kadar (kritik basınç) basınç düştükçe akış debisi yine artar, kritik basıncın altındaki basınçlarda debi artık artmaz.

Kılcal borular, genleşme vanaları, akış vanaları, vb. ile aynı sınıfa dahil edilerek soğutucu akışkan kontrol cihazı olarak tanımlanır. Soğutma sistemleri yüksek basınç tarafında soğutucu akışkan geçişini ölçülü bir şekilde kontrol etmek üzere küçük kapasiteli sistemlerde tercih edilen sistem bileşeni olarak da tarif edilebilir [12].

Kılcal boruda sabit entropide (izentalpik) sistemin basıncı düşürülür. Kılcal boru girişinde sıvı halde olan soğutucu akışkan kılcal boru içerisinde sıvı-buhar karışımıdır. Bu durumdan dolayı kılcal boru içerisinde basınç düşüşünü hassas olarak hesaplamak oldukça zordur. Borularda tek fazlı akışta basınç kaybı için kullanılan bağıntılar, bazı değişikliklerle kılcal borudaki basınç kaybının ve kılcal boru uzunluğunun yaklaşık olarak hesaplanmasında kullanılmaktadır [14].

Kılcal boru kullanmanın avantajları

Birincisi maliyettir. Kılcal borunun kullanımının geliştirilmesindeki ana neden parça maliyetini düşürerek sistem toplam maliyetini düşürmektir.

İkinci avantaj ise boşaltma torkunu düşürmektir. Bu durum daha çok dolaşım yokken ortaya çıkar. Kompresör kapalıyken bir şamandıra veya genleşme vanası, sistemin yüksek basınç ile düşük basınç tarafını ayırır. Buharlaştırıcıda yükselen basınç genleşme vanasını kapatır ve düşük basınç tarafı şamandırasındaki soğutucunun kaynamasındaki düşme şamandıranın açılmasını önler. Böylece basma basıncı yüksek emme basıncıda düşük kalır. Kompresör çevrimi başlatırken, kompresörün karşı hareket yaptığı bir basınç farkı oluşur ve ilave boşaltma torkuna ihtiyaç kalmaz.

Ayrıca kılcal boru açık bir boru olduğu için sızdırmazlık görevi yapmaz. Kompresör durduğunda soğutucu, basınçlar dengeye gelene kadar akmaya devam eder. Kompresör bu anda yüksüz bir durumdadır ve yeniden çalıştırmak için küçük de olsa bir tork gerekir. Bu çoğunlukla kılcal boru uygulaması için tasarlanmış düşük maliyetli, düşük torklu hermetik kompresör kullanmayı mümkün kılar [13].

Kılcal boru kullanmanın dezavantajları

Daha önce de açıklandığı gibi, kılcal borunun soğutucu akışını ayarlama kabiliyeti yoktur. Bu yüzden, ünitedeki yük azalınca veya çoğalınca, sistemin verimi termostatik genleşme valfi kullanan sistemlerdekenden daha yüksek oranda düşer. Ünite çevrim durunca, kılcal boru soğutucu akışını durdurmaz. Bu kompresörün başlatma torku için gereksinimi için bir avantajdır, fakat kompresörün mekanik ömrü için dezavantajdır. Sistemdeki soğutucu miktarı ciddi biçimde kompresörün ömrünü kısaltabilir. Sistem çevrim dışındayken, DG serpantin tutabileceğinden daha fazla sıvı soğutucu ihtiva etmemelidir. Serpantin, bu durumda çevrim sırasında maksimum kapasite için gereken sıvı soğutucu ile dolu olmalıdır ki bu miktarlar arasında denge sağlanabilsin.

Sistem hacimleri bunu halletmek için üretici tarafından tasarlanır ve soğutucu dolum miktarı belirtildiğinde, sisteme konulan soğutucu miktarı bu miktarı aşmamalıdır.

Sistemin gerçek karşılaştırması çalışma verimiyle olur, enerji verimi oranı (EVO). EVO; kW ölçü birimindeki net kapasiteyi, kapasiteyi sağlamak için gerekli watt elektriğe bölerek belirlenir. %100'lük soğutucu dolum miktarında EVO değeri 2,56; % 105 dolulukta 2,4; % 110 dolulukta 1,52; ve % 115 dolulukta 0,82; % 95'lik dolum miktarında 2,50; %90'da 2,25; %85'de 2,10 olmaktadır. Bu da gösteriyor ki, kılcal boru kullanan soğutma sistemlerinde, sistemdeki soğutma miktarı tam olmalıdır. Dolum toleransı +0 ile -30 gr' dır.

2.2.4. Kademeli soğutma sistemi

Basit buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi -30°C 'ye kadar verimli olmaktadır. -40°C ile -100°C arasındaki sıcaklıklar için kademeli soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır. Kademeli soğutma sistemleri ile ilgili dördüncü bölümde ayrıntılı bilgi verilecektir.

2.3. Soğutma Yüğü Hesabı

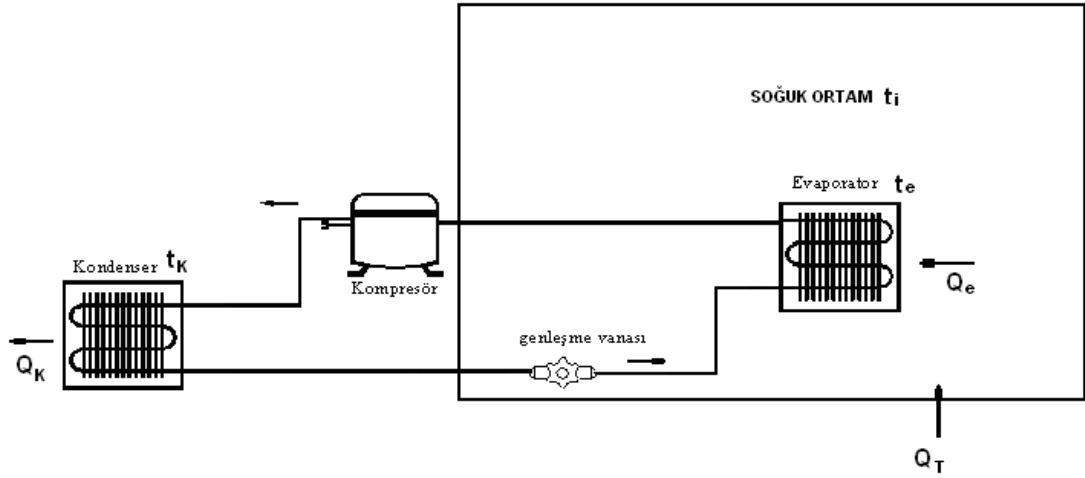
Sistem soğutma yüğü hesabı depolanacak üründen soğutulacak hacme olan ısı kazancından hesaplanır. Isı kazancı ise; bir mahale herhangi bir şekilde dışarıdan giren ya da içeriden üretilen ve hesaplanarak tespit edilen toplam ısı miktarına denir. Soğutma yükünü belirli faktörler etkilemektedir. Bunlar;

- İnsanlardan gelen ısı kazancı
- Aydınlatmadan gelen ısı kazancı
- Makine ve aletlerden gelen ısı kazancı
- Geçici maddelerden gelen ısı kazancı
- Duvar ve çatılardan gelen ısı kazancı
- Pencere ve kapıdan taşınım ve ışınlama ile gelen ısı kazancı
- Özel durumlardan gelen ısı kazancıdır [15].

Soğutma yüğü hesabında kullanılan ısı geçirgenlik katsayısı, iletim, taşınım ve bazen de ışıma ısı geçirgenlik katsayılarının toplamıdır. Ancak ışıma ile olan ısı geçiş miktarı çok düşük olduğu için ihmal edilir ve hesaplamalarda dikkate alınmaz [7]. Birim alandan birim zamanda geçen ısı miktarı dengelenmiş şartlar altında ısı transferi türü ne olursa olsun aynı olacağından taşınım ile iletilen ısı miktarı daha sonra iletimle olan ısı miktarına eşit olacaktır [7].

Yukarıda sayılan maddeler ışığında bir \dot{Q}_T (toplam ısı kazancı) hesaplanır. Soğutma sistemlerinin soğutma yükleri için yapılan bu hesaba ilaveten sistemde kullanılacak tahrik elemanı kompresörün basınç ve sıcaklıklara bağlı olarak işletim sürecince devrede olmayıp, belirli aralıklı devreden çıktığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum için ısı kazançlarından hesaplanan ısı yüğü yaklaşık % 5 ile % 25 arasında değişen oranda artırılması yeterli olacaktır [7]. Bu durumda sistem net ısı yüğü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

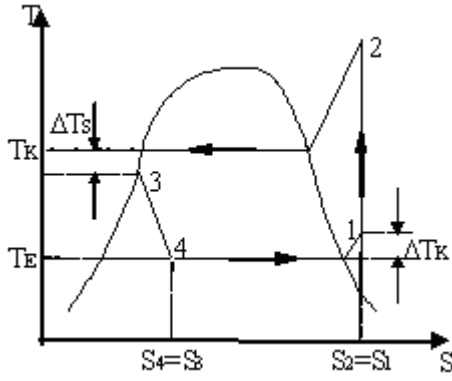
$$\dot{Q}_E = \dot{Q}_T \cdot 1,25 \quad (2.1)$$



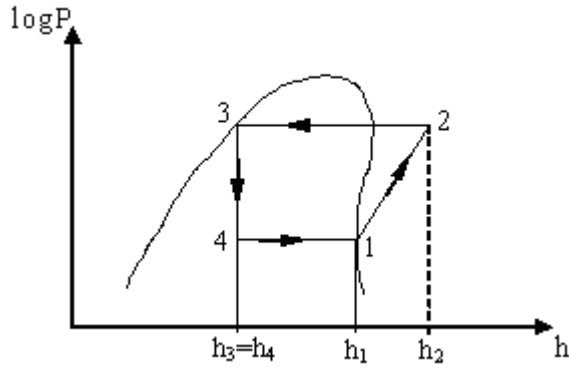
Şekil 2.9. Soğutma akış şeması

Şekil 2.9'daki sistemde düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekilip, yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı atılıyorken; soğutucu akışkanın basıncı kompresörde artar ve yoğunlaştırıcıda (kondenserde) yüksek sıcaklıkta ısı vererek (Q_k) yoğunlaşır. Daha sonra sıvının basıncı buharlaştırıcıda (evaporatörde) düşüp ortamdan ısı çekerek (Q_e) buharlaşır. Soğutucu akışkan sistemde sürekli dolaşır ve çevrim süresince devamlı faz değiştirir.

Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de basit buhar sıkıştırırmalı çevrim önce T-s, sonra log P-h diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Sıkıştırmanın bir kompresör yardımıyla, mekanik iş harcanarak yapılması halinde soğuma sistemine "kompresörlü soğutma sistemi" adı verilir. Soğutma çevrimindeki sürtünmelerin, ısı aktarımındaki tersinmezliklerin, basınç kayıplarının ihmal edilmesi ve verimi artırıcı diğer tedbirlerin uygulanmamış olması nedeniyle şekilde gösterilen çevrim "basit" olarak nitelenebilir.

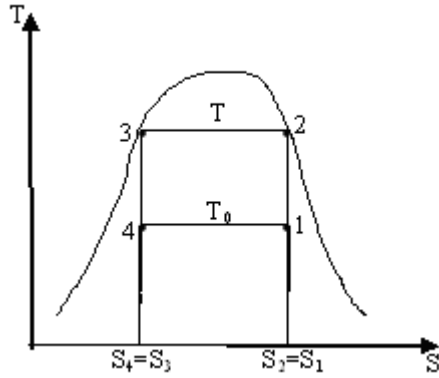


Şekil 2.10. Buhar sıkıştırırmalı çevrimin T-s diyagramı

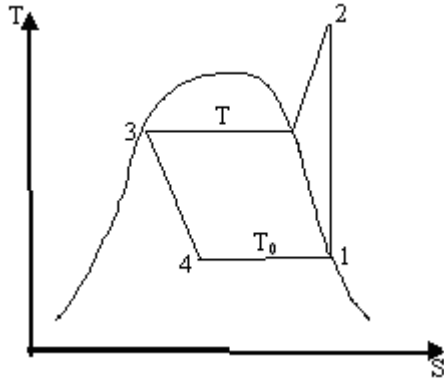


Şekil 2.11. Buhar sıkıştırırmalı çevrimin log P-h diyagramı

Şekil 2.12 İdeal Carnot çevrimidir. Şekil 2.13 ise buharlı çevrimin iki değişiklik ile Carnot çevrimine dönüştürülebileceğini göstermektedir. Buhar genleştirmenin maksama yerine adyabatik, tersinir olarak yapılması ve sıkıştırmanın buhar yerine doymuş buhar halinde başlatılmasıdır. Daha öncede bahsettiğimiz gibi Carnot çevrimi, verilen sıcaklıklar arasında çalışan en verimli çevrimdir. Bunun yanında doymamış buharın tersinir adyabatik sıkıştırılmasının (3-4) zor olması ve doymuş sıvının tersinir adyabatik genleştirilmesinde (1-2) (Şekil 2.10) elde edilecek iş miktarının küçük olması nedeniyle uygulanmamaktadır.



Şekil 2.12. İdeal carnot çevrimi



Şekil 2.13. Basit buhar sıkıştırırmalı çevrimin iki değişiklik ile carnot çevrimine dönüşümü

Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'e baktığımızda buharlı soğutma çevriminde soğutucu akışkan sırasıyla;

- 1 – 2 Doymuş buharın bir kompresör yardımıyla buharlaşma basıncından yoğunlaşma basıncına sıkıştırılması,
- 2 – 3 Sabit basınçta ısı atarak yoğunlaştırma (doymuş sıvı haline kadar),
- 3 – 4 Adyabatik olarak, akışa direnç gösteren bir genişleme vanasından geçirilerek, makaslanarak, sıvının basıncının yoğunlaşma basıncından buharlaşma basıncına düşürülmesi,

4 – 1 Sabit basınçta ısı çekerek buharlaştırma.

Basit soğutma çevriminde önce, Şekil 2.11’deki 3 ve 1 durumları sırasıyla sıvılaştırıcı sıcaklığındaki doymuş sıvı ve buharlaştırıcı sıcaklığındaki doymuş buhar olarak belirlenir. Buharlaştırıcıya giriş durumu olan 4 noktası ise, 3 noktasından geçen sabit entalpi (düşey) ile 1 noktasından geçen sabit basınç çizgisinin (yatay) kesim noktasıdır.

Sıkıştırma sonrası durum olan 2 noktasını bulmak için Şekil 2.10’da doymuş buhar halindeki (1 noktası) soğutkanın sabit entropi eğrisi boyunca yoğunlaşma basıncına kadar sıkıştırıldığı düşünülür, yoğunlaştırıcıya girişteki entalpi değeri log P–h diyagramından okunur.

Sistemin gerçek şartlardaki iş ve enerji alışverişleri ile sistem elemanlarının kapasite ve güçlerinin hesabında log P-h diyagramlarından faydalanılır. Enerji denkliklerinden soğutma düzeninin parçalarının enerji ve iş alışverişleri, soğutucu akışkan entalpileri kullanılarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunabilir [7].

Buharlaştırıcıda çekilen ısı şu şekildedir;

$$\dot{Q}_E = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2.2)$$

Bu bağıntıdaki “m” soğutkanın kütleli debisidir. Soğutma sistemlerinin hesabında soğutma gücü “ \dot{Q}_E ”, uygulama şartları tarafından belirlenir. Burada istenilen çalışma sıcaklıkları ise; çevre sıcaklığından 10 °C daha düşük olacak şekilde bir soğutucu akışkan buharlaşma sıcaklığı (T_E) ile çevre sıcaklığından 10 °C daha yüksek olacak şekilde soğutucu akışkan yoğunlaşma sıcaklığı (T_K) dir.

Sistem çalışma sıcaklık aralıkları belirlendikten sonra sistemde kullanılacak soğutucu akışkana ait log P-h diyagramı üzerinde çalışma çevrimi belirlenir. Sistem soğutma gücü (\dot{Q}_E) belirlendikten sonra soğutucu akışkan debisi (m) Eş. 2.2’den faydalanıla-

rak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_E}{h_1 - h_4} \quad (2.3)$$

Kompresör için gerekli iş;

$$\dot{W}_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (2.4)$$

Yoğunlaştırıcıdan dışarıya verilen ısı;

$$\dot{Q}_K = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (2.5)$$

Kompresör çıkışındaki entalpi (h_2) değeri log P-h diyagramından bulunabileceği gibi teorik olarak hesaplanabilir. Teorik hesap için önce aşağıdaki eşitlik ile kompresörün gücü belirlenebilir.

$$\dot{W}_C = \frac{x}{x-1} P_E v_b \left[\left(\frac{P_E}{P_K} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right] \quad (2.6)$$

Burada (P_E) buharlaştırıcı basıncı, (P_K) yoğunlaştırıcı basıncını, (v_b) ise buharlaştırıcı hacmidir.

Daha sonra $\dot{W} = \dot{m} \cdot w$ ve " h_1 " değeri Eş. 2.4'de kullanılarak " h_2 " hesaplanır.

Sıcaklık da aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_K}{P_E} \right)^{\left(\frac{x-1}{x} \right)} \quad (2.7)$$

Bilinen buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarında çeşitli soğutkanların, hatta çeşitli

çevrimlerin elverişlilik derecelerini karşılaştırmak için soğutma tesir katsayısı (STK) kullanılır. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi için STK, soğutma gücünün harcanan iş miktarına oranı olarak tarif edilebilir. Bu durumda buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin STK' sı aşağıdaki şekilde yazılabilir [16].

$$STK = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.8)$$

Ayrıca buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinin ITK 'sı yoğunlaştırıcıda atılan ısının (Q_K), harcanan işe oranıdır ve aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$ITK = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c} \quad (2.9)$$

Daha önce açıklandığı gibi belirli sıcaklıklar arasında çalışan çevrimler içinde Carnot çevrimi en büyük soğutma katsayısına sahiptir. Soğutma uygulamaları için ters Carnot çevrimini kullandığımızda verim yerine performans katsayısı (COP) veya soğutma tesir katsayısı (STK) ifadesini kullanmak gerekir ve aşağıdaki verilen eşitlikle hesaplanabilir.

$$STK = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (2.10)$$

Bu nedenle çeşitli çevrimlerin soğutma katsayılarının aynı şartlardaki Carnot çevriminin soğutma katsayısına oranı termodinamik mükemmellik derecesi olarak bir fikir verir ve bu orana bağlı verim (η) denir. Bağlı verim aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [16].

$$\eta = \frac{STK}{STK_{carnot}} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki Eş. 2.8 ve Eş. 2.10 yardımıyla düzenlenirse aşağıdaki eşitlik bulunmuş

olur.

$$\eta = \frac{\frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}}{\frac{T_2}{T_1 - T_2}} \quad (2.12)$$

Basit soğutma çevriminin hesabında bu büyüklüklerden başka hacimsel debi de önemlidir ve;

$$V = \dot{m} v = \frac{\dot{Q}_E}{h_1 - h_4} v \quad (2.13)$$

bağıntısından hesaplanır. Eşitlikte “V” hacimsel debiyi (m^3/sn), “ \dot{m} ” kütleli debiyi (kg/sn), “v” ise özgül hacmi (m^3/kg) ifade etmektedir. Hacimsel debi, başta kompresör olmak üzere soğutma sisteminin parçalarının boyutlarını belirler. Hacimsel debi aynı zamanda hacimsel soğutma gücünün bulunmasında kullanılır. Hacimsel soğutma gücünün bulunabilmesi için Eş. 2.2 aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$\frac{\dot{Q}_E}{V} = \frac{h_1 - h_4}{v} \quad (2.14)$$

Basit hesap yöntemlerinde hacimsel debi, “V” pistonun birim zamanda süpürdüğü hacme (geometrik süpürme debisi, V_g) eşit kabul edilir. Piston çapı “d”, süpürge uzunluğu “ ℓ ”, devir sayısı “n”, silindir sayısı “r” olan bir kompresör için geometrik süpürme debisi ;

$$V_g = \frac{\pi.d^2.\ell.n.r}{4} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Giriş

Soğutma sistemlerinin kademeli yapılmasının en önemli sebebi belirli sıcaklıkların altına tek soğutucu akışkan ile inmenin mümkün olmamasıdır. Bu durum mümkün olsa bile kompresör basınç aralığı 10 değerini geçtiği anda kompresör performansı düşmekte, kompresör vakumda çalışmakta ve bu oran arttıkça arıza yapma riski artmaktadır [1,17]. Dolayısıyla düşük sıcaklık uygulamalarının kademeli yapılması daha akılcı yaklaşımdır.

Sistemde kullanılacak kılcal borular ve diğer elemanların kapasiteleri çok iyi boyutlandırılmalıdır. Bu yüzden sistemlerde kullanılan elemanlar ve soğutucu akışkanlar ile ilgili literatür araştırması yapılmalıdır.

Günümüzde mevcut ticari soğutuculardaki kılcal boru uzunlukları üretici firmaların yaptıkları hesaplar sonucunda kullanılan akışkanların katalog değerlerinde verilmektedir.

Yapılan araştırmada soğutma sistemlerinde kullanılan kılcal boruların belirlenmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda çeşitli kılcal boru uzunlukları tespit edilmiştir. Ayrıca benzer alanlardaki hesaplamalarla ilgili geliştirilen programlar ve hesap yöntemleri de bulunmaktadır. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda özet halinde verilmiştir.

3.2. Kademeli Soğutma Sistemleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ceylan, yaptığı çalışmada düşük sıcaklıklarda çalışan iki kademeli soğutma sistemlerini incelemiş, sistemi oluşturan mekanik elemanların özelliklerini, kullanılan gazların fiziksel ve termodinamiksel özelliklerini ayrıca sistemi oluşturan makine elemanlarının tasarımın da uygulanacak hesap yöntemlerini formülize etmiştir [1].

Menlik, yaptığı çalışmada iki kademeli soğutma sisteminin tasarımını, imalatını ve performans deneylerini yapmış ve sistemde alternatif soğutucu akışkanlarından R-508B gazını kullanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, tasarlanan sıcaklık değerinden 2 °C daha düşük olarak -88 °C ve buharlaştırıcı yüzey sıcaklığına ve 5 saatte -75 °C ortam sıcaklığına ulaşmıştır [3].

Odabaşlıoğlu, yaptığı çalışmada basit buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde kullanılan kılcal boru boylarının teorik ve uygulamalı olarak hesaplama yöntemleri üzerinde durmuş ve sistemde R-134a soğutucu akışkanı olan basit buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri için uygun kılcal boru boyunu hesaplamaya çalışmıştır. [12].

Ercan, yaptığı çalışmada düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında ticari soğutucular için alternatif soğutucu akışkanların karşılaştırılmasında refutil ve refdes yazılımlarını kullanarak karmaşık termodinamiksel hesaplamaları yapmıştır [18].

Asharae'nin Handbook 1997 – Fundamentals yayınında kademeli soğutma sistemlerinde kullanılan ikincil soğutucu akışkanların fiziksel ve termodinamik özellikleri ele alınmıştır. Ayrıca sistem için uygun soğutucu akışkanın seçim kriterleri belirlenmiş ve bazı tavsiyelerde bulunulmuştur [19].

Asharae-Handbook 1998'de çok düşük sıcaklıklarda çalışabilen soğutma sistemleri incelenmiştir. Bu tip sistemlerin genel özellikleri, çalışma prensipleri, kullanılan elemanlar ve özellikleri, soğutucu akışkanlar ve termodinamik özellikleri, akışkan seçim kriterleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır [17].

Bitzer firmasının “Refrigerants 10th Edition” yayınında düşük sıcaklıklı kademeli soğutma sistemlerinde kullanılan alternatif akışkanlar, alternatif akışkanlara geçişte dikkat edilmesi gereken hususlar ve tavsiyelere yer verilmektedir. Bunların dışında kademeli sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların kompresör yağları ile uyumları ve yağ özellikleri açıklanmıştır [20].

Neslab firmasının 1996 yılında -80 °C'ye kadar soğutma yapabilen soğutucular

hakkındaki katalog yayında, sistemlerin özellikleri, çalışma prensipleri, sistem elemanları, kumanda ve kontrol devreleri hakkında bilgi verilmiştir. Katalog bilgilerine göre, bu cihazların yüksek sıcaklık devrelerinde (YSD) R-412, düşük sıcaklık devrelerinde (DSD) R-508B soğutucu akışkanları, kaskat kondenser olarak da iç içe boru tip ısı değiştirici kullanılmaktadır. Sistemin -80 °C'ye ulaşma süresi ise ortam sıcaklığına göre 8 – 10 saat arasındadır [21].

Yine Neslab firmasının 1996 yılında yayınladığı ikinci katalogda, -90 °C'ye kadar soğutma yapabilen soğutucular, sistemlerin özellikleri, çalışma prensipleri, sistem elemanları, kumanda ve kontrol devreleri hakkında katalog bilgisi verilmiştir. Bu cihazların YSD' inde R-412, DSD' inde ise R-508B soğutucu akışkanları, kaskat kondenser olarak da iç içe boru tip ısı değiştirici kullanılmaktadır. Sistemin -90 °C'ye ulaşma süresi ise ortam sıcaklığına göre 10 – 12 saat arasındadır [22].

Sanyo firmasının teknik yayınlar serisinin 1994/MDF – U30865 Handbook isimli yayında MDF – U30865 serisi çok düşük sıcaklıklı kademeli soğutucular hakkında bilgi verilmektedir. Kullanılan soğutucu akışkanlar, sistemlerin özellikleri, çalışma prensipleri, sistem elemanları, kumanda ve kontrol devreleri hakkında katalog bilgisi verilmiştir. Tanıtımı yapılan çok düşük sıcaklıklı soğutucunun (Ultra Low Temperature Freezers) YSD' inde R-412, DSD' inde R-508B kullanılmaktadır. Kaskat kondenser ise, hazne içerisinde boru demeti şeklinde hazırlanmış bir ısı değiştiriciden ibarettir. Sanyo firmasının ürettiği bu tip eski soğutucuların YSD' inde R-502, DSD' inde ise R503 kullanılmaktadır. MDF – U30865 serisi soğutucuların -85 °C'ye ulaşma süresi ortam sıcaklığına bağlı olarak 8 – 10 saat aralığındadır [23].

Bateman, alternatif akışkana geçişte kademeli sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanları incelemiştir. Çalışmada bu sistemlerin DSD' lerinde kullanılan R 13 ve R 503 ile YSD' lerinde kullanılan R 502 akışkanları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Montreal protokolü çerçevesinde bu akışkanların alternatifleri ile yer değiştirilme aşamaları ve hangi akışkanlar ile yer değiştirileceği saptanmıştır. Özellikle DSD' de R 508B'nin iyi bir alternatif olduğunu ifade edilmiştir [24].

Rose ve Valence, çok düşük sıcaklıklı soğutucular ile ilgili tüketicilere yönelik çalışmalarında, sistem kullanım alanları ve şartları, soğutulacak ürüne göre çalışma sıcaklıkları, sistem özellikleri, sistem bileşenlerinin özellikleri, elektrik devreleri, kumanda ve kontrol devreleri, kompresörler, soğutucu akışkanlar ve güvenlik kuralları hakkında bilgi vermektedirler [2].

Rehman ve Zubair çalışmalarında, düşük sıcaklıklarda çalışan tek kademeli sistemlerin düşük ve yüksek basınçları arasında meydana gelen büyük basınç farklarını ortadan kaldırmak amacıyla, iki kademeli buhar sıkıştırımlı sistemin soğutma sisteminin daha uygun olacağını belirlemişlerdir. Bunun için önce iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin termodinamik analizini, daha sonra bazı kabuller yaparak sistemin simülasyonunu yapmışlardır. Termodinamik analiz esasına dayanan bu simülasyon ile iki kademeli sistem COP'unun daha yüksek olacağını göstermişlerdir [25].

Kılıçarslan yaptığı deneysel çalışmayla, tek kademeli R 134A soğutucu akışkan kullanılan bir sistemde yüksek yoğuşma, düşük buharlaşma sıcaklıklarında düşük ve yüksek taraflar arasındaki basınç farkının çok yüksek olmasından dolayı kompresör performansının düşmesinin (COP'un düşmesinin) önlemeyi hedeflemiştir. Bu amaçla hazırlanan deney setinin her iki devresine R 134A koyarak, farklı basınç aralıklarında çalıştırmak suretiyle sistem performansının yükseldiğini belirlemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda kademeli sistemin performansının tek kademelininkine göre % 21,9 daha yüksek olacağını bulmuştur [5].

4. KADEMELİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ

4.1. Kademeli Soğutma Sistemleri

Basit buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar verimli olmaktadır. $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklar için kademeli soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır. Kademeli soğutma sistemlerinde sıcaklık değeri uygulama alanına göre belirlenir. Örneğin; bu değer endüstriyel soğutma için $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, eczacılık, tıp, kimya ve petrol endüstri gibi soğutma yapılan alanlarda $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır [2,16].

$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ altındaki sıcaklık değeri, basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimleri için çok büyüktür. Çok düşük buharlaşma sıcaklıklarındaki çalışma şartlarında soğutma çevriminin kapasitesi ile birlikte performans katsayısı da hızla düşmektedir. Bunun sebeplerinden birisi, düşük emiş basıncı ile başlayan sıkıştırma işleminin, aynı basma (yoğunlaşma) basıncına ulaşabilmesi için daha yüksek bir sıkıştırma oranı ile çalışması gerektirmesidir. Bu sıkıştırma oranı en fazla 10 olmalıdır [16]. Bütün bu nedenlerden dolayı, çok düşük buharlaşma sıcaklıkları gerektiğinde (genellikle $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ altında) kompresör çıkış basıncı ve sıcaklığın aşırı yükselmesini önlemek için ve aynı zamanda büyük sıcaklık aralığında çalışabilecek bir soğutucu akışkanın bulunmamasından dolayı soğutmayı kademeli (kaskat) yapmak uygun olacaktır. Uygulamada kullanılan 3 çeşit kademeli soğutma sistemi vardır.

Bunlar;

- Kademeli sıkıştırma,
- Tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı kademeli sistemler,
- Kaskat sistemler,

dir.

4.1.1. Kademeli sıkıştırma

Kademesiz sıkıştırırmada, sıkıştırma sonunda sıcaklık çok yükseldiği için yağlama

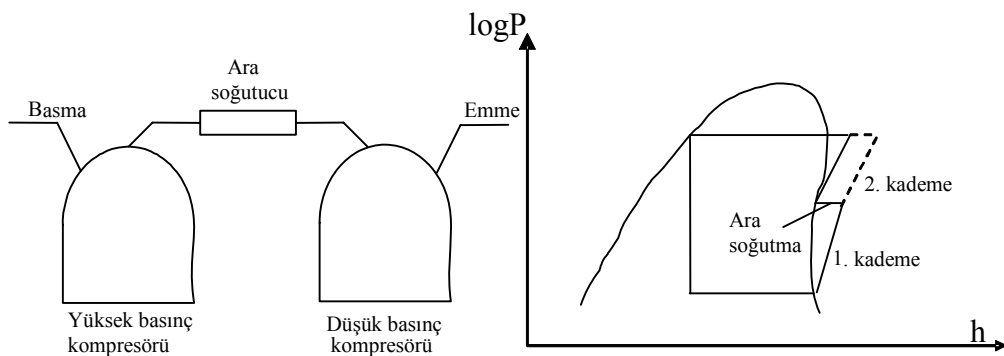
yağı yanabilir ve kompresörün parçaları da aşınarak kullanılmayacak duruma gelebilir. Bu sıkıştırma sonucunda sıcaklığın yükselmesine engel olmak ve sıcaklık yükselmesinin sakıncalarını ortadan kaldırmak için kademeli sıkıştırma yöntemine başvurulur.

Kademeli sıkıştırmada iki veya ikiden fazla kompresör kullanılır ve her kompresör arasına bir ısı değiştirici bulunur.

Kademeli sıkıştırma işlemi sırasında her kompresör çıkışı ile bir sonraki kompresör girişi arasında, yükselen sıcaklığı düşürmek ve sonraki sıkıştırma işlemi sonunda sıcaklığın aşırı derecede artmasını önlemek gerekir. Verimli çalışma sağlamak üzere bir ara soğutma işlemi gerekir ki, bu da ya dışardan sağlanan bir sıvıyla veya sistemin kendi soğutucu akışkanını kullanmak suretiyle sağlanabilmektedir.

Kademeli sıkıştırma genellikle iki, üç veya daha fazla seri kompresörle gerçekleştirilmektedir. Sistemde dolaşan ve sıkıştırılıp geniştirilen soğutucu akışkan aynı cinstir.

Şekil 4.1’de sıkıştırmanın iki kademe gerçekleştirildiği bir soğutma sistemi ve log P-h diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.1. Kademeli sıkıştırma işlemi ve log P-h diyagramı

Şekilde soğutma suyu ile çalışan ve ara soğutuculu basit kademeli bir devre ile ve devrenin log P-h diyagramı görülmektedir. Sıkıştırma devresinin birinci kademesini

gerçekleştiren kompresöre düşük basınç kompresörü (DB) ve ikinci kademesini gerçekleştiren kompresöre de yüksek basınç kompresörü (YB) adı verilir. Genellikle DB kompresörü tarafından basılan soğutucu akışkan buharının sıcaklığı ara soğutucuda kullanılan soğutma suyu sıcaklığından çok yüksek olmadığından DB kompresörü tarafından basılan buharın soğutulmasında bir ara depodan faydalanılır [26].

Ara soğutucunun dışardan bir akışkan ile soğutulması iki şekilde yapılmaktadır. Birincisi, ısı değiştiricide kızgın buhar halindeki soğutkanın bir soğutucu sıvı ile kontrollü olarak soğutulması; ikincisi soğutma, kompresör silindirlerinin ve silindir kapaklarının çift cidarlı, gömlekli olarak yapılması suretiyle sağlanmaktadır. Her iki durumda da ikinci akışkanın sıcaklık ve debilerinin kontrolü gerekmektedir. Aksi halde kızgın buhar halindeki soğutkanın yetersiz soğutulması veya aşırı soğutulması söz konusu olacaktır ki bu durumda, kompresör silindirlerine sıvı gelmesi ve hasara yol açması kaçınılmaz olacaktır.

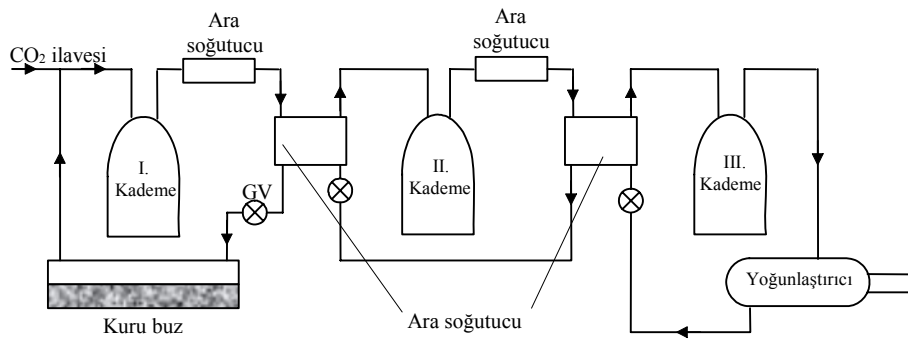
Sistemin kendi soğutucu akışkanını kullanması daha güvenli ve kontrolü mümkün olan bir çözüm sağlamaktadır.

Kapalı tip ara soğutucu, bir boru serpantin ile dış zarftan meydana gelir. Soğutucu, yüksek basınç tarafının yoğunlaştırıcısında sıvılaştırmış olan basınçlı soğutkanın az bir bölümü ara soğutucuya genişletilerek verilmesi suretiyle soğutma işlemi sağlanır. Yüksek basınçlı sıvının geri kalan bölümü ise ara soğutucudaki sıvı soğutkana daldırılmış boru serpantinden geçerek basınçlı ve aşırı soğutulmuş halde genişleme vanasına gelmektedir [27].

Modern kompresörler, düşük ve yüksek basınç silindirleri aynı gövde içerisine yerleştirilmiş ve tek bir motorla tahrik edilmektedir. Ara soğutma işlevi ise ara basınç bölgesine sıvı enjekte etmek suretiyle sağlanarak derin soğutma uygulamalarında başarıyla kullanılmaktadır. Bu suretle, seri kompresörlerin kullanımı sırasında karşılaşılan yağ seviyesinin kontrol sorunu da kendiliğinden çözümlenmiş olmaktadır. Buna ilaveten silindir gömleklerinin ve kafalarının su ile soğutulması, bilhassa buharlaşma sıcaklıklarının aşırı derecede düşük olduğu uygulamalarda

gerekmektedir.

Kademeli sıkıştırma uygulamalarında, yağ ayırıcı kullanılması, emiş hattına sıvı tutucu konulması ve sıvı hattı-emiş hattı ısı değıştircilerinden yararlanılması daha da önemli olmaktadır. Soğutucu akışkanların, hem soğutkan hem de soğutulan madde olduğu üç kademeli bir sıkıştırma sistemi Şekil 4.2’de görülmektedir [28].



Şekil 4.2. Üç kademeli sıkıştırma

İki kademeli bileşik sistemlerin avantajları;

Ara basınçtaki gazın ayrışması ve düşük kademe kompresöründen çıkan gazın, yüksek kademe kompresörüne girmeden önce kızgın buhar haline gelmesinden dolayı enerji veriminin artışı,

Tek kademe kompresörüne göre daha düşük olan basma hattı basıncının, emme hattı basıncına göre çalışan iki kademeli kompresörlerin daha verimli olmasından dolayı enerji verimini artmasıdır.

Ayrıca, tek kademeli sıkıştırmalarda, yüksek çıkış sıcaklıkları pistonlu kompresörlerde önemli olmakla beraber, yağ enjektörlü vidalı kompresörler için çok fazla problem değildir.

4.1.2. Tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı kademeli sistemler

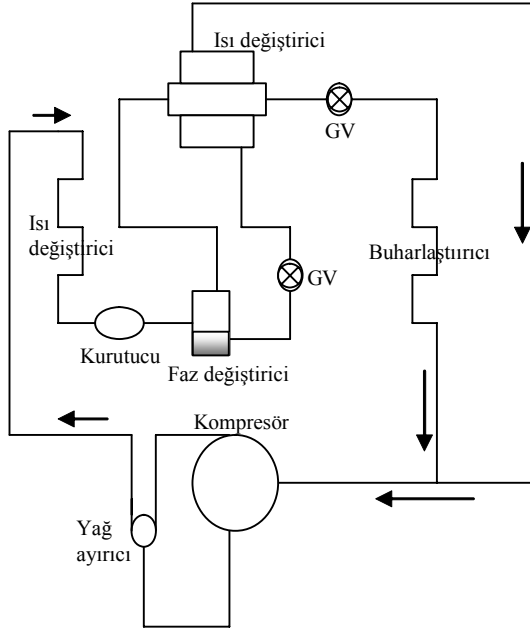
Bir soğutma çevriminde sıkıştırma nasıl iki veya daha fazla sıkıştırmada gerçekleşebiliyorsa, kaynama noktaları farklı akışkanlar kullanılarak kademeli soğutma sistemi yapılabilir.

Bu tip kademeli bir soğutma sistemi değişik soğutucuların eş zamanlı adyabatik genişmesi ve buhar-sıvı ayrışması vasıtasıyla soğutma etkisinin meydana geldiği iki veya çok kademeli, kapalı komple bir sistemdir. Ters akışlı ısı değiştirici dizisi ve uygun soğutucu akışkan karışımlarıyla, fiziksel ve termodinamik özellikler bu sistemin düşük sıcaklıklara ulaşmasına imkan sağlar [8].

Tek akışlı kademeli sistemler düşük sıkıştırma oranı ve buna bağlı olarak yüksek hacimsel verim gibi birçok yarar sağlar. Bununla beraber, sistem kimyası ve ısı değiştiriciler karmaşık, soğutucu bileşenleri hassastır [26,27].

Bu sistemler de bir buhar kompresörü, dış hava veya soğurmalı yoğunlaştırıcı, düşük kaynama noktalı soğutucu karışımı, faz değiştirici ve bir seri ayrı ısı değiştiriciden meydana gelmektedir [26,27].

şekil 4.3'de tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı tek kademeli basit bir sistemi görölmektedir.



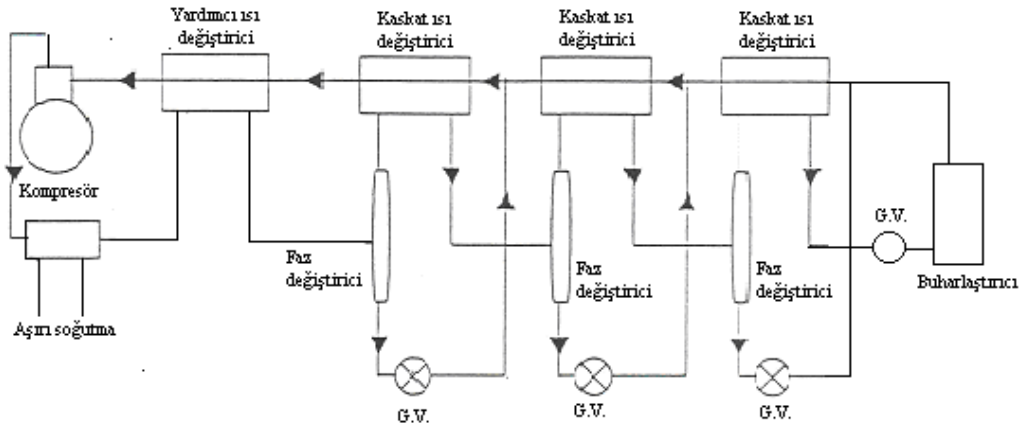
Şekil 4.3. Tek akışlı karışık soğutucu akışkanlı kademeli sistem

Bu sistemde kaynama noktaları birbirinden tamamen farklı olan iki soğutucu akışkan (A ve B) bir kompresör yardımıyla sıkıştırılır ve sistemde dolaştırılır. “A” soğutucu akışkanı daha düşük kaynama noktalı, “B” soğutucu akışkanı “A” ya göre yüksek kaynama noktalı ve yoğunlaştırıcıda yüksek verimle çalışmalıdır.

Başlangıçta iki soğutucu akışkan kaynama noktalarındaki farktan dolayı buhar halindedir. Kompresörden geçen “A” ve “B” soğutucu akışkandan “B” gazı yoğunlaştırıcıda yoğunlaşır ve yoğunlaştırıcı çıkışındaki faz değiştiricide yerçekimi etkisiyle sıvıyı toplar ve doygun buhar fazındaki “A” gazı faz değiştiricinin çıkışından ısı değiştiriciye gönderilir. Faz değiştiricinin alt kısmındaki genişleme elemanına toplanan doygun sıvı fazındaki “B” gazı, genişleme elemanında genişler ve ısı değiştiricisinde düşük bir sıcaklık üretir. Ters akışlı ısı değiştiricisinde bulunan “A” gazından ısı alır ve yoğunlaştırılır. İkinci genişleme elemanından geçen “A” gazı ısı değiştiriciden bir miktar daha soğutulduktan sonra genişler ve ortam soğutulur. Böylece ısı değiştiricinin yüksek basınç kısmındaki “A” gazının yoğunlaşması için bir soğuk kaynak sağlanmış olur. Aşırı ısınmış şartlarda ısı değiştiriciden ayrılan buhar karışımı, bir sonraki çevrim için kompresör emiş hattına döner. Kademeli soğutma bu şekilde tamamlanmış olur.

Tek kademeli soğutma çevrim düşüncesi çok kademeli olabilir. Burada kademe sayısına göre soğutucu akışkan sayısı artırılır.

Şekil 4.4'te dört kademeli bir sistemin akış diyagramı görülmektedir. Burada soğutucu akışkanların yoğunlaşması ve sırasıyla genişmesi prensibine dayanır. Kaynama noktaları birbirinden farklı soğutucu akışkanlar ısı değiştirgecindeki akışkanın bir sonraki akışkanın yoğunlaşması için gerekli soğukluğu sağlar. Bu işlemde kaynama sıcaklığı en düşük olan en son soğutucu akışkanın çok düşük sıcaklıklara kadar genişletilmesi sağlanana kadar devam eder [28].



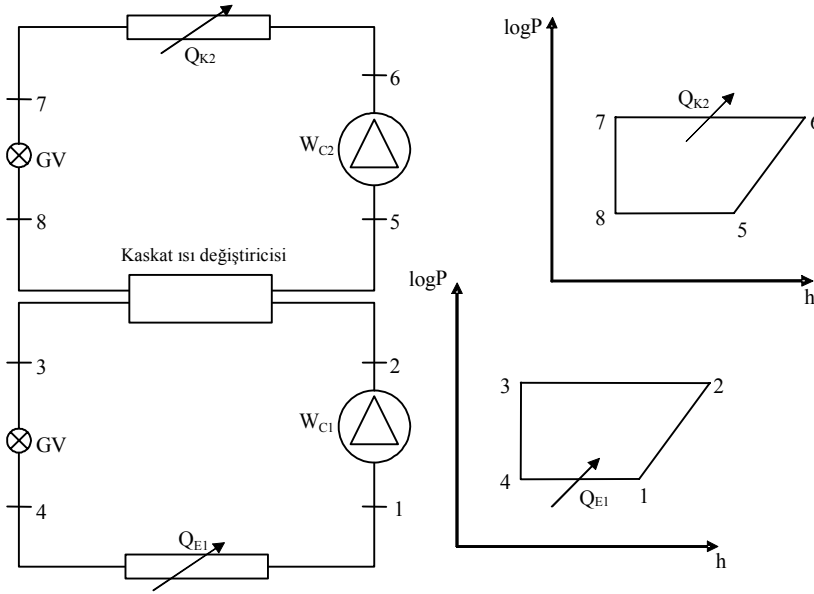
Şekil 4.4. Dört kademeli soğutma sistemi

4.1.3. Kaskat soğutma sistemleri

Buharlaşma sıcaklığı ile yoğunlaşma sıcaklıkları arasındaki farkın büyük olması halinde tek bir soğutmanın çok kademeli sıkıştırılması ekonomik bir soğutma sağlayamaz. Bağımsız iki ve daha fazla soğutma sisteminin bir araya getirilmesi suretiyle çok düşük buharlaşma sıcaklıklarının elde edilmesi mümkündür. Farklı sıcaklık aralıklarında soğutma yapan iki düzenin birleştirilmesiyle iki soğutuculu kaskat sistemler oluşturulmaktadır [5,8].

Bu sistemler, her bölümünde istenilen sıcaklık aralığına uygun ayrı bir soğutucu

akışkan kullanan iki ayrı devreden oluşur. Şekil 4.5'te şematik resmi ve log P-h diyagramı görülen sistem, düşük sıcaklık devresinin yoğuşturucu ve yüksek sıcaklık devresinin buharlaştırıcısından oluşan kaskat ısı değiştirici tarafından birleştirilir.



Şekil 4.5. Kademeli soğutma sistemi ve log P-h diyagramı

İki çevrimin bağıntısı üst çevrimin (yüksek sıcaklık devresi (YSD)) buharlaştırıcısı (Q_{E2}), alt çevrimin (düşük sıcaklık devresi (DSD)) yoğunlaştırıcısı (Q_{K1}) işlevini gören, bir ısı değiştiricisi aracılığı ile olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilir ve ısı değiştiricinin iyi yalıtıldığı kabul edilirse, ısı değiştiricide DSD akışkanının verdiği ısı, YSD akışkanının aldığı ısıya eşit olacaktır. Başka bir deyişle, birbiriyle bağıntılı çalışan iki soğutma çevrimi kullanılmaktadır. Bu durum aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$\dot{Q}_{K1} = \dot{Q}_{E2} \quad (4.1)$$

Sistem elemanlarının kapasiteleri aynen basit buhar sıkıştırılmalı sistemlerdeki gibi bulunur. Sistemin DSD buharlaştırıcısının kapasitesini (Q_{E1}) Eş. 2.2

$$\dot{Q}_{E1} = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_4)$$

YSD yoğunlaştırıcısının kapasitesini (\dot{Q}_{K2}) Eş. 2.5

$$\dot{Q}_{K2} = \dot{m}_2 \cdot (h_6 - h_7)$$

her iki devrenin kompresörlerinden sisteme verilen işleri de Eş. 2.4

$$\dot{W}_{C1} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \text{ ve } \dot{W}_{C2} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_5)$$

yardımla bulunur.

Bu tariflerden sonra Eş. 4.1'i açarak her iki çevrimdeki soğutucu akışkan debileri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\dot{m}_1 \cdot (h_5 - h_8) = \dot{m}_2 \cdot (h_2 - h_3) \quad (4.2)$$

Eş. 2.8'e benzer bir ifade olan kaskat sistem için STK aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [5,16].

$$STK = \dot{Q}_{E1} / \dot{W}_{net} \quad (4.3)$$

Eşitlik açık olarak yazılırsa;

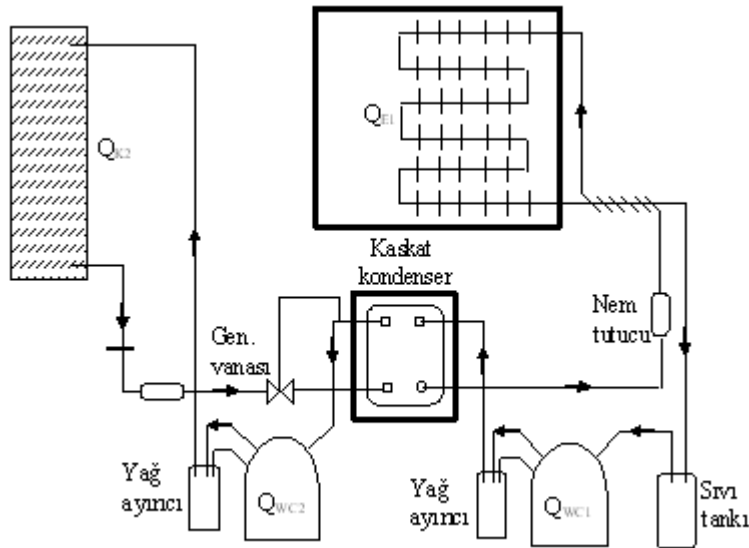
$$STK = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_4) / (\dot{m}_2 \cdot (h_6 - h_5) + \dot{m}_1 \cdot (h_2 - h_1)) \quad (4.4)$$

şeklini alır.

Kaskat sistemlerin analizi

Kaskat sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanlar, YSD için R-22, R-717, R-412, R-404A vb akışkanlar içinden seçilir. DSD için, yüksek buhar yoğunluğuna sahip, yüksek basınçlı soğutucu akışkan seçilir. Yıllardır en çok R-13 ve R-23'ün bir azeotropik karışımı olan R-503 kullanılıyordu. Fakat R-13'ün ODP etkisine sahip bir (CFC) bir soğutucu akışkan olmasından dolayı R-503 artık kullanılmamaktadır. R-23 tek başına kullanılmasına rağmen R-508B, DSD için en uygun soğutucu akışkan olarak düşünülmektedir [8] .

Kaskat soğutma sistemlerinde yağ ayırıcı, emiş düzenleyici (sıvı tutucu) ve sıvı emiş hattı ısı değiştiricilerinin kullanılması birçok yarar sağlamaktadır.



Şekil 4.6. Kademeli soğutma sisteminde yağ ayırıcı ve sıvı tutucu bağlantısı [3]

Kademeli sıkıştırma ile kademeli soğutma sistemlerinin birlikte uygulanması mümkün görülmekte olup, kademeli sıkıştırma düzeni daha çok kaskat sistemin düşük sıcaklık tarafına konulmaktadır.

Kaskat sistemlerde kullanılan akışkan ve malzeme seçimi

Akışkan seçimi

Kaskat sistemler için akışkan seçiminde, ODP etkisi, sera etkisi ve güvenlik kriterlerine ek olarak her CFC karışımının, sabit basınçta miktar ve sıcaklığı ile sabit basınçta entalpi ve sıcaklığı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Kaskat sistemler, azeotropik karışımların özelliklerine, soğutucu akışkanların tek başına sahip olduğu özelliklerden daha fazla bağlı olduklarından, tek bir soğutucu akışkan, karışimli veya azeotropik soğutucu akışkanlar kullanan sistemlerle karşılaştırıldığında daha fazla üstünlüğe sahiptir [8,29].

Klasik tek veya çok kademeli sistemlerin aksine tanklarda veya yavaş hareket eden bölgelerde buhar ve sıvı fazındaki her iki hacim ve devre boyunca düzensiz akışlar, dolaşım yapan karışımın yapısını etkiler. Örneğin, daha yüksek kaynama sıcaklığına sahip dolaşım yapmayan akışkanların bulunduğu daha ılık bölümde sıvı doludur. İşe yaramayan düşük basınçları sınırlandırması, istenen genişleme tankları, genellikle gaz veya buhar yapılarını devrede dolaşan karışımdan farklı tutar. Isı değiştiricilerde akan kompleks iki fazlı akış, devrede dolaşan karışımı etkiler ve böylece sıcaklıkları değiştirir. Denge şartları en iyi performansı verir. Bu sebeplerden dolayı, donanım tasarımı ve çalışma akışkanının yapısı, diğer buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerine göre daha ayrıntılıdır. Yapısal bilgilerin önemli bir miktarı ekipman tasarımcılarının sorumluluğundadır.

Kaynama noktası, çok düşük veya kriyojenik sıcaklıklardaki bazı soğutucu akışkanlar için önemlidir. Kaynama noktası aralığı, çok küçükse aralığı genişletmek için ilave gaz ve eleman gerekebilir. Fazla ilaveyle elde edilen ekstra genişlik daha büyük sıkıştırma oranı gerektirir. Çıkış ve emme tarafındaki düzgün olmayan bir sıcaklık yükselmesi, optimum ısı değiştirici tasarımına izin vermeyebilir. En yüksek basınçlı akışkan, kompresör emme basıncında tasarlanan buharlaşma sıcaklığının altında kaynamalıdır. Isı dönüşünü sağlamak için en düşük basınçlı akışkan soğutucu sonrası çalışma şartları üzerindeki basınç ve sıcaklıkta yoğunlaşmalıdır. Genellikle soğutucu

akışkanların 40-80 °C arasında kaynama sıcaklıkları tatmin edicidir. Yüksek molekül kütleli soğutucu akışkanlar daha az basınç kayıpları ve kompresör soğutulmasına yardımcı olmalarından dolayı daha az bir pompalama enerjisi ile dolaşım yapar.

Daha önce bahsedildiği gibi düşük sıcaklık uygulamaları için en uygun görülen R-503'ün ODP' sinin yüksekliğinden dolayı artık kullanımı uygun değildir. Bunun yerine R-23 kullanılabilir. Fakat, ODP' si "0" olan R-23 ve R-116 akışkanlarının bir azeotropik bir karışımı olan R-508B alternatif soğutucu akışkanın kullanılması daha uygundur. R-508B ODP' sinin "0" olması yanında yanıcı da değildir. Ayrıca, R-508B düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan R-503 ve R-13 ile karşılaştırıldığında daha iyi bir karakteristiğe sahiptir. Verimliliği ve kapasite değerleri R-503' e denk, R-13' ten daha iyidir. Kompresör çıkış sıcaklığı R-23'ün kinden daha düşüktür. Düşük kompresör çıkış sıcaklığı, kompresörün ömrünün uzamasına ve daha iyi yağlama yapmasına imkan verir. R-508B' in, R-13, R-23 ve R-503 ile performans karşılaştırmaları Çizelge 4.1' de verilmektedir. Çizelge 4.2' de ise R-23 ve R-508B için farklı buharlaşma sıcaklıklarındaki teorik kompresör performans bilgileri verilmektedir [7,8,11].

Çizelge 4.1. Kaskat sistemlerde kullanılan R-13, R-23, R-503, R-508B'nin teorik performanslarının karşılaştırılması [29-30]

	R-503	R-13	R-23	R-508B
Kapasite (R-503 = 100)	100	71	74	98
Verim (R-503 = 100)	100	105	95	103
Çıkış basıncı, kPa	999	717	848	1013
Giriş basıncı, kPa	110	83	90	110
Çıkış sıcaklığı, °C	-107	-92	-136	-85

Çizelge 4.2. R-23 ve R-508B'nin farklı buharlaşma sıcaklıklarında teorik kompresör performansları [8]

Soğutucu akışkan	Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	Basınç Oranı	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Hacimsel Debi (l/s)
R-23	- 80	7,49	58	1,01
R-508B	- 80	6,51	32	0,857
R-23	- 100	26,88	72	3,85
R-508B	- 100	21,88	39	2,95

R-508B soğutucu akışkanı

R-508B kademeli soğutma sistemlerinde alternatif soğutucu akışkan grubunda kullanılan ve karakteristik değerleri oldukça iyi olan bir soğutucu akışkandır.

R-508B'ye dönüşümün incelenmesi ve dönüşüm esasları;

R-508B gazı, R-503 ve R-13 soğutucu gazları yerine alternatif olarak, kademeli kompresör kullanarak düşük sıcaklık elde edebilmek için ozon tabakasına zarar vermeyecek şekilde DuPont tarafından geliştirildi. Bu uygulamalar genellikle, evaporatör sıcaklığının -40 °C ile -100 °C arasında olması istenildiği zamanlarda yapılır ve çevreye zarar vermeyen test odaları; sabit sıcaklık dondurucuları, ve çeşitli soğutma süreçleri içerir. Montreal Protokolü ve diğer protokoller gereğince R-503 ve R-13 gazlarının üretimi 1995 yılının sonlarına doğru durdurulmuştur. Eğer doğru prosedürler takip edilirse R-508B gazı, varolan R-503 ve R-13 gazları yerine alternatif olarak kullanılabilir. R-508B'nin emisyon kontrolü, Dupont'un Çevresel Soğutucular Politikası baz alınarak yapılmaktadır.

Düşük sıcaklık sistemleri tasarımlarında genellikle benzersiz ve bazende karmaşıktır. Bundan dolayı detaylı alternatif soğutucu gaz prosedürleri sağlamak zordur. Bu ilanın amacı; R-503 ve R-13 gazlarından, R-508B gazına dönüşümü planlarken genel alternatif soğutucu gazlar ve ciddiye alınması gereken maddeler oluşturmaktır. Kompresör üreticilerine olduğu gibi yedek parça üreticilerine de önerileri için her zaman başvurulmalıdır. Ayrıca servis teknisyeni tüm sistem montajı ve işletmeye

alınması hakkında kusursuz bilgiye sahip olmalıdır.

Özellikler

R-508B gazı, ozona zarar vermeyen soğutucuların azeotropik bir karışımıdır. Bu gaz yanıcı ve ozon tabakasına zarar verici özelliklere sahip değildir. Bu özelliklerinden dolayı, R-508B gazı, güvenliğin ve değişmez performansın gerekli olduğu düşük sıcaklık(-40 °C den düşük) soğutucuları için mükemmel bir soğutucu gazdır.

Çizelge 4.3. R-508B gazının genel özellikleri

Kaynama Noktası, 1 atm	-88 °C
Kritik Sıcaklık	13,7 °C
Kritik Basınç	3935 kPa
Kaynama Noktasındaki Buharlaştırma Gizli Isısı	168,2 kJ/kg
-73,3 °C'daki Doymuş Buhar Yoğunluğu	13,25 kg/m ³
ODP (R-12 = 1)	0
Yanıcılık	Yanmaz
Maruz Kalma Sınırı (8 – 12 saat arası ölçülen) (*)	1000 ppm

*Maruz kalma sınırı DuPont Ael'nin bireysel bileşenlerinden saptanan hesaplanmış bir değerdir. Bu DuPont tarafından açıklanan hemen hemen bütün çalışanların iş hayatları boyunca R-508B'nin yan etkisi olmadan maruz kaldıkları, sınırdır.

Çalışma karakteristikleri

R-508B; R-503 ve R-13'le kıyasladığı zaman mükemmel çalışma karakteristikleri sunar. Kapasite ve etkinlik değeri, R-13'ten üstün R-503'e de neredeyse eşittir. Kompresör boşaltma sıcaklığı, R-23'ü kullanan kompresörlerin boşaltma sıcaklığından belirgin şekilde daha düşüktür. Düşük boşaltma sıcaklıkları kompresörün ömrünü uzatır ve aynı zamanda daha iyi yağlama sağlar. R-508B ile çalışan kademeli kompresör sisteminin hesaplanan çalışma değerleri, Çizelge 4.4' de R-503, R-13 ve R-23 gazlarının çalışma değerleriyle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. R-13, R-503, R-23, ve R-508B kullanan kademeli sistemlerin teorik performansları

	R-503	R-13	R-23	R508B
Kapasite	100	71	74	98
Etkinlik	100	105	95	103
Boşaltma Basıncı, (kPa)	999	717	848	1013
Emme Basıncı, (kPa)	124	83	90	124)
Boşaltma Sıcaklığı, (°C)	107	92	138(*)	85

*Bu alanda yapılan deneyler, boşaltma sıcaklığının; bazı hava geçirmez ve yarı hava geçirmez kompresör sistemlerinde 149 °C'ye kadar yükselebileceğini göstermiştir.

Genel kurallar

R-508B varolan sistemlerin büyük bir bölümünde R-13, R-23 ve R-503'ün yerine kullanılabilir en iyi alternatiftir.

R-508B'ye dönüşüm yaparken, bir "HFC" türü dönüşüm prosedürü izleyin.(Suva® HP62 prosedüründe olduğu gibi)

Dönüşüme başlamadan önce, sistem iyi bir çalışma koşulunda olmalıdır. R-508B daha önceden varolan problemleri çözmez. Genel performans değerleri dönüşümden önce ve sonra kaydedilmelidir.

Varolan yağ, düşük çalışma sıcaklıklarına uyumlu ve kaliteli olan polyester yağlayıcı (PY) ile değiştirilmelidir. Artık doğal yağ,%5'den az olmalıdır. Bu üç yada daha çok yağlayıcı meme gerektirebilir.

Polyester yağlar, doğal yağlardan daha iyi çözücü olduğundan, toplanan artık yağların bir kısmı soğutucu yağ haznesinde dağıtılabilir(sistemin kullanım süresine ve durumuna bağlı olarak). Filtreler, dönüşümden sonra, ilk kullanıldığı zamanlarda da daha sık değiştirilme gereksinimi yaratabilirler.

Nem tutucular değiştirilmelidirler. R-13, R-503 ve R-508B için dizayn edilen nem tutucular kullanılabilir.

DuPont tarafından denetlenen çoğu dönüşümlerde O-ring değiştirilmemiştir. Buna rağmen; O-ring kullanma sürelerine ve kullanılşılılık durumlarına bakıldığında, bu ringler olası bir sızıntı kaynağıdır. Dönüşümden önce ve sonra bir sızdırmazlık testi mutlaka yapılmalıdır. Dönüşüm esnasında zarar gören herhangi bir O-ring, HFCs polyeıter yağlayıcılarına uyumlu olan yeni O-ringle değiştirilmelidirler [29,30].

R-13 yada R-503 ile kullanılmaya tasarlanmış dönüşüm yada onarım makineleri R-508B ile de kullanılabilir. Fakat, soğutucuları karıştırmaktan sakının.

R-508B'ye dönüşüm:

R-503'den R-508B'ye dönüşüm

R-508B'nin kapasitesi, enerji etkinliği ve basınç değerleri R-503'nkilere oldukça yakındır. Kompresör boşaltım sıcaklığı kayda değer derecede düşüktür. Bu nedenlerden dolayı dönüşüm esnasında çok az değişikliğe ihtiyaç duyulur. Yüksek kalitedeki bir POE yağlayıcının değiştirilmesi en önemli değişimdir [29,30].

Sistemler belirli bir basınçla yüklenir. R-508B için gerekli olan statik yükleme basınını R-503'nkinden yaklaşık olarak % 8 kadar daha düşük olması gerekliliği göz ardı edilmemesi gereken genel bir kuraldır.

R-13'ten R-508B' ye dönüşüm

Yüksek kaliteli POE kullanınız. Artık doğal yağ % 5'ten az olmalıdır. R-508B' nin statik dolum dolma basını R-13'nkinden yaklaşık olarak % 50 daha fazla olmalıdır. Sistemi çalıştırdıktan sonra, dolum miktarı kk miktarlar eklenerek ve sistemin performansı gözlenerek uyumlu hale getirilmelidir. Sistem çalıştıktan sonra dolum

miktarının ayarları dikkatlice gözlenmelidir. Çünkü, aşırı dolun sistem kapalı haldeyken sistemde basınç yükselmesiyle sonuçlanabilir [29,30].

Uygulamaların çoğu için, genişleme tankı, değiştirilmek zorunda değildir. R-508B R-13'ten çok az miktarda yüksek basınç ve hacme sahiptir. Fakat, daha küçük ağırlıktaki bir soğutucu sisteme eklenir. Bu kombinasyon sistem kapatıldığı zaman yeterli genişleme kapasitesi ile sonuçlanmalıdır. Çok yüksek çevre şartlarında, genişleme tankının basınç oranı yeterlilik için ölçülmelidir [29,30].

R-508B daha yüksek boşaltma basıncına sahip olduğundan dolayı yüksek basınç vanası ayarlanmak zorundadır. R-508B için ilk olarak 11793 kPa civarında ayarlanmalıdır. İleride başka ayarlamalar gerekebilir [29,30].

Bazı sistemlerde varolan genişleme vanası yeterli olacaktır. Eğer değiştirilmek zorundaysa aynı ölçü oranındaki R-503 genişleme vanası önerilir. Kontrol etmek istenirse; R-508B için dizayn edilen genişleme vanalarının uygun olup olmadığını görmek amacıyla yedek parça satıcılarıyla görüşebilirsiniz.

R-508B'nin teorik soğutma kapasitesi R-13'e göre %30 daha büyüktür. Bu da dolaşım sisteminin çalışmasını etkileyen bir orandır. Değişiklikler gerekli olabilir. Isı değiştiricileri genişleme araçları ve kompresör motoru, sistem üzerinde ki herhangi bir ek yüklemeyi kaldırabilecek şekilde geliştirilmelidir. R-508B'nin, varolan sistemlerin büyük bir çoğunluğunda R-13'ün yerini alabileceğine inanıyoruz. Bazı R-13 sistemlerinde, R-508B dizayn gerekliliklerini tatmin edemeyebilir ya da genişleme aracı yeterli olmayabilir. Böyle durumlarda size kapasitesi R-13'ünkünden % 5 daha yüksek olduğu için R-23'ü kullanmayı düşünmenizi tavsiye ediyoruz. R-23'ün sistemin güvenilirliğini ciddi derecede olumsuz olarak etkileyen daha yüksek bir boşaltma ısısına sahip olduğunu aklınızdan çıkarmayın [29,30].

R-23'den R-508B'ye dönüşüm

R-508B' nin varolan sistemlerde R-23'ün yerine kullanılması düşünülmelidir. R-508B daha yüksek kapasite, etkinlik ve daha alçak kompresör boşaltım sıcaklığını sunar. Buna ek olarak, R-508B, R-23'ten daha düşük evaporatör sıcaklıklarında pozitif emme basıncı gösterir [29,30].

Örneğin: -84 °C'de R-23 için emme basıncı 90 kPa olacaktır. R-508B için olacak basınçta 122 kPa olacaktır.

Eğer R-23'te bir POE kullanılıyorsa R-508B'ye dönüşüm esnasında değiştirilmek zorunda değildir.

Genleşme tankı değiştirilmek zorunda değildir. Eğer bir genleşme tankı orjinal CFC'den R-23'e dönüşümün bir parçası olarak yüklendiyse dönüşüm miktarı buna göre ayarlanmak zorundadır.

R-508B'nin daha yüksek çalışma basıncına bağlı olarak boşaltım vanasının ayarları 11793 kPa'a yükseltilmelidir.

Eğer sistem sıvı enjeksiyonla donatıldıysa, akışı azaltmak için vanaların tekrar kısılmasına ihtiyaç duyulabilir.

R-508B %25 daha yüksek kapasiteye sahip olduğu için, TGV yeniden ayarlanmak veya değiştirilmek ihtiyacı duyurabilir. Bazı durumlarda bu püskürtücünün basitçe değiştirilmesiyle halledilebilir.

NOT: Sistem sıvı geçirgenliği olmayan bir conta içeriyorsa ve contalar ayarlanmak veya değiştirilmek zorundaysa R-508B' ye geçiş ekonomik açıdan hiçbir fayda sağlamayacaktır.

Çizelge 4.5. Çeşitli statik dolular

Orjinal Soğutucu		R-508B	Statik Dolum Oranı
Tip	Statik Dolum (kPa)	Statik Dolum * (kPa)	
R-13	5087,5	5453,8	1.07
R-503	5087,5	4680,5	0.92
R-23	5087,5	3825,8	0.75

*Deney Koşulları: T_E : 57 °C, T_K : 32 °C. Bu veriler genel olarak ölçümlerle hazırlanmıştır. Dolum optimizasyonu gerekli olabilir.

R-13, R-503 ve R-23 yerine R- 508B'nin uygulanabilirliği:

Boşaltma Sıcaklığı Karşılaştırması; R-508B, kompresörün artan boşaltım sıcaklığını düşürerek kompresörün ömrünü uzatır ve güvenli çalışmasını sağlar.

Elinizdeki sistemden CFC' ye dönüşüm yaparken, kapasitede azalma olmamasını istiyorsak R-508B ile R -503'ün karşılaştırılmasını yapmalıyız.

R-508B ile kullanılan enerji daha etkin kullanılır. Dolayısıyla kayıplar azalır ve maliyet düşer.

R-508B, R 23' e göre sistemde yağlamayı sağlayan maddelerle daha çabuk karışabilir.

R-508B' ye olan dönüşümler, % 77'ye kadar daha ucuza yapılabilmektedir [29,30].

Kompresör seçimi

Soğutma sistemlerindeki kompresörlerin görevi; buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanı düşük basınçta emmek ve yüksek basınçta yoğunlaştırıcıya basmaktır.

Kademeli sistemlerde standard tip pozitif yer değiştirmeli kompresörlerin kullanımı uygundur. Yüksek sıcaklık soğutma sistemi buharlaştırıcısı, düşük sıcaklık soğutma sisteminin yoğunlaştırıcısı olarak görev yapar. Bu durum, kompresörlerdeki çıkış sıcaklıkları, yağ, sıkıştırma oranları ve basınçlarla ilgili olarak her iki sistemdeki kompresörlere daha rahat ve daha uygun çalışmasına imkan verir. Ama yinede kaskat sistemin düşük ve yüksek sıcaklık devrelerinin her ikisinde de çalışma esnasında meydana gelebilecek problemlerden sakınmak amacıyla birkaç önemli ayrıntı göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılacak kompresörler, düşük sıcaklık buharlaştırıcısı ile yüksek sıcaklık yoğunlaştırıcısının en iyi kombinasyonu ve minimum sistem gücü (veya ekonomiklik) yönünden çok iyi analiz edilmelidir [8].

Yüksek sıcaklık kompresörü

Yüksek sıcaklık sistemi genellikle ticari soğutucu akışkan (R-22, R-412, R-404A veya R-717) kullanan tek veya iki kademeli sistemlerdir. Buharlaştırıcı sıcaklığı yaklaşık $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ve kondenser sıcaklığı normal ortam sıcaklığının $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerindedir. Ticari olarak kullanılan pistonlu ve vidalı tip kompresörler, bu görev için uygundur [8].

Düşük sıcaklık kompresörü

Soğutucu akışkan genellikle R-23 veya R-508B'dir. Düşük sıcaklık tarafındaki sıcaklık $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'in altında olduğu için, bütün boru donanım, vanalar ve tanklar, bu sıcaklıkla ilgili ASME tarafından belirlenen uygunluktaki malzemelerden olmak zorundadır [8].

Kompresör buharlaşma sıcaklığı $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'in altında olduğundan, kompresör giriş vanası ve gövdesindeki düşük sıcaklıklara maruz kalan metallerde kırılmalardan sakınmak için kızgın kompresör giriş gazını en az $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutmak için emme hattı ısı değiştiricisi gerekir. Emiş hattı boru donanım malzemeleri Amerikan Makine Mühendisleri (ASME) birliğinin belirlediği özelliklere uygun olmak zorundadır [8].

Literatür araştırmalardan alınan sonuca göre üreticiler malzeme değerlerini

açıklamada isteksiz olabileceğinden dolayı bu soğutucu akışkanlarla yapılan düşük sıcaklık uygulamalarında malzeme seçimi bilgilerinin elde edilmesi zor olabilir. Bu nedenle düşük sıcaklık tarafında istenilen özelliklere uygun olan malzeme tasarlanmasında titiz davranılmalıdır.

Aşırı ısınmadan meydana gelen kapasite kaybı, emiş hattındaki ısı değiştiriciden elde edilen aşırı soğutmadan geri kazanılandan daha fazladır. Bazı durumlarda, maksimum emme sıcaklığı sağlamak için, emme hattına az miktarda sıcak gaz püskürtmek gerekli olabilir.

Boru ve sistem elemanları için malzeme seçimi

Mekanik ve fiziksel özellikler, imal ve elde edilebilirlik düşük sıcaklık uygulamaları için malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörlerin en önemlileridir. Sıcaklığın düşmesiyle meydana gelen, sertliğin, kırılmanın ve elastikiyet modüllerinin yükselmesi dışında birkaç genelleme yapılabilir. Düşük sıcaklıkların süneklik ve kırılma üzerindeki etkisi değişebilir. Bazı metaller sıcaklıktaki düşme ile süneklikte bir yükselme gösterirken bazıları, oda sıcaklığının altına düştüğünde süneklik ve kırılma özelliklerinde bir azalma gösterirler. Polimerler deki sıcaklık düşüş etkisi polimerin tipine bağlıdır. Camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında çok hafif bir hal alırken, düşük sıcaklıklarda sertlikleri artarak kırılma kazanırlar. Isıtıldığında yapılarında bir hafifleme olmayan termoplastikler, ortam sıcaklığında kırılırlar ve daha düşük sıcaklıklarda bu kırılma özelliklerini muhafaza ederler. Sıcaklık düşürüldüğünde termoplastikler gibi sertleşen ve yapısal olarak çok hafif katılaştıran elastomerler (plastikler), çok düşük sıcaklıklarda tamamen kırılma olurlar.

Polimerler, düşük sıcaklıklarda kırılma olmalarına ve çatlayabilmelerine rağmen mükemmel ısı ve elektriksel yalıtım kabiliyetleri, düşük yoğunluk, düşük ısı kapasite ve magnetik olmama gibi özelliklerinin kombinasyonlarından dolayı düşük sıcaklık uygulamaları için cazip hale gelmektedirler.

Çok düşük sıcaklıklarda bütün plastik malzemeler oldukça kırılabilirler ve metal ve kompozitlere göre düşük kırılabilirlik ve düşük ısı iletkenliğe sahiptirler [8].

Fiber kompozit malzemeler kendi kırılabilirliklerinden dolayı bileşenlerinin montaj ve birleştirme zorluklarına rağmen düşük sıcaklıklarda kullanım alanı bulurlar. Kompozitlerin kullanımında göz önünde bulundurulması gereken bir faktör de farklı sıcaklıklarda gösterdikleri anisotropik davranışlarıdır. Kompozitler fiberler ile karşılaştırıldığında daha anisotropiktirler.

Düşük sıcaklıkta kullanılacak malzeme seçiminde aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Maliyet,
- Ürünün çalışacağı gerilme düzeyi,
- Üretilebilirlik,
- Çalışma sıcaklığı,
- Kaynak edilebilirliği ve bu kaynak noktalarındaki gerilmelerin düzeyleri,
- Kırılabilirlik (süneklik derecesi),
- Aşırı nem ve korozyondan etkilenme düzeyi,
- Farklı malzemelerle bağlantı ve ekler için elastikiyet modülü ve ısı genleşmeleri,
- Isı iletkenlik ve ısı direnç.

Borular ve tanklarda, düşük sıcaklıkta soğutucu akışkan bulundurulacağı zaman, düşük sıcaklığın malzemeler üzerindeki etkisinden dolayı özel (uygun) malzemeler seçilmelidir.

Isı işlemlerde kullanılan metal genellikle karbon çeliğidir. Fakat karbon çeliği, -29 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sünekliğini kaybettiği için kullanımı pek uygun değildir. Tasarımcılar, düşük sıcaklıktaki sünekliklerinin oldukça iyi olmasından dolayı 304 ve 316 paslanmaz çeliklerinin kullanımını tercih etmelidir. Diğer bir alternatif ise, düşük sıcaklıklarda sünekliklerini koruyabilen özel imalat karbon çeliği

kullanımıdır [7]. Örneğin;

Karbon çeliği	-29 °C' ye kadar
SA – 333 – GR1	-29 °C' den - 46 °C' ye
SA – 333 – GR7	-46 °C' den - 73 °C' ye
SA – 333 – GR3	- 59 °C'den - 101 °C' ye
SA – 333 – GR6	- 46 °C'ye kadar.

Yağlayıcı seçimi

Varolan bir düşük sıcaklık sisteminde yer alan bir R-508B için yağlayıcı seçiminin kriterleri aşağıdakileri içerir:

- Soğutucu akışkan / yağ karışabilirliği,
- Kimyasal denge,
- Malzemelerin uyumluluğu,
- Soğutma sistem tasarımı

olarak sınıflandırılabilir.

Sistemde yağlamadaki en önemli özelliklerden birisi karışabilirliktir. Hatta karışabilirliğin artırılması ile sistem performansı artırılabilir. R-508B' nin Polyol Esterler (POEs) ile karışabilirliği, R-13, R-23 ve R-503' ün düşük buharlaşma sıcaklıklarındaki dolaşımına yardımcı olan alkali benzen ve madeni yağlarla kısıtlı karışabilirliğinden daha iyidir [7].

Yüksek sıcaklık sistemlerinde yağ, sistemde dolaşan soğutucu akışkan, buharlaştırıcıdaki düşük sıcaklık şartlarına uygun olmalıdır.

Kaskat sistemin düşük sıcaklık tarafı için ise seçilen yağ sistemde çalışan özel soğutucu akışkanla uyumlu ve buharlaştırıcıda meydana gelecek düşük sıcaklıklara

uygun olmalıdır. Kompresörden buharlaştırıcıya yağ ayırımını en aza indirmek için yeteri miktarda yağ ayırımı sağlanmalıdır.

Doğrudan genleşme buharlaştırıcısında, yağ tüplere doğru gönderilir. Fakat dönüş hatlarındaki hız, bu az miktarda yağın kompresöre dönmesini sağlayacak kadar yüksek olmalıdır. Böyle çok düşük sıcaklıklarda buharlaştırıcı yüzeylerinde kötü ısı transferine sebep olmaması için yağ sıvı halde kalacak ve yüzeylerde yapışıp kalmayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Genleşme tankı seçimi

Kullanılan soğutucunun ne olursa olsun, bazı düşük sıcaklık sistemleri genleşme tankları içerirken, bazılarında gerek duyulmaz. Sistemi dizayn ederken OEM bir genleşme tankının çeşitli nedenlerden dolayı gerekli olup olmadığına karar verir. Bir tank iki nedenden dolayı ihtiyaç duyulur:

Yüksek dolun esnasında soğutucunun bir tanktan dolmasını sağladığımız zaman, kompresör boşaltım basıncı ciddi bir şekilde yükselme gösterir.

Sistem bir süre için kapatıldığında doymuş sıvının oluşumunu engellemek için, yeterli buhar boşluğunu sağlamaktır. Doymuş sıvı meydana geldiğinde çok yüksek bir basınç oluşturur. Genleşme tankı, sadece sistem basıncını kısıtlayan kızgın buharın meydana gelmesini sağlar.

Eğer bir genleşme tankı bulunmazsa, yukarıda ikinci maddede belirtilen durumu engellemek için çeşitli bileşikleri olan yeterli buhar boşluğuyla birlikte bir sistem dizayn edilir.

R-503 veya R-23'ten R-508B' ye dönüşüm esnasında, varolan genleşme tankları değiştirilmek zorunda değildir.

R-13'ten R-508B' ye dönüşüm esnasında, bir genleşme tankının yüklenmesine ya da değiştirilmesine ihtiyaç duyulabilir. Yapılan birçok dönüşümde tankın yüklenmesine

yada değiştirilmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Verilen bir sistem için R-508B' nin düşük buhar yoğunluğu, daha geniş bir genleşme tankına ihtiyaç duyulabileceğini gsterir. Buna rağmen bu her zaman byle olmaz. Çünkü daha az R-508B doldurulmasına ihtiyaç vardır ve orijinal sistem genellikle gerekli olan en az buhar boşluğundan daha çok buhar boşluğuyla dizayn edilir.

5. KASKAT SİSTEMLERİNDE KILCAL BORU VE HESAP PROGRAMI

5.1. Giriş

Günümüzde mevcut ticari soğutuculardaki kılcal boru uzunlukları üretici firmaların yaptıkları hesaplar sonucunda kullanılan akışkanların katalog değerlerinde verilmektedir. Ancak Kaskat sistemlerin düşük sıcaklık bölgesinde kullandığımız R-508B alternatif soğutucu akışkanına ait kılcal boru uzunluğu katalog değerleri bulunmamaktadır. Yaptığımız bu çalışmada bazı parametrelere bağlı olarak uygun kılcal boru uzunlukları saptanmıştır.

5.2. Kılcal Boru Genleşme Elemanı Seçimi

Burada söz konusu olan, verilen bir buharlaşma sıcaklığına uygun olarak kılcal borunun boyunu ve çapını belirlemektir. Seçimi yapılan kılcal boru genişleme elemanı ile makine, uygun bir denge noktasında kalması esastır. Yapı ve dizayn yönünden basit olan bu elemanın seçimi oldukça karışıktır. Boyundan büyük hesap işlemlerini gerektiren kılcal boru genişleme elemanı seçimi konusunda, izlenecek yöntemi belirlemek en önemli hareket noktasıdır. Uygulamada kılcal boru boyu montaj işçiliğine göre bir miktar değişir. Kılcal borunun montajda deforme olması basınç kaybına sebep olur. Bu nedenle uygulamada kılcal boru boyu teorik boydan daha kısadır.

5.2.1. Kılcal boru boyunun teorik olarak hesaplanması

1- Öncelikle sistem için verilen değerlere dayanarak sistemde kullanılan soğutucu akışkanın basınç / entalpi diyagramından buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun çalışma verileri bulunur (basınç ve sıcaklıkları).

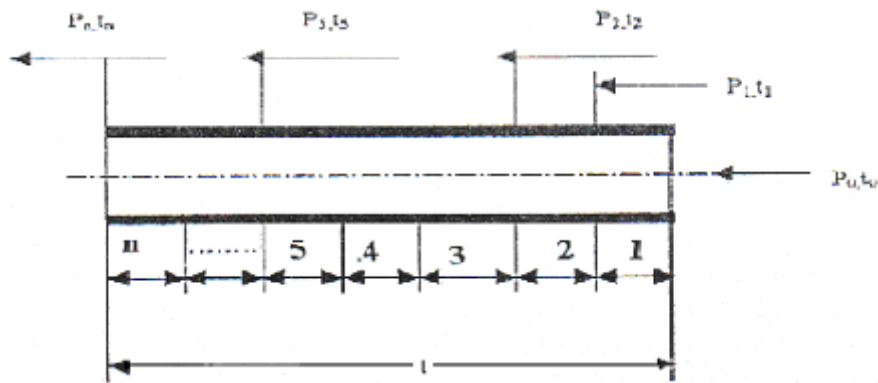
2- Kılcal borunun birim boyu için basınç düşmesi hesaplanır.

- 3- Birim uzunluklara bölünen kılcal boru için; her bir parçaya giriş hızları, özgül hacimleri ve viskoziteleri hesaplanır.
- 4- Soğutucu akışkanın kılcal borudaki, hızlanmasından ileri gelen basınç düşümü hesaplanır.
- 5- Sürtünme kayıplarından meydana gelen basınç düşümleri boru boyunun her birimi için hesaplanır.
- 6- Her bir parçada bulunan basınç düşümleri toplanarak, genel basınç düşümü hesaplanır ve bu basınca uygun boy bulunur [12].

Aşağıda kılcal boru boyunun teorik olarak hesaplanması ile ilgili örnek bir problem verilmiştir.

Bu örnek R-508B soğutucu akışkanı ile çalışan bir soğutma sisteminde; saatte 10 kg soğutucu akışkan dolaşmaktadır. Sistemin yoğuşma basıncı 11,25 bar ve yoğuşma sıcaklığı -31°C 'dir. Bu sistemde buharlaştırıcıya giriş basıncının 0,867 bar olması için genişleme elemanı olarak kullanılan 0,1 cm çapındaki kılcal borunun boyunun nasıl hesaplandığı aşağıda gösterilmiştir.

Çözümün uzun olmaması için örnek olarak sadece $\Delta l_{(0-1)}$ parçası hesaplanacaktır.



Şekil 5.1. Kılcal boru parçasının çözümü

0,1 cm çapında (l) cm boyundaki kılcal borunun $\Delta l_0, \Delta l_1, \Delta l_2$ gibi uzunluk birimlerine bölündüğünü ve birbirine eşit olmayan bu birimlerdeki sıcaklık düşmesi farklarının değişmediği varsayılacaktır. Yani ;

$$t_0 - t_1 = t_1 - t_2 = t_2 - t_3 = \dots = t_{n-1} - t_n \quad (5.1)$$

Kılcal boruya girişte doymuş sıvı halinde olan soğutucu akışkan sıcaklığı R-508B diyagramında (log P-h) diyagramından -31°C olduğu açıktır.

Şimdi; $t_0 - t_1 = t_1 - t_2 = t_2 - t_3 = \dots = 5^\circ\text{C}$ borunun her dilimindeki sıcaklık düşüşü varsayarak giriş noktasından (0) çıkış noktasına (n) doğru hareket edilecektir.

$-31^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = -36^\circ\text{C}$ olan (1) noktasının,

$-36^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = -41^\circ\text{C}$ olan (2) noktasının ve daha sonra diğer noktaların özelliklerini yazalım.

(1-2-3-....-n) noktalarının şekilde görüldüğü gibi sıvı-buhar bölgesinde olduğu açıktır. Böylece bu bölgedeki noktalar için (x) kalitesi söz konusudur.

$$p_0 = 11,25 \text{ bar}$$

$$t_0 = -31^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 9,78 \text{ bar}$$

$$t_1 = -36^\circ\text{C}$$

X_0 (doymuş sıvı)

$$H_{f-g} = h_g + x_1 (h_f - h_g) \quad (5.2)$$

$X_1 =$ (1) noktasının kalitesi

$$X_1 = \frac{h_{f-g} - h_g}{h_f - h_g} \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte;

h_{f-g} = Sıvı-buhar bölgesindeki noktanın entalpisi (kj)

h_g = Doymuş sıvının entalpisi (kj)

h_f = Doymuş buharın entalpisi (kj)

Böylece;

$$X_1 = \frac{125,1 - 146,4}{271,5 - 146,4}$$

$$X_1 = 0,17$$

(0) noktasında doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkanın özgül hacmi (tablo değeri)

$$V_0 = 0,0008 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Boru kesit alanı;

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,001^2}{4} \quad (5.4)$$

$$A = 0,785 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ olur.}$$

(1) noktasının özgül hacmi;

$$v_1 = v_f + X_1(v_g - v_f) \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte;

v_f = Doymuş sıvının özgül hacmi (m^3/kg)

v_g = Doymuş buharın özgül hacmi (m^3/kg)

(1) noktası şartlarında;

$$v_f = 0,0008 \text{ m}^3/kg$$

$$v_g = 0,017 \text{ m}^3/kg$$

$$v_1 = 0,008 + 0,17 \times 0,017$$

$$v_1 = 0,0036 \text{ m}^3/kg$$

Kılcal borudaki soğutucu akışkanın hızını m/sn olarak;

$$W = \frac{G \cdot v}{3600 \frac{(\pi \cdot d^2)}{4}} \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte;

W = Soğutucu akışkanın hızı (m/sn)

G = Sistemde dolaşan soğutucu akışkan miktarı (kg)

V = Soğutucu akışkanın özgül hacmi (m^3/kg)

formülde bulunan değerlere (0) ve (1) noktasına göre değerler uygulanırsa;

$$W_0 = 2,83 \text{ m/sn bulunur.}$$

Borunun (1) noktasındaki akış hızı ise;

$$W_1 = 12,6 \text{ m/sn bulunur.}$$

Borudaki akış nedeni ile oluşan basınç kaybı; akışkan ve boru iç yüzeyi ile akışkanın kendi içindeki sürtünmeden kaynaklanmaktadır.

Böylece $\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2$ yazılır. Daha genel bir ifade olarak boru içindeki sıvı akışına uygulanmak üzere;

$$10^4 \cdot v dp + \frac{f \cdot W^2 \cdot dl}{2 \cdot d \cdot g} + \frac{W \cdot dw}{g} = 0 \quad (5.7)$$

eşitliği kullanılır.

Bu eşitlikte;

$g =$ Yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/sn}^2$)

$f =$ Sürtünme katsayısı

$d =$ Boru çapı (m)

$dl =$ Boru için diferansiyel uzunluk (m)

Yukarıdaki kapalı ifade (dp) ye göre düzenlenirse;

$$dp = -\frac{f \cdot W^2 \cdot dl}{2 \cdot g \cdot d \cdot v \cdot 10^4} - \frac{W \cdot dw}{g \cdot 10^4 \cdot v} \quad (5.8)$$

elde edilir.

Eş. 5.6 düzenlenirse;

$$\frac{W}{v} = \frac{G}{3600 \cdot A} \quad (5.9)$$

elde edilir.

Eş. 5.9 değeri Eş. 5.8'de yerine yazılırsa ;

$$dp = -\frac{f.W.G.dl}{2.3600.10^4.g.A.d} - \frac{G.dw}{3600.10^4.g.A} \quad (5.10)$$

elde edilir.

Borunun (0-1) arasındaki basınç kaybı dp 'nin entegrasyonu ile bulunur.

$$\int_0^1 dp = -\frac{G}{2.10^4.3600.g.A.d} \int_0^1 f.w.dl - \frac{G}{3600.10^4.g.A} \int_0^1 dw \quad (5.11)$$

Sürtünme nedeniyle oluşan basınç kaybı;

$$\frac{G}{2.10^4.3600.g.A.d} \int_0^1 f.w.dl \quad (5.12)$$

Bu ifade borunun (Δl_{0-1}) parçası için;

$$\Delta P_{(0-1)} = -\frac{\Delta W.G}{3600.10^4.g.A} - \frac{G}{2.10^4.3600.g.A.d} \int_0^1 f.w.dl \quad (5.13)$$

şeklinde yazılır.

Bu ifadede (ΔW),(G),(A),(g) değerleri yerine yazılırsa;

$$\frac{\Delta W.G}{3600.10^4.g.A} = \frac{(12,6 - 2,83).10}{3600.10^4.9,81.0,78.10^{-6}} = \frac{97,7}{276} = 0,35 \text{ kg/cm}^2 \quad (5.13.1)$$

Diğer yandan;

$$P_1 = 9,78 \text{ bar}$$

$P_0 = 11,25 \text{ bar}$ olduğuna göre;

$$\Delta P = 11,25 - 9,78 = 1,47 \text{ bar} \quad (5.13.2)$$

$$\frac{G}{2.10^4.3600.g.A.d} = \frac{10}{2.10^4.3600.9,81.0,0785.10^{-6}.0,001} = \frac{10}{0,555} = 18,01 \quad (5.13.3)$$

Bulduğumuz 1, 2 ve 3 sonuçlarını birleştirirsek;

$$\Delta P_{(0-1)} = -0,35 - 18,01 \int_0^1 f.w.dl \quad (5.13.4)$$

elde edilir.

Eş. 5.13.4'ü düzenlersek;

$$27,8 \int_0^1 f.w.dl = 1,12 \quad (5.13.5)$$

elde edilir.

Burada çözümü basitleştirmek için (Δl_{0-1}) boru parçası için ortalama bir (f) ve (w) değerleri kabul edilecektir.

Bu eşitlikte,

f_{ort} : Ortalama sürtünme katsayısı

w_{ort} : Ortalama akış hızı ise;

$18,01 \cdot f_{\text{ort}} \cdot W_{\text{ort}} \cdot (\Delta l_{0-1}) = 1,12$ yazılır.

$$W_{\text{ort}} = \frac{2,83 + 12,6}{2}$$

$$W_{\text{ort}} = 7,7 \text{ m/sn}$$

bulunur.

Ortalama sürtünme kaybı için, (1) ve (0) değerlerini tespit etmek gerekir. Akış yüzeyi pürüzsüz olan borular için sürtünme kaybı Blasius eşitliği kullanılarak,

$$f = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad (5.14)$$

formülü ile ifade edilir veya daha yaklaşık bir değer için;

$$f = \frac{0,32}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad (5.15)$$

alınır.

Burada (Re) Reynold sayısı olup,

$$\text{Re} = \frac{dW}{\mu v} \quad (5.16)$$

μ : Akışkanın viskozitesi (kg / m sn)

R-508B' ye göre (0) ve (1) noktaları için (μ) değerleri;

$$\mu_0 = 0,000176 \text{ kg / m sn}$$

$$\mu_1 = 0,000186 \text{ kg / m sn}$$

(0) ve (1) noktaları için Reynold sayıları (Re_0) ve (Re_1) olarak hesaplırsak;

$Re_0=20105,5$ ve $Re_1=19024,6$ bulunur.

Bu değerlere gore (0) ve (1) noktasının surtunme katsayıları (f_0),(f_1) ve ortalama surtunme katsayısı (f_{ort});

$f_0=0,0268$ ve $f_1=0,0272$ dir. Buna gore;

$$f_{ort} = \frac{f_0 + f_1}{2} = 0,02706$$

bulunur.

$$18,01 \cdot f_{ort} \cdot W_{ort} \cdot \Delta l_{(0-1)} = 1,12$$

$$\Delta l_{(0-1)} = \frac{1,12}{18,01 \cdot 0,02706 \cdot 7,7} = 0,484$$

$\Delta l_{(0-1)} = 48,4 \text{ cm}$ bulunur.

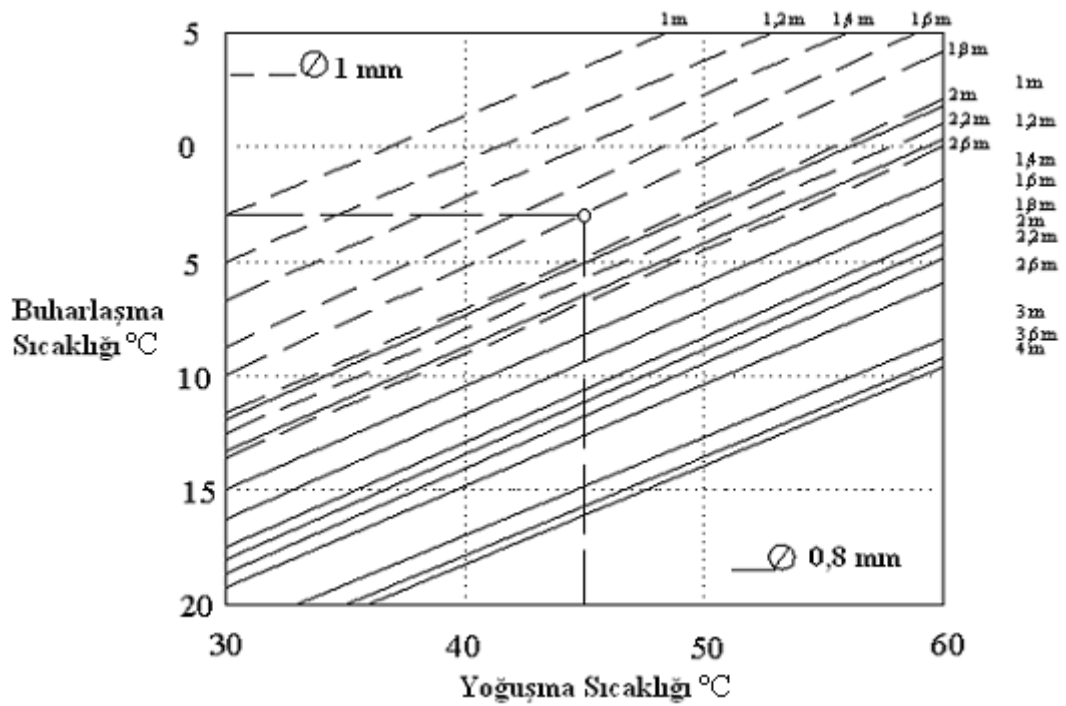
Kılcal borunun birinci dilimi için yapılan bu hesap işlemi, diğer dilimler için de yapılarak bir değerler tablosu duzenlenir. (Δl) parça boyları toplanır ve gerekli olan toplam kılcal boru uzunluğu hesaplanır.

5.2.2. Kılcal boru boyunun pratik olarak hesaplanması

Kılcal boru boyunun hesaplanmasının kesin olarak bir matematiksel formule dayan-

dırılmadığı daha önce belirtilmişti. Bunun için soğutma sistem bileşenlerini imal eden firmalar kendi ürünlerine göre tablo ve grafikler hazırlamışlardır [12].

Bu grafik ve tablolar kullanılan soğutucu akışkan türüne göre farklı kılcal boru çapları için düzenlenmiştir. Kompresör modeli seçildikten sonra, kompresörün performansını optimize etmek için buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu seçim ile ilgili bir örnek bir sistemle Şekil 5.2'de gösterilmiştir [12].



Şekil 5.2. Kılcal boru boyunun grafiksel tespiti

Örnekte, R-134a soğutucu akışkanı ile çalıştırılan kompresör gücü 1/5 HP olarak seçilmiştir. Gerekli çalışma şartları, buharlaşma sıcaklığı -3°C ve yoğuşma sıcaklığı 45°C dir. 1 mm kılcal boru iç çapı için; 1,8 metre boru uzunluğu tespit edilir [12].

5.3. Kullanılan Hesaplama Metodu

Bu çalışmada; günümüzde yaygın olarak kullanılan düşük sıcaklıklı kaskat soğutucularda bulunan alternatif soğutucu akışkanlardan R-508B gazı ile çalışan bir sistemde

genleşme elemanı olarak kullanılan kılcal boru boyu, kullanılan değerlere göre hesaplanmıştır.

5.3.1. Hesaplama programı

Bu program kılcal borunun verilen değerlere göre nasıl değiştiğinin basitçe görülebilmesi amacıyla Visual Basic tabanlı makro olarak Microsoft Excel’de hazırlanmıştır. Hazırlanan programda kılcal boru boyu ve çapının hesaplanabilmesi için gerekli değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Programın akış şeması Visual Basic tabanlı olarak ekte bulunmaktadır.

Çizelge 5.1. Hesaplama yapılacak çalışma şartları

Yoğuşma basıncı (bar)	8,5 ~ 11,25
Buharlaştırma basıncı (bar)	0,867 ~ 1,15
Yoğuşma sıcaklığı (°C)	-31 ~ -45
Buharlaştırma sıcaklığı (°C)	-71 ~ -91
Soğutucu akışkan miktarı (kg/h)	9 ~ 15

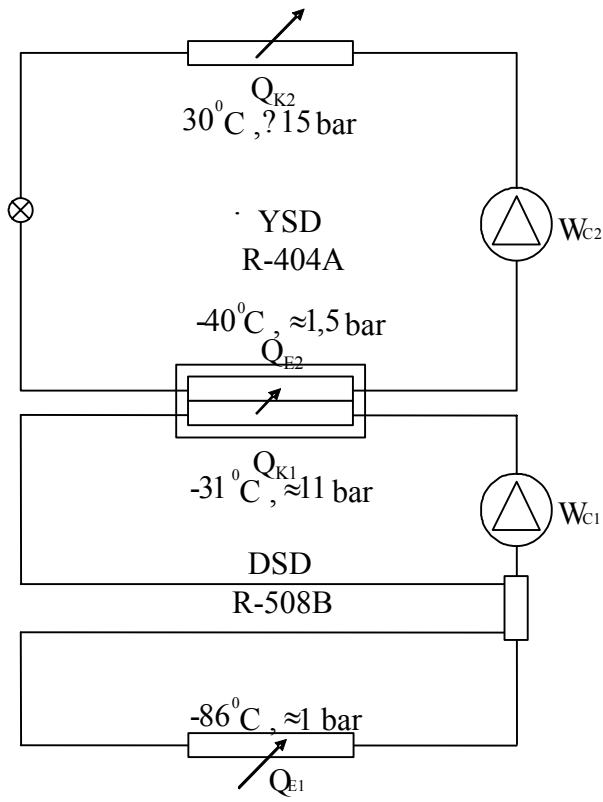
5.4. Hesap Parametreleri

Hesaplama yapılan sistemdeki parametreler aşağıda verilen sistemin çalışma şartlarına göre yapılmıştır.

Şekil 5.3 ‘teki sistemin ikinci kısmına göre hesap parametreleri belirlenmiştir. Buna göre; sistemin ikinci kısmının R-508B ile soğutucu akışkanı ile çalıştığı bir kademeli soğutma sisteminde, Çizelge 5.2’de verilen değerler doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Buradaki parametreler ölçülen değerlere göre yaklaşık olarak alınmıştır. Genleşme elemanı olarak kullanılan 0,1 - 0,11 - 0,12 - 0,125 - 0,127 cm çapındaki kılcal boruların çaplarına göre boru boylarının değişimini incelenmiştir.

Çizelge 5.2. Hesaplama yapılacak sistemin çalışma şartları

Yoğuşma basıncı (bar)	11,25
Buharlaştırma basıncı (bar)	0,867
Yoğuşma sıcaklığı (°C)	-31
Buharlaştırma sıcaklığı (°C)	-91
Soğutucu akışkan miktarı (kg/h)	9,612



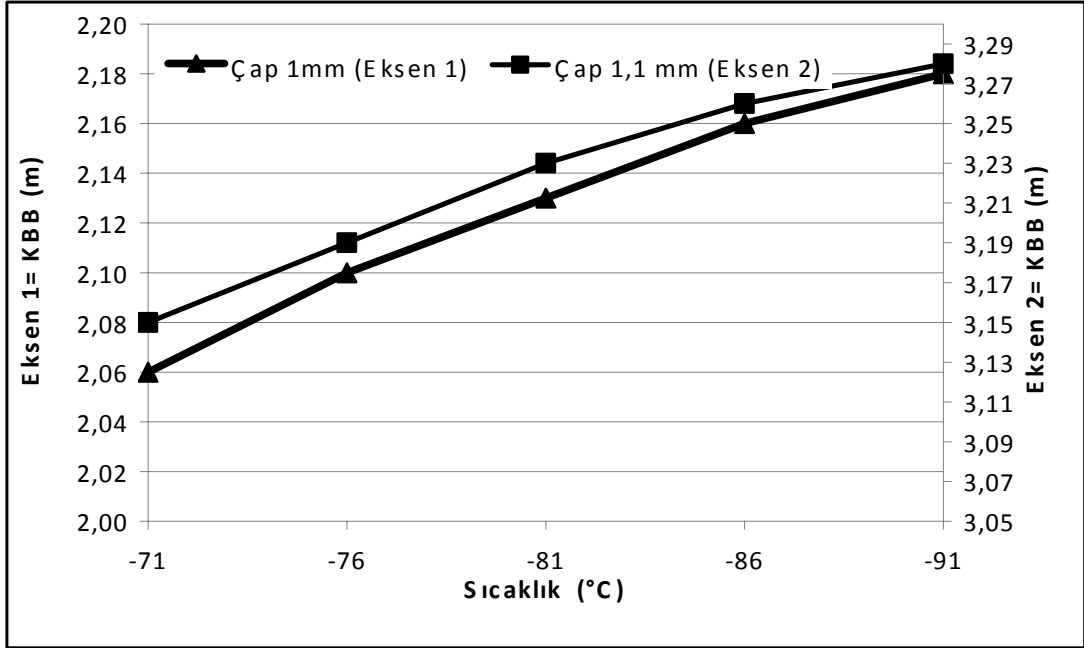
Şekil 5.3. Hesaplama kullanılan sistem

Yapılan hesaplamalarda birim aralıklarda kılcal boru boyu hesaplamaları yapılmış, burada her bir birim arasındaki sıcaklık farkı sabit alınarak hesaplamaya gidilmiştir.

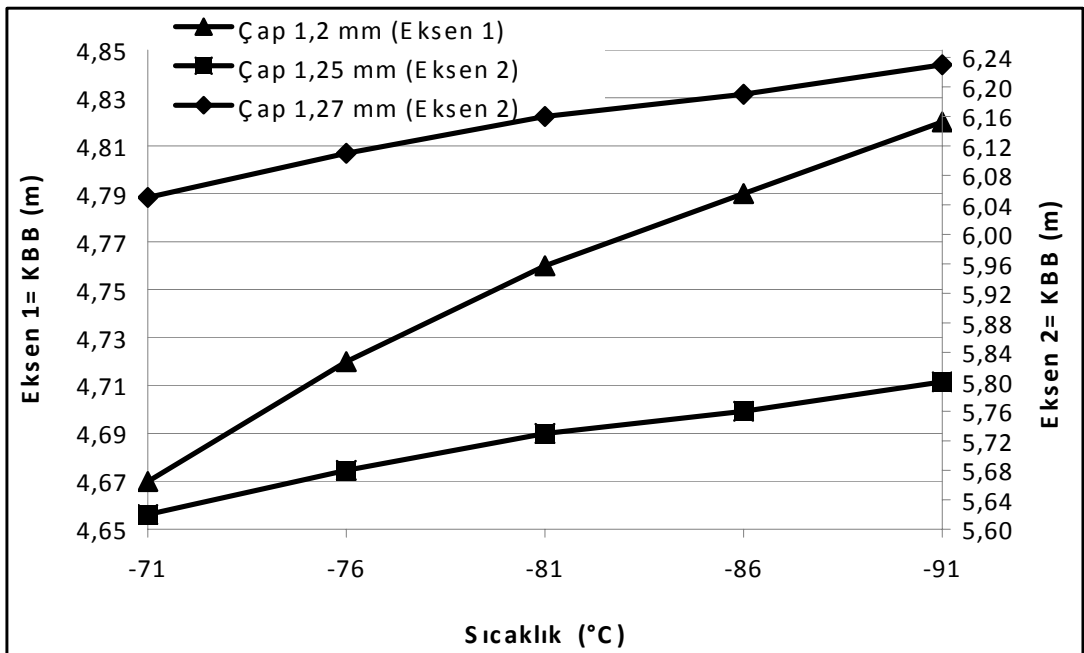
Burada yapılan hesaplamalarda kullanılan değerler R-508B soğutucu akışkanının termodinamik özelliklerinden yararlanılarak yapılmıştır.

5.5. Hesap Sonuçları

Yapılan hesaplar neticesinde kılcal boru boylarında değişim aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Burada Şekil 5.4.a'da 0,00267 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.4.b'de 0,00267 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.5.a'da 0,00277 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.5.b'de 0,00277 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.6.a'da 0,00305 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.6.b'de 0,00305 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.7.a'da 0,00333 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.7.b'de 0,00333 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.8.a'da 0,00361 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.8.b'de 0,00361 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.9.a'da 0,00388 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.9.b'de 0,00388 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.10.a'da 0,00416 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1 ve 1,1 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir. Şekil 5.10.b'de 0,00416 kg/sn debideki soğutucu akışkan için 1,2 – 1,25 ve 1,27 mm çapındaki kılcal boru boyu değişimi görülmektedir.

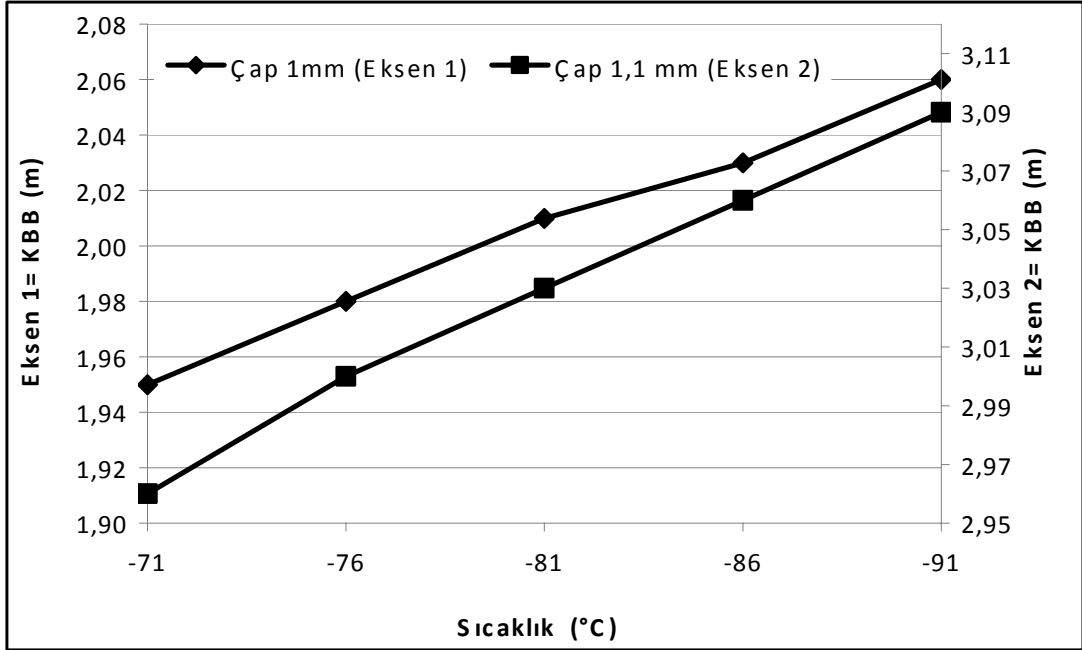


a)

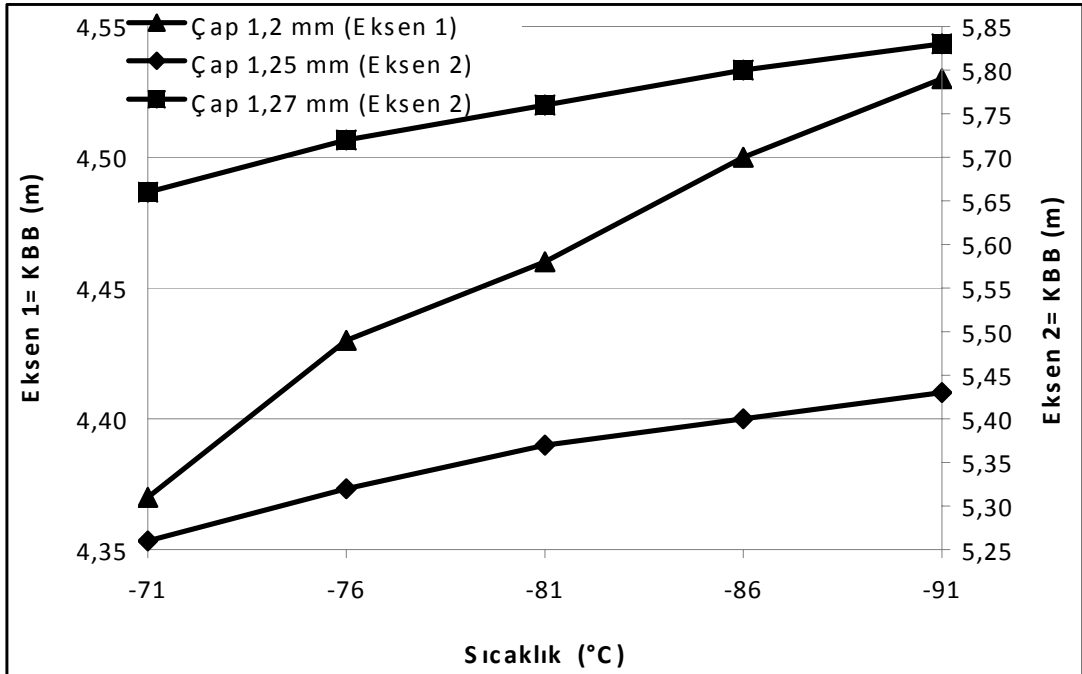


b)

Şekil 5.4. 0,00267 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

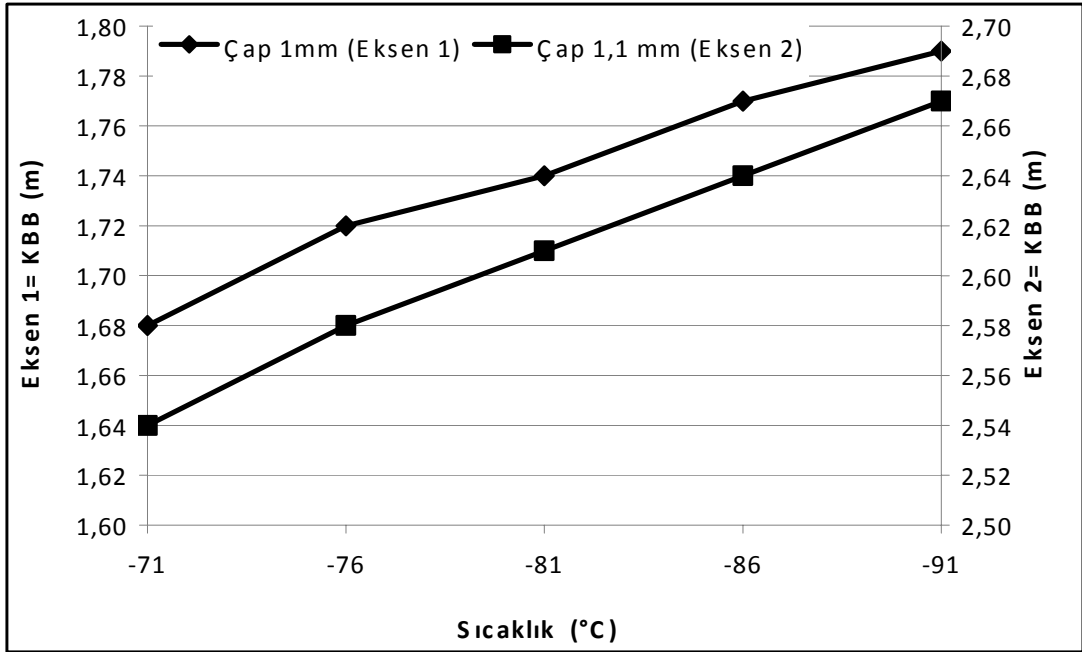


a)

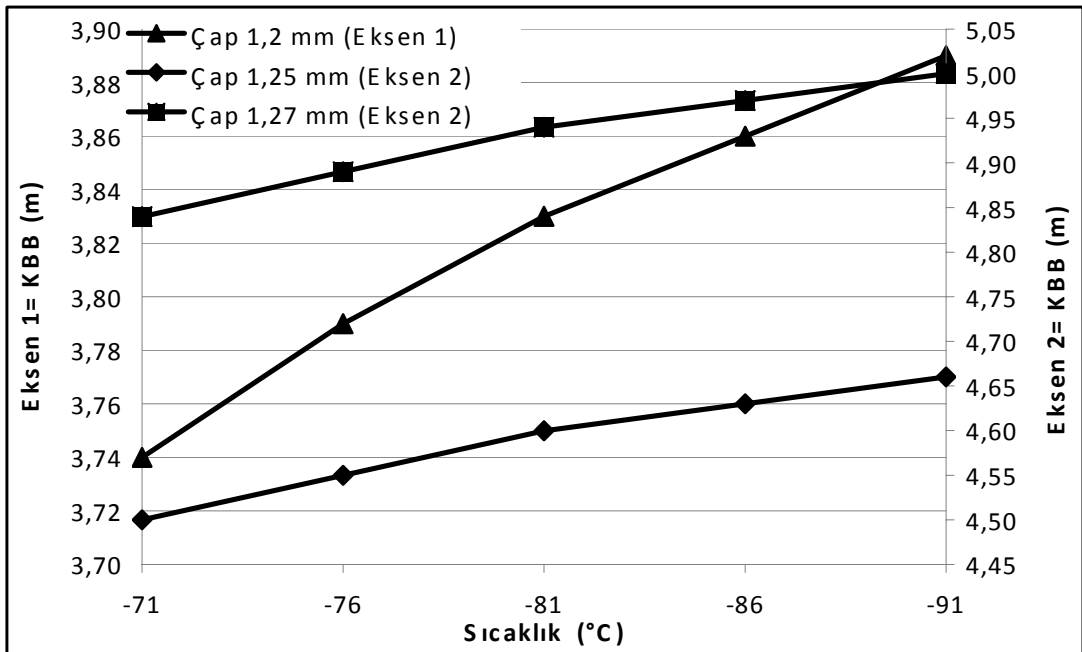


b)

Şekil 5.5. 0,00277 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

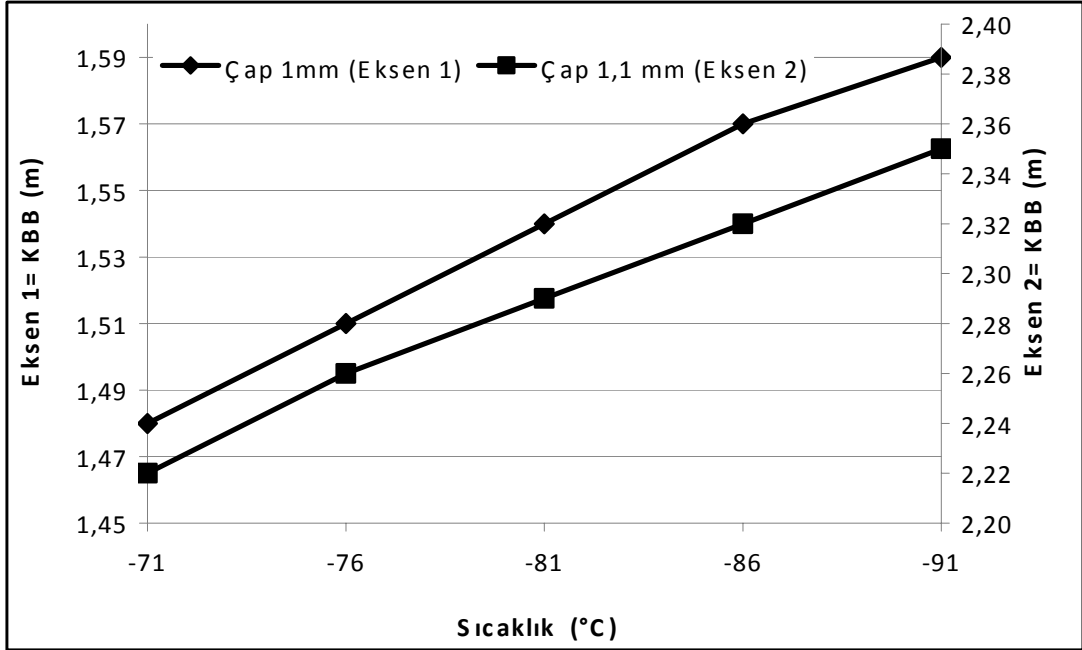


a)

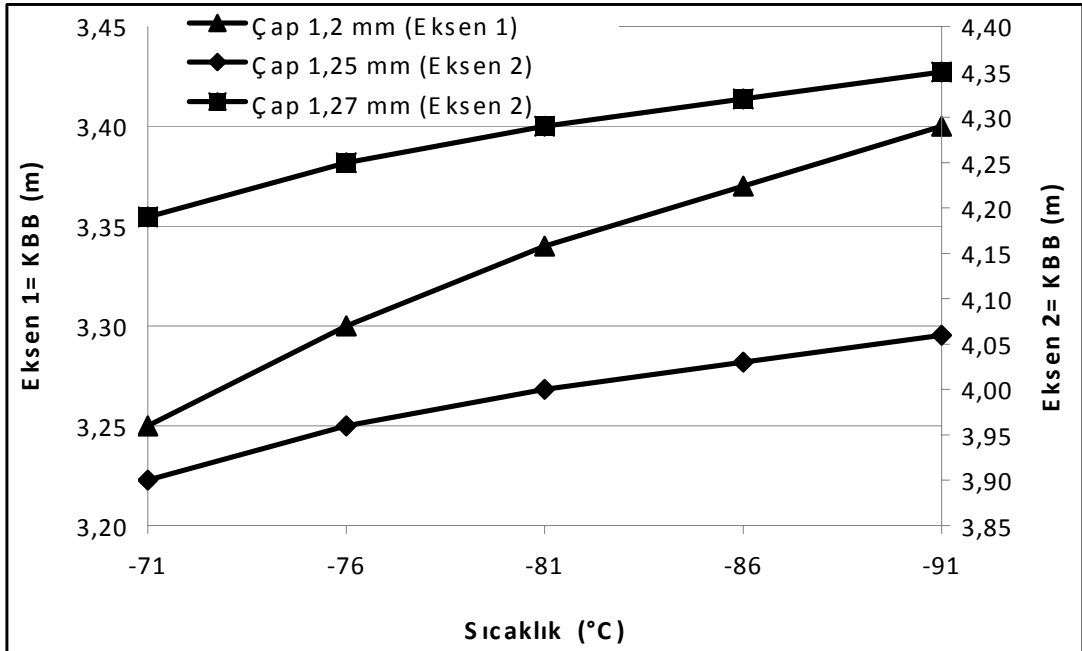


b)

Şekil 5.6. 0,00305 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

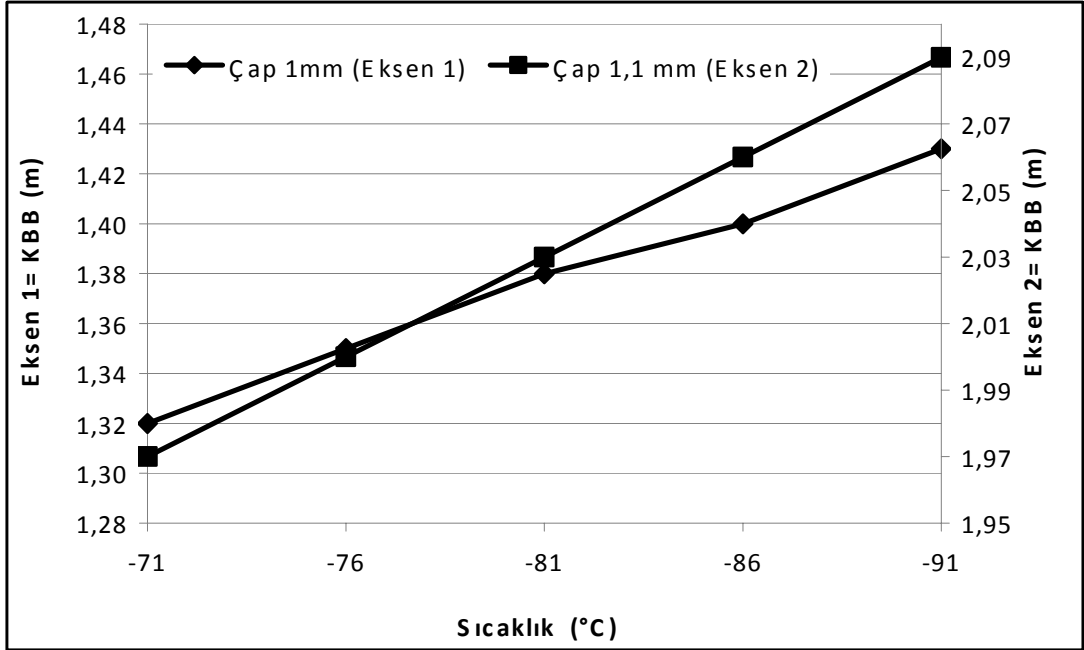


a)

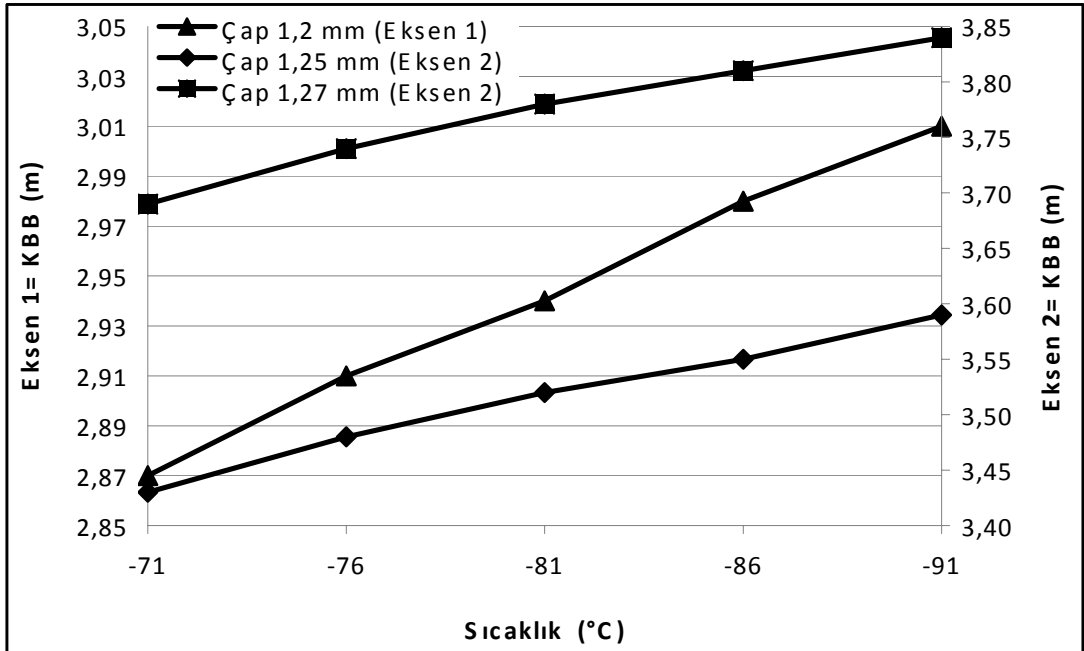


b)

Şekil 5.7. 0,00333 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

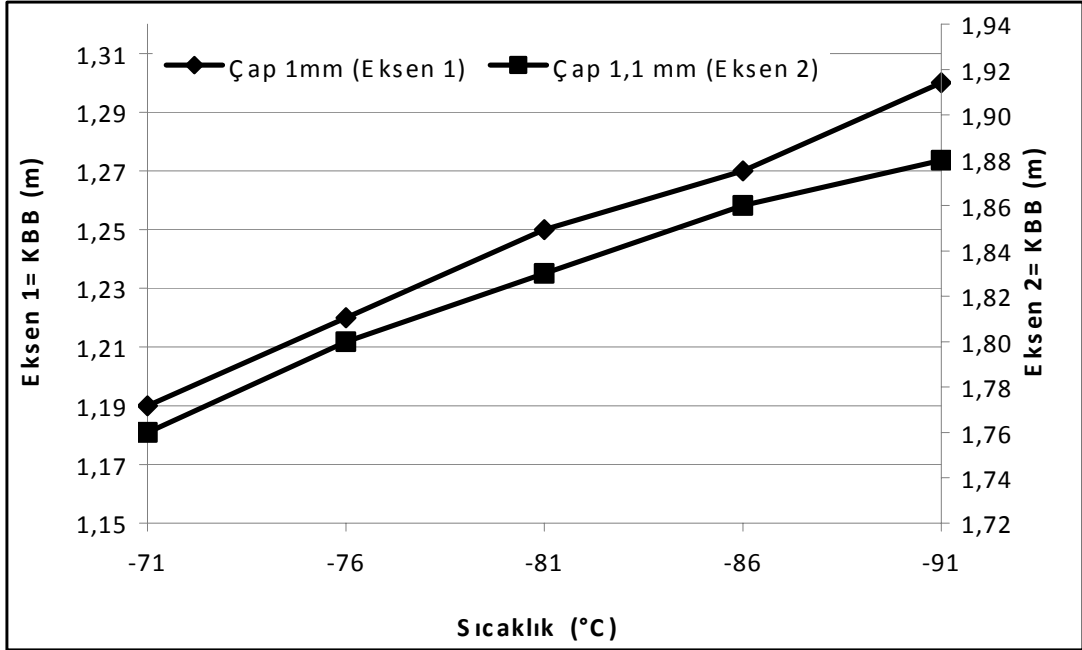


a)

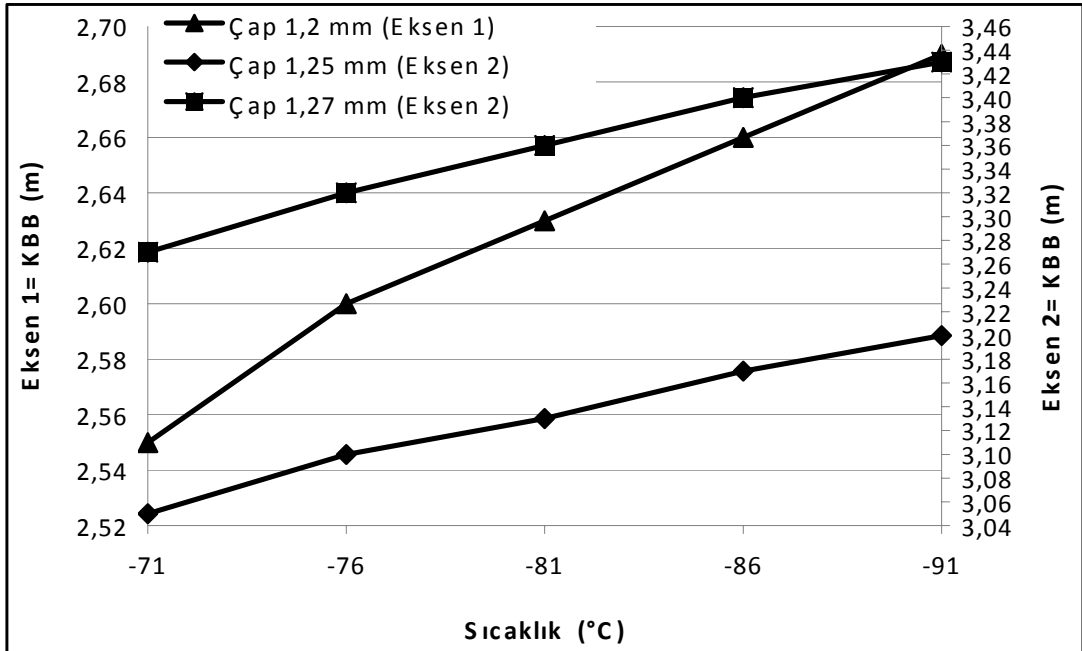


b)

Şekil 5.8. 0,00361 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

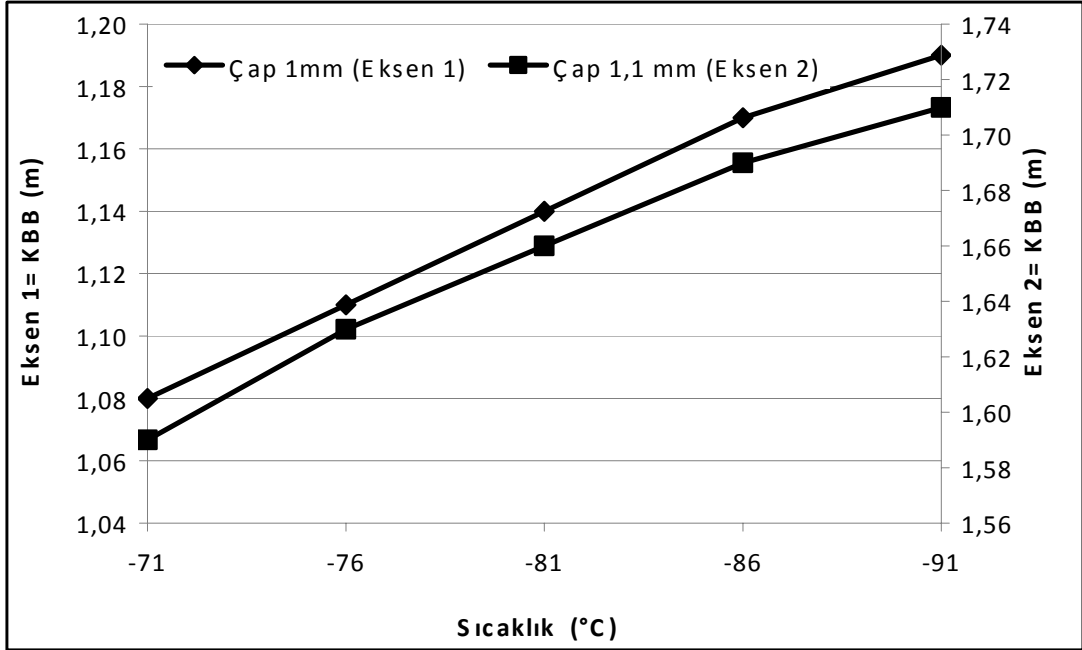


a)

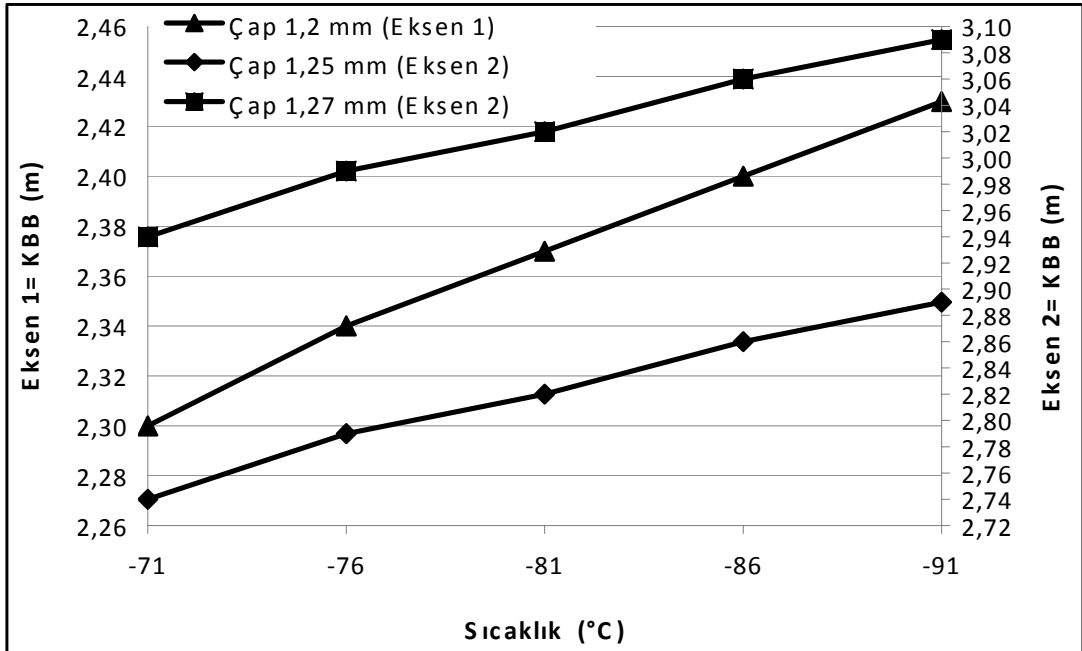


b)

Şekil 5.9. 0,00388 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için



a)



b)

Şekil 5.10. 0,00416 kg/sn debideki kılcal boru boyu değişimi a: 1 ve 1,1 mm çap için
b: 1,2-1,25 ve 1,27 mm çap için

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar ve Tartışmalar

Düşük sıcaklıklı kaskat soğutma cihazları ülkemizde $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutma istenen hastane ve ziraat sektörü gibi yerlerde, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar ileri teknoloji kabul edilmekte ve yurt dışında belirli ülkelerde imal edilmektedir. Bunun sonucu olarak, bu tür cihazlar hakkında yeterli teknolojik bilgiye ulaşılamamaktadır. Ayrıca, sistem elemanları, kullanılan soğutucu akışkanlar vb. konularda da literatürde de yok denecek kadar az bilgi mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde imalatı yapılacak olan bu tür soğutucularda kullanılacak kılcal borunun çap ve uzunluğunun teorik olarak hesaplanmasına yardımcı olmaktır. Bu amaç için yapılan çalışmalar ve teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Sistemde kılcal boru uzunluğunun hesaplanması için basit bir sistem geliştirilmiştir. Bu program Visual BASIC tabanlı bir makro olarak Microsoft Excel de hazırlanmıştır.
- Yapılan hesaplamalarda daha önce yapılmış deney verilerinden yararlanılmıştır.
- Yapılan hesaplarda belirli sıcaklık aralıkları için kılcal boru boyları bulunmuştur. Bunlardan özellikle deneylerde ideal olarak değerlendirilen 1,27 mm çapı için kılcal boru boyu değerinin deneylerde bulunan 3 ile 4 m arasındaki değerlere yakın olduğu görülmüştür.
- Yapılan hesaplarda kılcal boru boyunun çaplarıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.
- Yapılan hesaplamaların deneysel uygulamalara uygun olduğu gözlenmiştir.

6.2. Öneriler

Sonuçlardan elde edilen bilgilere göre ileride yapılacak çalışmalar için aşağıdakiler önerilebilir;

- Elde edilen çalışmaların geçerliliğini göstermek için deneysel çalışmalar yapılmalıdır.
- Yapılacak deneylerde uygulanacak kılcal boru boyunun istenen çalışma şartlarını sağlayıp sağlamadığını görmek için daha çok noktada basınç ve sıcaklık ölçümü yapılabilir.
- Bu çalışmada, çalışma şartları için verilen bazı değerler (sıcaklık ve basınç gibi) yuvarlanarak alınmıştır. Bundan dolayı çıkan bulgular tam teorik noktaları yansıtmamaktadır.
- Yapılacak çalışmalarda başka soğutucu akışkanlarda denenebilir.
- Ek de geliştirilmesi amacıyla programın akış şeması verilmiştir. Bu çalışmada incelenmeyen başka soğutucu akışkanlar için de geliştirilerek kullanılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

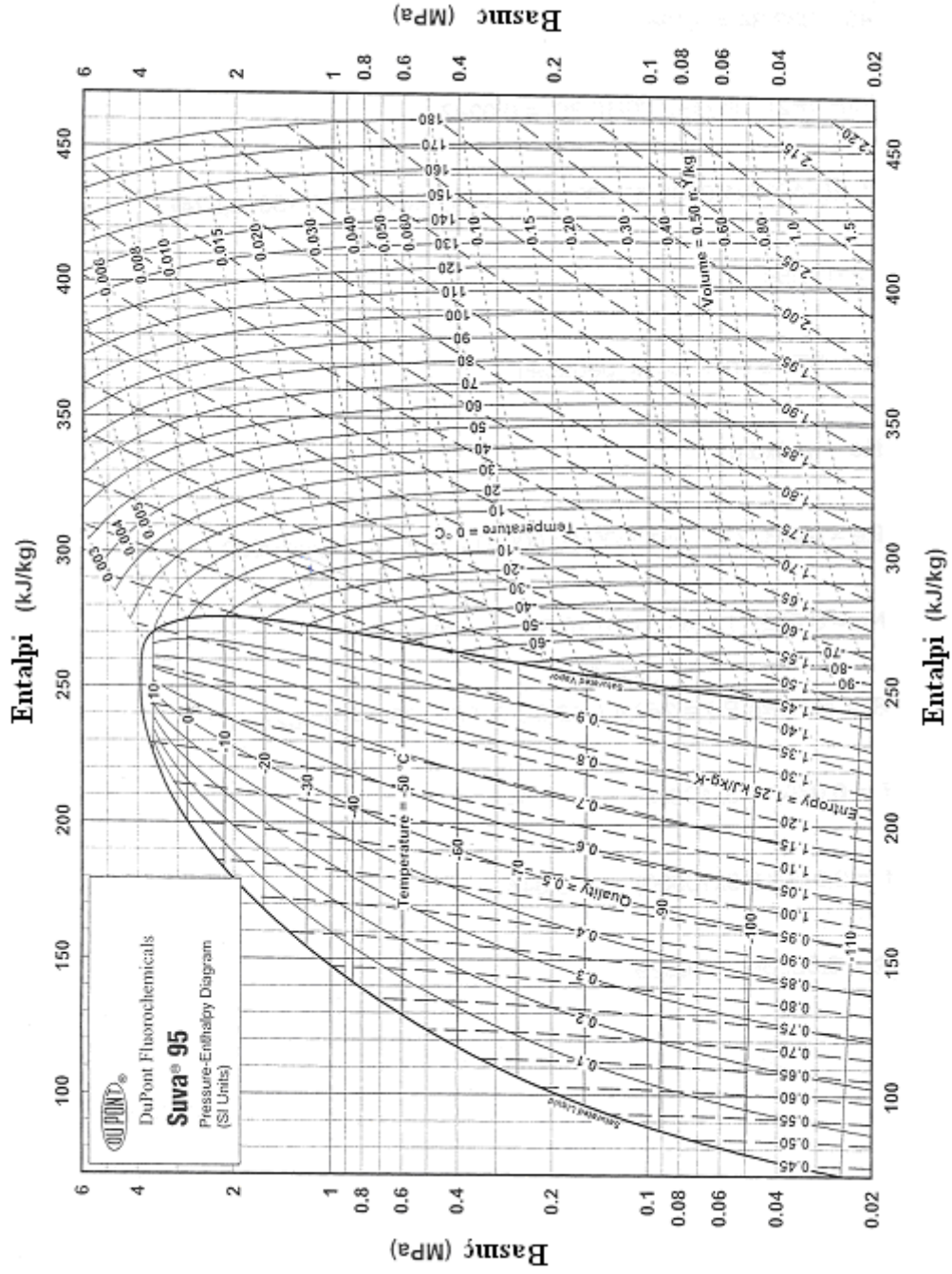
1. Ceylan, M., “Kademeli Soğutma Sistemlerinde Makine Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-9 (2002).
2. Rose, D., H., Valence, J., H., “Consideration When Purchasing An Ultra-Low Temperature Freezer”, *Genetic Engineering News*, April, 1-4 (1995).
3. Menlik, T., “Alternatif Akışkanlı İki Kademeli Soğutma Sisteminin Tasarımı, İmali ve Performans Deneyleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 57-69 (2005).
4. Savaş, S., “Soğuk Depoculuk ve Soğutma Sistemlerine Giriş”, *Birsen Yayın Evi*, Ankara, 52-58 (1987).
5. Kılıçarslan, A., “An experimental investigation of a different type vapor compression cascade refrigeration system”, *Applied Thermal Engineering*, 24: 2611–2626 (2004).
6. “Refrigerants”, *Ashrae Handbook – Fundamentals*, Part 18, USA, 211-264 (1998).
7. Özkol, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, TMMOB MMO Yayını, Y. No:115, *Özkan Matbaacılık*, Ankara, 75-92 (1999).
8. Çengel, A., Y., Boles, M., A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Derbentli, T., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 219-230 (1996).
9. Stefanutti, L., Lassa, E., “İklimlendirme ve Soğutma Sistemleri İçin Yeni Soğutkanlar”, *TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 156-160 (1998).
10. Sevel, M., H., “Montreal Protokolü 10. Yılı ve Getirdikleri”, *Soğutma Dünyası*, Kasım/Aralık, No:1, Ankara, 45-47 (1997).
11. Calm, J., M., “The four R’s for RRRR- Responsible responses to Refrigerant Regulation”, Engineered Systems, *EBSCO Publishing*, Ekim, 69-72 (2003).
12. Odabaşoğlu, T., “Ticari Soğutucularda Alternatif Soğutucu Akışkan R-134A İçin Kılcal Boru Uzunluğunun Deneysel Olarak Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 60-68 (2001).
13. Uyarel, A., Y., “Endüstriyel Okullar için Soğutma ve İklimlendirme”, *MEB Yayını*, Ankara, 142 (1994).
14. Richard, D., “HFC-134A Qualification Industry Refrigerator Capillary Data”, *Journal of Chemical and engineering Data*, 438-440 (1997).

15. Doğan, H., “Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 233-264 (2002).
16. Genceli, O., “Termodinamik ve Soğutma Çevrimleri”, Ashrae Temel El Kitabı, *Alaş Ofset*, İstanbul, 13-14 (1996).
17. “*Ashrae Handbook*”, Refrigeration-Low Temperature Application, Part 39, USA, 271-318 (1998).
18. Ercan, S., “Düşük Buharlaştırıcı Sıcaklıklarında Ticari soğutucular İçin Alternatif Soğutucu Akışkanların Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18-28, 28-36, (1999).
19. “*Ashrae Handbook*”, Fundamentals, Part 18, Refrigerants, USA, 268-301 (1997).
20. “Refrigerant Report 10th Edition”, Bitzer International, <http://www.bitzer.de/doc/a/a-501-13.pdf> (2007).
21. “The Evaporator”, Neslab Service Newsletter, ULT Issue-16, *Neslab Service Training Held*, 10-17 (1996).
22. “The Evaporator”, Neslab Service Newsletter, ULT Issue-17, *Neslab Service Training Held*, 1-16 (1996).
23. Sanyo, Ultra Low Temperature freezers-MDF U3086S, *Service Manuel*, 1-22 (1994).
24. Bateman, D., “Maintaining reliable operation of very low temperature test equipment in the post-CFC ERA”, *Institute of Environmental Science*, 177-180 (1997).
25. Rehman, J., Zubair, S., M., “Design and Rating of a Two-Stage Vapor-Compression Refrigeration System”, *Energy*, 867-878 (1998).
26. Zorkun, M., Ardıç, A., R., “Soğutma Tekniği ve Klima”, *Milli Eğitim Basım Evi*, İstanbul, 48-64 (1980).
27. Ersoydan, A., “Soğutma makineleri ve Tesisleri”, *Uğur Ofset*, İzmir, 58-84 (1983).
28. Missimer, D., J., Refrigerant Conversion of Auto – Refrigerating Cascade (ARC) Systems, *International Journal of Refrigeration*, 20(3) : 201-207 (1996).
29. Suva95, Refrigerants, Katalog, [http://www.dupont.com/suva/emea/products/su va95.html](http://www.dupont.com/suva/emea/products/su_va95.html) (2007).

30. Klea 508, Refrigerants, Katalog,
http://www.ineosfluor.com/Refrigeration/Europe/Products/Refrigerants/KLEA508_PPDS.asp (2007).

EKLER

EK-1. R-508B'nin Termodinamik Özellikleri



Şekil 1.1.R-508B'nin log P-h diyagramı

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.1. Doygunluk özellikleri – Sıcaklık tablosu

Sıcaklık k C	Basınç		Hacim		Yoğunluk		Entalpi			Entropi	
	kPa		m ³ /kg		kg/m ³		kJ/kg			kJ/kgK	
	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Sıvı- Buhar	Buhar	Sıvı	Buhar
	P _s	P _g	v _s	v _g	1/v _s	1/v _g	h _s	h _{sg}	h _g	s _s	s _g
-110	25,1	21,7	0,0006	0,6439	1637,6	1,553	70,3	171,7	242,0	0,4288	1,4815
-109	27,0	23,6	0,0006	0,5968	1633,4	1,676	71,0	171,5	242,5	0,4329	1,4774
-108	29,0	25,5	0,0006	0,5538	1629,2	1,806	71,8	171,2	242,9	0,4370	1,4733
-107	31,1	27,6	0,0006	0,5146	1624,9	1,943	72,5	170,8	243,4	0,4411	1,4694
-106	33,4	29,8	0,0006	0,4787	1620,7	2,089	73,3	170,5	243,9	0,4453	1,4656
-105	35,8	32,2	0,0006	0,4458	1616,5	2,243	74,1	170,2	244,3	0,4496	1,4618
-104	38,3	34,7	0,0006	0,4157	1612,2	2,406	74,9	169,9	244,8	0,4539	1,4582
-103	41,0	37,3	0,0006	0,3880	1607,9	2,577	75,7	169,5	245,2	0,4582	1,4546
-102	43,8	40,1	0,0006	0,3626	1603,6	2,758	76,5	169,2	245,7	0,4626	1,4511
-101	46,8	43,1	0,0006	0,3392	1599,3	2,948	77,3	168,8	246,1	0,4671	1,4477
-100	49,9	46,2	0,0006	0,3176	1595,0	3,149	78,1	168,4	246,6	0,4716	1,4444
-99	53,3	49,5	0,0006	0,2977	1590,7	3,359	79,0	168,1	247,0	0,4761	1,4411
-98	56,8	53,0	0,0006	0,2793	1586,3	3,581	79,8	167,7	247,5	0,4807	1,4379
-97	60,4	56,7	0,0006	0,2623	1581,9	3,813	80,7	167,3	247,9	0,4853	1,4348
-96	64,3	60,6	0,0006	0,2465	1577,6	4,057	81,5	166,9	248,4	0,4899	1,4318
-95	68,4	64,6	0,0006	0,2319	1573,2	4,312	82,4	166,4	248,8	0,4946	1,4288
-94	72,6	68,9	0,0006	0,2184	1568,8	4,579	83,3	166,0	249,3	0,4993	1,4260
-93	77,1	73,4	0,0006	0,2058	1564,3	4,859	84,2	165,6	249,7	0,5040	1,4231
-92	81,8	78,2	0,0006	0,1941	1559,9	5,152	85,0	165,1	250,2	0,5088	1,4203
-91	86,7	83,1	0,0006	0,1832	1555,4	5,458	85,9	164,7	250,6	0,5135	1,4176
-90	91,9	88,3	0,0006	0,1731	1551,0	5,778	86,8	164,2	251,1	0,5184	1,4150
-89	97,3	93,8	0,0007	0,1636	1546,5	6,112	87,8	163,7	251,5	0,5232	1,4124
-88	102,9	99,5	0,0007	0,1548	1542,0	6,460	88,7	163,3	251,9	0,5281	1,4099
-87	108,8	105,4	0,0007	0,1466	1537,4	6,823	89,6	162,8	252,4	0,5330	1,4074
-86	115,0	111,7	0,0007	0,1389	1532,9	7,202	90,5	162,3	252,8	0,5379	1,4049
-85	121,4	118,2	0,0007	0,1316	1528,3	7,597	91,5	161,8	253,2	0,5428	1,4026
-84	128,2	125,4	0,0007	0,1249	1523,7	8,007	92,4	161,2	253,7	0,5478	1,4002
-83	135,2	132,1	0,0007	0,1186	1519,1	8,435	93,4	160,7	254,1	0,5528	1,3979
-82	142,5	139,5	0,0007	0,1126	1514,5	8,879	94,4	160,2	254,5	0,5578	1,3957
-81	150,1	147,2	0,0007	0,1071	1509,9	9,342	95,3	159,6	255,0	0,5628	1,3935
-80	158,1	155,2	0,0007	0,1018	1505,2	9,822	96,3	159,1	255,4	0,5678	1,3914
-79	166,3	163,6	0,0007	0,0969	1500,5	10,321	97,3	158,5	255,8	0,5729	1,3893
-78	175,0	172,3	0,0007	0,0923	1495,8	10,840	98,3	157,9	256,2	0,5779	1,3872
-77	183,9	181,3	0,0007	0,0879	1491,1	11,378	99,3	157,3	256,7	0,5830	1,3852
-76	193,2	190,7	0,0007	0,0838	1486,3	11,936	100,3	156,8	257,1	0,5881	1,3832
-75	202,9	200,5	0,0007	0,0799	1481,5	12,515	101,3	156,2	257,5	0,5932	1,3813
-74	213,0	210,6	0,0007	0,0763	1476,7	13,115	102,4	155,5	257,9	0,5983	1,3794
-73	223,4	221,2	0,0007	0,0728	1471,9	13,737	103,4	154,9	258,3	0,6035	1,3775
-72	234,2	232,1	0,0007	0,0695	1467,0	14,382	104,4	154,3	258,7	0,6086	1,3756
-71	245,5	243,4	0,0007	0,0665	1462,1	15,050	105,5	153,6	259,1	0,6138	1,3738
-70	257,1	255,2	0,0007	0,0635	1457,2	15,741	106,5	153,0	259,5	0,6189	1,3721
-69	269,2	267,4	0,0007	0,0608	1452,3	16,457	107,6	152,3	259,9	0,6241	1,3703
-68	281,7	280,0	0,0007	0,0582	1447,3	17,197	108,7	151,7	260,3	0,6293	1,3686
-67	294,7	293,0	0,0007	0,0557	1442,3	17,963	109,7	151,0	260,7	0,6345	1,3670
-66	308,1	306,5	0,0007	0,0533	1437,2	18,756	110,8	150,3	261,1	0,6397	1,3653
-65	321,9	320,5	0,0007	0,0511	1432,2	19,575	111,9	149,6	261,5	0,6449	1,3637
-64	336,3	334,9	0,0007	0,0490	1427,1	20,422	113,0	148,9	261,9	0,6501	1,3621
-63	351,1	349,9	0,0007	0,0470	1421,9	21,297	114,1	148,2	262,3	0,6553	1,3605
-62	366,5	365,3	0,0007	0,0450	1416,8	22,202	115,2	147,5	262,7	0,6606	1,3590
-61	382,3	381,2	0,0007	0,0432	1411,6	23,136	116,3	146,7	263,1	0,6658	1,3575
-60	398,7	397,7	0,0007	0,0415	1406,3	24,100	117,4	146,0	263,4	0,6710	1,3560
-59	415,6	414,7	0,0007	0,0399	1401,1	25,097	118,6	145,2	263,8	0,6763	1,3545
-58	433,1	432,2	0,0007	0,0383	1395,8	26,125	119,7	144,5	264,2	0,6815	1,3531
-57	451,1	450,3	0,0007	0,0368	1390,4	27,187	120,9	143,7	264,6	0,6868	1,3516
-56	469,6	468,9	0,0007	0,0354	1385,0	28,282	122,0	142,9	264,9	0,6920	1,3502
-55	488,8	488,1	0,0007	0,0340	1379,6	29,413	123,2	142,1	265,3	0,6973	1,3489
-54	508,5	507,9	0,0007	0,0327	1374,1	30,579	124,3	141,3	265,7	0,7026	1,3475
-53	528,9	528,3	0,0007	0,0315	1368,6	31,782	125,5	140,5	266,0	0,7078	1,3461
-52	549,8	549,3	0,0007	0,0303	1363,1	33,022	126,7	139,7	266,4	0,7131	1,3448
-51	571,4	570,9	0,0007	0,0292	1357,4	34,302	127,8	138,9	266,7	0,7184	1,3435

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.1(Devam) Doygunluk özellikleri – Sıcaklık tablosu

Sıcaklık C	Basınç		Hacim		Yoğunluk		Entalpi			Entropi	
	kPa		m ³ /kg		kg/m ³		kJ/kg			kJ/(kg)(K)	
	Sıvı P _s	Buhar P _g	Sıvı v _s	Buhar v _g	Sıvı 1/v _s	Buhar 1/v _g	Sıvı h _s	Sıvı-Buhar h _{sg}	Buhar h _g	Sıvı s _s	Buhar s _g
-50	593,6	593,2	0,0007	0,0281	1351,8	35,621	129,0	138,0	267,1	0,7236	1,3422
-49	616,4	616,1	0,0007	0,0270	1346,1	36,981	130,2	137,2	267,4	0,7289	1,3409
-48	640,0	639,6	0,0008	0,0261	1340,3	38,383	131,4	136,3	267,8	0,7342	1,3397
-47	664,1	663,8	0,0008	0,0251	1334,5	39,828	132,6	135,5	268,1	0,7395	1,3384
-46	689,0	688,7	0,0008	0,0242	1328,7	41,317	133,9	134,6	268,4	0,7447	1,3372
-45	714,6	714,3	0,0008	0,0233	1322,8	42,853	135,1	133,7	268,8	0,7500	1,3359
-44	740,9	740,6	0,0008	0,0225	1316,8	44,434	136,3	132,8	269,1	0,7553	1,3347
-43	767,8	767,6	0,0008	0,0217	1310,8	46,065	137,5	131,9	269,4	0,7606	1,3335
-42	795,6	795,4	0,0008	0,0209	1304,7	47,744	138,8	130,9	269,7	0,7659	1,3323
-41	824,0	823,8	0,0008	0,0202	1298,6	49,475	140,0	130,0	270,0	0,7712	1,3311
-40	853,3	853,1	0,0008	0,0195	1292,4	51,258	141,3	129,0	270,3	0,7765	1,3299
-39	883,3	883,1	0,0008	0,0188	1286,1	53,096	142,5	128,1	270,6	0,7818	1,3288
-38	914,0	913,9	0,0008	0,0182	1279,7	54,988	143,8	127,1	270,9	0,7871	1,3276
-37	945,6	945,4	0,0008	0,0176	1273,3	56,939	145,1	126,1	271,2	0,7924	1,3264
-36	978,0	977,8	0,0008	0,0170	1266,8	58,948	146,4	125,1	271,5	0,7977	1,3253
-35	1011,2	1011,0	0,0008	0,0164	1260,3	61,019	147,7	124,1	271,8	0,8030	1,3241
-34	1045,2	1045,0	0,0008	0,0158	1253,6	63,152	149,0	123,1	272,0	0,8083	1,3230
-33	1080,1	1079,9	0,0008	0,0153	1246,9	65,350	150,3	122,0	272,3	0,8136	1,3218
-32	1115,8	1115,6	0,0008	0,0148	1240,1	67,615	151,6	121,0	272,6	0,8189	1,3207
-31	1152,5	1152,2	0,0008	0,0143	1233,2	69,950	152,9	119,9	272,8	0,8242	1,3195
-30	1189,9	1189,6	0,0008	0,0138	1226,2	72,356	154,2	118,9	273,1	0,8295	1,3184
-29	1228,3	1228,0	0,0008	0,0134	1219,2	74,835	155,6	117,8	273,3	0,8349	1,3172
-28	1267,6	1267,3	0,0008	0,0129	1212,0	77,392	156,9	116,6	273,6	0,8402	1,3160
-27	1307,9	1307,5	0,0008	0,0125	1204,7	80,027	158,3	115,5	273,8	0,8456	1,3149
-26	1349,0	1348,6	0,0008	0,0121	1197,3	82,745	159,6	114,4	274,0	0,8509	1,3137
-25	1391,1	1390,7	0,0008	0,0117	1189,8	85,547	161,0	113,2	274,2	0,8563	1,3125
-24	1434,2	1433,7	0,0009	0,0113	1182,2	88,438	162,4	112,0	274,4	0,8616	1,3114
-23	1478,3	1477,7	0,0009	0,0109	1174,5	91,421	163,7	110,9	274,6	0,8670	1,3102
-22	1523,3	1522,7	0,0009	0,0106	1166,6	94,498	165,1	109,6	274,8	0,8724	1,3090
-21	1569,4	1568,7	0,0009	0,0102	1158,7	97,675	166,5	108,4	274,9	0,8778	1,3077
-20	1616,4	1615,8	0,0009	0,0099	1150,5	100,955	168,0	107,2	275,1	0,8832	1,3065
-19	1664,5	1663,8	0,0009	0,0096	1142,3	104,342	169,4	105,9	275,3	0,8887	1,3053
-18	1713,7	1712,9	0,0009	0,0093	1133,9	107,841	170,8	104,6	275,4	0,8941	1,3040
-17	1763,9	1763,1	0,0009	0,0090	1125,3	111,456	172,3	103,3	275,5	0,8996	1,3027
-16	1815,1	1814,3	0,0009	0,0087	1116,6	115,194	173,7	101,9	275,6	0,9051	1,3014
-15	1867,5	1866,6	0,0009	0,0084	1107,6	119,060	175,2	100,5	275,8	0,9106	1,3001
-14	1921,0	1920,1	0,0009	0,0081	1098,6	123,060	176,7	99,1	275,8	0,9162	1,2987
-13	1975,6	1974,6	0,0009	0,0079	1089,3	127,201	178,2	97,7	275,9	0,9218	1,2973
-12	2031,3	2030,3	0,0009	0,0076	1079,8	131,489	179,7	96,2	276,0	0,9274	1,2959
-11	2088,1	2087,1	0,0009	0,0074	1070,0	135,933	181,3	94,7	276,0	0,9330	1,2944
-10	2146,1	2145,1	0,0009	0,0071	1060,1	140,541	182,8	93,2	276,0	0,9388	1,2930
-9	2205,3	2204,2	0,0010	0,0069	1049,9	145,322	184,4	91,6	276,1	0,9445	1,2914
-8	2265,7	2264,6	0,0010	0,0067	1039,5	150,287	186,0	90,0	276,0	0,9503	1,2898
-7	2327,3	2326,1	0,0010	0,0064	1028,7	155,445	187,7	88,4	276,0	0,9562	1,2882
-6	2390,1	2388,9	0,0010	0,0062	1017,7	160,811	189,3	86,7	276,0	0,9622	1,2865
-5	2454,1	2452,9	0,0010	0,0060	1006,3	166,396	191,0	84,9	275,9	0,9682	1,2848
-4	2519,4	2518,1	0,0010	0,0058	994,6	172,215	192,7	83,1	275,8	0,9743	1,2830
-3	2586,0	2584,7	0,0010	0,0056	982,5	178,286	194,5	81,2	275,7	0,9805	1,2811
-2	2653,8	2652,5	0,0010	0,0054	970,0	184,626	196,3	79,2	275,5	0,9869	1,2792
-1	2722,9	2721,6	0,0010	0,0052	957,0	191,256	198,1	77,2	275,3	0,9934	1,2771
0	2793,4	2792,0	0,0011	0,0051	943,6	198,199	200,0	75,1	275,1	1,0000	1,2750
1	2865,2	2863,8	0,0011	0,0049	929,6	205,479	202,0	72,9	274,9	1,0069	1,2727
2	2938,3	2936,9	0,0011	0,0047	915,0	213,126	204,0	70,6	274,6	1,0139	1,2704
3	3012,8	3011,4	0,0011	0,0045	899,7	221,171	206,1	68,1	274,2	1,0212	1,2679
4	3088,7	3087,3	0,0011	0,0044	883,6	229,651	208,3	65,6	273,8	1,0288	1,2653
5	3165,9	3164,5	0,0012	0,0042	866,6	238,602	210,6	62,8	273,4	1,0367	1,2626
6	3244,6	3243,3	0,0012	0,0040	848,6	248,068	213,0	59,9	272,9	1,0451	1,2597
7	3324,8	3323,4	0,0012	0,0039	829,4	258,089	215,6	56,8	272,4	1,0540	1,2566
8	3406,4	3405,0	0,0012	0,0037	808,7	268,705	218,4	53,4	271,8	1,0636	1,2533
9	3489,5	3488,1	0,0013	0,0036	786,3	279,944	221,5	49,6	271,1	1,0740	1,2499
10	3574,0	3572,7	0,0013	0,0034	761,4	291,808	224,9	45,5	270,4	1,0856	1,2463

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	50,0			60,0			70,0			80,0		
	(-98,86 °C)			(-96,14 °C)			(-93,76 °C)			(-91,62 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,2950)	(247,1)	(1,4407)	(0,2487)	(248,3)	(1,4332)	(0,2157)	(249,4)	(1,4253)	(0,1899)	(250,3)	(1,4193)
-95	0,3023	249,3	1,4534	0,2505	249,0	1,4360	-	-	-	-	-	-
-90	0,3117	252,3	1,4695	0,2585	252,0	1,4524	0,2204	251,6	1,4376	0,1919	251,3	1,4247
-85	0,3210	255,2	1,4854	0,2663	254,9	1,4684	0,2273	254,6	1,4538	0,1979	254,4	1,4410
-80	0,3303	258,2	1,5011	0,2741	257,9	1,4842	0,2340	257,7	1,4697	0,2039	257,4	1,4571
-75	0,3395	261,2	1,5165	0,2819	261,0	1,4997	0,2407	260,7	1,4854	0,2099	260,5	1,4728
-70	0,3486	264,3	1,5317	0,2896	264,0	1,5150	0,2474	263,8	1,5008	0,2157	263,6	1,4883
-65	0,3577	267,4	1,5467	0,2972	267,2	1,5301	0,2540	267,0	1,5160	0,2216	266,7	1,5036
-60	0,3667	270,5	1,5615	0,3048	270,3	1,5450	0,2606	270,1	1,5309	0,2274	269,9	1,5186
-55	0,3758	273,6	1,5762	0,3124	273,5	1,5597	0,2671	273,3	1,5457	0,2331	273,1	1,5335
-50	0,3848	276,8	1,5907	0,3199	276,7	1,5743	0,2736	276,5	1,5603	0,2389	276,3	1,5481
-45	0,3937	280,1	1,6050	0,3274	279,9	1,5886	0,2801	279,8	1,5747	0,2446	279,6	1,5626
-40	0,4027	283,3	1,6192	0,3349	283,2	1,6029	0,2865	283,1	1,5890	0,2502	282,9	1,5769
-35	0,4116	286,6	1,6332	0,3424	286,5	1,6169	0,2930	286,4	1,6031	0,2559	286,2	1,5910
-30	0,4205	290,0	1,6471	0,3498	289,9	1,6309	0,2994	289,7	1,6171	0,2615	289,6	1,6051
-25	0,4294	293,4	1,6609	0,3573	293,3	1,6447	0,3058	293,1	1,6309	0,2672	293,0	1,6189
-20	0,4383	296,8	1,6745	0,3647	296,7	1,6583	0,3122	296,6	1,6446	0,2728	296,5	1,6326
-15	0,4471	300,3	1,6881	0,3721	300,2	1,6719	0,3186	300,0	1,6582	0,2784	299,9	1,6463
-10	0,4560	303,8	1,7015	0,3795	303,7	1,6853	0,3249	303,6	1,6716	0,2840	303,5	1,6597
-5	0,4648	307,3	1,7148	0,3869	307,2	1,6987	0,3313	307,1	1,6850	0,2895	307,0	1,6731
0	0,4737	310,9	1,7280	0,3943	310,8	1,7119	0,3376	310,7	1,6982	0,2951	310,6	1,6863
5	0,4825	314,5	1,7411	0,4017	314,4	1,7250	0,3440	314,3	1,7113	0,3007	314,2	1,6995
10	0,4913	318,1	1,7541	0,4090	318,0	1,7380	0,3503	318,0	1,7244	0,3062	317,9	1,7125
15	0,5001	321,8	1,7670	0,4164	321,7	1,7509	0,3566	321,6	1,7373	0,3118	321,6	1,7254
20	0,5089	325,5	1,7798	0,4238	325,4	1,7637	0,3629	325,4	1,7501	0,3173	325,3	1,7383
25	0,5177	329,3	1,7925	0,4311	329,2	1,7764	0,3692	329,1	1,7628	0,3228	329,1	1,7510
30	0,5265	333,1	1,8051	0,4385	333,0	1,7891	0,3755	332,9	1,7755	0,3284	332,9	1,7637
35	0,5353	336,9	1,8176	0,4458	336,8	1,8016	0,3818	336,8	1,7880	0,3339	336,7	1,7762
40	0,5441	340,8	1,8301	0,4531	340,7	1,8140	0,3881	340,6	1,8004	0,3394	340,6	1,7887
45	0,5529	344,7	1,8424	0,4605	344,6	1,8264	0,3944	344,5	1,8128	0,3449	344,5	1,8010
50	0,5617	348,6	1,8547	0,4678	348,5	1,8387	0,4007	348,5	1,8251	0,3504	348,4	1,8133
55	0,5705	352,6	1,8669	0,4751	352,5	1,8509	0,4070	352,4	1,8373	0,3560	352,4	1,8255
60	0,4133	356,5	1,8494	0,3615	356,4	1,8377	-	-	-	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	90,0 (-89,69 °C)			100,0 (-87,91 °C)			101,325 (-87,68 °C)			110,0 (-86,26 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,1700)	(251,2)	(1,4142)	(0,1540)	(251,2)	(0,1700)	(251,2)	(1,4142)	(0,1540)	(0,1408)	(0,1700)	(251,2)
-85	0,1751	254,1	1,4296	0,1569	-85	0,1751	254,1	1,4296	0,1569	-85	0,1751	254,1
-80	0,1805	257,2	1,4458	0,1618	-80	0,1805	257,2	1,4458	0,1618	-80	0,1805	257,2
-75	0,1859	260,3	1,4617	0,1667	-75	0,1859	260,3	1,4617	0,1667	-75	0,1859	260,3
-70	0,1911	263,4	1,4772	0,1715	-70	0,1911	263,4	1,4772	0,1715	-70	0,1911	263,4
-85	0,1964	266,5	1,4926	0,1762	-85	0,1964	266,5	1,4926	0,1762	-85	0,1964	266,5
-80	0,2016	269,7	1,5077	0,1809	-80	0,2016	269,7	1,5077	0,1809	-80	0,2016	269,7
-55	0,2067	272,9	1,5226	0,1856	-55	0,2067	272,9	1,5226	0,1856	-55	0,2067	272,9
-50	0,2118	276,2	1,5373	0,1902	-50	0,2118	276,2	1,5373	0,1902	-50	0,2118	276,2
-45	0,2169	279,5	1,5518	0,1948	-45	0,2169	279,5	1,5518	0,1948	-45	0,2169	279,5
-40	0,2220	282,8	1,5662	0,1994	-40	0,2220	282,8	1,5662	0,1994	-40	0,2220	282,8
-35	0,2271	286,1	1,5804	0,2040	-35	0,2271	286,1	1,5804	0,2040	-35	0,2271	286,1
-30	0,2321	289,5	1,5944	0,2085	-30	0,2321	289,5	1,5944	0,2085	-30	0,2321	289,5
-25	0,2371	292,9	1,6083	0,2131	-25	0,2371	292,9	1,6083	0,2131	-25	0,2371	292,9
-20	0,2421	296,4	1,6221	0,2176	-20	0,2421	296,4	1,6221	0,2176	-20	0,2421	296,4
-15	0,2471	299,8	1,6357	0,2221	-15	0,2471	299,8	1,6357	0,2221	-15	0,2471	299,8
-10	0,2521	303,4	1,6492	0,2266	-10	0,2521	303,4	1,6492	0,2266	-10	0,2521	303,4
-5	0,2571	306,9	1,6626	0,2311	-5	0,2571	306,9	1,6626	0,2311	-5	0,2571	306,9
0	0,2620	310,5	1,6758	0,2356	0	0,2620	310,5	1,6758	0,2356	0	0,2620	310,5
5	0,2670	314,1	1,6890	0,2400	5	0,2670	314,1	1,6890	0,2400	5	0,2670	314,1
10	0,2719	317,8	1,7020	0,2445	10	0,2719	317,8	1,7020	0,2445	10	0,2719	317,8
15	0,2769	321,5	1,7150	0,2490	15	0,2769	321,5	1,7150	0,2490	15	0,2769	321,5
20	0,2818	325,2	1,7278	0,2534	20	0,2818	325,2	1,7278	0,2534	20	0,2818	325,2
25	0,2867	329,0	1,7406	0,2579	25	0,2867	329,0	1,7406	0,2579	25	0,2867	329,0
30	0,2917	332,8	1,7532	0,2623	30	0,2917	332,8	1,7532	0,2623	30	0,2917	332,8
35	0,2966	336,6	1,7658	0,2667	35	0,2966	336,6	1,7658	0,2667	35	0,2966	336,6
40	0,3015	340,5	1,7783	0,2712	40	0,3015	340,5	1,7783	0,2712	40	0,3015	340,5
45	0,3064	344,4	1,7906	0,2756	45	0,3064	344,4	1,7906	0,2756	45	0,3064	344,4
50	0,3113	348,4	1,8029	0,2800	50	0,3113	348,4	1,8029	0,2800	50	0,3113	348,4
55	0,3162	352,3	1,8151	0,2844	55	0,3162	352,3	1,8151	0,2844	55	0,3162	352,3
60	0,3211	356,3	1,8273	0,2889	60	0,3211	356,3	1,8273	0,2889	60	0,3211	356,3
65	0,3260	360,4	1,8393	0,2933	65	0,3260	360,4	1,8393	0,2933	65	0,3260	360,4

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	120,0 (-84,73 °C)			130,0 (-83,29 °C)			140,0 (-81,93 °C)			150,0 (-80,64 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,1297)	(253,4)	(1,4019)	(0,1203)	(254,0)	(1,3986)	(0,1122)	(254,6)	(1,3955)	(0,1051)	(255,1)	(1,3927)
-80	0,1337	256,4	1,4176	0,1229	256,1	1,4095	0,1136	255,8	1,4020	0,1056	255,5	1,3949
-75	0,1378	259,5	1,4338	0,1267	259,3	1,4259	0,1172	259,0	1,4185	0,1090	258,8	1,4115
-70	0,1419	262,7	1,4497	0,1305	262,5	1,4419	0,1208	262,3	1,4346	0,1124	262,0	1,4277
-85	0,1459	265,9	1,4653	0,1343	265,7	1,4576	0,1243	265,5	1,4504	0,1157	265,3	1,4436
-80	0,1499	269,2	1,4806	0,1380	269,0	1,4730	0,1278	268,8	1,4659	0,1189	268,6	1,4592
-55	0,1539	272,4	1,4957	0,1417	272,2	1,4882	0,1312	272,1	1,4811	0,1222	271,9	1,4745
-50	0,1578	275,7	1,5106	0,1453	275,5	1,5031	0,1346	275,4	1,4961	0,1254	275,2	1,4895
-45	0,1617	279,0	1,5253	0,1489	278,9	1,5178	0,1380	278,7	1,5109	0,1285	278,5	1,5044
-40	0,1655	282,3	1,5398	0,1525	282,2	1,5324	0,1413	282,1	1,5254	0,1317	281,9	1,5190
-35	0,1694	285,7	1,5541	0,1561	285,6	1,5467	0,1447	285,5	1,5398	0,1348	285,3	1,5334
-30	0,1732	289,1	1,5682	0,1596	289,0	1,5609	0,1480	288,9	1,5540	0,1379	288,7	1,5477
-25	0,1770	292,6	1,5822	0,1632	292,4	1,5749	0,1513	292,3	1,5681	0,1410	292,2	1,5617
-20	0,1808	296,0	1,5961	0,1667	295,9	1,5888	0,1546	295,8	1,5820	0,1440	295,7	1,5757
-15	0,1846	299,5	1,6098	0,1702	299,4	1,6025	0,1578	299,3	1,5957	0,1471	299,2	1,5894
-10	0,1884	303,1	1,6233	0,1737	303,0	1,6161	0,1611	302,9	1,6093	0,1501	302,8	1,6031
-5	0,1921	306,6	1,6368	0,1772	306,5	1,6295	0,1643	306,4	1,6228	0,1532	306,4	1,6166
0	0,1959	310,2	1,6501	0,1806	310,1	1,6429	0,1675	310,1	1,6362	0,1562	310,0	1,6299
5	0,1996	313,9	1,6633	0,1841	313,8	1,6561	0,1708	313,7	1,6494	0,1592	313,6	1,6432
10	0,2034	317,6	1,6764	0,1876	317,5	1,6692	0,1740	317,4	1,6625	0,1622	317,3	1,6563
15	0,2071	321,3	1,6893	0,1910	321,2	1,6822	0,1772	321,1	1,6755	0,1652	321,0	1,6693
20	0,2108	325,0	1,7022	0,1944	324,9	1,6951	0,1804	324,9	1,6884	0,1682	324,8	1,6822
25	0,2145	328,8	1,7150	0,1979	328,7	1,7078	0,1836	328,6	1,7012	0,1712	328,6	1,6950
30	0,2183	332,6	1,7277	0,2013	332,5	1,7205	0,1868	332,5	1,7139	0,1742	332,4	1,7077
35	0,2220	336,4	1,7403	0,2048	336,4	1,7331	0,1900	336,3	1,7265	0,1772	336,2	1,7204
40	0,2257	340,3	1,7527	0,2082	340,3	1,7456	0,1932	340,2	1,7390	0,1802	340,1	1,7329
45	0,2294	344,2	1,7652	0,2116	344,2	1,7580	0,1964	344,1	1,7514	0,1832	344,0	1,7453
50	0,2331	348,2	1,7775	0,2150	348,1	1,7704	0,1995	348,1	1,7638	0,1861	348,0	1,7576
55	0,2368	352,2	1,7897	0,2184	352,1	1,7826	0,2027	352,0	1,7760	0,1891	352,0	1,7699
60	0,2405	356,2	1,8018	0,2219	356,1	1,7947	0,2059	356,1	1,7882	0,1921	356,0	1,7820
65	0,2442	360,2	1,8139	0,2253	360,2	1,8068	0,2091	360,1	1,8002	0,1950	360,1	1,7941
70	0,2478	364,3	1,8259	0,2287	364,3	1,8188	0,2122	364,2	1,8122	0,1980	364,2	1,8061

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	160,0 (-79,42 °C)			170,0 (-78,26 °C)			180,0 (-77,14 °C)			190,0 (-76,07 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0989)	(255,6)	(1,3901)	(0,0934)	(0,0989)	(255,6)	(1,3901)	(0,0934)	(0,0989)	(255,6)	(1,3901)	(0,0934)
-75	0,1018	258,5	1,4049	0,0954	258,3	1,3987	0,0898	258,0	1,3927	0,0847	257,8	1,3870
-70	0,1050	261,8	1,4212	0,0984	261,6	1,4151	0,0926	261,3	1,4092	0,0874	261,1	1,4037
-65	0,1081	265,1	1,4372	0,1014	264,9	1,4312	0,0955	264,7	1,4254	0,0901	264,4	1,4199
-60	0,1112	268,4	1,4529	0,1043	268,2	1,4469	0,0983	268,0	1,4412	0,0928	267,8	1,4358
-55	0,1142	271,7	1,4682	0,1072	271,5	1,4623	0,1010	271,3	1,4567	0,0954	271,2	1,4514
-50	0,1172	275,0	1,4834	0,1101	274,9	1,4775	0,1037	274,7	1,4720	0,0980	274,5	1,4667
-45	0,1202	278,4	1,4982	0,1129	278,2	1,4925	0,1064	278,1	1,4870	0,1006	277,9	1,4818
-40	0,1232	281,8	1,5129	0,1157	281,6	1,5072	0,1091	281,5	1,5017	0,1031	281,3	1,4966
-35	0,1261	285,2	1,5274	0,1185	285,1	1,5217	0,1117	284,9	1,5163	0,1056	284,8	1,5111
-30	0,1290	288,6	1,5417	0,1213	288,5	1,5360	0,1143	288,4	1,5306	0,1081	288,2	1,5255
-25	0,1320	292,1	1,5558	0,1240	292,0	1,5501	0,1169	291,9	1,5448	0,1106	291,7	1,5397
-20	0,1348	295,6	1,5697	0,1267	295,5	1,5641	0,1195	295,4	1,5588	0,1131	295,2	1,5538
-15	0,1377	299,1	1,5835	0,1294	299,0	1,5779	0,1221	298,9	1,5727	0,1155	298,8	1,5676
-10	0,1406	302,7	1,5972	0,1322	302,6	1,5916	0,1247	302,5	1,5863	0,1179	302,4	1,5814
-5	0,1434	306,3	1,6107	0,1348	306,2	1,6051	0,1272	306,1	1,5999	0,1204	306,0	1,5949
0	0,1463	309,9	1,6241	0,1375	309,8	1,6185	0,1297	309,7	1,6133	0,1228	309,6	1,6084
5	0,1491	313,5	1,6373	0,1402	313,5	1,6318	0,1323	313,4	1,6266	0,1252	313,3	1,6217
10	0,1520	317,2	1,6505	0,1429	317,1	1,6450	0,1348	317,1	1,6398	0,1276	317,0	1,6349
15	0,1548	320,9	1,6635	0,1455	320,9	1,6580	0,1373	320,8	1,6528	0,1300	320,7	1,6479
20	0,1576	324,7	1,6764	0,1482	324,6	1,6710	0,1398	324,6	1,6658	0,1324	324,5	1,6609
25	0,1604	328,5	1,6892	0,1509	328,4	1,6838	0,1424	328,4	1,6786	0,1348	328,3	1,6737
30	0,1632	332,3	1,7020	0,1535	332,2	1,6965	0,1449	332,2	1,6914	0,1371	332,1	1,6865
35	0,1660	336,2	1,7146	0,1561	336,1	1,7091	0,1474	336,0	1,7040	0,1395	336,0	1,6991
40	0,1688	340,1	1,7271	0,1588	340,0	1,7217	0,1499	339,9	1,7165	0,1419	339,9	1,7117
45	0,1716	344,0	1,7395	0,1614	343,9	1,7341	0,1523	343,9	1,7290	0,1442	343,8	1,7241
50	0,1744	347,9	1,7519	0,1640	347,9	1,7464	0,1548	347,8	1,7413	0,1466	347,8	1,7365
55	0,1772	351,9	1,7641	0,1667	351,9	1,7587	0,1573	351,8	1,7536	0,1490	351,8	1,7488
60	0,1800	356,0	1,7763	0,1693	355,9	1,7709	0,1598	355,8	1,7658	0,1513	355,8	1,7609
65	0,1828	360,0	1,7884	0,1719	360,0	1,7830	0,1623	359,9	1,7779	0,1537	359,9	1,7730
70	0,1855	364,1	1,8004	0,1745	364,1	1,7950	0,1648	364,0	1,7899	0,1560	363,9	1,7851
75	0,1883	368,2	1,8123	0,1772	368,2	1,8069	0,1672	368,1	1,8018	0,1584	368,1	1,7970

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık	200.0			210.0			220.0			230.0		
	(-75.05 °C)			(-74.06 °C)			(-73.11 °C)			(-72.19 °C)		
C	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0801)	(257.5)	(1.3814)	(0.0765)	(0.0801)	(257.5)	(1.3814)	(0.0765)	(0.0801)	(257.5)	(1.3814)	(0.0765)
-75	0.0801	257.5	1.3815	-	0.0801	257.5	1.3815	-	0.0801	257.5	1.3815	-
-70	0.0828	260.9	1.3983	0.0785	0.0828	260.9	1.3983	0.0785	0.0828	260.9	1.3983	0.0785
-65	0.0854	264.2	1.4147	0.0810	0.0854	264.2	1.4147	0.0810	0.0854	264.2	1.4147	0.0810
-60	0.0879	267.6	1.4307	0.0835	0.0879	267.6	1.4307	0.0835	0.0879	267.6	1.4307	0.0835
-55	0.0904	271.0	1.4463	0.0859	0.0904	271.0	1.4463	0.0859	0.0904	271.0	1.4463	0.0859
-50	0.0929	274.4	1.4617	0.0883	0.0929	274.4	1.4617	0.0883	0.0929	274.4	1.4617	0.0883
-45	0.0953	277.8	1.4768	0.0906	0.0953	277.8	1.4768	0.0906	0.0953	277.8	1.4768	0.0906
-40	0.0978	281.2	1.4916	0.0929	0.0978	281.2	1.4916	0.0929	0.0978	281.2	1.4916	0.0929
-35	0.1002	284.6	1.5063	0.0952	0.1002	284.6	1.5063	0.0952	0.1002	284.6	1.5063	0.0952
-30	0.1025	288.1	1.5207	0.0975	0.1025	288.1	1.5207	0.0975	0.1025	288.1	1.5207	0.0975
-25	0.1049	291.6	1.5349	0.0998	0.1049	291.6	1.5349	0.0998	0.1049	291.6	1.5349	0.0998
-20	0.1073	295.1	1.5490	0.1020	0.1073	295.1	1.5490	0.1020	0.1073	295.1	1.5490	0.1020
-15	0.1096	298.7	1.5629	0.1042	0.1096	298.7	1.5629	0.1042	0.1096	298.7	1.5629	0.1042
-10	0.1119	302.3	1.5766	0.1064	0.1119	302.3	1.5766	0.1064	0.1119	302.3	1.5766	0.1064
-5	0.1142	305.9	1.5902	0.1087	0.1142	305.9	1.5902	0.1087	0.1142	305.9	1.5902	0.1087
0	0.1165	309.5	1.6037	0.1108	0.1165	309.5	1.6037	0.1108	0.1165	309.5	1.6037	0.1108
5	0.1188	313.2	1.6170	0.1130	0.1188	313.2	1.6170	0.1130	0.1188	313.2	1.6170	0.1130
10	0.1211	316.9	1.6302	0.1152	0.1211	316.9	1.6302	0.1152	0.1211	316.9	1.6302	0.1152
15	0.1234	320.6	1.6433	0.1174	0.1234	320.6	1.6433	0.1174	0.1234	320.6	1.6433	0.1174
20	0.1257	324.4	1.6562	0.1196	0.1257	324.4	1.6562	0.1196	0.1257	324.4	1.6562	0.1196
25	0.1279	328.2	1.6691	0.1217	0.1279	328.2	1.6691	0.1217	0.1279	328.2	1.6691	0.1217
30	0.1302	332.0	1.6819	0.1239	0.1302	332.0	1.6819	0.1239	0.1302	332.0	1.6819	0.1239
35	0.1324	335.9	1.6945	0.1260	0.1324	335.9	1.6945	0.1260	0.1324	335.9	1.6945	0.1260
40	0.1347	339.8	1.7071	0.1282	0.1347	339.8	1.7071	0.1282	0.1347	339.8	1.7071	0.1282
45	0.1369	343.7	1.7195	0.1303	0.1369	343.7	1.7195	0.1303	0.1369	343.7	1.7195	0.1303
50	0.1392	347.7	1.7319	0.1325	0.1392	347.7	1.7319	0.1325	0.1392	347.7	1.7319	0.1325
55	0.1414	351.7	1.7442	0.1346	0.1414	351.7	1.7442	0.1346	0.1414	351.7	1.7442	0.1346
60	0.1437	355.7	1.7564	0.1368	0.1437	355.7	1.7564	0.1368	0.1437	355.7	1.7564	0.1368
60	0.1459	359.8	1.7685	0.1389	0.1459	359.8	1.7685	0.1389	0.1459	359.8	1.7685	0.1389
65	0.1481	363.9	1.7805	0.1410	0.1481	363.9	1.7805	0.1410	0.1481	363.9	1.7805	0.1410
70	0.1504	368.0	1.7924	0.1432	0.1504	368.0	1.7924	0.1432	0.1504	368.0	1.7924	0.1432
75	0.1504	368.0	1.7924	0.1432	0.1504	368.0	1.7881	0.1366	0.1504	368.0	1.7839	0.1306
80	0.1453	372.1	1.7999	0.1386	0.1453	372.1	1.7958	0.1325	0.1453	372.1	1.7918	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	240,0 (-71,30 °C)			250,0 (-70,44 °C)			260,0 (-69,60 °C)			270,0 (-68,79 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0674)	(259,0)	(1,3744)	(0,0648)	(259,4)	(1,3728)	(0,0624)	(259,7)	(1,3714)	(0,0602)	(260,0)	(1,3700)
-70	0,0679	2599	1,3788	0,0650	259,7	1,3743	-	-	-	-	-	-
-65	0,0702	2634	1,3956	0,0672	263,1	1,3912	0,0643	262,9	1,3870	0,0617	262,7	1,3829
-60	0,0724	266,8	1,4119	0,0693	266,6	1,4077	0,0664	266,4	1,4035	0,0637	266,2	1,3995
-55	0,0745	270,2	1,4279	0,0714	270,0	1,4237	0,0684	269,9	1,4196	0,0657	269,7	1,4157
-50	0,0767	273,7	1,4435	0,0734	273,5	1,4394	0,0704	273,3	1,4354	0,0676	273,2	1,4315
-45	0,0787	2771	1,4588	0,0754	277,0	1,4548	0,0724	276,8	1,4508	0,0695	276,7	1,4470
-40	0,0808	280,6	1,4739	0,0774	280,5	1,4699	0,0743	280,3	1,4660	0,0714	280,2	1,4622
-35	0,0828	284,1	1,4887	0,0794	284,0	1,4847	0,0762	283,8	1,4808	0,0732	283,7	1,4771
-30	0,0849	287,6	1,5033	0,0813	287,5	1,4993	0,0781	287,3	1,4955	0,0750	287,2	1,4918
-25	0,0869	291,1	1,5176	0,0833	291,0	1,5137	0,0799	290,9	1,5099	0,0768	290,8	1,5063
-20	0,0889	294,7	1,5318	0,0852	294,6	1,5279	0,0818	294,5	1,5242	0,0786	294,3	1,5205
-15	0,0908	298,3	1,5458	0,0871	298,2	1,5419	0,0836	298,1	1,5382	0,0804	297,9	1,5346
-10	0,0928	301,9	1,5596	0,0890	301,8	1,5558	0,0854	301,7	1,5521	0,0822	301,6	1,5485
-5	0,0947	305,5	1,5733	0,0908	305,4	1,5695	0,0872	305,3	1,5658	0,0839	305,2	1,5623
0	0,0967	309,2	1,5868	0,0927	309,1	1,5830	0,0890	309,0	1,5794	0,0856	308,9	1,5758
5	0,0986	312,9	1,6002	0,0946	312,8	1,5964	0,0908	312,7	1,5928	0,0874	312,6	1,5893
10	0,1005	316,6	1,6135	0,0964	316,5	1,6097	0,0926	316,4	1,6061	0,0891	316,3	1,6026
15	0,1024	320,3	1,6266	0,0983	320,2	1,6229	0,0944	320,2	1,6192	0,0908	320,1	1,6158
20	0,1044	324,1	1,6396	0,1001	324,0	1,6359	0,0962	324,0	1,6323	0,0925	323,9	1,6288
25	0,1063	327,9	1,6525	0,1019	327,9	1,6488	0,0979	327,8	1,6452	0,0942	327,7	1,6417
30	0,1082	331,8	1,6653	0,1038	331,7	1,6616	0,0997	331,6	1,6580	0,0959	331,6	1,6546
35	0,1101	335,6	1,6780	0,1056	335,6	1,6743	0,1014	335,5	1,6707	0,0976	335	1,6673
40	0,1119	339,6	1,6906	0,1074	339,5	1,6869	0,1032	339,4	1,6833	0,0993	339,4	1,6799
45	0,1138	343,5	1,7031	0,1092	343,4	1,6994	0,1049	343,4	1,6958	0,1010	343,3	1,6924
50	0,1157	347,5	1,7155	0,1110	347,4	1,7118	0,1067	347,4	1,7082	0,1027	347,3	1,7048
55	0,1176	351,5	1,7278	0,1128	351,4	1,7241	0,1084	351,4	1,7205	0,1044	351,3	1,7171
60	0,1195	355,5	1,7400	0,1146	355,5	1,7363	0,1102	355,4	1,7328	0,1060	355,3	1,7294
65	0,1213	359,6	1,7521	0,1164	359,5	1,7484	0,1119	359,5	1,7449	0,1077	359,4	1,7415
70	0,1232	363,7	1,7641	0,1182	363,6	1,7605	0,1136	363,6	1,7569	0,1094	363,5	1,7535
75	0,1251	367,8	1,7761	0,1200	367,8	1,7724	0,1154	367,7	1,7689	0,1110	367,7	1,7655
80	0,1270	3720	1,7880	0,1218	371,9	1,7843	0,1171	371,9	1,7808	0,1127	371,8	1,7774

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	280,0 (-68,00 °C)			290,0 (-67,23 °C)			300,0 (-66,48 °C)			310,0 (-65,75 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0581)	(260,3)	(1,3686)	(0,0562)	(260,6)	(1,3673)	(0,0544)	(260,9)	(1,3661)	(0,0527)	(261,2)	(1,3649)
-65	0,0593	262,5	1,3789	0,0571	262,2	1,3750	0,0550	262,0	1,3712	0,0530	261,8	1,3675
-60	0,0613	266,0	1,3956	0,0590	265,8	1,3918	0,0568	265,6	1,3881	0,0548	265,3	1,3845
-55	0,0632	269,5	1,4119	0,0608	269,3	1,4082	0,0586	269,1	1,4045	0,0566	268,9	1,4010
-50	0,0650	273,0	1,4278	0,0626	272,8	1,4241	0,0604	272,6	1,4206	0,0583	272,5	1,4171
-45	0,0669	276,5	1,4433	0,0644	276,3	1,4397	0,0621	276,2	1,4362	0,0600	276,0	1,4328
-40	0,0687	280,0	1,4586	0,0662	279,9	1,4550	0,0638	279,7	1,4516	0,0616	279,6	1,4482
-35	0,0705	283,5	1,4735	0,0679	283	1,4700	0,0655	283,3	1,4667	0,0633	283,1	1,4634
-30	0,0722	287,1	1,4883	0,0696	287,0	1,4848	0,0672	286,8	1,4815	0,0649	286,7	1,4782
-25	0,0740	290,6	1,5028	0,0713	290,5	1,4993	0,0688	290,4	1,4960	0,0665	290,3	1,4928
-20	0,0757	294,2	1,5170	0,0730	294,1	1,5137	0,0704	294,0	1,5104	0,0681	293,9	1,5072
-15	0,0774	297,8	1,5311	0,0746	297,7	1,5278	0,0721	297,6	1,5245	0,0696	297,5	1,5214
-10	0,0791	301,5	1,5451	0,0763	301	1,5417	0,0737	301,3	1,5385	0,0712	301,2	1,5354
-5	0,0808	305,1	1,5588	0,0779	305,0	1,5555	0,0752	304,9	1,5523	0,0727	304,8	1,5492
0	0,0825	308,8	1,5724	0,0796	308,7	1,5691	0,0768	308,6	1,5659	0,0743	308,5	1,5628
5	0,0842	312,5	1,5859	0,0812	312	1,5826	0,0784	312,3	1,5794	0,0758	312,2	1,5763
10	0,0858	316,2	1,5992	0,0828	316,2	1,5959	0,0800	316,1	1,5928	0,0773	316,0	1,5897
15	0,0875	320,0	1,6124	0,0844	319,9	1,6091	0,0815	319,9	1,6060	0,0788	319,8	1,6029
20	0,0891	323,8	1,6255	0,0860	323,7	1,6222	0,0831	323,7	1,6191	0,0803	323,6	1,6160
25	0,0908	327,6	1,6384	0,0876	327,6	1,6352	0,0846	327,5	1,6320	0,0818	327,4	1,6290
30	0,0924	331,5	1,6512	0,0892	331	1,6480	0,0861	331,4	1,6449	0,0833	331,3	1,6419
35	0,0941	335,4	1,6639	0,0908	335,3	1,6607	0,0877	335,2	1,6576	0,0848	335,2	1,6546
40	0,0957	339,3	1,6766	0,0923	339,2	1,6734	0,0892	339,2	1,6703	0,0863	339,1	1,6673
45	0,0973	343,3	1,6891	0,0939	343,2	1,6859	0,0907	343,1	1,6828	0,0877	343,1	1,6798
50	0,0989	347,2	1,7015	0,0955	347,2	1,6983	0,0922	347,1	1,6952	0,0892	347,1	1,6922
55	0,1006	351,2	1,7138	0,0970	351,2	1,7106	0,0938	351,1	1,7076	0,0907	351,1	1,7046
60	0,1022	355,3	1,7261	0,0986	355,2	1,7229	0,0953	355,2	1,7198	0,0922	355,1	1,7168
65	0,1038	359,4	1,7382	0,1002	359,3	1,7350	0,0968	359,3	1,7320	0,0936	359,2	1,7290
70	0,1054	363,5	1,7503	0,1017	363,4	1,7471	0,0983	363,4	1,7440	0,0951	363,3	1,7411
75	0,1070	367,6	1,7622	0,1033	367,6	1,7591	0,0998	367,5	1,7560	0,0965	367,5	1,7531
80	0,1086	371,8	1,7741	0,1048	371,7	1,7710	0,1013	371,7	1,7679	0,0980	371,6	1,7650
85	0,1102	376,0	1,7859	0,1064	375,9	1,7828	0,1028	375,9	1,7797	0,0995	375,8	1,7768

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	320,0 (-65,03 °C)			330,0 (-64,34 °C)			340,0 (-63,66 °C)			350,0 (-62,99 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0512)	(261,5)	(1,3637)	(0,0497)	(261,8)	(1,3626)	(0,0483)	(262,0)	(1,3616)	(0,0469)	(262,3)	(1,3605)
-65	0,0512	261,5	1,3639	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-60	0,0529	265,1	1,3810	0,0512	264,9	1,3775	0,0495	264,7	1,3742	0,0479	264,5	1,3709
-55	0,0547	268,7	1,3976	0,0528	268,5	1,3942	0,0511	268,3	1,3909	0,0495	268,1	1,3877
-50	0,0563	272,3	1,4138	0,0545	272,1	1,4105	0,0527	271,9	1,4073	0,0511	271,7	1,4041
-45	0,0580	275,8	1,4295	0,0561	275,7	1,4263	0,0543	275,5	1,4232	0,0526	275,4	1,4201
-40	0,0596	279,4	1,4450	0,0577	279,3	1,4418	0,0558	279,1	1,4387	0,0541	279,0	1,4357
-35	0,0612	283,0	1,4602	0,0592	282,8	1,4570	0,0574	282,7	1,4540	0,0556	282,6	1,4510
-30	0,0628	286,6	1,4750	0,0607	286,4	1,4720	0,0589	286,3	1,4690	0,0571	286,2	1,4660
-25	0,0643	290,2	1,4897	0,0623	290,0	1,4866	0,0603	289,9	1,4837	0,0585	289,8	1,4808
-20	0,0658	293,8	1,5041	0,0638	293,7	1,5011	0,0618	293,5	1,4981	0,0599	293,4	1,4953
-15	0,0674	297,4	1,5183	0,0652	297,3	1,5153	0,0632	297,2	1,5124	0,0613	297,1	1,5096
-10	0,0689	301,1	1,5323	0,0667	301,0	1,5293	0,0647	300,9	1,5265	0,0627	300,7	1,5236
-5	0,0704	304,7	1,5461	0,0682	304,6	1,5432	0,0661	304,5	1,5403	0,0641	304,4	1,5376
0	0,0719	308,4	1,5598	0,0696	308,3	1,5569	0,0675	308,3	1,5541	0,0655	308,2	1,5513
5	0,0733	312,2	1,5733	0,0710	312,1	1,5704	0,0689	312,0	1,5676	0,0668	311,9	1,5649
10	0,0748	315,9	1,5867	0,0725	315,8	1,5838	0,0703	315,7	1,5810	0,0682	315,7	1,5783
15	0,0763	319,7	1,6000	0,0739	319,6	1,5971	0,0717	319,5	1,5943	0,0695	319,5	1,5916
20	0,0777	323,5	1,6131	0,0753	323,4	1,6102	0,0730	323,4	1,6074	0,0709	323,3	1,6047
25	0,0792	327,3	1,6261	0,0767	327,3	1,6232	0,0744	327,2	1,6204	0,0722	327,1	1,6177
30	0,0806	331,2	1,6389	0,0781	331,1	1,6361	0,0758	331,1	1,6333	0,0735	331,0	1,6306
35	0,0821	335,1	1,6517	0,0795	335,0	1,6489	0,0771	335,0	1,6461	0,0749	334,9	1,6434
40	0,0835	339,0	1,6643	0,0809	339,0	1,6615	0,0785	338,9	1,6588	0,0762	338,9	1,6561
45	0,0849	343,0	1,6769	0,0823	342,9	1,6741	0,0798	342,9	1,6713	0,0775	342,8	1,6687
50	0,0864	347,0	1,6893	0,0837	346,9	1,6865	0,0812	346,9	1,6838	0,0788	346,8	1,6811
55	0,0878	351,0	1,7017	0,0851	351,0	1,6989	0,0825	350,9	1,6961	0,0801	350,8	1,6935
60	0,0892	355,1	1,7139	0,0865	355,0	1,7111	0,0839	355,0	1,7084	0,0814	354,9	1,7058
65	0,0906	359,2	1,7261	0,0879	359,1	1,7233	0,0852	359,0	1,7206	0,0827	359,0	1,7179
70	0,0921	363,3	1,7382	0,0892	363,2	1,7354	0,0866	363,2	1,7327	0,0841	363,1	1,7300
75	0,0935	367,4	1,7502	0,0906	367,4	1,7474	0,0879	367,3	1,7447	0,0854	367,3	1,7420
80	0,0949	371,6	1,7621	0,0920	371,5	1,7593	0,0892	371,5	1,7566	0,0866	371,4	1,7540
85	0,0963	375,8	1,7739	0,0934	375,8	1,7711	0,0906	375,7	1,7684	0,0879	375,7	1,7658

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	360,0 (-62,34 °C)			370,0 (-61,70 °C)			380,0 (-61,08 °C)			390,0 (-60,46 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0457)	(262,6)	(1,3595)	(0,0445)	(262,8)	(1,3585)	(0,0434)	(263,0)	(1,3576)	(0,0423)	(263,3)	(1,3567)
-60	0,0464	264,3	1,3676	0,0450	264,1	1,3645	0,0437	263,8	1,3614	0,0424	263,6	1,3583
-55	0,0480	267,9	1,3846	0,0466	267,7	1,3815	0,0452	267,5	1,3785	0,0439	267,3	1,3755
-50	0,0495	271,6	1,4011	0,0481	271,4	1,3981	0,0467	271,2	1,3951	0,0454	271,0	1,3922
-45	0,0510	275,2	1,4171	0,0495	275,0	1,4142	0,0481	274,8	1,4113	0,0468	274,7	1,4085
-40	0,0525	278,8	1,4328	0,0510	278,6	1,4299	0,0495	278,5	1,4271	0,0482	278,3	1,4243
-35	0,0540	282,4	1,4481	0,0524	282,3	1,4453	0,0509	282,1	1,4425	0,0495	282,0	1,4398
-30	0,0554	286,0	1,4632	0,0538	285,9	1,4604	0,0523	285,8	1,4576	0,0508	285,6	1,4550
-25	0,0568	289,7	1,4779	0,0552	289,5	1,4752	0,0536	289,4	1,4725	0,0522	289,3	1,4699
-20	0,0582	293,3	1,4925	0,0565	293,2	1,4898	0,0549	293,1	1,4871	0,0534	293,0	1,4845
-15	0,0595	297,0	1,5068	0,0579	296,9	1,5041	0,0562	296,7	1,5015	0,0547	296,6	1,4989
-10	0,0609	300,6	1,5209	0,0592	300,5	1,5182	0,0575	300,4	1,5156	0,0560	300,3	1,5131
-5	0,0622	304,3	1,5348	0,0605	304,2	1,5322	0,0588	304,2	1,5296	0,0572	304,1	1,5271
0	0,0636	308,1	1,5486	0,0618	308,0	1,5460	0,0601	307,9	1,5434	0,0585	307,8	1,5409
5	0,0649	311,8	1,5622	0,0631	311,7	1,5596	0,0614	311,6	1,5570	0,0597	311,5	1,5545
10	0,0662	315,6	1,5756	0,0644	315,5	1,5730	0,0626	315,4	1,5705	0,0610	315,3	1,5680
15	0,0675	319,4	1,5889	0,0657	319,3	1,5863	0,0639	319,2	1,5838	0,0622	319,1	1,5813
20	0,0689	323,2	1,6021	0,0669	323,1	1,5995	0,0651	323,1	1,5970	0,0634	323,0	1,5945
25	0,0702	327,1	1,6151	0,0682	327,0	1,6125	0,0664	326,9	1,6100	0,0646	326,8	1,6076
30	0,0715	330,9	1,6280	0,0695	330,9	1,6255	0,0676	330,8	1,6230	0,0658	330,7	1,6205
35	0,0727	334,8	1,6408	0,0707	334,8	1,6383	0,0688	334,7	1,6358	0,0670	334,6	1,6334
40	0,0740	338,8	1,6535	0,0720	338,7	1,6509	0,0700	338,7	1,6485	0,0682	338,6	1,6461
45	0,0753	342,8	1,6661	0,0732	342,7	1,6635	0,0713	342,6	1,6611	0,0694	342,6	1,6587
50	0,0766	346,8	1,6785	0,0745	346,7	1,6760	0,0725	346,6	1,6736	0,0706	346,6	1,6712
55	0,0779	350,8	1,6909	0,0757	350,7	1,6884	0,0737	350,7	1,6859	0,0718	350,6	1,6835
60	0,0791	354,8	1,7032	0,0770	354,8	1,7007	0,0749	354,7	1,6982	0,0729	354,7	1,6958
65	0,0804	358,9	1,7154	0,0782	358,9	1,7129	0,0761	358,8	1,7104	0,0741	358,8	1,7080
70	0,0817	363,1	1,7275	0,0794	363,0	1,7250	0,0773	363,0	1,7225	0,0753	362,9	1,7202
75	0,0829	367,2	1,7395	0,0807	367,2	1,7370	0,0785	367,1	1,7346	0,0765	367,1	1,7322
80	0,0842	371,4	1,7514	0,0819	371,3	1,7489	0,0797	371,3	1,7465	0,0776	371,2	1,7441
85	0,0855	375,6	1,7633	0,0831	375,6	1,7608	0,0809	375,5	1,7583	0,0788	375,5	1,7560
90	0,0867	379,9	1,7750	0,0843	379,8	1,7725	0,0821	379,8	1,7701	0,0800	379,7	1,7678

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	400,0 (-59,86 °C)			425,0 (-58,41 °C)			450,0 (-57,01 °C)			475,0 (-55,68 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0413))	(263,5))	(1,3558))	(0,0389))	(264,0))	(1,3537))	(0,0368))	(264,6))	(1,3517))	(0,0349))	(265,1))	(1,3498))
-55	0,0427	267,1	1,3726	0,0399	266,6	1,3656	0,0373	266,1	1,3588	0,0351	265,6	1,3522
-50	0,0441	270,8	1,3894	0,0412	270,4	1,3825	0,0387	269,9	1,3760	0,0364	269,4	1,3696
-45	0,0455	274,5	1,4057	0,0425	274,1	1,3990	0,0399	273,7	1,3926	0,0376	273,2	1,3865
-40	0,0468	278,2	1,4216	0,0438	277,8	1,4151	0,0412	277,4	1,4088	0,0388	277,0	1,4028
-35	0,0482	281,8	1,4371	0,0451	281,5	1,4307	0,0424	281,1	1,4246	0,0399	280,7	1,4187
-30	0,0495	285,5	1,4524	0,0463	285,2	1,4460	0,0436	284,8	1,4400	0,0411	284,5	1,4343
-25	0,0508	289,2	1,4673	0,0476	288,9	1,4611	0,0447	288,5	1,4551	0,0422	288,2	1,4495
-20	0,0520	292,8	1,4819	0,0488	292,5	1,4758	0,0459	292,2	1,4700	0,0433	292,0	1,4644
-15	0,0533	296,5	1,4964	0,0500	296,3	1,4903	0,0470	296,0	1,4845	0,0444	295,7	1,4790
-10	0,0545	300,2	1,5106	0,0511	300,0	1,5046	0,0481	299,7	1,4989	0,0454	299,4	1,4934
-5	0,0557	304,0	1,5246	0,0523	303,7	1,5186	0,0492	303,5	1,5130	0,0465	303,2	1,5076
0	0,0570	307,7	1,5384	0,0535	307,5	1,5325	0,0503	307,2	1,5269	0,0476	307,0	1,5216
5	0,0582	311,5	1,5521	0,0546	311,2	1,5462	0,0514	311,0	1,5407	0,0486	310,8	1,5354
10	0,0594	315,2	1,5656	0,0557	315,0	1,5598	0,0525	314,8	1,5542	0,0496	314,6	1,5490
15	0,0606	319,1	1,5789	0,0569	318,9	1,5731	0,0536	318,7	1,5677	0,0506	318,5	1,5624
20	0,0618	322,9	1,5921	0,0580	322,7	1,5864	0,0547	322,5	1,5809	0,0517	322,3	1,5757
25	0,0629	326,8	1,6052	0,0591	326,6	1,5995	0,0557	326,4	1,5941	0,0527	326,2	1,5889
30	0,0641	330,7	1,6182	0,0602	330,5	1,6125	0,0568	330,3	1,6071	0,0537	330,1	1,6019
35	0,0653	334,6	1,6310	0,0613	334,4	1,6253	0,0578	334,2	1,6199	0,0547	334,1	1,6148
40	0,0664	338,5	1,6437	0,0624	338,4	1,6380	0,0589	338,2	1,6327	0,0557	338,0	1,6276
45	0,0676	342,5	1,6563	0,0635	342,4	1,6507	0,0599	342,2	1,6453	0,0567	342,0	1,6403
50	0,0688	346,5	1,6688	0,0646	346,4	1,6632	0,0609	346,2	1,6579	0,0576	346,1	1,6528
55	0,0699	350,6	1,6812	0,0657	350,4	1,6756	0,0620	350,3	1,6703	0,0586	350,1	1,6653
60	0,0711	354,6	1,6935	0,0668	354,5	1,6879	0,0630	354,3	1,6826	0,0596	354,2	1,6776
65	0,0722	358,7	1,7057	0,0679	358,6	1,7002	0,0640	358,5	1,6949	0,0606	358,3	1,6899
70	0,0734	362,9	1,7178	0,0690	362,7	1,7123	0,0651	362,6	1,7070	0,0616	362,5	1,7020
75	0,0745	367,0	1,7299	0,0700	366,9	1,7243	0,0661	366,8	1,7191	0,0625	366,6	1,7141
80	0,0757	371,2	1,7418	0,0711	371,1	1,7363	0,0671	371,0	1,7310	0,0635	370,8	1,7261
85	0,0768	375,4	1,7537	0,0722	375,3	1,7481	0,0681	375,2	1,7429	0,0645	375,1	1,7380
90	0,0779	379,7	1,7655	0,0733	379,5	1,7599	0,0691	379,4	1,7547	0,0654	379,3	1,7498
95	0,0791	383,9	1,7772	0,0743	383,8	1,7716	0,0702	383,7	1,7664	0,0664	383,6	1,7615

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	500,0 (-54,40 °C)			525,0 (-53,16 °C)			550,0 (-51,97 °C)			575,0 (-50,81 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0332)	(265,5)	(1,3480)	(0,0317)	(266,0)	(1,3464)	(0,0302)	(266,4)	(1,3448)	(0,0289)	(266,8)	(1,3433)
-50	0,0343	268,9	1,3635	0,0324	268,4	1,3576	0,0307	267,9	1,3518	0,0291	267,4	1,3462
-45	0,0355	272,8	1,3805	0,0336	272,3	1,3748	0,0318	271,9	1,3692	0,0302	271,4	1,3638
-40	0,0366	276,6	1,3970	0,0347	276,2	1,3915	0,0329	275,8	1,3861	0,0313	275,3	1,3808
-35	0,0377	280,4	1,4131	0,0357	280,0	1,4076	0,0339	279,6	1,4024	0,0323	279,2	1,3973
-30	0,0388	284,1	1,4287	0,0368	283,8	1,4234	0,0350	283,4	1,4183	0,0333	283,1	1,4133
-25	0,0399	287,9	1,4440	0,0378	287,6	1,4388	0,0360	287,2	1,4338	0,0342	286,9	1,4289
-20	0,0410	291,7	1,4590	0,0389	291,3	1,4539	0,0369	291,0	1,4490	0,0352	290,7	1,4442
-15	0,0420	295,4	1,4738	0,0399	295,1	1,4687	0,0379	2948	1,4638	0,0361	294,6	1,4591
-10	0,0430	299,2	1,4882	0,0408	298,9	1,4832	0,0388	298,7	1,4784	0,0370	298,4	1,4738
-5	0,0440	303,0	1,5025	0,0418	302,7	1,4975	0,0398	302,5	1,4928	0,0379	302,2	1,4882
0	0,0450	306,8	1,5165	0,0428	306,5	1,5116	0,0407	306,3	1,5069	0,0388	306,0	1,5024
5	0,0460	310,6	1,5303	0,0437	310,4	1,5255	0,0416	310,1	1,5208	0,0397	309,9	1,5164
10	0,0470	314,4	1,5440	0,0447	314,2	1,5392	0,0425	314,0	1,5346	0,0406	313,8	1,5301
15	0,0480	318,3	1,5575	0,0456	318,1	1,5527	0,0434	317,9	1,5481	0,0414	317,7	1,5437
20	0,0490	322,1	1,5708	0,0465	321,9	1,5661	0,0443	321,7	1,5615	0,0423	321,6	1,5572
25	0,0499	326,0	1,5840	0,0475	325,9	1,5793	0,0452	325,7	1,5748	0,0431	325,5	1,5705
30	0,0509	330,0	1,5970	0,0484	329,8	1,5924	0,0461	329,6	1,5879	0,0440	329,4	1,5836
35	0,0518	333,9	1,6100	0,0493	333,7	1,6053	0,0470	333,6	1,6009	0,0448	333,4	1,5966
40	0,0528	337,9	1,6228	0,0502	337,7	1,6181	0,0478	337,6	1,6137	0,0457	337,4	1,6094
45	0,0537	341,9	1,6354	0,0511	341,7	1,6308	0,0487	341,6	1,6264	0,0465	341,4	1,6222
50	0,0547	345,9	1,6480	0,0520	345,8	1,6434	0,0496	345,6	1,6390	0,0473	345,5	1,6348
55	0,0556	350,0	1,6605	0,0529	349,8	1,6559	0,0504	349,7	1,6515	0,0482	349,5	1,6473
60	0,0565	354,1	1,6728	0,0538	353,9	1,6683	0,0513	353,8	1,6639	0,0490	353,6	1,6597
65	0,0575	358,2	1,6851	0,0547	358,0	1,6806	0,0521	357,9	1,6762	0,0498	357,8	1,6720
70	0,0584	362,3	1,6973	0,0556	362,2	1,6927	0,0530	362,1	1,6884	0,0506	361,9	1,6842
75	0,0593	366,5	1,7093	0,0564	366,4	1,7048	0,0538	366,2	1,7005	0,0514	366,1	1,6964
80	0,0603	370,7	1,7213	0,0573	370,6	1,7168	0,0547	370,5	1,7125	0,0522	370,3	1,7084
85	0,0612	374,9	1,7332	0,0582	374,8	1,7287	0,0555	374,7	1,7244	0,0530	374,6	1,7203
90	0,0621	379,2	1,7451	0,0591	379,1	1,7406	0,0563	379,0	1,7363	0,0538	378,8	1,7322
95	0,0630	383,5	1,7568	0,0600	383,4	1,7523	0,0572	383,3	1,7480	0,0547	383,1	1,7439
100	0,0639	387,8	1,7684	0,0608	387,7	1,7640	0,0580	387,6	1,7597	0,0555	387,5	1,7556

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	600,0 (-49,70 °C)			625,0 (-48,62 °C)			650,0 (-47,57 °C)			675,0 (-46,55 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0278)	(267,2)	(1,3418)	(0,0267)	(267,5)	(1,3404)	(0,0256)	(267,9)	(1,3391)	(0,0247)	(268,2)	(1,3378)
-45	0,0288	271,0	1,3586	0,0274	270,5	1,3534	0,0262	270,0	1,3484	0,0250	269,5	1,3435
-40	0,0298	274,9	1,3758	0,0284	274,5	1,3708	0,0271	274,1	1,3660	0,0260	273,6	1,3612
-35	0,0308	278,8	1,3924	0,0294	278,4	1,3876	0,0281	278,1	1,3829	0,0269	277,7	1,3783
-30	0,0317	282,7	1,4085	0,0303	282,4	1,4038	0,0290	282,0	1,3993	0,0278	281,6	1,3949
-25	0,0327	286,6	1,4242	0,0312	286,2	1,4197	0,0299	285,9	1,4152	0,0286	285,6	1,4109
-20	0,0336	290,4	1,4396	0,0321	290,1	1,4351	0,0307	289,8	1,4308	0,0295	289,5	1,4266
-15	0,0345	294,3	1,4546	0,0330	294,0	1,4502	0,0316	293,7	1,4460	0,0303	293,4	1,4418
-10	0,0354	298,1	1,4693	0,0338	297,8	1,4650	0,0324	297,6	1,4608	0,0311	297,3	1,4568
-5	0,0362	302,0	1,4838	0,0347	301,7	1,4796	0,0332	301,4	1,4754	0,0319	301,2	1,4714
0	0,0371	305,8	1,4981	0,0355	305,6	1,4938	0,0340	305,3	1,4898	0,0327	305,1	1,4858
5	0,0379	309,7	1,5121	0,0363	309,4	1,5079	0,0348	309,2	1,5039	0,0334	309,0	1,5000
10	0,0388	313,6	1,5259	0,0371	313,3	1,5218	0,0356	313,1	1,5178	0,0342	312,9	1,5140
15	0,0396	317,4	1,5395	0,0379	317,2	1,5354	0,0364	317,0	1,5315	0,0350	316,8	1,5277
20	0,0404	321,4	1,5530	0,0387	321,2	1,5489	0,0372	321,0	1,5450	0,0357	320,8	1,5413
25	0,0413	325,3	1,5663	0,0395	325,1	1,5623	0,0379	324,9	1,5584	0,0364	324,7	1,5547
30	0,0421	329,2	1,5795	0,0403	329,1	1,5755	0,0387	328,9	1,5716	0,0372	328,7	1,5679
35	0,0429	333,2	1,5925	0,0411	333,1	1,5885	0,0394	332,9	1,5847	0,0379	332,7	1,5810
40	0,0437	337,2	1,6054	0,0419	337,1	1,6014	0,0402	336,9	1,5976	0,0386	336,7	1,5939
45	0,0445	341,3	1,6181	0,0426	341,1	1,6142	0,0409	340,9	1,6104	0,0393	340,8	1,6068
50	0,0453	345,3	1,6308	0,0434	345,2	1,6269	0,0417	345,0	1,6231	0,0401	344,9	1,6195
55	0,0461	349,4	1,6433	0,0442	349,2	1,6394	0,0424	349,1	1,6357	0,0408	349,0	1,6321
60	0,0469	353,5	1,6557	0,0449	353,4	1,6518	0,0431	353,2	1,6481	0,0415	353,1	1,6445
65	0,0477	357,6	1,6680	0,0457	357,5	1,6642	0,0439	357,4	1,6605	0,0422	357,2	1,6569
70	0,0484	361,8	1,6803	0,0464	361,7	1,6764	0,0446	361,5	1,6727	0,0429	361,4	1,6691
75	0,0492	366,0	1,6924	0,0472	365,9	1,6885	0,0453	365,7	1,6849	0,0436	365,6	1,6813
80	0,0500	370,2	1,7044	0,0479	370,1	1,7006	0,0461	370,0	1,6969	0,0443	369,8	1,6934
85	0,0508	374,5	1,7163	0,0487	374,3	1,7125	0,0468	374,2	1,7089	0,0450	374,1	1,7053
90	0,0516	378,7	1,7282	0,0494	378,6	1,7244	0,0475	378,5	1,7207	0,0457	378,4	1,7172
95	0,0523	383,0	1,7400	0,0502	382,9	1,7362	0,0482	382,8	1,7325	0,0464	382,7	1,7290
100	0,0531	387,4	1,7517	0,0509	387,3	1,7479	0,0489	387,1	1,7442	0,0471	387,0	1,7407
105	0,0539	391,7	1,7633	0,0517	391,6	1,7595	0,0496	391,5	1,7559	0,0478	391,4	1,7523

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	700,0 (-45,56 °C)			725,0 (-44,59 °C)			750,0 (-43,65 °C)			800,0 (-41,84 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0238)	(268,6)	(1,3366)	(0,0230)	(268,9)	(1,3354)	(0,0222)	(269,2)	(1,3343)	(0,0208)	(269,8)	(1,3321)
-45	0,0239	269,0	1,3387	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-40	0,0249	273,2	1,3566	0,0238	272,7	1,3521	0,0229	272,3	1,3476	0,0211	271,3	1,3389
-35	0,0258	277,2	1,3739	0,0247	2768	1,3695	0,0237	276,4	1,3652	0,0220	275,6	1,3569
-30	0,0266	281,3	1,3906	0,0256	280,9	1,3863	0,0246	280,5	1,3822	0,0228	279,7	1,3742
-25	0,0275	285,2	1,4067	0,0264	284,9	1,4026	0,0254	284,5	1,3986	0,0236	283,8	1,3908
-20	0,0283	289,2	1,4225	0,0272	288,9	1,4185	0,0262	288,5	1,4146	0,0243	287,9	1,4070
-15	0,0291	293,1	1,4378	0,0280	292,8	1,4339	0,0269	292,5	1,4301	0,0250	291,9	1,4227
-10	0,0299	297,0	1,4528	0,0287	296,7	1,4490	0,0277	296,5	1,4453	0,0257	295,9	1,4380
-5	0,0306	300,9	1,4676	0,0295	300,7	1,4638	0,0284	300,4	1,4601	0,0264	299,9	1,4530
0	0,0314	304,8	1,4820	0,0302	304,6	1,4783	0,0291	304,3	1,4747	0,0271	303,9	1,4677
5	0,0322	308,8	1,4962	0,0310	308,5	1,4926	0,0298	308,3	1,4890	0,0278	307,8	1,4821
10	0,0329	312,7	1,5102	0,0317	312,5	1,5066	0,0305	312,2	1,5031	0,0285	311,8	1,4963
15	0,0336	316,6	1,5240	0,0324	316,4	1,5204	0,0312	316,2	1,5169	0,0291	315,8	1,5103
20	0,0343	320,6	1,5376	0,0331	320,4	1,5341	0,0319	320,2	1,5306	0,0298	319,8	1,5240
25	0,0351	324,5	1,5510	0,0338	324,4	1,5475	0,0326	324,2	1,5441	0,0304	323,8	1,5375
30	0,0358	328,5	1,5643	0,0345	328,4	1,5608	0,0333	328,2	1,5574	0,0310	327,8	1,5509
35	0,0365	332,5	1,5774	0,0352	332,4	1,5740	0,0339	332,2	1,5706	0,0317	331,8	1,5641
40	0,0372	336,6	1,5904	0,0358	336,4	1,5870	0,0346	336,2	1,5836	0,0323	335,9	1,5772
45	0,0379	340,6	1,6032	0,0365	340,5	1,5998	0,0352	340,3	1,5965	0,0329	340,0	1,5901
50	0,0386	344,7	1,6160	0,0372	344,6	1,6126	0,0359	344,4	1,6093	0,0335	344,1	1,6029
55	0,0393	348,8	1,6286	0,0379	348,7	1,6252	0,0365	348,5	1,6219	0,0342	348,2	1,6156
60	0,0399	352,9	1,6410	0,0385	352,8	1,6377	0,0372	352,6	1,6344	0,0348	352,4	1,6281
65	0,0406	357,1	1,6534	0,0392	357,0	1,6501	0,0378	356,8	1,6468	0,0354	356,5	1,6406
70	0,0413	361,3	1,6657	0,0398	361,1	1,6623	0,0385	361,0	1,6591	0,0360	360,7	1,6529
75	0,0420	365,5	1,6779	0,0405	365,3	1,6745	0,0391	365,2	1,6713	0,0366	365,0	1,6651
80	0,0427	369,7	1,6899	0,0412	369,6	1,6866	0,0397	369,5	1,6834	0,0372	369,2	1,6772
85	0,0433	374,0	1,7019	0,0418	373,8	1,6986	0,0404	373,7	1,6954	0,0378	373,5	1,6893
90	0,0440	378,3	1,7138	0,0425	378,1	1,7105	0,0410	378,0	1,7073	0,0384	377,8	1,7012
95	0,0447	382,6	1,7256	0,0431	382,5	1,7223	0,0416	382,3	1,7191	0,0390	382,1	1,7130
100	0,0454	386,9	1,7373	0,0437	386,8	1,7340	0,0423	386,7	1,7309	0,0395	386,5	1,7248
105	0,0460	391,3	1,7490	0,0444	391,2	1,7457	0,0429	391,1	1,7425	0,0401	390,9	1,7365
110	0,0450	395,6	1,7572	0,0435	395,5	1,7541	0,0407	395,3	1,7480	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2. (Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	850,0 (-40,10 °C)			900,0 (-38,45 °C)			950,0 (-36,86 °C)			1000,0 (-35,33 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0196)	(270,3)	(1,3301)	(0,0185)	(270,8)	(1,3281)	(0,0175)	(271,3)	(1,3263)	(0,0166)	(271,7)	(1,3245)
-40	0,0196	270,4	1,3304	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-35	0,0204	274,7	1,3488	0,0190	273,8	1,3410	0,0178	272,9	1,3333	0,0166	272,0	1,3258
-30	0,0212	279,0	1,3664	0,0198	278,2	1,3589	0,0185	277,3	1,3516	0,0174	276,5	1,3445
-25	0,0219	283,1	1,3834	0,0205	282,4	1,3761	0,0192	281,6	1,3691	0,0180	280,9	1,3623
-20	0,0227	287,2	1,3998	0,0212	286,5	1,3928	0,0199	285,9	1,3860	0,0187	285,2	1,3794
-15	0,0234	291,3	1,4157	0,0219	290,7	1,4089	0,0205	290,0	1,4023	0,0193	289,4	1,3960
-10	0,0240	295,3	1,4311	0,0225	294,7	1,4245	0,0212	294,2	1,4181	0,0200	293,6	1,4120
-5	0,0247	299,3	1,4463	0,0232	298,8	1,4398	0,0218	298,3	1,4336	0,0206	297,7	1,4276
0	0,0254	303,3	1,4611	0,0238	302,8	1,4547	0,0224	302,3	1,4486	0,0211	301,8	1,4428
5	0,0260	307,4	1,4756	0,0244	306,9	1,4694	0,0230	306,4	1,4634	0,0217	305,9	1,4576
10	0,0266	311,4	1,4899	0,0250	310,9	1,4837	0,0236	310,5	1,4778	0,0223	310,0	1,4722
15	0,0273	315,4	1,5039	0,0256	314,9	1,4978	0,0241	314,5	1,4920	0,0228	314,1	1,4865
20	0,0279	319,4	1,5177	0,0262	319,0	1,5117	0,0247	318,6	1,5060	0,0234	318,2	1,5005
25	0,0285	323,4	1,5313	0,0268	323,0	1,5254	0,0253	322,6	1,5197	0,0239	322,2	1,5143
30	0,0291	327,4	1,5448	0,0274	327,1	1,5389	0,0258	326,7	1,5333	0,0244	326,3	1,5279
35	0,0297	331,5	1,5580	0,0279	331,1	1,5522	0,0264	330,8	1,5467	0,0249	330,4	1,5414
40	0,0303	335,6	1,5712	0,0285	335,2	1,5654	0,0269	334,9	1,5599	0,0255	334,6	1,5546
45	0,0309	339,7	1,5841	0,0291	339,3	1,5784	0,0274	339,0	1,5729	0,0260	338,7	1,5677
50	0,0315	343,8	1,5970	0,0296	343,5	1,5913	0,0280	343,2	1,5859	0,0265	342,8	1,5807
55	0,0320	347,9	1,6097	0,0302	347,6	1,6040	0,0285	347,3	1,5986	0,0270	347,0	1,5935
60	0,0326	352,1	1,6222	0,0307	351,8	1,6166	0,0290	351,5	1,6113	0,0275	351,2	1,6062
65	0,0332	356,3	1,6347	0,0313	356,0	1,6291	0,0295	355,7	1,6238	0,0280	355,4	1,6187
70	0,0338	360,5	1,6470	0,0318	360,2	1,6415	0,0301	359,9	1,6362	0,0285	359,7	1,6311
75	0,0343	364,7	1,6593	0,0324	364,4	1,6538	0,0306	364,2	1,6485	0,0290	363,9	1,6435
80	0,0349	369,0	1,6714	0,0329	368,7	1,6659	0,0311	368,5	1,6607	0,0295	368,2	1,6557
85	0,0355	373,2	1,6835	0,0334	373,0	1,6780	0,0316	372,8	1,6728	0,0300	372,5	1,6678
90	0,0360	377,5	1,6954	0,0340	377,3	1,6900	0,0321	377,1	1,6848	0,0304	376,8	1,6798
95	0,0366	381,9	1,7073	0,0345	381,7	1,7018	0,0326	381,4	1,6967	0,0309	381,2	1,6917
100	0,0372	386,2	1,7191	0,0350	386,0	1,7136	0,0331	385,8	1,7085	0,0314	385,6	1,7035
105	0,0377	390,6	1,7307	0,0356	390,4	1,7253	0,0336	390,2	1,7202	0,0319	390,0	1,7153
110	0,0383	395,1	1,7423	0,0361	394,8	1,7369	0,0341	394,6	1,7318	0,0324	394,4	1,7269
115	0,0366	399,3	1,7485	0,0346	399,1	1,7434	0,0328	398,9	1,7385	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2.(Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	1500,0 (-22,50 °C)			1600,0 (-20,33 °C)			1700,0 (-18,26 °C)			1800,0 (-16,28 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0108)	(274,7)	(1,3096)	(0,0100)	(275,1)	(1,3069)	(0,0094)	(275,4)	(1,3043)	(0,0088)	(275,6)	(1,3018)
-20	0,0111	277,3	1,3199	0,0101	275,4	1,3083	-	-	-	-	-	-
-15	0,0116	282,3	1,3394	0,0106	280,6	1,3288	0,0097	278,9	1,3182	0,0089	277,1	1,3074
-10	0,0121	287,1	1,3578	0,0111	285,6	1,3479	0,0102	284,1	1,3380	0,0094	282,5	1,3282
-5	0,0126	291,7	1,3753	0,0116	290,4	1,3659	0,0107	289,1	1,3567	0,0099	287,6	1,3476
0	0,0131	296,3	1,3922	0,0121	295,1	1,3832	0,0111	293,8	1,3744	0,0103	292,6	1,3658
5	0,0135	300,8	1,4084	0,0125	299,7	1,3998	0,0116	298,5	1,3914	0,0107	297,3	1,3831
10	0,0140	305,2	1,4241	0,0129	304,1	1,4158	0,0120	303,1	1,4077	0,0111	302,0	1,3998
15	0,0144	309,5	1,4394	0,0133	308,6	1,4313	0,0124	307,6	1,4235	0,0115	306,6	1,4159
20	0,0148	313,9	1,4544	0,0137	313,0	1,4465	0,0127	312,1	1,4388	0,0119	311,1	1,4315
25	0,0152	318,2	1,4690	0,0141	317,4	1,4612	0,0131	316,5	1,4538	0,0123	315,6	1,4466
30	0,0156	322,5	1,4833	0,0145	321,7	1,4757	0,0135	320,9	1,4684	0,0126	320,1	1,4614
35	0,0160	326,8	1,4973	0,0148	326,0	1,4899	0,0138	325,3	1,4827	0,0129	324,5	1,4759
40	0,0163	331,1	1,5111	0,0152	330,4	1,5038	0,0142	329,6	1,4968	0,0133	328,9	1,4900
45	0,0167	335,4	1,5247	0,0155	334,7	1,5175	0,0145	334,0	1,5106	0,0136	333,3	1,5039
50	0,0171	339,7	1,5381	0,0159	339,0	1,5309	0,0149	338,3	1,5241	0,0139	337,7	1,5176
55	0,0174	343,9	1,5513	0,0162	343,3	1,5442	0,0152	342,7	1,5375	0,0142	342,1	1,5311
60	0,0178	348,3	1,5643	0,0166	347,7	1,5573	0,0155	347,0	1,5507	0,0146	346,4	1,5443
65	0,0182	352,6	1,5772	0,0169	352,0	1,5703	0,0158	351,4	1,5637	0,0149	350,8	1,5574
70	0,0185	356,9	1,5899	0,0173	356,4	1,5831	0,0162	355,8	1,5766	0,0152	355,2	1,5704
75	0,0189	361,3	1,6025	0,0176	360,7	1,5957	0,0165	360,2	1,5893	0,0155	359,6	1,5831
80	0,0192	365,6	1,6149	0,0179	365,1	1,6082	0,0168	364,6	1,6018	0,0158	364,1	1,5957
85	0,0195	370,0	1,6273	0,0182	369,5	1,6206	0,0171	369,0	1,6143	0,0161	368,5	1,6082
90	0,0199	374,4	1,6395	0,0186	373,9	1,6329	0,0174	373,5	1,6266	0,0164	373,0	1,6206
95	0,0202	378,9	1,6516	0,0189	378,4	1,6450	0,0177	377,9	1,6388	0,0167	377,4	1,6328
100	0,0206	383,3	1,6636	0,0192	382,9	1,6571	0,0180	382,4	1,6508	0,0169	381,9	1,6449
105	0,0209	387,8	1,6755	0,0195	387,3	1,6690	0,0183	386,9	1,6628	0,0172	386,4	1,6569
110	0,0212	392,3	1,6873	0,0198	391,8	1,6808	0,0186	391,4	1,6747	0,0175	391,0	1,6688
115	0,0216	396,8	1,6990	0,0202	396,4	1,6926	0,0189	395,9	1,6865	0,0178	395,5	1,6806
120	0,0219	401,3	1,7106	0,0205	400,9	1,7042	0,0192	400,5	1,6981	0,0181	400,1	1,6924
125	0,0222	405,9	1,7222	0,0208	405,5	1,7158	0,0195	405,1	1,7097	0,0184	404,7	1,7040
130	0,0226	410,5	1,7336	0,0211	410,1	1,7273	0,0198	409,7	1,7212	0,0186	409,3	1,7155
135	0,0201	414,3	1,7326	0,0189	413,9	1,7269	-	-	-	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2.(Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

Sıcaklık C	1900,0 (-14,37 °C)			2000,0 (-12,54 °C)			2200,0 (-9,07 °C)			2400,0 (-5,82 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0082)	(275,8)	(1,2992)	(0,0077)	(275,9)	(1,2967)	(0,0069)	(276,1)	(1,2915)	(0,0062)	(276,0)	(1,2862)
-10	0,0087	280,8	1,3183	0,0080	279,0	1,3082	-	-	-	-	-	-
-5	0,0092	286,1	1,3385	0,0085	284,6	1,3293	0,0073	281,1	1,3106	0,0063	277,1	1,2905
0	0,0096	291,2	1,3573	0,0089	289,8	1,3488	0,0078	286,9	1,3318	0,0068	283,5	1,3143
5	0,0100	296,1	1,3751	0,0093	294,9	1,3671	0,0082	292,3	1,3514	0,0072	289,4	1,3355
10	0,0104	300,9	1,3921	0,0097	299,8	1,3845	0,0086	297,4	1,3697	0,0076	294,9	1,3550
15	0,0108	305,6	1,4085	0,0101	304,6	1,4012	0,0089	302,4	1,3871	0,0079	300,1	1,3733
20	0,0111	310,2	1,4243	0,0104	309,2	1,4173	0,0093	307,2	1,4038	0,0082	305,1	1,3907
25	0,0115	314,7	1,4397	0,0108	313,8	1,4329	0,0096	312,0	1,4199	0,0086	310,1	1,4073
30	0,0118	319,2	1,4548	0,0111	318,4	1,4481	0,0099	316,7	1,4354	0,0089	314,9	1,4233
35	0,0122	323,7	1,4692	0,0114	322,9	1,4628	0,0102	321,3	1,4505	0,0092	319,6	1,4388
40	0,0125	328,1	1,4835	0,0117	327,4	1,4773	0,0105	325,9	1,4653	0,0094	324,3	1,4539
45	0,0128	332,6	1,4976	0,0121	331,9	1,4914	0,0108	330,4	1,4797	0,0097	328,9	1,4686
50	0,0131	337,0	1,5114	0,0124	336,3	1,5053	0,0111	334,9	1,4938	0,0100	333,5	1,4830
55	0,0134	341,4	1,5249	0,0126	340,8	1,5190	0,0113	339,4	1,5077	0,0102	338,1	1,4970
60	0,0137	345,8	1,5383	0,0129	345,2	1,5324	0,0116	343,9	1,5213	0,0105	342,7	1,5108
65	0,0140	350,2	1,5514	0,0132	349,6	1,5456	0,0119	348,4	1,5347	0,0108	347,2	1,5244
70	0,0143	354,7	1,5644	0,0135	354,1	1,5587	0,0121	352,9	1,5479	0,0110	351,8	1,5377
75	0,0146	359,1	1,5772	0,0138	358,5	1,5716	0,0124	357,4	1,5609	0,0112	356,3	1,5509
80	0,0149	363,5	1,5899	0,0141	363,0	1,5843	0,0127	361,9	1,5737	0,0115	360,9	1,5639
85	0,0152	368,0	1,6024	0,0143	367,5	1,5969	0,0129	366,5	1,5864	0,0117	365,4	1,5767
90	0,0154	372,5	1,6149	0,0146	372,0	1,6094	0,0132	371,0	1,5990	0,0120	370,0	1,5893
95	0,0157	377,0	1,6271	0,0149	376,5	1,6217	0,0134	375,5	1,6114	0,0122	374,6	1,6018
100	0,0160	381,5	1,6393	0,0151	381,0	1,6339	0,0137	380,1	1,6237	0,0124	379,1	1,6142
105	0,0163	386,0	1,6513	0,0154	385,5	1,6460	0,0139	384,6	1,6358	0,0126	383,7	1,6264
110	0,0165	390,5	1,6633	0,0157	390,1	1,6579	0,0141	389,2	1,6479	0,0129	388,3	1,6385
115	0,0168	395,1	1,6751	0,0159	394,7	1,6698	0,0144	393,8	1,6598	0,0131	393,0	1,6505
120	0,0171	399,7	1,6868	0,0162	399,3	1,6816	0,0146	398,4	1,6716	0,0133	397,6	1,6624
125	0,0174	404,3	1,6985	0,0164	403,9	1,6932	0,0149	403,1	1,6834	0,0135	402,3	1,6742
130	0,0176	408,9	1,7100	0,0167	408,5	1,7048	0,0151	407,7	1,6950	0,0138	407,0	1,6859
135	0,0179	413,6	1,7215	0,0169	413,2	1,7163	0,0153	412,4	1,7065	0,0140	411,7	1,6975
140	0,0182	418,2	1,7329	0,0172	417,9	1,7277	0,0156	417,1	1,7180	0,0142	416,4	1,7090
145	0,0185	422,8	1,7442	0,0174	422,4	1,7389	-	-	-	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2.(Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

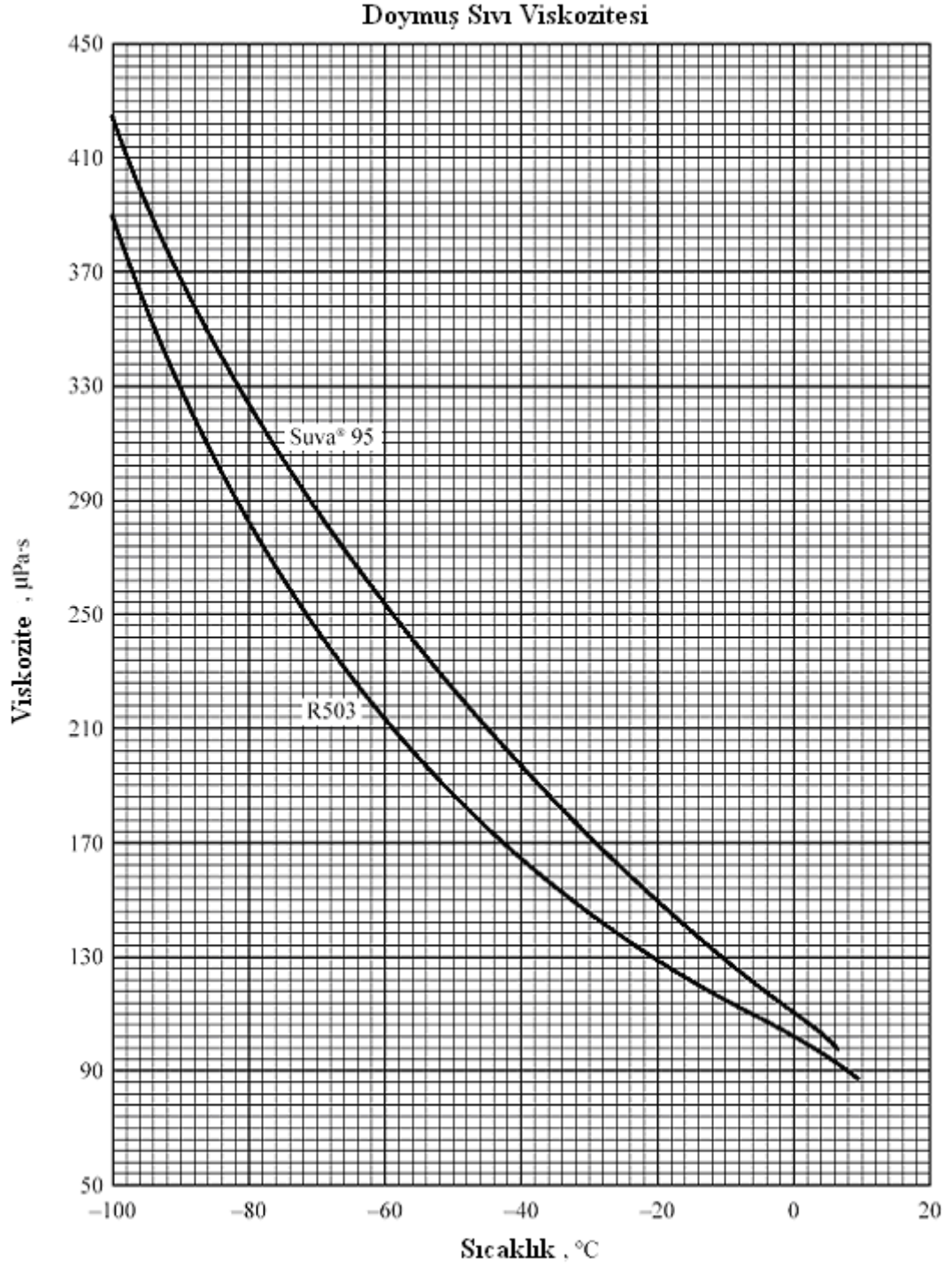
Sıcaklık C	2600,0 (-2,77 °C)			2800,0 (0,11 °C)			3000,0 (2,85 °C)			3200,0 (5,45 °C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0,0056))	(275,6)	(1,2807)	(0,0050))	(275,1)	(1,2747)	(0,0045)	(274,3)	(1,2683)	(0,0041)	(273,2)	(1,2613)
0	0,0059	279,7	1,2956	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,0063	286,2	1,3192	0,0055	282,5	1,3018	0,0048	278,1	1,2822	-	-	-
10	0,0067	292,1	1,3403	0,0059	289,1	1,3251	0,0053	285,6	1,3090	0,0046	281,6	1,2913
15	0,0071	297,6	1,3597	0,0063	295,0	1,3459	0,0056	292,1	1,3318	0,0050	289,0	1,3170
20	0,0074	302,9	1,3778	0,0066	300,6	1,3651	0,0060	298,1	1,3523	0,0054	295,4	1,3392
25	0,0077	308,0	1,3951	0,0070	305,9	1,3831	0,0063	303,7	1,3712	0,0057	301,3	1,3593
30	0,0080	313,0	1,4116	0,0072	311,1	1,4002	0,0066	309,1	1,3890	0,0060	306,9	1,3779
35	0,0083	317,9	1,4276	0,0075	316,1	1,4167	0,0069	314,2	1,4060	0,0063	312,3	1,3955
40	0,0085	322,7	1,4430	0,0078	321,0	1,4325	0,0071	319,3	1,4223	0,0065	317,5	1,4123
45	0,0088	327,4	1,4580	0,0080	325,8	1,4478	0,0074	324,2	1,4380	0,0068	322,6	1,4284
50	0,0091	332,1	1,4726	0,0083	330,6	1,4627	0,0076	329,1	1,4532	0,0070	327,6	1,4439
55	0,0093	336,7	1,4869	0,0085	335,4	1,4773	0,0078	333,9	1,4680	0,0072	332,5	1,4590
60	0,0096	341,4	1,5009	0,0088	340,1	1,4915	0,0081	338,7	1,4824	0,0074	337,4	1,4737
65	0,0098	346,0	1,5147	0,0090	344,7	1,5054	0,0083	343,5	1,4966	0,0077	342,2	1,4880
70	0,0100	350,6	1,5282	0,0092	349,4	1,5191	0,0085	348,2	1,5104	0,0079	347,0	1,5021
75	0,0103	355,2	1,5415	0,0094	354,0	1,5325	0,0087	352,9	1,5240	0,0081	351,7	1,5158
80	0,0105	359,8	1,5546	0,0096	358,7	1,5458	0,0089	357,6	1,5374	0,0083	356,5	1,5294
85	0,0107	364,4	1,5675	0,0099	363,3	1,5588	0,0091	362,3	1,5505	0,0085	361,2	1,5426
90	0,0109	369,0	1,5802	0,0101	368,0	1,5717	0,0093	366,9	1,5635	0,0087	365,9	1,5557
95	0,0112	373,6	1,5928	0,0103	372,6	1,5844	0,0095	371,6	1,5783	0,0088	370,6	1,5686
100	0,0114	378,2	1,6053	0,0105	377,2	1,5969	0,0097	376,3	1,5889	0,0090	375,3	1,5814
105	0,0116	382,8	1,6176	0,0107	381,9	1,6093	0,0099	381,0	1,6014	0,0092	380,1	1,5939
110	0,0118	387,5	1,6298	0,0109	386,6	1,6216	0,0101	385,7	1,6138	0,0094	384,8	1,6064
115	0,0120	392,1	1,6419	0,0111	391,3	1,6337	0,0103	390,4	1,6260	0,0096	389,5	1,6186
120	0,0122	396,8	1,6538	0,0113	396,0	1,6457	0,0105	395,1	1,6381	0,0098	394,3	1,6308
125	0,0124	401,5	1,6657	0,0115	400,7	1,6576	0,0107	399,8	1,6500	0,0099	399,0	1,6428
130	0,0126	406,2	1,6774	0,0117	405,4	1,6694	0,0108	404,6	1,6619	0,0101	403,8	1,6547
135	0,0128	410,9	1,6890	0,0119	410,1	1,6811	0,0110	409,4	1,6736	0,0103	408,6	1,6665
140	0,0130	415,6	1,7006	0,0121	414,9	1,6927	0,0112	414,1	1,6853	0,0105	413,4	1,6782
145	0,0132	420,4	1,7120	0,0122	419,7	1,7042	0,0114	418,9	1,6968	0,0106	418,2	1,6898
150	0,0135	425,2	1,7234	0,0124	424,5	1,7156	0,0116	423,7	1,7082	0,0108	423,0	1,7013
155	0,0126	429,3	1,7269	0,0117	428,6	1,7196	0,0110	427,9	1,7127	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri

Çizelge 1.2.(Devam) Kızgın buhar – Sabit basınç tabloları

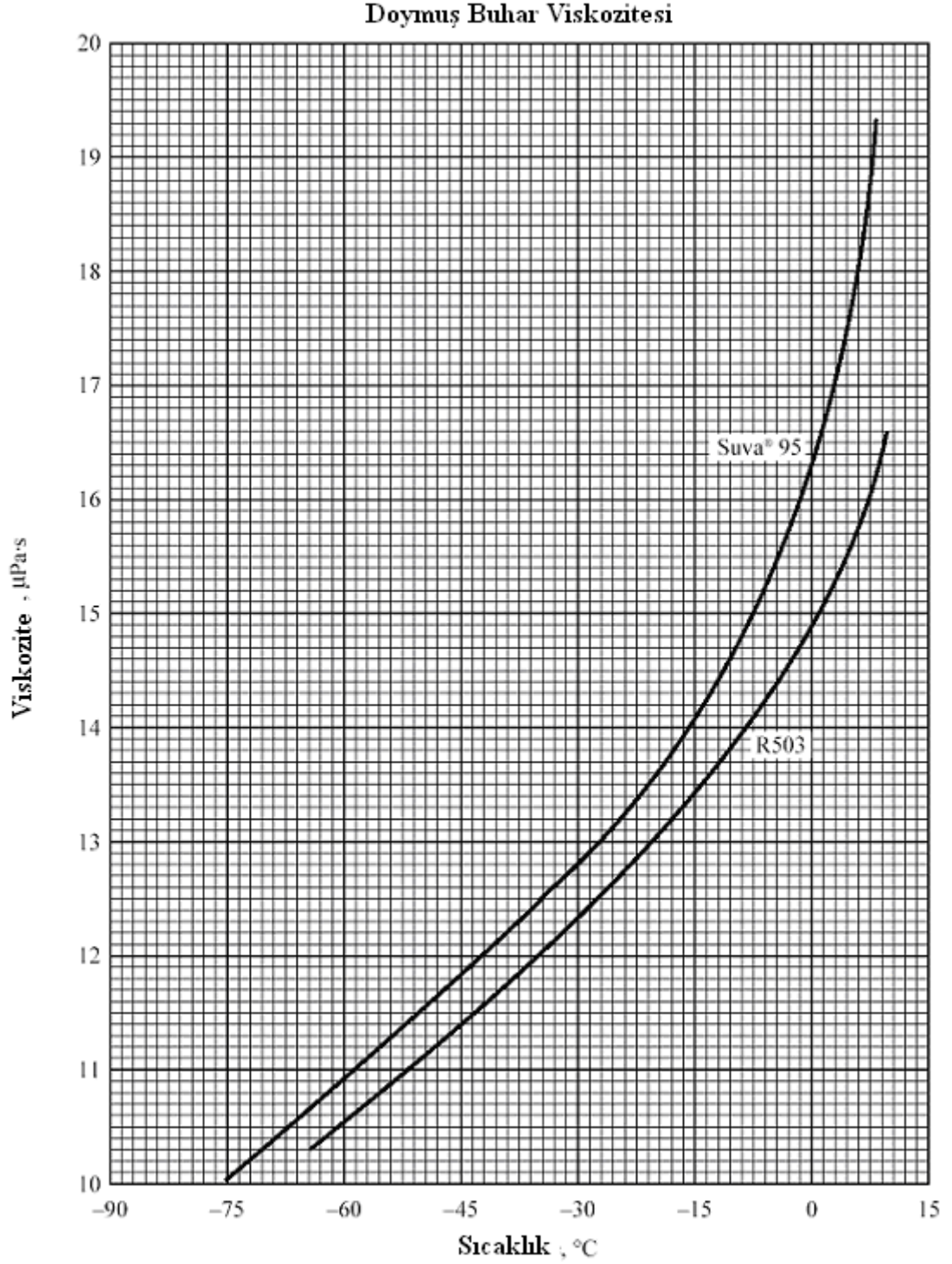
Sıcaklık C	3400,0 (7,94 °C)			3600,0 (10,32 °C)			3800,0 (12,60 °C)					
	V	H	S	V	H	S	V	H	S			
	(0,0037))	(271,8)	(1,2535)	(0,0034))	(270,1)	(1,2451)	(0,0031))	(268,4)	(1,2366)			
10	0,0040	276,6	1,2704	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,0045	285,3	1,3011	0,0040	281,0	1,2832	0,0034	275,5	1,2615	-	-	-
20	0,0049	292,5	1,3256	0,0044	289,2	1,3113	0,0039	285,4	1,2957	-	-	-
25	0,0052	298,8	1,3471	0,0047	296,1	1,3347	0,0043	293,1	1,3218	-	-	-
30	0,0055	304,7	1,3668	0,0050	302,4	1,3556	0,0046	299,9	1,3441	-	-	-
35	0,0058	310,3	1,3851	0,0053	308,2	1,3747	0,0049	306,0	1,3643	-	-	-
40	0,0060	315,7	1,4024	0,0055	313,8	1,3927	0,0051	311,8	1,3830	-	-	-
45	0,0062	320,9	1,4190	0,0058	319,2	1,4098	0,0054	317,4	1,4006	-	-	-
50	0,0065	326,0	1,4349	0,0060	324,4	1,4261	0,0056	322,8	1,4174	-	-	-
55	0,0067	331,0	1,4503	0,0062	329,5	1,4418	0,0058	328,0	1,4335	-	-	-
60	0,0069	336,0	1,4652	0,0064	334,6	1,4570	0,0060	333,1	1,4490	-	-	-
65	0,0071	340,9	1,4798	0,0066	339,5	1,4718	0,0062	338,2	1,4641	-	-	-
70	0,0073	345,7	1,4940	0,0068	344,5	1,4863	0,0064	343,2	1,4787	-	-	-
75	0,0075	350,5	1,5080	0,0070	349,3	1,5004	0,0066	348,1	1,4930	-	-	-
80	0,0077	355,3	1,5216	0,0072	354,2	1,5142	0,0067	353,0	1,5070	-	-	-
85	0,0079	360,1	1,5351	0,0074	359,0	1,5278	0,0069	357,9	1,5207	-	-	-
90	0,0081	364,9	1,5483	0,0076	363,8	1,5411	0,0071	362,8	1,5342	-	-	-
95	0,0083	369,6	1,5613	0,0077	368,6	1,5542	0,0073	367,6	1,5474	-	-	-
100	0,0084	374,4	1,5741	0,0079	373,4	1,5672	0,0074	372,4	1,5605	-	-	-
105	0,0086	379,1	1,5868	0,0081	378,2	1,5799	0,0076	377,3	1,5733	-	-	-
110	0,0088	383,9	1,5993	0,0082	383,0	1,5925	0,0077	382,1	1,5860	-	-	-
115	0,0090	388,7	1,6116	0,0084	387,8	1,6049	0,0079	386,9	1,5985	-	-	-
120	0,0091	393,4	1,6239	0,0086	392,6	1,6172	0,0081	391,7	1,6108	-	-	-
125	0,0093	398,2	1,6359	0,0087	397,4	1,6294	0,0082	396,6	1,6231	-	-	-
130	0,0095	403,0	1,6479	0,0089	402,2	1,6414	0,0084	401,4	1,6352	-	-	-
135	0,0096	407,8	1,6598	0,0090	407,0	1,6533	0,0085	406,3	1,6471	-	-	-
140	0,0098	412,6	1,6715	0,0092	411,9	1,6651	0,0087	411,1	1,6590	-	-	-
145	0,0100	417,5	1,6831	0,0094	416,7	1,6768	0,0088	416,0	1,6707	-	-	-
150	0,0101	422,3	1,6947	0,0095	421,6	1,6884	0,0090	420,9	1,6823	-	-	-
155	0,0103	427,2	1,7061	0,0097	426,5	1,6998	0,0091	425,8	1,6938	-	-	-
160	0,0104	432,1	1,7175	0,0098	431,4	1,7112	0,0093	430,7	1,7053	-	-	-
165	0,0100	436,3	1,7225	0,0094	435,7	1,7166	-	-	-	-	-	-

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri



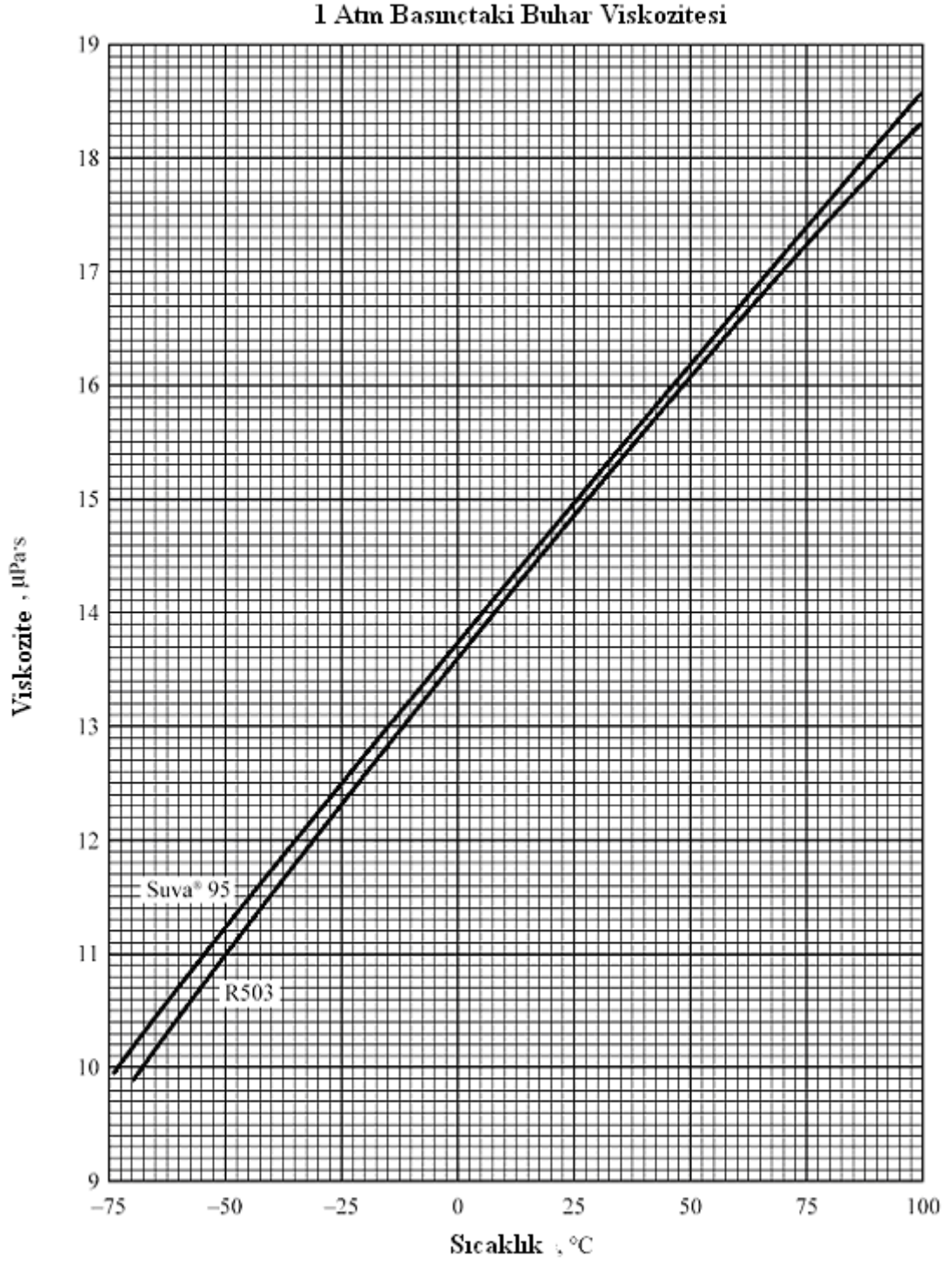
Şekil 1.2. R-508B'nin doymuş sıvı viskozitesi

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri



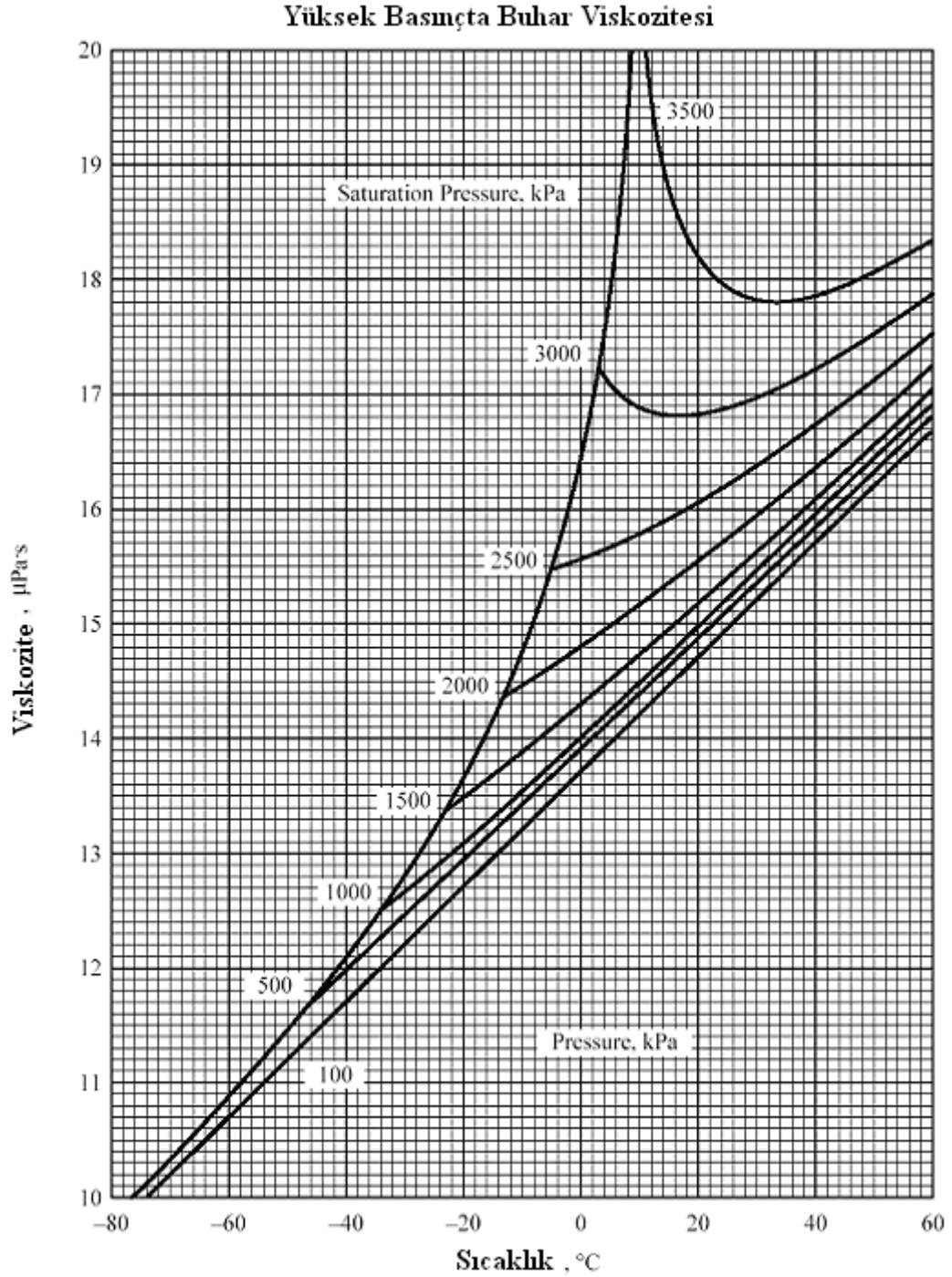
Şekil 1.3. R-508B'nin doymuş buhar viskozitesi

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri



Şekil 1.4. R-508B'nin 1 atm' de buhar viskozitesi

EK-1.(Devam) R-508B'nin Termodinamik Özellikleri



Şekil 1.5. R-508B'nin yüksek basınçta buhar viskozitesi

EK-2. Hesap Programı Akış Şeması

DİM İ, DELTAW, DELTAP, DOLUSAYISI, T0, T1, H1, H11, H111, V0, V1, X0, VF, VG, P0, P1, G0, F, D, G, Z0, Z1, X1, W0, W1, A, WORT, RE0, RE1, F0, F1, FORT, DELTAL

SUB DEĞERKONTROL()

DOLUSAYISI = APPLICATION.COUNTA(SAYFA1.RANGE("1:1"))

FOR İ = 2 TO DOLUSAYISI

SATIR = 1

DO WHILE SATIR < 17

CELLS(SATIR, İ).ACTIVATE

DO WHILE ISEMPTY(ACTIVECELL)

HATAMESAJI = STR(İ - 1) + ". ARALIK " + CELLS(SATIR, 1).VALUE + " DEĞERİ."

MSGBOX HATAMESAJI, VBINFORMATION, "HESAPLAMA İÇİN DEĞER EKSİK"

END

LOOP

SATIR = SATIR + 1

LOOP

NEXT

END SUB

SUB DEĞERAKTAR()

DOLUSAYISI = APPLICATION.COUNTA(SAYFA1.RANGE("1:1"))

EK-2. (Devam) Hesap Programı Akış Şeması

```
IF DOLUSAYISI > 1 THEN
```

```
    CELLS(2, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(3, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(8, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(18, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(12, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(13, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(9, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(9, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(14, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(14, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(15, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(15, DOLUSAYISI)
```

```
    CELLS(16, DOLUSAYISI + 1) = CELLS(17, DOLUSAYISI)
```

```
END IF
```

```
SUB HESAPLA()
```

```
    DEĞERKONTROL
```

```
    NSAYISI = APPLICATION.COUNTA(SAYFA1.RANGE("1:1"))
```

```
    FOR İ = 2 TO NSAYISI
```

```
        T0 = CELLS(2, İ)
```

```
        T1 = CELLS(3, İ)
```

```
        H1 = CELLS(4, İ)
```

```
        H11 = CELLS(5, İ)
```

```
        H111 = CELLS(6, İ)
```

```
    V0 = CELLS(7, İ)
```

EK-2. (Devam) Hesap Programı Akış Şeması

 $X0 = \text{CELLS}(8, \dot{I})$ $D = \text{CELLS}(9, \dot{I})$ $VF = \text{CELLS}(10, \dot{I})$ $VG = \text{CELLS}(11, \dot{I})$ $P0 = \text{CELLS}(12, \dot{I})$ $P1 = \text{CELLS}(13, \dot{I})$ $G0 = \text{CELLS}(14, \dot{I})$ $G = \text{CELLS}(15, \dot{I})$ $Z0 = \text{CELLS}(16, \dot{I})$ $Z1 = \text{CELLS}(17, \dot{I})$

FOR SAY = 2 TO NSAYISI

TOPLAM = TOPLAM + CELLS(29, SAY)

CELLS(30, 2) = TOPLAM

END SUB

SUB SONUCBUL()

 $X1 = (H1 - H11) / (H111 - H11)$ CELLS(18, \dot{I}) = X1 $A = (3.14 * (D * D)) / 4$ CELLS(21, \dot{I}) = A $V1 = VF + X1 * (VG - VF)$ CELLS(28, \dot{I}) = V1 $W0 = (G * V0) / (3600 * A)$ CELLS(19, \dot{I}) = W0

EK-2. (Devam) Hesap Programı Akış Şeması

$$W1 = (G * V1) / (3600 * A)$$

$$CELLS(20, İ) = W1$$

$$DELTAW = W1 - W0$$

$$DELTAP = P1 - P0$$

$$WORT = (W0 + W1) / 2$$

$$CELLS(22, İ) = WORT$$

$$RE0 = (D * W0) / (Z0 * V0)$$

$$CELLS(23, İ) = RE0$$

$$RE1 = (D * W1) / (Z1 * V1)$$

$$CELLS(24, İ) = RE1$$

$$F0 = 0.32 / (RE0 ^ (1 / 4))$$

$$CELLS(25, İ) = F0$$

$$F1 = 0.32 / (RE1 ^ (1 / 4))$$

$$CELLS(26, İ) = F1$$

$$FORT = (F0 + F1) / 2$$

$$CELLS(27, İ) = FORT$$

$$DELTAL = -(-DELTAP + (DELTAW * G) / (3600 * 10 ^ 4 * G0 * A)) / ((G * FORT * WORT) / (2 * 3600 * 10 ^ 4 * G0 * D * A))$$

END SUB

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTINOK, İsmail
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.10.1982 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (346) 226 12 32 – 0 (312) 397 75 43
 E-Mail : ismail_altinok2005@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fakültesi/Tesisat Öğretmenliği Bölümü	2005
	Anadolu Üniversitesi/ İktisat Fakültesi/ İktisat Bölümü	2007
Lise	Ankara - Gölbaşı Sağlık Meslek Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Çankırı-Nurettin Ok Halk Eğitim Merkezi	Tesisat Öğretmeni
2006-	Sivas-Atatürk Anadolu Meslek, Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi	Tesisat Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Voleybol, Savunma Sporları, Ekonomi