

# **SÜT PASTÖRİZASYONU UYGULAMASI İÇİN ISI POMPASI SİMULASYONU**

**Lokman ŞEN**

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Şubat 2006**

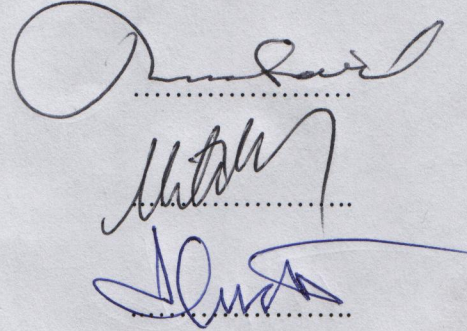
**KABUL:**

Lokman ŞEN tarafından hazırlanan “SÜT PASTÖRİZASYONU UYGULAMASI İÇİN ISI POMPASI SİMULASYONU” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 09/02/2006

Başkan : Prof. Dr. Etem Sait ÖZ (Z.K.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (Z.K.Ü)

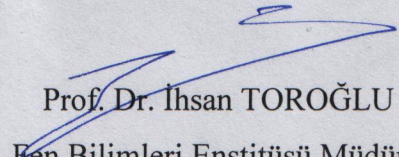
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA (G.Ü.)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım...../...../ 2006



Prof. Dr. İhsan TOROĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### Bilim Uzmanlığı Tezi

## SÜT PASTÖRİZASYONU UYGULAMASI İÇİN ISI POMPASI SİMULASYONU

Lokman ŞEN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr Metin KAYA

Şubat 2006, 92 sayfa

Bu çalışmanın amacı; ısı pompasının uygulama alanlarından biri olan sütün pastörize edilmesi işlemindeki sistem elemanlarının kapasite seçimlerini bir bilgisayar programı ortamında belirlemektir. Bu program sayesinde kapasite seçimlerini belirlemek daha kolay hale gelecek ve kullanıcıların gereksiz zaman kayıpları önlenmiş olacaktır.

Isı pompası ya da soğutma sistemlerinin matematik modellemesinde elde edilen denklemler nonlineer (lineer olmayan) denklemler olduğundan bu çalışmadaki denklemlerin çözümünde nümerik yöntem ve ısı transfer formülleri kullanılmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : Süt, Isı Pompası, Pastörizasyon

**Bilim Kodu** : 626.11.00

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **HEAT PUMP SIMULATION FOR THE APPLICATION OF MILK PASTEURIZATION**

**Lokman ŞEN**

**Zonguldak Karaelmas University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor : Asst Prof. Dr. Metin KAYA**

**February 2006, 92 Pages**

The aim of this study is to identify in a software the capacity selections of the system components in the process of milk pasteurisation, which is one of the practical areas of heat pump. This software will facilitate the identification of the capacity selections, therefore the users will save time.

As the equations which were achieved in the mathematical modelling of the heat pump or refrigerating systems are non-linear (not linear), numerical method and heat transfer formulas were applied to the equation solving in this study.

**Keywords** : Milk, heat pump, pasteurization.

**Science Code** : 626.11.00

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmam sırasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK, ve danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA beylere, değerli arkadaőım Dursun MARAŞ'a, desteklerini esirgemeyen aileme ve diğer arkadaőlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 ISI POMPASI .....	3
2.1 ISI POMPASININ TARİHÇESİ.....	3
2.2 ISI POMPASININ KULLANIM ALANLARI .....	9
2.2.1 Endüstriyel Isı Pompası Tesisleri.....	9
2.2.2 Ticari Isı Pompası Tesisleri .....	16
2.2.3 Konut Tipi Isı Pompası Tesisleri .....	17
2.3 ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE EKİPMANLARI.....	19
2.3.1 Isı Pompasının Tanımı ve Sınıflandırılması.....	19
2.3.2 Isı Pompasının Ekipmanları.....	21
2.3.2.1 Kompresör.....	22
2.3.2.2 Kondenser .....	23
2.3.2.3 Evaporatör .....	23
2.3.2.4 Kılcal Boru.....	24
2.3.2.5 Soğutucu Akışkan.....	25
2.4 ISI POMPASI SİSTEMLERİNİN TERMODİNAMİĞİ .....	28
BÖLÜM 3 SÜTÜN NİTELİKLERİ VE PASTÖRİZASYON İŞLEMLERİ.....	32

## İÇİNDEKİLER ( devam ediyor )

	<u>Sayfa</u>
3.1. SÜTÜN NİTELİKLERİ .....	32
3.2. SÜT ÜRETİCİLİĞİNDE ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER.....	34
3.3. SÜTÜN İŞLENMESİ .....	35
3.4. ISIL İŞLEM VE PASTÖRİZASYON YÖNTEMLERİ.....	36
3.4.1 Isıl İşlemlerin Amacı.....	36
3.4.2 Termizasyon .....	37
3.4.3 Pastörizasyon .....	37
3.4.3.1 Pastörizasyonun Süt Özelliklerine Etkisi .....	38
3.4.3.2 Pastörizasyonun Bozulma Etkenleri.....	39
3.4.4 Pastörizasyon Yöntemleri .....	39
3.4.4.1 LTLT Yöntemi (Düşük Sıcaklık Uzun Süre) .....	39
3.4.4.2 HTST Yöntemi (Yüksek Sıcaklık Kısa Süre) .....	40
BÖLÜM 4 SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILAN SİSTEMLER.....	42
4.1. ÇİFT CİDARLI KAZAN SİSTEMİ.....	42
4.2. PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİSİ SİSTEMİ.....	44
4.3. ISI POMPASI SİSTEMİ.....	45
BÖLÜM 5 ISI POMPASININ SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILMASI VE DİĞER SİSTEMLERLE MUKAYESESİ .....	47
5.1. ISI POMPASI KULLANIMININ ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN ÖNEMİ.....	47
5.2. SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILAN ISI POMPASI SİSTEMİ İLE DİĞER SİSTEMLERİN TERMODİNAMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI .....	50
BÖLÜM 6 SİSTEM SİMULASYONU .....	53

## İÇİNDEKİLER ( devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
6.1. KAPASİTE SEÇİMİ HESAPLAMA METOTLARI .....	53
6.1.1 LMTD Yöntemi .....	53
6.1.2 Sistemdeki Gazın Entalpi Farkından Yararlanma Yöntemi.....	55
6.1.2.1 Kondenser Hesabı.....	55
6.1.2.2 Kompresör Hesabı .....	56
6.1.2.3 Evaporatör Hesabı .....	56
6.1.2.4 Isıtma Tesir Katsayısı Hesabı .....	56
6.2. ÖRNEK BİR KAPASİTE SEÇİMİ HESAPLAMASI .....	57
6.3 HESAPLAMA METODUNUN BİLGİSAYAR ORTAMINA AKTARILMASI .....	63
6.4 SİMULASYON PROGRAMININ TANITIMI VE ÇALIŞMASI.....	70
 BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	 80
7.1 SONUÇLAR.....	80
7.2 ÖNERİLER.....	81
 KAYNAKLAR.....	 83
 ÖZGEÇMİŞ.....	 87
 EK AÇIKLAMALAR A FREON GAZLARININ BASIÇ-ENTALPİ DEĞİŞİM DİYAGRAMLARI .....	  88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Kelvin ısı toplayıcı makinesi [7].....	5
2.2	Avrupa’da kurulan ilk ısı pompası [11].....	6
2.3	Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi [26].....	13
2.4	Isı pompası ve Isı makinesi çevrimi [24].....	19
2.5	Isı pompası devresi [32].....	21
2.6	Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası çevrimi [25].....	28
2.7	Isı pompasının log p-h diyagramı [32].....	29
3.1	Ham sütün üreticide ve işletmede bekleme süresi [32].....	35
3.2	Sütün pastörize edilmesi aşamaları [25].....	41
4.1	Çift cidarlı süt ısıtma kazanı [42].....	43
4.2	Plakalı ısı değiştiricisinden süt ve soğutucu akışı şekli.....	45
4.3	Isı pompasının süt pastörizasyonunda uygulanması.....	46
5.1	Enerji dönüşüm diyagramı [32]......	48
5.2	Buharlı sistemde rejeneratör kullanılarak sütün pastörize edilmesi sistemi. ....	51
6.1	Sistemin basınç-özgül entalpi şekli.....	58
6.2	R-22 gazının basınç-entalpi değişimi diyagramı [48].....	62
6.3	Algoritma ana menü şeması.....	64
6.4	Program 1. bölüm algoritma şeması.....	65
6.5	Program 2. bölüm algoritma şeması.....	66
6.6	Program 3. bölüm algoritma şeması.....	67
6.7	Program 4. bölüm algoritma şeması.....	68
6.8	Program 5. bölüm algoritma şeması.....	69
6.9	Simülasyon giriş bölümü.....	70
6.10	Simülasyon ikinci bölüm.....	71
6.11	Süt miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi.....	72
6.12	Süt miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi hesaplama sonucu.....	72
6.13	Gaz miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi.....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ ( devam ediyor )

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.14 Gaz miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi hesaplama sonucu .....	74
6.15 Gaz miktarı tespiti .....	75
6.16 Gaz miktarı tespiti hesaplama sonucu .....	75
6.17 Süt borusunun yarıçapının belirlenmesi .....	76
6.18 Süt borusunun yarıçapının hesaplama sonucu .....	77
6.19 Gaz borularının yarıçaplarının belirlenmesi .....	77
6.20 Gaz borularının yarıçaplarının hesaplama sonucu .....	78
6.21 Simülasyon üçüncü bölüm .....	79
A.1 R-12 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı .....	89
A.2 R-134a soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı .....	90
A.3 R-114 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı .....	91
A.4 R-717 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı .....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Atkins Soğutma Sisteminin İşletim Maliyeti .....	11
2.2	Kurutucu Tiplerine Göre Uzaklaştırılan Su Miktarı Değişimi [26].....	14
2.3	Soğutucu Akışkanların Karakteristik Özellikleri [35] .....	27
3.1	Sütün Mikrobiyolojik Özellikleri [38] .....	33
3.2	Sütün Kimyasal Özellikleri [38] .....	33
3.3	Sütün Fiziki Özellikleri [38] .....	34
5.1	Plakalı Pastörizatör ve Çift Cidarlı Kazan Sistemleri ile Isı Pompası Sisteminde 1 Kg Sütün Pastörizasyonu için Harcanan Enerji Miktarı [25].....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$C_{p_{süt}}$	: Sütün özgül ısınma ısısı, $\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
$C_{p_{gaz}}$	: Gazın özgül ısınma ısısı, $\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
$m_{süt}$	: Sütün kütleli debisi, $\text{kg} / \text{sn}$
$m_{gaz}$	: Gazın kütleli debisi, $\text{kg} / \text{sn}$
$\ln T$	: Logaritmik sıcaklık, $^\circ\text{C}$
$T$	: Sistem sıcaklığı, $^\circ\text{C}$
$U$	: Akışkan hızı, $\text{m/s}$
$h$	: Özgül entalpi, $\text{kJ/kg}$
$q$	: Birim kütle için harcanan enerji, $\text{kJ/kg}$
$Q$	: Isı kapasitesi, $\text{kW}$
$d$	: Yarı çap, $\text{m}$
$r$	: Yoğunluk, $\text{kg/m}^3$
$w$	: Birim kütle için yapılan iş, $\text{kJ/kg}$
$W$	: Yapılan iş, $\text{kW}$
$t$	: Sütün pastörize edilmesi için gerekli süre, $\text{sn}$
$n$	: Bir örneğin farklı yerlerinden alınan deney numune sayısı
$c$	: (M) değerinin bulunabileceği en yüksek deney numune sayısı
$m$	: (n-c) sayıdaki deney numunesinde bulunabilecek en yüksek değer
$M$	: (c) sayıdaki deney numunesinde bulunabilecek en yüksek değeri
$Q_{kon}$	: Kondenser kapasitesi, $\text{kW}$
$Q_{evp}$	: Evaporatör kapasitesi, $\text{kW}$
$W_{kom}$	: Kompresör kapasitesi, $\text{kW}$
$D$	: Boru çapı, $\text{m}$
$L$	: Boru uzunluğu, $\text{m}$
$Q_{süt}$	: Sütün pastörize edilmesi için gerekli ısı kapasitesi, $\text{kW}$
$O_2$	: Oksijen
TBEM:	Tüketilen Birincil Enerji Miktarı, $\text{kW}$

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ( devam ediyor )**

### **KISALTMALAR**

WEC	:	Dünya Enerji Konseyi
ITK	:	Isıtma Tesir Katsayısı (COP)
STK	:	Soğutma Tesir Katsayısı (COP <sub>s</sub> )
BEO	:	Birincil Enerji Oranı
IEA	:	Uluslararası Enerji Acentesi
LMTD	:	Logaritmik Sıcaklık Yöntemi
TS	:	Türk Standartları
MW	:	Mega Watt
KW	:	Kilo Watt

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde gelişmiş ülkelerde yaşayan insanların hayat standartlarının yükselmesi, teknolojik gelişmeler ve enerji kullanımı ile paralel olarak artmaktadır. Bir ülkenin ekonomik alanda kalkınmasının temel öğelerinden biri olan enerji, insanlar için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Gelecekte, uluslararası mücadelelerin gerçek nedeni enerji kaynakları olacaktır. Bundan böyle, ön planda tutulacak bilimsel çalışmalar enerji üretim ve tasarrufu alanında olacaktır. Dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki nüfusun hızla artması, hızlı sanayileşme ve yatırımların hızla büyümesi, enerji alanındaki yatırımları, teknolojik ve bilimsel çalışmaları etkilemektedir. Uluslararası boyut kazanan enerji sorunlarının çözülmesi, yeni enerji kaynaklarının bulunmasını gerektirmektedir. Yakın bir gelecekte, fosil kökenli yakıtların yerine başka enerji kaynaklarının kullanılmaması durumunda, 21.yy başlarında, fosil kökenli yakıtların tamimiyle tükenmesi söz konusu olacaktır. Bu bakımdan, bütün ülkeler, bir taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok yararlanmak, diğer taraftan yeni enerji kaynakları bulmak için araştırmalarını sürdürmektedirler [1].

Ülkemizde enerjinin durumu ise diğer ülkelere farklıdır. Türkiye'de de, tükenen enerji kaynaklarının üretim ve tasarrufuna paralel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok yararlanmak için yapılan çalışmalar son yıllarda daha da hızlandırılmıştır. Yerli kaynak aramaları ile üretimin arttırılamaması durumunda, dışa bağımlılığımızın artması kaçınılmaz olacaktır. Çünkü enerji girdisi, 1973 yılında yaşanan petrol krizinden beri, ucuz bir girdi olmaktan çıkmıştır [1,2].

Dünyada enerji tüketimi incelendiğinde, 1900 yılında nüfusu 1.6 milyar olan dünyanın, genel enerji tüketimi  $5 \cdot 10^{10}$  GJ düzeylerinde iken, 2005 yılında nüfusu 6 milyarı geçen dünyanın enerji tüketimi  $48 \cdot 10^{10}$  GJ düzeyine ulaşmıştır. Dünya Enerji Konseyi (WEC)'nin 1995 tarihli "Global Enerji Perspektifleri" başlıklı raporunda, dünya nüfusunun 2050 yılında 10.1 milyar ve 2100 yılında 11.7 milyar olacağı varsayılarak, 2000-2100

döneminde dünyanın toplam enerji tüketiminin en az  $8250 \cdot 10^{10}$  GJ olacağını ortaya koymaktadır [2].

Bir toplumun gelişmişlik göstergelerinden biriside kişi başına kullanılan enerji miktarıdır. Genel olarak bakıldığında, dünyada tüketilen toplam enerjinin %90 kadarı fosil kökenli yakıt olarak bilinen kömür, petrol ve doğal gazdan sağlanmaktadır. Bunların mevcut rezervlerinin kısıtlı olması ülkeleri, “Enerji Tasarrufu”nu ve “Alternatif Enerji Kaynakları”nı araştırmaya yöneltmiştir [2].

Gelişmekte olan ülkelerde sanayi ürünlerinin gayri safi milli hasıla içindeki payının artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, sanayide kullanılan enerji maliyetinin düşürülmesi, müteşebbisin bol ve ucuz üretim yapmasına fırsat tanıyacaktır. Bu durumda iki seçenek vardır. Dışa bağımlı pahalı yatırımlarla ve yepyeni bir teknoloji ile enerji elde etmek veya enerji tasarrufu ile birlikte ucuz enerji kaynaklarını devreye sokmak.

Günümüzde ikinci tercihin kabul edilmesi, gelişme yolunda olan ülkemiz için daha akılcı olacaktır. Bu çerçevede yüksek verimli türbinler ve buhar kazanları gibi enerji dönüştürücülerin kullanımını artırmak, güneş ve rüzgar enerjileri gibi bol ve ucuz enerji kaynaklarından yararlanmak gerekmektedir. Ayrıca, sanayi tesislerinde büyük miktarlar oluşturan düşük sıcaklıktaki atık enerjinin kullanılabilir duruma getirilmesi de önem taşımaktadır. Düşük sıcaklıktaki enerji kaynaklarından kullanılabilir enerjinin meydana getirilmesinde ısı pompaları büyük kolaylık sağlamaktadır [3].

Isı pompalarının performans katsayılarının, elektrik enerjisi kullanan sistemlere göre 3–6 kat, buhar kazanlarına göre 2 kat daha avantajlı olduğu da dikkate alınır, gelişmiş ülkelerde geniş kullanımı olan ısı pompalarından yararlanmanın yurdumuzda da yaygınlaştırılması ile önemli miktarlarda enerji tasarrufunun sağlanacağı söylenebilir [4,5].

Bu çalışmada; süt pastörizasyonu uygulamasında kullanılan ısı pompası sisteminin elemanları olan Kompresör, Evaporatör ve Kondenser gibi cihazların kapasite seçimleri, Visual Basic’te hazırlanan bir bilgisayar programı ile belirlenmektedir. Bu program sayesinde hem kapasite seçimleri daha kolay bir hale gelecek hem de normal hesaplama metodundaki dikkatsizlikten kaynaklanan hatalar ve gereksiz zaman kayıpları önlenmiş olacaktır.

## BÖLÜM 2

### ISI POMPASI

#### 2.1 ISI POMPASININ TARİHÇESİ

Gelişmiş ülkelerin kalkınmalarında, enerjinin ve dolayısıyla enerji hammaddelerinin yeri çok önemlidir. Gelişmişliğin göstergesi olan enerji ve buna bağlı olarak kişi başına düşen tüketim miktarlarının değerlendirildiği günümüzde, fosil enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanılarak insanların hizmetine sunulması, sınırlı ve yenilenemeyen doğal kaynakların kısa zamanda tükenmesine hem de bilinçsiz tüketildiğinden çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır [2].

Enerji sorununun hızla arttığı günümüz dünyasında, yeni enerji kaynaklarına yönelik çalışmalarda ısı pompası hızla önem kazanmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden birisi, ısı pompalarının enerji tasarrufu yönünden diğer sistemlere göre avantajlı olması, çevre kirliliğine neden olmamaları ve endüstriyel alanlarda kullanılabilme özelliğine sahip olmalarıdır. Ayrıca gürültüsüz çalışma, yağlama, bakım ve onarım maliyetleri, emniyet, kullanım ömrü gibi önemli dizayn problemleri bakımından da ısı pompaları, diğer sistemlere göre önemli avantajlara sahiptirler [6,7].

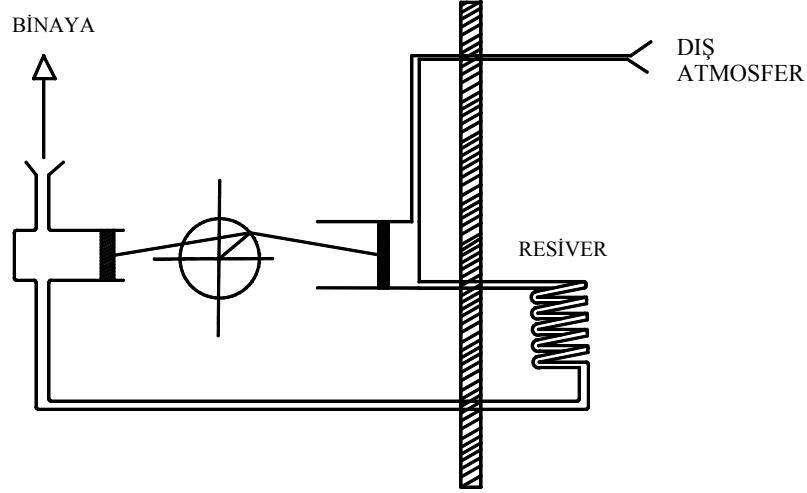
Isı pompaları termodinamik olarak soğutma makineleriyle benzerdir. Aralarındaki temel fark kullanımda oynadıkları roldür. Soğutma makineleri faydalı soğutma, ısı pompaları ise faydalı ısıtma sağlar. Değişik tip, büyüklük ve şekillerde olabilen ısı pompalarının en yaygın olanı buhar sıkıştırma çevrimiyle çalışan tipleridir. Diğer tipler absorpsiyon çevrim üniteleri ve termoelektrik aygıtları içerir. Elektrik motorundan içten veya dıştan yanmalı motorlara kadar çok değişik güç kaynakları ısı pompasının kompresörünün tahrikinde kullanılmaktadır ve ısı pompalarının kapasiteleri birkaç watt'an megawatt'a kadar değişmektedir. Ayrıca bu sistemlerde çok değişik tip kompresörler kullanılmaktadır [7].

1973 enerji krizinden sonra ısı pompalarındaki gelişmeler önemli derecede artmış pratik uygulamaları yaygınlaşmıştır. Isı pompası uygulamalarıyla tasarruf edilen enerji miktarının büyüklüğü, ısı pompalarının yaygın kullanımının nedenidir. Evlerde, ticari ve resmi binalarda ve endüstriyel tesislerde çok değişik uygulamaları mevcuttur.

Isı pompaları ilk kez 1777' de, Nairne buz üretimi için sülfirik asit ve su ile yaptığı bir çalışmayı yayınlamıştı. 1810 tarihinde Edinburgh' da bir matematik ve fizik profesörü olan John Leilie adındaki bir İskoçyalı, aynı prensibe dayanan bir cihaz geliştirdi. Yaklaşık 40 yıl sonra, bir Fransız olan Edmond Carre bu çalışmalarını yeniden ele aldı ve el pompası ile çalışan sülfirik asit-su absorpsiyon tipi makinayı kurdu. 1862 yılında, Edmond Carre' nin kardeşi Ferdinand Ph.E. Carre, amonyak ve su ile çalışan absorpsiyonlu ısı pompası ile adına bir çok patent aldı. Ferdinand Carre evlerdeki buz üretiminde periyodik çalışan cihaz ve endüstriyel uygulamalar için sürekli çalışan cihaz olmak üzere iki tip cihazı tanımlamıştır. Ferdinand Carre; buz fabrikası, iklimlendirme, mayalama prosesi kontrolü gibi birçok çeşitli ileri uygulamaları da tarif etmiştir. Bu absorpsiyon tipi ısı pompaları çok güvenilir olmalarından dolayı Fransa, İngiltere ve Almanya'da birçok endüstriyel uygulamaları yapılmıştır [8].

Isı pompasının ilk basit çalışma ilkesi 1824 yılında Nicholas Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Bu kuram Lord Kelvin'in "Soğutma Cihazları Kullanılarak Isıtma Yapılması" düşüncesi ile gelişmiştir. Lord Kelvin, "ısı yükselticisi" adını verdiği cihazın çalışma ilkesini aynı yıllarda yayınlamıştır.

Lord Kelvin'in havayı iş gören akışkan olarak kullandığı bu sistemde dış ortam havası bir silindire çekilir ve burada genişletilerek, hem sıcaklığının hem de basıncının düşmesi sağlanır. Daha sonra hava dış ortama yerleştirilen bir ısı değiştiricisinden geçirilir. Böylece genişletilerek, soğuyan havanın dış ortamdan ısı alması sağlanır. Isınan hava tekrar atmosfer basıncına sıkıştırılarak odaya verilir ancak hava sıkıştırıldığı için sıcaklığı atmosfer sıcaklığından daha yüksektir. Lord Kelvinin bu ısı toplayıcısı "Kelvin ısı toplayıcısı" olarak bilinir. Bu ısı toplayıcı şekil 2.1 gösterilmiştir [7].



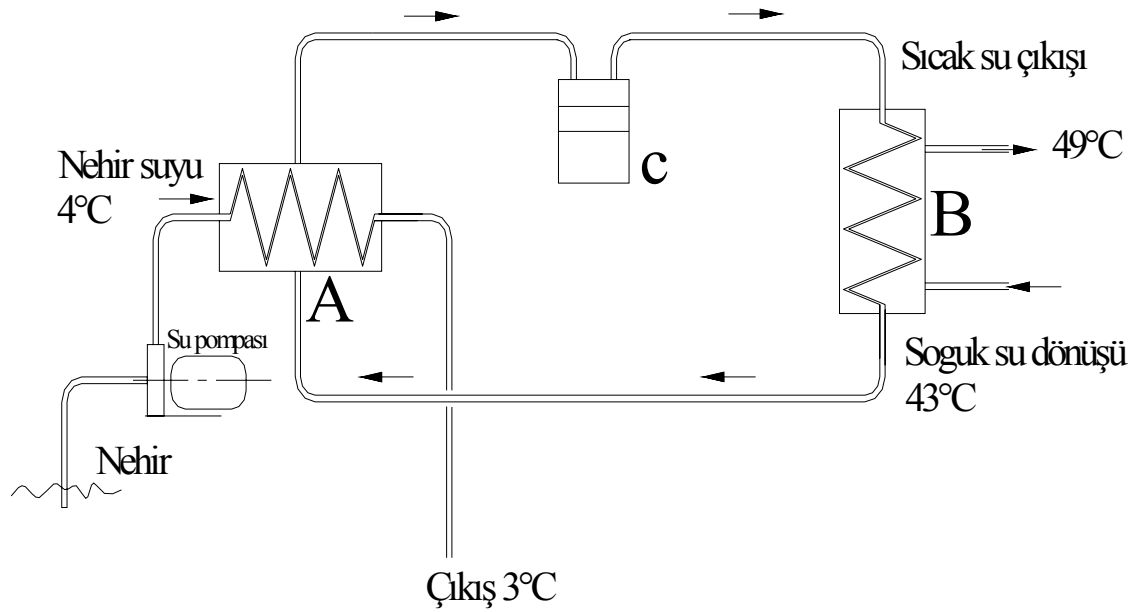
Şekil 2.1 Kelvin ısı toplayıcı makinesi [7].

Bununla birlikte 1880' den sonra Alman Cari Von Linde' nin buhar sıkıştırımlı tipteki ısı pompası, absorpsiyon tipi makinanın yerini almaya başladı ve yüzyılın sonlarına doğru bu cihaz gittikçe önemini kaybetti. Artık enerji kalitesinin artırılmasının önemli olduğu ilk zamanlarda, I. Dünya savaşının ardından absorpsiyonlu ısı pompaları yeniden değer kazandı. Isı pompalarının gelişmekte olduğu bu yıllarda, özellikle bu sahada yaptığı atılımlarla Alman E. Altenkirch, isim yapmıştır. Altenkirch, absorpsiyonlu ısı pompalarının, tersinir bir işleme yaklaşımlarının mümkün olduğunu gösterdi. Ardından bir çok ısı pompası dizaynları ileri sürüldü. Ancak bu gibi düşüncelerin çoğu, pratik anlamdan ziyade teoride kaldı. Aynı zamanda, ısı pompası dizaynındaki bu teknik gelişmelerden başka, ısı pompası teorisi için termodinamik temeller de, entalpi-yoğunluk diyagramlarını ileri süren F. Merkel ve F. Bosnjakoviç'in çalışmaları vasıtasıyla önemli bir gelişme gösterdi. Böylece, absorpsiyonlu ısı pompası çevrimini incelemek mümkün oldu [9].

Daha sonra, entalpi-entropi diyagramı yardımıyla ısı makinesi analiz edilebilmiştir. Altenkirch' de çalışan K. Nesselman, ısı pompası çevriminin verimini değerlendirmek için referans bir çevrim tanımladı ve iş yapan maddelerin ısı özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ısı oranını inceledi. Nitekim değişik ısı pompası çevrimleri, ısı pompasının gelişmekte olduğu ilk yıllarda açıkça görülebilir ve makineler arası rekabet ilk yıllarda olduğu gibi günümüzde de devam etmektedir.

Haldane, 1927'de İskoçya'da ev ısıtması için bir ısı pompası tesisatı kurmuştur. Bu ünite de, sıcak su ihtiyacı ve hacim ısıtması için ısı kaynağı olarak atmosferik çevre havası kullanılmıştır [10].

Avrupa'daki ilk ısı pompalarından birisi de, 1938' de Zürih'de kurulmuştur. Bu sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu, iş yapan akışkan olarak R 12 ve bir rotorlu kompresör kullanılmıştır. (Şekil 2.2) Zürih belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 KW ısıtma gücünde olup, 60 °C ısıtma yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir [11].



Şekil 2.2 Avrupa'da kurulan ilk ısı pompası [11].

Isı pompalarındaki bir diğer gelişme de belli bir süre sonra ve özellikle de II. Dünya savaşından sonra ısı pompalarına olan talebin oldukça azalmasıdır. Bunun nedeni, bu zamanlarda bol enerji kaynaklarının olması idi.

Fakat daha sonra, 1973'de ilk petrol krizinden sonra ısı pompasına rağbet hızla arttı ve 1979'daki ikinci krizden sonra tekrar gelişmeye geçti. Petrol fiyatlarındaki çok hızlı artış, 1973'den önce 1 USS/varil seviyesinden, 1973'den sonra 7 USS/varil'e ve ardından 1982'de 30-40 USS/varile ulaşması, enerji kullanımına ve tesis dizaynına bakış açısını tamamen değiştirdi. Enerji maliyetinin düşük olduğu zamanlarda uygulanan ve ekonomik sebebe dayanmayan enerji tasarrufu metotları, daha çok enerjinin pahalı olduğu dönemlerde elverişli konuma ulaşır. Bununla birlikte, birçok problemin endüstride uygulanan enerji

tasarruf metotları ile ilgisi vardır. Bunların çok önemli olanlarından bazıları şunlardır [6];

a-) Uygulanan enerji-tasarruf metotlarının gerekli olan teorik ve grafik bilgisi, ya gerçek uygulamalar için yeterli değildir, ya da kolayca elde edilemezler.

b-) Çoğu durumlarda, hangisinin daha elverişli olduğuna karar vermenin zor olduğu birçok alternatif enerji ihtiyacını azaltma metotları, başka deyişle enerji-tasarruf teknikleri vardır.

c-) Bazı durumlarda, enerji-tasarruf teknikleri kullanıcıları ile üreticileri arasında bir bilgi boşluğu vardır.

İngiltere'de Norwich'de yapılan ilk ısı pompası, bu teknik kullanılarak büyük binaların başarıyla ısıtılabilirliğini göstermiştir. Isı pompası 14200 m<sup>3</sup> hacmindeki bir binayı ısıtmak için kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak nehir, soğutkan olarak sülfür dioksit kullanılan sistemde 49 °C de sıcak su üretilmiştir. Sistemin Isıtma Tesir Katsayısı (ITK) ise 3 tür [12].

İngiltere'de ikinci ısı pompası Londra'da Royal Festival Hall'de kurulmuştur. 2,7 MW ısıtma gücüne (bu güç gerçek ısıtma talebinin çok üzerindedir) sahip olan sistem, yaz aylarında da soğutma yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Isı kaynağı olarak Thames nehri, soğutkan olarak R-12 kullanılan sistemde ısıtma zamanlarında 71 °C de sıcak su ve soğutma zamanlarında da 4 °C de soğuk su elde edilmiştir. Kompresör tahriki için şehir gazıyla çalışan, 522 kW gücündeki Rolls-Royce Marlin motor kullanılan sistemin Isıtma Tesir Katsayısı 5.1 ve Birincil Enerji Oranı (BEO) 1.5 olarak bulunmuştur. Gereğinden büyük kapasitede olduğu için işletme ve bakım maliyetlerinin büyük olması nedeniyle sistem ekonomik olmamıştır. 1953' teki yatırım maliyetinin £103.2 olmasına rağmen uzmanlar doğru kapasite seçimiyle maliyetin £52.5 olacağını belirtmişlerdir [13,14].

Oxford'da Nuffield kolejinde kurulan ısı pompasında ise ısı kaynağı olarak sıcaklığı 16-24 °C arasında değişen lağım suyu kullanılmıştır. Kompresör 31 kW dizel motorla tahrik edilmiştir. Dizel motordan egzoz ve soğutma suyu ile atılan ısının bir atık ısı kazanı ve bir ısı eşanjörü kullanılarak geri kazanıldığı sistemde Isıtma Tesir Katsayısı (ITK) 4 olarak gerçekleşmiştir. Bu ısı pompası ile sıvı yakıt (Fuel-oil) yakan bir kalorifer kazanının işletme maliyetleri karşılaştırıldığında, ısı pompasının 9.86 pence/BTU, kazanın maliyeti

ise 13.2 pence/BTU olarak bulunmuştur. Şayet ısı pompası elektrikle tahrik edilmiş olsaydı tahmini maliyetin 15.9 pence/BTU olacağı belirtilmiştir, (maliyet hesapları 1963 deki kurlara göre yapılmıştır) O tarihte fuel-oilin fiyatı 13.75 pence/gallon ve elektriğin fiyatı 1.375 pence/kwh olduğu belirtilmektedir [15].

İlk paket tipi ısı pompası, 1932'de Amerika'da yapılmıştır. Amerika'da imal edilen ısı pompaları üniteleri 1940 yılı sonunda pazarlanmış ve 1982 yılında 1000 ısı pompası üretilerek piyasaya sürülmüştür. 1954'de imalat iki misline, 1957'de on misline çıkartılmıştır. Ardından 1963'de ise 76.000 ısı pompası ünitesi imal edilmiştir. 1973 enerji krizinden sonra ısı pompalarına ilginin arttığı söylenebilir. Amerika'da 1978'den sonra yapılan binaların %25' nin ısı pompası ile ısıtılması planlanmıştır [16].

Farklı enerji kaynaklarının maliyeti ve kullanılabilirliği için alınan tedbirler ve ısı pompası dizaynlarının geliştirilmesi çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir. Amerika'da 1971'de pazarlanan ısı pompası 82.000 adet iken bu sayı, 1977'de 200.000'e ve ardından 1979 yılında 547.694'e ulaşmıştır [17].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) adına yapılan bir çalışmada, 1981'e kadar Amerika'da kullanılan ısı pompası sistemlerinin toplam 4.4 milyona ulaştığı, yıllık satışların %80' inin hava-hava tipi ısı pompaları olduğu belirtilmiştir [17].

Isı pompaları ile atık enerjiden de yararlanmak mümkündür. Fabrika, otel ve sinema gibi yerlerde atık ısı enerjisinden yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanması, günümüzde tercih edilen uygulamalardan bir tanesidir. Bunun için öncelikle atık ısının enerji olarak büyüklüğü, sıcaklığı, ısıyı geri kazanma yolları, ısı alınan soğuk ortam, atılan akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, verimlilik ve benzeri hususlar ile kullanma gayesi göz önüne alınarak çok yönlü inceleme yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda sadece ısıtma gayesiyle ısı pompası kullanılması verimli olmayabilir. Çeşitli gayelerle hem soğutma ve hem de ısıtma gereken hallerde, ısı pompaları en uygun çözüm yolu olabilir. Kurutma tesisleri, sportif tesisler, gıda ve tarım sanayiinden bazı çift yönlü uygulamaları örnek verilebilir [18].

Günümüzde endüstriyel, ticari ve evsel uygulamalarıyla ısı pompalarına olan ilgi Avrupa, ABD ve Japonya'da hızla artmaktadır. Uluslararası Enerji Acentası (DEA), Avrupa Komisyonu (The European Commission) gibi uluslararası organizasyonlar çok büyük ısı pompası programları ve ısı pompası teknolojileri geliştirmekte, mevcut ısı pompası teknolojisini yeni uygulama alanlarında kullanmaktadırlar [19,20].

Bugün özellikle gelişmiş ülkelerde, ısı pompalarından değişik amaçlarla yararlanılmaktadır. Bunların basında, konutların ısıtılması, gıda sanayiinde kurutma, iklimlendirme v.b. gelmektedir. Buna rağmen ısı pompalarının kullanımını yaygınlaştırmak, verimini yükseltmek ve alternatif kullanım alanları belirlemek için çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Isı pompasının öneminin yurdumuzda da anlaşılmasından sonra, ısıtma, iklimlendirme ve kurutma gibi alanlarda kullanılabilme imkânlarını belirlemek amacıyla başlanmış olan çalışmalara gruplar halinde devam edilmektedir [20].

## **2.2 ISI POMPASININ KULLANIM ALANLARI**

Isı pompalarının endüstrideki uygulama alanlarını genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

### **2.2.1 Endüstriyel Isı Pompası Tesisleri**

Isı pompalarının endüstrideki uygulama alanları da kendi arasında üç grupta incelenir.

- a- Soğutma sistemlerinden atılan ısının geri kazanımı
- b- Gıda endüstrisinde ( Kurutma, buharlaştırma ve kaynatma prosesleri )
- c- Sıvı arklardan ısının geri kazanımı

Bir soğutma çevriminde çevre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta kondenserden ısı atılır. Bu tür sistemlerde ısı genellikle bir soğutma kulesi ile veya hava soğutmalı bir kondenser vasıtasıyla sistemden atılır. Bu ısı geri kazanılabilir ve alternatif olarak ısıtmada, ön ısıtmada (su vs.) ve diğer işlerde kullanılabilir. 1947'de Basle'de yapılan, günlük 240 ton buz üreten ve ayrıca -10 °C'de salamura soğutan 750 kW gücünde bir soğutma sisteminden atılan ısı bir ısı pompasında 18 °C deki suyu 72 °C ye ısıtmada kullanılmıştır [21].

Soğutma sistemlerinden atılan ısının geri kazanımı ve faydalı bir şekilde kullanım alanlarından biri de süt endüstrisidir. Yayık temizleme suyunun elektrikle ısıtıldığı çiftliklerde süt soğutucuları, hem süt soğutucusu hem de su ısıtıcısı olarak kullanıldığında elektrikten önemli bir tasarruf sağlanabilmektedir. Bu amaçla ilk çalışma 1952 de Amerika'da yapılmıştır. Süt soğutucusunun kondenseri, izole edilmiş bir su tankına yerleştirilmiştir. Yayık temizleme suyu bu tank içerisinde ön ısıtıldıktan sonra elektrikli ısıtıcıya gönderilmiştir [22].

Batı Almanya'da Hannover yakınlarında Kirchhorst kasabesindeki çiftlikte uygulanan metotta sağımdan sonra 32 °C sıcaklıkta olan süt, pastörize fabrikasına nakledilmeden önce ısı pompası ile soğutulmakta ve diğer taraftan günde 60 °C sıcaklıkta 800 lt sıcak su elde edilmektedir [17].

Isı pompaları plastik endüstrisinde enjeksiyon makinelerinden soğutma, suyu ile atılan ısıyı geri kazanmak amacıyla kullanılmaktadır. 1976 yılında İngiltere'de 51 fabrikada ısı geri kazanım yöntemiyle çalışan ısı pompası uygulaması gerçekleştirilmiş ve yıllık £15000'luk enerji tasarrufu sağlanmıştır. Burada soğutma kulesinin yerini alan ısı pompası, enjeksiyon makinesinden 11 °C'de, 1140 l/dk. debi ile ayrılan soğutma suyunun sıcaklığını, 7,2 °C'e düşürürken, havalı (finned-coil) tip kondenserle fabrikanın ısınma ihtiyacını karşılamaktadır [23].

Bir başka plastik üretim fabrikasında enjeksiyon makinelerinin soğutma suyu büyük bir tank içerisinde amonyaklı soğutucu ile soğutulmaktadır. Amonyak ünitesinden atılan düşük sıcaklıktaki ısı, R-12 ısı pompasıyla soğutulan bir kaskad soğutucu vasıtasıyla merkezi ısıtma sisteminde kullanılmıştır. Isı pompasının performans katsayısı 4.6, amortismanı 3-4 yıl olarak tespit edilmiştir. Isı pompasının Birincil Enerji Oranı 1,46 olarak bulunmuştur. Verimi % 90 olan bir klasik kazan sistemiyle karşılaştırıldığında, ısı pompasının birincil enerjisi 1.6 kat daha iyi kullandığı belirtilmektedir [23].

Hem soğutma hem de ısıtmanın gerekli olduğu bir binada soğutma ünitelerinden atılan ısı ısıtmada kullanılabilir. W.S. Atkins firması tarafından yapılan bir çalışmada soğutma ünitesinden atılan ısı, su ısıtma işleminde kullanılmıştır. Bu amaçla soğutma ünitesine su soğutmalı boru/zarf tipi kondenser monte edilmiştir. Bu kondenserde ısınan suyu son çalışma sıcaklığına getirmek için gerekli olan ilave ısı bir kazan sistemiyle sağlanmıştır.

Çizelge 2.1’de bu sistemin değişiklikten önceki ve sonraki işletim maliyetleri görülmektedir. Isı geri kazanım ünitesinin gerektirdiği ilave maliyetinin bir yıldan daha az bir sürede amorti edilebileceği belirtilmektedir [7].

Çizelge 2.1 Atkins soğutma sisteminin işletim maliyeti.

Kriter	Eski sistem	Isı geri kazanımlı sistem
Yoğuşma sıcaklığı(°C)	35	35
Elektrik tüketimi	50000	46900
Geri kazanılan ısı	0	—55200
Su tüketimi	50000	750
Bakım	7500	1300
Toplam (£/yıl)	62500	—6250

Not: Maliyetler sterlin olarak verilmiştir.

3150 m<sup>2</sup> alana sahip fabrikayı ısıtmada gaz veya fuel-oil’e ihtiyaç duyulmadığı için yakıt tüketiminde önemli bir tasarruf sağlanmıştır. Makineler çalıştığı zaman prosten kazanılan ısı 325 kW’ tır (buna kompresör ünitesinden sağlanan ısı da dahildir.) ve bununla en soğuk hava koşullarında dahi uygun bir ısıtma sağlanabilmiştir. Isı pompasıyla çevrim zamanı % 5 azaltılmış, buna karşılık verimlilik artmıştır [24].

Bir mezbahanedeki et soğutma ünitesinin kondenserinden atılan ısı, ısı pompasıyla geri kazanılarak temizlik suyunu ısıtmada kullanılmıştır. Soğutma ünitesine 25/48 °C sıcaklıklarda çalışan bir ısı pompası entegre edilmiştir. Bu sistemle 41°C sıcaklıkta temizlik için sıcak su elde edilmiştir. Isı pompası kullanımıyla haftada 16 ton fuel-oil yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Sistem sayesinde sağlanan net tasarrufun 30000 Danimarka Kronu olduğu belirtilmektedir [23].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) tarafından yapılan bir ısı pompası sisteminde, elektronik parçalar üreten bir fabrikadaki vakum pompalarının soğutma suyu, ısı kaynağı olarak kullanılmış ve fabrikanın ısıtma ihtiyacı karşılanmıştır. Vakum pompalarından atılan toplam ısı 51 kW’ tır ve soğutma suyunun debisi ise 9 m<sup>3</sup>/h dir. Sistemde vakum pompalarından çıkan su ısı pompasının evaporatöründe soğutulmuş, hava soğutmalı

kondenserde ise fabrikaya giren havaya ön ısıtma uygulanmıştır. Pompaların soğutma suyu evaporatörde soğutulmuş olarak tekrar kullanıldığı için sudan önemli derecede tasarruf sağlanmıştır. Bu uygulama ile sağlanan tasarruflar aşağıda verilmiştir [24].

Kuyu suyu tüketimindeki

Azalmayla sağlanan tasarruf	: 100397 BF <sup>1</sup>
Doğal gazdan tasarruf	: 28440 BF
Isı pompası işletim maliyeti	: 41950 BF

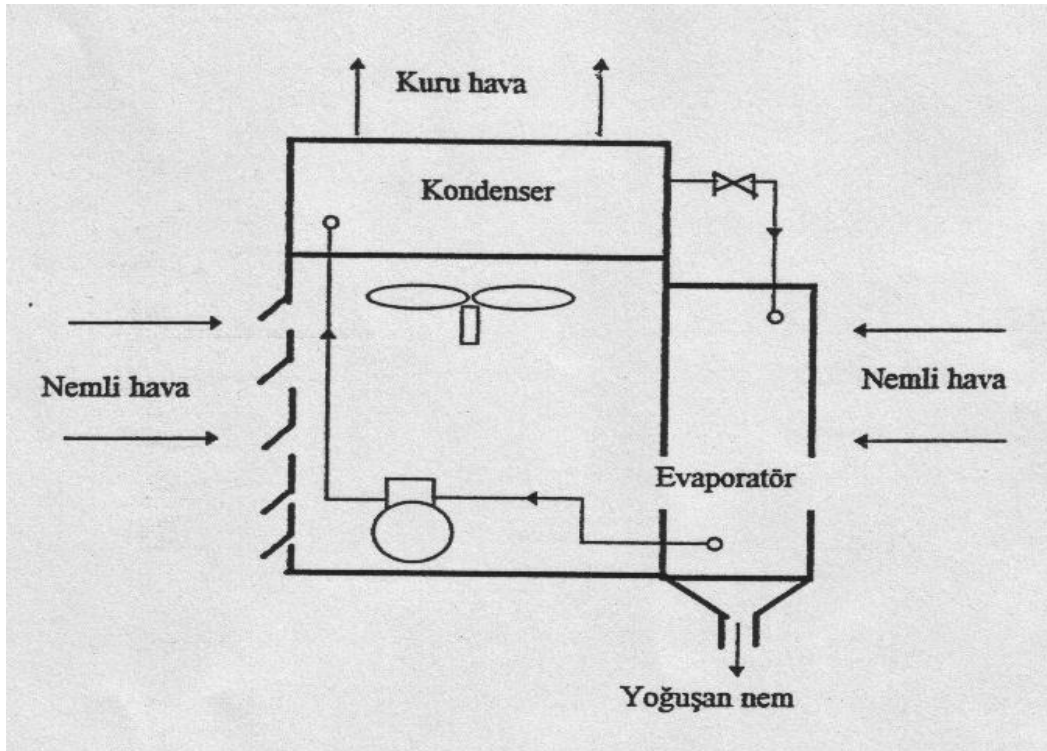
Isı pompasının gıda sanayiinde kullanılabilirliği değişik araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Gıdaların kurutulması için yapılan bir çalışmada, 0 °C de buharlaşma ve 50°C de yoğunlaşma sıcaklığında çalışan Freon-12 soğutkanının kullanıldığı bir soğutma sisteminin aynı zamanda ısı pompası olarak nasıl çalıştırılabildiği belirtilerek, işlem şartları tartışılmıştır. Yine aynı çalışmada, ısı pompasının hava iklimlendirmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir [25].

Isı pompalarının bir başka uygulama alanı kurutma işlemleridir. Isı pompaları, kurutma alanında ilk kez 1943 yılında Almanya'da bir yeraltı mağarasının havasını kurutmada kullanılmıştır. Diğer bir uygulama 1950 yılında Amerika'da buğday kurutma amacıyla yapılmıştır. 1.3 m<sup>2</sup> alanda buğdayın kurutulduğu ısı pompası sisteminde 570 W gücünde elektrik motoruyla tahrik edilen bir kompresör ile soğutkan olarak R-12 kullanılmıştır. Ayrıca bir santrifüj üfleyici ile havanın sirkülasyonu sağlanmıştır. Deneyler hava debisi 550-2000 m<sup>3</sup>/h, hava sıcaklığı ise 43 – 54 °C aralıklarında değiştirilerek yapılmıştır, deneylerde % 12 buğday nemi hedef alınmıştır. Deneyler sonucunda minimum maliyetin 800-1000 m<sup>3</sup>/h arasındaki hava debilerinde meydana geldiği görülmüştür, özgül nem çıkarma oranı (1 kg suyun buharlaşması için harcanan enerji) kurutulan hava sıcaklığıyla değiştiği ve 43 °C'de 0.28 kWh/kg, 54°C'de 0.27 kWh/kg olduğu anlaşılmıştır [24,25].

<sup>1</sup> 1 £ = 60 BF (1987)

Buğday kurutma işleminde ısı pompası ve elektrikli kurutucunun karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise aynı miktarda nemin uzaklaştırılması (aynı özgül nem çıkarma oranı) için ısı pompasının elektrikli kurutucudan % 63 daha az enerji tükettiği belirtilmiştir [26].

Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi, Şekil 2.3' de görülen soğutulmuş nemi alan hava ile soğutulmamış havanın kondensere girmeden önce karıştırılması ile gerçekleşen sistemdir. Kurutmada bu şekilde uygulanan ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı (ITK) daha büyük olmaktadır. ITK değeri kondenser ve evaporatör sıcaklıkları arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Bu nedenle değişik ısı pompası uygulamalarında kondenser ve evaporatör sıcaklıkları arasındaki fark sistemin verimini etkiler. Isı pompası destekli kurutucuların verimini ITK' dan daha çok çekilen özgül nem oranı (SMER: Specific Moisture Extract Ratio) ile göstermek daha doğrudur. Özgül nem çekme oranının fiziksel anlamı; ısı pompasında harcanan 1 kWh'lik enerjiye karşılık, ısı pompasının evaporatöründen geçen nemli havadan çekilen nem (evaporatörde yoğuşan su miktarı) miktarıdır. Pratik uygulamalarda SMER değeri 1.5-2.5 kg/kWh aralığında değişmektedir[26].



Şekil 2.3 Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi [26].

Kurutucularda, kurutma esnasında üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler karşılaştırıldığında ısı pompalı kurutucuların diğerleri yanında oldukça ekonomik olduğu Çizelge 2.2’ de görülmektedir.

Çizelge 2.2 Kurutucu tiplerine göre uzaklaştırılan su miktarı değişimi [26].

Kurutucu Tipler	Uzaklaştırılan kg Su Başına Harcanan Enerji Miktarı ( MJ/Kg )
Isı pompalı kurutucu	0,5 – 0,8
Direkt egzost gazları ile çalışan kurutucu	3,2 – 3,8
Hava ile çalışan kurutucu, ( 70-100 °C )	4,5 – 5,5
Kazandan alınan egzost gazları ile kurutma (400 °C)	5,0 – 6,0
Kazandan alınan egzost gazları ile kurutma (200 °C)	9,0 – 12,0

Değişik tipte ısı pompalı kurutucu sistemleri mevcuttur. Bunlar,

- 1- Reküperatör ısı pompalı kurutucu (açık hava çevrimli)
- 2- Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu
- 3- Soğuk gaz (Brayton çevrimli) ısı pompalı kurutucu
- 4- Kombine ısı pompalı kurutucu

Isı pompalarının tekstil sanayisindeki ilk uygulaması küçük yünlü bere üreten bir firma tarafından yapılmıştır. İlk önceleri kurutma odası için gerekli kuru buharın üretiminde Fuel-oil kullanılmış fakat çok verimsiz olduğu görülmüştür. Daha sonra bu işlem için 50 °C de çalışan bir ısı pompası kullanılmaya başlanmıştır. Yün iplikler boyama işleminden sonra kurutulmuştur. Kurutma zamanının uzun olması (5.25 saat) sistemde darboğazlara neden olmakta ve iplikleri asmak için bazen ekstra bir fırın kullanılmaktaydı. Fakat ısı pompası kurutma zamanını ve tüketilen enerji miktarını düşürmüştür. Kurutma işlemi için ısı pompasının kullanılmasıyla enerji tüketimi yaklaşık olarak % 90 ve kurutma maliyeti % 70–75 oranında azalmıştır. Sistemin amortismanı ise 2,4 yıl olarak belirlenmiştir [7].

Seralarda da ısı pompası kullanımı mümkündür. Yapılan bir çalışmada seraların 90/80 °C de su-hava ısıtıcısı ile ısıtılması yerine, ısı pompasından yararlanılarak döşmeden ısıtılması yapılmıştır.

Diğer taraftan, ısı pompaları endüstrideki atık enerjiyi ısı kaynağı olarak kullanımı ile hem ısıtma, hem de soğutma amacıyla kullanılabilir. Isı pompasından yararlanılarak yüzme havuzu ısıtılması, buz pisti dondurulması buna bir örnektir. Aynı zamanda ısı pompasından yararlanılarak yüzme havuzlarının nem oranının dengede tutulması sağlanabilir [25].

Uluslar arası Enerji Acentası' na (IUA) üye 8 ülkede endüstriyel amaçlı toplam 900 MW kapasiteli 1700 adet ısı pompası üniteleri kurulmuştur. Isı pompası uygulamaları en çok Finlandiya, Norveç ve Kanada da yapılmıştır. Bunların yaklaşık 1000 tanesi ağaç kurutma ve 100 tanesi de balık endüstrisi için kurulmuştur [27].

Norveç'te Ocak 1990 itibariyle toplam 400 MW kapasiteli yaklaşık 10.000 ısı pompası kurulmuştur. Bunların 600 tanesi endüstriyel amaçlıdır ve kapasiteleri yaklaşık 100 MW'dır. 1981-1989 yılları arasında balık endüstrisinde su ısıtmak amacıyla 200 kW kapasiteli 220 adet ısı pompası kurulmuştur. Yaklaşık 15 büyük ısı pompası gıda ve ağaç işleme endüstrisinde buharlaştırma amacıyla kurulmuştur. Endüstriyel soğutma ünitelerinden atılan ısıyı geri kazanma amacıyla, kapasiteleri 200 kW'tan 2 MW'a kadar değişen 50 ısı pompası kurulmuştur. Son olarak yaklaşık 300 ısı pompası ağaç, balık ve deri sanayisinde kurulmuştur [27].

Isı pompaları, endüstriyel uygulamalardan destilasyon sistemlerinde, buharlaştırma ve kaynatma sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynatma sistemleri içerisinde sütün pastörize edilmesi de yer almaktadır.

Pastörizasyon; sütün pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılıp ürün işleme sıcaklığına kadar soğutulması işlemidir. Yani proste hem ısıtma hemde soğutma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompası sisteminde evaporatörden düşük sıcaklıkta ısı çekilirken kondenserden yüksek sıcaklıkta ısı atılmaktadır. Bir başka ifade ile soğutma ve ısıtma işlemleri aynı anda yapılmaktadır. Bu bakımdan ısı pompaları süt pastörizasyon işleminde kullanılabilir [24].

Isı pompasının kondenserinde pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılan süt, evaporatörde mayalanma sıcaklığına kadar soğutularak pastörize edilebilir. Mekanik buhar sıkıştırma çevrimiyle çalışan bir ısı pompasının diğer ısıtma sistemlerine göre daha verimli olduğu göz önünde tutularak, süt pastörizasyon işleminde ısı pompası kullanmanın klasik sistemlere göre daha avantajlı olacağı söylenebilir [24].

Isı pompalarının endüstriyel uygulamaları ile ilgili alanları genel olarak şöyle sınıflandırabiliriz:

a) Kimya ve petrokimya endüstrisinde; Rafineride ısı pompası uygulama çalışmaları, havadaki buharların destilasyonundan ısı geri kazanımında, propan-propilen bölünmesinde, polimerizasyonda, kimyasal liflerin üretiminde, Na<sup>2</sup> S04'ın kristalleşmesinde ve bunun gibi kimya endüstrisinde çeşitli alanlarda kullanılabilir.

b) Gıda sanayiinde; çimlendirilmiş arpa fırınlarında, mayalama işlemlerinde, kaynatma sistemlerinde, pastörizasyonda, şişe yıkama makinelerinde, gıda ürünlerinin kurutulmasında, soğutma tesislerinde işin geri kazanılmasında ve bunun gibi gıda işlemlerinde, ısı pompalarının uygulama alanları oldukça geniştir.

c) Kağıt endüstrisinde

d) Diğer endüstriyel proseslerde; Elektro kaplamacılıkta, kereste kurutulmasında, boya kurutma fırınlarında ısının geri kazanılmasında, tekstil endüstrisindeki kurutma işlemlerinde, zengin saf su üretiminde, deniz suyunun destilasyonunda, hadde fabrikalarında ısının geri kazanılmasında ısı pompaları kullanılmaktadır [24].

### **2.2.2 Ticari Isı Pompası Tesisleri**

Ticari tesislerde ısı pompaları, kullanılacağı yerin ısı kapasitelerine, ısı kaynağının durumuna göre dizayn edilirler. Bu tip ısı pompaları, idare binaların ve fabrikaların ısı ihtiyacını karşılaması için kullanılır.

Ohia'da Power Company idare binası sulu tipte olup ısıtma kapasitesi 100.800 kcal/h' dir. Buenos Aires'te Cine Novedades'teki bir tiyatro binasında maksimum yaz yükü 146.000 kcal/h ve maksimum kış yükü 82.000 kcal/h'lık enerjiye ihtiyaç vardır. İhtiyaç duyulan bu enerji kurulmuş olan kompleks sistemce karşılanmaktadır [28].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) tarafından yapılan bir ısı pompası sisteminde, elektronik parçalar üreten bir fabrikadaki vakum pompalarının soğutma suyu, ısı kaynağı olarak kullanılmış ve fabrikanın ısıtma ihtiyacı karşılanmıştır. Vakum pompalarından atılan toplam ısı 51 KW' dır. Soğutma suyunun debisi ise 9 m<sup>3</sup>/h' tir. Sistemde vakum pompalarından çıkan su ısı pompasının evaporatöründe soğutulmuş, hava soğutmalı kondenserde ise fabrikaya giren hava ön ısıtılmıştır. Pompaların soğutma suyu evaporatörde soğutularak tekrar kullanıldığı için sudan ve bunun yanı sıra doğal gazdan ve ısı pompası işletim maliyetinden önemli derecede tasarruf sağlanmıştır [25].

Kaliforniya'da Westinghouse binası 1939' dan beri hava-hava tipli bir ısı pompası ile ısıtılmakta olup, yükü 60.000 kcal/h' dir. Soğutma kapasitesi ise 50.000 kcal/h' dir [28].

12700 m<sup>2</sup>' lik buz pateni ve hokey sahasına sahip Ruddalen Spor stadyumunda daha önce tabana yerleştirilmiş amonyak tüpleri ile direkt olarak soğutulurken emniyetli olması açısından değişiklik yapılarak salamura sirkülasyonu ile soğutulmaya başlanmıştır. Fakat değişiklik dolayısıyla mevcut soğutma sisteminin % 20 oranında kapasitesinin düştüğü görülmüştür. Bunu telafi etmek için gerekli ilave soğutma, bir ısı pompası ile karşılanmıştır. Isı pompasının kondenseri ise yakın bölgedeki bir merkezi ısıtma sisteminin geri dönüş suyu ile soğutulmaktadır. 50-60 °C sıcaklıktaki geri dönüş suyu kondenserde 70-110 °C kadar ısınmaktadır. -10/+70 °C buharlaşma/yoğuşma sıcaklıklarında ısı pompasının çektiği güç 500 kW, sağladığı ısı 1.2 MW ve performans katsayısı 2.5 olarak bulunmuştur [24].

### **2.2.3 Konut Tipi Isı Pompası Tesisler**

Bu tip ısı pompası tesisinin kullanımı büyük bir potansiyele sahiptir. Bu gruptaki ısı pompalarında gürültü izolasyonu, iyi servis, yüksek verim, az yer ve düşük fiyat gibi nitelikler aranır.

Konutların ısı pompası ile ısıtılmasında yalnız ve birleşik sistemlerden bahsedilir. Bir binanın ısıtılması için kullanılan ısı pompası, ısıtma yapılan süre içinde binanın ısı kayıplarını karşılıyorsa, yalnız ısı pompası ( Monovalent Isı Pompası ) adı verilir. Isı pompası tek başına yetmiyorsa, ayrıca kazandan yararlanmak gereklidir. Buna da birleşik ısı pompası sistemi (Bivalent Isı Pompası sistemi) denir [18].

Isı pompalarının bina ısıtma amacıyla kullanımı konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu konuda ülkemizde yapılan bir araştırmada, Ankara'da toplam 380 daireyi içeren 6 bloktan oluşmuş bir bina kompleksinin, toplam 1250 kW kapasiteli konvansiyonel kömür kazanı sistemi ve toplam kapasitesi 250 kW olan sıcak su hazırlama amacıyla kullanılan yine kömür yakmalı kazan sistemlerine,  $-12^{\circ}\text{C}$  dış ortam sıcaklığında binanın maksimum ısı isteğinin %25' ini karşılayacak şekilde hava / su tipi ısı pompası paralel bağlanmıştır. Isı pompası, kışın ılımlı havalarda kazanlardan birinin yerini almakta, soğuk havalarda ise sıcak su kazanının görevini üstlenmektedir. Yaz sezonunda ise sadece sıcak su hazırlamada kullanılan ısı pompasının performans katsayısının 3, amortismanının ise 5 yıl olduğu belirtilmiştir [25].

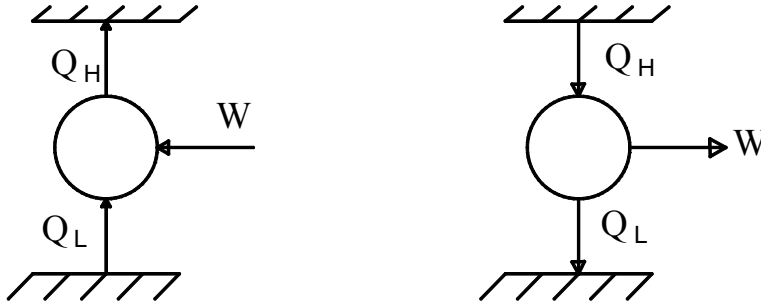
İsveç'te yapılan bir çalışmada fuel-oil ile çalışan bir merkezi ısıtma sistemine bir ısı pompası ilave edilmiş ve ikili çalışma rejimi uygulanmıştır. Toplam ısı isteğinin %72'si ısı pompası ile karşılanmış, sonuçta 1100 MW/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yakıt tüketiminde ise %76 oranında bir azalma sağlanmıştır. Sistemin performans katsayısı ise 2.6 olarak bulunmuştur [29].

İsveç'te yapılan diğer bir çalışmada da 15000 daireyi toplam 50 km uzunluğunda boru şebekesiyle birleştiren 320 MW kapasiteli, gerekli ısının %80' ini fuel-oil ve odun, geri kalanını güneş enerjisi ve elektrikli kazan üniteleri ile üreten bir merkezi ısıtma sistemine 11 MW gücünde bir ısı pompası entegre edilmiştir. Isı kaynağı olarak bir tedavi ünitesinden atılan, ortalama  $8^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki atık su kullanılmıştır. Kondenserde  $72^{\circ}\text{C}$  su elde edilen sistemin performans katsayısı 2.9 amortismanı ise 3.5 yıl olarak bulunmuştur[29].

## 2.3 ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE EKİPMANLARI

### 2.3.1 Isı Pompasının Tanımı ve Sınıflandırılması

Isının bir ortamdan diğer bir ortama nakledilmesi çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısıyı alarak daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama veren sistemlere “ Isı Pompası ” sistemleri denir. Isı pompaları soğutma makinalarıyla benzer termodinamik çevrime göre çalışır. Bütün soğutma makinaları aynı zamanda birer ısı pompasıdır denilebilir. Isı pompası hem ısıtma işini hem de soğutma işini gerçekleştirmektedir. Isı pompası bir ısı makinası gibi düşünülebilir. Isı makinası sıcaklığı yüksek olan ortamdan çektiği ısıyı sıcaklığı düşük olan ortama verirken iş üretir. Isı pompasında ise ısının düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama transfer edilmesi için sisteme iş verilmesi söz konusudur. Bu durum Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



a) Isı pompası

b) Isı makinası

Şekil 2.4 Isı pompası ve Isı makinesi çevrimleri [24].

Soğutma makinesi ve ısı pompası aynı çevrime göre çalışırlar fakat amaçları farklıdır. Soğutma makinesinde amaç bir yerin soğutulması, ısı pompasındaki maksat ise sıcak kaynağa nakledilen ısıdan yararlanarak bir yerin ısıtılması, sıcak su üretilmesi gibi faydalı alanlarda kullanılmasıdır [30].

Isı pompası çeşitlerini genel olarak aşağıdaki gibi sıralaya biliriz;

1. Buhar sıkıştırırmalı çevrim
2. Absorbsiyonlu ısı pompası
3. Gaz çevrimli ısı pompası
4. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
5. Stirling çevrimli ısı pompası
6. Adsorsiyonlu ısı pompası
7. Resorbsiyonlu ısı pompası
8. Rankine / Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası

Isı pompalarını enerji kaynaklarına göre [31];

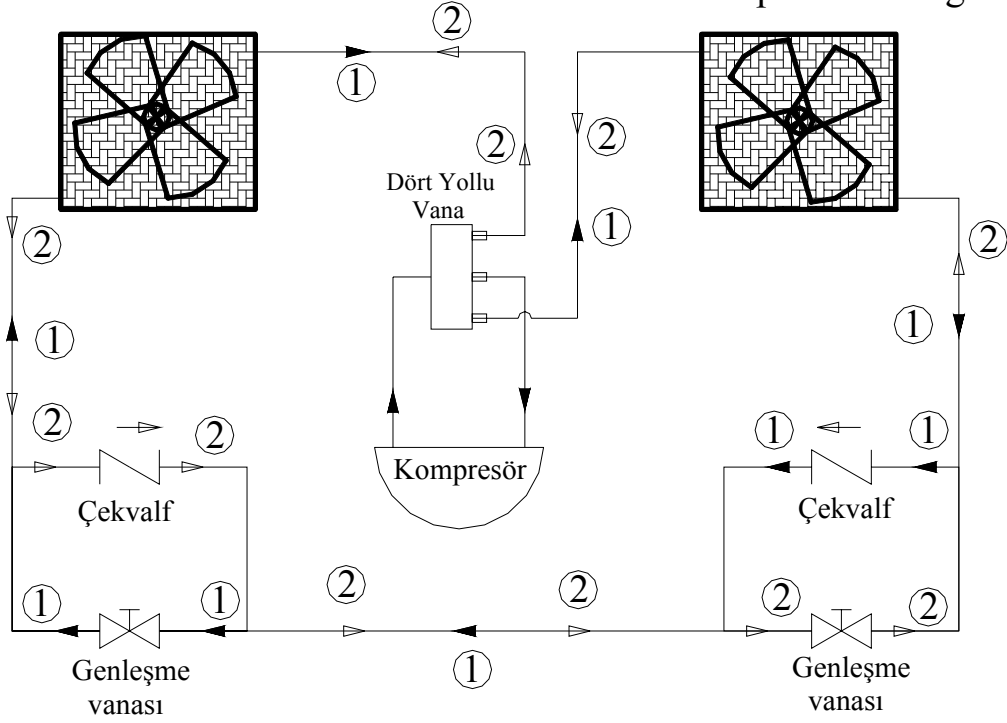
- 1- Havadan havaya
- 2- Havadan suya / Sudan havaya (akışkan yön değişimi)
- 3- Sudan suya (su yön değişimi)
- 4- Havadan toprağa /Topraktan havaya (akışkan yön değişimi)

olmak üzere dört bölüm olarak sınıflandırılır.

Isı pompası tesislerinde ısının çekileceği kaynağın belirlenmesi; iklim koşulları, coğrafi koşullar ve alternatif tesislerin teknik ve ekonomik özelliklerine bağlıdır. Konutların ısıtılmasında Avrupa'da farklı ısı kaynaklarından yararlanabilme olanakları vardır. Kompresörü elektrikle çalışan, ısı kaynağı olarak hava ve sudan yararlanılan ısı pompası uygulamaları, Fransa, Almanya, İngiltere, Avusturya, Belçika ve İtalya'da yaygınlaşmaktadır. Örnek bir ısı pompası devresi Şekil 2.5'te gösterilmiştir [31].

1 - Evaporatör - Soğutucu  
2 - Kondenser - Isıtıcı

1 - Kondenser - Isıtıcı  
2 - Evaporatör - Soğutucu



Şekil 2.5 Isı pompası devresi [32].

Birinci durum 1 numaralı oklarla, ikinci durum 2 numaralı oklarla gösterilmiştir. Birinci durumda kompresör gazı 1 numaralı kondensere basar. Soğutucu akışkan kondenserde dışarıya zorlanmış olarak yada doğal yoldan buharlaşma gizli ısısını bırakarak sıvı hale geçer. Buradan sonra ilk genleşme valfinden sıkışma olmaz, çünkü gazın geçebileceği daha kolay yol olan çekvalf vardır. Soğutucu akışkan bu çekvalften geçerek ikinci genleşme valfine ve çekvalfe gelir fakat burada çekvalfin yönü ters olduğu için soğutucu akışkan genleşme valfi ile kondenser arasında sıkışır ve kendine daha kolay bir yol olan genleşme valfinden geçerek 1 numaralı evaporatörde buharlaşır. Bu çalışmanın tersi durumunda ise gaz ilk olarak 2 numaralı kondensere gelir ve 2 numaralı evaporatörde buharlaşarak çevrimi tamamlar.

### 2.3.2 Isı Pompasının Ekipmanları

Mekanik buhar sıkıştırımlı (kompresyonlu) ısı pompalarında ana eleman olarak 5 eleman görev yapmaktadır. Bunlar; Kompresör, Kondenser (yoğusturucu), Evaporatör (buharlaştırıcı), genleşme valfi ve soğutucu akışkandır.

### 2.3.2.1 Kompresör

Görevi, evaporatörlerden emiş borusuna gelen gaz halindeki soğutkanı emerek sıkıştırmak, sıkışmış olan soğutkan gazı basma hattı (yüksek basınç) borusu vasıtasıyla kondensere göndermektir.

Çevrimde iki ana fonksiyonu olan bu ünite, soğutucu akışkanı veya soğutkanı sistem içerisinde dolaştırdığı için çoğunlukla, sistemin kalbi olarak bilinir. Isı pompası sistemlerinde kullanılan kompresörleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

1. Açık tip kompresörler (Open Type)
2. Yarı hermetik tip kompresörler
3. Hermetik tip kompresörler
4. Rotary (döner) tip kompresörler
5. Scroll kompresörler
6. Quatro-Flex kompresörler
7. Vidalı kompresörler

Yukarıda belirtilen kompresörlerden Quatro-flex kompresörleri yeni geliştirilmiş bir kompresör serisidir, iklimlendirme ve bazı ısı pompası uygulamaları için kullanılmaktadır[25].

İdeal bir kompresörde aranan özellikler [19];

- a) Sürekli bir kapasite kontrolü ve geniş bir yük değişimi- çalışma rejimine uyabilme
- b) İlk kalkışta dönme momentinin mümkün olduğunca az olması
- c) Verimlerin kısmi yüklerde de düşmemesi
- d) Değişik çalışma şartlarında emniyet ve güvenilirliği muhafaza etmesi
- e) Titreşim ve gürültü seviyelerinin kısmi ve tam yüklerde ve değişik şartlarda belirli seviyenin üstüne çıkmaması
- f) Ömrünün uzun olması ve arızasız çalışması
- g) Daha az bir güç harcayarak birim soğutma değerini sağlayabilmesi
- h) Maliyetinin mümkün olduğu kadar düşük olması

Fakat bu karakteristiklerin tümüne birden sahip olan bir kompresör yoktur denebilir. Uygulamadaki şartlara göre yukarıdaki karakteristiklerden en fazlasını sağlayabilen kompresör, seçimde tercih edilmelidir.

### **2.3.2.2 Kondenser**

Soğutma sisteminde refrijeranın evaporatörden aldığı ısı ile kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilâve olunan ısının sistemden alınması kondenserde yapılır. Bir başka deyişle ısıyı istenmediği yerden kabul gördüğü yere iletir. Böylece refrijeran sıvı hale gelerek basınçlandırılır ve tekrar genişletilerek evaporatörden ısı alacak hale getirilir.

Genel olarak 3 değişik tip kondenser mevcuttur

1. Su soğutmalı kondanselerler
2. Hava soğutmalı kondanselerler
3. Evaporatif (hava-su) kondanselerler

Kondanselerde ısı transferi 3 safhada oluşur. Bunlar:

- (a) Refrijerandan kızgınlığın alınması,
- (b) Yoğuşturma,
- (c) Aşırı soğutma dır.

Kondenser alanının takriben % 85 'i yoğuşturma olayına hizmet eder ki kondenserin asıl görevi budur. % 5 civarında bir alan kızgınlığın alınmasına ve % 10 ise aşırı soğutmaya hizmet eder [32,33].

### **2.3.2.3 Evaporatör**

Bir soğutma sisteminde evaporatör sıvı refrijeranın buharlaştığı ve bu sırada bulunduğu ortamdaki ısıyı aldığı cihazdır. Diğer bir ifadeyle, evaporatör bir soğutucudur. Kondenserden direkt olarak veya refrijeran deposundan geçerek ve direkt ekspansiyonlu sistemde (kuru tip) ekspansiyon valfi, kılcal boru veya benzer bir basınç düşürücü elemanda adyabatik olarak genişletildikten sonra Evaporatöre sıvı-buhar karışımı şeklinde giren refrijeranın büyük bir kısmı sıvı haldedir. Evaporatörde ısı olarak buharlaşan refrijerana, emiş tarafına geçmeden önce bir miktar daha ısı verilmesi ve 3-8°C arasında

kızgınlık verilerek kızgın buhar durumuna gelmesinin bir çok faydaları vardır. Bunların en başında, kompresöre büyük zarar verebilen sıvı refrijeranın kompresöre gelmesi gösterilebilir. Sıvı taşmalı tip evaporatörlerde ise refrijeran evaporatörde sıvı halde bulunur ve ısıyı alarak buharlaşan kısmı bir sıvı - buhar ayırıştırıcısından (surge tank) geçtikten ve sıvı kısmı ayrıldıktan sonra buhar halinde kompresöre ulaşır. Sıvı refrijeranın evaporatöre beslenmesi seviye kumandalı (flatörlü, manyetik. vs.) bir vana ile yapılır. Sıvı ayırıştırıcı tankta biriken sıvı refrijeran tekrar evaporatöre gönderilir ve soğutma işleminde yararlanır. Direkt veya sıvı taşmalı tertiplerde çalışan evaporatörlerin hepsinde de refrijeran basıncı, kondenser tarafındaki basıncı, kondenser tarafındaki basınca oranla çok daha düşüktür. Bu nedenle, evaporatör tarafına sistemin alçak basınç tarafı adı verilir [34].

Evaporatör tipleri, uygulamanın özelliklerine göre 3 ana grupta toplanabilir [34];

- a) Gaz haldeki maddeleri soğutmak için kullanılan evaporatörler (genellikle hava)
- b) Sıvı haldeki maddeleri soğutucu evaporatörler (Su, salamura, antifriz, metilen glikol, kimyasal akışkanlar, vs.)
- c) Katı maddeleri soğutucu evaporatörler (Buz, Buz paten sahası, metaller, vs.)

#### **2.3.2.4 Kılcal Boru (Kapiler)**

Yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasına yerleştirilmiş iç çapı ve uzunluğu soğutma sisteminin kapasitesine göre seçilmiş olup, çoğunlukla çapı 0.76 ile 2.16 mm arasında değişen çok küçük çaplı bir boru kısmıdır. İç çapı çok küçük olduğu için kılcal boru adı verilir. Esas itibariyle iki görevi vardır.

- 1) Kondenserden çıkan sıvı haldeki akışkanın basıncını düşürerek ve miktarını ölçerek (gerekli miktarda) evaporatöre ulaştırır.
- 2) Kompresör durduğu zaman alçak ve yüksek basınç devreleri arasında bir köprü vazifesi görerek yüksek basınç tarafındaki akışkanın alçak tarafına geçmesini sağlar. Bu suretle her iki devre basıncı birbirine eşit olur (Dengeleme olayı) ve kompresör tekrar kalkış yaparken büyük bir basınç yükü ile karşılaşmaz.

Kapiler boru (kılcal boru), en fazla yükün sabit olduğu sistemlerde kullanılır. Kapiler borunun kullanım alanlarına; küçük ticari iklimlendirme sistemleri, konut iklimlendirme

sistemleri, dondurucular, ısı pompaları ve soğutucular örnek gösterilebilir. Eğer, sistemin geniş bir yük aralığında çalışması isteniyorsa; basınç düşürme ve soğutucu hacim kontrolünün daha uygun şekilde yapılması gerekir. Bu durumda önerilen cihaz, termostatik genleşme valfidir [34].

### 2.3.2.5 Soğutucu Akışkanlar

Bir soğutma çevriminde ısının bir ortamdan alınıp başka bir ortama nakledilmesinde ara madde olarak yararlanılan soğutucu akışkanlar ısı alışı – verişini genellikle sıvı halden buhar haline (soğutucu – evaporatör devresinde) ve buhar halden sıvı hale (yoğuşturucu – kondenser devresi) dönüşerek sağlarlar. Bu durum bilhassa buhar sıkıştırma çevrimlerinde geçerlidir. Soğutucu akışkanlar iş yapan akışkan olarakta adlandırılırlar.

Soğutucu akışkanların, yukarıda tarif edilen görevleri ekonomik ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilmesi için bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler, uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişeceği gibi her zaman bu özelliklerin hepsini yerine getirmek mümkün olmayabilir. Genel kayide olarak bir soğutucu akışkanlığı aranması gereken özelliklerin hepsini birden her şart altında yerine getire bilen universal bir refrijeran bir madde (soğutucu akışkan) mevcut değildir. Fakat, yukarıda da belirtildiği gibi, uygulamadaki şartlara göre bunlardan bir kısmı aranmayabilir [34].

Soğutucu akışkanlarda bulunması gereken özellikler şunlardır [19,33];

1. Daha az bir enerji ( güç ) sarfı ile daha çok soğutma elde edilebilmelidir.
2. Soğutucu akışkanın buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır.
3. Evaporatörde basınç mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır.
4. Yoğuşma ( kondanser ) basıncı düşük olmalıdır.
5. Viskosite düşük ve yüzey gerilimi ( kılcallığı ) az olmalıdır.
6. Emniyetli ve güvenilir olmalıdır, nakli, depolanması, sisteme şarjı; kolay olmalıdır.
7. Yağlama yağları ile soğutma devresindeki elemanlar ile zararlı sonuç verebilecek reaksiyonlara girmemelidir.
8. Soğutma devresinde bulunmaması gereken rutubet ( su ) ile bulunması halinde bile çok zararlı reaksiyonlar meydana getirmemelidir.

9. Sistemden kaçması halinde kolay fark edilmelidir.
10. Sistemden kaçıp çevreye karışması durumunda insanlara ve diğer canlılara zarar vermemelidir.
11. Havaya karıştığında yanıcı ve patlayıcı bir ortam oluşturmamalıdır.
12. Temini kolay fiyatı düşük olmalıdır.

Soğutucu akışkanlar, soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası sistemlerinin en önemli çalışma akışkanlarıdır. Çoğunlukla bu akışkanlar, buharlaşma ve yoğuşma faz değişimi işlemleri yardımıyla, ısıyı bir ortamdan çekip başka bir ortama atarlar. Bir soğutma cihazının tasarımı, seçilen soğutucunun özelliklerine de bağlı olmaktadır [20]. ASHRAE standart soğutucu akışkanların listesi Çizelge 2.3'te verilmiştir.

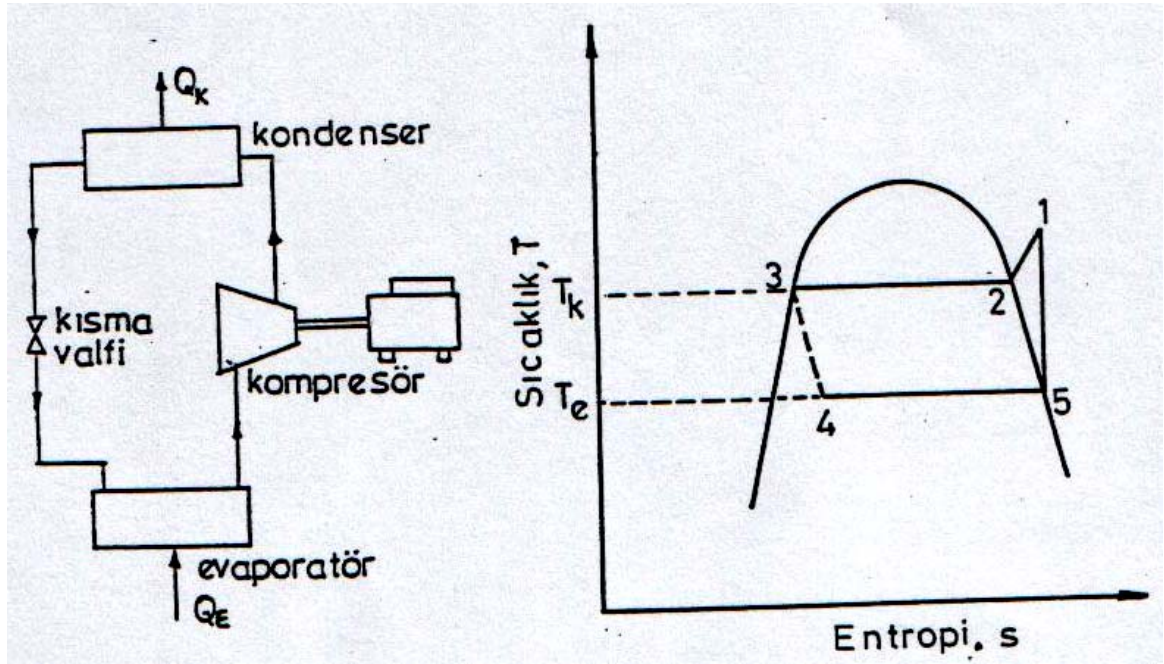
Çizelge 2.3 Soğutucu akışkanların karakteristik özellikleri [35].

Soğutucu akışkan	Kimyasal formülü	Donma noktası	Kaynama noktası	Kritik sıcaklık	Kritik basınç
R 10	$\text{CCl}_4$	-22,99	76,54	283,1	45,0
R 11	$\text{CFCl}_3$	-111,11	28,3	198,0	44,14
R 12	$\text{CF}_3\text{Cl}_2$	-157,78	-29,78	112,0	41,17
R 13	$\text{CF}_3\text{Cl}$	-181,11	-81,44	28,93	38,69
R 14	$\text{CF}_4$	-183,9	-127,9	-45,7	37,5
R 20	$\text{CHCl}_3$	-63,5	62,7	263,25	54,0
R 21	$\text{CHFCI}_2$	-135,0	8,9	178,5	52,0
R 22	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	-160,0	-40,8	96,0	49,7
R 23	$\text{CHF}_3$	-155,0	-82,6	1,6	48,4
R 50	$\text{CH}_4$	-182,4	-177,6	-82,5	46,4
R 112	$\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}_4$	26,0	92,8	278,0	34,0
R 113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	-35,0	47,6	214,1	34,3
R 114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	-93,8	3,8	145,7	32,6
R 142	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$	-130,8	9,21	137,1	41,5
R 150	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	-169,45	-103,45	9,6	51,2
R 170	$\text{C}_2\text{H}_6$	-182,8	-88,8	32,2	49,0
R 600	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	-138,5	-0,5	152,0	38,0
R 717	$\text{NH}_3$	-77,8	-33,3	133,0	114,3
R 718	$\text{H}_2\text{O}$	0,0	100,0	374,2	221,1
R134a	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{H}$	-	-26,16	101,1	40

## 2.4 ISI POMPASI SİSTEMLERİNİN TERMODİNAMİĞİ

Farklı iş yapan akışkanların kullanıldığı çeşitli ısı pompası çevrimlerinin karşılaştırılması ve anlaşılması ancak termodinamik bilgisiyle mümkündür. Isı pompası uygulamalarına sadece mekaniksel ve mühendislik problemler değil, aynı zamanda termodinamik kanunlar da sınırlama getirdiği için bu kanunlar ısı pompası teorik bilgisinin anlaşılmasına yardımcı olurlar. Termodinamik bir durum için sıcaklık, basınç, özgül hacim, entalpi ve entropi olarak tanımlanan hal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Sadi Carnot, 1824 yılında ilk kez termodinamik bir proses için tanımlanan “ Termodinamik çevrim ”i kullandı. Carnot çevrimi o zaman ısı pompası veriminin tespitinde temel bir referans oldu. Carnot çevrimi referans alınarak ideal bir buhar sıkıştırımlı ısı pompası çevrimi Şekil 2.6’ da ve çevrimin p-h diyagramı da Şekil 2.7’ de gösterilmiştir [25].



Şekil 2.6 Buhar sıkıştırımlı ısı pompası çevrimi [25].

Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi 4 noktasından 5 noktasına buharlaşma işlemi sabit basınç ve sıcaklıkta olur. Genişleme işlemi, soğutucu akışkanın sıvı ve buhardan oluşan iki faz karışımında meydana gelir. Bu iki işlem düşük basınç ve sıcaklıkta gerçekleşir.



ITK'nın büyük olması için  $Q_{KON}$  değerinin büyük ve sıkıştırma işi  $W$ ' nin değerinin küçük olması gerekmektedir.

Bir ısı pompası çevriminde Soğutma Tesir Katsayısı kısaca STK ( $COP_s$ ) diye adlandırılır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [7];

$$STK = COP_s = \frac{Q_{EVP}}{W_{KOM}} \quad (2.2)$$

Isı pompalarında kompresör tahriki için hangi enerji türünün kullanılmasının daha ekonomik olduğunu belirlemede Birincil Enerji Oranı (BEO) kavramı kullanılır. BEO hem ITK'nın hem de kompresör tahrikinde kullanılan birincil enerjinin işe dönüşüm verimini içine alır. BEO aşağıdaki gibi tarif edilir [7];

$$\text{Birincil Enerji Oranı} = BEO = \frac{Q_{KON}}{Q_{TBEM}} \quad (2.3)$$

BEO için değişik tarifler yapılabilir, örneğin kompresör tahrikinde, termik verimi  $\eta_T$  olan bir ısı makinası kullanılmışsa bu durumda;

$$BEO = \eta_T \cdot ITK \quad (2.4)$$

olur. BEO ile bina ısıtmada veya proses ısıtmada kullanılan ısı pompasının geleneksel kazan sistemine veya direkt ısıtmaya göre ne kadar fayda sağladığı hesaplanabilir [7].

Sistem kapasite hesapları Şekil 2.6' deki T-S diyagramı esas alınarak çevrimin termodinamik analizi yapılırsa:

Sistemde kondenserden atılan ısı;

$$Q_{KON} = m_{SOĞ} \cdot (h_1 - h_3) \quad (2.5)$$

Evaporatörde çevreden çekilen ısı;

$$Q_{EV} = m_{SOĞ} \cdot (h_5 - h_4) \quad (2.6)$$

Kompresörün yaptığı iş;

$$W_{KOMP} = m_{SOĞ} \cdot (h_1 - h_5) \quad (2.7)$$

ve aynı zamanda;

$$W_{KOMP} = Q_{KON} - Q_{EV} \quad (2.8)$$

formülleriyle hesaplanabilir. Formüllerdeki entalpi değerleri ise ilgili soğutucu akışkanın çeşidine göre logP-h diyagramından okunabilir [7].

## BÖLÜM 3

### SÜTÜN NİTELİKLERİ VE PASTÖRİZASYON İŞLEMLERİ

#### 3.1 SÜTÜN NİTELİKLERİ

Herkesin bildiği gibi süt, memelilerin özellikle yaşama başladıkları ilk dönemlerinde tek besinleridir. İçerdiği temel maddelerle büyüyerek gelişmeyi ve enerjiyi sağlamasının yanında, öbür bazı maddelerle de hastalıklara karşı direnç ve korunmayı gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, bileşimi açısından oldukça karmaşık bir ürün ise de, genel olarak bakıldığında ana maddelerinin su, yağ, proteinler laktoz (şeker türü) ve mineral tuzları olduğu söylenebilir. Bunlara ek olarak düşük oranlarda enzimler, boya maddeleri, vitaminler, fosfolipidler, gazlar ve akyuvarlar da bulunmaktadır.

Sağıldığı anda süt yaklaşık 37 °C sıcaklıktadır. Sağlıklı bir inekten alınan taze sütte bakteri bulunmamasına karşın, ineğin memesinden çıktığı andan başlayarak enfeksiyonlara karşı korunması gereklidir. Sütün bozulmasını gerçekleştirecek mikro-organizmalar süt sağan ellerden, havadaki toz ve nemden, ineğin tüyü üzerinden bulaşmaktadır. Böylece tüm çaba ve önlemlere karşın sağılan sütün bakterilerden tümüyle arındırılması olanaksızdır. Çünkü süt aynı zamanda bakterilerin büyüme, beslenme ve çoğalmaları açısından son derece uygun bir ortamdır [36].

Sütün en temiz şartlarda tüketime sunulmasını sağlamak için gerekli denetimleri yapmak Sağlık Bakanlığı'nın görevleri arasındadır. Bu amaçla Umumi Hıfzısıhha Kanunu'nun 170. maddesine, 5882 sayılı kanunla eklenen bir fıkra ile "Nüfusu 100.000'den fazla veya bu miktardan az olsa da Bakanlar Kurulunca tensip ve ilan edilen şehirlerde özel kap ve şişelerde satışa çıkarılacak sütler ve çiğ yenecek kremlarla kahvaltılık paket yağların pastörizasyonu mecburidir" hükmü getirilmiştir. Bu hüküm ile çiğ sütün sokak sütçüleri tarafından, açık olarak satılması yasaklanmıştır [36,37].

Ülkemizde tüketilen sütün büyük bir bölümü (%50-%70) her türlü denetimden uzak, her türlü mikrobun bulaşmasına açık bir şekilde hayvandan sağılıp, steril olmayan kaplar içerisinde yine açık bir şekilde sokakta satılmaktadır.

Sağlıklı gelişim için gerekli olan, sütün tüketimini artırmaktır. Ancak sütün, doğal besin değerlerini kaybetmemesi ve hastalıklara neden olmaması için “açıkta sağlıksız koşullarda satılan sokak sütü tüketilmemesi ” ile ilgili tüketicileri bilinçlendirmek gerekir [36].

İçilecek süttün kendine has tat ve kokuda olmalı, yanık, metalik veya okside olmuş veya hoş olmayan tat ve kokuda olmamalıdır. İçilecek sütte bazı özellikler aranması gerekir. Bu özellikler TS 1019 standardına göre; sütün mikrobiyolojik özellikleri Çizelge 3.1’ de, sütün kimyasal özellikleri Çizelge 3.2’ de, sütün fiziki özellikleri de Çizelge 3.3’ de belirtilmiştir [38].

Çizelge 3.1 Sütün mikrobiyolojik özellikleri [38].

Mikroorganizmalar	Sınırlar			
	n	c	m	M
Koliform bakteri, kob/ml	5	1	0	5
E.coli, kob/ml	5	0	0	-
Salmonella, koloni/ 25 g	5	0	0	-
Staphylococcus aureus, kob/ml	5	0	0	-

Çizelge 3.2 Sütün kimyasal özellikleri [38]

Özellikler	Sınırlar
Yağsız kuru madde, % (m/v), en az	8,5
Fosfataz aktivitesi, en çok (fenol değeri olarak mg/0,5 ml)	0,05
Peroksidaz deneyi	Pozitif

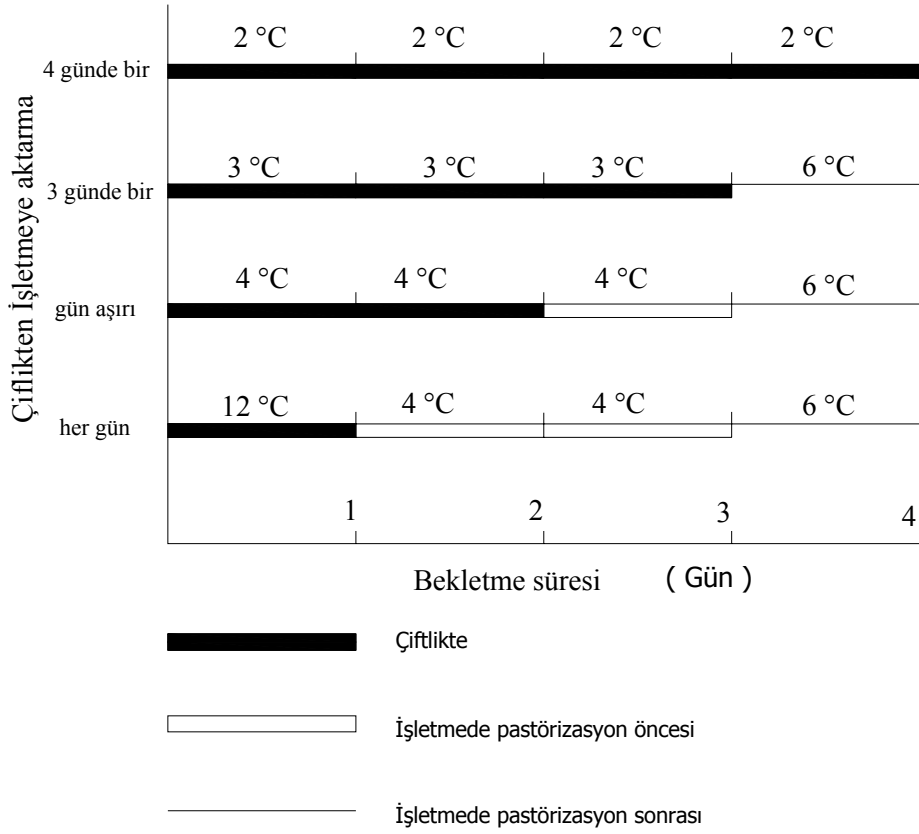
Çizelge 3.3 Sütün fiziksel özellikleri [38].

Özellikler	Değerler
Yoğunluk	1032 (kg/m <sup>3</sup> )
Kinematik viskozitesi	0,25x10 <sup>-6</sup> (m <sup>2</sup> /s )
Donma noktası	0,54 (°C)
Isı kapasitesi	3,986 (kJ/kg °C )
Elektrik iletkenliği	50,10 (ohm/cm)

### 3.2 SÜT ÜRETİCİLİĞİNDE ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Süt sağıldıktan hemen sonra soğutulmadığında mikro-organizmalar tarafından çok kısa bir sürede değişime uğratılır 30 °C – 37 °C sıcaklık aralığı bu organizmaların en yüksek düzeyde çoğalıp, büyüdüleri ortam sıcaklığı olmaktadır. Bakterilerin etkinlikleri sıcaklığın azalması ile yavaşladığından, taze sütün en kısa sürede yaklaşık 4°C ± 2 °C'ye kadar soğutulması ve bu koşullarda tutulması gerekmektedir. Sütün üretildiği yer ile işlendiği yerin aynı olduğu görüşü ile Şekil 3.1' de ham sütün üreticide, işletmede bekleme süresi, koşulları ve ısı işlem görmüş durumu gösterilmektedir [32,38].

Şekil 3.1' de gösterilen uygulamaların en yaygını güneşirı toplama olup, sütün taşındığı ve bekletildiği kaplarında son derece temiz ve steril olması gerekmektedir, işlenmeden önceki süre içinde sütün soğuk saklanması zincirinde bir kopukluk olursa, örneğin taşınmasında, ortamdaki mikro organizmalar hemen çoğalmaya başlamaktadır. Bu gelişme ve çoğalma sürecinde birçok türden istenmeyen madde ve enzimler oluşmaktadır. Yeniden soğutulsa bile bu yalnızca o aşamadan sonraki gelişmeyi durdurabileceğinden, sütün niteliğindeki düşüşü engelleyemeyecektir [39].



Şekil 3.1 Ham sütün üreticide ve işletmede bekleme süresi [32].

### 3.3 SÜTÜN İŞLENMESİ

Son ürünün, içme süt, tereyağı, yoğurt, peynir, süttezu, vb. ne olduğuna bakılmaksızın bu ürünler için kullanılacak sütün kesinlikle patojenik mikro-organizmaları yok edecek bir ısı işleminden, pastörizasyondan, geçmesi gerekmektedir. Pastörizasyon, pek çok ülkede yasal zorunluluk olup, bazı ülkelerde henüz yasal zorunluluk haline getirilmemiştir. Örneğin; Ülkemizde küçük üreticiler ve mandıralarda peynir yapımı için pastörize edilmemiş süt kullanımı yaygındır. Bu durumda istenmeyen bakterilerin etkisiyle gözenekli peynir oluşmasına yol açmaktadır [36].

Böylelikle, ısıl işlemenin birincil amacı insanlarda hastalığa yol açabilecek tüm mikro-organizmaları öldürmek, ikincil amacı ise üstün nitelikli bir ürün eldesi için bu ürünün tadını, yapısını ve dayanma süresini etkileyen diğer mikro-organizmaların ve enzimlerin işlevlerine son vermektir. Ayrıca nedenli iyi koşullarda biriktirilmiş ve işletmeye getirilmiş

olursa olsun, sağılması ile işlenmesi arasındaki süre kısaltıkça, ürünün daha nitelikli olacağı bir gerçektir.

Sütün, gerek bilimsel ve teknolojik açıdan gerekse halk arasında, ısıt işlenmesi pastörizasyon olarak tanımlanmaktadır. Uygulamada ise halk tipi ile çağdaş teknoloji arasında özellikle iki konuda oldukça önemli ayrılık gözlenmektedir. Bunlardan biri "Besin değeri" diğeri "Enerji tüketimi" ile ilgilidir [36,37].

Sütün işlenmeden veya tam pastörize koşullarına getirilmeden kullanılması, kullanıcıyı bazı hastalıklara sevk edecektir. Bu hastalıklardan bazıları; Clostridium, Campylobacter jejuni, Listeriosis, Yersiniosis ve Vibriosis' dir [40].

### **3.4 ISIL İŞLEM VE PASTÖRİZASYON YÖNTEMLERİ**

#### **3.4.1 Isıl İşlemlerin Amacı**

1. Süte bulaşabilen ve insanlara geçebilen hastalık etmeni mikro organizmaların yok edilmesi.
2. Sütün bozulmasına yol açan mikro organizmaların pastörizasyonda büyük bir kısmını yok ederek sütün dayanma gücünü arttırmak ve sterilizasyonlarda tamamını spor yapanlarla birlikte yok ederek dayanıklı ürün elde etmektir.

Genel olarak ısıt işlemleri sütte az miktarda olsa pH'nın düşmesi, kalsiyum fosfatın çökmesi, peynir suyu proteinlerinin denature olması ve  $\alpha$ -kazein  $\beta$ -laktoglobulin kompleksinin oluşması, maillard diye bilinen amino asit şeker tepkimesinin meydana gelmesi, kazeinin modifiye olması, kazeinin defosforilasyonu, K-kazein hidrolize olması ve misellerde meydana gelen hidrasyon değişmesi ve assosiyasyon gibi yapısal değişmeler kimyasal ve fiziksel değişimlere yol açabilir. Bu değişmelerin derecesi ısıt işlemlerinin şiddetine bağlıdır. Şöyle ki peynir suyu ısıtmaya başlayınca peynir suyu proteinleri 75°-80 °C 'de denature olmaya başlar ve 100 °C de tamamen denature olup pıhtılaşır ve çöker. Halbuki sodyum kazeinat çözeltisi 140 °C'de bile pH 6.7 olduğunda 60 dakika dayanabilir. Genel olarak normal ve taze bir inek sütü 100 °C'de bir kaç saat pıhtılaşmadan dural (stabil) kalabilir ve 140 °C 'de 20 dakika durallığını koruyabilir [32,36].

### 3.4.2 Termizasyon

Bu işlem pastörize normlarının altındadır. Termizasyon, genel olarak uzak süt toplama merkezlerinde yaz aylarında fabrikaya taşınmak üzere olan sütlere uygulanır ve bazende olgunlaşmaya tabii tutulan peynirlerin üretiminde kullanılan sütlere ısının olumsuz etkisini önlemek için uygulanır. İşlem 68 °C - 72 °C' de 40 saniyede gerçekleştirilir [36,37].

### 3.4.3 Pastörizasyon

Pastörizasyon; doğal sütün kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerine en düşük düzeyde etki yapan ve süte bulaşabilen insan sağlığını tehdit edebilecek tüm hastalık etmeni mikro organizmaları yok edebilmek için uygulanan en düşük ısıl işlem olarak tanımlana bilir.

Pastörizasyon, kremada 71 °C'de 30 dakika, 87,7-93,3°C'de birkaç saniye, buharlaştırılmış sütte 71-100 °C'de 10-30 dakika, koyulaştırılmış sütte 66-77 °C'de, eritme peynirde 65,6 °C'de 15 dakika ısıl işlem uygulanarak yapılır [36,38].

Verem hastalığına yol açan *Mtuberculosis* bakterisini yok edebilmek için sütün 61,7 °C sıcaklığa çıkarılarak ve 30 dakika beklemek yeterli olacaktır. Ancak pastörizasyon 62,8 °C' de 30 dakikada yapılmaktadır. Çünkü Q hummasına (Q fever) yol açan *Coxiella burnetii rickettsiası* verem bakterisinden daha dayanıklıdır ve 62.8 °C'de 30 dakikada ancak yok olur [36].

Normal sütte pastörizasyonda adı geçen her iki hastalık etmeni mikroorganizmayı yok etmek için 72 °C'de 15 saniye olarak uygulanır. Bu işlemde ayrıca tüm küf ve maya hücreleri yok olur. Isıya dayanıklı olmayan bakterilerde yok olur. Ancak sporların tamamı yok olmaz. Özellikle *Bacilli* ve *Clostridia* sporları etkilenmez ancak *C. perfringens* ve *B. cereus* sporları yok olabilir [36].

Sütün pastörizasyonunda İngiltere'de 62,8~65,6°C 30 dakika (LHLT), 71.7°C'de 15 saniye (HHST) ve 77°C'de 1 saniye (Flaş), ABD'de 63°C'de 30 dakika, 89°C'de 1 saniye, 77°C'de 15 saniye ve 90°C'de 0.5 saniye ve Orta Avrupa'da 79°C'de 30-40 saniye gibi normlar kullanılır. Isıl işleminden sonra ürün 10°C'nin altına özellikle 5°C ye soğutulmalıdır.

Bu işlemlerden geçirilen pastörize sütler 18 gün bozulmadan durabilmelidir. Ancak süt boruları, tanklar, şişeler, dolum makinesi, kapaklar ve kapaklama makinesi gibi kaynakların neden olduğu pastörize sonrası kontaminasyonlar (POC) sonucu süte bulaşabilen mikroorganizmalar pastörize sütün dayanma gücünü birkaç güne düşürebilirler [36].

Pastörizasyon sonrasında kontaminasyonu önlemek için aşağıdaki kurallara dikkat edilmelidir.

1. Temizlik ve dezenfeksiyon işlemleri 8 saatte bir yapılmalı
  2. Pastörizasyon sürekli yöntemlerle yapılmalı
  3. Ambalajlama 70-80 °C' de aseptik olarak karton veya plastik şişelerde yapılmalı
- Soğutma çok hızlı bir şekilde 10 °C altında yapılmalıdır [32].

#### **3.4.3.1 Pastörizasyonun Süt Özelliklerine Etkileri**

1. Etkin sülfhidril grupları oluşmaz ve pişmiş tat oluşmaz.
2. Peynir suyu proteinlerindeki denaturasyon % 5-15 arasındadır.
3. Çözünür iyonik kalsiyumun az bir kısmı koloidal duruma geçer. Ancak sütün renin enzimi ile pıhtılaşması etkilenmez.
4. Isıya hassas olan besin maddelerinin çok az bir kısmı etkilenir.
  - a. Amino asitlerde ki kayıp % 6'yı aşmaz.
  - b. Vitaminler fazla etkilenmez. Son ürünlerdeki vitamin kaybı daha fazla taşıma ve depolama sırasında meydana gelebilir.
5. Etkilenmeyen enzimler bir sorun oluşturmaz. Çünkü pastörize süt hemen tüketime sunulması gereken bir üründür.
6. Homogenizasyonda faaliyeti artan ve pastörize işlemde faaliyeti azalmış olan lipaz enzimi işlemde sonraki turbulent akış ve şiddetli çalkalanma sonucu tekrar faaliyeti artabilir ve çok az bir aroma bozukluğuna neden olabilir [32].

### 3.4.3.2 Pastörizasyonun Bozulma Etkenleri

Pastörizasyon işleminde termodurik bakteriler etkilenmeyerek faaliyetlerini sürdürebilirler. Soğutma işlemi 4 °C'ye kadar düştükçe gelişmeleri durur. Pastörizasyondan etkilenmeyen mikroorganizmaların en önemlileri ise Str. Thermophilus'tır. Bunun yanında Candidus Micrococci, Arthrobacter globiformis ve Microbacterium lactikum cinslerine bağlı bir çok türde yaygın olarak bulunabilir. Bunların yanında Bacilli cinsine bağlı sporlar vardır. Ancak Clostridia cinsine bağlı sporlar sütte fazla miktarda O<sub>2</sub> bulunduğu için gelişmezler. Ayrıca aerobik spor yapanlar soğuk depolamada bile pastörize sütte gelişirler [32].

### 3.4.4 Pastörizasyon Yöntemleri

#### 3.4.4.1 LTLT Yöntemi (Düşük Sıcaklık Uzun Süre)

Düşük kapasiteli işletmelerde 200-1500 litrelik çift cidarlı özel tanklarda sıcak su veya buhar kullanılarak bir karıştırıcının bulunması şartıyla 62.8 °C'de 30 dakika düşük ısıda uzun süre olarak bilinen bu işlem uygulanır. Bu yöntem fazla işçilik gerektirir, ısı değiştirici olmadığından fazla enerji gerektirir, sürekli olmadığından fazla zaman alıcıdır, pastörize sonrası kontaminasyon ihtimali fazladır ve pastörize ısısına varabilmek için fazla süre gerektirir [36,41].

Pastörizasyon derecesine varabilmek için gereken süre (t) ;

$$t = \frac{m \cdot C_p}{A \cdot U \cdot \ln \frac{T_h - T_i}{T_h - T_F}} \text{ formülü ile hesaplanabilir.} \quad (3.1)$$

Burada;

t = Gereken süre (saniye)

C<sub>p</sub> = Özgül ısı (J/ kg K) = (3900)

m = Süt miktarı (kg)

U = Toplam ısı transferi katsayısı (W/m<sup>2</sup> K) = 730

T<sub>h</sub> = Isıtma maddesinin sıcaklık derecesi (°C)

T<sub>F</sub> = Pastörizasyonun sıcaklık derecesi (°C)

T<sub>i</sub> = Çiğ sütün sıcaklık derecesi (°C)

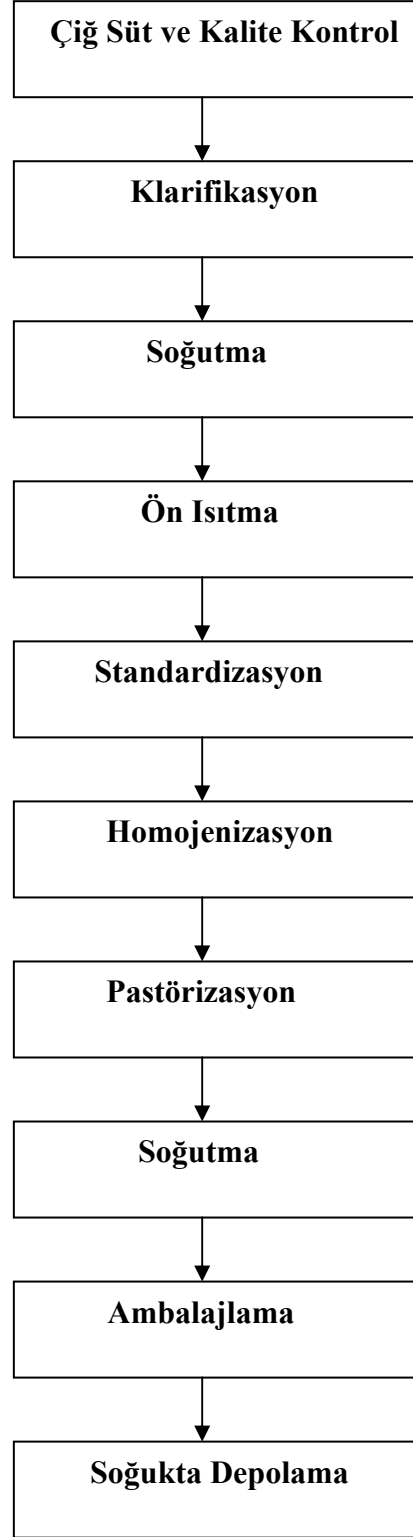
Seperatöre gelen ısıtılmış sütün kreması, tipine uygun pastörize süt yağ miktarına göre ayarlanarak yabancı kokudan ayırma ve homojenizasyon işleminden sonra pastörizasyona sevk edilir.

Pastörizasyon kazanına gelen ısıtılmış süt karıştırılarak sıcaklığı sıcak su veya su buharı ile 65 °C'ye getirildikten sonra bu sıcaklıkta 30 dakika bekletilir. Bu işlem genellikle çift cidarlı tanklarda yapılmaktadır. Sonra buzlu su yardımıyla 5 °C' a kadar sıcaklık düşürülür ve dolum ünitesine sevk edilir [41].

#### **3.4.4.2 HTST Yöntemi (Yüksek Sıcaklık Kısa Süre)**

Yüksek sıcaklıkta kısa süreli olarak yapılan pastörizasyondur. Denge tankında sevk edilen çiğ süt borulu veya plakalı pastörizatörün ön ısıtıcı bölümünde 50-60 °C'ye kadar ısıtılır. Homojenizasyon işlemi yapıldıktan sonra 72-75 °C'de 15-20 sn. tutulur. Bu işlemde plakalı ısı değiştiriciler kullanılır. Gıda maddeleri tüzüğünde, eğer hijyenik koşullar gerekli kılıyorsa pastörizasyonu 85 °C'de 1 dakika tutulmak suretiyle yapılabileceği de belirtilmektedir [36,41]. Pastörize süt üretim aşamaları Şekil 3.2'de verilmiştir.

Pastörizasyonda uygulanan sıcaklığın şiddet ve süresi, başka bir deyimle pastörize normu, içilecek süt ve sütün ürünlerine göre değişmektedir. Örneğin içilecek süt (pastörize süt) ile peynire işlenecek sütün, kremanın veya yoğurdun pastörize normu aynı değildir. Bu çalışmada, sadece içilecek sütün (pastörize süt) normuna göre hesaplama yapılmıştır.



Şekil 3.2 Sütün pastörize edilmesi aşamaları [25].

## BÖLÜM 4

### SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILAN SİSTEMLER

Sütün pastörize edilmesinde bugüne kadar çift cidarlı kazan sistemi ve plakalı eşanjör sistemleri kullanılmıştır ve hala da kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise ısı pompasının süt pastörizasyonunda kullanılabilirliği araştırılmış ve yapılan deneylerde olumlu sonuçlar alınmıştır. Süt pastörizasyonunda kullanılan sistemler aşağıda belirtilmiştir.

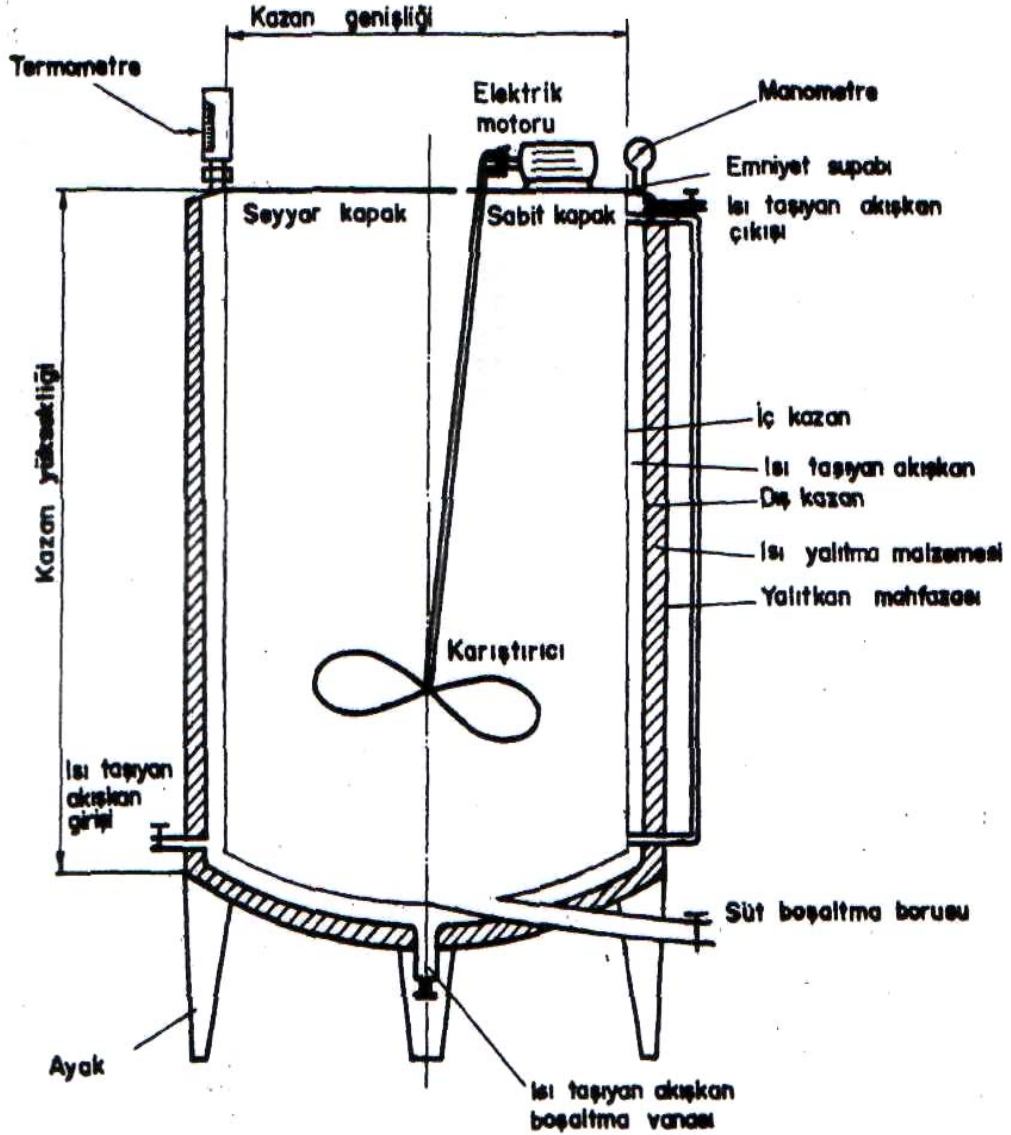
#### 4.1 Çift Cidarlı Kazan Sistemi

Sütün işlenmesinde kullanılan ilk sistemdir. Bu sistem, LTLT (düşük sıcaklık uzun zaman) metoduna göre çalışır. Günümüzde daha çok plakalı pastörizerler kullanılmaktadır. Bu sistemde, sütün ısıtıldığı ve soğutulduğu kazanlar genellikle paslanmaz çelikten imal edilmiş olup çift cidarlı ve silindirik şekilde yapılırlar. Süt, kazan cidarları arasında dolaştırılan sıcak su veya buharla ısıtılır. Sütün homojen bir şekilde ısınmasını sağlamak amacıyla kazan içerisine bir karıştırıcı yerleştirilir. Bazı kazanlarda ise ısıtma işlemi, kazan içerisine yerleştirilen ve içinden sıcak su veya buharın aktığı helezon borularla yapılır. Helezon boru kümesine hareket verilerek aynı zamanda karıştırma işlemi de yapılır. Isınan süt 30 dakika süreyle bekletildikten sonra soğutulur. Soğutma işlemi genellikle çift cidarlı kazandan buhar tahliye edilip yerine soğuk su dolaştırılmak suretiyle yapılır. TS 10307 standardına uygun bir çift cidarlı süt ısıtma kazanı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Süt pastörizasyonunda kullanılan kazan tiplerine bakıldığında, anma hacimlerine göre kazanlar; 200, 300, 400, 500, 650, 800, 100 ve 1200 litre olmak üzere 8 tipten oluşmaktadır. Isıtıcı akışkan türlerine göre kazanlar 3 çeşittir. Bunlar;

- a) Sıcak sulu kazanlar
- b) Buharlı kazanlar
- c) Kızgın yağlı kazanlardır [42].

Bir süt kazanı Őu elemanlardan oluşur; Soğuk sütün girdiği rejeneratör, Őamandıra tankı, ayarlama pompası, ısıtıcı ısı değiştiricisi, soğutucu ısı değiştiricisi, kontrol elemanları, akış kontrol valfi, süt boŐaltma borusu ve karıŐtırıcıdır.



Şekil 4.1 ift Cidarlı Süt Isıtma Kazanı [42].

Pastörize süt iŐletmelerinde, sütün pastörize edileceği kazanda Őu özelliklere özellikle dikkat edilmelidir; tüm boru ve bağlantı donanımları pompa ve pastörizasyon işlemine yardımcı olan alet, cihaz ve malzemelerin madeni kısımları gıda imalatına uygun

paslanmaz çelikten, contalar ise sütün bileşimini etkilemeyen veya teknoloji gereği kullanılan maddelerden etkilenmeyen malzemelerden yapılmış olmalıdır [41].

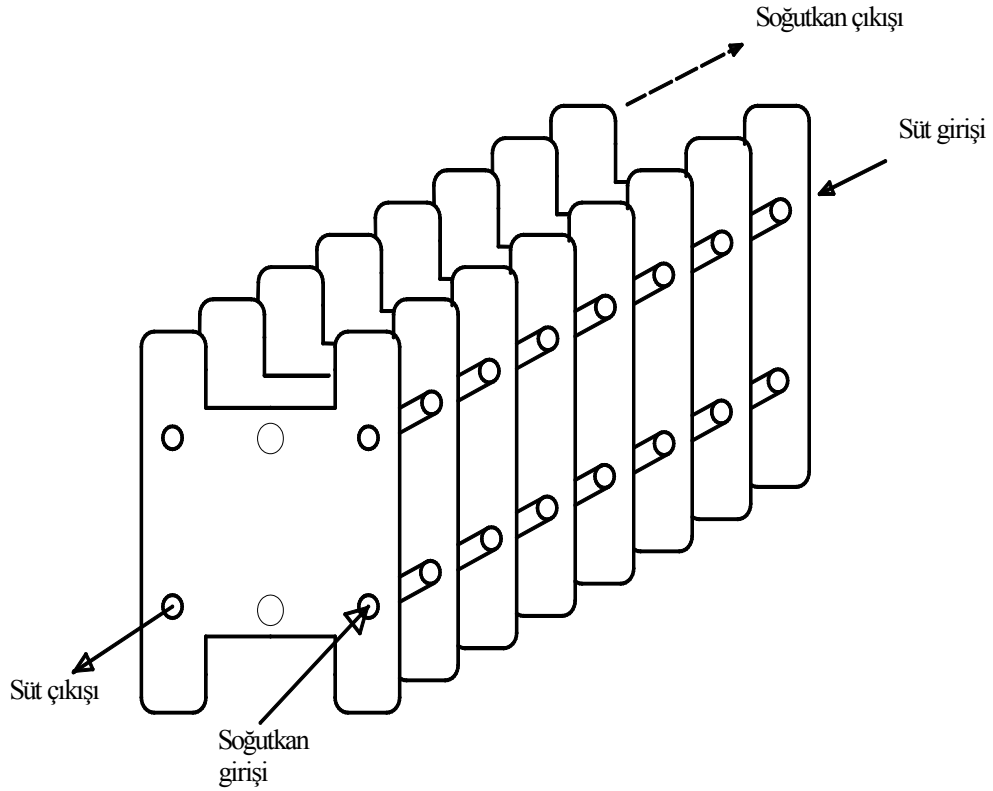
#### **4.2 Plakalı Isı Değişirici Sistemi**

Pastörizasyon gıda maddesi içindeki zararlı organizmaları ve bozulma etmenlerini yok etmek amacıyla uygulanan bir ısıl işlemdir. Plakalı sistemler, HTST metodunda özellikle de kaynama noktasının altındaki sıcaklıklar için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu sistemler hem sağlam hem basittirler, kolay temizlenir ve kolaylıkla kontrol edilirler. Plakalı sistemlerde ısıtma, soğutma, ön ısıtma ve ürün kontrolü yapılabilir. Süt pastörizasyonunda kullanılan plakalı ısı değişiricisinde sütün ve soğutucunun plakalara giriş - çıkışları örneği Şekil 4.1’de gösterilmiştir [43].

Plakalı ısı değişiricileri kullanarak sıvı gıdaların pastörize edilmesiyle enerji tasarrufu yapılmış olur ve aynı zamanda bu sistem sayesinde ürünü daha kısa bir sürede istenilen koşullara getirilebilir. Laboratuvar ortamında yapılan bir deneyde, gıda endüstrisinde kullanılan büyük ölçekli bir pastörizatörün laboratuvar koşulları için hazırlanmış bir prototipinde çiğ süt pastörize edilmiştir. Armfield HTST pastörizatörü kullanılarak gerçekleştirilen pastörizasyon işlemi sonucunda plakalarda meydana gelen taşınım ısı transfer katsayısı  $171,95 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , akışın rejimi ise laminer bulunmuştur [44].

Plakalı ısı değişiricilerde pastörizasyon işlemi, rejenerasyon (ön ısıtma), ısıtma, soğutma olmak üzere üç bölümden oluşur. Önce pastörize edilecek süt tanktan ön ısınmaya gelir ve burada pastörize edilmiş sıcak süt ile karşılaşır. Buradan da ısıtma bölümüne geçer. Isıtma bölümündeki sıcak suyla çarpışır. Isıtma bölümünde belirli bir süre bekletilir, sonra rejenerasyon bölümüne gelir ve burada çiğ sütle soğutulur. Daha sonra soğutma bölümüne geçer. Soğutucu olarak soğuk su kullanılır. Isıtma ünitesi olarak kullanılan bölüm, buharla çalışan ve sıcak suyu ısıtma bölümüne pompalayan termostatlı kapalı bir sistemdir [43,44].

Son olarak pastörizasyon işleminde ısı transferini yapan plakaların ayda bir bakımının yapılması, sütün özelliklerinin bozulmaması açısından önemlidir. Plakaların contaları değiştirilmeli ve temizliği asitle yapılmalıdır.



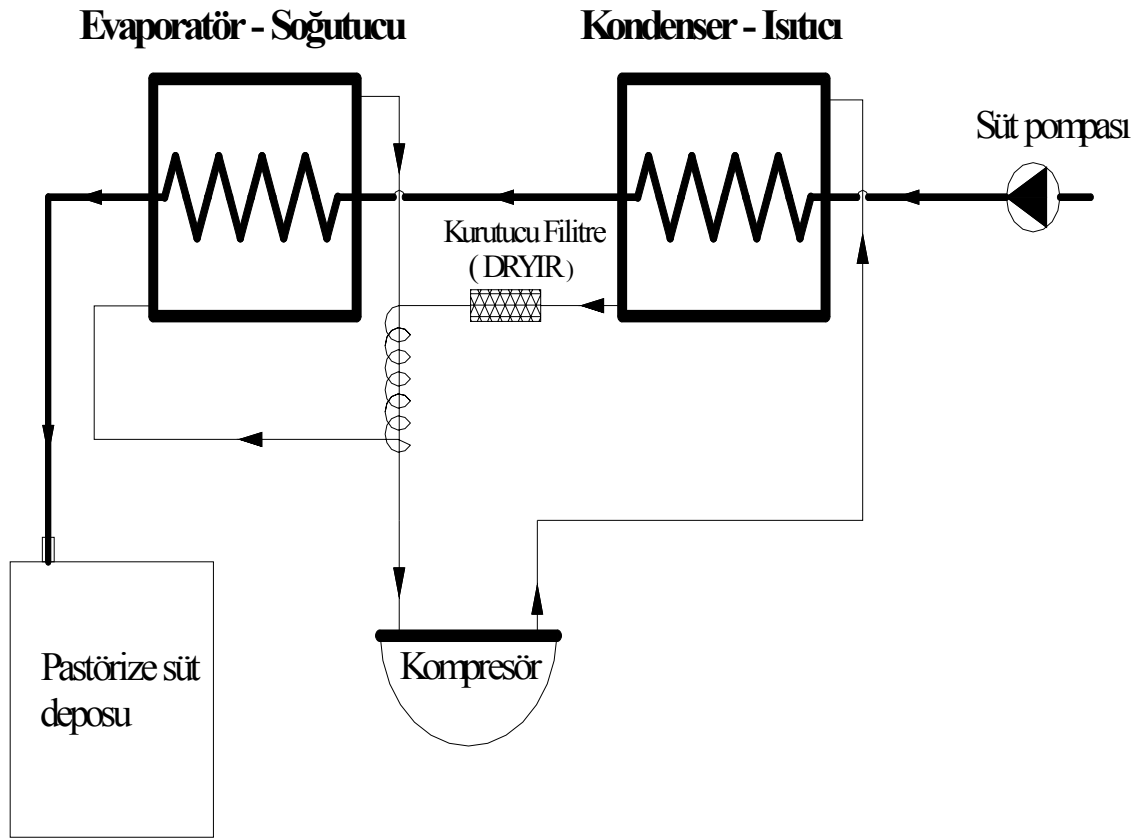
Şekil 4.2 Plakalı ısı değiştiricisinden süt ve soğutucu akışı.

### 4.3 Isı Pompası Sistemi

Pastörizasyon işleminde, son zamanlarda üzerinde özellikle araştırmalar yapılan ısı pompası sistemleri bu bölümde de kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan deneylerde ısı pompasının pastörizasyon işlemlerinde kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Isı pompası sisteminin diğer sistemlere göre gerek enerji sarfiyatı gerekse kullanım kolaylılığının olması bu sisteme olan gereksinimi artırmıştır.

Süt pastörizasyonunda ısı pompasının kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi, ısı pompalarının, çit cidarlı kazan ve plakalı ısı değiştiricilerine göre enerji tasarrufu yönünden daha avantajlı olmasıdır. Ayrıca gürültüsüz çalışma, yağlama, bakım ve onarım maliyetleri, emniyet, kullanım ömrü gibi önemli dizayn problemleri bakımından da ısı pompaları, diğer sistemlere göre önemli avantajlara sahiptirler [25].

Pastörizasyon işleminde sütün ısıtılması işlemi ısı pompasının kondenser kısmıyla yapılmaktadır. Isıtma işlemi burada 74 °C'ye kadar devam eder. Sütün ısısı kondenserde 74 °C'yi bulduğunda, süt buradan evaporatör kısmına pompalanır. Evaporatörde 4 °C'ye kadar soğutulduktan sonra pastörize süt deposuna gönderilir. Pastörizasyon işleminde kullanılan örnek bir ısı pompası sistemi şekli Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Isı pompasının pastörizasyon işleminde kullanılabilirliği ve diğer sistemlerle mukayesesi bölüm 5'te daha detaylı irdelenmiştir.



Şekil 4.3 Isı pompasının süt pastörizasyonunda uygulanması.

## BÖLÜM 5

### ISI POMPASININ SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILMASI VE DİĞER SİSTEMLERLE MUKAYESESİ

#### 5.1 ISI POMPASI KULLANIMININ ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN ÖNEMİ

Günümüzde ülke kalkınmasının en önemli göstergelerinden biri, o ülkede kişi başına tüketilen enerjidir. Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, enerji temini sorunu ulusal ve uluslararası gündemde oldukça önemli bir yer tutar. Enerji kaynaklarının tükenebilir oluşu, dışa bağımlılığın varlığı ve çevresel etkiler, enerji üretim ve tüketiminde odaklanması gereken unsurlar olup, günümüzde ülkeler için ihtiyaç duyulduğunda ulaşılabilecek derecede güvenli, yeterli miktarda, ucuz ve temiz enerji üretmek, ekonomik ve sosyal hayatın temel problemleri arasında yerini almaktadır. Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan ülkemizde de paralel olarak enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır [45].

Ülkemizde enerji kaynaklarının büyük ölçüde dışarıdan ithal edilir olması ve kısıtlı ekonomik imkânlar ve kaynaklar nedeniyle zaman zaman büyük enerji krizlerine girilmesi neticesinde Enerji Ekonomisi ve Enerji Tasarrufu ülkemiz için yaşamsal bir öneme sahip bulunmaktadır. Özellikle endüstride enerji ekonomisi ve tasarrufu kıt enerji kaynaklarımız nedeniyle ülkemiz açısından gelişmiş ülkelere göre daha da fazla önemlidir. Enerjinin tasarruf edilmesi enerji ihtiyacının karşılanmasında en ucuz ve en etkili çözüm yoludur. Ülkemizin, enerjinin dışarıdan temin edilmesine ayracağı ekonomik kaynakların kısıtlı olması enerjinin tasarruf edilmesinin en önemli nedenlerinden birisidir [45].

Enerji tüketim giderlerinin azaltılmasının yanı sıra, dünyanın doğal kaynaklarının korunması için de enerjinin etkin kullanımı gerekmektedir. 1960'lı yıllarda her şey üretim için görüşüyle beraber yüzyılın sonuna kadar maliyet ve kalite politikaları dikkate alınmış, 2000'li yıllarda ise bunlara ilave olarak yönetim ve çevre bilinci de önem kazanmıştır. Enerjinin verimli ve gider bakımından etkin kullanımı, bir şekilde diğerine enerji



koşulları için çok sayıda modelin üretilmesi gibi üstünlüklere sahip olduğu dikkate alındığında bir çok alanda kullanılmasının tercih edilmesi daha iyi anlaşılacaktır.

Gelişmekte ve gelişmiş olan ülkelerde, enerji tüketiminin %50'si konutlarda harcanmaktadır. Bunun sonucunda enerji artıkları, önemli ölçüde çevre kirliliğine sebep olmakta, bundan dolayı ısı pompasına olan talep artmaktadır. Çünkü ısı pompasında; verimin yüksek olması, atık enerjiden yararlanılması, hem soğutma hem de ısıtma temini, değişik çalışma şartlarında kontrol kolaylığı, değişik modeller ve çevre kirliliğinin önüne geçilmesi gibi nedenlerden dolayı sistem cazipleşmiştir. Buhar sıkıştırmalı soğutma ya da ısı pompası sistemlerinin dizayn ve analizinde dört ana eleman olan kompresör, kondenser, genleşme vanası ve evaporatör ile birlikte iş yapan akışkan da dikkate alınır. Bu gibi sistemlerin simülasyonunda genelde iki yöntem kullanılır: Grafik metodu ve sistem simülasyonu. Sistem simülasyonunda sıcaklık, basınç, enerji ve kütle akışı gibi önemli işletme değişkenlerinin hesabı ve tahmini yapılmaktadır. Sıcaklık ve debi gibi sistem giriş koşulları kadar sistem elemanlarının performanslarının da çok iyi bilinmesi gerekir [46].

Sistem simülasyonu, sistemin çalışma koşullarındaki işletme parametrelerinin (sıcaklık, basınç, enerji ve küresel debi) tahmini değerlerini belirleyen bir analiz ve tasarım metodu olarak tanımlanabilir. Yöntemde enerji dengeleri, iş yapan akışkan hal denklemleri, komponentlerinin ve kontrol cihazlarının performans karakteristikleri kullanılır.

Isı pompası sistemi Türkiye de değişik proseslerde kullanıldığı gibi son zamanlarda sütün pastörize edilmesinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Sütün duyuşal özelliklerini ve beslenme fizyolojisi açısından değerini mümkün olduğunca değiştirmeden, dayanıklı hale getirilmesi için ısıl işlem yöntemleri geliştirilmiştir. Isıl işlem denildiği zaman sütün hem ısıtılması hem de soğutulması anlaşılmalıdır. Isıl işlemde izlenen yol şudur: Süt belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bu sıcaklıkta belli bir süre tutulur ve sonra soğutulur. Süte 100 °C altında uygulanan ısıl işlemlere pastörizasyon denmektedir. Isıl işlemlerle hedeflenen amaçlara ulaşırken, dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ise, sütün doğal niteliklerinin mümkün olduğu kadar bozulmamasıdır [25].

Son ürünün, içme sütü, tereyağı, yoğurt, peynir, süttozu vb. ne olduğuna bakılmaksızın bu ürünler için kullanılacak sütün kesinlikle patojenik mikro - organizmaları yok edecek bir ısı işleminden, pastörizasyondan geçmesi gerekmektedir.

Böylelikle, ısı işleminin birincil amacı insanlarda hastalığa yol açabilecek tüm mikro-organizmaları öldürmek, ikincil amacı ise üstün nitelikli bir ürünün elde edilmesi için bu ürünün tadını, yapısını ve dayanma süresini etkileyen diğer mikro - organizmaların ve enzimlerin işlevlerine son vermektir [36].

Isıl işlem en çok sıcak su veya buhar yardımıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde sıcaklık süre ilişkisi büyük önem taşır.

Kondenserde atılan ısı miktarı ile sütün pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılması mümkün olduğu gibi aynı zaman da pastörize edilen bu sütün evaporatörde de ısısı çekilerek ürün sıcaklığına kadar soğutulması da mümkündür. Bu durum buhar sıkıştırırmalı çevrimlerin süt pastörizasyonunda kullanılabilirliğini göstermektedir.

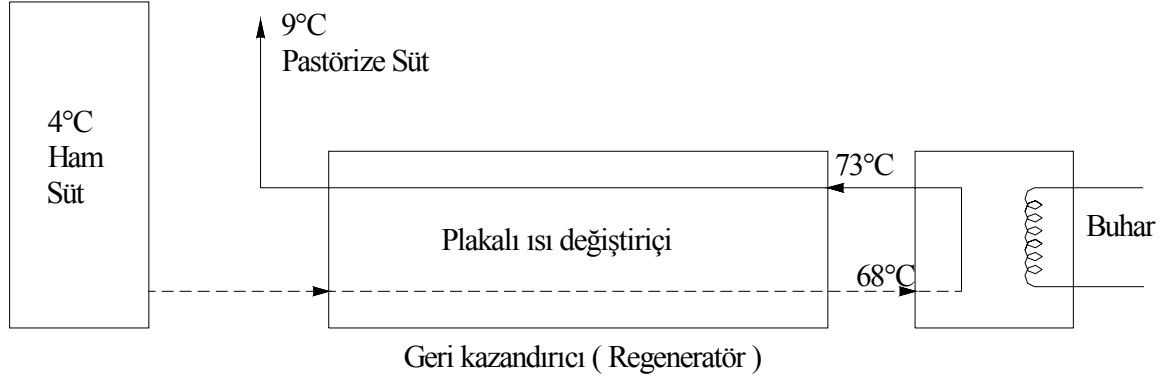
## **5.2 SÜT PASTÖRİZASYONUNDA KULLANILAN ISI POMPASI SİSTEMİ İLE DİĞER SİSTEMLERİN TERMODİNAMİK AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

Genel olarak halk tipi ve çağdaş teknoloji biçiminde yukarıda ikiye ayırdığımız pastörizasyon yöntemlerinin enerji tüketimi açısından da incelenmesinde büyük yarar vardır. Halk tipi pastörizasyonda, sokak satıcısından yaklaşık 20°C’de ve saatlerce steril olmayan çinko veya plastik güğüm içinde beklemiş sütün 1 kilogramının pastörizasyonu için yitirilecek enerji yaklaşık,

$$3.9 \text{ kJ/kg.}^{\circ}\text{C} \times (100-20)^{\circ}\text{C} = 312 \text{ kJ / kg dır [36].}$$

Bu değer yalnızca sütü kaynama noktasına getirmek için verilen ısıdır. Evlerde kullanılan gazlı ocaklarda enerjinin %50'sinin çevreye verildiği göz önüne alınacak olursa, 1 kg süt için yaklaşık 620 kJ enerji kullanıldığı söylenebilir. Günümüz teknolojisinde ise basit biçimde Şekil 5.2'de verilen yöntem kullanılmaktadır.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 4 °C’de depolamadan alınan ham süt önce bir plakalı ısıtıcıda pastörizasyonu tamamlanmış süt ile 68 °C’ye kadar ısıtılmakta, daha sonra 68 °C’den 73 °C’ye yükseltilmesi buhar ile sağlanmaktadır [36].



Şekil 5.2 Buharlı sistemde rejeneratör kullanılarak sütün pastörize edilmesi sistemi.

Sistemdeki ısı aktarım verimi % 95 dolayında oldukça yüksek bir sayıdır ve yaklaşık 1 kg süt için 20 kJ enerji tüketilmektedir.

İşlemler göstermektedir ki, halk tipi pastörizasyon ile çağdaş yöntem arasında 1 kg süt için yaklaşık 600 kJ daha fazla veya 30 kat enerji tüketimi vardır. Ülkemizin yıllık çiğ süt üretimi  $6 \times 10^6$  ton dolayındadır. Bunun % 30’u içme süt olarak tüketilmektedir, içme süt olarak değerlendirilen  $1.8 \times 10^6$  ton/yıl sütün yaklaşık 650 000 tonu, ülkemizde eski ve yeni yöntemlere göre kurulmuş işletmelerde pastörize edilmekte, geriye kalan 1.150.000 tonu ise halk tipi pastörizasyon ile işlenmektedir. Salt bu nedenle boşa giden enerji ise,

$$1.15 \times 10^9 \text{ kg/yıl} \times 600 \text{ kJ/kg} = 6.9 \times 10^{11} \text{ kJ/yıl} \text{ dır.}$$

Daha yaygın bir birimle, belirtilirse 20 MW olmaktadır. Termik santral tasarımında kullanılan kabaca bir çevirime göre 2400 kcal’de 1 kW-saat enerji üretildiği göz önüne alındığında ve santrallerde kullanılan linyitlerimizin 1800 – 2000 kcal/kg ısı değeri olduğu varsayım ile yılda 200 000 tonun üzerinde linyiti karşılık olmaktadır. Bu kadar linyiti 150 MW gücündeki bir termik santral 1,5 ay kullanmaktadır [32].

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) veya tüp-gaz olarak bilinen bütan-propan karışımını ısı değeri yaklaşık 40.000 kJ/kg alındığında 17250 ton sıvılaştırılmış petrol gazının boş yakılmakta olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu değer normal bir rafinerinin üretim düzeyine eşittir.

Süt pastörizasyonunda ısı pompasının kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi, ısı pompalarının, performans katsayılarının elektrik enerjisi kullanan sistemlere göre 3-6 kat, buhar kazanlarına göre 3 ve plakalı ısı değiştiricilerine göre 2 kat daha yüksek olması, çevre kirliliğine neden olmamaları ve endüstriyel alanlarda kullanılabilme özelliğine sahip olmalarıdır. Ayrıca gürültüsüz çalışma, yağlama, bakım ve onarım maliyetleri, emniyet, kullanım ömrü gibi önemli dizayn problemleri bakımından da ısı pompaları, diğer sistemlere göre önemli avantajlara sahiptirler. Enerji açısından, ısı pompasının diğer sistemlere göre daha avantajlı olduğu Çizelge 5.1’de gösterilmiştir[25].

Çizelge 5.1 Plakalı pastörizatör ve çift cidarlı kazan sistemleri ile ısı pompası sisteminde 1kg sütün pastörizasyonu için harcanan enerji miktarları[25].

Enerji Türü (kJ/kg-süt)	Plakalı Pastörizer	Çift-cidarlı Kazan	Isı pompası Sistemi
Isı Enerjisi	248.66	494.49	-
Elektrik Enerjisi	98.2	5.93	182.8
Kullanılan Soğuk Suyun Eşdeğer Enerjisi	-	9.45	-
<b>Harcanan Toplam Enerji</b>	<b>346.86</b>	<b>509.87</b>	<b>182.8</b>

Isı pompası sisteminde buharlaştırıcıdan düşük sıcaklıkta ısı çekilirken, yoğuşturucudan yüksek sıcaklıkta ısı atılmaktadır. Bu nedenle, aynı proseste hem ısıtma hem de soğutma gerektiren işlemlerde ısı pompalarının kullanımı avantaj doğurabilir. Aynı proseste hem ısıtma hem de soğutma gerektiren proseslerden birisi de süt pastörizasyonudur. Sütü pastörize etmek için, sütün pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılıp, ürün işleme sıcaklığına kadar soğutulması gerekmektedir. Bu bakımdan ısı pompaları süt pastörizasyonu işlemlerinde kullanılabilir [25].

## BÖLÜM 6

### SİSTEM SİMULASYONU

#### 6.1 KAPASİTE SEÇİMİ HESAPLAMA METOTLARI

Sistemdeki kondenser ve evaporatör seçimlerin de iki yöntem izlenir. Bunlardan birincisi “LMTD” yani “Logaritmik Sıcaklık Yöntemi”, ikincisi ise “Sistemdeki Gazın Entalpi Farkından Yararlanma yöntemi” dir. Hesaplamalarımızda, sistemimize daha uygun olan ikinci yöntem uygulanmıştır. Ancak birinci yöntem uygulanışı da kısaca izah edilmiştir.

##### 6.1.1 LMTD Yöntemi

LMTD yöntemi, Logaritmik sıcaklık farkı yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için, ısı değiştiricisine giren akışkanların logaritmik olarak sıcaklık farkları, akışkanların ısı taşınım katsayıları ve ısı değiştiricisinin yüzey alanı bilinmeli veya hesaplanmalıdır. Bu yöntemle sistemdeki kondenser, evaporatör ve kompresör hesaplamaları yapılır. Kondenser ve evaporatör hesabında aşağıdaki formül kullanılır [47];

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \quad (6.1)$$

Formülde ;

U : Isı değiştiricisinin toplam ısı transfer katsayısı, (W/m<sup>2</sup> °C)

A : Isı değiştiricisinin yüzey alanı, (m<sup>2</sup>)

$\Delta T_m$  : Isı değiştiricisine giren akışkanların logaritmik sıcaklık farkıdır (°C).

Isı değiştiricisinin yüzey alanı A ;

$$A = \Pi \cdot D \cdot L \quad (6.2)$$

formülü ile hesaplanır. Burada ;

D: Isı değiştiricisinin boru çapı (m),

L: Isı değiştiricisinin boru uzunluğu (m) dir.

Π: Pi sayısı, 3,14

Isı değiştiricisine giren akışkanların logaritmik sıcaklık farkı  $\Delta T_m$  ;

$$\Delta T_m = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}} \quad (6.3)$$

formülü kullanılır. Burada ;

$dT_1 : T_{2g} - T_{1}$

$dT_2 : T_{2} - T_{1g}$  dir.

Isı değiştiricisinin toplam ısı transfer katsayısı U ise ;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} \quad (6.4)$$

dir. Burada ;

$h_1$  : Sütün ısı taşınım katsayısı,

$h_2$  : Gazın ısı taşınım katsayısı dır.

Bu değerler hesaplandıktan sonra ana formülde yerine koyulduğunda kondenser veya evaporatörün kapasite hesabı yapılmış olur. Kompresör kapasitesi ise kondenser kapasitesi ile evaporatör kapasitesi farkına eşit olacaktır. Yani ;

$$W_{kom} = Q_{kon} - Q_{evp} \quad (6.5)$$

formülü bize kompresör kapasitesini verecektir.

## 6.1.2 Sistemdeki Gazın Entalpi Farkından Yararlanma Yöntemi

Isı pompalarının kapasite hesaplamalarında genellikle bu yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için sistemde kullanılan gazın kütleli debisinin ve gazın çevrimdeki entalpilerinin bilinmesi gerekir.

Sütün pastörize edilmesi işleminde, ısı pompası sisteminin kondenser kısmı sütün ısıtılmasında, evaporatör kısmı ise sütün soğutulması işleminde kullanılmıştır. Bu çalışmada, ısı pompası temel elemanlarının kapasite hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca bu temel hesaplamalardan yola çıkarak süt borusunun çapı ve ısı pompasının ara eleman borularının da çapları hesaplanmıştır. Kapasite hesaplamalarında, hem simülasyon işleminde kullandığımız formüller belirtilecek hem de bu formüllerde uygulayacağımız sabit bir değer alınıp işlemde matematiksel bir sonuç alma yöntemi uygulanacaktır.

Sistemde kapasite hesaplamalarına enerji eşitliği denklemiyle başlanmıştır. Yani sütün aldığı ısı miktarı, kondenserin verdiği ısıya eşit olacaktır (kayıplar ihmal edildiğinde). Buradan hareketle kompresör, evaporatör ve COP hesabı yapılmıştır. Boru çaplarının hesaplanmasında ise kütleli debi formülünden yararlanılmıştır. Kapasite hesaplamalarında soğutucu akışkanların entalpi ve yoğunluk değerleri, EK A bölümündeki diyagramlardan alınmıştır.

### 6.1.2.1 Kondenser Hesabı

Kondenser hesabında “Enerji Eşitliği” formülünden yararlanıldı. Yani yukarıda da belirtildiği gibi sütün aldığı ısı, kondenserin verdiği ısıya eşit olacaktır.

$$Q_{\text{süt}} = Q_{\text{kon}} = m_s \cdot C_{p_s} \cdot \Delta T_s = m_{R22} \cdot (h_2 - h_3) \quad (6.6)$$

$m_s$  : Sütün kütleli debisi

$C_{p_s}$  : Sütün özgül ısınma ısısı

$\Delta T_s$  : Sütün kondensere giriş – çıkış sıcaklık farkı

### 6.1.2.2 Kompresör Hesabı

Sistemdeki kompresör hesabı;

$$W_{\text{kom}} = m_{\text{R22}} \cdot (h_2 - h_1) \quad (6.7)$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

$h_2$  = Soğutucu akışkanın kızgın buhar bölgesindeki entalpisi (kJ/kg)

$h_1$  = Soğutucu akışkanın doymuş buhar bölgesindeki entalpisi (kJ/kg)

$m_{\text{R22}}$  = Soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg/sn)

### 6.1.2.3 Evaporatör Hesabı

Evaporatörde sütün soğutulması işlemi gerçekleşmektedir. Evaporatör hesabında;

$$Q_{\text{ev}} = m_{\text{R22}} \cdot (h_1 - h_4) \quad (6.8)$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

$h_1$  = Soğutucu akışkanın doymuş buhar bölgesindeki entalpisi (kJ/kg)

$h_4$  = Soğutucu akışkanın doymuş sıvı bölgesindeki entalpisi (kJ/kg)

$m_{\text{R22}}$  = Soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg/sn) dir.

### 6.1.2.4 Isıtma Tesir Katsayısı Hesabı (COP)

Isıtma tesir katsayısı, kondenser kapasitesinin kompresördeki yapılan iş'e oranıdır. Formül olarak;

$$\text{COP} = \text{ITK} = \frac{Q_{\text{kon}}}{W_{\text{kom}}} \quad (6.9)$$

dir.

## 6.2 ÖRNEK BİR KAPASİTE SEÇİMİ HESAPLAMASI

Örnek bir hesaplama olarak; günde 10 saat kapasiteyle çalışan ve 1 ton süt pastörize edilen bir mandıraya kurulacak olan ısı pompası sisteminin kapasite hesaplamaları yapılmaktadır. Sütün kondensere giriş sıcaklığı 18 °C alınmış olup kondenserde 74 °C'ye kadar ısıtılmaktadır ( $\Delta T=56$  °C). Isı pompasında iş yapan akışkan R-22 gazı seçilmiş olup, sütün akış hızı 0,2 m/sn olarak alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak olan sütün kütleli debisi aşağıda hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{ll} 10 \text{ saatte} & 1000 \text{ kg süt pastörize edilirse} \\ 1 \text{ saatte} & x \text{ kg} \end{array}$$

Bu orantı sonucunda, bu mandırada 1 saatte 100 kg süt pastörize edildiği görülmektedir. Bu değer 3600'e bölüldüğünde sütün kütleli debisi kg/sn cinsinden bulunmuş olur.

$$m = 100/3600 = 0,0277 \text{ kg/sn olarak sütün kütleli debisi bulunmuş olur.}$$

Bu mandırada, ısı pompası sisteminde kullanılacak olan kondenser kapasitesi, formül (6.6) ile hesaplanır.

$$\begin{array}{ll} m_s & : 0,0277 \text{ kg/sn} \\ C_{p_s} & : 3,986 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{C} \\ \Delta T_s & : 74 - 18 = 56^\circ\text{C} \end{array}$$

Bu değerler formül (6.6)'da yerine konulduğunda;

$$Q_{\text{süt}} = Q_{\text{kon}} = 0,0277 \cdot 3,986 \cdot 56 = 6,18 \text{ kW olarak kondenser kapasitesi bulunmuş olur.}$$

$Q_{\text{kon}} = m_{R22} \cdot (h_2 - h_3)$  burada entalpi değerleri basınç – entalpi diyagramından okunur. R22 gazı için bu değerler 62. sayfadaki diyagramdan alındı. Entalpi farkları ise Şekil 6.1'deki çevrime göre seçilmiştir. Bu veriler ışığında;

$$h_2 = 456 \text{ Kj/kg}$$

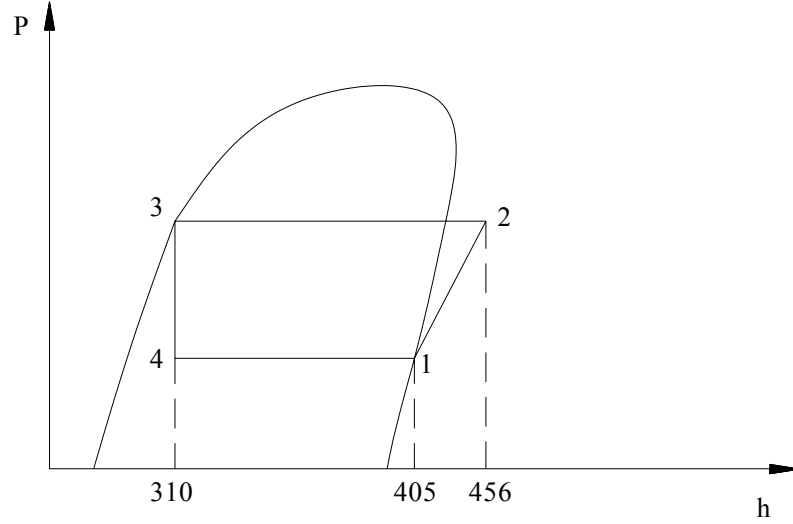
$$h_3 = 310 \text{ Kj/kg}$$

$$m_{R22} = ?$$

$$Q_{\text{süt}} = Q_{\text{kon}} = m_{R22} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$6,18 = m_{R22} \cdot (456 - 310)$$

$$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn}$$



Şekil 6.1 Sistemin basınç-özgül entalpisi (P-h) şekli.

Bu sistem için kullanılacak olan kompresör hesabı, formül (6.7) ile hesaplanır.

$$h_2 = 456 \text{ Kj/kg}$$

$$h_1 = 405 \text{ Kj/kg}$$

$$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn dir.}$$

Bu değerler (6.7)'deki formülde yerine koyulduğunda;

$$W_{\text{kom}} = 0,0423 \cdot (456 - 405) = 2,157 \text{ kW} = 2157 \text{ Watt olarak bulunur.}$$

Sistemdeki evaporatör hesabı ise formül (6.8) ile hesaplanır.

$$h_1 = 405 \text{ Kj/kg}$$

$$h_4 = 310 \text{ Kj/kg}$$

$$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn}$$

Bu değerler (6.8)'deki formülde yerine koyulduğunda;

$$Q_{\text{evp}} = 0,0423 \cdot (405 - 310) = 4,018 \text{ kW} = 4018 \text{ Watt olarak bulunur.}$$

Sistemdeki ısıtma tesir katsayısı (COP), formül (6.9) ile hesaplanır.

$$\text{COP} = \frac{6,18}{2,15} = 2,87 \text{ olarak bulunur.}$$

Süt borusunun çapının belirlenmesinde sütün kütleli debisinden yararlanılır. Formülü ise;

$$m_{\text{süt}} = \rho_{\text{süt}} \cdot U_{\text{süt}} \cdot A_{\text{süt}} \quad (6.10)$$

dır. Burada;

$U_{\text{süt}}$  : Sütün sistemdeki hızı = 0,2 m/sn

$\rho_{\text{süt}}$  : Süt yoğunluğu = 1032 kg/m<sup>3</sup>

$A_{\text{süt}}$  : Süt borusunun alanı =  $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$  (m<sup>2</sup>), burada d (m), süt borusunun çapıdır.

$m_{\text{süt}}$  : Sütün kütleli debisi = 0,0277 kg/sn

Bu değerler (6.10)'deki formülde yerine konursa;

$$0,0277 = 1032 \cdot 0,2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0277}{1032 \cdot 0,2 \cdot \pi}} = 0,01307 \text{ m olarak bulunur.}$$

Burada boru çapı olarak 0,01307 m' lik bir boru olmadığından bir üst boru çapı seçilir ve bu seçilen boru çapına göre yeni hız değeri hesaplanabilir.

Soğutucu akışkan gaz borularının çaplarının belirlenmesinde temel formül olarak (6.11)'deki kütleli debi formülünden yararlanılır.

$$m_{R22} = \rho \cdot U \cdot A \quad (6.11)$$

Soğutucu akışkan gaz boruları dört bölümden oluşur. Bunlar ;

- a-) Kompresör çıkış – Kondenser giriş borusu (  $K_{mç} - K_{ng}$  )
- b-) Kondenser çıkış – Genleşme valfi giriş borusu (  $K_{nç} - G_{vg}$  )
- c-) Genleşme valfi çıkış – Evaporatör giriş borusu (  $G_{vç} - E_{vg}$  )
- d-) Evaporatör çıkış – Kompresör giriş borusu (  $E_{vç} - K_{mg}$  ) dir.

a-) Kompresör çıkış – Kondenser giriş borusunun çapı  $d_1$  :

$$U_1 : \text{Gazın sistemdeki hızı} = 7 \text{ m/sn}$$

$$\rho_1 : \text{Gaz yoğunluğu} = 39 \text{ kg/m}^3 \text{ (R22 gazı için sayfa 62'deki diyagramdan okunur)}$$

$$A_1 : \text{Gaz borusunun alanı} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \text{ (m}^2\text{)}, \text{ burada } d_1 \text{ (m), gaz borusunun çapıdır.}$$

$$m_{R22} : \text{Gazın kütleli debisi} = 0,0423 \text{ kg/sn}$$

Bu veriler ışığında bu değerler formül (6.11)'de yerine konduğunda ;

$$0,0423 = 39 \cdot 7 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \Rightarrow d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0423}{39 \cdot 7 \cdot \pi}} = 0,0140 \text{ m bulunur.}$$

b-) Kondenser çıkış – Genleşme valfi giriş borusunun çapı  $d_2$  :

$$\rho_2 = 159 \text{ kg/m}^3$$

$$U_2 = 1 \text{ m/sn}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn}$  bu değerler formül (6.11)'de yerine konduğunda ;

$$0,0423 = 159 \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \Rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0423}{159 \cdot \pi}} = 0,0184 \text{ m bulunur.}$$

c-) Genleşme valfi çıkış – Evaporatör giriş borusunun çapı  $d_3$  :

$$\rho_3 = 886 \text{ kg/m}^3$$

$$U_3 = 0,4 \text{ m/sn}$$

$$A_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}$$

$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn}$  bu değerler formül (6.11)'de yerine konduğunda ;

$$0,0423 = 886 \cdot 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \Rightarrow d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0423}{886 \cdot 0,4 \cdot \pi}} = 0,01233 \text{ m bulunur.}$$

d-) Evaporatör çıkış – Kompresör giriş borusunun çapı  $d_4$  :

$$\rho_4 = 22 \text{ kg/m}^3$$

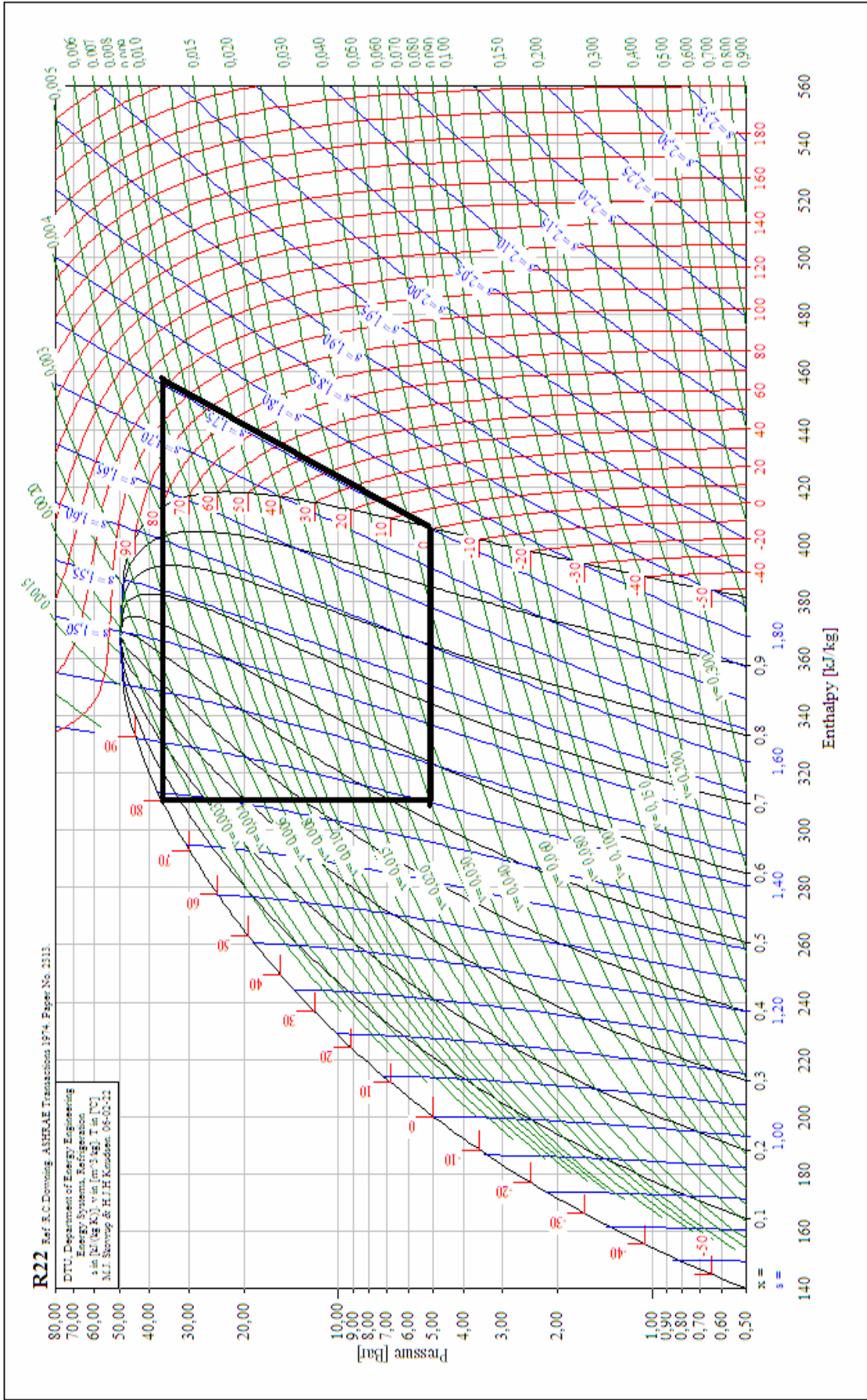
$$U_4 = 6 \text{ m/sn}$$

$$A_4 = \frac{\pi \cdot d_4^2}{4}$$

$m_{R22} = 0,0423 \text{ kg/sn}$  bu değerler formül (6.11)'de yerine konduğunda ;

$$0,0423 = 22 \cdot 6 \cdot \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} \Rightarrow d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0423}{22 \cdot 6 \cdot \pi}} = 0,0202 \text{ m bulunur.}$$

Soğutucu akışkanların boru çaplarının hesaplamaları sonucunda elde edilen bu değerlerde boru çapları olmadığından bir üst boru çapları seçilir. Seçilen bu değerlere göre de yeni hız değerleri hesaplanabilir.



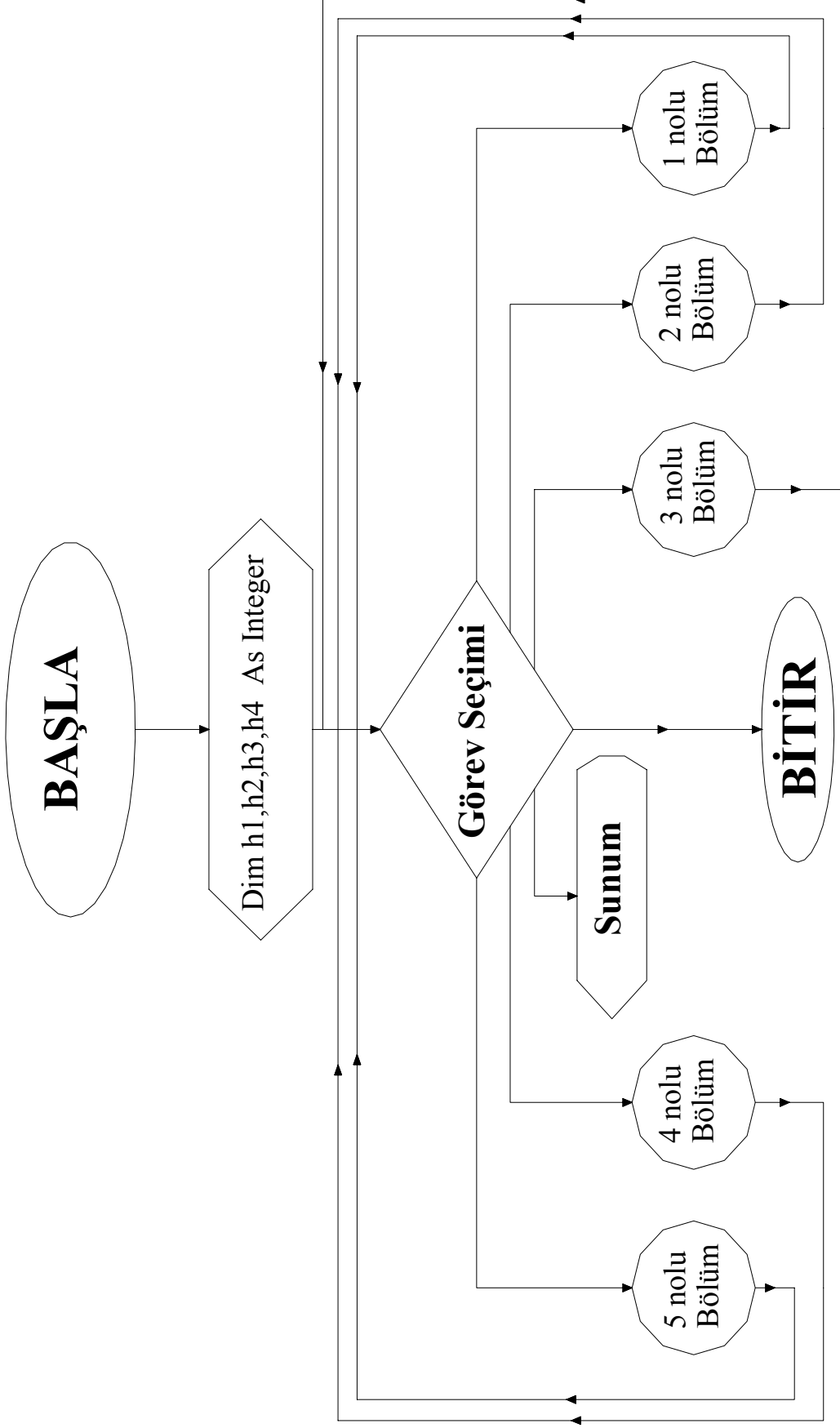
Şekil 6.2 R-22 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı

### 6.3 HESAPLAMA METODUNUN BİLGİSAYAR ORTAMINA AKTARILMASI

Sistem simülasyonlarında iki sınıflandırılma yapılır. Birincisi “Sürekli Sistem”, ikincisi de “Kesikli Sistem” dir. Sürekli sistemlerde, sistem boyunca akış süreklidir. Örneğin bir akışkan veya katı parçacıklar, bazı hızlarda akış, partikül boyutlarıyla ilgilidir ki akış sürekli olarak düşünülür. Bir süper market içerisinde çeşitli reyonlardan alış-veriş ve kasada hesap kestirme esnasında zaman harcayan insan atasının analizi yapmaya çalışmak kesikli bir sistemdir. Kesikli bir sistem analizine diğer bir örnek ise, otobanda veya şehir caddelerinde trafik akışının kontrolü verilebilir [26]. Simülasyonu yapılan bu sistemde ise gaz ve süt akışı sürekli olması nedeniyle “Sürekli Sistem” bölümünde yer almaktadır.

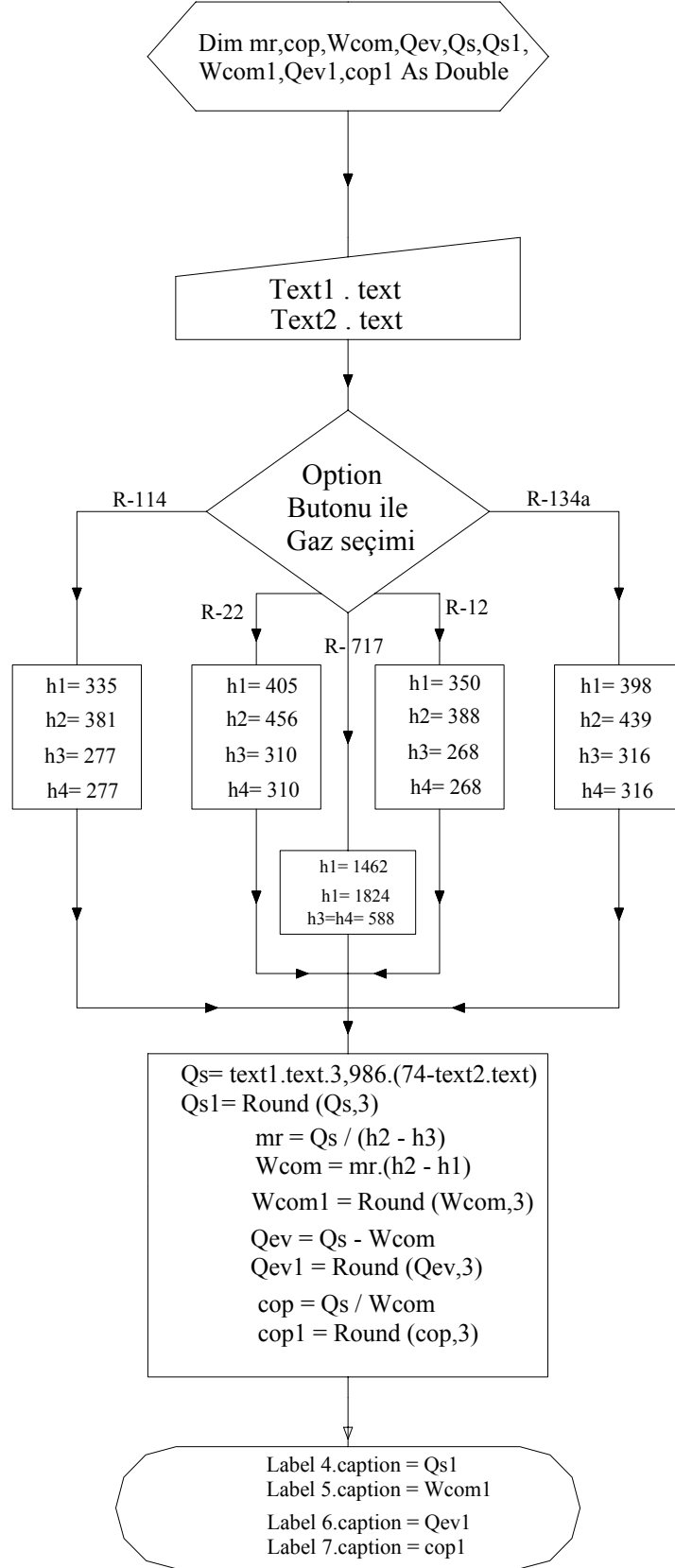
Sistem simülasyon analizleri iki şekilde yapılır. Birincisi “Deterministik (tanımlı) Analiz” ve ikincisi de “Stokastik (rasgele) Analiz” dir. Stokastik analiz, bazı olasılık dağılımlarını izler. Bu analizde giriş şartları şüphelidir ve aynı zamanda tamamen rasgele seçilir. Deterministik analizde ise sisteme giren akışkanın giriş şartları kesin olarak belirtilir [26]. Hazırlamış olduğumuz bu simülasyonda, sütün pastörize sıcaklıkları kesin belirtildiği için Deterministik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Sistem simülasyonunda, Visual Basic programı kullanılmıştır. Bu programın görsel efektinin kaliteli olması ve word ve excel uzantılı olması tercih nedenidir. Programın hazırlanmasıyla ilgili olarak bir algoritma şeması hazırlanmıştır. Şekil 6.2’de programın genel algoritması gösterilmektedir. Bu algoritmanın bölümleri ise Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



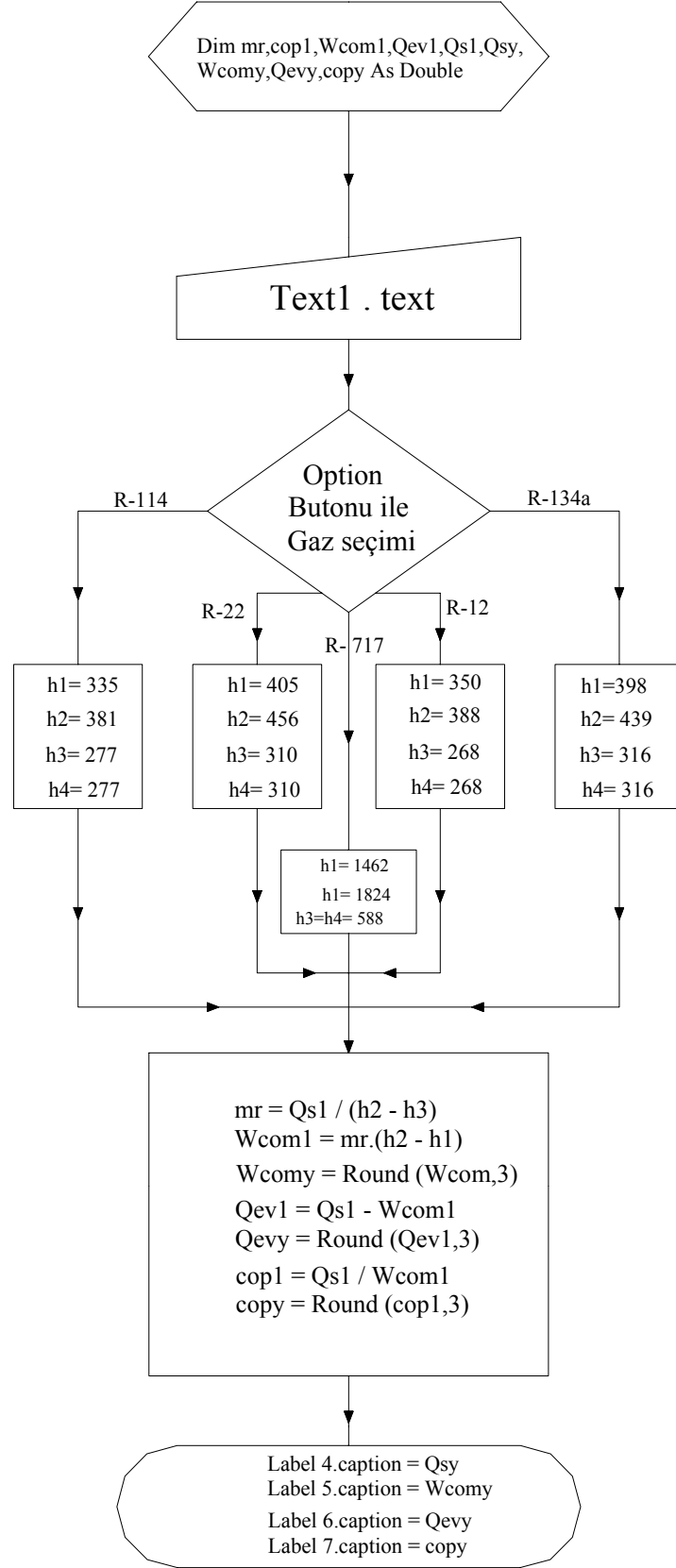
Şekil 6.3 Algoritma ana menü şeması.

## 1.Bölüm: Süt miktarı ve Gaz çeşidine göre kapasite seçimi



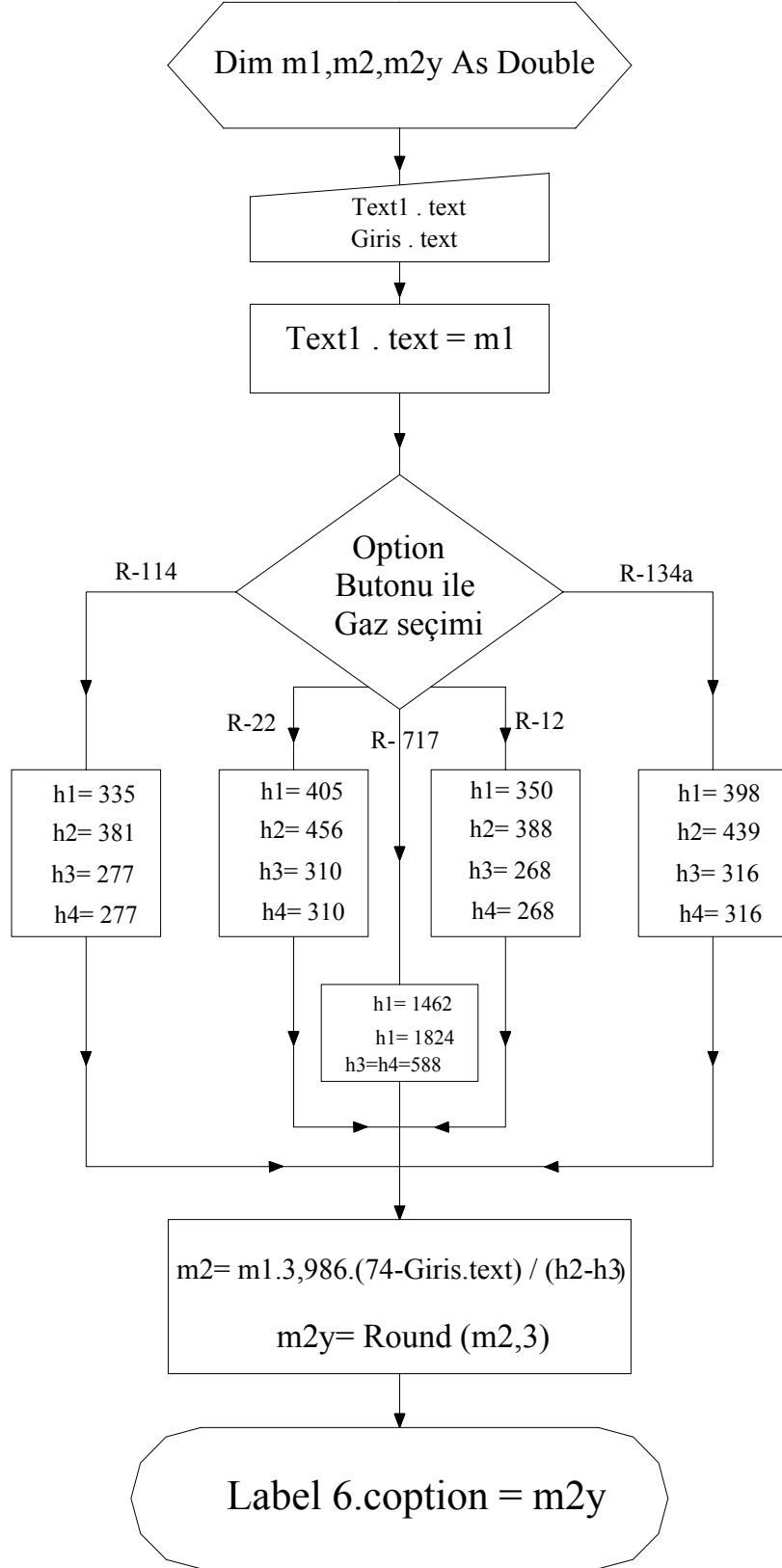
Şekil 6.4 Program 1.bölüm algoritma şeması.

## 2.Bölüm: Gaz miktarı ve Gaz çeşidine göre kapasite seçimi



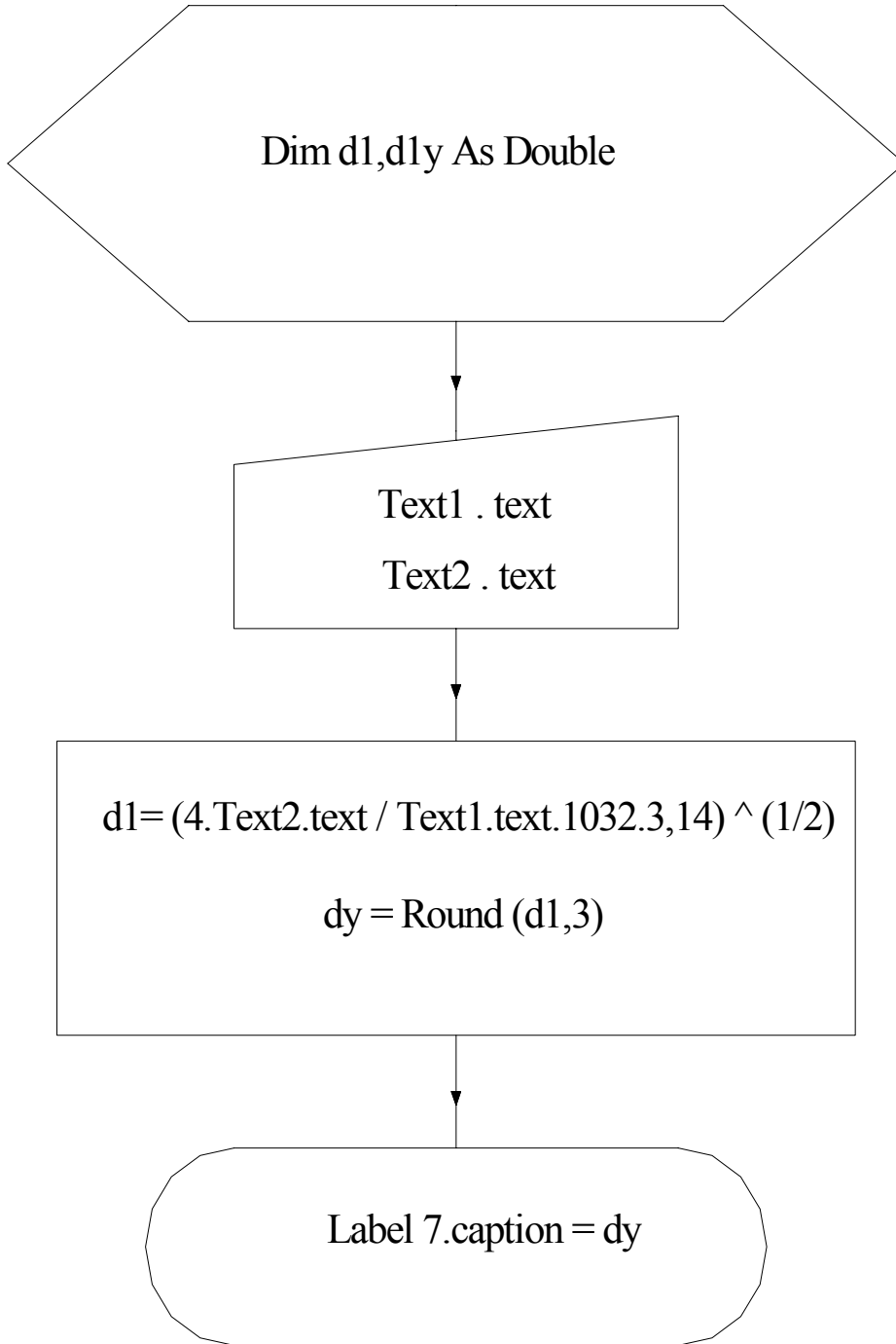
Şekil 6.5 Program 2.Bölüm algoritma şeması.

### 3.Bölüm: Gaz miktarı tesbiti



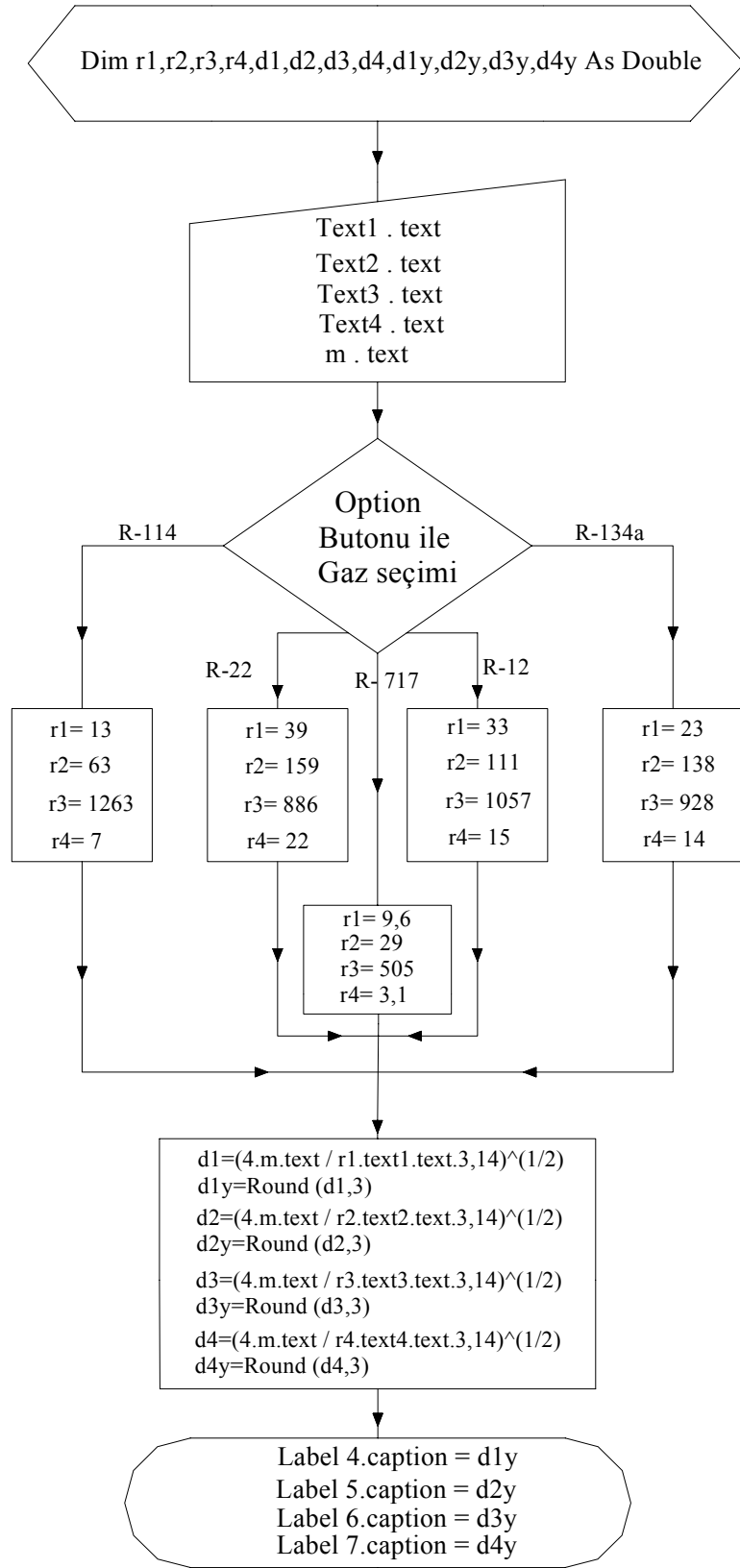
Şekil 6.6 Program 3.Bölüm algoritma şeması.

#### 4.Bölüm: Süt borusunun çapının belirlenmesi



Şekil 6.7 Program 4.Bölüm algoritma şeması.

## 5.Bölüm: Gaz borularının çaplarının belirlenmesi



Şekil 6.8 Program 5.Bölüm algoritma şeması.

## 6.4 SİMÜLASYON PROGRAMININ TANITIMI VE ÇALIŞMASI

Bu bölümde, sistem simülasyonunun tanıtımı ve programdaki değişkenlere birer örnek verilerek çalışması izah edilecektir. Değişkenlere verilecek değerler, sistemin hesap metodunda verilen örnek değerlerle aynı olacak ve programdaki hesaplama ile hesap metodundaki hesaplamaların doğruluğu kontrol edilecektir.

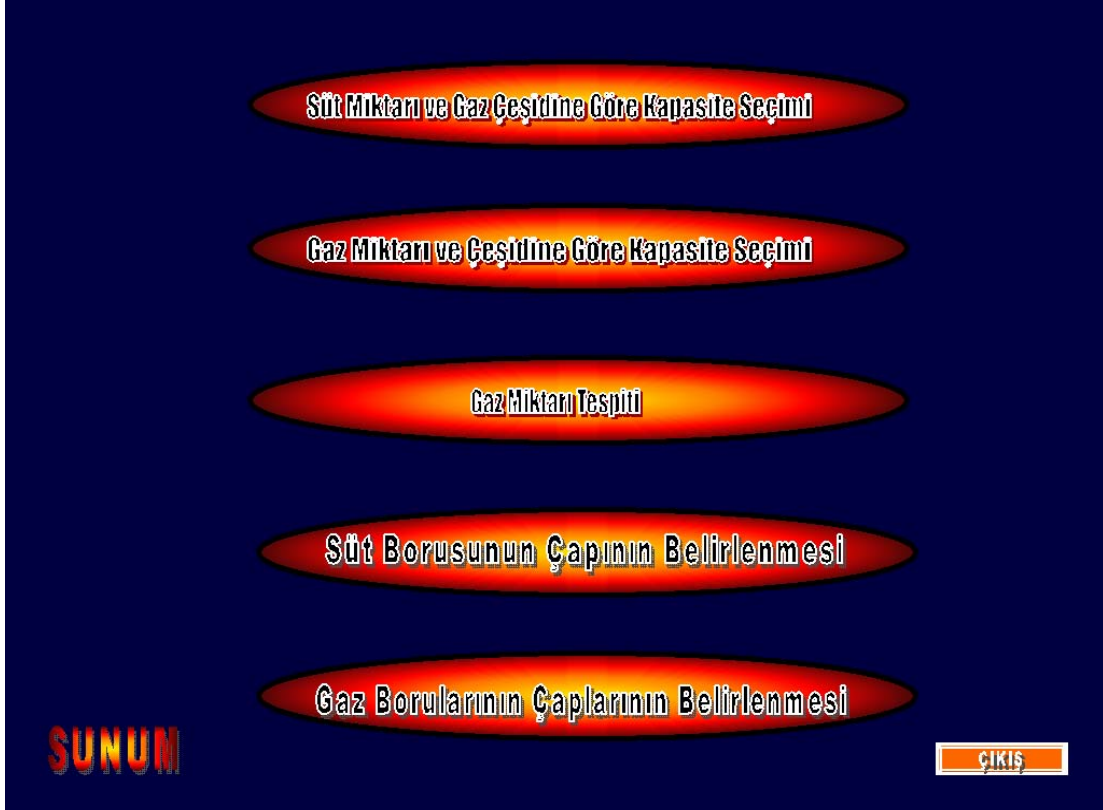
Visual Basic programında hazırlanan bu program üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü, ikinci bölüm beş değişik hesaplamaların yapıldığı bölüm ve üçüncü bölüm ise sunum bölümünden oluşmaktadır.

Programın giriş bölümünde, tez konusunun isimi verilmekte ve ikinci bölüme geçmek için giriş tuşu bulunmaktadır. Bu durum şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Simülasyon giriş bölümü.

Programın giriş bölümündeki giriş linki tıkladığında ikinci bölüm ekrana gelecektir. Bu bölümde, Şekil 6.10'da da görüldüğü gibi beş hesaplama metodunun kutucukları bulunmaktadır. Burada kullanıcı tarafından hangi tip hesaplama yapılacaksa o link tıklanır.



Şekil 6.10 Simülasyon ikinci bölüm.

Şekil 6.10'deki görüntüde birinci link "Süt Miktarı ve Gaz Çeşidine Göre Kapasite Seçimi" linki tıkladığında ekrana Şekil 6.11'deki görüntü ekrana gelecektir. Burada Şekil 6.11'de de görüldüğü gibi değişken olarak "Sütün kütleli debisini giriniz" değişkeni, "Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz" değişkeni ve hesaplamada kullanılacak olan soğutucu akışkanlardan R134a, R-12, R-22, R-114 ve R-717 akışkanları bulunmaktadır. Ekranın en alt kısmında ise sistem elemanlarının kapasite değerlerinin bulunduğu tablo değerleri bulunmaktadır.

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn Gaz çeşidini seçiniz. ● R-134a

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz:  °C ● R-12

● R-22

● R-114

● R-717

Q <sub>kon</sub> (kW)	W <sub>kom</sub> (kW)	Q <sub>ev</sub> (kW)	COP

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.11 Süt miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi.

Şekil 6.11'deki değişkenler, hesap metodundaki değerler olarak alındığında (R134a gazı için alınmıştı) Şekil 6.12'deki hesaplama sonucu ekrana gelecektir. Hesaplama metodunda alınan değerler aşağıda gösterilmiştir.

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz = 18 °C

Sütün kütleli debisini giriniz = 0,0277 kg/sn

Gaz çeşidi = R-22 gazı

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn Gaz çeşidini seçiniz. ● R-134a

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz:  °C ● R-12

○ R-22

● R-114

● R-717

Q <sub>kon</sub> (kW)	W <sub>kom</sub> (kW)	Q <sub>ev</sub> (kW)	COP
6,183	2,16	4,023	2,863

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.12 Süt miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi hesaplama sonucu.

Şekil 6.10'deki görüntüde ikinci link olan “Gaz Miktarı ve Gaz Çeşidine Göre Kapasite Seçimi” linki tıklandığında Şekil 6.13'deki görüntü ekrana gelecektir. Bu bölümde de birinci linke benzer kavramlar yer almaktadır. Bu bölümde değişken olarak “Gazın kütleli debisini giriniz” değişkeni ve gaz seçimi değişkenleri bulunmaktadır. Ekranın alt kısmında ise sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplandığı tablo bulunmaktadır.

Gazın kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Qkon (kW)	Wkom (kW)	Qev (kW)	COP
0	0	0	

Gaz çeşidini seçiniz:

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

Ana Menü

Şekil 6.13 Gaz miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi.

Şekil 6.13'de örnek olarak kullanılacak değişken değerleri aşağıda verilmiştir. Alınan bu değerler, hesaplama metodunda kullanılan değerlerdir.

Gazın kütleli debisini giriniz = 0,0423 kg/sn

Gaz çeşidi = R-22 gazı

Bu değerler Şekil 6.13'de yerine konduğunda, Şekil 6.14'deki hesaplama sonucu ekrana gelecektir.

Gazın kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Q <sub>kon</sub> (kW)	W <sub>kom</sub> (kW)	Q <sub>ev</sub> (kW)	COP
6,176	2,157	4,018	2,863

Gaz çeşidini seçiniz:

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.14 Gaz miktarı ve gaz çeşidine göre kapasite seçimi hesaplama sonucu.

Şekil 6.10'deki görüntüde üçüncü link olan "Gaz Miktarı Tespiti" linki tıklandığında Şekil 6.15' deki görüntü ekrana gelecektir. Ekranda, değişken olarak "Sütün kütleli debisini giriniz" değişkeni, "Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz" değişkeni ve hesaplamada kullanılacak olan soğutucu akışkanlardan R134a, R-12, R-22, R-114 ve R-717 akışkanları bulunmaktadır. Ekranın alt kısmında gaz miktarının belirtildiği tablo ve ana menüye dönüş için bir ok tuşu bulunmaktadır. Değişkene değer verildiğinde ve gaz seçimi yapıldığında gaz miktarı tablosunda sayısal bir değer yer alacaktır.

Şekil 6.15'de ekrandaki değişkenlere aşağıdaki değerler verildiğinde, hesaplama sonunda ekranda Şekil 6.16'deki şekil görülecektir.

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz = 18 °C

Sütün kütleli debisini giriniz = 0,0277 kg/sn

Gaz çeşidi = R-22 gazı

Şekil 6.16'deki hesaplamada gaz miktarı tespiti yapılmaktadır ve birimi kg/sn dir. Bu hesaplama işlemi tamamlandıktan sonra ekranda sağ alt köşedeki ok tuşuyla ana menüye dönülür.

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz:  °C

Gaz Miktarı (kg/sn)
0

Gaz çeşidini seçiniz:

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.15 Gaz miktarı tespiti.

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Sütün kondensere giriş sıcaklığını giriniz:  °C

Gaz Miktarı (kg/sn)
0,042

Gaz çeşidini seçiniz:

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.16 Gaz miktarı hesaplama sonucu.

Şekil 6.10'deki görüntüde dördüncü link olan "Süt Borusunun Çapının Belirlenmesi" linki tıkladığında Şekil 6.17'deki görüntü ekrana gelecektir. Ekranda, değişken olarak "Sütün kütleli debisini giriniz" kutusu ve "Sütün akış hızını giriniz" kutusu bulunmaktadır. Ekranın alt kısmında, süt borusunun çapının belirtildiği tablo, hesaplama tuşu ve ana menüye dönüş için bir ok tuşu bulunmaktadır. Değişkenlere değerler verildiğinde süt borusunun çapının bulunduğu tabloda sayısal bir değer yer alacaktır. Hesaplama bittikten sonra ok tuşu tıklanarak ana menüye geçiş sağlanır.

Sütün akış hızını giriniz:  m/sn

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Hesapla

Süt Borusunun Çapı (m)

← Ana Menü

Şekil 6.17 Süt borusunun çapının belirlenmesi.

Sütün akış hızını giriniz = 0,2 m/sn

Sütün kütleli debisini giriniz = 0,0277 kg/sn

Gaz çeşidi = R-22 gazı

Bu değişken değerleri Şekil 6.17'da yerine konduğunda Şekil 6.18'deki hesaplama sonucu elde edilir. Hesaplama sonunda süt borusunun çapının (m) matematiksel değeri tabloda yerini almaktadır.

Sütün akış hızını giriniz:  m/sn

Sütün kütleli debisini giriniz:  kg/sn

Süt Borusunun Çapı (m)

Şekil 6.18 Süt borusunun çapının hesaplama sonucu.

Şekil 6.10'deki görüntüde beşinci link olan "Gaz Borularının Çaplarının Belirlenmesi" linki tıklandığında Şekil 6.19'deki görüntü ekrana gelecektir. Ekranda, değişken olarak "Gazın kütleli debisini giriniz" kutusu,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  hız değişkenleri bulunmaktadır. Ekranın alt kısmında, yine değişken olarak soğutucu akışkanlardan R134a, R-12, R-22, R-114, R-717 akışkanları bulunmaktadır. Sağ alt köşede, gaz borularının çaplarının belirtildiği tablo ve ana menüye dönüş için bir ok tuşu bulunmaktadır. Burada  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  gaz borularının çaplarını belirtmektedir.

Gazın kütleli debisini giriniz:  kg/sn

$U_1$  i giriniz:  m/sn

$U_2$  yi giriniz:  m/sn

$U_3$  ü giriniz:  m/sn

$U_4$  ü giriniz:  m/sn

Gaz çeşidini seçiniz.

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

$d_1$ (Kınc-Kng) (m)	$d_2$ (Knç-Gvg) (m)	$d_3$ (Gvç-Evg) (m)	$d_4$ (Evç-Kmg) (m)

Şekil 6.19 Gaz borularının çaplarının belirlenmesi.

Gazın kütleli debisini giriniz = 0,0423 kg/sn

Gaz çeşidi = R-22 gazı

$U_1 = 7$  m/sn ( Freon gazının Kompresör çıkış – Konder giriş hızı )

$U_2 = 1$  m/sn ( Freon gazının Kondenser çıkış – Genleşme valfi giriş hızı )

$U_3 = 0,4$  m/sn ( Freon gazının Genleşme valfi çıkış – Evaporatör giriş hızı )

$U_4 = 6$  m/sn ( Freon gazının Evaporatör çıkış – Konmpresör giriş hızı )

Bu değişken değerleri Şekil 6.19’de yerine konduğunda Şekil 6.20’deki hesaplama sonucu elde edilir.

Gazın kütleli debisini giriniz.  kg/sn

U1 i giriniz:  m/sn

U2 yi giriniz:  m/sn

U3 ü giriniz:  m/sn

U4 ü giriniz:  m/sn

Gaz çeşidini seçiniz.

- R-134a
- R-12
- R-22
- R-114
- R-717

d1 (Kmç-Kng) (m)	d2 (Knç-Gvg) (m)	d3 (Gvç-Evg) (m)	d4 (Evç-Kmg) (m)
0,014	0,018	0,012	0,02

[← Ana Menü](#)

Şekil 6.20 Gaz borularının çaplarının hesaplama sonucu.

Sistem simülasyonunda üçüncü ve son bölüm, sunum bölümüdür. Sunum bölümünde tezi hazırlayanın ismi ve tezin ait olduğu üniversite ve enstitü ismi bulunmaktadır. Sunum bölümü görüntüsü Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Sunum bölümü incelendikten sonra ekranda sağ alt köşedeki ok tuşu tıklanarak ana menüye geçiş sağlanır.

Sistem simülasyonunda, hesaplama işlemleri bittikten sonra Şekil 6.10’deki ana menü ekranında sağ alt köşedeki “çıkış” kutucuğu tuşlanarak simülasyondan çıkış işlemi yapılır.

**Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Hazırlayan: Lokman ŞEN**



Şekil 6.21 Program üçüncü bölüm.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1 SONUÇLAR

Sütün pastörize edilmesinde, ülkemizde en yaygın bir şekilde kullanılan sistem çift cidarlı kazan sistemidir. Büyük kapasiteli bazı fabrikalarda da plakalı ısı değiştiricisi ile süt pastörize edilmektedir. Son yıllarda ise ısı pompası sisteminin sütün pastörizasyonunda ise kullanılıp kullanılmayacağı araştırmaları yapılmaktadır. Ülkemizde bu konuyla ilgili ilk uygulamalı araştırma Ömer Özyurt tarafından yapılmıştır. Özyurt, yaptığı deneylerin sonucunda ısı pompasının süt pastörizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Pastörizasyon işleminde 1 kg. sütün pastörize edilmesi için çift cidarlı kazan sisteminde 510 kJ/kg, plakalı ısı değiştiricisinde 347 kJ/kg ve ısı pompasının kullanılması durumunda 182 kJ/kg enerji harcanması gerekir. Dolayısıyla ısı pompası sistemine göre çift cidarlı kazan sisteminde yaklaşık üç kat, plakalı ısı değiştiricilerine göre de yaklaşık iki kat daha fazla enerji sarfiyatı olmaktadır. Isı pompasının gerek enerji tasarrufu yönüyle gerekse kullanım kolaylığı yönüyle diğer sistemlere göre daha avantajlı olması, ısı pompasının süt pastörizasyonunda kullanılması halinde daha ekonomik ve verimli olacağı söylenilebilir.

Süt pastörizasyonunda kullanılan ısı pompası sisteminin kapasitesinin belirlenmesi için sistem elemanlarının kapasite hesaplamalarının yapılması ve sisteme uygun malzeme seçiminin yapılması gerekir. Bu kapasite hesaplamalarının yapılabilmesi için hesap yöntemleri, matematiksel işlemler ve hesaplamalar da kullanılacak olan tablo ve diyagramlar, ilgili kaynaklardan araştırılarak hesaplamaların yapılması gerekir. Bu hesaplama işlemi, araştırmacının çok uzun zamanının harcanmasına neden olmaktadır. Eğer bu hesabı yapan kişi, sürekli bu işlemleri yapmak zorunda ise her seferinde gereksiz zaman kaybına uğrayacak demektir.

Hazırlanan bu simülasyonda, süt pastörizasyonunda kullanılan ısı pompası sistem elemanlarının kapasite hesaplamaları yapılmaktadır. Programda istenen birkaç değişkenin belirtilmesiyle birkaç saniye içerisinde bu hesaplamalar yapılmış bir şekilde program tablosunda yer almaktadır. Hesaplama metodu ile hazırlanan bu simülasyonu karşılaştırdığımızda müthiş bir zaman farkı olmaktadır. Kapasite hesaplamalarının yapılabilmesi için günlerden bahsedilirken hazırlanan bu simülasyonla hesaplama için saniyeler yeterli olacaktır. Burada bir sefere mahsus simülasyon programının hazırlık aşamasında zaman harcamak gerekecek, hesaplama kısmı ise çok kısa sürede gerçekleşecektir.

Ekonomik açıdan bir değerlendirme yapıldığında, visual basicte hazırlanan bu programın bir defaya mahsus bir maliyeti olacaktır. Bu maliyet içerisinde programı öğrenmek için alınan kurs ücreti ve programlamada harcanan sürenin ücreti yer almaktadır. Hesaplama metodunda ise bu hesaplamaları yapacak olan kişilerin her seferinde harcayacağı süre yer almaktadır. Hesaplama metodunda harcanan toplam sürenin ücreti, hazırlanan bu programın maliyetine göre daha fazla olmaktadır.

Hesaplama metodunda örnek olarak yapılan hesaplamalarla, simülasyondaki hesaplamalarda aynı veri değerleri kullanılarak yapılmış ve sonuç olarak işlemler aynı değeri vermiştir. Programın hazırlık aşamasında farklı akışkan türleri içinde hesaplamalar yapılmış ve yine matematiksel hesaplama ile simülasyon programında yapmış olduğumuz hesaplamalar bir biriyle örtüşmüştür.

Sonuç olarak, hazırlanan bu programın gerek harcanan süre açısından, gerek ekonomik açıdan ve gerekse kullanım kolaylığı açısından hesaplama metoduna göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu program, konuya tam vakıf olmayan kullanıcıların bile kullanabileceği bir seviyede hazırlanmıştır.

## **7.2 ÖNERİLER**

Hazırlanan bu simülasyon için aşağıdaki öneriler verilebilir.

1. Simülasyonda evaporatör ve kondenserin ısı kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu bölüme ek olarak evaporatör ve kondenserin yüzey alanları hesabı yapılabilir.

2. Hesaplamalarda LMTD yönteminden yararlanılarak bu programın değişik bir versiyonu yapılabilir.
3. Bu programın word ve excel bağlantılı olan vusual basic de hazırlanmıştır. Programlama işlemi görsel efekti ve özellikleri daha geniş olan bir programla da hazırlanabilir.
4. Bu program ışığında, ısı pompasının değişik kullanım alanlarıyla ilgili programlamalar yapılabilir.
5. Bu programa ek olarak sistemin çalışmasına en ideal gaz olan freon gazının seçim işlemini yapabilecek ek bir program yapılabilir.
6. Yine bu programa ek olarak, sistemin çalışma aşamalarını bir şekil üzerinde gösteren ek bir bölüm yapılabilir.
7. Bu programda kapasite hesaplamaları yapılmıştır. Bu programın ışığı altında, uygulamaya yönelik bilgisayar kontrollü bir sistem kurulabilir. Sistemin uygulama safhasında bilgisayarlı kontrol devresi programı ilave edilerek sistemin otomatik olarak çalıştırılması sağlanabilir.
8. Bu programın LMTD yöntemine göre yapılması durumunda sütun ve kullanılan freon gazının ısı taşınım katsayısını hesaplayacak yeni bir programlama yapılabilir.
9. Sistemde kullanılan ve isimleri belirtilen freon gazlarının yanı sıra, sistem çalışma koşullarına uygun değişik gazlar seçilip programa eklenebilir.
10. Sistemde bir rekiparatör (ön ısıtıcı) kullanılması durumunda bütün sistem şartları değişecektir. Evaporatör, kondenser ve kompresör kapasiteleri düşecektir. Dolayısıyla maliyet düşecek ve sistem ekonomik hale gelecektir. Böylelikle bu değişiklik ışığından yeni bir program yapılabilir.
11. Güneş enerjisi destekli ısı pompası ile süt pastörizasyonu sistemi kurulabilir veya programlaması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **WEC**, (1997) *Türkiye 7. Enerji Kongresi Tebliğleri*, Ankara.
- [2] **WEC**, (2000), *1999 Enerji Raporu*, Dünya Enerji Konseyi (WEC) Türk Milli Komitesi, Ankara, 121 s.
- [3] **Pal, M. ve Devres, Y.O.** (1987) Isı pompaları; kuramı, çeşitleri ve uygulama alanları, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 28, 7.
- [4] **Okuyan, M.C. ve Okuyan, M.A.** (1986) Güneş yardımcı ısı pompası ile bina ısıtılması, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 27, 23.
- [5] **Yamankaradeniz, R.**, (1986) Isı pompasının dünyadaki tarihi gelişimi ve halen Türkiye’de uygulanmamasının nedenleri, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 27, 21-23.
- [6] **Moser, F. and Schnitzer, H.**, (1985) Heat pump in industry, *Elsevier science publishers B.V.*, Netherlans, pp. 1-99.
- [7] **Reay, D.A. and Macmichael, D.B.A.** (1988) Heat pumps, *Perqamon press*, U.K., p. 10-92.
- [8] **Stephan, K.** (1982) Absorption heat pumps and working pair development in Europe until 1974, *Paper presented at the Berlin meeting of the ad hoc grup on new absorption working pairs*, Berlin, 14-16 April 1982.
- [9] **Merkel, F. and Bosnjakovic, F.** (1929) Diagramme und tabellenzur berechnungder absorptions-kaltemaschine, *Heat pump in industry*, F. Moser and H. Schnitzer, (ed.) by, Elsevier science publishers B.V., Netherlans, 20, 5.
- [10] **Fearon, J.** (1978) Heat cold energy recovery heat pumps, *Chartered mechanical engineer*, p 49.
- [11] **Egle, M.** (1978) The heating of the Zurich Tavn Hall by the heat pump, *SEV Bulletin*, 29, p 261.
- [12] **Summer, J.A.** (1953) A summary of heat pump development and use in Great Britain, *J. Inst of Fuel*, p 318-321.
- [13] **Montagnon, P.E. and Ruckley, A.L.** (1954) The festival Hall heat pump, *J. Inst. Of Fuel*, p 1-17.
- [14] **Macadam, J.A.** (1974) *Heat pumps the British experience (report)*, Building research establishment note, Watford.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [15] **Kell, J.R. and Martin, P.L** (1963) The nuffield college heat pump, *J.Inst. Heating ventil*, Engnrs, p 333-356.
- [16] **Pietsch, J.A.** (1977) The unitary heat pump Industry - 25 years of progress, *ASHRAE Jnl*, Vol. 19, p 15-18.
- [17] **Anonymous**, (1982) Heat pump systems – a teknology reviev, *International Energy Agency*, Paris.
- [18] **Dağsöz, A.K.** (1990) *Soğutma Tekniği Isı Pompaları Isı Boruları*, Alfa Teknik Kitapları, İstanbul, (ikinci baskı) s. 224.
- [19] **Özkul, N.** (1999) *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, TMMOB Makine Müh. Odası yayımı No: 115, s 45-87.
- [20] **Şenkul, B.** (2001) Isı Pompaları, Lisans tezi, G.Ü. Tek. Eğt. Fak., Ankara, S 6-40.
- [21] **Anonymous.** (1978) Acentury of refrigeration by sulzer, *Sulzer Technical Review*, no: 1, p 41-43.
- [22] **Charity, L.F.** (1952) Heating water with a milk cooler using heat pump principle, *Agric. Engng.*, p. 216-219.
- [23] **Boldvig, F.V.** (1990) *Heat recovery and heat pump applications in ammonia plants*, Heat pumps and energy recovery, I.I.R. – Comission E2 (ed.) by, P 139-149
- [24] **KARA, Y.A.** (1993) Süt pastörizasyon işlemlerinde ısı pompası kullanımı, Y. Lisans Tezi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Ana Bilim Dalı, s. 1-26.
- [25] **ÖZYURT, Ö.** (1996) Süt pastörizasyonunda ısı pompasının kullanımı ve klasik istemlerle mukayesesi, Y. Lisans Tezi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Ana Bilim Dalı, s. 1-51.
- [26] **ÇOŞKUN S.** (2000) Isı pompası yardımıyla sürekli kurutma sisteminin sümulasyonu, Doktora Tezi, Uludağ Ü. , Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. Ana Bilim Dalı, s. 3-75.
- [27] **Strommen, I.** (1990) Industrial heat pumps in Norway, *Heat Pumps and energy recovery*, Int. Inst. Of refrigeration, p. 85-100.
- [28] **Yüksel, C.** (1987) Yurdumuz şartlarında ısı pompası imalatının araştırılması; Piyasa tetkiki ve sistem parametrelerinin bilgisayar programı ile analiz edilmesi, Y. Lisans Tezi, Y. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Ana Bilim Dalı, s. 52-18, 124-138.
- [29] **Bikstrom, B.** (1990) *Concept for energy saving in heat pumps and refrigeration system*, Heat pumps and energy recorvery, I. I. R. – Comission E2 (ed.) by, p. 121-130.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [30] **Yamankaradeniz, R.** (1994) *Mühendislik Termodinamiğinin Temelleri*, Cilt 1, Uludağ Ün. Basımevi, Bursa, s. 160.
- [31] **LEE, M.** (1994) *Heat Pumps Teory and Sevice*, Delmar Publishers Inc. , s. 1-6.
- [32] **ŞEN, L. ve MARAŞ D.** (2003) Isı Pompası ile Süt Pastörizasyonu, Lisans Tezi, Z. K. Ü. Tek. Egt. Fak., Karabük, s. 1-29.
- [33] **ZORKUN, M. E. and ARDIÇ, A. R.** (1980) *Soğutma Tekniği ve Klima*, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, s. 69-139.
- [34] **Kızılkhoğlu End. Soğutma Sanayii**, (2001), *Soğutma ile ilgili genel tanımlar*, Firma internet sitesi, <http://www.sogutmaci.com/karmen/kopya%20so1.htm>
- [35] **ASHRAE**, (1997) *ASHRAE Temel El Kitabı, Bölüm 16 Soğutucu akışkanlar*, çev. Osman F. Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Ankara.
- [36] **Abdulkadir, H.** (1999) *Süt Bilimi ve Teknolojisi*, On. Ün. Ziraat Fak. Ders kitabı Samsun, s. 56-85.
- [37] **Esin, A.** İçme süt tüketiminde tutumlu enerji kullanımı, *Popüler Dergisi*, ODTÜ, Ankara, s. 50-53.
- [38] **TS 1019**, (2002) *Türk Standardı, Pastörize Süt*, Ocak 2002, Ankara, s. 1-7.
- [39] **Demirci, M. Şimşek, O. , Kurultay, Ş. ve Öksüz, Ö.** (1998) Sütün temizlenmesi ve süt yağının standardizasyonu, V. süt ve süt ürünleri sempozyumu, *İçme sütü*, Haziran, Tekirdağ.
- [40] **İzmir Konak Belediyesi**, (2001) *Gıda güvenilirliği ve gıda kökenli hastalıklar*, <http://www.konak.bel.tr/veteriner/gida.htm>
- [41] **TS 11150**, *Türk Standardı, Süt pastörizasyon metodu ile işlenen yapım kuralları*, Aralık 1993, Ankara, s. 1-4.
- [42] **TS 10307**, (1992) *Türk Standardı, Kazanlar, Çift cidarlı – Süt ısıtmada kullanılan*, Haziran 1992, Ankara, s. 3-8.
- [43] **Ödev sitesi**, [http://www.odevsitesi.com/ornekler/2005\\_7/136678-plakali-isi-degistiriciler-ile-sutun-pastorizasyonu.asp](http://www.odevsitesi.com/ornekler/2005_7/136678-plakali-isi-degistiriciler-ile-sutun-pastorizasyonu.asp).
- [44] **Kurt, A.** (1981) *Süt teknolojisi*, A.Ü. Yayınları, Erzurum, s. 141.
- [45] **Kırbaş, C.** (2005) *Kamu binalarında ısı yalıtım uygulamaları*, [http://www.eie.gov.tr/turkce/en\\_tasarrufu/en\\_tas\\_etkinlik/2005\\_bildiriler/oturum4/CelalettinKirbas.doc](http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/en_tas_etkinlik/2005_bildiriler/oturum4/CelalettinKirbas.doc)
- [46] **Özçelebi, S.** (1986) Konutlarda ısı pompasından yararlanma olanakları uygulamalar, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 27, s. 12-15.

### **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

- [47] **Frank, P.I. and David, P.D.** (2002) *Fundamentals of heat and mass transfer*, Fifth Edition Book, pp. 482-485.
- [48] **ASHRAE**, (1997) *ASHRAE Temel El Kitabı, Bölüm 17 Soğutucu akışkanların özellikleri*, çev. Osman F. Genceli, Tesisat Müh. Derneği, Teknik Yayınlar, Ankara.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Lokman ŞEN 1981’de Afyon ili İhsaniye ilçesinde doğdu; ilköğrenimini Karacaahmet İlkokulunda; Orta öğrenimini Karacaahmet Ortaokulunda tamamladı; Lise öğrenimini ise İhsaniye Lisesinde tamamladıktan sonra 1999 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği Bölümü’ne girdi; 2003’de “iyi” derece ile mezun oldu. 2003 yılında Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

## **ADRES BİLGİLERİ**

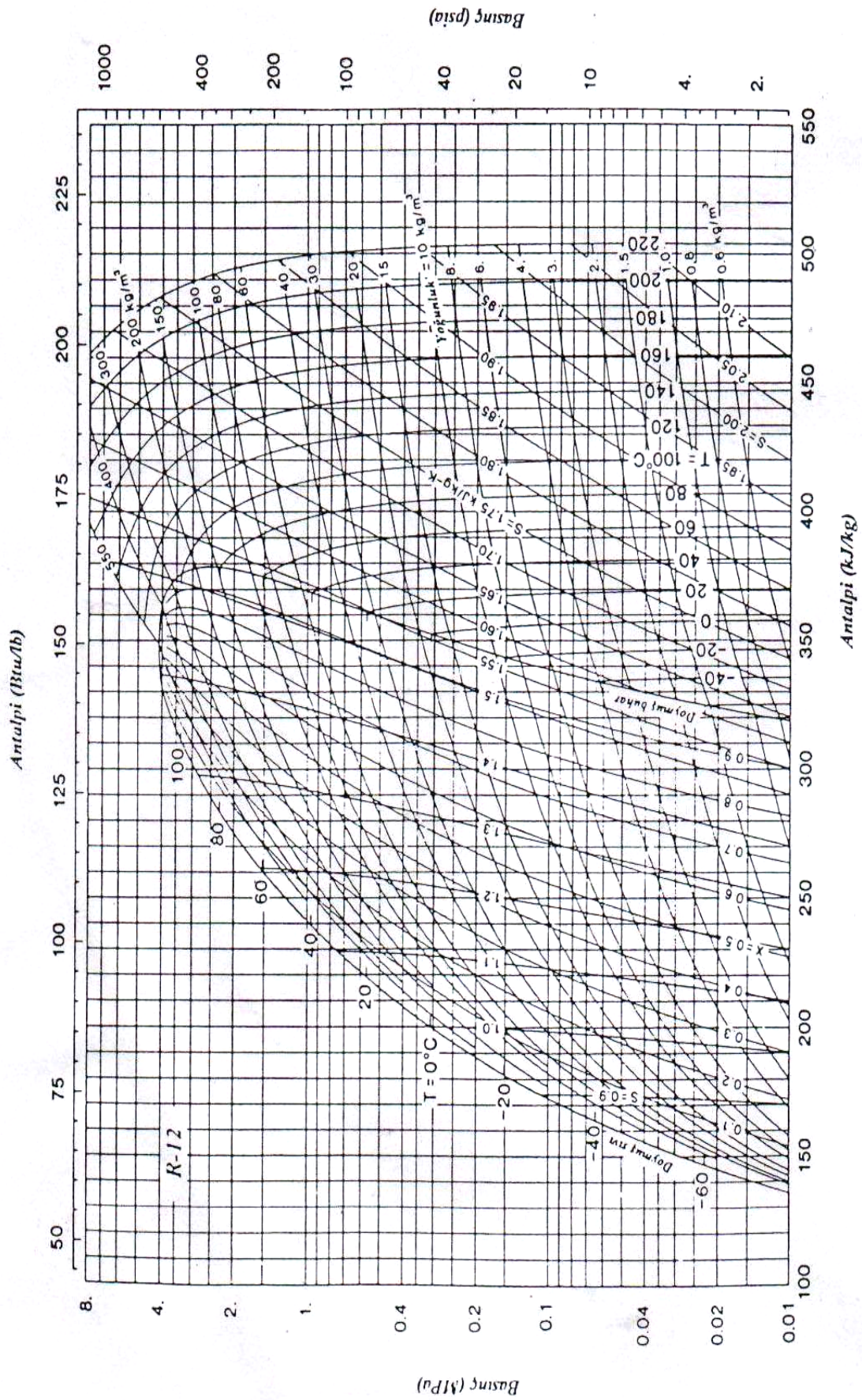
Adres: Karacaahmet Kasabası, Cumhuriyet Mahallesi No: 8  
Posta kodu: 03390

Afyon/İhsaniye

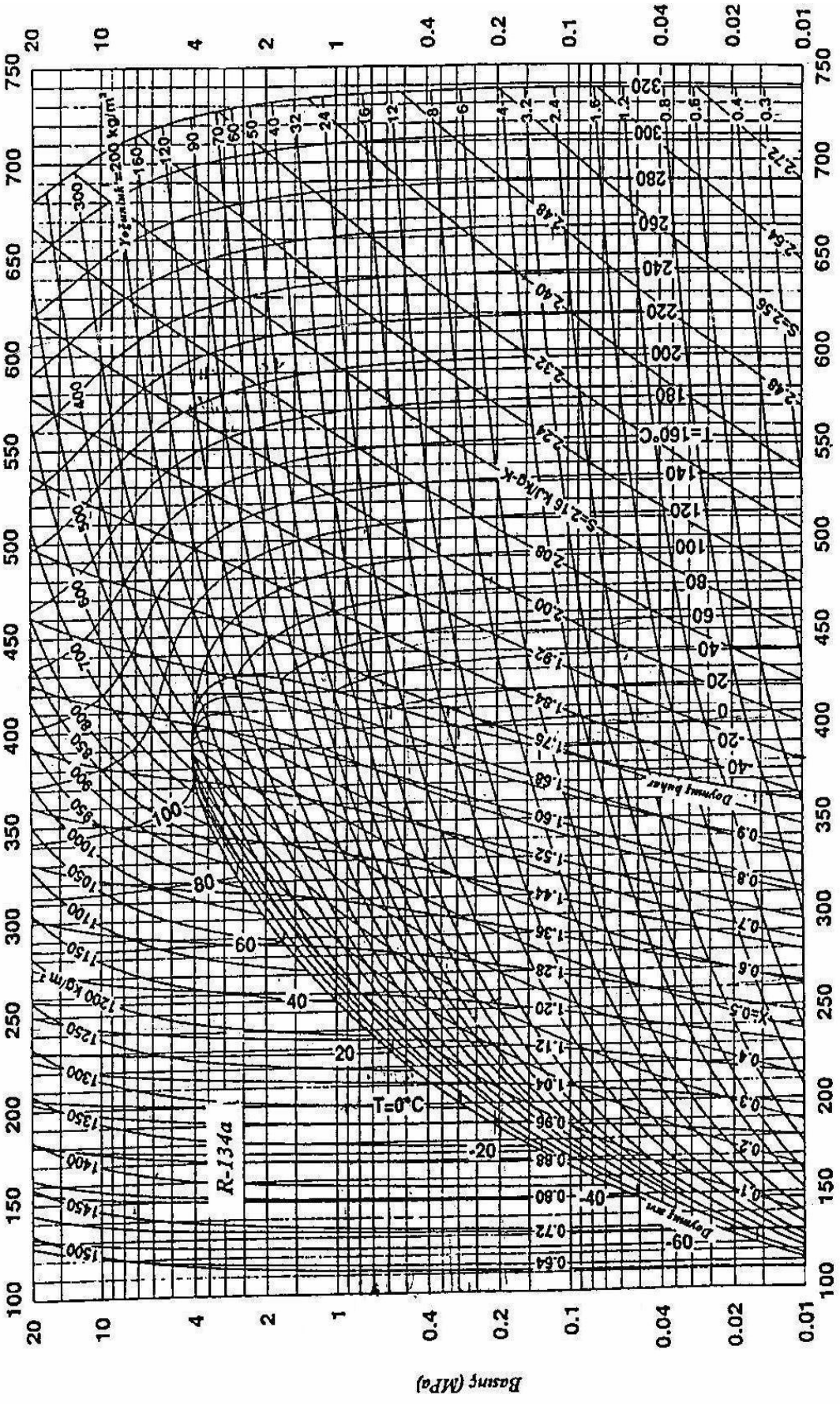
E-posta: tesisat03@mynet.com  
shen\_lokman@mynet.com

**EK AÇIKLAMALAR A**

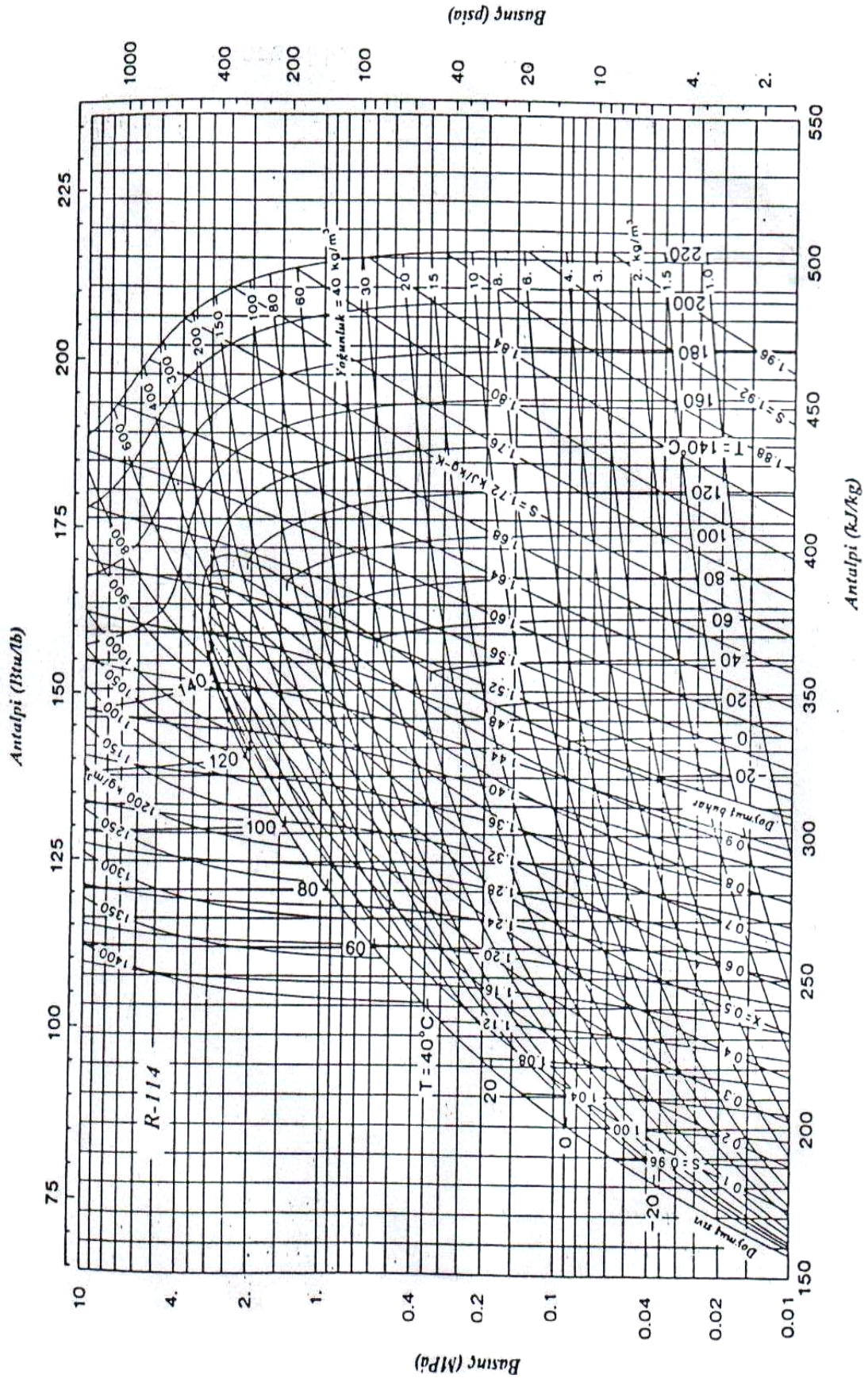
**FREON GAZLARININ BASIÇ-ENTALPİ DEĞİŞİM DİYAGRAMLARI**



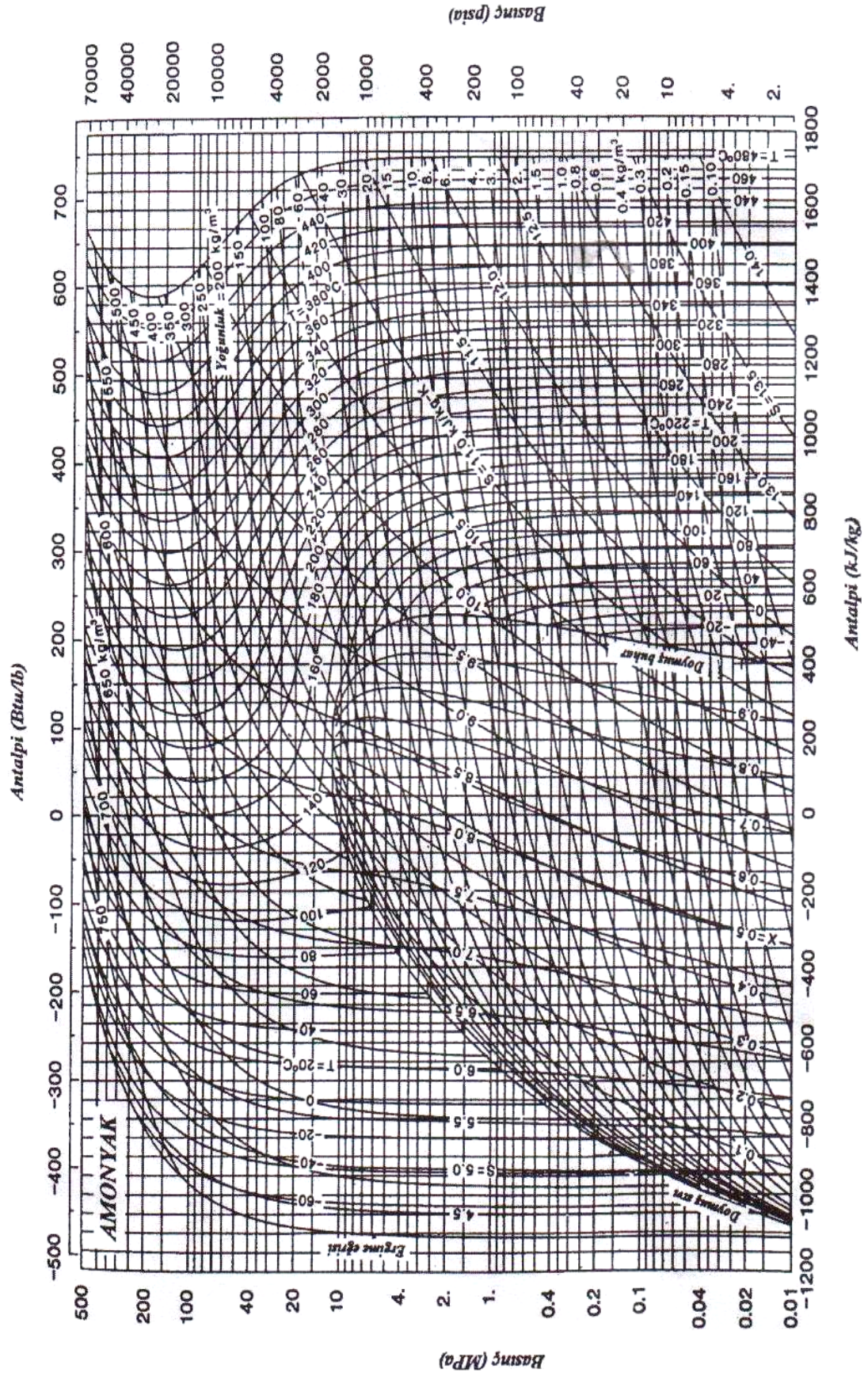
Şekil A.1 R-12 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı.



Şekil A.2. R-134a gazının basınç-entalpi değişim diyagramı [48]



Şekil A.3 R-114 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı.



Şekil A.4 R-717 soğutucu akışkanının basınç-entalpi diyagramı.