

29760

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT PASTÖRİZASYON İŞLEMLERİNDE ISI POMPASI KULLANIMI

Yusuf Ali KARA

Erzurum - 1993

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT PASTÖRİZASYON İŞLEMLERİNDE ISI POMPASI KULLANIMI

Yusuf Ali KARA

Yönetici : Yrd.Doç.Dr. Bedri YÜKSEL

Yüksek Lisans Tezi.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

## ÖZET

Peynire işlenecek sütü pastörize etmek amacıyla mekanik buhar sıkıştırma çevrimiyle çalışan ve kompresörü elektrikle tahrik edilen bir ısı pompası deney düzeneği kurulmuştur. Peynire işlenecek süt, hem ısı pompası sisteminde hemde klasik çift-cıdarlı kazan sisteminde pastörize edilerek her iki sistemin enerji istekleri belirlenmiş ve pastörize edilen sütlerin kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak ısı pompası sistemlerinin konvansiyonel pastörizasyon sistemlerine göre daha verimli olduğu ve ısı pompasında pastörize edilen sütün mikrobiyolojik ve kimyasal özelliklerinin Gıda Maddeleri Tüzüğü'ne uygun olduğu anlaşılmıştır.

**SUMMARY**

A heat pump set operating according to mechanical vapor compression cycle was designed to pasteurize milk to be used for cheese and a compressor in this system was derived by electrical power. Milk to be used for cheese was pasteurized both by the classical pasteurization system and by the heat pump system

Energy requirements of both systems were determined, and the chemical and microbiological analyzes of milk pasteurized in both of systems was accomplished and compared. Results of analyzes show that heat pump system is more efficient than convansional pasteurization system. It was seen that chemical and microbiological properties of milk pasteurized by heat pump are sufficient to Turkish Food Substances Standard.

**TEŞEKKÜR**

Bu araştırmanın yapılmasında her türlü yardım ve desteğini gördüğüm saygıdeğer hocam ve Makina Mühendisliği Bölümü Başkanı Yrd.Doç.Dr. Bedri YÖKSEL'e, araştırmanın yapılması sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd.Doç.Dr. Ömer COMAKLI'ya, araştırmanın yapıldığı Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü elamanlarına, kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerde yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Abdullah CAĞLAR'a teşekkür ederim. Ayrıca araştırmayı maddi yönden destekleyen Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu yetkililerine, yazım esnasında tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmalarım sırasında çeşitli yardımlarını gördüğüm diğer hoca ve arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Erzurum, 1993

Yusuf Ali KARA

## IÇİNDEKİLER

	<u>sayfa</u>
ÖZET .....	i
SUMMARY .....	ii
TESEKKOR .....	iii
SEMBOLLER.....	v
1. GİRİŞ .....	1
2. ISI POMPALARININ TERMODİNAMIGI .....	15
3. SÜT PASTÖRİZASYON YÖNTEMLERİ .....	23
4. DENEY DÜZENEGİ .....	27
4.1. Çift-Cidarlı Kazan Sistemi .....	27
4.2. Isı Pompası Deney Düzenegi.....	29
4.2.1. Soğutkan .....	33
4.2.2. Kondenser .....	35
4.2.3. Kompresör .....	36
4.2.4. Evaporatör .....	37
4.2.5. Ekonomizör .....	38
4.2.6. Süt pompası .....	38
4.2.7. Genisleme valfi .....	38
5. DENEYLERİN YAPILISI .....	39
5.1. Çift-Cidarlı Kazan Sistemi Deneyleri .....	39
5.2. Isı Pompası Deneyleri .....	39
6. SONUÇLAR .....	42
6.1. Çift-Cidarlı Kazan Deney Sonuçları.....	42
6.2. Isı Pompası Deney Sonuçları.....	46
7. DEĞERLENDİRME .....	66
8. ÖNERİLER.....	74
9. KAYNAKLAR .....	76

## SEMBOLLER

BEO	birincil enerji oranı
G	ağırlık (kg)
h	entalpi (kJ/kg)
I	akım (amper)
ITK	ısıtma tesir katsayısı
$\dot{m}$	kütlesel debi (kg/s)
P	güç (W)
q	birim kütle için transfer edilen ısı miktarı (kJ/kg)
Q	transfer edilen ısı miktarı (kJ)
$t_1$	ısı pompasında sütun işlenmesi için geçen süre (s)
V	gerilim (volt)
$v$	özgül hacim ( $m^3/kg$ )
$V_{depl}$	kompresör deplasman hacmi ( $m^3/s$ )
w	birim kütle için yapılan iş (kJ/kg)
W	yapılan iş

## 1. GİRİŞ

Isı pompaları termodinamik olarak soğutma makinalarıyla benzerdir. Aralarındaki temel fark kullanımda oynadıkları roldür. Soğutma makinaları 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'tan megawatt'a kadar değişmektedir. Ayrıca bu sistemlerde çok değişik tip kompresörler kullanılmaktadır[1].

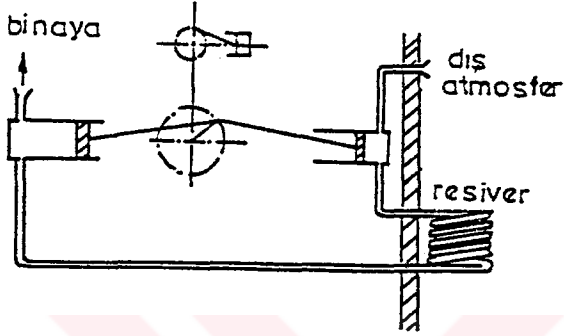
1973 enerji krizinden sonra ısı pompalarındaki gelişmeler önemli derecede artmış pratik uygulamaları yaygınlaşmıştır. Isı pompası uygulamalarıyla tasarruf edilen enerji miktarının büyüklüğü, ısı pompalarının yaygın kullanımının nedenidir. Evlerde, ticari ve resmi binalarda ve endüstriyel tesislerde çok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

Isı 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 (Şekil 1.1). 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 [1].



Sekil-1.1 :Kelvin'in ısı toplayıcısı

Bundan sonra bir çok araştırmacı konu ile ilgilenmiş, fakat ısıtma için pratik çözüm bulununcaya kadar 80 yıl geçmiştir. 1927 yılında İskocya'da çalışmalarına başlayan aynı zamanda ısı pompalarının isim babası olan Haldane bu konudaki yayını 1930 yılında yapmıştır. Haldane dış ortam havasını ısı kaynağı olarak kullandığı ısı pompasında sıcak su üretmiştir [2].

Avrupa'da ilk ısı pompası 1938-1939 yıllarında Zürih'de kurulmuştur. 175 kW çıkış gücüne sahip sistemde dönel (rotary) kompresör, ısı kaynağı olarak nehir suyu ve soğutkan olarak R-12 kullanılmıştır. Enerji isteginin (gereksiniminin) maksimum olduğu zamanlarda kullanılan, elektrikli direkt-ısıtmalı bir ısı deposuna sahip olan ve 60°C'de sıcak su üreten ısı pompası yaz aylarında da soğutma yapacak şekilde tasarlanmıştır [3].

İngiltere'de Norwich'de yapılan ilk ısı pompası, bu teknik kullanılarak büyük binaların başarıyla ısıtılabileceğini göstermiştir. Isı pompası 14200 m<sup>3</sup> hacmindeki bir binayı

ısıtmak için kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak nehir, soğutkan olarak sülfürdioksit kullanılan sistemde 49 °C de sıcak su üretilmiştir. Sistemin Isıtma Tesir Katsayısı (ITK) ise 3 tür [4].

İngiltere'de ikinci ısı pompası Londra'da Royal Festival Hall'de kurulmuştur. 2.7 MW ısıtma gücüne (ki 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 [5-6].

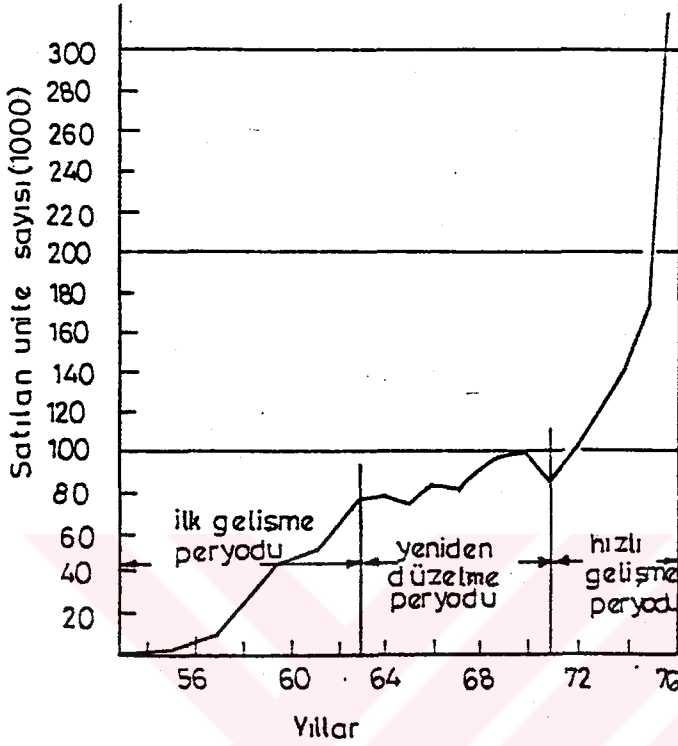
Oxford'da Nuffield kolejinde kurulan ısı pompasında ise ısı kaynağı olarak sıcaklığı 16-24 °C arasında değişen lagım suyu kullanılmıştır. Kompresör 31 kW dizel motorla tahrik edilmiştir. Dizel motordan egzoz ve soğutma suyu ile atılan ısının bir atık ısı kazanı ve bir ısı esanjörü kullanılarak geri kazanıldığı 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. Sayet 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 [7].

İlk paket tip ısı pompası 1932 de Amerika'da yapılmıştır ve bundan sonraki gelişmelerde bu doğrultuda olmuştur. Bu sistemler daha çok Amerika'nın kuzey bölgelerinde kullanılmıştır. Bununla birlikte bu ısı pompalarının güç kış şartlarına sahip kuzey bölgelerdeki uygulamalarında bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. Özellikle sistemin dayanıklılığı bakımından ciddi sorunlar ortaya çıkmış ve bu yüzden paket tip ısı pompalarına karşı güvensizlik oluşmuştur. Bu da 1960 lı yılların başlarında satışların gerilemesine neden olmuştur (bkz. Şekil-1.2) ve 1971'e kadar satışlarda hızlanma olmamıştır. 1960'larda elektrik fiyatlarının düşmesiyle elektrikli-direkt ısıtmaya olan ilgi artmıştır. Bu durum ısı pompası ile ilgilenen mühendis ve imalatçıları güvenilirlik konusunda ciddi çalışmalar yapmaya sevketmiştir. 1973 enerji kriziyle ısı pompasına olan ilgi artmış ve 1976 yılında satış miktarı 300.000 üniteye ulaşmıştır [8].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) adına yapılan bir çalışmaya göre 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 [9].

Günümüzde endüstriyel, ticari ve evsel uygulamalarıyla ısı pompalarına olan ilgi Avrupa, Amerika ve Japonya'da hızla artmaktadır. Uluslararası Enerji Acentası, The European Comission gibi uluslararası organizasyonlar çok büyük ısı pompası programları ve ısı pompası teknolojileri geliştirmekte ve mevcut ısı pompası teknolojisini yeni uygulama alanlarında kullanımını yürütmektedirler [1]



Sekil-1.2 1954-1976 yılları arasında Amerika'da üretilen paket tip ısı pompaları

Isı pompalarının uygulama alanlarını genel olarak iki başlık altında toplanabilir. Birincisi evlerde, ticari binalarda ve resmi binalarda (hastane vb.) ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. İkincisi ise endüstriyel uygulamalardır. 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 [10].

İsvec'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 [11].

12700 m<sup>2</sup>'lik buz pateni ve hokey sahasına sahip Ruddalen Spor Stadyumu'nda önceleri tabana yerleştirilmiş amonyak tüpleri ile direkt olarak soğutulmakta olan buz sahaları, emniyetli olması açısından değişiklik yapılarak salamura sirkülasyonu ile soğutulmuştur. 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 [11].

Isı pompaları jeotermal enerji alanında uygulanabilir. Jeotermal kuyularda suyun sıcaklığı derinliğe göre değişmektedir. Yani daha sıcak su için genellikle daha derin kuyu gerekmektedir. Jeotermal kuyulardaki sıcaklık gradyanı;

$$t = 13.6 + 3.5 (h - 32)/100 \quad (^\circ\text{C})$$

bağıntısıyla ifade edilir. Fakat derine inildikçe kuyu maliyeti artar. Bu nedenle düşük sıcaklıktaki jeotermal enerji ısı pompası kullanılarak daha yüksek sıcaklıklara taşınabilir. Bu amaçla Çin'in büyük jeotermal rezervlere sahip Beijing-Tianjin bölgesinde bir çalışma yapılmıştır. Düşük sıcaklıktaki jeotermal enerji ısı pompası vasıtasıyla bir merkezi ısıtma sisteminin ısı isteğinin karşılanmasında kullanılmıştır. Kurulan ısı pompasının ilk yatırım maliyeti aynı kapasitedeki jeotermal kuyunun 1/3'ü kadar olduğu belirtilmektedir. Sistemin performans katsayısı 3 civarında gerçekleşmiştir. Fakat Çin'de elektrik fiyatlarının yakıt göre yüksek olduğu ifade edilmektedir. Elektrik fiyatının (kJ başına) yakıt fiyatına oranı Çinde 8.3-16.6 (1980) iken Amerika'da 2.44-3.28 olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle elektrik tahrikli ısı pompasının işletim maliyetinin göreceli olarak daha pahalı olduğu beyan edilmektedir [12].

Skoyen Vest, Oslo'da Şehir Enerji Şirketi tarafından merkezi ısıtma sistemine ısı sağlayacak 8 MW gücünde bir ısı pompası dizayn edilmiştir. 4 ısı pompası, aşırı ısı isteği için 3 elektrikli kazandan meydana gelen sistem, toplam 2500 dairenin ısı isteğini karşılamaktadır. Isı kaynağı olarak Oslo lagım suyunun kullanıldığı ısı pompasında performans katsayısının 3.6-3.9 arasında olduğu ve ısı üretiminin tatminkar olduğu belirtilmektedir [13].

İsveç'te yapılan bir çalışmada 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°C sıcaklıktaki atık su kullanılmıştır. Kondenserde 72°C su elde edilen sistemin performans katsayısı 2.9, amortismanı ise 3.5 yıl olarak bulunmuştur [14].

Stocholm'de Lidingo'deki bir merkezi ısıtma sisteminde deniz suyunun ısı kaynağı olarak kullanıldığı 11 MW ve 3 MW kapasiteli iki ısı pompası kullanılmıştır. Yardımcı ısıtma sistemi olarak 3 adet fuel-oilli, 2 adet elektrikli kazan kullanılmıştır. Her iki ısı pompasının performans katsayısı 2.6-2.8 arasında olmuştur. Yapılan ekonomik analizde yıllık yakıt tasarrufu her iki ısı pompası için toplam 13.79 milyon İsveç Kronu (1983) olmuştur [15].

Finlandiya'da yapılan bir başka çalışmada Salmisaari-B güç ünitesindeki atık ısıyı değerlendirmek için sisteme bir ısı pompası entegre edilmiştir. Kondenserde merkezi ısıtma sistemi için sıcak su üretilmiştir. Isı pompasının 28/76 °C sıcaklıklarındaki performans katsayısı 4.8 olarak bulunmuştur [16].

Isı pompalarının endüstrideki uygulama alanlarını genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

- 1- Soğutma sistemlerinden atılan ısının geri kazanımı
- 2- Kurutma, buharlaştırma ve kaynatma prosesleri
- 3- Sıvı atıklardan 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 (veya su) 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'da salamura soğutan 750 kW gücünde bir soğutma sisteminden atılan ısı bir ısı pompasında 18 °C' daki suyu 72 °C' a ısıtmada kullanılmıştır [17].

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 [18].

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 [19].

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 soğutmali boru/zarf tipi kondenser monte edilmiştir. Bu kondenserde ısınan suyu son çalışma sıcaklığına getirmek için gerekli olan ilave ısı bir kazan sistemiyle sağlanmıştır. Tablo 1.1 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 [1].

Isı pompaları plastik endüstrisinde enjeksiyon makinalarından soğutma suyu ile atılan ısıyı geri kazanmak amacıyla kullanılmaktadır. Geri kazanılan bu ısı ile fabrikanın ısıtma ihtiyacı karşılanabilir. İngiltere'de 51 fabrikada yapılan bu uygulamayla yıllık £15000 (1976) enerji tasarrufu sağlanmıştır. Burada soğutma kulesinin yerini alan ısı pompası, enjeksiyon makinasından 11 °C'da,



1140 l/dk. debi ile ayrılan soğutma suyunun sıcaklığını, 7.2 °C'a düşürürken, havalı (finned-coil) tip kondenserle fabrikanın ısınma ihtiyacını karşılamaktadır.

Tablo-1.1 Atkins Soğutma sisteminin işletim maliyeti

	eski sistem	Isı geri kazanımlı sistem
Yoğuşma sıcaklığı(°C)	35	35
Elektrik tüketimi	50000	46900
Geri kazanılan ısı	0	-55200
Su tüketimi	5000	750
Bakım	7500	1300
Toplam (£/yıl)	62500	-6250

not: Maliyetler sterlin olarak verilmiştir.

3160 m<sup>2</sup> alana sahip fabrikayı ısıtmada gaz veya fuel-oil'e ihtiyaç duyulmadığı için yakıt tüketiminde önemli bir tasarruf sağlanmıştır. Makinalar çalıştığı zaman proseten kazanılan ısı 325 kW'dır (buna kompresör ünitesinden sağlanan ısı da dahildir.) ve bununla en soğuk hava koşullarında dahi uygun bir ısıtma sağlanabilmektedir. Isı pompasıyla çevrim zamanı % 5 azaltılmış, buna karşılık verimlilik artmıştır [20].

Bir başka plastik üretim fabrikasında enjeksiyon makinalarının 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 [21].

Bir mezbanhane de 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 [21].

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 dir. Sistemde vakum pompalarından çıkan su ısı pompasının evaporatöründe soğutulmuş, hava-soğutmalı kondenserde ise fabrikaya giren hava ön ısıtılmıştır. Pompaların soğutma suyu evaporatörde soğutulmuş olarak tekrar kullanıldığı için sudan önemli derecede tasarruf sağlanmıştır. Bu uygulama ile sağlanan tasarruflar aşağıda verilmiştir [22].

Kuyu suyu tüketimindeki

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

Isı pompalarının bir başka uygulama alanı kurutma işlemleridir. Isı pompaları, kurutma alanında ilk kez 1943

<sup>1</sup> 1£ = 60 BF (1987)

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'da 0.28 kWh/kg, 54°C'da 0.27 kWh/kg olduğu anlaşılmıştır [23].

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 [24].

Isı pompalarının tekstil sanayindeki 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 da çalışan bir ısı pompası kullanılmaya başlanmıştır. Yün iplikler boyama işleminden sonra kurutulmuştur. Kurutma zamanının uzun olması (5.25 saat) darboğazlara neden olmakta ve bunu aşmak 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 [1].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) 'na üye 8 ülkede 1988'de 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 [25].

Norveç'te Ocak 1990 itibarıyla 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 sanayinde kurulmuştur [25].

Isı pompalarının endüstriyel uygulamaları ile ilgili örnekler çoğaltılabilir. Destilasyon sistemlerinde, buharlaştırma ve kaynatma sistemlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır.

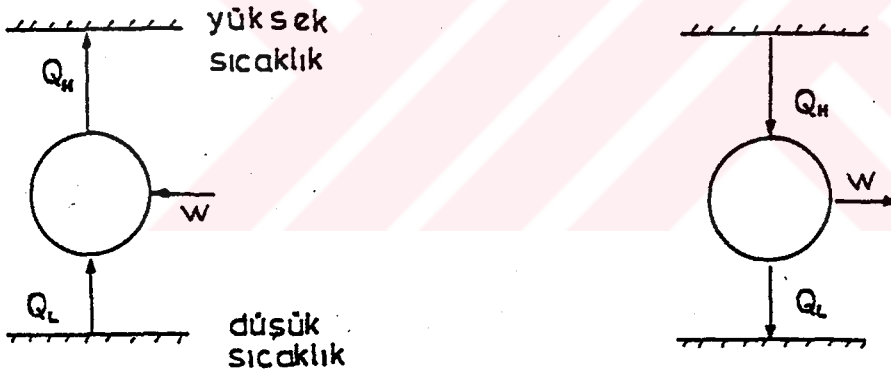
Pastörizasyon; sütün pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılıp ürün işleme sıcaklığına kadar soğutulması işlemidir. Yani proste hem ısıtma hemde soğutma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompası sisteminde evaporatörden düşük sıcaklıkta ısı çekilirken kondenserden yüksek sıcaklıkta ısı atılmaktadır. Bir başka ifade ile soğutma ve ısıtma işlemleri aynı anda yapılmaktadır. Bu bakımdan ısı pompaları süt pastörizasyon işleminde kullanılabilir. Isı pompasının kondenserinde pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılan süt, evaporatörde mayalanma sıcaklığına kadar soğutulmuş pastörize edilebilir. Mekanik buhar sıkıştırma çevrimiyle çalışan bir ısı pompasının diğer ısıtma

sistemlerine göre daha verimli olduğu göz önünde tutularak, sût pastörizasyon işleminde ısı pompası kullanmanın klasik sistemlere göre daha avantajlı olacağı söylenebilir. Bu amaçla bir proje hazırlanmış ve proje için Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü Arastırma Fonundan maddi destek sağlanmıştır. Projenin ana amacı sût pastörizasyon işlemlerinde ısı pompasının kullanılabilirliğini arastırmak, böyle bir uygulamanın avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır. Bu çalışmada projenin ilk aşaması olarak peynire işlenecek sütün ısı pompası kullanılarak pastörizasyonu ele alınmıştır. Peynire işlenecek sût, bilinen çift-cidarlı kazanda ve imalatı yapılan ısı pompasında pastörize edilerek her iki sistemin enerji istekleri tespit edilmiş, her iki sistemde pastörize edilen sütlerin kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri belirlenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistemin seyyar olarak mandıralarda kullanılabilirliğine açıklık kazandırılmaya çalışılmıştır.

## 2. ISI POMPALARININ TERMODİNAMIĞI

Isı pompası, daha düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı alarak daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama veren sistemdir [26]. Isı pompaları soğutma makinalarıyla benzer termodinamik çevrime göre çalışır. Bütün soğutma makinaları aynı zamanda birer ısı pompasıdır denilebilir [27].

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 gerekir (Sekil 2.1).



a) ısı pompası

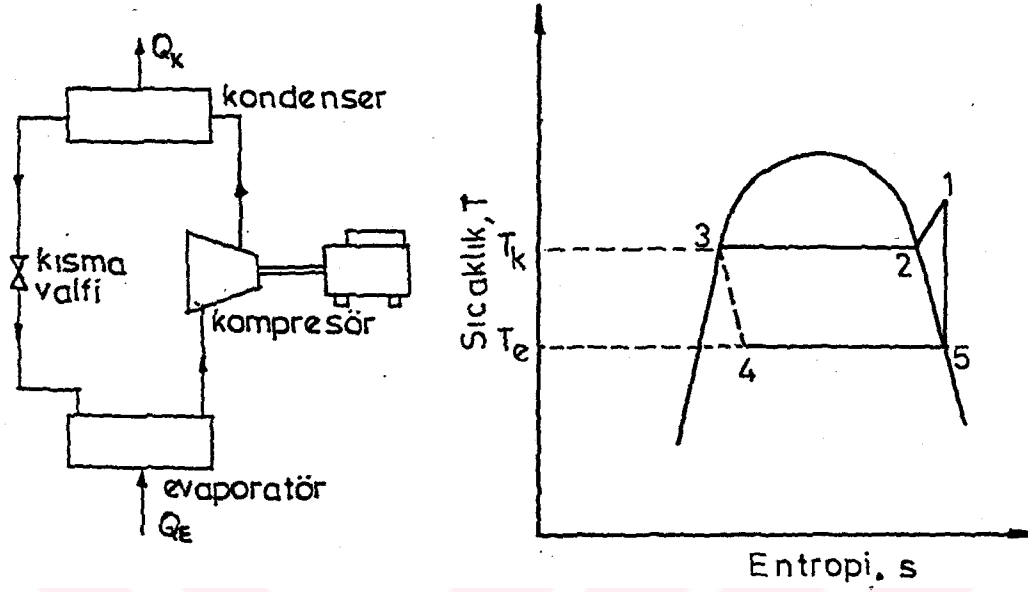
b) ısı makinası

Sekil 2.1

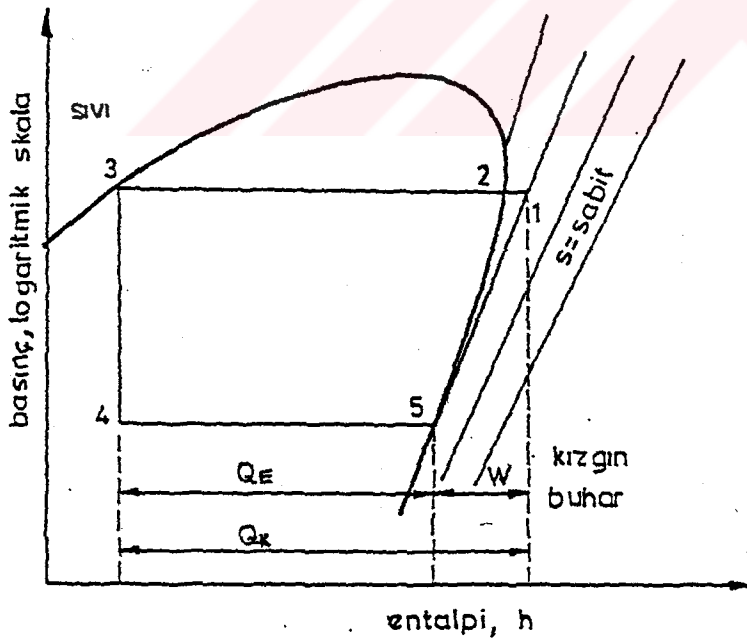
Isı pompaları çalıştıkları termodinamik çevrime göre değişiklik gösterirler. Bu çalışmada mekanik buhar sıkıştırma çevrimiyle çalışan ısı pompaları üzerinde duracağız. Sekil 2.2'de T-s diyagramında ideal buhar sıkıştırmalı ısı pompası çevrimi görülmektedir. Çevrimde uygun sıcaklık ve basınçlarda faz değiştirebilen bir çalışma akışkanı kullanılır. Isı pompası (veya soğutma) çevrimlerinde bu çalışma akışkanı "soğutkan" (refrigeran)

olarak isimlendirilir. Çevrimde soğutkan 5-1 arasında izentropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi bir kompresörde mekanik olarak gerçekleştirilir. Soğutkan kompresöre 5 noktasında doymuş buhar olarak girer. Kompresörden kızgın buhar olarak çıkan (1 noktası) soğutkan bir kondenserde (yoğusturucu) önce 2 noktasına kadar sabit basınçta olarak soğur sonra 3 noktasına kadar sabit sıcaklıkta yoğunur. Kondenserde yoğunan soğutkan, 3-4 arasında bir kısma valfinde adyabatik olarak genişler. Genişleme prosesi tersinmezdir. Bu nedenle T-s diyagramında kesik çizgilerle gösterilmiştir. Genişleme prosesi soğutkan yüksek basınçtan alçak basınca geçerken ısı alış-verişinde bulunmadığı için adyabatik olarak kabul edilir. Genişleyerek basıncı ve sıcaklığı düşen soğutkan 4-5 arasında çevreden ısı alarak buharlaşır. Buharlaşma işlemi bir evaporatör içerisinde sabit sıcaklıkta meydana gelir. Genişleme işleminin iki fazlı bölgede sona erdiğine dikkat edilmelidir. Yani 4 noktasında soğutkanın bir kısmı buhar bir kısmı sıvıdır. Bu nedenle soğutkanın belli bir kısmı (bazen % 50'si) 4-5 işlemi için kullanışsızdır. Çünkü evaporatöre buhar olarak giren soğutkan soğutma etkisi yapmadan evaporatörü terkeder.

Basit ve kullanışlı olduğu için mekanik buhar sıkıştırma çevrimini basınç-entalpi (P-h) diyagramında göstermek gelenek haline gelmiştir. Böyle bir diyagram Şekil 2.3'de görülmektedir. T-s diyagramı yerine P-h diyagramı kullanmanın bazı avantajları vardır. Birincisi, çevrimi analiz etmek için kompresöre giriş ve çıkışta akışkanın durumunun bilinmesi gerekir. Bu durum P-h diyagramında açıkça görülebilir. İkinci avantajı ise yatay eksen entalpidir ve kondenserden atılan ısı ( $Q_K$ ), evaporatörün çektiği ısı ( $Q_E$ ) ile kompresör işi (W)'yı bu eksenden direkt olarak ölçmek mümkündür. Ayrıca  $Q_K = Q_E + W$  olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.2 İdeal buhar sıkıştırmalı ısı pompası çevrimi



Şekil 2.3 Basınç-entalpi diyagramında ideal buhar sıkıştırma çevrimi



Bir buhar sıkıstırmalı ısı pompası çevriminde kondenserden atılan faydalı ısının, kompresörde harcanan işe oranına Isıtma Tesir Katsayısı denir ve ITK ile gösterilir [1].

$$ITK = \frac{\text{kondenserde sağlanan faydalı ısı}}{\text{Kompresörde tüketilen net iş}}$$

ITK'nın büyük olması için  $Q_k$  değerinin büyük ve sıkıstırma işi  $W$ 'nün değerinin küçük olması gerekmektedir.

Isı pompalarında kompresör tahriki için hangi enerji türünün kullanılmasının daha ekonomik olduğunu belirlemede Birincil Enerji Oranı (BEO) kavramı kullanılır. BEO hem ITK'nı hemde kompresör tahrikinde kullanılan birincil enerjinin işe dönüşüm verimini içine alır. BEO aşağıdaki gibi tarif edilir [1];

$$\text{Birincil Enerji Oranı} = \frac{\text{Kondenserde sağlanan faydalı ısı}}{\text{Tüketilen birincil enerji miktarı}}$$

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

$$BEO = \eta_t \text{ ITK}$$

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

Sekil 2.3' deki LogP-h diyagramı esas alınarak çevrimin termodinamik analizi yapılırsa:

Sistemde kondenserden atılan ısı;

$$Q_k = m_{\text{soğ}} (h_1 - h_3)$$

evaporatörde çevreden absorblanan ısı;

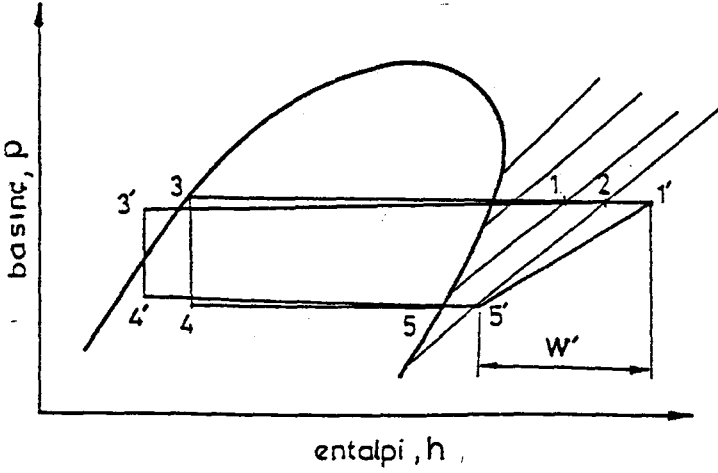
$$Q_E = m_{soğ} (h_5 - h_4)$$

Kompresörün çektiği enerji ;

$$W_{komp} = m_{soğ} (h_1 - h_5)$$

formülleriyle hesaplanabilir. Formüllerdeki entalpi değerleri ise ilgili soğutkanın logP-h diyagramından okunabilir.

Gerçek buhar sıkıştırma çevrimi ideal çevrimden bazı farklılıklar gösterir. Çevrimin oluşturulmasındaki mekanik sınırlamalar nedeniyle özellikle pistonlu kompresörlerde kuru buhar sıkıştırılır. Aksi durumda silindir içerisine sıvı halde soğutucu akışkanın girmesi durumunda valfler ve kompresör zarar görmektedir. Bu sorunu önlemek için kompresöre girmeden önce soğutkana bir miktar aşırı kızdırma uygulanır. Bu nedenle Şekil 2.4' de görüldüğü gibi soğutkan kompresöre 5 noktası yerine 5' noktasında girer. Aşırı kızdırma kompresöre sıvı partikül girmesi ihtimaline karşı bir emniyet tedbiridir. Aşırı kızdırmanın birinci dezavantajı 5' noktasında soğutkanın özgül hacmi daha büyük olması ve bu nedenle aynı kütle debisi için daha büyük bir kompresöre gerek duyulmasıdır. Bu ise yatırım ve işletme maliyetlerini yükseltmektedir. İkinci dezavantajı ise kompresör çıkış sıcaklığını yükseltecektir. Bu da kompresör valflerine zarar verebilmektedir. Kompresör ve soğutkan arasındaki ısı transferi ve tersinmez durum değişmesi nedeniyle kompresör çıkışı 1' noktasındadır. İdeal çevrimde kompresör işi  $W$  iken gerçek



Sekil 2.4 Gerçek buhar sıkıştırma çevrimi

çevrimde  $W'$  olur. İzentropik verim  $W/W'$  oranından bulunur. Pistonlu kompresörlerde izentropik verim % 70 dir [1]. Kompresörler için iki verim daha tarif edilir. Bunlardan mekanik verim şaft işinin hangi oranda soğutkana aktarıldığını gösterir [1].

$$\text{Mekanik verim} = \frac{\text{Entalpi artışı} \times \text{kütle debisi}}{\text{Kompresör giriş gücü}}$$

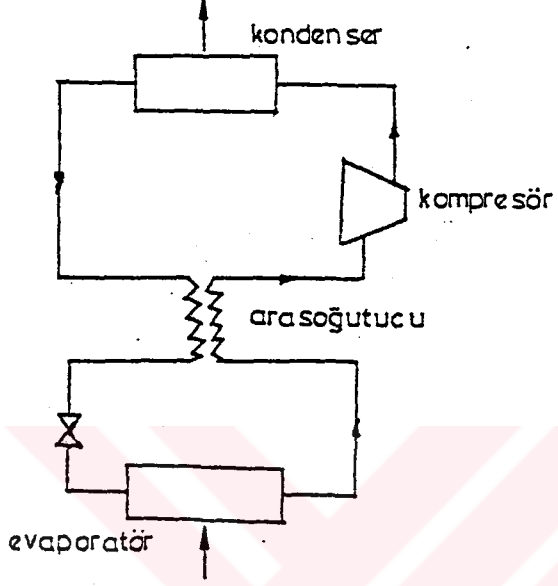
Buradaki entalpi artışı soğutkanın kompresör giriş ve çıkışındaki entalpileri arasındaki farktır. Mekanik verim 0.95 alınabilir [1]. Mekanik verim izentropik verim kadar önemlidir ve bu iki verim sistemin ITK'na etki eder. Volümetrik verim ise çevrimin toplam ITK'na tesir etmez. Fakat kompresör büyüklüğünü belirlediği için ilk yatırım maliyetine etki eder. Volümetrik verim de genel olarak % 95 alınabilir [1].

$$\text{Volümetrik verim} = \frac{\text{Kütle debisi} \times \text{emme özgül hacmi}}{\text{Pistonun birim zamanda taradığı hacim}}$$

Cevrimde kompresördeki kayıpların dışında verimi düşüren diğer etkenlerde vardır. Soğutkan esanjörlerden geçerken bir miktar basınç kaybı meydana gelir. Basınç kaybı nedeniyle Sekil 2.4'de görüldüğü gibi esanjörün izoterm performansında sapmalar olur. Bu etki hem evaporatörde hem kondenserde meydana gelir.

İdeal çevrimden bir başka sapma da aşırı soğutmadır. İdeal çevrimde kısma işlemi doymuş sıvı hattından başlar (3 noktası). Kondensör ve kısma valfi arasındaki borularda oluşan basınç kaybı buhar teşekkülüne sebep olur. Bu da valfin performansını düşürür. Bundan dolayı aşırı soğutma (subcooling) arzu edilir. (3' noktası) Aşırı soğutma aynı zamanda evaporatör girişinde buhar miktarını da azaltır. Bununla beraber aşırı soğutmayı sağlamak için düşük sıcaklıkta uygun bir kaynağa ihtiyaç vardır. Kondensör soğutma suyu (veya hava) ile bu işlem yapılamaz. Çünkü ısı pompasında amaç bu akışkanın mümkün olduğunca sıcak tutulmasıdır.

Evaporatör çıkışında aşırı kızdırma yapılmasının uygun bir çözüm olduğu daha önce açıklanmıştı. Aşırı soğutma süresince daha yüksek sıcaklıktaki yoğunlaşmış soğutkandan çekilen ısı sisteme bir arasoğutucu (ısı esanjörü) dahil edilerek daha düşük sıcaklıktaki emis buharını aşırı kızdırmada kullanılabilir (Sekil-2.5). Böylece kondenser çıkışında aşırı soğutma ve evaporatör girişinde aşırı kızdırma sağlanabilir. Arasoğutucuda atık ısı geri kazanıldığı için İTK artar.



Sekil 2.5 Arasogutuculu buhar sıkıştırma çevrimi

### 3. SÜT PASTÖRİZASYON YÖNTEMLERİ

Sütün özgül ağırlığı kimyasal yapısına bağlıdır. Örneğin yağ miktarının yüksek olması sütün özgül ağırlığını düşürürken, yüksek orandaki proteinler, süt şekeri ve tuzlar özgül ağırlığı yükseltir. Sütün özgül ağırlığı süt hayvanına göre de değişir. Sütün donma noktası içerdiği laktoz ve tuz miktarıyla belirlenir ve 0.54-0.56°C arasında değişir. Damıtık suyun 100 °C da kaynadığı yerde sütün kaynama noktası 100.16 °C dır. % 4.3 yağlı sütün ısı kapasitesi 0°C'da 3.84 , 15°C' da 3.92, 60°C' da 3.84 kJ/kg°C olarak verilmektedir. Sütün fiziksel özellikleri tablo 3.1'de verilmiştir [28,29].

Tablo 3.1 Sütün fiziksel özellikleri [28]

Özellikler	Degerler
Özgül ağırlık	1.032 (g/cm <sup>3</sup> )
Donma noktası	0.54 (°C)
Kaynama noktası	100.16 (°C)
Isıl kapasite	3.84 (kJ/kg°C)
Elektrik iletkenliği	50.10 ohm/cm

Pastörizasyon, sütün içindeki hastalık yapan (patojen) mikroorganizmayı tamamen yok etmek, sütün dayanma süresini kısaltan diğer termofilik mikroorganizmaların ise büyük bir çoğunluğunu ortadan kaldırmak için uygulanan kontrollü ısı işlemidir [28]. Bu amaçla çiğ süt kaynama sıcaklığının altında ölçülü bir sıcaklıkta belli bir süre bekletilir [29]. Çiğ sütün ısıtılmasında uygulanan sıcaklığın şiddet

ve sürekliliğine göre pastörizasyon ikiye ayrılır. (1) Alçak derecede pastörizasyon. (2) Yüksek derecede pastörizasyon.

Alçak derecede pastörizasyon, çiğ sütün çift cidarlı kazanda 63-66 °C'a kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta en az 30 dakika süreyle bekletilmesiyle yapılır [29]. Sütün ısıtıldığı kazanlar genellikle paslanmaz çelikten imal edilmiş olup çift-cidarlı ve silindirik şekilde yapılırlar. Bu tip kazanlarda süt, kazan cidarları arasından dolandırılan 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 içerisinden sıcak su veya buharın aktığı helezon borularla yapılır. Helezon boru kümesine hareket verilerek aynı zamanda karıştırma işlemi de yapılır. Isınması tamamlanan süt belli bir süre bekletildikten sonra soğutulur. Soğutma işlemi genellikle kazan sisteminin içerisinden soğuk su dolandırılmak suretiyle yapılır.

Yüksek derecede pastörizasyon, sütün daha yüksek sıcaklıklarda kısa süre bekletilmesiyle yapılır [29]. Bu yöntemde süt, genellikle bir yüzeyleri sıcak su veya buharla ısıtılmış ince ve geniş yüzlü plakalar arasından zar gibi ince akıtılarak hızla 72 °C'a kadar ısıtılmakta ve bu sıcaklıkta 15-40 saniye bekletildikten sonra yine plakalı soğutucularda soğutulmaktadır.

Şekil 3.1 'de yüksek derecede pastörizasyon yapan bir sistem sematik olarak görülmektedir. Sistemde sütün sirkülasyonu samandıralı pompa ile yapılmaktadır. 3 nolu süt/buhar devreli plakalı tip ısı eşanjöründe süt, pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtılır. 4 nolu su/süt devreli eşanjörde süt, son işlem sıcaklığına kadar soğuk su ile soğutulur. 1 ve 2 nolu eşanjörlerde ise çiğ süt 3 nolu

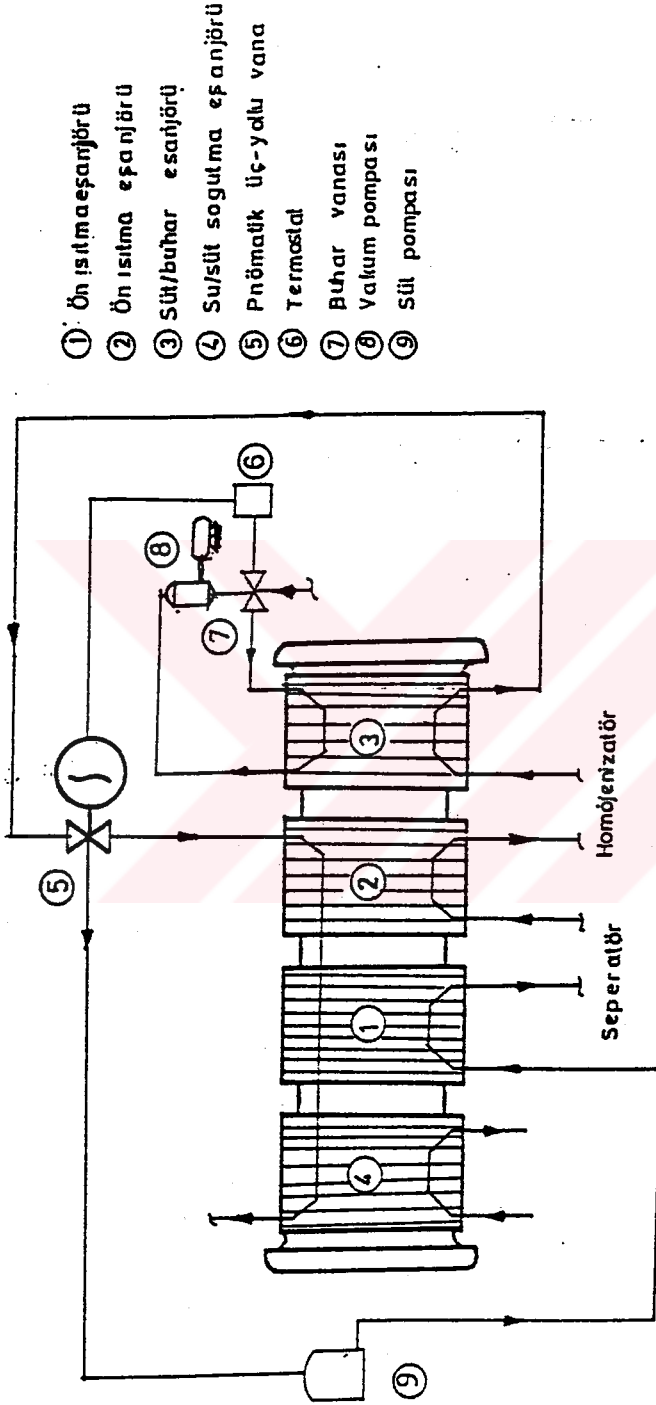
eşanjörden gelen sıcak sütle ısıtılır. Böylece enerji harcanmadan çiğ süt için ön ısıtma, sıcak süt için de ön soğutma yapılmış olur. Pastörizasyon sıcaklığı, üç- yollu vana (5) ile vakumlu buhar vanasına (7) kumanda eden otomatik kontrollü bir termostatla (6) belirli sıcaklıklar arasında tuttur. 3 nolu eşanjörü terkeden sütün sıcaklığı termostatın set edildiği pastörizasyon sıcaklığından küçükse süt pompaya, eşitse 2 nolu eşanjöre sevk edilir. Sütün sıcaklığı pastörizasyon sıcaklığının üstüne çıktığı zaman termostat 7 nolu vanaya kumanda ederek buhar girişini kısar.

Yukarıda anlatılan her iki pastörizasyon yönteminde de sütü ısıtmak için buhar (veya sıcak su) kazanına ve soğutmada kullanılan soğuk su temini için de soğutma kulesine ihtiyaç vardır.

Pastörizasyonda uygulanan sıcaklığın şiddet ve süresi, başka bir deyimle pastörize normu, süt ürününe göre değişir. Örneğin içme sütü (pastörize süt) ile peynire işlenecek sütün, kremanın veya yoğurdun pastörize normu aynı değildir. Biz burada sadece peynire işlenecek sütün pastörize normunu inceleyeceğiz.

Peynire işlenecek süt mutlaka pastörize edilmelidir. Pastörizasyon işlemi iki şekilde yapılır. Çiğ süt ya 65 °C da 30 dakika [28-29] yada 72 °C'da 1-2 dakika (bazı kaynaklar 71 °C ve 15-20 sn. bekletmenin yeterli olduğunu belirtmektedirler) bekletilerek pastörize edilir. Daha büyük sıcaklıklarda sütün pıhtılaşma kabiliyetinin azaldığı mayalanmanın gerçekleşmediği ifade edilmektedir. Pastörize süt daha sonra mayalanma sıcaklığına kadar soğutulur. Mayalanma sıcaklığı peynir çeşidine göre 25-40 °C arasında değişir [28].





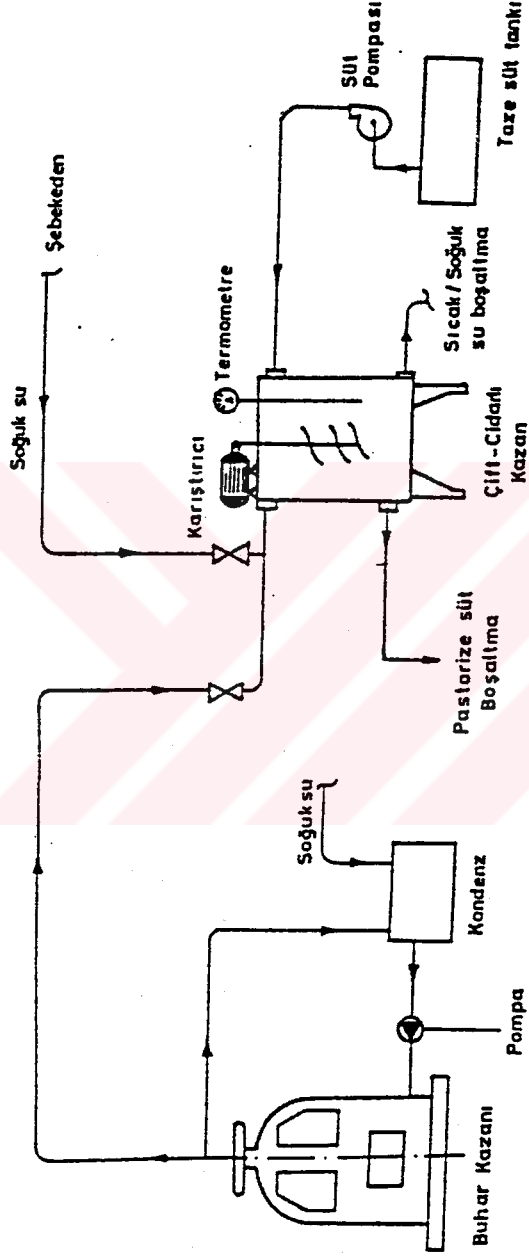
Şekil 3.1 Yüksek derecede pastörizasyon sistemi

#### 4. DENEY DÜZENEGİ

Çalışmanın amacı gereği, klasik pastörizasyon sistemi ile ısı pompası pastörizasyon sistemini karşılaştırmak amacıyla deneyler iki ayrı sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi küçük tip mandıralarda yaygın olarak kullanılan klasik çift-cidarlı kazan sistemi, ikincisi ise pastörizasyon işlemi için özel olarak imaltını yaptığımız model ısı pompası sistemidir. Aşağıda her iki sistem detaylı bir biçimde tanıtılmıştır.

##### 4.1. Çift Cidarlı Kazan Sistemi

Deneylerde, imalatı yapılan modellerle karşılaştırma yapabilme amacıyla, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Pilot Süt Fabrikası'nda bulunan çift-cidarlı kazan süt pastörizasyon sistemi kullanılmıştır. Sistem üç ana bölümden meydana gelmektedir (Şekil 4.1). Birincisi pastörizasyonun yapıldığı çift-cidarlı kazandır. Kazan paslanmaz çelikten çift cidarlı olarak imal edilmiş olup, silindirik gövdeye sahiptir ve iç hacmi 400 kg süt alabilecek kapasitededir. Sütün homojen olarak ısınması için kazan üzerine hareketli bir karıştırıcı yerleştirilmiştir. Sütün sıcaklığı kazan içerisine daldırılmış özel bir termometre ile ölçülmektedir. İkinci bölüm ise buhar kazanı ve buhar devresidir. Buhar fuel-oil (veya kömür) yakan düşük basınçlı buhar kazanında üretilir. Kazan besleme suyu atmosfere açık bir kondenz içerisinde hazırlanarak besleme pompasıyla kazana pompalanır. Kazanda üretilen düşük basınçlı buhar borularla çift cidarlı kazana gelir ve kazan cidarları arasında doluşarak sütün ısınmasını sağlar. Üçüncüsü ise soğuk su devresidir. Soğuk su, çift cidarlı kazanın cidarları arasında sirküle edilerek sütün soğuması sağlanır. Soğuk su kaynağı olarak şehir suyu kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Çift-cıdarlı kazan sistemi

#### 4.2. Isı Pompası Deney Düzenegi

Peynire işlenecek sütü pastörize etmek amacıyla buhar sıkıstırmalı çevrime göre çalışan ısı pompası deney düzeneginin projelmesi ve imalatı yapılmıştır. Kurulan model düzenek, süt devresi, gaz devresi (R-114), elektronik donanımlar ve ölçüm aygıtlarından oluşmaktadır. Sistem, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 de şematik olarak gösterilmiştir.

Sistemin çalışma prensibi:

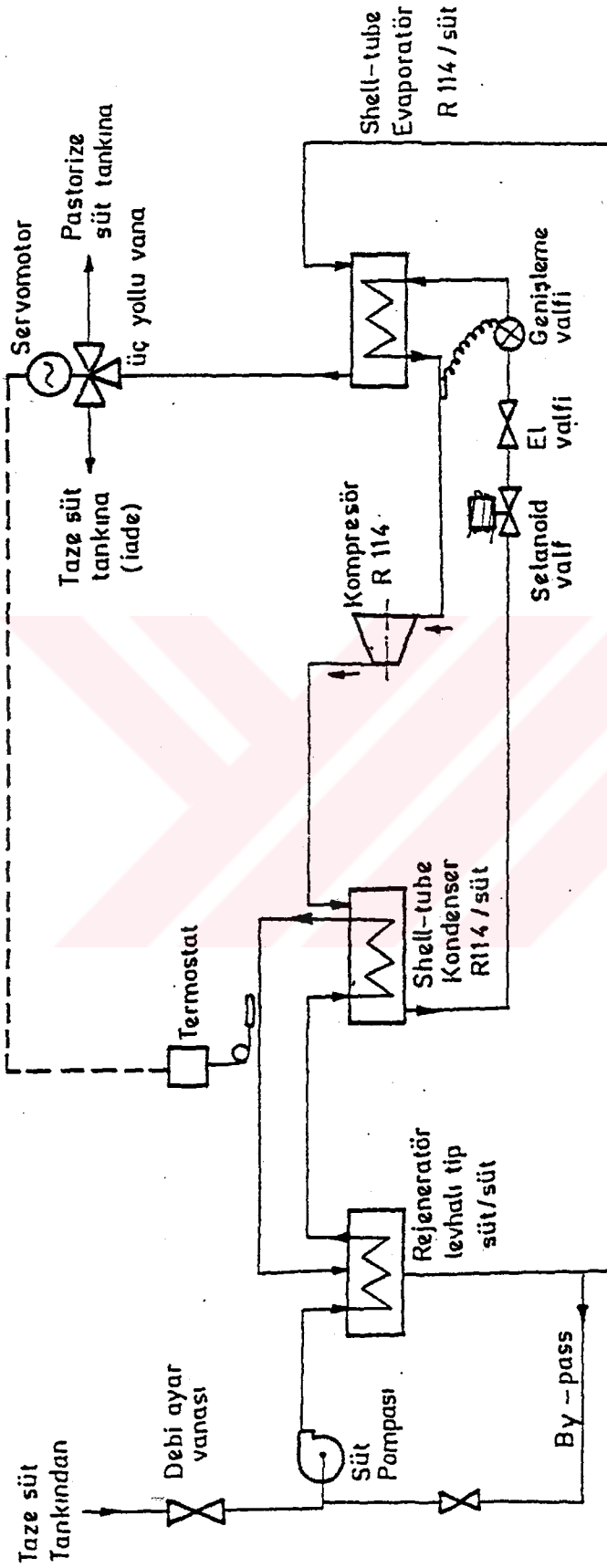
Süt sirkülasyonu sanrifüj tip pompa ile yapılmaktadır (Şekil 4.2). Pompadan çıkan süt ekonomizöre girer. Rejeneratörde kondenserden gelen süt için ön soğutma, pompadan gelen süt için ön ısıtma yapılır. Kondenserde pastörizasyon sıcaklığına kadar (69 °C) ısıtılan süt, evaporatörde mayalanma sıcaklığına (32 °C) kadar soğutulur. Pastörizasyon sıcaklığı kondenserin süt devresinde elle set edilebilen bir termostatla kontrol edilir. Bu termostat aynı zamanda üç-yollu vananın servomotoruna kumanda eder. Termostat kondenserden çıkan sütün sıcaklığını ölçer. Bu sıcaklık set edilen sıcaklıktan (pastörizasyon sıcaklığı-69 C) küçük olduğu sürece üç yollu vana sütü tekrar taze süt tankına gönderir. Kondenseri terkededen sütün sıcaklığı set değerine ulaştığı zaman üç yollu vana sütü pastörize süt tankına sevkeder. Böylece pastörizasyon sıcaklığı otomatik olarak kontrol edilerek sütün pastörize olmadan sistemi terketmesine izin verilmez.

Sistemde, termokupl çiftleriyle, süt devresinde evaporatör, kondenser ve ekonomizör giriş ve çıkışlarında, gaz devresinde kondenser ve evaporatör içerisinde sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Bu sıcaklık değerleri bir elektronik pano üzerinden digital olarak izlenebilmektedir. Ayrıca pano üzerine sistemin akış şeması çizilmiştir ve bu şekilde sıcaklıkların hangi noktadan ölçüldüğü gösterilmiştir.

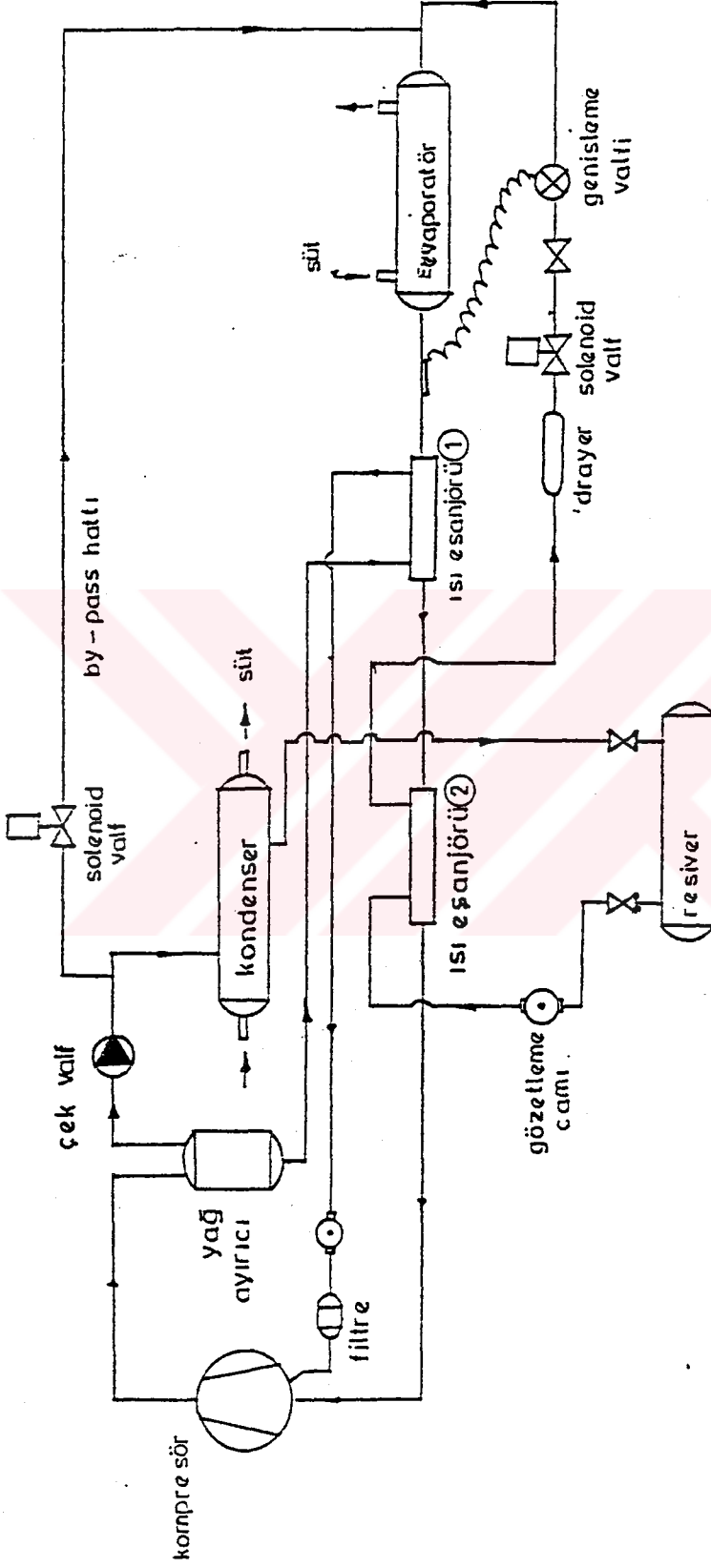
Kompresör devresinde alçak ve yüksek basınç prostatları bulunmaktadır. Bu prostatlar normal çalışma basınçlarının dışına çıkıldığında kompresörü durdurmaktadır. Böylece kompresörün zarar görmesi önlenmiştir. Bu basınçlar aynı zamanda elektronik pano üzerinde de izlenebilmektedir. Kompresör ıslak tip olduğu için gaz devresine bir yağ ayırıcı konulmuştur (Sekil-4.3). Yağ ayırıcı içerisinde R-114'den ayrılan sıcak yağ tekrar kompresörde kullanılmak üzere (1) nolu ısı eşanjöründe evaporatörden gelen düşük sıcaklıktaki R-114 gazı ile başlangıç şartlarına kadar soğutulur. Yağın sirkülasyonu kompresör tarafından yapıldığı için ayrıca bir yağ pompasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Genişleme prosesi bir termostatik genişleme valfi ile yapılmaktadır. Valf R-114 için özel olarak imal edilmiştir. (2) nolu ısı eşanjöründe kompresöre girmeden önce R-114 gazı için aşırı kızdırma yapılmaktadır. Bundan amaç gazın kompresör çıkışında kızgın buhar veya en azından doymuş buhar fazında olmasını sağlamaktır. Çünkü R-114 entropi eğrileri diğer gazlara göre biraz farklıdır. Eğer herhangi bir evaporasyon basıncında doymuş buhar eğrisi üzerinden hareketle entropi eğrileri izlenerek yüksek basınçlara çıkılırsa, kompresör çıkışının dolayısıyla kondenser girişinin ıslak buhar bölgesine düştüğü görülür. Bu da kondenserin ısı kapasitesini düşürür.

Isı pompası sistemi tam kapasite ve düşük kapasite olmak üzere iki rejimde çalışabilmektedir. Bu amaçla gaz devresinde bir by-pass devresi ve selenoid valf konmuştur. Sistemde kullanılan ekipmanların özellikleri aşağıda verilmiştir.



şekil 4.2 Isı pompası süt devresi akış şeması



Şekil 4.3 Isı pompası gaz devresi akış şeması

#### 4.2.1. Soğutkan

Bir buhar sıkıştırmalı ısı pompası çevriminde ısının bir ortamdan başka bir ortama nakledilmesinde iş yapan akışkan olarak soğutkan adı verilen maddeler kullanılır. Soğutkanlar ısı alış-verişini genellikle sıvı fazdan buhar fazına (evaporatör devresinde) ve buhar fazından sıvı fazına (kondenser devresinde) dönüşerek sağlarlar.

Buhar sıkıştırma çevriminde kullanılan soğutkanlar, genellikle Halokarbonlar, İnorganik Bileşikler, Hidrokarbonlar ve Azeotroplar olarak 4 guruba ayrılmaktadır [27].

Özellikle emniyet ve güvenilirlik yönünden iyi olan ve iyi bir ısı özelliğe sahip olan soğutkan madde için 1920'lerde yapılan araştırmalar Fluokarbon (Florine edilmiş hidrokarbonlar) soğutkanların bulunmasını sağlamıştır. Halokarbon ailesinden olan fluokarbonlar, Metan ( $CH_4$ ) veya Etan ( $C_2H_6$ ) içerisindeki hidrojen atomlarından bir veya bir kaçının yerine sentez yoluyla Klor, Flor veya Brom atomları yerleştirmek suretiyle elde edilmektedir. Tablo 4.1' de kimyasal isim ve formülüyle pratikte kullanılan bazı halokarbonlar verilmiştir.

Tablo 4.1 Bazı halokarbon soğutkanlar [27]

no	kimyasal isim	kimyasal formül
11	Triklormonoflormetan	$CClF_3$
12	Diklordiflormetan	$CCl_2F_2$
13	Monoklortriflorometan	$CClF_3$
22	Monoklorodiflorometan	$CHClF_2$
40	Metil klorid	$CHCl_3$
113	Triklortetrafloretan	$CCl_2FCClF_2$
114	Diklortetrafloretan	$CClF_2CClF_2$



İlk kullanılan soğutkanların çoğu inorganik bileşiklerdir ve bunların bir kısmı hala önemini korumaktadır. Bazı inorganik soğutkanlar Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Bazı inorganik soğutkanlar [27]

No*	kimyasal isim	kimyasal formül
717	Amonyak	$NH_3$
718	Su	$H_2O$
729	Hava	
744	Karbondiyoksit	$CO_2$
764	Kükürtdiyoksit	$SO_2$

\* Son iki basamak moleküler ağırlıktır.

Hidrokarbonlar özellikle petrol ve petro kimyasal endüstri için soğutkan olarak uygundur. Tablo 4.3'de bazı hidrokarbonlar verilmiştir.

Tablo 4.3 Bazı hidrokarbon soğutkanlar [27]

No	Kimyasal isim	Kimyasal formül
50	Metan	$CH_4$
170	Etan	$C_2H_6$
290	Propan	$C_3H_8$

İki maddenin azeotrop karışımı destilasyonla bileşenlerine ayrılmayan bir karışımdır. Bir azeotrop kendini meydana getiren bileşenlerinden farklı özellikler gösterir. Örneğin yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıkları farklıdır. R-502'nin %48.8'i R-22 ve %51.2'si R-115 tir. Fakat R-502'nin özellikleri R-22 ve R-115'den farklıdır.

Sogutkan seciminde göz önünde bulundurulan kriterlerden birincisi buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarıdır. Süt 69°C'a kadar ısıtılıp 32°C'a kadar soğutulacaktır. Buna göre yoğunlaşma sıcaklığı 69°C'dan büyük, buharlaşma sıcaklığı ise 32 °C'dan küçük olmalıdır. Fakat sistem daha sonraki çalışmalarda yoğurt, krema ve diğer süt ürünlerinin pastörizasyonunda da kullanılacaktır. Bu nedenle maksimum yoğunlaşma sıcaklığı 100 °C olarak alınmıştır. Sogutkan bu sıcaklıklarda emniyetle çalışabilmelidir (yani faz değiştirebilmelidir). Diğer bir ifadeyle soğutkanın kritik sıcaklığı kondenzasyon sıcaklığından daha büyük olmalıdır. İkinci önemli kriter buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarına karşı gelen basınçlardır. Örneğin evaporasyon basıncının atmosfer basıncından büyük olması tercih edilmiştir. Çünkü sistemin vakum altında çalışması problemlere neden olmaktadır. Kondenzasyon basıncının evaporasyon basıncına oranı çok büyük olmamalıdır. Bu bilgiler ışığında piyasada kolayca bulunabildiği dikkate alınarak R-114 gazı sistemde kullanılmak üzere seçilmiştir.

#### 4.2.2. Kondenser

Kompresörden kızgın buhar olarak çıkan soğutkan kondenserde yoğunlaştırılır. Soğutkana, evaporatör ve kompresörde ilave edilen ısı, kondenserde yoğunlaşma esnasında sistemden atılır. Genel olarak üç değişik tip kondenser mevcuttur [30].

- 1- Su soğutmalı kondenser
- 2- Hava soğutmalı kondenser
- 3- Evaporatif (Hava-su) kondenser

Kondenser, kompresörden kızgın buhar olarak gelen R-114 gazının ısını süte vererek yoğunlaştuğu bir ısı eşanjörüdür. Kondenser süt soğutmalı olduğu için boru/zarf tipinde imal edilmiştir. Malzeme olarak süte zarar vermeyen Cr-Ni 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Oksidasyonu önlemek amacıyla birleştirme yerleri argon kaynağı ile

kaynatılmıştır. Kondenserin süt ve gaz devresi tamamen kapalıdır. Ayrıca kondenserin dış yüzeyi klimaflex ile izole edilmiştir.

#### 4.2.3 Kompresör

Bir buhar sıkıştırmalı çevrimde kompresörün görevi;

- a) Soğutkanın basınç ve sıcaklığını yükseltmek,
- b) Soğutkanın sirkülasyonunu sağlamaktır.

Kompresörler kuru ve ıslak tip olarak ikiye ayrılırlar. Islak kompresörde sıkıştırılan buharın içinde 15 ppm yağ vardır. Bazı durumlarda buhar fazındaki soğutkan hacminin % 20'si yağdır. Kuru tip kompresörlerde ise yağ sadece sekman yuvalarında kullanılır ve hacimce 5 ppm den daha azdır[1].

Kompresörler genel yapıları itibariyle aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [30];

- 1- Pozitif sıkıştırmalı kompresörler
  - a- Pistonlu kompresörler
  - b- Paletli kompresörler
  - c- Helisel-vida tipi dönel kompresörler
- 2- Santrifüj kompresörler

Kompresör seçiminde istenilen kondenzasyon sıcaklığını sağlayabilecek ve R-114 gazıyla çalışabilecek bir kompresör olmasına dikkat edilmiştir. Sistemde paletli (rotatif) dönel kompresör kullanılmıştır. Kompresör tahrikinde 10 HP gücünde ve 2880 d/dk hıza sahip bir elektrik motoru kullanılmıştır. Kompresörün deplasman hacmi (1 d/dk için) 0.008 m<sup>3</sup>/h' tir.

#### 4.2.4. Evaporatör

Evaporatör, sıvı soğutkanın soğutulacak ortamdan ısı alarak buharlaştığı esanjrdr. Diğer bir ifadeyle evaporatör bir soğutucudur. Genişleme cihazında genişleyerek basıncı ve sıcaklığı düşen soğutkan, evaporatöre ıslak buhar

(sıvı-buhar) fazında girer. ortamdan ısı alarak tamamen buharlaşır.

Evaporatörler genel olarak üç ana grupta toplanabilir [30].

- 1- Hava soğutucu evaporatörler
- 2- Sıvı soğutucu evaporatörler
- 3- Katı soğutucu evaporatörler

Evaporatör, R-114 gazının sütün ısı alarak buharlaştığı, süt soğutmalı boru/zarf tipi bir ısı eşanjörüdür. Boruların içerisinden R-114, dış yüzeyinden süt akmaktadır. Süt ve gaz devreleri tamamen kapalı olup Cr-Ni 304 paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Birleştirme yerleri ise argon kaynağı ile kaynatılmıştır.

#### 4.2.5 Ekonomizör

Ekonomizör, çiğ sütün kondenserden gelen sıcak sülle ön ısıtıldığı bir ısı eşanjörüdür. Sistemde iki farklı ekonomizör kullanılmıştır. İlk olarak plakalı tip Cr-Ni 304 paslanmaz çelikten imal edilmiş bir ekonomizör kullanılarak sistemin performansı ölçülmüş, daha sonra boru/zarf tipi Cr-Ni 304 paslanmaz çelikten imal edilmiş ekonomizör kullanılarak yine sistemin performansı ölçülmüştür. Bu eşanjörde, kondenserde süte verilen ısının belli bir miktarı geri kazanılmakta böylece enerji harcamadan sütün ön ısıtma ve ön soğutma ihtiyacının önemli bir kısmı karşılanmaktadır. Bu ise sistemin performansını arttırmaktadır.

#### 4.2.6. Süt Pompası

Sütün sirkülasyonu için, süte uygun paslanmaz malzemedan yapılmış bir pompa kullanılmıştır.

Pompaya ait bilgiler aşağıdadır:

Gücü : 0.75 HP

Devir : 2800 d/dk  
Debisi : 1.2 m<sup>3</sup>/h  
Basma yüksekliği : 34 mSS

#### 4.2.7. Genişleme Valfi

Buhar sıkıştırma çevrimi alçak basınç ve yüksek basınç tarafları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Alçak basınç tarafı evaporatör, yüksek basınç tarafı ise kondenserdir. Kompresörde basıncı ve sıcaklığı yükseltilen soğutkan kondenserde yoğunlaşarak sıvı haline gelir. Soğutkanın evaporatörde buharlaşabilmesi için basıncının kondenser basıncından evaporatör basıncına kadar düşürölmesi gerekir. Bu amaçla çevrimde bir genişleme aygıtı kullanılır. Pratik çevrimlerde bu ya bir genişleme valfidir ya da bir kılcal borudur.

Genişleme valfi kondenserden gelen R-114'ün basıncını evaporatör basıncına kadar düşürür. R-114 gazı için özel imal edilmiştir. Dıştan ayarlamalı ve termostatiktir.

## 5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylerde klasik çift cidarlı kazan süt pastörize düzeni ve imal edilen model ısı pompalı süt pastörize aygıtı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çiğ süt Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi İşletme Mdrlğne bağlı pilot süt fabrikasından temin edilmiştir. Çiğ sütün kimyasal ve mikrobiyolojik zellikleri Bölüm 6' da Tablo 6.2' de verilmiştir.

### 5.1. Çift-Cidarlı Kazan Deneyleri

Çiğ süt ısıtma kazanı içerisine doldurularak buharla 65°C'a kadar ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 30 dakika bekletildikten sonra sebeke suyu ile tekrar 32°C'a kadar soğutuldu. Deney esnasında; sütün ilk sıcaklığı, işlenen süt miktarı, sütün ısıtılması ve soğutulması için geçen sreler, kullanılan buharın basıncı, sıcaklığı ve miktarı, soğuk suyun debisi ve sıcaklığı, karıştırıcı motorunun çektiği akım ölçüldü. Pastörize sonunda elde edilen sütten örnekler alınarak mikrobiyolojik ve kimyasal analizleri ilgili yönetmeliklere göre Atatürk Üniversitesi Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü laboratuvarlarında yapıldı.

### 5.2. Isı Pompası Deneyleri

Isı pompası deneyleri iki aşamalı olarak yapılmıştır. İlk olarak sisteme plakalı ekonomizör bağlanarak deneyler yapılmış, daha sonra ise plakalı tip ekonomizör boru/zarf tipi ekonomizör bağlanarak ikinci deneme gerçekleştirilmiştir. Her iki deneyde ekonomizör hariç sistemin diğer elemanları tamamen aynı kalmıştır.

Sistemin rejime girmesi için belli bir zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre içerisinde sistemde aynı sütü sirküle

etmek sütün bozulması açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, sistem başlangıçta suyu ile çalıştırılmış ve istenilen sıcaklıklara ulaşıldıktan sonra sisteme süt gönderilmeye başlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce taze süt tankına su doldurulup pompa çalıştırıldı ve süt devresinde (borularda, eşanjörlerde) biriken hava dışarı atıldı. Termostat 69 °C'a set edildi. Kompresör bir zaman rölesi ile pompa çalıştıktan 3 dakika sonra (bu süre ayarlanabilir) otomatik olarak çalıştırılmaktadır. Suyun sıcaklığı 69 °C'a ulaşınca servomotor üçyollu vanayı açarak suyun boşalmasını sağladı.

Su sistemden boşaldıktan sonra taze süt tankı süt ile dolduruldu. Böylece pastörizasyon işlemine başlandı. Bu andan itibaren sütün ekonomizöre giriş ve çıkışında, kondenser çıkışında, evaporatör giriş ve çıkışındaki sıcaklıkları, gaz devresinde R-114'ün kondenser ve evaporatör sıcaklıkları elektronik pano üzerinden okunarak 5 dakika ara ile kaydedildi. Ayrıca sütün debisi ölçüldü. Toplam olarak 100 kg süt pastörize edildi. Taze süt tankındaki süt bitince sistem sırasıyla nitrik asit (% 1 derişik), süt kostik (NaOH), ve su ile yıkandı. Pastörize edilen süttten örnekler alınarak mikrobiyolojik ve kimyasal analizleri yapıldı.

Mikrobiyolojik analizlerde, Toplam mikroorganizma sayısı Violet Red Bile Agar kullanılarak, maya ve küf sayısı Potato Dextrose Agar kullanılarak, süt asidi üreten mikroorganizma sayısı China Blue-lactose Agar kullanılarak, Lipolitik mikroorganizma sayısı Nile Blue Sulfate Agar, proteolitik mikroorganizma sayısı Caseine Agar kullanılarak dökme plak yöntemine göre belirlenmiştir[31].

Biyokimyasal analizler pastörize edilen sütlerde, Pastörizasyonun göstergesi olan fosfataz testi [32] tarafından verilen metoda göre yapılmıştır.

Kimyasal analizler, çiğ ve pastörize sütlerde kurumadde, yağ, asitlik ve pıhtılaşma kabiliyeti [33,34] tarafından verilen metotlara göre yapılmıştır.

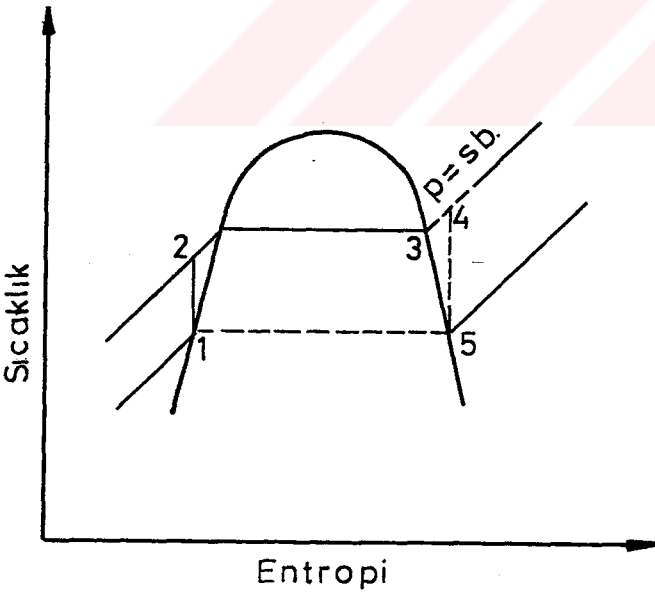




## 6. SONUÇLAR

### 6.1. Çift-Cidarlı Kazan Deney Sonuçları

Sistemde kullanılan buhar, düşük basınçlı bir buhar kazanında üretilmektedir. Bir buhar kazanında meydana gelen termodinamik prosesler Rankin çevrimine göre gerçekleşmektedir. [35]. Şekil 6.1 de Rankin çevrimi T-s diyagramında görülmektedir. Sistemde kullanılan buhar kazanı açık kondenzlidir. Yani pastörizasyonda kullanılan buhar tekrar buhar kazanına dönmekte ve drenaj kanalıyla atılmaktadır. Ayrıca yapılan ölçümler kazanda üretilen buharın doymuş kuru buhar olduğunu göstermektedir. Bu nedenle diyagramda 3-4, 4-5 ve 5-1 prosesleri kesik çizgilerle gösterilmiştir. Deney sırasında ölçülen değerler tablo 6.1 de verilmiştir. Çevrimin termodinamik analizi Şekil 6.1 esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 6.1 T-s diyagramında Rankin çevrimi

Sekil 6.1'deki T-s diyagramında 1-2 arasında yapılan iş;

$$w_{12} = v (P_2 - P_1) \quad (6.1)$$

formülüyle hesaplanmıştır [36]. 1-2 prosesi kazan besleme pompasında meydana gelmektedir. (6.1) eşitliğindeki  $v$  çevrimin 1 noktasında suyun özgül hacmidir.  $P_1$  ve  $P_2$  ise diyagramdaki 1 ve 2 noktalarındaki basınçları göstermektedir.  $P_1$  basıncı sistem açık kondenzli olduğundan atmosfer basıncına eşittir.  $P_2$  basıncı ise manometre ile ölçülmüştür (Tablo 6.1).

2 noktasındaki suyun entalpisi ;

$$h_2 = w_{12} + h_1 \quad (6.2)$$

şeklinde hesaplanmıştır [36]. Burada  $h_1$  suyun 1 noktasındaki entalpisidir (Tablo 6.2).

Kazanda üretilen birim kütle su buharı için harcanan ısı enerjisi;

$$q_{23} = (h_3 - h_2) / \eta_k \quad (6.3)$$

formülüyle hesaplanmıştır [36]. Formüldeki  $h_3$  değeri suyun 3 noktasındaki entalpisi,  $\eta_k$  ise kazanın toplam verimidir (tablo 6.2).

Sistemde 1 kg sütü pastörize etmek için harcanan ısı enerjisi;

$$q_{\text{süt}} = \frac{G_b \times q_{23}}{G_{\text{süt}}} \quad (6.4)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada  $G_b$  sütün pastörizasyonu esnasında harcanan buhar miktarı,  $G_{\text{süt}}$  ise pastörize edilen süt miktarıdır (Tablo 6.1).

Karıştırıcının harcadığı elektrik gücü ;

$$P_{kar} = I V \sqrt{3} \cos\phi \quad (6.5)$$

formülüyle bulunmuştur [37]. Buradaki I karıştırıcı motorunun çektiği akımı göstermektedir. Bu değer deney esnasında ölçülmüş olup Tablo 6.1 de verilmiştir.  $\cos\phi$  ise güç katsayısı olup 0.8 olarak alınmıştır.

Bu formüller yardımıyla yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 6.2 de görülmektedir.

Tablo 6.1 Çift-cidarlı kazan deneyinde ölçülen değerler

İşlenen süt miktarı, $G_{süt}$ , (kg)	380
Sütün giriş sıcaklığı, ( C)	20
Pastörizasyon sıcaklığı ( C)	65
Harcanan buhar miktarı, $G_b$ , (kg)	50
Buhar basıncı, $P_2$ , (bar)	3
Buhar sıcaklığı ( C)	134
Soğuk su debisi ( lt/sn.)	0.27
Sütün son sıcaklığı ( C)	32
Soğutma süresi (dk.)	30
Pastörizasyon süresi (dk.)	45
Karıştırıcı mot. çektiği akım	1.3

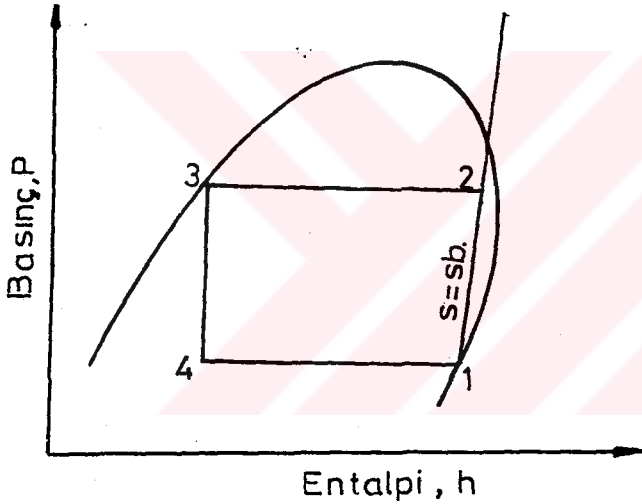
Tablo 6.2 Çift cidarlı kazan deneyinde hesaplanan değerler

$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$q_{23}$ (kJ/kg)	$q_{sut}$ (kJ/kg)	$P_{kar}$ (kW)	$\eta_k$
417.46	417.66	0.001	3296.62	433.76	0.684	0.70

## 6.2. Isı Pompsı Deney Sonuçları

Deneyler sırasında ölçülen değerler tablo 6.3 ve tablo 6.4 de verilmiştir. Tablo 6.3 plakalı tip ekonomizörün kullanıldığı deneyin sonuçlarını, tablo 6.4 ise boru/zarf tipi ekonomizörün kullanıldığı deneyin sonuçlarını göstermektedir.

Isı pompası çevrim analizi bu değerler ve R-114 için düzenlenmiş logP-h diyagramı kullanılarak yapılmıştır. Sekil 6.7 de R-114 için logP-h diyagramı görülmektedir.



Sekil 6.2 Isı pompasına ait p-h diyagramı

Sekil 6.2 de ısı pompsı çevrimi basınç entalpi diyagramı görülmektedir. Çevrimin analizi bu diyagram esas alınarak yapılmıştır.

Soğutucu akışkanın (R-114) kütleli debisi;

$$m_{soğ} = V_{dep} \frac{\lambda}{v} \quad (6.6)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Formüldeki  $V_{dep}$  kompresörün deplasman hacmidir. R6 (Rotacold) kompresör için 2880 d/dk hızda  $V_{dep} = 48.96 \text{ m}^3/\text{h}$  tir.  $\lambda$  ise emme oranı olup R6 (rotacold) için  $\lambda = 0.7$  dir. Bu iki değer sistemde kullanılan kompresörün katalogundan alınmıştır.  $v$  ise R-114'ün 1 noktasındaki özgül hacmidir. Ve bu değer R-114'ün LogP-h diyagramından alınmıştır.

Kondenserde sağlanan ısı yükü ;

$$Q_K = m_{sog} (h_2 - h_3) \quad (6.7)$$

Formülüyle bulunmuştur [1,27]. Burada  $h_2$  R-114'ün kondenser girişindeki entalpisi,  $h_3$  ise kondenser çıkışındaki entalpisidir. Bu değerler logP-h diyagramından alınmıştır.

Kompresörün harcadığı elektriki güç ise ;

$$P_{kom} = V I \sqrt{3} \cos\phi \quad (6.8)$$

formülüyle hesaplanmıştır.

Süt pompasının gücü ise;

$$P_{pom} = V I \cos\phi \quad (6.9)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Kompresör ve pompanın çektiği akımın siddeti tablo 6.3 ve tablo 6.4 de verilmiştir.

Isı pompasının Isıtma Tesir Katsayısı (ITK) ;

$$ITKH = \frac{Q_k}{P_{kom}} \quad (6.10)$$

formülüyle hesaplanmıştır [1]. Burada  $Q_k$  6.7,  $P_{kom}$  ise 6.8 esitlikleri ile hesaplanmıştır.

Sistemin Isıtma Tesir Katsayısı (ITKS) ;

$$ITKS = \frac{Q_k}{P_{kom} + P_{pom}} \quad (6.11)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Isı pompasının Birincil Enerji Oranı (BEO) ;

$$BEO = ITK \eta_t \quad (6.12)$$

Bağıntısıyla hesaplanmıştır [1].

Bilindiği gibi elektrik enerjisi sekonder enerji türüdür. Örneğin bir termik santralde ısı enerjisinden faydalanılarak elektrik üretilir. Bu durumda santralde, jeneratörde ve elektrik dağıtım şebekelerinde birtakım enerji kayıpları meydana gelir. 6.12 esitliğinde  $\eta_t$  ile bu kayıplar dikkate alınmıştır. Bir termik santralde üretilen elektrik için jeneratör ve dağıtım verimleriyle birlikte  $\eta_t = 0.27$  alınabilir [1].

Isı pompasında 1 kg-süt için harcanan elektrik enerjisi ;

$$W_H = \frac{t_1 \times (P_{kom} + P_{pom})}{G_{sut}} \quad (6.13)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada  $t_1$  pastörizasyon süresidir.

Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, plakalı ekonomizöre sahip ısı pompası için tablo 6.5 , boru/zarf tipi ekonomizöre sahip ısı pompası için tablo 6.6 da verilmiştir.

Klasik sistem ve ısı pompası sistemlerinde 1-kg sütün pastörizasyonu için harcanan enerji miktarları tablo 6.7 de verilmiştir.

Plakalı ekonomizöre sahip ısı pompası ve boru/zarf tipi ekonomizöre sahip ısı pompası sistemlerinde sütün evaporatör ve kondenserden çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi sırasıyla şekil 6.3 ve şekil 6.4 de görülmektedir.

Isı pompasının ve sistemin Isıtma Tesir Katsayısı'nın zamanla değişimi ise her iki sistem için şekil 6.5 ve şekil 6.6 da görülmektedir.

Deneylerde kullanılan çiğ süt ile çift cidarlı kazan ve plakalı ekonomizöre sahip ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizma sayıları ve pastörizasyonda mikroorganizmaları redüksiyon oranları tablo 6.8 de verilmiştir. Ve yine çiğ süt, çift cidarlı kazan ve boru/zarf tipi ekonomizöre sahip ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizma sayıları ve redüksiyon oranları tablo 6.9' da verilmiştir. Bu iki tablodaki değerlere ait istatistikî analiz sonuçları ise tablo 6.10'da



verilmiştir. ig süt, çift cidarlı kazan, plakalı ekonomizör ve boru/zarf tipi ekonomizöre sahip ısı pompasında pastörize edilen sütlerin kimyasal ve biyokimyasal analizleri tablo 6.11 ve tablo 6.12' de verilmiştir.



Tablo 6.3 Plakalı tip ekonomizöre sahip ısı pompasında ölçülen değerler

ölçülen değerler		zaman (dakika.)					
		5	10	15	20	25	30
süt devresi	kondenser giriş sic. (°C)	44.2	44.1	41.5	40.3	40.1	40.0
	kondenser çıkış sic. (°C)	70.0	69.2	71.3	70.3	68.9	68.0
	evaporatör giriş sic. (°C)	50.5	58.5	60.1	58.3	62.1	62.0
	evaporatör çıkış sic. (°C)	43.3	44.4	43.6	43.7	43.4	43.5
	rejeneratör giriş sic. (°C)	24.6	24.6	24.9	25.2	26.0	26.1
	sütün ilk sic. (°C)	18	18	18	18	18	18
gaz devresi	kondenzasyon sıcaklığı (°C)	80.6	81.3	81.9	81.6	81.9	80.2
	evaporasyon sıcaklığı (°C)	40.7	39.5	39.0	39.2	40.0	38.3
	kondenzasyon basıncı (kgf/cm <sup>2</sup> )	9	9	9	9	9	9
	evaporasyon basıncı (kgf/cm <sup>2</sup> )	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
güç devresi	kompresörün çektiği akım (A)	8.5	8	8.3	8	8.5	8
	pompanın çektiği akım (A)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
İşlenen süt miktarı : 100 kg							

Tablo 6.4 Boru/zarf ekonomizöre sahip ısı pompasında ölçülen değerler

ölçülen değerler	zaman (dakika.)											
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30		
kondenser giriş sic. (°C)	60.0	62.7	66.2	62.9	66.3	63.0	63.7	64.2	62.9	62.2		
kondenser çıkış sic. (°C)	69.2	69.8	68.0	69.6	70.0	71.0	70.7	70.1	69.1	70.0		
süt devresi												
evaporatör giriş sic. (°C)	65.8	66.8	70.4	67.0	70.2	68.2	67.9	68.4	67.2	66.4		
evaporatör çıkış sic. (°C)	41.0	39.5	39.6	39.7	39.9	40.9	41.1	41.6	41.9	42.1		
rejeneratör giriş sic. (°C)	59.0	61.4	64.5	61.0	65.8	62.6	63.0	63.4	62.0	61.2		
sütün ilk sic. (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
kondenzasyon sıcaklığı (°C)	79.2	78.1	80.0	78.4	79.8	79.6	79.4	79.7	79.1	78.6		
gaz devresi												
evaporasyon sıcaklığı (°C)	36.2	36.0	36.7	36.2	36.9	37.4	37.3	37.6	37.5	37.3		
kondenzasyon basıncı (bar)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
evaporasyon basıncı (bar)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
güc devresi												
kompresörün çektiği akım (A)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
pompanın çektiği akım (A)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
İşlenen süt miktarı : 96 kg												

Tablo 6.5 Plakalı ekonomizörlü ısı pompası için sonuçlar

zaman (dk.)	$h_a$ (kJ/kg)	$h_z$ (kJ/kg)	$h_1$ (kJ/kg)	$\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\dot{m}$ (kg/s)	$P_{kom}$ (kW)	$P_{pom}$ (kW)	ITKH	ITKS
5	280	370	354	25.55	0.243	5.52	0.5	3.96	3.63
10	281	372	354	25.0	0.238	5.20	0.5	4.16	3.79
15	282	372	353	24.9	0.237	5.39	0.5	4.14	3.66
20	282	373	353	24.9	0.237	5.20	0.5	4.14	3.78
25	282	371	353.5	25.0	0.238	5.52	0.5	3.83	3.51
30	282	370	352	25.0	0.236	5.52	0.5	3.99	3.64

Tablo 6.6 Boru/zarf ekonomizörlü ısı pompası için sonuçlar

zaman (dk.)	$h_s$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_1$ (kJ/kg)	$\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	$m$ (kg/s)	$P_{kom}$ (kW)	$P_{pom}$ (kW)	ITKH	ITKS
3	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
6	275	368	355	22.3	0.21	5.26	0.52	3.70	3.36
9	280	371	358	24.5	0.23	5.26	0.52	3.97	3.61
12	275	368	355	22.3	0.21	5.26	0.52	3.70	3.36
15	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
18	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
21	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
24	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
27	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33
30	278	370	354	22.2	0.21	5.26	0.52	3.66	3.33

Tablo 6.7 Sütün ısı pompası ve klasik sistemde pastörizasyonu için harcanan enerji miktarları

Enerji Türü	ısı pompası			çift-cıdarlı kazan
	Plakalı sistem	Boru/zarf sistem		
Isı enerjisi (kJ/kg-süt)	-	-		433.76
Elektrik enerjisi (kJ/kg-süt)	79	103		0.68
Harcanan toplam enerji (kJ/kg-süt)	79	103		435
Harcanan soğuk su (lt/kg-süt)	-	-		1.9

Tablo 6.8 Çiğ süt ile çift cidarlı kazan ve plakalı ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizma sayıları ve pastörizasyonda mikroorganizmaların redüksiyon oranları

Mikroorga- nizmalar	Tekerrür sayısı	Çiğ süt (adet/ml)	Pastörize süt			
			Çift cidarlı kazan (adet/ml)	Redük- siyon oranı (%)	plakalı ısı pompası (adet/ml)	Redüksiyon oranı (%)
Toplam MO	I	$4.51 \times 10^6$	$3.57 \times 10^4$	99.20	$3.88 \times 10^4$	98.14
	II	$7.42 \times 10^6$	$3.93 \times 10^4$	99.47	$4.07 \times 10^4$	99.45
	Ortalama	$5.96 \times 10^6$	$3.75 \times 10^4$	99.34	$3.98 \times 10^4$	99.30
Koliform MO	I	$1.71 \times 10^3$	-	100.00	-	100.00
	II	$2.03 \times 10^3$	-	100.00	-	100.00
	Ortalama	$1.87 \times 10^3$	-	100.00	-	100.00
Laktik MO	I	$1.10 \times 10^6$	$2.37 \times 10^4$	97.84	$2.89 \times 10^4$	97.37
	II	$3.18 \times 10^6$	$3.06 \times 10^4$	99.04	$3.44 \times 10^4$	98.92
	Ortalama	$2.14 \times 10^6$	$2.72 \times 10^4$	98.44	$3.17 \times 10^4$	98.15
Maya-küf	I	$6.00 \times 10^5$	$2.20 \times 10^3$	99.63	$2.66 \times 10^3$	99.55
	II	$9.18 \times 10^5$	$2.83 \times 10^3$	99.69	$2.98 \times 10^3$	99.67
	Ortalama	$7.59 \times 10^5$	$2.52 \times 10^3$	99.66	$2.82 \times 10^3$	99.61
Lipolitik MO	I	$7.12 \times 10^5$	$5.08 \times 10^3$	99.28	$5.44 \times 10^3$	99.23
	II	$9.63 \times 10^5$	$7.17 \times 10^3$	99.25	$8.13 \times 10^3$	99.15
	Ortalama	$8.38 \times 10^5$	$6.13 \times 10^3$	99.27	$6.79 \times 10^3$	99.19
Prote- olitik MO	I	$1.23 \times 10^6$	$2.33 \times 10^3$	99.81	$5.08 \times 10^3$	99.58
	II	$1.78 \times 10^6$	$2.86 \times 10^3$	99.83	$8.16 \times 10^3$	99.54
	Ortalama	$1.51 \times 10^6$	$2.60 \times 10^3$	99.82	$6.62 \times 10^3$	99.56

Tablo 6.9 Çiğ süt ile çift cidarlı kazan ve Boru /zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizma sayıları ve pastörizasyonda mikroorganizmaların redüksiyon oranları

Mikroorga- nizmalar	Tekerrür sayısı	Çiğ süt (adet/ml)	Pastörize süt			
			Çift cidarlı kazan (adet/ml)	Redük- siyon oranı (%)	Boru /zarf ısı pompa- sı (adet/ml)	Redüksiyon oranı (%)
Toplam MO	I	$5.03 \times 10^6$	$2.63 \times 10^4$	99.48	$7.86 \times 10^4$	98.44
	II	$3.75 \times 10^6$	$1.76 \times 10^4$	99.53	$4.12 \times 10^4$	98.90
	Ortalama	$4.39 \times 10^6$	$2.20 \times 10^4$	99.51	$5.99 \times 10^4$	98.67
Köliform MO	I	$7.23 \times 10^3$	-	100.00	76	98.95
	II	$1.38 \times 10^3$	-	100.00	42	96.95
	Ortalama	$4.31 \times 10^3$	-	100.00	59	19.95
Laktik MO	I	$2.08 \times 10^6$	$2.74 \times 10^4$	98.68	$4.23 \times 10^4$	97.97
	II	$1.17 \times 10^6$	$1.12 \times 10^4$	99.04	$3.42 \times 10^4$	97.07
	Ortalama	$1.63 \times 10^6$	$1.93 \times 10^4$	99.36	$3.83 \times 10^4$	97.52
Maya-küf	I	$3.98 \times 10^3$	38.0	99.04	96.0	97.59
	II	$6.20 \times 10^2$	10.0	98.39	32.0	94.84
	Ortalama	$2.31 \times 10^3$	24.0	98.72	64.0	96.21
Lipolitik MO	I	$6.41 \times 10^5$	$3.62 \times 10^3$	99.44	$5.17 \times 10^3$	99.19
	II	$2.88 \times 10^5$	$1.14 \times 10^3$	99.60	$2.08 \times 10^3$	99.28
	Ortalama	$4.65 \times 10^5$	$2.38 \times 10^3$	99.52	$3.63 \times 10^3$	99.23
Prote- olitik MO	I	$2.76 \times 10^6$	$3.10 \times 10^3$	99.88	$4.02 \times 10^3$	99.85
	II	$1.54 \times 10^6$	$2.59 \times 10^3$	99.89	$3.16 \times 10^3$	99.79
	Ortalama	$2.15 \times 10^6$	$2.85 \times 10^3$	99.88	$3.59 \times 10^3$	99.82



Tablo 6.10 Çift cidarlı kazan ile plakalı ve borulu ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizmaları arasındaki farkın hipotez testi sonuçları\*

MIKROORGANİZMALAR						
	Toplam MO	Koliform MO	Laktik MO	Maya-küf	Lipolitik	Proteolitik
Kazan-plaka	0.015	0.000	0.040	0.029	0.027	0.235
Z-Hesap değeri						
Kazan-Boru	0.257	1.038	0.187	0.329	0.112	0.063
Z-Hesap değeri						
Plaka- Boru	0.160	1.465	0.106	0.147	0.067	0.205
Z-Hesap değeri						

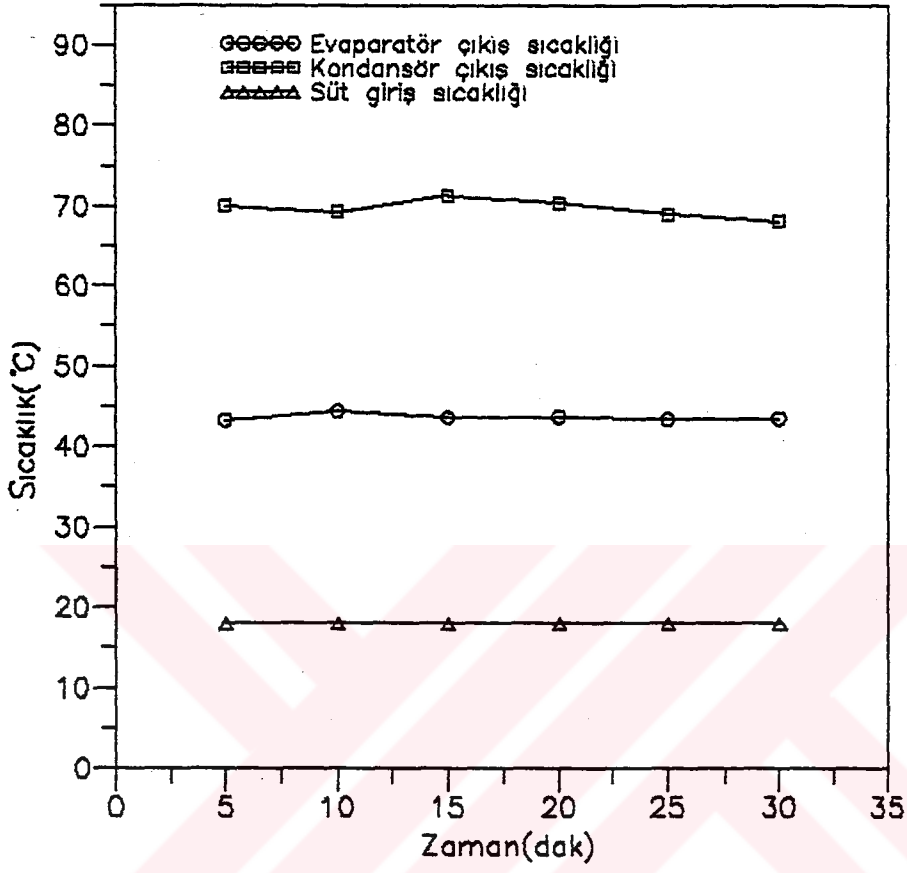
\* Bütün mikroorganizma gruplarında üç sistemin birbirlerine göre etkinliklerindeki fark  $P < 0.05$  seviyesinde önemsiz bulunmuştur.

Tablo 6.11 Çiğ süt ile çift cıdarlı kazanda ve plakalı ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin kimyasal ve biyokimyasal analiz sonuçları

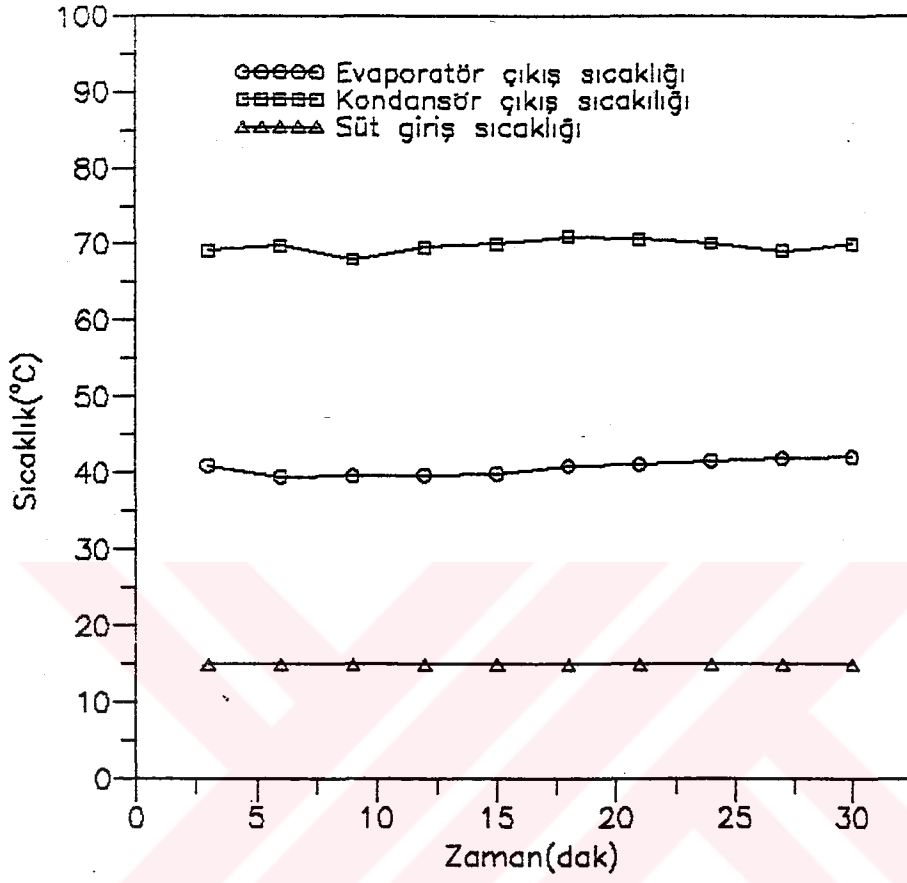
Süt çeşidi	Tekerrür sayısı	Kurumadde (%)	Yağ (%)	Asitlik (S.H.)	Pıhtılaşma kabiliyeti	Fosfataz Testi
Çiğ süt	I	11.48	3.2	8.48		Mavi
	II	11.76	3.4	8.56	olumlu	(+)
	Ortalama	11.62	3.3	8.52		
Çift cıdarlı Kazanda Pastörize Edilen süt	I	11.48	3.2	8.64		Kahverengi
	II	11.76	3.4	8.68	olumlu	(-)
	Ortalama	11.62	3.3	8.66		
Plakalı ısı pompasında pastörize edilen süt	I	11.48	3.2	8.72		Kahverengi
	II	11.76	3.4	8.72	olumlu	(-)
	Ortalama	11.62	3.3	8.72		

Tablo 6.12 Çiğ süt ile çift cidarlı kazanda ve boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin kimyasal ve biyokimyasal analiz sonuçları

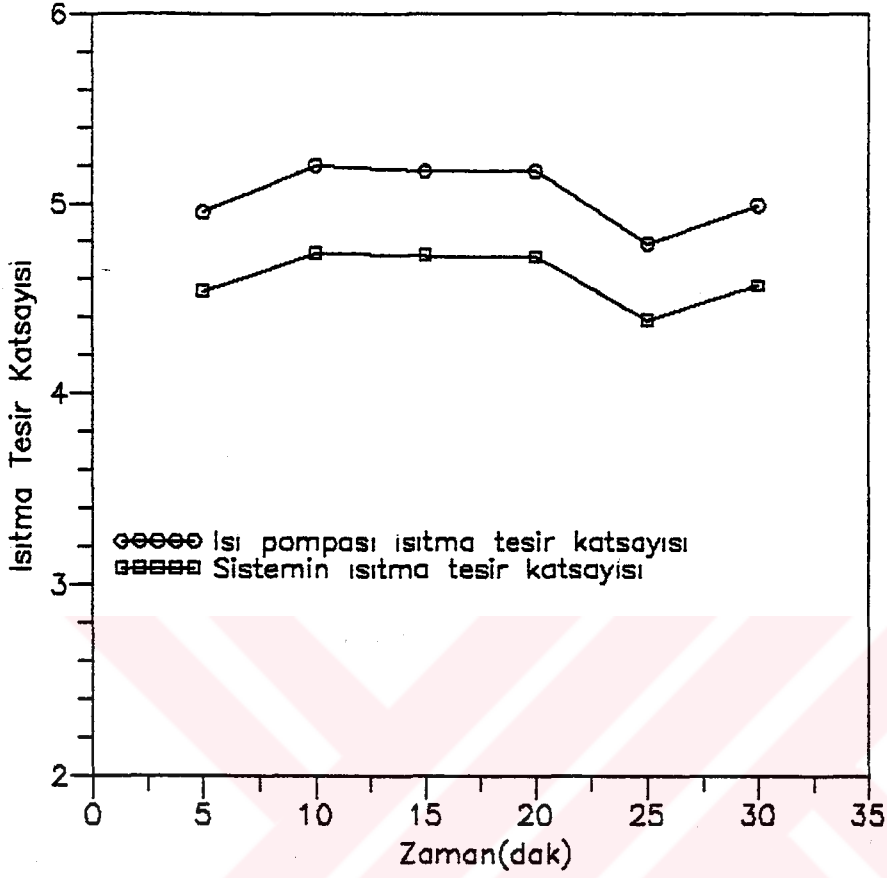
Süt cesidi	Tekerrür sayısı	Kurumadde (%)	Yağ (%)	Asitlik (S.H.)	Pıhtılaşma kabiliyeti	Fosfataz Testi
Çiğ süt	I	11.08	3.6	8.64		Mavi
	II	11.64	3.2	8.20	olumlu	(+)
	Ortalama	11.86	3.40	8.42		
Çiftcidarlı Kazanda Pastörize Edilen süt	I	12.18	3.60	8.72		Kahverengi
	II	11.72	3.20	8.38	olumlu	(-)
	Ortalama	11.95	3.40	8.55		
Plakalı ısı pompasında pastörize edilen süt	I	11.90	3.40	8.55		Mavi
	II	11.50	3.00	8.13	olumlu	(+)
	Ortalama	11.70	3.20	8.34		



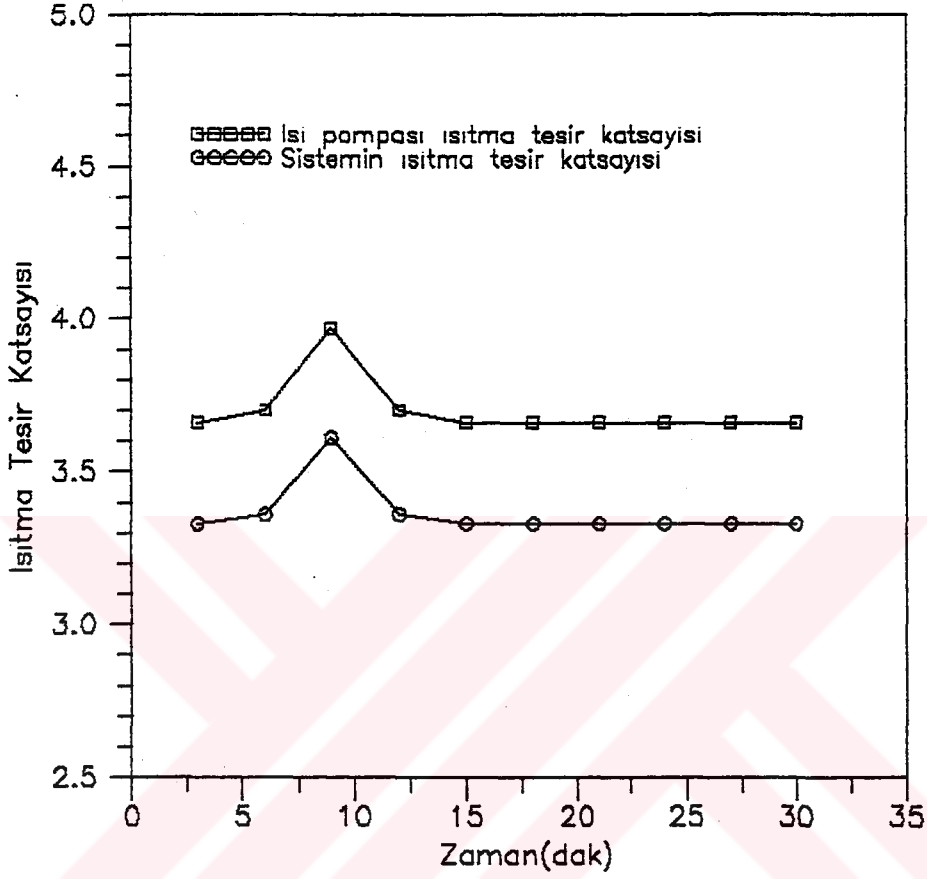
Şekil 6.3 Plakalı tip ekonomizöre sahip ısı pompasında süt sıcaklıklarının zamanla değişimi



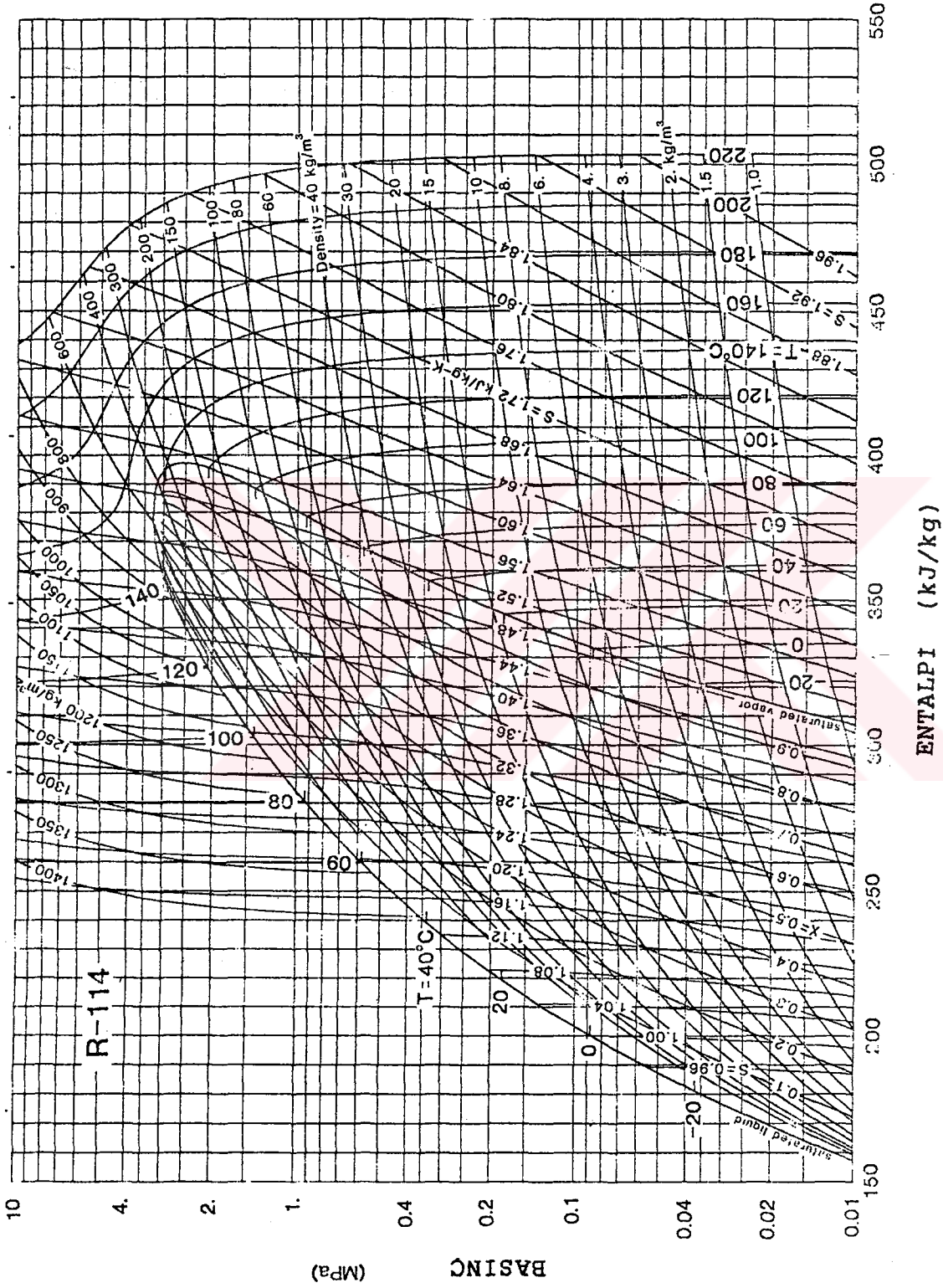
Şekil 6.4 Boru/zarf tipi ekonomizöre sahip ısı pompasında Süt sıcaklıklarının zamanla değişimi



Şekil 6.5 Plakali tip ekonomizöre sahip ısı pompasının performansının zamanla değişimi



Şekil 6.6 Boru/zarf tipi ekonomizre sahip isi pompasının performansının zamanla değişimi



Sekil 6.7 R-114 gazı için LogP-h diyagramı [41]



## 7. DEĞERLENDİRME

Tablo 6.7'de klasik ve ısı pompası pastörizasyon sistemlerinde 1 kg sütü pastörize etmek için harcanan enerji miktarları verilmiştir. Tablodan anlaşılacağı gibi ısı pompası sisteminde sadece elektrik enerjisi, klasik sistemde ise ısı ve elektrik enerjisi kullanılmıştır. Her iki sistemin tükettiği toplam enerji miktarları arasındaki oran 4-5.5 arasında değişmektedir. Bir başka ifade ile klasik sistem ısı pompası sistemine göre 4-5.5 kat daha fazla enerji harcamıştır. Bu ise enerji ekonomisi bakımından dikkate değer bir sonuçtur. Çünkü ucuz enerji devrinin kapanması enerjiyi en verimli bir şekilde kullanma gereğini doğurmaktadır. Yapılan çalışmalardan gerek endüstriyel ve gerekse evsel uygulamalarda kullanılan ısı pompalarının, bu alanlardaki konvansiyonel sistemlere göre daha az enerji gerektirdiği bilinmektedir. Buna paralel olarak yaptığımız bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, pastörizasyon işlemlerinde ısı pompasının klasik sistemlere göre daha verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

Klasik kazan sisteminde sütün soğutulması soğuk su ile yapılmaktadır. Bu nedenle klasik sistemlerde soğuk su kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 6.7'den 1 kg sütün 32 °C'a kadar soğutulması için 1.9 lt/kg-süt su kullanıldığı görülmektedir. Bu deneylerde kaynak olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Ancak bu kullanım bütün bölgelerde mümkün olmayabilir. Örneğin suyun az ve yeterince soğuk olmadığı (özellikle yaz aylarında) bölgeler için bu bir sorun olabilir. Bu durumda bir soğutma kulesine ihtiyaç vardır. Soğutma kulesi ile belli bir miktarda su belirli bir sıcaklıkta daima kullanıma hazır bir şekilde bulundurulabilir. Fakat bu bir yatırım ve işletme maliyetini de beraberinde getirir. Ayrıca sistemin işgal edeceği alanda

göz önünde bulundurulmalıdır. Isı pompasında ise böyle bir sorun yoktur. Çünkü süt, sistemin evaporatöründe soğutulur. Soğutma işlemi için ayrıca bir sisteme ihtiyaç yoktur.

Şekil 6.5'de plakalı tip ekonomizörün kullanılması durumunda ısı pompası performans katsayısının zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 6.5 dikkatle incelenirse performans katsayısının 5 civarında toplandığı görülür. Bu bir ısı pompası için oldukça başarılı bir sonuçtur. Bu kadar iyi bir performans katsayısının elde edilmesinde en önemli etken sistemde bir ekonomizörün kullanılmış olmasıdır. Tablo 6.3 dikkatle incelenirse çiğ sütün ekonomizöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark  $14^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Yani soğuk çiğ süt, ekstra bir enerji harcanmadan yaklaşık olarak  $14^{\circ}\text{C}$  ısıtılmıştır. Ve aynı şekilde kondenserden çıkan sıcak süt ekonomizörde yaklaşık  $10^{\circ}\text{C}$  soğutulmuştur. Bunun için yine ekstradan bir enerjiye gerek yoktur. Bütün bu olaylar ekonomizörde sıcak sütün soğuk sütü ısıtması ile meydana gelir. Bu da sistemin performansını önemli derecede arttırmıştır.

Fakat burada kullanılan ekonomizör tipi önemle üzerinde durulması gereken bir noktadır. Bu amaçla aynı ısı pompası boru zarf tipi bir ekonomizör ile çalıştırılarak performans ölçülmüştür. Şekil 6.6 da boru/zarf tipi ekonomizörün kullanıldığı duruma ait performans eğrisi görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi ısı pompasının performansı 3.6 civarında değişmektedir. Oysa plakalı ekonomizör kullanılması durumunda performans katsayısı 5 olarak gerçekleşmiştir. Bu farkı daha yakından incelemek için Tablo 6.7'ye bakmak yeterlidir. Burada plakalı ekonomizör kullanılması durumunda tüketilen enerji  $79\text{ kJ/kg-süt}$  iken boru/zarf tipi ekonomizör için  $103\text{ kJ/kg-süt}$  civarındadır. Görüldüğü gibi plakalı sistem boru/zarf sistemine göre daha az enerji tüketmiştir. Bu nedenle boru/zarf tipi ekonomizörle çalışıldığında sistemin performansı daha düşük

çıkmıştır. Performansın düşük çıkmasının nedeni kullanılan ekonomizör tipinden kaynaklanmaktadır. Boru/zarf tipi ekonomizörde süt 1-2 °C ısınmıştır (tablo 6.4). Oysa plakalı ekonomizörde bu değer yaklaşık 14 °C civarındadır. Hatta boru/zarf tipi ekonomizör yeterince ısıtmadığı için By-pass devresi açık tutulmuş ve ekonomizör girişi sıcak sütle beslenmiştir.

Bütün bu açıklamaların sonucunda sistemin daha verimli olması bakımından böyle bir ısı pompasında plakalı tip ekonomizör kullanmanın daha akılcı olacağı ortaya çıkmaktadır.

Sekil 6.5 ve Şekil 6.6'da ısı pompası performans eğrisinin yanında sistemin performans eğrisi de verilmiştir. Sistemin performans eğrisi, süt pompasının tükettiği elektrik enerjisi de dikkate alınarak çizilmiştir. Sistemde kullanılan süt pompası gerekenden daha büyüktür. Örneğin 32 mSS gibi bir basınç bu sistem için çok fazladır. Süt devresinde meydana gelen basınç kayıpları bir dişli pompayla da karşılanabilirdi. Pompanın debisi  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$  dir. Oysa deneyler esnasında ortalama debi  $0.193 \text{ m}^3/\text{h}$  civarındadır. Yani pompanın debisi de gerekenden çok büyüktür. Süte uygun daha küçük bir pompa bulamadığımız için böyle bir pompayı kullanmak zorunda kaldık. Bu nedenle sistemin performansı beklenenden daha düşük çıkmıştır.

Performans katsayısı, ısı pompası kondenserinde sağlanan enerjinin kompresörün tükettiği enerjiye oranı olmakla beraber bu oran bize klasik sistemle mukayese imkanı vermez. Eğer bir ısı pompası aynı işi yapan bir klasik sistemle karşılaştırılmak isteniyorsa performans katsayısı yerine Birincil Enerji Oranı (BEO) kullanılmalıdır. Plakalı sistemin Birincil Enerji Oranı 6.12 esitliğinden;

$$\text{BEO} = 5 \times 0.27 = 1.35$$

olarak bulunur. Klasik kazan sisteminin toplam verimini 0.7 olarak kabul edersek ;

$$\eta = 1.35/0.7 = 1.9 \text{ olur.}$$

Bu sonuç ısı pompasının birincil enerjiyi çift cidarlı kazan sistemine göre 1.9 kat daha verimli kullandığını gösterir.

Denemede kullanılan çiğ sütler ile kazan sisteminde, Plakalı ekonomizörlü ısı pompasında ve boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin mikroorganizma seviyeleri ve pastörizasyonda mikroorganizmaların redüksiyon oranları Tablo 6.8 ve Tablo 6.9'da verilmiştir. Bütün mikroorganizma gruplarında elde edilen redüksiyon değerlerinden en etkili pastörizasyonun kazan sisteminde, ikinci etkili pastörizasyonun plakalı ısı pompasında ve en az etkili pastörizasyonun ise borulu ısı pompasında olduğu gözlenmiştir. Buna rağmen bütün mikroorganizma gruplarında her üç sistemin(kazan-plakalı ısı pompası, kazan-boru/zarf ısı pompası ve plakalı ısı pompası-boru/zarf ısı pompası) birbirlerine göre redüksiyon değerleri arasındaki fark  $P < 0.05$  seviyesinde önemsiz bulunmuştur (Tablo 6.10).

Kazan sisteminde ve plakalı tip ekonomizörlü ısı pompasında  $69^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilen sütlerin toplam mikroorganizma sayılarındaki ortalama redüksiyon değerleri; plakalı pastörizatörde  $80^{\circ}\text{C}$  derecede 21 saniye tutularak elde edilen pastörize sütlerde % 99.29 olarak belirlenen redüksiyon değerlerinden daha yüksektir [38]. Fakat Boru/zarf ısı pompasının redüksiyon değerleri ise bu değerlerden düşüktür. Boru/zarf rejeneratörlü ısı pompası, plakalı pastörizatörde  $78^{\circ}\text{C}$ 'de 21 saniye tutulan sütlerdeki %99.01 oranındaki redüksiyon değerlerine yakın sonuçlar vermiştir [38]. Mikroorganizmaların redüksiyon oranına; uygulanan sıcaklık derecesi ve süresi, mikroorganizma sayısı ve çeşidi v.b. gibi bir çok faktör etkilidir. Buna rağmen, sistemler içinde

en düşük redüksiyon değerini veren Boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasının bile 69°C' deki etkinliğinin plakalı pastörizatördeki 78°C'nin etkinliğine yakın olduğu söylenebilir.

Olkemiz Gıda Maddeleri Tüzüğünde (GMT) ve Pastörize süt standardında (TS-1019) "pastörize sütlerde en fazla 40000 adet/ml toplam saprofit mikroorganizma bulunmalıdır" hükmü vardır (39,40). Bu hükme, kazan sisteminde ve plakalı ısı pompasında pastörize edilen sütlerin ortalama toplam mikroorganizma değerleri uymaktadır. Fakat, boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen ortalama toplam mikroorganizma değerleri söz konusu hükümlere uymamaktadır.

Pastörize sütlerde bulunması gereken koliform bakteri sayısı hakkında ise, Gıda Maddeleri Tüzüğü ile pastörize süt standardında (TS-1019) sırası ile "10 adet/ml olmalı", "1 ml'sinde hiç koliform bakteri olmamalı" hükümleri vardır [39,40]. Kazan sisteminde ve plakalı ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerde koliform bakterilerin % 100'lük redüksiyona uğramaları, bu iki sistemde pastörize edilen sütlerin standartlara uygun olduğunu göstermiştir (Tablo 6.8 ve 6.8). Fakat boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerde ortalama 59 adet/ml koliform mikroorganizma tespit edilmiştir (Tablo 6.9). Bu sonuç, boru/zarf ekonomizörlü ısı pompasında pastörize edilen sütlerin ne GMT'ne ne de TS-1019'a uymadığını ve etkili bir pastörizasyonun yapılmadığını ortaya koymaktadır.

Standartlarımızda ve Tüzüklerimizde pastörize sütte bulunması gereken laktik asit bakterisi, maya-küf sayısı, lipolitik ve proteolitik mikroorganizma sayısı hakkında sınırlayıcı bir hüküm yoktur. Tablo 6.8 ve Tablo 6.9'dan görüleceği gibi, bu mikroorganizmalarda en yüksek redüksiyon oranlarını sırası ile kazan sistemi, plakalı ısı pompası ve borulu ısı pompası sistemleri vermiştir.

Pastörize sütlerin sağlık açısından güvenirliliğinin belirlenmesinde önemli kriterlerden biri de fosfotaz testidir. Pastörize edilen sütlerde kesinlikle fosfotaz enziminin bulunmaması gerektiği, fosfotaz enziminin bulunmasının sütün yeterince pastörize edilmediğinin veya içine bir miktar çiğ süt karıştığıının göstergesi olduğu belirtilmiştir [32,33]. Fosfotaz testinde mavi renk, pastörizasyonun tam yapılmamış olduğunu, kahverengi veya gri renk ise pastörizasyonun tam ve yeterli yapılmamış olduğunu, kahverengi veya gri renk ise pastörizasyonun tam ve yeterli olduğunu göstermektedir [32,33].

Çiğ ve pastörize sütlerdeki fosfotaz testlerinin sonuçları Tablo 11 ve 12'de toplu olarak verilmiştir. Fosfotaz testinde çiğ sütlerde elde edilen mavi renk çiğ sütün daha önce herhangi bir ısıl işlemde geçmediğini göstermiştir. Kazan sisteminde ve plakalı ısı pompasında pastörize edilen sütlerin tam pastörize olduğunu fosfotaz testi sonuçları da doğrulamıştır (Tablo 11 ve 12). Fakat borulu ısı pompasında pastörize edilen sütlerin pastörize olmadığı fosfotaz testi ile ortaya çıkarılmıştır.

Her üç sistemde elde edilen pastörize sütlerin, kuru madde yağ, asitlik ve pıhtılaşma kabiliyeti özelliklerinde herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır (Tablo 11 ve 12).

Elde edilen sonuçlardan, plakalı ısı pompasının, peynire işlenecek sütün pastörizasyonunda kazan sistemi yerine kullanılabilmesi gibi içme sütünün pastörizasyonunda da kullanılabilmesini rahatlıkla söylemek mümkündür. Borulu ısı pompasının ise 69°C derecede kullanılmasının pastörizasyon için yeterli olmadığı belirlenmiştir. Fakat, sıcaklık derecesinin yükseltilmesi durumunda borulu ısı pompasının da hem peynire işlenecek sütün ve hem de içme sütünün pastörizasyonda kullanılabilmesi söylenebilir.

Peynircilik ve içme sütü teknolojisinde emin bir şekilde kullanılabilen olan ısı pompasının teryağı ve yoğurt teknolojisinde de kullanılabilirliğinin belirlenmesi durumunda bir çok yönden avantajlı bir pastörizasyon sistemini süt sanayiine kazandırmak mümkün olacaktır. Bunun için de kritik sıcaklık derecesi 90- 95°C'lerin üzerine çıkabilen uygun soğutucu akışkanların ve buna uygun diğer ekipmanların kullanılmasıyla oluşturulmuş bir ısı pompası sisteminin dizayn edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Isı pompasının süt fabrikalarında etkin şekilde kullanımının gerçekleşmesi durumunda şu faydaların sağlanabileceği elde edilen sonuçlardan çıkarılabilir.

1. Pastörizasyon işlemi daha az enerji ile yapılabileceğinden önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilecektir.

2. İşçi sayısını azaltabilecek ve iş gücünün başka sahalarda daha etkin kullanılmasını sağlanabilecektir.

3. Enerji giderlerinin ve işçilik maliyetlerinin azalması sonucunda süt mamüllerinin fiyatlarını düşebilecektir.

4. Isı pompası kullanımının en önemli yararlarından birisi de süt fabrikalarında enerji sağlamak amacıyla kullanılan kazan daireleri nedeniyle iki katlı bina zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca, soğutma ve ısıtmanın aynı makinada yapılması, fabrikalarda kullanılan alet ve ekipman için gerekli alandan büyük tasarruf sağlamaktadır. Dolayısıyla ısı pompası süt fabrikalarında sabit yatırım masrafları ile işletme maliyetlerini azaltacaktır.

5. Ölkemizde sütün % 90'ı aile işletmelerinde veya mevsimlik mandıralarda % 10'u ise modern süt işletme tesislerinde işlenmektedir. Bu durum lkemizde süt mamülleri açısından standardizasyonun oluşturulmasına engel olmaktadır. Fakat bu sistemin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması durumunda süt ve mamüllerinde standardizasyonun sağlanmasında büyük katkıları olabilecektir.





## 8. ONERILER

Süt pastörizasyonu için geliştirdiğimiz ısı pompası sisteminin daha etkili kullanımı için sisteme aşağıda sıralanan özelliklerin kazandırılması gerektiği inancındayız.

1. Süt pastörizasyon sıcaklığının kontrolü tam otomatik hale getirilmelidir. Pastörizasyon sıcaklığının alt sınırı sistemdeki bir termostat yardımıyla yapılmakta ve bu yeterli olmaktadır. Süt sıcaklığı set edilen sıcaklığın altına düştüğü zaman termostat üç yollu vana vasıtasıyla sütün sistemi terketmesine mani olmaktadır. Süt sıcaklığının üst sınırı ise manuel tip bir vana vasıtasıyla debiyi değiştirmek suretiyle kontrol edilmektedir. Eger süt sıcaklığı gereğinden fazla yükselirse sütün debisi arttırılarak buna engel olunmaktadır. Aksi halde süt sıcaklığına bağlı olarak gaz sıcaklığı ve basıncı da artacak ve sistem "yüksek basınç arıza" rejimine girecektir. Bundan başka özellikle peynire işlenecek sütlerde süt sıcaklığının 70°C'nin üstüne çıkması istenmez. Bunun içinde yukarıda belirttiğimiz gibi manuel vana ile süt debisi arttırılarak sıcaklığın yükselmesine mani olunur. Fakat vana manuel olduğu için hassas bir sıcaklık ayarı yapmak mümkün olmamaktadır. Bu sıcaklığın belli bir toleransla hassas bir şekilde kontrol altında tutulması sistemde manuel vana yerine termostatlara irtibatlı olarak çalışan elektronik kumandalı bir vana ile mümkün olabilir.

2. Sisteme sütün ikmalî samandıralı bir depo ile tam otomatik hale getirilmelidir.

3. Sisteme temizleme devresi eklenmelidir. Bu sistem arzu edilirse otomatik olarakta yapılabilir.

4. Sistemin gaz devresinde kompresör emişinde bir aşırı kızdırma eşanjörü bulunmaktadır (Şekil 4.3). Aşırı kızdırma durumunda sistemin Şekil 6.2 de görülen logP-h diyagramı biraz daha farklı olacaktır. Diyagramdaki 1 noktası aşırı kızdırma ile kızgın buhar bölgesine kayacaktır. Buna bağlı olarak 2 noktasının yeri de değişecektir. Bu durumda kondenserin ısı kapasitesi, emiş durumunda gazın yoğunluğu, sonuçta da performans katsayısı değişecektir. Bu nedenle gaz devresinde kompresör girişine, kondenser giriş ve çıkışına birer sıcaklık ölçer yerleştirilmelidir. Ancak bu şekilde sistemin gerçek performans katsayısı ölçülebilir.

5. Sistemin rejime girmesi uzun zaman almaktadır. Bu süreni kısaltılması gerekir. Bilindiği gibi sistemde yağ kompresör kullanılmıştır. Kompresör çıkışında yağlama yağını R-114'den ayıran bir yağ ayırıcı bulunmaktadır. Eğer yağ ayırıcı (seperatör) fonksiyonunu tam olarak yerine getiremiyorsa kondenser ve evaporatör gaz devresine yağ sızacaktır. Bu da kondenser ve evaporatörün termal verimlerini düşürmektedir. Bu duruma uygun bir çözüm bulunmalıdır.

6. Sistemde süte uygun daha küçük bir süt pompası kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Reay, D.A. and Macmichael, D.B.A., 1988, Heat Pumps, Pergamon Press, U.K. p 1-50.
- [2] Haldane, J.G.N., 1930, The heat pump- an economical method of producing low grade heat from electricity, I.E.E. journal, vol. 68, p 666-675.
- [3] Egle, M., 1978, The heating of the Zurich Town Hall by the heat pump. SEV Bulletin, vol. 29, p 261-273
- [4] Sumner, J.A., 1953, A summary of heat pump development and use in Great Britain. J. Inst. of Fuel, p 318-321
- [5] Montagnon, P.E. and Ruckley, A.L., 1954, The Festival Hall heat pump. J. Inst. of Fuel, p 1-17
- [6] Macadam, J.A., 1974, Heat pumps - the British experience (report). Building Research Establishment Note, Watford.
- [7] Kell, J.R. and Martin, P.L., 1963, The Nuffield College heat pump. J.Inst. Heating & Ventil. Engrs., p 333-356.
- [8] Pietsch, J.A. 1977, The unitary heat pump industry - 25 years of progress. ASHRAE Jnl, vol.19, p 15-18.
- [9] Anonymous. 1982, Heat pump systems - a technology review. International Energy Agency, Paris.
- [10] Kilkis, B. Potential of heat pump utilization for heating purposes in Turkey,
- [11] Bakstrom, B., 1990, Concept for energy saving in heat pumps and refrigeration system, Heat pumps and energy recovery, I.I.R.-Comission E2 (ed.) by, p 121-130.

- [12] Canren, L. and Yitai, M., 1985, Analysis on raising utilization of energy sources for low temperature geothermal distric heating by heat pumps, system and components for large heat pumps, I.I.R.-Comission E2 (ed.) by, p 187-192
- [13] Madsen, K.E. and Aroen, A., 1985, Heat pumps for distric heating operation experiences, system and components for large heat pumps, I.I.R.-Comission E2 (ed.) by, p 201-208.
- [14] Moser, F., 1985, Description of the 11 MW heat pump plant in Oestersind Sweden, System and components for large heat pumps, I.I.R.-Comission E2 (ed.) by, p 193-200.
- [15] Lundstrom, H.O. and Troselius, L., 1985, experience with two large sea-water heat pumps at Lidinqö, Sweden, System and components for large heat pumps, I.I.R.-Comission E2 (ed.) by, p 209-216
- [16] Laakkonen, M., 1985, Utilization of a heat pump in the Salmisaari B power plant, Helsinki, System and components for large heat pumps, I.I.R.- Comission E2 (ed.) by, p 217-224
- [17] Anonymous. 1978, A century of refrigeration by Sulzer. Sulzer Tecnical Review, no.1, p 41-43.
- [18] Charity, L.F. et al., 1952 Heatin water with a milk cooler using heat pump principle. Agric. Engng. p 216-219.
- [19] Dağsöz, A.K., 1981, Isı pompalarının tarımda uygulaması, VI. tarımsal mekanizasyon semineri, I.T.O. Makina Fak. Ziraat Mak. Enst., s 209-219

- [20] Anonymous. 1976, Waste heat recovery saves £15000 a year. The Engineer, p 24-25
- [21] 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
- [22] Bergmans, J., 1981, Report for the International Energy Agency Implementing Agreement on Advanced heat Pumps. Heat Pump Systems Applied in Industry, Annex III, Leuven University, Belgium.
- [23] Davis, C.P., 1949, a study of the adaptibility of the heat pump to drying shelled corn., Purdue Un., U.S.A.
- [24] Hogan, M.R. et al., 1983, Heat pump for low - temperature grain drying. Transactions of the ASAE., p 1234- 1238.
- [25] Strommen, I., 1990, Industrial heat pumps in Norway, Heat pumps and energy recovery, Int. Inst. of refrigeration, p 85-100
- [26] Comaklı, Ö., Ayhan, T. ve Kaygusuz, K., 1990, Karadeniz bölgesi için bir ısı pompası deney düzeneği. Mühendis ve Makina, sayı 369, s 19-26.
- [27] Stoecker, W.F. and Jones, J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, Mcgraw-Hill, Singapore, p 296-351.
- [28] Demirci, M. ve Gündüz, H., 1991, Süt teknoloğunun el kitabı, Hasad yayıncılık, İstanbul, s 99-120.
- [29] Yöney, Z. 1970, Süt ve Mamülleri, Ankara Ün. Ziraat Fak. yayını, 148.
- [30] Özkol, N., 1985, Uygulamalı Soğutma Tekniği, Makina Müh. Odası yayını, 115, s 49.

- [31] Speck, M.L., 1976, Compendium of Methods for the Microbiological Examination of foods, APHA Inc., USA, p 677
- [32] Kurt, A., 1990, Süt ve mamülleri muayene ve analiz metotları rehberi, Atatürk Univ. Ziraat Fak., Erzurum, s 168
- [33] Köşker, Ö., Tunail, N., 1985, Süt mamülleri mikrobiyolojisi ve hijyeni uygulama klavuzu, Ankara Ün. Ziraat Fak., Ankara.
- [34] Kosikowski, F.V., 1980, Cheese and Fermented Milk Foods, Michigan Edwards, Brothherds, Inc. USA.
- [35] Genceli, O.F., 1985, Buhar Kazanları, Ankara, s 5.
- [36] Wylen, V.J.G., and Sonntag, R.E., 1985, Fundamentals of Classical Thermodynamics, Singapore, p 284.
- [37] Güven M.E., Martı, İ.B. ve Coşkun, İ., 1987, Elektroteknik, M.E.B. yayını, 416, s 225.
- [38] Akyüz, N., Çağlar, A., 1989, HTST metodunda sıcaklık derecesi ve depolama zamanının süt kalitesine etkisi, Gıda, 14, s 155-157.
- [39] Ercoskun, A., 1987, Gıda Maddeleri Tüzüğü İşçi Sağlığı ve İş Tüzüğü, Eda matbaası, Ankara.
- [40] Anonim., 1981 Pastörize süt standardı (TS-1019), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [41] ASHRAE, 1989, Fundamentals vol., Atlanta, p 17.20