

Gıda Sanayinde Isı Pompaları ve Uygulamaları

Doç. Dr. Mehmet PALA

TÜBİTAK - MAE Beslenme ve Gıda Teknolojisi Bölümü ile Soğuk Tekniği Bölümleri Başkanı — GEBZE

Yusuf Onur DEVRES

TÜBİTAK - MAE Soğuk Tekniği Bölümü — GEBZE

ÖZET

Dünya'da yaygın olarak kullanılan ısı pompaları, ülkemiz gıda sanayinde de geniş kullanım alanı bulabilir. Özellikle soğuk hava depolarında, meyva-sebze işleme için sıcak su ihtiyacı bulunuyorsa, sisteme küçük ilaveler ile, ısı ihtiyacı «ısı pompası» ile sağlanabilir. En ucuz enerji kaynağı olan, «Enerji Tasarrufu» ile ısı pompalarının uygulandığı te- siste önemli miktarda işletme masrafı düşürülür.

1. GİRİŞ

Isı pompasının çalışma ilkesi 1824 yılında, Nicholas CARNOT tarafından ortaya atılmış daha sonra bu teori, 1852 yılında Lord KELVIN'in «soğutma cihazları kullanarak ısıtma yapılması» düşüncesi ile gelişmiştir. Bununla birlikte pratik olarak ısı pompası uygulaması 1930 yılında HALDANE tarafından gerçekleştirilmiş ancak büyük boyutta, Avrupa'da ilk ısı pompası, 1938 yılında Zürih Belediye Sarayı'nı ısıtmak amacı ile yapılmıştır. Günümüzde, ısı pompaları Avrupa, Amerika ve Japonya'da enerji tasarrufu, klima ihtiyacı, ısıtma gibi nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır (REAY, 1979).

2. ISI POMPASI TEORİSİ

Isı pompası, düşük sıcaklıktaki ısı enerjisini, yardımcı bir enerji kaynağı kullanarak daha yüksek sıcaklığa çıkaran cihazdır. Genel olarak ısı pompası çevrimi, soğutma çevrimine benzer. Ancak asıl amaç, soğutma çevriminde yoğunlaştırıcıdan atılan ısının kullanılmasıdır. Şekil 1'de Teorik Isı Pompası çevrimi verilmiştir. Çevrim incelenir ise;

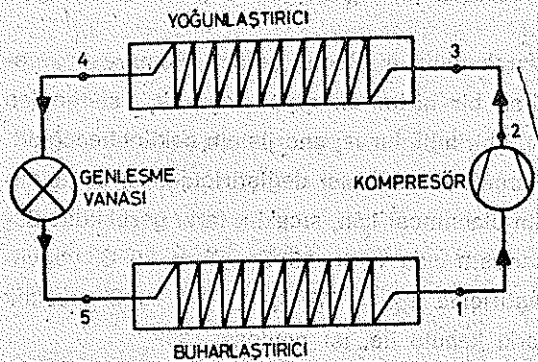
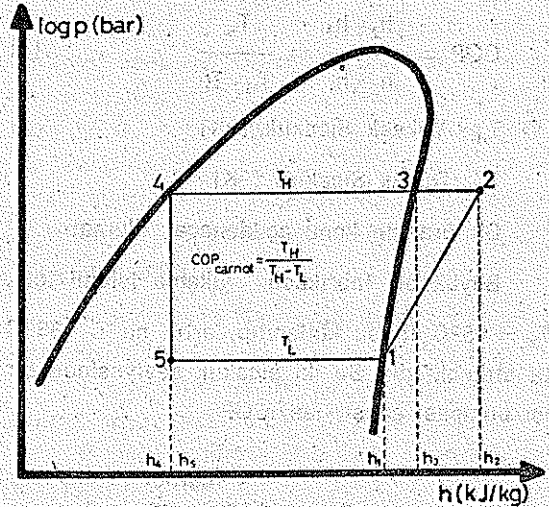
(1) - (2) Kompresör tarafından, soğutucu akışkan doymuş buhar halinde iken emilir ve izentropik olarak (entropi sabit) sıkıştırılır.

(2) - (4) Yüksek basınçta yoğunlaştırıcıya giren soğutkan gaz, yoğunlaşma ısısını dış ortama verir ve sıvı evreye geçer.

(4) - (5) Sıvı haldeki soğutkanın genişleme vanası ile basıncı düşürülür.

(5) - (1) Düşük basınçtaki sıvı soğutkan, buharlaştırıcıda buharlaşırken; buharlaşma ısısını, buharlaştırıcının etrafındaki ortamda alır ve çevrim tekrarlanır.

Yukarıda belirtilen çevrimin tekrarlanabilmesi için kompresöre $(h_2 - h_1)$ enerjisinin verilmesi gerekir. Bu enerji verildiği takdirde, yoğunlaştırıcıda, $(h_2 - h_4)$ ısı enerjisi açığa çıkar.



Şekil 1. Teorik Isı Pompası Çevrimi

$(h_2 - h_4)$ ısı enerjisi, bir elektrik direnci ile sağlanır ise,

$$\frac{h_2 - h_4}{\text{Dirence Verilen Enerji}} \leq 1 \quad \dots(1)$$

olur. Bunun anlamı 1 000 W'lık bir elektrikli ısıtıcı ile en fazla 1 000 W'lık veya daha az ısı enerjisinin elde edilebileceğidir. Ancak ısı pompasında,

$$\frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} \geq 1 \quad \dots(2)$$

$h_2 - h_4 =$ Elde Edilen Faydalı Enerji (kJ/kg)
 $h_2 - h_1 =$ Kompresöre Verilen Enerji (kJ/kg)

(2) ifadesinde verilen orana, verimlilik katsayısı (Coefficient of Performance) denir ve COP ile gösterilir.

$$\text{COP} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{T_H}{T_H - T_L} \quad \dots(3)$$

T_H : Yüksek Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

T_L : Düşük Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

Bir örnekle konu açıklanacak olursa;

Büyük bir fabrikada, yıkama işlemi için,

$T_H = 65^{\circ}\text{C}$ ta su kullanılıp, artık su $T_L = 35^{\circ}\text{C}$ ta atılmaktadır. Bu iki sıcaklık seviyesinde bir ısı pompası çalışır ise, COP

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{273 + 65}{65 - 35} = 11.3 \quad \dots(4)$$

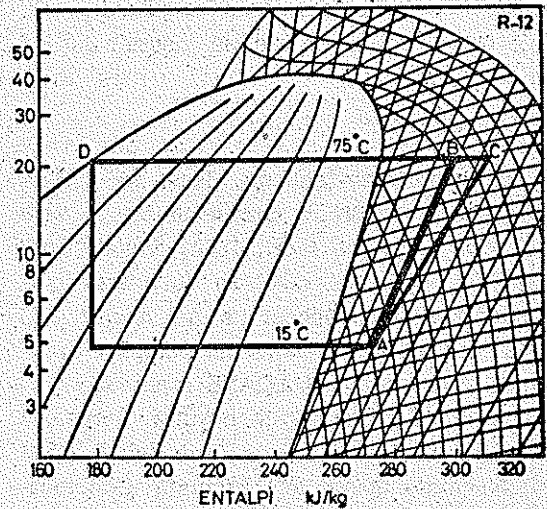
olarak bulunur. Bunun anlamı, kompresöre verilen bir birim enerjiye karşılık, sistemden 11.3 birimlik bir ısı enerjisinin çekilebileceğidir. Gerçek durumda ısı değiştiricide, ısı değişiminin olabilmesi için, sıcaklık farkı gereklidir. Buharlaştırıcıda $T_L = 15^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$, yoğunlaştırıcıda $T_H = 75^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı kabulü ile, ısı pompası COP,

$$\text{COP} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{273 + 75}{75 - 15} = 5.8 \quad \dots(5)$$

değerine düşer. Kompresör emdiği gazı, izentropik olarak sıkıştırması gerekir iken, Şekil 2'de A-B durumu yerine A-C durumunda sıkıştırır. $\eta_{iz} = 0.70$ kabulü ile bulunan C durumu ile COP,

$$\text{COP} = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A} = \frac{372 - 177}{312 - 271} = 3.3 \quad \dots(6)$$

olur. Kompresörün mekanik verimide eklenirse, $\text{COP} = \text{COP} \times \eta = 3.3 \times 0.95 = 3.13$ (7) elde edilir.



Şekil 2. P-h diagramında $T_L = 15^{\circ}\text{C}$, $T_H = 75^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralıklarında çalışan ısı pompası çevrimi

COP, ısı pompasına verilen iş karşılığı elde edilen ısı enerjisinin oranını verir. Ancak, verilen iş birincil enerji kaynağından (mazot, benzin, kömür, vb.) elde edilir iken, kayıp söz konusu olduğundan, bu COP'de dikkate alınmaz. Bundan dolayı, hem COP yi hem de birincil enerji kaynağının ısıya dönüşme oranını da kapsayan, birincil enerji oranı PER (Primary Energy Ratio) Őu şekilde tanımlanır:

$$\text{PER} = \frac{\text{Isı Pompasının Verdiği Kullanılabilir Isı}}{\text{Sarfedilen Birincil Enerji}} \quad (8)$$

Kompresör, $\eta = 0.40$ verim ile çalışan bir dizel motoru ile tahrik edilirse,

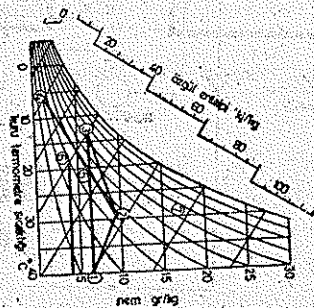
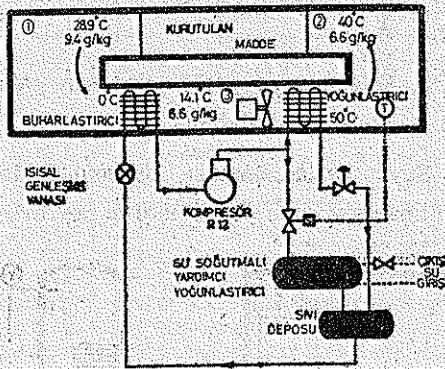
$PER = \eta \times COP = 0.40 \times 3.13 = 1.25$ olarak bulunur. Bir diğer ifade ile, ısı pompası yakıtın doğrudan yanmasına göre % 25 daha fazla ısı vermektedir. Dizel motorunun egzoz gazlarındaki artık ısıdan yararlanarak, PER 1,5'a çıkarılırsa, % 70 - 80 verim ile çalışan bir kazana göre, birim yakıt için iki katına yakın ısı elde edildiği ortaya çıkar.

3. GIDA SANAYİNDE ISI POMPASI UYGULAMALARI

Isı ihtiyacı ve tasarrufu gerektiren her işlemdede, ısı pompaları kullanılabilir. Sıcaklığın 40 - 60°C istenmesi halinde doğrudan, daha yüksek istenmesinde ise, ön ısıtıcı görevini yaparak, enerji tasarrufu sağlarlar. Aşağıda gıda sanayiinde, bazı ısı pompası uygulama örnekleri verilmiştir.

3.1. Isı Pompası İle Kurutma

Isı pompasının kurutmaya uygulanmasına örnek olarak, 0°C buharlaşma, 50°C yoğunlaşma sıcaklığında çalışan R - 12 li bir soğutma sisteminin, Şekil 3'de görüldüğü gibi, bir kanele yerleştirilmiş hali verilebilir. Burada yoğunlaştırıcıdan çıkan sıcak ve kurü hava kuru-



Şekil 3. Isı Pompası İle Kurutma

tulan maddelerle temasa geçer; burada nem alarak nemi artar, sıcaklığı düşer ve buharlaştırıcıya gelir. Buharlaştırıcıda içindeki nem düşürüldükten sonra, yoğunlaştırıcı tarafından ısıtılır (ANOM, 1980).

Şekil 3'de verilen psikometrik diyagramdan olay izlenir ise;

1° Yoğunlaştırıcıdan çıkan 40°C x = 6.6 gr/kg koşullarındaki hava kurutma hacmine girer.

2° Kurutma hacminden 28.9°C x = 9.4 gr/kg'de çıkar. Böylelikle 1 kg kurutma havası 2.8 gr nem kazanmış olur.

3° Buharlaştırıcıdan 14.1°C, x = 6.6 gr/kg koşullarında çıkan kurutma havası yoğunlaştırıcıda ısıtılır.

Havanın kurutma hacminde 28.9°C x = 9.4 gr/kg koşullarında çıkıp, 40°C x = 6.6 gr/kg durumuna getirilmesi için;

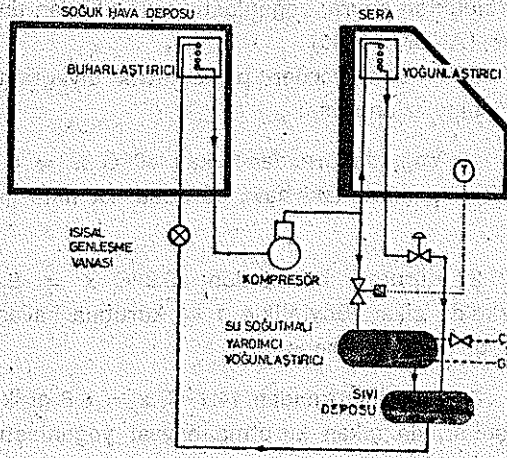
1° 28.9°C x = 9.4 gr/kg koşullarındaki havanın, nemi 6.6 gr/kg'dan daha az hava ile belirli oranlarda karıştırılıp, ısıtılması gerekir. Örneğin 2 birim 28.9°C x = 9.4 gr/kg [(2) durumu] hava ile 1 birim 7°C x = 2 gr/kg [(4) durumu] hava karıştırılıp, elde edilen 21.5°C x = 6.6 gr/kg hava [(5) durumu] (1) durumuna getirilir.

2° Dış ortam havasının nemi 6.6 gr/kg dan düşük ise 28.9°C x = 9.4 gr/kg koşullarındaki hava atılır, yerine dış ortam havası, ısıtılarak verilir. Şekil 3'de psikometrik diyagramda, (6) durumundaki hava 40°C sıcaklığa kadar ısıtılır.

3° Dış ortam havasının nemi 6.6 gr/kg dan yüksek ise, kurutma havası olarak kullanılmaz. Kullanılabilmesi için, nem miktarının azaltılması gerekir ((7) durumundaki hava kurutma havası olarak kullanılamaz).

Isı pompasının asıl önemi, üçüncü seçenekte ortaya çıkar. Kurutulacak malzemenin bulunduğu yerde, dış ortam havası yüksek nemli ise, kurutma havası olarak kullanılamayacağı için, kurutma havası kapalı devrede dolaştırılmalıdır. Şekil 3'deki diyagramdan, (2) koşullarındaki 28.9°C x = 9.4 gr/kg hava, buharlaştırıcı ile temasa geçer. (2) durumundaki hava koşullardaki çiğlenme noktasında (13°C)

daha düşük sıcaklıktaki (0°C) buharlaştırıcı ile temasa geçtiğinden, havanın içindeki nem,



Şekil 4. Soğuk Hava Deposu - Sera Isı Pompası Uygulaması

sıvı evreye geçer ve havadan ayrılır. Böylelikle, buharlaştırıcıdan çıkan havanın nemi, azaltılmış olur. Daha sonra yoğunlaştırıcı tarafından da duyulur ısıtma ile ısıtılıp, 40°C x = 6.6 gr/kg koşullarına getirilir.

3.2. Isı Pompası ile Sera Isıtılması

Isı pompasının diğer bir kullanım alanı da, seraların ısıtılması olabilir (Şekil 4). Isı pompası, iki sıcaklık seviyesi arasında çalıştığı için, bu sistemde düşük sıcaklık seviyesi bir soğuk hava deposu, yüksek sıcaklık seviyesi de seradır. Bundan dolayı buharlaştırıcı soğuk hava deposuna, yoğunlaştırıcı seraya yerleştirilir. Soğuk hava deposunda evre değiştiren soğutucu akışkan, buharlaşma ısısını, soğuk hava deposunda bulunan meyva - sebzeden alır. Buharlaştırıcıda gaz evresindeki akışkan kompresör tarafından emilir ve yoğunlaştırıcıya gönderilir. Yoğunlaşma ısısını sera havasına veren akışkan, sıvı evrede serayı terk eder ve sıvı deposuna gelir, çevrim tekrarlanır. Sera sıcaklığının yüksek olması durumunda su soğutmalı yardımcı yoğunlaştırıcı devreye girer ve sistemin dengede çalışması sağlanır.

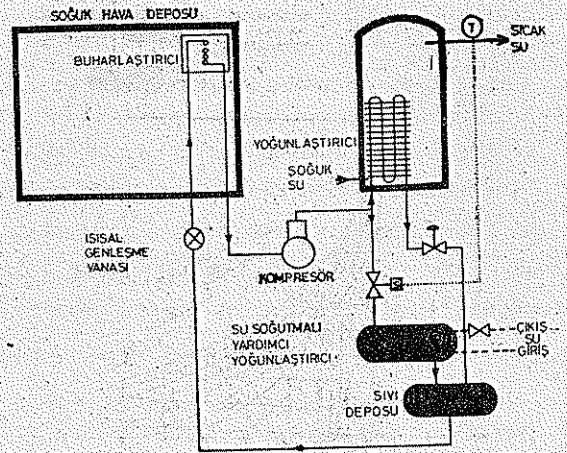
3.3. Isı Pompası ile Soğuk Hava Deposu Tesisinde Sıcak Su Elde Edilmesi

Soğuk hava depolarında, kompresörden çıkan sıcak gaz su soğutmalı yoğunlaştırıcıya gelir, gaz evresinden sıvı evresine geçer ve

yoğunlaşma ısısını suya verir. Böylece ısınan su, su soğutma kulesine gönderilir ve soğuktan alınan yoğunlaşma ısısı havaya verilir. Havaya atılan bu ısı, o deponun soğutma kapasitesinin 1.2 - 1.5 katıdır. 100 000 kcal/h'lık soğutma kapasitesine sahip bir soğuk hava deposunda 120 - 150 000 kcal/h eder ki ihmal edilebilecek bir değer değildir. Soğutkanın yoğunlaşma ısısı, yoğunlaştırıcının bir su deposuna yerleştirilmesi ile suya verilebilir. Depoda ısınan su ile :

1. Konserve fabrikalarında, buhar kazanı besleme suyu ısıtılabilir,
2. Paketleme tesisinde, meyveler mumsandıktan sonra gerekli olan 55°C'taki hava, fan - boru tipli ısı değiştirici ile verilebilir,
3. Sarartma odaları için gerekli olan 26 - 29°C hava sıcaklığı, fan boru ısı değiştirici ile sağlanabilir,
4. Tavuk kesiminden sonra gerekli olan, sıcak su ile yıkama yapılabilir,
5. Gıda işleme ve muhafaza tesislerinde çalışan personelin sıcak su ihtiyacı karşılanabilir,
6. Odaların ve geniş alanların tabandan ısıtılmasında kullanılabilir.

Suyun fazla ısınması durumunda ise, su soğutmalı yardımcı yoğunlaştırıcı devreye girer.

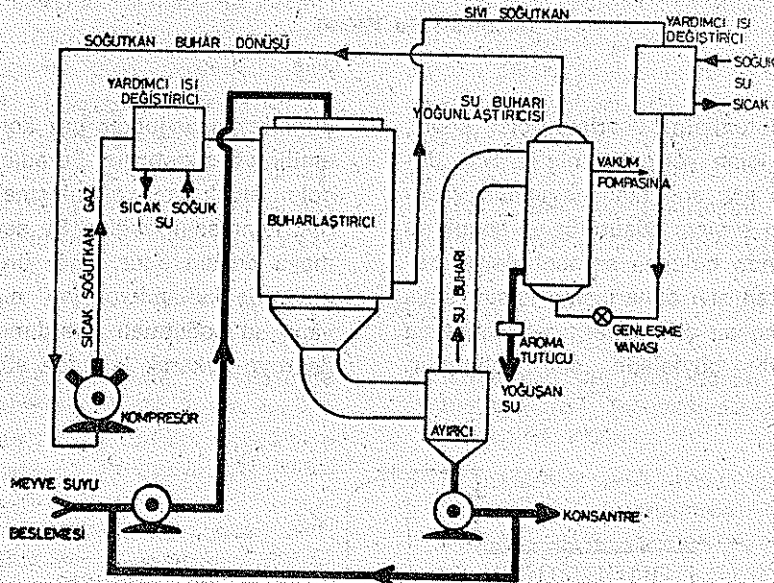


Şekil 5. Isı Pompası ile Soğuk Hava Deposunda Sıcak Su Üretimi

3.4. Isı Pompası İle Meyve Suyu Konsantresi Yapılması

Meyve sularının konsantre edilmeleri; kalitelerini korumak amacı ile düşük sıcaklıklarda vakum altında yapılır. Bunun için, ısı pompasının yoğunlaştırıcısı meyve suyunun buharlaştırıldığı bölüme konular. Böylelikle, kompresörden çıkan sıcak gaz, yoğunlaşma ısısını meyve suyuna verir. Böylelikle ısınmış olan düşük basınçtaki meyve suyunda konsantre ve buhar evreleri oluşur. Bu iki evre ayırıcıda bir-

birinden ayrılır ve su buharı, genişleme vanasında basıncı düşürülen soğutkan ısı ile karşılaşır. Serpantin içinde buharlaşan soğutkan, su buharının yoğunlaşmasına neden olur ve yoğunlaşan su, bir aroma tutucudan geçirildikten sonra dışarı atılır. Buhar haline gelen soğutkan ise kompresör tarafından emilir ve çevrim tekrarlanır. Soğutkan devresinde bulunan yardımcı ısı değıştiricileri ise zaman zaman termostat kontrolü ile devreye girerek, çevrim dengede çalışması sağlanır (ANOM, 1982).

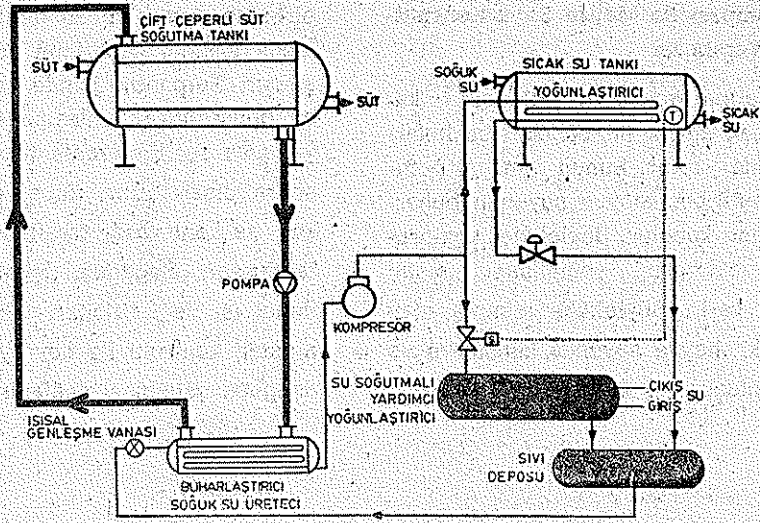


Şekil 6. Isı Pompalı Meyve Suyu Konsantre Tesisi

3.5. Süt Toplama Merkezlerinde Sıcak Su Eldesi

Diğer gıdalarda olduğu gibi süt, sıcaklığı düşürülerek enzimatik ve mikroorganizma aktivitesi sınırlandırılarak bozulmaları geciktirilir. Bu amaçla sütler, gerek toplama merkezlerinde ve gerekse işleme tesislerinde soğutulurlar. Sütün soğutulması için, taşıdığı ısı alınarak sıcaklığı 5°C'in altına düşürülür. Bu soğutma iş-

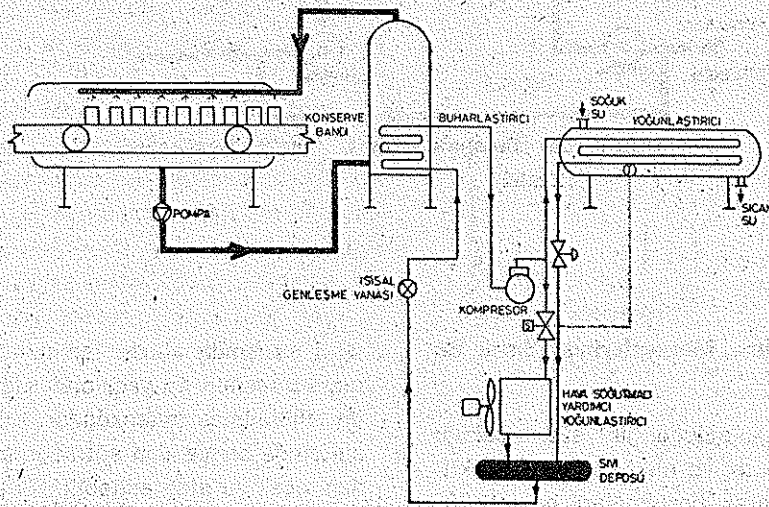
lemi sırasında alınan ısının, toplama merkezinin ve tesisin ihtiyacı olan sıcak su üretiminde kullanılması mümkündür. Kurulacak olan bu sistemde bir yandan süt soğutulurken, öte yandan sıcak su elde edilebilir. Sütün soğutulması, ya serpantinlerin sütün içine daldırılması ile ya da çift çeperli bir ısı değıştirici kullanılarak yapılabilir. Çift çeperli bir ısı değıştirici kullanan böyle bir sistem Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Süt Toplama Merkezlerinde Isı Pompası İle Sıcak Su Eldesi

Soğutma sisteminin buharlaştırıcısı, soğuk su üreticisinin içine yerleştirilmiştir. Sıvı deposundan gelen sıvı soğutkan genişleme vanasından geçerken basıncı düşürülür ve soğuk su üreticisi içerisinde bulunan serpantinlerde buharlaşır. Soğutkan sıvı buharlaşma ısısını suya verir ve soğuyan su çift çeperli süt soğutucu tankına gönderilir, böylelikle süt soğutulur.

Buharlaşan soğutkan gaz kompresör tarafından emilir ve sıkıştırılır. Buradan, yoğunlaştırıcıya gelen sıcak gaz, yoğunlaşma ısısını suya vererek, ısınmasını sağlar. Bu şekilde sistem çalışmaya devam eder. Eğer üretilen sıcak su az miktarda kullanılıyor ise, sistemdeki selenoid vana su soğutmalı yardımcı yoğunlaştırıcıyı devreye sokarak işlemin sürekliliği sağlar.



Şekil 8. Konserveler Fabrikalarında Isı Pompası Uygulaması

3.6. Konserve Fabrikalarında Kazan Besleme Suyunun Isıtılması

Konserve fabrikalarında sterilizasyondan sonra, konservelerin hemen soğutulması gerekir. Sterilizasyondan 110 - 120°C'ta çıkan konserveler ortam hava sıcaklığının 4 - 5°C üzerine kadar soğutulur. Soğutma genellikle su yardımı ile yapılır. Isınan su, soğutma kulesine gönderilir, burada bir bölümü buharlaşır. Bu nedenle soğutma suyuna ilave yapılması gerekir. Ancak Şekil 8'de verilen sistem kullanılarak, enerjide önemli ölçüde tasarruf sağlamak mümkündür. Önerilen sistem şu şekilde çalışmaktadır :

Konserveleri soğuturken ısınan su, buharlaştırıcının bulunduğu tanka gönderilir. Sıvı tankından gelip, genişleme vanasında basıncı düşürülen soğutkan, tank içindeki serpantinler de buharlaşır ve ısınmış olan konserve soğutma suyunu soğutur. Buharlaştırıcıdan çıkan soğuk gaz kompresör tarafından emilir ve sıkıştırılır. Sıcaklığı ve basıncı artan gaz yoğunlaşma ısısını, kazan besleme suyuna verir ve sıvı evreye geçer. Yoğunlaşma sıcaklığı yüksek

ise, hava soğutmalı yardımcı yoğunlaştırıcı devreye girer. Böylelikle hem kazan besleme suyu ısıtılır, hem de konserve soğutma suyunun sıcaklığı düşürülmüş olur.

4. SONUÇ

Avrupa ve Amerika'da geniş kullanım alanı bulan ısı pompaları, henüz Türkiye'de yeterince bilinmemektedir. Ülkemizde çalışır halde bulunan soğuk hava depolarında, gıda işleme tesislerinde dışarı yoğunlaştırıcı ısısı olarak atılan enerji, kullanılabilir hale getirilir ise, tesisin işletme maliyetleri önemli ölçüde düşer. Özellikle soğuk hava depolarında, sistem çalışır halde olduğundan, küçük ilaveler ile (ısı değiştirici, boru bağlantıları, otomatik kontroller) en azından kullanım için sıcak su sağlanabilir. 150 000 kcal/h'lık yoğunlaştırıcıya sahip bir tesiste saatte 5 ton su 20°C'tan 50°C'a çıkarılabilir, bu ise saatte 15 kg, günde 18 saat çalışma ile yılda yaklaşık 100 ton fuel oil tasarrufu demektir. Bundan dolayı, sanayide enerji tasarrufuna yönelik çalışmaların en önemli kaynaklarından birinin de ısı pompaları olduğuna inanıyoruz.

KAYNAKLAR

1. ANONYMOUS, 1982. Ashrae Applications Handbook, Chapter 34, pp. 34, 1 - 34, 8.
2. PIETSCH, J.A. 1977 «The Unitary Heat Pump Industry - 25 years of Progress», ASHRAE Journal pp. 15 - 18.
3. REAY, D.A., MACMICHAEL, D.M.A. 1979, Resign and Application, Heat Pumps, Pergamon Press, London.
4. ANONYMOUS, 1980 Saving Of Energy In Refrigeration, International Institute Of Refrigeration, Paris.
5. STEIMLE, F. 1980. «Heat Pumps, Trends and Possibilities», International Journal of Refrigeration, pp. 9 - 18, Volume, 3.