

ISI POMPASI KULLANILARAK KURUTMA
İŞLEMLERİNDE ENERJİ TASARRUFUNUN İNCELENMESİ

Bedrettin YAMANKARADENİZ

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2011

ISI POMPASI KULLANILARAK KURUTMA İŞLEMLERİNDE ENERJİ
TASARRUFUNUN İNCELENMESİ

Bedrettin YAMANKARADENİZ

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd.Doç.Dr.M.Arif ÖZGÜR

Haziran 2011

KABUL ve ONAY SAYFASI

Bedrettin YAMANKARADENİZ ' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Isı Pompası Kullanılarak Kurutma İşlemlerinde Enerji Tasarrufunun İncelenmesi başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

17/06/2011

(Sınav tarihi)

Üye (Danışman) : Yrd. Doç.Dr. M.Arif ÖZGÜR

Üye : Prof.Dr. Ramazan KÖSE

Üye : Yrd. Doç.Dr. Yılmaz ASLAN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ISI POMPASI KULLANILARAK KURUTMA İŞLEMLERİNDE ENERJİ TASARRUFUNUN İNCELENMESİ

Bedrettin YAMANKARADENİZ

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.M.Arif ÖZGÜR

ÖZET

Bu çalışmada, bir tekstil fabrikasında doğalgazla çalışan klasik tip bir kurutucu ile aynı kurutma işlemini yapacak 3 tip ısı pompalı kurutma sistemi enerji tasarrufu açısından karşılaştırılmıştır. Klasik tip ısı pompası kurutma sistemi, kurutmada çıkan 120 °C' de nemli hava buharlaştırıcıda 60 °C' ye kadar sıcaklığı düşürülerek atmosfere bırakılmakta, 15 °C' ye çevre havası yoğunlaştırıcıda ısıtılmakta ve 135 °C' ye kadar ek ısı doğalgazlı kazandan verilmektedir.

Isı değiştiricili ısı pompası sistemi, kurutmada çıkan 120 °C hava ısı değiştiricisinden geçirilerek sıcaklığı 80 °C' ye düşürülürken, çevre havası 15 °C' den 55 °C' ye ısıtılmakta, ısı değiştiricisinden çıkan 80 °C atık kurutma havası buharlaştırıcıda 60 °C' ye kadar sıcaklığı düşürülerek atmosfere bırakılmakta ve ısı değiştiricisinden 55 °C' de çıkan çevre havası yoğunlaştırıcıda ısıtıldıktan sonra kazandan verilen ek ısı ile sıcaklığı 135 °C' ye getirilmektedir.

Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası kurutma sistemi, kurutmada çıkan 120 °C nemli havanın %90 miktarı buharlaştırıcıdan geçirilerek 60 °C' ye düşürülen hava, by-pass hattından gelen 120 °C' de hava ile karıştırılarak 67 °C' de yoğunlaştırıcıya girmekte ve 135 °C' ye çıkmakta ve ek ısıya gerek kalmadan tüm ısı yoğunlaştırıcıdan verilmektedir.

Yapılan detaylı inceleme sonucu, klasik kurutma sistemine göre en etkili ısı pompalı kurutma sistemi %55 tasarruf ile, geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası kurutma sistemi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : By-pass Devreli Isı Pompası; Enerji Optimizasyonu; Enerji Tasarrufu; Geri Beslemeli Isı Pompası.

INVESTIGATION OF ENERGY CONSERVATION IN HEAT PUMP DRYING PROCESSES

Bedrettin YAMANKARADENİZ

Machine Engineering, M.S.Thesis, 2011

Thesis Supervisor: Assist.Prof.Dr. M.Arif ÖZGÜR

SUMMARY

In this study, a classical type dryer installed in a textile mill is compared with three heat pump drying systems from energy conservation point of view for same drying process. In first type classical heat pump drying system, exhaust most air of dryer at 120 °C cooled to 60 °C in the evaporator and then emitted to atmosphere, ambient air at 15 °C is heated in the condenser additional heat for 135 °C temperature is given in natural gas boiler.

In second exchanger type heat pump system, As exhaust and of dryer at 120 °C is cooled to 80 °C exchanger, ambient air is heated from 15 °C to 55 °C, and the temperature of waste drying air at 80 °C is to 60 °C in the evaporator , and them emitted to atmosphere, after the ambient air that exited from exchanger at 55 °C is heated in the condenser, it is heated to 135 °C with additional heat given in the boiler.

Feed back heat pump drying system with by-pass circuit, the temperature of the 90 % exhaust most air of dryer at 120 °C is reduced to 60 °C in the evaporator, and it is mixed with at 120 °C that comes from by-pass circuit. Mixed air at 67 °C exits the condenser and from exits from the condenser at 135 °C, in this way, all heat is given in condenser without additional heat.

As a result of the detailed investigation, according to conventional drying system with the most efficient heat-pump drying system, saving 55%, back-fed and heat pump drying system was determined by-pass circuit.

Keywords : Energy Conservation; Energy Optimization; Heat Pump With By-pass Circuit; Feed Back Heat Pump.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana rehberlik eden, bilgi ve tecrübesiyle çalışmama ışık tutan değerli hocam Yrd.Doç.Dr. M.Arif ÖZGÜR' e teşekkür ederim. Dumlupınar Üniversitesinde ki eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, büyük katkısını gördüğüm Sayın Prof.Dr. Ramazan KÖSE' ye teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman değerli görüşlerini aldığım ilk başta babam, sonra hocam olan Sayın Prof.Dr. Recep YAMANKARADENİZ' e teşekkür ederim. Tez aşamasında benden desteğini esirgemeyen annem, her zaman yanımda olan abim ve moral kaynağı olan sevgili yeğenime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Enerji Kaynakları.....	1
1.2.Isı Pompasının Tarihi Gelişimi.....	3
1.3.Literatür Taraması.....	9
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1 Isı Pompaları.....	13
2.2. Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası	15
2.3. Isı Pompası Ekipmanları.....	20
2.3.1.Buharlaştırıcılar (Evaporatörler).....	20
2.3.2.Kompresörler.....	26
2.3.3.Kısılma vanaları (Genleşme valfleri).....	28
2.3.4.Yoğuşturucular (Kondenserler).....	29
2.3.5.Soğutucu akışkanlar.....	32
2.4. Isı Pompalarının Sınıflandırılmaları.....	34
2.4.1.Isı pompası ısı kaynakları.....	34
2.4.2.Isı kaynaklarına göre sınıflandırma.....	37
2.5.Endüstriyel Isı Pompası Uygulamaları.....	40
2.5.1. Isı pompası destekli kurutma işleminden ısı geri kazanımı.....	43
2.5.2. Balık üretimi işleminde ısı pompası ile ısı geri kazanımı	47
2.5.3. Süt endüstrisi ve hayvancılıkta ısı pompası kullanımı	48

İÇİNDEKİLER (Devamı)

	<u>Sayfa</u>
2.5.4. Seralarda ısı pompası kullanımı.....	49
2.5.5. Diğer endüstriyel uygulama alanları	49
2.6 Tekstil Endüstrisinde Atık Isı Oluşumuna Neden Olan Bölümlerin İncelenmesi....	50
3. ISI POMPALI KURUTMA SİSTEMLERİ	52
3.1. Kurutma	52
3.1.1. Kurutmanın önemi	52
3.1.2. Kurutma olayı	52
3.1.3. Kurutma mekanizmaları	53
3.1.4. Kurutma sistemleri	55
3.1.5. Sürekli kurutucular	58
3.1.6. Kurutmada psikrometrinin kullanımı	60
3.2. Isı Pompalı Kurutma Sistemleri.....	63
3.2.1. Açık hava çevrimli ısı pompalı kurutucu (Rekuperatör).....	64
3.2.2. Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu	65
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	68
4.1. Tekstil Sanayinde Kurutma İşlemlerinde Isı Pompası Kullanılarak Enerji Tasarrufu Sağlanması	68
4.2. Isı Pompası Sistemlerinin İncelenmesi.....	69
4.3. Isı Pompasında Enerji Tasarrufunun İncelenmesi.....	69
4.3.1. Klasik tip ısı pompasının incelenmesi.....	70
4.3.2. Isı değiştiricili ısı pompasının incelenmesi.....	72
4.3.3. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasının incelenmesi.....	73
4.4. Geri Beslemeli ve By-pass Devreli Isı Pompasında ITK' nın T_b ' ye Göre Değişimi.....	75
4.4.1. F-11 Kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi.....	75
4.4.2. R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi.....	78
4.4.3. R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi.....	79
4.5. Farklı Soğutucu Akışkanlar Kullanıldığında ITK ve Tasarruf Miktarının Karşılaştırılması.....	81

İÇİNDEKİLER (Devamı)

	<u>Sayfa</u>
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	83

EKLER

1. F-11 Soğutucu Akışkana Ait LnP-h Diyagramı
2. Sanayide 1000 kcal Isı İhtiyacı İçin Gerekli Olan Çeşitli Yakıtların Maliyet Karşılaştırma Tablosu
3. R-134a Soğutucu Akışkana Ait LnP-h Diyagramı
4. R-22 Soğutucu Akışkana Ait LnP-h Diyagramı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Isı pompasının termodinamiği.....	13
2.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait çevrim şeması.....	16
2.3. İdeal ve gerçek buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait T-s ve P-h diyagramı.....	16
2.4. Tek kademe ısı pompası devresi.....	20
2.5. Basit buharlaştırıcı.....	21
2.6. Kuru tip buharlaştırıcı.....	22
2.7. Yaş tip buharlaştırıcı.....	23
2.8. Çıplak borulu serpantin buharlaştırıcı.....	24
2.9. Levhalı buharlaştırıcı.....	25
2.10. Kanatlı borulu buharlaştırıcı.....	25
2.11. Sudan-suya toprak kaynaklı ısı pompası (dikey).....	36
2.12. Sudan-suya toprak kaynaklı ısı pompası (yatay).....	37
2.13. Hava-hava kaynaklı ısı pompası.....	38
2.14. Hava-su kaynaklı ısı pompası.....	39
2.15. Su-su kaynaklı ısı pompası.....	40
2.16. Klasik geri dönüşümlü bir kurutucu.....	43
2.17. Döner tamburlu nem alıcı (ısı geri kazanım cihazı).....	44
2.18. Bir kurutucuda ısı pompası ve ısı eşanjörü yardımıyla ısı geri kazanımı.....	45
2.19. Kurutma ortamına gönderilen kuru havayı ısıtan kurutucu.....	46
2.20. Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi.....	46
2.21. Balık üretimi işleminde ısıtma ve ısı geri kazanım.....	47
2.22. Sütün soğutulması ve sıcak su elde edilmesinde ısı pompası kullanımı.....	48
2.23. Ağılardan atılan enerjiden ısı pompası ile yararlanma.....	49
2.24. Seraların ısı pompasından yararlanılarak döşemeden ısıtılması.....	49
3.1. Mutlak neme göre kurutma hızı.....	54
3.2. Zamana göre kurutma hızı.....	55
3.3. Genel kurutma yöntemleri.....	57
3.4. Çapraz akımlı sürekli kurutucu.....	58
3.5. Geri beslemeli, 2 bölümlü sürekli kurutucu.....	59
3.6. Bant altına yerleştirilmiş ısıtıcı serpantine sahip sürekli kurutucu.....	60
3.7. Kurutma işleminin psikrometrik diyagramda gösterilmesi.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8. Kurutma havasının bir kısmının geri besleme yapılması	62
3.9.a. Klasik tip kurutucu.....	63
3.9.b. Isı değiştiricili tip kurutucu.....	63
3.9.c. Geri beslemeli tip kurutucu.....	64
3.9.d. Isı Pompalı tip kurutucu.....	64
3.10. Bir kurutma işlemine reküperatör olarak monte edilen bir ısı pompasına ait şematik gösterim	65
3.11. Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu uygulamasına ait örnek.....	66
3.12. Evaporatör ve kondenser üzerinde aynı hava akışının olduğu durumda ısı pompasının nem alıcı olarak kullanılması	66
3.13. Kondenser üzerinden geçen hava miktarının arttırılması ve ısı pompasının nem alıcı şeklinde kullanılmasına ait örnek.....	67
4.1. Isı pompasının lnP-h diyagramı.....	69
4.2. Klasik tip ısı pompası devresi.....	70
4.3. Isı değiştiricili ısı pompası devresi.....	72
4.4. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası devresi.....	73
4.5. F-11 kullanılan sistemde $T_y=140\text{ }^\circ\text{C}$ için; ITK' nın T_b ye göre değişimi.....	76
4.6. F-11 kullanılan sistemde $T_y=145\text{ }^\circ\text{C}$ için; ITK' nın T_b ye göre değişimi.....	77
4.7. F-11 kullanılan sistemde $T_y=150\text{ }^\circ\text{C}$ için; ITK' nın T_b ye göre değişimi.....	77
4.8. R-134a kullanılan sistemde; ITK' nın T_b ye göre değişimi.....	78
4.9. R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji..... tasarrufu miktarı.....	79
4.10. R-22 kullanılan sistemde; ITK' nın T_b ye göre değişimi.....	80
4.11. R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji tasarrufu miktarı.....	80
4.12. Farklı soğutucu akışkanlar kullanıldığında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Avrupa’da ilk ısı pompası pazarı gelişimi.....	8
2.1. Isı pompalarında kullanılan ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları.....	14
4.1. F-11 kullanılan, ısı pompası tiplerinin karşılaştırılması.....	75
4.2. F-11 kullanılan sistemde, $T_y=140\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	76
4.3. F-11 kullanılan sistemde $T_y=145\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	76
4.4. F-11 kullanılan sistemde $T_y=150\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	77
4.5. R-134a kullanılan sistemde $T_y=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	78
4.6. R-22 kullanılan sistemde $T_y=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	79
4.7. F-11 kullanılan sistemde $T_y=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ için; ısı pompası değerleri.....	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
c_p	Özgül ısı, kJ/kg °K
h	Entalpi, kJ/kg
H_u	Alt ısııl değer, kJ/m ³
m_c	By-pass' tan geçen hava miktarı, kg
m_d	Buharlaştırıcı serpantin üzerinden geçen hava miktarı, kg
m_e	Elektrik birim fiyatı, TL/kwh
m_t	Toplam yakıt miktarı, TL
m_y	Doğalgaz birim fiyatı, TL/m ³
m_{yek}	Ek yakıt miktarı, TL
\dot{m}_s	Soğutucu akışkan debisi, kg/sn
P	Basınç, Pa
P_b	Nemli havanın su buharı basıncı, kPa
P_y	Yoğuşma noktası basıncı, kPa
P_{dt}	Aynı sıcaklıktaki doymuş nemli havanın su buharı basıncı, kPa
s	Entropi, kJ/kg °K
T_b	Buharlaşma sıcaklığı, °C
T_k	Karışım havası sıcaklığı, °C
T_y	Yoğuşma sıcaklığı, °C
W_{ki}	İdeal ısı pompası kompresör işi, kW
W_k	Gerçek kompresör işi, kW
Q	Isı gücü, kW
Q_b	Buharlaştırıcıya verilen ısı, kJ/h
Q_{ek}	Kazanda verilmesi gerekli ilave ısı miktarı, kJ/h
Q_y	Yoğuşturucudan çekilen ısı, kJ/h
η_{ek}	Elektrik motoru verimi, %
η_{ik}	Kompresör iç verimi, %
η_k	Kazan verimi, %
η_{kk}	Kayış kasnak verimi, %
η_{mk}	Mekanik verim, %
ΔT	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, °C
$T_{ç}$	Giriş sıcaklığı, °C

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
T _g	Çıkış sıcaklığı, °C
φ	Havanın bağıl (izafi) nemi

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
F-11	Freon-11, soğutucu akışkan
ITK	Isı pompası ısıtma tesir katsayısı
ITKC	Carnot ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı
ITKİ	İdeal ısı pompası ısıtma tesir katsayısı
R-134a	Freon-134a, soğutucu akışkan
R-22	Freon-22, soğutucu akışkan

1. GİRİŞ

1.1. Enerji Kaynakları

Günümüzde tükenmekte olan enerji kaynakları dünyada var olan enerji kaynaklarının kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının bulunmasında dikkat çekici araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Bu konuda yapılan cesaretlendirici araştırmalar ve gelişmelerin sonucu dünya, alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Alternatif enerji kaynakları içinde olan ve atıl durumda olan enerjinin geri kazanımı da önemli ölçüde dikkate alınır olmuştur.

Aşırı fosil yakıt kullanımının getirdiği çevre kirlenmesi tüm dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Bir diğer önemli çevre sorunu ise sera etkisinden kaynaklanan global ısınmadır. Bunun kökeninde yanma sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu yatmaktadır. CO₂ emisyonunun global ısınmadan başka olumsuz etkileri olduğu gibi, yanma reaksiyonunda ortaya çıkan emisyon yalnızca CO₂ de değildir. SO_x ve NO_x gibi diğer zararlı emisyonlar vardır. Temiz yakıt denilen doğal gaz kullanımında, yüksek alev sıcaklığından ortaya çıkan NO_x ozon tabakasını tahrip edici özelliğe sahiptir. Fosil yakıt üretim ve tüketiminin doğal bitki örtüsünün yanı sıra, hayvan ve insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır [1].

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervi ise hızla azalmaktadır. Petrol rezervlerinin 2040-2050 yılları arasında bitme noktasına geleceği ön görülmektedir. Kömür için yaklaşık 140 yıllık, doğal gaz için yaklaşık 60 yıllık rezerv olduğu tahmin edilmekte olup, sonsuz bir enerji kaynağı olmadıkları görülmektedir [1]. Ayrıca fosil yakıtların fazlasıyla kullanımı dünya sıcaklık değerlerini beklenenin çok üstüne çıkarmıştır. Bu durum ise, milyonlarca insanı etkileyen sel, fırtına gibi doğal felaketlerin ciddi şekilde artmasına neden olmuştur. Bütün bu olumsuzluklar karşısında fosil yakıtların kullanımı konusunda ciddi olarak düşünülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, fosil yakıtların kullanımını kademeli olarak azaltarak temiz enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Dolayısıyla, sınırsız kullanılacak, çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, biokütle, su gibi) ile enerji geri dönüşüm teknolojilerine zorunlu yatırım yapmak gerekmektedir [1].

Sanayileşmenin başlamasıyla beraber ülkelerin enerji ihtiyacı devamlı artış göstermiştir. Enerji kaynakları özellikle fosil yakıtların kullanımı enerji ihtiyacına paralel olarak artmıştır. Bu süreç içerisinde enerji kaynaklarına sahip olma isteği ülkeler arası anlaşmazlıklara ve savaşlara sebep olmuştur. Enerjiye sahip olma arzusu son 100 yıllık süreçte dünya barışına ciddi bir darbe vurmuştur. Günümüzde ise bu süreç hızla devam etmekte olup, enerji kaynakları

ülke stratejilerinde en önemli konum durumunda yer almaktadır. Fosil yakıtların çevreye olan zararlarının yanı sıra ülke stratejilerini etkilemesi ülkeleri sınırsız rezervi olan yani eksilmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya zorlamıştır. Özellikle 1970 'li yıllarda çıkan petrol krizi temiz, sınırsız ve verimli enerji kaynaklarına dönüşün miladı olmuştur.

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece ya biçim değiştirir yada bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" kabiliyetinden alır.

Örnek olarak dalgıç pompalar verilebilir. Dalgıç pompalar nasıl suyu üretmiyorsa, ısı pompaları da ısıyı üretmeyip sadece taşırlar. Dalgıç pompalarının su pompalaması için bir su kaynağına daldırılmalarına benzer olarak, ısı pompaları da yeryüzünde bir enerji kaynağına temas etmedikleri sürece ısıyı taşıyamazlar. Gerekli şartlar sağlandığında yüksek miktarlarda enerji düşük maliyetlerle kullanıma sunulabilir.

Isıtma sektöründe çoğu insan için ısı pompası terimi yenidir. Oysaki evlerimizdeki buzdolabı, klima, nem giderici ve dondurucular aynı mantığın ürünüdürler. Çalışma prensibi ısıyı taşıma mantığına uyduğundan "ısı pompası" başlığı altında toplanabilirler. Soğutma makineleri ısıtma veya ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılırlarsa ısı pompası adını alırlar. Örnek olarak evlerimizde kullanılan buzdolaplarını alalım. Buzdolaplarında yiyeceklerin bulunduğu iç ortam soğuktur ve arkasındaki borular oluşan ısıyı ortama bıraktıklarından sıcaktır. Hemen hemen her kişi bu olayın farkındadır ve bu ısının nereden geldiğini merak etmektedir. Örnekte de görüldüğü gibi soğutma makineleri ısıtma ve soğutmayı gerçekleştirirler. Anlaşılacağı gibi ısı pompalarından bahsedildiğinde soğutma makinelerine başvurulur. Öyleyse ısı pompaları uzun süredir bilinen bir kavramdır yani 1990'lı yıllar için yeni bir teknoloji değildir. Isı pompası teknolojisi mantık olarak ilk 18.yy.' da oluşmuştur. Isı pompasının günümüze kadar soğutmada izlediği grafik yükselmekte olup, bugünden itibaren ısıtma amaçlı kullanımda da çok büyük bir rolü olacaktır.

Dünyamızda gelişmiş ülkelere dikkat edilecek olursa enerjinin en çok harcandığı yer çeşitli alanlarda çalışan endüstriyel kuruluşlardır. Bu oran yaklaşık olarak % 30-40 arasında değişmektedir [1]. Endüstrilerde harcanan enerjinin büyük bölümü proses ısısı olarak kendini göstermektedir. Proses ısısı, ürünün işletmeye girişinden çıkışına kadar üretimde doğrudan kullanılan ısı enerjisidir. Atıl durumda olan ısı enerjisi harcanan toplam enerjinin % 70-80' i arasında bir değere sahiptir [1]. Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere kaybedilen enerji

küçümsenmeyecek miktarda olduğu için enerji tasarrufu konusunda önemli bir potansiyele sahiptir [2].

Fakat eğer, son zamanlardaki yatırımlar düşünüldüğünde, endüstride ısı pompasının seçiminin ana sebebinin sadece enerji tasarrufu olmadığı görülmektedir. Bu, bir işletme problemini çözmek, bir prodesteki kontrolü mükemmelleştirmek veya emisyon kirliliğini azaltmak, atık ısının sıcaklığını düşürmek veya soğutmada su kullanımını azaltmak ve bunun gibi nedenler olabilir. Genellikle, ekonomik olarak uygun enerji tasarrufu sağlayan bir ısı pompası vasıtasıyla işletme problemi çözülmektedir [3].

Endüstride atık ısının miktarının büyük olması geri ödeme süresini çok kısaltarak cazipliğini arttırmıştır. Isı pompasının en önemli avantajı, diğer enerji geri kazanım sistemlerine göre daha fazla ısı çekebilmesidir.

Isı pompalarının endüstriyel uygulamaları enerji, imalat ve endüstriyel prosesler gibi alanları kapsar. Bu uygulama alanlarını genel olarak şöyle sıralayabiliriz [4].

- a. Soğutmadan ısı geri kazanımı
- b. Kurutma, buharlaştırma ve kaynatma prosesleri
- c. Atılan akışkanlardan ısı geri kazanımı
- d. Diğer uygulama alanları

Genel olarak Isı Pompalarını ve bu süreçte Endüstride Kullanılan Isı Pompaları incelemiden önce Termodinamik Kanunların ışığı altında 'Isı Pompası' konusu analiz edilerek, tam olarak anlatılması sağlanacaktır.

Bu çalışmada endüstriyel tesislerde kurutma işlemi sırasında ısı pompası destekli kurutma sistemi kullanılarak elde edilecek tasarruf miktarı ele alınacaktır. Yapılacak çalışmalarla özellikle ısı pompasının endüstriyel alanda kullanımının gereksinimi ortaya koyulacak ve Türkiye' deki kullanım alanlarının artırılması hedeflenecektir.

1.2. Isı Pompasının Tarihi Gelişimi

Isı pompalarının temel prensibinin 1824 yılında Nicholas Carnot tarafından ortaya atılmasından sonra bu teori, 1850'de Lord Kelvin'in soğutma makinelerinin, ısıtma amacıyla kullanılabilirliğini teklif etmesi ile 30 yıl daha geç gerçekleştirilebilmiştir. Lord Kelvin, iş yapan akışkan olarak havayı kullanmak suretiyle bir ısı pompası yapmıştır. Bu makinede, çevre havası silindire çekilerek genişletilmiş; böylece havanın basınç ve sıcaklığı düşürülmüştür. Bu düşük sıcaklık ve basıncıdaki hava, dışarı yerleştirilen bir havadan havaya ısı değiştiricisinden

geçirilerek çevre havasından ısı çekmiştir. Binanın içine ısıtılmış hava verilmeden önce, hava atmosferik basınca kadar tekrar sıkıştırılarak, sıcaklık çevre havasının üzerine çıkartılmıştır. İsviçre’de dizayn edilen bu makinenin başarılı bir uygulama olduğu görülmüştür.

Isı pompası kavramı yeni değildir ve 1850’de bu tasarımı yapan Lord Kelvin (William Thompson)’a atfedilir. Gerçekte buhar sıkıştırılmalı bir soğutucu bu tarihten 18 yıl önce Jacob Perkin tarafından tasarlanmıştır. Hava sıkıştırılmalı soğutucular ilk defa 1805 yılında Philadelphia’lı Oliver Evans tarafından ortaya atılmış ve 1849 yılında Güney Carolina’da bir fizikçi olan Dr.John Gorrie tarafından imal edilmiştir. İlk buz fabrikası ise Avustralya’da James Harrison tarafından 1850 yılında kurulmuştur. Harrison aynı zamanda 1851 yılında ilk defa bir bira fabrikasında soğutma tesisi kurmuştur. Temel olarak; İlk soğutucunun ise Glasgow Üniversitesi öğretim üyelerinden Dr.William Cullen tarafından 1748 yılında, eterin buharlaştırılması ile gerçekleştirildiği bilinmektedir [3].

Dr.John Gorrie’ nin, 1851 yılında Amerika’da, patentini aldığı makine, ticari olarak imal edilen ilk soğutma makinesidir. Fransa’da Ferdinand Carre 1851 yılında ilk amonyak absorpsiyon ünitesini tasarlamıştır. Connecticut’dan Alexandre Catlin Twining, buhar sıkıştırılmalı sistemle, dünyada ilk defa ticari olarak buz yapmak için, kompresyon makinesinin patentini almıştır. 19. yüzyılda fiziksel sürecin anlaşılmasına başlanması ilgiyi ısı enerjisinin daha yüksek sıcaklıklara pompalanması olasılığına çekmiştir. James Prescott Joule, gazların sıcaklıklarını, basınçlarını ayarlayarak değiştirmenin prensiplerini kanıtlamıştır. Isı pompasının teorik kavramı ise 1824’te Cezayir asıllı bir Fransız subayı olan Sadi Carnot tarafından tasvir edilmiştir. Lord Kelvin ise ısı pompasını veya kendi adlandırdığı şekliyle “ısı çoğaltıcısı”nı ilk ortaya atan kişidir. Kelvin 1850’de yayımladığı yazısında, kompresör ile bağlantılı genişletici kullanan bir sistem tanımlamıştır. Bu sistemde hava; yukarıda da bahsettiğimiz üzere aynı zamanda bir ısı değiştiricisi olarak kullanılan bir rezervuara taşınmaktadır. Bu çalışmada, Kelvin; kapalı devre buhar sıkıştırılmalı devrelerden söz etmiş fakat günün koşullarında ne soğutucular ne de motorlar elverişli olmadığından modern ısı pompalarına benzer bir ısı pompası tasarlama olanağı bulamamıştır. Bu fikirlerden yola çıkarak, soğutma ekipmanlarındaki gelişmeler 1870’lerde çok çabuk ilerlemiştir. Uluslar arası donmuş yiyecek ihtiyacını karşılamak amacıyla bu yıllarda birkaç soğuk hava soğutma makinesi yapıldıysa da bunlar daha sonraları karbondioksit makineleri tarafından devre dışı bırakılmıştır. 1920’lerde ise amonyak sıkıştırılmalı makineler yaygınlaşmıştır. Daha küçük ekipmanlarda, 1930’larda metilklorid kullanılmış; 1940’ların başındaysa ilk halokarbon soğutuculardan R-12 kullanılmaya başlanmıştır. İlk ısı pompası tatbiki 1920’lerde Kelvin’in çalışmaları geliştirilerek, Krauss ve

Morley tarafından düşünülmüştür. Gerçekte bir ısı pompası varolmasa da, uygunluklarını incelemek, mevcut soğutma ekipmanlarının performanslarını analiz etmekle mümkündür.

Pekçok bilim adamı ve mühendis sistemin geliştirilmesi için yaptıkları araştırmalar sonucu sistem konfor ısıtması için uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu çalışmalar 80 yıl kadar devam etmiştir.

Haldere 1927'de İskoçya'da ev ısıtması için bir ısı pompası tesisatı kurmuştur. Bu ünite, sıcak su temini ve hacim ısıtması için ısı kaynağı olarak atmosferik çevre havasını kullanmıştır. Bu çalışmanın akabinde Amerika'da sistemin dizayn çalışmaları başlatılmıştır.

Isı Pompası uygulaması için ısı kaynağı olarak toprağın kullanılması fikri ilk defa 1912 yılında İsviçre'de Zoelly tarafından gerçekleştirilen patentle ortaya atılmıştır. Ancak İkinci Dünya Savaşından sonra ve özellikle 1970'li yıllardaki enerji krizinden sonra bu kavram ticari anlamda gündeme gelmiştir. ABD'de savaş sonrası yapılan araştırmalar ilk defa AEIC-EEI Isı Pompası Komitesi tarafından yayınlanmıştır. 1940'lı yılların sonunda ve 1950'li yılların ilk yarısında toprak kaynaklı ısı pompaları konusunda çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompaları üzerinde ilk teorik ve mühendislik hesaplarına yönelik geliştirmeci çalışmalar 2.Dünya Savaşı'ndan sonra başlamış ve son 10 yıl içerisinde bu konu üzerindeki çalışmalar iyice yoğunlaşmıştır [2]. 1950'lerde önce Ingersoll daha sonra Penrod topraktan borular vasıtası ile ısı çekilmesinin matematik olarak modellenmesi üzerinde çalışmış ve Kelvin Çizgisel Kaynak Teorisi'ni kullanarak topraktaki sıcaklık dağılımlarını iyi bir yaklaşımla elde etmiştir. Son yıllarda Baker' da konutlar için toprak kaynaklı ısı pompaları uygulamalarında, toprak ısı değiştiricilerinin tasarımı üzerinde çalışmış ve yaptığı deneysel çalışmada elde ettiği sonuçların, teorik olarak elde edilen sonuçlara uygunluğunu göstermiştir. Son yıllarda bu konuda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, İsveç ve Kanada'da çalışmalar yapılmıştır. A.B.D' de Kavanaugh, dikey toprak ısı değiştiricilerinde ısı geçişini incelemiş ayrıca U-tüp ve eşeksenli dikey ısı değiştiriciler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Eşeksenli dikey ısı değiştiricileri üzerinde, ayrıca Oklahoma Eyalet Üniversitesi, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi ve Louisiana Eyalet Üniversitesi'nde araştırmalar yapılmıştır. İsveç'te ise çalışmalar bölünmüş tip ısı değiştiricileri üzerinde yoğunlaşmıştır [2]. Yine A.B.D'de Bose çeşitli şekillerde yerleştirilmiş yatay toprak ısı değiştiricileri üzerinde çalışmıştır. Bose, toprak kaynaklı ısı pompalarının, güneş enerjisinden kaynak olarak faydalanan ısı pompalarıyla birlikte çalışmalarını da incelemiştir. Yine bu konu üzerinde Avrupa Ekonomik Topluluğu Komisyonu bir fizibilite çalışması yaptırarak, sistemin Kopenhag, Paris ve Marsilya'da uygunluğunu araştırmıştır. Toprağa sabit ısı girişi halinde topraktaki ısı değişimleri ise 1980'den sonra

Kalman, Metz ve Parker tarafından değişik zamanlarda incelenmiş ve benzer sonuçlar alınmıştır.

İlk ısı pompalarından biri de Avrupa'da 1938'de Zürih'de kurulmuştur. Bu ünite de ısı kaynağı olarak Limmat Nehri'nin suyu, iş yapan akışkan olarak da Freon-12 ve bir rotorlu kompresör kullanılmıştır. Zürih'de Belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 kW ısıtma gücünde olup, 60°C soğutma (klima) yapabilecek şekilde düzenlenmiştir. Bu ısı pompası Escher Wyss firması tarafından imal edilmiştir.

İsviçre'de geliştirilen ilk ısı pompalarından sonra ülkede kömür tüketiminde bir azalma görölmüştür. Bu kurulan ısı pompaları tesisatlarının çoğu 30 yıldan daha uzun süre başarılı bir şekilde çalışmıştır.

Teknolojide önder ülkelerden İngiltere'de ısı pompası Unite Norwich şirketinin elektrik bölümünde yapılmıştır. Soğutucu akışkan olarak SO₂ kullanılmış ve ortalama ısıtma tesir katsayısı 3'e ulaşmıştır. Sonra bu deneme ünitesi kışın ısıtma, yazın klima amacıyla dizayn edilmiştir. Bu ısı pompası için ısı Thames nehrinden çekilmıştir. Soğutucu akışkan olarak Freon-12 kullanılmış ve ısıtma tesir katsayısı 5'e ulaşmıştır.

1973 yılındaki enerji krizinden sonra ısı pompalarına ilgi artarak 1976 yılında 300000 ünite imal edilmiştir. Amerika'da 1978 yılının sonuna kadar imal edilen ısı pompalarının toplam sayısı 2.000.000'u aşmıştır [5].

Hollanda'dan elde edilen veriler tam olmamakla birlikte %30'luk bir artış beklenmektedir [5]. Avrupa ülkeleri, ısı pompalarında kullanmak üzere ucuz ve çevreye zarar vermeyen hidroelektrik santrallerinde elektrik üretebilmeleri nedeniyle büyük bir ısı pompası payına sahiptir. %3,1'i binalarda ve %2,9' u sanayide olmak üzere toplam %6'lık ısı ihtiyacı ısı pompaları tarafından karşılanan Norveç, tüm Avrupa ülkeleri arasında en büyük ısı pompası payına sahiptir [5]. İsviçre'de yeni evlerin 1/3'i ısı pompalı olarak tasarlanmakta ve yapılmaktadır. Benzer bir eğilim Avusturya'da da gözlenmektedir. İskandinavya'da, özellikle Danimarka ve İsveç'te ısı ihtiyacının büyük bir bölümü bölgesel ısıtmayla sağlanmakta ve bunun yanında İsveç'te birçok ısı pompası, bölgesel ısıtma sistemleriyle entegre olarak tasarlanmakta ve kullanılmaktadır [5].

Avrupa Isı Pompası Derneği (EHPA), aşağıda belirtilen altı faktörü inceleyerek Avrupa ülkelerindeki ısı pompası pazarlarını değerlendirmekte ve bu pazarların durgun ya da hareketli olup olmadığını belirlemektedir. Bu faktörler:

1. Isı Pompası Teknolojisinin Kullanılabilirliği: Yerli yada yabancı ısı pompası üreticilerinin, acentelerin veya satış temsilcilerinin bu sektördeki varlığını ve erişebilirliğini temsil eder.

2. Ekonomik Teşvikler: Alternatif ısıtma sistemleriyle karşılaştırılarak ısı pompalarının karlılığı ve uygulanabilirliği; ayrıca, enerji maliyetleri açısından avantajları belirlenir. Rekabetçi olmaları açısından ısı pompalı sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin alternatif ısıtma sistemleriyle karşılaştırılarak, 5-7 yıldan fazla olmamak koşuluyla bir geri ödeme periyodunun olup olmadığı kontrol edilir.

3. Politik Kararlar: Bu kararlar, konutların ısıtma sistemlerinin tasarım standartları ya da izin verilen en yüksek ısıtma enerjisi kapasitesi ve CO₂ emisyonu miktarını belirleyen kurallar olabilir.

4. Eğitimli Uygulayıcılar ve Satış Temsilcileri: Bu kişiler, ısı pompası pazarının gelişmesi ve sektörün işlevselliği için temel gerekliliktir.

5. Müşteri Bilinci: Isı pompalı sistemleri kullanan müşteriler arasındaki bilinç, en iyi ısıtma alternatifinin bulunabilmesi için, sektörün gelişmesini ve sürekliliğini sağlar.

6. Genel Kabul: Mühendisler, teknisyenler, politikacılar, mimarlar, toprak sahipleri vb. arasındaki genel kabul, ısı pompalarının bu pazara girmeleri ve güvenilirlikleri açısından son derece önemlidir.

Bu faktörler doğrultusunda bazı Avrupa ülkelerindeki ısı pompası pazarının analiz sonucu, Çizelge 1.1'de belirtilmiştir [5].

Çizelge 1.1. Avrupa’da ilk ısı pompası pazarı gelişimi [5].

Faktör	AT	CZ	DE	DK	FL	FR	NL	RO	SE	SP	UK
1	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	1
2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	1	1
3	2	2	2	2	1	1	3	1	2	1	1
4	3	2	2	2	2	1	2	1	3	2	1
5	3	1	1	2	2	1	2	1	3	1	1
6	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Toplam	15	10	10	11	10	8	11	6	16	8	6
AT:Avusturya,CZ:Çek Cumh.,DE:Almanya,DK:Danimarka,FL:Finlandiya, FR:Fransa,NL:Hollanda,RO:Romanya,SE:İsveç,SP:İspanya,UK:İngiltere											

Çizelgedeki puanlama 1-3 arasındadır ve yukarıda bahsedilen tüm maddeler sırasıyla belirtilmiştir. Çizelge, İsveç ve Avusturya’nın ısı pompası pazarının gelişmesi için en iyi hazırlanmış ülkeler olduklarını göstermektedir.

Bu teknolojinin uzun vadeli kullanımı birçok faydalar sağlamakta ve hızla artan talep de bu sektörde çalışanları teşvik etmektedir. Danimarka, Hollanda gibi ülkeler yaptıkları dikkatli çalışmalarla üretimi desteklemişler ve günümüzde tecrübeli, gelişmiş ve güçlü bir pazara sahip olmuşlardır.

Enerji kaynaklarının pahalılaşması, azalması; enerji, sanayi ve ulaştırma sektörlerinden doğan kirlenmeler dünyada olduğu gibi ülkemizde de çevreyi korumaya yönelik önlemlerin alınmasını gerekli kılmıştır. Isı pompaları, gerekli iyileştirmeler yapıldığı takdirde yüksek performansları ve düşük enerji tüketimleri ile, enerjiye yüksek bedeller ödeyen, üstelik birbiri ardı sıra enerji krizleri yaşayan ülkemize ekonomik anlamda büyük katkılar sağlayacaktır.

Dünyadaki tüm ısı pompası üreticileri sadece termodinamiğin birinci kanununu dikkate alarak, tecrübe ve mühendislik öngörüsü ile, son yirmi yılda performans katsayısını arttırmışlardır.

1.3. Literatür Taraması

Isı pompası destekli kurutma işlemi 1970' li yıllardan beri dünyada yaygın bir araştırma konusu iken ülkemizde 1990' lardan sonra gündeme alınmış olup son zamanlarda ciddi çalışmalar ortaya koyulmuştur. Bu konuyla alakalı olarak ülkemizde ve dünyada yapılan literatür çalışmaları kronolojik sırayla aşağıda açıklanmıştır.

Hodgett (1976) tarafından yapılan araştırmaya göre; ısı pompalı kurutucuların ortalama SMER oranı 3 kg/kW' dan az enerji kullanılarak buhar ile kurutmaya göre % 75 , direkt ısıtmalı kurutucuya göre %58 verimli olduğu açıklanmıştır [6].

Cunney ve Williams (1984) ise motor tahrikli ısı pompasının %30 ila % 50 oranında kurutmada enerji maliyetlerini düşürdüğünü yayınlamışlardır [7].

Meyer ve Greyvenstein (1992) tahıl kurutmasında ısı pompalı kurutucuların kullanılmasını ekonomik açıdan incelemiştir. Bu çalışmaya göre ısı pompalı kurutucular diğer kurutuculara göre çok ekonomik çıkmıştır [8].

Clements ve arkadaşları (1993) ise bu modeli kullanarak ısı pompalı destekli sürekli kurutucu performansını tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır [9].

Coşkun'un (1993) yüksek lisans tez çalışmasında kurutma sisteminde atıl durumda olan sıcak havanın geri kazanımı üzerinde durmuş ve % 48 enerji tasarrufunun yapıldığını ortaya koymuştur [10].

Britnell ve arkadaşları (1994) ısı pompalı kurutucuların mikrobiyolojik etkilerini incelemiştir. Isı pompalı kurutucuların düşük kurutma sıcaklığında (< 55 ° C) kullanılması durumunda, potansiyel mikrobiyolojik bozulmalar olabilir. Bu çalışmada ısı pompalı kurutucunun büyük mikrobiyolojik populasyon sağlamadığı belirtilmiştir [11].

Lazzarin' in (1995) "Heat Pump Application" isimli çalışmasında endüstriyel uygulamalarda kullanılan ısı pompalarını anlatılırken tekstil sektörü örneğinde kurutma havasının geri kazanımı üzerinde tesisat sistemini göstermiş ve enerji tasarrufu açısından sağladığı yararın önemi üzerinde durulmuştur [12].

Elmaların kurutulmasında Atmosferik ısı pompalı kurutucusunun modifiye edilmesi konusu Perera (2001) tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada, Kurutulan elmaların mükemmel renk ve C vitamini değerini kaybetmediği görülmüştür [13].

Adapa ve arkadaşları (2002) ısı pompasının ürün kurutmasında kullanılmasıyla ilgili matematik modelin basitleştirilmesi üzerine geliştirmeler yapmışlardır. Oluşturulan bu modelle ısı pompası ve kurutucu sistemlerde yer alan ısı ve kütle transferi detaylı olarak incelenmiştir. Soğutucu akışkan ve ürün havası arasındaki enerji transferinin kontrolünde, dış ısı ve kütle transfer katsayıları ile evaporatör ve kondenser serpantin dizaynının kritik faktör olarak hesaba katılması gerektiği görülmüştür [14].

Durmuş ve Kurtbaş (2002) tarafından yapılan çalışmada, Elazığ yöresinde yetişen kayısıların yine aynı bölge şartları altında güneş enerjisi yardımıyla kurutulmasında, kayısı yüzey sıcaklığı deneysel olarak tespit edilmiştir. Deneysel havalı güneş kollektörü ve dikey konumlu tepsili kurutucu kullanılmıştır. Çalışmada havalı güneş kollektörü olarak ondülin yüzey profilli yeni bir tip kollektör tasarlanmıştır. Kurutma ortamındaki hava sıcaklığı, hava debisinin ayarlanması ile değiştirilmektedir. Tepsili kurutucuya girişte hava sıcaklığı 27°C ile 49°C aralığında değiştirilmiştir. Deneysel boyunca kayısılar sürekli tartılarak kayısındaki kütle kaybı tespit edilmiş ve kurutulan ürünün renk ve tat değişimleri sürekli kontrol altında tutulmuştur. Deneysel Elazığ ilinde 2000 yılının Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında çekirdeği çıkartılmış, yaklaşık eşit büyüklüklere sahip kayısılar üzerinde yapılmıştır. Yapılan deneysel sonuçunda kuruma hızı; kurutucu havanın hızına, kollektörün performansına, kurutucu havanın sıcaklığına, ürünün et kalınlığına ve temas eden yüzeyin büyüklüğüne bağlı olduğu görülmüştür [15].

Coşkun (2000) tarafından çalışmada, basit nem alıcı ısı pompası destekli çapraz akımlı bir sürekli kurutma sistemi, ısı pompası ve sürekli kurutucu ünitesi olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Her iki üniteyi oluşturan elamanların matematik modelleri oluşturulduktan sonra elde edilen nonlineer denklemler, yine her iki ünite için ayrı ayrı Turbo Pascal programlama dili kullanılarak hazırlanan bir program vasıtasıyla çözülmüştür. Sürekli kurutucu ünitesinin çıkış şartları, ısı pompası ünitesinin giriş şartları olarak kabul edilerek, tüm sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemin her noktasındaki değişkenler (sıcaklıklar, debiler, nem değerleri

vs.) ve bu değişkenlere bağlı olarak sistemin performansı incelenmiş, sonuçlar literatürde mevcut deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır [16].

Adapa ve Schoenau (2005) ısı pompası destekli sürekli yataklı özel ürünlerin kurutmasında yeniden dolaşımının enerji analizleri üzerinde çalışmıştır. Bu çalışma sonunda ısı pompalı kurutucuların geri dönüşümünden % 22 den fazla enerji verimi ve elektrikli bobin ısıtıcılı klasik kurutuculara göre % 65 oranın kurutma zamanının düştüğü görülmüştür [17].

Çolak ve Hepbaşlı (2005) elmanın ısı pompalı kutucular tarafından kurutulması ile oluşan ekserji analizini gerçekteştirmişlerdir. Bu çalışmada kurutucunun ekserji verimliliği değişik hava kurutma sıcaklığına göre belirlenmiştir [18].

Ceylan ve ark.(2005) yaptıkları çalışmada ısı pompalı bir kurutuma fırınında elma kurutmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada, 4 mm kalınlığında dilimlenmiş elmalar 40 °C ' de ortalama % 20 bağlı nemde 2,8 m/s hava hızında 4,8 (g su/g kuru madde) su oranında 0,18 (g su/g kuru madde) su oranına kadar 3,5 saatte kurutulmuştur. Elmaların ulaşılan son kuru ağırlıktaki su aktivitesi ise 0,65 olarak bulunmuştur. Böylece daha düşük su aktivitesinden dolayı bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretimi engellenmiştir [19].

Nathakaranakule ve arkadaşları (2007), Aşırı kızdırılmış buhar sıcaklığı ve nem içeren tavukta birinci etaptaki kurutma işleminde kurutma kinetiği ve kurutulmuş tavuk kalitesini renk, büzülme ve su kazanım kabiliyeti gibi terimlerdeki etkilerinde incelemiştir [20].

Hancioglu ve Hepbaslı (2007) defne yapraklarının dikey toprak kaynaklı ısı pompalı kurutucu ile kurutulmasında ekserji analizini yapmıştır. Yapılan çalışmada yaklaşık 40-50 °C arası sıcaklıkta ekserji verimliliği % 9.11–15.48 ürün/yakıt olarak bulunmuştur [21].

Ceylan ve Aktaş (2008) yaptıkları çalışmada ısı pompası destekli kurutma fırınında fındık kurutmasını deneysel olarak incelemiştir. Kurutma sonrası fındıklar duyuşal olarak analiz edilmiş ve nem değişimi kütle ölçüm metodu ile takip edilmiştir. Bu çalışma sonucunda ısı pompası ile kurutma, en az enerji girdisi ile olabilecek en uygun kurutma süresinde kaliteli ürün eldesi sağlanmıştır. Ayrıca kurutulmuş ürünlerde herhangi bir bozulmaya rastlanmamıştır [22].

Artnaseaw (2010) vakumlu ısı pompası kurutması için yeni bir tasarım yapmıştır. Bu çalışma ile kırmızı biberin kurtulmasında klasik kurutma sistemi ile vakumlu ısı pompalı sistem arasında kurutma oranı, işlem sonucundaki ürün kalitesi ve yüzey yapısı arasındaki fark

incelenmiştir. Araştırma sonucunda vakumlu ısı pompalı kurutmanın klasik kurutma işlemine göre daha kaliteli olduğu ortaya konulmuştur [23].

Can (1995) Bursa şehri için çeşitli sanayi uygulamalarında ısı değiştiricilerin ekonomik açıdan avantajlarını değerlendirmiştir [24].

Pulat ve arkadaşları (2009) bursa şehri için tekstil endüstrisinde atık ısı kazanım potansiyelini araştırmışlardır [25].

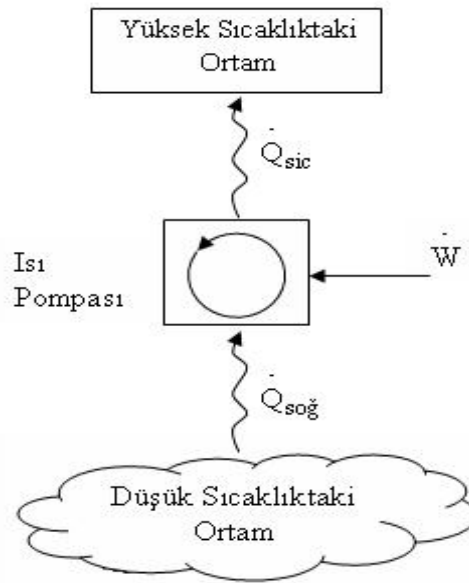
Yamankaradeniz (2007) Bursa' da yer alan bir tekstil fabrikasında boyahanedan 65°C' de çıkan atık suyun enerjisinden yararlanmak için plakalı ısı eşanjör kullanılmaktadır. Uygulamada plakalı eşanjör yerine ısı pompası kullanılması halinde, her iki sistemin ekonomik analiz yapılmış ve ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır [26].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Isı Pompaları

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle; ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgudur kendiliğinden gerçekleşir. Bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşmez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla olanaklıdır.

Isı pompası, ısı makinesinin tersi bir çevrime göre çalışan, iş yapılması ile ısıyı soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ulaştıran bir makinedir. Isı pompası ve soğutma makineleri aynı termodinamik çevrime göre çalışırlar. Soğutma makinesiyle bir mahallin soğutulması, ısı pompası ile ise bir mahallin ısıtılması amaçlanır [3].



Şekil 2.1. Isı pompasının termodinamiği [3].

• Isı pompalarının sınıflandırılmaları

Isı pompaları kullanım alanlarına göre evsel ve endüstriyel ısı pompaları olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Evsel tip ısı pompalarında amaç; bir mahallin ısıtılması iken, endüstriyel ısı pompalarında ise, endüstride mevcut atık ısıdan yararlanarak, bir prosesin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Daha önce bahsettiğimiz gibi, ısı pompaları bir ısı kaynağından çektikleri ısıyı aktaran cihazlardır. Isı pompasının enerji çektiği ortamlara ısı kaynakları denir. Bu kaynakları maddeler halinde sıralayacak olursak;

- 1) Hava
- 2) Su (deniz, göl, nehir, dere, yeraltı suyu-jeotermal enerji)
- 3) Toprak
- 4) Güneş Enerjisi
- 5) Atık ısılar ve diğer ısı kaynakları (artık sıvılar, gazlar)

Kullanılan ısı kaynakları arasında hava genel kullanım için, kolay elde edilebildiğinden dolayı en çok tercih edilen ısı kaynağıdır. Su, elde edilebildiği ortamlarda ısı kaynağı olarak kullanılabilir ve havaya göre bazı avantajları vardır. Toprak ve yeraltı suyu kaynaklı ısı pompaları günümüzde çok önemli proje konularıdır ve Avrupa'da toprak ve yeraltı suyu kaynaklı birçok ısı pompası projesi gerçekleştirilmektedir. Güneş de sonsuz ısı enerjisiyle çok önemli bir kaynaktır. Güneş kolektörü destekli ısı pompası uygulamaları da Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da geniş kullanım alanı bulmaktadırlar.

Çizelge 2.1' de ısı pompalarında kullanılan ısı kaynaklarının sıcaklık aralıkları verilmiştir [10].

Çizelge 2.1. Isı pompalarında kullanılan ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları [10].

Isı kaynağı	Sıcaklık aralığı (°C)
Dış hava	-10 – 15
Atık hava	15 – 25
Yeraltı suyu	4 – 10
Göl	0 – 10
Nehir	0 – 10
Deniz	3 – 8
Kayaçlar	0 – 5
Toprak	0 – 10
Atık su veya sıvılar	> 10

Isı pompası, harekete geçirmek için (tahrik etmek için) kullanılan enerjinin türüne göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Elektrik enerjisi ile harekete geçirilen ısı pompaları
2. Termal enerji ile harekete geçirilen ısı pompaları

Birincil enerjinin (kömür, fuel-oil, doğal gazın) elektrik enerjisine dönüşüm veriminin yüksek olmaması, elektrik enerjisine dayalı ısı pompalarının kısıtlı kullanımına neden olmaktadır. Elektrik enerjisinin ucuz olduğu ülkelerde, şehirlerin ısıtma ve soğutmaya yönelik merkezi sistemlerin uygulamasına karşılık (İsviçre, İsveç gibi) yakıt maliyetinin nispeten düşük olduğu ülkelerde (İngiltere gibi) binaların ısıtılmasında kullanım oldukça kısıtlıdır. Birincil enerjiden itibaren tüm enerji dönüşümlerinin irdelenmesi halinde; mekanik enerjiye dönüşümde verimin düşük olması nedeniyle doğrudan doğruya ısı enerjisinden yararlanan termal ısı pompaları, özellikle son yıllarda üzerinde geniş çapta araştırma yapılan bir konu haline gelmiştir [10].

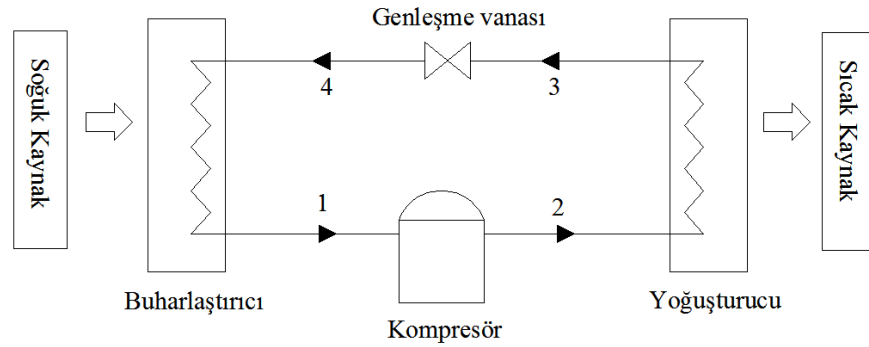
Isının, soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına aktarılması çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Isının aktarılma şekline göre ısı pompası tipleri aşağıdaki gibidir:

1. Buhar sıkıştırılmalı ısı pompası
2. Adsorbsiyonlu ısı pompası
3. Gaz çevrimli ısı pompası
4. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
5. Stirling çevrimli ısı pompası
6. Adsorbsiyonlu ısı pompası
7. Resorbsiyonlu ısı pompası
8. Rankine/buhar sıkıştırılmalı ısı pompası
9. Termoelektrik ısı pompası

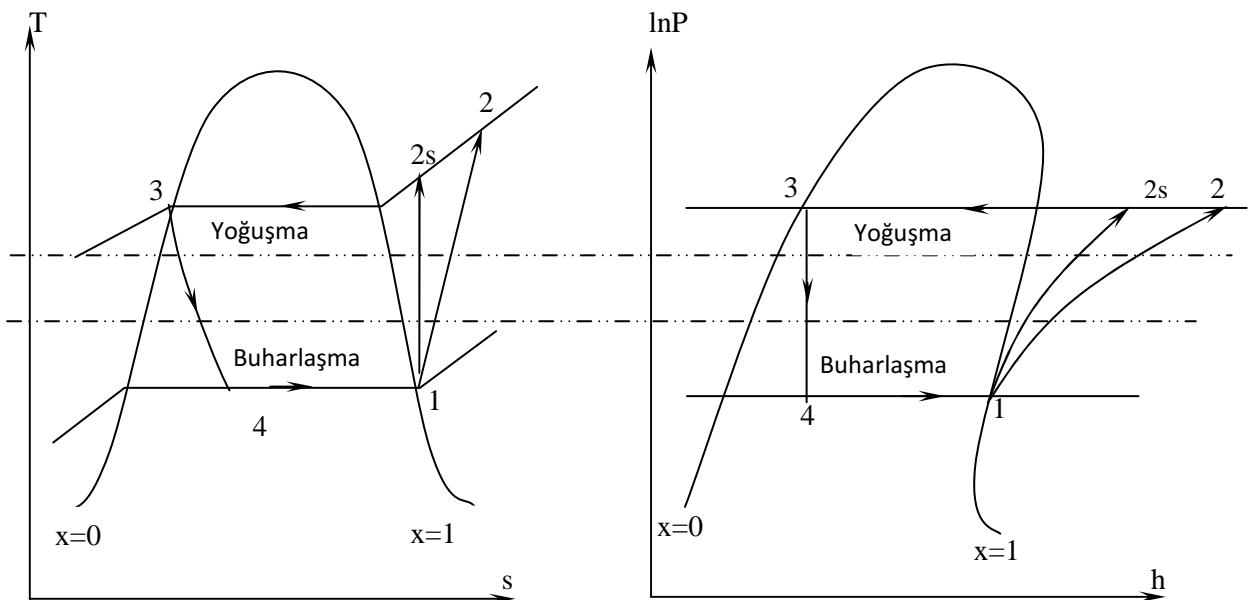
Genellikle “**Buhar sıkıştırılmalı**” ve “**Absorbsiyonlu**” ısı pompası çeşitleri kullanımı daha yaygındır. Termal ısı pompaları arasında yer alan adsorbsiyon ve absorbsiyonlu ısı pompaları bu bağlamda avantajları olmakla birlikte bu tipin çalışma maddesine dayalı farklı sorunları bulunmaktadır ve verimleri buhar sıkıştırılmalı ısı pompalarına nazaran oldukça düşüktür [3].

2.2 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası

Isı pompalarının büyük çoğunluğu buhar sıkıştırılmalı çevrim prensibine göre çalışır. Buhar sıkıştırılmalı basit bir ısı pompasının ana elemanları kompresör, genişleme vanası (kısılma vanası) ile buharlaştırıcı (evaporator) ve yoğuşturucu (kondenser) olarak adlandırılan iki adet ısı değiştiricisidir [3].



Şekil 2.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait çevrim şeması [3].



Şekil 2.3. İdeal ve gerçek buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait T-s ve lnP-h diyagramı [3]

Şekil 2.3' de ideal buhar sıkıştırırmalı ısı pompasının çevrimi Basınç-entalpi diyagramında gösterilmiştir. Şekil 2.3' deki ideal çevrim:

- 1-2s Kompresörde tersinir adyabatik (izentropik) sıkıştırma
- 2s-3 Yoğuşturucuda tersinir sabit basınçta ısı terk etme
- 3-4 Kısılma vanasında sabit entalpide genişleme
- 4-1 Buharlaştırıcıda tersinir sabit basınçta ısı çekilmesi aşamalarından oluşur.

Gerçek çevrim aşamaları ise:

- 1-2 Kompresörde adyabatik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda tersinir sabit basınçta ısı terk etme

3-4 Kısılma vanasında sabit entalpide genişleme

4-1 Buharlaştırıcıda tersinir sabit basınçta ısı çekilmesi

şeklindedir.

Buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar kompresörde izentropik olarak daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir (1 – 2 hal değişimi). Daha sonra yoğuşturucuya giren kızgın buhar, ısısını dışarıya vererek sabit basınçta yoğuşur (2 –3 hal değişimi). Doymuş sıvı haldeki yüksek basınçlı akışkanın basıncı ve sıcaklığı genişleme vanasında buharlaştırıcı şartlarına getirilir (3 – 4 hal değişimi). Buharlaştırıcıya giren akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından düşük olduğundan, ısı kaynağından akışkana sabit basınçta ısı geçişi olur ve akışkan buharlaşır (4 – 1 hal değişimi). Buradan sonra çevrim yeniden başlar ve bu şekilde devam eder.

• Buhar sıkıştırma ısı pompası çevrim hesapları

İdeal buhar sıkıştırma ısı pompası çevrim hesapları aynı soğutma çevrim hesapları gibi yapılır. Bir ısı pompası sisteminde, sistemi oluşturan her bir eleman açık sistem olarak (SASA) incelenmektedir.

İdeal ısı pompası çevriminde, s_1 kompresör girişindeki özgül entropi, s_{2s} ise kompresör çıkışındaki özgül entropi olmak üzere, termodinamiğin ikinci kanununa göre,

$$s_1 = s_{2s} \quad (2.1)$$

yazılabilir.

İdeal ısı pompası kompresör işi \dot{W}_{ki} , gerçek kompresör işi \dot{W}_k olmak üzere, kompresör iç verimi;

$$\eta_{ik} = \frac{\text{İdeal kompresör işi}}{\text{Gerçek kompresör işi}} = \frac{\dot{W}_{ki}}{\dot{W}_k} = \frac{\dot{m}_s (h_{2s} - h_1)}{\dot{m}_s (h_2 - h_1)} \quad (2.2)$$

ile ifade edilir.

Gerçek ısı pompası çevriminde, kompresör çıkışında h_2 özgül entalpisi ise;

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{ik}} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; h_1 , kompresör girişindeki özgül entalpi, h_{2s} tersinir adyabatik sıkıştırma sonucunda kompresör çıkışındaki özgül entalpidir.

Yoğuşturucu: Gerçek ısı pompasında, yoğuşturucudan atılan ısı ise;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_s (h_2 - h_3) \quad (2.4)$$

ile bulunur. Burada \dot{m}_s (kg/s) sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisidir.

Buharlaştırıcı: Gerçek ısı pompasında, buharlaştırıcının çektiği ısı da;

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_s (h_1 - h_4) \quad (2.5)$$

ile hesaplanır.

Kısılma vanası:

$$h_4 = h_3 \quad (2.6)$$

yazılabilir.

Kompresör: Gerçek ısı pompasında, kompresöre verilen iş

$$\dot{W}_k = \dot{m}_s (h_2 - h_1) / \eta_{mk} \quad (2.7)$$

şeklinde bulunur. Burada η_{mk} , mekanik verimdir.

Isıtma tesir katsayısı (ITK): Birim iş başına yapılan ısıtma miktarı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak amaç, ortama ısı vermek ve ödediğimiz bedel de kompresöre verilen enerji olduğuna göre, ısı pompası için ısıtma tesir katsayısı (ITK);

$$ITK = \frac{\text{elde edilmek istenen değer}}{\text{harcanması gereken değer}} = \frac{Q_y}{W_k} \quad (2.8)$$

İdeal ısı pompasında, Q_{yi} yoğuşturucudan atılan ısı, W_{ki} kompresöre verilen iş olmak üzere ideal ısı pompası çevriminin ısıtma tesir katsayısı;

$$ITK_i = \frac{\dot{Q}_{yi}}{\dot{W}_{ki}} = \frac{h_{2s} - h_3}{h_{2s} - h_1} \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir.

Gerçek ısı pompası çevriminin ısıtma tesir katsayısı ise;

$$ITK = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} = \frac{h_2 - h_3}{(h_2 - h_1) / \eta_{mk}} \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada η_{mk} kompresörün mekanik verimidir.

Gerçek ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ITK ile ideal ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ITK_i arasında

$$ITK = (ITK\dot{I} + \frac{1}{\eta_{ik}} - 1) \eta_{ik} \eta_{mk} \quad (2.11)$$

bağıntısı yazılabilir.

Buhar sıkıştırırmalı ısı pompasının, yoğuşma sıcaklığı T_y ve buharlaşma sıcaklığı T_b ' yi kaynak olarak alan, Carnot ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ise;

$$ITKC = \frac{T_{SIC}}{T_{SIC} - T_{SOG}} = \frac{T_y}{T_y - T_b} \quad (2.12)$$

olarak yazılabilir [26].

m_d = Buharlaştırıcı serpantin üzerinden geçen hava miktarı

m_c = By-pass' tan geçen hava miktarı (Buharlaştırıcı serpantin üzerinden geçmeyen

hava miktarı)

$$m = m_d + m_c \quad (2.13)$$

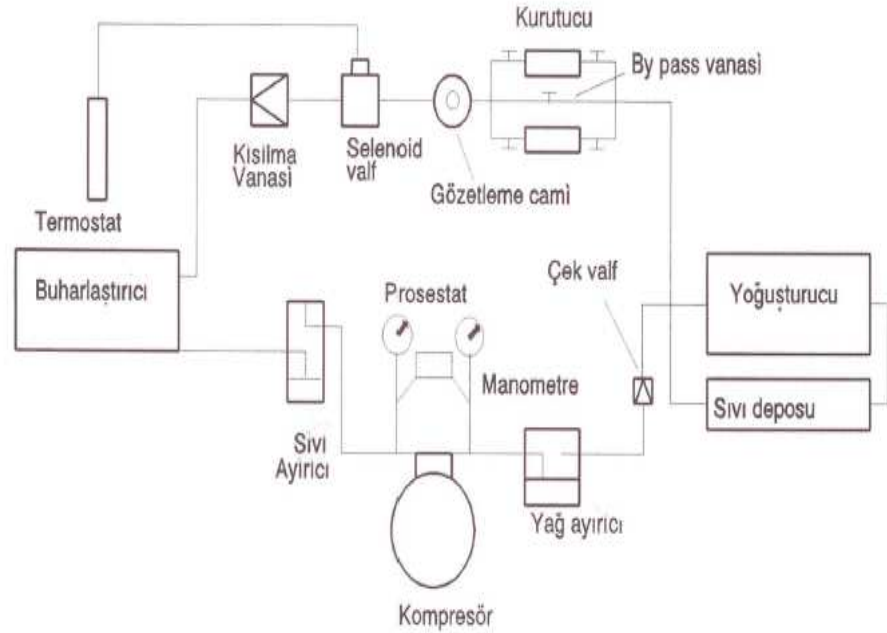
Buharlaştırıcı serpantin üzerinden çıkan hava ile by-pass' dan geçen hava miktarı karışım odasında karıştıktan sonra ısı pompasının yoğuşturucusunda ısıtılmakta ve kurutucuya gönderilmektedir.

Karışım miktarı denklem 2.13 yardımıyla bulunur.

$$T_k = (m_d.T_d + m_c.T_c)/(m_d + m_c) \quad (2.14)$$

2.3. Isı Pompası Ekipmanları

• Tek kademeli buhar sıkıştırma ısı pompası devresi

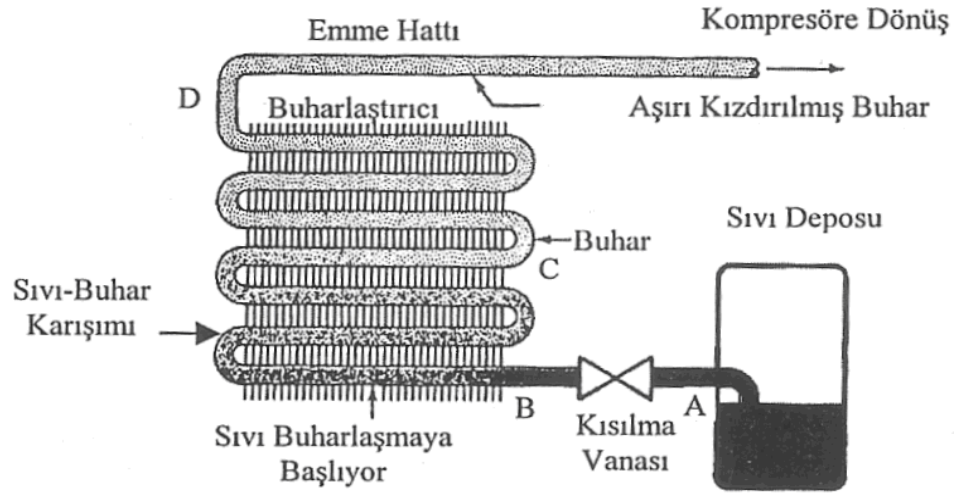


Şekil 2.4. Tek kademe ısı pompası devresi [3].

Buna göre; tek kademeli buhar sıkıştırma çevrimin devresi şekilde görülmektedir. Bu devredeki elemanları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

2.3.1. Buharlaştırıcılar (Evaporatörler)

Bir soğutma sisteminde soğutma serpantini olarak da adlandırılan buharlaştırıcılar, içerisindeki sıvı soğutucu akışkanı, buharlaşırken bulunduğu ortamdan ısıyı çekmesi esasına dayanan cihazlardır. Soğutucu akışkanın beslemesine, çalışma şartlarına, soğutulmak istenen sıvı veya havanın sirkülasyon yöntemine, soğutucu akışkanın. Kontrol tipine ve uygulamaya göre pratikte çok değişik konstrüksiyonlarda ve boyutlarda buharlaştırıcı tipi bulunmaktadır. Buharlaştırıcı bir maddeyi, soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısını kullanarak soğutur. Soğutma miktarı; buharlaştırıcı yüzey alanına, toplam. ısı transfer katsayısına ve soğutucu akışkan ile soğutulan madde arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Şekil.2.5' te basit bir buharlaştırıcı gösterilmektedir [26].



Şekil 2.5. Basit Buharlaştırıcı [26].

Şekil.2.5 'te sıvı soğutucu akışkan A noktasında kısılma vanasına girer. Uygun şartlar altında, bu noktada doyma sıcaklığı altına soğutulmuş soğutucu akışkan saf sıvı halde kısılma vanasına girmektedir. B noktasında düşük basınçta buharlaştırıcıya giren sıvı soğutucu akışkanın bir kısmı çevreden ısı çekerek buharlaşmaya başlar. Böylece B noktasında buharlaştırıcı içerisinde düşük basınçlı sıvı soğutucu akışkan yanında az miktarda buhar zerrecikleri de görülmeye başlanır. Sıvı halde buharlaştırıcı serpantinlerinden geçen soğutucu akışkan, sürekli olarak serpantin cidarlarından soğutulacak ortamın veya maddenin ısınımsı çeker. Böylece sürekli kaynar ve buharlaşır. C noktasında, sıvı soğutucu akışkan tamamen buhar hale gelir.

Buharlaştırıcı içindeki buhar, hala soğutulan ortamdaki daha soğuk olduğundan, ısı çekmeye devam eder. Yeni bir buharlaşma olmayacağından bu çekilen ısı, buharın duyulur ısınımsı (veya sıcaklık) arttıracaktır. Emme hattı boyunca (D noktası) buhar buharlaştırıcıdan ayrılana kadar sıcaklığı sürekli artacak ve bu noktada, buharın sıcaklığı doyma sıcaklığının üstüne çıkacak ve buhar aşırı kızdırılmış olacaktır.

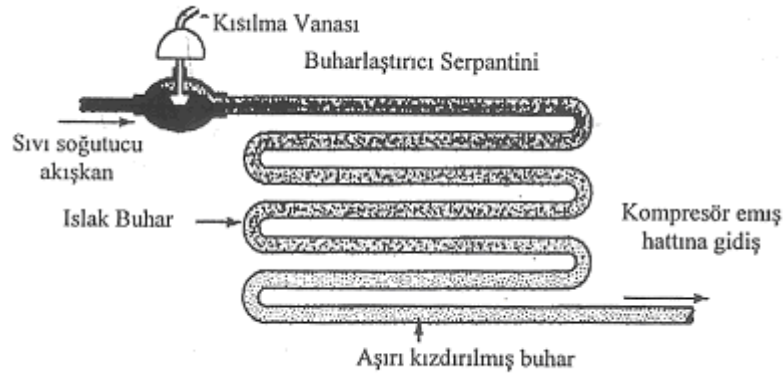
Buharlaştırıcılar, genellikle iletkenliği yüksek olan demir, çelik, pirinç, bakır ve alüminyum gibi malzemeden imal edilirler.

Soğutma tesislerinde genellikle doğrudan genişlemeli buharlaştırıcılar (Kuru tip buharlaştırıcılar) kullanılır. Bu sistemde, soğutucu akışkan serpantin boruları içine buharlaşmak üzere gönderilir. Soğutucu akışkan, beslemesi buharlaştırıcılarda kuru ve yağ olmak üzere iki-

şekilde yapılır [26].

• Kuru tip buharlaştırıcılar

Kuru tip buharlaştırıcılar genellikle termostatik kısılma vanasıyla, küçük kapasitelerde ise sabit çıkış basınçlı otomatik kısılma vanası veya kılcal boru ile beslenir. Şekil 2.6 ' da gösterilen kuru tip buharlaştırıcıya bir termostatik kısılma vanası yardımıyla buharlaşacak kadar sıvı gönderilir. Az sıvı gönderilmesi halinde buhar çıkışta kızacağından, termostatın duyargası kısılma vanasına kumanda ederek daha fazla sıvı geçmesini sağlamaktadır. Buna göre buharlaştırıcıda, soğutma yükü arttığında daha fazla azaldığında ise daha az sıvı gönderilmektedir. Yaş tip buharlaştırıcılarda ise daima aynı miktarda sıvı bulunur ve soğutma yükünün gerektirdiği kadar buharlaşma olur. Kuru tip buharlaştırıcılarda sıvı akışı soğutma yüküne göre değişeceğinden toplam ısı geçirme katsayısı K , soğutma yükü en büyük olduğunda en yüksek olur [10].



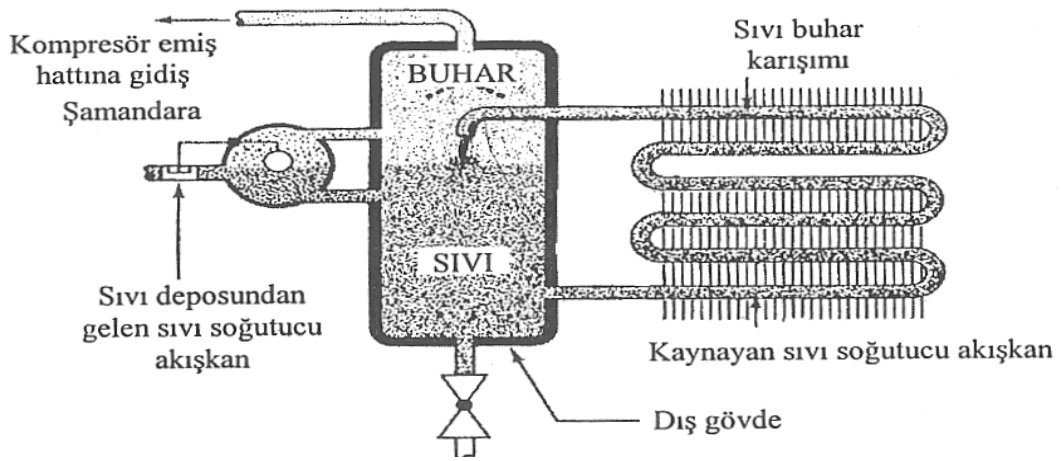
Şekil 2.6. Kuru Tip Buharlaştırıcı [26].

• Yaş tip (Sıvı Taşımalı) buharlaştırıcılar

Sıvı soğutucu akışkan ile hemen hemen tamamı dolu olduğundan sıvı taşımalı buharlaştırıcı olarak da adlandırılır. Soğutucu akışkanın kaynaması, bütün buharlaştırıcı yüzey alanının ıslak olmasını sağlar. Böylece yaş tip buharlaştırıcılar aynı boyuttaki bir kuru genişmeli buharlaştırıcıdan daha verimlidirler. Fakat, oldukça fazla soğutucu akışkan şarjına ihtiyaç duyulduğundan işletilmeleri pahalıdır. Yüksek verimleri yüzünden yaş tip buharlaştırıcılar, kimya ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta olup ayrıca soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında da kullanılmaktadır [10].

Şekil 2.7'de şeması görülen bu tip buharlaştırıcının boruları sıvı ile doludur. Boruların

bağlı olduğu kaptaki sıvı seviyesi bir seviye kontrol tertibatı ile sabit tutulur. Boruların sıvı ile dolu olması ısı transferini iyileştirir, fakat buna karşılık sistemde daha fazla soğutucu akışkan kullanılması gerekir. Buharlaştırıcı serpantinleri içi sıvı dolu kaptan uzakta ise soğutucu akışkanın dolaşımı bir pompa ile sağlanır. Buharlaştırıcıdan kompresöre emilen soğutucu akışkanın önemli bir kısmı sıvı halde olabileceğinden, buharlaştırıcıyla kompresör arasında bir sıvı ayırıcı konulur. Bu, küçük bir depo şeklinde olup sıvı soğutucu akışkanın ölçülü bir şekilde kompresöre verilmesine veya biriktikçe buharlaştırıcıya (pompayla veya gazın kendi basıncıyla) geri verilmesine yardımcı olur [10].

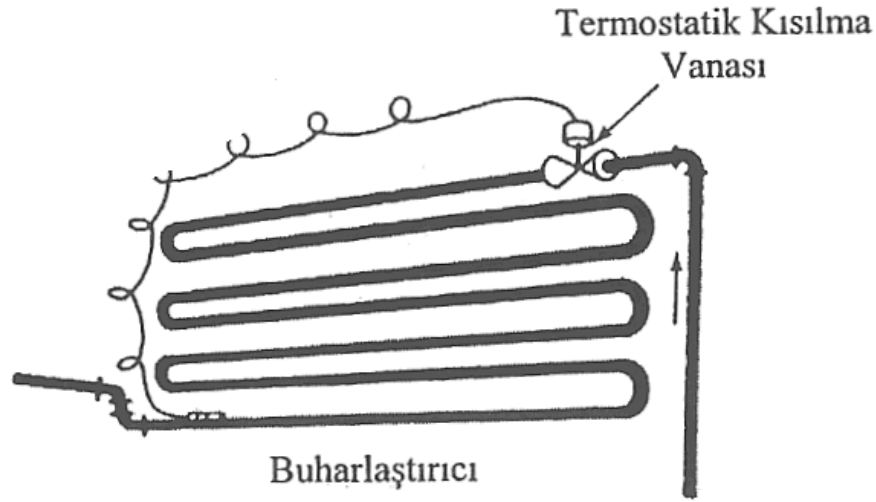


Şekil 2.7. Yaş Tip Buharlaştırıcı [10].

- **Hava veya sıvının soğutulmasına göre buharlaştırıcıların sınıflandırılması**

Hava veya sıvının soğutulmasına göre buharlaştırıcılar çeşitli tiplerde yapılır [26].

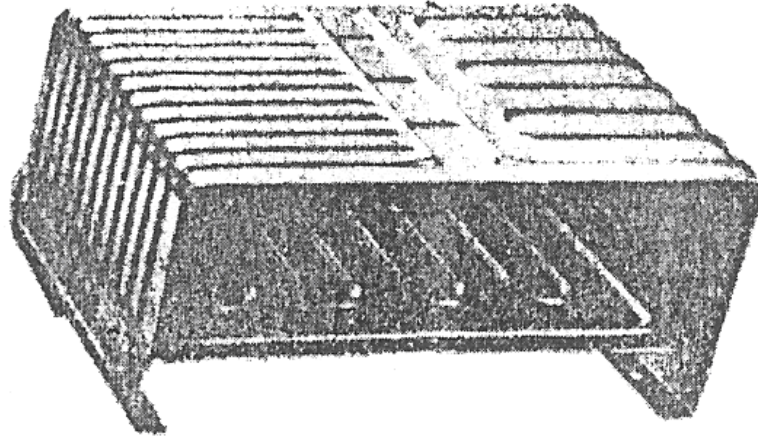
- **Hava soğutucu buharlaştırıcılar:** Doğal veya zorlanmış (cebri) taşınımli olmak üzere iki şekilde çalışırlar. Soğuk havanın aşağıya, sıcak havanın yukarıya doğru akmasından meydana gelen doğal konveksiyonla hava hareketi çok yavaş olduğundan, akışa karşı direncin ufak olmasına dikkat edilmelidir. Buharlaştırıcı tavana yakın bir yere konmalı, duvardan yeteri açıklıkta tutulmalı ve fazla geniş olmalıdır [26].
- **Çıplak borulu serpantinli buharlaştırıcılar:** Şekil.2.8' de gösterilen çıplak borulu serpantin buharlaştırıcılar, 10-22 mm çapında bakır veya galvanizli dikişsiz boruların serpantin şeklinde kıvrılması ile meydana gelir [26].



Şekil 2.8. Çıplak Borulu Serpantin Buharlaştırıcı [26].

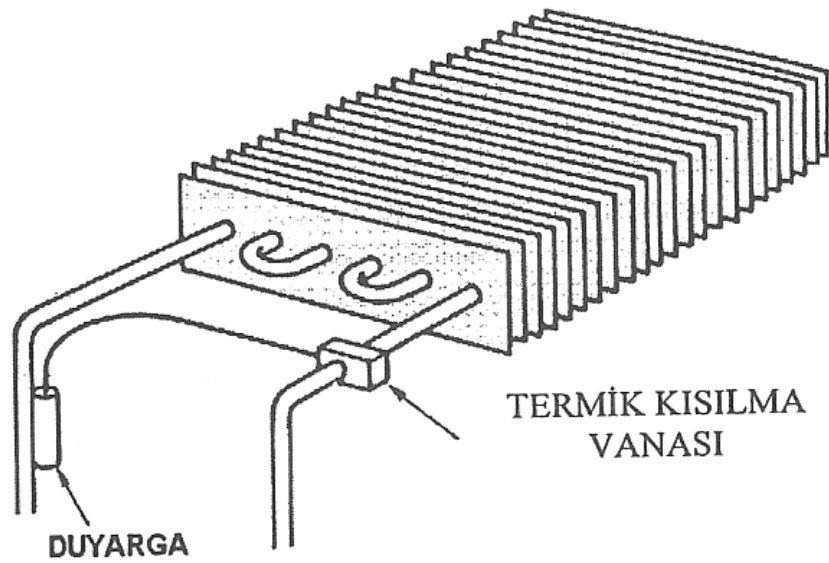
- **Lamelli buharlaştırıcılar:** Serpantin şeklinde kıvrılmış borular üzerine, yüzeyi arttırmak için kanat yerine çubuklar kaynatmak suretiyle yapılır. Daha ziyade küçük soğutma yükleri için bahis konusudur. K değerleri $5 - 9.5 \text{ kW/m}^2 \text{ K}$ arasında değişir. Yüksek değerler zorlanmış taşınım ve bakır boru ile alüminyum çubuk gibi iyi iletken malzemedan yapılmış buharlaştırıcıya aittir. Küçük değerler ise tersine olarak doğal taşınım ve çelik-çelik buharlaştırıcılar içindir. Ayrıca soğutma sıcaklığı düştükçe K değerinin azalacağı da göz önünde tutulmalıdır [26].
- **Levhalı buharlaştırıcılar:** İki levha üzerine karşılıklı olarak pres baskı yolu ile oyuklar açıldıktan sonra bu levhalar üst üste kaynatılır, böylece arada kalan oluklarla bir buharlaştırıcı serpantini oluşturulmuş olur. Şekil.2.9' da görülen bu tipteki buharlaştırıcılar genellikle küçük soğutma yüklerinde örneğin, buzdolaplarında ve derin dondurucularda çok kullanılır. Levhalı buharlaştırıcılar düşey olarak kullanılabildikleri gibi yatay olarak özellikle dondurucu bölümlerde raflar şeklinde uygulamalarda da kullanılır [26].

K değerleri doğal dolaşım halinde $9-14 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve zorlanmış taşınım halinde ise $18-35 \text{ W/m}^2\text{K}$ arasındadır. Malzeme olarak genellikle alüminyum veya çelik kullanılır.



Şekil 2.9. Levhalı Buharlaştırıcı [26].

- **Kanatlı borulu buharlaştırıcılar:** Şekil.2.10' da görüldüğü gibi, ısı transfer alanını arttırmak amacıyla çıplak boru üzerine kanatlar geçirilerek meydana getirilen bir buharlaştırıcıdır. Boruların üzerine geçirilen ince alüminyum kanatçıklara "lamel" denildiğinden, bu tip soğutuculara "lamelli tip soğutucu" da denilmektedir. Lamelli soğutucular, eşit uzunluktaki 10, 12 veya 14 borunun "U" şeklinde kıvrılarak üzerine 0.6 mm kalınlığındaki alüminyum kanatçıkların 4-20 mm aralıklarla dizilmesinden meydana gelmektedir. Kullanılan bakır boruların çapları ise genellikle 10, 12, 16 ve 19 mm' dir. 0°C 'nin üstünde çalışan market tipi soğutucularda, buharlaştırıcı. yüzeyinde buzlanma tehlikesi olmadığından kanatlar 4-8 mm aralıklı olabilir [26].



Şekil 2.10. Kanatlı Borulu Buharlaştırıcı [26].

2.3.2. Kompresörler

Kompresörler soğutma sisteminin kalbi olarak ele alınabilir. Soğutucu akışkanın çevrim boyunca dolaştırılarak soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ısı iletilmesi kompresörler yardımı ile meydana gelmektedir. Yani kompresörler, soğutma devrelerinde buharlaştırıcıda bulunan alçak basınçta buhar halindeki soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçta olan yoğunlaştırıcıya gönderen iş yutan makinelerdir [10].

İdeal bir kompresörde şu özellikler aranır:

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

Fakat bu karakteristiklerin tümüne birden sahip olan bir kompresör yoktur denebilir. Uygulamadaki şartlara göre yukarıdaki karakteristiklerden en fazlasını sağlayabilen kompresör, tercih edilecektir [10].

Buharlaştırıcıdan çıkan buharı yoğunlaşma basıncına kadar sıkıştırmak için kullanılan farklı tiplerdeki kompresörler aşağıda sıralanmıştır [10].

- Pistonlu kompresörler
 - Rotatif (Dönel, Rotorlu, Rotary) kompresörler
 - Helisel (Vidalı) kompresörler
 - Santrifij (Turbo) kompresörler
 - Scroll Kompresörler
- **Pistonlu kompresörler:** Bir silindir içerisine gidip, gelme hareketi yapan bir pistonla sıkıştırma işlemini yapan bu tip kompresörlerde, tahrik motorunun dönme hareketi bir krank-biyel sistemi ile doğrusal harekete çevrilir. Bu tip kompresörlerde, buhar haldeki soğutucu akışkanı çekmek

için silindir içindeki pistonun aşağı doğru hareketiyle birlikte emiş vanaları açılır. Buhar haldeki soğutucu akışkan pistonun yukarı doğru hareketiyle sıkıştırılır ve silindir içindeki basınç, yoğuşma basıncının biraz üzerine çıktığında akışkan dışarı atılır [10].

- **Açık tip pistonlu kompresörler:** Açık tip demekle, ya kayış tahrikli yada bir kavramayla doğrudan bağlantılı bir dış motor tarafından tahrik edilen kompresör kastedilmektedir. Bu tip kompresörlerde motorun sağladığı güç 3 kW ile 250 kW arasında değişebilmektedir [10].
- **Hermetik tip pistonlu kompresörler:** Açık tip kompresörün aksi olan tip kompresörler ise, motorla kompresörün aynı muhafazada, korunduğu hermetik (sızdırmaz) kompresördür. Bu tip kompresörlerde genellikle R-12, R-22 ve R134a soğutucu akışkanları kullanılır. Bu tipte kullanılan motorun gücü 7.5 . kW' a kadar erişebilir. Uygulama alanları pencere ve split tip klimalar, ev tipi buzdolapları vb. En fazla üretilen kompresörler hermetik tip kompresörlerdir. Hermetik kompresörler ise kendi arasında tam hermetik ve yarı hermetik olmak üzere ikiye ayrılırlar [10].
- **Rotatif kompresörler:** Küçük soğutma tesislerinde kullanılan bu kompresör bir silindir içerisinde kaçık eksenli olarak dönen bir pistondan ibarettir. Rotatif kompresörün çalışma prensibi rotorun silindir içerisinde dönerken piston çevresine yerleştiren paletler vasıtasıyla, bir taraftan emme ve diğer taraftan sıkıştırma yapmasıdır [10].

Rotatif kompresörler özellikle ev tipi buzdolaplarında, çok küçük soğutma yükleri için ve ekovat denilen sızdırmaz kaplar içinde, elektrik motoru ile birlikte kullanılır. Ekovatlı sistemlerde, sızdırmaz kap içindeki kompresör ve elektrik motoru grubu, yoğuşturucu, kılcal boru ve buharlaştırıcı bir arada ve birbirine bağlı olarak komple bir soğutma ünitesi olarak imal edilir. Yağ değiştirme ve benzeri bakıma ihtiyaç göstermezler [10].

- **Helisel (Vidalı) kompresörler:** Helisel kompresörler dişleri birbirini saran birisi erkek diğeri dişi bir helisel vida çiftinden (helisel motorlar) oluşmaktadırlar. Helisel kompresörün çalışması dişleri birbirini saran iki helisel vidadan birinin diğerini hareket ettirerek sıkıştırması esasına dayanır. Emme deliği açıkken helisel rotorların dönmesi ile gaz emilir ve emilen gaz helisel rotorlar arasındaki gittikçe artan boşluğu, helisel rotorlar boyunca doldurulduktan sonra emme deliği kapatılır. Helisel rotorlar dönmeye devam ederek aradaki gazı sıkıştırır. Bunu takiben basınç deliği açılır ve sıkıştırılmış gaz soğutma sistemine akar [10].
- **Santrifüj (Turbo) kompresörler:** Buhar sıkıştırma çevrimiyle soğutma işlemi yapan santrifüj kompresörlerin pistonlu, rotatif veya helisel tip kompresörlerden farkı, pozitif sıkıştırma işlemi yerine, santrifüj kuvvetlerden yararlanarak sıkıştırma işlemi yapmasıdır. Santrifüj kompresörlerle

özgül hacmi yüksek olan akışkanların (daha geniş hacimlerin) kolayca hareket ettirilmesi mümkün olduğu için sık sık büyük kapasiteli derin soğutma (-100' e kadar) işlemlerinde uygulandığı görülür. Bu kompresörlerde sıkıştırma, dönen çark çevresindeki kanatlar ile kompresörlere nadiren de olsa rastlanabilir. Uygulamadaki kapasite sınırları bugün 85 ile 10000 Ton/Frigo arasında değişmektedir. Bu tip kompresörlerde, yoğuşma basıncı düşük soğutucu akışkanlar (Freon11, 113, 114, 21) kullanılması uygun olmaktadır [10].

- **Scroll kompresörler:** Scroll kompresör, soğutucu akışkan buharını sıkıştırma işi için, birbiri üzerine geçmeli, iki spiral disk kullanır. Üstteki scroll sabit, diğeri hareketlidir. Buharın girişi, scroll' un dış kenarından olurken çıkış, sabit scroll' un merkezinden olmaktadır. Bir yörüngede hareketli scroll, sabit scroll etrafında döner. Bu hareket esnasında emilen buhar, iki scroll arasında sıkıştırılır. Hareketli scroll dönerken, soğutucu akışkan ,buharını çıkış ağzına doğru sıkıştırır. Scroll kompresörler, pistonlu kompresörlere nazaran daha az hareketli parçaya sahiptirler. Bu yüzden daha sessiz çalışırlar [10].

2.3.3.Kısılma vanaları (Genleşme valfleri)

Kısılma vanaları soğutucu akışkanın basıncını arzu edilen buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır. Endüstriyel ve ticari iklimlendirme ve soğutma alanında kullanılan genel olarak beş tip kısılma vanası mevcuttur [3]. Bunlar;

- El Ayar Vanası
- Otomatik Kısılma Vanası (OGV veya OXV)
- Termostatik Kısılma Vanası (TGV veya TXV)
- Elektrikli Kısılma Vanası
- Kılcal Boru
- Şamandıralı Ayar Valfi

• El ayar vanası

Oldukça basit yapıya sahip vanalar olmasına karşılık, buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan debisini ayar etmek için bir operatöre gereksinim duyulur. Uzun zaman periyotlarında sistemin işletimi sabit yükler için sınırlıdır yani yük değişimlerine karşı duyarlı değildir. Yapı olarak vana kısmında aşağı doğru uzanan koni şeklinde bir iğne bulunur ve bu iğne vasıtasıyla akış denetlenir. Kapalı durumda konik yüzey üzerine iğne oturur. İğnenin konik yüzeyden uzaklaşıp yaklaşmasıyla akış miktarı. değiştirilir [3].

• **Otomatik kısılma vanası**

Daha ziyade küçük kapasiteli soğutma uygulamaları, için tatmin edici bir çalışma sağlarlar. Elle yapılan çıkış basıncı ayarını devamlı olarak muhafaza eder. Buharlaştırma sıcaklığı, böylece basınç kontrolü suretiyle muhafaza edilmeye çalışılır [3].

• **Termostatik kısılma vanası (TXV)**

Termostatik kısılma vanası, buharlaştırıcıya soğutucu akışkan akışını kontrol eden, buharlaştırıcıda buharlaşan miktar kadar sıvı soğutucu akışkanı hassas ölçüde tekrar buharlaştırıcıya sevk eden hassas bir alettir. İç ve dış dengelemeli olmak üzere iki değişik yapıya sahiptir [3].

2.3.4. Yoğuşturucular (Kondenserler)

Soğutma sistemlerinin temel elemanlarından biri olan yoğuşturucular, yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buhar haldeki soğutucu akışkanın ısını dış ortama vermek suretiyle sıvı hale gelmesini sağlayan bir elemandır. Yani buharlaştırıcıda aldığı ısı ile buharlaşan ve kompresörde sıkıştırma işlemi sonucu sıcaklığı ve kızgınlığı artan soğutucu akışkan burada sıvı hale gelir. Yoğuşturucular sistemin yüksek basınç tarafına monte edilirler. Durumdan da anlaşılacağı gibi yoğuşturucuda ortam ile bir ısı alışverişi meydana gelmektedir. Yoğuşturucu, buhar içindeki ısıyı ilk yoğuşturucu tüplerinin cidarlarına ve sonra tüplerden soğuk ortama transfer ederek uzaklaştırır. Soğuk ortam hava, su ve bu ikisinin bir kombinasyonu olarak karşımıza çıkabilir. Bu ısı alışverişi üç ana bölgede meydana gelmektedir.

- a) Kızgınlığın alınması (yoğuşturucu dizaynına bağlı olarak yoğuşturucu alanının %5'i kullanılmaktadır.)
- b) Yoğuşma (yoğuşturucu alanının yaklaşık %85'i kullanılmaktadır.)
- c) Aşırı soğutma (yoğuşturucu alanının % 0-10 kullanılmaktadır.)

Hava soğutmalı yoğuşturucuların toplam ısı geçiş katsayısı hava hızlarına bağlı olarak 20-35 W/m²K değişir. Su soğutmalı yoğuşturucularda toplam ısı geçiş katsayısı su hızlarına yoğuşturucu konstrüksiyonunun şekline bağlı olarak yaklaşık 240-1750 W/m²K değerlerinde alınabilir. Yoğuşturucunun ısıyı sıcak soğutucu akışkan buharından soğuk ortama aktarabilme kabiliyeti, yoğuşturucu kapasitesi olarak adlandırılır. Yoğuşturucunun ısı transfer kapasitesi aşağıdaki 4 faktöre bağlıdır [3].

- Yoğuşturucunun yapımında kullanılan malzemeye,

- Yoğuşturucu yüzeyi ve yoğuşma ortamı arasındaki temas alanına,
- Yoğuşma ortamı ve soğutucu akışkan buharı arasındaki sıcaklık farkına,
- Yoğuşturucu temizliğine

İlk iki faktör konstrüksiyon şartlarıdır. Farklı malzemeler ısı transferi için farklı özelliklere sahiptirler. Bu yüzden bir tasarımcı, doğru malzeme seçerek verilen kapasitedeki bir yoğuşturucunun boyutlarını değiştirebilir. Isı transferi kabiliyeti daha iyi bir malzeme ile daha küçük boyutlarda yoğuşturucu imal edebilir.

Üç temel yoğuşturucu tipi mevcuttur :

- 1) Hava soğutmalı yoğuşturucular,
- 2) Su soğutmalı yoğuşturucular,
- 3) Buharlaştırmalı (evaporatif, hava ve su) tip yoğuşturucular

• Hava soğutmalı yoğuşturucular

Özellikle 750 W' a kadar olan, kapasitelerdeki soğutma gruplarında istisnasız denecek şekilde kullanılan bu tip yoğuşturucuların tercih nedenleri, basit oluşları, kuruluş ve işletme masraflarının düşüklüğü, tamir ve bakımlarının kolaylığı sayılabilir [3].

Hava soğutmalı yoğuşturucular, grup tertip şekillerine göre;

- Kompresörle birlikte gruplanmış
- Kompresörden uzak bir mesafeye konulacak türde tertiplenmiş yoğuşturucular olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

Hava soğutmalı yoğuşturucular genellikle kanatlı borulu olarak imal edilirler. Boruların içinden soğutucu akışkan, dışından ise hava geçer. Bu tip yoğuşturucular daha ziyade küçük soğutma yüklerinde yeterli miktarda soğutma suyu bulunmayan durumlarda kullanılır. Çünkü hava tarafındaki taşınım katsayısı küçük olduğundan, büyük soğutma yüklerinde çok büyük yüzeyler gerekir. Bu durum dış kısma konan kanatçıklarla giderilmeye çalışılır. Bakımları ve kullanışları basit olmakla beraber hava sıcaklığının gün ve mevsim boyunca değişme sebebiyle otomatik kontrol güçleşir.

Hava soğutmalı yoğuşturucu sıcaklığı soğutma tekniği açısından, soğutma tesir katsayısının (STK) mümkün olduğunca büyük olması için tasarım aşamasında yoğuşma sıcaklığı, çalışma koşullarını aksatmayacak en düşük değerde seçilmelidir.

$$T_y = T_{ort} + \Delta T \quad \text{ifadesiyle bulunur.}$$

Burada, T_y : Yoğuşturucu sıcaklığı, T_{ort} : Yazaylarının en yüksek aylık ortalama sıcaklığı, ΔT : Ortalama logaritmik sıcaklık farkı (10 / 15°C alınır), $T_{ort} = 40$ °C ve $\Delta T = 10$ °C ise, $T_y = 40 + 10 = 50$ °C olur.

Buharlaştırma sıcaklığı (T_b) sabit iken (T_y) yoğuşturucu sıcaklığı artarsa kompresör gücü artar, soğutma yükü azalır ve soğutma tesir katsayısı düşer. Ayrıca yüksek yoğuşturucu sıcaklığı, kompresör çıkış sıcaklığının artmasına neden olur. T_y yoğuşturucu sıcaklığının olması gereken değerden daha fazla olmasının mahsurları, yukarıda belirtildiği gibi olup, düşük olması da soğutma devresinin randımanlı çalışmasını engeller. Bu nedenlerle yoğuşturucu sıcaklığının, olması gereken değerde seçilmesi büyük önem arz eder [3].

• Su Soğutmalı yoğuşturucular

Su soğutmalı yoğuşturucularda soğutma ortamı olarak su kullanılır. Ticari ve endüstriyel soğutma sistemlerinde su soğutmalı yoğuşturucular, hava soğutmalı yoğuşturuculara göre daha yaygın olarak kullanılır. Çünkü su soğutmalı yoğuşturucular aynı kapasitedeki hava soğutmalı yoğuşturuculardan daha küçüktür ve bu yüzden daha az yer kaplarlar. Su soğutmalı yoğuşturucu tipleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [3].

- İç içe çift boru tip yoğuşturucular
- Hava tipi yoğuşturucular
- Dik tertipli gövde borulu yoğuşturucular
- Yatık tertipli gövde borulu yoğuşturucular
- Atmosferik tip yoğuşturucular
- Buharlaştırma tip yoğuşturucular

• Buharlaştırma (Evaporatif, Su pükürtmeli) tip yoğuşturucular

Hava ve suyun soğutma etkisinde birlikte faydalanma esasına dayanan yoğuşturuculardır. Bakım ve servis güçlükleri, çabuk kirlenmeleri ve sık sık arızaya müsait olması nedeniyle az kullanılmaktadır. Çalışma prensibi kısaca Soğutma serpantini içinden geçen soğutucu akışkan hava soğutmalı yoğuşturucularda olduğu gibi yoğuşup sıvı deposuna gider. Serpantin dış yüzeyinden geçirilen hava ters yönden gelen atomize haldeki suyun bir kısmını buharlaştırıp soğutma etkisini meydana getirmiş olur. Böylece yoğuşturucudaki yoğuşma sıcaklığı daha aşağı seviyelere düşürülmüş olur [3].

2.3.5. Soğutucu akışkanlar

Isı pompalarında kullanılan ısı taşıyıcı akışkanlar çok çeşitlidir. Bunların başlıcaları, etil klorür, kükürt dioksit, metil klorür, amonyak, karbondioksit, hidrokarburlu gazlar(bütan, izobütan, propan, etan, v.b) freon grubu gazlardır. Bunlardan en çok F11, F12, F22, F113 kullanılır [10].

Isı taşıyıcı akışkanlarda aşağıdaki özellikler aranmaktadır.

- Az bir enerji (güç) sarfı ile daha çok verim elde edilebilmelidir.
- Akışkanın buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır.
- Kritik sıcaklık ve basınç yüksek olmalıdır.
- Atmosfer basıncında düşük sıcaklıklarda buharlaşabilmelidir.
- Yoğuşma basıncı ve buna bağlı olarak sıcaklığı yüksek olmalıdır.
- Özgül hacmi küçük olmalıdır.
- Sıkıştırma oranı düşük olmalıdır.
- Emniyetli ve güvenilir olmalıdır.
- Yağlama yağlan ve soğutma devresindeki elemanlar ile zararlı sonuç verebilecek reaksiyonlara girmemelidir.
- Su ve hava ile kimyasal reaksiyona girip sisteme zararlı asit yada gaz oluşturmamalıdır.
- Çalışma şartlarındaki basınç ve sıcaklıkların en uç sınırlarında dolu ayrışıp çözülmemeli, bütün özelliklerini muhafaza etmelidir.
- Sistemin herhangi bir yerinden sızıntı yapması halinde kolayca anlaşılabilirdir.
- Elektriksel özellikleri uygun olmalıdır.
- Yanıcı ve patlayıcı olmamalıdır.
- Zehirli ve kötü kokulu olmamalıdır. Ucuz olmalıdır.

• R717 (NH₃; Amonyak):

Hacimsel özgül soğutma yükü en fazla olan soğutucu akışkan olup özellikle büyük tesislerde çok kullanılır. Küçük tesislerde sistemde dolaşması gereken soğutucu akışkan miktarının az olması dolayısıyla sistem ayar ve kontrol imkanı azaldığı için pek kullanılmaz. Bakır, çinko, galvaniz kaplı malzeme üzerine korozyon etkisi vardır. Amonyaklı tesislerde sadece çelik ve dökme demir kullanılır. Bir atmosferde veya atmosferik basınçta -33°C'de buharlaşır, genellikle bundan düşük buharlarda kullanılmaz. Amonyakın su ile birleşme

kabiliyeti, çok yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda hava ile beraberken yanabilir. Hava içerisinde % 16-25 oranında zehirli olur. Solunum organlarına ve cilde yanık etkisi yapabilir. Kompresör çıkış sıcaklıkları yüksektir. Bu yüzden kompresördeki yağlama yağını karbonize edebilir. Özellikle cidarlara ve sübaplara tesir edebilir. Amonyaklı sistemlerde kompresör soğutulmalıdır [10].

• **FREON cinsi soğutucu akışkanlar (Halokarbon)**

Doğal olarak elde edilen (NH_3 , SO_2 gibi) soğutucu akışkanların istenilen tüm özellikleri temin edememesi sentetik bir soğutucu akışkan grubunun doğmasına yol açmamıştır. Bunlar, emniyet ve güvenilirlik yönünden iyi olan, ayrıca iyi bir ısıl özelliğe sahip olan florakarbon (florlaştırılmış hidrokarbonlardır), halokarbon (haloje edilmiş hidrakarbonlar) ailesindedir. Metan (CH_4) veya etan (C_2H_6) içerisindeki hidrojen atomlarından bir veya birkaçının yerine sentez yoluyla klor, flor veya brom(halojen atomları yerleştirmek suretiyle elde edilmektedir. Genel formülleri $\text{C}_m\text{H}_n\text{F}_p\text{Cl}_q$ dir. Genellikle tesiste kullanılan malzemeler üzerine etkileri yoktur. Yalnız kurşun magnezyum ve alaşımları üzerinde etkileri vardır. Zehirli ve yanıcı değildir [10].

Bunlar;

- **R12(CCl_2F_2):** Küçük ve orta güçteki soğutma tesislerinde çok yaygın olarak kullanılır. Bir atmosferdeki buharlaşma sıcaklığı -30°C civarındadır. Bundan düşük sıcaklıklar için kullanılmaz. Suda güç erir. Eğer sisteme hava girerse hava içindeki su buharı kısılma valfi çıkışında tıkanmalara yol açar. R₁₂ içinde 10 mg/kg'dan fazla su oranına müsaade edilmez. Sistemde mutlaka kurutucu kullanılır. Yağ ile de kolayca karışabilir, dolayısıyla sistemde yağ ayırıcı zorunluluğu yoktur. Kaçaklar halojen lamba ile tespit edilebilir [26].
- **R13:** Özellikleri düşük sıcaklıklarda kullanım için elverişlidir. Bir atmosferdeki buharlaşma sıcaklığı -82°C civarındadır. Ancak sıcaklığın artması ile basınç çok yükselir. Bu yüzden de genellikle kaskat sistemlerde düşük basınç kısmında kullanılır. Yağ ile karışmaz. Kaçaklar halojen lamba ile tespit edilebilir [26].
- **R22(CHClF_2):** Cam berraklığında, renksiz ve etere benzer bir kokusu vardır. Diğer freon serisi akışkanlarda olduğu gibi emniyetle kullanılacak zehirsiz, yanmayan ve patlamayan bir akışkandır. Saf halde yağ ile karışık olduğu zaman malzemeye tesir eder. 1 kg R₂₂ içinde 25 mg'dan fazla su bulunmamalıdır. -60°C civarındaki düşük sıcaklıkların elde edilmesinde, derin soğutma uygulamalarına cevap vermek üzere geliştirilmiştir. Hacimsel özgül soğutma yükü büyüklük olarak amonyağın arkasında gelir. Bu yüzden de

orta ve büyük tesislerde düşük sıcaklık seviyeleri için kullanılır. Isı pompası tesislerinde bilhassa daha kompakt kompresör gerektirmesi ve dolayısıyla yer kazancı sağlaması yönünden tercih edilir. Yağda erimez, yağ ayırıcı kullanılmak zorunludur [26].

- **R502:** R502, kütleli olarak %48,8 R22 ve %51,2 R115'in karışımıdır. Düşük sıcaklık ve yüksek sıkıştırma oranı uygulamalarında R22'nin yerini almak üzere gelişmiştir. R502'nin özellikle, düşük sıcaklıklarda soğutma etkisi büyüktür. (-40 °C) ve -20 °C arasında soğutma elde edilmesi durumunda R502'nin kompresör çıkış sıcaklığı R22'ye göre daha düşüktür. Yanıcı ve zehirli değildirler [26].
- **R134a:** Sistemimizde de kullanılan R134a soğutucu akışkanının ozon tabakasına etkisi sıfırdır ve diğer özellikleri dikkate alındığında en uygun soğutucu akışkanlardan biridir. Fiziksel özellikleri R12'ye yakındır. Saf bir soğutucu akışkandır. Ev tipi ve araç soğutucuları için uygundur. Düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında çift kademeli sıkıştırma gerektirir. R134a mineral yağlarla uyumlu olmadığından poliester veya poliolakalinglikol bazlı yağlarla kullanılması önerilmektedir. Isı iletim performansının düşük ve büyük kompresör ötelemesi gerektiren düşük kompresör ötelemesi gerektiren düşük özgül hacim değerine sahip olması R134a'nın dezavantajıdır [26].

2.4. Isı Pompalarının Sınıflandırılmaları

2.4.1. Isı pompası ısı kaynakları

- **Isı pompası tipleri**

Isı pompaları;

1. Isı kaynağı ve alıcısına,
2. Termodinamik çevrime,
3. Yapısına,
4. Boyutlarına,
5. Kaynak ve alıcı sınırlarına göre sınıflandırılabilir

Sistemde buharlaştırıcının ısı çektiği ortamlara "ısı kaynağı" denir ve bu kaynakların ısı pompası ile uyumlu çalışabilmesi için:

- a) Kaynak sıcaklığı fazla değişmemeli,
- b) Kaynak bol bulunmalı ve coğrafi koşullardan olabildiğince az etkilenmeli,
- c) Kaynak kirli olmamalı,

d) Korozyona neden olmamalıdır.

Isı pompasının performans katsayısı, sıcak ısı kaynağı ile soğuk ısı kaynağı arasındaki sıcaklık farkı ne kadar küçük olursa o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle ısı çekilecek kaynak olarak (soğuk ısı kaynağı) sıcaklığı en yüksek kaynağı seçmek gerekir.

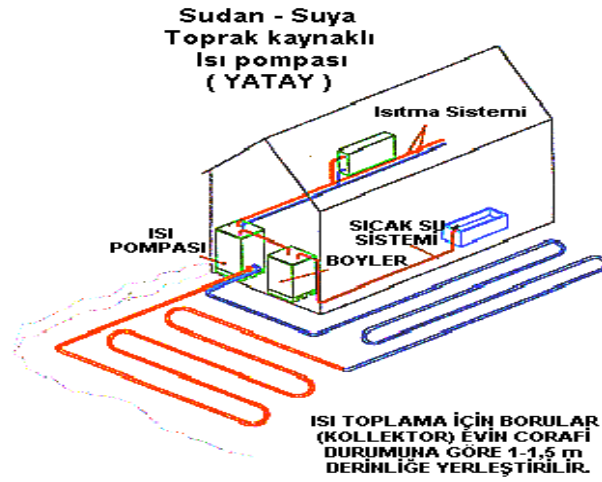
En çok kullanılan ısı kaynakları çevre havası, su (yeraltı veya yerüstü suyu), toprak, atık ısıdır. Isı kaynağı olarak güneş enerjisinden de yararlanılabilir [26].

a) Çevre havası : Hava, her yerde bulunması, normal büyüklükte elemanlara ihtiyaç göstermesi, montaj ve işletme masraflarının düşük olması yönlerinde çok uygun bir ısı kaynağıdır [26].

Havadan havaya ısı pompalan en yaygın olarak kullanılan tiptir. İlgili bölgede soğutulmuş veya ısıtılmış havayı elde etmek için; hava devreleri, motorla veya elle çalıştırılan damperlerle yer değiştirebilir (yani hem hava devreleri hem bu damperler kullanılabilir). Bu sistemde birinci eleman daima buharlaştırıcıdır, diğeri de daima kondenserdir. Denetlenen hava, soğutma çevrimi sırasında buharlaştırıcılardan geçerken dışarı atılan hava kondenserdan geçer. Damperlerin pozisyonu, soğutmadan ısıtmaya geçişi sağlar. Buharlaştırıcı giren hava ile borularda dolaşan soğutucu akışkan arasında 5-10°C sıcaklık farkı sağlanır.

Yüksek ısıtma tesir katsayısı, sıcaklığı ısıtılacak yerin sıcaklığına mümkün olduğu kadar yakın bir ısı kaynağı kullanmakla elde edilir. Isıtma döneminin büyük bir bölümünde dış hava sıcaklığı bu açıdan uygundur. Ancak bu sıcaklığın değişken olması, gerekli kapasitenin tayininde güçlük çıkarır. Eğer ısı pompası, kötü kış şartlarında ısıtmayı sağlayacak şekilde dizayn edilirse, dönemin büyük bir bölümünde kapasite fazlalığı meydana gelir. Bu da birkaç günlük çalışma için ilk yatırım maliyetinin artması demektir. Ayrıca fazla kapasitede olduğu için çok kısa süre çalışıp ihtiyaç karşılar yani sık sık çalışıp durur. Deneyler sık sık çalışıp durmanın sürekli 'çalışmaya nazaran tesir katsayısı değerini düşürdüğünü göstermiştir. Bu arada kompresörün ikide birde devreye girip çıkması da arıza yapma ihtimalini artırır. Çözüm olarak belli bir tasarım noktası sıcaklığı seçilir ve kapasite bu değere göre tayin edilir, tasarım noktasının altındaki sıcaklıklarda yardımcı ısıtıcı kullanılır.

Hava kaynaklı ısı pompasında kışın ısı ihtiyacı fazla olduğu zamanlarda ısı kaynağının sıcaklığı düşüktür. Bu da aynı yoğunlaşma sıcaklığı için ısı tesir katsayısının düşmesine sebep olur. Böylece ısıtılan yere verilen ısı daha az olmaktadır.



Şekil 2.12. Sudan-suya toprak kaynaklı ısı pompası (yatay) [26].

d) Güneş : Isı kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanma konusunda çalışmalar devam etmektedir. Mevcut olduğu zamanlar güneş enerjisi diğer ısı kaynaklarından daha yüksek sıcaklıklarda ısı sağlar. Bu bakımdan ısı tesir katsayısı daha büyük olur. Ancak güneş enerjisi sürekli enerjiyi verebilen bir kaynak değildir; kışın ve geceleri ısı verememektedir. Buna rağmen güneş enerjisi ile birlikte yardımcı ısı kaynağı beraber ya da bina içerisine bir ısı deposu koymak suretiyle elverişli bir sistem kurulabilir [26].

2.4.2. Isı kaynaklarına göre sınıflandırma

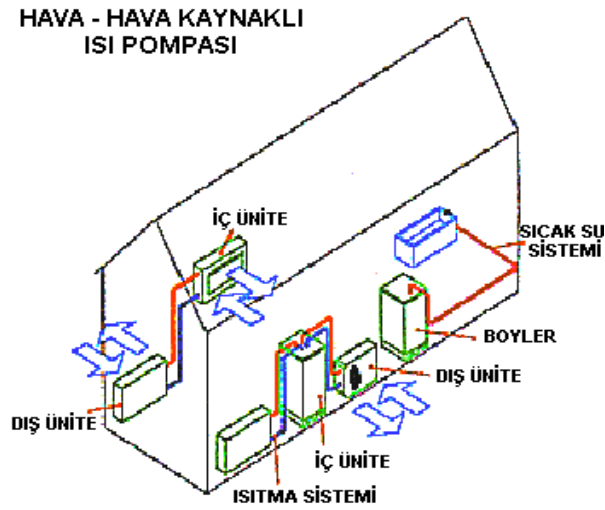
Isı pompaları ısı kaynağına bağlı olarak; hava-hava, hava-su, su-hava, su-su olarak sınıflandırılabilir. Birinci eleman daima buharlaştırıcı, ikinci eleman ise kondenser bölgesine aittir. Bu sınıflandırmaya ek olarak ısı pompaları direkt veya dolaylı sisteme sahip olabilirler. Dolaylı sistemde, ısı dış havadan, sudan alınarak bir aracı akışkana aktarılır ve sonra buharlaştırıcıya gönderilir. Direkt sistemde ısı, direkt olarak ısı kaynağından soğutucu akışkana aktarılır ve soğutucu akışkandan da iklimlendirilecek ortama aktarılır [26].

a) Hava - hava

Hava-hava ısı pompası, dış havayı ısı kaynağı veya egzost yapılan yer olarak kullanırken kondenserden ısının atılması için de dış hava kullanılır. Bu tip bir ünitenin kapalı bir çevrim oluşturması, basitleştirici bir avantajdır. Ayrıca, kullanılmış suyu atma sorunu, su temini, sulu sistemlerde oluşan tortulanmalar gibi sorunlar da yoktur. Dış hava sıcaklığı, iklimlendirilecek ortam sıcaklığından biraz değişince bile yine yüksek bir tesir katsayısında çalışması mümkün olur. Fakat hava içinde çalışan ısı değiştiricileri, su içinde çalışanlara

oranla, havanın ısı transfer katsayısının düşük olması nedeniyle, daha büyük olacaktır. Bu nedenle bu tip bir sistem oldukça büyük yer kaplayacaktır [26].

Ayrıca, bu tip üniteler ılıman iklimlere göredir. Çünkü düşük dış ortam hava sıcaklığı performans katsayısını düşürür. Böylece en gerekli zamanda alınabilecek ısı miktarı azalır. Hava sıcaklığı 0°C 'nin altına düştüğü zaman, dış hava serpantinlerinde buzlanma sorunu karşımıza çıkar.



Şekil 2.13. Hava-Hava Kaynaklı Isı pompası [26].

b) Su - hava

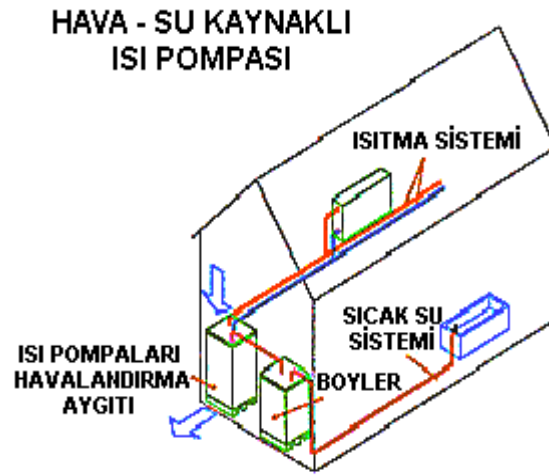
Su - hava ısı pompası, suyu ısı kaynağı, havayı iklimlendirilecek ortama ısıyı iletmek için kullanır. Isı kaynağı olarak su, genelde sabit sıcaklığa sahip bir kuyu, göl, doğa veya diğer kaynaklardan elde edilebilir [26].

Bu tipteki sistemler dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sabit performans katsayısı ile çalışırlar. Bu yüzden bu sistemler fazla sıcaklık değişimleri olan iklimlerde kullanılırlar. Bu da dış havayı ısı kaynağı olarak kullanan sistemlerden daha avantajlı olmasını sağlar. Bu sistem sadece bir adet hava ısı değiştiricisi gerektirdiğinden küçük boyuttadır. Dezavantajı ise, yeterli besleme suyu elde etmek ve atık su sorunudur.

c) Hava - su

Hava - su sistemlerinde dış hava, ısı kaynağı olduğu için (hava - hava tipinde olduğu gibi) düşük hava sıcaklıklarında oldukça düşük performans katsayısı değerine ulaşılması gibi bir

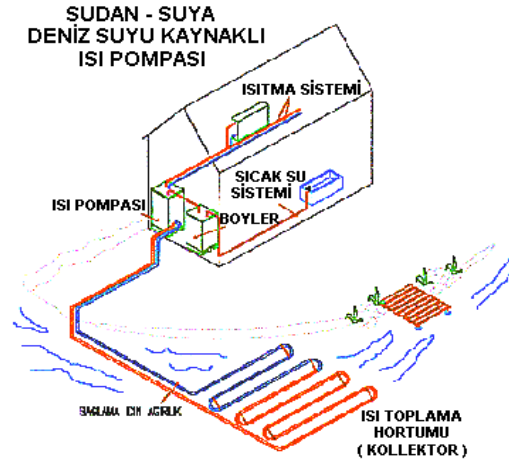
dezavantaj söz konusudur. Bu sistem, sıcak veya soğuk su eldesinde veya sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Buharlaştırıcı ve kondenser su içinde çalışmaktadır. İlave olarak dış havadan ısı çekebilecek bir ısı değiştirici ve onu transfer ortamına verebilecek bir sistem, binanın çatısına konabilir. Sıvı, buharlaştırıcı veya kondenser arasında, dış ortam havasından ısının çekilmesi veya verilmesi şeklinde sirküle ettirilir. Havadan suya ısı pompalan, bölge kontrolünün gerekli olduğu büyük binalarda yaygın olarak kullanılır [26].



Şekil 2.14. Hava-Su Kaynaklı Isı pompası [26].

d) Su - su

Su ısı kaynağı olduğundan, su - hava sistemindeki avantajlara sahiptir. Bu, su temininin yeterli ve uygun olduğu yerlerde sıcak ve soğuk suyun bir arada, endüstriyel bir işlemde gerektiği hallerde ve sıcak sulu ısıtmanın istendiği durumlarda kullanılır. Bu sistem radyatörlü ısıtma sistemlerine de uygulanır [26].



Şekil 2.15. Su-Su Kaynaklı Isı pompası [26].

e) Diğer sistemler

Büyük kuruluşlarda, su temininin sınırlı olduğu yerlerde, hava ve suyun bir arada ısı kaynağı olarak kullanılması bazı hallerde avantajlıdır. Bu sistem, dış hava sıcaklığı su sıcaklığından daha yüksek olduğu hallerde daha büyük bir performans katsayısı değeri verebilir. Aynı zamanda, dış hava sıcaklığı düşükken hava - hava tipine göre daha yüksek bir verim elde edilebilir [26].

2.5. Endüstriyel Isı Pompası Uygulamaları

Gelişmiş ülkelerde endüstride başlıca enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30-40'ını oluşturmaktadır. Bunun yaklaşık %70-80'ini proses ısısı oluşturmaktadır. Bu proses ısısının ısı değeri bilinmesinde fayda vardır. Endüstriyel proseslerin çeşitliliği yüzünden her ülkedeki endüstriyel yapıya bağlı olarak biri diğerinden farklı olarak değerlendirilir. Bazı tahminlere göre, endüstriyel ısı (termal) enerjinin %60'ından fazlası 300°C' in altında sıcaklıklarda ve yaklaşık %20-30'u 150°C' in altında sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. 150°C sıcaklık değeri, ısı pompaları için en üst değer olduğundan dolayı, ısı pompalarının muhtemel uygulamaları bu kısım içinde yer almaktadır.

1987 yılında yapılan bir araştırmaya göre; Avrupa da toplam kapasite yaklaşık 850 kuruluş için 2500 MW' a ulaşmıştır. Her bir ünite kapasitesi ortalama 3 MW' dir. Bunun yanında, bin adet küçük tesis, (ünite kapasitesi 100 kW' in altında) balık yetiştirme ve kereste kurutma için Norveç ve Finlandiya da kurulmuştur [16].

Petrol fiyatlarının ani düşmesiyle birlikte endüstriyel ısı pompaları için ilk engel 1985 ile 1986 arasında ortaya çıktı. İlk olarak fiyatlardaki bu ani düşüş, üretim maliyetlerindeki enerjinin ekonomik önemini azalttı. İkinci olarak, çeşitli enerji kaynakları arasındaki maliyet oranını değiştirdi. Örneğin, elektrik fiyatları aynı oranda azalmadı. Birçok elektrik tahrikli ısı pompasından kötü ekonomik çıkarımlar elde edildi. Özetle ilk engel için başlıca sebep, özellikle petrol türevleri ve doğal gaz için endüstrideki düşük enerji fiyatları olmuştur. İkinci bir engel, cihazlar ve montajda herhangi bir standardın olmaması yüzündendir. Bu da tasarımcı ve montajcının deneyimine bağlı olarak güvenilirlik problemlerine yol açmıştır (üçüncü engel). Bir de ilk kuruluş maliyetlerinin oldukça yüksek oluşu dördüncü engel olarak eklenebilir [30].

Yukarıda bahsedilen bu engellerden, sadece güvenilirlik engelini kısa bir sürede aşılabilmekten dolayı bu cihazlarla uğraşmak boş bir iş gibi görülebilir. Fakat eğer, son zamanlardaki yatırımlar düşünüldüğünde, endüstride ısı pompasının seçiminin ana sebebinin sadece enerji tasarrufu olmadığı görülmektedir. Bu, bir işletme problemini çözmek, bir prosesteki kontrolü mükemmelleştirmek veya emisyon kirliliğini azaltmak, veya atık ısının sıcaklığını düşürmek veya soğutmada su kullanımını azaltmak ve bunun gibi nedenler olabilir. Genellikle, ekonomik olarak uygun enerji tasarrufu sağlayan bir ısı pompası vasıtasıyla işletme problemi çözülmektedir. Fakat bu asla ana hedef değildir.

Endüstride atık ısının miktarının büyük olması geri ödeme süresini çok kısaltarak cazipliğini arttırmıştır. Isı pompasının en önemli avantajı, diğer enerji geri kazanım sistemlerine göre daha fazla ısı çekebilmesidir.

Birçok halde dışarı atılan ısı çok büyük boyutlara ulaşabilir. Bu ısıyı geri kazanabilmek için klasik bir ısı eşanjörü sistemi kullanılırsa %50-80'e varan bir ısı tasarrufu sağlayabilir. Fakat klasik sistemlerde atılan ısının tamamı geri kazanılmaz. Bu sistemlerin sağlayacağı geri kazanılan akışkanın sıcaklığı ise kullanılabilir şartlarda değildir ve tekrar ısıtılması gerekir. Bu noktada ısı pompalarını incelemek gerekir. Isı pompaları dış ortam sıcaklığının altındaki sıcaklıkta akışkanı buharlaştırıcıda dolaştırabildikleri için dışarıya atılacak olan ısıdan daha fazlası çekilebilir. Isı pompalarının yoğunlaştırıcı sıcaklıkları da ihtiyaç duyulan sıcaklığın üzerine çıkabildiği için çoğunlukla ek ısıtma gerektirmezler. Isı pompasının en büyük avantajı ise dışarı atılan havanın içindeki gizli ısıyı, duyulur ısıya dönüştürebilmeleridir. Dünyada gerçekleşen ısı pompası ve ısı değiştiriciler vasıtasıyla endüstride enerji tasarrufuna birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

Endüstride ısıtma ile soğutmaya aynı zamanda gereksinim gösteren tesislerden bazılarında, bir kısımda ısıtma, diğer kısımda da soğutma yapılmaktadır. Bunlara ait örnek aşağıda verilmektedir [3]. Örneğin;

- Balık işleme ve konserve fabrikalarında temizleme için sıcak suya, pişirme için buhara veya diğer bir ısı kaynağına, muhafaza için de soğutmaya ve buz imaline gerek vardır.

- Mezbahalar ve et işleme fabrikalarında da durum aynıdır. Yalnız burada buz imaline pek gereksinim kalmaz.

- Zirai mahsul işleyen veya bu mahsullerden konserve veya diğer ticari mamul yapan fabrikaların, temizleme ve yıkama için sıcak suya pişirme için buhar veya diğer bir ısı kaynağına, soğuk depolama için de soğutmaya gereksinimi vardır.

- Süt fabrikaları ve sütü madde imal fabrikalarında, temizleme için sıcak su, pastörizasyon, üperizasyon ve proses için buhar, depolama tesisleri içinde soğutma gerekmektedir.

- Soğuk hava depolarında, oturma mahallerini ısıtmaya, depolar içinde soğutmaya ihtiyaç vardır.

Isı pompalarının endüstriyel uygulamaları enerji, imalat ve endüstriyel prosesler gibi alanları kapsar. Bu uygulama alanlarını genel olarak şöyle sıralayabiliriz [3].

I. Soğutmadan ısı geri kazanımı

II. Kurutma, buharlaştırma ve kaynatma prosesleri

III. Atılan akışkanlardan ısı geri kazanımı

IV. Diğer uygulama alanları

Tüm bu proseslerde ısı pompası kullanımında aşağıdaki kriterlerin sağlanması gerekmektedir:

- Isı pompalarının kullanıldığı proseslerde, atılan (sıcak) ve çekilen (soğuk) ısı kaynakları mevcut olmalıdır.

- Sıcak ve soğuk ısı kaynakları arasındaki sıcaklık farkı küçük olmalıdır.

- Transfer edilen ısı miktarı büyük olmalıdır.

- Isı transferi uzun bir zaman aralığında gerçekleşmelidir.

- Sürekli operasyon tercih edilmelidir.

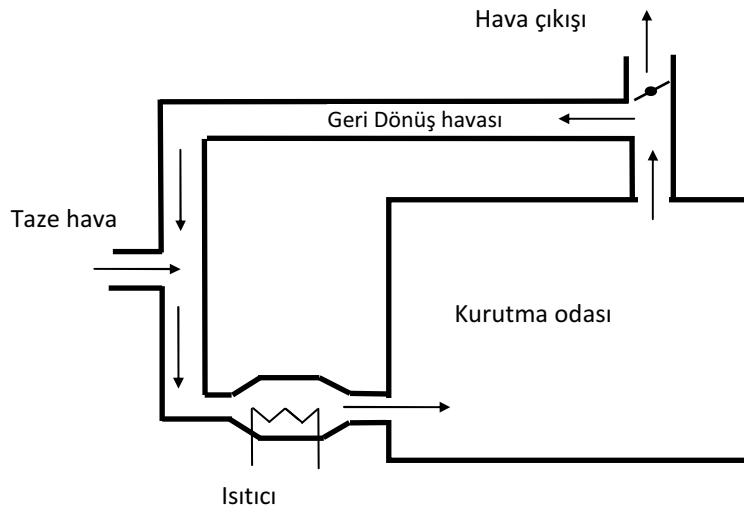
- Soğutma ve ısıtma işlemlerine ihtiyaç duyulmalıdır.

- Klasik mevcut sistemlerle gerçekleştirilen ısıtma ve soğutma maliyeti yüksek olmalıdır [3].

2.5.1. Isı pompası destekli kurutma işleminden ısı geri kazanımı

Isı pompalarının endüstriyel alanda ikinci büyük uygulama alanı kurutma, buharlaştırma ve kaynatma prosesleridir. Bu uygulamalarda ısı pompası tesisatı hem ısı geri kazanımını, hem de prosesi gerçekleştirir.

Günümüzde kurutma prosesi, sanayinin her koluna girmiştir. En basit kurutma prosesi, havanın ısıtılmak suretiyle bağıl neminin düşürülmesi ve böylece nem alma kabiliyetinin artmasının sağlanmasıdır. Islak ürün üzerine gönderilen bu hava, nemi bünyesine aldıktan sonra dışarı atılmakta veya bir kısmı geriye by-pass yapılmaktadır [3]. Fakat by-pass edilen hava miktarı ne kadar arttırılırsa sistemin kurutma verimi de o kadar düşmektedir (Şekil 2.16).

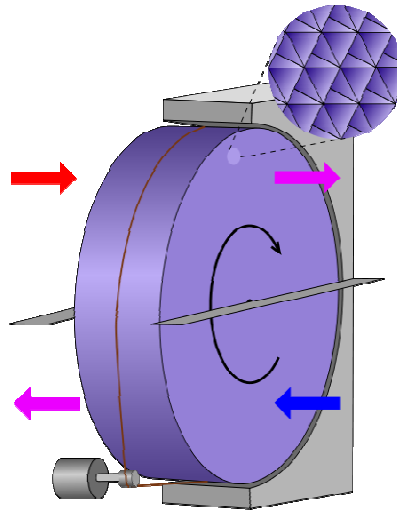


Şekil 2.16. Klasik geri dönüşümlü bir kurutucu [3].

Temelde iki çeşit kurutma veya nem almadan bahsedebiliriz. Bunlardan biri, havanın içinde doğal olarak bulunan su buharının yoğunlaştırılarak alınmasıdır. Özellikle klima tesisleri ve yüzme havuzlarından etkenlik kazanır. Diğeri ise bir malzemenin içindeki nemin alınmasıdır. Bu iki olay arasındaki fark açıktır. İlkinde herhangi bir yerden temin edilmiş olan ısıyla su buharlaştırılıp, havanın nemi arttırılmıştır; ikincisinde ise su zaten sıvı fazdadır ve suyun alınabilmesi için ısıtmaya ihtiyaç vardır. Havanın neminin alınması üç işlemle gerçekleştirilebilir:

1. Absorbsiyon,
2. Havanın sıkıştırılması ve
3. Soğutulması

Absorbsiyon işlemi, zeolit, silikajel gibi nem alıcı maddeler tarafından gerçekleştirilir. Fakat nem alıcı maddenin tekrar nem alıcı olarak kullanılabilmesi, yani nem tutabilmesi için tekrar ısıtılarak topladığı suyu atması sağlanır. Bu yöntemde süreklilik, döner tamburlu ısı geri kazanım cihazı kullanılarak sağlanabilir. Bu ısı eşanjörü gözenekli bir yapıya sahip olup, gözenekler içerisine nem tutucu madde yerleştirilir. Hava kanalının içinde kalan bölümü havadan nemi alırken, diğer kısımdaki nem tutucu madde, ısıtılarak nemi bünyesinden atar. Fakat bu sistemde çekilen her kg. su için harcanan güç çok fazla olduğundan pek tercih edilmeyen bir yöntemdir. Bu tip nem alıcılar, çoğunlukla paketlenmiş cihazların korunmasında kullanılır.

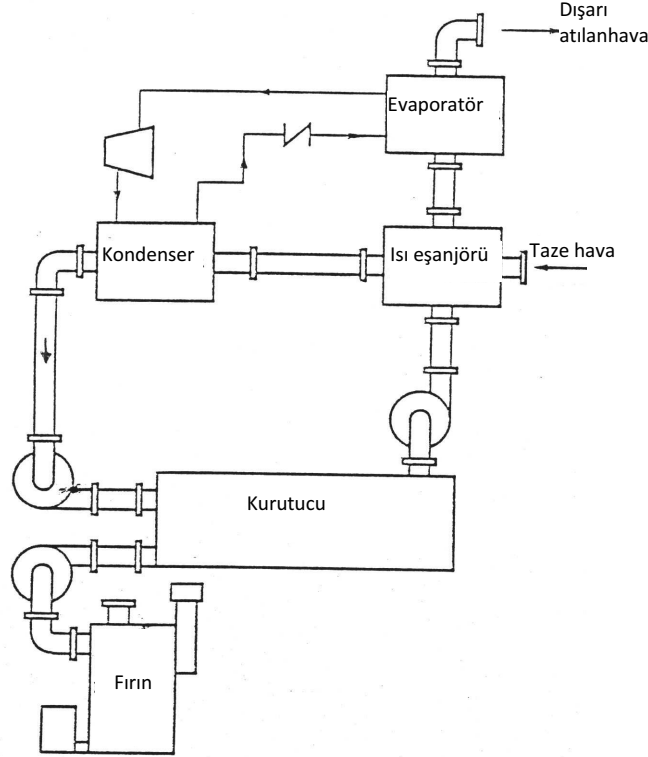


Şekil 2.17. Döner tamburlu nem alıcı (ısı geri kazanım cihazı) [3].

Havanın sıkıştırılması yöntemi, havanın mutlak neminin büyük miktarlarda düşürülmesini sağlar. Hava önce sıkıştırılır ve ortam sıcaklığına kadar soğutulup, ortam basıncına kadar genişletildikten sonra yoğunlaşmış olan su buharı alınır ve tekrar ortam sıcaklığına kadar ısıtılır. Genleşme esnasındaki tersinmezlikler nedeniyle verimi düşer ve bu nedenle tercih edilmez.

Soğutma, havanın çiy noktası altına kadar soğutulmasını ve bunun sonucunda su buharının yoğunlaştırulmasını sağlar. Yoğuşan su alındıktan sonra havanın tekrar istenilen ortam sıcaklığına kadar ısıtılması gerekir.

Kurutma ve nem alma proseslerinde, ısı pompası uygulamaları hızla çoğalmaktadır. Böyle bir kurutma tesisinde ısı pompası temel olarak şu işlemleri yapar:

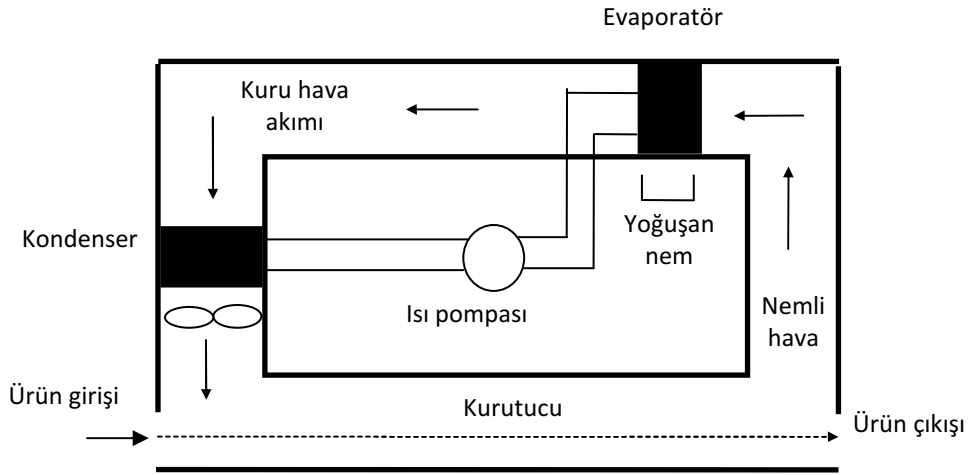


Şekil 2.18. Bir kurutucuda ısı pompası ve ısı eşanjörü yardımıyla ısı geri kazanımı [30].

- **Eksoz havasından ısı çekme işlemi:** Bir kurutucu içindeki ürün tarafından absorbe edilen ısı miktarı, sağlanan enerjinin %5 ila %10' u arasındadır. Yani bacadan olan kayıp ise enerjinin yaklaşık %90-95' idir. Isı pompası kullanılan kurutma tesisatı, egzoz edilen hava içindeki duyulur ve gizli ısının tamamının iyi bir şekilde geri dönmeye imkan verir. Bu amaçla, ısı pompası buharlaştırıcısı eksoz havasının çıktığı kanal içine yerleştirilir. Eksoz havası kurutma yaptığı ortamdan aldığı nem ile buharlaştırıcı üzerinden geçerken sıcaklığı düşer ve böylece üzerinde taşıdığı nemi bırakır [30].

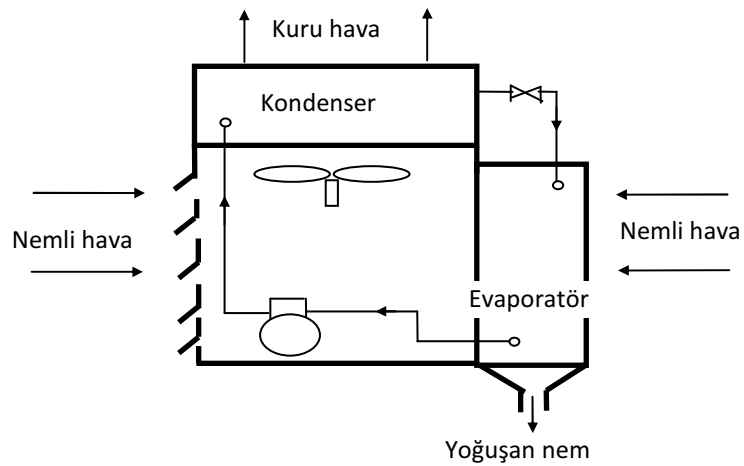
- **Kurutma ortamına gönderilen kuru havanın ısıtılması işlemi :** Bu işlem; eksoz havasından çekilen ısının, kompresörün verdiği ısı değerini de ekleyerek, yoğuşturucu üzerinden geçen ve kurutma odasına giden kuru havaya aktarılması işlemidir. Böyle bir ısı pompası devresi şematik olarak Şekil 2.19' da gösterilmiştir. Şekil 2.19' de görüldüğü gibi evaporatör dışarı atılan nemli havadan ısıyı geri almakta ve soğumasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu işlem esnasında havanın içindeki nemin bir kısmı yoğuşturularak havanın içindeki nem miktarı düşürülmektedir.

Evaporatörden çıkan hava daha sonra ısı pompasının kondenserinden geçirilerek ısıtılmakta ve tekrar kurutma işlemine geri gönderilmektedir [26].



Şekil 2.19. Kurutma ortamına gönderilen kuru havayı ısıtan kurutucu [26]

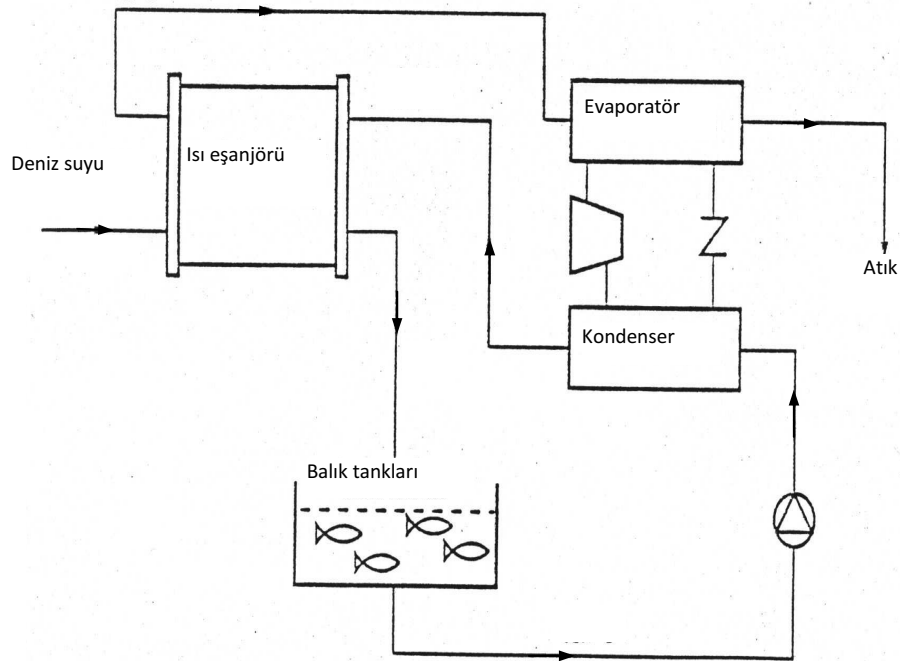
Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi, Şekil 2.20' de görülen soğutulmuş nemi alınan hava ile soğutulmamış havanın kondensere girmeden önce karıştırılması ile gerçekleşen sistemdir [3].



Şekil 2.20. Kurutma işlemlerinde en etkili ısı pompası sistemi [26].

2.5.2. Balık üretimi işleminde ısı pompası ile ısı geri kazanımı

Bir endüstriyel ısı pompası daima yüksek sıcaklıklarda kullanılmaz. Şekil 2.21' de görülen somon balığı üretme çiftliğinde kullanılan ısı pompasının çalışma sıcaklık aralığı -5°C ile 25°C arasında olup, amaç, çiftlikte kullanılan suyun sıcaklığını 2°C ' den 13°C ' e çıkarmaktır. Deniz suyu 2°C ' de alınıyor ardından ısı eşanjörüne gönderilir ve orada 13°C ' e ısıtılarak balık tankları için uygun sıcaklığa getirilir. Tanktan ayrılan su, ısı pompası kondenseri tarafından ısıtılarak 15.5°C ' e çıkarılır. Daha sonra ısı eşanjöründe ısısını deniz suyuna vererek 4.5°C ' e soğur (ısı eşanjör verimi 0.81). Son olarak, ısı pompası evaporatörüne ulaşır ve oradan yaklaşık 2.3°C ' de denize boşaltılır.

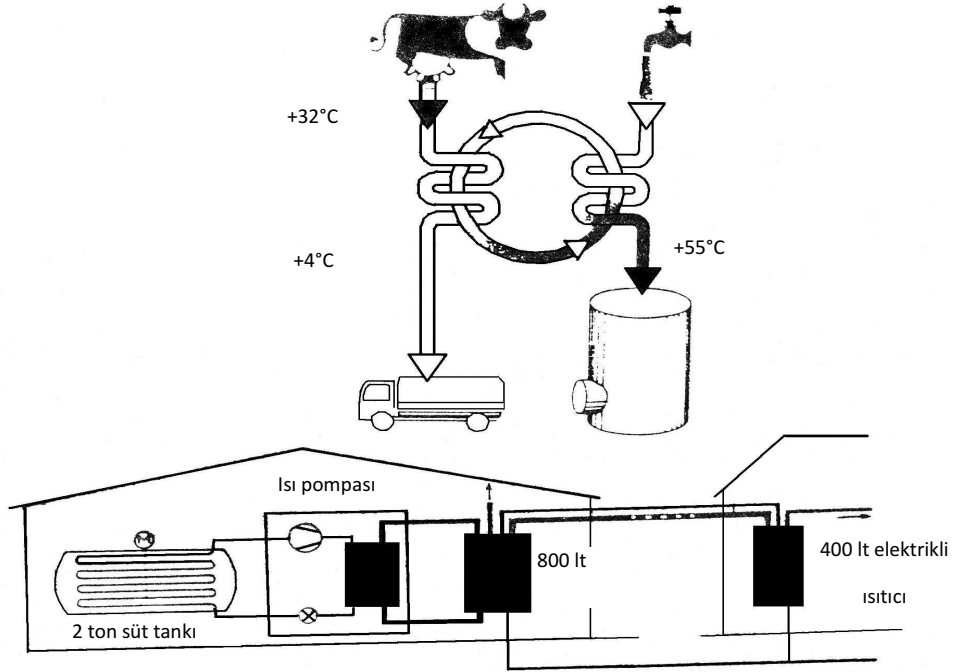


Şekil 2.21. Balık üretimi işleminde ısıtma ve ısı geri kazanım [3].

Sadece ısı pompası göz önüne alındığında, kompresör için gereken güç 25 kW iken kondenserin faydalı etkisi 135 kW ve COP değeri 5.4 dür. Tanktan atık ısıyı geri kazandıran ve ısı pompası için ısıl değişimi gerçekleştiren bir ısı eşanjörü gereklidir. Isı geri kazanım etkisi yaklaşık 400 kW ve sirkülasyon pompası için gereken elektrik ihtiyacı 5 kW dır. Atık su, kondenser ve ısı eşanjörüne girmeden önce bir takım işlemlerden geçer. Çünkü içerisinde bol miktarda kirletici içerir. Ek olarak kondenser, evaporatör ve ısı eşanjörü, kirlenmiş su ile çalışılacak şekilde seçilmeli ve tasarlanmalıdır.

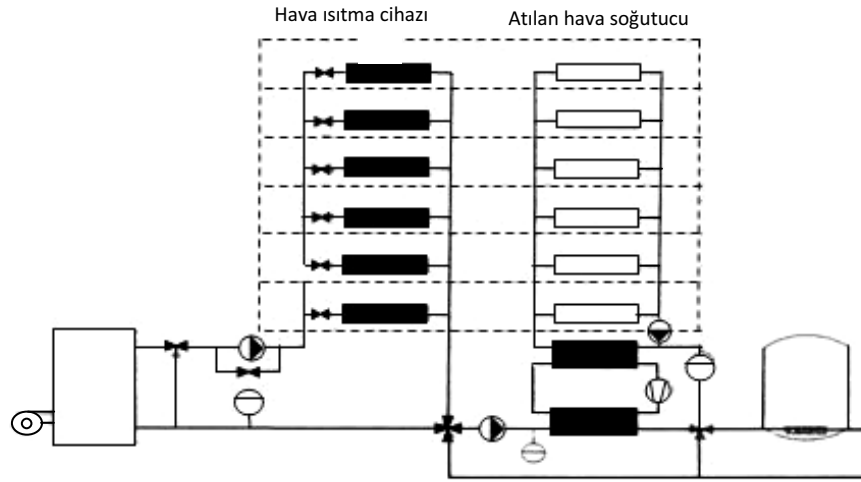
2.5.3. Süt endüstrisi ve hayvancılıkta ısı pompası kullanımı

Şekil 2.22' de bir çiftlikte sağılan bir sütün 32°C ' den 4°C ' e soğutulması ve suyun 8°C ' den 55°C ' e ısıtılması ile ilgili bir ısı pompası devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Sütün soğutulması ve sıcak su elde edilmesinde ısı pompası kullanımını [26].

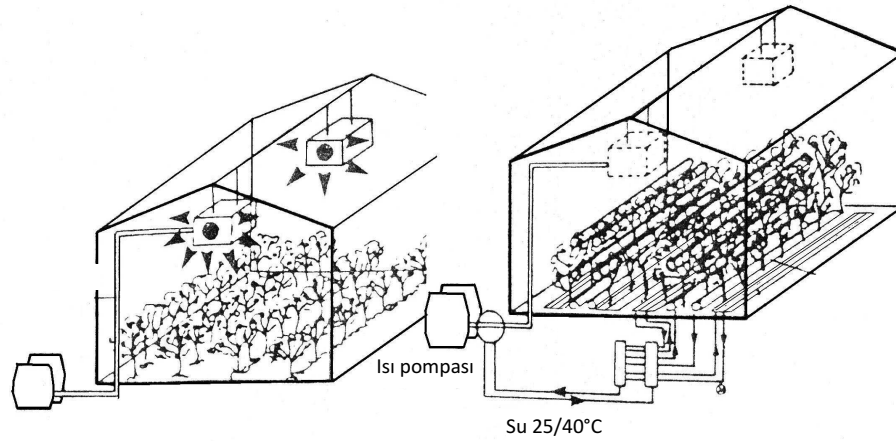
Şekil 2.23' de ise bir ağırın fuel-oil kazanından yararlanılarak hava ile ısıtılması yanında atılan sıcak havadan ısı pompası yardımıyla ısı geri kazanılması görülmektedir. Ayrıca ısı bilançosu da verilmektedir.



Şekil 2.23. Ağıllardan atılan enerjiden ısı pompası ile yararlanma [3].

2.5.4. Seralarda ısı pompası kullanımı:

Şekil 2.24’de ise seraların ısıtılmasında, 90/70°C su kullanılan hava ısıtıcısı ile ısıtılması yerine ısı pompasından yararlanılarak döşemeden ısıtma yapılmaktadır.



Şekil 2.24. Seraların ısı pompasından yararlanılarak döşemeden ısıtılması [26].

2.5.5. Diğer endüstriyel uygulama alanları

- a- Kimya ve Petro-kimya Endüstrisi
 - Arıtma Tesislerinde Isı Pompası Uygulaması
 - Damıtma Tesislerinde Kızgın Buhardan Isı Geri Kazanımı

- Kimya Endüstrisinde Ayrıştırma İşlemlerinde (Propan-Bütan Eldesi)
 - Polimerizasyon İşleminde
 - Kimyasal lif eldesi
- b- Kağıt Endüstrisi
- c- Gıda Endüstrisi
- Pastörizasyon
 - Yiyecek kurutması
 - Yıkama makinelerinde
 - Mayalama İşlemlerinde
 - Balık İşleme ve Konserve Fabrikalarında
 - Mezbalar ve Et İşleme Fabrikasında
 - Soğuk hava Depolarında
- d- Kereste Kurutması
- e- Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinde
- f- Haddeme İşlemlerinde Isı Geri Kazanımında
- g- Tekstil Endüstrisinde
- Kurutma İşlemlerinde
 - Boyahanelerde [3].

2.6 Tekstil Endüstrisinde Atık Isı Oluşumuna Neden Olan Bölümlerin İncelenmesi

Diğer sanayi dallarıyla karşılaştırma yapıldığında tekstil sektörü enerji tüketimi açısından ortalarda bir yer almaktadır. Tekstil endüstrisinin en çok ihtiyaç duyduğu enerji biçimi ise ısı enerjisidir. Ürünün ne olduğuna bağlı olarak istenen sıcaklık ve ısı değerleri değişmektedir örneklendirmek gerekirse ürünün cinsine bağlı olarak (pamuklu, yünü, sentetik vb) gibi her ürünün kendine özgü ısı değeri mevcuttur. Tekstilde enerji tüketimi olayına genel bir bakış yaparsak enerjinin özellikle ısı enerjisinin en çok kullanıldığı yer terbiye bölümü olmaktadır. İşletmenin toplam ısı enerjisinin % 70' ini kullanan terbiye bölümüdür. Aynı zamanda dokuma daireleri de klima için en fazla elektrik enerjisinin harcandığı bölümler olarak göze çarpmaktadır.

Tüketilen enerjiyi sınıflandırırsak; [29].

1. %45-75 yaş işlemler (boyama)
2. %15-40 kurutma işlemleri
3. % 8-18 diğer işlemler ve havalandırma sistemleri

Yapacağımız çalışmada belirlenen bu mekanlardan elde edilen atık ısı enerjisinin sıcaklığından yararlanarak işletme için yeni tasarruf kapıları açmak ve var olan sistemler ile ısı pompası sistemlerini karşılaştırma suretiyle hangi sistemin hangi koşullarda verimliliğinin daha iyi olduğunu anlamak için elimizde olan bazı verilerden yola çıkarak ısı pompası sistemimizi kurma çalışması yapılmıştır [29].

3.ISI POMPALI KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1. Kurutma

3.1.1. Kurutmanın önemi

Kurutma, en eski gıda saklama yöntemlerinden birisidir. İlk çağlarda yaşayan topluluklar meyve ve sebzelerin kurutulması için güneş ve rüzgardan faydalanmıştır. Kurutma metotları dünyada yüzyıllar boyunca geliştirilmiştir. Bugün de gıdaların kurutma teknikleri önemini korumaktadır. Kurutma sadece gıda alanında değil kimya, seramik, kağıt, tekstil ve deri sanayilerinde de temel işlemlerinden biridir. Bu durum kurutmanın önemini sergileme açısından önemli bir göstergedir [28].

Endüstride, kurutulacak maddenin özelliklerine ve miktarlarına bağlı olarak değişik tiplerde kurutucular kullanılmaktadır. Bunlar arasında nispeten küçük miktarlarda ve irice parçacıklar için tepsili kurutucular, sürekli bantlı kurutucular, çamur ve pasta halindeki yağ maddeler için tambur ve püskürtücü kurutucular sayılabilir. Bahsedilen bütün kurutucu tiplerinde esas olan, sıvının buharlaşması için gerekli gizli ısının verilmesidir. Suyun buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle de tüm kurutma işlemleri oldukça fazla enerjiye gereksinim duyarlar. Bu nedenle enerji maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar günümüzde giderek artan oranda önem kazanmaktadır [28].

3.1.2. Kurutma olayı

Bir çok farklı kurutma yöntemi olmasına rağmen en yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemi, ıslak bir katının yüzey ve/veya iç kısımlarındaki sıvının (genellikle su) sıcak bir hava akımı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma sürecinde katıya sürekli olarak ısı verilmesi gereklidir. Bu ısı katının gözeneklerinde bulunan nemin buharlaştırılmasında kullanılır. Dolayısıyla kurutma işlemlerinde ısı ve kütle transferini, birbirini tamamlayan iki olay olarak değerlendirmek gerekir [29].

Kurutulacak malzemeler iç yapılarına göre;

i) Gözenekli (heterojen) malzemeler

- Higroskopik (ince kılcallı)
- Higroskopik olmayan (kaba kılcallı)

ii) Gözeneksiz (homojen) malzemeler

olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gözenekli malzemelere örnek olarak tekstil ürünleri, kağıt ve diğer gözenekli, taneli ve lifli malzemeler, gözeneksiz malzemelere örnek olarak da jelatin, sabun, macun ve hamur gibi malzemeler verilebilir. Bu malzemelerin kurutulması esnasında;

- Sıcak gazdan, katı bünyesinden buharlaşan sıvıya doğru, “ısı transferi”

- Katının iç kısımlarından dış yüzeye doğru ise sadece buhar olarak “kütle transferi” işlemleri gerçekleşmektedir.

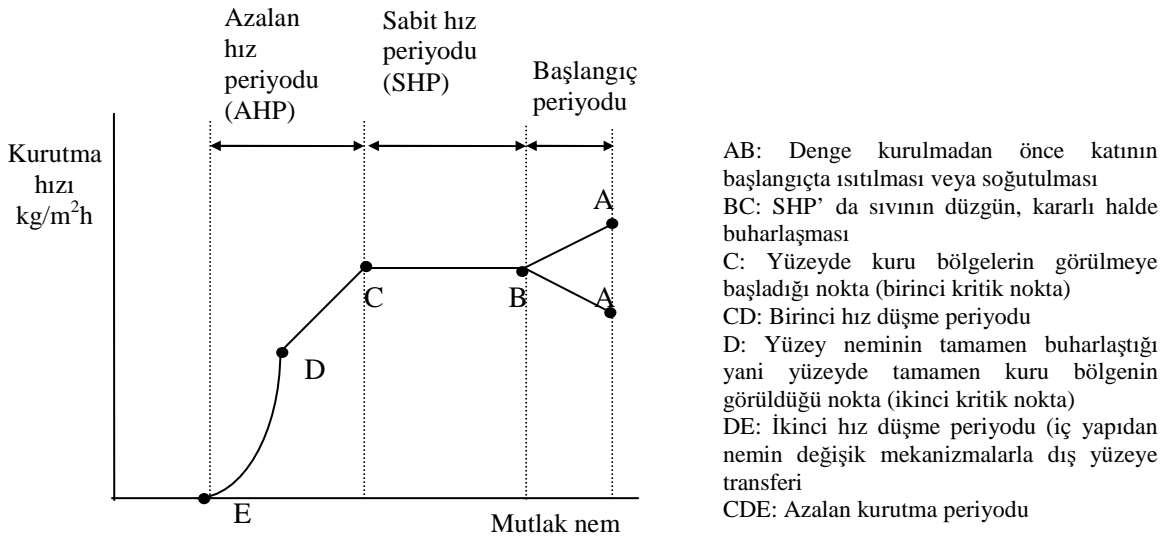
Bu işlemleri belirleyen koşullar aynı zamanda kurutma işlemini de belirleyen koşullardır. Bunlar iki kısımda incelenebilir.

- Katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi süresince oluşan iç difüzyon, kılcallık gibi iç koşullar.

- Kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın akış hızı, sıcaklığı, nemi gibi dış koşullar.

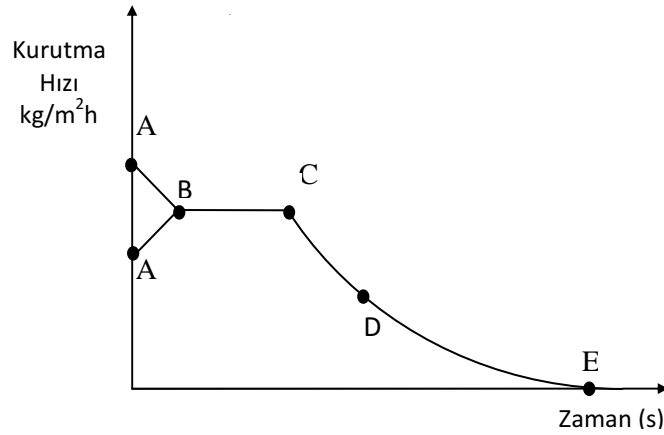
3.1.3. Kurutma mekanizmaları

Kurutmada ısı ve kütle transferi birlikte cereyan ederler. Katı ve üzerinden geçen hava arasında oluşan denge sonucunda katı-hava ara yüzeyi havanın yaş termometre sıcaklığına gelir. Böylece oluşan sıcaklık farkı nedeniyle, havadan ıslak katının yüzeyine büyük oranda konveksiyonla duyulur ısı geçişi olur. Bu ısı, gizli ısıya dönüşerek yüzeyde buharlaşmayı sağlar. Buharlaşan sıvı yine konveksiyonla yüzeyden hava içine aktarılır. Kurutmanın başlarında, yüzeyden buharlaşan nemin yerine katının iç kısımlarından nem, difüzyon yada kapiler kuvvetle yüzeye göç ederek yüzeyin doygun (ıslak) kalması sağlanır. Bu esnada hava sıcaklığı da miktarıyla ters orantılı olarak düşer. Hava sıcaklığındaki bu düşme yüksek hava debilerinde önemsiz derecededir. Yaş termometre sıcaklığı ise debiden bağımsız olarak sabit kalır. Böyle bir durumda sabit sıcaklık farkında sabit hızda ısı transferi olur. Dolayısıyla kurutma sabit hızda cereyan eder. Kurutmanın bu şekilde gerçekleştiği periyot, “Sabit hız periyodu” olarak adlandırılır. Bu periyotta kurutma hızı sabittir ve sadece katı maddenin yüzeyine etki eden değişkenler tarafından etkilenir. Bu değişkenler genellikle hava akımının hızı, akım modeli, sıcaklığı ve nemidir. Sabit hız periyodunda bu değişkenler sabit kaldığı müddetçe kuruma hızı da sabit kalır. Sabit hız periyodunda kurutma hızını hesaplamak oldukça kolaydır (Bkz. Şekil 3.1 ve 3.2) [30].



Şekil 3.1. Mutlak neme göre kurutma hızı [30].

Kurutma esnasında katı öyle bir nemlilik değerine ulaşır ki, bu nem seviyesindeki katı içinden yüzeye nem göçü yüzeyden olan buharlaşmayı sağlayamaz ve katı yüzeyi doymun tutulamaz bu nem “kritik nem” olarak adlandırılır. Sabit Kurutma hızı periyodunun sonunu belirleyen kritik nem değeri, maddenin şekline, boyutlarına ve maddenin içinden yüzeye doğru nemin iletilmesi mekanizmasına bağlıdır. Bu durumda kurutma hızı, katı içindeki nemin transfer hızıyla belirlenir ve kurutma hızı aniden düşmeye başlar. Katı içinde giderek azalan nem değerleri, azalan nem transfer hızlarını vereceğinden kurutma hızı da giderek azalır. Bu periyot “Azalan hız periyodu” olarak adlandırılır. Azalan hız periyodu sonunda madde belirli bir neme ulaşılır. Bu nem’ e “denge nemi” adı verilir. Nemli bir katı madde, sabit sıcaklık ve nemdeki hava ile temasta bulunması neticesinde, katı madde denge nemi denilen bir nem değerine ulaşır ve nemli maddenin , hava ile daha fazla temasta kalması bu nem miktarını değiştirmez. Denge neminin değeri, maddenin temas ettiği havanın bağıl nemine ve sıcaklığına bağlıdır. Sıvının katı yapıya bağlı kaldığı higroskopik maddelerde kurutma sonunu belirlemede, denge nem eğrilerinin (sorpsiyon izotermi) nin bilinmesine gerek vardır. Maddelerin iç yapıları farklı olunca doğal olarak denge nem eğrileri de farklı olurlar ve bu eğriler deneysel olarak elde edilebilirler [30].



Şekil 3.2. Zamana göre Kurutma hızı [30].

Toplam Kurutma prosesi içinde sabit ve azalan hız periyotlarının oranı kuşkusuz bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar arasında katının başlangıç ve son nemliliği, kritik nem, katının yapısı gibi parametreler sayılabilir [30].

3.1.4. Kurutma sistemleri

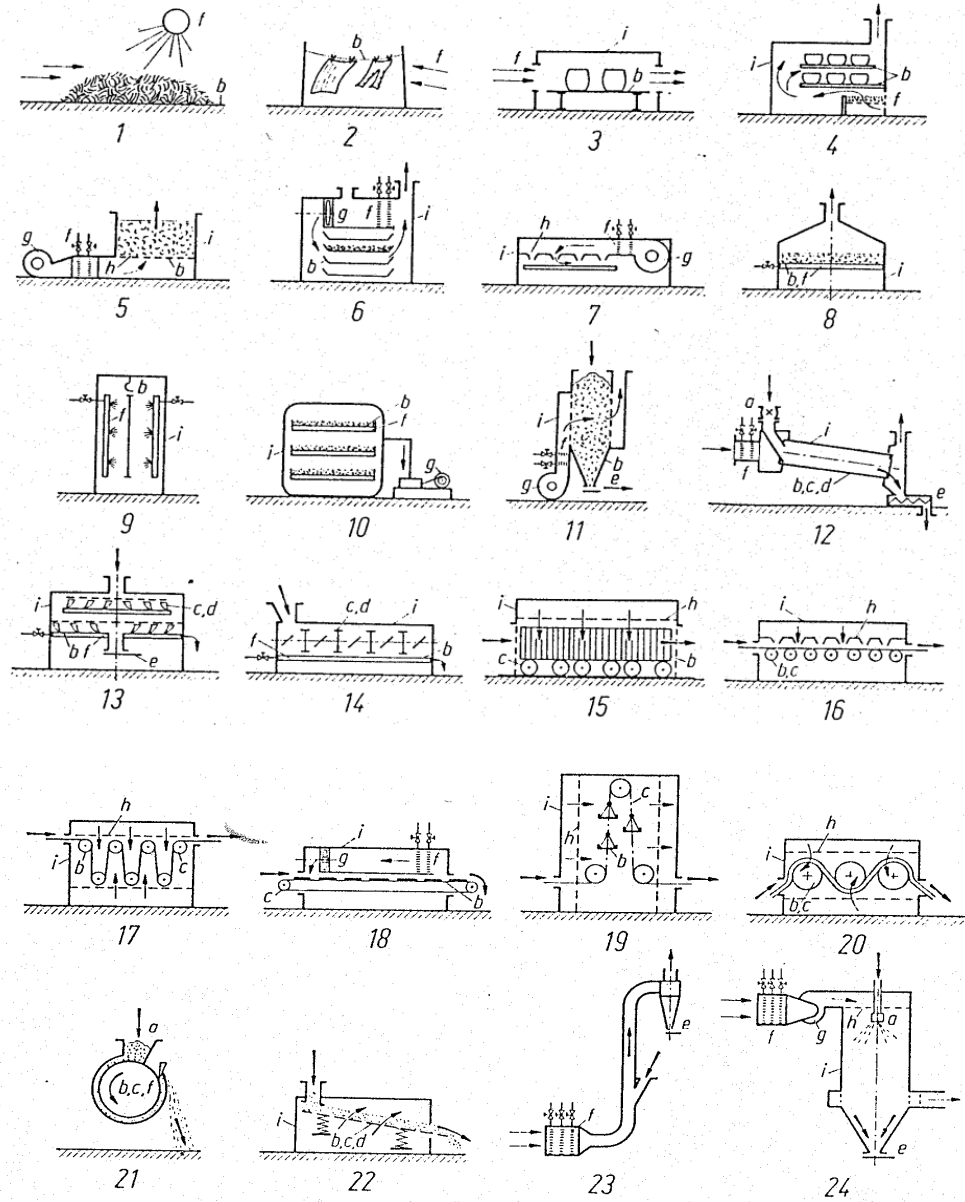
Kurutma sistemleri genellikle ısı transferinin şekline göre sınıflandırılır. Çünkü kurutma işlemlerinde ısı transferi ve hava ile su buharının termodinamik özellikleri gerçek rolü üstlenen parametrelerdir. Ayrıca, kurutma sistemleri kurutulacak malzemenin hareket ettiriliş şekline göre de sınıflandırılırlar. Kurutucu seçiminde kurutulacak malzemenin taşınması ve mesnetleme şekli, kurutma işleminin çalışma verimi, ilk kuruluş ve işletme masrafları ve ısının malzemeye verilmiş şekilleri göz önünde bulundurulmalıdır. Kati seçim yapılırken mekanik dizayn, ısıl verimlilik, kalite ve mal kaybı gibi etkenlerden önem sırasına göre bazılarında fedakarlık gerekebilir. Seçim yapılırken izlenecek yol aşağıda belirtilen şekildedir [31].

- Uygun tipteki kurutucu tiplerinin etüdü
- Kuruluş ve işletme masraflarının her tip için karşılaştırılması
- En uygun görülen tip için bir prototip yapıp tecrübe edilmeli (en azından laboratuvar araştırması yapılmalıdır)
- Elde edilen tecrübe sonuçlarına göre (kurutulmuş ve ıslak mal durumları) kesin seçim yapılmalıdır .

Isıl esaslara göre kurutucular en genel halde 3 sınıfa ayrılabilir. Bunlar radyant (infrared), kondüktif (temas) ve konvektif kurutuculardır. Konvektif kurutucular da kendi içinde

tepsili kurutucular, döner (tambur tip) kurutucular, Sürekli (bantlı) kurutucular ve püskürtmeli kurutucular olmak üzere dört gruba ayrılabilir [31].

Küçük miktarda ve irice parçalar için tepsili kurutucular, sürekli kurutucular, serbestçe akabilen parçacıklar için tambur ve püskürtmeli kurutucular kullanılmaktadır. Şekil.3.3' de genel kurutma yöntemleri görülmektedir [31].



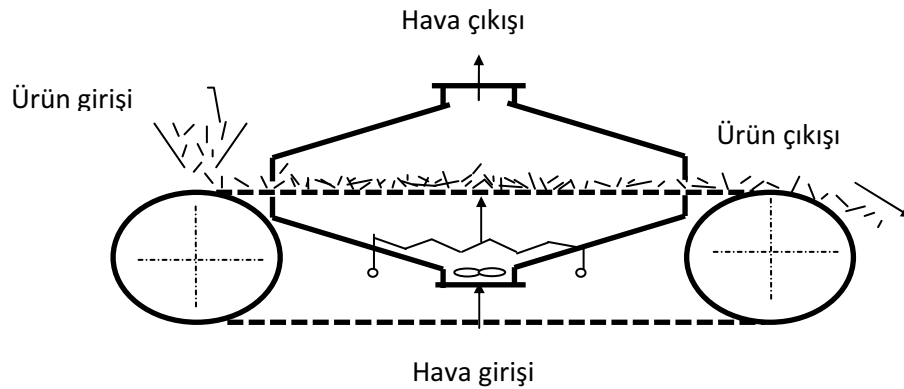
1. Zemin üzerinde güneş ve rüzgar yardımıyla kurutma, 2. Asılmış durumda güneş ve rüzgar yardımıyla kurutma, 3. Kurutma odasındaki malzemenin dış hava yardımıyla kurutulması, 4. Oda tipi kurutucuda doğal sirkülasyonla mamullerin kurutulması, 5. Kurutucu içindeki bir malzemenin, vantilatör havası ile kurutulması, 6. Oda tipi kurutucuda dış havanın malzeme üzerinden geçirilmesi ile yapılan kurutma işlemi, 7. Düzelerle yapılan kurutma işlemi, 8. İletimle ısı transferi esasına göre çalışan levhali tip kurutucu, 9. Püskürtüclü kurutucu, 10. Kasa tipi temaslı-vakumlu kurutucu, 11. Bir sistem içinden akan malzemenin, içinden kurutucu akışkan geçirilerek kurutulması, 12. Taşınım ile ısı transferi esasına göre çalışan döner tip kurutucu, 13. Temaslı-kelepekli kurutucu, 14. Temaslı kepekli-kovan tipi kurutucu, 15. Arabalı kurutucu, 16. Kurutma işleminin düzelerle yapıldığı makaralı kurutucu, 17. Taşıma bantlı kurutucu, 18. Taşınım ile ısı transferi esasına göre çalışan bantlı kurutucu, 19. Taşınım ile ısı transferi esasına göre çalışan salıncaklı kurutucu, 20. Karşıt akışlı elekli-silindirik tip kurutucu, 21. Temaslı beklemeli silindirik tip kurutucu, 22. Karşıt akışlı titreşimli kanallı kurutucu, 23. Borulu-püskürtüclü kurutucu, 24. Düzeli-püskürtüclü kurutucu; a. Mamul kovalı kurutucu, b. Mamul taşıma sistemi, c. Taşıma-iletme sistemi, d. Mekanik çalışma sistemi, e. Mamulü dışarıya alma sistemi, f. Isıtma sistemi, g. Vantilatör veya vakum pompası, h. Hava dağıtıcısı, i. Kurutucu gövdesi

Şekil 3.3. Genel kurutma yöntemleri [31].

3.1.5. Sürekli kurutucular

Konveyörlü kurutucular olarak da bilinen bu tür kurutucularda konveyör, kurutulacak maddenin büyüklüğüne göre seçilmiş, kurutulacak maddeyi taşıyan ve havanın madde içerisinden geçmesini temin eden bant şeklindeki bir elekten yapılmıştır. Kurutmada kullanılan hava bant üzerinde bulunan deliklerden aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya (çapraz akış) doğru hareket eder ve bantın üzerinden veya içerisinden geçerek ürünlerin kurutulmasını sağlar. Ürün içinden geçen havanın yönü, genel olarak kurutulan ürünün özellikleri tarafından belirlenir [16].

Bu tip kurutucularda, ürünle havanın temas alanı geniş olduğundan oldukça yüksek bir kurutma kapasitesine sahiptirler. Bu tip kurutucular, kurutucu boyunca içerisinde fanlar ve ısıtıcı serpantinler bulunan bir çok bölmeden oluşurlar, fakat en yaygın olarak iki bölmeli olarak tasarlanırlar. Çapraz akımlı sürekli kurutucularda kurutulacak olan malzemenin yapısı, granül (parçacık) şeklinde olmalıdır ki sıcak hava içerisinden rahatlıkla geçebilsin [31]. Parçalara ayrılmış üründen olan nem transferinin daha iyi gerçekleşmesi için kurutma gazları ürün üzerine çapraz olarak gönderilir (Bkz. Şekil 3.4).

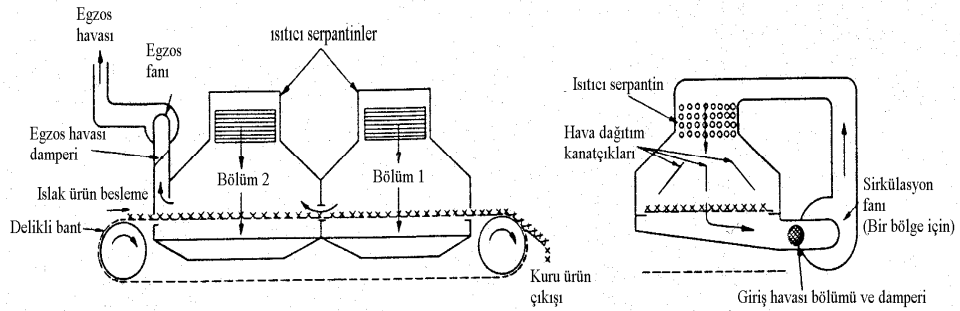


Şekil 3.4. Çapraz akımlı sürekli kurutucu [32].

Bu tip kurutucularda ürün kurutucu boyunca nem kaybeder. Eğer hava hızı yeterince yüksek ise, katılar da hava ile birlikte sürüklenecek veya hızla karışacaktır. Bu tip kurutucularda hava hızının bant üzerindeki ürünün durağanlığını bozmayacak şekilde olması gerekmektedir. Fakat bu durum malzemenin her yönünden aynı nem kaybının gerçekleşmesini engelleyecektir. Yatak boyunca gönderilen hava akımının nem potansiyeli yavaş yavaş azalacağından, kurutma bant üzerinde yükseklik ile tedricen azalacaktır. Bununla birlikte, bant

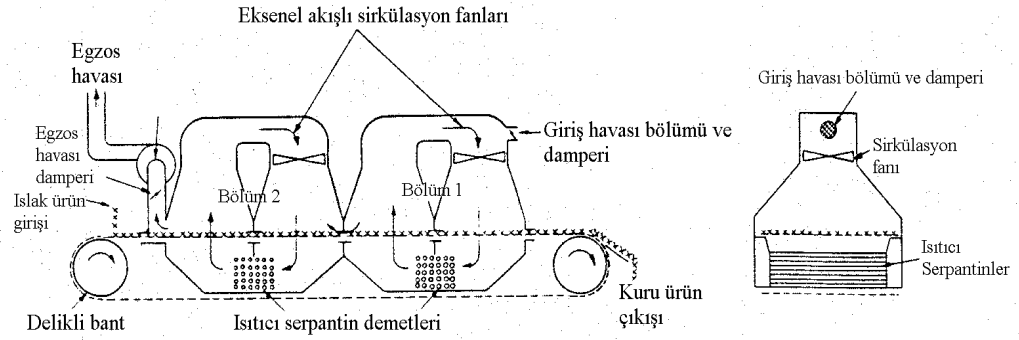
boyunca da nem içeriği azalacaktır. Bundan başka, bandın üniform olarak yüklenmemiş olması da enine nem değişikliklerini meydana getirecektir [16].

İmalatçılar tarafından çok farklı olarak tasarlanmış sürekli kurutucu tipleri mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan sürekli kurutucu tasarımında, parçalara ayrılmış olan ürün 5 m/s hızla hareket eden bant üzerinde hareket eder ve üründen ayrılan ve 1-1.5 m/s hızla akan havanın bir kısmı iki veya daha fazla bölüme ayrılmış kurutucuda tekrar geriye by-pass (resirküle) edilir. Kuruyan ürün bandın son kısmından dışarı çıkarken, kurutucu çıkışında taze hava ilave edilir ve nemli hava kurutucunun ürün besleme kısmından dışarı atılır. İki bölümlü olarak tasarlanmış bir sürekli kurutucu Şekil 3.5’ de görülmektedir.



Şekil 3.5. Geri beslemeli, 2 bölümlü sürekli kurutucu [16].

Yatak boyunca hava hızı, sirkülasyon fanı ile kontrol edilir. Bazı durumlarda ürün’ ün yüksek sıcaklıkta ısı yayılımına maruz kalması istenmediği veya daha önemlisi, ısıtıcı da ayrılan tozların ürün içerisine düşüp karışmasının istenmediği durumlarda, ısıtıcı serpantinlerin kurutucu bant üzerine konmaları istenmez. Şekil.3.6’ da bant altına yerleştirilmiş ısıtıcı serpantine sahip sürekli kurutucu tasarımı görülmektedir. Bunun dezavantajı ise ısı kayıplarının genellikle yüksek olmasıdır. Bu tip kurutucularda genellikle aksiyel fan kullanılır. Bazı durumlarda alternatif olarak, dışarıdan yerleştirilmiş radyal fanlar da kullanılır (Bkz. Şekil 3.5 ve 3.6) [16].



Şekil 3.6. Bant altına yerleştirilmiş ısıtıcı serpantine sahip sürekli kurutucu [16].

Konveksiyon olayında, ısı taşınım katsayıları sistem geometrisine, buharlaşmanın olduğu yüzeyden geçen hava hızına ve kurutma gazının fiziksel özelliklerine bağlıdır. Kurutma işlemlerinde, kütle taşınım katsayısından daha kolay elde edilebildiği için ısı taşınım katsayısının belirlenmesine ihtiyaç vardır.

3.1.6. Kurutmada psikrometrinin kullanımı

Kurutma, bir katının içerdiği nemin ısı işlem sonucu buharlaşma yolu ile istenilen düzeye kadar indirilmesi olarak tanımlanmıştır. Sıcak bir gaz akımı vasıtasıyla yapılan kurutma esnasında buharlaşmanın meydana geldiği sıcaklık, malzemeyi çevreleyen bu gaz içindeki konsantrasyonuna bağlıdır. Teknik uygulamalarda sıcak gaz genelde hava ve transfer edilen sıvı da su olduğuna göre, neme doymuş durumdaki katının sabit Kurutma hızı sürecinde yüzey sıcaklığı, kurutucu havanın nem konsantrasyonuna bağlıdır. Sabit Kurutma hızı sürecinde katının neme doymuş durumdaki dış yüzeyi ile temasta bulunan hava filmi, aynı zamanda su ile de temasta olduğuna göre bu film de neme doymuş durumdadır. Bu durumda sıcaklığının da “adyabatik doyma sıcaklığı” olması gerekir. Böylece katı yüzeyindeki sıcaklığın da havanın adyabatik doyma sıcaklığına eşit olması gerekir.

Bilindiği gibi hava için çok yüksek olmayan sıcaklıklarda ve çevre basıncında adyabatik doyma sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığına eşittir. Buna göre sabit kurutma hızı sürecinde yaş katının yüzey sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığına eşittir.

Diğer taraftan, kurutma olayında katıyı saran havanın kısmi su buharı basıncı, aynı sıcaklıktaki doymuş nemli havanın kısmi su buharı basıncına göre ne kadar az ise, hava bünyesine nem almaya o kadar elverişli olacaktır. Bu iki ifadenin birbirine oranı izafi nemi vermektedir [16].

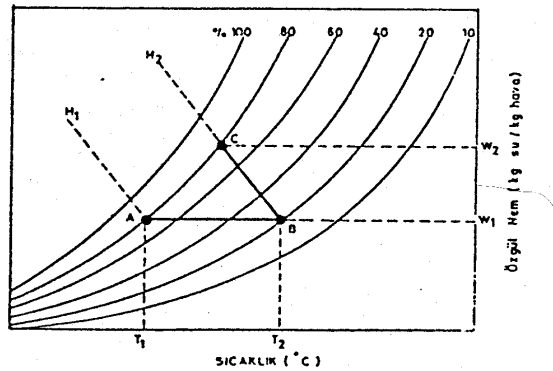
P_b = Nemli havanın su buharı basıncı, kPa,

P_{dt} = Aynı sıcaklıktaki doymuş nemli havanın su buharı basıncı, kPa,

ϕ = Havanın bağıl (izafi) nemi = P_b / P_{dt}

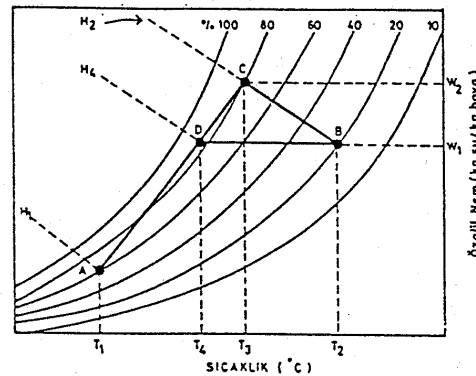
Kurutma prosesinde işlem sırası şu şekilde özetlenebilir:

- Isıtılan hava kurutulacak ürün üzerine gönderilir.
- Ürünle temas eden hava soğur ve bu sırada üründen buharlaşan nem havaya karışır.
- Nemli ve soğuk hava sistemden dışarı atılır.



Şekil 3.7. Kurutma işleminin psikrometrik diyagramda gösterilmesi [4].

Şekil 3.7' de AB doğrusu havanın ısıtılma işlemini göstermektedir. Böylece havanın bağıl nemi azalmakta ve nem alma yeteneği artmaktadır. BC doğrusu ise, kurutma sırasında havanın soğuma ve üründen nem alma işlemlerini belirtmektedir. Rejim halindeki bir kurutma olayında, sabit kurutma hızı sürecinde tamamen yalıtılmış bir kurutucu için havanın durum değiştirmesi bir adyabatik doyma olayıdır. Adyabatik doyma olayı ise hava ve su için atmosferik basınçlarda sabit yaş termometre eğrileri üzerindedir. Yani havanın kurutma esnasında yaş termometre sıcaklığı değişmez. Sıcak havadan yaş malzemeye transfer edilen ısı miktarı suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarını karşılayacağından, bu duruma uygun Δw kadar kurutarak kurutucuyu terk eder. Nemli ve soğuk havanın, bazı uygulamalarında bu havanın bir kısmı geri beslenerek taze havayla karıştırılmaktadır (Bkz. Şekil 3.8). Çünkü bu uygulamalarda C koşullarındaki havanın sıcaklığı, dolayısıyla entalpisi yüksek olabilmektedir. Bu nedenle, C koşullarındaki havanın bir kısmını A koşullarındaki hava ile karıştırmak ve sonra ısıtarak sisteme göndermek, ısı ekonomisi bakımından yararlı olmaktadır [4].



Şekil 3.8. Kurutma havasının bir kısmının geri besleme yapılması [4].

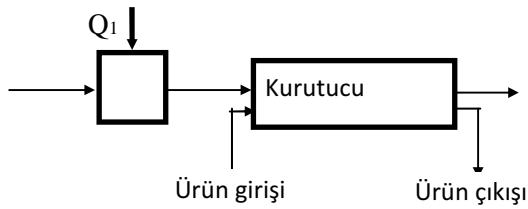
Kurutma işlemi çok kullanılan temel bir işlem olmasına rağmen ısı ve kütle transferlerinin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi ve bu bölümünde açıklandığı gibi bu transfer olaylarının kurutulacak malzemenin yapısına bağlı olarak iç koşullara ve kurutma havasının akış özellikleri gibi dış koşullara da olan bağımlılığı yüzünden oldukça karmaşıklaşmaktadır. Dolayısıyla kurutma olayının daha iyi anlaşılabilmesi için bir çok parametrik çalışmaya ihtiyaç vardır. Hangi parametreler dikkate alınır alınmaz, kurutulacak malzemeden özellikle iç yapıdaki suyun uzaklaştırılması fazla miktarda enerji gerektiren bir işlemdir ve ısı enerjisinin maliyeti göz önünde bulundurulduğunda kurutmada enerji tasarrufunun ne kadar önemli olduğu açıktır. Isı pompalı kurutma sistemleri bu açıdan önemlidir ve kurutma işlemi sırasında enerji tasarrufu açısından diğer tip kurutuculara göre daha verimli ve ekonomiktirler. Bu çalışmanın amacı transfer işlemlerinin oldukça karmaşık olarak gerçekleştiği çapraz akımlı sürekli kurutma işleminin matematik modelinin oluşturularak kurutma olayının daha iyi anlaşılması ve çeşitli parametrelerin kurutma performansı üzerine olan etkilerinin araştırılmasıdır. Ayrıca ısı pompası kullanımının kurutucu verimi ve ekonomikliği üzerine olan etkilerinin de incelenmesi hedeflenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı pompası destekli kurutucuların enerji tasarrufu açısından klasik kurutuculara göre daha verimli olmasına rağmen, ülkemizde kullanımı yok denecek kadar azdır. Ülkemizde yapılan çalışmalara bir katkı olması amacıyla sunulan bu çalışmada çapraz akımlı sürekli kurutuculardaki kurutma işlemi, ısı pompasının iki farklı tipte kullanılması durumunda modellenerek, bu modellerin ülkemiz şartları için hangisinin daha verimli olduğu araştırılmıştır. Literatürde benzer çalışmalar olmasına rağmen bu çalışmaların ülkemiz şartları açısından avantajları ve dezavantajlarının net bir biçimde analiz edilmeleri mümkün değildir. Bu çalışmalardan ısı pompası kullanımının enerji tasarrufu

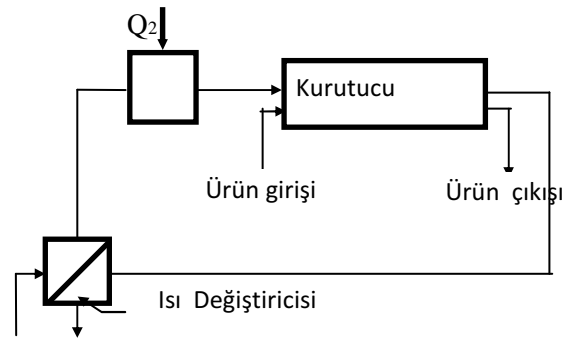
sağladığı genel olarak söylenebilir; fakat çeşitli parametrik kullanım biçimlerinin ve dış ortam şartlarının sistem performansı üzerine etkileri ülkemiz şartları açısından tam olarak belirlenemez. Ayrıca kurutma bölümü literatürdeki çalışmalardan daha fazla bölümlere ayrılarak kurutucu boyunca hava ve ürünün nem ve sıcaklığındaki değişimlerin daha hassas biçimde belirlenir.

3.2. Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

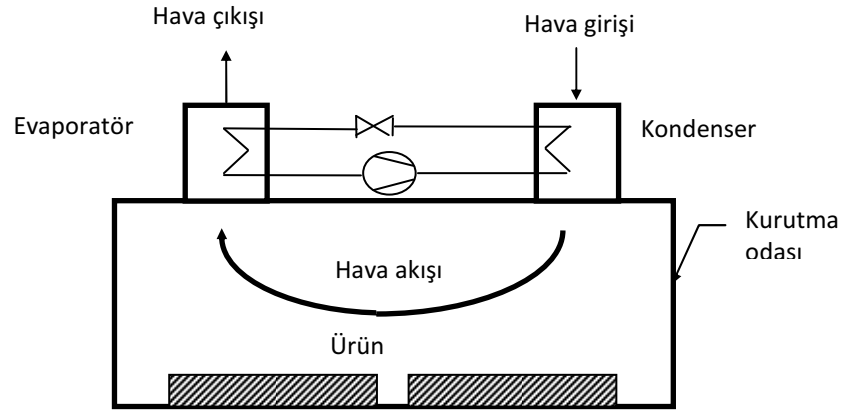
Isı pompalı kurutucular diğer klasik tipteki kurutuculara göre çok daha verimlidirler. Klasik tipteki kurutucular enerji tasarrufuna yönelik olarak, ısı değiştiricili ve geri döngülü (resirkülasyonlu) tipte yapılmaktadırlar. Isı eşanjörü ilave edilen bir klasik kurutucu devresinde amaç, kurutucudan ayrılan gazların ısını, kurutucuya giren gazlara vermek suretiyle bir ön ısıtma işleminin gerçekleştirilmesidir. Diğer yöntem ise, kurutucudan çıkan nemli havanın bir kısmını geri besleme yaparak, giriş gazları ile karıştırılmasıdır. Fakat bu yöntemde kurutucuya giren havanın sıcaklığı ile beraber nem miktarı da artacağından, kurutma hızı azalacaktır. Diğer bir yöntem ise dışarı atılan sıcak gazların gizli buharlaşma ve duyulur ısını sisteme kazandırmak için ısı pompası kullanmaktır.



Şekil.3.9.a. Klasik tip kurutucu [16].



Şekil.3.9.b. Isı değiştiricili kurutucu [16].

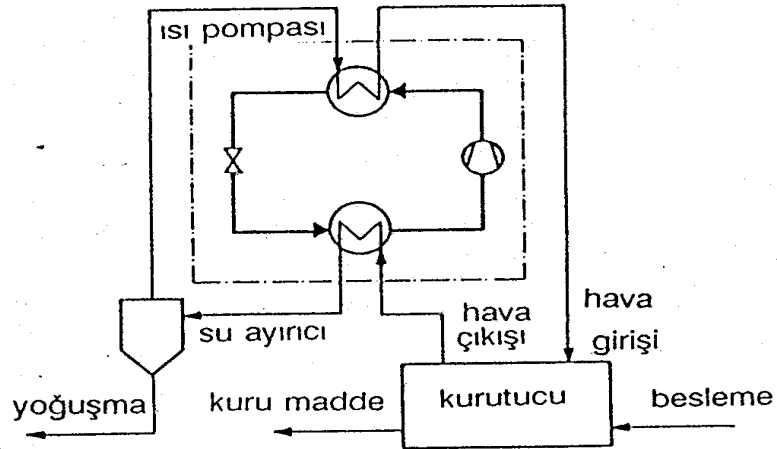


Şekil 3.10. Bir kurutma işlemine reküperatör olarak monte edilen bir ısı pompasına ait şematik gösterim [16]

Reküperatör ısı pompasının performansı, kompresörün yanmalı bir motor ile tahrik edilmesiyle iyileştirilebilir. Bu durumda, motordan olan artık ısı, giriş hava akımına verilerek, giriş havasının sıcaklığı yükseltilebilir. Bu tip sistemde, kondenserin kurutucu içerisinde yer alması ve böylece daha fazla hava debisinin kondenserden geçmesi daha avantajlı olabilecektir. Eğer kondenser üzerinden geçen hava debisi sonsuz olduğu takdirde kurutucuda sıcaklık izotermal olarak muhafaza edilebilecektir. Farzedelim ki çıkış havası, taze hava sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulduktan sonra atmosfere bırakılsın (ısı pompası daha düşük sıcaklığa kadar soğutabilir, fakat optimum dışarı atma sıcaklığı, taze hava sıcaklığına yakın olmalıdır). Bu takdirde enerji tüketimi, eşanjörlü tip konveksiyonel kurutucudan yaklaşık üç kat düşük olacaktır [16].

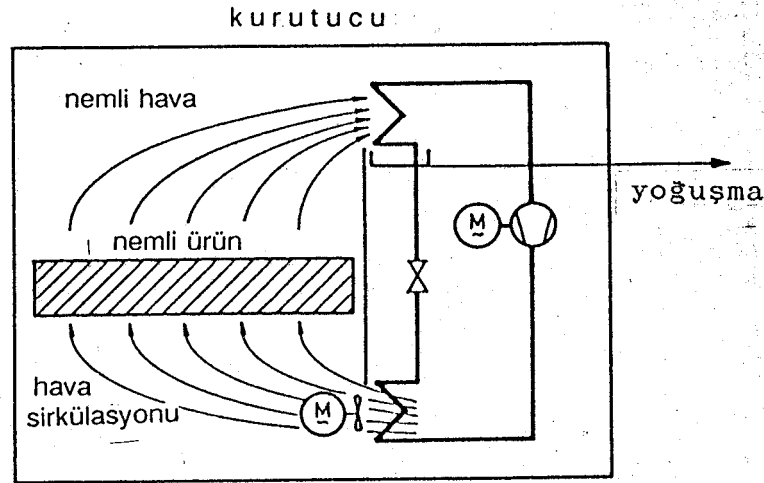
3.2.2. Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu

Çıkan gazların neminin alınması, aynı zamanda havanın geri kazandırılmasını (resirkülasyon) sağlar. Bu durumda üründen çekilen nem, ıslak havanın evaporatörde soğutulmasından sonra yoğuşturularak uzaklaştırılır.



Şekil 3.11. Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu uygulamasına ait örnek [16].

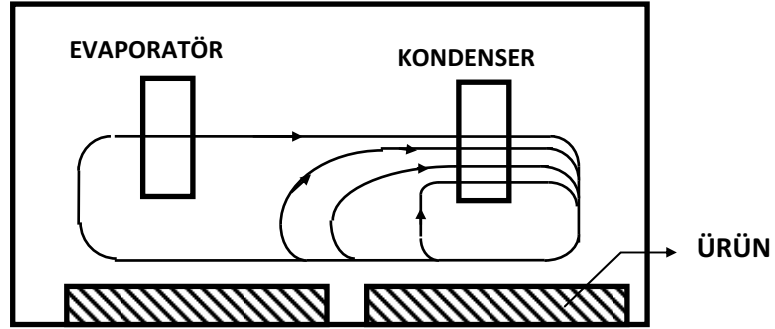
Havanın nemini almak amacıyla ısı pompasının kurutucu içerisine yerleştirilmesi de farklı bir uygulama şeklidir.



Şekil 3.12. Evaporatör ve kondenser üzerinde aynı hava akışının olduğu durumda ısı pompasının nem alıcı olarak kullanılması [16].

Kurutma havası, kondenser, evaporatör ve ıslak ürünün bulunduğu kapalı bir çevrim içinde sirküle edilir. Kompresörün kurutma odası içine konması, bütün enerjinin ısıtma amaçlı kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Üzerinden oldukça yüksekte hava debisi geçen kondenser, hemen hemen izotermal olarak çalışır. Evaporatörde soğuyan hava kondensere geçmeden önce, kurutma odasında dolaştırılan kurutma havası ile karışır. Bu işlem ile

kondenser sıcaklığının düşmesini sağlar ve böylece ısı pompasının performans katsayısı (ITK) artırılmış olur. [16] (Bkz. Şekil 3.13).



Şekil.3.13. Kondenser üzerinden geçen hava miktarının artırılması ve ısı pompasının nem alıcı şeklinde kullanılmasına ait örnek [16].

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

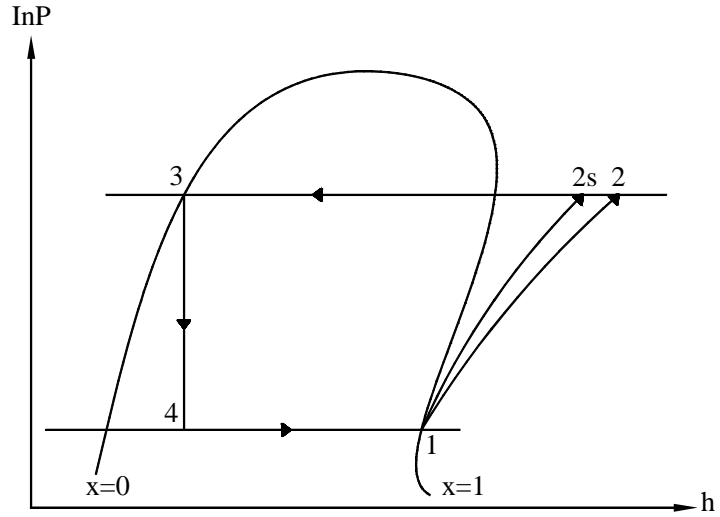
4.1. Tekstil Sanayinde Kurutma İşlemlerinde Isı Pompası Kullanılarak Enerji Tasarrufu Sağlanması

Bursa' nın Gürsu ilçesinde kurutma işlemleri yapan tekstil fabrikasında yapılan araştırma ile kurutulacak elyafın cinsine göre değişmekle beraber, ortalama 120° C sıcaklığında ısı atmosfere bırakılmaktadır. Bu durum sanayide atık enerjiden faydalanarak ısı pompasının uygulanmasının lüzumunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, kurutma işlemi yapan bir tekstil fabrikasından aldığımız verilere göre ısı pompası kullanma suretiyle yapılabilecek enerji tasarrufunu incelenecektir. Kurutma işleminde dolaşan hava miktarı 12960 kg/h, kurutma havası, kurutma işlemine 135° C sıcaklıkta girmekte ve kurutma işleminden 120° C sıcaklıkta çıkmaktadır. Fabrikada bir saatte 5000m (1500 kg) pamuklu kumaş elyafı kurutulmaktadır.

Bu kurutma işleminde kullanılan ısı pompası devresinin hesapları yapılırken alınan değerler ve yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- 1-Buharlaştırıcı sıcaklığı 45-65° C, yoğuşma sıcaklığı 140-150° C arasında incelenmiştir.
- 2- Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı 120° C, çıkış sıcaklığı 60° C 'dir.
- 3- Karışım havası yoğuşturucudan 135° C' de çıkmaktadır.
- 4- Buharlaştırıcıda 5° C aşırı kızdırma yapılmıştır.
- 5- Yoğuşturucuda 10° C aşırı soğutma yapılmıştır.
- 6- Kompresör mekanik verimi 0.90 alınmıştır.
- 7- Kayış kasnak verimi 0.96 seçilmiştir.
- 8- Elektrik motoru verimi 0.98 alınmıştır.
- 9- Soğutucu akışkan olarak F- 11 seçilmiştir.
- 10- Çevrimde basınç kayıpları olmadığı düşünülmüştür.

4.2. Isı Pompası Sistemlerinin İncelenmesi



Şekil 4.1. Isı pompasının lnp-h diyagramı

Isı pompası devresinin termodinamik hesaplarının yapılmasında soğutucu akışkan olarak kullanılan Freon-11' in lnp-h diyagramından faydanılacaktır.

Soğutucu akışkan olarak kullanılan Freon-11'in lnp-h diyagramından $h_{2s} = 350$ kJ/kg,

$h_1=328$ kJ/kg, $h_3 = h_4=201$ kJ/kg olarak bulunur.

P_b = Buharlaşma basıncı, P_y = Yoğuşma basıncı; Kompresör iç verimi η_{ik} ise;

$$\eta_{ik} = 1 - 0,05 \frac{P_y}{P_b} = 1 - 0,05 \frac{16,5}{3,2} = 0,74$$

2 noktasının entalpisi ise; h_2 olmak üzere,

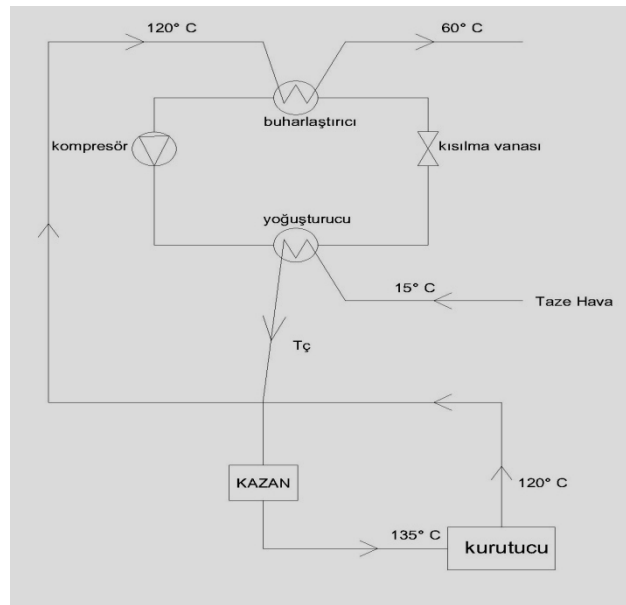
$h_2 = h_1 + h_{2s} - h_1 / \eta_{ik} = 358$ kJ/kg bulunur.

4.3. Isı Pompasında Enerji Tasarrufunun İncelenmesi

Üç türlü ısı pompası sistemi kullanılarak tekstil sanayinde kurutmada enerji tasarrufu incelenecektir.

4.3.1. Klasik tip ısı pompasının incelenmesi

Klasik tip ısı pompasında kurutucudan çıkan hava 120°C ' de buharlaştırıcıya girmektedir. Buharlaştırıcıdan 60°C çıkan hava sistemde dolaşmaya başlıyor. Isı pompasının kondenserinden atılacak ısı, kurutma için gerekli dış havayı ısıtmaya yaramaktadır. Geri kalan ısı ise kazandan karşılanacaktır.



Şekil 4.2. Klasik tip ısı pompası devresi

$$Q_b = m \cdot c_p \cdot (T_{\phi} - T_g)$$

$$Q_b = 12.960 \times 1 \times (120 - 60) = 777.600 \text{ kJ/h}$$

Soğutucu akışkan kütlesi;

$$m_s = Q_b / (h_1 - h_4) = 777.600 / (328 - 201) = 6122,83 \text{ kg/h}$$

2.7 nolu denklemden;

$$W_k = 59,7 \text{ kW} \quad 60 \text{ kW}$$

$$Q_y = m_s \cdot (h_2 - h_1) = 6.122,83 \cdot (358 - 201) = 961.285 \text{ kJ/h}$$

$$Q_y = m \cdot c_p \cdot (T_{\phi} - T_g) = 12.960 \times (T_{\phi} - 15) = 961.285 \text{ kJ/h buradan;}$$

$$T_{\phi} = 89^{\circ}\text{C}$$

Kazanda verilmesi gerekli ilave ısı miktarı;

$$Q_{ek} = m \cdot c_p \cdot (T_{son} - T_{ç}) = 12.960 \times (135 - 89) = 596.160 \text{ kJ/h}$$

Doğalgazlı kazan kullanıldığını kabul edelim;

$$\eta_k = 0,90, H_u = 35.000 \text{ kJ/m}^3$$

$$E_k - 2 \text{ tablosundan; } m_y = 0,612 \text{ TL/m}^3$$

$$m_y = \frac{Q_{ek}}{H_u \times \eta_k} = \frac{596.160}{35.000 \times 0.90} \cong 19 \text{ m}^3/\text{h}$$

Doğalgazlı klasik kurutma sistemlerinde, kurutma yapılsaydı ne kadar, yakıt ve maliyet olurdu:

$$Q_T = 12.960 \times (135 - 15) = 1.555.200 \text{ kJ/h}$$

$$m_y = \frac{1.555.200}{3.500 \times 0.90} \cong 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bir günlük 20 saat/gün çalışırsa;

$$m_y = 1000 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Doğalgazın m³ fiyatı = 0,612 TL/m³ dür.

$$m_y = 1.000 \times 0,612 = 612 \text{ TL/gün}$$

$$m_y = 612 \times 300 = 183.600 \text{ TL/yıl}$$

Kompresör harcadığı güç;

$$W_k = 59,7 \text{ kW} \cong 60 \text{ kW}$$

$$W_k = 60 \times 20 = 1.200 \text{ kWh}$$

Elektriğin kWh fiyatı = 0,245 TL

$$m_e = 1200 \times 0,245 = 294 \text{ TL/gün}$$

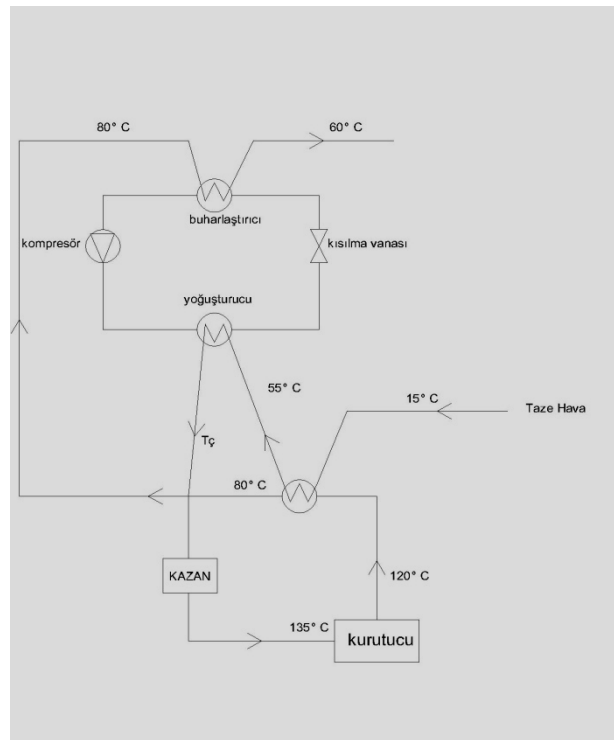
$$m_{yek} = 19 \times 20 \times 0,612 = 232 \text{ TL/gün}$$

$$\text{Isı pompası harcaması} = 294 + 232 = 526 \text{ TL/gün}$$

$$\text{Tasarruf miktarı} = \frac{612 - 526}{612} = \frac{86}{612} \cong \% 14$$

4.3.2. Isı değiştiricili ısı pompasının incelenmesi

Isı değiştiricili ısı pompasında, kurutucudan 120 °C çıkan nemli hava ısı değiştiricisinden geçirilerek dış havaya ısı aktarılacaktır. Isı değiştiricisinden çıkan nemli hava buharlaştırıcıdan geçirilip ısı çekilecektir. Isı değiştiricisinde ısıtılan dış hava kondenser üzerinden geçirilip ısıtılacak, eksik kalan ısı miktarı doğalgazlı kazandan verilecektir.



şekil 4.3. Isı değiştiricili ısı pompası devresi

$$Q_b = 12.960 \times 1 \times (80-60) = 259.200 \text{ kJ/h}$$

$$m_s = Q_b / (h_1 - h_4) = 259.600 / (328 - 201) = 2.040,9 \text{ kg/h}$$

$$Q_y = m_s \cdot (h_2 - h_3) = 2.040,9 \times (358 - 201) = 320.428 \text{ kJ/h}$$

$$Q_y = 12.960 \times (T_ - 55) = 320428 \quad T_ = 55 + 25 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

Doğalgazlı kazan kullanıldığını kabul edelim;

$$Q_{ek} = 12.960 \times (135 - 80) = 712.800 \text{ kJ/h}$$

$$m_y = 712.800 / (35.000 \times 0,9) = 22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_y = 22 \times 20 \times 0.612 = 269,28 \text{ TL/gün}$$

$$W_k = Q_y - Q_b = 320.428 - 259.200 = 61.228 \text{ kJ/h} \quad 17 \text{ kW}$$

Kompresörün bir günde harcadığı enerji

$$m_e = 17 \times 20 = 340 \text{ kWh}$$

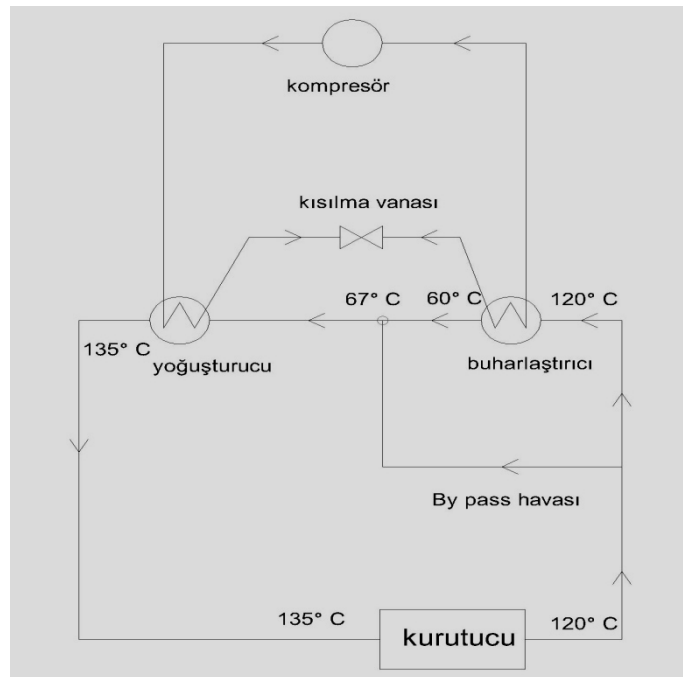
$$m_e = 0,245 \times 340 = 83 \text{ TL/gün}$$

$$m_t = 269 + 83 = 352 \text{ TL/gün}$$

$$\text{Tasarruf miktarı} = (612 - 352)/612 = \%42$$

4.3.3. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasının incelenmesi

Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası kurutma sistemi, kurutmadan çıkan 120 °C nemli havanın %90 miktarı buharlaştırıcıdan geçirilerek 60 °C düşürülen hava, by-pass hattından gelen 120 °C hava ile karıştırılarak 67 °C de yoğuşturucuya girmekte ve 135 °C çıkmakta ve ek ısıya gerek kalmadan tüm ısı yoğuşturucudan verilmektedir.



Şekil 4.4. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası devresi

Kurutma işleminde dolaşan toplam hava miktarı:

$$m = 12.960 \text{ kg/h}$$

Buharlaştırıcı serpantin üzerinden çıkan hava ile by-pass' dan geçen hava miktarı karışım odasında karıştıktan sonra ısı pompasının yoğuşturucusunda ısıtılmakta ve kurutucuya gönderilmektedir.

Karışım odasının sıcaklığı $T_k = 67 \text{ }^\circ\text{C}$ alınarak, karışım miktarı denklem 2.13 ve 2.14 yardımıyla bulunur.

Buradan;

$T_d = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ Buharlaştırıcıdan çıkan havanın sıcaklığı

$T_\varphi = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ Buharlaştırıcıya giren havanın sıcaklığı

Buradan;

$m_d = 11.415 \text{ kg/h}$

$m_\varphi = 1.545 \text{ kg/h}$ bulunur.

Yoğuşturucudan çekilen faydalı ısı Q_y olmak üzere;

$$Q_y = m \cdot c_p \cdot (T_g - T_k)$$

$$Q_y = 12.960 \times 1(135 - 67) = 881.280 \text{ kJ/h}$$

$$W_k = \frac{m_s(h_{2s} - h_1)}{\eta_{ik} \cdot \eta_{mk} \cdot \eta_{kk} \cdot \eta_{em}} = 198.873 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 55,2 \text{ kW} \cong 55 \text{ kW}$$

Bir günde sistemin ortalama 20 saat çalıştığı kabul edilirse kompresörün bir günde harcadığı enerji;

$$W_k = 55 \times 20 = 1.100 \text{ kWh}$$

Bir günde elektrik masrafı;

$$m_e = 1.100 \times 0,245 = 269,5 \text{ TL/gün}$$

Yakıt maliyeti:

$$m_y = 612 \text{ TL/gün}$$

$$\text{Tasarruf miktarı} = \frac{612 - 269,5}{612} = \% 55$$

Çizelge 4.1. F-11 kullanılan, ısı pompası tiplerinin karşılaştırılması

Isı pompası tipi	Q _b (kJ/h)	Q _y (kJ/h)	W _k (kW)	Q _{ek} (kJ/h)	Tasarruf (%)
Klasik tip	777.600	961.285	59,7	596.160	14
Isı değiştiricili	259.200	320.428	17	712.800	42
Geri beslemeli ve by-pass devreli	682.407	881.280	55	0	55

Kurutmada kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası sistemi içinde doğalgazlı klasik kurutmaya nazaran %55 enerji tasarrufu yapan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası en tesirli ısı pompası kurutma sistemi olarak belirlenmiştir. Kurutma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlayacak ısı pompası kurutma sistemi, geri beslemeli ve by-pass devreli en tesirli ısı pompası kurutma sistemi olarak uygulamalarda kullanılması önemle önerilir.

Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası kurutma sistemi doğalgazlı klasik kurutma sistemi yerine kullanıldığında bir yılda yapılacak enerji tasarrufu;

$$m_y = 612 \times 0,55 \times 300 = 100.980 \text{ TL/yıl}$$

Türkiye’ de 1000 tane tekstil kurutma fabrikası olduğu düşünülürse;

$$100.980 \times 1000 = 100.980.000 \text{ TL}$$

Binlerce gıda sanayinde kurutma ve diğer kurutma uygulamaları göz önüne alındığında, bunlarla klasik kurutma yerine geri beslemeli ve by-pass devreli en tesirli ısı pompası kullanıldığında milyarca enerji tasarrufu yapılacaktır.

4.4. Geri beslemeli ve By-pass Devreli Isı Pompasında ITK’ nın T_b’ ye Göre Değişimi

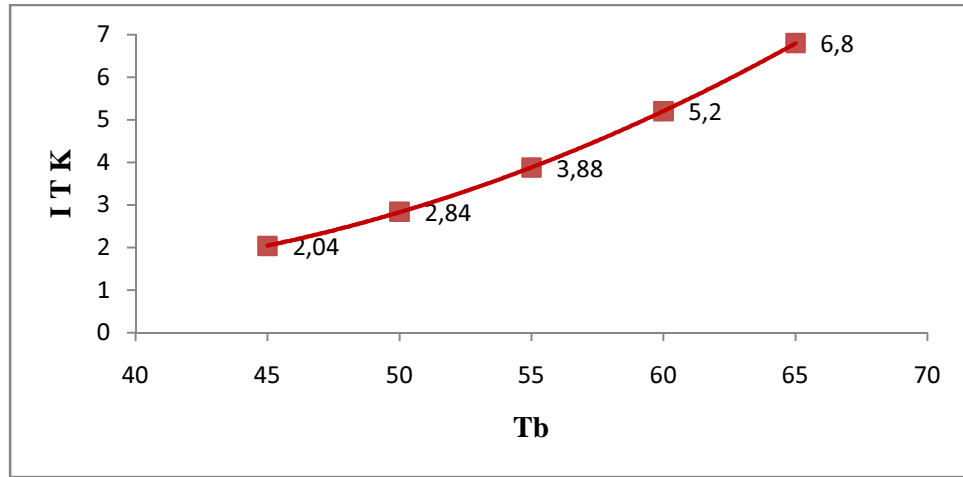
4.4.1. F-11 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK’ nın T_b’ ye göre değişimi

Soğutucu akışkan olarak F-11 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında, yoğuşma sıcaklığı (T_y) sabit iken, farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında (T_b) ısıtma tesir katsayısının (ITK) değişimini grafiklerle incelenmiştir.

- $T_y=140\text{ }^\circ\text{C}$ sabit;

Çizelge 4.2. F-11 kullanılan sistemde, $T_y=140\text{ }^\circ\text{C}$ için; ısı pompası değerleri

T_b ($^\circ\text{C}$)	P_b (bar)	P_v (bar)	Q_v (kJ/h)	W_k (kW)	ITK
45	2,2	16,5	881.280	120	2,04
50	2,8	16,5	881.280	86	2,84
55	3,2	16,5	881.280	63	3,88
60	3,6	16,5	881.280	47	5,2
65	3,9	16,5	881.280	36	6,8

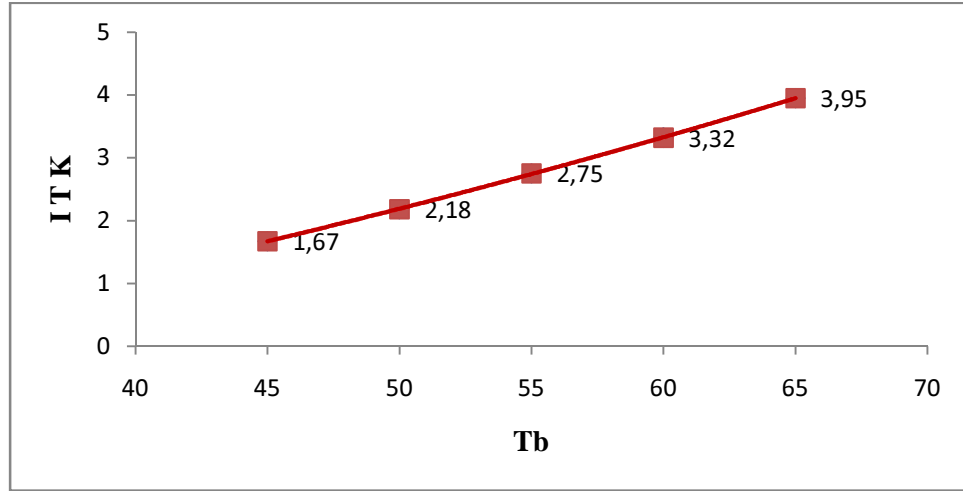


Şekil 4.5. F-11 kullanılan sistemde $T_y=140\text{ }^\circ\text{C}$ için; ITK' nın T_b ye göre değişimi

- $T_y=145\text{ }^\circ\text{C}$ sabit;

Çizelge 4.3. F-11 kullanılan sistemde $T_y=145\text{ }^\circ\text{C}$ için; ısı pompası değerleri

T_b ($^\circ\text{C}$)	P_b (bar)	P_v (bar)	Q_v (kJ/h)	W_k (kW)	ITK
45	2,2	18,5	881.280	146	1,67
50	2,8	18,5	881.280	112	2,18
55	3,2	18,5	881.280	89	2,75
60	3,6	18,5	881.280	74	3,32
65	3,9	18,5	881.280	62	3,95

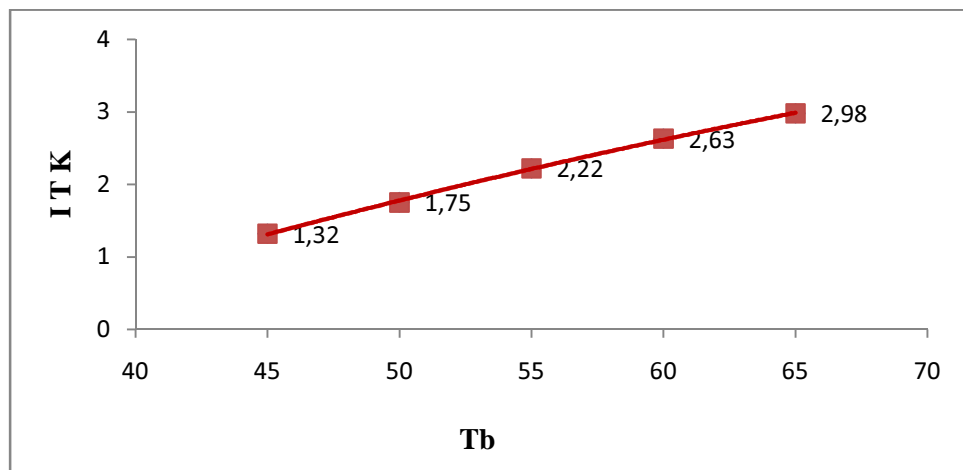


Şekil 4.6. F-11 kullanılan sistemde $T_y=145$ °C için; ITK' nın T_b ye göre değişimi

- $T_y=150$ °C sabit;

Çizelge 4.4. F-11 kullanılan sistemde $T_y=150$ °C için; ısı pompası değerleri

T _b (°C)	P _b (bar)	P _v (bar)	Q _v (kJ/h)	W _k (kW)	ITK
45	2,2	20	881.280	186	1,32
50	2,8	20	881.280	140	1,75
55	3,2	20	881.280	120	2,22
60	3,6	20	881.280	93	2,63
65	3,9	20	881.280	82	2,98



Şekil 4.7. F-11 kullanılan sistemde $T_y=150$ °C için; ITK' nın T_b ye göre değişimi

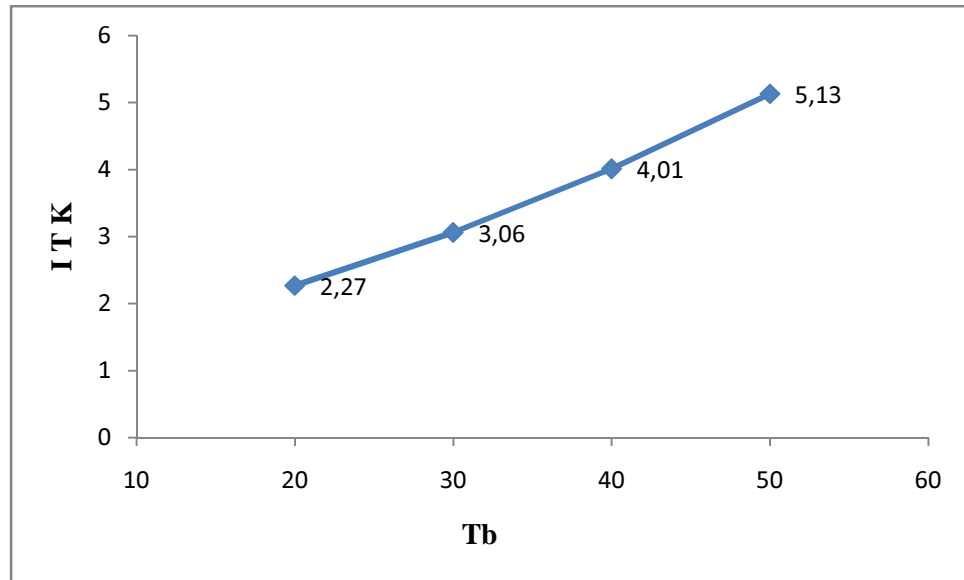
Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7' den görüldüğü gibi $T_y = \text{sabit}$ için buharlaşma sıcaklığı arttıkça ITK artmaktadır.

4.4.2. R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi

Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında, yoğuşma sıcaklığı (T_y) sabit iken, farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında (T_b) ısıtma tesir katsayısının (ITK) değişimini grafiklerle incelenmiştir.

Çizelge 4.5. R-134a kullanılan sistemde $T_y = 80^\circ\text{C}$ için; ısı pompası değerleri

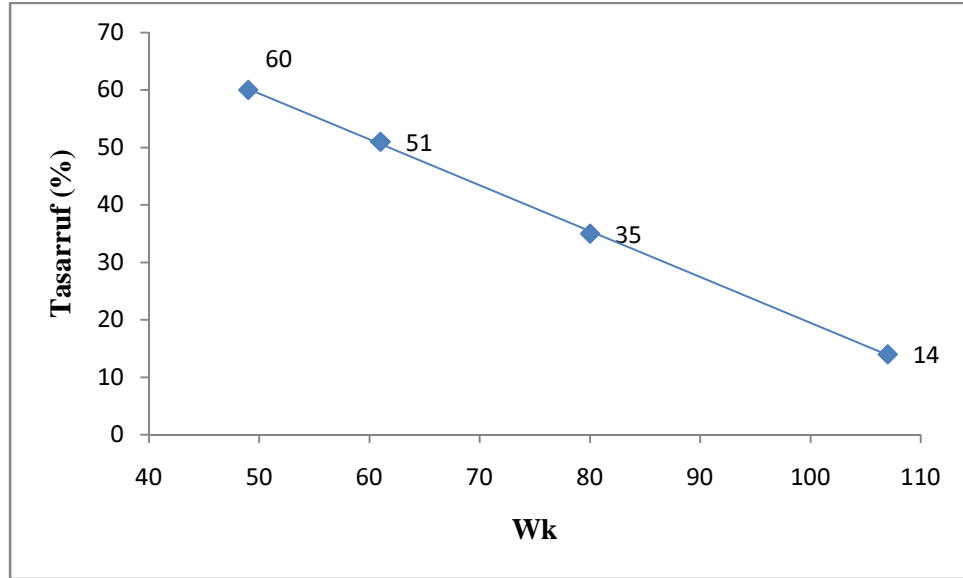
T_b ($^\circ\text{C}$)	P_b (MPa)	P_v (MPa)	Q_v (kJ/h)	W_k (kW)	ITK
20	0,8	2,9	881.280	107	2,27
30	1,0	2,9	881.280	80	3,06
40	1,5	2,9	881.280	61	4,01
50	1,8	2,9	881.280	48	5,13



Şekil 4.8. R-134a kullanılan sistemde; ITK' nın T_b ye göre değişimi

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi $T_y = 80^\circ\text{C}$ için buharlaşma sıcaklığı arttıkça ITK' da artmaktadır.

- R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji tasarrufunun incelenmesi



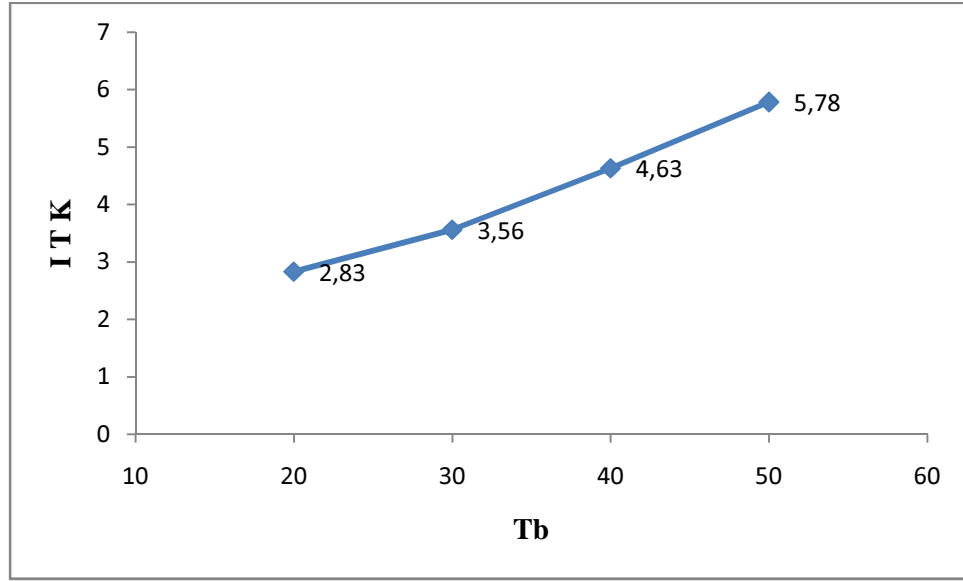
Şekil 4.9. R-134a kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji tasarrufu miktarı

4.4.3. R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi

Soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında, yoğuşma sıcaklığı (T_y) sabit iken, farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında (T_b) ısıtma tesir katsayısının (ITK) değişimini grafiklerle incelenmiştir.

Çizelge 4.6. R-22 kullanılan sistemde $T_y=80$ °C için; ısı pompası değerleri

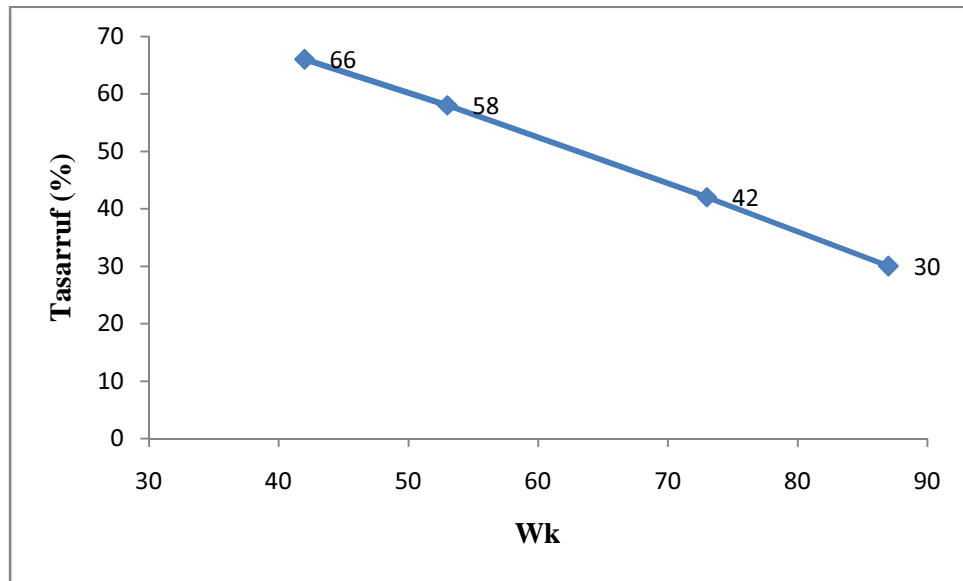
T_b (°C)	P_b (kPa)	P_v (kPa)	Q_v (kJ/h)	W_k (kW)	ITK
20	950	3.700	881.280	87	2,83
30	1.300	3.700	881.280	73	3,36
40	1.500	3.700	881.280	53	4,63
50	1.800	3.700	881.280	42	5,78



Şekil 4.10. R-22 kullanılan sistemde; ITK' nın Tb ye göre değişimi

Şekil 4.10' de görüldüğü gibi $T_y = 80^\circ \text{C}$ için buharlaşma sıcaklığı arttıkça ITK' da artmaktadır.

• R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji tasarrufunun incelenmesi



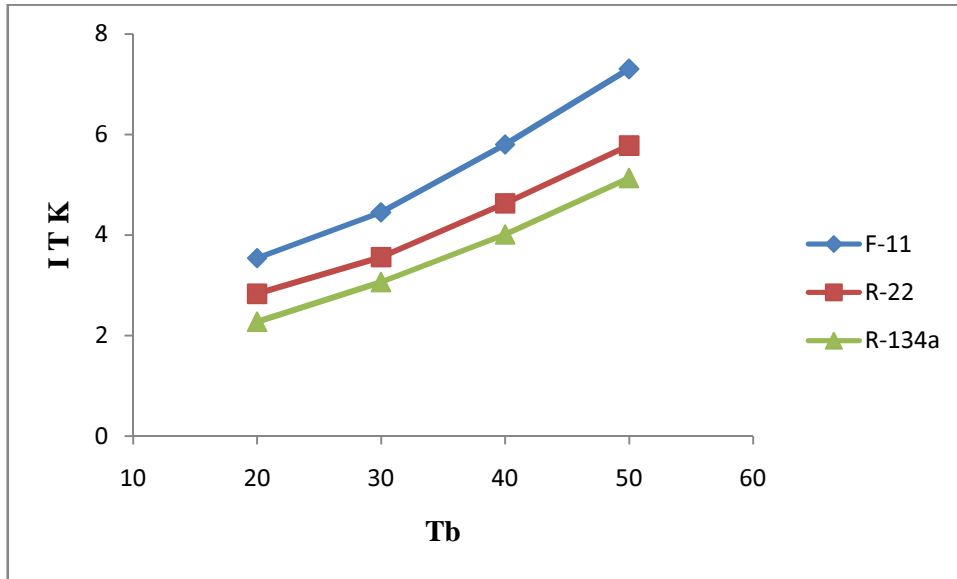
Şekil 4.11. R-22 kullanılan geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompasında enerji tasarrufu miktarı

4.5. Farklı Soğutucu Akışkanlar Kullanıldığında ITK ve Tasarruf Miktarının Karşılaştırılması

Çizelge 4.7. F-11 kullanılan sistemde $T_y=80^\circ\text{C}$ için; ısı pompası değerleri

T_b ($^\circ\text{C}$)	P_b (bar)	P_v (bar)	Q_v (kJ/h)	W_k (kW)	ITK
20	0,85	5,0	881.280	79	3,54
30	1,2	5,0	881.280	55	4,45
40	1,8	5,0	881.280	42	5,8
50	2,3	5,0	881.280	33	7,3

Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7 yardımı ile ITK' nın T_b ' ye göre değişimi aşağıdaki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı soğutucu akışkanlar kullanıldığında ITK' nın T_b ' ye göre değişimi

Şekil 4.12' de görüldüğü gibi $T_y = 80^\circ\text{C}$ için buharlaşma sıcaklığı arttıkça ITK' da artmıştır. Ayrıca en büyük ITK' ya F-11 sahip olmuştur. F-11' i sırasıyla R22 ve R-134a takip etmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğalgazlı klasik kurutma sistemi ile 3 çeşit ısı pompalı kurutma sistemi detaylı olarak incelenmiştir. Kurutma işlemi yapan bir tekstil fabrikasından alınan verilere göre inceleme yapılmıştır. Klasik ısı pompası ile kurutma yapan sistemi, aynı işi yapan klasik kurutma sistemine nazaran %14 daha avantajlıdır. Isı değıştircili ısı pompası ile kurutma yapan sistem, doğalgazlı klasik kurutmaya nazaran %42 daha avantajlı olduğu hesaplanmıştır. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası ile kurutma yapan sistem, doğalgazlı klasik kurutmaya göre %55 daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda en tesirli ısı pompası kurutma sistemi olarak geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası sistemi tespit edilmiştir.

En tesirli ısı pompası sistemi, geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompası kurutma sistemidir. Bu tip ısı pompalı kurutma sisteminde, kurutma odasından 120° C' de çıkan nemli havanın büyük bir bölümü buharlaştırıcı üzerinden geçirilerek sıcaklığı 60° C düşürülmekte, by-pass hattında gelen 120° C hava ile karıştırılarak sıcaklığı 67° C getirilen hava, ek ısıtmaya gerek kalmadan, yoğunlaştırıcı sıcaklığı 135° C getirilerek kurutma odasına gönderilmektedir. En tesirli ısı pompası sistemi olan geri beslemeli ve by-pass devreli kurutma sistemi, tekstil sanayi kurutma işlemlerinde, gıda sanayi kurutma işlemlerinde ve doğalgazlı klasik kurutma sistemi yerine kullanıldığında milyarlarca TL enerji tasarrufu sağlanacaktır. Geri beslemeli ve by-pass devreli ısı pompalı kurutma sistemleri ülkemiz şartlarında kendini yaklaşık 3 yılda geri ödemesi mümkündür. Sanayicilerin bu konunun önemini anlayarak, vakit kaybetmeden uygulamaları önerilir.

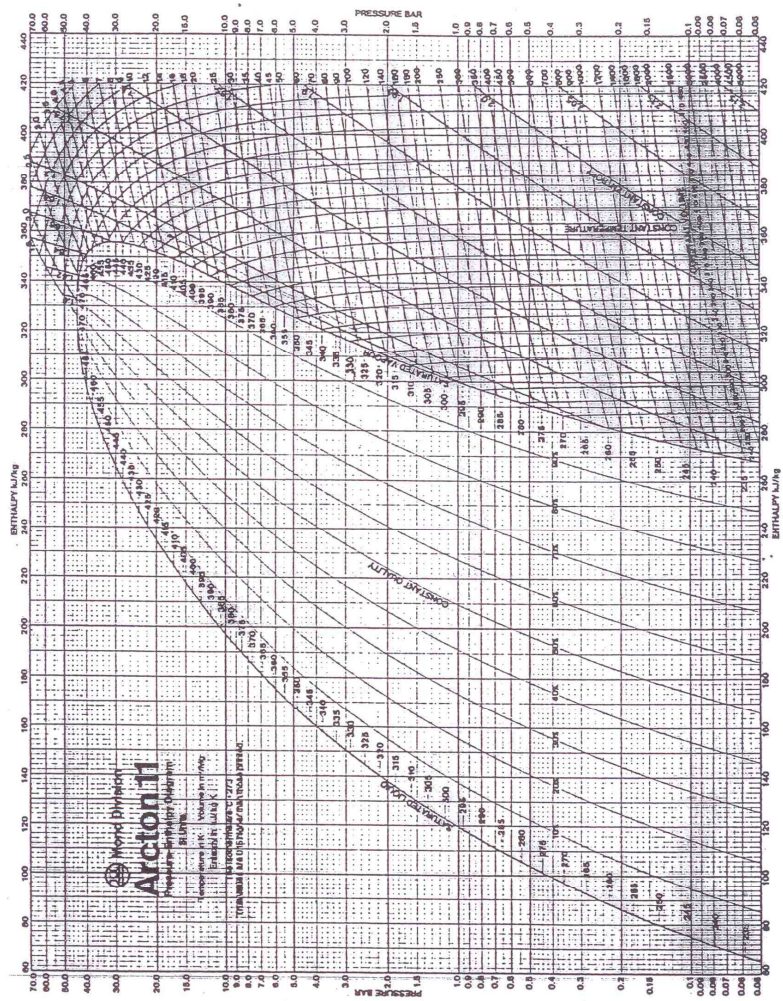
KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1]Ünlü, K., 2005, Hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etki eden parametrelerin incelenmesi, Doktora Tezi. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 195 s.
- [2]Al-rabghi, O.M, Beuratty, M, Akyurt, M, Najjar, Y, and Alp.T., 1993, Recorvery and Utilization of Waste Heat. Heat recorvey Systems & CHP. Vol.13, No5, 463-470.
- [3]Yamankaradeniz, R. Horuz, İ. Kaynaklı, Ö. Coşkun, S. ve Yamankaradeniz, N., 2008, Soğutma Tekniği ve Uygulamaları, Vipaş, BURSA, 608 s.
- [4]Özil, E. ve Özel, S., 1987, Kurutmada güneş enerjisinin Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 28, Sayı 327, 65-79.
- [5]Eryılmaz, H., 1986. Tekstil Sanayinde Enerji tasarrufunda Isı Pompası, U.Ü. Müh. Fak BURSA, 13, 50-55.
- [6]Hodgett, DL., 1976, Efficient drying using heat pump. Chem Eng, 510–612.
- [7]Cunney MB. and Williams P., 1984, An engine-driven heat pump applied to grain drying and chilling. In: Proceedings 2nd international symposium on the large scale applications of heat pumps, 17, 94–283.
- [8]Meyer JP. and Greyvenstein GP., 1992, The drying of grain with heat pumps in South Africa: a techno-economic analysis. Int J Energy Res, 16, 13–20.
- [9]Clements S, Jia X. and Jolly P., 1993, Experimental verification of a heat pump assisted continuous dryer simulation model. Int J Energy Res, 17, 19–28.
- [10]Coşkun, S., 1993, Kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesi, Y. Lisans Tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 110 s.
- [11]Britnell P, Birchall S, Fitz-Payne S, Young G, Mason R. and Wood A. 1994, The application of heat pump dryers in the Australian food industry. In: Proceedings of the 9th international drying symposium, 897–904.
- [12]Lazzarin, R.M.,1995, Heat Pump in Industry II:Applications. Heat recorvey Systems & CHP. Vol.15,No:3, 305-317.
- [13]Perera CO., 2001, Modified atmosphere heat pump drying of food products. In: Proceedings of the second Asia-Oceania drying conference, 76–469.
- [14]Adapa PK, Schoenau GJ. and Sokhansanj S. 2002, Performance study of a heat pump dryer system for specialty crops – Part 1: development of a simulation model. Int J Energy Res, 26, 19-1001.
- [15]Durmuş A, ve Kurtbaş İ., 2002, Yeni Tasarlanan Havalı Kollektör Yardımı İle Elazığ Yöresi Kayıplarının Kurutulması ve Kollektör Verimi Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu.
- [16]Coskun S., 2000, Isı Pompası Yardımıyla Sürekli Kurutma Sisteminin Simülasyonu. Doktora Tezi. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 122 s.
- [17]Adapa PK and Schoenau GJ., 2005, Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis. Int J Energy Res, 29, 961–72.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [18]Colak N and Hepbasli A., 2005, Exergy analysis of drying of apple in a heat pump dryer. In: 2nd International conference of the food industries & nutrition division on; future trends in food science and nutrition, 24, 3, 58–145.
- [19]Ceylan İ, Aktaş M, ve Doğan H., 2005, Isı pompalı kurutma odasında elma kurutulması Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 25, 2, 9-14.
- [20]Nathakaranakule A, Kraiwanichkul W, and Soponronnarit S., 2007, Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. J Food Eng , 80, 30–1023.
- [21]Hancioglu E. and Hepbasli A., 2007, Exergetic evaluation of drying of laurel leaves in a vertical ground-source heat pump drying cabinet. Int J Energy Res, 31, 58–245.
- [22]Ceylan İ. ve Aktaş M., 2008, Isı pompası destekli bir kurutucuda fındık kurutulması Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 215-222.
- [23]Apichart Artnaseaw., 2010, Somnuk Theerakulpisut, Chatchai Benjapiyaporn. Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli biosystems engineering, 130 – 138.
- [24]Can, M., 1995, Endüstriyel atık akışkanların değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine katkısı. Ekoloji çevre dergisi, Sayı 17, 22-28.
- [25] Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M. 2009. Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 663-672.
- [26]Yamankaradeniz N., 2007, Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa 77 s.
- [27]Wallin,E, Berntsson,T. 1994. Integration of Heat Pumps in Industrial Processes.Heat recovey Systems & CHP. Vol.14,No:3, 287-296.
- [28]Erdallı, Y., ve Dinçer, İ., 1996, Kurutma Prosesinin Analizi, Termo Klima, Cilt5, Sayı 52, 42-47.
- [29]Kısakürek B., 1992, Kurutma Modelleri, Isı Bilimi ve Tekniği, Cilt 2, 37-40.
- [30]Pulat, E., 1990, Tekstil endüstrisi kurutma sistemlerinde enerji tüketimi ve tasarrufu, Yüksek lisans tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, BURSA, 87 s.
- [31]Oktay, Z., 1999, Isı Pompası Destekli Mekanik Açıcılı Bir Kurutucu ile Yün Kurutmasının Optimizasyonu. Doktora Tezi, Balıkesir Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 189 s.
- [32]Keey,R. B., 1972, Drying principles and practice, Pargamon Press, Oxford, 550 p.

EK 1 : Freon-11'e ait lnP-h diyagramı



EK 2 : Sanayide 1000 kcal ısı ihtiyacı için gerekli olan çeşitli yakıtların maliyet karşılaştırma tablosu

(03 Ocak 2011 tarihinde belirlenmiş KDV HARIÇ birim fiyatlarla)

Ucuzluk Sırası	Yakıt Çeşidi	İlgili Şirket	Yakıt Alt Isıl Değeri	03 Ocak 2010 Tarihindeki Birim Fiyatı	Ortalama İşletme Verim Değeri	03 Ocak 2011 Tarihindeki Fiyatlarla TL/1000 kcal		En Ucuz Yakıt Göre Yakıt Maliyeti İndeksi	28 Aralık 2009 Tarihindeki Birim Fiyatları	03 Ocak 2011 28 Aralık 2009	
						03 Ocak 2011 Tarihindeki Fiyatlarla TL/1000 kcal	03 Ocak 2011 Tarihindeki Fiyatlarla TL/1000 kcal			Yıllık Birim Fiyat Değişim Oranı	Yıllık Birim Fiyat Artış Sıralaması
1	Kesintili Sanayi Doğalgaz	Türkiye BOTAŞ	8250 kcal/m ³	0,489635 TL/m ³	93%	0,489635x 1000 8.250 x 0,93	0,063817	100	0,489635 TL/m ³	0,0%	1
2	Organize Sanayi Bölgesi Doğalgaz	Türkiye BOTAŞ	8250 kcal/m ³	0,494348 TL/m ³	93%	0,494348 x 1000 8250 x 0,93	0,064431	101	0,494348 TL/m ³	0,0%	1
2	Kesintisiz Sanayi Doğalgaz	Türkiye BOTAŞ	8250 kcal/m ³	0,494348 TL/m ³	93%	0,494348 x 1000 8250 x 0,93	0,064431	101	0,494348 TL/m ³	0,0%	1
3	Doğalgaz Sanayi Serbest tüketici için	Ankara BAŞKENTGAZ	8250 kcal/m ³	0,505744 TL/m ³	93%	0,505744 x 1000 8250 x 0,93	0,065916	103	0,505689 TL/m ³	0,0%	1
4	Doğalgaz Sanayi Serbest tüketici için	İstanbul İGDAŞ	8250 kcal/m ³	0,517333 TL/m ³	93%	0,517333x 1000 8250 x 0,93	0,067427	106	0,515325 TL/m ³	0,4%	2
5	Doğalgaz Sanayi Serbest tüketici için	Eskişehir ESGAZ	8250 kcal/m ³	0,517999 TL/m ³	93%	0,517999 x 1000 8250 x 0,93	0,067514	106	0,515935 TL/m ³	0,4%	2
6	Doğalgaz Sanayi Serbest tüketici için	Bursa BURSAGAZ	8250 kcal/m ³	0,519653 TL/m ³	93%	0,519653x 1000 8250 x 0,93	0,067729	106	0,517445 TL/m ³	0,4%	2
7	Doğalgaz Sanayi Serbest tüketici için	Kocaeli İZGAZ	8250 kcal/m ³	0,521070 TL/m ³	93%	0,521070 x 1000 8250 x 0,93	0,067914	106	0,518738 TL/m ³	0,4%	2
8	Yerli Linyit 10-18 mm Soma Kısrakdere	Manisa - ELİ TKİ	4648 kcal/kg	0,272000 TL/kg	65%	0,272000 x 1000 4.648 x 0,65	0,090030	141	0,272000 TL/kg	0,0%	1
9	İthal Sibirya Kömürü Ceviz/Fındık tipi	İstanbul HAKAN KÖMÜR	7000 kcal/kg	0,474576 TL/kg	65%	0,474576 x 1000 7.000 x 0,65	0,104302	163	0,444915 TL/kg	6,7%	6
10	LNG - Büyük Sanayi Sıvılaştırılmış Doğalgaz	İstanbul İPRAGAZ	8250 kcal/m ³	0,807663 TL/m ³	93%	0,807663x 1000 8250 x 0,93	0,105267	165	0,771051 TL/m ³	4,7%	4
11	LNG - Orta Sanayi Sıvılaştırılmış Doğalgaz	İstanbul İPRAGAZ	8250 kcal/m ³	0,865587 TL/m ³	93%	0,865587 x 1000 8250 x 0,93	0,112817	177	0,823918 TL/m ³	5,1%	5
12	Fuel-oil No: 6 Kalorifer Yakıtı	İstanbul Avrupa Yakası SHELL	9562 kcal/kg	1,296610 TL/kg	80%	1,29661 x 1000 9.562 x 0,80	0,169500	266	1,194915 TL/kg	8,5%	7
13	Elektrik Sanayi	Türkiye TEDAŞ	860 kcal/kwh	0,208237 TL/kWh	99%	0,208237x 1000 860 x 0,99	0,244582	383	0,205844 TL/kWh	1,2%	3
14	Dökmegaz LPG - Miks Büyük Sanayi	İstanbul İPRAGAZ - AYGAZ	11000 kcal/kg	3,148636 TL/kg	92%	3,148636 x 1000 11.000 x 0,92	0,311130	488	2,570909 TL/kg	22,5%	10
15	Dökmegaz LPG - Miks Küçük Sanayi	İstanbul İPRAGAZ - AYGAZ	11000 kcal/kg	3,463500 TL/kg	92%	3,463500x 1000 11.000 x 0,92	0,342243	536	2,828000 TL/kg	22,5%	10
16	Dökmegaz LPG - Propan Sanayi	İstanbul İPRAGAZ - AYGAZ	11100 kcal/kg	3,582195 TL/kg	92%	3,582195 x 1000 11.100 x 0,92	0,350783	550	2,961465 TL/kg	21,0%	9
17	Motorin (Kırsal)	İstanbul Avrupa Yakası SHELL	10256 kcal/kg	3,169191 TL/kg	84%	3,169191x 1000 10.256 x 0,84	0,367867	576	2,647678 TL/kg	19,7%	8
18	LPG 45 kg Sanayi Tüpü	İstanbul İPRAGAZ - AYGAZ	11000 kcal/kg	4,218456 TL/kg	90%	4,218456x 1000 11.000 x 0,90	0,426107	668	3,436911 TL/kg	22,7%	11
DÖVİZLER						T.C. Merkez Bankası Efektif Satış Fiyatı				Değişim Oranı	
						03 Ocak 2011 tarihindeki Döviz Kurları		04 Ocak 2010 tarihindeki Döviz Kurları			
Dolar						1,5574 TL		1,4903 TL		5%	
Avro						2,0736 TL		2,1409 TL		-3%	

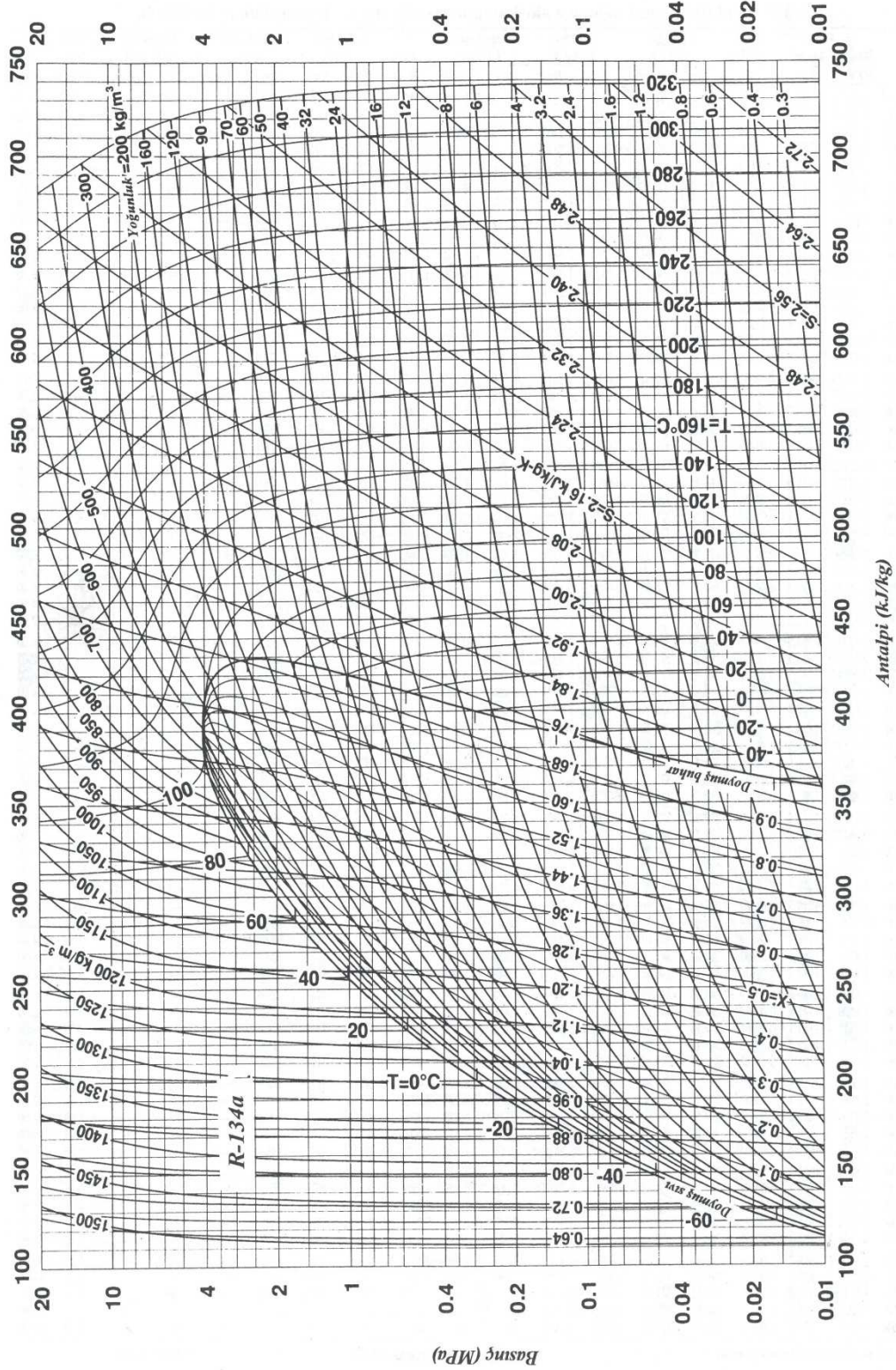
NOTLAR:

- Bu tablo yakıtların yaklaşık işletme maliyetleri hakkında fikir verebilmek için hazırlanmış olup, birim fiyatlarla %18 KDV HARIÇTİR.
- İşletme veriminin bir bölümü ortalama verim değerlerinin içerisinde olup, yakıt hazırlama, depolama, işletme giderleri vb. yakıt yakma yan maliyetleri de bu değeri etkilemiştir. Otomatik kontrol kullanımı, bakım ve işletme kalitesi gibi nedenlerle verim yükseltilebilir, daha uygun maliyetler oluşturulabilir.
- İstanbul'da İGDAŞ, Bursa'da BURSAGAZ, Eskişehir'de ESGAZ, Kocaeli'deki İZGAZ'ın, Ankara'daki BAŞKENTGAZ'ın doğalgaz fiyatları 01 Ocak 2011 tarihinde yayımlanan ve 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan şehir gaz dağıtım dağıtım şirketinin tarifelerinde belirtilen fiyatlardır ki aylık ÜFE oranlarının değişimine göre belirlenmektedir.
- Serbest Tüketici Olan doğalgaz kullanıcılarının birim fiyatları yıllık 1 milyon m³ gaz kullanımının üstünde kullanıcılar için olup, Serbest Tüketici Olmayanların birim fiyatları ise konut ve ticari işyerlerinde kullanılanlardır.
- LNG-Sıvılaştırılmış doğalgaz birim fiyatları İstanbul Boğaziçi deniz geçişi maliyetleri özel ve belediye feribotlarına göre büyük farklılıklar arzettiğinden bu bedel eklenmeden ve Avrupa ve Anadolu yakası ayırımı yapılmadan ortalama olarak verilmiş 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan İPRAGAZ fiyatlarıdır.
- LPG tüp gaz ve dökmegaz fiyatları 23 Aralık 2010 tarihinde yayımlanan ve 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan İpragaz ve Aygaz'dan alınan birim fiyatların ortalamasıdır. 45 kg.lık sanayi tüpünün KDV dahil 224 TL/adet fiyatı kullanılmıştır.
- Elektrik fiyatı 01 Ocak 2010 tarihinde yayımlanan ve 11 Kasım 2010 tarihinde geçerli olan TEDAŞ'ın Diğer Tüm Dağıtım Sistemi Kullanıcıları için (4) Dağıtım Şirketinden Enerji Alan Tüketicilere Tek Terimli ve Tek Zamanlı tarifede belirtilen Alçak Gerilim birim fiyatına; sanayi kullanımında TRT payı ve enerji fonu için %3, Belediye Elektrik Tüketim Vergisi için ise %1 ilave edilmiş, KDV'siz fiyatıdır.
- Elektrik kullanımındaki ısıtma cihazı elektrikli ısıtıcı olup, ısı pompası kullanımında cihazın COP sistemi ve yıllık değerleri kullanılmalıdır.
- Motorin birim fiyatı (TL/kg) SHELL'in 03 Ocak 2011 tarihli pompa satış fiyatları sirkülerindeki TL/litre değeri 0,845 dönüşüm katsayısına bölünerek bulunmuştur.
- Akaryakıt fiyatları EPDK tarafından açıklanan SHELL tarafından tavsiye edilen 03 Ocak 2011 tarihli İstanbul Avrupa Yakası mahalli akaryakıt KDV'li satış fiyatları alınmıştır.
- İstima ve prosese kullanılan yakıt türü olarak Motorin (Kırsal) 1000 tipi tercih edildiği için motorin yakıtında bu tipin fiyatları dikkate alınmaktadır.
- Akaryakıt alt ısı değerleri Tüpraş Teknik Servisler Müdürlüğü'nden 01 Mart 2008 tarihinde verilen değerlerdir.
- Yerli linyit kömürü fiyatı 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan TKİ - EL'nin Kısrakdere yakanmış 10-18 mm parçaltı torba cinsi için 05 Aralık 2008 tarihli İstima Amaçlı (Torbalanmış) Kömürlerin Bayi Depo Satış Fiyatları listesinden alınmış olup, İstanbul için 272 TL/ton olup, üretim yeri fiyatına; 480 km.lik İstanbul-Soma arası uzaklık nakliye bedeli (55 TL/ton) ve %15 bayi kar marjı içinde olan KDV'siz fiyatıdır. (2008 yılındaki listedeki birim fiyatlar nakliye hariçli)
- İthal sibirya kömürü fiyatları Hakan Kömür şirketinin 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan; ceviz tipi linyit için 01 Kasım 2010 tarihinde belirlendiği, nakliye ile apartman dairelerine taşıma ücreti ve KDV dahil peşin satış fiyatı 560 TL/ton'dur.
- Miks dökmegazın kullanımında buharlaştırıcı gerekmektedir. İşletme maliyetleri gözönünde alınmamıştır.
- BOTAŞ'ın OSB ve Sanayiye sattığı doğalgazın birim fiyatına 0,023 TL/Sm3 olan ÖTV dahil edilmiş, 03 Ocak 2011 tarihinde geçerli olan sirkülerdeki fiyatlarıdır.

EK-3 R134a LnP-h diyagram

17.28

ASHRAE Temel El Kitabı



Şek. 14 R-134a soğutucu akışkanın basınç-entalpi diyagramı.

EK-4 R22 LnP-h diyagram

