T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK ISI GERİ KAZANIMLI ISI POMPASI SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Alaeddin ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
Konya, 2006

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK ISI GERİ KAZANIMLI ISI POMPASI SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Alaeddin ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

KONYA , 2006

T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK ISI GERİ KAZANIMLI ISI POMPASI SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Alaeddin ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29/12/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Saim KOÇAK
Üye

Yrd.Doç.Dr. Ali KAHRAMAN
(Danışman)

Yrd.Doç.Dr. Ali ATEŞ
Üye

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ISI GERİ KAZANIMLI ISI POMPASI SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Alaeddin ÇELEBİ

Selçuk Üniversitesi
Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Ali KAHRAMAN
2006, 109 Sayfa

Jüri:

Prof.Dr. Saim KOÇAK

Yrd.Doç.Dr. Ali KAHRAMAN

Yrd.Doç.Dr. Ali ATEŞ

Isı pompaları harcadıkları enerjinin bir kaç katı miktarda ısıtma ve soğutma enerjisi sağlayabilmektedir. Özellikle kış mevsimi karasal iklime sahip bölgelerde ısı pompaları ısıtma için gerekli enerjiyi atmosfer havasından sağlayamamakta ve atıl duruma düşmektedir. Ancak ısı pompaları ısı kaynağı olarak atmosfer havası yerine daha yüksek sıcaklıktaki atık ısıları kullanarak soğuk iklime sahip olan bölgelerde de verimli bir şekilde kullanılabilirler. Bu çalışmada, 2500 yataklı bir öğrenci yurdunun çamaşırhanesindeki atık su ısısının bir ısı pompası ile alınarak, kullanma sıcak suyu elde edilmesini sağlayan ısı pompası sisteminin modellenmesi ve montajı yapılmıştır. Farklı atık su sıcaklıklarında buharlaştırıcı ve yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu devresindeki suyun debileri ve tüketilen elektrik enerjisi ölçülerek sistemin etkinliği hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Isı Pompası, Atık Isı Geri Kazanımı, Isı pompası Etkinlik Katsayısı

ABSTRACT

Master Thesis

Simulation of a Heat Pump System with Waste Heat Recovery

Alaeddin ÇELEBİ

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
2006, 109 Pages

Jury:
Prof.Dr. Saim KOÇAK
Assist. Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Assist. Prof. Dr. Ali ATEŞ

Heat pumps are very efficient regarding to energy as they consume a little energy in order to deliver three or four times as much energy as heat and cool. Especially in regions with terrestrial climate, heat pump can not use ambient air as heat source. However, it can use high temperature wastewater as heat source instead of ambient air in regions with cold climate. In this study, a heat pump system using wastewater, as a heat source, from laundry room of dormitory with 2500 beds has been designed and constructed to obtain hot spring water. For various wastewater temperature, water inlet and outlet temperatures to the evaporator and condenser, flow rates of water in the condenser circuits and consumed electric power have been measured and the heating efficiency of the system has been calculated.

Keywords: Heat Pump, Waste Heat Recovery, Heat Pump Performance Coefficient

ÖNSÖZ

Isı pompaları düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı aktaran ve ortam ısıtılmasında kullanılan cihazlardır. Isı pompalarının asıl kullanım amacı binaların ısıtılıp soğutulması ve kullanım sıcak suyu hazırlanmasıdır. Isı pompalarının teorik olarak soğutma etkinliği 3 ve ısıtma etkinliği 4 olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, atık ısı geri kazanımlı, sudan suya, kullanım sıcak suyu hazırlama amaçlı bir ısı pompasının modellemesi yapılmıştır.

Bu tez çalışmalarımda bana her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali KAHRAMAN'a, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Muammer ÖZGÖREN'e, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme Soğutma Programı Öğr. Gör. Burhan CANLI'ya, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme Soğutma Programı teknikeri Nihat GEMİCİ'ye şükranlarımı arz ederim. Ayrıca bu çalışmanın tamamlanmasında katkıda bulunan Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam boyunca yardımını devamlı yanımda hissettiğim eşim ve sevgili kızıma da teşekkür ederim.

Alaeddin ÇELEBİ
Konya, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET……	i
ABSTRACT…….	ii
ÖNSÖZ…….	iii
İÇİNDEKİLER…….	iv
SİMGELER……..	vii
ŞEKİL LİSTESİ……...	viii
ÇİZELGE LİSTESİ……..	xii
RESİM LİSTESİ……..	xiv
1. GİRİŞ……...	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……	3
3. MATERYAL VE METOD……..	6
3.1. Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri……..	6
3.1.1. Atık ısı prosesinin tanımlanması……	7
3.1.2. Atık ısı geri kazanım ekipmanlarının seçimi…….	7
3.1.2.1. Sıvı akışkanlardan atık ısı geri kazanımı……	8
3.1.2.2. Gazlardan atık ısı geri kazanımı……..	8
3.2. Isı Pompaları…….	9
3.2.1. Isı pompalarının sınıflandırılması……..	9
3.2.2. Isı pompalarının uygulama alanları……	10
3.2.3. Isı pompası sistemlerinin kapasitesinin belirlenmesi ve seçimi…….	12
3.2.4. Isı pompalarının çalışma prensibi……..	14
3.2.5. Türkiye'de ısı pompası uygulamaları……	18
3.2.6. Isı pompasını pazar oluşumunu etkileyen faktörler……...	19
3.3. Isı Pompası Sisteminin Elemanları……...	19
3.3.1. Kompresör…….	19
3.3.2. Soğutucu akışkan……...	22
3.3.2.1. Suğutucu akışkan R-134a……	23
3.3.3. Yağlama yağları…….	24

3.3.4. Yoğuşturucu (kondenser)……..	25
3.3.5. Buharlaştırıcı (evaparatör)…….	28
3.3.6. Genleşme valfi……...	30
3.3.7. Filtre-kurutucu……...	32
3.3.8. Sıvı deposu…….	33
3.3.9. Likit tutucu…….	33
3.3.10. Yağ ayrıcı…….	34
3.3.11. Gözetleme camı……	35
3.3.12. Selenoid valf……	36
3.3.13. Alçak ve yüksek basınç otomatikleri……...	36
3.3.14. Titreşim emiciler……..	37
3.3.15. Susturucular…….	38
3.3.16. Isı eşanjörü……...	39
3.3.17. Kapama valfleri……	39
3.3.18. Sirkülasyon pompası……	40
3.3.19. Manometreler……...	40
3.3.20. Elektrikli Isıtıcılar……	40
3.3.21. Pislik tutucu……..	41
3.3.22. Atık ısı tankı…….	41
3.3.23. Sıcak su tankı……...	41
3.3.24. Debimetre…….	41
3.3.25. Termoelemanlar……...	42
3.3.26. Proses gösterge cihazı……..	43
3.3.27. Sigortalar……..	44
3.3.28. Paket şalterler……...	44
3.3.29. Tabla…….	45
3.3.30. Termostat……	45
3.4. Isı Pompasının Gerçek Çalışma Ortamının Özellikleri.....	45
3.5. Montajı Yapılan Isı Pompası Sisteminin Çalışma Prensibi.....	48
3.6. Isı Pompası Çevrimi.....	51
3.7. Isı Pompası Soğutucu Akışkan Devresi Boru Çapı Hesabı……..	56
3.8. Isı Pompası Sisteminin Otomatik Kontrolü……..	58

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	60
4.1. Araştırma Sonuçları…….	60
4.2. Diğer Isı Sağlayan Kaynaklar ile Isı Pompasının Karşılaştırılması……	101
4.3. Belirsizlik analizi…….	102
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
6. KAYNAKLAR.....	108

SİMGELER

C_p	: Özgül ısı (J/kg^{o}C)
d	: Boru çapı (m)
h	: Entalpi (J/kg)
$\dot{m}$	: Soğutucu akışkan debisi (kg/s)
$\dot{m}_b$	: Buharlaştırıcı su devresi debisi (kg/s)
$\dot{m}_y$	: Yoğşturucu su devresi debisi (kg/s)
P_b	: Kompresörün basma basıncı (bar)
P_e	: Kompresörün emme basıncı (bar)
t	: Zaman (dk)
Q_b	: Buharlaştırıcı soğutma kapasitesi (W)
Q_{evp}	: Buharlaştırıcı gücü (W)
Q_{kon}	: Yoğuşturucu gücü (W)
Q_y	: Yoğuşturucu ısıtma kapasitesi (W)
$T_{bç}$	: Buharlaştırıcıdan suyun çıkış sıcaklığı (^{0}C)
T_{bg}	:Buharlaştırıcıya suyun giriş sıcaklığı (^{0}C)
$T_{yç}$	: Yoğuşturucudan suyun çıkışış sıcaklığı (^{0}C)
T_{yg}	: Yoğuşturucuya suyun giriş sıcaklığı (^{0}C)
ΔT_b	: Buharlaştırıcıya suyun giriş çıkış sıcaklık farkı (^{0}C)
ΔT_y	: Yoğuşturucuya suyun giriş çıkış sıcaklık farkı (^{0}C)
u_{ort}	: Soğutucu akışkanın ortalama hızı (m/s)
v	: Soğutucu akışkan özgül hacmi (m^3/kg)
W_h	: Sistemin harcadığı elektrik enerjisi (W)
W_{komp}	: Kompresör gücü (W)
η_I	: Isıtma kapasitesi
η_s	: Soğutma kapasitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Dış hava kaynaklı hava-hava ısı pompasının çalışma prensip şeması	15
Şekil 3.2 Güneş enerjisi kaynaklı hava-su ısı pompasının çalışma prensip şeması	16
Şekil 3.3 Dış hava kaynaklı hava-su ısı pompasının çalışma prensip şeması	16
Şekil 3.4 Güneş enerjisi ve toprak kaynaklı bir ısı pompasının çalışma prensip şeması	17
Şekil 3.5 Atık ısı geri kazanımlı su-su ısı pompasının çalışma prensip şeması	18
Şekil 3.6 Hermetik bir kompresörün genel görünümü ve iç yapısı	21
Şekil 3.7 Deneyde kullanılan plakalı ısı eşanjörünün genel görünümü ve boyutları.	27
Şekil 3.8 Plakalı ısı eşanjörünün akışkan akış yönleri ve iç yapısı	27
Şekil 3.9 Termostatik ekpansiyon valfinin genel görünümü ve iç yapısı	31
Şekil 3.10 Filtre-kurutucunun genel görünüşü ve iç yapısı	32
Şekil 3.11 Sıvı deposunun genel görünüşü ve iç yapısı	33
Şekil 3.12 Sıvı ayırtıcısının genel görünümü ve iç yapısı	34
Şekil 3.13 Yağ ayırıcısının iç yapısı ve sisteme bağlantısı	35
Şekil 3.14 Gözetleme camının genel görünümü	35
Şekil 3.15 Selonoid vananın genel görünümü ve iç yapısı	36
Şekil 3.16 Yüksek basınç otomatiğinin iç yapısı ve elemanları	37
Şekil 3.17 Titreşim sönümleyicinin genel görünümü ve iç yapısı	38
Şekil 3.18 Susturucunun kesit resmi	38
Şekil 3.19 Isı esanjörünün kesit resmi	39
Şekil 3.20 Küresel bir kapama vanasının kesiti	39
Şekil 3.21 Sistemde kullanılan debimetrenin genel ve kesit görünüşü	42
Şekil 3.22 Sistemde kullanılan termoelemanın genel görünüşü	43
Şekil 3.23 Sistemde kullanılan proses kontrol cihazının genel görünüşü	43
Şekil 3.24 Proses kontrol cihazının bilgisayar bağlantısı	44

Şekil 3.25 Çamaşırhanedeki atık ısının değerlendirilip tesisata bağlandığı akış şeması	47
Şekil 3.26 Isı pompası sisteminin şematik gösterilişi	49
Şekil 3.27 Isı pompası sisteminin çalışma prensibinin şematik gösterimi	50
Şekil 3.28 Isı pompasının temel elemanları	52
Şekil 3.29 Soğutma çevriminin T-s diyagramı	52
Şekil 3.30 Soğutma çevriminin P-h diyagramı	52
Şekil 3.31 Modellemesi yapılan ısı pompası sisteminin basınç entalpi diyagramı	55
Şekil 3.32 Isı pompası soğutucu akışkan devresi boru çapları	57
Şekil 3.33 Isı pompası sisteminin elektrik devre şeması	58
Şekil 3.34 Sistemde debi metre ve sıcaklık algılama sensörlerinin bağlantı şeması	58
Şekil 3.35 Isı pompası sisteminde proses göstergelerinin bağlantı şeması	59
Şekil 4.1 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi	65
Şekil 4.2 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi	65
Şekil 4.3 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	66
Şekil 4.4 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	66
Şekil 4.5 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	67
Şekil 4.6 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi	72
Şekil 4.7 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi	72
Şekil 4.8 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	73
Şekil 4.9 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	73

Şekil 4.10 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	74
Şekil 4.11 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi	79
Şekil 4.12 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi	79
Şekil 4.13 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	80
Şekil 4.14 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	80
Şekil 4.15 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	81
Şekil 4.16 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi	86
Şekil 4.17 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi	86
Şekil 4.18 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	87
Şekil 4.19 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	87
Şekil 4.20 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	88
Şekil 4.21 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi	93
Şekil 4.22 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi	93
Şekil 4.23 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	94
Şekil 4.24 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi	94
Şekil 4.25 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	95

Şekil 4.26 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre ısıtma etkinliklerinin zamanla değişimi	97
Şekil 4.27 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre kompresör basma basınçlarının zamanla değişimi	97
Şekil 4.28 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre kompresör emme basınçlarının zamanla değişimi	98
Şekil 4.29 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi	98

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 Borulu ve plakalı ısı değiştiricilerin uygulama alanları	8
Çizelge 3.2 Isı pompalarının sınıflandırılması	10
Çizelge 3.3 Isı pompalarının ısı kaynaklarının karşılaştırılması	11
Çizelge 3.4 Isı pompasının uygulama alanları	13
Çizelge 3.5 Sistemde kullanılan kompresörün teknik özellikleri	22
Çizelge 3.6 Sistemde kullanılan yoğuşturucu özellikleri	28
Çizelge 3.7 Sistemde kullanılan evaparatörün özellikleri	30
Çizelge 3.8 Sirkülasyon pompasının özellikleri	40
Çizelge 3.9 Çamaşır makinalarının özellikleri	46
Çizelge 3.10 Isı pompası sisteminde kullanılan soğutucu akışkan R134a'nın bilgisayar programı sonuçları	54
Çizelge 4.1 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları	62
Çizelge 4.2 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları	63
Çizelge 4.3 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları	64
Çizelge 4.4 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları	69
Çizelge 4.5 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları	70
Çizelge 4.6 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları	71
Çizelge 4.7 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları	76
Çizelge 4.8 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı	

II için deney sonuçları	77
Çizelge 4.9 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları	78
Çizelge 4.10 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları	83
Çizelge 4.11 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları	84
Çizelge 4.12 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları	85
Çizelge 4.13 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları	90
Çizelge 4.14 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları	91
Çizelge 4.15 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları	92
Çizelge 4.16 Isı pompasının enerji maliyeti ile diğer ısı sağlayan kaynakların enerji maliyetlerinin karşılaştırılması	102
Çizelge 4.17 Isı pompası sisteminin ısıtma etkinliklerindeki bağıl belirsizlikler	105

RESİM LİSTESİ

Sayfa No

Resim 3.1 Çamaşırhanedeki çamaşır makinelerinin genel görünümü	46
Resim 3.2 Isı pompası sisteminin genel görünüşü	51

1. GİRİŞ

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26 sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıplar atık ısı geri kazanımı temel tekniklerinin uygulaması ile önemli ölçüde azaltılabilir. Atık ısı geri kazanımı ile ilgili tesis seçilmeden önce, mevcut sistemin proses ve işletme şartlarının çok iyi tanımlanması gereklidir. Endüstride çoğunlukla sıcak sıvı ve gaz atıklarının değerlendirilmesine yönelik uygulamalara rastlanmaktadır. Atık sıcak sıvılardan ısı çekmek amacıyla endüstride yaygın olarak ısı değiştiriciler (eşanjör) kullanılmaktadır. Borulu tip veya plaka tip olan ısı değiştiricilerinde ısıtılan akışkan ve sıcak akışkan, sızdırmaz bir yüzeyle ısının yüksek sıcaklıktaki akışkandan düşük sıcaklıktaki akışkana akması sağlanmaktadır.

Endüstriyel işletmelerde, proses gereği sıcak olarak çıkan sıvı ve gaz atıklar çevreye atılırken önemli miktarda enerji ile birlikte atılmaktadır. Bu enerjinin bir bölümü yapılabilecek bir takım sistemlerle ekonomik olarak geri kazanılabilir. Büyük ve küçük işletmelerde atık ısının geri kazanımı tesislerinin kurulması ile ilgili yatırımlara maliyetleri artırıcı bir unsur olarak bakıldığı sürece, enerji fiyatlarının ekonomileri yönlendirdiği günümüzde enerji doğaya yararsız bir atık madde gibi atılmaya devam edecektir (EİE, 1997).

Yakın geçmişte ve günümüzde, enerji teminindeki sorunlar ve enerji tüketimi ile ilgili birlikte ortaya çıkan, çevre kirliliğinin gün geçtikçe artan boyutları, mevcut kaynakların iyi değerlendirilmesini ve mümkün olduğunca ekonomik kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle 1970'li yıllarda artarda gelen iki petrol krizinden sonra, sanayileşmiş ülkeler enerji tasarrufu sağlamaya ve çevre kirliliğini azaltmaya yönelik teknolojilerin oluşturulması ve geliştirilmesi çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Tasarımları sanayileşme sürecinin başladığı yıllara dayanan bazı cihazlar, karşılaşılan enerji sorunları nedeni ile hızla geliştirilerek ticari hale getirilmiştir. Bunun tipik örneklerinden biride ısı pompalarıdır (EİE, 1987).

Isı pompaları düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı aktaran cihazlardır. Isı pompalarındaki çevrim ile soğutma sistemlerindeki çevrim genelde aynıdır. Soğutma makineleri, bir ortamdan ısı çekerek ortamı soğutma

amacıyla kullanılırken, ısı pompaları ortamı ısıtmak amacıyla kullanılır. Isı yüksek sıcaklık ortamından düşük sıcaklık ortamına aktığı için ısı pompalarına dışarıdan iş vermek gereklidir.

Isı pompalarının asıl kullanım amacı binaların ısıtılıp soğutulmasıdır. Rankine çevrimine göre çalışan ısı pompasının teorik olarak soğutma etkinliği 3 ve ısıtma etkinliği 4 olarak hesaplanmaktadır. Ancak uygulamalarda çeşitli kayıplardan dolayı bu etkinliklere ulaşmak her zaman mümkün olamamaktadır. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan bir ısı pompasında, kompresörün harcadığı elektrik enerjisinin 2 veya daha fazla katı ısı enerjisi bir ortama transfer edilebilir (Özgören, 1996). Günümüzde elektrik enerjisinin pahalı olması bu enerjinin ısıtma amacıyla doğrudan kullanımını sınırlamaktadır.

Isı pompalarının satın alma ve kurma bedelleri diğer ısıtma sistemlerine oranla daha yüksektir. Fakat uzun dönemde ısıtma faturalarının daha düşük olması, bu sistemlerin bazı uygulamalarda kazançlı olmasını sağlamaktadır. Yüksek ilk yatırım maliyetlerine karşın ısı pompalarının kullanımları yaygınlaşmaktadır.

Isı pompalarının ısı kaynağı hava, su, toprak, güneş ve jeotermal enerji olabilir. Kaynak olarak çevre havanın kullanıldığı sistemlerde en büyük sorun dış hava şartlarının (sıcaklık, nem) atmosferik olaylardan çabuk etkilenmesidir. Dış hava sıcaklığının 2 ila 5 ^{0}C altına düştüğü nemli ortamlarda ısı pompasının etkinliği azalarak buharlaştırıcı yüzeyinde karlanma sorunları ortaya çıkar. Su kaynaklı sistemlerde 80 m kadar derinliklere inebilen 5 ila 18 ^{0}C sıcaklığında su kullanılır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak sıcaklığının sabit kaldığı derinliklere indirilen borular vasıtasıyla topraktaki ısı, ısı pompası aracılığı ile taşınır.

Değişik şekil ve boyutlarda ısı pompaları mevcuttur. Isı pompalarının kapasiteleri diğer sistem elemanları ile birlikte kompresör kapasitesi artırılarak birkaç kilovattan birkaç megavata ısıtma kapasitesi sağlayacak şekilde değiştirilebilir.

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampusü yerleşkesinde bulunan Kredi ve Yurtla Kurumu'na ait 2500 yataklı öğrenci yurdunun çamaşırhanesinde, çamaşır yıkama ve durulama amacıyla kullanılıp atılan kirli suyun içindeki atık ısıdan, kullanma sıcak suyu hazırlama amacıyla tasarlanan bir ısı pompasının modellemesi ve montajı yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

19. yüzyıldan itibaren günümüze kadar mühendislik uygulamaları içerinde yer alan ısı pompaları yeni teknolojilerden sayılır.

İlk olarak ısı pompaları 1924 yılında Nichalos Carnot tarafından yapılan çalışmalarda ortaya atılmıştır. Soğutma makinelerinin ısıtma amacıyla kullanılabileceğini öneren William Thomson ilk olarak pratik ısı pompalarının çalışmasını başlatmıştır. Bu çalışmada ısı kaynağı olarak atmosfer havası kullanılmıştır. Dış ortama yerleştirilen bir hava-hava ısı eşanjörü aracılığı ile ısı, dış ortamdan çekilip bir kompresör aracılığı ile sıkıştırılarak sıcaklığı atmosfer havası sıcaklığının üzerine çıkarılarak, ortam ısıtması amacıyla kullanılmıştır. İsveç'te yapılan böyle bir ısı pompası ile binalar ısıtılıp soğutulmuştur (Thomson, 1852).

Isı pompaları ile soğutma makinelerinin gelişimi paralellik içermesi gerekirken ısı pompalarının gelişimi ve kullanım yaygınlığı gerilerde kalmıştır. Bunun nedeni soğutma makineleri ihtiyacı karşılarken ısı pompalarına alternatif ısıtma kaynaklarının zenginliğidir.

İlk pratik ısı pompasını Haldane (1930) İskoçya'daki evinde, ortam ve su ısıtması amacıyla teorik hesaplamalar yapmadan deneysel olarak yapmıştır. Haldane bu çalışmasında çevre havasını ve şebeke suyunu kullanıp elektrikli bir kompresörle sıcaklığı yükseltilen akışkanın ısısını yoğuşturucuda suya aktararak, bu suyu sıcak su radyatörleri aracılığı ile ev ısıtmasında kullanmıştır.

Avrupa da ilk büyük ısı pompası 1938-1939 yıllarında Zürich'te kurulmuştur. Sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu kullanılmıştır. Sistemin ısıtma kapasitesi 175 kW dır. Isı ihtiyacının fazla olduğu soğuk havalarda, sisteme elektrikli ısıtıcı ilavesi yapılmıştır . Aynı sistem yazın ortam soğutulması amacıyla kullanılmıştır.

1940 yılında Amerika'da çoğunluğu ısı kaynağı olarak kuyu suyunun kullanıldığı 15 ticari uygulama sergilenmiştir.

1945 yılında İngiltere'de Norwich'teki belediye binasının bir bloğunu ısıtmak amacıyla deneysel bir makine tasarlanmış ve birkaç yıl kullanımdan sonra sökülmüştür. Sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu, soğutucu akışkan olarak SO_2 kullanılmıştır. Sistemde kullanılan iki kademeli elektrikli kompresörlerde harcana

güç 40-80 kW iken, sistemin tasarım gücü 240 kW hesaplanmıştır. Sistemde 49 ^{0}C sıcaklığında sıcak su elde edilmiş, sistem etkinliği 3–4 arasında olmuştur (Summer, 1955).

1951 yılında Londra'da bir binanın salonunun kışın ısıtılması yazın soğutulması amacıyla 2.7 MW ısıtma kapasitesine sahip sistem kurulmuştur. Sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu kullanılmıştır. Sistemin ısıtma devresinde yoğuşturucu suyu çıkış sıcaklığı 71 ^{0}C iken, soğutma uygulamasında 4 ^{0}C sıcaklıkta soğutulmuş su elde edilmiştir. Soğutucu akışkan olarak R12 kullanılan sistemin etkinliği 5.1 olduğu tespit edilmiştir (Montagnon, 1954).

Isı pompası uygulamaları 1960-1970 yılları arasında bütün dünyada hızla artmış, Japonya, İsveç ve Fransa da ısı kaynağı olarak havanın kullanıldığı çok sayıda küçük üniteli ısı pompası üretimi yapılmıştır.

Amerika'da çoğunluğu Güney Amerika'da kurulmak üzere 1963 yılında yaklaşık 76000 adet ısı pompası ünitesi imal edilmiştir. Bu üniteler yazın soğutma, kışın ısıtma yapan ünitelerdir (Pietsch, 1977).

Ev sıcak su ihtiyacının karşılanmasında ısı pompası kullanımının araştırılması 1950 yılında Amerika'da başlamıştır. Yapılan son çalışmalarda ısı pompası ile sıcak su üretimini elektriği doğrudan kullanarak sıcak su elde etmeye göre daha ekonomik olduğunu göstermiştir. Isı pompalarına olan ilgi yakıt maliyetlerinin hızla yükselmesiyle artmıştır (Heap, 1979).

3.5 kW lık ticari bir oda klimasını su ısıtma ve ortamın soğutmasını sağlamak amacıyla değiştirerek sadece klima ve soğutma-sıcak su üretimi için deneyler yapmıştır. Sistemin ünitelerinin kapasitesini değiştirmeden sıcak su üretilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada suyun direkt elektrikle ısıtmadan daha verimli ısıtılabileceğini göstermiştir (Ying, 1989).

Şendağ (1992), soğutucu akışkan olarak Freon 12 kullanıldığı bir ısı pompası sistemi yapmıştır. Sistemde bir mahalin ısıtılıp soğutulması, yaz ve kış aylarında sıcak ve soğuk su ihtiyacının karşılanması amaç edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sistemin etkinliği hesaplanmış ve uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Özgören (1996) yapmış olduğu çalışmada, bir ortamın ısıtılması ve soğutulması ile birlikte yıl boyu sıcak su ihtiyacının karşılanmasını amaçlayan ısı pompası sisteminin tasarımı ve montajını yapmıştır. Çalışmada soğutucu akışkan

olarak R-22 kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak dış ortam havası kullanılmıştır. Sistem hava-hava ısı pompası olarak çalıştırıldığında, ısıtma etkinliği 2.2, soğutma etkinliği 1.54 bulunmuştur. Sistem hava-su ısı pompası olarak çalıştırıldığında, ısıtma etkinliği 2.3, soğutma etkinliği 1.6 bulunmuştur. Sistem su-hava ısı pompası olarak çalıştırıldığında, ısıtma etkinliği 2.21, soğutma etkinliği 1.53 bulunmuştur. Sistem sadece su ısıtmak amacıyla kullanıldığında, ısıtma etkinliği 1.84 olarak hesaplanmıştır.

1999 yılında Antalya'da bir otelde sudan-suya ısı geri kazanımlı ısı pompası uygulamalı yapılan çalışmada yazın soğutma amacıyla harcanan enerjide %16, sıcak su hazırlamak için harcanan enerjide %75 tasarruf sağlanmıştır. Aynı çalışmada kışın ısı pompası ile ısıtma işleminde %34 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Sistemde ısı kaynağı olarak yaz döneminde binalardan çekilen enerjinin, sıcak su hazırlamada kullanılması, ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu hazırlanması amacıyla deniz suyu kullanılmıştır (Doğan, 1999).

Güngör ve Kurtuluş (2001) endüstriyel proseslerde enerji kazanımında ısı pompalarının kullanımı üzerine yapmış oldukları çalışmada ısı pompalarının uygulama tipleri ele alınmıştır. Kapalı çevrim ısı pompası uygulamalarından hava-hava ısı pompası, hava-su ısı pompası, su-su ısı pompası sistemleri incelenmiştir. Isı pompalarının açık çevrim ve yarı açık çevrimlerinin uygulandığı sistemler üzerinde durulmuş, ısı geri kazanımı tasarım kuralları verilmiştir.

Back ve ark. (2005) bir otel saunasındaki atık su ısısını ısı kaynağı olarak kullanarak bir ısı pompası dizayn ve analiz etmişlerdir. Isı pompasını otelde kullanmak üzere sıcak su elde etmek amacıyla kullanmışlardır. Kış sezonunda hafta sonu hariç otel sıcak su ihtiyacının bu sistemden karşılanabileceğini göstermişlerdir. Ortalama ısı pompası ısıtma etkinliğini 4.8 olarak bulmuşlardır. Kore gibi bölgelerde ısı pompasının sıcak su elde etmek amacıyla kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Isı pompalı atık ısı geri kazanımlı, sıcak su hazırlama sistemi nispeten daha düşük sıcaklıkta bulunan ve doğrudan kullanımı mümkün olmayan atık maddelerdeki ısının alınıp daha yüksek ve kullanılabilir bir sıcaklığa yükseltildiği, ısı kaynağı ünitesi, ısı pompası ünitesi, ısı kullanım ünitesi, enerji dönüştürme sisteminden oluşan tesisin bütünüdür. Isı kaynağı ünitesi düşük sıcaklıktaki atık bir akışkanın kaynağından ısının çekilmesi ve ısı pompası ünitesi taşınmasını sağlayan elemanlardan oluşur. Isı pompası ünitesi, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan iş yapılarak daha yüksek bir sıcaklığa çıkarılmasını sağlayan, belirli bir termodinamik çevrimi takip eden ve bu amaç için gerekli ekipmanlardan oluşan bölümdür. Isı kullanım ünitesi ısı pompasından alınan faydalı ısıyı alarak kullanım yerlerine taşıyan ünitedir.

Tasarımı ve montajı yapılan ısı pompası sistemi incelemeye başlanmadan önce ısı pompası ile beraber ısı pompası sistemleri, sistemini oluşturan ana elemanlar, yardımcı elemanlar, soğutucu akışkanlar hakkında genel bilgiler verilecektir.

3.1 Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri

Atık ısının geri kazandırılması amacıyla farklı sistemler uygulanabilir. Atık ısıyı geri kazandıracak sistem seçilmeden önce mevcut sistemin proses ve işletme şartlarının iyi belirlenmesi gerekir. Bu şekilde mevcut sisteme bir geri kazanma cihazı eklendiğinde ortaya çıkabilecek sorunları önceden tahmin etmek mümkün olur. Bazı durumlarda atık ısının doğrudan kullanımını sağlayacak yöntemler uygulanabilir. Bu durumda yatırım maliyetleri oldukça düşük olur. Çoğu zaman atık maddelerin kolay ve ekonomik olarak temizlenemediği durumlarda atık ısının geri kazandırılması için bir sistemin kurulması zorunlu hale gelir. Geri kazandırılan ısı yanma havası ısıtmada, mahal ısıtmada, sıcak su hazırlamada ve kurutma gibi birçok alanda kullanılabilir.

Endüstride en çok sıcak gazlar ve sıvıların içerisindeki atık ısılar değerlendirilir. Sıcak sıvılardan ısı çekmek üzere endüstride yaygın olarak ısı değiştiriciler (eşanjörler) kullanılır. Kullanılan eşanjörler, borulu tip veya plaka tip olabilir. Sıcak gazlardaki atık ısıyı geri kazanmak için ise plaka ve serpantinli tip eşanjörler kullanılır.

Enerji fiyatlarının bugünkü konumu atık ısı geri kazanımı için yapılacak olan yatırımları karlı ve kısa sürede kendisini amorti eder hale getirmiştir.

3.1.1 Atık ısı prosesinin tanımlanması

Atık ısı geri kazanım sistemi seçiminden önce prosesin akış şeması çıkarılmalıdır. Bu şemada sistemde enerji taşıyan maddelerin akışı ve bu maddelerin özellikleri belirlenmelidir. Bu sayede sisteme bir atık ısı geri kazam ünitesi eklendiğinde ortaya çıkabilecek problemler önceden belirlenmiş olur. Kurulacak sistem ile meydana gelen değişikliklerin proses üzerinde aşırı sıcaklık artışına yol açıp açmayacağı, aşırı soğuyan akışkanların meydana getirebileceği sorunlar, prosesin kurulan sistemle performansında meydana gelebilecek olumsuzluklar önceden belirlenmesi gerekir.

3.1.2 Atık ısı geri kazanım ekipmanlarının seçimi

Atık ısı kaynağı belirlendikten ve bu ısının nerede ne amaçla kullanılacağı tespit edildikten sonra sisteme kazandırılacak ısı miktarı belirlenmelidir. Geri kazandırılacak atık ısı miktarı arttıkça sistemde kullanılacak ekipmanların kapasitesi buna paralel olarak yatırım maliyeti artar. Isıtılacak akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu, atık ısı taşıyan akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu, ısıtılan akışkanın ısıtılacağı maksimum sıcaklık atık ısı geri kazanım ekipmanlarını etkileyen faktörlerdir.

3.1.2.1 Sıvı akışkanlardan atık ısı geri kazanımı

Endüstriyel tesislerde sıvı akışkanlardan atık ısı çekmek amacıyla çoğunlukla ısı değiştiriciler kullanılır. Isı değiştiricide sıcak akışkan ısısını soğuk akışkana aktarır. Karışmayı önlemek için iki akışkanı birbirinden ayıran malzemeler kullanılır. Kullanılan malzemelerin ısı transferinin iyi olması, akışkanlardan etkilenmemesi, sistemde akış kayıplarına yol açmaması gibi birçok özelliklerde olması gerekir. Viskozitesi yüksek ve ısı kapasitesi düşük akışkanlar için ısı transfer yüzeylerinin kanatçıklarla artırılması yoluna gidilir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan ısıtıcı türleri borulu tip ve plaka tip ısı değiştiricilerdir. Her iki tip ısı değiştiricinin uygulandığı yerler ve bu ısı değiştiricilerin birbirlerine göre üstünlükleri farklılık arz eder.

Çizelge 3.1 Borulu ve plakalı ısı değiştiricilerin uygulama alanları.

Isı Değiştirici Tipi	Uygulama Alanı
Borulu tip ısı değiştirici	Soğutma sistemleri Fırın duvar ve kapılarında kullanılan soğutucular Motorlar, hava kompresörleri, yağlama vb. sistemlerdeki soğutucular. Atık baca gazları ve sıvılar Proses akışkanları
Plaka tipi ısı değiştiriciler	Sıcak atık gaz ve sıvılar Buharlaştırıcı üniteleri Pastörize üniteleri

3.1.2.2 Gazlardan atık ısı geri kazanımı

Atık gazlarda ısı geri kazanımı amacıyla kurulacak atık ısı geri kazanım sistemleri enerji tasarrufu açısında büyük yayarlar sağlar. Sistem kurulmadan önce atık ısının tesis içerisinde nasıl değerlendirileceği belirlenmelidir. Prosesteki atık ısı, proses havasının ön ısıtılmasında, bina ısıtmasında, sıcak su hazırlanmasında kullanılabilir. Gazlardan atık ısı geri kazanımı amacıyla yaygın olarak kullanılan ısı

değiştiricileri, plaka tipi ısı değiştiricileri, ısı tekerleği, serpantinli ısı değiştiricileri, ısı borusu ve ısı pompasıdır.

3.2 Isı Pompaları

Isı doğal olarak yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar. Isı pompaları bunun tersi bir prensiple çalışan yani ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa nakleden ekipmanlardır. Sisteme verilen iş sayesinde düşük sıcaklıktaki toprak, hava, su gibi herhangi bir ısı kaynağından alınan ısıdan daha yüksek sıcaklıkta ısı elde etmek için kullanılan sistemdir. Sistemde verimi artırmak için özel akışkanlar kullanılır. Akışkanlar kapalı bir çevrimde dolaşır. Isı pompasının verimliliği transfer edilen ısının pompaya verilen işe oranı alarak ifade edilir. Isı pompaları da verililik 2-4 aralığında çıkar. Verimlilik değerinin bur rakamlardan düşük çıkması ısı pompasının ekonomik olmama ihtimalini yükseltir.

Isı pompaları ticari ve endüstriyel ısıtma ve soğutma sistemlerinde sıvılardaki, gazlardaki veya dış havadaki ısının değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir. Isı pompalarının ısı kaynağı olan sıvılar ve gazların sıcaklığı 10-60 ^{0}C aralığındadır. Bu sıcaklıktaki akışkanların içerisindeki ısıyı alıp sisteme kazandırmak diğer yöntemlerle verimli ve ekonomik olmayışı ısı pompasının kullanımını avantajlı kılar. Bu nedenle ısı pompası uygulamaları gelişmeye açık uygulamalardır.

3.2.1 Isı pompalarının sınıflandırılması

Isı pompalarının çok geniş uygulama alanları vardır. Bu uygulama alanları farklı kriterlere göre incelendiğinde çizelge 3.2 deki gibi bir sınıflandırma yapılabilir.

Çizelge 3.2 Isı pompalarının sınıflandırılması

Isının alındığı kaynağa göre	Hava Toprak Akarsu, göl, deniz,Yer altı suları Güneş enerjisi Jeotermal enerji Egzoz gazları, baca gazları, blöf suyu vb. atık ısı kaynakları
Isı alınıp verilen ortama göre	Havadan-havaya Havadan-suya Sudan-suya Sudan-havaya Topraktan-havaya Topraktan-suya
Termodinamik çevrime göre	Buhar sıkıştırmalı Absorbsiyonlu Termoelektrikli
Kullanım yerine göre	Ticari Sanayi Konutlar
Tesisin konumuna göre	Çatı Pencere Kat Müstakil
Elemanlarının yerleşimine göre	Paket Split

3.2.2 Isı pompalarının uygulama alanları

Isı pompaları, ısıtma, soğutma, sıcak su hazırlama, kurutma, nem alma gibi amaçlar için kullanılır. Isıtma amaçlı ısı pompalarında ısı kaynağı olarak hava, su, toprak ve jeotermal enerji kullanılabilir. Nem alma işleminin gerekli olduğu yerlerde ısı pompasının buharlaştırma ünitesinde havanın sıcaklığı çiğ noktasının altına kadar düşürülerek nemi alınır. Buharlaştırıcıda nemi alınan hava yoğuşturucuda tekrar ısıtılarak kurutma işlemlerinde kullanılabilir.

Ortam	Örnek	Uygunluk	Gider		Sıcaklık		Uygulama	
			Kurulum	İşletme ve Bakım	Değer	Değişim	Kullanım	Kısıtlama
HAVA								
Dış Hava	Açık hava	Dış hava sıcaklığına bağlı	Düşük	Makul	Değişken	Genelde aşırı	Standart	Buz çözdürme ve ilave ısı gerekir
Egzoz	Bina havalandırması	Mükemmel	Makul değil	Egzoz kirli veya yağlı olabilir	Mükemmel	Az	Enerji konumu için Mükemmel	Tipik yükler için yetersiz
SU								
Kuyu	Yer altı kuyusu	Mükemmel	Eski kuyu kullanılırsa düşük gider	Periyodik bakım gerekir	Genelde mükemmel ama yerleşim yerleri ile değişir.	Sabit	Genel	Çit duvarlı ısı değiştiricisi gerekebilir
Yüzey Suyu	Göl, nehir, akarsu	Yüksek akış oranı varsa mükemmel	Yaklaşım ve su kalitesine bağlı	Yaklaşım ve su kalitesine bağlı	Genelde tatmin edici	Kaynağa bağlı	Temiz su için kullanışlı	Genelde düzenlenmiş
Şehir Suyu	Belediye suyu	Mükemmel	Düşük	Düşük enerji gideri	Mükemmel	Genelde düşük	Ayarlamalar ile kullanım azalır	Korozyona uğrama riski var
Yoğunlaşma	Soğutma kulesi, soğutma sistemi	Mükemmel	Genelde düşük	Makul	Isı kaynağı olarak tercih edilir	Kaynağa bağlı	Kullanılabilir	Isı ihtiyacı ısı geri dönüşüne eşit ise uygundur
Kapalı Çevrim	Su çevrimli ısı pompaları	İyi, çevrimin ek ısı ihtiyacı vardır	Düşük	Makul değil	Tasarımdaki gibi	Tasarımdaki gibi	Çok genel	Büyük binalar için kullanışlı
Atık	Lağım veya pis su	Mükemmele yakın	Lağım kullanımı için yüksek	Değişken	Mükemmel	Genelde düşük	Büyük sistemler için pratik	Aşınma, korozyon ve pislenme tehlikesi
YER								
Toprak Kaynaklı	Gömülü akışkan çevrimleri	Yer nemli ise uygundur	Oldukça makul	Düşük	Genelde iyi	Yatay sistemlerde düşüş	Hızlı yükselen	Yüksek ilk yatırım
Direk Genleşmeli	Soğutucu akışkan kullanılan yer bobinleri	Toprak özelliklerine göre değişken	Yüksek	Yüksek	Tasarıma bağlı	Genelde düşük	Oldukça kısıtlı	Tamiratı zor
GÜNEŞ ENERJİSİ								
Direkt veya Isıtılmış Su	Güneş kollektörleri ve panelleri	Yüksek	Oldukça yüksek	Oldukça makul	Değişken	Uygun	Kısıtlı	Ek kaynak veya depo gerekli
ENDÜSTRİYEL PROSES								
Proses Isısı veya Egzoz	Damıtma, temizleme, yıkama ve kurulama	Mükemmele yakın	Değişken	Genelde düşük	Değişken	Değişken	Değişken	Pahalı olabilir

Çizelge 3.3 Isı pompalarının ısı kaynaklarının karşılaştırılması (Güngör, 2001)

Bir yerin ısıtılıp soğutulması için tersinir hava-hava, hava-su ısı pompaları kullanılır. Bu tip ısı pompaları iç ve dış ünitelerden oluşan split klimalardır. Endüstriyel işletmelerde işlevini tamamlayarak dış ortama bırakılan sıvı ve gazların içerisindeki atık ısılar ısı pompaları aracılığı ile sıcaklığı yükseltilerek tekrar yararlı hale dönüştürülebilir. Isı pompasının uygulama alanları çizelge 3.4'de verilmiştir.

3.2.3 Isı pompası sistemlerinin kapasitesinin belirlenmesi ve seçimi

Bir sistemde ısı pompası aracılığı ile ısıtma, soğutma, nem alma ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmek istendiğinde sistemin ısıtma ve soğutma yükleri önceden hesaplanmalı ve buna göre ısı pompası ekipmanları boyutlandırılmalıdır. Isıtma ve soğutma yüklerinin hesabında klasik hesap yöntemleri kullanılır. Çeşitli amaçlar için kullanılan uygulamalı ısı pompalarının kapasiteleri 7 kW ile 14 MW arasında değişmektedir. Bu makinelerin bazılarından 105 ^{0}C sıcaklığa kadar su çıkışı ve 400 kPa basınç elde edilir.

Sistemde esas olan ısıtma yükü ise buna göre hesap yapılmalı yapılan hesap soğutma yüküne göre de kontrol edilmelidir. Sistemin ihtiyaç duyduğu yükü ısı pompasının karşılayıp karşılamadığı dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir. Kritik durumlarda ısı pompası sistemini destekleyici bir sistem veya alternatif bir sistem kurulmalıdır. Isı pompasının ihtiyaç duyulan ısıyı karşılayamadığı durumlarda devreye sokulan sisteme destekleyici sistem, ısı pompasının işlevini tamamen yapamaz duruma geldiği durumlarda devreye alınan sisteme alternatif sistem denir. İkili sistemde ısı pompası ana ısıtmayı sağlar.

Isı pompasının etkinliği genellikle 2-4 aralığında çıkar. Bu etkinlik değeri ısı kaynağının sıcaklığının düşmesi ile düşer. Bu nedenle çoğu hava kaynaklı ısı pompalarında dış hava sıcaklığının düşmesiyle ısı pompası ihtiyacı karşılayamaz duruma düşer. Bu durumda destekleyici sistemin devreye sokulması gerekir. Karasal iklimin yaygın olduğu bölgelerde dış hava sıcaklığının aşırı derecede düşmesi ısıtma ihtiyacının karşılanması açısından sorunlar yaratır. Bu durumda sistem elektrikli ısıtıcılar ile desteklenmelidir. Su ve toprak kaynaklı ısı pompalarında kaynağın sıcaklığı dış hava gibi önemli değişimler göstermediği için bu sorunlar yaşanmaz.

Atık ısını geri kazanımının ısı pompası ile sağlandığı proseslerde atık sıvı ve gazların sıcaklığında bir değişme olmadığından ısı pompasının performansında mevsimsel değişmeler yaşanmaz. Ancak ihtiyaç duyulan ısı miktarında mevsimsel değişimler söz konusu olduğunda sistem maksimum yüke göre planlanmalı ve buna göre kapasite seçimi yapılmalıdır.

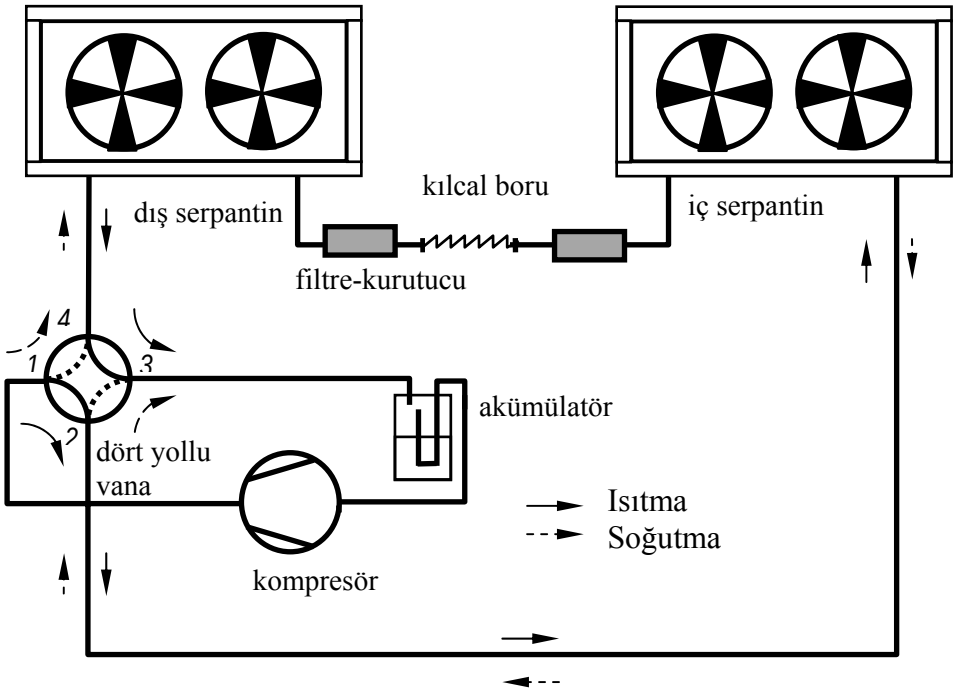
Çizelge 3.4 Isı pompasının uygulama alanları

Isı pompası	Uygulama alanları
Isıtma amaçlı ısı pompası	Müstakil evlerin odaları, ofis, lokanta alanları Radyatör, konvektör, yerden ısıtma sistemleriyle merkezi ortam ısıtılması Yüzme havuzları, çamaşırhaneler gibi yerlerde kullanma sıcak suyu hazırlama Seralarda toprak ısıtılması gibi zirai uygulamalarda
Isıtma – soğutma amaçlı	Balık işleme ünitelerinde buz üretimi, temizlik için sıcak su üretimi Et işleme ünitelerinde soğutma ve buz üretimi, temizlik için sıcak su üretimi Zirai alanlarda ortam ve ürün soğutulması, temizlik için sıcak su üretimi Mandıralarda ürün soğutulması, temizlik için sıcak su üretimi Mezbahalarda soğuk odalar ve derin dondurucu odalar, temizlik için sıcak su üretimi Buz sahalarında soğuk odalar ve buz üretimi, ortam ısıtılması Ticari soğutma depolarında soğuk odalar, ortam ısıtılması Meyve suyu fabrikalarında soğuk odalar, ortam ısıtılması Yemekhanelerde kiler soğutulması, temizlik için sıcak su üretimi Endüstriyel enerji merkezlerinde salamura, buz üretimi ve su soğutulması, temizlik için sıcak su üretimi
Isı geri kazanım amaçlı	Çamaşırhaneler, oteller ve hastanelerde atık su ve hava ile atılan ısının sıcak su ve ortam ısıtılması amacıyla kullanımı Boyahaneler ve diğer tekstil işleme ünitelerinde atık su ile atılan ısının sıcak su üretimi amacıyla kullanımı Dökümhanelerde atılan soğutma suyu içerindeki ısının ısınma ve sıcak su amacıyla kullanımı Kağıt üretme ve işleme endüstrisinde atık su ile atılan ısının sıcak su amacıyla kullanımı Kurutma tesislerinde su buharı ile atılan ısının kurutma havası amacıyla kullanımı Endüstriyel buhar kazanlarında blöf vanası ile atılan su içerisindeki ısının ısınma ve sıcak su üretimi amacıyla kullanımı

3.2.4 Isı pompalarının çalışma prensibi

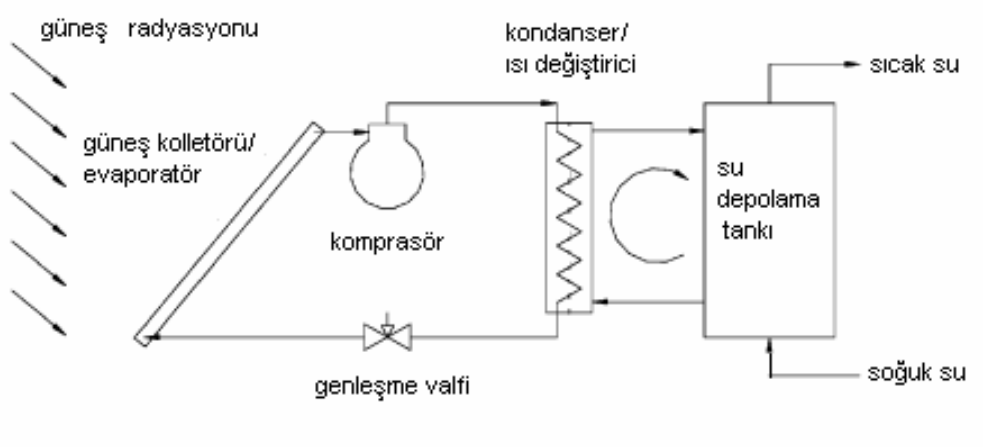
Bütün soğutucu cihazlar düşük sıcaklık ortamında aldıkları ısıyı yüksek sıcaklık ortamına verirler. Isı pompasının ısı kaynağının sıcaklığı ısı pompası verimini doğrudan etkiler. Isı kaynağı olarak değişik ortamlar kullanılabilir. Bunlar çoğunlukla hava, toprak, su, jeotermal enerji, güneş atık gazlar ve sıvılar olabilir. Isı pompasının verimi ve buna bağlı olarak ekonomikliği aynı zamanda ısı kaynağına da bağlıdır. Hava kaynaklı ısı pompalarında dış hava sıcaklığının düşmesi ile bir takım sorunlar yaşanabilir. Su kaynaklı ısı pompalarının yapısı oldukça karmaşıktır. 80 m derinliğinde kuyu suyu veya göl ve nehir suyundan yararlanılabilir. Güneş enerjisi destekli ısı pompalarında havanın kapalı olduğu ve ısı ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında özellikle güneşin hiç olmadığı gece vakitlerinde ısı ihtiyacının karşılanması açısından sorunlar yaşanır. Jeotermal kaynaklı ısı pompalarının uygulanabilmesi için bölgenin jeotermal enerji kaynağına sahip olması gerekir. Bu sistemlerin kaynak sıcaklığının yüksek olması ısı pompasının performansının çok iyi olmasını sağlar. Atık ısı geri kazanımlı ısı pompası uygulamalarında sisteme entegre edilen ısı pompası sistemin işleyişini etkilememelidir. Ayrıca atık ısıyı taşıyan sıvı ve gazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ısı pompası sistemine zarar vermemesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Şekil 3.1'de soğutucu akışkanın yönünü ters çevirmek suretiyle ortamın kışın ısıtılmasını yazın soğutulmasını sağlayabilen hava-hava ısı pompasının akış şeması görülmektedir. Sistemde soğutucu akışkanın yönü dört yollu selenoid vana ile gerçekleştirilmektedir. Sistemde soğutucu akışkan buharlaştırıcıya, ortam sıcaklığından daha düşük olan buharlaşma sıcaklığında sıvı halde girer. Ortamdan buharlaştırıcıya, soğutucu akışkanın entalpisini sağlamak üzere ısı akımı olur. Buharlaşan akışkan, kompresör aracılığı ile yoğuşturucuda sıkıştırılarak sıcaklığı yükseltilir. Isıtılması istenen iç ortama konulan yoğuşturucu yüzey sıcaklığı iç ortam sıcaklığından daha yüksek olduğu için yoğuşturucudan iç ortama bir ısı akımı olur. Gizli ısısını iç ortama veren yoğuşturucudaki gaz halindeki akışkan sıvı hale dönerek genleşme valfine gelir. Buhar sıkıştırmalı çevrime göre çalışan bu tür ısı pompaları yaygın olarak kullanılmaktadır.



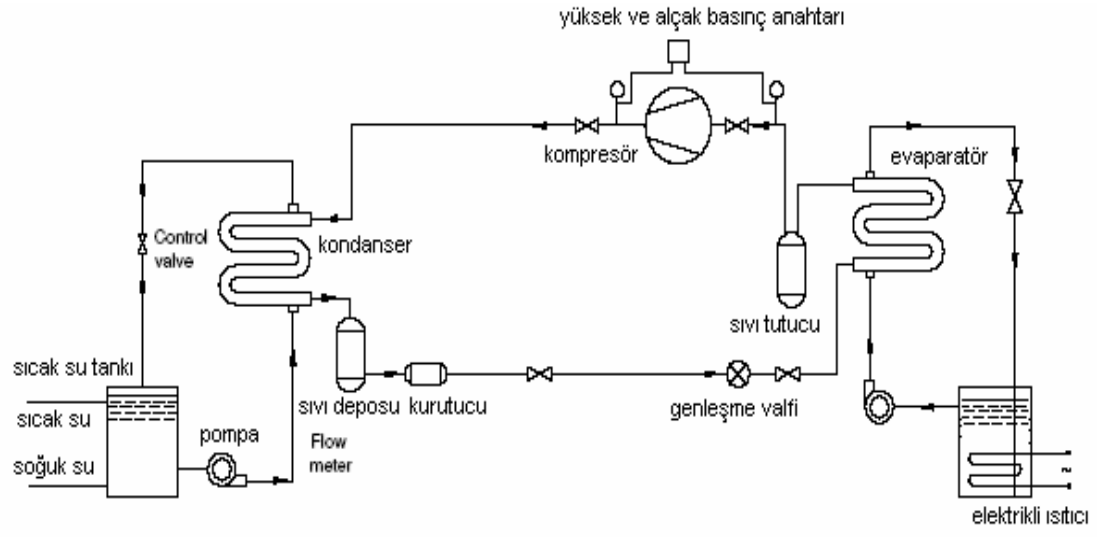
Şekil 3.1 Dış hava kaynaklı hava-hava ısı pompasının çalışma prensip şeması

Şekil 3.2'de ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanıldığı, sıcak su hazırlama amacıyla kullanılan ısı pompasının şeması görülmektedir. Güneş radyasyonu ile gelen ısı enerjisi güneş kolektörleri aracılığı ile toplanarak aynı zamanda ısı pompasının buharlaşma ünitesi olan buharlaştırıcıya aktarılır. Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda buharlaşma basıncına düşürülmesiyle kollektör yüzeyine gelen ısı enerjisi, buharlaşan soğutucu akışkana yüklenir. Kompresörde yapılan sıkıştırmama işlemiyle, soğutucu akışkanın basıncı, buna bağlı olarak sıcaklığı artırılır. Yüksek basınçtaki ve sıcaklıktaki soğutucu akışkanın sıcaklığı ısı değiştiricide (yoğuşturucu) düşürülerek sıvı hale dönmesi sağlanır. Transfer edilen ısı bir depolama tankta kullanım sıcak suyu amacıyla depolanır. Bu sistemlerin ısı kaynağının sadece güneşe bağımlı olması güneşin olmadığı zamanlarda sistemin başka ısıtma araçlarıyla desteklenmesini gerektirir.



Şekil 3.2 Güneş enerjisi kaynaklı hava-su ısı pompasının çalışma prensip şeması

Şekil 3.3'de ısı kaynağı dış hava olan, kullanma sıcak suyunun hazırlandığı bir hava-su ısı pompasının çalışma şeması görülmektedir.

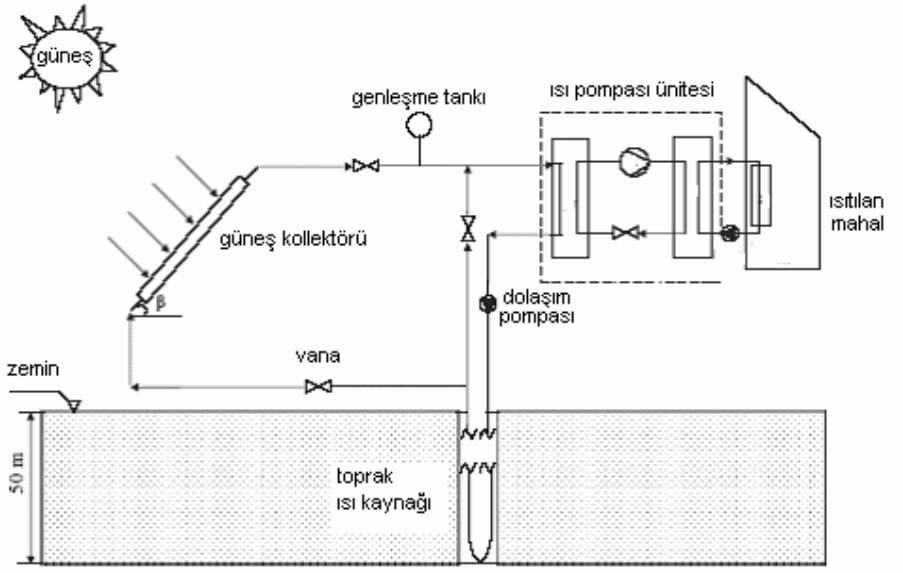


Şekil 3.3 Dış hava kaynaklı hava-su ısı pompasının çalışma prensip şeması

Sistemde dış oltamda bulunan buharlaştırıcı içindeki soğutucu akışkan buharlaşırken, ortamdan ısı çekmektedir. Kompresör aracılığı ile yoğuşturucuda sıkıştırılan soğutucu akışkanın ısısı, yoğuşturucuda artırılır. Sıcak su depolama tankındaki su ile yoğuşturucu ısısı düşürülerek, soğutucu akışkanın yoğuşması

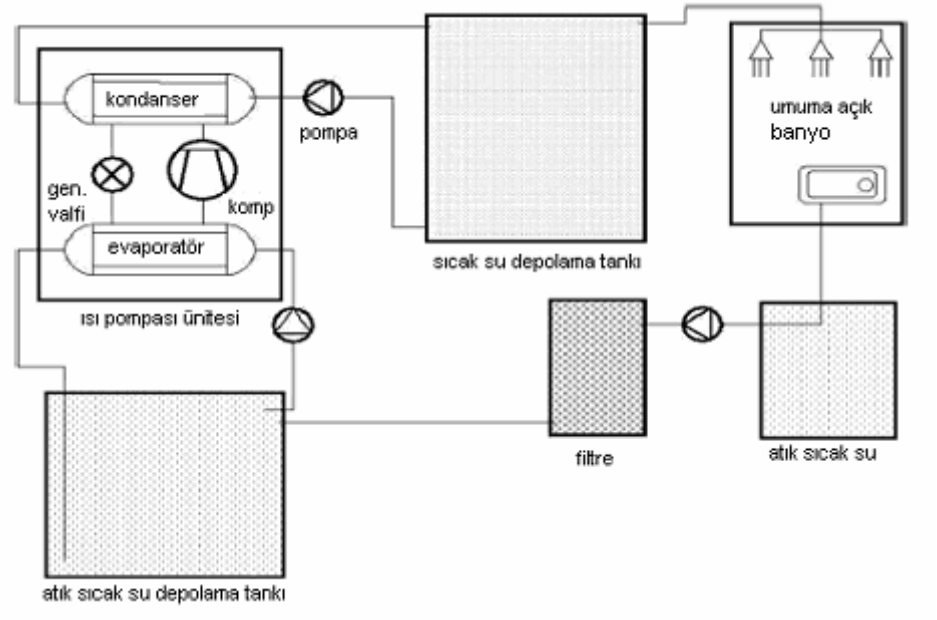
sağlanır. Yoğuşma esnasında yoğuşturucuda soğutucu akışkanın gizli ısısı depolama tankındaki suya aktarılmış olur. Sistemde dış hava sıcaklığının düşmesi durumunda, ısı pompasının etkinliği de azalır. Bu durumda ısı pompasının sıcak su ihtiyacını karşılamayabilme problemi oluşur. Sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla sistem elektrikli ısıtıcılar ile desteklenmiştir.

Şekil 3.4'de ısı kaynağı olarak güneş ile birlikte toprağın kullanıldığı ısı pompası görülmektedir. Sistemin esas ısı kaynağı güneş enerjisi olmakla beraber güneşin olmadığı durumlarda ısı pompası sistemi ısı enerjisini topraktan alabilmektedir. Toprak sıcaklığının atmosferik hava şartlarına göre önemli değişimler göstermemesi toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde enerji talebinin karşılanmasında önemli sorunlar yaratmaz. Şekil 3.4 de görülen sistem, mahal ısıtması amacıyla tasarlanmıştır. Aynı sistem ile sıcak su elde etmek de mümkündür.



Şekil 3.4 Güneş enerjisi ve toprak kaynaklı bir ısı pompasının çalışma prensip şeması

Şekil 3.5'de atık ısı geri kazanımlı bir ısı pompası ile kullanma sıcak suyu üreten su-su ısı pompasının çalışma şekli verilmiştir. Atık ısı kaynağı olarak bir otelin banyosundan akıtılan kirli sudan yararlanılmıştır. Bir depolama tankında depolanan sıcak kirli su, filtre edildikten sonra başka bir depolama tankına alınmıştır. Kirli suyun içindeki atık ısı, ısı pompasının buharlaştırıcısında ısı pompası sistemine alınarak, yoğuşturucuda temiz suya aktarılır ve depolanır..



Şekil 3.5 Atık ısı geri kazanımlı su-su ısı pompasının çalışma prensip şeması

3.2.5 Türkiye'de ısı pompası uygulamaları

Ülkemizde ısı ile ilgili çalışmalar daha çok araştırma aşmasında olan çalışmalardır. Paket tipi split ısı pompası amaçlı cihazlar yaygın olarak kullanılmakla beraber ısı pompası ile merkezi olarak ısıtma veya sıcak su hazırlama amacıyla kurulmuş olan sistemler yok denilecek kadar azdır.

Deniz kuvvetleri komutanlığının bir kuruluşunda kurulu gücü 1500 kW olan iki adet ısı pompası tesis edilmiştir. Kullanılan ısı pompası ile deniz suyundan alınan ısı 260 m^2 olimpik kapalı yüzme havuzunun suyunun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Yüzme havuzunun suyunun sıcaklığı 23-26 ^{0}C dır. Sistemde vidalı tip kompresörle yüzme havuzunun suyu ısıtılmakta, pistonlu tip kompresörle değişken ısı isteyen diğer yerlerin ısı ihtiyacı karşılanmaktadır (EİE, 1987). Bunların dışında üniversitelerde deneysel ve teorik olarak birçok ısı pompası çalışmaları yapılmaktadır.

3.2.6 Isı pompasının pazar oluşumunu geciktiren faktörler

Isı pompası kullanımının, enerji tasarrufu, atık ısının değerlendirilmesi, güvenilirliğinim yüksek olması, bakım gereksiniminin düşük olması, aşınma sorununun olmaması, kullanım ömrünün yüksek olması, düşük yüklerde çalışması halinde bile veriminin yüksek olması ve çevre kirliliğine yol açmaması gibi avantajlarının bilinmesine ve bu alanda çok sayıda çalışma yapılmasına karşın yaygın olarak kullanımı sağlanamamış ve ısı pompası pazar oluşumunda istenen noktaya gelinememiştir (Özgören, 1996).

Isı pompasının pazar oluşumunu geciktiren nedenler, ısı pompasını kullanmayı amaçlayan ülkelere göre farklılık göstermekle beraber genel olarak aşağıdaki maddelere göre sıralanabilir.

1. Endüstriyel uygulamalarda mevcut ısı kaynağından çekilen ısının kullanım yerinin ısı talebini büyüklük, zaman ve sıcaklık açısından karşılayamaması.

2. Isı pompasına alternatif diğer yakıt fiyatlarının düşük olması.

3. Önceki uygulamalarda tesis edilen ısı pompası sistemlerinin güvenilirlik. performans, işletme, yüksek karlılık gibi tüketici tarafından istenen şartları yerine getirememesi nedeniyle tüketicinin güveninin kaybolması.

4. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması.

5. Sirkülasyon pompası ve diğer kontrol ekipmanlarının sisteme ek maliyetler getirmesi.

6. Tesisin karlılığının az olması.

7. Tesisin planlama ve kuruluş hataları, servis ve işletme maliyetlerinin yüksek olması.

3.3 Isı Pompası Sisteminin Elemanları

3.3.1 Kompresör

Kompresörler soğutma sisteminin kalbi olarak ele alınabilir. Kompresör soğutucu akışkanı çevrim boyunca dolaştırarak soğuk ısı kaynağından sıcak ısı

kaynağına ısı iletimini sağlayan cihazdır. Başka bir değişle kompresör, alçak basınçtaki buhar halindeki soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçta olan yoğuşturucuya gönderen iş yutan makinelerdir. İdeal bir kompresörde aşağıdaki özellikler aranır:

1. İlk kalkıştaki dönme momentinin az olması
2. Değişik çalışma şartlarında emniyet ve güvenliği muhafaza edebilmesi
3. Titreşim ve gürültü seviyesinin düşük olması, değişik çalışma yüklerinde değişmemesi
4. Maliyetinin az olması, ömrünün uzun olması
5. Çalışma verimin yüksek olması, verimin değişik çalışma yüklerinde değişmemesi.

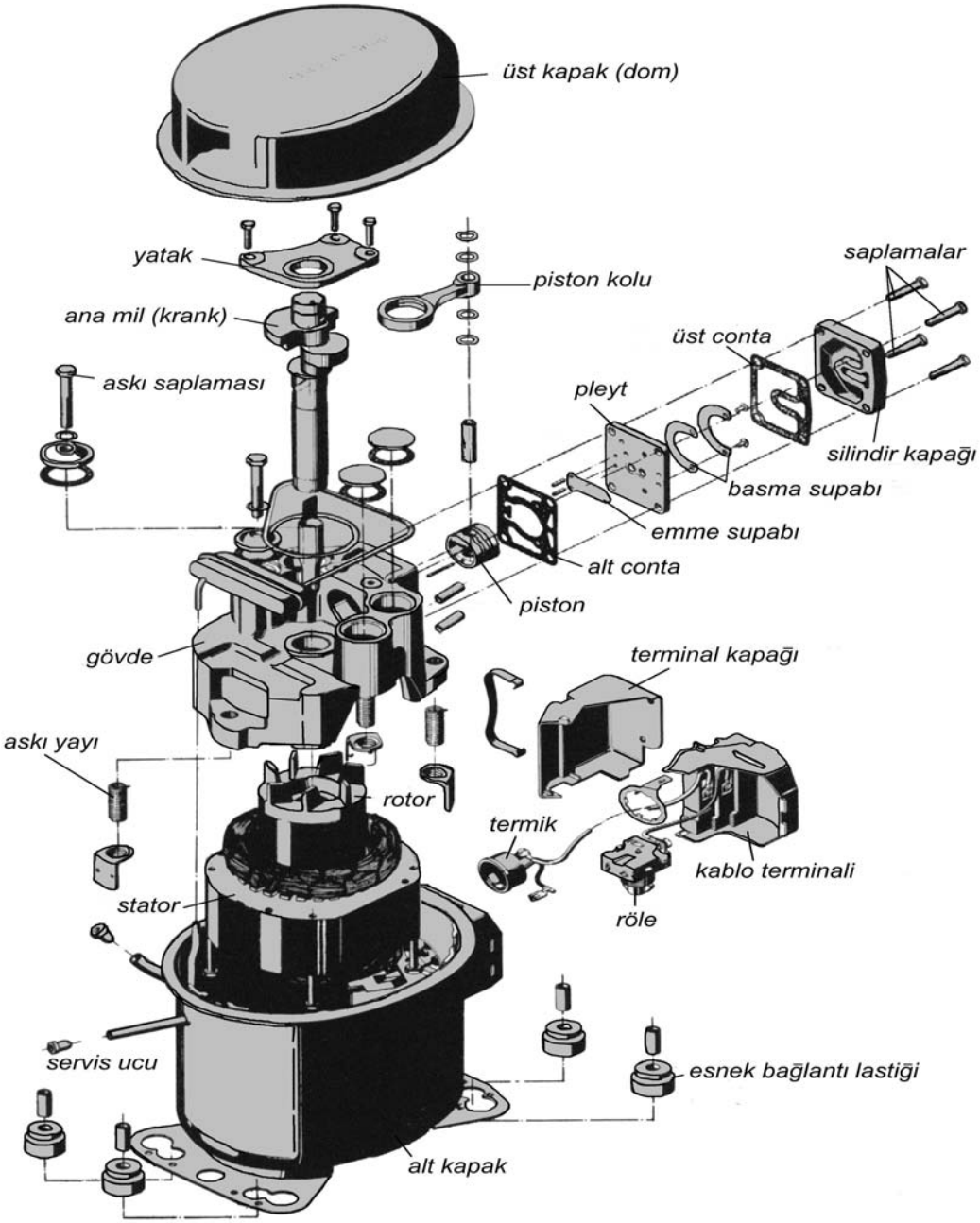
Buharlaştırıcıdan çıkan buharı yoğuşturucuda sıkıştırmak için farklı tiplerde kompresörler kullanılır. Bunlar,

1. Pistonlu kompresörler,
2. Rölatif (Dönel, Rotorlu, Rotary) kompresörler,
3. Helisel (Vidalı) kompresörler,
4. Santrifüj (Turbo) kompresörler,
5. Scroll kompresörler.

Pistonlu kompresörler açık tip ve hermetik olarak iki guruba ayrılır. Açık tip kompresörler, kayış tahrikli yada doğrudan bağlantılı dış motor tahrikli olurlar. Açık tip kompresörlerin soğutma kapasitesine göre devirlerinin ayarlanabilmesi, düzenli olmayan voltaj ve frekanslar için değiştirilebilir değişik motor seçeneklerinin bulunması bakım ve onarımının her zaman yerinde yapılması, motor yanınca bütün kompresörün sökülmemesi avantajlarındandır.

Bununla beraber hermetik kompresörlerin açık tiplere nazaran aynı oranda avantajları vardır. Bunlardan en önemlisi mil sızdırmazlık elemanlarının olmamasıdır. Hermetik tip kompresörlerin diğer avantajları, küçük olması daha kompakt olması, titreşimlerden az etkilenmesi ve motorunun sürekli soğutulması ile iyi bir şekilde yağlanmasıdır.

Sistemde pistonlu hermetik tip kompresör kullanılmıştır. Kullanılan hermetik tip kompresörün iç yapısı şekil 3.6 da verilmiştir. Çizelge 3.5 Sistemde kullanılan kompresörün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.6 Hermetik bir kompresörün genel görünümü ve iç yapısı

Çizelge 3.5 Sistemde kullanılan kompresörün teknik özellikleri

Marka	Chunlan
Tipi	Q2.0
Güç	1472 W (2 BG)
Voltaj	220 V
Frekans	50Hz
Soğutucu akışkan	R134a
Piston çapı	49.8 mm

3.3.2 Soğutucu akışkan

Soğutucu akışkan ısının taşıyıcı maddesidir. Görevi atık suyun içindeki ısıyı alıp başka bir akışkana aktarmaktır. Isı kendi doğal akış yönünün tersine hareket eder. Bunun için soğutma maddesi devam eden bir işlem içinde, kendi madde halini sıvıdan gaza ters yönde değiştirmeye müsaittir.

Soğutucu akışkanın kaynama noktası, basınca ve sıcaklığa bağlıdır. Atmosfer basıncında su 100 ^{0}C buharlaşırken bazı soğutucu akışkanlar -30 ^{0}C da buharlaşır. Soğutucu akışkanların klima sistemlerinde kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler şunlardır;

1. Daha az bir enerji sarfiyatı ile daha çok soğutma elde edilebilmelidir.
2. Soğutucu akışkanın buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır.
3. Yoğuşturucuda basınç mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır.
4. Yoğuşma basıncı düşük olmalıdır.
5. Viskozitesi düşük ve yüzey gerilimi az olmalıdır.
6. Yağlama yağları ve soğutma devresi elemanları ile zararlı sonuçlar doğurabilecek reaksiyonlara girmemelidir.
7. Sistemden kaçması üzerine fark edilebilmeli, çevreye, insanlara ve diğer canlılara zarar vermemelidir.
8. Havaya karıştığı zaman yanıcı ve patlayıcı bir ortam oluşturmamalıdır.
9. Çalışma sıcaklıkları ve basıncının en uç noktalarında bile ayrışmamalı, özelliğini korumalıdır.

10. Temini kolay ve fiyatı düşük olmalıdır.

11. Kritik noktası ve kaynama sıcaklığı kullanılacağı soğutma sistemine uygun olmalıdır.

Endüstride uzun yıllar bu şartları yerine getirebilen soğutucu akışkanlar aranmıştır. Patlama tehlikesinden dolayı kullanılmayan eterin yanında amonyak (R-717) dünyaca geçerli bir soğutucu akışkan olmuş ve hala çok sık kullanılmaktadır. Amonyak zehirleyici ve bir ölçüde yanıcı patlayıcı olmasına rağmen mükemmel ısı özelliklerine sahip olması sebebiyle tercih edilen bir soğutucu akışkandır.

Bugüne kadar soğutma maksadı ile en çok kullanılan soğutucu akışkanlardan biride R-12 (CCl_2F_2) soğutucu akışkandır. Zehirli, patlayıcı ve yanıcı olmaması nedeni ile tamamen emniyetli bir maddedir. Isı transferi ve yoğuşma sıcaklıkları bakımından oldukça iyidir. Ancak ozon tabakasını en çok etkileyen soğutkanlardan biri olduğu için, uluslar arası antlaşmalarla kullanımı belirli bir takvime bağlanarak tamamen terk edilme durumundadır.

Soğutma uygulamalarında sıklıkla kullanılan başka bir soğutucu akışkanda R-22 ($CHClF_2$) dır. R-12 soğutucu akışkanın özelliklerini taşır. R-22 derin soğutma uygulamalarına cevap vermesi için geliştirilmiş bir soğutucu akışkandır. R-12 nazaran 0.6 kat daha kompakt kompresör gerektirmesi yer kazanımı sağladığından paket tipi klima cihazlarında, ev tipi ve ticari tip soğutuculardа yaygın olarak kullanılır.

3.3.2.1 Soğutucu akışkan R-134a

1987 yılında Montreal' de yol gösterici bir çevre koruma konferansı yapıldı. 30'un üzerinde ülke zararlı FKHC emisyonlarını 1998 yılına kadar azaltmak için protokol imzaladı. Bundan araç klima donanımlarındaki soğutma maddeleri de etkilendi. Bu güne kadar kullanılan ve klor ihtiva eden soğutucu akışkan R-12 yerine mümkün olduğu kadar çabuk, çevre dostu bir maddenin bulunması gerekiyordu. Soğutma maddesi R-134a ile birlikte klor ihtiva etmeyen ve ozon tabakasını tahrip etmeyen alternatif bir soğutucu akışkan bulunmuş oldu. Bu gazın sera etkisi özelliği soğutma maddesi R-12 ye göre %90 azaltıldı

Soğutma maddesi R-134a bir soğutma maddesinde özellikleri yerine getirecek olan tek maddedir. ABD'de üç yıl süren araştırmalar bu maddenin zehirli olmadığını ortaya koymuştur.

Mevcut soğutma sisteminde en az değişiklik gerektiren akışkan, R12 nin yerine ikame edilen R134a dır. R12 de R134 a ye geçişte soğutma kapasite verileri ve güç gereksinimi uygun olmakla beraber sistemin mevcut mineral ve sentetik yağlama yağının polyolester türü bir yağ ile değiştirilmesi, genleşme valfinin çalışma şartlarına göre kontrol edilmesi gerekiyorsa değiştirilmesi gereklidir. R 134a çok düşük sıcaklıklarda (-15 ^{0}C'nin altı) soğutma kapasitesindeki aşırı düşme nedeni ile tavsiye edilmemektedir (Özkol, 1999).

Soğutma maddesi R-134a'nın kullanılması için ısı pompası donanımının yapısal olarak değiştirilmesi koşulu vardı. Küçük molekül ebadından ve biraz daha yüksek olan sistem basıncından dolayı yeni conta ve hortum malzemelerinin kullanılmasını gerektirdi.

3.3.3 Yağlama yağları

Soğutma sisteminde birçok elemanlarda bulunan hareketli parçalar, metal yüzeyler için zararlı olabilecek sürtünmeler yaratır. Soğutma sisteminde yağlama yağının görev yaptığı ve ait olduğu yer kompresördür. Kompresörde, sıkışma işlemi ve çalışma sırasında yağlama yağının üç ana görevi vardır.

1. Birbirine temas ederek hareket eden aksamın sürtünmesini azaltmak, aşınmayı yavaşlatmak.

2. Sıkıştırılan soğutkan gazın silindirlerden kartele kaçışını azaltmak, perdelemek ve sızdırmazlık sağlamak.

3. Sürtünme dolayısı ile meydana gelen ısıyı oluştuğu yerden taşıyıp ısı birikimini önlemek.

Sistemde soğutucu akışkan ile temas halinde olan yağ sıvı haldeki soğutucuyla karışarak birlikte dolaşır. Yağın kompresörün dışına çıkarak sıcak hattaki yoğuşturucu içine gitmesi kaçınılmazdır. Yağın sıvı soğutucu ile beraber dolaşarak buharlaştırıcıya ulaşması ve burada kalması buharlaştırıcı ısı transferi

katsayısını düşürür. Kompresörden aşırı miktardaki yağın soğutucu akışkanla beraber sisteme gitmesi kompresörün yağsız kalmasına da neden olabilir. Bu nedenle bazı sistemlerde kompresörle yoğuşturucu arasına bir yağ ayırıcı cihaz koymak gerekebilir. Soğutma kompresöründe kullanılan yağlama yağlarında, normal bir mekanik cihaz yağlamasından beklenenden çok daha fazla özellik aranır. Bu özellikler;

1. Sıkıştırılan soğutucu akışkanın, basınç tarafından emme tarafına sızmasını önlemelidir.

2. Kompresörün içinde hareket eden parçaların gürültüsünü kısmen de olsa yutmalıdır.

3. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcıya taşınan yağlama yağının, kompresöre dönüşümü sağlanmalı, düşük çalışma sıcaklıklarında bile yağlama yağı akıcı olmalı, soğutkanla karışım özelliğini kaybetmemelidir.

4. Yağlama yağının temasta bulunduğu soğutucu akışkan, metal yüzeyler ve diğer sistem elemanları ile kimyasal reaksiyona girip bozulmamalıdır.

5. Hermetik ve yarı hermetik kompresörlerin motor sargıları yağ ile temas edeceğinden yağın elektrik geçirgenliği çok düşük seviyede olmalıdır.

3.3.4 Yoğuşturucu (Kondenser)

Isı pompası sisteminin temel elemanlarından olan yoğuşturucular yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanı ısını başka bir akışkana vermek suretiyle sıvı hale gelmesini sağlayan elemandır. Yoğuşturucular sistemin yüksek basınç tarafına monte edilirler. Yoğuşturucunun ısıyı sıcak soğutucu akışkan buharından başka bir akışkana aktarabilme kabiliyeti yoğuşturucu kapasitesi olarak adlandırılır. Yoğuşturucunun ısı transfer kapasitesi, yoğuşturucu yapımında kullanılan malzemeye, yoğuşturucu yüzeyine, yoğuşma ortamı sıcaklığı ile soğutucu akışkan buharı arasındaki sıcaklık farkına ve yoğuşturucunun yüzeyinin temizliğine bağlıdır (Yamankaradeniz 2002). Başlıca üç tip yoğuşturucular mevcuttur. Bunlar,

1. Hava soğutmalı yoğuşturucular,

2. Su soğutmalı yoğuşturucular,

3. Buharlaştırmalı (evaporatif, hava ve su) tip yoğuşturucular.

Su soğutmalı yoğuşturucular borulu ve plakalı olarak iki tipte yapılır. Isı pompası sisteminde yoğuşturucu ünitesi olarak plakalı ısı eşanjörleri kullanılacaktır.

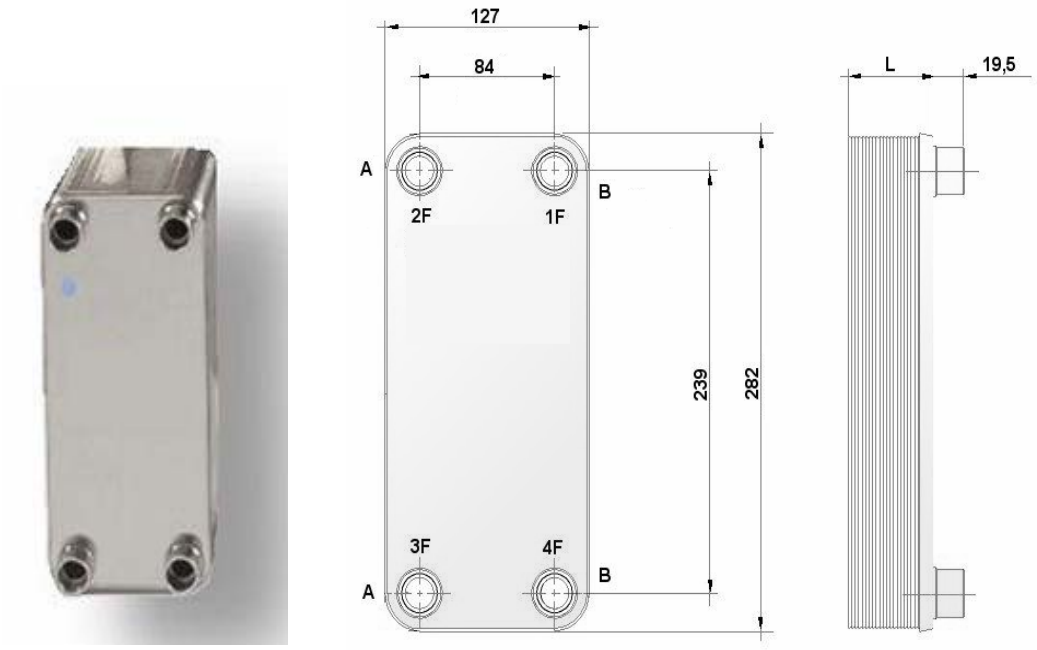
Isı eşanjörleri farklı sıcaklıkta iki akışkan arasında enerji transferi sağlayan bir cihazdır. İki akışkan arasında genellikle bir duvar yani yüzey alanı bulunur. Böylelikle iki akışkan birbirine karışmaz (Yılmaz, 1993). Yaklaşık 70 yıldır kullanılan plakalı ısı eşanjörleri günümüzde ısıtma soğutma ve ısı geri kazanımı amaçlı sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plakalı ısı eşanjörlerinin kullanım alanları şebeke suyu ısıtılması buharlaştırıcı ve yoğuşturucu olarak soğutma uygulamaları, hidrolik yağ soğutulması, buhar ile su ısıtılması, kimyasal işlemler, yiyecek ve süt işleme üniteleri, ısıtma havalandırma ve iklimlendirme alanları, gemiler, hava klimalarının çiller gurupları ve binalar, ticari soğutma üniteleri, gıda sanayi, kimyasal ve deniz suyu tesisleri, buz yapan tesisler ve ısı pompaları olarak sıralanabilir.

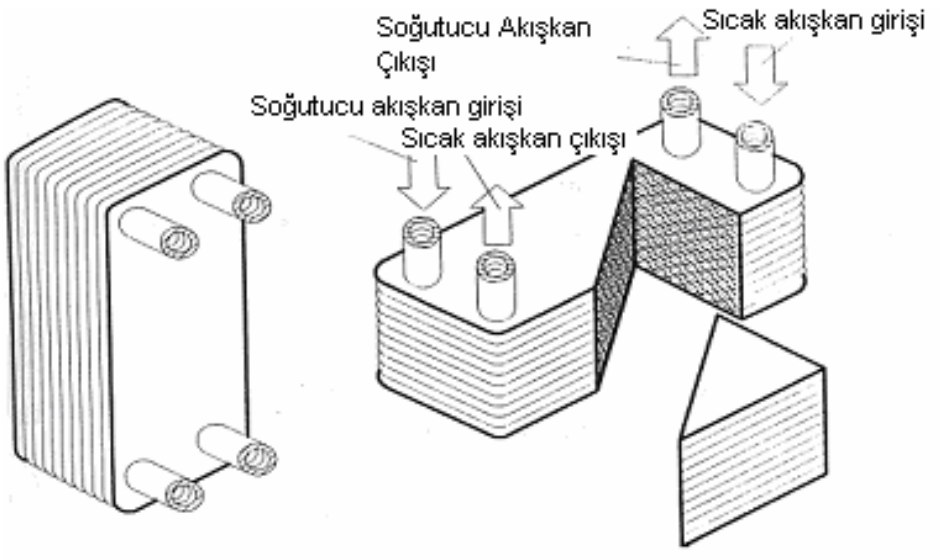
Plakalı ısı eşanjörlerinin yapısını oluşturan plakalar, plastik deformasyon olmadan elastik deformasyona dayanacak şekilde soğuk preslemeye uygun malzemelerden yapılır. Gerekli rijitliğin temini ve ısı transfer yüzeyini artırmak için plakalar, bütün yüzeyleri boyunca oluklar veya çukurlar oluşturularak pres edilmişlerdir. Plaka üzerindeki köşe delikleri her iki akışkanın karşılıklı kanallardan ve daima karşıt akış yönünde akacağı şekilde düzenlenmiştir. Plakalı ısı eşanjörlerinin bağlantıları conta bağlantılı, kaynaklı veya lehimli yapılabilir. Plaka malzemesi ve bağlantı uçları paslanmaz çelik malzemeden yapılır. Kaynak ve lehim malzemesi bakırdır. Kaynaklı ve lehimli bağlantılı plakalı ısı eşanjörleri amonyak hariç diğer tüm soğutucu akışkanlar için uygundur (Özgören, 1996).

Plakalı ısı esanjörlerinin buharlaştırıcı olarak kullanılması durumunda soğutucu akışkan dikey olarak yukarı doğru akar. Buharlaşma esnasında ısı transferi paralel veya karşıt akış ile çok düşük sıcaklık farklarında zorlanmış konveksiyonla gerçekleşir.

Soğutucu akışkan buharını yoğuşturmak için plakalı ısı eşanjörleri kullanıldığında, soğutucu akışkan dikey olarak aşağı doğru akar. Yoğuşmanın her zaman soğutma yüzeyi ile temasta olmasını sağlamak için plakalı ısı esanjörlerinin karşıt akışa göre tasarlanması avantajlıdır.



Şekil 3.7 Deneyde kullanılan plakalı ısı eşanjörünün genel görünümü ve boyutları.



Şekil 3.8 Plakalı ısı eşanjörünün akışkan akış yönleri ve iç yapısı

Simülasyonu yapılan ısı pompası sistemi için kullanılacak yoğuşturucu gücü 7500 W olarak öngörülmüştür. Üretici firmaya göre buharlaştırıcı amacıyla kullanılan plakalı ısı eşanjörünün özellikleri belirli bir çalışma şartları için aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.6 Sistemde kullanılan yoğuşturucu özellikleri

Yoğuşturucu Özelliklileri	Akışkan Türü	
	R134a	Su
Marka	GEA	
Akışkanın fiziki durumu	Gaz	Sıvı
Yoğuşturucu gücü	7500 watt	
Akışkan debisi	2.78 m^3/h	0.65 m^3/h
Akışkan giriş sıcaklığı	55 ^{0}C	32 ^{0}C
Akışkan çıkış sıcaklığı	50 ^{0}C	42 ^{0}C
Yoğuşturucu Plaka sayısı	18 adet	
Isı transferi alanı	0.42 m^2	
Maksimum yoğuşturucu çalışma basıncı	40 bar	
Maksimum yoğuşturucu çalışma sıcaklığı	204 ^{0}C	

Tablodaki veriler, sistemde kullanılan plakalı ısı eşanjörünü üreten firma tarafından geliştirilen bir program aracılığı ile belirlenmiştir.

3.3.5 Buharlaştırıcı (Evaparatör)

Bir soğutma sisteminde soğutma serpantini olarak da adlandırılan buharlaştırıcılar, içerisindeki sıvı soğutucu akışkan buharlaşırken bulunduğu ortamda ısı çeken cihazdır. Buharlaştırıcı bir maddeyi, soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısısını kullanarak soğutur. Soğutma miktarı buharlaştırıcı yüzey alanına, toplam ısı transfer katsayısına ve soğutucu akışkan ile soğutulan madde arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Soğutucu akışkan besleme yöntemine göre buharlaştırıcılar, kuru tip buharlaştırıcılar ve yaş tip buharlaştırıcılar olarak ikiye ayrılır. Kuru tip buharlaştırıcılar genelde termostatik kısılma vanası ile veya küçük kapasitelerde sabit basınçlı otomatik kısılma vanası yada kılcal boru ile beslenir. Kuru tip buharlaştırıcılarda kısılma vanaları buharlaştırıcıya buharlaşacak kadar akışkan gönderir (Yamankaradeniz, 2002).

Yaş tip (Sıvı taşmalı) buharlaştırıcılarda buharlaştırıcının içinin tamamına yakını sıvı soğutucu akışkan ile doludur. Soğutucu akışkanın çevreden aldığı ısı ile kaynaması bütün buharlaştırıcı yüzeyinin ıslak olmasını sağlar. Yaş tip buharlaştırıcılar aynı boyuttaki kuru tip buharlaştırıcıdan daha verimlidir. Soğutucu akışkan ihtiyacına daha fazla gereksinim duyduklarından işletmeleri daha pahalıdır.

Buharlaştırıcılar ısı çektikleri ortama göre genelde hava soğutucu buharlaştırıcılar ve su soğutucu buharlaştırıcılar olarak ikiye ayrılır. Hava soğutucu buharlaştırıcılar doğal veya zorlanmış taşınımlı olmak üzere iki şekilde çalışır. Isı çekilen ortamın bağıl nemi yeteri büyüklükte ise hava buharlaştırıcı üzerinden geçerken çiğ noktasının altındaki sıcaklığa düşerek içindeki nem yoğuşur. Bu sıcaklık 0 ^{0}C altına düşerse buharlaştırıcı yüzeyinde yoğuşan akışkan donar. Buharlaştırıcı yüzeyinde donan akışkan kanatlar arasını kapatıp hava geçişini engelleyeceği gibi ısı transferini de engeller. Bunu önlemek için buharlaştırıcı yüzeyindeki donan akışkanı eritmek (defrost) işlemi yapmak gerekir. Hava soğutucu buharlaştırıcılarda en çok uygulanan defrost yöntemleri, elektrikle, sıcak gaz ile ve su ile defrost yöntemleridir.

Buharlaştırıcılar değişik konstrüksiyonlarda yapılabilir bunlarda bazıları, çıplak borulu, levhalı, kanatlı borulu, lamelli, çift borulu, sipiral borulu, havuz tip, gövde borulu ve püskürtmeli tip buharlaştırıcılardır. Bunlardan bazıları sadece hava veya su ortamından ısı çekme işleminde kullanılırken bazıları da her iki ortamda kullanılabilir.

Simülasyonu yapılan ısı pompası sisteminde buharlaştırıcı amacıyla, yoğuşturucu amaçlı kullanılan, dizaynı ve boyutları aynı olan plakalı ısı eşanjörü kullanılmıştır. sistemde kullanılacak buharlaştırıcı gücü 6000 W olarak öngörülmüştür. Üretici firmaya göre buharlaştırıcı amacıyla kullanılan plakalı ısı eşanjörünün özellikleri belirli bir çalışma şartları için aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.7 Sistemde kullanılan evaparatörün özellikleri

Buharlaştırıcı Özelliklileri	Akışkan Türü	
	R134a	Su
Marka	GEA	
Akışkanın Fiziki durumu		Sıvı
Buharlaştırıcı gücü	6000 watt	
Akışkan debisi	9.56 m^3/h	0.16 m^3/h
Akışkan giriş sıcaklığı	50 ^0C	42 ^0C
Akışkan çıkış sıcaklığı		10 ^0C
Buharlaşma sıcaklığı	5.57 ^0C	
Buharlaştırıcı Plaka sayısı	20 adet	
Isı transferi alanı	0.72 m^2	
Maksimum buharlaştırıcı r çalışma basıncı	40 bar	
Maksimum buharlaştırıcı çalışma sıcaklığı	204 ^0C	

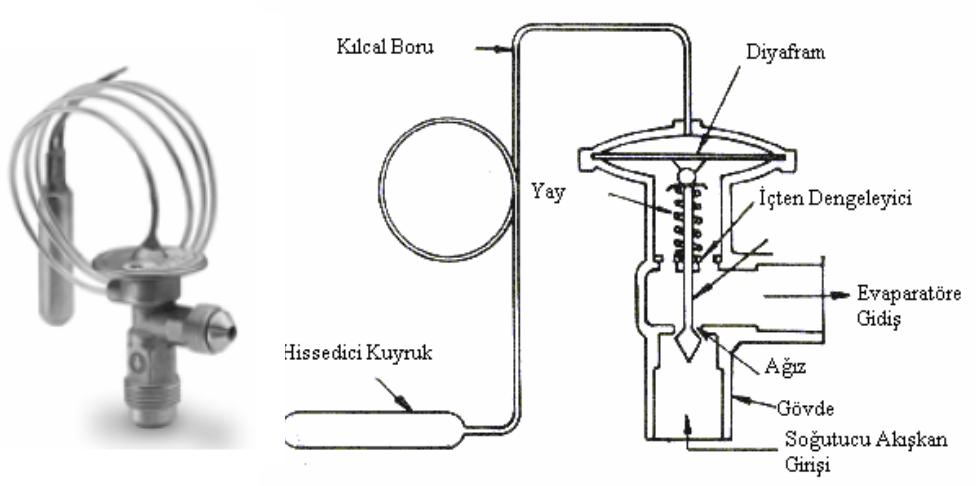
Tablodaki veriler sistemde kullanılan plakalı ısı eşanjörünü üreten firma tarafından geliştirilen bir program aracılığı ile belirlenmiştir.

3.3.6 Genleşme valfi

Isı pompası sistemlerinde yüksek basınçtaki soğutucu akışkanın, buharlaştırıcı girişinde düşük basınca ulaşımını sağlayan bir elemana ihtiyaç vardır. Bu elemanlara genel olarak genleşme valfi denir. Genleşme valfi çıkış sıcaklığı kadar, ısı pompası sisteminin düşük basınç değerini de kontrol eder. Genleşme valflerinin kullanıldıkları yerlere göre farklı tiplerde imal edilebilir. Bunlar;

1. El ayar vanası
2. Otomatik kısılma vanası (OGV veya OXV)
3. Termostatik kısılma vanası (TGV veya TXV)
4. Elektrikli kısılma vanası
5. Kılcal boru
6. Şamandıralı ayar valfi

Genleşme valfinin kapasitesi, ısı pompası ünitesinin kapasitesine uygun olmalıdır. Küçük orifis çaplı valf kapasiteyi düşürebilecegi gibi, büyük orifis çaplı valf taşmaya neden olabilir. Şekil 3.9 de Termostatik Ekpansiyon Valfinin kesiti görülmektedir.



Şekil 3.9 Termostatik ekpansiyon valfinin genel görünümü ve iç yapısı

Termostatik kısılma vanalarının kullanılacağı yere göre doğru seçilmesi için üç husus gözönüne alınmalıdır. Bu hususlar;

1 .Soğutma kapasitesi,

2. Tam yük altında meydana gelebilecek basınç düşümü,

3. Buharlaşma sıcaklığı.

Buharlaştırıcının normal ve bekleneni verecek bir şekilde çalışabilmesi termostatik kısılma vanasının iyi bir kontrol yapmasıyla mümkündür. Bu nedenle termostatik kısılma vanasının karekteristiklerini iyi bilmek, vanayı yerinde ve doğru kullanmak gerekir. Termostatik kısılma vanalarının montajında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar şunlardır;

1. Vanalar buharlaştırıcının emiş bağlantısına ve buharlaştırıcıya mümkün olduğu kadar yakın ve yatay bir yere konulmalıdır.

2. Birden fazla buharlaştırıcı varsa ve her buharlaştırıcının ayrı bir termostatik kısılma vanası varsa, her valfin duyargası kendisine ait buharlaştırıcı çıkışındaki emiş borusundaki soğutucu akışkan sıcaklığını duyacak tarzda yerleştirilmelidir.

3. Duyarga yerleştirilmeden önce emiş borusu iyice temizlenmeli ve emiş borusunun korozyona uğramaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

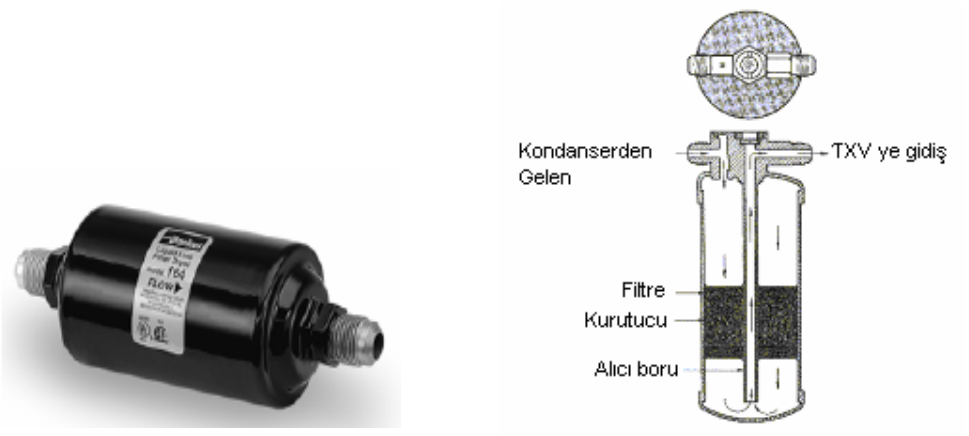
4. Duyarganın emiş borusuna bağlantısında imalatçı firmanın bağlantı malzemeleri kullanılmalı, bu mümkün değilse ısı iletkenliği yüksek olan malzemeler kullanılmalıdır.

5. Duyarganın konulduğu yer hava akımına ve yüksek sıcaklığa maruz kalmamalıdır.

3.3.7 Filtre- Kurutucu

Soğutma sistemi arızalarının büyük bir kısmı sistemdeki nem ve su varlığından kaynaklanmaktadır. Nem ve suyun sistemde oluşturdukları olumsuzluklar kısaca; genleşme valfinde suyun donarak akışı engellemesi, metal korozyonu, kimyasal zincirleme reaksiyonları başlatıp devam ettirmesidir.

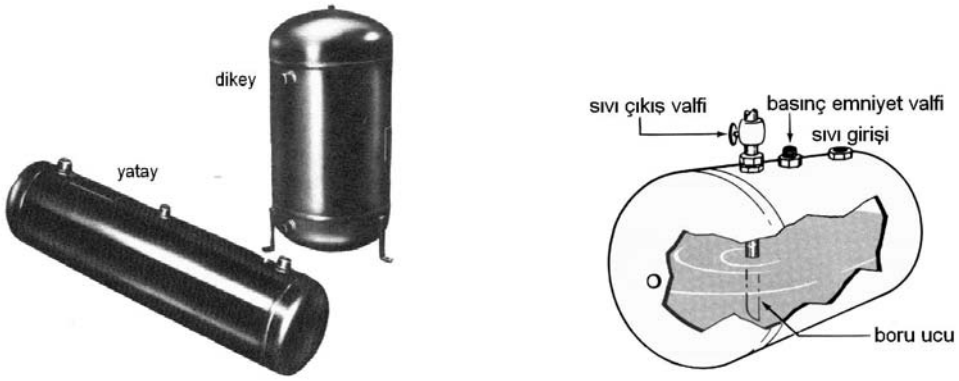
Isı pompası sistemlerinde kurutucular kullanım yerlerine göre, sıvı hattı filtre kurutucular ve emiş hattı filtre kurutucular olmak üzere iki çeşittir. Sıvı hattı filtre kurutucuda, yoğuşturucuda sıvı hale gelen soğutucu akışkan, burada filtre ve kurutucudan geçer. Sıvı hattı kurutucudan beklenen sistemde dolaşan nemi tutmak, emiş hattı kurutucudan beklenen daha çok asit ve pisliklerin tutulmasıdır. Soğutma maddesi içindeki nem ve pislikler burada tutulur. Kurutucu filtre içindeki silika-jel sayesinde maddesi sayesinde gazı nem ve asitten ayırtır.



Şekil 3.10 Filtre-kurutucunun genel görünüşü ve iç yapısı

3.3.8 Sıvı deposu

Sıvı soğutkan toplama deposu, servis maksadıyla soğutucu akışkanın sistemden toplanıp depolanması, sistemde meydana gelen dalgalanmaların karşılanması, buharlaştırıcıya sıcak gazın gitmesini önlemek amacıyla sistemin yüksek basınç tarafına, sıvı ile sıcak gaz arasına konulan depodur. Sıvı depoları bakım işlemi aşamasında sistemdeki soğutucu akışkanın tümünü alabilecek kapasitede olmalıdır. Ayrıca su soğutmalı sistemlerde soğutma suyu sıvı deposunun içinden geçirilerek soğutucu akışkanın aşırı soğutulması sağlanır.



Şekil 3.11 Sıvı deposunun genel görünüşü ve iç yapısı

3.3.9 Likit tutucu

Buharlaştırıcıdan kompresöre emilen soğutucu akışkanın buhar fazında olması istenir. Soğutucu akışkan ıslak buhar fazında ise kompresöre ciddi hasar verir. Soğutucu akışkanın kompresöre buhar fazında gitmesini sağlamak amacıyla buharlaştırıcı ile kompresör arasına bir sıvı soğutucu akışkan tutucu konulur.

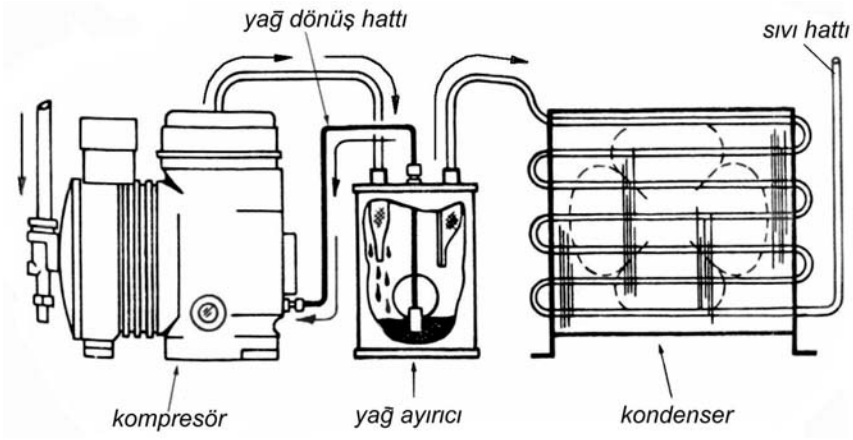


Şekil 3.12 Sıvı ayırtıcısının genel görünümü ve iç yapısı

U borulu likit tutucuların dizaynı, mevcut birçok bir çok likit tutucunun detaylı incelenmesine ilaveten çok geniş laboratuar testlerinin sonucunda ortaya çıkmıştır. Emiş hattı likit tutucularının likit soğutucu tutma gereksinimi uygulamalara göre değişebilir. Isı pompası sistemlerinde gaz akışı yönünün değişmesinden dolayı, likit tutucu kapasitesinin seçimi gerçek testlerle yapılmalıdır.

3.3.10 Yağ ayırıcı

Yağ ayırıcılarının görevi sistemde dolaşan yağ miktarını azaltarak sistemin verimini artırmaktır. Pistonlu ve döner tip soğutma kompresörlerinde yağlama maksadıyla kullanılan yağlar soğutucu akışkanla beraber sistemde dolaşır. Yağlama yağının tamamını sistemde dolaşımını engellemek mümkün değildir. Ancak dolaşan yağ miktarını azaltmak sistem açısından önemli faydaları vardır. Yağlama yağının en büyük zararı buharlaştırıcı ve yoğuşturucu yüzeylerinde tabaka oluşturarak ısı geçişini engeller. Ayrıca karterdeki yağ miktarının azalması kompresörün hasara uğramasına neden olur. Yağ ayırıcısında biriken yağlama yağı yer çekiminin etkisi ile kompresöre verilir.



Şekil 3.13 Yağ ayırıcısının iç yapısı ve sisteme bağlantısı

3.3.11 Gözetleme camı

Soğutma sisteminde sıvı soğutucu akışkanın akışını görmek, soğutucu akışkanın içinde bulunabilecek nemi kontrol etmek ve soğutucu akışkan şarjı hakkında bilgi almak amacıyla kullanılan elemanlardır. Gözetleme camı kurutucudan hemen sonra ve sıvı kontrol elemanından önce konulur. Bazı tip gözetleme camlarında sistemdeki neme göre renk değiştirirken bazı tip gözetleme camlarından sadece sıvı soğutucu akışkan geçişi görülebilir.

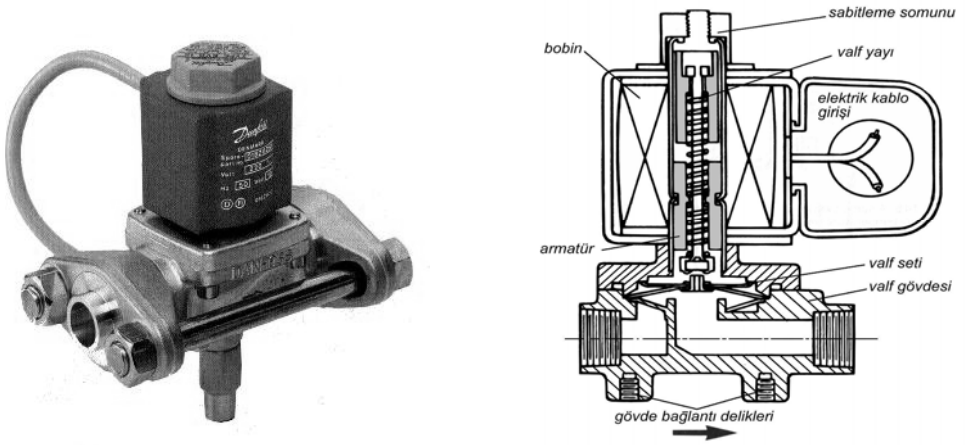


Şekil 3.14 Gözetleme camının genel görünümü

3.3.12 Selenoid valf

Selenoid valfler tüm soğutma sistemlerinde geniş kullanım alanlarına sahiptir. Soğutma sistemlerinde, sıvı veya gaz halindeki soğutucu akışkanın akışını elektrik sinyali ile uzaktan kumandalı bir şekilde açıp kapamaya yarar. Selenoid valflar normal açık konumunda iken, yer çekimi etkisi ile, yay etkisi ile veya akışkanın kendi basıncıyla elektrik sinyali ile meydana gelen manyetik bir alanın sağladığı hareket vasıtası ile normalin aksi konuma girer.

Selenoid valfların soğutma uygulamalarında en çok kullanıldığı yer sıvı soğutkan akışının otomatik olarak kesilmesidir. Soğutma uygulamalarında sıvı hattı ve emme hattı olmak üzere iki tür selenoid valf uygulaması vardır. Sıvı hattı selenoid valfleri termostatik kısılma vanaları kullanılan ve buharlaştırıcıları arasında sıcaklık farkı az olan birden fazla buharlaştırıcılı soğutma tesislerinde kullanılır (Yamankaradeniz, 2005).



Şekil 3.15 Selonoid vananın genel görünümü ve iç yapısı

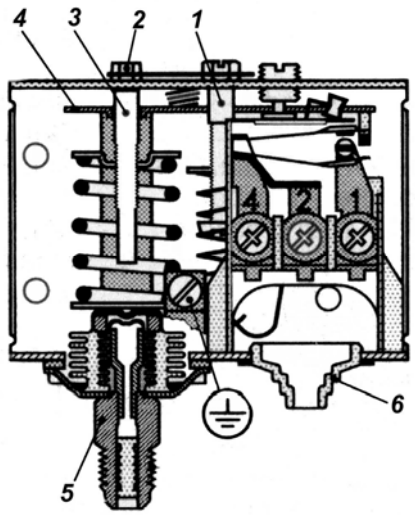
3.3.13 Alçak ve yüksek basınç otomatikleri

Isı pompası sistemini alçak basınç (emiş), yüksek basınç (basma) tarafındaki basınçları çalışma esnasında sürekli olarak izleyip tehlikeli sınırlara ulaştığında kompresör motorunu durdurmak üzere sisteme bağlanan kontrol elemanıdır. Alçak

ve yüksek basınç otomatikleri ayrı uygulanabildiği gibi her iki taraftaki basınç değerini algılayan kombine tek basınç anahtarı şeklinde olabilir. Alçak basınç otomatiği sıcaklık kontrolü ve emniyet amaçlı kullanılırken yüksek basınç otomatiği sadece emniyet amaçlı olarak kullanılır (Yamankaradeniz, 2005).

Alçak basınç şalterleri, soğutma devresindeki basıncın yaklaşık olarak 1,8 bara düşmesi durumunda kompresörün elektrik motorunu kapatır. Kompresörün emiş etkisi ile alçak basınç kısmındaki basıncın, atmosfer basıncı altına düşmesi, atmosfer havasının sistem içine girme riskini doğuracağından bu olumsuzluk alçak basınç şalteri ile güvenlik altına alınır. Yaklaşık 2,5 barda alçak basınç şalteri kompresörü tekrar devreye alır (Gülenç, 1999).

Yüksek basınç şalteri ile soğutma devresindeki basınç 30 bara çıktığında kompresörün manyetik kavraması kapatılır. Yüksek basınç dolayısı ile sistemdeki elemanların aşırı basıncın etkisi ile zorlanması, bunun sonucunda da patlaması söz konusudur.



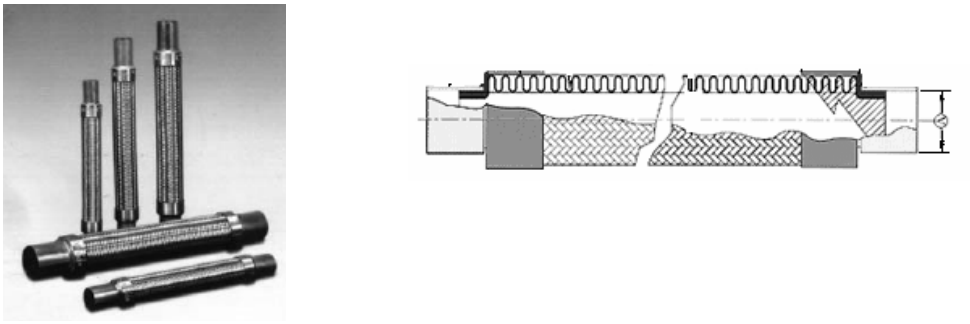
1. Diferansiyel ayar çubuğu
2. Basınç ayar vidası
3. Basınç ayar çubuğu
4. Yay desteği
5. Basınç bağlantı ünyonu
6. Elektrik kablo girişi

Şekil 3.16 Yüksek basınç otomatiğinin iç yapısı ve elemanları

3.3.14 Titreşim Emiciler

Isı pompası sisteminde kompresör gurubundaki titreşimler borular vasıtası ile diğer sistem elemanlarına taşınır. Titreşimlerin sistemdeki diğer elemanlara

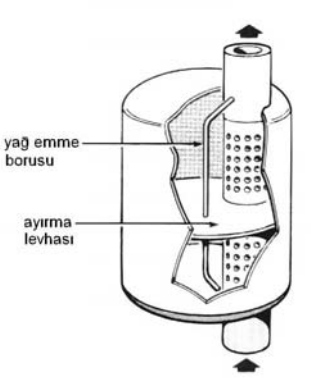
iletilmesini engellemek amacıyla kompresör emme ve basma borularına yerleştirilen esnek borulardır. Titreşim sönümleyicileri, kolay kıvrılabilir şekilde dizayn edilmiş olup, dışı yüksek gerilimli örgü ile kaplanarak güçlendirilmiştir. İçerdeki kıvrılabilir boru ve dışındaki örgü paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, uçlardaki bakır boru yüksek sıcaklıkta pirinçle bağlanmıştır.



Şekil 3.17 Titreşim sönümleyicinin genel görünümü ve iç yapısı

3.3.15 Susturucular

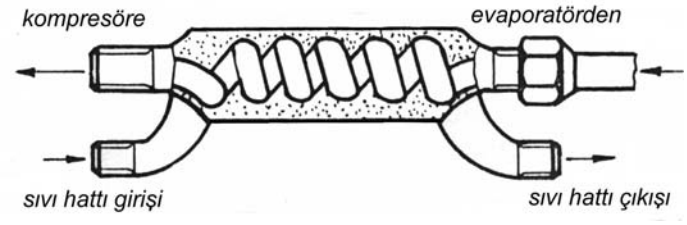
Kompresörün emme ve basma tarafında meydana gelen sesin en az seviyeye indirilmesi için kullanılan elemandır. Ticari soğutma sistemlerinin birçoğunda kullanılan küçük susturucular özellikle konfor amaçlı iklimlendirme sistemlerinde tercih edilmektedir.



Şekil 3.18 Susturucunun kesit resmi

3.3.16 Isı eşanjörü

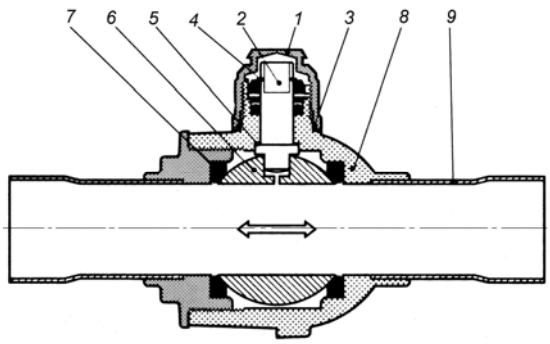
Isı eşanjörleri, soğutma devresinde sıvı ve emme hatları arasına yerleştirilerek, aşırı soğutma uygulamalarında buharlaştırıcı kapasitesinde iyileştirme meydana getiren, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın sıvı halde kompresöre gitmesini engelleyen, termostatik kısılma vanasının düşük derecelere ayarlanmasına olanak sağlayan, emme borusu üzerindeki terleme ve donmayı engelleyen ısı değiştiricileridir.



Şekil 3.19 Isı esanjörünün kesit resmi

3.3.17 Kapama valfleri

Soğutma sisteminin bir kısmını gerektiğinde diğer kısmından ayıran, sıvı, emme ve sıcak gaz hatlarında kullanılan el ile kumandalı vanalardır. Soğutma sisteminde kapama valflerinin sayıları mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır. Bu valfler basınç kayıplarını artırdığı gibi kaçaklara ve diğer arızalara da neden olurlar.



1-Sızdırmazlık kapağı
2-Valf mili
3-Conta
4-Halka conta
5-Kayar conta
6-Krom kaplı küre
7-Valf seti
8-Valf gövdesi
9-Uzatma ucu

Şekil 3.20 Küresel bir kapama vanasının kesiti

3.3.18 Sirkülasyon pompası

Sistemde istenilen şekilde akış debisini sağlamak ve basınç kayıplarını karşılamak üzere buharlaştırıcı ve yoğuşturucu su devresi üzerine birer adet kendinden üç farklı devirli sirkülasyon pompası monte edilmiştir. Sirkülasyon pompasının özellikleri Çizelge 3.8 verilmiştir.

Çizelge 3.8 Sirkülasyon pompasının özellikleri

Marka	THERMOWATT		
Hız	1	2	3
Devir(d/dk.)	1160	1600	2100
Güç (W)	46	67	90
Akım (A)	0.19	0.29	0.39

3.3.19 Manometreler

Sistemde evaparotörle kompresör arasındaki alçak basıncı ve kompresörle kondanser arasındaki yüksek basıncı ölçmek amacıyla iki adet manometre kullanılmıştır. Kullanılan manometrelerin basınç birimi bar ve psi basınç birimidir. Manometrelerin ölçme hassasiyeti 0.1 bar dır.

3.3.20 Elektrikli ısıtıcılar

Similasyonu yapılan sistemde, atık ısı tankındaki ısının elde edilmesi amacıyla üç adet 2 kW gücünde toplam 6 kW lık elektrikli ısıtıcılar kullanılmıştır. Atık ısı tankındaki su sıcaklığının sabit kalabilmesi için elektrikli ısıtıcıların kontrolü PID kontrolu ile sağlanmıştır.

3.3.21 Pislik tutucu

Sistemin su devresinde, sistem içinde kalan iri parteküllerin, keten liflerinin, çapakların dijital debimetreye zarar vermemesi için filtreleme hassasiyeti 0.5 mm olan iki adet filtre kullanılmıştır.

3.3.22 Atık ısı tankı

Similasyonu yapılan sistemde atık ısının depolandığı 190 litre hacminde tank imal edilmiştir. Tanklar 2 mm kalınlığında siyah saçdan kaynaklı olarak yapılmıştır. Tankların dışı ısı yalıtımı sağlamak amacıyla 30 mm kalınlığında, ısı letimi 0.04 W/mK olan polistiren paltüküler köpük malzeme ile yalıtılmış, endış tabaka 0.35 mm galvanizli saç ile kaplanmıştır.

3.3.23 Sıcak su tankı

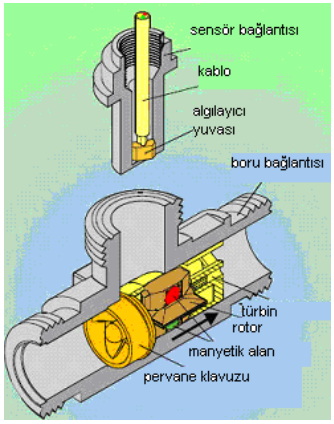
Sistemde transfer edilen ısının verildiği sıcak suyun depolanması amacıyla 190 litre hacminde tank imal edilmiştir. Tanklar 2 mm kalınlığında siyah sacdan kaynaklı olarak yapılmıştır. Tankların dışı ısı yalıtımı sağlamak amacıyla 30 mm kalınlığında, ısı letimi 0.04 W/mK olan polistiren paltüküler köpük malzeme ile yalıtılmış, endış tabaka 0.35 mm galvanizli sac ile kaplanmıştır.

3.3.24 Debimetre

Sistemde atık suyun ve depolanan sıcak suyun kütlesel debilerini ölçmek amacıyla iki adet türbinli debimetre kullanılmıştır. Türbinli debimetrelerde, türbin içerisine daimi bir mıknatıs yerleştirilmiş olup kanatlar döndükçe sabit gövdedeki

elektirik sargısında gerilim darbeleri oluşur. Bu darbeler bir frekansmetre ile ölçülerek ani hız veya debi değerleri elektrik sinyali cinsinden bulunabilir.





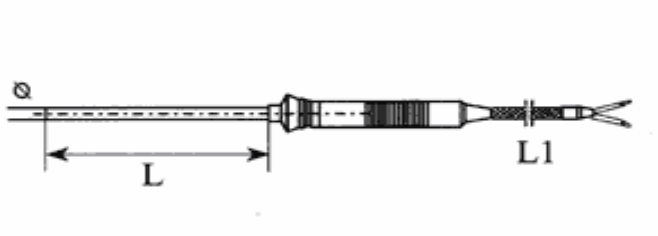
Şekil 3.21 Sistemde kullanılan debimetrenin genel ve kesit görünüşü

Sistemde kullanılan debimetrenin üretici firma verilerine göre teknik özellikleri; ölçme hassasiyeti ± %1, 1 litrelik akış debisinde 855 sinyal vermektedir. Çıkış sinyali maksimum 10 mA dir. Maksimum çalışma sıcaklığı 85 ^{0}C dir. Maksimum çalışma basıncı 10 bardır. Debimetrenin anma ölçüsü DN15 dir. Debimetrenin hacimsel çalışma akış debisi 2-40 litre/dakika aralığındadır. Başlangıç sinyali 0.3 litre/dakikadır.

3.3.25 Termoelemanlar

Elektriksel sıcaklık ölçme yöntemlerinden olan termo elemanlar, iki farklı malzemeden imal edilirler. Farklı malzemeden yapılmış metal tellerin birleşim noktalarında birbirinden farklı sıcaklık varsa, bu sıcaklıkların fonksiyonu olarak bu devrede bir elektro motor kuvveti oluşur. Termo eleman devresinde birisi ölçme diğeri ise sıcaklığı bilinen referans olmak üzere adlandırılan uclar arasındaki sıcaklık farkı sonucu oluşam elektro motor kuvveti (emk) uygun bir cihazla ölçülerek bu noktalar arasındaki sıcaklık farkı tespit edilebilir. Bu işlem için birgalvonometre, milivoltmetre veya potansiyometre kullanılabilir.(Genceli, 2000)

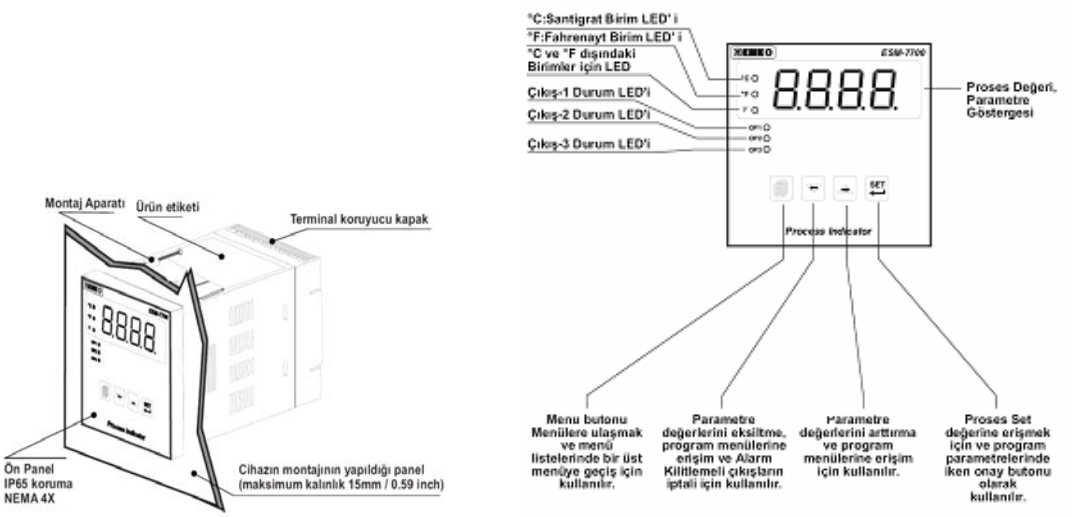
Sistemde 6 farklı noktadan prop tipi termo elemanlar aracılığı ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kullanılan purop boyo 250 mm ile 20 mm arasında değişmektedir.



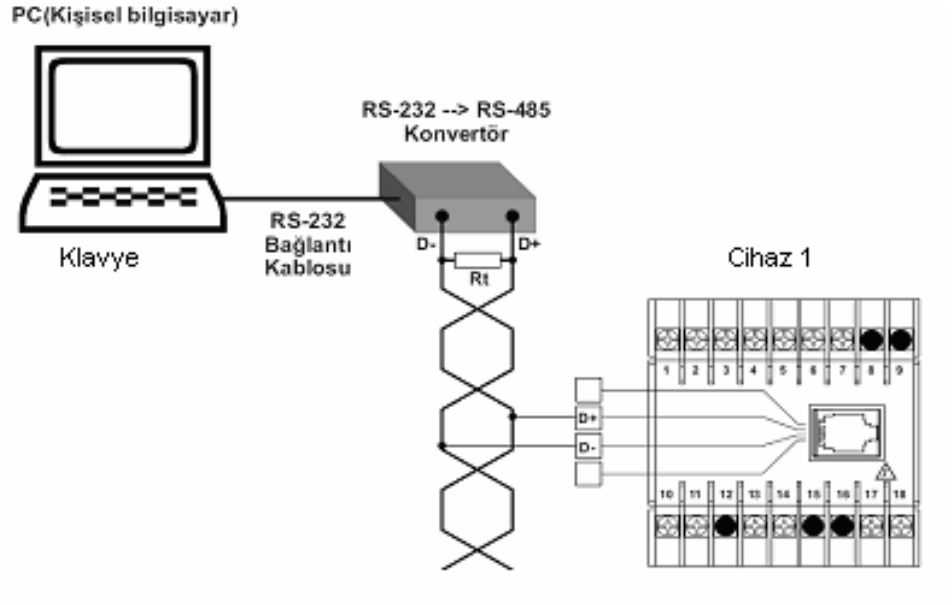
Şekil 3.22 Sistemde kullanılan termoelemanın genel görünüşü

3.3.26 Proses gösterge cihazı

Termo elemanlardan gelen elektriksel sinyallerin karşılığı olan sıcaklıkları veya herhangi bir proses değerinin sayısal olarak ölçülmesini, kontrol edilmesini sağlayan cihazlardır. Sistemde kullanılan cihazlar farklı proses türlerine uygun olup, alarm fonksiyonları ve bilgisayarlar ile haberleşmeye uyumludur. Bilgisayarlar ile haberleşmede RS485 veya RS232 çeviricileri kullanılmıştır. Sistemde RS485 çevirici kullanıldığında 32 adet cihazın bilgisayara bağlantısını yapmak mümkündür. Sistemde 5 adet sıcaklık kontrolu, 2 adet debi kontrolu olmak üzere toplam 7 adet proses kontrol cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.23 Sistemde kullanılan proses kontrol cihazının genel görünüşü



Şekil 3.24 Proses kontrol cihazının bilgisayar bağlantısı

3.3.27 Sigortalar

Bir iletkenden öngörülenden fazla akım çekilmesi durumunda bu akım tesis için tehlike arz edebilir. Devreden fazla akım çekilmesi durumunda devreyi kendiliğinden açan araçlara sigorta denir. Deney düzeneğinin elektrik tesisatında 32 A 1 adet, 10 A 1 adet ve 6 A 1 adet sigorta kullanılmıştır.

3.3.28 Paket şalterler

Bir eksen etrafında döndürülebilen, arka arkaya dizilmiş bir çok dilimden oluşan ve çok konumlu olan şalterlere paket şalter denir. Elektriksel aygıtları otomatik olarak kontrol etmek her zaman ekonomik olmaz. Bu nedenle bazı aygıtların çalıştırılması paket şalterle yapılır. Sistemde pompaların, ısıtıcıların, kompresörün açılıp kapanması için 3 adet paket şalter kullanılmıştır.

3.3.29 Tabla

Isı pompası sisteminin üzerine monte edildiği tabla, 2 mm siyah sacdan ve 30x30 mm'lik profil kullanılarak imal edilmiştir. Tablanın ayaklarına tekerlekler monte edilerek hareketli olması sağlanmıştır.

3.3.30 Termostat

Katıların, sıvıların ve gazların sıcaklık derecelerinin belirli aralıklarda tutulmasında kullanılan elemanlara termostat denir. Termostatlar elektrikli ısıtıcı veya soğutucuların bulunduğu yerlerde kullanılır. Sistemde sıcak su tankı içerisindeki suyun sıcaklığının, yoğuşturucu sıcaklığına yaklaşması durumunda, ısı pompasının çalışmaya devam etmesinin ekonomik olmayacağından dolayı, sıcak su tankındaki su sıcaklığının 55 ^{0}C ulaşması durumunda kompresörün elektrik devresini açarak, kompresörü devre dışı bırakan bir adet termostat kullanılmıştır. Termostatın çalışma sıcaklık aralığı 5 ^{0}C olacak şekilde seçilmiş olup tanktaki su sıcaklığı 40 ^{0}C düştüğünde kompresörün elektrik devresini kapatarak çalışmasını sağlamaktadır.

3.4 Isı Pompasının Gerçek Çalışma Ortamının Özellikleri

Modellemesi yapılan ısı pompası, Selçuk Üniversitesi Kampüs alanı içindeki Kredi ve Yurtlar Kurumuna ait 2500 kişilik öğrenci yurdunun çamaşırhanesindeki atık ısının geri kazanımı için tasarlanmıştır. Çamaşırhane içerinde 30 kg kuru çamaşır kapasitesine sahip 6 adet çamaşır makinesi bulunmaktadır. Makinalar hafta içi her gün ortalama günde 3 defa çalıştırılmaktadır. Makinaların yıkama ve durulama amaçlı sıcak su ihtiyacı merkezi ısıtma sisteminin içerisindeki boyler aracılığı ile sağlanmaktadır. Yıkama sıcaklığı 85 ^{0}C de yapılmaktadır. Boylerdeki su sıcaklığı yaklaşık 60 ^{0}C olup bu sıcaklık yıkama için yeterli değildir. Suyun makinalarda ısıtılması için ayrıca makinalar içerisindeki elektrikli ısıtıcılardan

yararlanılmaktadır. Merkezi ısıtma sisteminde yakıt olarak kalorifer yakıtı kullnılmaktadır. Durulama işlemi 30 ^{0}C yapılmaktadır. Durulama suyu makinalara bağlı olan sıcak ve soğuk su borularından alınan suyun karıştırılması ile sağlanmaktadır. Resim 3.1'de çamaşırhanedeki makinaların genel görünümleri verilmiştir.

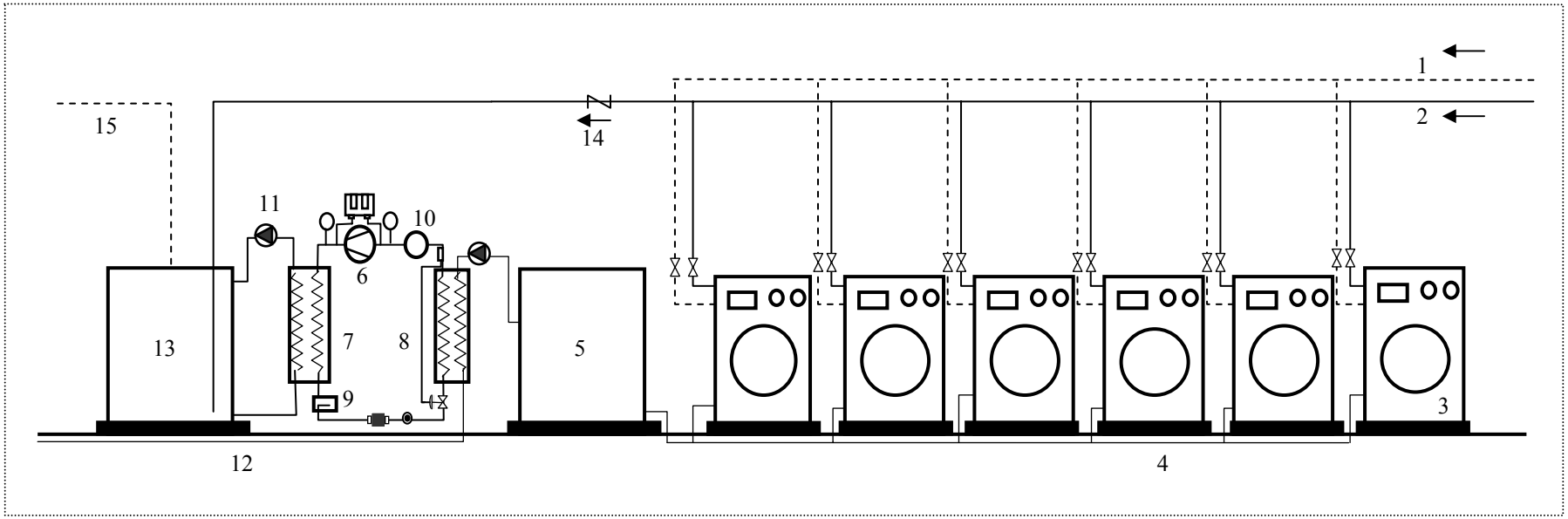


Resim 3.1 Çamaşırhanedeki çamaşır makinaların genel görünümü

Makinalardan yıkama ve durulama işlemi sonucu atılan kirli su bir toplama tankında toplanarak dinlendirilir. Toplama tankındaki su sıcaklığı en az durulama suyu sıcaklığı olan 30 ^{0}C dir. Tanka karışan yüksek sıcaklıktaki yıkama suyu ile beraber tank içerisindeki su sıcaklığı 45 ^{0}C dereceye kadar çıkabilmektedir. Çizelge 3.9 de kullanılan çamaşır makinalarının özellikleri verilmiştir.

Marka	TOLKAR
Kapasite	30 kg kuru çamaşır
Makina adeti	6
Tambur hacmi	300 litre
Makina ebatları	1780 mmx1180 mmx1220 mm
Su girişi bağlantı çapı	¾"
Yıkama suyu kullanımı	3.5 kg/kg kuru çamaşır
Yıkama sıcaklığı	85 ^{0}C
Yıkama süresi	10 dakika
Yıkama adedi	1
Durulama su kullanımı	4 kg/kg kuru çamaşır
Durulama sıcaklığı	30 ^{0}C
Durulama süresi	3 dakika
Durulama adedi	2

Çizelge 3.9 Çamaşır makinalarının özellikleri



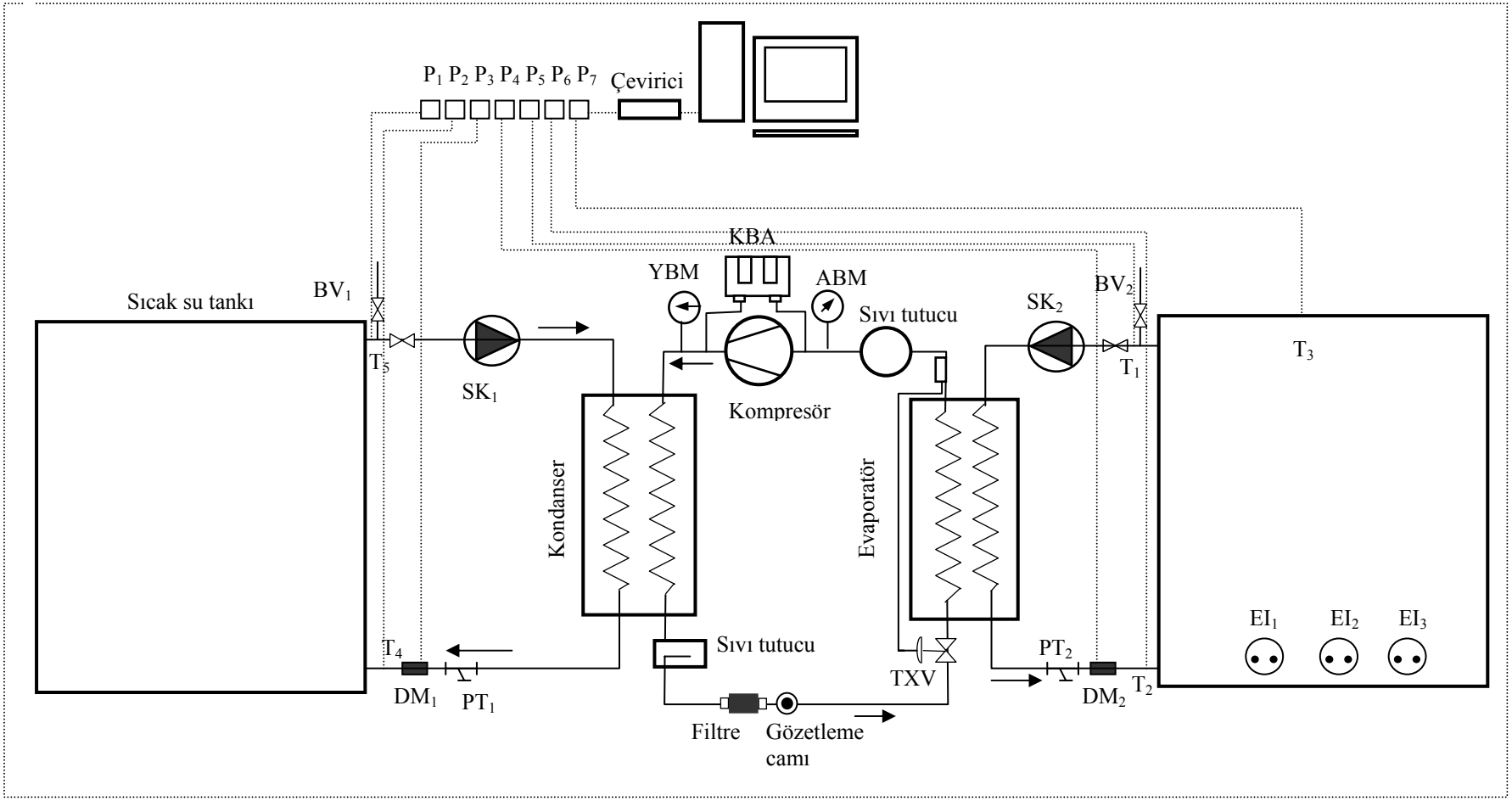
1- Sıcak su borusu
2- Soğuk su borusu
3- Çamaşır makinesi
4- Atık kirli su borusu
5- Atık ısı Tankı
6- Kompresör
7- Yoğuşturucu
8- Buharlaştırıcı
9- Sıvı tankı
10- Sıvı tutucu
11- Pompa
12- Atık su borusu
13- Sıcak su tankı
14- Çekvalf
15- Sıcak su borusu

Şekil 3.25 Çamaşırhanedeki atık ısının değerlendirilip tesisata bağlandığı akış şeması

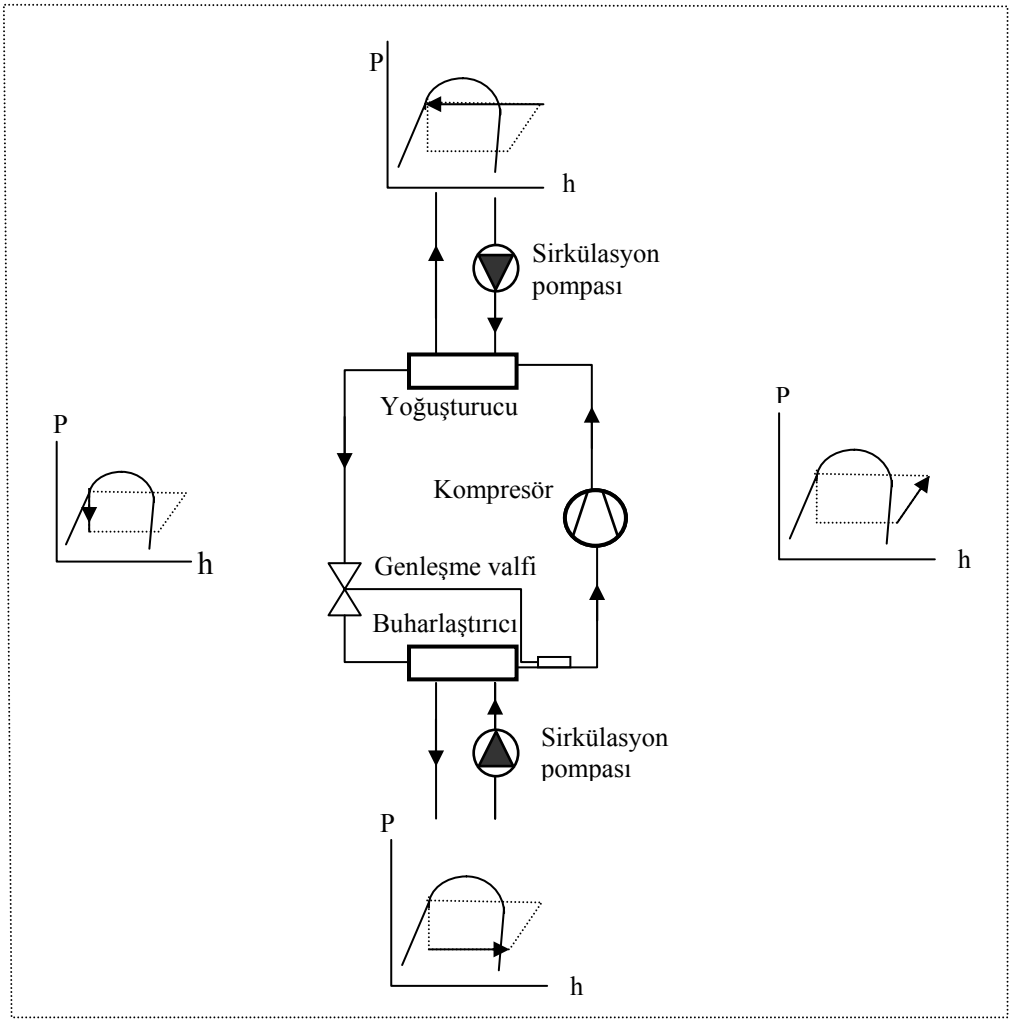
3.5 Montajı Yapılan Isı Pompası Sisteminin Çalışma Prensibi

Montajı yapılan ısı pompasının çalışma prensibi şekil 3.26 de gösterilmiştir. Isı pompası sisteminin temel elemanları kompresör, kondanser, evaparatör ve genleşme vanasıdır. Buharlaştırıcıda atık ısı tankından gelen suyun içindeki ısıyı alarak buharlaşan soğutucu akışkan, kızgın buhar olarak kompresöre girer. Kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan, yüksek basınç ve sıcaklıkta kompresörü terk eder. Ardından yoğuşturucuya gelen soğutucu akışkan kızgın buhar durumunda ısısını suya vererk yoğuşur. Yoğuşturucuyu doymuş sıvı olarak terk eden soğutucu akışkan, genleşme vanasında sabit entalpide basıncı düşürülerek tekrar buharlaştırıcıya gelir ve çevrim tamamlanmış olur. Sistemde ısı çekilen ve verilen ortam sudur.

Sistemin ara elemanlarından olan sıvı tutucu, kompresöre sıvı soğutucu akışkanın gelmesini önleyerek hasar görmemesini sağlar. Sıvı tankı, yoğuşturucuda yoğuşan soğutucu akışkanı depolayarak servise hazır hale getirir. Aynı zamanda bakım esnasında soğutucu akışkanın sıvı tankında toplanarak zayi olması önlenir. Kompresöre bağlı olan birleşik basınç anahtarı kompresörün belirli basınç aralığında çalışmasını sağlar. Atık ısı tankı ile buharlaştırıcı arası, sıcak su tankı ile yoğuşturucu arasına birer adet dolaşım pompası konularak suyun dolaşımı sağlanmıştır. Sıcak su tankı üzerine konulan termostatla, tanktaki su sıcaklığı ile yoğuşturucudaki soğutucu akışkan sıcaklığı arasındaki farkın azalması durumunda sistemin durdurulması sağlanmıştır. Atık ısı tankında suyun ısıtılması 3 adet 2 kW elektirikli ısıtıcılar ile sağlanmıştır. Atık ısı tankında sabit bir sıcaklık elde edebilmek için PID kontrollu ısı kontrolu yapılmıştır. Atık ısı tankının ve sıcak su tankının giriş ve çıkışlarına sıcaklık ölçme sensörleri takılmış, atık ısı tankından alınan ısı ile sıcak su tankında depolanan ısı miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamada sistemden geçen akışkanların kütlesel debilerine ihtiyaç olduğundan, sistemde iki edet hacimsel debi ölçer kullanılmıştır. Akışkanların kütlesel debileri, sıcaklıklarına bağlı olarak özgül hacimleri yardımıyla hesaplanmıştır. Dijital debimetrelerin zarar görmemesi için debimetrelerden önce 0.5 mm partükül tutma özelliğine sahip 2 adet filtreler kullanılmıştır. Sıcaklık ölçme sensörlerinden ve debimetrelerden alınan elektriksel sinyallerin her biri ayrı ayrı proses göstergelerine bağlanmıştır. Proses göstergelerindeki veriler bir çevirici ile bilgisayara aktarılarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.26 Isı pompası sisteminin şematik gösterilişi



Şekil 3.27 Isı pompası sisteminin çalışma prensibinin şematik gösterimi

Etkinlik deneyleri yapılan ısı pompasının çalışma prensibi ve soğutma çevrimleri şekil 3.27 de gösterilmiştir. Resim 3.2 de tasarımı yapılan ısı pompası deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir. Şekil 3.26 daki kısaltmalar şöyledir.

SK_1,SK_2	:1 ve 2 numaları sirkülasyon pompaları
DM_1,DM_2	:1 ve 2 numaralı debimetreler
PT_1,PT_2	:1 ve 2 numaralı pislik tutucular
BV_1,BV_2	:1 ve 2 numaralı boşaltma vanaları
TXV	:Termostatik genleşme vanası
ABM	:Alçak basınç manometresi
YBM	:Yüksek basınç manometresi
KBA	:Kombine basınç anahtarı

T_1,T_2,T_3,T_4,T_5 :1,2,3,4 ve 5 nolu sıcaklık ölçme sensörleri

$P_1,P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7$:1,2,3,4,5,6 ve 7 nolu proses göstergeleri

EI_1,EI_2,EI_3 :1,2 ve 3 numaralı elektrikli ısıtıcılar

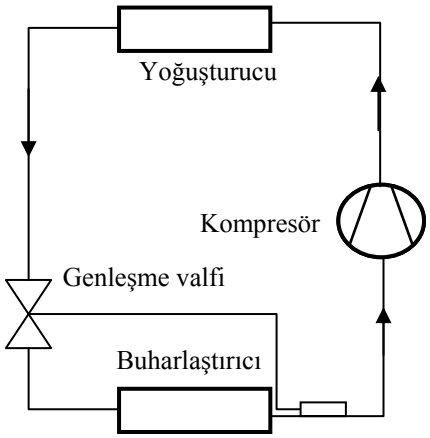


Resim 3.2 Isı pompası sisteminin genel görünümü

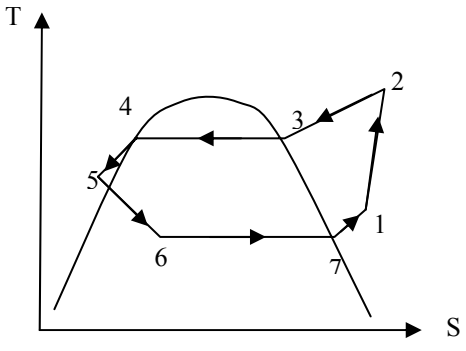
3.6 Isı Pompası Çevrimi

Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ısı pompaları ile sağlanır. Soğutma makinaları ve ısıo pompaları aynı çevrime göre çalışır. Şekil 3.28 de modellemesi yapılan ısı pompasının prensip şeması görülmektedir. Bir ısı pompasının temel elemanları, kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve genleşme vanasıdır. Şekil 3.29 da buhar sıkıştırmalı ters Rankine çevriminin sıcaklık (T) ve entropi (s) diyagramı verilmiştir. Şekil 3.30 da buhar sıkıştırmalı ters Rankine çevriminin basınç (P) ve entalpi (h) diyagramı verilmiştir. Buharlaştırıcıda 6-1 noktaları arasında buharlaşan soğutucu akışkan kızgın buhar olarak kompresöre girmektedir. 1-2 noktaları arasında sıkıştırılan soğutucu akışkan

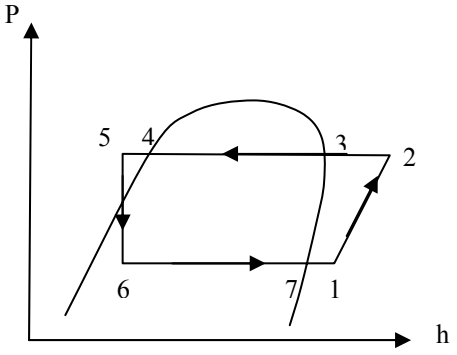
yüksek basınç ve sıcaklıkta 2 noktasında kompresörü terk etmektedir. 2-5 noktaları arasında yoğuşturucuda kızgın buhar ısı vererek önce doymuş buhar ardından sıvı hale gelmektedir.5-6 noktaları arasında soğutucu akışkanın basıncı düşürülmekte ve çevrim tamamlanmaktadır.



Şekil 3.28 Isı pompasının temel elemanları



Şekil 3.29 Soğutma çevriminin T-s diyagramı



Şekil 3.30 Soğutma çevriminin P-h diyagramı

Gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ideal buhar sıkıştırmalı çevrimden birkaç bakımdan farklıdır. Bu farklılık daha çok gerçek çevrimi oluşturan tersilmezliklerden kaynaklanır. İdeal çevrimde buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre buhar halinde girer. Bu hassasiyeti sağlamak zor olduğundan diyagramda 7-1 aralığında aşırı kızgınlık yapılarak akışkanın tam anlamıyla buharlaşması sağlanır. Diyagramda 4-5 aralığında aşırı soğutma yapılarak soğutucu

akışkanın yoğuşturucuda tamamen yoğuşması sağlanır. Isı pompası sisteminin sistem elemanlarının kapasiteleri belirlenirken teorik hesaplamalarında buharlaştırıcı çıkışında 6 ^{0}C kızgınlık, yoğuşturucu çıkışında 8 ^{0}C aşırı soğutma öngörülmüştür. Başka bir farklılık da gerçek soğutma çevriminde buharlaştırıcı ile kompresör, kompresör ile yoğuşturucu arasınadaki sürtünmeler basınç kayıplarına neden olduğundan, diagramda 1-6 noktaları arası ile 2-5 noktaları arasınada basınç farklılığının olmasıdır. Bu farklılık kompresör işini artırdığından sistemin etkinliğini düşürmektedir.

Modellemesi yapılan ısı pompası için 1.472 kW gücünde kompresör seçilmiştir. Sistemde dolaşan akışkanın kütlesel debisi,

$$W_{komp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \qquad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada W_{komp} kompresör gücünü, $\dot{m}$ sistemde dolaşan soğutucu akışkanın kütlesel debisini, h entalpiyi ifade etmektedir. Buharlaştırıcı kapasitesi,

$$Q_{evp} = \dot{m}(h_1 - h_6) \qquad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada Q_{evp} buharlaştırıcı gücünü ifade etmektedir. Yoğuşturucu kapasitesi,

$$Q_{kon} = \dot{m}(h_2 - h_5) \qquad (3)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada Q_{kon} yoğuşturucu gücünü ifade etmektedir. Sistemin ısıtma etkinliği,

$$\eta_t = \frac{Q_{kon}}{Q_{komp}} \qquad (4)$$

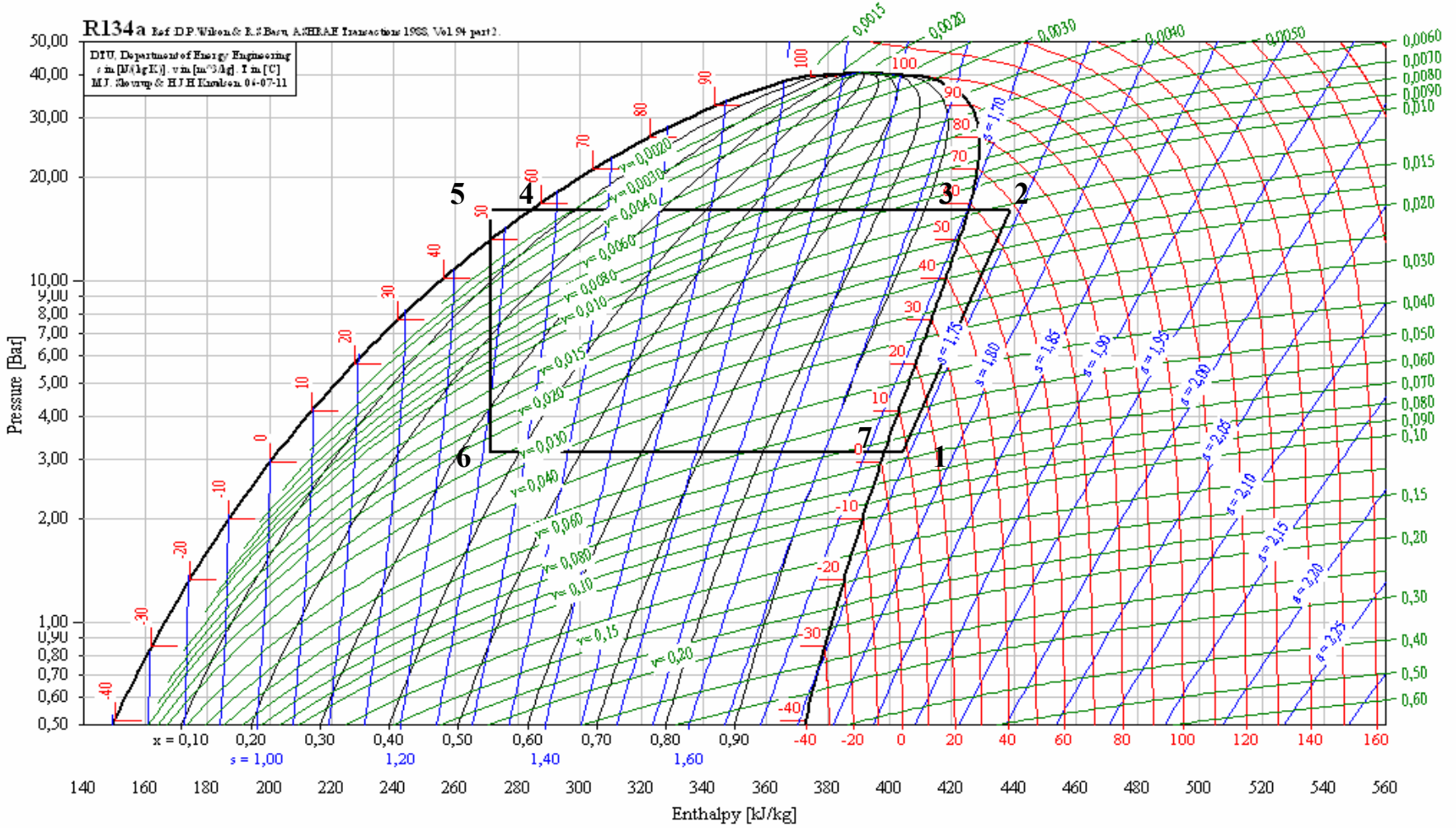
bağıntısı ile hesaplanır.

Modellemesi yapılan ısı pompasının buharlaştırıcı ve yoğuşturucu kapasitesini hesaplanmasında Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından hazırlanan CoolPack programıyla yapılmıştır. Şekil 3.31 de sistemin çalışma şartlarına göre programın hazırladığı basınç - entalpi diyagramı, çizelge 3.10'da çalışma noktalarının teorik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.10 Isı pompası sisteminin de kullanılan soğutucu akışkan R134a'nın bilgisayar programı sonuçları

Nokta	Sıcaklık (^{0}C)	Basınç (bar)	Debi (m^3/kg)	Entalpi (kJ/kg)
1	8	3,146	0,066329	403,921
2	68	16,032	0,013160	438,682
3	68	16,032	0,013160	426,290
4	58	16,032	0,013160	271,418
5	50	16,032	0,013160	271,418
6	2	-	-	403,921
7	2	3,146	0,066326	399.840

.



Şekil 3.31 Modellemesi yapılan ısı pompası sisteminin de kullanılan soğutucu akışkan R134a basınç entalpi diyagramı

3.7 Isı Pompası Soğutucu Akışkan Devresi Boru Çapı Hesabı

Bir soğutma sisteminde akışkanın fiziksel özelliklerinin belirgin bir şekilde farklılık gösterdiği 4 ayrı bölgenin bulunduğu varsayılabilir. Boru çaplarının hesaplanmasında sıcak gaz (basma) borusu ile, kompresör dönüş (emiş) borularındaki akış hızı önemlidir. Bu boru bölümlerinin çaplarının hesaplanması ayrı incelendiğinde;

Dönüş – Emiş boru hattı: En kritik ve en çok dikkat gerektiren boru hattıdır. Bu hattaki boru çağının gereksiz yere büyük tutulması, maliyetleri artırmakla beraber soğutma yağının sürüklenmemesine de neden olur. Diğer yandan boru çapının yetersiz derecede küçük seçilmesi sistemde aşırı basınç ve sıcaklık kayıpları ile beraber akış hızının yüksek olmasına neden olur. Akış hızının yüksekliği gürültüye neden olur.

Basma gidiş borusu hattı: Emiş borusu hattındaki genel hükümler göz önüne alınarak boru boyutlandırılması yapılmalıdır. Boru çapının küçük seçilmesinin emiş borusu hattındaki gibi kritik olmasa da sistemdeki basınç kayıpları kompresörün gücünü etkilediği için soğutma kapasitesi düşer.

Sıvı boru hattı: Bu hattın boru çapı seçiminde önemli olan soğutucu akışkanın köpürmesinin önlenmesidir. Köpürmenin nedeni küçük seçilen boru çapından dolayı basınç kaybının fazla olması ve bunun sonucu doymuş sıvının sıcaklık basınç dengesinin bozulmasıdır.

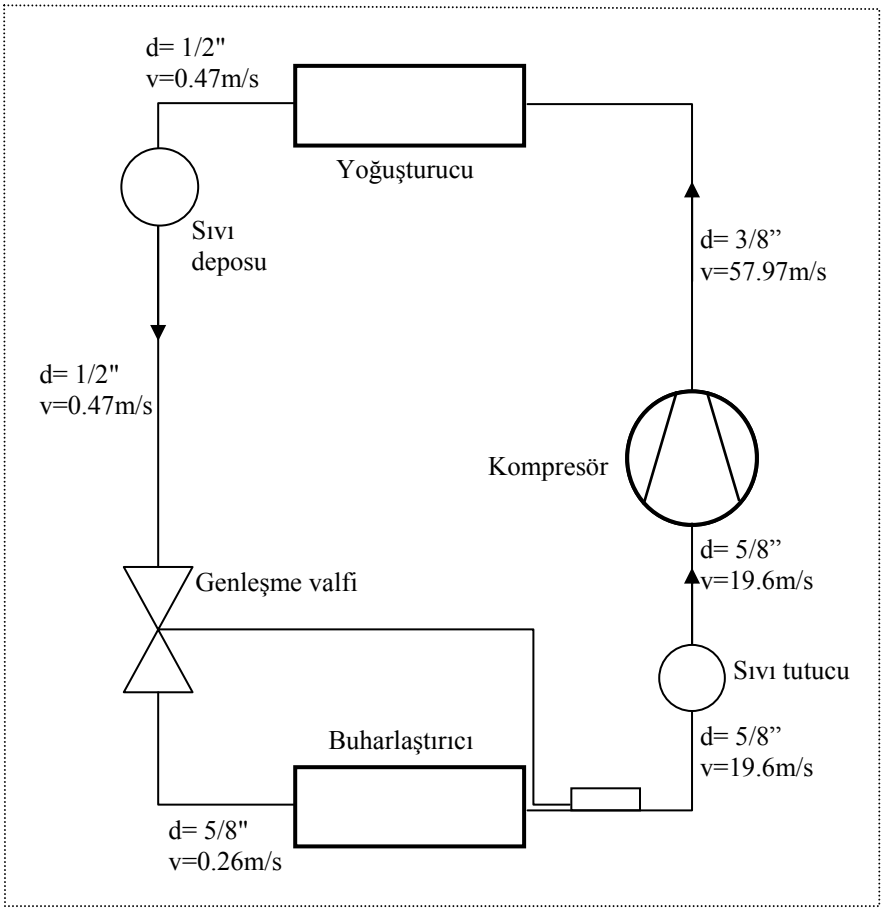
Yoğuşturucu – Sıvı deposu arası sıvı hattı: Bu boru bölümü mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Boru çapının gereğinden küçük seçilmesi yeter miktarda yoğuşturucuda yoğuşan akışkanın sıvı deposuna gidememesine neden olur. Bu durum akışkanın yoğuşturucuda yığılmasına ve yoğuşturucudan yeteri kadar yararlanılamamasına neden olur (Özkol, 1999).

Emiş ve basma boru hattının yatay kısımlarında yağın sürüklenebilmesi için minimum hız 2.5 m/s, düşey kısımlarda yağın sürüklenebilmesi için minimum hızın 5 m/s olması gerekir. Yatay ve düşey borularda maksimum hız 20m/s değerini geçmemelidir. Kompresör ile yoğuşturucu arasında yatay ve düşey borularda minimum hız 20 m/s olmalıdır. Yoğuşturucu ile basınç düşürücü aralarındaki maksimum hız 1.5 m/s değerini geçmemelidir. Basınç düşürücü ile buharlaştırıcı

boruları arasındaki maksimum hız 0.75 m/s değerini geçmemelidir. (Özkol, 1996). Soğutma sisteminde dolaşması gereken soğutucu akışkanın kütlesel debisi belli olduğunda boru çapları aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$u_{ort} = \frac{4\dot{m}v}{\pi d^2} \tag{5}$$

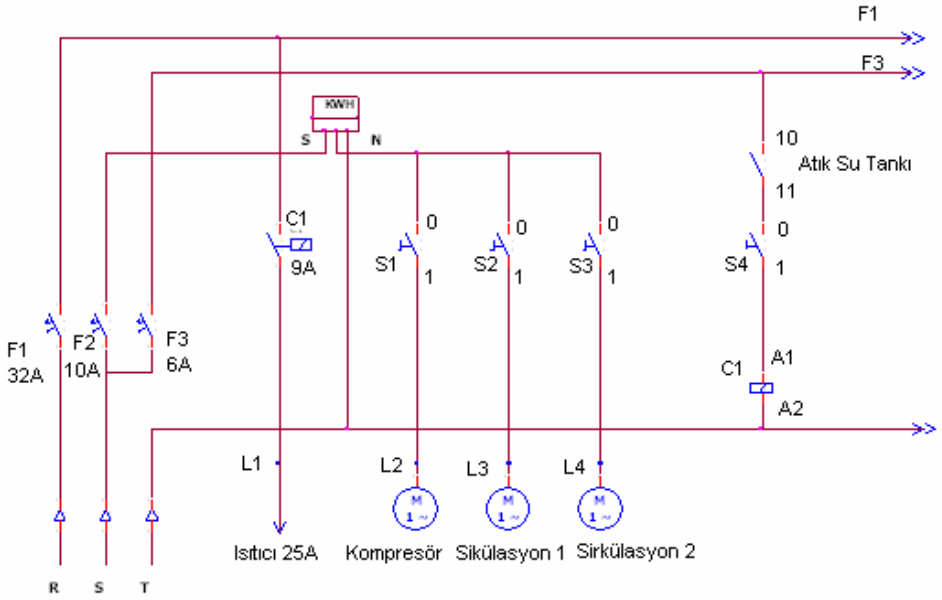
burada u_{ort} ortalama akış hızı, $\dot{m}$ sistemde dolaşan soğutucu akışkanın kütlesel debisi, d bakır borunun iç çapı, v soğutucu akışkanın özgül hacmidir. Modellemesi yapılan ısı pompasının dört ayrı bölge için boru çapları, hız sınırları ve standart bakır boru çapları dikkate alınarak şekil 3. 32 de verilmiştir.



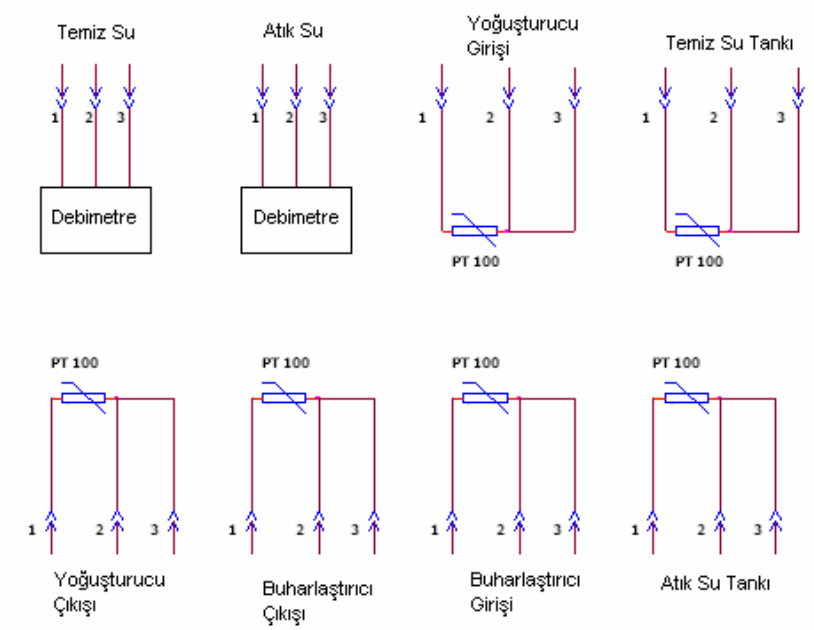
Şekil 3.32 Isı pompası soğutucu akışkan devresi boru çapları

3.7. Isı Pompası Sisteminin Otomatik Kontrolü

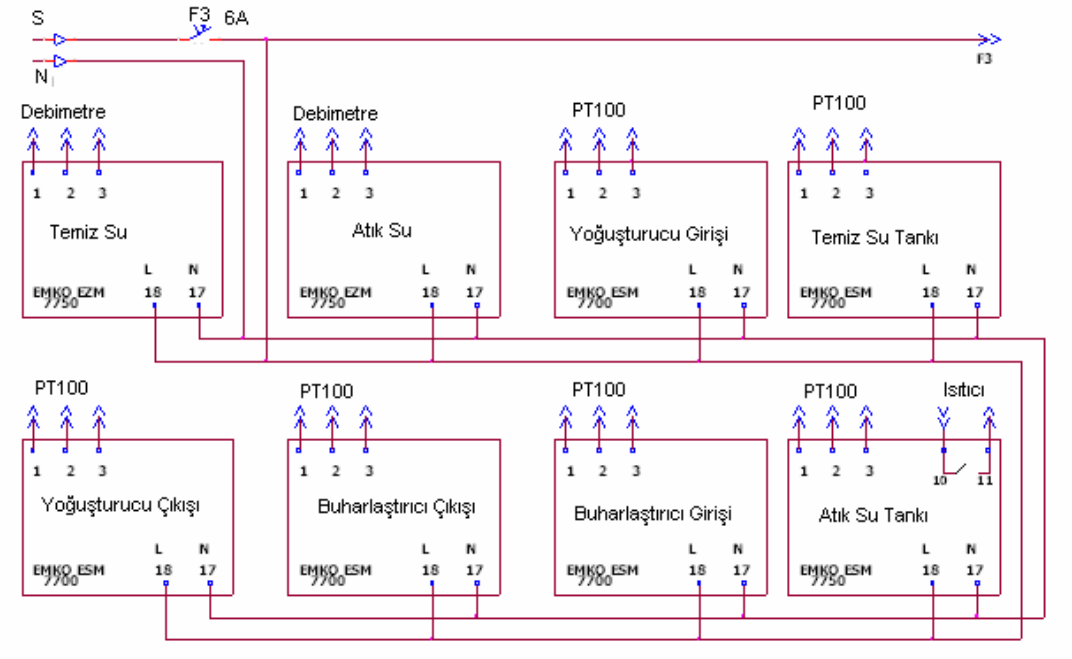
Isı pompasında atık ısı tankındaki suyun sabit bir sıcaklıkta tutulması için sistemin otomatik kontrol devresi tasarlanmıştır. Sistemin soğutma devresinde kompresör basıncının çok yüksek veya aşırı düşük olması durumunda ısı pompası sistemini devre dışı bırakan kombine basınç şalteri kullanılmıştır.



Şekil 3.33 Isı pompası sisteminin elektrik devre şeması



Şekil 3.34 Sistemde debi metre ve sıcaklık algılama sensörlerinin bağlantı şeması



Şekil 3.35 Isı pompası sisteminde proses göstergelerinin bağlantı şeması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Araştırma Sonuçları

Bir ısı pompasının makinesinin verimi etkinlik katsayısı ile ifade edilir. Etkinlik katsayısı, sistemden elde edilen ısı enerjisinin sisteme verilen elektrik enerjisine oranı olarak tanımlanır. Etkinlik katsayısının değeri, sıkıştırma oranı, sıcaklıklar, çevrim düzenlemesi, ısı kaynağı ve dağıtım sıcaklıklarına bağlı olarak değişir. Sistemin tüm etkinliğinin hesaplanması için, ısı pompasının, devir-daim pompalarının, fanların, ve kontrol sistem elemanlarının harcadığı elektrik enerjisi dikkate alınmalıdır. Etkinlik değerinin yüksek olması ısı pompasının uygulanabilirliğinin ekonomik olduğu anlamına gelir.

Isı pompasının etkinlik değeri, ısı pompası ile yapılan ısıtma, soğutma, sıcak su hazırlama işlemlerine göre, buharlaştırıcıya veya yoğuşturucuya giren ve çıkan akışkanların sıcaklık farkı ile kütlesel debileri yardımıyla bulunabilir. Simülasyonu yapılan ısı pompası sadece kullanma sıcak suyu hazırlama amaçlı olduğu için ısı pompasının farklı çalışma sıcaklıkları ve farklı akışkan debilerinde ısıtma etkinlikleri hesaplanacaktır. Atık ısı içerisindeki ısıyı alacak buharlaştırıcı kapasitesi

$$Q_b = \dot{m}_b \, Cp\left(T_{bg} - T_{bç}\right) \tag{6}$$

eşitliğinde hesaplanır. Burada, Q_b buharlaştırıcı kapasitesi, $\dot{m}_b$ buharlaştırıcıya giren suyun kütlesel debisi, T_{bg} suyun buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı, $T_{bç}$ suyun buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı, C_p suyun özgül ısısıdır. Aynı şekilde ısı pompası sistemine giren ısıyı depolama tankına aktaran yoğuşturucu kapasitesi

$$Q_y = \dot{m}_y \, Cp\left(T_{yg} - T_{yç}\right) \tag{7}$$

eşitliğinde hesaplanır. Burada, Q_y yoğuşturucu kapasitesi, $\dot{m}_y$ yoğuşturucuya giren suyun kütlesel debisi, T_{bg} suyun yoğuşturucuya giriş sıcaklığı, $T_{bç}$ suyun

yoğuşturucudan çıkış sıcaklığını ifade eder. Isı pompasının etkinliğinin hesaplanabilmesi için sistemin harcadığı elektrik enerjisinin bilinmesi gerekir. Sistemin harcadığı elektrik enerjisi elektrik sayacı ile ölçülmüştür. Sistemin ısıtma etkinliği yoğuşturucudan alınan ısı enerjisinin sistemin harcadığı güce oranı olup,

$$\eta_I = \frac{Q_y}{W_h} \tag{8}$$

burada η_I ısıtma etkinliğini, Q_y sistemden alınan ısı miktarını, W_h sistemin harcadığı elektrik enerjisi miktarını göstermektedir. Etkinlik deneyleri sırasında ölçümü yapılan büyüklükler ve birimleri aşağıda verilmiştir.

Büyüklük adı	Birim
Buharlaştırıcıya su giriş sıcaklığı	^{0}C
Buharlaştırıcıdan su çıkış sıcaklığı	^{0}C
Buharlaştırıcıya giren su debisi	kg/s
Yoğuşturucuya su giriş sıcaklığı	^{0}C
Yoğuşturucudan su çıkış sıcaklığı	^{0}C
Yoğuşturucuya giren su debisi	kg/s
Atık ısı tankındaki su sıcaklığı	^{0}C
Depolama tankındaki su sıcaklığı	^{0}C
Kompresör emme basıncı	bar
Kompresör basma basıncı	bar
Harcanan elektrik	W

Sıcak su tankı ile yoğuşturucu arasındaki devir daim pompasının farklı hızları için farklı deneyler yapılmıştır. Atık ısı tankındaki farklı sıcaklık değerleri için farklı deneyler yapılmıştır. Deneyler esas teşkil eden veriler her 3 dakikada bir alınmıştır. Bir deneyin toplam süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir.

Modellemesi yapılan ısı pompası sistemi Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma programı laboratuarlarında yapılmıştır. Kullanılması düşünülen Kredi ve Yurtlar Kurumuna ait çamaşırhaneden elde edilen atık su sıcaklığına uygun olarak seçilen farklı sıcaklıklarda ve yoğuşturucuda ve buharlaştırıcıda dolaşan suyun farklı debilerinde ısı pompasının su ısıtma etkinliği denklem 8'e göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları

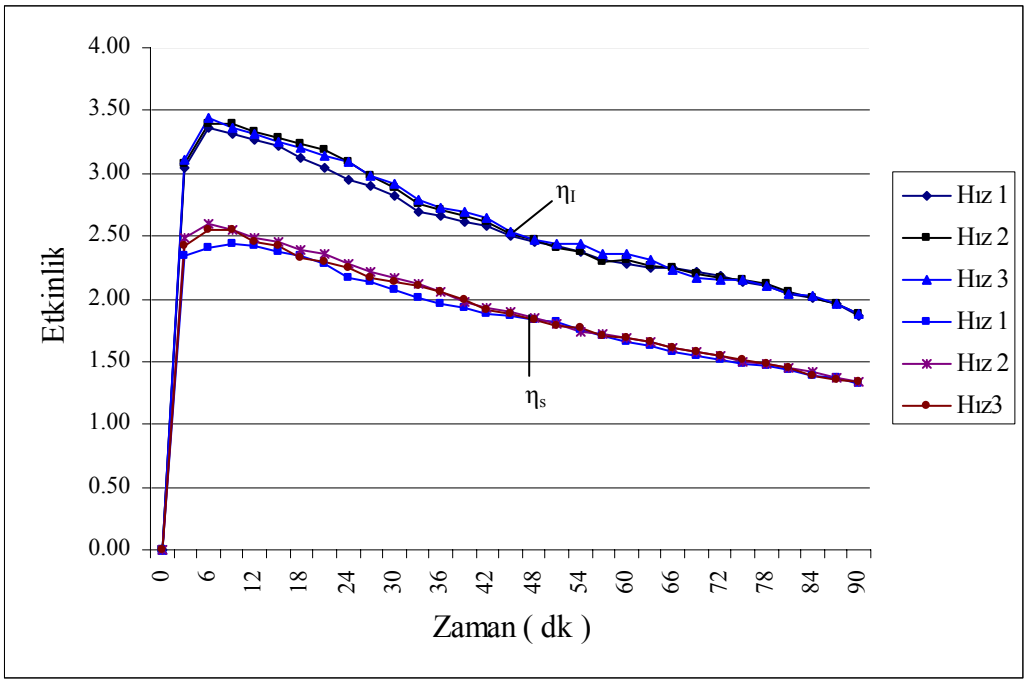
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.7	15.7	0.0	0.000	20.5	20.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.6	23.4	6.8	0.133	20.5	4.0	16.5	0.042	1.8	6.8	1240	3782	2902	3.05	2.34
6	16.7	24.2	7.5	0.133	20.4	3.4	17.0	0.042	1.8	6.9	1240	4172	2991	3.36	2.41
9	17.1	24.5	7.4	0.133	20.6	3.4	17.2	0.042	1.9	6.9	1240	4115	3026	3.32	2.44
12	18.0	25.3	7.3	0.133	20.5	3.4	17.1	0.042	1.9	7.0	1240	4059	3009	3.27	2.43
15	18.6	25.9	7.3	0.133	20.5	3.5	17.0	0.042	1.9	7.2	1260	4059	2991	3.22	2.37
18	19.3	26.5	7.2	0.131	20.4	3.6	16.8	0.042	1.9	7.5	1260	3943	2956	3.13	2.35
21	20.5	27.6	7.1	0.131	20.5	3.9	16.6	0.042	1.9	7.8	1280	3888	2921	3.04	2.28
24	21.5	28.6	7.1	0.131	20.6	4.3	16.3	0.042	1.9	7.9	1320	3888	2868	2.95	2.17
27	22.3	29.3	7.0	0.131	20.6	4.6	16.0	0.042	1.9	8.0	1320	3832	2814	2.90	2.13
30	22.9	29.8	6.9	0.131	20.6	4.8	15.8	0.042	1.9	8.2	1340	3777	2779	2.82	2.07
33	24.0	30.7	6.7	0.131	20.6	5.1	15.5	0.042	1.9	8.5	1360	3668	2726	2.70	2.00
36	25.1	31.7	6.6	0.131	20.7	5.5	15.2	0.042	1.9	8.8	1360	3613	2674	2.66	1.97
39	25.8	32.3	6.5	0.131	20.6	5.7	14.9	0.042	2.0	9.0	1360	3558	2621	2.62	1.93
42	26.9	33.3	6.4	0.131	20.5	5.9	14.6	0.042	2.0	9.2	1360	3503	2568	2.58	1.89
45	27.6	33.8	6.2	0.131	20.5	6.1	14.4	0.042	2.0	9.4	1360	3393	2533	2.50	1.86
48	28.3	34.4	6.1	0.131	20.5	6.3	14.2	0.042	2.0	9.6	1360	3339	2498	2.45	1.84
51	29.3	35.3	6.0	0.131	20.5	6.5	14.0	0.042	2.0	9.8	1360	3284	2462	2.41	1.81
54	30.0	36.0	6.0	0.131	20.5	6.7	13.8	0.042	2.0	10.0	1380	3284	2427	2.38	1.76
57	30.9	36.8	5.9	0.131	20.5	6.9	13.6	0.042	2.0	10.2	1400	3229	2392	2.31	1.71
60	31.7	37.5	5.8	0.132	20.5	7.3	13.2	0.042	2.0	10.4	1400	3199	2321	2.28	1.66
63	32.7	38.5	5.8	0.132	20.5	7.4	13.1	0.042	2.0	10.7	1420	3199	2304	2.25	1.62
66	33.4	39.2	5.8	0.132	20.5	7.7	12.8	0.042	2.1	11.0	1420	3199	2251	2.25	1.59
69	34.1	39.9	5.8	0.132	20.5	7.9	12.6	0.042	2.1	11.2	1440	3199	2216	2.22	1.54
72	34.9	40.6	5.7	0.132	20.5	8.1	12.4	0.042	2.1	11.5	1440	3144	2181	2.18	1.51
75	35.6	41.1	5.5	0.134	20.5	8.3	12.2	0.042	2.1	11.7	1440	3079	2145	2.14	1.49
78	36.7	42.1	5.4	0.134	20.5	8.5	12.0	0.042	2.1	11.8	1440	3024	2110	2.10	1.47
81	37.4	42.7	5.3	0.134	20.5	8.6	11.9	0.042	2.1	12.0	1460	2968	2092	2.03	1.43
84	37.9	43.2	5.3	0.134	20.5	8.8	11.7	0.042	2.1	12.2	1480	2968	2057	2.01	1.39
87	38.6	43.8	5.2	0.134	20.5	9.0	11.5	0.042	2.2	12.5	1480	2912	2022	1.97	1.37
90	39.4	44.4	5.0	0.134	20.5	9.2	11.3	0.042	2.2	12.7	1500	2800	1987	1.87	1.32

Çizelge 4.2 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları

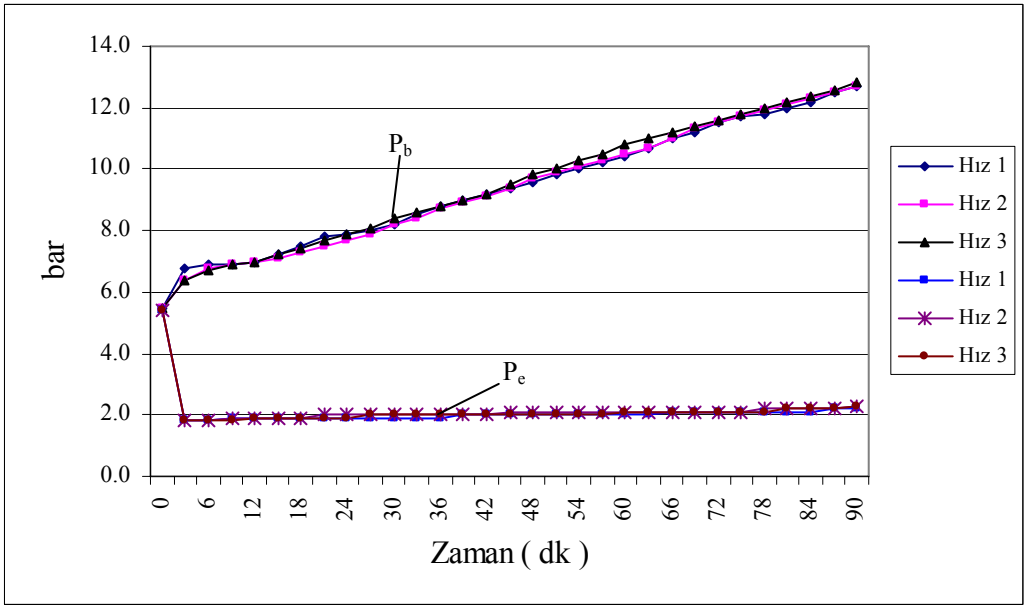
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	20.5	20.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.9	21.8	5.9	0.152	20.6	4.1	16.5	0.044	1.8	6.4	1220	3756	3040	3.08	2.49
6	16.0	22.6	6.6	0.152	20.7	3.2	17.5	0.044	1.8	6.8	1240	4202	3226	3.39	2.60
9	16.6	23.2	6.6	0.152	20.6	3.4	17.2	0.044	1.9	6.9	1240	4202	3170	3.39	2.56
12	17.7	24.3	6.6	0.152	20.6	3.6	17.0	0.044	1.9	7.0	1260	4202	3133	3.34	2.49
15	18.9	25.4	6.5	0.152	20.6	3.8	16.8	0.044	1.9	7.1	1260	4139	3097	3.28	2.46
18	19.7	26.2	6.5	0.152	20.6	4.0	16.6	0.044	1.9	7.3	1280	4139	3060	3.23	2.39
21	20.3	26.7	6.4	0.152	20.6	4.2	16.4	0.044	2.0	7.5	1280	4075	3023	3.18	2.36
24	20.7	27.0	6.3	0.152	20.5	4.4	16.1	0.044	2.0	7.7	1300	4011	2967	3.09	2.28
27	21.6	27.8	6.2	0.152	20.4	4.5	15.9	0.044	2.0	7.9	1320	3939	2930	2.98	2.22
30	22.9	29.0	6.1	0.152	20.5	4.7	15.8	0.044	2.0	8.2	1340	3876	2911	2.89	2.17
33	24.1	29.9	5.8	0.152	20.5	5.1	15.4	0.044	2.0	8.4	1340	3684	2838	2.75	2.12
36	25.1	30.8	5.7	0.152	20.5	5.5	15.0	0.044	2.0	8.7	1340	3621	2764	2.70	2.06
39	26.1	31.8	5.7	0.152	20.6	5.7	14.9	0.043	2.0	8.9	1360	3621	2683	2.66	1.97
42	27.0	32.6	5.6	0.152	20.6	6.0	14.6	0.043	2.0	9.1	1360	3556	2629	2.61	1.93
45	28.0	33.4	5.4	0.152	20.4	6.1	14.3	0.043	2.1	9.4	1360	3429	2575	2.52	1.89
48	28.8	34.1	5.3	0.152	20.5	6.5	14.0	0.043	2.1	9.7	1360	3366	2521	2.47	1.85
51	29.8	35.0	5.2	0.153	20.6	6.8	13.8	0.043	2.1	9.9	1380	3324	2485	2.41	1.80
54	30.9	36.1	5.2	0.153	20.5	7.0	13.5	0.043	2.1	10.1	1400	3324	2431	2.37	1.74
57	31.5	36.5	5.0	0.154	20.5	7.1	13.4	0.043	2.1	10.3	1400	3217	2413	2.30	1.72
60	32.3	37.3	5.0	0.155	20.5	7.4	13.1	0.043	2.1	10.5	1400	3238	2359	2.31	1.69
63	33.0	37.9	4.9	0.155	20.5	7.6	12.9	0.043	2.1	10.7	1400	3173	2323	2.27	1.66
66	33.9	38.8	4.9	0.156	20.5	7.8	12.7	0.043	2.1	11.0	1420	3194	2287	2.25	1.61
69	34.8	39.6	4.8	0.156	20.5	8.0	12.5	0.043	2.1	11.3	1420	3128	2251	2.20	1.58
72	35.5	40.2	4.7	0.157	20.4	8.2	12.2	0.043	2.1	11.5	1420	3083	2197	2.17	1.55
75	36.6	41.3	4.7	0.158	20.4	8.4	12.0	0.043	2.1	11.7	1440	3103	2160	2.15	1.50
78	37.2	41.8	4.6	0.159	20.4	8.5	11.9	0.043	2.2	11.9	1440	3056	2143	2.12	1.49
81	37.9	42.4	4.5	0.159	20.4	8.7	11.7	0.043	2.2	12.1	1460	2990	2107	2.05	1.44
84	38.7	43.1	4.4	0.160	20.4	8.9	11.5	0.043	2.2	12.3	1460	2942	2071	2.02	1.42
87	39.4	43.7	4.3	0.161	20.3	9.0	11.3	0.043	2.2	12.5	1480	2893	2035	1.95	1.37
90	40.3	44.5	4.2	0.161	20.3	9.2	11.1	0.043	2.3	12.7	1500	2826	1999	1.88	1.33

Çizelge 4.3 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 20 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları

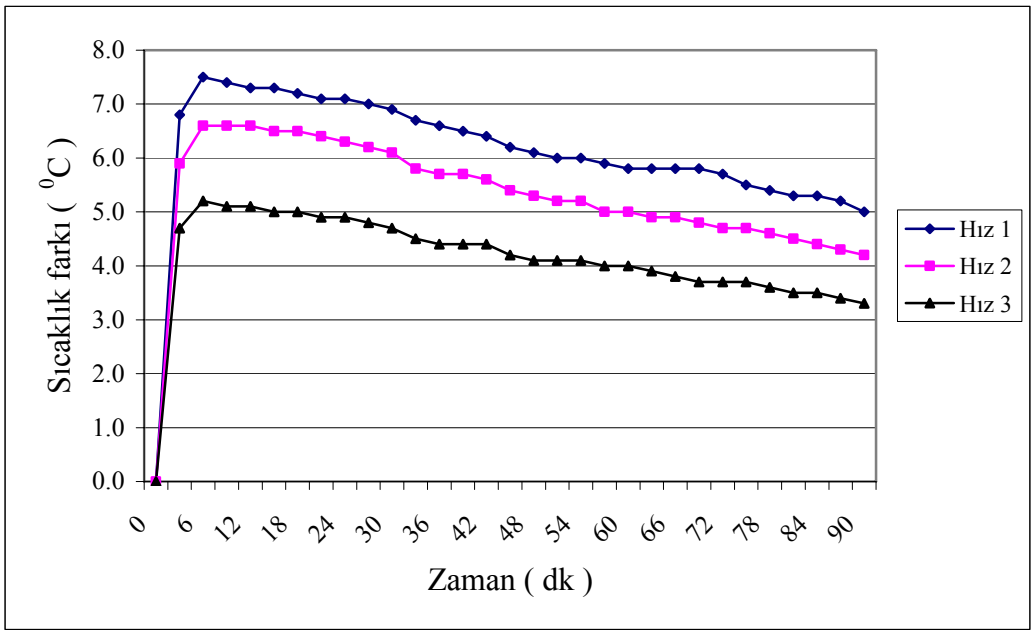
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	20.6	20.6	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.1	20.8	4.7	0.196	20.6	3.9	16.7	0.043	1.8	6.4	1240	3852	3008	3.11	2.43
6	17.0	22.2	5.2	0.196	20.6	3.0	17.6	0.043	1.8	6.7	1240	4261	3170	3.44	2.56
9	18.0	23.1	5.1	0.196	20.7	3.1	17.6	0.043	1.8	6.9	1240	4178	3170	3.37	2.56
12	19.2	24.3	5.1	0.196	20.6	3.4	17.2	0.043	1.9	7.0	1260	4178	3098	3.32	2.46
15	20.1	25.1	5.0	0.196	20.6	3.7	16.9	0.043	1.9	7.2	1260	4096	3044	3.25	2.42
18	21.0	26.0	5.0	0.196	20.5	4.0	16.5	0.043	1.9	7.4	1280	4095	2972	3.20	2.32
21	22.0	26.9	4.9	0.196	20.4	4.1	16.3	0.043	1.9	7.7	1280	4014	2936	3.14	2.29
24	23.0	27.9	4.9	0.196	20.6	4.4	16.2	0.043	1.9	7.9	1300	4014	2917	3.09	2.24
27	23.9	28.7	4.8	0.196	20.5	4.6	15.9	0.043	2.0	8.1	1320	3932	2863	2.98	2.17
30	24.8	29.5	4.7	0.196	20.6	4.9	15.7	0.043	2.0	8.4	1320	3850	2827	2.92	2.14
33	25.9	30.4	4.5	0.196	20.6	5.2	15.4	0.043	2.0	8.6	1320	3685	2773	2.79	2.10
36	26.8	31.2	4.4	0.196	20.6	5.5	15.1	0.043	2.0	8.8	1320	3603	2719	2.73	2.06
39	27.7	32.1	4.4	0.196	20.6	5.8	14.8	0.043	2.0	9.0	1340	3603	2665	2.69	1.99
42	28.7	33.1	4.4	0.196	20.6	6.1	14.5	0.043	2.0	9.2	1360	3603	2611	2.65	1.92
45	29.6	33.8	4.2	0.196	20.6	6.4	14.2	0.043	2.0	9.5	1360	3439	2557	2.53	1.88
48	30.3	34.4	4.1	0.196	20.5	6.6	13.9	0.043	2.0	9.8	1360	3357	2503	2.47	1.84
51	31.2	35.3	4.1	0.197	20.5	6.8	13.7	0.043	2.0	10.0	1380	3375	2467	2.45	1.79
54	32.0	36.1	4.1	0.197	20.5	7.0	13.5	0.043	2.0	10.3	1380	3375	2431	2.45	1.76
57	33.0	37.0	4.0	0.197	20.5	7.2	13.3	0.043	2.0	10.5	1400	3292	2395	2.35	1.71
60	33.7	37.7	4.0	0.197	20.5	7.4	13.1	0.043	2.1	10.8	1400	3292	2359	2.35	1.68
63	34.5	38.4	3.9	0.199	20.5	7.6	12.9	0.043	2.1	11.0	1400	3243	2323	2.32	1.66
66	35.4	39.2	3.8	0.199	20.5	7.8	12.7	0.043	2.1	11.2	1420	3160	2287	2.23	1.61
69	36.1	39.8	3.7	0.199	20.5	8.0	12.5	0.043	2.1	11.4	1420	3077	2251	2.17	1.58
72	36.8	40.5	3.7	0.200	20.5	8.2	12.3	0.043	2.1	11.6	1440	3092	2215	2.15	1.54
75	37.6	41.3	3.7	0.200	20.5	8.4	12.1	0.043	2.1	11.8	1440	3092	2178	2.15	1.51
78	38.4	42.0	3.6	0.202	20.5	8.6	11.9	0.043	2.1	12.0	1440	3039	2142	2.11	1.49
81	39.2	42.7	3.5	0.203	20.5	8.8	11.7	0.043	2.2	12.2	1460	2969	2106	2.03	1.44
84	39.8	43.3	3.5	0.204	20.4	9.0	11.4	0.043	2.2	12.4	1480	2984	2052	2.02	1.39
87	40.6	44.0	3.4	0.204	20.4	9.2	11.2	0.043	2.2	12.6	1480	2899	2016	1.96	1.36
90	41.4	44.7	3.3	0.205	20.4	9.3	11.1	0.043	2.3	12.8	1500	2828	1998	1.89	1.33



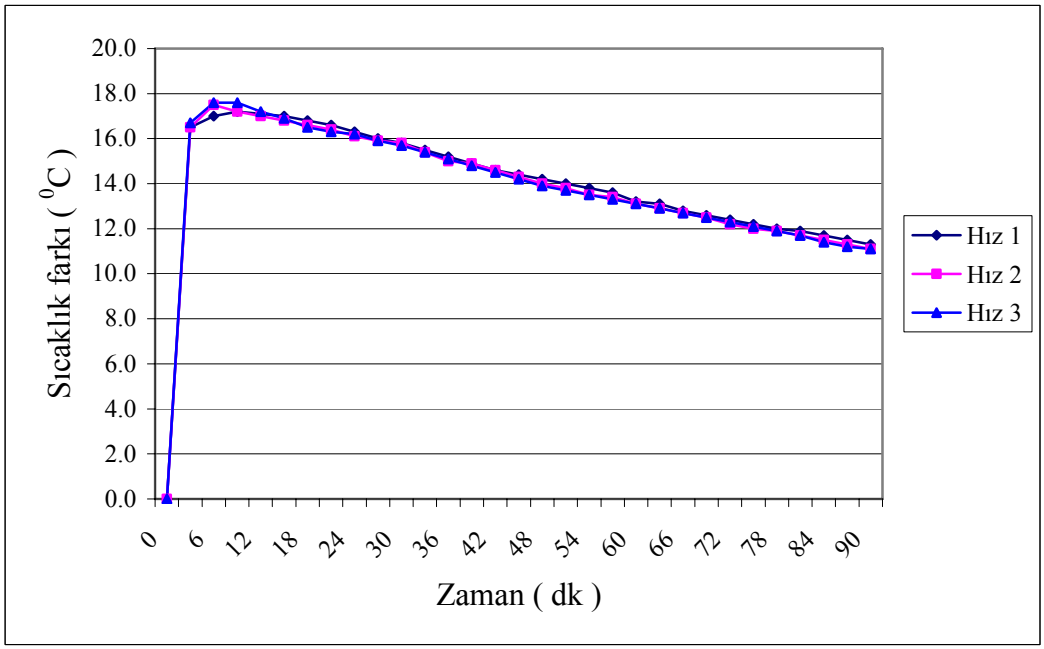
Şekil 4.1 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi



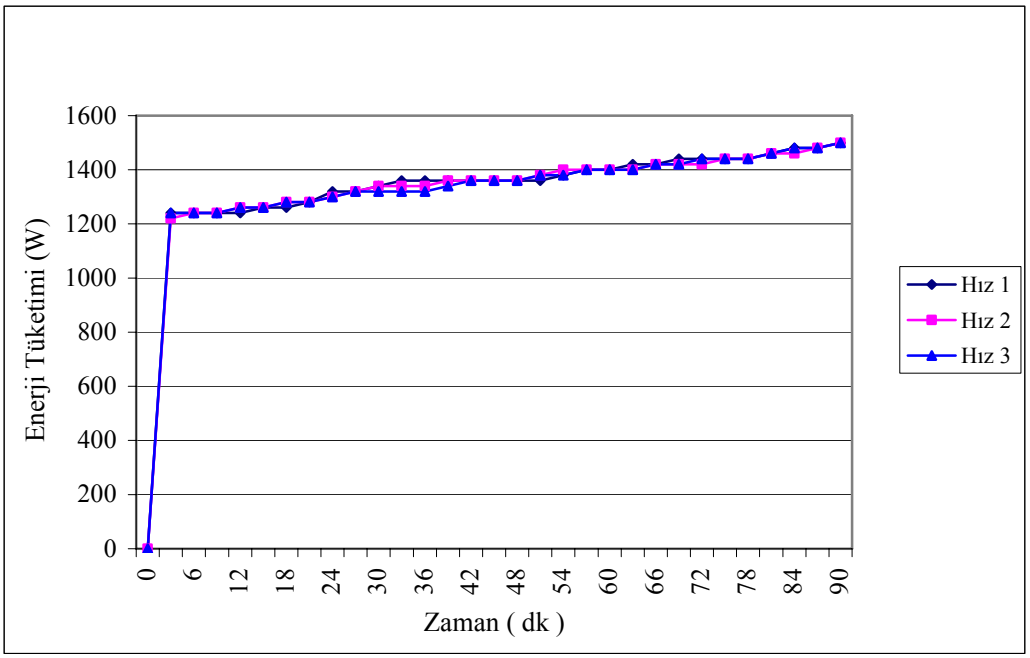
Şekil 4.2 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.3 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.4 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.5 Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 3.26 da çalışma prensip şeması verilen atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının atık su sıcaklığı 20 ^{0}C de, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları tablo 4.1 de, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları tablo 4.2 de, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları tablo 4.3 de verilmiştir. Atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının amacı 20 ^{0}C de atık suyun içerisindeki ısıyı alıp, 15 ^{0}C derece olan depolanmış şebeke suyuna aktarmaktır. Şekil 4.1 de atık ısı pompasının ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri 3 dakika arayla deney süresi olan 90 dakika boyunca verilmiştir. Sistemin ısıtma etkinliği 6'ıncı dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. Isıtma etkinliği 6'ıncı dakikada 3.4 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonu olan 90'ıncı dakikada 1.9 kadar düşmüştür. Düşüş hızının 39 dakikaya kadar daha hızlı, bu dakikadan itibaren daha yavaş olduğu görülmüştür. SK_1 pompa hızlarının ısıtma ve soğutma etkinliklerini fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.2 de SK_1 pompa hızlarının üç değişik durumu için kompresör emme ve basma basınçları verilmiştir. Kompresör basınçlarının SK_1 pompa hızlarına bağlı olarak değişmediği görülmüştür. Kompresör basma basıncının sistem çalışmazken 5,5 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 6.7 bara yükseldiği, bundan sonra sürekli artarak deney sonu olan 90'ıncı dakikada 12.7 bara kadar çıktığı tespit

edilmiştir. Kompresör emme basıncının sistem çalışmazken 5,4 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 1.8 bara düştüğü, bundan sonra sürekli olarak artarak deney sonu olan 90'ıncı dakikada 2,3 bara kadar yükseldiği görülmüştür. Şekil 4.3 de SK_1 pompasının üç değişik hızı için yoğuşturucuya giren temiz suyun giriş ve çıkış sıcaklık farklarının zamanla değişimi verilmiştir. SK_1 pompasının her üç değişik hızında da yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 6'ıncı dakikaya kadar arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edilmiştir. 6. dakikada SK_1 pompa hızı I de akış debisi 0.133 kg/s iken yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 7,5 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.134 kg/s iken yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5 ^{0}C ye kadar düştüğü, SK_1 pompa hızı II de akış debisi 0.152 kg/s iken yoğuşturucu su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 6.6 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.161 kg/s iken yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 4,2 ^{0}C ye kadar düştüğü, SK_1 pompa hızı III de akış debisi 0.196 kg/s iken yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5,2 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.205 kg/s iken yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,3 ^{0}C ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Akış debilerinin belirli pompa hızları için zamanla bir miktar değiştiği görülmüştür. Bunun nedeni sıcaklığa bağlı olarak suyun yoğunluğunun değişimi ve şebeke gerilimine bağlı olarak pompa hızlarındaki anlık dalgalanmalardır. Şekil 4.4 de atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi verilmiştir. Atık suyun 6. dakikaya kadar buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli düştüğü görülmüştür. 6. dakikada atık su debisi 0,044 kg/s iken buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının 17.5 ^{0}C olduğu, deney sonunda atık su debisi 0,043 kg/s iken buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının 11,2 ^{0}C ye kadar düştüğü görülmüştür. SK_1 pompa hızlarının buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farklarını etkilemediği tespit edilmiştir. Şekil 4.5 de sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Kompresör çalışma basıncının artışına bağlı olarak sistemin harcadığı elektik enerjisinin arttığı görülmüştür. SK_1 pompa hızlarındaki artışın elektrik enerjisindeki değişimi fazla etkilemediği görülmüştür. Başlangıçtaki enerji tüketimi 1240 W iken, deney sonu olan 90. dakikada enerji tüketiminin 1500 W kadar çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.4 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları

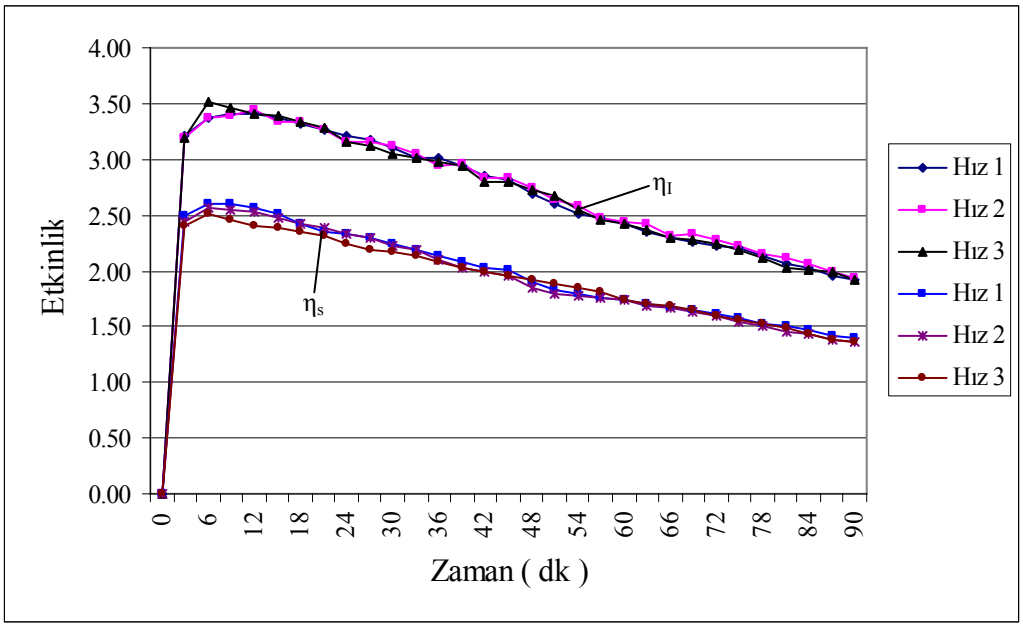
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.0	15.0	0.0	0.000	25.3	25.3	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.9	22.3	6.4	0.154	25.3	7.2	18.1	0.042	1.9	6.8	1280	4121	3181	3.22	2.49
6	16.0	22.7	6.7	0.154	25.4	6.5	18.9	0.042	1.9	6.9	1280	4313	3322	3.37	2.60
9	16.3	23.2	6.9	0.154	25.5	6.3	19.2	0.042	1.9	7.0	1300	4442	3375	3.42	2.60
12	17.2	24.1	6.9	0.154	25.6	6.6	19.0	0.042	2.0	7.1	1300	4442	3340	3.42	2.57
15	18.2	25.1	6.9	0.154	25.4	6.6	18.8	0.042	2.0	7.2	1320	4442	3304	3.36	2.50
18	19.3	26.2	6.9	0.154	25.2	6.7	18.5	0.042	2.0	7.4	1340	4441	3252	3.31	2.43
21	20.4	27.3	6.9	0.154	25.0	6.8	18.2	0.042	2.0	7.7	1360	4441	3199	3.27	2.35
24	21.7	28.5	6.8	0.154	25.0	7.0	18.0	0.042	2.0	8.0	1360	4376	3163	3.22	2.33
27	22.6	29.3	6.7	0.154	25.0	7.3	17.7	0.042	2.1	8.2	1360	4312	3110	3.17	2.29
30	23.6	30.2	6.6	0.153	25.0	7.6	17.4	0.042	2.1	8.4	1360	4219	3058	3.10	2.25
33	24.6	31.1	6.5	0.153	25.4	8.2	17.2	0.042	2.1	8.7	1380	4155	3023	3.01	2.19
36	25.6	32.1	6.5	0.153	25.4	8.6	16.8	0.042	2.1	9.0	1380	4155	2952	3.01	2.14
39	26.1	32.5	6.4	0.152	25.3	8.9	16.4	0.042	2.2	9.2	1380	4064	2882	2.95	2.09
42	27.0	33.3	6.3	0.152	25.4	9.3	16.1	0.042	2.2	9.4	1400	4001	2829	2.86	2.02
45	28.1	34.3	6.2	0.152	25.7	9.7	16.0	0.042	2.2	9.7	1400	3937	2812	2.81	2.01
48	29.4	35.5	6.1	0.152	25.6	10.0	15.6	0.042	2.2	10.0	1440	3874	2741	2.69	1.90
51	30.3	36.3	6.0	0.152	25.5	10.3	15.2	0.042	2.3	10.2	1460	3810	2670	2.61	1.83
54	31.3	37.2	5.9	0.151	25.6	10.5	15.1	0.042	2.3	10.5	1480	3722	2653	2.51	1.79
57	32.4	38.2	5.8	0.151	25.4	10.6	14.8	0.042	2.3	10.8	1480	3659	2600	2.47	1.76
60	33.3	39.0	5.7	0.151	25.6	11.0	14.6	0.042	2.3	11.0	1480	3596	2565	2.43	1.73
63	34.0	39.6	5.6	0.151	25.7	11.2	14.5	0.042	2.3	11.2	1500	3534	2547	2.36	1.70
66	35.1	40.6	5.5	0.150	25.6	11.3	14.3	0.042	2.4	11.4	1500	3448	2512	2.30	1.67
69	36.0	41.5	5.5	0.150	25.6	11.4	14.2	0.042	2.4	11.7	1520	3448	2495	2.27	1.64
72	36.8	42.2	5.4	0.150	25.6	11.6	14.0	0.042	2.5	12.0	1520	3385	2460	2.23	1.62
75	37.6	43.0	5.4	0.150	25.7	11.9	13.8	0.042	2.5	12.2	1540	3385	2424	2.20	1.57
78	38.2	43.5	5.3	0.150	25.7	12.1	13.6	0.042	2.5	12.4	1560	3322	2389	2.13	1.53
81	39.1	44.3	5.2	0.150	25.7	12.2	13.5	0.042	2.6	12.6	1580	3260	2371	2.06	1.50
84	40.3	45.4	5.1	0.150	25.7	12.5	13.2	0.042	2.6	12.9	1580	3198	2319	2.02	1.47
87	41.1	46.1	5.0	0.150	25.7	12.8	12.9	0.042	2.6	13.2	1600	3135	2266	1.96	1.42
90	41.9	46.8	4.9	0.150	25.7	12.9	12.8	0.042	2.6	13.5	1600	3072	2248	1.92	1.41

Çizelge 4.5 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları

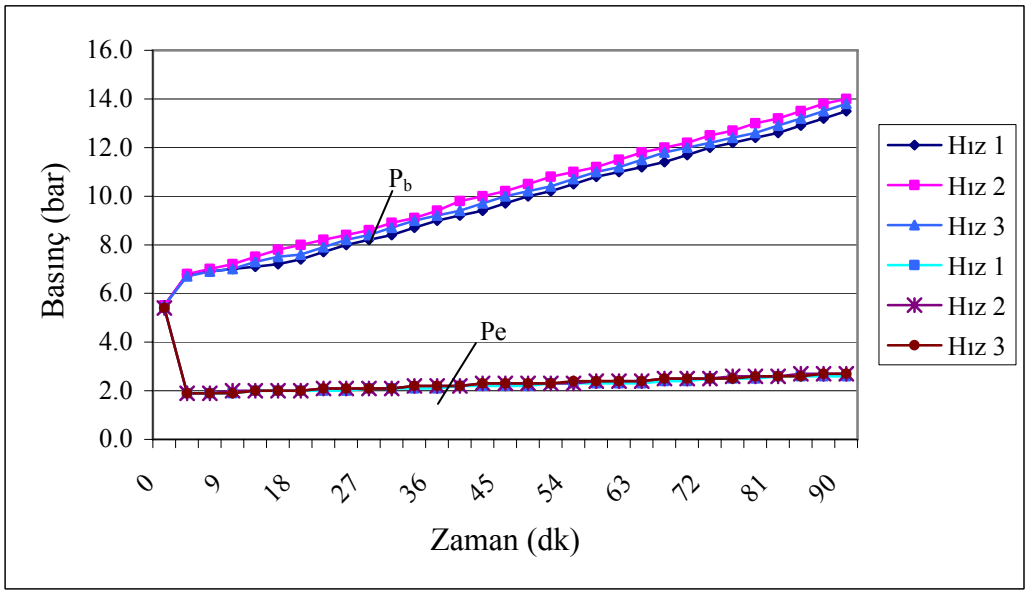
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	25.5	25.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.0	21.0	5.0	0.195	25.0	7.3	17.7	0.042	1.9	6.8	1280	4076	3111	3.18	2.43
6	18.3	23.6	5.3	0.195	25.0	6.3	18.7	0.042	1.9	7.0	1280	4320	3287	3.38	2.57
9	19.5	24.9	5.4	0.195	25.4	6.6	18.8	0.042	2.0	7.2	1300	4402	3304	3.39	2.54
12	20.4	25.9	5.5	0.195	25.2	6.5	18.7	0.042	2.0	7.5	1300	4482	3287	3.45	2.53
15	21.7	27.1	5.4	0.195	25.2	6.6	18.6	0.042	2.0	7.8	1320	4400	3269	3.33	2.48
18	22.4	27.9	5.5	0.194	25.6	7.2	18.4	0.042	2.0	8.0	1340	4459	3234	3.33	2.41
21	23.2	28.6	5.4	0.194	25.6	7.4	18.2	0.042	2.1	8.2	1340	4378	3198	3.27	2.39
24	24.0	29.3	5.3	0.194	25.6	7.6	18.0	0.042	2.1	8.4	1360	4296	3163	3.16	2.33
27	25.3	30.6	5.3	0.194	25.5	7.8	17.7	0.042	2.1	8.6	1360	4296	3110	3.16	2.29
30	26.2	31.5	5.3	0.194	25.5	8.0	17.5	0.042	2.1	8.9	1380	4296	3075	3.11	2.23
33	26.8	32.0	5.2	0.194	25.5	8.3	17.2	0.042	2.2	9.1	1380	4215	3023	3.05	2.19
36	28.0	33.0	5.0	0.194	25.6	8.7	16.9	0.041	2.2	9.4	1380	4053	2899	2.94	2.10
39	29.0	34.1	5.1	0.194	25.6	9.1	16.5	0.041	2.2	9.8	1400	4134	2830	2.95	2.02
42	30.4	35.3	4.9	0.194	25.6	9.4	16.2	0.041	2.3	10.0	1400	3972	2778	2.84	1.98
45	31.4	36.3	4.9	0.194	25.6	9.7	15.9	0.041	2.3	10.2	1400	3972	2727	2.84	1.95
48	31.8	36.6	4.8	0.194	25.7	10.0	15.7	0.040	2.3	10.5	1420	3891	2627	2.74	1.85
51	33.2	37.9	4.7	0.193	25.6	10.1	15.5	0.040	2.3	10.8	1440	3790	2593	2.63	1.80
54	33.5	38.1	4.6	0.193	25.5	10.2	15.3	0.040	2.3	11.0	1440	3709	2560	2.58	1.78
57	34.7	39.2	4.5	0.190	25.6	10.5	15.1	0.040	2.4	11.2	1440	3573	2527	2.48	1.75
60	35.4	39.9	4.5	0.190	25.6	10.8	14.8	0.041	2.4	11.5	1460	3573	2538	2.45	1.74
63	36.5	41.0	4.5	0.190	25.6	11.0	14.6	0.041	2.4	11.8	1480	3573	2504	2.41	1.69
66	37.2	41.5	4.3	0.190	25.6	11.2	14.4	0.041	2.5	12.0	1480	3414	2470	2.31	1.67
69	38.3	42.7	4.4	0.190	25.6	11.4	14.2	0.041	2.5	12.2	1500	3494	2435	2.33	1.62
72	39.0	43.3	4.3	0.190	25.5	11.5	14.0	0.041	2.5	12.5	1500	3414	2400	2.28	1.60
75	39.9	44.2	4.3	0.191	25.5	11.6	13.9	0.041	2.6	12.7	1540	3432	2383	2.23	1.55
78	40.8	45.0	4.2	0.191	25.5	11.8	13.7	0.041	2.6	13.0	1560	3352	2349	2.15	1.51
81	41.6	45.8	4.2	0.191	25.4	12.0	13.4	0.041	2.6	13.2	1580	3353	2298	2.12	1.45
84	42.2	46.3	4.1	0.191	25.4	12.2	13.2	0.041	2.7	13.5	1580	3273	2263	2.07	1.43
87	43.1	47.1	4.0	0.191	25.4	12.5	12.9	0.041	2.7	13.8	1600	3194	2212	2.00	1.38
90	43.8	47.7	3.9	0.191	25.4	12.7	12.7	0.041	2.7	14.0	1600	3114	2178	1.95	1.36

Çizelge 4.6 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 25 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları

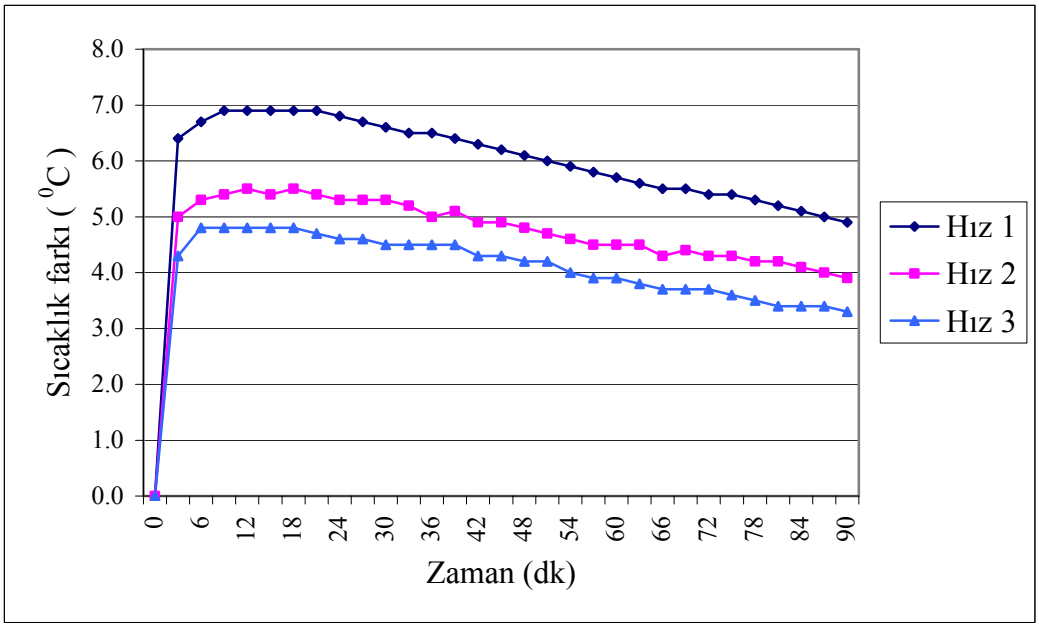
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	25.5	25.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.2	20.5	4.3	0.231	25.6	7.8	17.8	0.042	1.9	6.7	1300	4154	3129	3.20	2.41
6	17.0	21.8	4.8	0.231	25.4	6.6	18.8	0.042	1.9	6.9	1320	4636	3304	3.51	2.50
9	18.1	22.9	4.8	0.231	25.4	6.7	18.7	0.042	1.9	7.0	1340	4635	3287	3.46	2.45
12	19.3	24.1	4.8	0.231	25.4	6.8	18.6	0.042	2.0	7.3	1360	4635	3269	3.41	2.40
15	20.3	25.1	4.8	0.230	25.5	7.0	18.5	0.042	2.0	7.5	1360	4615	3252	3.39	2.39
18	21.4	26.2	4.8	0.230	25.5	7.1	18.4	0.042	2.0	7.6	1380	4614	3234	3.34	2.34
21	22.4	27.1	4.7	0.230	25.4	7.2	18.2	0.042	2.1	7.9	1380	4517	3198	3.27	2.32
24	23.4	28.0	4.6	0.230	25.7	7.8	17.9	0.042	2.1	8.2	1400	4421	3146	3.16	2.25
27	24.5	29.1	4.6	0.230	25.6	7.9	17.7	0.042	2.1	8.4	1420	4421	3110	3.11	2.19
30	25.6	30.1	4.5	0.230	25.6	8.1	17.5	0.042	2.1	8.7	1420	4325	3075	3.05	2.17
33	26.6	31.1	4.5	0.228	25.6	8.3	17.3	0.042	2.2	9.0	1420	4287	3040	3.02	2.14
36	27.7	32.2	4.5	0.228	25.5	8.4	17.1	0.042	2.2	9.2	1440	4287	3005	2.98	2.09
39	28.5	33.0	4.5	0.228	25.5	8.7	16.8	0.042	2.2	9.4	1460	4287	2952	2.94	2.02
42	29.6	33.9	4.3	0.228	25.5	9.0	16.5	0.042	2.3	9.7	1460	4096	2900	2.81	1.99
45	30.6	34.9	4.3	0.227	25.5	9.2	16.3	0.042	2.3	10.0	1460	4078	2864	2.79	1.96
48	31.4	35.6	4.2	0.227	25.5	9.5	16.0	0.042	2.3	10.2	1460	3983	2812	2.73	1.93
51	32.3	36.5	4.2	0.225	25.5	9.7	15.8	0.042	2.3	10.4	1480	3948	2776	2.67	1.88
54	33.4	37.4	4.0	0.225	25.4	9.8	15.6	0.042	2.4	10.7	1480	3760	2741	2.54	1.85
57	34.2	38.1	3.9	0.226	25.4	10.0	15.4	0.042	2.4	11.0	1500	3682	2706	2.45	1.80
60	34.9	38.8	3.9	0.226	25.4	10.3	15.1	0.042	2.4	11.2	1520	3683	2653	2.42	1.75
63	35.7	39.5	3.8	0.226	25.4	10.6	14.8	0.042	2.4	11.5	1520	3589	2600	2.36	1.71
66	36.6	40.3	3.7	0.226	25.3	10.7	14.6	0.042	2.5	11.8	1520	3494	2565	2.30	1.69
69	37.6	41.3	3.7	0.226	25.4	11.0	14.4	0.042	2.5	12.0	1540	3494	2530	2.27	1.64
72	38.4	42.1	3.7	0.226	25.4	11.2	14.2	0.042	2.5	12.2	1560	3494	2495	2.24	1.60
75	39.2	42.8	3.6	0.226	25.4	11.5	13.9	0.042	2.5	12.4	1560	3400	2442	2.18	1.57
78	40.2	43.7	3.5	0.226	25.4	11.8	13.6	0.042	2.6	12.6	1560	3306	2389	2.12	1.53
81	41.3	44.7	3.4	0.226	25.4	12.0	13.4	0.042	2.6	12.9	1580	3212	2354	2.03	1.49
84	42.5	45.9	3.4	0.226	25.4	12.3	13.1	0.042	2.6	13.2	1600	3212	2301	2.01	1.44
87	43.8	47.2	3.4	0.226	25.4	12.6	12.8	0.042	2.7	13.5	1620	3212	2248	1.98	1.39
90	44.8	48.1	3.3	0.226	25.4	12.8	12.6	0.042	2.7	13.8	1620	3117	2213	1.92	1.37



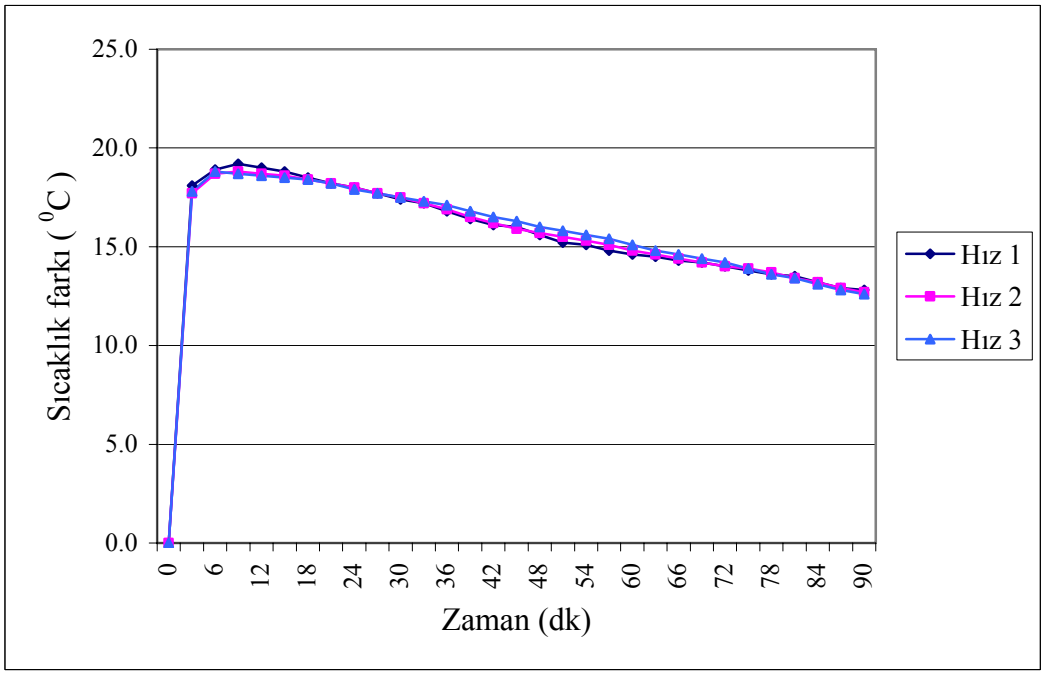
Şekil 4.6 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi



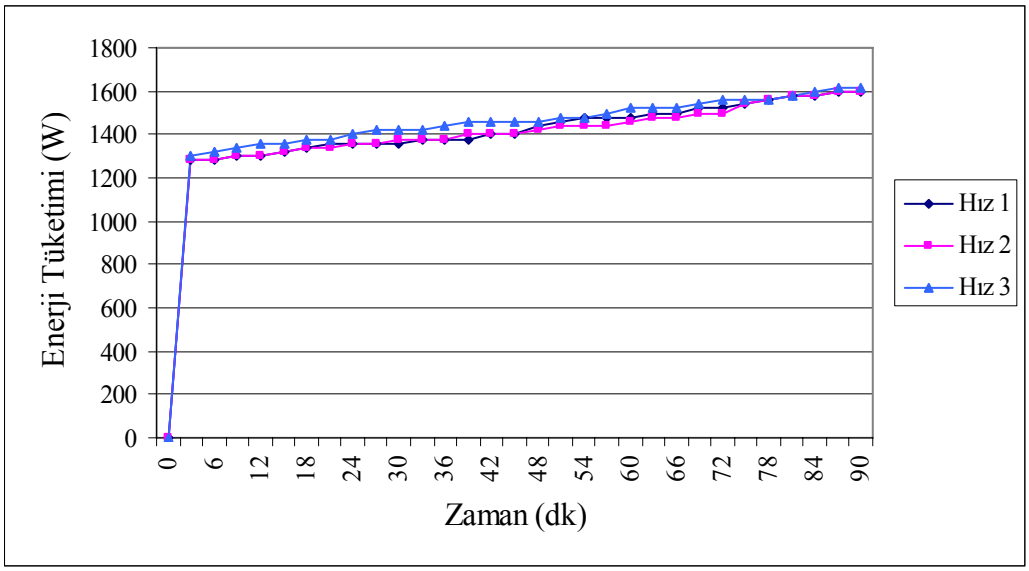
Şekil 4.7 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.8 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.9 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.10 Atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 3.26 da çalışma prensip şeması verilen atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının atık su sıcaklığı 25 ^{0}C de, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları tablo 4.4 de, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları tablo 4.5 de, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları tablo 4.6 da verilmiştir. Şekil 4.6 da atık ısı pompasının ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri verilmiştir. Sistemin ısıtma etkinliği 6'ıncı dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. Isıtma etkinliği 6'ıncı dakikada SK_1 pompa hızı I için 3.37 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonu olan 90'ıncı dakikada 1.92 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II için ısıtma etkinliği 6. dakikada 3.38 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.95 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı III için 6. dakikada 3.51 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.92 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızlarının ısıtma ve soğutma etkinliklerini fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.7 de SK_1 pompa hızlarının üç değişik durumu için kompresör emme ve basma basınçları verilmiştir. Kompresör basınçlarının SK_1 pompa hızlarına bağlı olarak değişmediği görülmüştür. Kompresör basma basıncının sistem çalışmazken 5,5 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 6.8 bara yükseldiği, bundan sonra sürekli artarak deney sonu olan 90'ıncı dakikada 13,5 ile 14 bara kadar çıktığı tespit edilmiştir. Kompresör emme basıncının sistem çalışmazken 5,4 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 1.9 bara düştüğü, bundan sonra sürekli bir miktar artarak deney sonu olan 90'ıncı dakikada

2,7 bara kadar yükseldiği görülmüştür. Şekil 4.8 de SK_1 pompasının üç değişik hızı için yoğuşturucuya giren temiz suyun giriş ve çıkış sıcaklık farklarının zamanla değişimi verilmiştir. SK_1 pompa hızı I de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 9. dakikaya kadar arttığı, 9-21. dakikada sabit kaldığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. 9. dakikada SK_1 pompa hızı I de akış debisi 0.154 kg/s iken yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 6,9 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.150 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkını 4,9 ^{0}C ye kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 12. dakikaya kadar arttığı, 18 dakikaya kadar bu sıcaklıkta sabit kaldığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edilmiştir. 12. dakikada SK_1 pompa hızı II de akış debisi 0.195 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5.5 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.191 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,9 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. SK_1 pompa hızı III de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 6. dakikaya kadar arttığı, 18 dakikaya kadar bu sıcaklıkta sabit kaldığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. 6. dakikada SK_1 pompa hızı III de akış debisi 0.231 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 4.8 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.226 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,3 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. Şekil 4.9 da atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi verilmiştir. Atık suyun SK_1'in I ve II pompa hızlarında 9. dakikaya kadar buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli düştüğü görülmüştür. III pompa hızında 6. dakikaya kadar suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli düştüğü görülmüştür. Şekil 4.10 da sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Kompresör çalışma basıncının artışına bağlı olarak sistemin harcadığı elektik enerjisinin arttığı görülmüştür. SK_1 pompa hızlarındaki artışın elektrik enerjisindeki değişimi fazla etkilemediği görülmüştür. Başlangıçtaki enerji tüketimi 1280 W iken, deney sonunda enerji tüketiminin 1600 W kadar çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.7 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları

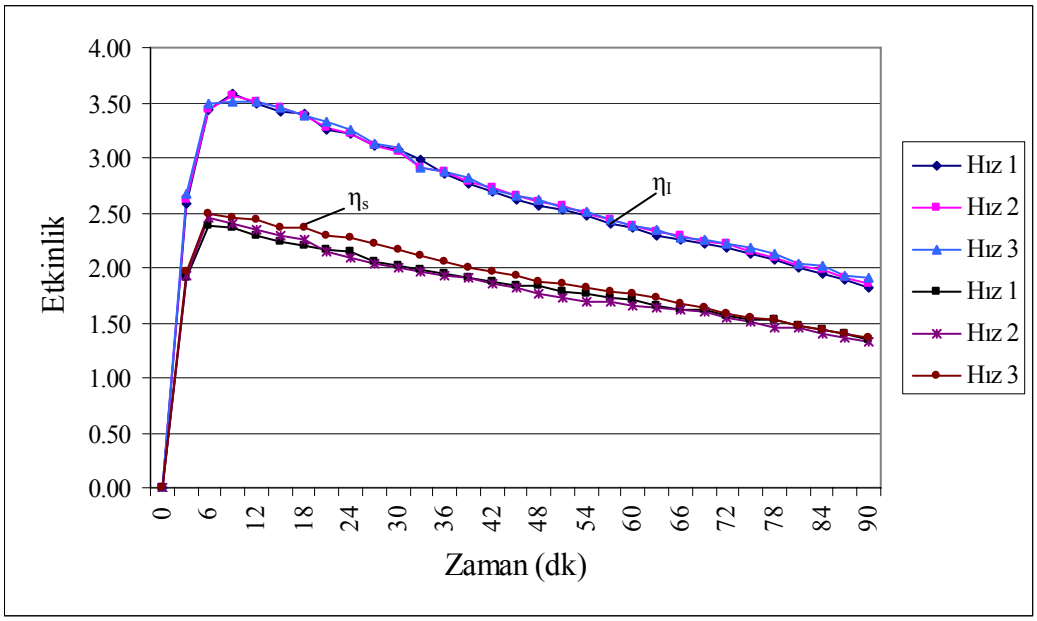
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	30.5	30.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.5	21.0	5.5	0.144	30.5	16.2	14.3	0.041	1.8	6.9	1280	3311	2451	2.59	1.92
6	17.5	24.8	7.3	0.144	30.4	12.6	17.8	0.041	1.8	7.0	1280	4394	3051	3.43	2.38
9	17.2	24.8	7.6	0.144	30.4	12.8	17.6	0.041	1.9	7.2	1280	4575	3017	3.57	2.36
12	17.9	25.4	7.5	0.145	30.4	13.0	17.4	0.041	1.9	7.4	1300	4546	2983	3.50	2.29
15	18.8	26.2	7.4	0.146	30.4	13.2	17.2	0.041	1.9	7.6	1320	4515	2948	3.42	2.23
18	19.2	26.5	7.3	0.147	30.4	13.4	17.0	0.041	1.9	7.7	1320	4484	2914	3.40	2.21
21	20.3	27.4	7.1	0.147	30.5	13.6	16.9	0.041	2.0	7.8	1340	4362	2897	3.25	2.16
24	21.3	28.3	7.0	0.147	30.5	13.8	16.7	0.041	2.0	8.0	1340	4300	2863	3.21	2.14
27	22.3	29.3	7.0	0.147	30.5	14.0	16.5	0.041	2.0	8.2	1380	4300	2828	3.12	2.05
30	23.1	30.0	6.9	0.147	30.5	14.2	16.3	0.041	2.1	8.4	1380	4239	2794	3.07	2.02
33	24.1	30.9	6.8	0.147	30.5	14.3	16.2	0.041	2.1	8.7	1400	4176	2777	2.98	1.98
36	25.2	31.8	6.6	0.147	30.5	14.4	16.1	0.041	2.1	9.0	1420	4053	2760	2.85	1.94
39	25.9	32.4	6.5	0.147	30.5	14.5	16.0	0.041	2.1	9.2	1440	3992	2743	2.77	1.90
42	26.6	33.0	6.4	0.147	30.5	14.6	15.9	0.041	2.1	9.4	1460	3931	2725	2.69	1.87
45	28.3	34.6	6.3	0.147	30.6	14.7	15.9	0.041	2.2	9.6	1480	3869	2725	2.61	1.84
48	29.0	35.2	6.2	0.146	30.6	14.8	15.8	0.041	2.2	9.9	1480	3782	2708	2.56	1.83
51	30.0	36.2	6.2	0.146	30.6	15.0	15.6	0.041	2.3	10.2	1500	3782	2674	2.52	1.78
54	31.0	37.1	6.1	0.146	30.6	15.1	15.5	0.041	2.3	10.4	1500	3721	2656	2.48	1.77
57	31.8	37.8	6.0	0.146	30.6	15.3	15.3	0.041	2.3	10.7	1520	3660	2622	2.41	1.73
60	32.6	38.5	5.9	0.146	30.6	15.5	15.1	0.041	2.3	11.0	1520	3599	2588	2.37	1.70
63	33.5	39.3	5.8	0.146	30.6	15.7	14.9	0.041	2.4	11.2	1540	3539	2554	2.30	1.66
66	34.5	40.2	5.7	0.146	30.5	15.9	14.6	0.041	2.4	11.5	1540	3478	2502	2.26	1.62
69	35.3	40.9	5.6	0.146	30.5	16.0	14.5	0.041	2.4	11.8	1540	3417	2485	2.22	1.61
72	36.0	41.6	5.6	0.146	30.5	16.2	14.3	0.041	2.5	12.0	1560	3417	2451	2.19	1.57
75	37.0	42.5	5.5	0.146	30.5	16.4	14.1	0.041	2.5	12.2	1580	3356	2416	2.12	1.53
78	37.7	43.1	5.4	0.145	30.5	16.5	14.0	0.041	2.6	12.5	1580	3272	2399	2.07	1.52
81	38.6	43.9	5.3	0.145	30.5	16.7	13.8	0.041	2.6	12.7	1600	3212	2364	2.01	1.48
84	39.3	44.5	5.2	0.145	30.5	16.9	13.6	0.041	2.6	13.0	1620	3152	2330	1.95	1.44
87	40.3	45.4	5.1	0.145	30.5	17.1	13.4	0.041	2.6	13.2	1640	3091	2296	1.88	1.40
90	41.2	46.2	5.0	0.145	30.5	17.4	13.1	0.041	2.7	13.5	1660	3031	2245	1.83	1.35

Çizelge 4.8 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları

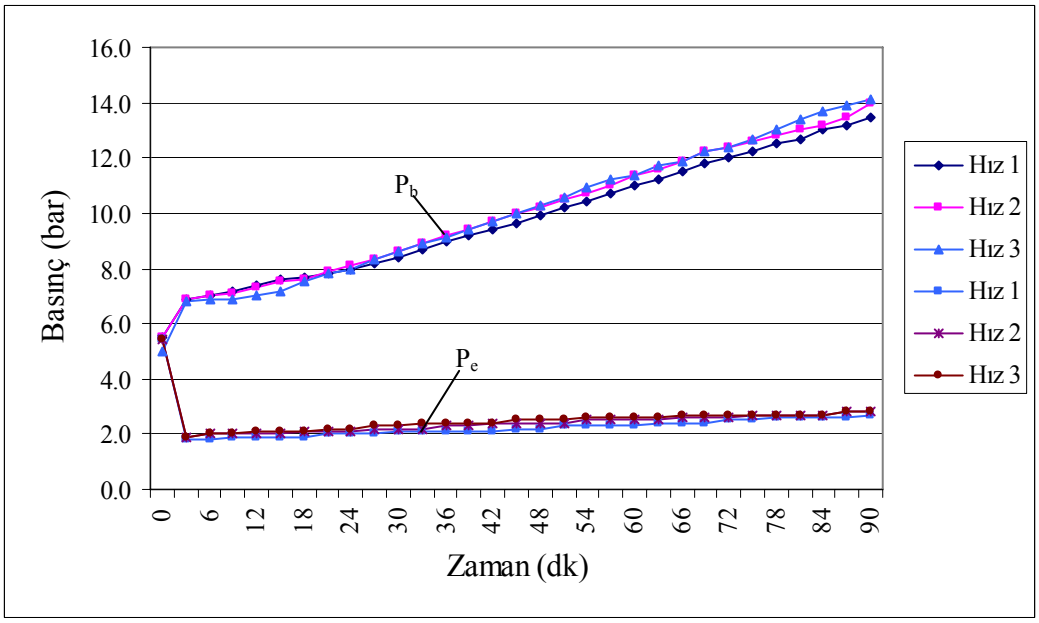
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	30.5	30.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.2	20.4	4.2	0.191	30.5	16.4	14.1	0.042	1.9	6.9	1280	3355	2477	2.62	1.93
6	16.9	22.4	5.5	0.191	30.5	12.6	17.9	0.042	2.0	7.0	1280	4392	3144	3.43	2.46
9	17.3	23.1	5.8	0.191	30.4	12.7	17.7	0.042	2.0	7.1	1300	4631	3109	3.56	2.39
12	18.2	23.9	5.7	0.191	30.4	13.0	17.4	0.042	2.0	7.3	1300	4551	3056	3.50	2.35
15	19.0	24.7	5.7	0.191	30.4	13.2	17.2	0.042	2.0	7.5	1320	4551	3021	3.45	2.29
18	20.0	25.6	5.6	0.191	30.4	13.5	16.9	0.042	2.1	7.6	1320	4470	2968	3.39	2.25
21	21.1	26.6	5.5	0.191	30.1	13.7	16.4	0.042	2.1	7.9	1340	4390	2881	3.28	2.15
24	22.3	27.8	5.5	0.190	30.0	13.8	16.2	0.042	2.1	8.1	1360	4367	2845	3.21	2.09
27	23.0	28.4	5.4	0.190	30.0	14.0	16.0	0.042	2.2	8.3	1380	4288	2810	3.11	2.04
30	23.9	29.3	5.4	0.190	30.3	14.3	16.0	0.042	2.2	8.6	1400	4287	2810	3.06	2.01
33	25.0	30.2	5.2	0.190	30.4	14.5	15.9	0.042	2.2	8.9	1420	4128	2792	2.91	1.97
36	26.0	31.2	5.2	0.190	30.5	14.7	15.8	0.042	2.3	9.2	1440	4128	2775	2.87	1.93
39	26.8	31.9	5.1	0.190	30.6	14.8	15.8	0.042	2.3	9.4	1460	4048	2775	2.77	1.90
42	28.3	33.4	5.1	0.190	30.6	14.9	15.7	0.042	2.4	9.7	1480	4048	2757	2.74	1.86
45	29.2	34.2	5.0	0.190	30.6	15.0	15.6	0.042	2.4	10.0	1500	3969	2739	2.65	1.83
48	30.1	35.0	4.9	0.190	30.4	15.3	15.1	0.042	2.4	10.2	1500	3890	2652	2.59	1.77
51	30.9	35.8	4.9	0.190	30.5	15.5	15.0	0.042	2.4	10.5	1520	3890	2634	2.56	1.73
54	32.1	36.9	4.8	0.189	30.4	15.7	14.7	0.042	2.5	10.7	1520	3790	2581	2.49	1.70
57	33.0	37.7	4.7	0.189	30.5	15.9	14.6	0.042	2.5	11.0	1520	3711	2564	2.44	1.69
60	34.1	38.7	4.6	0.188	30.5	16.1	14.4	0.042	2.5	11.4	1520	3614	2529	2.38	1.66
63	34.9	39.4	4.5	0.188	30.5	16.3	14.2	0.042	2.5	11.6	1520	3535	2494	2.33	1.64
66	35.8	40.3	4.5	0.188	30.7	16.5	14.2	0.042	2.6	11.9	1540	3535	2493	2.30	1.62
69	36.7	41.1	4.4	0.188	30.7	16.7	14.0	0.042	2.6	12.2	1540	3457	2458	2.24	1.60
72	37.7	42.1	4.4	0.188	30.6	16.9	13.7	0.042	2.6	12.4	1560	3457	2405	2.22	1.54
75	38.7	43.0	4.3	0.188	30.5	17.0	13.5	0.042	2.7	12.6	1580	3378	2370	2.14	1.50
78	39.3	43.5	4.2	0.188	30.3	17.2	13.1	0.042	2.7	12.8	1580	3300	2300	2.09	1.46
81	40.4	44.5	4.1	0.188	30.5	17.2	13.3	0.042	2.7	13.0	1600	3221	2335	2.01	1.46
84	41.2	45.3	4.1	0.188	30.5	17.6	12.9	0.042	2.7	13.2	1620	3222	2265	1.99	1.40
87	42.0	46.0	4.0	0.188	30.5	17.8	12.7	0.042	2.8	13.5	1640	3143	2229	1.92	1.36
90	42.9	46.8	3.9	0.188	30.5	18.0	12.5	0.042	2.8	14.0	1660	3065	2194	1.85	1.32

Çizelge 4.9 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 30 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları

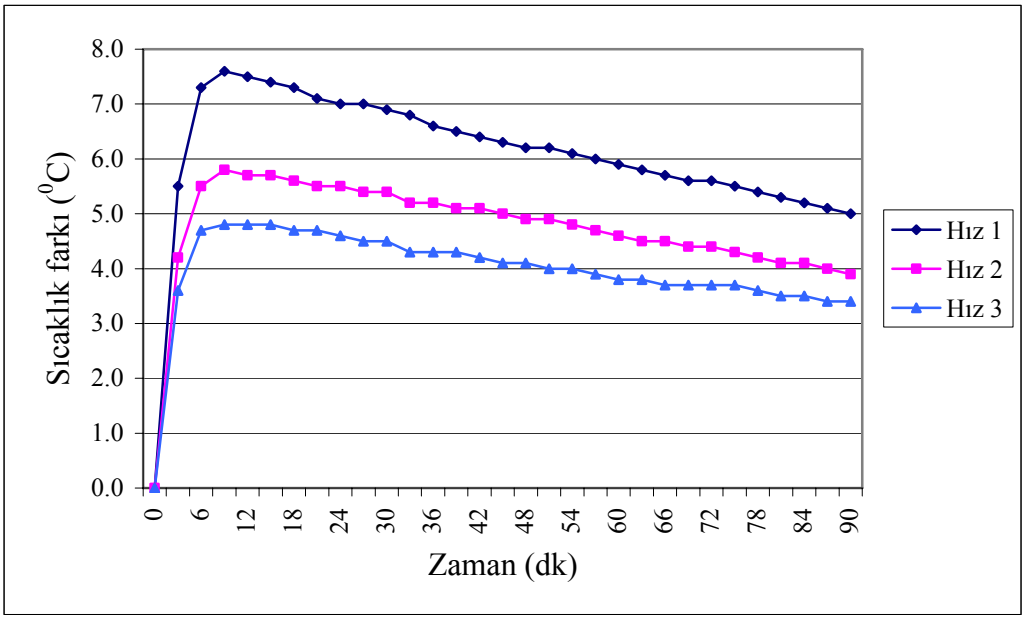
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	30.5	30.5	0.0	0.000	5.4	5.0	0	0	0	0.00	0.00
3	15.8	19.4	3.6	0.231	30.6	16.0	14.6	0.042	1.9	6.8	1300	3478	2564	2.68	1.97
6	16.2	20.9	4.7	0.231	30.5	12.0	18.5	0.042	2.0	6.9	1300	4540	3249	3.49	2.50
9	16.6	21.4	4.8	0.231	30.6	12.2	18.4	0.042	2.0	6.9	1320	4636	3232	3.51	2.45
12	17.8	22.6	4.8	0.231	30.6	12.3	18.3	0.042	2.1	7.0	1320	4636	3214	3.51	2.43
15	18.8	23.6	4.8	0.231	30.6	12.5	18.1	0.042	2.1	7.2	1340	4635	3178	3.46	2.37
18	20.1	24.8	4.7	0.231	30.6	12.6	18.0	0.042	2.1	7.5	1340	4538	3161	3.39	2.36
21	21.2	25.9	4.7	0.230	30.5	12.7	17.8	0.042	2.2	7.8	1360	4517	3126	3.32	2.30
24	22.3	26.9	4.6	0.230	30.5	12.9	17.6	0.042	2.2	8.0	1360	4421	3091	3.25	2.27
27	23.5	28.0	4.5	0.230	30.5	13.1	17.4	0.042	2.3	8.3	1380	4325	3055	3.13	2.21
30	24.4	28.9	4.5	0.230	30.5	13.2	17.3	0.042	2.3	8.6	1400	4325	3038	3.09	2.17
33	25.6	29.9	4.3	0.230	30.6	13.5	17.1	0.042	2.4	8.9	1420	4132	3003	2.91	2.11
36	26.5	30.8	4.3	0.230	30.6	13.7	16.9	0.042	2.4	9.1	1440	4132	2968	2.87	2.06
39	27.4	31.7	4.3	0.229	30.6	13.9	16.7	0.042	2.4	9.4	1460	4114	2933	2.82	2.01
42	28.6	32.8	4.2	0.229	30.6	14.1	16.5	0.042	2.4	9.7	1480	4018	2897	2.72	1.96
45	29.8	33.9	4.1	0.229	30.5	14.3	16.2	0.042	2.5	10.0	1480	3923	2845	2.65	1.92
48	30.8	34.9	4.1	0.229	30.5	14.5	16.0	0.042	2.5	10.3	1500	3923	2810	2.62	1.87
51	31.8	35.8	4.0	0.228	30.5	14.7	15.8	0.042	2.5	10.6	1500	3810	2775	2.54	1.85
54	32.8	36.8	4.0	0.228	30.5	14.8	15.7	0.042	2.6	10.9	1520	3810	2757	2.51	1.81
57	33.7	37.6	3.9	0.228	30.5	15.1	15.4	0.042	2.6	11.2	1520	3715	2704	2.44	1.78
60	34.8	38.6	3.8	0.228	30.5	15.3	15.2	0.042	2.6	11.4	1520	3620	2669	2.38	1.76
63	35.7	39.5	3.8	0.228	30.5	15.3	15.2	0.042	2.6	11.7	1540	3621	2669	2.35	1.73
66	36.7	40.4	3.7	0.227	30.5	15.8	14.7	0.042	2.7	11.9	1540	3510	2581	2.28	1.68
69	37.6	41.3	3.7	0.227	30.5	16.0	14.5	0.042	2.7	12.2	1560	3510	2546	2.25	1.63
72	38.7	42.4	3.7	0.226	30.5	16.3	14.2	0.042	2.7	12.4	1580	3494	2493	2.21	1.58
75	39.6	43.3	3.7	0.226	30.5	16.4	14.1	0.042	2.7	12.7	1600	3494	2475	2.18	1.55
78	40.3	43.9	3.6	0.226	30.5	16.6	13.9	0.042	2.7	13.0	1600	3400	2440	2.13	1.53
81	41.3	44.8	3.5	0.226	30.5	16.9	13.6	0.042	2.7	13.4	1620	3306	2388	2.04	1.47
84	42.1	45.6	3.5	0.226	30.5	17.1	13.4	0.042	2.7	13.7	1640	3306	2353	2.02	1.43
87	43.0	46.4	3.4	0.226	30.5	17.3	13.2	0.042	2.8	13.9	1660	3212	2317	1.93	1.40
90	43.7	47.1	3.4	0.226	30.5	17.5	13.0	0.042	2.8	14.1	1680	3212	2282	1.91	1.36



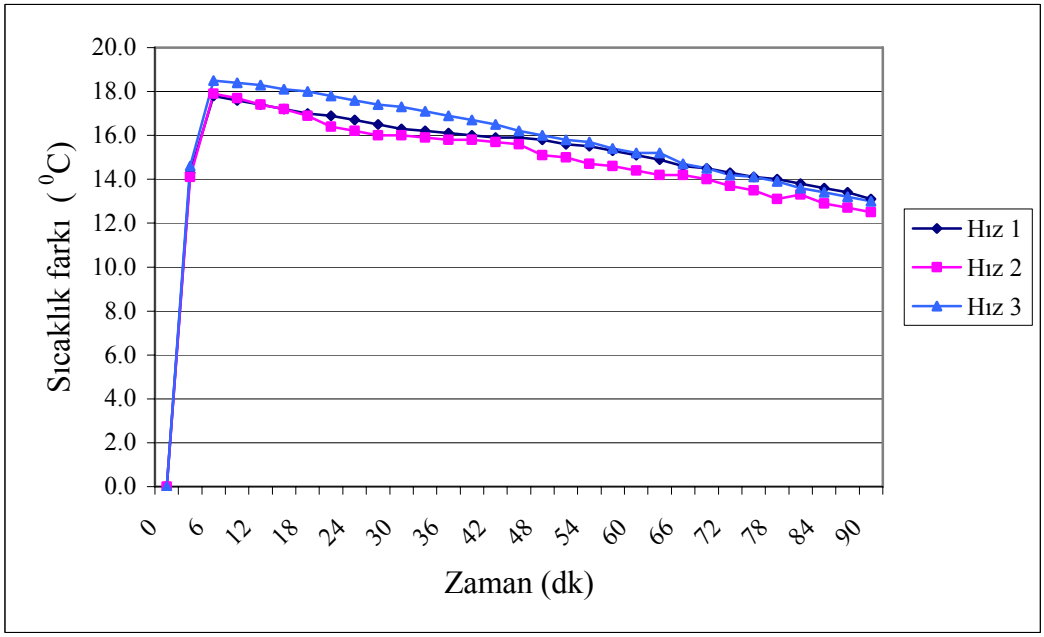
Şekil 4.11 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi



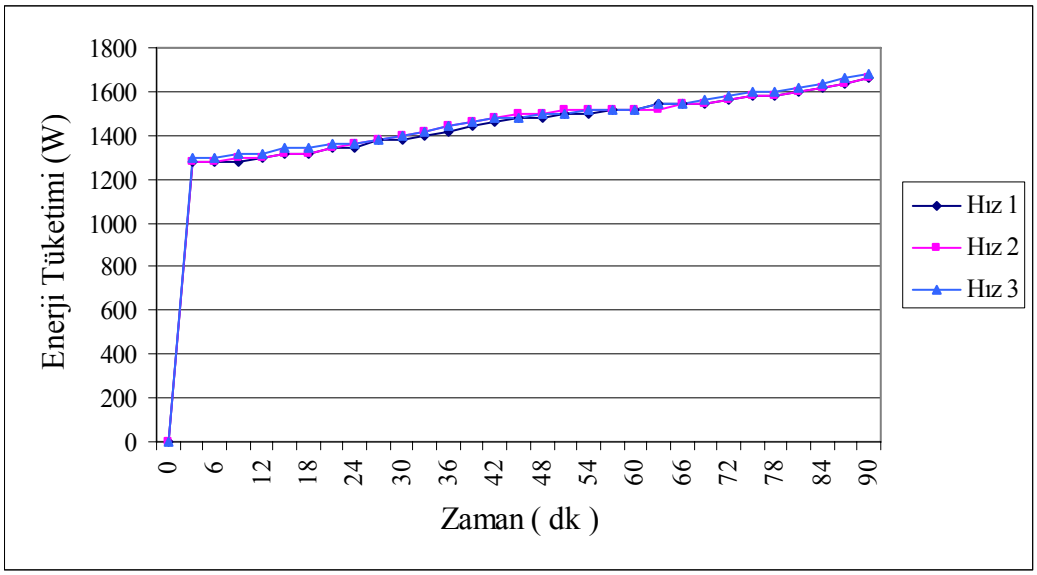
Şekil 4.12 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.13 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.14 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.15 Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 3.26 da çalışma prensip şeması verilen atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının atık su sıcaklığı 30 ^{0}C de, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları tablo 4.7 de, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları tablo 4.8 de, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları tablo 4.9 da verilmiştir. Şekil 4.11 de atık ısı pompasının SK_1 pompa hızının üç değişik durumu için ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri verilmiştir. Sistemin ısıtma etkinliği 9. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. Isıtma etkinliği 9. dakikada SK_1 pompa hızı I için 3.57 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonu olan 90. dakikada 1.83 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II için ısıtma etkinliği . dakikada 3.56 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.85 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı III için 9 ve12. dakikada 3.51 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.91 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızlarının ısıtma ve soğutma etkinliklerini fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.12 de SK_1 pompa hızlarının üç değişik durumu için kompresör emme ve basma basınçları verilmiştir. Kompresör basma basıncının sistem çalışmazken 5,5 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 6.9 bara yükseldiği, bundan sonra sürekli artarak deney sonu olan 90. dakikada 13,5 ile 14 bara kadar çıktığı tespit edilmiştir. Kompresör emme basıncının sistem çalışmazken 5,4 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 1.9 bara düştüğü, bundan sonra sürekli bir miktar artarak deney sonu olan 90. dakikada 2,8 bara kadar yükseldiği görülmüştür. Şekil 4.13 de SK_1

pompasının üç değişik hızı için yoğuşturucuya giren temiz suyun giriş ve çıkış sıcaklık farklarının zamanla değişimi verilmiştir. SK_1 pompa hızı I de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 9. dakikaya kadar arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. 9. dakikada SK_1 pompa hızı I de akış debisi 0.144 kg/s iken yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 7.6 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.145 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkını 5 ^{0}C ye kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 9. dakikaya kadar arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. 9. dakikada SK_1 pompa hızı II de akış debisi 0.191 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5.8 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.188 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,9 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. SK_1 pompa hızı III de yoğuşturucuya giren ve çıkan suyun sıcaklık farkının 9. dakikaya kadar arttığı, 15 dakikaya kadar bu sıcaklıkta sabit kaldığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. 9. dakikada SK_1 pompa hızı III de akış debisi 0.231 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 4.8 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.226 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,4 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. Şekil 4.14 de atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi verilmiştir. Atık suyun SK_1 pompasının her üç devrinde de 6. dakikaya kadar buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli düştüğü görülmüştür. SK_1 pompa hızlarının atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farklarını fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.15 de sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Kompresör çalışma basınçlarının atık su sıcaklığının artışına bağlı olarak sürekli arttığı görülmüştür. SK_1 pompasının her üç devrinde de elektrik enerjisindeki değişimi fazla etkilemediği görülmüştür. Başlangıçtaki enerji tüketimi 1280 W iken, deney sonunda enerji tüketiminin 1680 W kadar çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.10 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları

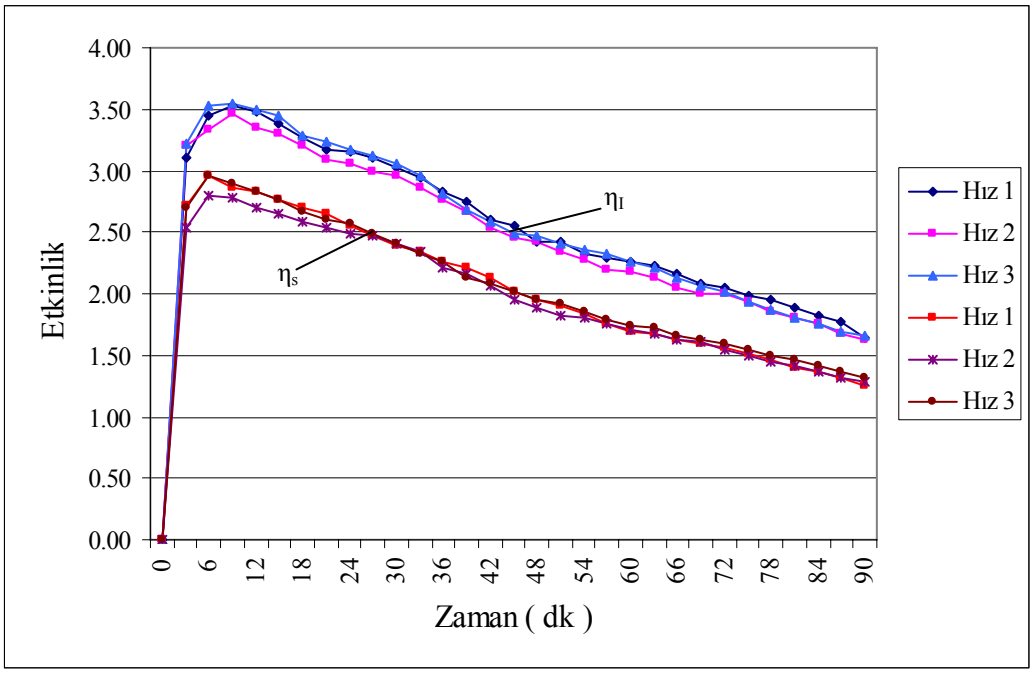
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	35.5	35.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.9	22.3	6.4	0.153	35.5	14.6	20.9	0.041	2.0	6.9	1320	4094	3582	3.10	2.71
6	16.0	23.1	7.1	0.153	35.6	12.8	22.8	0.041	2.0	7.0	1320	4541	3907	3.44	2.96
9	16.2	23.7	7.5	0.153	35.5	12.8	22.7	0.041	2.0	7.1	1360	4797	3890	3.53	2.86
12	17.0	24.4	7.4	0.153	35.4	12.9	22.5	0.041	2.1	7.2	1360	4733	3856	3.48	2.84
15	17.7	25.0	7.3	0.153	35.4	13.1	22.3	0.041	2.1	7.4	1380	4668	3822	3.38	2.77
18	19.6	26.8	7.2	0.152	35.4	13.3	22.1	0.041	2.2	7.7	1400	4573	3787	3.27	2.71
21	20.7	27.8	7.1	0.152	35.4	13.5	21.9	0.041	2.2	7.9	1420	4510	3753	3.18	2.64
24	21.4	28.6	7.2	0.151	35.3	13.8	21.5	0.041	2.3	8.3	1440	4542	3685	3.15	2.56
27	22.4	29.6	7.2	0.151	35.3	14.2	21.1	0.041	2.3	8.5	1460	4542	3616	3.11	2.48
30	23.8	30.9	7.1	0.151	35.3	14.7	20.6	0.041	2.4	8.8	1480	4479	3530	3.03	2.39
33	25.1	32.1	7.0	0.151	35.5	15.0	20.5	0.041	2.4	9.0	1500	4416	3513	2.94	2.34
36	26.4	33.2	6.8	0.151	35.5	15.4	20.1	0.041	2.5	9.4	1520	4290	3445	2.82	2.27
39	27.2	34.0	6.8	0.149	35.5	15.7	19.8	0.041	2.5	9.8	1540	4233	3393	2.75	2.20
42	28.5	35.1	6.6	0.149	35.5	15.9	19.6	0.041	2.5	10.1	1580	4109	3359	2.60	2.13
45	29.7	36.3	6.6	0.148	35.5	16.2	19.3	0.040	2.6	10.4	1600	4081	3227	2.55	2.02
48	30.8	37.2	6.4	0.147	35.6	16.7	18.9	0.040	2.6	10.7	1620	3931	3159	2.43	1.95
51	31.6	38.0	6.4	0.147	35.6	17.1	18.5	0.040	2.6	11.0	1620	3932	3092	2.43	1.91
54	32.8	39.0	6.2	0.147	35.6	17.5	18.1	0.040	2.6	11.3	1640	3809	3026	2.32	1.84
57	33.9	40.0	6.1	0.147	35.6	17.9	17.7	0.039	2.6	11.6	1640	3747	2885	2.28	1.76
60	35.0	41.1	6.1	0.147	35.6	18.3	17.3	0.039	2.6	11.8	1660	3747	2820	2.26	1.70
63	35.7	41.7	6.0	0.147	35.5	18.5	17.0	0.039	2.6	12.0	1660	3686	2771	2.22	1.67
66	36.7	42.6	5.9	0.147	35.5	18.7	16.8	0.039	2.7	12.2	1680	3624	2738	2.16	1.63
69	37.9	43.6	5.7	0.147	35.5	19.0	16.5	0.039	2.7	12.5	1680	3502	2689	2.08	1.60
72	38.7	44.3	5.6	0.147	35.5	19.4	16.1	0.039	2.7	12.8	1680	3441	2624	2.05	1.56
75	39.7	45.2	5.5	0.147	35.5	19.8	15.7	0.039	2.7	13.0	1700	3380	2559	1.99	1.51
78	40.6	46.0	5.4	0.147	35.5	20.3	15.2	0.039	2.8	13.4	1700	3318	2477	1.95	1.46
81	41.6	46.9	5.3	0.147	35.5	20.7	14.8	0.039	2.8	13.8	1720	3257	2412	1.89	1.40
84	42.4	47.5	5.1	0.147	35.5	21.1	14.4	0.039	2.8	14.1	1720	3134	2347	1.82	1.36
87	43.3	48.3	5.0	0.147	35.5	21.5	14.0	0.039	2.8	14.4	1740	3073	2282	1.77	1.31
90	44.0	48.7	4.7	0.147	35.5	22.0	13.5	0.039	2.9	14.9	1760	2889	2200	1.64	1.25

Çizelge 4.11 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları

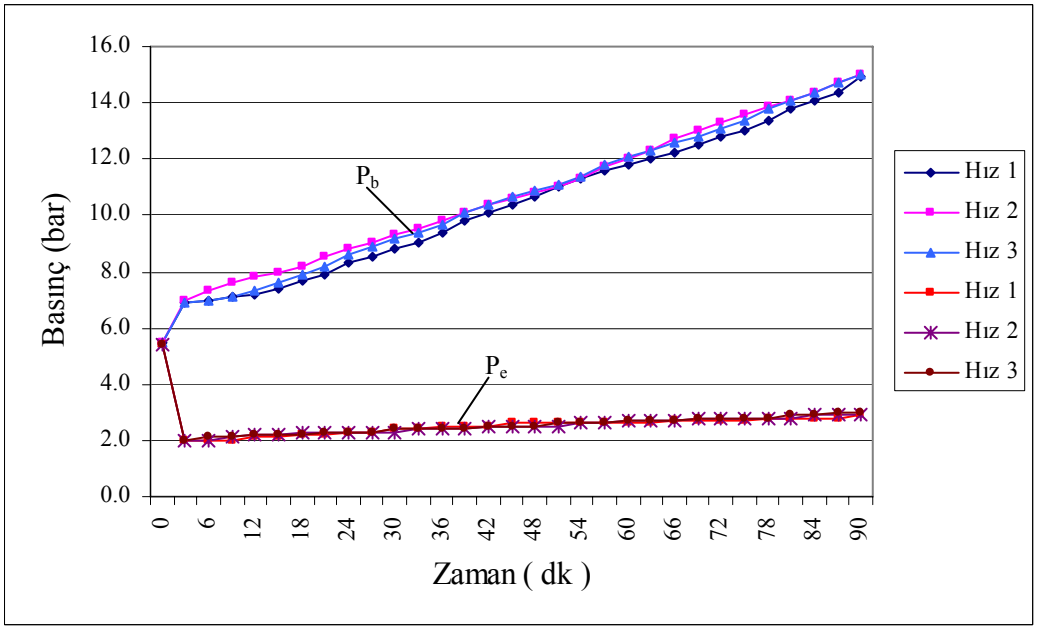
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	35.5	35.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.5	21.5	5.0	0.205	35.5	14.6	20.9	0.039	2.0	7.0	1340	4286	3407	3.20	2.54
6	17.6	22.9	5.3	0.205	35.6	12.3	23.3	0.039	2.0	7.3	1360	4542	3798	3.34	2.79
9	18.9	24.4	5.5	0.205	35.6	12.4	23.2	0.039	2.1	7.6	1360	4713	3782	3.47	2.78
12	19.9	25.3	5.4	0.205	35.4	12.5	22.9	0.039	2.2	7.8	1380	4627	3733	3.35	2.71
15	21.8	27.2	5.4	0.205	35.5	12.8	22.7	0.039	2.2	8.0	1400	4626	3701	3.30	2.64
18	22.7	28.0	5.3	0.205	35.4	12.9	22.5	0.039	2.3	8.2	1420	4540	3668	3.20	2.58
21	23.4	28.6	5.2	0.205	35.4	13.0	22.4	0.039	2.3	8.5	1440	4455	3652	3.09	2.54
24	24.6	29.8	5.2	0.205	35.4	13.1	22.3	0.039	2.3	8.8	1460	4454	3635	3.05	2.49
27	25.9	31.0	5.1	0.205	35.4	13.3	22.1	0.039	2.3	9.0	1460	4368	3603	2.99	2.47
30	27.0	32.1	5.1	0.205	35.4	13.6	21.8	0.039	2.3	9.3	1480	4368	3554	2.95	2.40
33	28.2	33.2	5.0	0.205	35.4	13.9	21.5	0.039	2.4	9.5	1500	4282	3505	2.85	2.34
36	29.1	34.0	4.9	0.205	35.4	14.3	21.1	0.038	2.4	9.8	1520	4197	3352	2.76	2.20
39	30.1	34.9	4.8	0.205	35.5	14.6	20.9	0.038	2.4	10.1	1540	4111	3320	2.67	2.16
42	31.2	35.9	4.7	0.204	35.5	14.9	20.6	0.038	2.5	10.4	1580	4006	3272	2.54	2.07
45	32.2	36.8	4.6	0.204	35.5	15.3	20.2	0.037	2.5	10.6	1600	3921	3124	2.45	1.95
48	33.2	37.8	4.6	0.204	35.5	15.7	19.8	0.037	2.5	10.8	1620	3921	3062	2.42	1.89
51	34.5	39.0	4.5	0.204	35.5	16.1	19.4	0.037	2.5	11.0	1640	3836	3000	2.34	1.83
54	35.3	39.7	4.4	0.203	35.4	16.3	19.1	0.037	2.6	11.3	1640	3733	2953	2.28	1.80
57	36.2	40.5	4.3	0.203	35.4	16.6	18.8	0.037	2.6	11.7	1660	3648	2907	2.20	1.75
60	37.0	41.3	4.3	0.201	35.4	17.0	18.4	0.037	2.7	12.0	1660	3612	2845	2.18	1.71
63	38.1	42.3	4.2	0.201	35.4	17.4	18.0	0.037	2.7	12.3	1660	3528	2783	2.13	1.68
66	39.2	43.3	4.1	0.201	35.5	17.8	17.7	0.037	2.7	12.7	1680	3444	2737	2.05	1.63
69	40.0	44.0	4.0	0.201	35.5	18.0	17.5	0.037	2.8	13.0	1680	3360	2706	2.00	1.61
72	40.8	44.8	4.0	0.201	35.5	18.3	17.2	0.036	2.8	13.3	1680	3361	2588	2.00	1.54
75	41.4	45.3	3.9	0.201	35.5	18.6	16.9	0.036	2.8	13.6	1700	3277	2543	1.93	1.50
78	42.5	46.3	3.8	0.200	35.5	18.9	16.6	0.036	2.8	13.9	1720	3177	2497	1.85	1.45
81	43.4	47.1	3.7	0.200	35.5	19.4	16.1	0.036	2.8	14.1	1720	3093	2422	1.80	1.41
84	44.4	48.0	3.6	0.200	35.5	19.9	15.6	0.036	2.9	14.4	1720	3010	2347	1.75	1.36
87	44.9	48.4	3.5	0.200	35.5	20.3	15.2	0.036	2.9	14.7	1740	2927	2287	1.68	1.31
90	45.9	49.3	3.4	0.200	35.5	20.7	14.8	0.036	2.9	15.0	1740	2843	2227	1.63	1.28

Çizelge 4.12 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 35 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları

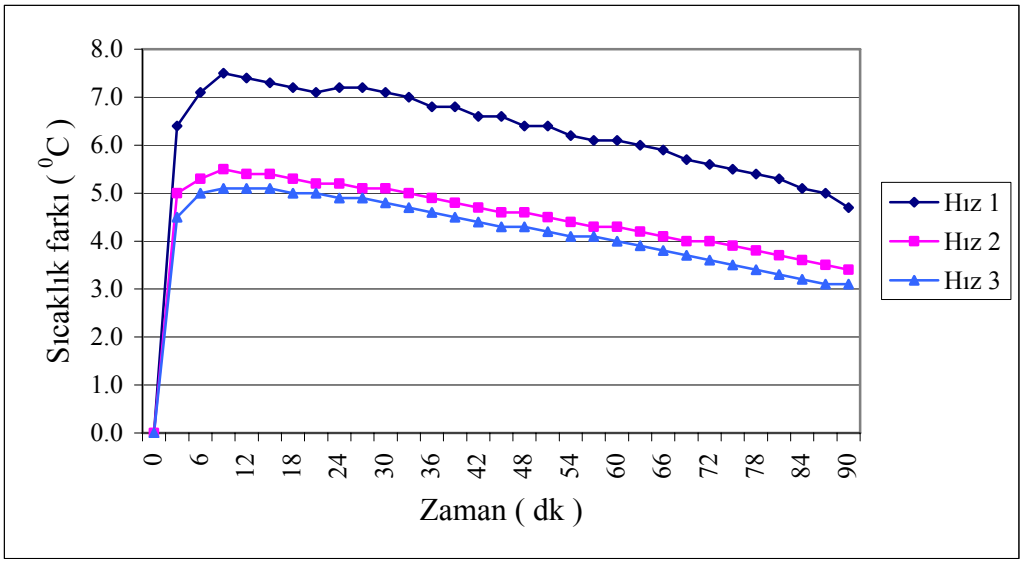
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	35.5	35.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.1	20.6	4.5	0.226	35.5	14.7	20.8	0.041	2.0	6.9	1320	4252	3564	3.22	2.70
6	17.1	22.1	5.0	0.226	35.5	12.4	23.1	0.041	2.1	7.0	1340	4725	3958	3.53	2.95
9	18.1	23.2	5.1	0.226	35.5	12.5	23.0	0.041	2.1	7.1	1360	4818	3941	3.54	2.90
12	19.5	24.6	5.1	0.226	35.4	12.6	22.8	0.041	2.2	7.3	1380	4818	3907	3.49	2.83
15	20.5	25.6	5.1	0.226	35.4	12.8	22.6	0.041	2.2	7.6	1400	4817	3872	3.44	2.77
18	21.9	26.9	5.0	0.226	35.4	13.0	22.4	0.041	2.2	7.9	1440	4722	3838	3.28	2.67
21	23.0	28.0	5.0	0.226	35.4	13.2	22.2	0.041	2.3	8.2	1460	4722	3804	3.23	2.61
24	24.1	29.0	4.9	0.226	35.4	13.5	21.9	0.041	2.3	8.6	1460	4628	3752	3.17	2.57
27	25.0	29.9	4.9	0.226	35.4	13.9	21.5	0.041	2.3	8.9	1480	4628	3684	3.13	2.49
30	26.5	31.3	4.8	0.226	35.5	14.2	21.3	0.040	2.4	9.2	1480	4532	3561	3.06	2.41
33	27.6	32.3	4.7	0.226	35.5	14.6	20.9	0.040	2.4	9.4	1500	4438	3494	2.96	2.33
36	28.8	33.4	4.6	0.226	35.7	14.9	20.8	0.040	2.4	9.7	1540	4343	3477	2.82	2.26
39	30.0	34.5	4.5	0.225	35.4	15.3	20.1	0.040	2.4	10.1	1580	4230	3360	2.68	2.13
42	31.1	35.5	4.4	0.225	35.5	15.6	19.9	0.040	2.5	10.4	1600	4136	3326	2.59	2.08
45	32.2	36.5	4.3	0.225	35.6	16.0	19.6	0.040	2.5	10.7	1620	4042	3276	2.50	2.02
48	33.2	37.5	4.3	0.225	35.6	16.4	19.2	0.040	2.5	10.9	1640	4042	3209	2.46	1.96
51	34.2	38.4	4.2	0.225	35.6	16.7	18.9	0.040	2.6	11.1	1640	3949	3159	2.41	1.93
54	35.3	39.4	4.1	0.225	35.6	17.0	18.6	0.039	2.6	11.4	1640	3855	3031	2.35	1.85
57	36.2	40.3	4.1	0.225	35.6	17.4	18.2	0.039	2.6	11.8	1660	3855	2966	2.32	1.79
60	37.3	41.3	4.0	0.225	35.6	17.8	17.8	0.039	2.7	12.1	1660	3761	2901	2.27	1.75
63	38.3	42.2	3.9	0.225	35.6	18.1	17.5	0.039	2.7	12.3	1660	3667	2852	2.21	1.72
66	39.3	43.1	3.8	0.225	35.6	18.5	17.1	0.039	2.7	12.6	1680	3573	2787	2.13	1.66
69	40.3	44.0	3.7	0.225	35.6	18.8	16.8	0.039	2.8	12.8	1680	3479	2738	2.07	1.63
72	41.3	44.9	3.6	0.225	35.6	19.1	16.5	0.039	2.8	13.1	1680	3386	2689	2.02	1.60
75	42.2	45.7	3.5	0.225	35.5	19.4	16.1	0.039	2.8	13.4	1700	3292	2624	1.94	1.54
78	43.0	46.4	3.4	0.226	35.5	19.7	15.8	0.039	2.8	13.8	1720	3212	2575	1.87	1.50
81	43.9	47.2	3.3	0.226	35.5	20.1	15.4	0.039	2.9	14.1	1720	3117	2510	1.81	1.46
84	44.8	48.0	3.2	0.226	35.5	20.5	15.0	0.039	2.9	14.4	1720	3024	2445	1.76	1.42
87	45.7	48.8	3.1	0.226	35.5	20.9	14.6	0.039	3.0	14.7	1740	2929	2380	1.68	1.37
90	46.5	49.6	3.1	0.226	35.5	21.3	14.2	0.039	3.0	15.0	1760	2929	2314	1.66	1.31



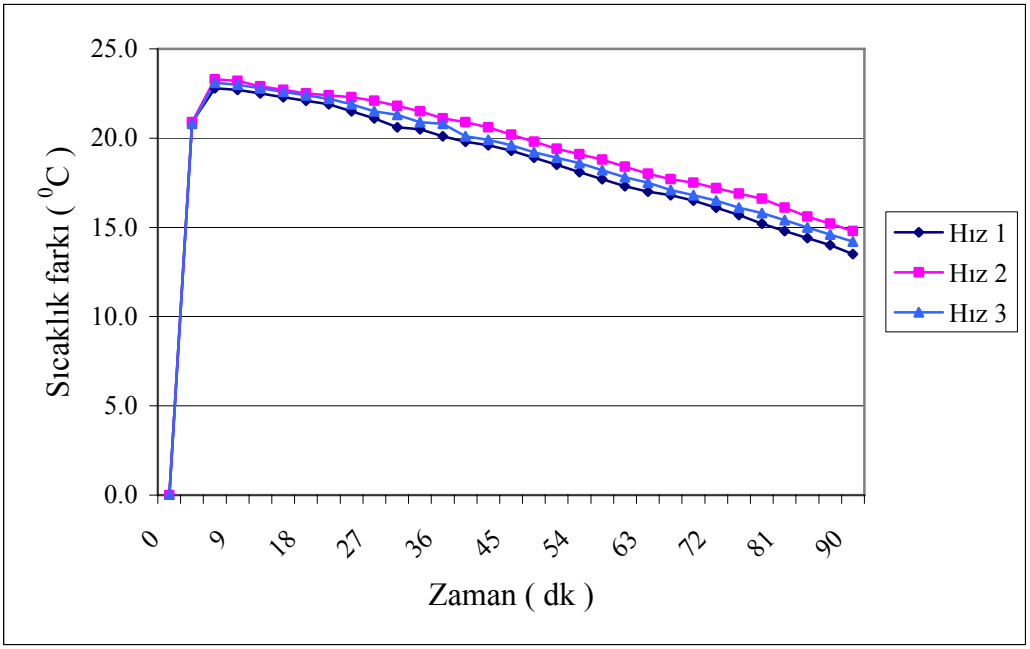
Şekil 4.16 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi



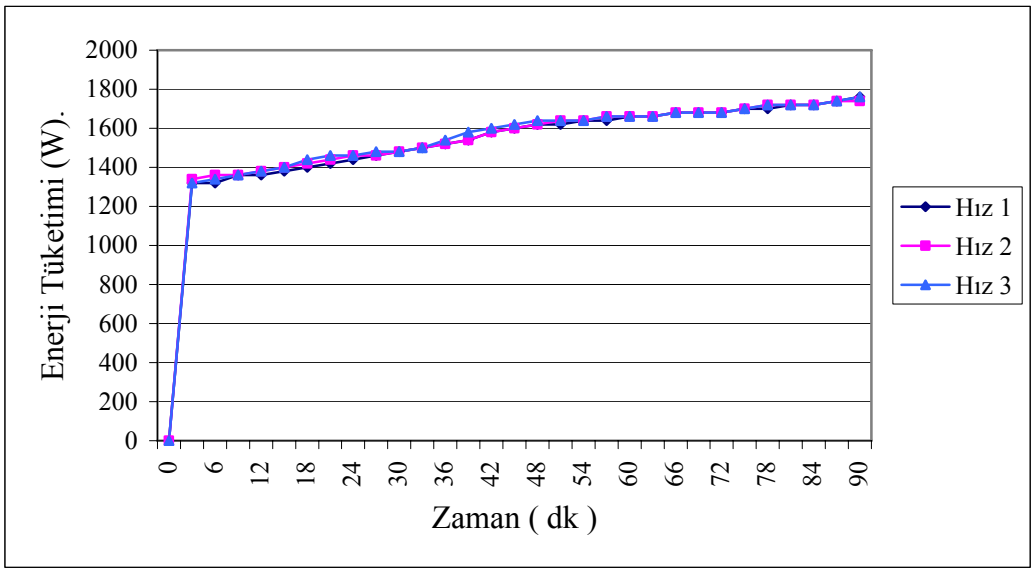
Şekil 4.17 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.18 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.19 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



Şekil 4.20 Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 3.26 da çalışma prensip şeması verilen atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının atık su sıcaklığı 35 ^{0}C de, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları tablo 4.10 de, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları tablo 4.11 de, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları tablo 4.12 de verilmiştir. Şekil 4.16 da atık ısı pompasının SK_1 pompa hızının üç değişik durumu için ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri verilmiştir. Sistemin ısıtma etkinliği 9. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. Isıtma etkinliği 9. dakikada SK_1 pompa hızı I için 3.53 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonu olan 90. dakikada 1.64 ya kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II için ısıtma etkinliği . dakikada 3.47 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.63 ya kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı III için 9. dakikada 3.54 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.66 ya kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızlarının üç değişik konumu için ısıtma ve soğutma etkinliklerini fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.17 de SK_1 pompa hızlarının üç değişik durumu için kompresör emme ve basma basınçları verilmiştir. Kompresör basma basıncının sistem çalışmazken 5,5 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 6.9 bara yükseldiği, bundan sonra sürekli artarak deney sonu olan 90. dakikada 15 bara kadar çıktığı tespit edilmiştir. Kompresör emme basıncının sistem çalışmazken 5,4 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 2 bara düştüğü, bundan sonra sürekli bir miktar artarak

deney sonu olan 90. dakikada 3 bara kadar yükseldiği görülmüştür. Şekil 4.18 de SK_1 pompasının üç değişik hızı için yoğuşturucuya giren temiz suyun giriş ve çıkış sıcaklık farklarının zamanla değişimi verilmiştir. SK_1 pompasının 1. ve 2. hız durumunda yoğuşturucuya giren ve çıkan temiz suyun sıcaklık farkının 9. dakikaya kadar arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü tespit edildi. SK_1 Pompasının III hız durumunda 9. dakikaya kadar yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkında artış olduğu, bu sıcaklık farkının 15. dakikaya kadar sabit kaldığı, bu suranin sonunda düşüşe geçtiği tespit edildi. 9. dakikada SK_1 pompa hızı I de akış debisi 0.153 kg/s iken yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 7.5 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.147 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkını 4.7 ^{0}C ye kadar düşmüştür. 9. dakikada SK_1 pompa hızı II de akış debisi 0.205 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5.5 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.200 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,4 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. 9. dakikada SK_1 pompa hızı III de akış debisi 0.226 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5.1 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.226 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,1 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. Şekil 4.19 da atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi verilmiştir. Atık suyun SK_1 pompasının her üç devrinde de 6. dakikaya kadar buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren sürekli düştüğü görülmüştür. SK_1 pompa hızlarının atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farklarını fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.20 de sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Kompresör çalışma basınçlarının atık su sıcaklığının artışına bağlı olarak sürekli arttığı görülmüştür. SK_1 pompasının her üç devrinde de elektrik enerjisindeki değişimi fazla etkilemediği görülmüştür. Başlangıçtaki enerji tüketimi 1320 W iken, deney sonunda enerji tüketiminin 1760 W kadar çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.13 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları

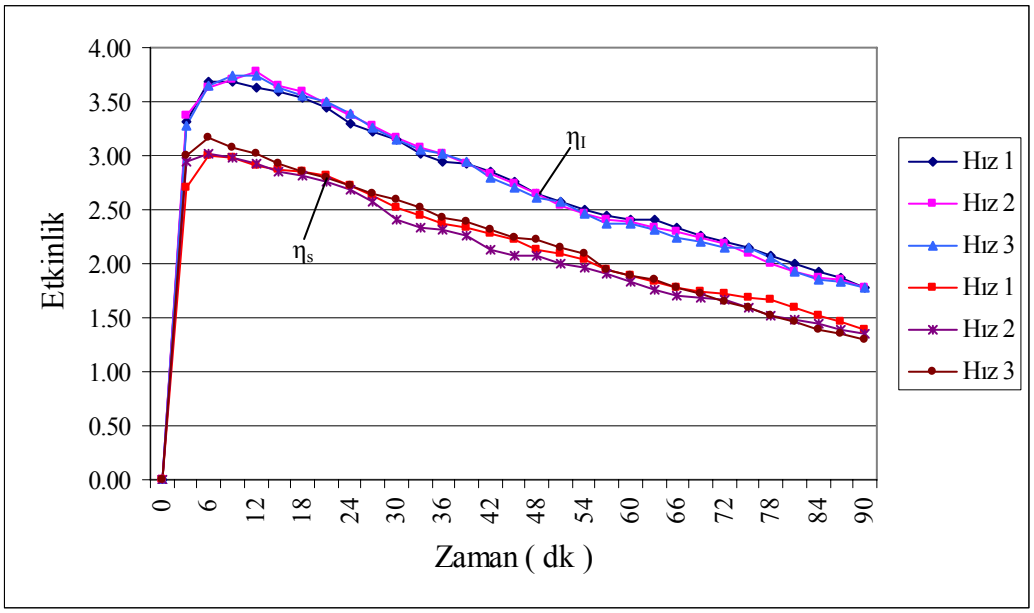
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	40.5	40.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.8	22.7	6.9	0.156	40.5	19.5	21.0	0.042	2.0	6.9	1360	4499	3685	3.31	2.71
6	16.0	23.7	7.7	0.156	40.5	17.3	23.2	0.042	2.1	7.0	1360	5021	4071	3.69	2.99
9	16.9	24.7	7.8	0.156	40.6	17.2	23.4	0.042	2.2	7.3	1380	5086	4106	3.69	2.98
12	18.0	25.8	7.8	0.156	40.8	17.6	23.2	0.042	2.2	7.5	1400	5085	4071	3.63	2.91
15	18.6	26.3	7.7	0.156	40.6	17.7	22.9	0.042	2.3	7.6	1400	5020	4018	3.59	2.87
18	19.2	26.9	7.7	0.156	40.4	17.8	22.6	0.043	2.3	7.8	1420	5020	4060	3.54	2.86
21	20.7	28.3	7.6	0.156	40.5	17.9	22.6	0.043	2.3	8.0	1440	4955	4060	3.44	2.82
24	21.9	29.3	7.4	0.156	40.5	18.4	22.1	0.043	2.4	8.5	1460	4824	3970	3.30	2.72
27	23.4	30.7	7.3	0.156	40.5	18.9	21.6	0.043	2.4	8.9	1480	4758	3881	3.21	2.62
30	24.6	31.8	7.2	0.157	40.5	19.4	21.1	0.043	2.4	9.2	1500	4723	3791	3.15	2.53
33	25.7	32.7	7.0	0.157	40.5	19.8	20.7	0.043	2.5	9.5	1520	4592	3719	3.02	2.45
36	26.9	33.8	6.9	0.157	40.4	20.1	20.3	0.043	2.5	9.7	1540	4526	3647	2.94	2.37
39	27.8	34.6	6.8	0.159	40.4	20.4	20.0	0.043	2.5	9.9	1540	4517	3593	2.93	2.33
42	29.2	35.9	6.7	0.159	40.4	20.7	19.7	0.043	2.5	10.1	1560	4451	3539	2.85	2.27
45	30.3	36.8	6.5	0.159	40.4	21.1	19.3	0.043	2.6	10.3	1560	4318	3467	2.77	2.22
48	31.5	37.9	6.4	0.159	40.5	21.5	19.0	0.043	2.6	10.6	1600	4252	3413	2.66	2.13
51	32.5	38.7	6.2	0.159	40.5	21.8	18.7	0.043	2.6	11.0	1600	4120	3360	2.57	2.10
54	33.7	39.8	6.1	0.159	40.5	22.1	18.4	0.043	2.7	11.4	1620	4053	3306	2.50	2.04
57	34.9	40.9	6.0	0.158	40.5	22.5	18.0	0.042	2.7	11.8	1620	3962	3159	2.45	1.95
60	35.8	41.8	6.0	0.158	40.5	22.9	17.6	0.042	2.7	12.1	1640	3962	3088	2.42	1.88
63	36.9	42.9	6.0	0.157	40.5	23.4	17.1	0.042	2.8	12.4	1640	3937	3001	2.40	1.83
66	38.1	44.0	5.9	0.155	40.5	23.8	16.7	0.042	2.8	12.8	1640	3822	2930	2.33	1.79
69	39.1	44.9	5.8	0.155	40.5	24.0	16.5	0.042	2.8	13.2	1660	3758	2895	2.26	1.74
72	40.1	45.8	5.7	0.154	40.6	24.3	16.3	0.042	2.9	13.5	1660	3669	2860	2.21	1.72
75	41.0	46.6	5.6	0.154	40.6	24.5	16.1	0.042	2.9	13.7	1680	3605	2825	2.15	1.68
78	41.9	47.4	5.5	0.152	40.6	24.7	15.9	0.042	2.9	14.0	1680	3494	2790	2.08	1.66
81	42.8	48.2	5.4	0.151	40.6	25.1	15.5	0.042	3.0	14.3	1700	3409	2720	2.01	1.60
84	43.7	49.0	5.3	0.151	40.6	25.6	15.0	0.042	3.0	14.6	1740	3346	2632	1.92	1.51
87	44.7	49.9	5.2	0.151	40.6	26.0	14.6	0.042	3.0	14.9	1760	3283	2562	1.87	1.46
90	45.6	50.6	5.0	0.151	40.6	26.6	14.0	0.042	3.0	15.1	1780	3157	2457	1.77	1.38

Çizelge 4.14 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları

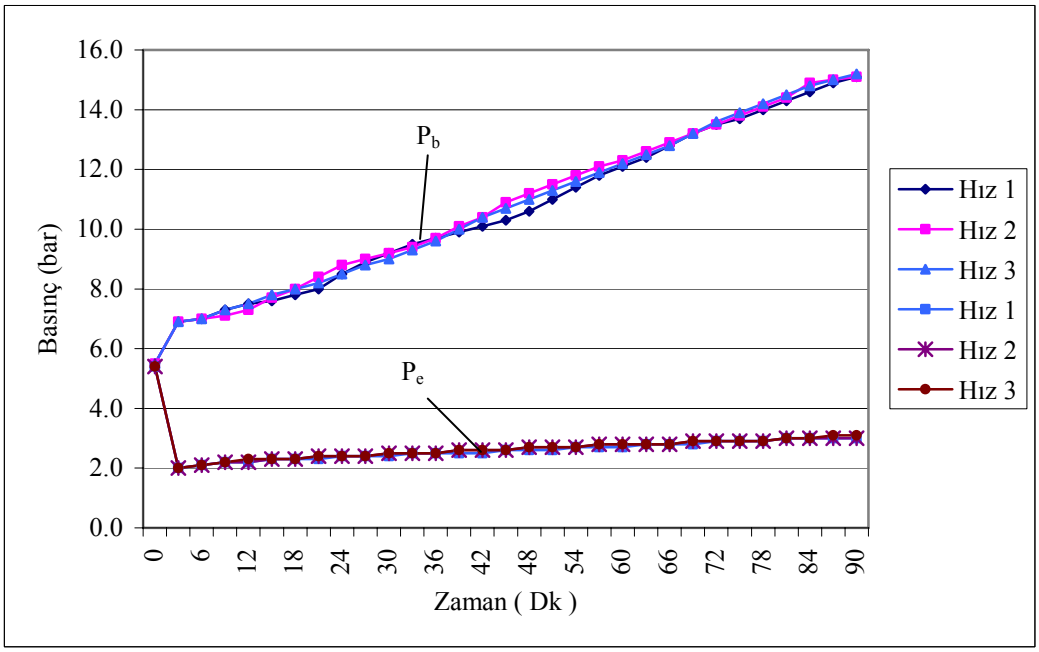
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	40.5	40.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	16.1	21.4	5.3	0.207	40.5	18.7	21.8	0.044	2.0	6.9	1360	4587	4008	3.37	2.95
6	17.0	22.7	5.7	0.207	40.4	18.1	22.3	0.044	2.1	7.0	1360	4933	4099	3.63	3.01
9	17.9	23.8	5.9	0.207	40.5	18.1	22.4	0.044	2.2	7.1	1380	5105	4118	3.70	2.98
12	18.8	24.9	6.1	0.207	40.5	18.2	22.3	0.044	2.2	7.3	1400	5278	4099	3.77	2.93
15	20.0	26.0	6.0	0.207	40.4	18.3	22.1	0.044	2.3	7.7	1420	5190	4063	3.66	2.86
18	21.1	27.0	5.9	0.207	40.4	18.6	21.8	0.044	2.3	8.0	1420	5104	4008	3.59	2.82
21	22.3	28.1	5.8	0.207	40.5	18.9	21.6	0.044	2.4	8.4	1440	5017	3971	3.48	2.76
24	23.6	29.3	5.7	0.207	40.4	19.1	21.3	0.044	2.4	8.8	1460	4931	3916	3.38	2.68
27	25.0	30.6	5.6	0.207	40.3	19.6	20.7	0.044	2.4	9.0	1480	4843	3805	3.27	2.57
30	26.2	31.7	5.5	0.207	40.4	20.3	20.1	0.043	2.5	9.2	1500	4757	3611	3.17	2.41
33	27.3	32.7	5.4	0.207	40.5	20.7	19.8	0.043	2.5	9.4	1520	4670	3557	3.07	2.34
36	28.5	33.8	5.3	0.207	40.5	20.9	19.6	0.043	2.5	9.7	1520	4584	3521	3.02	2.32
39	30.0	35.2	5.2	0.207	40.5	21.2	19.3	0.043	2.6	10.1	1540	4497	3467	2.92	2.25
42	30.9	36.0	5.1	0.207	40.4	21.4	19.0	0.042	2.6	10.4	1560	4411	3334	2.83	2.14
45	32.0	37.0	5.0	0.207	40.4	21.7	18.7	0.042	2.6	10.9	1580	4324	3281	2.74	2.08
48	33.0	37.9	4.9	0.207	40.4	22.0	18.4	0.043	2.7	11.2	1600	4238	3306	2.65	2.07
51	34.0	38.8	4.8	0.207	40.5	22.3	18.2	0.043	2.7	11.5	1640	4152	3270	2.53	1.99
54	35.5	40.2	4.7	0.206	40.6	22.7	17.9	0.043	2.7	11.8	1640	4046	3216	2.47	1.96
57	36.4	41.0	4.6	0.206	40.6	23.2	17.4	0.043	2.8	12.1	1640	3960	3126	2.41	1.91
60	37.4	42.0	4.6	0.204	40.6	23.8	16.8	0.043	2.8	12.3	1640	3922	3018	2.39	1.84
63	38.4	42.9	4.5	0.203	40.5	24.1	16.4	0.042	2.8	12.6	1640	3818	2878	2.33	1.75
66	39.0	43.5	4.5	0.203	40.3	24.2	16.1	0.042	2.8	12.9	1660	3818	2825	2.30	1.70
69	40.0	44.4	4.4	0.202	40.5	24.6	15.9	0.042	2.9	13.2	1660	3715	2790	2.24	1.68
72	41.1	45.4	4.3	0.201	40.8	25.1	15.7	0.042	2.9	13.5	1660	3613	2755	2.18	1.66
75	42.2	46.4	4.2	0.201	40.8	25.5	15.3	0.042	2.9	13.8	1680	3529	2685	2.10	1.60
78	43.3	47.4	4.1	0.200	40.7	25.9	14.8	0.042	2.9	14.1	1720	3428	2597	1.99	1.51
81	44.0	48.0	4.0	0.200	40.7	26.1	14.6	0.042	3.0	14.4	1740	3344	2562	1.92	1.47
84	45.0	48.9	3.9	0.200	40.7	26.4	14.3	0.042	3.0	14.9	1740	3261	2509	1.87	1.44
87	45.7	49.6	3.9	0.200	40.7	26.7	14.0	0.042	3.0	15.0	1760	3261	2457	1.85	1.40
90	46.4	50.2	3.8	0.200	40.7	27.0	13.7	0.042	3.0	15.1	1780	3178	2404	1.79	1.35

Çizelge 4.15 Şebeke suyu sıcaklığı 15 ^{0}C, atık su sıcaklığı 40 ^{0}C, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları

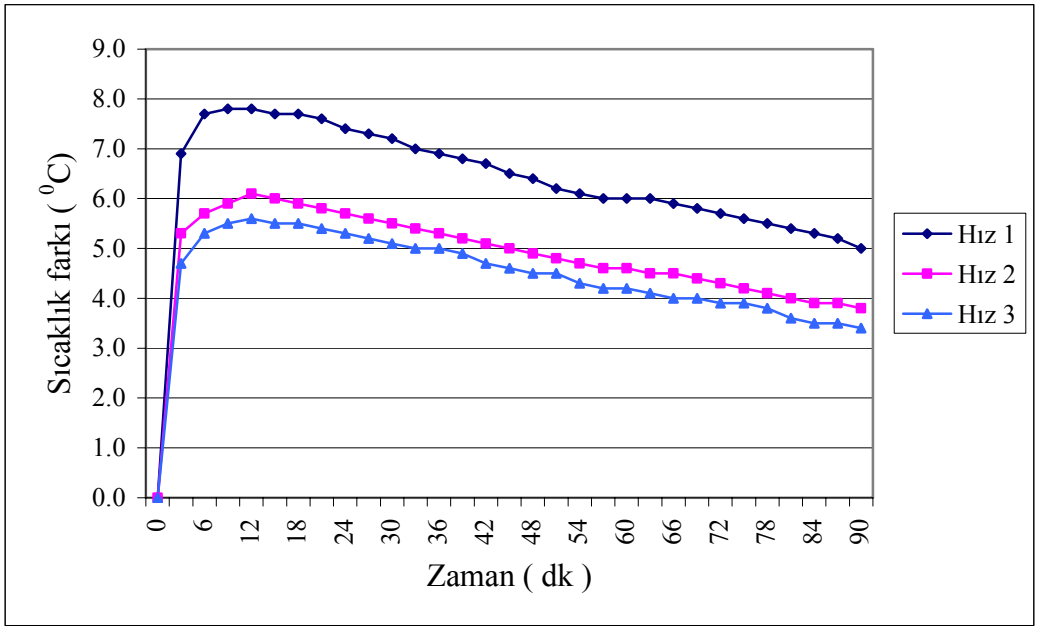
T dk	T_{yg} ^{0}C	$T_{yç}$ ^{0}C	ΔT_y ^{0}C	m_y kg/s	T_{bg} ^{0}C	$T_{bç}$ ^{0}C	ΔT_b ^{0}C	m_b kg/s	P_e bar	P_b bar	W_h W	Q_y W	Q_b W	η_I	η_s
0	15.5	15.5	0.0	0.000	40.5	40.5	0.0	0.000	5.4	5.5	0	0	0	0.00	0.00
3	15.9	20.6	4.7	0.224	40.5	18.6	21.9	0.044	2.0	6.9	1340	4402	4026	3.28	3.00
6	16.4	21.7	5.3	0.224	40.6	17.2	23.4	0.044	2.1	7.0	1360	4964	4302	3.65	3.16
9	17.7	23.2	5.5	0.224	40.6	17.5	23.1	0.044	2.2	7.3	1380	5150	4247	3.73	3.08
12	18.8	24.4	5.6	0.224	40.7	17.7	23.0	0.044	2.3	7.5	1400	5243	4228	3.75	3.02
15	19.9	25.4	5.5	0.224	40.6	18.0	22.6	0.044	2.3	7.8	1420	5150	4155	3.63	2.93
18	20.8	26.3	5.5	0.223	40.5	18.2	22.3	0.044	2.3	8.0	1440	5126	4099	3.56	2.85
21	22.3	27.7	5.4	0.223	40.4	18.5	21.9	0.044	2.4	8.2	1440	5032	4026	3.49	2.80
24	23.5	28.8	5.3	0.223	40.3	18.7	21.6	0.044	2.4	8.5	1460	4939	3971	3.38	2.72
27	24.8	30.0	5.2	0.222	40.5	19.2	21.3	0.044	2.4	8.8	1480	4823	3916	3.26	2.65
30	26.0	31.1	5.1	0.222	40.5	19.4	21.1	0.044	2.5	9.0	1500	4730	3879	3.15	2.59
33	27.3	32.3	5.0	0.222	40.7	19.9	20.8	0.044	2.5	9.3	1520	4638	3824	3.05	2.52
36	28.6	33.6	5.0	0.222	40.6	20.2	20.4	0.044	2.5	9.6	1540	4638	3750	3.01	2.44
39	29.7	34.6	4.9	0.222	40.4	20.4	20.0	0.044	2.6	10.0	1540	4545	3677	2.95	2.39
42	30.9	35.6	4.7	0.222	40.6	21.0	19.6	0.044	2.6	10.4	1560	4359	3603	2.79	2.31
45	32.0	36.6	4.6	0.222	40.6	21.4	19.2	0.044	2.6	10.7	1580	4267	3530	2.70	2.23
48	33.3	37.8	4.5	0.222	40.7	21.8	18.9	0.045	2.7	11.0	1600	4174	3553	2.61	2.22
51	34.2	38.7	4.5	0.222	40.6	22.1	18.5	0.045	2.7	11.3	1620	4175	3478	2.58	2.15
54	35.2	39.5	4.3	0.222	40.5	22.5	18.0	0.045	2.7	11.6	1620	3989	3384	2.46	2.09
57	36.6	40.8	4.2	0.221	40.6	22.9	17.7	0.043	2.8	11.9	1640	3879	3180	2.37	1.94
60	37.6	41.8	4.2	0.221	40.7	23.4	17.3	0.043	2.8	12.2	1640	3879	3108	2.37	1.90
63	38.7	42.8	4.1	0.221	40.7	23.8	16.9	0.043	2.8	12.5	1640	3787	3036	2.31	1.85
66	39.7	43.7	4.0	0.222	40.7	24.2	16.5	0.043	2.8	12.8	1660	3711	2964	2.24	1.79
69	40.7	44.7	4.0	0.222	40.7	24.6	16.1	0.043	2.9	13.2	1680	3712	2892	2.21	1.72
72	41.5	45.4	3.9	0.222	40.7	25.0	15.7	0.042	2.9	13.6	1680	3619	2755	2.15	1.64
75	42.5	46.4	3.9	0.222	40.7	25.5	15.2	0.042	2.9	13.9	1680	3619	2667	2.15	1.59
78	43.4	47.2	3.8	0.222	40.8	25.9	14.9	0.042	2.9	14.2	1720	3526	2615	2.05	1.52
81	44.4	48.0	3.6	0.222	40.7	26.2	14.5	0.042	3.0	14.5	1740	3341	2544	1.92	1.46
84	45.3	48.8	3.5	0.222	40.6	26.6	14.0	0.042	3.0	14.8	1760	3249	2457	1.85	1.40
87	46.1	49.6	3.5	0.222	40.6	26.9	13.7	0.042	3.1	15.0	1780	3249	2404	1.83	1.35
90	47.0	50.4	3.4	0.222	40.5	27.3	13.2	0.042	3.1	15.2	1780	3156	2316	1.77	1.30



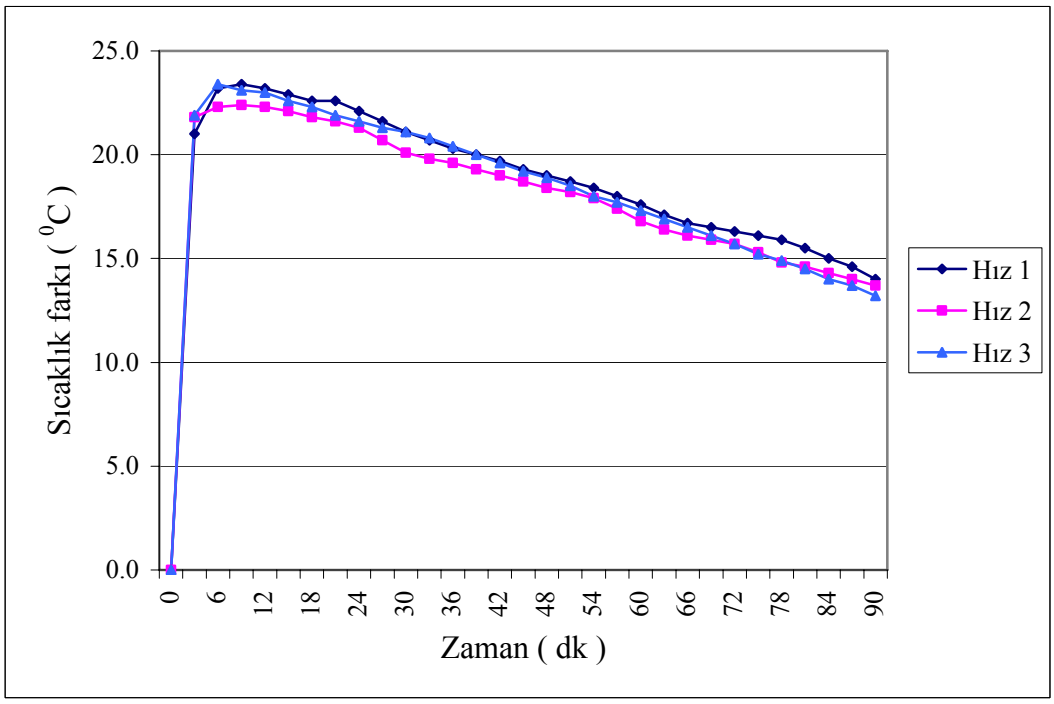
Şekil 4.21 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için sistemin ısıtma ve soğutma etkinliklerinin zamanla değişimi



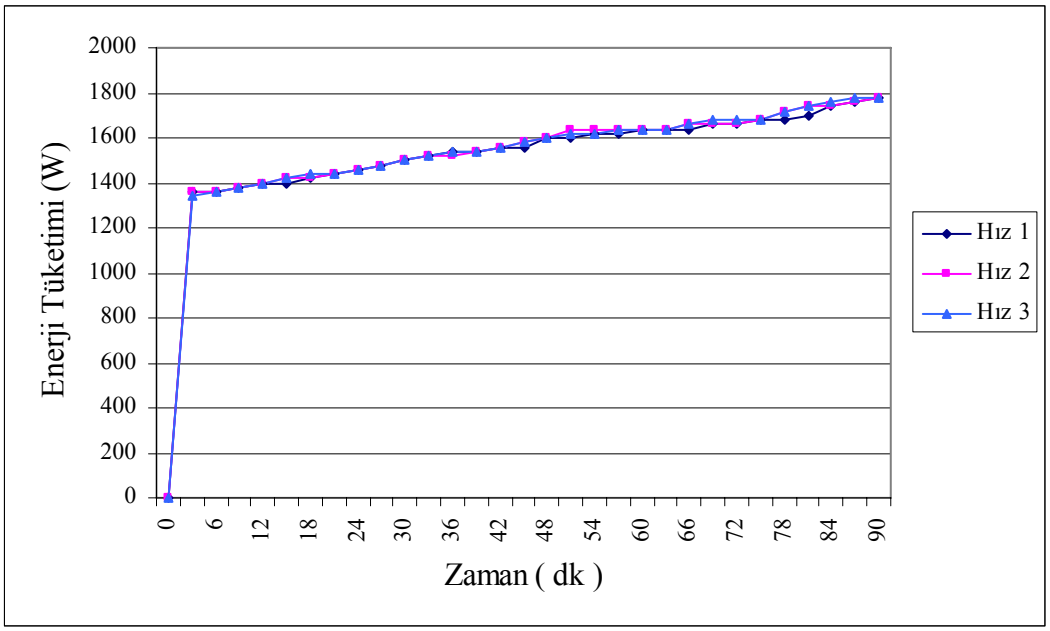
Şekil 4.22 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için kompresörün emme ve basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.23 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için yoğuşturucu giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



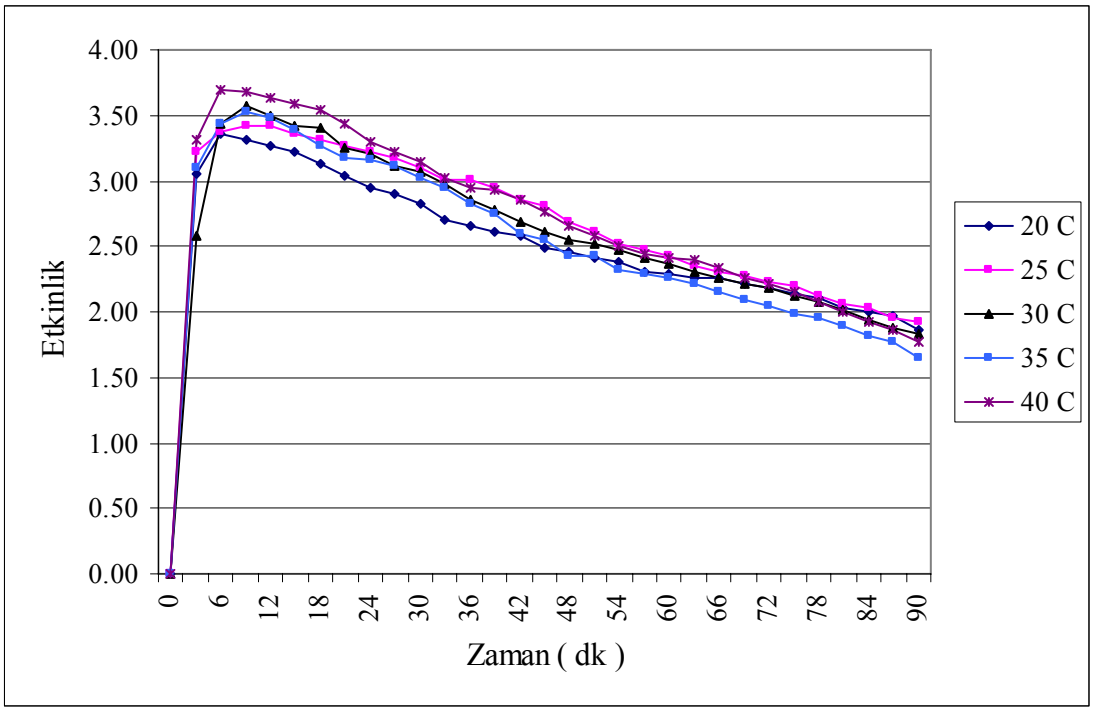
Şekil 4.24 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi



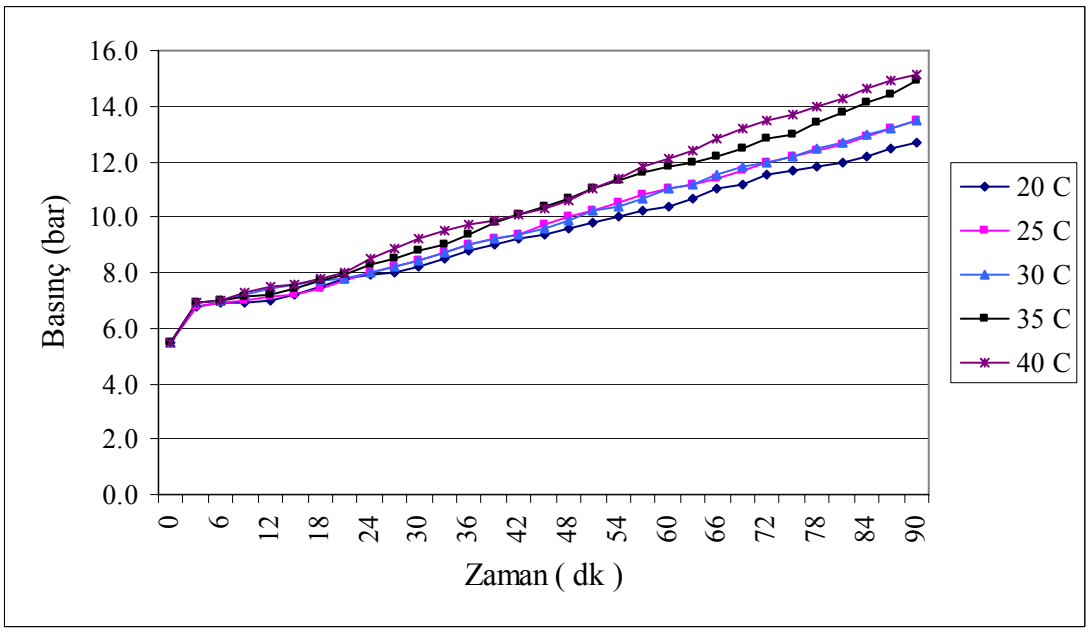
Şekil 4.25 Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 3.26 da çalışma prensip şeması verilen atık ısı geri kazanımlı ısı pompasının atık su sıcaklığı 40 ^{0}C de, SK_1 pompa hızı I için deney sonuçları tablo 4.13 de, SK_1 pompa hızı II için deney sonuçları tablo 4.14 de, SK_1 pompa hızı III için deney sonuçları tablo 4.15 de verilmiştir. Şekil 4.21 de atık ısı pompasının SK_1 pompa hızının üç değişik durumu için ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri verilmiştir. Sistemin ısıtma etkinliği SK_1 pompa hızın I de 6. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. SK_1 pompa hızı I ve II de 12. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan itibaren sürekli olarak düştüğü görülmüştür. Isıtma etkinliği 6. dakikada SK_1 pompa hızı I için 3.69 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.77 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II için ısıtma etkinliği . 12. dakikada 3.77 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.79 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı III için 12. dakikada 3.75 iken bu dakikadan itibaren düşerek deney sonunda 1.77 kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızlarının üç değişik konumu için ısıtma ve soğutma etkinliklerini fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.22 de SK_1 pompa hızlarının üç değişik durumu için kompresör emme ve basma basınçları verilmiştir. Kompresör basma basıncının sistem çalışmazken 5,5 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 6.9 bara yükseldiği, bundan sonra

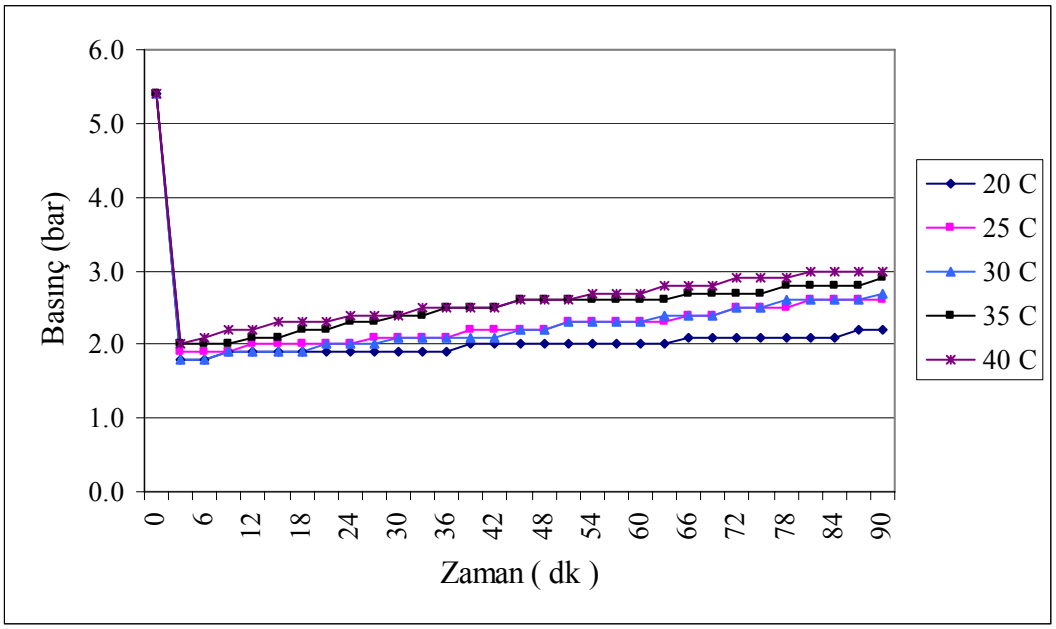
sürekli artarak deney sonu olan 90. dakikada 15.2 bara kadar çıktığı tespit edilmiştir. Kompresör emme basıncının sistem çalışmazken 5,4 bar olduğu, sistemin çalışmasıyla 2 bara düştüğü, bundan sonra sürekli bir miktar artarak deney sonu olan 90. dakikada 3.1 bara kadar yükseldiği görülmüştür. Şekil 4.23 de SK_1 pompasının üç değişik hızı için yoğuşturucuya giren temiz suyun giriş ve çıkış sıcaklık farklarının zamanla değişimi verilmiştir. SK_1 pompasının I, II ve III hız durumunda yoğuşturucuya giren ve çıkan temiz suyun sıcaklık farkının 12. dakikaya kadar arttığı, bu dakikadan itibaren düşüşe geçtiği tespit edildi. SK_1 pompa hızı I de 12. dakikada akış debisi 0.156 kg/s iken yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 7.8 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.151 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkını 5 ^{0}C ye kadar düşmüştür. SK_1 pompa hızı II de akış debisi 12. dakikada 0.207 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 6,1 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.200 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,8 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. SK_1 pompa hızı III de akış debisi 12. dakikada 0.224 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 5.6 ^{0}C olduğu, deney sonunda akış debisi 0.222 kg/s iken yoğuşturucuya giren suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkının 3,4 ^{0}C ye kadar düştüğü görüldü. Şekil 4.24 de atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının zamanla değişimi verilmiştir. Atık suyun SK_1 pompasının her üç devrinde de 9. dakikaya kadar buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı, bu dakikadan itibaren düşüşe geçtiği görülmüştür. SK_1 pompa hızlarının atık suyun buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklık farklarını fazla etkilemediği görülmüştür. Şekil 4.25 de sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Kompresör çalışma basınçlarının atık su sıcaklığının artışına bağlı olarak sürekli arttığı görülmüştür.Kompresör çalışma basıncına bağlı olarak sistemin harcadığı elektrik enerjisinde artış olduğu tespit edilmiştir. SK_1 pompasının her üç devrinde de elektrik enerjisindeki değişimi fazla etkilemediği görülmüştür. Başlangıçtaki enerji tüketimi 1360 W iken, deney sonunda enerji tüketiminin 1780 W çıktığı görülmüştür.



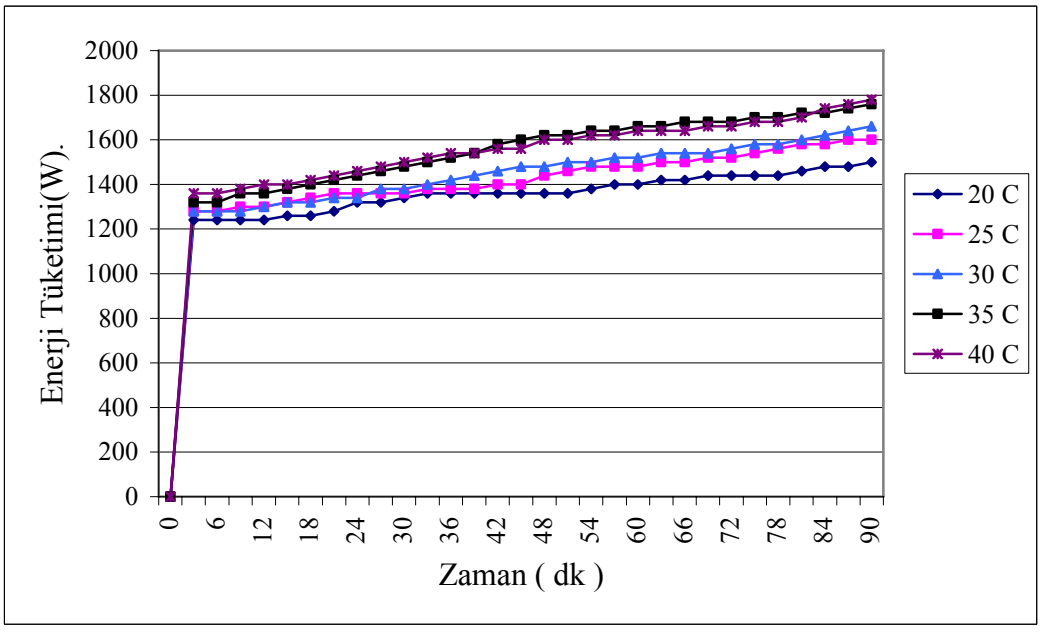
Şekil 4.26 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre ısıtma etkinliklerinin zamanla değişimi



Şekil 4.27 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre kompresör basma basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.28 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre kompresör emme basınçlarının zamanla değişimi



Şekil 4.29 Sirkülasyon pompası hızı I için farklı atık ısı sıcaklıklarına göre sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi

Şekil 4.26'da farklı atık su sıcaklıklarında çalışan ısı pompasının ısıtma etkinliklerinin birbirlerine göre mukayesesi verilmiştir. Sistemde SK_1 pompa hızındaki değişimlerin etkinlik değerlerini fazla etkilemediği için farklı atık su sıcaklıklarındaki karşılaştırma SK_1 pompa hızı I için yapılmıştır. Yapılan deneylerde ısı pompası sisteminin deney başlangıcından 6 ile 9 dakika sonra rejime girdiği görülmüştür. Bu zaman dilimi içerisinde sistemin ısıtma ve soğutma etkinlikleri sürekli olarak artmıştır. Bu dakikadan sonra ısıtma ve soğutma etkinliklerinde deney süresinde sürekli olarak düşüş olduğu gözlenmiştir. Atık su sıcaklığı 20 ^{0}C için sistemin ısıtma etkinlikleri 6 ile 9. dakikada yaklaşık 3,40 iken deney sonunda 1,90'a kadar düşmüştür. Aynı şekilde atık su sıcaklığı 25 ^{0}C için sistemin ısıtma etkinlikleri 6 ile 9. dakikada yaklaşık 3,45 iken deney sonunda 1.95'a kadar düşmüştür. Atık su sıcaklığı 30 ^{0}C için sistemin ısıtma etkinlikleri 6 ile 9. dakikada yaklaşık 3,50 iken deney sonunda 1.85'a kadar düşmüştür. Atık su sıcaklığı 35 ^{0}C için sistemin ısıtma etkinlikleri 6 ile 9. dakikada yaklaşık 3,55 iken deney sonunda 1.65'a kadar düşmüştür. Atık su sıcaklığı 40 ^{0}C için sistemin ısıtma etkinlikleri 6 ile 9. dakikada yaklaşık 3,70 iken deney sonunda 1.75'a kadar düşmüştür. Atık ısı tankındaki atık su sıcaklığı arttıkça sistemin ısıtma etkinliğinin de bir miktar arttığı görülmüştür. Atık su tankındaki su debisi, her atık su sıcaklığı için sabit alındığından, atık su sıcaklığı arttıkça atık suyun buharlaştırıcıyı yüksek sıcaklıkta terk ettiği görülmüştür. Temiz su debisindeki değişimlerin sistem etkinliklerini fazla değiştirmediği görülmüştür. Atık su sıcaklığına bağlı olarak ısıtma etkinlikleri arasındaki fark, temiz su depolama tankındaki suyun sıcaklığındaki artış ile beraber azaldığı görülmüştür. Başka bir ifade ile yüksek atık su sıcaklıklarında etkinlik yüksek olmakla beraber etkinlik değerinin düşüş hızı da daha yüksek olmaktadır. Temiz su depolama tankındaki su sıcaklığının artmasına bağlı olarak sistem etkinliklerinde hızlı bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Bunun nedenlerinde biri depolama tankı su sıcaklığı ile soğutucu akışkan kızgın buharı arasındaki sıcaklık farkının azalmasıyla transfer edilen ısı miktarının azalmasıdır. Diğer neden ise kompresör çalışma basınçlarındaki artış ile beraber sistemde harcanan elektrik enerjisinin artmasıdır. Şekil 4.27'de sistemde kompresörün atık su sıcaklıklarına bağlı olarak basma basınçlarındaki değişimler verilmiştir. Atık su sıcaklığındaki artış ile beraber kompresörün basma basıncında da artış olduğu görülmüştür. Kompresörün basma basıncındaki artış miktarı 21.

dakikaya kadar normal hızda seyrederken bu dakikadan sonra daha fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.28'de atık su sıcaklığına bağlı olarak kompresörün emme basıncındaki değişimler verilmiştir. Yapılan incelemede kompresör emme basıncının atık su sıcaklığının artmasıyla beraber arttığı görülmüştür. Kompresör emme basıncındaki artış miktarlarının kompresör basma basıncındaki artış miktarından daha az olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.29'da atık su sıcaklığına bağlı alarak sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla değişimi verilmiştir. Yapılan deneylerde atık su sıcaklığının artmasıyla beraber sistemden çekilen elektrik enerjisinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni, kompresör çalışma basıncının atık su sıcaklığına bağlı olarak artmasıdır. Kompresör basıncının artması kompresöre daha fazla yük gelmesine neden olmaktadır. Bu durum kompresörün sistemden çektiği elektrik enerjisini artırmaktadır. Deneylerin tamamında başlangıçta ısıtma etkinlikleri maksimum değerde iken deney solarında ısıtma etkinlikleri minimum değerlere inmiştir. Deneyler süresince 20 ^{0}C atık su sıcaklığı için sıcak su depolama tankına 5204 W gücünde ısı transfer edilmiş ve bu işlem için 2048 W gücünde elektrik harcanmıştır. Sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2,54 bulunmuştur. 25 ^{0}C atık su sıcaklığı için yapılan deneylerde sıcak su depolama tankına 5785 W gücünde ısı transfer edilmiş ve bu işlem için 2152 W gücünde elektrik harcanmıştır. Sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2,68 bulunmuştur. 30 ^{0}C atık su sıcaklığı için yapılan deneylerde sıcak su depolama tankına 5722 W gücünde ısı transfer edilmiş ve bu işlem için 2190 W gücünde elektrik harcanmıştır. Sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2,61 bulunmuştur. 35 ^{0}C atık su sıcaklığı için yapılan deneylerde sıcak su depolama tankına 5954 W gücünde ısı transfer edilmiş ve bu işlem için 2345 W gücünde elektrik harcanmıştır. Sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2,54 bulunmuştur. 40 ^{0}C atık su sıcaklığı için yapılan deneylerde sıcak su depolama tankına 5855 W gücünde ısı transfer edilmiş ve bu işlem için 2363 W gücünde elektrik harcanmıştır. Sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2,47 bulunmuştur. 25 ile 30 ^{0}C atık su sıcaklıklarında sistemin ortalama ısıtma etkinlikleri daha yüksek çıkmıştır.

4.2. Diğer Isı Sağlayan Kaynaklar ile Isı Pompasının Karşılaştırılması

Isı pompası sistemi ile atık ısıdan elde edilen ısının temiz suya aktarılmasında harcanan enerji türü tamamen elektrik enerjisidir. Isı pompasının harcadığı elektrik enerjisinin, aynı işlemi doğrudan elektrikli ısıtıcılar ile yaptığımızda yaklaşık olarak %60 daha az olduğu görülmüştür.

Günümüzde ısı sağlamak amacıyla elektrikten başka yakacak olarak nitelendirdiğimiz odun, kömür, motorin, kalorifer yakıtı, doğalgaz ve LPG gibi diğer yakacaklarda bulunmaktadır. Sıcak su hazırlama sistemlerinde bu yakacakların kullanılması durumunda elde edilen ısı enerjisinin birim maliyetlerinin yakacaklar arasında farklı olduğu görülmektedir. Bir yakacaktan elde edilen ısı enerjisinin tamamının sıcak su hazırlama sistemine aktarılması mümkün değildir. Yakacakların yakıldıkları sistemin yanma verimlerinin düşüklüğü yakacaklardan elde edilen ısıdan yararlanma oranını azaltmaktadır. Ayrıca yakacakların birim fiyatları ve ısıl değerleri yakacaklardan elde edilen birim enerji maliyetlerini etkileyen diğer unsurlardır. Buna sistemin otomatik kontrol imkanları, yakıtların taşıma, depolama, kırma, ön ısıtma, yanma öncesi ve yanma sonrası meydana gelen katı atıklar ve gazların oluşturduğu sorunlar ve bu sorunlardan kaynaklanan maliyetler eklendiğinde ısıtma sistemine kazandırılan enerjinin birim maliyetlerinin arttığı görülmüştür.

Isı pompası ile sıcak su hazırlama sistemi elektrik enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemlerinin sahip olduğu bütün avantajlara sahip bir sistemdir. Isı pampası sistemi ile elde edilen enerjinin birim maliyetleri, ısı enerjisi sağlayan diğer kaynaklara göre kıyaslandığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Isı sağlayan diğer enerji kaynaklarından elde edilen verilen teorik olarak belirlenmiş kabullere dayandırılmıştır.

Atık su içerisindeki atık ısıdan sıcak su hazırlama amacıyla simülasyonu yapılan ısı pompası sisteminde sistemin ortalama etkinliği en fazla 25 ve 30 ^{0}C atık su sıcaklığında bulunmuştur. 25 ^{0}C atık su sıcaklığı için sistemin ortalama ısıtma etkinliği 2.61 olarak hesaplanmıştır. Deneyde sıcak su depolama tankına 90 dakika süresince 20827.3 kJ ısı enerjisi aktarılmıştır. Deney esnasında 5785 W ısı gücü elde edilmiş ve bu işlem için 2216 W güç harcanmıştır. Sisteme transfer edilen ısı ile 150 kg kütlesindeki 15 ^{0}C sıcaklığındaki suyun sıcaklığını 48.2 ^{0}C sıcaklığa çıkartmak

mümkündür. 150 kg kütlesinde, 15 ^{0}C deki suyun sıcaklığını 48.2 ^{0}C sıcaklığa çıkartmak için ısı pompası sisteminde elde edilen verileri diğer ısı sağlayan kaynaklara karşılaştırdığımızda teorik olarak aşağıdaki maliyet hesapları ve fiyat mukayesesi elde edilmiştir.

Çizelge 4.16 Isı pompasının enerji maliyeti ile diğer ısı sağlayan kaynakların enerji maliyetlerinin karşılaştırılması (150 kg kütlesinde, 15 ^{0}C deki suyun sıcaklığını 48.2 ^{0}C sıcaklığa çıkartmak için)

Isı Kaynağı	Isıl Değer	Birim Fiyat	Verim %	Birim Fiyat (YTL/1000kJ)	Maliyet (YTL)	Ucuzluk Sırası
Isı Pompası	3600 kJ/kWh	0.158 YTL/kWh	2.61	0.0168	0.350	1
Doğalgaz	34535 kJ/m^3	0.620 YTL/m^3	0.91	0.0197	0.410	2
İthal Kömür	29300 kJ/kg	0.420 YTL/kg	0.65	0.0221	0.460	3
Linyit Kömürü	16750 kJ/kg	0.280 YTL/kg	0.60	0.0278	0.579	4
Kalorifer Yakıtı	40600 kJ/kg	1.380 YTL/kg	0.80	0.0425	0.885	5
LPG (Propan)	46050 kJ/kg	2.290 YTL/kg	0.90	0.0552	1.149	7
Motorin	42700 kJ/kg	2.590 YTL/kg	0.84	0.0722	1.503	9
Tüp Gaz	46050 kJ/kg	2.800 YTL/kg	0.88	0.0691	1.439	8
Elektrik	3600 kJ/kWh	0.158 YTL/kWh	0.99	0.0443	0.923	6

4.3 Belirsizlik analizi

Bütün deneylerden elde edilen bulgular belirli bir şekilde analiz edilmelidir. Deneylerin yapılışı esnasında deneyi yapan kişinin tecrübesi ve dikkati ne kadar iyi olursa olsun yinede bazı hatalar olabilir.

Deneysel hatalar üç gurupta incelenebilir. Birinci gurupta dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalardır. Ölçme cihazlarının yanlış seçiminden ve ölçme sistemlerinin yanlış dizaynından ortaya çıkan hatalar bu gurupta ele alınır. İkinci gurupta sabit ve sistematik bir şekilde ortaya çıkan hatalardır. Üçüncü gurupta ise rasgele hatalardır. Bunlar deneyi yapan elemanın değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, cihazların ısınması gibi bir çok nedenden kaynaklanan hatalardır(Genceli, 2000).

Bu çalışmada, deneyde kullanılan ölçme cihazlarından kaynaklanan hatalar üzerinde belirsizlik analizi yapılmıştır.

Sistemde ölçülmesi gereken büyüklük ısıtma etkinliği (η_I) dır. Bu büyüklüğe etki eden yoğuşturucuya giren ve çıkan temiz suyun hacimsel akış debisi (V), suyun yoğunluğu (ρ), suyun özgül ısısı (C_p), suyun yoğuşturucuya giriş sıcaklığı (T_{yg}), suyun yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı ($T_{yç}$), sistemin harcadığı elektrik enerjisi (W_h) bağımsız değişkenlerdir.

Değişkenlerin belirsizlik değerleri

Hacimsel akış debisi	:10^{-6}	m^3/s
Suyun yoğunluğu	:0.01	kg/m^3
Suyun özgül ısısı	: ±1	kJ/kgK
Suyun yoğuşturucuya giriş sıcaklığı	:±0.1	^0C
Suyun yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı	:±0.1	^0C
Sistemin harcadığı elektrik enerjisi	:±20	W

Sistemin ısıtma etkinliği

$$\eta_I = \frac{\dot{V}.\rho.C_p.\left(T_{Yg}-T_{Yç}\right)}{W_h} \tag{9}$$

bağıntısı ile bulunmuştu. Sistemdeki belirsizlikleri ω_R olarak adlandırdığımızda, ısıtma etkinliğindeki bağıl belirsizlik,

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial \eta_I}{\partial \dot{V}_y} \omega \dot{V}_y \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_I}{\partial \rho} \omega \rho \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_I}{\partial C_p} \omega C_p \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_I}{\partial T_{Yg}} \omega T_{Yg} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_I}{\partial T_{Yç}} \omega T_{Yç} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_I}{\partial W_h} \omega W_h \right)^2 \right]^{1/2} \tag{10}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Çizelge 4.17'de deney süresince ısı pompası sistemindeki ısıtma etkinliğindeki belirsizliklerden kaynaklanan hata oranları verilmiştir.

Çizelge 4.17 Isı pompası sisteminin ısıtma etkinliklerindeki belirsizliklerden kaynaklanan hata oranları

Farklı Atık Su Sıcaklıkları ve Pompa Hızlarına Göre Isıtma Etkinliklerindeki Belirsizliklerden kaynaklanan hata oranları (%)															
	Atık Su sıcaklığı (20^0C)			Atık Su sıcaklığı (25^0C)			Atık Su sıcaklığı (30^0C)			Atık Su sıcaklığı (35^0C)			Atık Su sıcaklığı (40^0C)		
T (dk)	Hız I	Hız II	Hız III	Hız I	Hız II	Hız III	Hız I	Hız II	Hız III	Hız I	Hız II	Hız III	Hız I	Hız II	Hız III
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2.21	2.49	3.05	2.30	2.87	3.32	2.66	3.41	3.95	2.30	2.87	3.24	2.15	2.71	3.04
6	2.03	2.24	2.77	2.21	2.72	2.98	2.06	2.62	3.04	2.10	2.71	2.92	1.94	2.53	2.71
9	2.05	2.24	2.82	2.15	2.67	2.98	1.99	2.49	2.98	2.00	2.62	2.86	1.92	2.45	2.61
12	2.08	2.24	2.82	2.15	2.62	2.98	2.01	2.54	2.98	2.02	2.66	2.86	1.92	2.37	2.56
15	2.08	2.27	2.87	2.15	2.67	2.98	2.03	2.54	2.98	2.04	2.66	2.86	1.94	2.41	2.61
18	2.11	2.27	2.87	2.15	2.62	2.98	2.05	2.58	3.04	2.07	2.71	2.92	1.94	2.44	2.61
21	2.13	2.31	2.93	2.15	2.67	3.04	2.10	2.62	3.04	2.10	2.76	2.92	1.97	2.49	2.66
24	2.13	2.34	2.93	2.18	2.72	3.10	2.13	2.62	3.10	2.07	2.76	2.98	2.02	2.53	2.71
27	2.16	2.37	2.99	2.21	2.72	3.10	2.13	2.67	3.17	2.07	2.82	2.98	2.04	2.57	2.76
30	2.19	2.41	3.05	2.24	2.72	3.17	2.22	2.67	3.17	2.10	2.82	3.04	2.06	2.62	2.81
33	2.24	2.52	3.18	2.27	2.77	3.17	2.16	2.77	3.32	2.13	2.87	3.11	2.12	2.66	2.86
36	2.27	2.57	3.25	2.27	2.87	3.17	2.28	2.77	3.32	2.18	2.93	3.17	2.15	2.71	2.86
39	2.30	2.57	3.25	2.30	2.82	3.17	2.28	2.82	3.32	2.18	2.99	3.24	2.17	2.76	2.92
42	2.34	2.61	3.25	2.34	2.93	3.32	2.31	2.82	3.40	2.24	3.05	3.32	2.20	2.81	3.04
45	2.40	2.70	3.41	2.37	2.93	3.32	2.34	2.88	3.48	2.25	3.11	3.40	2.26	2.87	3.11
48	2.44	2.75	3.49	2.41	2.99	3.40	2.38	2.93	3.48	2.31	3.11	3.40	2.30	2.93	3.17
51	2.48	2.80	3.49	2.45	3.05	3.40	2.38	2.93	3.56	2.31	3.18	3.48	2.37	2.99	3.17
54	2.48	2.80	3.49	2.49	3.12	3.56	2.42	2.99	3.56	2.38	3.25	3.56	2.40	3.05	3.32
57	2.51	2.90	3.57	2.53	3.19	3.65	2.45	3.05	3.65	2.41	3.33	3.56	2.44	3.11	3.40
60	2.55	2.90	3.57	2.57	3.19	3.65	2.49	3.12	3.75	2.41	3.33	3.65	2.44	3.11	3.40
63	2.55	2.96	3.66	2.61	3.19	3.75	2.57	3.19	3.75	2.45	3.40	3.75	2.44	3.18	3.48
66	2.55	2.96	3.75	2.66	3.33	3.85	2.53	3.19	3.85	2.49	3.48	3.85	2.48	3.18	3.56
69	2.55	3.01	3.85	2.66	3.26	3.85	2.62	3.26	3.85	2.57	3.57	3.95	2.52	3.25	3.56
72	2.59	3.07	3.85	2.70	3.33	3.85	2.62	3.26	3.85	2.61	3.57	4.06	2.56	3.33	3.65
75	2.68	3.07	3.85	2.70	3.33	3.95	2.66	3.33	3.85	2.66	3.66	4.18	2.61	3.40	3.65
78	2.72	3.14	3.96	2.75	3.41	4.06	2.71	3.41	3.95	2.70	3.75	4.31	2.65	3.48	3.75
81	2.77	3.20	4.07	2.80	3.41	4.18	2.75	3.49	4.06	2.75	3.85	4.44	2.70	3.57	3.95
84	2.77	3.27	4.07	2.85	3.49	4.18	2.80	3.49	4.06	2.85	3.96	4.58	2.75	3.66	4.07
87	2.82	3.35	4.19	2.90	3.57	4.18	2.86	3.57	4.18	2.91	4.07	4.73	2.80	3.66	4.07
90	2.92	3.42	4.31	2.96	3.66	4.31	2.91	3.66	4.18	3.08	4.19	4.73	2.90	3.75	4.18

Isı pompası sisteminin ısıtma etkinliğindeki belirsizliklerden kaynaklanan hata oranları incelendiğinde deney başlangıcından itibaren hata oranlarının 6 ile 9. dakikaya kadar bir miktar düşmekle beraber bu dakikadan itibaren sürekli olarak arttığı gözlenmiştir. Hata oranlarındaki bu artışın nedeni yoğuşturucu girişi ve çıkışındaki suyun sıcaklık farkının sürekli olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. SK_I pompa hızı I'de hata oranlarının daha az olduğu gözlenirken SK_I pompa hızı II'de hata oranlarında artış olduğu, bu artışın SK_I pompa hızı III'de daha da fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni SK_I pompa hızlarının artması ile yoğuşturucu girişi ve çıkışındaki suyun sıcaklık farkının azalmasından kaynaklanmaktadır. Sistemin harcadığı elektrik enerjisinin zamanla artması, harcanan elektrik enerjisinden kaynaklanan hatanın toplam hata miktarını düşürdüğü görülmüştür. Buna bağlı olarak SK_I pompa hızı I' de 20 ^{0}C atık su sıcaklığı için ortalama % hata değeri 2.72 iken, 25 ^{0}C atık su sıcaklığı için ortalama hata değeri 2.45 i, 30 ^{0}C atık su sıcaklığı için ortalama hata değeri 2.40, 35 ^{0}C atık su sıcaklığı için ortalama hata değeri 2.36 , 40 ^{0}C atık su sıcaklığı için ortalama hata değeri 2.31 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampusü yerleşkesinde bulunan Kredi ve Yurtlar Kurumu'na ait 2500 yataklı öğrenci yurdunun çamaşırhanesinde, çamaşır yıkama ve durulama amacıyla kullanılıp atılan kirli sudaki atık ısıdan, kullanma sıcak suyu hazırlama amacıyla tasarlanan bir ısı pompasının modellemesi ve montajı yapılmıştır ve su ısıtma kapasitesi hesaplanmıştır. Böylece ısı pompalarının sadece ısıtma ve soğutma amacıyla değil farklı bir uygulama alanı olan kullanım sıcak suyu elde edilmesi ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Deneyler S.Ü. Teknik Bilimler M.Y.O. İklimlendirme ve Soğutma programı laboratuarlarında yapılmıştır. Deneylerin toplam süresi 90 dakikadır. Deneylerin yapımı esnasında deney verileri her üç dakikada bir kaydedilmiştir. Verilerden faydalanılarak sistemin ısıtma ve soğutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin harcadığı elektrik enerjisi ölçülerek harcanan elektrik enerjisi ile ısıtma ve soğutma kapasiteleri karşılaştırılarak sistemin ısıtma ve soğutma etkinlik değerleri bulunmuştur.

Isı pompaları diğer ısıtma sistemlerine göre ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyeti daha pahalı olmasına rağmen işletme maliyetleri açısından oldukça ekonomik olan ısıtma cihazlarıdır. Ülkemizde yazın soğutma yükünün fazla, kışın ısıtma yükünün az olan güney bölgelerindeki yerleşim yerlerinde ısı pompaları diğer ısıtma sistemleri ile rekabet edebilir bir konumda iken karasal iklimin hakim olduğu iç bölgelerdeki yerleşim yerlerinde ısıtma ihtiyacının fazla olmasından dolayı ısı pompalarının kullanımları oldukça sınırlı kalmaktadır. Isı pompaları, ısı kaynağı olarak doğrudan elektriğin kullanıldığı sistemlere göre oldukça ekonomiktir. Ülkemizde elektrik enerjisinin ısı sağlayan diğer enerji kaynaklarına göre 2-3 kat pahalı olması nedeni ile etkinlik değeri 2-4 arasında olan bir ısı pompasının, kömür ve doğalgaz gibi ısı sağlayan kaynaklara göre kıyaslandığında fazla ekonomik olmaması sonucunu doğurmaktadır. Bu duruma ısı pompasının ilk yatırım maliyetleri ve işletme bakım maliyetleri de eklendiğinde, ısı pompasının elektrik enerjisi hariç bazı ısı enerjisi sağlayan kaynakları karşısında kullanımını sınırlamaktadır. Isı pompalarının yaygın olarak kullanıldığı yerlerden biri de mahal ısıtılmasıdır.

Yapılan deneylerde atık su sıcaklığındaki artışların ısı pompası ısıtma etkinliğini fazla artırmadığı görülmüştür. Yüksek atık su sıcaklıklarına sahip akışkanların içerisindeki ısının bir ısı eşanjörü ile alındıktan sonra, sıcaklığı düşen akışkanın ısı pompası sistemine alınması daha ekonomik olacaktır. Deneylerde ısının aktarıldığı su sıcaklığının 50 ^{0}C'nin üzerine çıktığında ısı pompası sisteminde basınçlarının aşırı artmasıyla kompresörün zorlandığı ve ısıtma etkinliğinin aşırı düştüğü görülmüştür.

Merkezi ısıtma sistemlerinde ısıtıcı türlerinden biri olan ve doğal konveksiyonla çalışan radyatörlerde, maksimum ısı yüküne ihtiyaç duyulduğu soğuk havalarda ısıtıcı akışkan sıcaklığının 80 ^{0}C olması gerekir. Bu durumda ısı pompasından elde edilen 50 ^{0}C sıcaklıktaki akışkanların kullanılması, ısıtıcı veriminin düşük çıkmasına sebep olacaktır.

Merkezi ısıtma sistemlerinden olan döşemeden ısıtma sistemlerinde ısıtıcı akışkan sıcaklıkları diğer ısıtıcı türlerine göre daha düşük olduğundan ısı pompası aracılığı ile elde edilen 40 ile 50 ^{0}C sıcaklığındaki su oldukça uygundur. Mahal ısıtılmasında cebri hava sirkülasyonlu konvektör tipi ısıtıcı cihazların kullanılması durumunda elde edilen bu sıcaklık değerleri uygundur.

Isı pompası aracılığı ile kullanım sıcak suyunun hazırlandığı sistemlerde, kullanım suyu sıcaklığının 50 ^{0}C'nin üzerinde istenmesi durumunda ayrı bir sistemle ısı pompası sistemi desteklenmelidir. Yapılan deneylerde kullanım suyu sıcaklığı arttıkça ısı pompasının veriminin düştüğü görülmüştür. Bu nedenle ısı pompasıyla atık sudan alınan ısısının büyük bir depolama tankındaki suya aktarılması yada düşük sıcaklıkta olan şehir şebeke suyunun ön ısıtma işleminde kullanılması sistemin maksimum ısıtma etkinliği ile çalışmasını sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR

Baek N.C., Shin U.C., Yoon J.H., A study on the Design and Analysis of a Heat Pump Heating System Using Wastewater as a Heat, Source Solar Energy 78 (2005) 427–440

B.J. Huang, C.P. Lee, Long-Term Performance of Solar-Assisted Heat Pump Water Heater, Renewable Energy 29 (2003) 633–639

Bulgurcu H., Soğutma ve İklimlendirme Meslek Resmi Milli Eğitim Bakanlığı Devlet Kitapları, S.H.Ç.E.K. Basımevi, Ankara 2001

Çengel A.Y., Boles M.A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill-Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996.

Doğan, V. 1999. Isı Geri Kazanım ve Sudan Suya Isı Pompası Uygulaması. 99'Teskon Program Bildirileri.

Duruk A. M., Sarıbatı Ş., Soğutma Tesisatı, tmmob Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 2001/2095

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürü (EİE) 1987. Isı Pompası, Ankara, 17s.

Geceli O.F., Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, 2000.

Güngör A., Kurtuluş E., Akdemir Ö. Endüstriyel Proseslerde Enerji Geri Kazanımında Isı Pompalarının Kullanımı. 2002 V. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi.

Haldane, T. G. N. 1930. The Heat Pump- an Economical Method of Producing Low-Grade Heat from Electricity. J.I.E.E.E. 6-15.

Heap, R. D. 1979. Heat Pumps, E&F.N Spon Ltd. London.

Montagnon, H. 1975. Results Obtained from Swedish State Power Board Measurements on Heat Pumps. Heat Pumps Symposium, Stockholm, Nov.

Özgener Ö., Hepbaşlı A.,Performance Analysis of a Solar-Assisted Ground-Source Heat Pump System for Greenhouse Heating:an Experimental Study, Building and Environment, 40 (2005) 1040–1050.

Özgören, M. 1996. Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Özkol N., Uygulamalı Soğutma Tekniği, tmmob Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 1999.

Sumner, J. A. 1955. Domestic Heating by the Heat Pump. J. Inst. Heating and Ventilating Engrs, 23 (July), 51-129.

Şendağ, M. T. 1992. Çok Amaçlı Isı Pompası İmalat ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Taner K., Soğutma, Nobel Yayınları, Ankara 2005

Thomson, W. 1852. On the Economy of Heating or Cooling of Buildings by means of Currents of Air. Glasgow Phil. Soc. Proc. 72-269.

Ying, W. M. 1989. Performance of Room Air Conditioner Used for Cooling and Hot Water Heating. Technical and Symposium Papers Presented at the Winter Meeting şn Chigago, Illinois, Vol.95. Part 1, 441-444.

Yamankaradeniz R.,Horoz İ.,Coşkun S., Soğutma Tekniği ve Uygulamaları, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, 2002.