

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ ENERJİ TÜKETİMİNİN  
OPTİMİZASYONU**

**GÖKHAN İBRAHİM GÜLPAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISI - PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HASAN HEPERKAN**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ ENERJİ TÜKETİMİNİN**  
**OPTİMİZASYONU**

Gökhan İbrahim GÜLPAK tarafından hazırlanan tez çalışması 14.02.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Hasan HEPERKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hasan HEPERKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Düriye BİLGE  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Alper ÖZPINAR  
İstanbul Ticaret Üniversitesi

---

---

---

## ÖNSÖZ

---

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hasan HEPERKAN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik A.Ş. Enerji ve Çevre Departmanı ve ÇMİ Üretim Yöneticiliğine teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen Sn. Fatih ÖZKADI ve Sn. Tuğrul Kodaz'a, değerli fikirleri ve eleştirileriyle Sn. Mutlu GERÇEK ve Sn. Yankı UZHAN'a, deneysel çalışmalarımındaki katkılarından dolayı ÇMİ Yardımcı Tesisler çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca verdikleri destekten dolayı Arçelik A.Ş. çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitimimdeki destekleri için tüm YTÜ Makine Fakültesi öğretim üyelerine, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2013

Gökhan İbrahim GÜLPAK

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı .....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2 .....	3
PLASTİK MALZEMELER ve ÜRETİM TEKNİKLERİ .....	3
2.1 Plastik Malzeme Türleri .....	3
2.2 Plastik Üretim Tekniklerine Genel Bakış .....	4
2.2.1 Enjeksiyon yöntemi ile plastik parça üretimi .....	5
2.2.1.1 Enjeksiyon presler .....	6
2.2.1.2 Enjeksiyon kalıpları.....	8
BÖLÜM 3 .....	9

PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNESİ ve ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	9
3.1 Enjeksiyon İşleminin Basamakları .....	11
3.2 Enjeksiyon Parametreleri.....	11
3.2.1 Malzeme sıcaklığı .....	11
3.2.2 Kalıp sıcaklığı.....	12
3.2.3 Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı .....	12
3.2.4 Tutma (ütüleme) basınçları ve süresi .....	13
3.2.5 Çevrim zamanı .....	13
BÖLÜM 4 .....	15
PLASTİK ÜRETİM TESİSLERİNDE KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİ .....	15
4.1 Chiller Soğutma Sistemleri.....	16
4.1.1 Buhar sıkıştırırmalı chiller üniteleri.....	16
4.1.1.1 Hava soğutmalı chiller grubu.....	17
4.1.1.2 Su soğutmalı chiller grubu.....	17
4.1.2 Soğurmalı chiller üniteleri .....	17
4.1.3 Chiller üniteleri için enerji tüketimi.....	18
4.2 Soğutma Kuleleri.....	20
4.2.1 Açık devre su soğutma kulesi .....	24
4.2.2 Kapalı devre su soğutma kulesi .....	26
4.2.3 Soğutma kulelerinde enerji tüketimi.....	27
4.3 Isı Değiştiricili Soğutma Uygulamaları.....	27
4.3.1 Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları .....	30
4.3.2 Islak/Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları.....	31
4.3.2.1 Doğrudan su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucular .....	32
4.3.2.2 Sisleme sistemli ıslak-kuru soğutucular .....	33
4.3.2.3 Ağ üzeri su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucular .....	33
4.3.3 Isı değiştiricili soğutma sistemlerinde enerji tüketimi .....	34
BÖLÜM 5 .....	37
PLASTİK ÜRETİM EKİPMANLARININ SOĞUTMA İHTİYACI HESABI .....	37
5.1 Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma İhtiyacı .....	37
5.1.1 Enjeksiyon kalıplarında soğutma ihtiyacı hesaplaması .....	38

5.1.2 Enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk soğutma ihtiyacı.....	39
5.1.3 Enjeksiyon kalıplarında soğutma suyu sıcaklığı.....	42
5.1.3.1 Çevrim süresi ve soğutma suyu sıcaklığı arasındaki bağıntı.....	42
BÖLÜM 6 .....	45
ÇMİ PLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE KULLANILAN MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ .....	45
6.1 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Kuleleri ve Özellikleri .....	46
6.2 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Chiller Üniteleri ve Özellikleri .....	48
6.2.1 Hava soğutmalı chiller .....	48
6.2.2 Absorbsiyon chiller .....	52
6.3 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Kuru Soğutucular ve Özellikleri.....	54
6.4 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Pompalar ve Teknik Özellikleri.....	55
6.4.1 Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompaları.....	55
6.4.2 Hava soğutmalı chiller sirkülasyon pompaları .....	56
6.4.3 Soğutma kulesi sirkülasyon pompaları.....	57
6.4.4 Absorbsiyon evaporatör sirkülasyon pompaları .....	57
6.5 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Sistematiği .....	58
6.5.1 ÇMİ plastik parça üretiminde kış mevsimi soğutma sistemi kullanımı .....	59
6.5.2 ÇMİ plastik parça üretiminde yaz mevsimi soğutma sistemi kullanımı ....	59
6.6 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Sistemleri Enerji Tüketimi	60
BÖLÜM 7 .....	61
ÇMİ KALIP SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ TÜKETİM OPTİMİZASYONU .....	61
7.1 Mevcut Kalıp Soğutma Sisteminde Kış Konumu için Yapılan Ölçümler .....	61
7.1.1 Kış konumu mevcut durumun kütle ve enerji dengesi .....	61
7.2 Mevcut Kalıp Soğutma Sisteminde Yaz Konumu için Yapılan Ölçümler .....	64
7.2.1 Yaz konumu mevcut durumun kütle ve enerji dengesi.....	64
7.3 Kalıp Soğutma Sisteminin Kış ve Yaz Konumları için Enerji Modelleri.....	67
7.3.1 Kalıp soğutma sisteminin kış konumu enerji modeli.....	67
7.3.2 Kalıp soğutma sisteminin yaz konumu enerji modeli .....	69
7.4 Kalıp Soğutma Sisteminde Yapılan Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar .....	70

7.4.1 Sıcaklık ölçümü .....	70
7.4.2 Debi ölçümü .....	71
7.4.3 Elektriksel güç ölçümü.....	71
7.5 Kalıp Soğutma Sisteminde Saptanan Enerji Tasarruf Potansiyeli .....	72
7.5.1 Kuru soğutucular ve Hava soğutmalı Chiller’da sıcaklığa bağlı otomasyonun oluşturulması .....	72
7.5.1.1 Kuru soğutucular ve Hava soğutmalı Chiller’da sıcaklığa bağlı otomasyonda tasarruf değerleri .....	73
7.5.2 Mevsimsel değişimlere ve çalışmakta olan ekipmanların durumuna göre tüm kalıp soğutma sisteminde otomasyonun oluşturulması .....	74
7.5.2.1 Tüm kalıp soğutma sistemi ile ilgili senaryoların modellenmesi.....	77
7.5.2.2 Tüm kalıp soğutma sisteminde oluşturulacak otomasyon ile ilgili tasarruf değerleri .....	80
7.6 Plastik Üretim Tesislerinin Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği.....	81
7.6.1 Chiller üniteleri için enerji tüketiminin azaltılması için dikkat edilecek hususlar.....	82
7.6.2 Soğutma kuleleri ve ısı değiştiricili sistemler için enerji tüketiminin azaltılması için dikkat edilecek hususlar .....	83
BÖLÜM 8 .....	84
SONUÇ ve ÖNERİLER .....	84
KAYNAKLAR .....	87
EK-A.....	88
ÇEŞİTLİ MALZEMELER İÇİN ISI NÜFUS KATSAYISI (BASF Corporation Engineering Plastics, 2007) .....	88
EK-B .....	89
SU İÇİN ISIL ÖZELLİKLER TABLOSU .....	89
EK-C .....	90
İSTANBUL İLINE AİT SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIM DEĞERLERİ .....	90
EK-D.....	91
ÇMİ İŞLETMESİ KİŞİ KONUMU MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ .....	91
EK-E .....	92

ÇMİ İŞLETMESİ YAZ KONUMU MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ .....	92
EK-F .....	93
KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ KIŞ KONUMU ENERJİ MODELİ AKIŞ DİYAGRAMI .....	93
EK-G.....	94
KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ YAZ KONUMU ENERJİ MODELİ AKIŞ DİYAGRAMI .....	94
EK-H.....	95
KALIP SİRKÜLÂSYON ve SOĞUTMA KULESİ SİRKÜLÂSYON HATLARININ BORU ÇAPLARI.....	95
EK-I .....	96
KIŞ KONUMU KURU SOĞUTUCU ve HAVA SOĞUTMALI CHILLER ÇALIŞMA SENARYOSU.....	96
ÖZGEÇMİŞ .....	97



## SİMGE LİSTESİ

---

A	Alan ( $m^2$ )
a	Isıl difüzyon katsayısı ( $\frac{m^2}{s}$ )
b	Isıl kapasite katsayısı ( $\frac{kg}{s^{3/2} \times K}$ )
C	Isı kapasite debisi ( $\frac{W}{K}$ )
$c_p$	Sabit basınçta özgül ısı değeri ( $\frac{kJ}{kg \times K}$ )
ç	Birim zamandaki çevrim sayısı ( $\frac{adet}{saat}$ )
D	Boru çapı (m)
$\varepsilon$	Etkenlik değeri
H	Basma yüksekliği (mSS)
h	Taşıma katsayısı ( $\frac{W}{m^2 \times K}$ )
K	Kule su konsantrasyonu ( $\frac{kg}{h \times m^2}$ )
k	Isıl iletim katsayısı ( $\frac{W}{m \times K}$ )
L	Uzunluk (m)
$\dot{m}$	Su debisi ( $\frac{kg}{h}$ )
$\dot{m}_p$	Kalıplanan malzeme miktarı ( $\frac{kg}{h}$ )
Q	Hacimsel debi ( $\frac{m^3}{h}$ )
q	Isı transferi ( $\frac{kJ}{h}$ ), (W)
q	Plastik malzemenin erime ısı ( $\frac{kcal}{kg}$ )
$q''$	Isı akısı ( $\frac{W}{m^2}$ )
s	Plastik parçanın et kalınlığı (m)
$t_k$	Soğutma zamanı (s)
U	Toplam ısı geçiş katsayısı ( $\frac{W}{m^2 \times K}$ )
W	Güç değeri (W)
$\Delta T$	Sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ )
$\delta$	Yoğunluk ( $\frac{kg}{m^3}$ )

## KISALTMA LİSTESİ

---

ABS	Akrilonitrilbitadienstren
COP	Etkinlik Katsayısı
ÇED	Çevre Etkin Değerlendirme
ÇMİ	Çamaşır Makinesi İşletmesi
EC	Elektrik Kontrollü
HP	Beygir Gücü
MRI	Manyetik Rezonans Görüntüleme
NTU	Transfer Birim Sayısı
PE	Polietilen
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PP	Polipropilen
PS	Polistren
TEP	Ton Eşdeğer Petrol

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Plastiklerin sınıflandırılmaları..... 4
Şekil 2.2	Enjeksiyon prosesi çevrim süresi dağılımı..... 5
Şekil 2.3	Enjeksiyon prosesi çevrim safhaları [1]..... 6
Şekil 2.4	Enjeksiyon pres ekipmanları ..... 7
Şekil 2.5	Enjeksiyon kalıp gösterimi..... 8
Şekil 4.1	Chiller ünitesi çalışma prensibi ..... 17
Şekil 4.2	Soğurmalı chiller ünitesi enerji tüketim grafiği [7] ..... 18
Şekil 4.3	Soğutma kulesi ..... 21
Şekil 4.4	Soğutma kulesi entalpi-sıcaklık grafiği ..... 23
Şekil 4.5	Açık devre su soğutma kulesi ..... 24
Şekil 4.6	Soğutma kulesi su konsantrasyon değerleri [10]..... 26
Şekil 4.7	Soğutma kulesi fan gücü seçim grafiği [10]..... 26
Şekil 4.8	Kapalı devre su soğutma kulesi ..... 27
Şekil 4.9	Isı değiştiricili soğutma sistemi modellemesi..... 28
Şekil 4.10	NTU-Etkenlik değeri grafiği [11]..... 29
Şekil 4.11	Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları [5] ..... 31
Şekil 4.12	Doğrudan su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]..... 32
Şekil 4.13	Sisleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]..... 33
Şekil 4.14	Ağ üzeri su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]..... 34
Şekil 5.1	Sıcak yolluk ısı transferi modellemesi ..... 41
Şekil 5.2	Soğutma suyu sıcaklığı çevrim ilişkisi ..... 44
Şekil 6.1	Kış dönemi kalıp soğutma cihaz kullanımı ..... 46
Şekil 6.2	Yaz dönemi kalıp soğutma cihaz kullanımı..... 46
Şekil 6.3	İşletmede kullanılan paket tipi soğutma kulesi..... 47
Şekil 6.4	Hava soğutmalı chiller teknik özellikleri..... 48
Şekil 6.5	İşletmede kullanılan hava soğutmalı chiller ünitesine ait ekipmanlar..... 51
Şekil 6.6	İşletmedeki absorpsiyon chillerın soğutma çevrim diyagramı..... 53
Şekil 6.7	İşletmede kullanılan absorpsiyon chiller ünitesine ait ekipmanlar ..... 53
Şekil 6.8	Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri ..... 56
Şekil 6.9	Hava soğutmalı chiller sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri..... 56
Şekil 6.10	Soğutma kulesi sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri..... 57
Şekil 6.11	Absorpsiyon chillerın sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri..... 58
Şekil 7.1	Mevcut kalıp soğutma sisteminin kış konumu enerji dengesi ..... 63
Şekil 7.2	Mevcut kalıp soğutma sisteminin yaz konumu enerji dengesi ..... 66

Şekil 7.3	Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan sıcaklık ölçer .....	70
Şekil 7.4	Debi ölçümlerinde kullanılan ultrasonik debi ölçer .....	71
Şekil 7.5	Elektriksel güç ölçümlerinde kullanılan analizör .....	72
Şekil 7.6	Tüm kalıp soğutma sistemi senaryoları ve ekipman dizilimi .....	75
Şekil 7.7	Tüm kalıp soğutma sistemi senaryolarının modellenmesi .....	78
Şekil 7.8	Tüm kalıp soğutma sistemi modelinin akış diyagramı .....	79
Şekil EK-D.1	Kış konumu mevcut soğutma sistemi .....	91
Şekil EK-E.1	Yaz konumu mevcut soğutma sistemi .....	92
Şekil EK-F.1	Kış konumu enerji modeli akış diyagramı .....	93
Şekil EK-G.1	Yaz konumu enerji modeli akış diyagramı .....	94
Şekil EK-I.1	Kış soğutma ekipmanlarının çalışma senaryosu .....	96

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Sabit devirli kompresörlü chiller enerji tüketim tablosu ..... 19
Çizelge 4.2	Değişken devirli kompresörlü chiller enerji tüketim tablosu..... 20
Çizelge 4.3	Soğutma kulesi yükseklik değerlerinin değişimi ..... 25
Çizelge 4.4	Soğutma kulesi-ısı değiştiricili soğutma sistemi enerji tüketimleri..... 35
Çizelge 4.5	Chiller ünitesi-ısı değiştiricili soğutma sistemi enerji tüketimleri ..... 36
Çizelge 6.1	ÇMİ soğutma tesisindeki soğutma kuleleri özellikleri..... 47
Çizelge 6.2	ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 1 ..... 48
Çizelge 6.3	ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 2 ..... 49
Çizelge 6.4	ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 3 ..... 49
Çizelge 6.5	ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 4 ..... 50
Çizelge 6.6	ÇMİ soğutma tesisindeki Absorbsiyon chiller özellikleri..... 52
Çizelge 6.7	Kuru soğutucu - 1 teknik özellikleri ..... 54
Çizelge 6.8	Kuru soğutucu - 2 teknik özellikleri ..... 54
Çizelge 6.9	Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarına ait teknik özellikler-1 ..... 55
Çizelge 6.10	Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarına ait teknik özellikler-2..... 55
Çizelge 6.11	İstanbul iline ait sıcaklık verileri ..... 58
Çizelge 6.12	Kocaeli iline ait sıcaklık verileri ..... 59
Çizelge 6.13	ÇMİ kalıp soğutma sisteminde enerji tüketimi ..... 60
Çizelge 7.1	Geçiş döneminde chiller yerine kuru soğutucuların kullanılması ..... 73
Çizelge EK-A.1	Isı nüfus katsayıları ..... 88
Çizelge EK-B.1	Su için ısı özellikler tablosu ..... 89
Çizelge EK-C.1	Soğutma sistemi tasarım değerleri ..... 90
Çizelge EK-H.1	Boru çaplarının gösterimi ..... 95

## PLASTİK ENJEKSİYON KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Gökhan İbrahim GÜLPAK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

Bu çalışma kapsamında; plastik parça üretiminde oluşan soğutma ihtiyacının hesaplamalarının yapılması, bu soğutma ihtiyacını karşılayacak soğutma sistemlerinin incelenmesi ve mevsimler dikkate alınarak oluşturulan enerji modellemeleriyle enerji tüketiminin optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır.

Çalışmada, plastik parça üretimi yapan işletmelerde bulunan enjeksiyon makinelerinin kalıp soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılan kuru soğutucular, chiller üniteleri ve soğutma kuleleri enerji tüketimi ve çalışma prensibi açısından analiz edilmiştir. Ayrıca, plastik parça üretiminde soğutulması gereken enjeksiyon kalıplarının soğutma yükü, kalıplar için gerekli soğutma suyu sıcaklığı ve debisi hesaplanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Çayırova bölgesinde plastik parça üretimi yapan bir işletme için, soğutma sistemleri ile ilgili elde edilen bilgiler, bulunan bağıntılar ve soğutma yükü hesaplamaları uygulanmıştır.

Söz konusu işletmenin kış ve yaz konumları için mevcut durumda kullanılan soğutma sistemi tasarımı, kullanılan ekipmanlar ve çalışma prensipleri detaylı bir şekilde incelenmiş, kullanılan soğutma sistemlerinde soğutma yükleri ve enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Kış ve yaz konumları için kalıp soğutma sisteminde enerji modellemesi yapılmıştır.

Mevcut soğutma sisteminin enerji tüketimi konusundaki iyileştirme olanakları tespit edilerek, enerji tasarrufu gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketimi optimizasyonu

kapsamında, yeni sistemlerin getirdiği enerji tüketim iyileştirmeleri ve maliyet avantajları analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik enjeksiyon, soğutma sistemleri, enerji tüketimi, chiller üniteleri, kuru soğutucular

**OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION OF PLASTIC INJECTION  
COOLING SYSTEM**

Gökhan İbrahim GÜLPAK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

In this study was studied on the optimization of energy consumption by calculation of cooling load for production of plastic parts, analysis of cooling systems that provide cooling load and the creation of the energy model taking into account the seasons.

First of all, cooling systems used for cooling injection molds such as dry coolers, chillers and cooling towers have been analyzed in terms of energy consumption working principle. In addition, cooling load for production of plastic parts, cooling water temperature and flow for injection molds have been calculated and results were interpreted.

Obtained information and equations about cooling load calculations and industrial cooling systems have been adapted for a plastic parts manufacturing plant being in Çayırova and still active.

Design of cooling system and cooling equipments that is used in this plastic parts manufacturing plant in the current situation have been examined in detail and energy consumption of current cooling systems have been determined. Then energy modeling was carried out for winter and summer conditions for cooling system of injection molds.

Energy savings were carried out by determining improvement opportunities for energy consumption of current cooling systems. Improvements in energy consumption and



cost advantages provided by the new systems have been analyzed in line with optimization of energy consumption.

**Keywords:** Plastic injection, cooling systems, energy consumption, chiller units, dry coolers

#### 1.1 Literatür Özeti

Plastik malzemeler özellikle gelişen teknoloji ile birlikte daha çok kullanım alanı bulmuş ve hayatımızın birçok noktasında vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedeni; plastiklerin hafif, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına sahip olmalarıdır.

Plastiklerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının diğer bir nedeni de, çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda değişik türe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kullanım yerleri ve kullanılan plastik çeşitleri farklılaştıkça, gerek malzemenin özelliğine, gerekse kullanım yeri ve amacına göre plastik parçaların üretim yöntemleri de farklılaşmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de termoplastik ve termoset parçaların üretiminde kullanılan enjeksiyon kalıplarıdır.

Plastik üretimi yapan endüstriyel tesislerde üretilen birim ürün başına düşen maliyetler içerisinde, üretim ekipmanları ve yardımcı ekipmanların kullanmış olduğu enerji tüketimi harcamaları çok önemli bir yer tutmaktadır. Kullanılan enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında ise, ısıtma ve soğutma için harcanan elektrik enerjisi miktarının genel toplam içerisinde önemli bir bölümü oluşturduğu görülmektedir.

Plastik parçaların eriyik sıcaklığından olması gereken proses çıkış sıcaklığına getirilmesi için ve çalışırken ısı enerjisi açığa çıkaran bazı ekipmanların soğutulması için gerekli olan enerjiye soğutma yükü adı verilmektedir. Plastik parça üretimi sırasında meydana gelen soğutma yükünü karşılamak için kullanılan sistemlere ise soğutma sistemleri adı verilmektedir. Enerji birim fiyatlarının çok yüksek değerlere çıkması ve enerji

kaynaklarının tüketimi sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle plastik üretimi yapan tesislerde açığa çıkan soğutma yükünün ve bu soğutma yükünü karşılayacak sistemlerin enerji tüketiminin azaltılması çok büyük önem arz etmektedir.

### **1.2 Tezin Amacı**

Plastik üretim tesislerinde soğutma için kullanılan enerji miktarının azaltılması için yapılması gereken en önemli çalışma, plastik üretim tesislerinde açığa çıkan soğutma yükünün doğru şekilde hesaplanmasıdır. Bunun için bu çalışma esnasında ilk olarak, plastik üretim tesislerinde açığa çıkan soğutma yükü ısı transferinin temel prensipleri yardımıyla hesaplanarak günümüz plastik üretim tesislerinde kullanılacak bağıntılar bulunmuştur.

Çalışmanın diğer kısımlarında, soğutma yükü hesaplanmasının ardından, oluşan soğutma ihtiyacını karşılayacak soğutma sistemlerinin çalışma prensipleri detaylı şekilde incelenmiş ve bu sistemler enerji tüketimi açısından analiz edilmiştir. Teorik olarak yapılan bu analiz çalışmaları, Çayırova bölgesinde plastik parça üretimi yapan bir fabrika için uygulanarak işletmenin mevcut durumu enerji tüketimi açısından analiz edilmiş ve mevcut durumu iyileştirmeye yönelik alternatif uygulamalar detaylı şekilde incelenmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Soğutma ihtiyacı bulunan, plastik parça üretimi yapan işletmelerde mevcut soğutma ekipmanlarının mevsimsel değişikliklere göre enerji tüketimi açısından sırayla kullanımı belirlenip ekipmanların uygulamaya geçmesi ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanacağı açıkça görülmektedir.

### PLASTİK MALZEMELER ve ÜRETİM TEKNİKLERİ

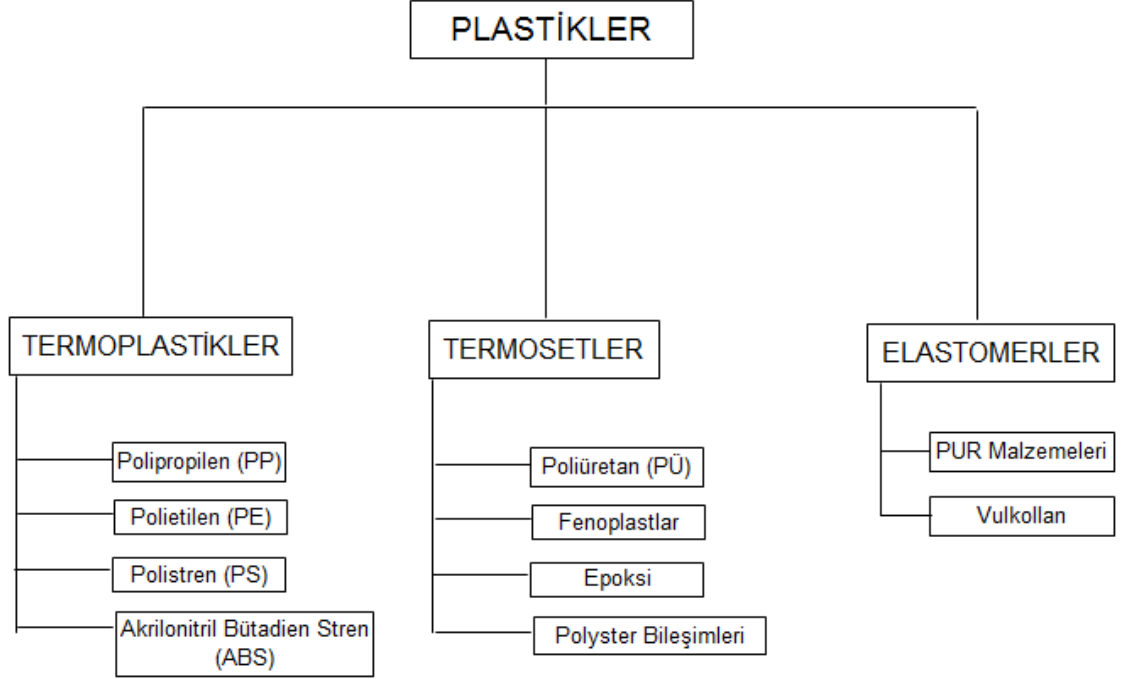
Plastik malzemeler, endüstriyel alanlarda yoğun bir şekilde kullanılan, çok fazla ve farklı müşteri isteklerine yanıt verebilecek uygulama alanlarına sahip bir malzeme sınıfıdır. Plastik malzemelerin endüstriyel alanlarda uygulamalarının çok fazla ve çeşitli olmasının en önemli sebebi, teknik özellikleri açısından muazzam çeşitliliğe sahip olmaları ve kolay üretilebilir olmalarıdır. Plastik malzemeler, değiştirilebilen atomik yapıları, moleküler ağırlıkları ve ağırlık dağılımları sayesinde, özel istekleri karşılayacak şekilde tasarlanıp üretilebilmektedir. Esneklik, kırılabilirlik, oryantasyon gibi fiziksel birçok özellik farklı plastik malzeme türleri kullanılarak kolaylıkla kontrol edilebilmektedir [1]. Gerek ekonomik gerekse kolay uygulanabilir olması, plastiğin diğer maddelere göre tüketimini hızla arttırmaktadır.

#### 2.1 Plastik Malzeme Türleri

Plastikler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Bir monomer polimerizasyon yoluyla başka monomer gruplarıyla birleşerek çok uzun zincir şeklinde bir makromolekül meydana getirmektedir. Böylece çeşitli monomerler veya monomer kombinasyonu kullanarak çeşitli tipte plastikler elde edilmektedir [2].

Plastik malzemeler üç ana gruba ayrılmaktadır. Termoplastikler eriyebilir ve eritilebilirlerdir. Defalarca tekrar eriyik haline gelerek birçok solvent içinde çözülebilir ve geri dönüşümlü olarak kullanılabilirler. Termoplastikler miktarsal olarak plastiklerin

en büyük bölümünü oluştururlar. Termosetler ise sıkıca çapraz bağlara sahip olan sert plastiklerdir. Çapraz bağlantılar ile birbirine yaklaşan termoset plastikler, mekanik ve kimyasal deformasyona karşı oldukça dayanıklı, birleştirilmez ve yüksek derecede sıcaklık geçirmezdirler. Elektrikli aksamaların çoğu termosetlerden imal edilirler. Termosetleri termoplastiklerden ayıran en önemli özellik geri dönüşümlü olarak kullanılamaz olmalarıdır.



Şekil 2.1 Plastiklerin sınıflandırılmaları

Elastomerler ise eritilmez ve çözülmezler, ancak şişirme yetenekleri oldukça yüksektir. Elastomerler hafif çapraz bağlantılıdır ve bu nedenle oda sıcaklığında yumuşak, esnek bir durumda bulunurlar. Elastomerlere örnek olarak, otomobil lastikleri ve kauçuk contalar sayılabilir.

## 2.2 Plastik Üretim Tekniklerine Genel Bakış

Plastik parçaların üretiminde esasen iki kademe vardır. Birincisi kimyasal proses olup (polimerizasyon), bu işlemde plastik malzeme reçine haline getirilerek plastik hammadde üretimi gerçekleştirilir. İkincisinde ise reçineden, pratikte kullanılmak üzere şekillendirilmiş parçalar elde edilir. İkinci proses mekanik olmakla beraber, termoset plastiklerin kimyasal prosesinin son kademesidir. Bu plastiklerin polimerizasyonu

mekanik işlemden (kalıplama) bitmektedir [2]. Bu teze konu olan plastik parça üreten fabrikada plastik hammaddeden, pratikte kullanılmaya hazır şekillendirilmiş parçalar imal edilmektedir. Dolayısıyla ilerleyen konularda plastik hammadde üretiminden ziyade, plastik parça üretim yöntemleri üzerinde durulacaktır.

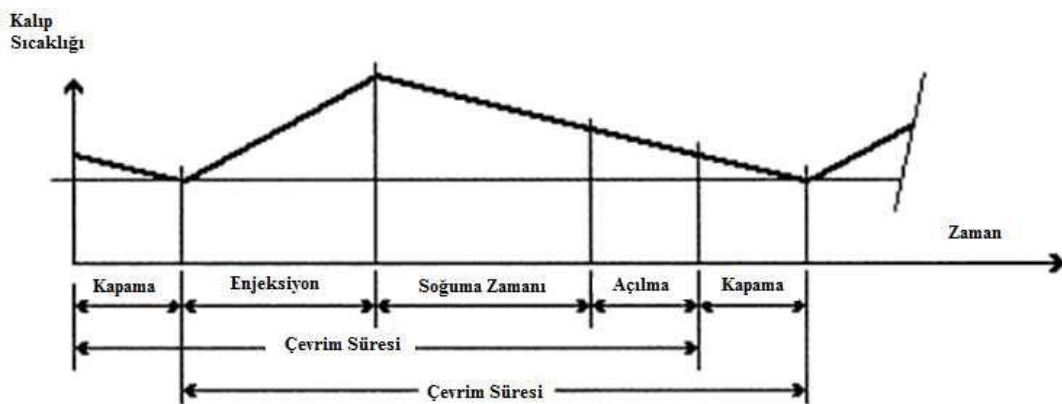
### 2.2.1 Enjeksiyon yöntemi ile plastik parça üretimi

Enjeksiyon prosesi, plastik malzemenin eriyik hale getirilerek, kalıp yardımıyla istenilen şekle getirilmesi esasına dayanan bir üretim tekniğidir. Enjeksiyon prosesi genellikle termoplastiklere uygulanan bir üretim tekniğidir. Günümüzde polietilen (PE), polistiren (PS), polipropilen (PP), akrilonitrilbitadienstren (ABS) ve naylon başta olmak üzere birçok polimer bu yöntemle işlenmekte ve çok çeşitli ürünler elde edilmektedir.

Enjeksiyon prosesi ile parçalar genellikle dört kademede elde edilirler [1]. Bunlar;

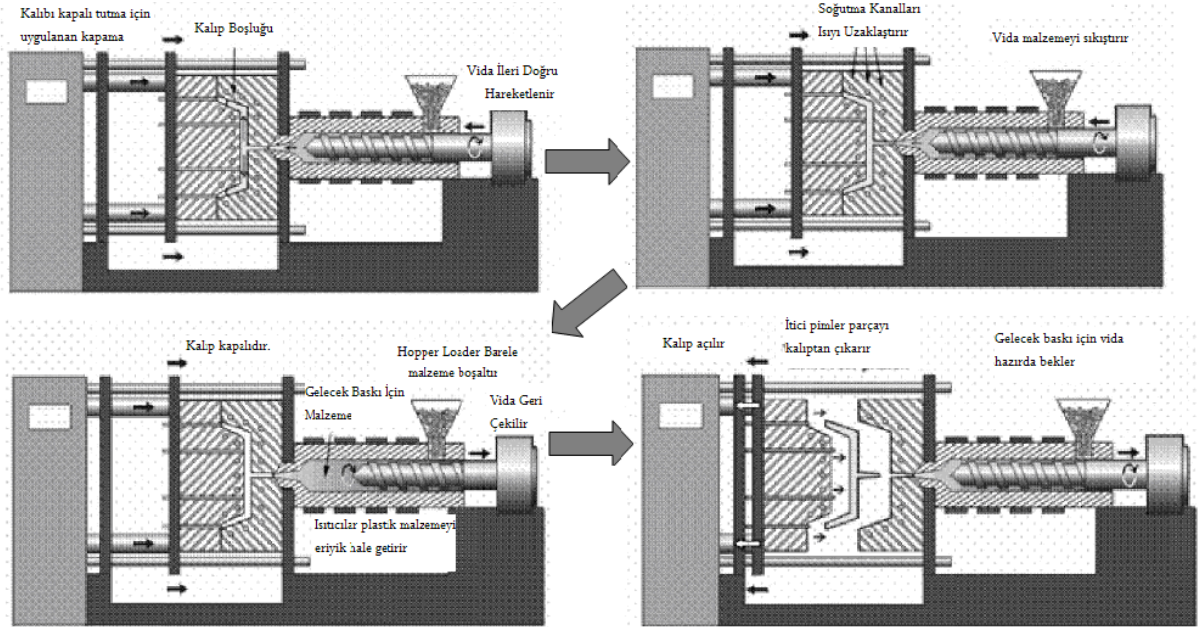
- Toz veya granül biçiminde olan plastik reçinesi eriyik hale getirilinceye kadar ısıtılırlar.
- Basınç uygulanarak eriyik polimer, meme denilen bir geçişten kalıp içine girmesi için zorlanır. Kalıp içinde parça boşluğuna giden yolluklar malzemenin akısını kontrol eder.
- Kalıp içerisindeki malzeme katılaşmaya kadar basınç altında tutulur.
- Kalıp açılır ve pim biçiminde olan iticilerle parça çıkarılır.

Enjeksiyon üretiminde bir çevrimde gerçekleşen bölümlere ait çevrim süresi dağılımı Şekil 2.2'de yer almaktadır.



Şekil 2.2 Enjeksiyon prosesi çevrim süresi dağılımı

Enjeksiyon prosesinde bir çevrim boyunca meydana gelen olayların gösterimi Şekil 2.3' de yer almaktadır. Görüldüğü üzere enjeksiyon preslerde plastik parça üretimi sırasında oluşan çevrim süresinin en büyük bölümünü soğutma süresi oluşturmaktadır.



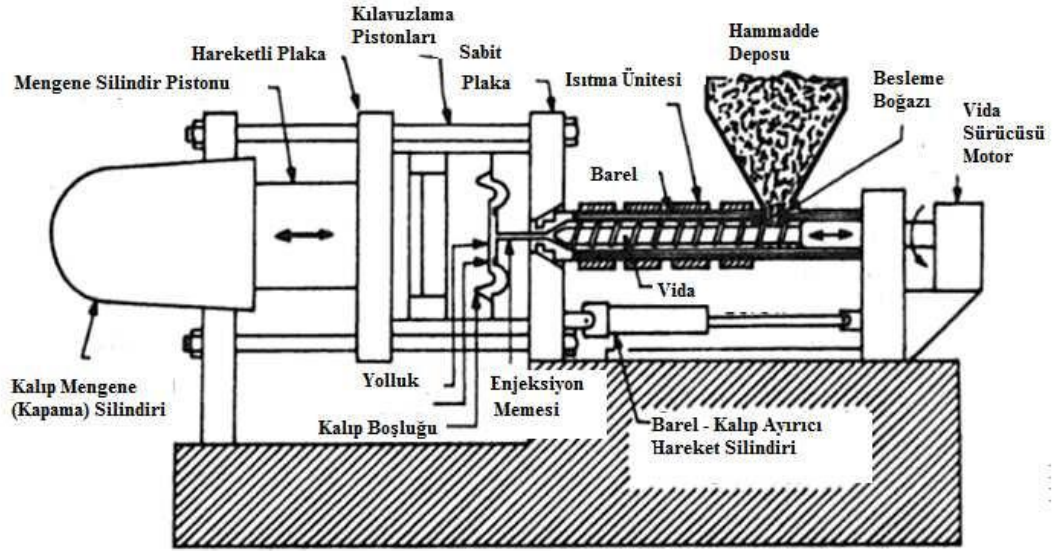
Şekil 2.3 Enjeksiyon prosesi çevrim safhaları [1]

Enjeksiyon prosesinde kullanılan ana ekipmanlar enjeksiyon makineleri ve kalıplardır.

### 2.2.1.1 Enjeksiyon presler

Enjeksiyon makineleri, sonsuz vida mantığı ile çalışan, plastik malzemeyi eritme ve kalıplama işlemlerini yapabilen ekipmanlardır. Aynı zamanda enjeksiyon presler olarak da adlandırılırlar. Enjeksiyon makineleri genel yapıları itibariyle dört ana bölümden oluşurlar (Şekil 2.4). Bu bölümler şunlardır;

- Kapama Mekanizması (Makas Mekanizması)
- Eriyik Hazırlama Bölümü (Barel Ünitesi)
- Enjeksiyon Ünitesi
- Kontrol Üniteleri



Şekil 2.4 Enjeksiyon pres ekipmanları

Kapama mekanizmaları, çevrim süresince enjeksiyon kalıplarını açma ve kapama işlemlerini yerine getiren mekanizmalardır. Kapama ünitesinin en önemli görevi, eriyik haldeki plastik hammaddenin kalıba enjekte edilmesi sırasında, kalıbın kapalı kalmasını sağlayacak kapama kuvvetini sağlamaktır [3]. Eriyik hazırlama ünitesi, bir diğer deyişle barel ünitesi, plastik malzemeyi ısıtma ve soğutma yoluyla istenilen eriyik sıcaklığına getirip kalıba enjeksiyon etmek üzere hazırlanmasını sağlayan ünedir. Barel etrafında bulunan ısıtıcı rezistanslar sayesinde plastik hammadde ısıtılmakta ve eriyik hale getirilmektedir [3]. Enjeksiyon ünitesi, eriyik halde bulunan plastik malzemenin kalıba enjekte edilmesini sağlayan ünedir. Eriyik halde bulunan plastik malzemenin kalıba enjekte edilmesi için, parça tasarımına bağlı olarak farklı değerlerde basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüz enjeksiyon üniteleri 50 ile 150 bar arasında basınç uygulayabilmektedirler.

Enjeksiyon makinelerinde yer alan kontrol üniteleri makinenin operasyonlarını yöneten ünitelerdir. Başlıca görevleri, kontrol panosu yardımıyla verilen komutları uygulamak (istenilen süre ve hızlarda istenilen işlemleri yerine getirmek), sensör ve switchlerden aldığı sinyalleri değerlendirmek, ısıtıcılar ve motorlar için güç sağlamak ve ısıtıcı rezistansları kontrol etmektir [3].

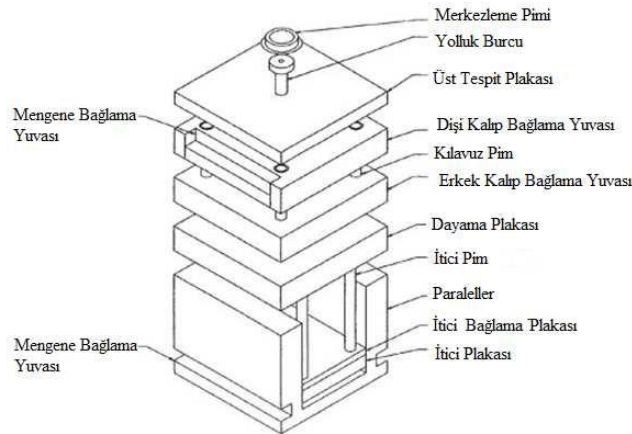


### 2.2.1.2 Enjeksiyon kalıpları

Plastik malzemelerin kolayca biçimlendirilebilir olması en önemli özelliklerinden biridir. Bu şekillendirme işleminin en önemli elemanlarından birisi kalıplardır. Eriyik haldeki plastik malzeme kalıbının içerisine doldurulmakta ve kalıp içerisinde plastik malzeme nihai şeklini alıp ürün haline getirilmektedir.

Enjeksiyon makinesinde yer alan barel bölümünde plastik malzemeye rezistanslar vasıtasıyla ısı verilerek yüksek sıcaklıkta eriyik hale getirilir. Yüksek sıcaklıktaki eriyik plastik malzemenin istenilen şekli alması için erime sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar soğutulması ve böylece tekrar sertleştirilmesi gerekmektedir. Eriyik haldeki plastik malzemenin soğutulması işlemini kalıplar gerçekleştirmektedir. Kalıp içerisindeki soğuma (sertleşme) kalıbın içine açılmış soğutma kanalları vasıtasıyla gerçekleşir. Bu kanallarda çoğunlukla su kullanılmasına rağmen, bazı durumlarda yağ gibi başka sıvıların da kullanımına rastlanabilmektedir. Plastik malzemenin kalıp içerisinde soğutulmasıyla parçanın sertleşmesinin yanında kalıptan kolay çıkabilir hale gelmesi istenmektedir.

Bir plastik enjeksiyon kalıbının detaylı teknik resmi ve kalıp elemanlarının gösterimi Şekil 2.5'de yer almaktadır. Kalıp elemanları denildiği zaman, bir kalıbın üzerinde bulunan bütün parçalar akla gelmektedir. Bunlar içerisinde en önemlileri, dişi kalıp, erkek kalıp, itici pimleri, yolluk sistemi, alt plaka, üst plaka, destek plakalar ve itici plakalarıdır.



Şekil 2.5 Enjeksiyon kalıp gösterimi

### **PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNESİ ve ÇALIŞMA PRENSİBİ**

Plastik malzemelerin, enjeksiyon yöntemi kullanılarak kalıplanabilmesi için enjeksiyon makinesine ihtiyaç vardır. Enjeksiyon makinesinin temel işlevleri; plastik malzemenin sıcaklığını basınç altında akış sağlayabilecek dereceye çıkarmak, makinenin kapalı tuttuğu kalıba plastiğin itilip katılaşmasını sağlamak ve kalıbı açıp ürünü çıkarmak olarak özetlenebilir. Bir plastik enjeksiyon makinesinin başlıca kısımları; makine gövdesi, plastikasyon ve enjeksiyon ünitesi, mengene ünitesi, hareket (tahrik) sistemi ve kontrol sistemidir.

Plastikasyon ve enjeksiyon ünitesinin ana görevleri; huniden ocağa giren plastik malzemeyi (polimer reçinesi) ısıtıp eritmek, eriyik malzemeyi kontrollü şartlarda kalıba enjekte etmek, malzemenin kalıpta sağlam bir ürün haline gelmesi için gerekli tutma (ütüleme) basınçlarını sağlamaktır. Bunların yanı sıra; enjeksiyon ünitesi rahatça ileri geri hareket edecek şekilde olmalı ve memeye yolluk burcunu gereken kuvvetle temas halinde tutabilmelidir. Günümüzde bu işlemler daha çok, helezonlu enjeksiyon üniteleriyle sağlanmaktadır.

Plastik malzemeyi eriten ve kalıba basan helezon veya helezon sistemleri enjeksiyon makinesinin en önemli parçalarındandır. Plastik malzemenin huniden meme boşluğuna kadar erimiş olarak ve homojen bir şekilde gelmesi, hem ocak ısıtıcılarından sağlanan ısı enerjisi, hem de helezonun dönme hareketinin neden olduğu mekanik enerji tarafından sağlanmaktadır. Bundan sonra enjeksiyon ve tutma basınçları safhalarında geri dönüşsüz bir valfle kapanan ve eriyik malzemenin geriye doğru akışını önleyen

helezon başı sayesinde helezon bir piston gibi hareket etmekte ve meme boşluğundaki malzemeyi oldukça yüksek basınçlarda kalıba enjekte etmektedir.

Helezonlar genellikle besleme, sıkıştırma ve dozaj kontrol (ölçme) olmak üzere üç farklı bölgeden meydana gelmektedir. Besleme bölgesinde; tanecikli, parçacıklı veya toz halindeki katı malzeme taşınır ve sıkıştırma bölgesine iletilmektedir. Sıkıştırma bölgesi; besleme bölgesinden alınan malzemenin sıkıştırıldığı kısımdır.

Dozaj kontrol (ölçme) bölgesinde; homojen hale gelmiş olan malzemenin sıcaklığı enjeksiyon yapılacak sıcaklığa yükseltilmekte ve malzeme kalıplanmaya hazır hale gelmektedir.

Bu üç bölgeli universal helezonlar, plastik enjeksiyon işleminde en çok kullanılan tiptir; hemen hemen tüm termoplastiklerin işlenmesi için uygundur. En çok uzunluklarının (L) çaplarına (D) oranlarıyla tanımlanırlar ve sınıflandırılırlar. Günümüzde bu L/D oranı 18 ile 24 arasındadır. Çift helezon sistemine sahip makineler de mevcuttur.

Enjeksiyon makinesi bir bütün olarak tüm fonksiyonlarını takip ve belli bir sıraya göre koordine edebilecek, çalışma parametrelerini gözlemleyip sabit tutabilecek ve enjeksiyon çevriminin her safhasını optimize edebilecek olan bir sisteme yani kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Çünkü bir enjeksiyon makinesindeki tüm fonksiyonlar her makinede olması gerektiği gibi belli bir sıraya göre gerçekleştirilmeli, her fonksiyonun başlama ve bitiş zamanları ve konumları kontrol altında tutulmalı ve takip edilmelidir.

Bir enjeksiyon makinesinde açık veya kapalı devre kontrolüyle denetlenmesi gereken bazı fonksiyonlar;

- Ocak sıcaklığı
- Eriyik malzeme sıcaklığı
- Varsa sıcak yolluk sistemlerinin sıcaklığı
- Kalıp sıcaklığı
- Helezonun dönüş hızı (mal alma işlemleri için)
- Enjeksiyon hızı
- Tutma basınçlarıdır.

### 3.1 Enjeksiyon İşleminin Basamakları

**Plastikasyonun başlaması:** Helezon dönerek bir yandan malzeme hunisinden ocağın içine plastik hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru itmekte, bu işlemleri yaparken aksel olarak geriye doğru hareket etmektedir.

**Plastikasyonun bitmesi:** Helezonun dönmesi durmuştur, memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır.

**Kalıbın kapanması:** Mengene, kalıp parçaları tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapanmaktadır.

**Enjeksiyonun başlaması:** Helezon dönmeden, aksel olarak ileri hareketiyle eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna enjekte etmektedir.

**Enjeksiyonun bitmesi ve kalıp içindeki malzemenin soğuması:** Artık sıcak malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak malzeme daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya ve çekmeye başlamaktadır. Çekmeyi engellemek için kalıp boşluğuna biraz daha malzeme nakledilmektedir (ütüleme veya tutma basınçları safhası).

**Ürünün kalıptan dışarı atılması:** Kalıplanan malzeme yeterince soğuduktan sonra kalıp açılmakta ve ürün "itici" denilen sistem yardımıyla kalıptan dışarı atılmaktadır.

### 3.2 Enjeksiyon Parametreleri

#### 3.2.1 Malzeme sıcaklığı

Malzeme sıcaklığı ile helezonun uç kısmındaki veya sıcak kanal yolluğundaki ergimiş kitlenin sıcaklığı kastedilmektedir. Malzeme sıcaklığının parçada ölçü, ölçü dağılımı ve şekil sapmasına önemli etkisi vardır. Bu sıcaklık helezon ucu ile meme arasında, bir sonraki baskı için hazır bekleyen malzeme hacminin ortalama sıcaklığıdır. Malzeme sıcaklıkları genellikle literatürde belirli bir sıcaklık aralığı olarak verilmektedir.

Malzeme sıcaklığı, ayarlanan silindir sıcaklığından sık sık ve oldukça sapma gösterebilmektedir. Bu yüzden malzeme sıcaklığının doğrudan ölçülmesinde fayda vardır. Bu, normalde taşınabilir ölçüm üniteleri vasıtasıyla malzemenin açık havaya

enjeksiyonu yapılarak ölçülmektedir. Sıcaklık sensörleri kullanılarak da üretimi engellemeden sürekli ölçümler yapmak mümkündür.

### **3.2.2 Kalıp sıcaklığı**

Kalıp sıcaklığına ilişkin malzemeye ait tavsiye edilen değerler, kalıp boşluğunun cidar sıcaklıklarının ortalamasını işaret etmektedir. Parçanın şekillenmesinde bu sıcaklık temel bir etkiye sahiptir.

İşlenecek polimer için tavsiye edilecek kalıp sıcaklığı değerleri, malzeme sıcaklığında olduğu gibi yine bir aralık dâhilindedir. Çevrim zamanı gibi ekonomik nedenlerden dolayı, hedef mümkün olan en düşük kalıp sıcaklıklarında çalışmaktır. Ancak; eğer kalıp sıcaklığı tavsiye edilen değerlerin alt sınırından da düşük olursa yüzey kalitesi yetersiz olacaktır. Bu durum amorf malzemeler için parça içerisinde kabul edilemez gerilmelerin oluşumuna ve yarı kristal malzemeler için dekrystalleşmenin yetersiz kalmasına yol açar. Belirlenen aralık içinde mümkün olan en kısa çevrim zamanının ve kriterlerinin sağlanması optimizasyonun temel sorunudur.

Boyutsal doğruluk ve kararlılık, yüzey kalitesi ve gerilme durumuna ilişkin kalite kriterleri yüksek olduğunda, kalıp yüzeyi sıcaklıklarının genellikle yüksek tutulması tavsiye edilmektedir.

### **3.2.3 Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı**

Enjeksiyon hızının mümkün olduğunca yüksek ve sabit bir değerde tutulmasının, maksimum akış uzunluğu sağlamak, soğutma safhasında daha üniform şartlar elde etmek ve oryantasyonu düşük düzeyde tutmak gibi avantajlı sonuçları vardır. Bunun yanı sıra; yolluk dar kesitlerinde malzeme hasarı oluştuğunda, ince duvar kalınlığı olan bölgelerde ve akış yolunun uzun olduğu kısımlarda malzemenin hasar görmesi ve renk değiştirmesi durumunda, malzeme içerisinde kalan sıkışmış hava sebebiyle ortaya çıkabilecek “dizel etkisi” görüldüğünde enjeksiyon hızı ayar değerlerinin azaltılması yoluna gidilmektedir.

Enjeksiyon basıncı aslında istenen enjeksiyon hızına erişmek için sadece yardımcı bir parametredir. Eğer enjeksiyon basıncından tutma basınçlarına yumuşak ve uygun bir

geçiş sağlanıyorsa enjeksiyon basıncını sınırlamaya gerek kalmaz. Enjeksiyon hızının çekme üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.

#### **3.2.4 Tutma (ütüleme) basınçları ve süresi**

Tutma basınçları safhasının en önemli yönü; uygulanan basınçlar sayesinde, soğumaya başlayan malzemede termal büzülmeden (çekme) dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpılmalara) engel olabilmek için kalıba malzeme doldurulmaya devam edilmesidir.

Soğuma safhasının başında parça katılaştır ve çekerken tutma basıncı, parçanın dış hatlarını destekler, parça içerisinde oluşan iç gerilmelerin parça sınırlarına doğru ötelenmesini sağlar. Bunun ideal sonucu, basma ve çekme gerilmelerinin birbirini dengeleyerek tamamen gerilimsiz bir parça elde edilmesidir.

Tutma basıncının yetersiz olması halinde, parça içerisinde dış kısımlardaki basma gerilmeleriyle dengelenen çekme gerilmeleri artarken, tutma basıncının gerekenden fazla olması durumunda da iç kısımlarda basma, dış kısımlarda çekme gerilmeleri oluşur. İyi tasarlanmış parçalarda tutma basınçları, malzeme içinde hava kapanı oluşmasını ve çöküntüleri engelleyecek kadar yüksek olmalıdır. Tutma basınçları yükseldikçe, basınç seviyesindeki değişimlerin boyutsal sapmalar üzerindeki etkisi azalmaktadır.

Etkili tutma basıncı iki şekilde tespit edilebilmektedir:

- a) Tutma basıncı, parça ağırlığı artık artmayıncaya dek kademe kademe arttırılır.
- b) Kalıp içi basınç eğrisinde ani bir düşme görülmemesi gerekir.

#### **3.2.5 Çevrim zamanı**

Plastik enjeksiyon işleminde çevrim zamanı denildiğinde; kalıbın bir açılış kapanışta ürettiği parça veya parçalar için geçen zaman düşünülmektedir. Çevrim zamanı başlangıcı olarak kalıbın kapanmaya başladığı an esas alınmaktadır. Tekrar eden bu işlemler dizisi için, kalıbın bir sonraki kapanmaya başlama anına kadar geçen süre çevrim zamanını vermektedir. Çevrim zamanını genel olarak dört ana kısma ayırmak mümkündür: Kalıbın kapanması, kalıplama, kalıbın açılması ve parçanın alınmasıdır.

Enjeksiyon prosesi, kalıplama olarak ifade ettiğimiz, kalıbın kapalı olduğu evrede gerçekleşmektedir. Burada geçen zamanı etkileyen parametreler oldukça fazla ve birbiriyle etkileşim içindedirler. Proses parametreleri için temel ayarlar, literatürde verilen, malzemeye ait ampirik değerler esas alınarak yapılmaktadır. Bu ayarlar, optimizasyon aşamasında hem parça geometrisi ve kalıp tasarımından kaynaklanan özel şartlar hem de tek tek tüm kalite gerekleri dolayısıyla oluşan anlamlı bazı sınırlamalar gözetilerek yeniden düzenlenmekte, seçilen makinenin maksadına göre, gereken mengene ve kilitleme kuvvetleri belirlendikten sonra diğer parametrelere (malzeme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon ve tutma basınçları, enjeksiyon hızı, soğuma zamanı) geçilmektedir.

### PLASTİK ÜRETİM TESİSLERİNDE KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Enerji konusunun giderek önem kazandığı günümüz koşullarında, endüstriyel tesislerde kullanılan enerji dönüşüm sistemleri çok büyük önem kazanmıştır. Üretimin çeşitli aşamalarında ve yardımcı ekipmanların çalışması sırasında açığa çıkan ısı enerjisinin, üretilen üründen, ekipmanlardan ve ortamdan uzaklaştırılması için endüstriyel soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bütün endüstriyel soğutma sistemlerinin ortak amacı açığa çıkan istenmeyen ısı enerjisini kullanılan akışkanlar vasıtası ile ortamdan uzaklaştırmaktır. Bu işlemi gerçekleştirmek için kompresörler, ısı değiştiriciler, fanlar, pompalar, borular, kanallar, kontrol sistemleri gibi ekipmanlar bir araya getirilerek yüksek kapasiteli soğutma sistemleri kurulmaktadır. Kurulan sistemlerde su, hava ve diğer soğutucu akışkanlar yardımıyla ısı transferi gerçekleştirilerek soğutma sağlanmaktadır. Soğutma sistemleri endüstriyel tesislerde bulunan birçok ekipman için vazgeçilmez bir unsurdur.

Plastik üretimi yapan endüstriyel tesislerde, proses türü, ortam ve bulunulan bölge koşulları ile maliyet gibi birçok unsur göz önünde bulundurularak farklı tiplerde soğutma sistemleri tercih edilebilmektedir. Günümüzde plastik parça üretimi yapan endüstriyel tesislerde en çok kullanılan soğutma sistemleri şunlardır;

- Chiller soğutma sistemleri
- Soğutma kuleleri
- Isı değiştiricili soğutma sistemleri



#### **4.1 Chiller Soğutma Sistemleri**

Chiller soğutma sistemleri, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi veya soğurmalı soğutma çevrimi prensibine göre çalışan ve akışkanların sahip olduğu ısıyı uzaklaştırmak için kullanılan sistemlerdir. Endüstriyel uygulamalarda chiller ünitelerinde soğutulan su veya diğer akışkanlar, üretim proseslerinde üretilen üründen ısıyı uzaklaştırmak veya kullanılan ekipmanları soğutmak üzere kullanılmaktadırlar. Chiller üniteleri genellikle plastik üretimi yapan tesislerde, kesme sıvıları kullanan metal işleme tesislerinde, kimyasal madde üretimi yapılan proseslerde, ilaç sanayinde, gıda sanayinde, radyoaktif reaksiyonların gerçekleştiği tesislerde, güç santrallerinde ve MRI üniteleri bulunan kuruluşlarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel tesislerde chiller üniteleri genellikle merkezi ve merkezi olmayan olmak üzere iki şekilde kullanılabilir. Merkezi chiller ünitelerinde, tek bir ana hat üzerinden dağıtılan soğuk akışkan gerekli yerlere dağıtılır, endüstriyel ortamda tekrar ısı yüklenen akışkan tekrar sisteme döner. Bu sistemlerde genellikle 10 ton ila 1000 ton arasında soğutma kapasitesine sahip chiller üniteleri kullanılmaktadır. Merkezi olmayan sistemlerde ise, gerekli olan ekipmanın yakınında bulunan küçük kapasiteli chiller üniteleri ile soğutma yapılmaktadır. Bu sistemlerde, 0,2 ton ile 10 ton arasında değişen soğutma kapasitelerine sahip küçük boyutlu chiller üniteleri kullanılmaktadır. Optimum enerji tüketimi ve ilk kurulum maliyeti göz önüne alınarak sistemin merkezi olup olmamasına karar verilir. Bazı durumlarda merkezi chiller ünitelerine ek olarak, tesis içerisinde ayrı ayrı küçük kapasiteli chiller ünitelerinin de kullanıldığı durumlarla karşılaşılabilir.

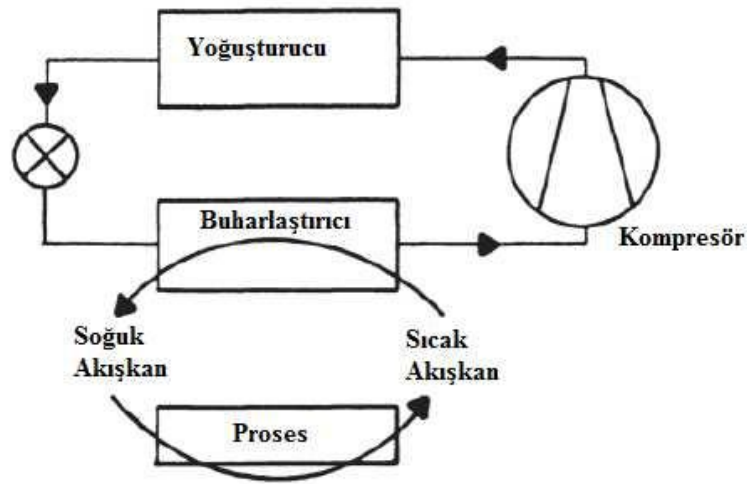
##### **4.1.1 Buhar sıkıştırırmalı chiller üniteleri**

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi prensibine göre çalışan buhar sıkıştırırmalı chiller üniteleri en sık kullanılan chiller tipidir. Buhar sıkıştırırmalı chiller ünitelerinde çevrim, soğutucu akışkanın kompresörde sıkıştırılması ile başlar (Şekil 4.1). Kompresörde basıncı yükseltile soğutucu akışkan buharı, yoğunlaştırıcıya ısıyı çevreye vererek yoğunlaşır. Soğutucu akışkan, daha sonra genişleme valfinden geçerek basıncı düşer. Genişleme valfinden sonra buharlaştırıcıya geçen soğutucu akışkan, burada buharlaşırken soğutulmak istenen sudan ısı alarak suyu soğutur. Buhar sıkıştırırmalı

chiller üniteleri kullanılan yoğuşturucu soğutma tipine göre hava soğutmalı ve su soğutmalı chiller grubu olarak ikiye ayrılır.

#### 4.1.1.1 Hava soğutmalı chiller grubu

Hava soğutmalı chiller grubunda yoğuşturucuyu soğutmak üzere hava soğutmalı sistem kullanılır. Kanatlı-borulu eşanjörün içindeki yüksek basınçlı soğutucu akışkan buharının ısı, eşanjör dışından cebri olarak geçirilen ortam havasına aktarılarak soğutucu akışkan yoğuşturulur. Eşanjör kanatları üzerinden hava aksiyal ya da radyal fanlar yardımıyla geçirilir[6].



Şekil 4.1Chiller ünitesi çalışma prensibi

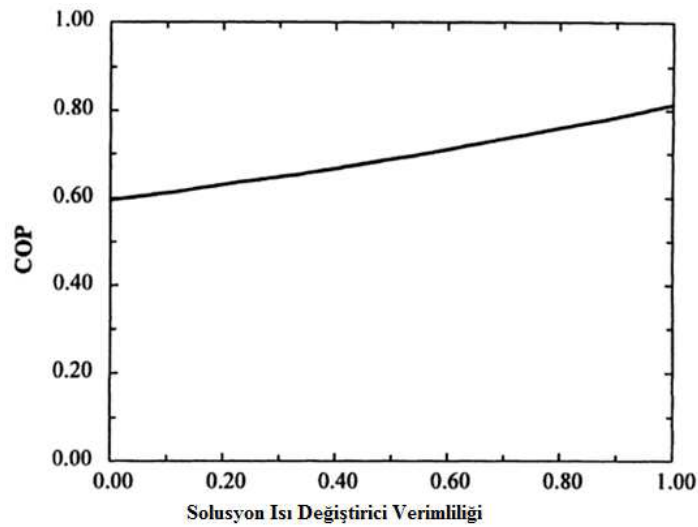
#### 4.1.1.2 Su soğutmalı chiller grubu

Bu tip chiller ünitelerinde su soğutmalı yoğuşturucu kullanılır. Yoğuşturucu boru-kovan tipindedir. Boruların dışından geçen soğutucu akışkan buharı boruların içinden geçen su tarafından soğutularak yoğuşturulur. Küçük sistemlerde şebeke suyu kullanılabilirle beraber, sanayi uygulamalarında genellikle su kulesinde soğutulan sudan yararlanır [6].

#### 4.1.2 Soğurmalı chiller üniteleri

Soğurmalı soğutma çevrimi prensibine göre çalışan bu sistemlerde, termodinamik çevrimin oluşması için gereken enerji kızgın buhardan, sıcak sudan veya yanma sonucu oluşan enerjiden elde edilir. Buhar sıkıştırıcı chiller ünitelerine göre düşük seviyede

elektrik enerjisine ihtiyaç duymalarına rağmen, bu sistemlerin ısı enerjisi ihtiyacı çok büyüktür ve COP değerleri buhar sıkıştırımlı chiller ünitelerine göre oldukça düşüktür. Şekilde de gösterildiği üzere soğurmalı bir chiller ünitesi için COP değeri 0,5 ile 1 arasında değişmektedir [7]. Ayrıca bu sistemler, aynı kapasiteli buhar sıkıştırımlı chiller ünitelerine göre daha büyük kapasiteli soğutma kulelerine ihtiyaç duyarlar. Enerji tüketimi açısından bakıldığında, yüksek kaliteli atık ısı enerjisi mevcut olan uygulamalarda soğurmalı chiller üniteleri avantaj sağlayabilmektedir.



Şekil 4.2 Soğurmalı chiller ünitesi enerji tüketim grafiği [7]

#### 4.1.3 Chiller üniteleri için enerji tüketimi

Chiller ünitelerinin soğutma kapasitelerini ifade etmek için ton birimi kullanılır. 1 ton soğutma kapasitesi 12000 Btu/saat veya 3024 kcal/saat soğutma kapasitelerini ifade etmektedir. Soğutma kapasitesine ek olarak chiller üniteleri tanımlanırken kullanılan bir diğer ifade soğutulan su miktarıdır. Soğutulan su miktarı şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Soğutulan Su Miktarı} \left( \frac{\text{kg}}{\text{dakika}} \right) = \frac{\text{Soğutma Kapasitesi (ton)} \times 24 \times 3,78}{\text{Sıcaklık Farkı (°F)}} \quad (4.1)$$

Örnek bir hesaplama yapılacak olursa, 1000 ton kapasiteli bir chiller ünitesinde giriş ve çıkış su sıcaklıkları farkı 12° F ise bu sistemde soğutulan su miktarı 7560 kg/dakika'dır.

Chiller ünitelerinin verimlilik değerleri enerji tüketimlerine bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilir. Elektrik enerjisi ile çalışan buhar sıkıştırımlı bir chiller ünitesi için enerji tüketim oranı 1 ton soğutma kapasitesi için kullanılan kilowatt olarak ifade edilir

(kW/ton). Soğurmalı chiller üniteleri için ise bu değer, 1 ton soğutma kapasitesi için kullanılan buhar miktarı veya yakıt miktarı olarak ifade edilir. Elektrik enerjisi ile çalışan buhar sıkıştırımlı bir chiller ünitesi için enerji oranı genellikle 0,5 ile 1 kW/ton olarak değişmektedir. Buhar ısıtmalı soğurmalı bir chiller ünitesi için ise bu değer 12 ile 20 lb/ton olarak değişmektedir [8].

Elektrik enerjisi ile çalışan buhar sıkıştırımlı bir chiller ünitesinde enerji tüketimini etkileyen en önemli etken üniteden elde edilmek istenen soğutma yüküdür. Bununla beraber enerji tüketimini etkileyen diğer önemli etkenler, chiller ünitesinde soğutulmak istenen suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ve yoğuşturucuyu soğutmak için kullanılan suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır.

Chiller ünitelerinin enerji tüketimlerini etkileyen bir diğer önemli faktör kompresörlerin sahip olduğu elektrik motorlarının sabit devirli veya değişken devirli olmalarıdır. Rishel'e (2006) göre sabit devirli kompresör ünitesine sahip buhar sıkıştırımlı bir chiller ünitesi için enerji tüketimi ile ilgili önemli bazı kurallar şu şekildedir;

- Chiller ünitesinin sahip olduğu enerji oranı (kW/ton), % 50 ile % 100 yük altında çalışma esnasında düşük, % 40'ın altında yük ile çalışma esnasında ise daha yüksektir.
- Chiller ünitesinde soğutulan suyun istenilen çıkış sıcaklığı yükseldikçe enerji tüketimi düşer.
- Yoğuşturucu ünitesini soğutan suyun giriş sıcaklığı düştükçe, enerji tüketimi de düşer.

Tabloda soğutulacak suyun giriş sıcaklığı 55°F ve istenilen çıkış sıcaklığı 45°F olan, yoğuşturucu soğutma suyu giriş sıcaklığı 85°F ve çıkış sıcaklığı 95°F olan, 1000 ton soğutma kapasiteli, sabit devirli kompresör ünitesine sahip buhar sıkıştırımlı bir chiller ünitesine ait enerji tüketim tablosu verilmektedir [8].

Çizelge 4.1 Sabit devirli kompresörlü chiller enerji tüketim tablosu [8]

Percent load	kW/ton	Percent load	kW/ton
10	1.140	60	0.570
20	0.805	70	0.560
30	0.683	80	0.559
40	0.633	90	0.561
50	0.594	100	0.579

Sabit devirli kompresör ile çalışan buhar sıkıştırmalı chiller ünitelerinde tablodan da anlaşılacağı üzere düşük devirlerde enerji tüketimini artırma sorunu yaşanmaktadır. Sabit devirli kompresörlerde yaşanan bu problem, değişken devirli kompresörlerin kullanılması ile çözülmüştür. Aşağıda yer alan tablo sabit devirli kompresörler ile değişken devirli kompresörlerin enerji tüketimlerini karşılaştırmaktadır.

Çizelge 4.2 Değişken devirli kompresörlü chiller enerji tüketim tablosu [8]

Percent load	Entering condenser temp, °F	Constant speed, kW/ton	Variable speed, kW/ton	Percent reduction
100	85	0.58	0.60	-2.9
90	81	0.53	0.50	5.6
80	77	0.50	0.44	11.8
70	73	0.48	0.39	19.3
60	69	0.47	0.34	27.9
50	65	0.46	0.29	36.7
40	65	0.49	0.29	40.8
30	65	0.56	0.33	41.5
20	65	0.70	0.37	46.7
10	65	1.14	0.58	48.7

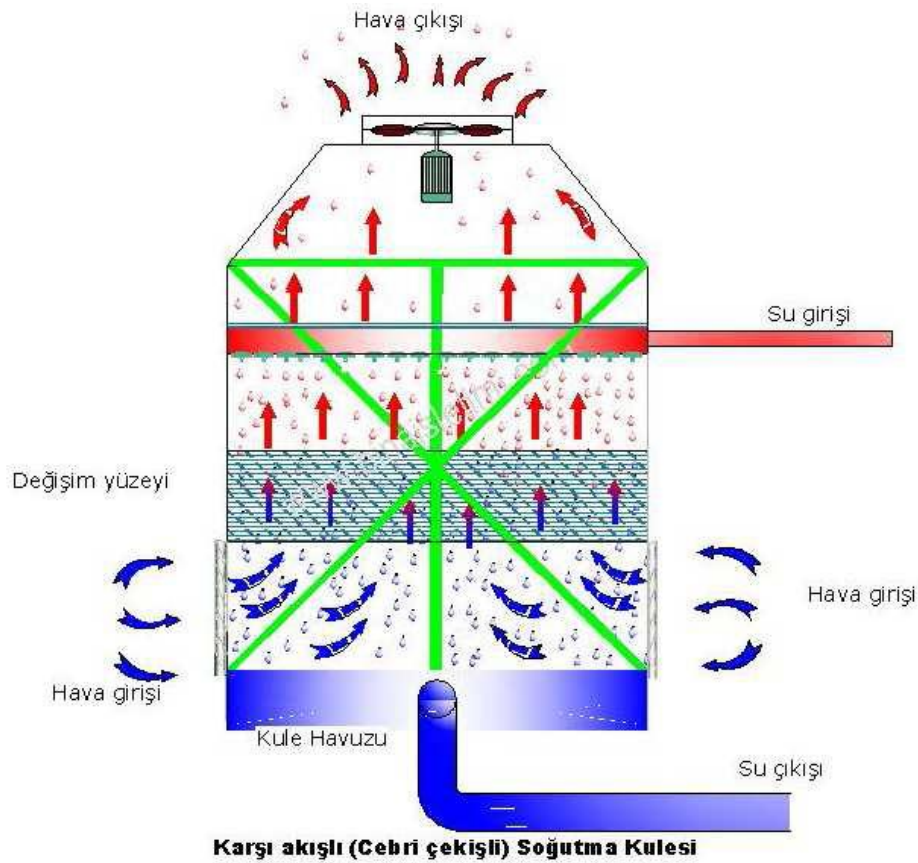
#### 4.2 Soğutma Kuleleri

Soğutma kuleleri, çeşitli sebeplerle ısınarak sıcaklığı yükselmiş olan sirkülasyon sularının hava ile temas ettirilerek tekrar soğutulması işleminde kullanılan soğutma sistemleridir. Genelde suyun devamlı ve ucuz şekilde temin edilemediği hallerde, soğutma kulesi kullanılarak suyun soğutulup tekrar kullanılması yoluna gidilir. Geçmişte bu işlem, doğal su kaynağından veya şebekeden sürekli su çekilmesi ve proses sonrası atılması veya tekrar kaynağına gönderilmesinden oluşuyordu. Bu işlem maliyetli olması yanında hem kaynakların israfı hem de çevre açısından zararlı olmaktadır. Örneğin, yoğuşturucularda kullanılmak amacı ile deniz suyunun kullanılması durumunda deniz suyunun ısınması sonucu meydana gelebilecek bir sıcaklık yükselmesi denizdeki ekolojik dengeyi bozmaktadır ve bu durum kanunlara aykırıdır. Bu tip bir uygulama için ÇED ( Çevre Etkin Değerlendirme ) raporu gerekmektedir.

Soğutma kulelerinin ilk yatırım masrafları yüksek olmasına karşın, geri ödeme süresi uzun değildir. Özellikle doğal akışlı soğutma kulelerinde, fanın çektiği enerji tüketimi gibi maliyetler ortadan kalktığı için cebri akışlı kulelere göre daha az masraflara katlanılmaktadır. Soğutma kulelerinde su damlaları yer çekiminin etkisiyle aşağı yönlü

bir hareket yaparken suyun bir bölümü buharlaşarak atmosfere karışır. Soğutma kulelerinde buharlaşan su miktarı genellikle % 1 mertebelerindedir [9].

Soğutma kuleleri genellikle termik santrallerde, doğal gazlı çevrim santrallerinde, rafinerilerde, petro-kimya tesislerinde, demir çelik fabrikalarında açık ve kapalı dolaşimli sistemlerde, ilaç endüstrisinde, gıda endüstrisinde, soğutma gruplarında, plastik enjeksiyon makinelerinde, tekstil, kimya, gübre fabrikalarında ve büyük bina ve tesislerin iklimlendirme tesislerinde çeşitli büyüklük ve tasarımlarda kurulurlar.



Şekil 4.3 Soğutma kulesi

Soğutma kulelerinde, en önemli prensip suyun yüzeyinden maksimum miktarda soğutma yapmayı sağlamak olduğu için istenen bu özellik soğutma kulelerinin tertip ve inşaatında esas olmuştur. Su, mümkün olan en yüksek soğutma randımanına erişebilmesi için mümkün mertebede çok parçacıklara ayrılmalıdır. Bu sayede hava ile temas edecek olan suyun yüzeyi artmış olacaktır.

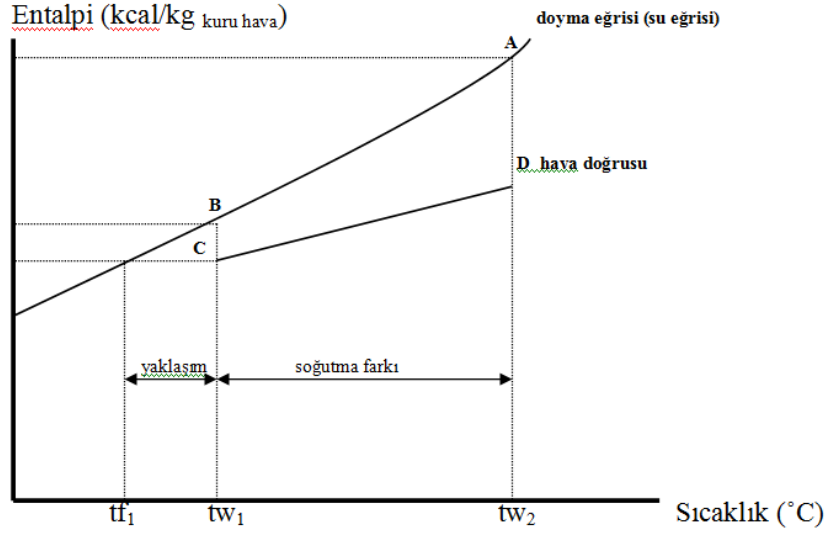
Bunu mümkün kılmak üzere su soğutma kulelerinin iç kısımlarında basamaklı şekilde üst üste yerleştirilen dolgu maddeleri kullanılmıştır. Su, soğutma kulesinin üst kısmında bulunan dağıtıcı oluklar vasıtasıyla damlalar halinde dışarı çıkarılır, bu işleme yağmurlama denilir. Su, dolgu basamaklarına çarparak partiküllere ayrılır. Diğer bir taraftan fanlar veya doğal olarak yaratılan atmosferik hava sirkülasyonu, su ile teması sonucu suyun bir kısmını buharlaştırır. Su buhar haline geçerken, bir miktar ısı dışarı atılacak, dolayısı ile su soğutulmuş olacaktır.

Suyun soğutma kulelerinde soğutma prensibi, suyun hava ile teması esnasında ısı transferinin gerçekleşmesi esasına dayanmaktadır. Suyun buharlaşma ile soğutulmasından elde edilebilecek ideal soğuk su sıcaklığı atmosferik havanın yağ termometre sıcaklığıdır. Atmosferin sahip olduğu yağ termometre sıcaklığı soğutma kulesinin suyu soğutabileceği minimum sıcaklıktır. Soğutma kulesinde damlacıklar haline getirilmiş sıcak su, yağ termometre sıcaklığı kendisinden düşük olan bir hava akımı içinden geçer. Bu esnada suyun bir kısmı buharlaşarak sıcak su ısı kaybeder ve soğur. Soğutma kulelerinin soğutma fonksiyonu başlıca iki yolla sağlanır, bunlar;

- Kuleye giren havanın ısınması
- Kuleye giren suyun bir kısmının buharlaşması

Hava tamamen doymuş duruma geçene kadar suyu buharlaştırabilme özelliğine sahiptir. Havanın bünyesinde barındırabileceği su miktarı, kuleye giren havanın sıcaklığı, doyma mertebesi ve bağıl nem ile doğrudan bağlantılıdır.

Normal bir kuru termometre cihazının hava akımına karşı tutulduğunda göstermiş olduğu sıcaklık değeri kuru termometre sıcaklığıdır. Havanın tamamen doymuş hale geçmesi durumunda kuru termometre derecesi ile yağ termometre derecesi birbirine eşit olacaktır. Diğer durumlarda havanın kuru termometre sıcaklığı nedeniyle hava ile su arasında belirli bir miktarda fiziksel ısı transferi gerçekleşir, fakat gerçekleşen bu olay kulenin ana soğutma fonksiyonu değildir. Soğutma kulelerinde meydana gelen ısı transferi, sıcak su ile temasa geçen havanın yağ termometre sıcaklığına bağlıdır. Buna göre havanın kuru termometre sıcaklığı ne olursa olsun, kulenin çalışması, belirli bir yağ termometre sıcaklığı için sabittir.



Şekil 4.4 Soğutma kulesi entalpi-sıcaklık grafiği

Şekil 4.4'de ' $tf_1$ ' olarak gösterilen değer havanın yaş termometre sıcaklığı değeridir. Soğutma kulesine giren suyun yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulması teorik olarak mümkün olmasına rağmen, gerçekte bu durum mümkün değildir. Bu nedenle su çıkış sıcaklığı ile havanın yaş termometre sıcaklığı arasında oluşan bu farka yaklaşım denilir. Pratikte 2°C ile 3°C derece arasında yaklaşım sağlanabilmektedir.

Soğutma farkı (R), soğutma kulesine giriş ve çıkıştaki su sıcaklıkları farkını göstermektedir. Şekil 4.4'de yer alan ' $tw_2$ ' değeri kuleye giren sıcak suyun değeridir. ' $tw_1$ ' değeri ise kuleden çıkan soğutulmuş suyun sıcaklığıdır.

Su soğutma kuleleri çalışma prensiplerine göre iki şekilde sınıflandırılmaktadır;

- Açık devre su soğutma kulesi
- Kapalı devre su soğutma kulesi

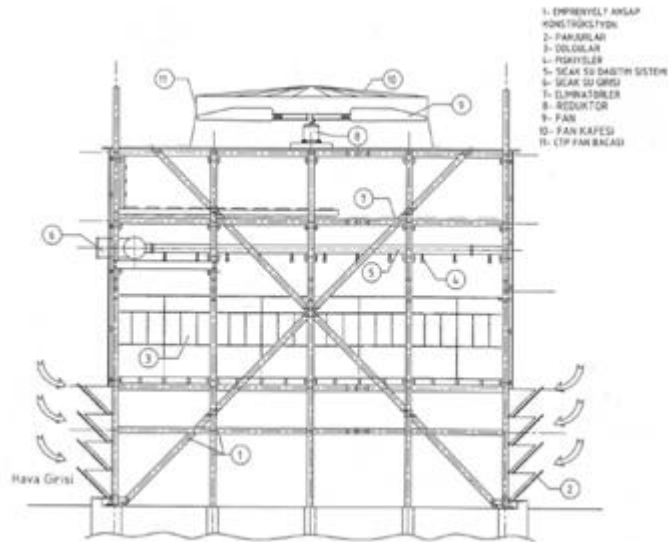
Açık devre soğutma kulesi genelde sadece soğutma kulesi olarak anılır. Isı enerjisi bu tipte yaklaşık % 80 nispetinde buharlaşma, % 20 nispetinde temas yoluyla dışarı atılır. Kapalı devre soğutma kuleleri kapalı sistem olup ısının tamamı temas yani kondüksiyon yoluyla dışarı atılır.



#### 4.2.1 Açık devre su soğutma kulesi

Bu sistemde buharlaşmaya bırakılan suyun sıvı olarak kalan kısmı soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Suyun buharlaşmasını kolaylaştırma için hava ile temas yüzeyini arttırmak amacıyla özel dolgu maddelerinden yararlanılmaktadır. Elde edilen soğutulmuş su proseste direkt olarak kullanılabilmesi gibi, ara bir ısı eşanjörü kullanılarak proses tarafında kapalı devre su çevrimi de elde edilebilir. Her iki durumda da kuleden alınan soğutma suyu içinde ortam havasından gelen her türlü pislik sistemde sorun yaratacaktır. Direkt olarak kule suyu kullanılması halinde suyun çok sert olmasının yanında çevreden gelen partikülleri de bünyesinde bulundurması, soğutulan sistemlerde kireçlenme ve tıkanmalara sebep olur. Proseste kullanılacak suyun temiz olması için bir ara eşanjörden yararlanılması halinde, bu eşanjördeki kaybın karşılanabilmesi için daha büyük bir kuleye ihtiyaç vardır. Ayrıca, ara eşanjörün kule suyu tarafının kolay temizlenebilir olması gerekir.

Açık devre su soğutma kulesi boyutları, kulenin yer alacağı bölgenin iklim koşullarına, soğutulacak olan suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarına, su ve hava debilerine göre belirlenmektedir. Soğutma kulelerinde hava ve su arasındaki temas süresi, suyun kule içerisinde dağıtıcı nozullardan çıkıp kulenin tabanına ulaştığı zamandır. Bu sebeple, suyun hava ile temas süresi kule yüksekliği ile yakından ilişkilidir.



Şekil 4.5 Açık devre su soğutma kulesi

Soğutma kulelerinin yüksekliğinin, soğutulan suyun çıkış sıcaklığının yaş termometre sıcaklığına yaklaşım değerine ve soğutulacak suyun giriş-çıkış sıcaklıkları arasında istenilen soğutma farkına göre değişimi Çizelge 4.3’de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir [10].

Çizelge 4.3 Soğutma kulesi yükseklik değerlerinin değişimi

Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşım (F)	Soğutma Farkı (F)	Kule Yüksekliği (ft)
15-20	25-35	15-20
10-15	25-35	25-30
5-10	25-35	35-40

Soğutma kulesinin yüksekliği belirlendikten sonra, belirlenmesi gereken iki önemli değer soğutma kulesi taban alanı ve soğutma kulesinden geçecek olan su debisidir. Bu iki değer birbiriyle yakından ilişkilidir ve bu ilişki su konsantrasyonu olarak adlandırılan bir değer ile ifade edilir.

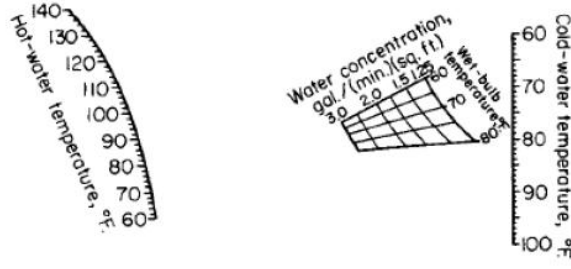
$$A_t = \text{Kule taban alanı (m}^2\text{)}$$

$$\dot{m}_s = \text{Su debisi (}\frac{\text{kg}}{\text{h}}\text{)}$$

$$K_k = \text{Kule su konsantrasyonu (}\frac{\text{kg}}{\text{hxm}^2}\text{)}$$

$$K_k = \frac{\dot{m}_s}{A_t} \quad (4.2)$$

Açık devre soğutma kuleleri için su konsantrasyonu ve soğutma kulesi değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.6’da gösterilmiştir [10]. Bu şekilde, sol tarafta soğutma kulesine giren suyun sıcaklığı ve sağ tarafta ise soğutma kulesinden çıkış sıcaklığı verilmiştir. Kule için belirlenen bu iki değer bir eğri ile birleştirilir ve bu eğrinin sistemin çalışacağı iklime ait yaş termometre sıcaklığı ile kesiştiği noktada su konsantrasyonu değeri okunur. Daha sonra bulunan bu değer yardımıyla, sistemden geçirilmesi istenilen su debisine bağlı olarak soğutma kulesine ait taban alanı belirlenmiş olur.

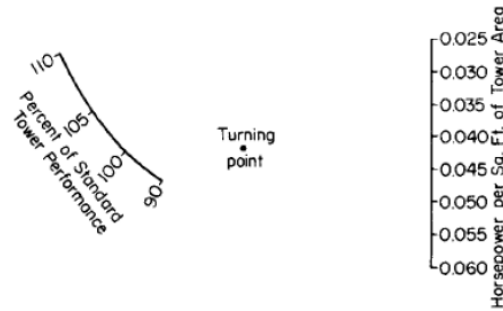


Şekil 4.6 Soğutma kulesi su konsantrasyon değerleri [10]

Açık devre su soğutma kulelerinde kullanılan bir diğer önemli ekipman havanın kuleye hareketlenmesini sağlayan havalandırma fanlarıdır. Soğutma kulesinde hangi güç değerinde fan kullanılacağı soğutma kulesi taban alanına bağlı bir değişkendir. Şekil 4.7'de açık devre bir soğutma kulesi için birim kule alanına düşen fan gücünü gösteren bir şekil yer almaktadır. Soğutma kulesinde kullanılacak olan fan gücü ve kule taban alanı belirlendikten sonra bu grafik yardımıyla orta noktadan geçecek şekilde bir doğru kule performans eğrisine doğru çizilir. Çizilen eğri kule performansı olarak % 100'ün üstünde bir değer gösterir ise fanın gücü büyütülerek yeniden hesaplama yapılır. Sonuç olarak çıkan performans değerinin % 90 ile % 95 arasında olması istenir [10].

#### 4.2.2 Kapalı devre su soğutma kulesi

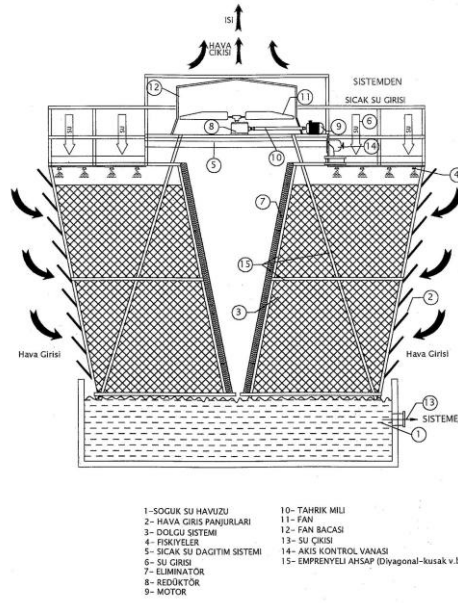
Açık devre su kulesindeki yüzey arttırıcı dolgu maddesi yerine bir eşanjör kullanılarak kuleden alınan suyun kapalı bir devre içinde devir daim yapması sağlanır (Şekil 4.8). Kapalı devre su kuleleri soğutma suyunun kalitesi açısından daha avantajlıdır. Ancak açık devre su kulelerine göre 2-3°C kadar daha yüksek bir su sıcaklığı elde edilir. Ayrıca, kapalı devre su kuleleri toplam su harcaması bakımından açık devre su kuleleri ile neredeyse aynı değerde su kaybına sahiptir.



Şekil 4.7 Soğutma kulesi fan gücü seçim grafiği [10]

### 4.2.3 Soğutma kulelerinde enerji tüketimi

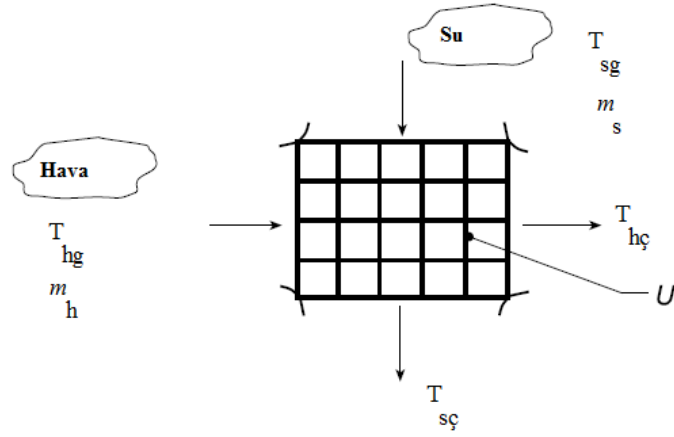
Soğutma kuleleri enerji tüketimi açısından avantajlı sistemlerdir. Soğutma işlemi için ortamda bulunan havadan yararlandığı için ekstra enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Soğutma kulelerinde enerji tüketimine yol açan ekipmanlar sadece havanın akışını artırmak için kullanılan fanlardır. Soğutma kulelerinde genellikle eksenal fanlar kullanılmakta olup, enerji tüketimleri kule soğutma kapasitesine göre 5 kW ile 25 kW arasında değişmektedir.



Şekil 4.8 Kapalı devre su soğutma kulesi

### 4.3 Isı Değiştiricili Soğutma Uygulamaları

Kanatlı-borulu ısı değiştiricili (soğutma bataryalı) sistemler, gerek iklimlendirme sistemlerinde gerekse üretim proseslerinde kullanılan su soğutma tesislerinde oldukça yaygın kullanım alanına sahip olan sistemlerdir. Bu sistemler uygulamada ihtiyaç duyulan soğuk su sıcaklık değerlerine bağlı olarak herhangi bir soğuk su üretici grup olmaksızın çalışabilmekle birlikte serbest soğutma uygulamaları için bir soğuk su üretici grup ile beraber entegre ya da bağlantılı olarak da kullanılabilirler. Ortam sıcaklık değerlerinin istenilen soğutma suyu değerinin 1,5 – 2,0°C altına düşmesi ile birlikte bu sistemler kullanılmaya başlanabilir [5].



Şekil 4.9 Isı değiştiricili soğutma sistemi modellemesi

Isı değiştiricili soğutma uygulamaları modellemesi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Isı değiştirici sistemlerde gerçekleşen ısı transferi şu şekilde matematiksel olarak modellenebilir;

$q_t$ =Gerekleşen toplam ısı transferi ( $\frac{kJ}{h}$ )

$T_{hg}$ =Hava giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{hç}$ =Hava ıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{sç}$ =Su ıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{sg}$ =Su giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$\dot{m}_s$ =Su debisi ( $\frac{kg}{h}$ )

$\dot{m}_h$ =Hava debisi ( $\frac{kg}{h}$ )

$c_{ps}$ =Suyun özgül ısısı ( $\frac{kJ}{kg \times K}$ )

$c_{ph}$ =Havanın özgül ısısı ( $\frac{kJ}{kg \times K}$ )

$$q_t = \dot{m}_h \times c_{ph} \times (T_{hç} - T_{hg}) = \dot{m}_s \times c_{ps} \times (T_{sg} - T_{sç}) \quad (4.3)$$

Isı değiştiricili soğutma sistemlerinde yukarıda verilen hesaplamalar yapıldıktan sonra etkenlik-NTU yöntemi ile gerekli ısı transferi yüzey alanı hesaplanabilir. Etkenlik-NTU yönteminde ilk olarak ısı kapasite debi değerleri olan  $C_h$  ve  $C_s$  değerleri tespit edilir.

$$C_s = \text{Suya ait ısı kapasite debisi } \left(\frac{W}{K}\right)$$

$$C_h = \text{Suya ait ısı kapasite debisi } \left(\frac{W}{K}\right)$$

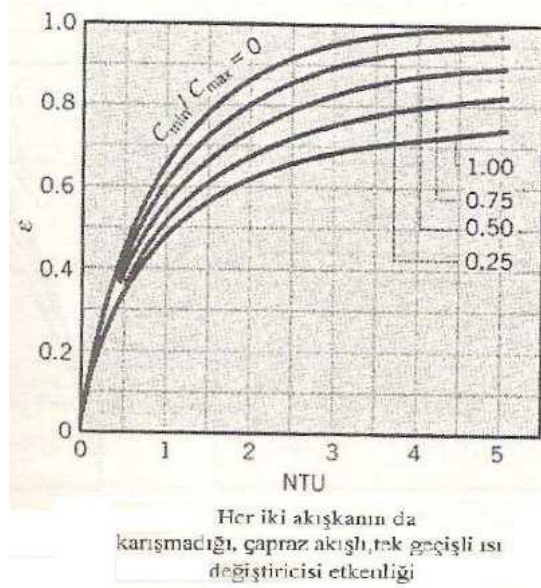
$$C_s = \dot{m}_s \times c_{ps} \quad (4.4)$$

$$C_h = \dot{m}_h \times c_{ph} \quad (4.5)$$

Daha sonra etkenlik değeri " $\epsilon$ " bulunur.

$$\epsilon = \frac{(T_{h\check{c}} - T_{hg})}{(T_{sg} - T_{s\check{c}})} \quad (4.6)$$

$\epsilon$  ve  $C_{min}/C_{max}$  değerleri kullanılarak Şekil 4.10 yardımıyla NTU değeri tespit edilir.



Şekil 4.10 NTU-Etkenlik değeri grafiği [11]

Bulunan NTU değeri aşağıda yer alan denklemde yerine koyularak gerekli olan toplam ısı transfer yüzeyi tespit edilmiş olur.

$$A_t = \text{Toplam ısı transfer alanı } (m^2)$$

$$U = \text{Toplam ısı geçiş katsayısı } \left(\frac{W}{m^2 \times K}\right)$$

$$A_t = C_{min} \times \frac{NTU}{U} \quad (4.7)$$

Kapalı devre ısı değiştiricili soğutma sistemlerinde, su soğutma kulelerine nazaran kapalı devre çalışması sayesinde soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşılmamaktadır. Ayrıca, devre içerisinde kirlenme, bakteri oluşumu gibi olumsuz faktörler bu uygulamalarda neredeyse tamamen ortadan kalkmaktadır.

Kanatlı-borulu ısı değiştiricili sistemler iki farklı biçimde uygulanabilir;

- Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları
- Islak/Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları

#### **4.3.1 Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları**

Kanatlı-borulu ısı değiştiricili soğutma sistemler içerisinde kuru soğutucu olarak adlandırılan sistemler, su soğutma işlemlerinde yaygın olarak karşılaşılan uygulamalardan birisidir. Sistemin temel çalışma prensibi, prosten veya ekipmanlardan dönen sıcak suyun ısı yükünün fanlı bir ısı değiştirici yardımıyla havaya aktarılmasıdır. Fanlar yardımıyla yüksek debilerde emilen hava kanatlar arasından geçerken, boru içindeki akışkan ile hava arasında ısı transferi gerçekleşmektedir. Kullanılan bu yöntemde ısı değiştiricinin dış yüzeyi kurudur. Bu sayede kanatlar üzerinde kireçlenme veya korozyon gibi problemler ortaya çıkmamaktadır. Sistem, kapalı devre olarak çalıştığı için soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşılmaz [5].

Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistemler, plastik, kimya, enerji, iklimlendirme gibi sektörlerde, bir soğutma grubu ile birlikte kullanılabileceği gibi ayrıca su soğutma ihtiyacına bağlı olarak tek başına da kullanılabilmektedirler.

Kış aylarında kuru soğutucularda donma riskine karşı önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde, i akışkanın donması sonucu borularda oluşacak tahribatın onarılması çok zor hatta bazı durumlarda imkânsızdır. Donma riskine karşı genel olarak uygulanan önlem, sistemin kullanım dışı bırakıldığı soğuk havalarda kuru soğutucu içindeki suyun boşaltılmasıdır. Ayrıca bazı durumlarda, borulama yapısından dolayı kuru soğutucu içindeki suyun tam olarak boşaltılması mümkün olmadığından, soğutma suyuna belirli oranda etilen-glikol katılması gereklidir. Kuru ısı değiştiricili soğutucu seiminde,

kullanım sırasında soğutma suyuna eklenecek glikolün de hesaba katılması gerekir [5]. Aksi takdirde, suya eklenecek glikolün soğutma kapasitesinde yol açacağı düşüş, kuru soğutucudan beklenen performansın alınamamasına yol açabilmektedir.



Şekil 4.11 Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları [5]

Kuru ısı değiştiricili soğutucularda elde edilen çıkış suyu sıcaklığı, sistemin kurulu olduğu ortamın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır. Bu sistemlerde genellikle kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 5°C üzerine kadar soğutulmuş su elde edilebilir [5]. Daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulan durumlarda ıslak-kuru ısı değiştiricili soğutucular kullanılabilir. Tesiste kurulmuş bir su soğutma grubu mevcutsa ve düşük ortam sıcaklıklarında serbest soğutma işleminden faydalanılmak isteniyorsa kuru soğutucu sistemler bu durum için idealdir [5].

#### **4.3.2 Islak/Kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem uygulamaları**

Islak-kuru ısı değiştiricili soğutucu sistemler, temel çalışma prensibi olarak kuru soğutucular gibi çalışırlar. Kuru soğutucu sistemlere ek olarak, sistemde gerektiğinde ek soğutma sağlayabilecek bir su spreyleme sistemi bulunmaktadır. Giriş havası akışında spreyle sisteme püskürtülen su, adyabatik soğutma etkisi yaratmaktadır. Sistemdeki akışkanın dış ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerlerine kadar soğutulması gerektiğinde, basıncılı su püskürtme sistemi devreye girerek giriş havasını neme doyurur ve hava sıcaklığını ortam sıcaklığının altına düşürür. Su püskürtme sistemi yıl boyunca yalnız en sıcak günlerindeki belli saatlerde termostat kontrollü olarak devreye girerek ihtiyaç duyulan ek soğutmayı sağlayarak özel durumlar için ek bir soğutma sistemi ihtiyaını ortadan kaldırırlar [5]. Diğer zamanlarda kuru çalışma olacağı için sistemde su tüketimi yoktur. Islak-kuru ısı değiştiricili soğutucular temel mantık aynı olmak üzere üç farklı biçimde uygulanabilirler:



- Doğrudan Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular
- Sisleme (Fogging) Sistemli Islak-Kuru Soğutucular
- Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

#### 4.3.2.1 Doğrudan su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucular

Bu sistemlerde, spreylenecek sistem üzerine püskürtülen suyun sertliği alınmış ve içerisindeki yabancı maddeler filtrelenmiş olmalıdır. Aksi halde ısı değiştirici kanatları üzerinde biriken kireç ve tortu, zamanla eşanjörün kapasitesini düşürecek ve ömrünün kılmasına neden olacaktır. Bu etkiyi önlemek için bir ağ sistemi üzerine su spreyleme yapılan ıslak-kuru soğutucular geliştirilmiştir. Islak-Kuru soğutucularda aşındırıcı etkiye karşı ek önlem olarak epoksi kaplı lamel kullanılmalıdır [5]. Epoksi kaplama, ortamdaki tuz ve aside karşı oldukça yüksek dayanıma sahiptir. Ünitenin epoksi toz boyalı galvaniz sac ya da ileri korozif ortamlarda paslanmaz çelik olması tercih edilir. Su kulesine kıyasla suyun zararlı etkilerine çok daha az maruz kalmasına karşın, ıslak-kuru ısı değiştiricili soğutma sistemlerinin uzun ömürlü olması için bu önlemlerin alınması önemlidir.



Şekil 4.12 Doğrudan su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]

Giriş havasının neme doyurulabilmesi amacıyla harcanacak su miktarı kullanılan püskürtücüye ve püskürtme basıncına göre değişiklik gösterir. Sistemin çalışma koşullarında ortam havasının bağıl nemi çok önemlidir. Bağıl nemi %100'e mümkün olduğunca yaklaştırmak için yeterli miktarda ve kalitede su püskürtüldüğünden emin olunmalıdır. Bu nedenle tamamen buharlaşacak miktardan bir miktar daha fazla su püskürtülür ve artan su ortamda sıvı olarak kalır. Bu önlem, püskürtme sisteminin performansında zamanla oluşabilecek kayıplara karşı da emniyet sağlar.

#### 4.3.2.2 Sisleme sistemli ıslak-kuru soğutucular

Bu sistemler, doğrudan su spreyleme sistemlerine benzer biçimde uygulanmaktadır. Yüksek basınçta (yaklaşık 70 bar) nozullardan 35 mikronun altında püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurmakta ve ortam yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır [5]. Sisleme sistemli ıslak/kuru ısı değiştiricili sistemlerde, sistemin uzun ömürlü ve sorunsuz çalışması için kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekir.



Şekil 4.13 Sisleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]

#### 4.3.2.3 Ağ üzeri su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucular

Ağ üzeri su spreyleme sistemlerinde, kuru soğutucuların ön kısmına yerleştirilmiş geniş sık gözlü ağ yapılı ekipmanın üzerine belirli mesafelerde bulunan nozullardan aralıklı olarak sistemin ihtiyacı kadar su spreyle püskürtülmektedir. Püskürtülen suyun adyabatik olarak buharlaşması sonucu ısı değiştirgeci yüzeyine temas eden giriş havasının sıcaklığı düşer ve soğutmada verim bu sayede artar.

Daha önce de açıklandığı üzere giriş havası üzerine su spreyleme, hava akışında adyabatik soğutma etkisi meydana getirir. Sisteme giren havanın sıcaklığının daha önceden belirlenmiş değerleri aşması durumunda kontrol sistemi ısı değiştirgeciye giren hava sıcaklığını düşürmek için su spreyleme sistemini başlatır. Bağıl nemin çok düşük olduğu iklim şartlarında su spreyleme sistemi giriş havası için 15°C ile 20°C arasındaki değerlere varan adyabatik soğutma sağlayabilir [5].

Su spreyleme sisteminin çalışma süresi ve frekans ayarı, sistem performansının optimizasyonu ve su tüketiminin en aza indirilmesi amacı ile sürekli olarak kontrol cihazı tarafından sağlanır. Su, ısı değiştirgeci yüzeyine doğrudan püskürtülmediği, ağ

yüzeyine püskürtüldüğü için lamellerin üzerinde kireç tabakası oluşmaz. Böylelikle ısı transfer verimliliğinin düşmesi engellenir.



Şekil 4.14 Ağ üzeri su spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu [5]

#### 4.3.3 Isı değiştiricili soğutma sistemlerinde enerji tüketiimi

Isı değiştiricili soğutma sistemlerinde önceki bölümlerde de belirtildiği üzere ısı değiştirici üzerindeki hava akışını hızlandırmak ve giren hava miktarını artırmak üzere fanlar kullanılmaktadır. Örneğin, seri olarak üretimi yapılan ticari olarak satılan mevcut 2000 kW soğutma kapasitesine sahip ıslak/kuru ısı değiştiricili bir soğutma sistemi ele alınacak olursa, bu sistemlerde yaklaşık olarak 2kW güç tüketen 40 adet fan kullanılmaktadır. Bu durumda 1 kW'lık soğutma ihtiyacı için ortalama 0,4 kW enerji tüketimi gerçekteleştiği öngörülebilir.

Kuru - Islak/Kuru ısı değiştiricili soğutucu seğiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta da, tasarımın ortam sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde yapılması gerekliliğidir. Ancak, hava sıcaklığının daha düşük olduğu zamanlarda, istenen kapasitenin elde edilmesi için fanların hepsinin tam devirde çalışması gereksiz ve masraflı olur. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı üzerinden kontrol edilen sistemlerde, fanların düşük devirle çalıştırılması veya devreden çıkarılması ile sistem için uygun debide hava tedariki sağlanır. Otomatik kontrol ile birlikte çift devirli fanların, hız kontrol cihazlarının ve elektronik kontrollü EC fanların kullanılması sisteme ek enerji tasarrufu kazandıracaktır [5].

Çizelge 4.4'de 630 kW'lık soğutma kapasitesine sahip ıslak/kuru ısı değiştiricili bir soğutma sistemi ile kapalı devre ve açık devre bir soğutma kulesi enerji tüketimi ve kullanım giderleri açısından kıyaslanmıştır. Kullanılacak olan sistemlerde 30 °C de prosesten gelen sıcak su 25 °C'ye soğutulmak istenmektedir. Sistemin kurulduğu

bölgenin iklim koşulları 32°C kuru termometre sıcaklığı, % 40 bağıl nem ve 21°C yaş termometre sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Yapılan analizde enerji birim fiyatı 0,17 TL/kWh, suyun birim fiyatı ise 3 TL/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.4 Soğutma kulesi-ısı değiştiricili soğutma sistemi enerji tüketim karşılaştırması

Kullanılan Sistem	Açık Devre Soğutma Kulesi	Kapalı Devre Soğutma Kulesi	Islak/Kuru Soğutma Sistemi
İlk Yatırım Maliyeti (TL)	10000	20000	60000
Su Giderleri (TL/yıl)	60000	40000	8000
Elektrik Giderleri (TL/yıl)	12000	15000	25000
Bakım Giderleri (TL/yıl)	1000	1500	2000
Yıllık Toplam İşletim Maliyeti (TL)	73000	56500	35000

Yapılan analize göre, açık devre kulesi ve ıslak/kuru ısı değiştiricili sistem arasındaki ilk kurulum maliyeti farkı, ıslak/kuru sistemin tercih edilmesi durumunda yaklaşık bir buçuk senede kapanmaktadır. Kapalı devre sistem ile ıslak/kuru sistem arasındaki kurulum maliyet farkı ise, yaklaşık 2 senede kapanmaktadır.

Islak/kuru ısı değiştiricili soğutucu sistemler ve soğutma kuleleri arasında maliyet analizi yapılırken görülen en önemli etki su giderlerinde oluşan maliyet farkıdır. Bu sebeple suyun bol ve ucuz olduğu bölgelerde bu analiz koşulları değişmekte ve soğutma kuleleri daha avantajlı hale gelebilmektedir.

Islak/kuru ısı değiştiricili soğutucu sistem ile bir chiller ünitesinin enerji tüketim karşılaştırmaları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmada 560 kW soğutma kapasitesine sahip iki sistem karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki diğer karşılaştırmada verilen koşullar aynı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.5'e göre, ıslak/kuru ısı değiştiricili soğutma sistemi kullanımı örnek verilen işletme için yıllık yaklaşık olarak 815.000 TL kazanç sağlayacaktır. İlk yatırım maliyetleri açısından sistemler karşılaştırıldığında ıslak/kuru ısı değiştiricili soğutma sistemi, chiller ünitesine göre yine yaklaşık 2 kat avantajlı durumdadır. Ancak, bu analiz yapılırken şu durum mutlaka göz önüne alınmalıdır; chiller sistemlerinde prosese gönderilecek suyun sıcaklığı ortam sıcaklığından bağımsız olarak 15°C'ye kadar inebilmekte, ıslak/kuru ısı değiştiricili soğutucu sistemlerde ise en fazla yaş termometre sıcaklığının 5°C üzerine kadar inilebilmektedir.

Çizelge 4.5 Chiller ünitesi-ısı değıştiricili soğutma sistemi enerji tüketim karşılaştırması

<b>Kullanılan Sistem</b>	<b>Islak/kuru Soğutma Sistemi</b>	<b>Chiller Ünitesi</b>
<b>Enerji Tüketim Değeri (kW)</b>	20	170
<b>Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)</b>	153600	1305600
<b>Yıllık Enerji Tüketim Maaliyeti (TL)</b>	109056	926976

Soğutma suyu sıcaklığının özellikle plastik proseslerinde çevrim süresini etkilediğı düşünülürse yapılan hesaplamalar kesinlikle bu durum için tekrar gözden geçirilmelidir.

### PLASTİK ÜRETİM EKİPMANLARININ SOĞUTMA İHTİYACI HESABI

Bir üretim tesisinin soğutma sisteminin kurulumu sırasında, doğru ekipman seçimi ve doğru maliyet analizi için ekipmanların soğutma ihtiyaçlarının hesaplanması çok önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, mevcut sistemlerin verimliliklerinin arttırılıp enerji tasarrufu sağlanmak istenen durumlarda veya mevcut sistemlerde oluşabilecek çeşitli sorunların çözümü esnasında yapılması gereken ilk çalışma yine soğutma ihtiyacının hesaplanmasıdır. Enerji tüketimi konusunda yapılan çalışmaların çok büyük önem kazandığı günümüz şartlarında, üretim tesislerinde soğutma ihtiyacını karşılayacak optimum soğutma sistemlerinin kurulması, soğutma ihtiyacının doğru bir şekilde hesaplanmasına bağlı bir durumdur.

#### 5.1 Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma İhtiyacı

Kalıplarda şekillendirilmek istenen plastik malzeme, eriyik halde kalıp içerisine enjekte edilir. Kalıp içerisinde şekillenen parçanın kalıptan çıkarılması için, parçanın kalıptan çıkarılma esnasında karşılaştığı kuvvetlere karşı, deforme olmadan dayanabiliyor olması gereklidir. Bu sebeple, plastik parçanın sıcaklığının kalıptan çıkarılması esnasında, enjeksiyon yapılan eriyik sıcaklığından düşük olması gereklidir.

Konu hakkında edilmiş bilgiler ve tecrübeler şunu göstermektedir ki, enjeksiyon kalıbında üretilen bir parçanın fiziksel ve görsel özellikleri büyük çoğunlukla kalıbın soğutma performansına bağlıdır. Örnek olarak bir kalıp gereğinden fazla hızda soğutulur ise parça kırılabilir veya mat hale gelebildiği gibi, yavaş soğutma hızları ise istenilmeyen kristalleşme sorunlarını ortaya çıkarabilir.

Enjeksiyon kalıplarının soğutma ihtiyacını belirleyen faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları
- Soğutma suyu akış profili
- Soğutma suyunun kimyasal özellikleri
- Plastik parçanın ısı iletkenliği
- Plastik parça enjeksiyon sıcaklığı
- Plastik parça için istenen kalıptan çıkış sıcaklığı
- Yolluk sistemi
- Yolluk tipi
- Kalıp içerisindeki soğutma kanalları
- Soğutma suyu hattı ölçüleri ve hat sayısı

#### **5.1.1 Enjeksiyon kalıplarında soğutma ihtiyacı hesaplaması**

Plastik malzemeyi eriyik hale getirmek için uygulanan ısının, plastik parçanın kalıptan çıkarılabilmesi için parçadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Birçok uygulamada parçanın kalıptan çıkarılmadan önce oda sıcaklığına kadar ( $T_r$ ) düşürülmesi gerekmemektedir. Bunun yerine hesaplamalarda kalıptan deforme olmadan parçanın çıkarılabileceği optimum sıcaklık olan  $T_e$  sıcaklığı kullanılmaktadır.  $T_e$  sıcaklığı  $T_r$  oda sıcaklığından bir miktar yüksektir. Bu sebeple plastik malzemeye uygulanan ısının tamamının kalıptan uzaklaştırılmasına gerek olmayıp, parça çıkarıldıktan sonra kalan ısı değeri ise hava ortamına transfer edilmektedir.

Enjeksiyon kalıplarında soğutma ihtiyacı hesaplanırken kullanılan en önemli değer plastik malzemelerin özgül ısı değeri olarak ifade edilen  $c_p$  değeridir. Özgül ısı, bir cismin 1 gramının sıcaklığını  $1^\circ\text{C}$  artırmak için gereken ısıyı ifade eder. Plastik malzemelerin özgül ısı değerleri 0,25 ile 0,55 kcal/gr  $^\circ\text{C}$  aralığında değişmektedir [15]. Özgül ısı değeri bütün sıcaklık değerleri için aynı olmadığı için, enjeksiyon kalıbı soğutma yükü hesaplamalarında genellikle sıcaklığın  $14.5^\circ\text{C}$ 'den  $15.5^\circ\text{C}$  yükselmesi durumunda ihtiyaç duyulan ısı olarak hesaplanır [15].

Bir enjeksiyon kalıbında aşağıdaki kabuller yapılarak, ısı transferi hesaplamalarında kullanılacak bağıntılar sadeleştirilebilir;

- Sistem sürekli rejimdedir.
- X yönünde tek boyutlu ısı transferi gerçekleşmektedir.
- Kalıbın iç yüzeyi adyabatik bir ortamdır.
- Kalıp malzemesinin ve plastik malzemenin özellikleri sabittir.

Yukarıda yapılan kabuller sonucunda, özgül ısı değeri kullanılarak bir kalıbın ihtiyacı olan soğutma yükü şu şekilde hesaplanabilir;

$T_i$ =Plastik enjeksiyon sıcaklığı (°C)

$T_e$ =Parçanın kalıptan çıkış sıcaklığı (°C)

$c_p$ =Plastik malzeme özgül ısı ( $\frac{kcal}{kg \times ^\circ C}$ )

$$\Delta T = T_i - T_e \quad (5.1)$$

$q$ =Plastik malzemenin erime ısı ( $\frac{kcal}{kg}$ )

$\dot{m}_p$ = Bir saatte kalıplanan malzeme miktarı ( $\frac{kg}{h}$ )

$\dot{\zeta}$ =Birim zamandaki çevrim sayısı ( $\frac{adet}{saat}$ )

$$\dot{m} = m_{par\c{c}a} \times \dot{\zeta} \quad (5.2)$$

$$Q_{soğutma} = \dot{m}_p \times ((c_p \times \Delta T) + q) \quad (5.3)$$

Enjeksiyon kalıplarında bu şekilde hesaplanan soğutma yüküne ek olarak sıcak yolluk sistemi kullanılan kalıplarda sıcak yolluk sistemlerinin de ek olarak soğutma yükü getirdiği bilinmektedir. Yapılan hesaplamalarda bu etken kesinlikle göz ardı edilmemelidir.

### 5.1.2 Enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk soğutma ihtiyacı

Erimiş plastiğin, enjeksiyon makinesi meme ucundan geçtikten sonra kalıp içindeki boşluklara dağıtımını sağlayan kanallara yolluk adı verilmektedir. Yolluk sistemlerinin görevi eriyik haldeki plastik malzemeyi dengeli bir şekilde kalıp boşluklarına



doldurmaktır. Bu yüzden kalıp tasarımında yolluk dizaynı çok önemlidir. Günümüzde enjeksiyon kalıplarında iki tip yolluk kullanılmaktadır;

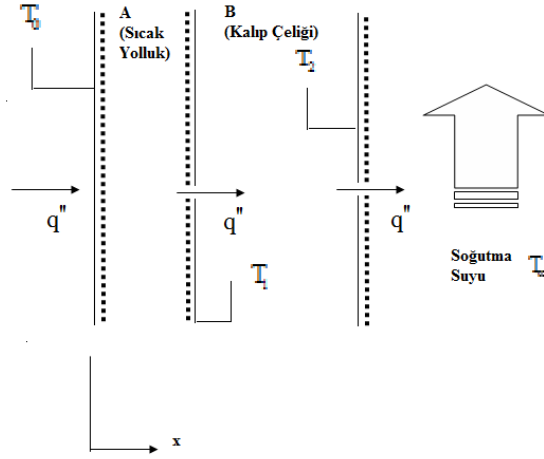
- Soğuk yolluklar (normal yolluklar)
- Sıcak yolluklar

Sıcak yolluk sistemi; plastik enjeksiyon kalıplarında enjeksiyon makinesinin memesinden, plastik enjeksiyon kalıp gözüne kadar ergimiş plastik malzemeyi sıcaklık, basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan kontrollü bir şekilde bekletme ve istenildiğinde kalıp gözüne enjekte etme sistemidir. Sıcak yolluk sistemlerinde, yolluklar içten ve dıştan ısıtılmaktadırlar. Yollukların ısıtılma sebebi, memeden kalıp boşluğuna giderken reçinenin donma ihtimalini ortadan kaldırmaktır.

Sıcak yolluk sistemi için gerekli olan kullanılan elemanları; termokupl (sıcaklık kontrol elemanları), sıcaklık kontrol cihazları, ısıtıcılar (dağıtıcı ve meme ısıtıcıları), sıcak yolluk memesi ve sıcak yolluk dağıtıcısı (manifold) olarak beş ana gruba ayrılmaktadır.

Sıcak yolluk sisteminin çalışması esnasında kalıplar için oluşturduğu en önemli etki meydana getirdiği ek ısıtma etkisidir. Rezistanslar vasıtası ile ısıtılan sıcak yolluk sistemleri kalıp için ekstra bir ısı kaynağı olarak çalışmaktadır. Bunun sonucunda plastik parçaların soğuması için gereken soğutma yükü sıcak yolluk sistemleri nedeniyle artmaktadır. Sıcak yolluk sisteminin kalıp soğutma yüküne etkisini belirlemek için ortaya çıkan ısı transferinin belirlenmesi gerekir.

Sıcak yolluk sisteminin ısı transfer modellemesi şu şekilde yapılabilir;



Şekil 5.1 Sıcak yolluk ısı transferi modellemesi

$h$ =Taşınım katsayısı ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ )

$q_s''$  =Suya geçen ısı akısı ( $\frac{W}{m^2}$ )

$T_2$ =Soğutma kanalı yüzey sıcaklığı (°C)

$T_{sg}$  = Suyun kalıba giriş sıcaklığı (°C)

$$q_s'' = h \times (T_2 - T_\infty) \quad (5.4)$$

$A_k$ = Kalıp soğutma yüzey alanı( $m^2$ )

Bu denklemin çözülebilmesi için  $T_2$  sıcaklık değerinin hesaplanması gerekmektedir. Suya geçen ısı akısı sistemden dışarı çıkmaktadır.  $X=0$ 'da koşul şartları adyabatik olduğu için sisteme giren ısı çıkan ısıya eşit olmalıdır. Bu durumda şu denklem ortaya çıkmaktadır;

$q_h''$  = Sıcak yolluk için ısı akısı ( $\frac{W}{m^2}$ )

$$q_s'' = q_h'' \quad (5.5)$$

Bulunan denklemler çözülürse;

$$T_2 = T_\infty + \frac{q_h''}{h} \quad (5.6)$$

Bulunan  $T_2$  değeri, yukarıdaki denklemde yerine konularak  $q_s''$  yani sıcak yolluk sistemi kaynaklı soğutma suyuna geçen ek ısı akısı bulunur.

### **5.1.3 Enjeksiyon kalıplarında soğutma suyu sıcaklığı**

Plastik parçadan enjeksiyon prosesi sırasında uzaklaştırılmak istenilen ısı, soğutma suyu aracılığıyla sistemden alınır ve alınan ısı soğutma suyunun endüstriyel bir soğutma ünitesinde (chiller, soğutma kulesi vb.) işlem görmesi ile sistemden uzaklaştırılır. Kalıp girişinde ve çıkışındaki soğutma suyu sıcaklığı genellikle yaklaşık olarak ve geçmiş tecrübeler doğrultusunda belirlenir. Genellikle giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın  $5^\circ\text{C}$  olması istenir [15]. Fakat bu değer zaman zaman  $1-2^\circ\text{C}$  veya  $10^\circ\text{C}$  olarak istenildiği durumlar da olabilmektedir.

Enjeksiyon prosesinde, soğutma suyunun çok soğuk veya az soğuk olmasının etki ettiği en önemli konu çevrim süresidir. Soğutma suyunun sıcak olması parçanın kalıptan çıkarılması için geçen süreye etki edecek, bu da parçanın çevrim süresini uzatarak maliyetleri arttıracaktır. Ancak, bunun yanında sisteme  $10^\circ\text{C}$  soğutma suyu sağlamak yerine  $5^\circ\text{C}$  sıcaklığında soğutma suyu sağlamak için ek bir maliyet oluşacaktır. Bir enjeksiyon pres parkında kullanılması gereken soğutma suyunun sıcaklığı hesaplanırken, çevrim süresine soğutma suyunun etkisi ve istenen soğutma suyu sıcaklığının maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için çevrim süresi ve soğutma suyu sıcaklığı arasında bir bağıntı kurmak gerekmektedir.

#### **5.1.3.1 Çevrim süresi ve soğutma suyu sıcaklığı arasındaki bağıntı**

Çevrim süresi ve soğutma suyu giriş sıcaklığı arasındaki bağıntıyı hesaplamak için bazı kabuller çerçevesinde Fourier ısı transfer kanunu kullanılacaktır. Hesaplamalar sırasında yapılan kabuller şunlardır;

- Kalıplarda soğutma işleminin kalıbın tamamen dolduğu andan itibaren başladığı kabul edilmiştir.
- Eriyik sıcaklığı kalıp çekirdeği dolana kadar değişmediği kabul edilmiştir.
- Kalıp duvarının sıcaklığının soğutma boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir.
- Isıl difüzyon katsayısının sabit kaldığı kabul edilmiştir.

- Kalıp duvarı minimum sıcaklığı soğutma suyu sıcaklığına eşit kabul edilmiştir.

Bütün bu kabullerin yapılmasının ardından, soğutma zamanını elde etmek için tek boyutta ısı geçişi denklemleri kullanılabilir.

$s$  = Plastik parçanın et kalınlığı (m)

$a$  = Isıl Difüzyon katsayısı  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$T_m$  = Eriyik sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_e$  = Plastik parçanın kalıptan çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_w$  = Ortalama kalıp sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{wmin}$  = Soğutma suyu sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$t_k$  = Soğutma zamanı (s)

$k$  = Isı iletim katsayısı  $\left(\frac{W}{m \times K}\right)$

$C_p$  = Plastik malzeme özgül ısı  $\left(\frac{J}{kg \times K}\right)$

$q$  = Yoğunluk  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$b$  = Isıl kapasite katsayısı  $\left(\frac{kg}{s^{3/2} \times K}\right)$

$$T_w = \frac{1}{2}(T_{wmax} + T_{wmin}) \quad (5.7)$$

$$T_{wmax} = \frac{(b_w \times T_{wmin} + b_m \times T_m)}{(b_w + b_m)} \quad (5.8)$$

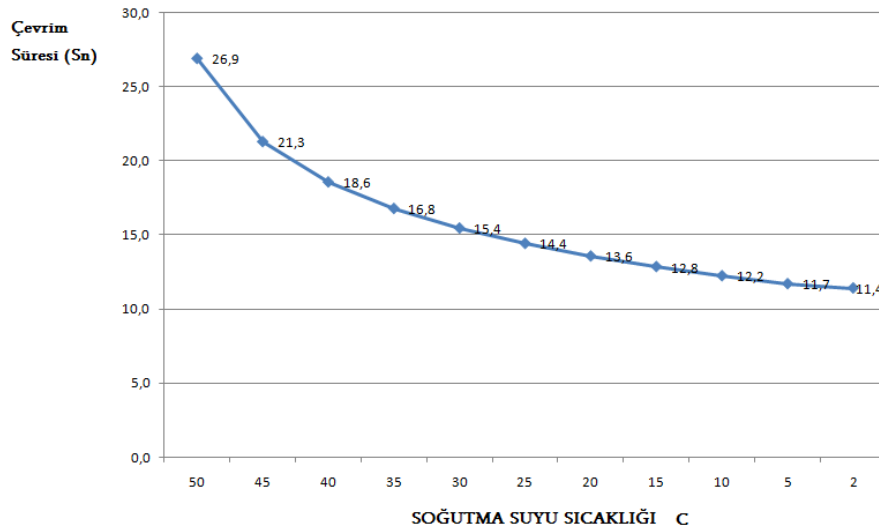
$$b = \sqrt{\rho \times k \times C_p} \quad (5.9)$$

Denklemlerde yer alan “b” ifadesi, ısı kapasite katsayısı olarak ifade edilen ve geçici koşullar altında malzemenin ısı iletkenliğini ifade etmeye yarayan bir terimdir. Bazı durumlarda özgül ısıya ve yoğunluğa bağlı olarak ısı depolama kapasitesi

belirlenmelidir. Böyle durumlarda “b” ifadesi kullanılarak hesaplamalar yapılır [16]. Ek 1’ de yer alan çizelgede plastik malzemelerin eriyik sıcaklığında bazı malzemelerin ısı nüfus katsayısı verilmiştir.

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln \left( \frac{4}{\pi} \right) \chi \left( \frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \quad (5.10)$$

Yukarıda belirtilen formül üzerinde, soğutma suyu giriş sıcaklığı haricindeki tüm değişkenler sabit tutulup, farklı soğutma suyu sıcaklıklarına karşılık gelen çevrim süreleri incelendiğinde Şekil 5.3’de görülen grafik ortaya çıkmaktadır. Grafikten de anlaşılacağı üzere soğutma suyu sıcaklığı azaldıkça çevrim süresi de azalmaktadır. Ancak bu azalma doyma noktasına doğru gitmektedir. Soğutma suyu sıcaklığı 15 °C’den daha düşük seviyelere gelmesi durumunda çevrim süresindeki azalma miktarının yüzdesel olarak gerilediği görülmektedir. Optimum soğutma suyu sıcaklığı seçilirken maliyet kazanç analizi yapılarak karar verilmelidir. Şekil 5.3’de verilen örnek üzerinden hesaplama yapılacak olursa, soğutma suyu sıcaklığının 15°C’den 10°C’ye inmesi sonucunda çevrim süresinde meydana gelecek 0,6 saniyelik çevrim kazancı ve soğutma suyunu 10°C’de elde etmek için oluşacak farkın maliyeti hesaplanmalı, ortaya çıkan sonuca göre karar verilmelidir.

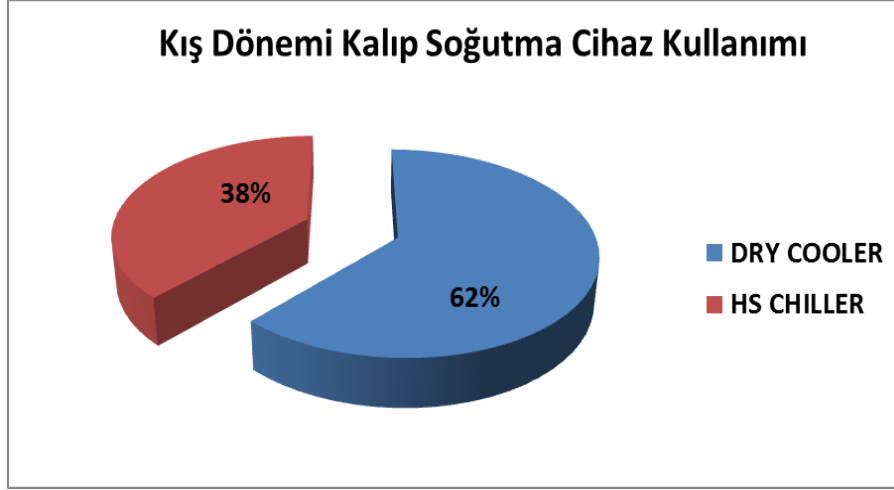


Şekil 5.2 Soğutma suyu sıcaklığı çevrim ilişkisi

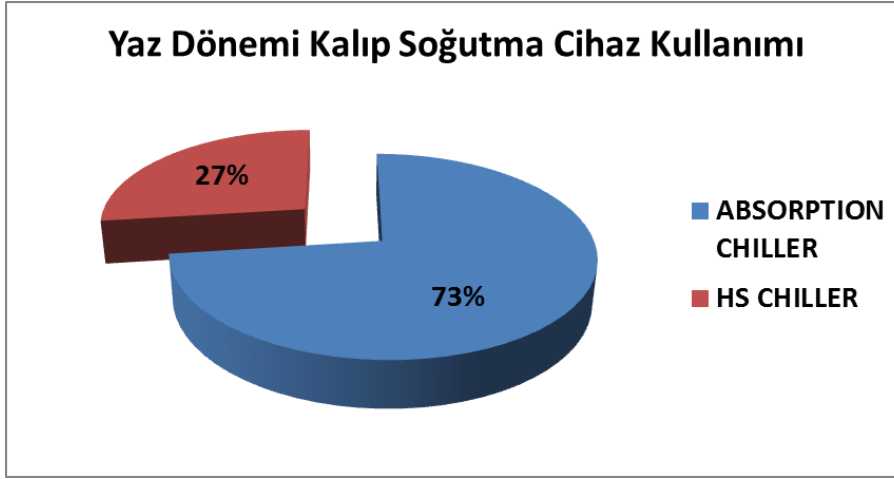
### ÇMİ PLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE KULLANILAN MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ

ÇMİ plastik üretim bölümünde 13 adet plastik enjeksiyon makinesi bulunmaktadır. Kış mevsiminde ortalama 9 makine üretim halinde iken yazın bu sayı 12'ye çıkmaktadır. Bu enjeksiyon makineleri en ağır şartlarda kışın 500 kW veya başka bir deyişle yaklaşık 430.000 kcal/h soğutma ihtiyacı, yazın ise 600 kW veya başka bir deyişle yaklaşık 520.000 kcal/h soğutma ihtiyacı oluşturmaktadır. Kış konumunda, kalıp soğutmaya etkiyen soğutma sistemleri 2 adet kuru soğutucu ve 1 adet hava soğutmalı chillerdir. Yaz konumunda ise kalıp soğutma, 1 adet absorpsiyon chiller ve 1 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır. Absorpsiyon chiller; ısı desteğini kojenerasyon, soğutma desteğini ise 2 adet soğutma kulesi ile sağlamaktadır.

İşletmenin yer aldığı Çayırova bölgesine ait kuru termometre ve yağ termometre sıcaklıkları göz önüne alınarak kış ve yaz mevsiminde soğutucu ekipmanlar farklı kombinasyonlar ile çalışmaktadır.



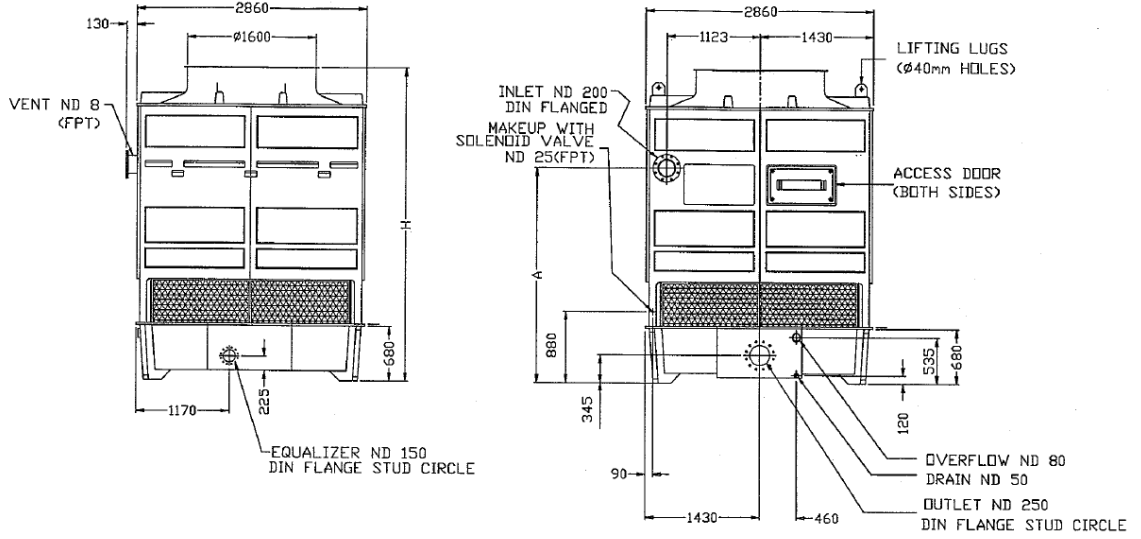
Şekil 6.1 Kış dönemi kalıp soğutma cihaz kullanımı



Şekil 6.2 Yaz dönemi kalıp soğutma cihaz kullanımı

### 6.1 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Kuleleri ve Teknik Özellikleri

ÇMİ plastik üretim bölümünün ihtiyacını karşılamak üzere 2 adet karşı akışlı tip su soğutma kulesi kullanılmaktadır. Karşı akışlı tip su soğutma kulelerinde, sistemde ısınan su, kule içerisine alındıktan sonra, yukarıdan aşağıya yerçekimi yardımıyla kule taban alanına doğru yayılır. Bu sırada, fan sayesinde hava yukarı doğru emilir. Aşağı yayılan su kütlesinin kule dolguları üzerinde süzülürken parçalanması ve emilen hava ile karşılaşarak havaya ısı vermesi ve bir kısmının buharlaşması ile soğuma sağlanır.



Şekil 6.3 İşletmede kullanılan paket tipi soğutma kulesi

İşletmede kalıp soğutmada yer alan soğutma kuleleri 1.400.000 kcal/h soğutma kapasitesine sahiptir ve maksimum 100 m<sup>3</sup>/h suyu soğutabilmektedir. Tüm soğutma kulelerinin tasarımı, prosten 42,9° C sıcaklığında gelecek olan suyu, 24° C yaş termometre sıcaklığında 29° C sıcaklığa soğutacak şekilde yapılmıştır.

Çizelge 6.1 ÇMİ soğutma tesisindeki soğutma kuleleri özellikleri

1-2-4-5 NO'LU SOĞUTMA KULELERİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Debi	100 m <sup>3</sup> /h
Kule Giriş Sıcaklığı	42,9°C
Kule Çıkış Suyu Sıcaklığı	29°C
Yaş termometre Sıcaklığı	24°C
Nominal Motor Gücü	15kW
Soğutma Kapasitesi	1.400.000 kcal/saat
3 NO'LU SOĞUTMA KULESİ TEKNİK ÖZELLİKLER	
Debi	170 m <sup>3</sup> /h
Kule Giriş Sıcaklığı	35°C
Kule Çıkış Suyu Sıcaklığı	30°C
Yaş termometre Sıcaklığı	24°C
Nominal Motor Gücü	15kW
Soğutma Kapasitesi	850.000 kcal/saat



## 6.2 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Chiller Üniteleri ve Teknik Özellikleri

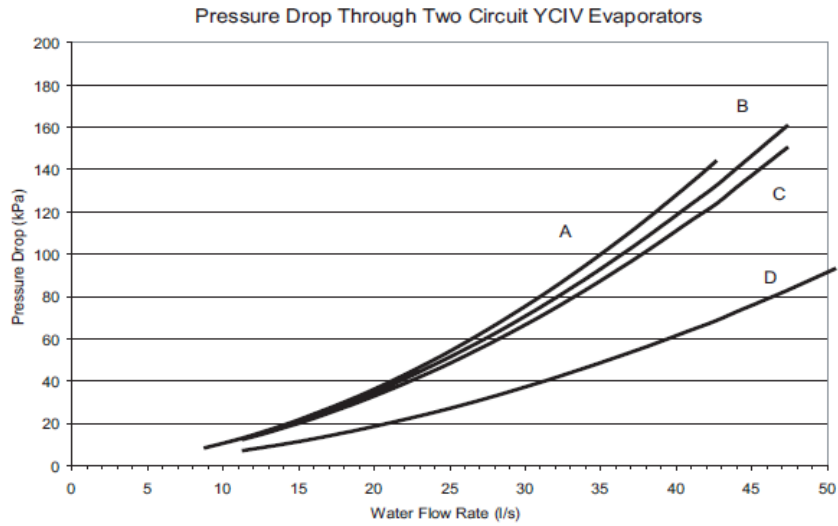
### 6.2.1 Hava soğutmalı chiller

Soğutma ihtiyacını karşılamak üzere bir adet hava soğutmalı vida kompresörlü chiller ünitesi kullanılmaktadır.

İşletmede kullanılan hava soğutmalı chiller ünitesine ait genel özellikler aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 1

MODEL NUMBER YCIV		LEAVING WATER TEMPERATURE (°C)		COOLER FLOW (l/s)		AIR ON CONDENSER (°C)	
50 hz	60 hz	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
1000(S/P)	0267(S/P)	4,4	15,6	11,4	50,5	-17,8	51,7



Şekil 6.4 Hava soğutmalı chiller teknik özellikleri

Çizelge 6.3 ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 2

COOLER	MODEL NUMBER YCIV	
	60Hz	50Hz
A	0157(S/P)	0600(S/P)
B	0157(E/V)	0590(E/V)
	0177(S/P/E/V)	0630(E/V), 0650(S/P)
	0187(S/P/E/V)	0700(E/V), 0720(S/P)
C	0197(E/V)	0760(E/V)
	0207(E/V)	0800(E/V)
	0227(E/V)	0830(E/V)
D	0207(S/P)	0770(S/P)
	0227(S/P)	0840(S/P)
	0247(S/P/E/V)	0920(S/P), 0930(E/V)
	0267(S/P)	1000(S/P)

Hava soğutmalı chillerin nominal soğutma kapasitesi 910 kW'tır. Tükettiği elektriksel güç ise kompresörden ve fanlardan kaynaklanmaktadır. Nominal olarak, kompresörün 286 kW ve 12 fanın toplam 18kW'lık güce sahip olduğu bilinmektedir. Böylece chiller ünitesinin maksimum yük altında elektriksel gücü 304 kW olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4 ÇMİ soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 3

MODEL: YCIV1000S/P																		
LCWT (°C)	AIR TEMPERATURE ON - CONDENSER (°C)																	
	25.0			30.0			35.0			40.0			45.0			46.0		
	KWi	KWi	COP	KWi	KWi	COP	KWi	KWi	COP	KWi	KWi	COP	KWi	KWi	COP	KWi	KWi	COP
5.0	894.3	219.6	3.7	879.6	249.4	3.3	862.6	282.2	2.9	834.9	316.1	2.5	793.0	342.4	2.2	784.6	347.5	2.1
6.0	919.1	221.4	3.8	903.8	251.2	3.3	886.1	284.0	2.9	856.0	317.2	2.5	812.6	343.6	2.2	803.8	348.8	2.2
7.0	944.5	223.3	3.9	928.6	253.0	3.4	909.9	286.0	3.0	877.4	318.3	2.6	832.6	344.8	2.3	821.7	348.8	2.2
8.0	970.2	225.4	4.0	953.7	255.0	3.5	934.4	287.9	3.0	899.1	319.4	2.7	853.0	345.9	2.3	829.3	341.0	2.3
9.0	996.3	227.5	4.0	979.4	257.0	3.5	959.2	290.0	3.1	921.3	320.5	2.7	873.9	347.1	2.4	837.1	333.1	2.4
10.0	1023.0	229.8	4.1	1005.4	259.2	3.6	984.6	292.1	3.2	943.6	321.7	2.8	892.6	346.7	2.4	844.9	325.2	2.5
11.0	1050.0	232.2	4.2	1031.8	261.5	3.7	1010.4	294.2	3.2	966.5	322.9	2.8	900.9	338.2	2.5	852.6	317.4	2.5
12.0	1077.5	234.8	4.2	1058.8	263.8	3.7	1036.6	296.5	3.3	989.7	324.0	2.9	909.1	329.9	2.6	860.1	309.8	2.6
13.0	1105.6	236.2	4.3	1086.0	266.3	3.8	1063.2	298.9	3.3	1013.3	325.3	2.9	917.1	321.7	2.7	867.0	302.7	2.7

NOTES:

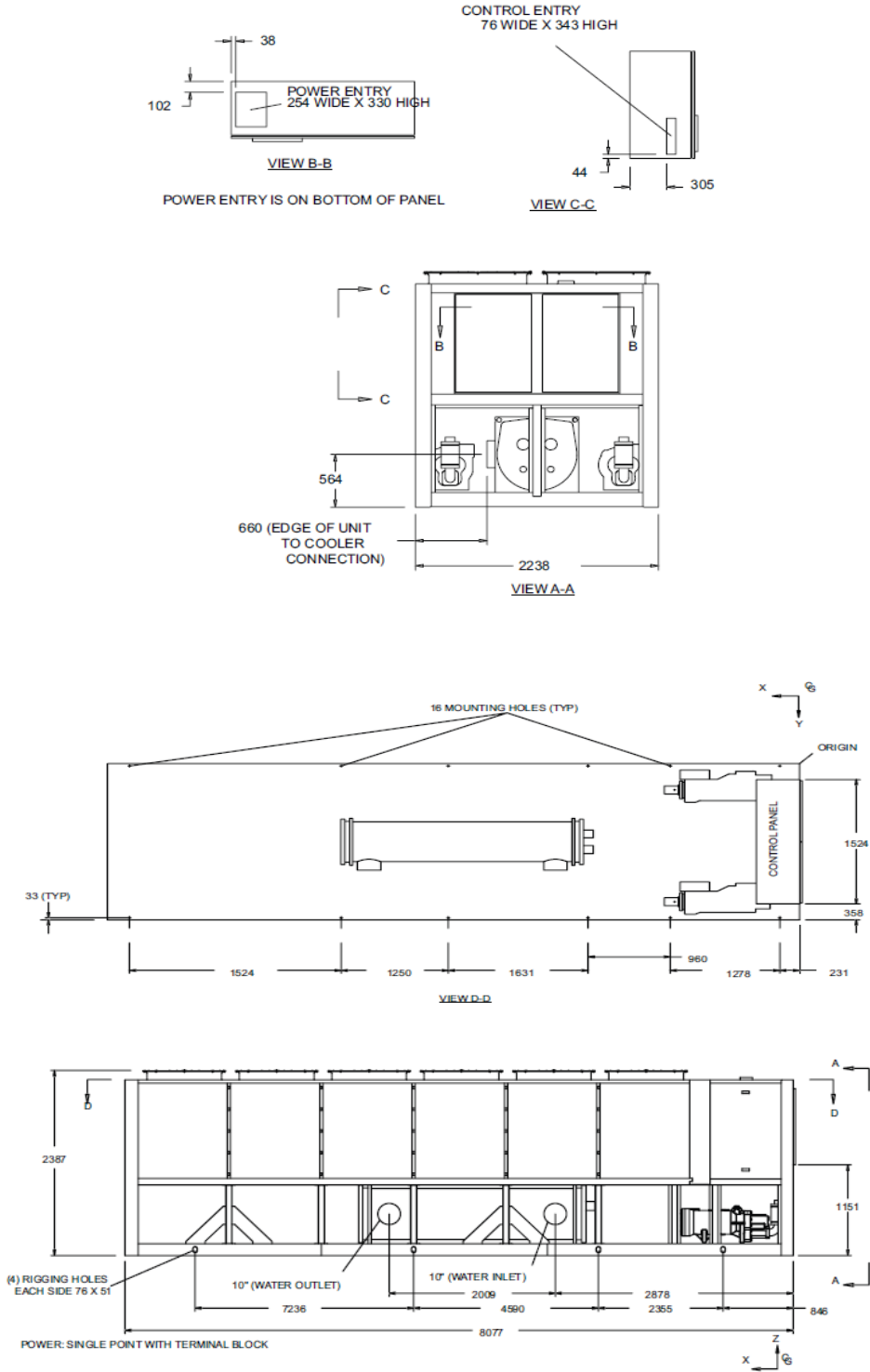
1. kWo = Unit kW Cooling Capacity Output
2. kWl = Compressor kW Input
3. COP = Coefficient of Performance (includes condenser fan power)
4. LCWT = Leaving Chilled Water Temperature
5. Ratings based on 0.168 l/s cooler water per ton, and 0.018 (m<sup>2</sup> - °C)/kW
6. ARI 550/590 does not provide certification for 50Hz ratings. The unique use of the YCIV variable speed drive allows compressor operation at the output speed regardless of the input power frequency. This allows for common unit/heat exchanger configurations between 60Hz and 50Hz with closely matching capacity.

Chiller ünitesinde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmakta olup, soğutma kapasitesi yaklaşık 260 tondur (yaklaşık 800.000 kcal/h).

Çizelge 6.5 ÇMI soğutma tesisindeki hava soğutmalı chiller özellikleri - 4

Refrigerant R-134a	STANDARD EFFICIENCY							
	MODEL NUMBER (YCV ___ S/P)							
	60Hz	0157	0177	0187	0207	0227	0247	0267
General Unit Data	50Hz	0600	0650	0720	0770	0840	0920	1000
Number of Independent Refrigerant Circuits		2	2	2	2	2	2	2
Refrigerant Charge, R-134a, Ckt.-1/Ckt.-2, kg.		74/74	77/77	84/77	87/80	87/87	105/89	105/105
Oil Charge, Ckt.-1/Ckt.-2, liters		19/19	19/19	19/19	19/19	19/19	19/19	19/19
Compressors, Semihermetic Screw Qty per Chiller		2	2	2	2	2	2	2
<b>Condensers, High Efficiency Fin/Tube with Integral Subcooler</b>								
Total Chiller Coil Face Area, m2		21.8	21.8	24.5	24.5	27.2	30.0	32.7
Number of Rows		3	3	3	3	3	3	3
Fins per meter		669	669	669	669	669	669	669
<b>Condenser Fans</b>								
Number, Ckt.-1/Ckt.-2		4/4	4/4	5/4	5/4	5/5	6/5	6/6
<b>Low Noise Fans</b>								
Fan Motor, HP/kWi		2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50
Total Chiller Airflow, l/sec.		49082	49082	55218	55218	61353	67488	73624
<b>Ultra Quiet Fans</b>								
Fan Motor, HP/kWi		2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50	2/1.50
Total Chiller Airflow, l/sec.		49082	49082	55218	55218	61353	67488	73624
<b>Dual Speed Fans - Normal Speed</b>								
Fan, KW		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Total Chiller, m3/s		42	42	47	47	52	57	62
<b>Dual Speed Fans - Lower Speed</b>								
Fan, KW		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Total Chiller, m3/s		32	32	36	36	40	44	48
<b>High Static Fans</b>								
Fan, KW		3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
Total Chiller, m3/s		49	49	55	55	61	67	74
<b>Evaporator, Direct Expansion</b>								
Water Volume, liters		253.6	359.6	359.6	529.9	529.9	529.9	529.9
Maximum Water Side Pressure, Bar <sup>1</sup>		10	10	10	10	10	10	10
Maximum Refrigerant Side Pressure, Bar		16	16	16	16	16	16	16
Minimum Chilled Water Flow Rate, l/sec.		8.8	10.1	10.1	11.4	11.4	11.4	11.4
Maximum Chilled Water Flow Rate, l/sec.		42.6	47.3	47.3	50.5	50.5	50.5	50.5
Water Connections, inches		8	10	10	10	10	10	10

Şekil 6.5'de kullanılan chiller ünitelerine ait parçalar ve ekipmanlar gösterilmiştir.



Şekil 6.5 İşletmede kullanılan hava soğutmalı chiller ünitesine ait ekipmanlar

### 6.2.2 Absorbsiyon chiller

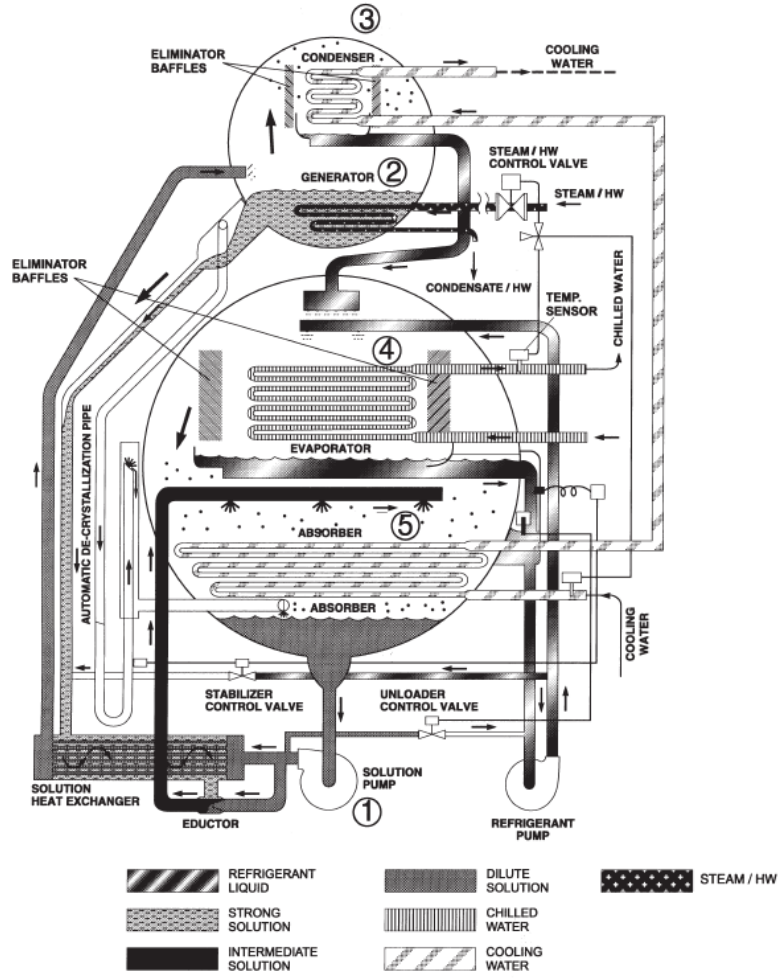
ÇMİ işletmesinde kojenerasyon mevcuttur. Kojenerasyon ile sağlanan ısının bir kısmı absorpsiyon chilleri desteklemektedir. Bu ısı kaynağı nedeniyle, kalıp soğutma sisteminde absorpsiyon chiller kullanılmaktadır.

Soğutucu akışkanı ve absorber maddeyi sirküle edecek toplam iki adet pompa bulunmaktadır. Soğutucu akışkan ile ilgili pompanın gücü 3HP (2,2 kW) iken, absorberinki 5 HP (3,7 kW)'dir. Absorber madde olarak Lityum bromür kullanılmakta, soğutucu akışkan ise R637'dir.

İşletmede kullanılan absorpsiyon chiller ünitesine ait genel özellikler aşağıda gösterilmiştir.

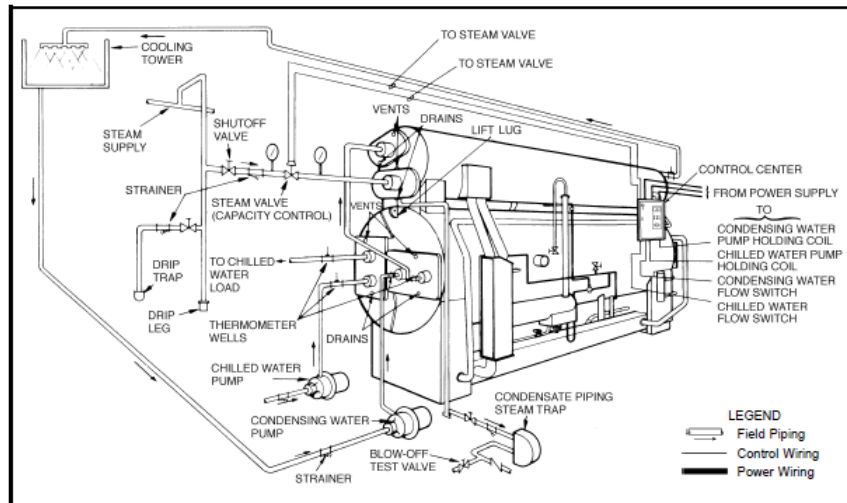
Çizelge 6.6 ÇMİ soğutma tesisindeki Absorpsiyon chiller özellikleri

ABSORBSİYON CHILLER	TEKNİK ÖZELLİKLER	
Soğutma Kapasitesi	879 kW	
Evaporatör giriş/çıkış sıcaklığı - debisi	11/7 °C	190 m <sup>3</sup> /h
Kondenser giriş/çıkış sıcaklığı - debisi	29/33,78 °C	384 m <sup>3</sup> /h
Generatör giriş/çıkış sıcaklığı - debisi	95/85,45 °C	114 m <sup>3</sup> /h



Şekil 6.6 İşletmedeki absorpsiyon chillerin soğutma çevrim diyagramı

Absorpsiyon chillerin nominal soğutma kapasitesi 879 kW'tır.



Şekil 6.7 İşletmede kullanılan absorpsiyon chiller ünitesine ait parça ve ekipmanlar

### 6.3 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Kuru Soğutucular ve Teknik Özellikleri

Kış mevsiminde soğutma ihtiyacını karşılamak için V-tipi 2 adet kuru soğutucu (dry cooling) kullanılmaktadır. Her bir kuru soğutucunun soğutma kapasitesi yaklaşık 1400 kW olup yarısı kalıp soğutmaya yarısı tezgâh soğutmaya çalışmaktadır. Dolayısıyla kuru soğutucuların kalıp soğutma için çalışan toplam soğutma kapasitesi 1400 kW'tır.

Çizelge 6.7 Kuru soğutucu - 1 teknik özellikleri

KURU SOĞUTUCU - 1	TEKNİK ÖZELLİKLER
Kapasitesi (Ethylen Glicol %10)	750 kW
Yüzey alanı	4007 m <sup>2</sup>
İç hacim	678 dm <sup>3</sup>
Hava debisi	331.800 m <sup>3</sup> /h
Fan sayısı	14 adet
Fan gücü	2,45 kW/adet
Fan çapı	900 mm
Ses seviyesi	57 dba
Ebatlar	9240x2400x2262 mm
Bağlantı çapları	2x4"
Ağırlık	3100 kg
Sıvı akış debisi	130 m <sup>3</sup> /h
Hava sıcaklığı	10°C
Su giriş sıcaklığı	20°C
Su çıkış sıcaklığı	40°C

Çizelge 6.8 Kuru soğutucu - 2 teknik özellikleri

KURU SOĞUTUCU - 2	TEKNİK ÖZELLİKLER
Soğutma kapasitesi	1400 kW
Fan (n°xØ)	(2x7) x 800
Nominal güç	32 kW
Hava debisi	316800 m <sup>3</sup> /h
Su debisi	154 m <sup>3</sup> /h
Bağlantılar	2x4"
Ebatlar mm	8500x2340x2155 (h)
Net ağırlık	3162 kg
Elektrik besleme	400V±10%/3PH/50Hz
Voltaj	24V

## 6.4 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Pompalar ve Teknik Özellikleri

### 6.4.1 Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompaları

ÇMİ işletmesi plastik enjeksiyon makinelerinin kalıp soğutması ile ilgili 4 adet pompa çalışmaktadır. Bu pompalar kalıp soğutma ana hattında sirkülasyonu sağlamaktadırlar. Pompalardan 3'ü hız sürücülü olup, hat basıncına göre pompa sayısı değişmektedir. Hattın işletme basıncı 8,6 bar olarak ayarlanmıştır. İhtiyaca göre 2 veya 3 pompa devreye girmektedir.

Her pompa için tasarım şartları olarak, debi (Q) 44 m<sup>3</sup>/h ve basma yüksekliği (H) 55 mSS olarak belirlenmiştir. Pompalar eş olup teknik veriler Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarına ait teknik özellikler - 1

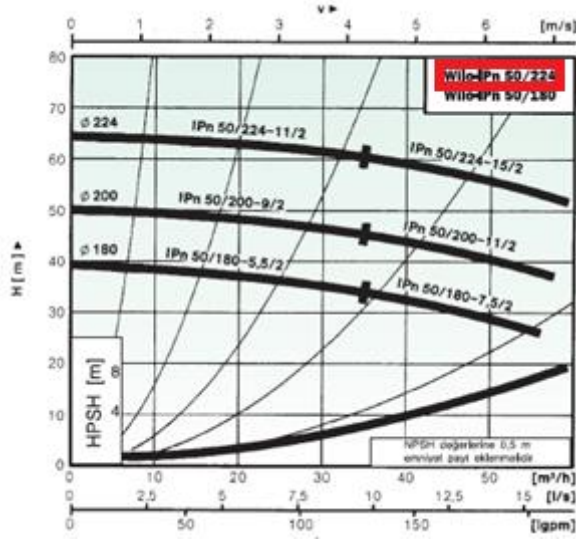
Flanş anma ölçüsü DN	50
Çark anma çapı (mm)	224
Motor gücü (kW/2 kutuplu)	15 kW
Devir hızı n	2900 d/dk
İşletme basıncı	16 bar
Pompa gövdesi	GG 25
Yataklama grubu	GG 25
Çark	GG 20
Pompa mili	X20Cr13

Çizelge 6.10 Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarına ait teknik özellikler - 2

Wilco-IPn	DN	l <sub>0</sub>	m	a	c	e	f	h	i	n	g	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	x	Ağır.	
mm																	kg	
IPn 40/125-1,1/2	40	320	160	70	Destek ayaksız pompa							160	111	098	119	345	090	029
IPn 40/140-1,5/2	40	320	160	70	Destek ayaksız pompa							176	111	098	139	374	090	032
IPn 40/160-2,2/2	40	320	160	70	Destek ayaksız pompa							176	111	098	139	399	090	034
IPn 40/180-4/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	220	161	157	170	432	130	068	
IPn 40/180-5,5/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	220	161	157	170	432	130	073	
IPn 40/200-5,5/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	220	161	157	170	432	130	075	
IPn 40/200-7,5/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	246	161	157	190	500	130	081	
IPn 40/224-9/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	246	161	157	190	538	130	090	
IPn 40/224-11/2	40	440	220	95	45	30	80	30	M 10	15	323	161	157	225	641	130	115	
IPn 50/125-1,5/2	50	340	170	069	Destek ayaksız pompa							176	115	098	139	378	085	032
IPn 50/140-2,2/2	50	340	170	069	Destek ayaksız pompa							176	115	098	139	403	085	035
IPn 50/160-3/2	50	340	170	069	Destek ayaksız pompa							196	115	098	154	426	085	041
IPn 50/180-5,5/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	220	165	159	170	415	120	090	
IPn 50/180-7,5/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	246	165	159	190	483	120	100	
IPn 50/200-9/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	246	165	159	190	521	120	120	
IPn 50/200-11/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	323	165	159	225	624	120	144	
IPn 50/224-11/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	323	165	159	225	624	120	148	
IPn 50/224-15/2	50	440	220	110	55	35	80	30	M 10	15	323	165	159	225	560	120	156	
IPn 65/125-2,2/2	65	340	170	077	Destek ayaksız pompa							176	128	105	139	410	095	038
IPn 65/140-3/2	65	340	170	077	Destek ayaksız pompa							196	128	105	154	433	095	043
IPn 65/160-5,5/2	65	340	170	077	Destek ayaksız pompa							220	128	105	170	447	095	075
IPn 65/180-9/2	65	475	237,5	119	70	45	80	30	M 10	15	246	175	160	190	525	120	120	
IPn 65/200-11/2	65	475	237,5	119	70	45	80	30	M 10	15	323	175	160	225	564	120	146	
IPn 80/125-3/2	80	360	180	88	Destek ayaksız pompa							196	134	107	154	437	100	47
IPn 80/140-4/2	80	360	180	88	Destek ayaksız pompa							220	134	107	170	451	100	56
IPn 80/160-7,5/2	80	360	180	88	Destek ayaksız pompa							246	134	107	190	518	100	85
IPn 100/160-7,5/2	100	395	197,5	103	Destek ayaksız pompa							246	143	108	190	538	100	95



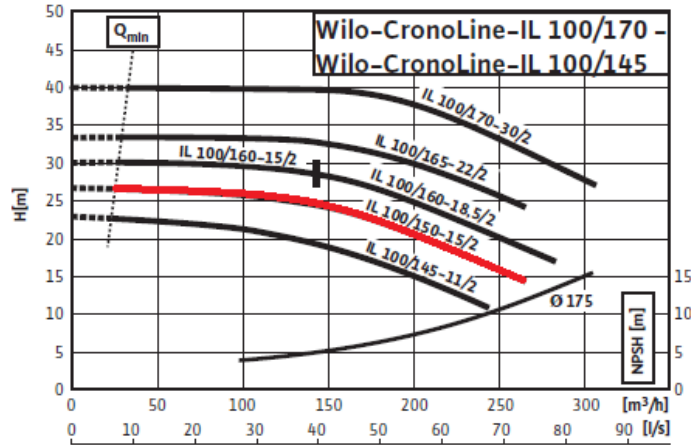
Kalıp sirkülasyon pompalarına ait teknik özellikler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 6.8 Kalıp soğutma suyu sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri

#### 6.4.2 Hava soğutmalı chiller sirkülasyon pompaları

Hava soğutmalı chillerin sirkülasyon pompaları eş ve 2 adet olup ikisi de hız sürücülüdür. Her pompa için tasarım şartı olarak, debi (Q) 160 m<sup>3</sup>/h ve basma yüksekliği (H) 22 mSS olarak belirlenmiştir. Pompaların gücü 15 kW olup ilgili teknik veriler Şekil 6.9'da verilmiştir.

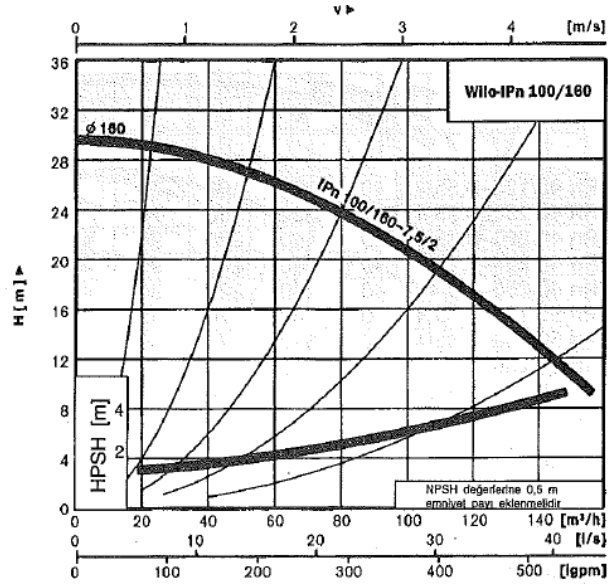


Şekil 6.9 Hava soğutmalı chiller sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri

### 6.4.3 Soğutma kulesi sirkülasyon pompaları

Soğutma kulelerinin sirkülasyonunu sağlayan pompalar eş ve 5 adettir. Her pompa için tasarım şartı olarak, debi (Q) 98 m<sup>3</sup>/h ve basma yüksekliği (H) 20 mSS olarak belirlenmiştir. Pompaların gücü 7,5 kW olup ilgili teknik veriler Şekil 6.10'da verilmiştir.

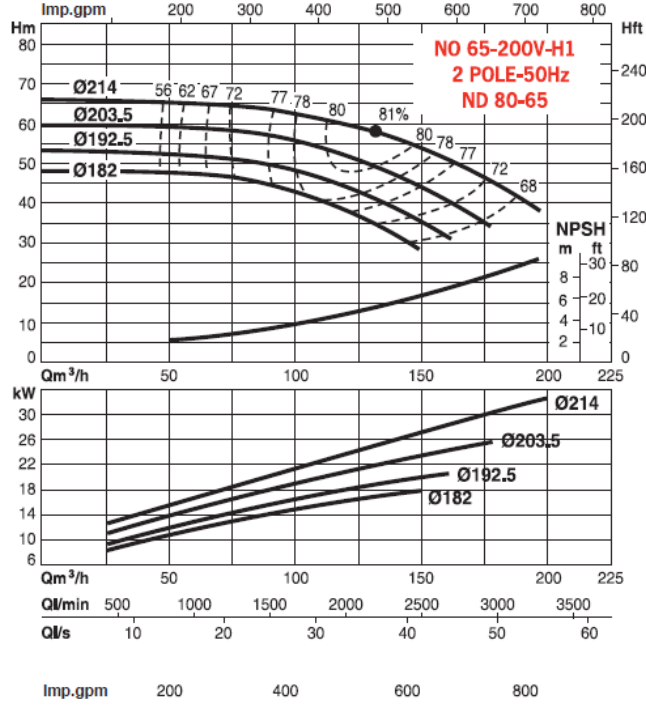
Typ	Q [l/s]	H [m]	n [1/min]	P2 [kW]	PN
100/160-1,1/4	10	7	1450	1,1	PN 16
<b>100/160-7,5/2</b>			2900	4,5	PN 16
100/160-9/2			2900	4,5	PN 16
100/180-2,2/4	12,5	8	1450	2,2	PN 16
100/200-3/4	15	11	1450	3	PN 16
100/224-4/4	15	14	1450	4	PN 16
100/250-5,5/4	15	19	1450	5,5	PN 16
100/280-11/4			1450	3,8	PN 16



Şekil 6.10 Soğutma kulesi sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri

### 6.4.4 Absorbsiyon evaporatör sirkülasyon pompaları

Absorbsiyon chillerin evaporatör kısmının sirkülasyonunu sağlayan pompalar eş ve 3 adettir. Her pompa için tasarım şartı olarak, debi (Q) 95 m<sup>3</sup>/h ve basma yüksekliği (H) 45 mSS olarak belirlenmiştir. Pompaların gücü 18,5 kW olup ilgili teknik veriler Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11 Absorbsiyon chillerin evaporatör sirkülasyon pompalarının teknik özellikleri

## 6.5 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Sistemi Kullanım Sistematiği

ÇMİ işletmesinde bulunan 2 adet soğutma kulesi, 2 adet kuru soğutucu ve chiller üniteleri mevsim şartlarına göre farklı kombinasyonlarda çalışmaktadır. İstanbul ve Kocaeli illerinin sınır kesişiminde bulunan Çayırova bölgesinin sıcaklık değerleri düşünüldüğünde Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarını içeren dönem yaz mevsimi, diğer ayları içeren dönem ise kış mevsimi olarak göz önüne alınabilir.

Çizelge 6.11 İstanbul iline ait sıcaklık verileri

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970 - 2011)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.6	6.6	8.4	12.7	17.4	22.1	24.5	24.2	20.8	16.4	11.9	8.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.3	9.7	12.1	17.0	22.1	26.9	29.4	29.2	25.5	20.2	15.2	11.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.2	4.0	5.5	9.3	13.5	18.0	20.4	20.5	17.4	13.6	9.3	6.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	3.1	4.3	6.0	8.1	9.5	10.3	9.3	7.6	5.1	3.3	2.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.6	14.2	11.8	10.7	7.3	5.4	3.7	4.0	5.6	10.2	11.2	15.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m <sup>2</sup> )	78.3	64.3	60.1	50.0	29.3	26.7	22.3	24.0	36.9	71.8	74.3	94.8
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1970 - 2011)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	24.0	26.8	33.3	36.4	40.6	40.6	40.5	36.6	34.2	27.2	25.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.9	-8.0	-6.9	0.6	3.6	9.0	12.0	12.2	7.3	2.2	-1.6	-3.4
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.												
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	10.09.1981	136.1 kg/m <sup>2</sup>	Günlük En Hızlı Rüzgar	20.07.1973	99.7 km/sa	En Yüksek Kar	09.03.1987	44.0 cm				

Çizelge 6.12 Kocaeli iline ait sıcaklık verileri

KOCAELI	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970 - 2011)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.3	6.6	8.6	13.0	17.5	21.8	23.8	23.5	20.2	15.9	11.4	8.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.7	10.5	13.2	18.3	23.1	27.5	29.4	29.2	25.8	20.6	15.6	11.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.4	3.5	5.0	8.9	12.9	16.9	19.2	19.3	16.0	12.5	8.2	5.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	2.5	4.6	5.2	7.1	8.5	9.1	8.4	7.6	4.4	3.3	2.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16.9	15.5	13.6	12.0	9.7	8.6	6.1	5.7	7.4	12.5	13.2	16.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m <sup>2</sup> )	91.5	73.7	72.4	55.3	45.2	50.5	38.7	50.7	50.7	94.6	85.5	107.4
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1970 - 2011)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.9	26.0	30.2	34.7	36.6	38.7	44.1	41.6	37.2	36.2	28.3	27.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-9.7	-8.3	-5.7	-0.9	2.8	8.5	11.3	13.0	6.0	2.4	-0.7	-4.5
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.												
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	14.08.2001	125.8 kg/m <sup>2</sup>	Günlük En Hızlı Rüzgar	14.03.1973	121.0 km/sa	En Yüksek Kar	25.02.1983	74.0 cm				

### 6.5.1 ÇMİ plastik parça üretiminde kış mevsimi soğutma sistemi kullanımı

Kış konumu çalışma prensibinde, prosesten gelen sıcak suyun sirkülasyonu için hız kontrollü 3, toplam 4 adet pompa kullanılmaktadır. Dönüş kolektörüne gelen sıcak su pompalar vasıtasıyla gidiş kolektörüne oradan da kuru soğutuculara iletilmektedir. Kuru soğutucularda bir miktar soğutulan su, hava soğutmalı chillerin desteklediği eşanjöre kadar ısısını korumaktadır. Eşanjörden geçerken ısısının bir kısmını daha kaybeden su, prosese geri gönderilir. İşletmede kullanılan kış konumu soğutma sistemi Ek - 4'te şematik olarak gösterilmiştir.

### 6.5.2 ÇMİ plastik parça üretiminde yaz mevsimi soğutma sistemi kullanımı

Kış konumunda olduğu gibi yaz konumu çalışma prensibinde de, prosesten gelen sıcak suyun sirkülasyonu için hız kontrollü 3, toplam 4 adet pompa kullanılmaktadır. Dönüş kolektörüne gelen sıcak su, pompalar vasıtasıyla gidiş kolektörüne gönderilir. Kış konumundan farklı olarak gidiş kolektöründen absorpsiyon chillera bağlı eşanjörden geçirilir. ısısını kaybedip soğutulan su, hava soğutmalı chillera bağlı eşanjörden geçerek bir miktar daha soğutulur ve prosese geri gönderilir.

Kalıp soğutmada kullanılan absorpsiyon chillerın ısı kaynağı (generatör) kojenerasyondur. İki adet soğutma kulesi ile soğutma işlemi desteklenmektedir. Absorpsiyonun evaporatöründen çıkan soğutulmuş su prosese gönderilir. İşletmede kullanılan yaz konumu soğutma sistemi Ek - 5'te şematik olarak gösterilmiştir.

## 6.6 ÇMİ Plastik Parça Üretiminde Kullanılan Soğutma Sistemleri Enerji Tüketimi

ÇMİ plastik parça üretiminde soğutma ihtiyacını karşılamak üzere birçok ekipman kullanılmakta, yıllık toplam enerji tüketiminin önemli kısmı soğutma işleminde harcanmaktadır. Yukarıda anlatılan kış ve yaz konumu için soğutma sistemlerinin çalışması esnasında harcanan enerji değerleri tabloda verilmektedir. Tabloda verilen bu enerji tüketim değerlerinde, sistemdeki sıvıların sirkülasyonunu sağlayan pompaların enerji tüketimleri de dâhildir.

Çizelge 6.13 ÇMİ kalıp soğutma sisteminde enerji tüketimi

Kullanılan Ekipman	Elektrik Tüketimi kW	Yaz Konumu kWh	Kış Konumu kWh
Hava Soğutmalı Chiller	304	656.640	218.880
Kuru Soğutucu 1	17,15	0	43.218
Kuru Soğutucu 2	23,1	0	58.212
Absorbsiyon Chiller	6	14.868	0
Soğutma Kulesi 1	15	37.800	0
Soğutma Kulesi 2	15	37.800	0
Kalıp Ana Sirkülasyon Pompaları	15	174.960	116.640
Soğutma Kulesi Sirkülasyon Pom.	7,5	72.900	0
Hava Soğutmalı Chiller Sir. Pom.	15	58.320	19.440
Absorbsiyon Eva. Sir. Pom.	18,5	119.880	0
<b>TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ kWh</b>		<b>1.173.168</b>	<b>456.390</b>

### ÇMİ KALIP SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ TÜKETİM OPTİMİZASYONU

Bu bölümde; mevcut kalıp soğutma sistemlerinde kış ve yaz konumları için yapılan sıcaklık, debi ve elektriksel güç ölçümleri gösterilecektir. Bu ölçümler doğrultusunda kış ve yaz konumları için kalıp soğutma sisteminin enerji modellemesi yapılacaktır. Son olarak, sistemde potansiyel tasarruf noktaları belirlenip, alternatif sistemler ile elde edilen enerji tasarrufları belirtilecektir.

#### 7.1 Mevcut Kalıp Soğutma Sisteminde Kış Konumu için Yapılan Ölçümler

ÇMİ plastik parça üretimi için gerekli soğutma yükü hesaplamasında sıcaklık ve debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Plastik enjeksiyon kalıplarının soğutulması, tezgah ve hidrolik soğutmadan ayrı kapalı bir sistemle gerçekleşmektedir.

Enjeksiyon kalıplarından çıkan sıcak su sirkülasyon pompaları ile kuru soğutuculara basılmaktadır. Kuru soğutuculardan soğutulan su, hava soğutmalı chillera bağlı eşanjörden geçerek daha da soğutulmaktadır. Soğuk su, kapalı çevrim doğrultusunda plastik enjeksiyon makinelerinin kalıplarına gönderilmektedir.

##### 7.1.1 Kış konumu mevcut durumun kütle ve enerji dengesi

Kış konumunda yapılan sıcaklık ölçümlerine göre; kalıplara gidiş suyu sıcaklığı ortalama 17,0°C, kalıplardan dönüş suyu sıcaklığı ortalama 20,1°C olarak ölçülmüştür. Ölçümler doğrultusunda kalıp gidiş-dönüş hatlarının sıcaklık farkı 3,1°C olarak gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık farkının yaklaşık 1,3°C'si kuru soğutucular, 1,8°C'si ise hava soğutmalı chillera bağlı eşanjör ile sağlanmaktadır.

Kış konumunda yapılan debi ölçüleriyle kalıp gidiş ve dönüş hatlarının debileri belirlenmiştir. Hız sürücülü pompaların belirlediği debi, kalıp gidiş ve dönüş hatları için aynı ve ortalama  $135 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak ölçülmüştür. Gidiş - dönüş hatlarındaki debilerin aynı olmasıyla sistemin başka bir sistemi desteklemediği (kapalı çevrim) doğrulanmıştır.

Yapılan bu sıcaklık ve debi ölçümlerine göre kış konumunda, plastik enjeksiyon makine kalıplarının soğutma yükü yaklaşık  $500 \text{ kW}$  olarak hesaplanmıştır.

### **Kütle Dengesi:**

$$\dot{m}_{ag} = Q_1 \times q = 135 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \rightarrow \dot{m}_{ag} = 37,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{a\check{c}} = Q_1 \times q = 135 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \rightarrow \dot{m}_{a\check{c}} = 37,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{ag} = \dot{m}_{a\check{c}} \rightarrow 37,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### **Enerji Dengesi:**

$$q_t = q_{ks} + q_{hs}$$

$$\begin{aligned} q_t &= Q_1 \times q \times C_p \times (T_1 - T_2) \\ &= 135 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times (20,1 - 17)^\circ\text{C} \times \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \end{aligned}$$

$$q_t \cong 485 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} q_{ks} &= Q_1 \times q \times C_p \times (T_3 - T_4) \\ &= 135 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times (20,1 - 18,8)^\circ\text{C} \times \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \end{aligned}$$

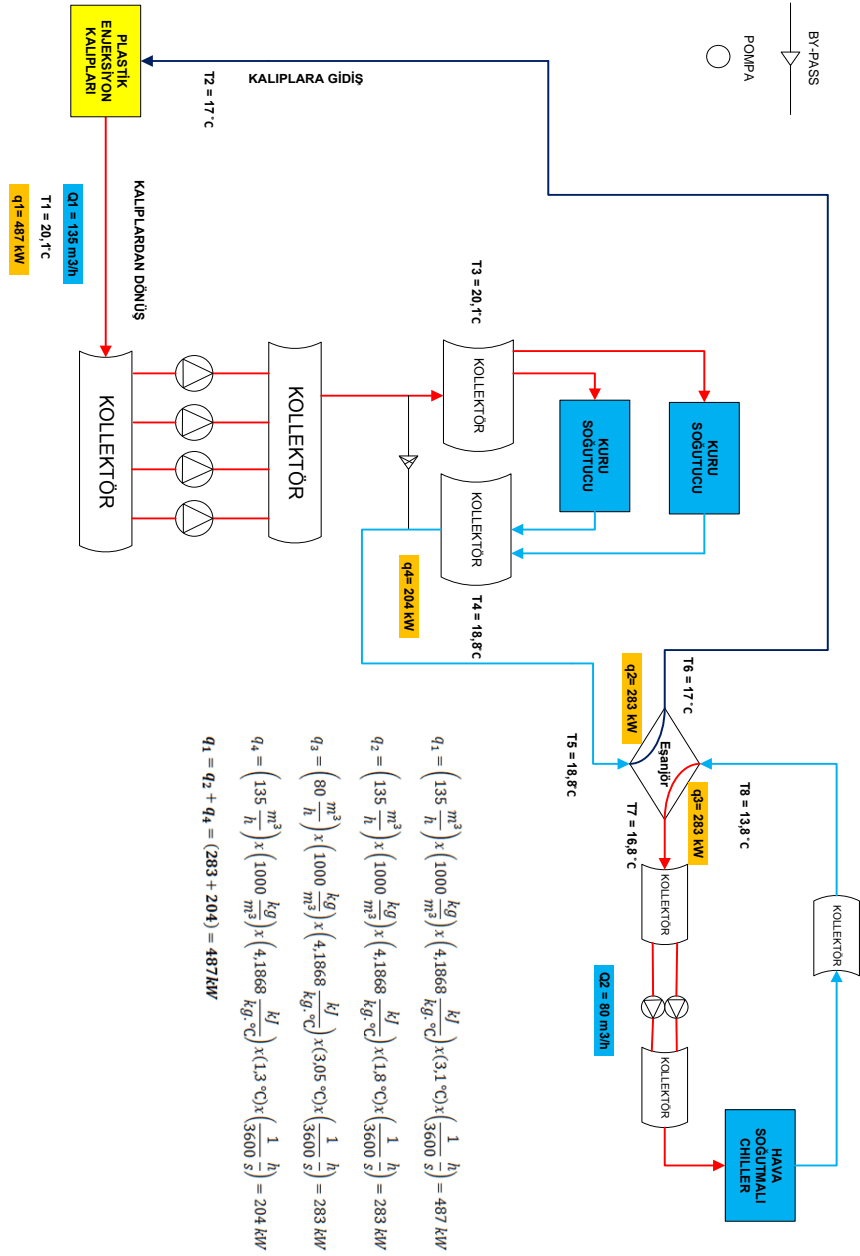
$$q_{ks} \cong 205 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} q_{hs} &= Q_2 \times q \times C_p \times (T_7 - T_8) \\ &= 80 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times (16,8 - 13,8)^\circ\text{C} \times \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \end{aligned}$$

$$q_{hs} \cong 280 \text{ kW}$$

$$q_t = 205 + 280 = 485 \text{ kW}$$

Sıcaklık ve debi ölçümleri sonucu kış konumunun enerji modeli Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1 Mevcut kalıp soğutma sisteminin kıs konumu enerji dengesi



Mevcut soğutma sisteminde tüketilen elektriksel gücün hesaplanması için analizör ile ölçümler yapılmıştır. Kalıp ana soğutma hattındaki pompaların nominal güçleri 15 kW'tır. Hız sürücülü pompalardan ikisinin çalıştığı genel durum için tüketilen elektriksel güç 27 kW olarak ölçülmüştür. Bu pompaların 2 ila 3 arasında değiştiği durumdaki ölçümler 33 kW'ı göstermektedir. Ölçümler yapılırken pompaların devirleri de izlenmiş, böylece devire göre pompaların ortalama ne kadar güç tüketeceği bir sistematığe oturtulmuştur.

Hava soğutmalı chillerin kompresörü için yapılan elektriksel güç ölçümünde, kompresörün 70 kW'lık bir güç tükettiği görülmüştür. Soğutma ihtiyacının artmasına bağlı olarak tüketilen gücün de arttığı belirlenmiştir.

## **7.2 Mevcut Kalıp Soğutma Sisteminde Yaz Konumu için Yapılan Ölçümler**

Kış konumu gibi yaz konumu için de sıcaklık ve debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon kalıplarından çıkan sıcak su sirkülasyon pompaları ile absorpsiyon chillera bağlı olan eşanjöre basılmaktadır. Eşanjörden geçerken soğuyan su, hava soğutmalı chillera bağlı eşanjörden de geçerek bir miktar daha soğutulmaktadır. Soğuk su, kapalı çevrim doğrultusunda plastik enjeksiyon makinelerinin kalıplarına gönderilmektedir.

### **7.2.1 Yaz konumu mevcut durumun kütle ve enerji dengesi**

Yaz konumunda yapılan sıcaklık ölçümlerine göre; kalıp gidiş suyu sıcaklığı ortalama 17,0 °C, kalıp dönüş suyu sıcaklığı ortalama 20,1 °C olarak ölçülmüştür. Ölçümler doğrultusunda kalıp gidiş - dönüş hatlarının sıcaklık farkı 3,1 °C olarak gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık farkının 1,3 °C'si absorpsiyon chillera bağlı eşanjör, 1,8 °C'si ise hava soğutmalı chillera bağlı eşanjör ile sağlanmaktadır.

Yaz konumunda yapılan debi ölçümleriyle; soğutma kulesi sirkülasyon hattının, kalıp gidiş ve dönüş hatlarının debileri belirlenmiştir. Hız sürücülü pompaların belirlediği debi, kalıp gidiş ve dönüş hatları için aynı ve ortalama 165 m<sup>3</sup>/h olarak ölçülmüştür. Gidiş - dönüş hatlarındaki debilerin aynı olmasıyla sistemin başka bir sistemi desteklemediği (kapalı çevrim) doğrulanmıştır.

Yapılan bu sıcaklık ve debi ölçümlerine göre yaz konumunda, plastik enjeksiyon makine kalıplarının soğutma yükü yaklaşık 600 kW olarak hesaplanmıştır.

### **Kütle Dengesi:**

$$\dot{m}_{ag} = Q_1 \times q = 165 \frac{m^3}{h} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times \frac{h}{3600s} \rightarrow \dot{m}_{ag} = 46 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{a\check{c}} = Q_1 \times q = 165 \frac{m^3}{h} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times \frac{h}{3600s} \rightarrow \dot{m}_{a\check{c}} = 46 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{ag} = \dot{m}_{a\check{c}} \rightarrow 46 \frac{kg}{s}$$

### **Enerji Dengesi:**

$$q_t = q_{ac} + q_{hs}$$

$$\begin{aligned} q_t &= Q_1 \times q \times C_p \times (T_1 - T_2) \\ &= 165 \frac{m^3}{h} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,1868 \frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \times (20,1 - 17)^\circ C \times \frac{h}{3600s} \end{aligned}$$

$$q_t \cong 595 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} q_{ac} &= Q_2 \times q \times C_p \times (T_3 - T_4) \\ &= 70 \frac{m^3}{h} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,1868 \frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \times (12,2 - 9,4)^\circ C \times \frac{h}{3600s} \end{aligned}$$

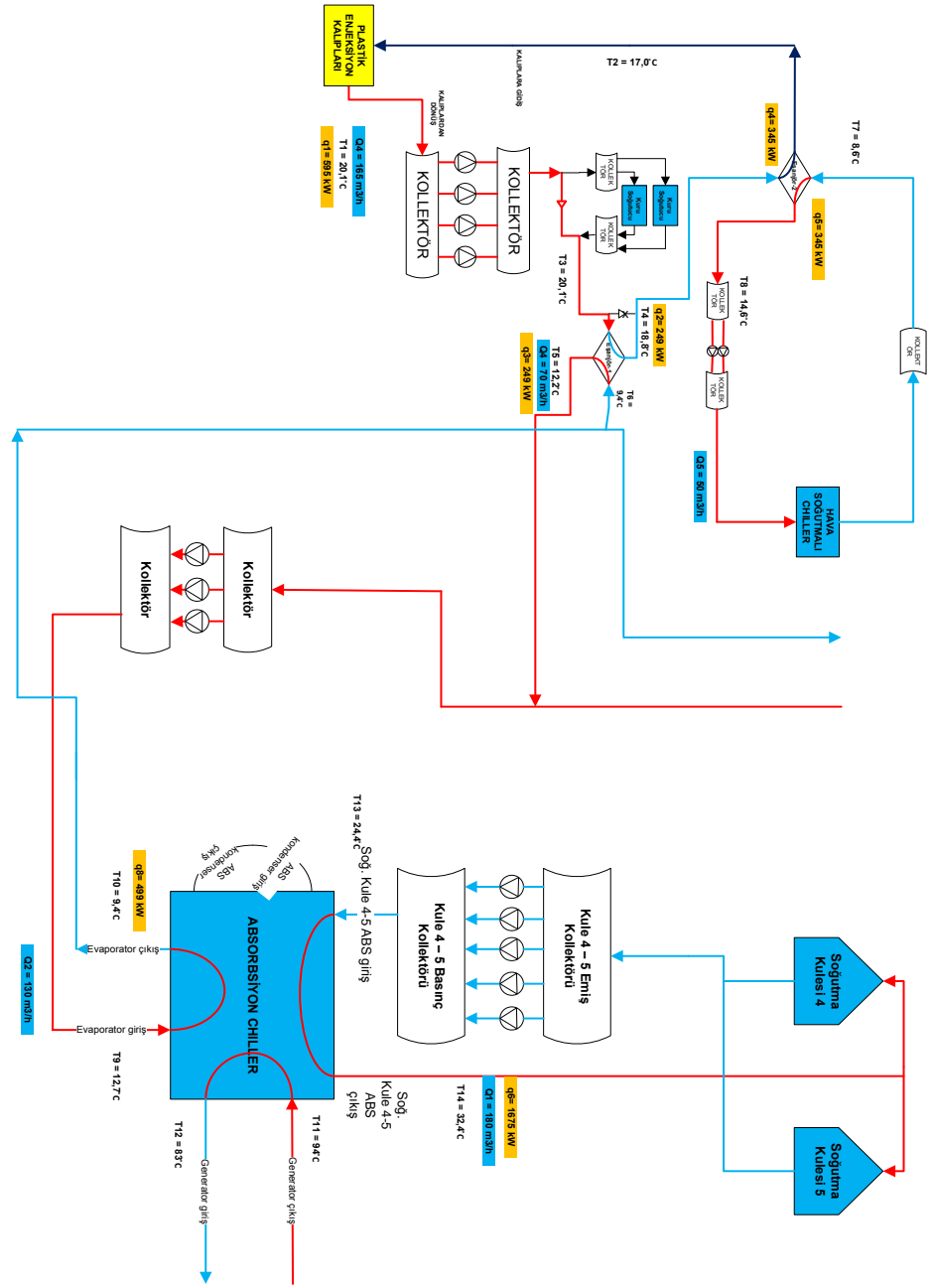
$$q_{ac} \cong 230 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} q_{hs} &= Q_3 \times q \times C_p \times (T_8 - T_7) \\ &= 50 \frac{m^3}{h} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,1868 \frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \times (14,6 - 8,6)^\circ C \times \frac{h}{3600s} \end{aligned}$$

$$q_{hs} \cong 365 \text{ kW}$$

$$q_t = 230 + 365 = 595 \text{ kW}$$

Sıcaklık ve debi ölçümleri sonucu yaz konumunun enerji modeli Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Mevcut kalıp soğutma sisteminin yaz konumu enerji dengesi

Mevcut soğutma sisteminde tüketilen elektriksel gücün hesaplanması için analizör ile ölçümler yapılmıştır. Kalıp ana soğutma hattındaki pompaların nominal güçleri 15 kW'tır. Hız sürücülü pompalardan üçünün çalıştığı genel durum için tüketilen elektriksel güç 37 kW olarak ölçülmüştür. Ölçümler yapılırken pompaların devirleri de izlenmiş,

böylece devire göre pompaların ortalama ne kadar güç tüketeceği bir sistematige oturtulmuştur.

Hava soğutmalı chillerin kompresörü için yapılan elektriksel güç ölçümünde, kompresörün 155kW'lık bir güç tükettiği görülmüştür. Soğutma ihtiyacının artmasına bağlı olarak tüketilen gücün de arttığı belirlenmiştir.

### **7.3 Kalıp Soğutma Sisteminin Kış ve Yaz Konumları için Enerji Modelleri**

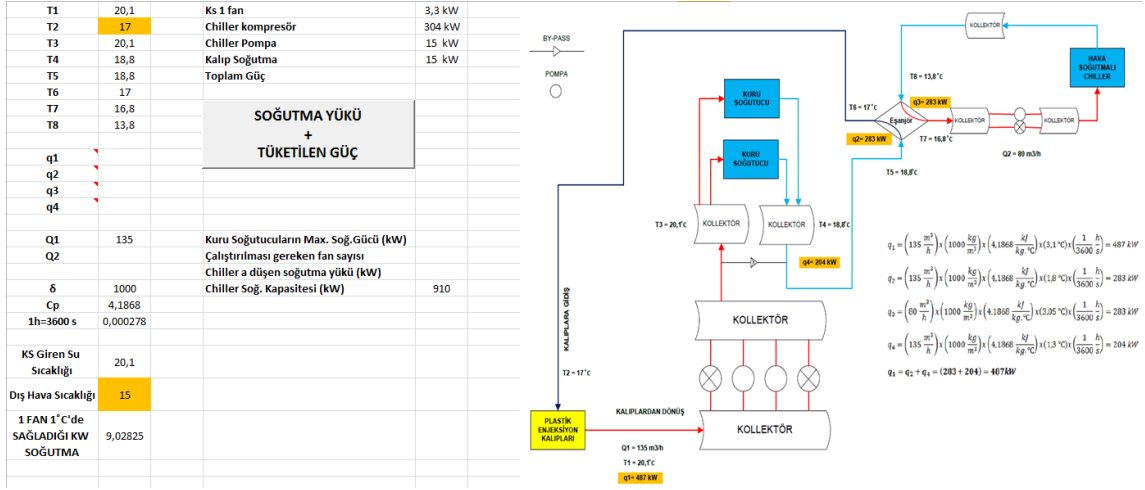
Kalıp soğutma sisteminin kış ve yaz konumları için sürekli sıcaklık, debi ve elektriksel güç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler neticesinde kış ve yaz konumları belirli bir sistematige oturtulmuştur. Kalıp soğutma sistemine ait enerji modellemesinde kullanılan formülasyonlar Visual Basic dili kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

#### **7.3.1 Kalıp soğutma sisteminin kış konumu enerji modeli**

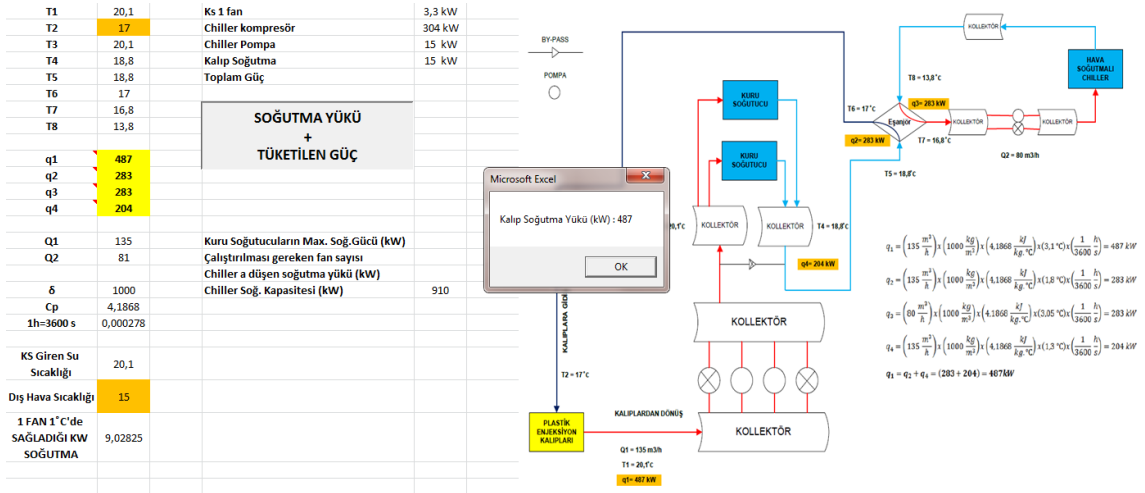
Kalıp soğutma sisteminin kış konumu enerji modellemesinde 2 adet değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler; kalıplara gönderilen soğuk su sıcaklığı ( $T_2$ ) ve dış hava sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

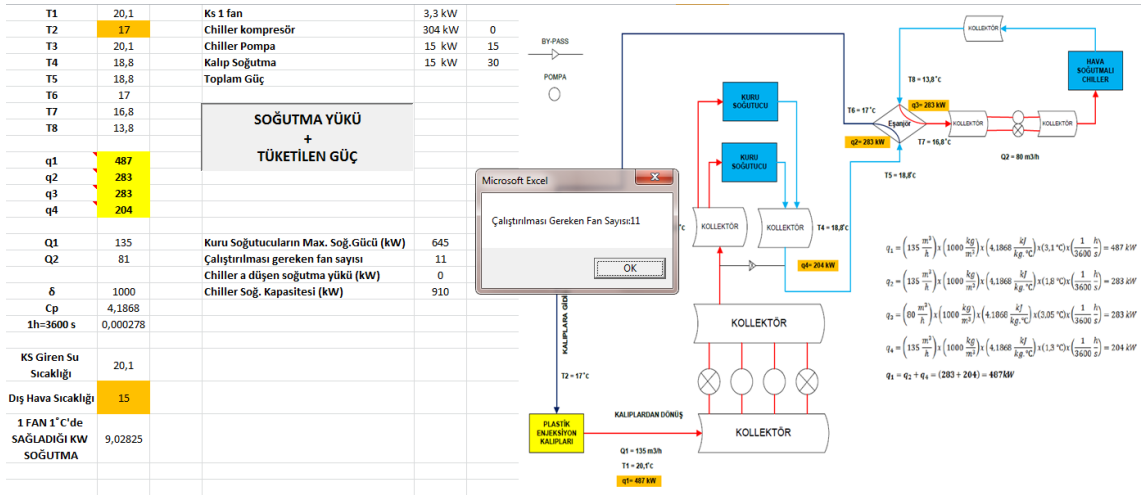
Değişkenlerin tanımlanmasıyla program çıktısı olarak; sistemde belirtilen tüm sıcaklıklar, hava soğutmalı chiller devresinin ortalama debisi, devreye girecek olan soğutucu cihazlar ile bu cihazların ne oranda devreye gireceği belirlenebilmektedir. Programın çalışma sistematigi Ek - 6'da belirtilmiştir.

Kış konumu için değişkenlerin programda girildiği yerler turuncu renk ile gösterilmiştir. Aşağıda programın değişkenlerinin girildiği ancak yürütülmediği hali belirtilmiştir.



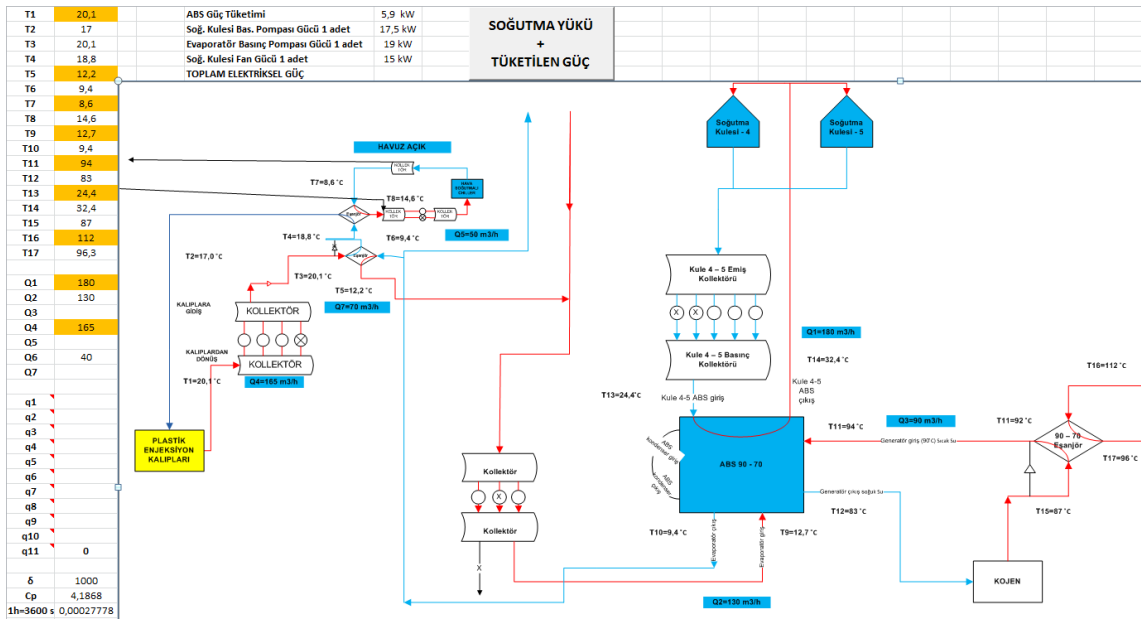
Kalıp soğutma sistemi kış konumunda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda; toplam soğutma yükü ( $q_1$ ), kuru soğutucular ile sağlanan soğutma yükü ( $q_4$ ) ve eşanjördeki ısı değişimi ( $q_2=q_3$ ) ortalama değerleri program yardımıyla belirlenmiştir. Dış hava ve kalıplara gönderilen sıcaklık değerlerini girip programı çalıştırdığımızda; soğutma sistemindeki tüm sıcaklıklar ve hava soğutmalı chiller devresinin ortalama debisi de hesaplanabilmektedir. Programda ayrıca soğutma yüküne göre soğutma cihazlarının yeterliliği ve devreye girmesi gereken sistem belirtilebilmektedir.



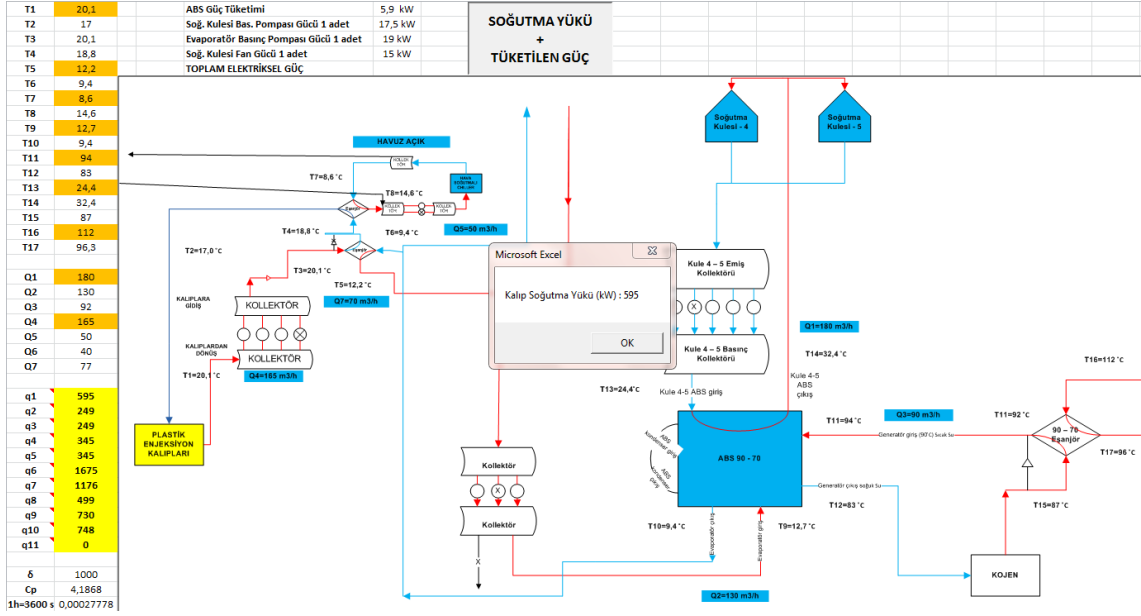


### 7.3.2 Kalıp soğutma sisteminin yaz konumu enerji modeli

Kalıp soğutma sisteminin yaz konumu modellemesinde birçok değişken parametre bulunmaktadır. Yaz konumu için değişkenlerin programda girildiği yerler turuncu renk ile gösterilmiştir. Aşağıda programın değişkenlerinin girildiği ancak yürütülmediği hali belirtilmiştir.



Kalıp soğutma sistemi yaz konumunda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda; absorpsiyon chiller ve hava soğutmalı chiller ile bağlantılı ekipmanların, kalıp soğutma eşanjörlerinin ortalama soğutma yükleri program yardımıyla hesaplanabilmektedir. Programın çalışma sistematığı Ek - 7'de belirtilmiştir.



## 7.4 Kalıp Soğutma Sisteminde Yapılan Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar

Kalıp soğutma sisteminde sıcaklık, debi ve elektriksel güç ölçümleri yapılmıştır.

### 7.4.1 Sıcaklık Ölçümü

Kalıp soğutma sistemi sıcaklık ölçümleri "Fluke 52 k/j" dijital termometresi ile yapılmıştır.



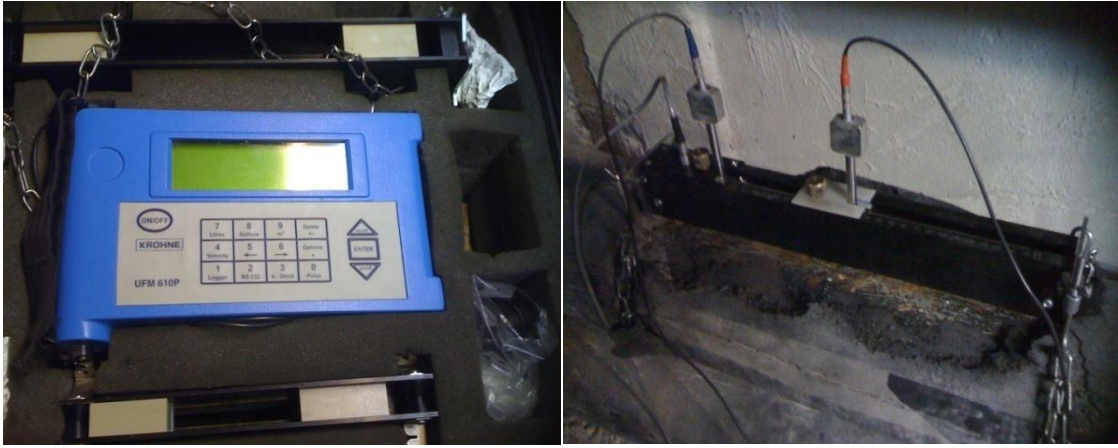
Şekil 7.3 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan sıcaklıkölçer

Ölçüm alınacak borulardaki sıcaklık ölçüm noktalarına k tipi probalar yerleştirilmiştir. Belirli süre beklenip, sıcaklık değişiminin zamanla durması sağlanmıştır. Sıcaklığın sabitlenmesi ile veriler okunmuş, ölçümler bir önceki veriler ile yorumlanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Ölçümlere başlanmadan termometre kalibre edilmiştir. Ayrıca termometreye bağlanan iki farklı prob ile, aynı nokta için ölçümler alınıp, ölçümlerde kesinlik ve doğruluk araştırılmıştır.

#### 7.4.2 Debi ölçümü

Kalıp soğutma sistemi debi ölçümleri "Krohne UFM 610P" model ultrasonik debi ölçer ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.4 Debi ölçümlerinde kullanılan ultrasonik debi ölçer

Suyun akış yönüne dikkat edilerek ultrasonik debi ölçer, yalıtımsız ve yüzeyi temizlenmiş bölgeye bağlantı elemanlarıyla sabitlenmiştir. Gönderilen sinyaller, problara sürülen ultrasonik jel yardımıyla boru içine ulaşır ve tekrar diğer proba geri döner. Sinyalin alınmasıyla ekranda hacimsel debi, hız ve sıcaklık değerleri belirlenir.

Ultrasonik debi ölçere veri girilmesi: Monitörde ana menüden hızlı başlama modunu seçip devam edilmiştir. Ölçülecek borunun birim sistemi seçeneğinde milimetre işaretlenmiştir. Devamında, ölçülecek borunun; boru dış çapı, boru et kalınlığı ve boru hat uzunluğu girilmiştir. Boru malzemesinin cinsi ve boru içinden geçen akışkanın özelliği de tanımlanmıştır. Ek - 8'de boru çapları verilmiştir.

#### 7.4.3 Elektriksel güç ölçümü

Kalıp soğutma sistemi elektriksel güç ölçümleri "VIP System-3" model analizör ile gerçekleştirilmiştir.





Şekil 7.5 Elektriksel güç ölçümlerinde kullanılan analizör

Akım problemleri, akım yönüne dikkat edilerek ilgili kablolarla yerleştirilmiştir. Mandallar da iletim elemanına tutturulup veri alımı gerçekleştirilmiştir. Belirli sürelerde (30 dakika, 60 dakika) veriler kontrol edilerek anlık ölçümlerden kaçınılmıştır.

### **7.5 Kalıp Soğutma Sisteminde Saptanan Enerji Tasarruf Potansiyeli**

Plastik enjeksiyon makinelerinin kalıplarını soğutan sistem kış ve yaz için incelenmiştir. Enerji modelleri oluşturularak enerji tasarruf potansiyelleri değerlendirilmiştir.

#### **7.5.1 Kuru soğutucular ve Hava soğutmalı Chiller'da sıcaklığa bağlı otomasyonun oluşturulması**

Kuru soğutucuların fanlarının çalıştırılması anlık mevsim koşullarına göre manuel gerçekleşmektedir. Manuel olan bu durumun yerine kontrol sistematığına geçilmesi öngörülmektedir. Kış konumunda ortalama kalıp dönüş sıcaklığı  $20,1^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Dış hava sıcaklığının  $18^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük olduğu ortamlarda kuru soğutucuların verimliliği artmaktadır.

Kontrol otomasyonunu sağlamak için set edilen dış hava sıcaklık sensörü ile  $18^{\circ}\text{C}$ 'nin altında kuru soğutucu fanlarının otomatik olarak çalışması ve soğutmanın sağlanması hedeflenmiştir. Bunun sonucu olarak, hava soğutmalı chillerın yerine kuru soğutucuların çalışmasıyla enerji tüketiminde tasarruf edileceği görülmüştür. Ayrıca sıcak havalarda kapatılması unutulmuş fanlar nedeniyle gereksiz kuru soğutucu çalıştırılmasına da son verilecektir.

### 7.5.1.1 Kuru soğutucular ve Hava soğutmalı Chiller’da sıcaklığa bağlı otomasyonda tasarruf değerleri

Mevcut kuru soğutucular ile hava soğutmalı chiller ekipmanlarının mevsim değişikliklerine göre çalışma durumu incelenmiştir. Ek-9’da kuru soğutucu ve hava soğutmalı chillerın birlikte çalışma senaryosu verilmiştir.

Kuru soğutucuların sıcaklık otomasyonu ile özellikle geçiş ayları olan Nisan, Mayıs, Eylül ve Ekim’de elde edilecek tasarruf miktarları ve ilgili teorik hesaplamalar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 Geçiş döneminde chiller yerine kuru soğutucuların kullanılması

	<b>Tasarruf (kWh)</b>	<b>TOPLAM TASARRUF GÜNLÜK (TL)</b>	<b>TOPLAM TASARRUF AYLIK (TL)</b>
<b>NİSAN</b>	64.290	405	12.144
<b>MAYIS</b>	23.498	143	4.439
<b>EYLÜL</b>	2.220	14	419
<b>EKİM</b>	38.564	235	7.285
<b>TOPLAM</b>	<b>128.572</b>	<b>797</b>	<b>24.287</b>

**Parasal karşılığı:**

$$128.572 \text{ kWh/yıl} * 0,1889 \text{ TL/kWh} = \underline{\underline{24.287 \text{ TL/yıl}}}$$

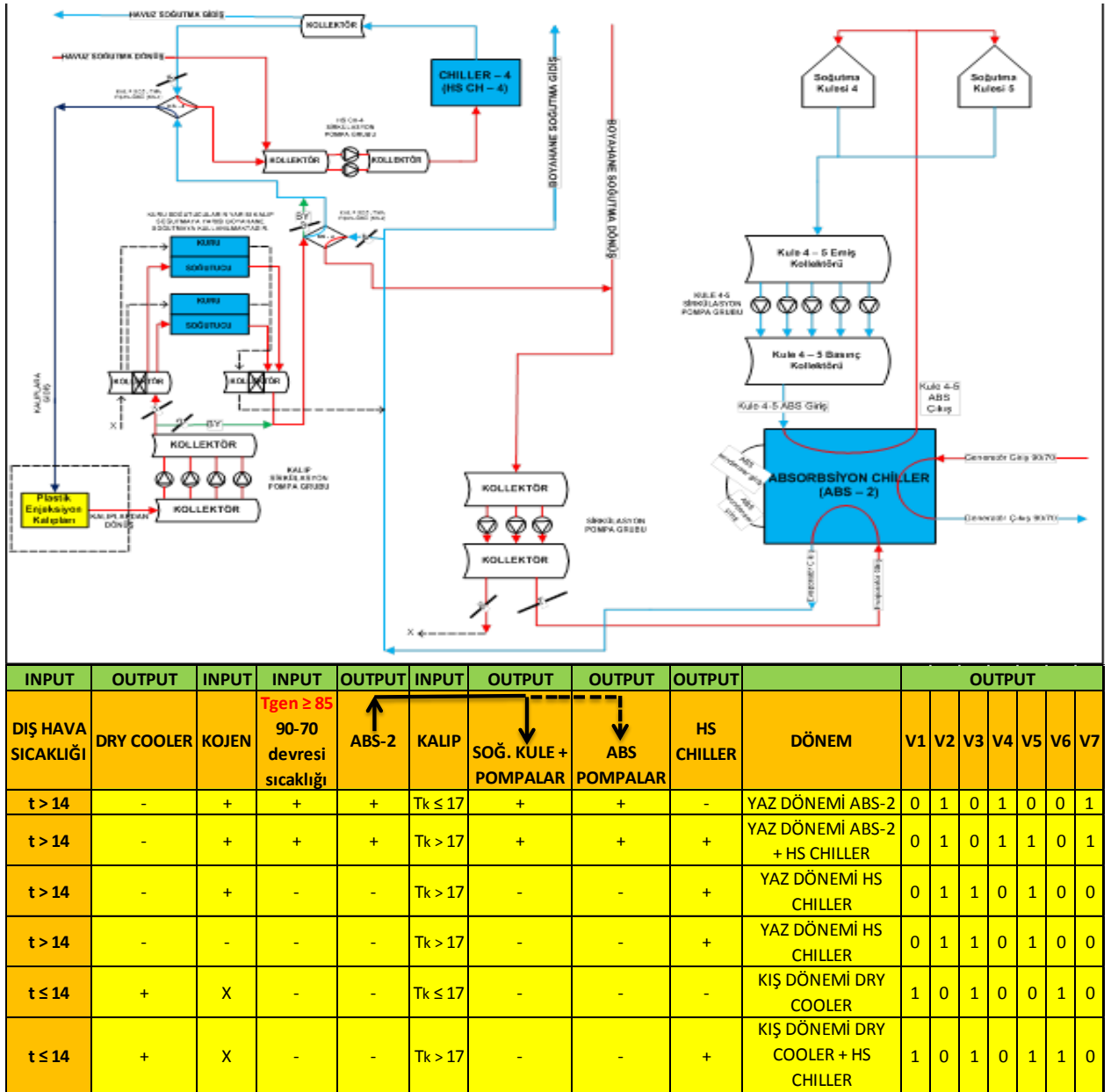
### **7.5.2 Mevsimsel değişimlere ve çalışmakta olan ekipmanların durumuna göre tüm kalıp soğutma sisteminde otomasyonun oluşturulması**

Mevcut kalıp soğutma sisteminde mevsimsel çalışma konumları manuel olarak operatörler yardımıyla yapılmaktadır. Bu durum kalıp soğutma sisteminde mevsimsel soğutma ihtiyacına göre gereken ve verimli olan soğutma ekipmanının devreye alınmasında eksiklik yaratmaktadır.

Mevcut kalıp soğutma sisteminde mevsimsel değişimlere ve çalışmakta olan ekipmanların durumuna göre tüm kalıp soğutma sisteminde otomasyonun oluşturulması üzerinde de çalışılmıştır.

Mevcut kalıp soğutma sisteminin kış ve yaz konumları için ekipman çalışma senaryoları çıkarılmıştır. Bu senaryolarda öncelikli ekipmanlar, kuru soğutucular ve absorpsiyon chillerler olarak dikkate alınarak enerji verimliliği göz önünde bulundurulmuştur. Son olarak bu ekipmanların çalışmasına rağmen soğutma ihtiyacı duyulmasında hava soğutmalı chiller desteği belirtilmiştir.

Toplam 6 adet senaryo mevcut olmakla beraber her birinin çalışma prensibi ve bu senaryolara uygun vana konumları aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.6 Tüm kalıp soğutma sistemi senaryoları ve ekipman dizilimi

**Senaryo 1:** Dış hava sıcaklığının  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den yüksek olduğu (yaz konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılmaz. Kojenerasyonun (06.00-22.00) ve buna bağlı absorbsiyon chillerin çalıştığı durumda, absorbsiyon generatör ( $90\text{-}70^{\circ}\text{C}$ ) devresinin  $85^{\circ}\text{C}$ 'den daha yüksek sıcaklıkta olduğu varsayılır. Bu durum ile kalıplara gönderilen soğuk su  $17^{\circ}\text{C}$ 'den az olduğu için herhangi başka bir soğutmaya ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla absorbsiyon chillerin desteklediği eşanjör ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V2, V4 ve V7 no'lu vanalar açık, V1, V3, V5 ve V6 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

**Senaryo 2:** Dış hava sıcaklığının 14 °C'den yüksek olduğu (yaz konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılmaz. Kojenerasyonun (06.00-22.00) ve buna bağlı absorpsiyon chillerin çalıştığı durumda, absorpsiyon generatör (90-70°C) devresinin 85°C'den daha yüksek sıcaklıkta olduğu varsayılır. Bu durum ile kalıplara gönderilen soğuk su 17°C'den fazla olduğu için hava soğutmalı chillerin devreye girmesi gerekmektedir. Dolayısıyla absorpsiyon chillera ve hava soğutmalı chillera bağlı eşanjörler ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V2, V4, V5 ve V7 no'lu vanalar açık, V1, V3 ve V6 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

**Senaryo 3:** Dış hava sıcaklığının 14 °C'den yüksek olduğu (yaz konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılmaz. Kojenerasyonun (06.00-22.00) ve buna bağlı absorpsiyon chillerin çalıştığı durumdur. Absorpsiyon generatör (90-70°C) devresinin 85°C'den daha az bir sıcaklıkta olduğu varsayılır. Absorpsiyon chiller, verimsiz olması nedeniyle çalıştırılmaz. Bu durum ile kalıplara gönderilen soğuk su 17°C'den fazla olacağı için hava soğutmalı chillerin devreye girmesi gerekmektedir. Dolayısıyla hava soğutmalı chillera bağlı eşanjör ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V2, V3 ve V5 no'lu vanalar açık, V1, V4, V6 ve V7 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

**Senaryo 4:** Dış hava sıcaklığının 14 °C'den yüksek olduğu (yaz konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılmaz. Kojenerasyonun (22.00-06.00) ve buna bağlı absorpsiyon chillerin çalışmadığı durumda, kalıplara gönderilen soğuk su 17°C'den az olacağı için hava soğutmalı chillerin devreye girmesi gerekmektedir. Dolayısıyla hava soğutmalı chillera bağlı eşanjör ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V2, V3 ve V5 no'lu vanalar açık, V1, V4, V6 ve V7 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

**Senaryo 5:** Dış hava sıcaklığının 14 °C'den az olduğu (kış konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılır. Kış döneminde absorpsiyon chiller soğutma için çalıştırılmamaktadır. Dolayısıyla kojenerasyon ve absorpsiyon chiller kış konumunda kalıp soğutma sistemine etkimemektedir. Kuru soğutucuların yeterli soğutma yükü ile kalıplara gönderilen soğuk su 17°C'den az olduğu varsayıldığı için hava soğutmalı chillerin devreye girmesi gerekmemektedir. Dolayısıyla kuru soğutuculara bağlı eşanjör ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V1, V3 ve V6 no'lu vanalar açık, V2, V4, V5 ve V7 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

**Senaryo 6:** Dış hava sıcaklığının 14 °C'den az olduğu (kış konumu) dönemdir. Kuru soğutucular çalıştırılır. Kış döneminde absorpsiyon chiller soğutma için çalıştırılmamaktadır. Dolayısıyla kojenerasyon ve absorpsiyon chiller kış konumunda kalıp soğutma sistemine etkimemektedir. Bu durum ile kalıplara gönderilen soğuk su 17°C'den yüksek olduğu varsayıldığı için hava soğutmalı chillerin devreye girmesi gerekmektedir. Dolayısıyla kuru soğutuculara ve hava soğutmalı chillera bağlı eşanjörler ile kalıp soğutma suyu soğutulmuş olur. V1, V3, V5 ve V6 no'lu vanalar açık, V2, V4 ve V7 no'lu vanalar kapalı konumdadır.

### 7.5.2.1 Tüm kalıp soğutma sistemi ile ilgili senaryoların modellenmesi

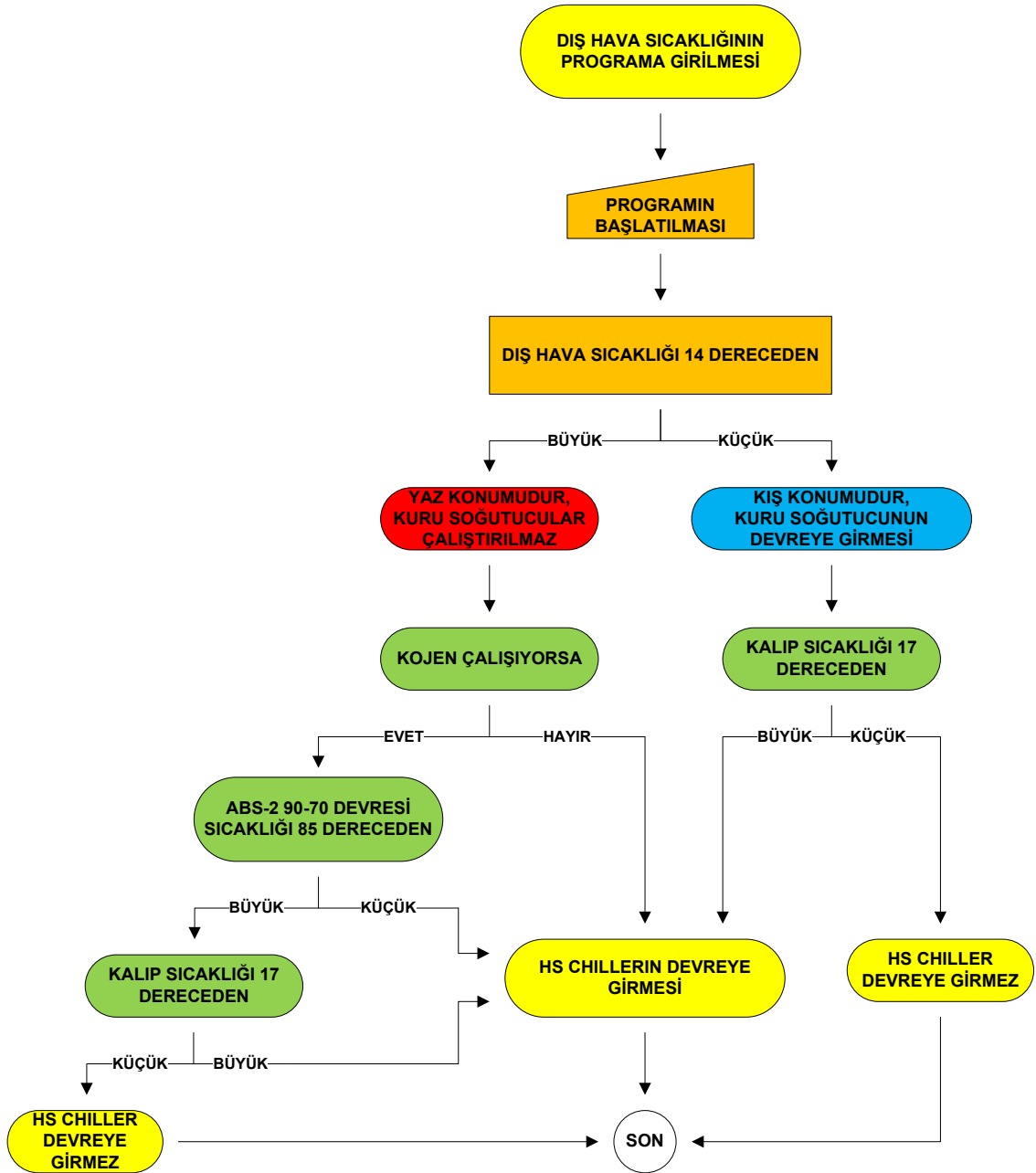
Tüm kalıp soğutma sistemi için belirlenen bu 6 senaryo için de modelleme geliştirilmiştir. Aşağıda örnek olarak “senaryo 2” için modelleme yürütülmüştür.

INPUT	INPUT	INPUT	INPUT														
Dış Hava Sic.	Kojen?	Tgen ≥ 85 90-70 dev. Sic.	Kalip Sic.	KALIP SENARYOLARI													
16																	
INPUT	OUTPUT	INPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	OUTPUT	OUTPUT		OUTPUT							
DIŞ HAVA SICAKLIĞI	RY COOLE	KOJEN	Tgen ≥ 85 90-70 devresi sıcaklığı	ABS-2	KALIP	KULE POMPAL	ABS POMPAL	HS CHILLER	DÖNEM	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	
t > 14	-	+	+	+	Tk ≤ 17						1	0	1	0	0	1	
t > 14	-	+	+	+	Tk > 17						1	0	1	1	0	1	
t > 14	-	+	-	-	Tk > 17			+	DÖNEMİ HS YAZ	0	1	1	0	1	0	0	
t > 14	-	-	-	-	Tk > 17			+	DÖNEMİ HS YAZ	0	1	1	0	1	0	0	
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk ≤ 17			-	DÖNEMİ HS KİŞ	1	0	1	0	0	1	0	
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk > 17			+	DÖNEMİ HS KİŞ	1	0	1	0	1	1	0	

INPUT	INPUT	INPUT	INPUT															
Dış Hava Sic.	Kojen?	Tgen ≥ 85 90-70 dev. Sic.	Kalip Sic.	KALIP SENARYOLARI														
16	+	+																
INPUT	OUTPUT	INPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	OUTPUT	OUTPUT			OUTPUT							
DIŞ HAVA SICAKLIĞI	RY COOLE	KOJEN	Tgen ≥ 85 90-70 devresi sicaklığı	ABS-2	KALIP	KULE POMPAL	ABS POMPAL	HS CHILLER	DÖNEM	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
t > 14	-	+	+	+	Tk ≤ 17					0	1	0	1	0	0	1		
t > 14	-	+	+	+	Tk > 17					0	1	0	1	1	0	1		
t > 14	-	+	-	-	Tk > 17	-	-	+	ABS-2 HS YAZ DÖNEMİ	0	1	1	0	1	0	0		
t > 14	-	-	-	-	Tk > 17	-	-	+	HS YAZ DÖNEMİ	0	1	1	0	1	0	0		
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk ≤ 17	-	-	-	HS YAZ DÖNEMİ	1	0	1	0	0	1	0		
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk > 17	-	-	+	HS YAZ DÖNEMİ	1	0	1	0	1	1	0		
									CHILLER KİŞ DÖNEMİ									
									DRY KİŞ DÖNEMİ									
									DRY COOLER +									
INPUT	INPUT	INPUT	INPUT															
Dış Hava Sic.	Kojen?	Tgen ≥ 85 90-70 dev. Sic.	Kalip Sic.	KALIP SENARYOLARI														
16	+	+																
INPUT	OUTPUT	INPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	OUTPUT	OUTPUT			OUTPUT							
DIŞ HAVA SICAKLIĞI	RY COOLE	KOJEN	Tgen ≥ 85 90-70 devresi sicaklığı	ABS-2	KALIP	KULE POMPAL	ABS POMPAL	HS CHILLER	DÖNEM	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
t > 14	-	+	+	+	Tk ≤ 17					0	1	0	1	0	0	1		
t > 14	-	+	+	+	Tk > 17					0	1	0	1	1	0	1		
t > 14	-	+	-	-	Tk > 17	-	-	+	ABS-2 HS YAZ DÖNEMİ	0	1	1	0	1	0	0		
t > 14	-	-	-	-	Tk > 17	-	-	+	HS YAZ DÖNEMİ	0	1	1	0	1	0	0		
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk ≤ 17	-	-	-	HS YAZ DÖNEMİ	1	0	1	0	0	1	0		
t ≤ 14	+	X	-	-	Tk > 17	-	-	+	HS YAZ DÖNEMİ	1	0	1	0	1	1	0		
									CHILLER KİŞ DÖNEMİ									
									DRY KİŞ DÖNEMİ									
									DRY COOLER +									

Şekil 7.7 Tüm kalıp soğutma sistemi senaryolarının modellenmesi

Programın akış şeması şekilde verilmiştir.



Şekil 7.8 Tüm kalıp soğutma sistemi modelinin akış diyagramı



### 7.5.2.2 Tüm kalıp soğutma sisteminde oluşturulacak otomasyon ile ilgili tasarruf değerleri

Mevsimsel değişkenliklere göre kuru soğutucu, chiller ve absorpsiyon chiller soğutma ekipmanları arasında en uygun çalışma sistematığının oluşturulmasıyla tüm kalıp soğutma sisteminde otomasyon gerçekleştirilecektir. Bu otomasyon sistemi ile sağlanacak teorik tasarruf değerleri aşağıda verilmiştir. 170.000 kWh/yıl değerinde tasarruf öngörülmüştür.

#### Parasal karşılığı:

170.000 kWh/yıl \* 0,1889 TL/kWh = **32.113 TL/yıl**

#### Yatırım maliyeti:

Mühendislik çalışmaları, malzemeler, panolar ve enstrümanlar (PT100, limit switch vb.) dâhil, toplam maliyet: **84.016 TL**

#### Geri ödeme süresi:

2,62 Yıl

#### Tep karşılığı

14,62 TEP

#### Karbondiyoksit azalması

85.914 KgCO<sub>2</sub>

## 7.6 Plastik Üretim Tesislerinin Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği

Plastik üretimi yapan tesislerde, mevcut durumda kullanılan soğutma sisteminin tamamen tasarımının değiştirilip yeni bir sistem tasarlanmasıyla enerji tüketiminde tasarruf edilebileceği gibi bazı durumlarda küçük ancak çok sayıda önlem ile enerji tüketiminde büyük ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir. Özellikle yeni soğutma sistemi yatırımlarının çok masraflı olmasından dolayı yeni yatırımların imkânsız olması durumunda, mevcut sistemin kullanımı ve bakımı ile ilgili tavsiye edilen noktaların üzerinde teker teker durulması halinde toplam enerji tüketimi açısından çok büyük kazançlar elde edilebilecektir.

Plastik fabrikalarında soğutma sistemlerinde kullanılan enerji tüketim miktarı, soğutma suyunun kullanıldığı ekipmanların tasarımına ve bakım durumuna bağlıdır. Bu anlamda, soğutma suyunun kullanıldığı üretim ekipmanlarında şunlara dikkat edilmelidir;

- Plastik kalıplarında mecbur olmadıkça sıcak yolluk sistemleri kullanılmamalıdır.
- Plastik kalıplarında ve ekstruder merdanelerinde bulunan soğutma kanallarının tasarımına önem verilmelidir.
- Plastik kalıplarında ve ekstruderlerde bulunan soğutma kanallarının periyodik olarak temizliği yapılmalı, tıkanıklar giderilmelidir.
- Plastik enjeksiyon preslerde gereğinden fazla hidrolik motor güçleri tercih edilmemelidir. Kalıplar mümkün olan en düşük tonajdaki enjeksiyon preslerde kullanılmalıdır.
- Enjeksiyon preslerde bulunan hidrolik yağ soğutma eşanjörleri tasarımına özen gösterilmeli, hazır olarak alınan sistemler gerekli hesaplamalar yapılarak kontrol edilmelidir.
- Plastik kalıplarında ve ekstruderlerde plastik hammadde gereğinden fazla sıcaklıklara kadar ısıtılmamalıdır.
- Plastik kalıplardan ve ekstruderlerden parçaların çıkış sıcaklıkları mümkün olan en yüksek değerlerde seçilmelidir.
- Plastik parça tasarımında mümkün olduğunca az plastik hammadde kullanılmalı, bu sayede soğutma ihtiyacı azaltılmalıdır.

### 7.6.1 Chiller üniteleri için enerji tüketiminin azaltılması için dikkat edilecek hususlar

Chiller ünitelerinde, enerji tüketiminde azalma sağlanması için aşağıdaki noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Chiller ünitesinde elde edilmek istenen su çıkış sıcaklığının, üretim ekipmanlarının el verdiği en yüksek değerde olmasına özen gösterilmelidir.
- Kondenser soğutma suyu sıcaklığı ekipmanın kullanma talimatlarında yazan en düşük değere yakın olarak temin edilmelidir.
- Belirli periyotlarda soğutma sisteminde kullanılan soğutma suyunun kimyasal analizi yapılmalıdır. Soğutma suyuna katılan katkıların soğutma hesaplarını değiştireceği konusu göz önünde bulundurulmalıdır.
- Chiller sistemine su getiren ve prosese suyu dağıtan boruların yalıtımına özen gösterilmelidir. Borulama yapılırken ısı kaynaklarının yakınından boru geçmemesine özen gösterilmelidir.
- Sistemde kullanılan pompa ve fan güçleri optimum şekilde seçilmelidir. Çok yüksek kapasitelerde gereksiz fanlar ve pompalar kullanılmamalıdır.
- Chiller ünitesi düzenli olarak bakımdan geçirilmelidir. Yapılan bakımlarda soğutucu akışkan miktarı ve boru bağlantı noktalarında kaçaklar kontrol edilmelidir.
- Chiller ünitesinin çalışma değerleri düzenli olarak raporlanmalı ve kontrol edilmelidir. Kontrol limitleri dışındaki durumlarda sebepler sorgulanmalı, tedbirler alınmalıdır.
- Chiller ünitesinde doğru soğutucu akışkan kullanıldığından emin olunmalıdır. Eski model chiller üniteleri yeni teknolojilerle kıyaslanmalı iyileştirme olanakları sisteme aktarılmalıdır.
- Buharlaştırıcılarda, kondenserlerde ve ısı değiştirici ünitelerinde kirli bölgeler ısı transfer katsayısını düşüreceği için, düzenli olarak temizlenmelidir.
- Chiller sistemine soğutulacak su girmeden önce doğal yollarla ön soğutma yapılabilmektedir. Bu durum çalışılan bölgenin iklim koşulları da göz önüne alınarak gözden geçirilmelidir.

### **7.6.2 Soğutma kuleleri ve ısı değiştiricili sistemler için enerji tüketiminin azaltılması için dikkat edilecek hususlar**

Soğutma kuleleri ve ısı değiştiricili sistemlerde enerji verimliliği için su noktalara dikkat edilmelidir;

- Soğutma kulesi kullanılan fanlar değişken devirli ve PLC sistemlerce kontrol edilebilir olmalıdır. Bu sayede gerek olmayan durumlarda fanlar yavaş devirde çalışabilir veya kapatılabilir.
- Soğutma kulesinde kullanılan soğutma suyunun kimyasal yapısı periyodik olarak analiz edilmelidir.
- Soğutma kulesinde bulunan hava giriş kanallarının pozisyonu ve kanalların temizliğine dikkat edilmelidir.
- Soğutma kulesi fanları düzenli olarak kontrol edilmeli, mekanik zorlanmalara karşı önlem alınmalıdır.
- Soğutma kulesinde bulunan metal parçalar korozyona karşı kontrol edilmelidir.
- Soğutma kulesinde kullanılan su miktarı düzenli olarak raporlanmalı ve sızıntılara, su kaçaklarına karşı önlem alınmalıdır.
- Isı değiştirici sistemlerde, hava akısını sağlayan fanların değişken devirli olmasına dikkat edilmelidir.
- Isı değiştiricilerde bulunan kanatların yüzey temizliği ihmal edilmemeli pislik birikintilerine ve paslanmalara karşı periyodik kontrol edilmelidir.
- Isı değiştirici sistemlerde bulunan bağlantı elemanları ve su boruları kontrol edilmeli kaçaklara karşı önlem alınmalıdır.

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Enerji kaynaklarının giderek azaldığı ve bu kaynakların kullanımı sırasında açığa çıkan çevre sorunlarının giderek arttığı günümüz koşullarında, enerji tüketim değerlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar çok büyük önem kazanmıştır. Plastik hammadde kullanımının giderek arttığı düşünülürse, plastik üretim tesislerinde kullanılan enerji, dünya enerji tüketim içerisinde çok önemli boyutlara ulaşacaktır. Bu sebeple, plastik sektöründe kullanılan üretim tekniklerine ve ekipmanlarına yönelik enerji tüketimi azaltma projelerinin artması çok büyük önem arz etmektedir.

Yapılan bu üretimde enerji verimliliği çalışması ile plastik üretimi yapan tesislerde kullanılan soğutma sistemlerinin enerji tüketimini azaltmaya yönelik önemli bulgular elde edilmiştir.

Plastik üretim tesislerde ekipmanlarda kullanılması gereken optimum soğutma suyu sıcaklıkları ve debi miktarlarının bulunmasına yönelik yapılan çalışmalarda önemli bulgular elde edilmiştir. Plastik kalıplarında kullanılacak olan soğutma suyu sıcaklığının, nihai ürün başına oluşan çevrim süresini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Soğutma suyunun belirli bir sıcaklığa kadar düşmesinin ardından, çevrim süresine etkisinin azaldığı proses incelenerek görülmüştür. Bu durumda kullanılacak soğutma suyu sıcaklığının seçilmesi sırasında, maliyet analizinin gerekliliği tespit edilmiştir. Soğutma suyunun belirli sıcaklıklara düşürülmesi sonucu elde edilecek çevrim kazancının, yapılan masrafları karşılayıp karşılamadığına bakılarak uygun soğutma suyu sıcaklığı seçilmelidir.

Plastik üretim tesislerinde oluşan soğutma yükünü istenilen soğutma suyu sıcaklığı ve debi değerlerinde karşılamak üzere kullanılan soğutma sistemleri bu çalışma dâhilinde incelenmiştir. Chiller üniteleri, soğutma kuleleri ve ısı değiştiricili sistemler plastik fabrikalarında yoğun olarak kullanılan soğutma sistemleridir.

Chiller üniteleri diğer soğutma ünitelerine göre fazla enerji tüketimi yapmasına rağmen, bazı durumlar için kullanılması kaçınılmazdır. Chiller ünitelerinin sağladığı en önemli avantaj çok değişken iklim koşullarına rağmen istenilen soğutma suyu sıcaklığının çok düşük değerlerde elde edilebiliyor olmasıdır. Özellikle daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyu sıcaklığının çevrim sürelerini azalttığı düşünülürse, chiller sistemleri yüksek enerji maliyetlerine rağmen sağladığı kapasite kazancı ve makine kullanım sürelerinde sağladığı kazanç nedeniyle tercih edilebilmektedir.

Absorbsiyon chillerlar, ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği ve kapladığı alanların fazla olmasına karşın; sağladığı enerji tasarrufu ve bunun sonucunda sera gazı miktarını azaltması nedeniyle oldukça avantajlıdır. Özellikle yüksek sıcaklıkta bir ısı kaynağı var ise bu sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır.

Soğutma kuleleri ve ısı değiştiricili üniteler ise chiller ünitelerine göre çok düşük enerji tüketim değerlerine sahiptir. Ancak en büyük dezavantajları iklim koşullarına göre sağladıkları soğutma suyu sıcaklık değerleri değişmektedir. Bu durum özellikle yaz aylarında bu sistemlerin enjeksiyon kalıplarında kullanılmalarını engelleyebilmektedir. Soğutma kuleleri ve ıslak/kuru ısı değiştiricili sistemlerde yaş termometre sıcaklığına 3 °C'ye kadar yaklaşabilmektedir. Kuru ısı değiştiricili sistemler ise kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 3 °C üzerinde soğutma suyu sıcaklığını ancak elde edebilmektedir.

Plastik üretim tesislerinde soğutma yükü hesaplamaları ve kullanılan soğutma sistemleri konusunda elde edilen bilgiler, İstanbul ilinde plastik parça üretimi yapan bir plastik fabrikası için uygulanmıştır. İlk olarak yaz ve kış konumlarında enjeksiyon kalıpları için gereken soğutma yükü, ekipmanlarda kullanılması gereken soğutma suyu sıcaklıkları ve debi değerleri ölçülmüştür. Daha sonra mevcut soğutma sistemi değerlendirilerek iyileştirme olanakları elde edilmiştir.

İstanbul ili iklim koşulları gereği yaz ve kış konumu olmak üzere her soğutma sistemi için iki ayrı konum değerlendirilmiştir. İşletmede kojenerasyon, mevcut soğutma

sisteminde kuru soğutucular olduğu için, enjeksiyon kalıplarının soğutma yükü için kış konumunda kuru soğutucular, yaz konumunda ise absorpsiyon chiller ünitelerinin kullanılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.

Enjeksiyon makinelerinin kalıp soğutma sistemlerinin analizi sonucunda, söz konusu plastik parça üretimi yapılan fabrikada kalıp soğutma suyu sıcaklığının 17 °C olması uygun görülmüştür. Bu sıcaklık daha düşük sıcaklıklarda plastik parça üzerinde yoğuşma gerçekleşmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise yeterli soğutma olmamakta, çevrim süresi uzamaktadır.

Yapılan çalışmalar, plastik parça üretimi yapan işletmelerde kullanılan soğutma sistemlerinde, soğutma yükü hesabının ve ekipmanlarda kullanılması gereken optimum soğutma suyu sıcaklığının tespitinin çok önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca mevsimsel koşullara göre en uygun soğutma ekipmanının kullanılmasının önemli ölçüde enerji tüketimini azaltacağı görülmüştür. Plastik parça üretimi yapan işletmede yapılan örnek çalışma ile bu konuda elde edilebilecek kazançların çok büyük maliyet avantajları getireceği gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Charles, A. H., 2006, Handbook of plastics Technologies, McGraw-Hill Companies, 1-2.
- [2] Akkurt, S., 2007, Plastik malzeme bilimi teknolojisi ve kalıp tasarımı, Birsen Yayınevi, 14.
- [3] Rees, H., 2002, Mold engineering, Hanser Publishers, 280-284, 344-350.
- [4] BASF Corporation Engineering Plastics, 2007, Estimating cooling times in injection molding, BASF The Chemical Company, 3-7.
- [5] Acül, H., 2007, "Soğuk sulu iklimlendirme ve proses soğutma uygulamalarında enerji tasarruflu serbest (doğal) soğutma sistemleri", Friterm A.Ş. Tescon 2007 Bildirisi, 12-18.
- [6] Bolazar, F.,t.y., Plastik sanayinde soğutma uygulamaları yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması, Friterm A.Ş., 1-4.
- [7] Herold, K., E., Radermacher R. ve Sanford, A., K., 1996, Absorption chiller sand heat pumps, CRC Press, 120.
- [8] Rishel, J. B., 2006, Hvac Pump Handbook 2ND Edition, McGraw-Hill Companies, 377- 381.
- [9] Çengel, Y., A., Boles, M., 1996, Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, (Çev. Derbentli, T.), Literatür Yayıncılık Dağıtım, 647.
- [10] Genskow L. R., Beimesch W. E., Hecht J. P., Kemp I., Langrish T., Schwartzbach C. ve Smith F. L., 2008, Perry's chemical engineers' handbook section 12, McGraw- Hill Companies, 17-20.
- [11] Incropera, F., P., Dewitt, D., P., 2001, Isı ve kütle geçişinin temelleri, (Çev. Derbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Hepbaslı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y.,) Literatür Yayıncılık Dağıtım, 647.
- [12] Bölükbaşı, D. Çağlar, 2009, Bir Plastik Fabrikasının Soğutma Yükünün Hesaplanması Ve Soğutma Sisteminin Enerji Tüketimi Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezi.



**ÇEŞİTLİ MALZEMELER İÇİN ISI NÜFUS KATSAYISI (BASF Corporation  
Engineering Plastics, 2007)**

Çizelge EK-A.1 Isı nüfus katsayıları

Malzeme	Isı Kapasite Katsayısı ( kg / s <sup>1/2</sup> . K )
Luran®	650
Luran® S	500
Polystyrol	550
Styrolux®	490
Terluran®	570
Ultraform®	560
Ultramid® A	785
Ultramid® A3... G6	805
Ultramid® B	730
Ultramid® B3... G6	800
Steel X40CrMoV51	9445
Steel X155 CrVM121	10387
Steel X35CrMo17	8214
Steel X5CrNiCuNb1744	7620
Aluminium alloy AlMg3	18500
Aluminium alloy AlMg4.5Mn	17000
Aluminium alloy AlMg Si1	21500
Aluminium alloy AlCuMg1	20000
Aluminium alloy AlCuMg2	18500
Aluminium alloy AlCuSiMn	20500
Aluminium alloy AlZnMgCu0.5	18500
Aluminium alloy AlZnMgCu1.5	18500
Zamak 430 zinc alloy ZnAl4Cu3	16900
Copper/Beryllium. CuBe2	18390
Copper/Beryllium. CuCo2Be	26227

## SU İÇİN ISIL ÖZELLİKLER TABLOSU

Çizelge EK-B.1 Su için ısı özellikler tablosu

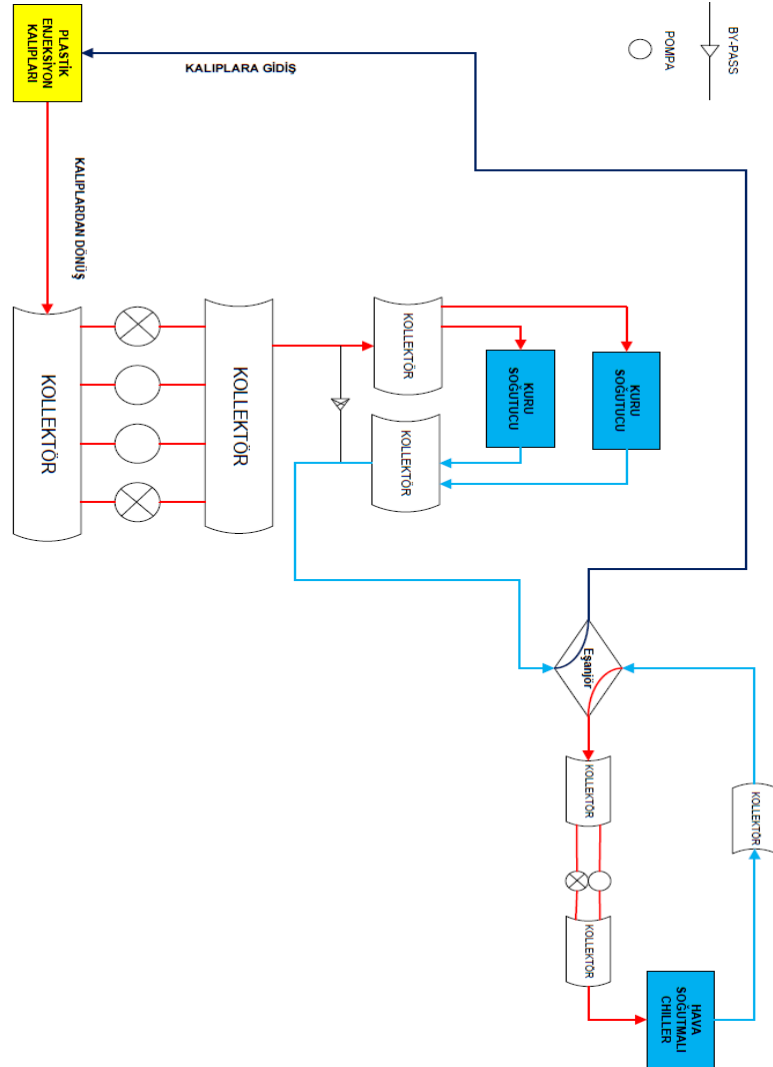
Sıcaklık, $T$ (K)	Basınç, $P$ (bar) <sup>b</sup>	Özgül Hacim (m <sup>3</sup> /kg)		Buharlaşma Isısı $h_{fg}$ (kJ/kg)	Özgül ısı (kJ/kg · K)		Viskozite (N · s/m <sup>2</sup> )		Isı İletim katsayısı		Prandtl Sayısı		Yüzey Gerilmesi	Genleşme	Sıcaklık $T$ (K)
		$v_f \cdot 10^3$	$v_g$	$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	$Pr_f$	$Pr_g$	$\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	$\beta_f \cdot 10^6$ (K <sup>-1</sup> )		
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	s	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	688	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4165	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

## İSTANBUL İLİNE AİT SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIM DEĞERLERİ

Çizelge EK-C.1 Soğutma sistemi tasarım değerleri

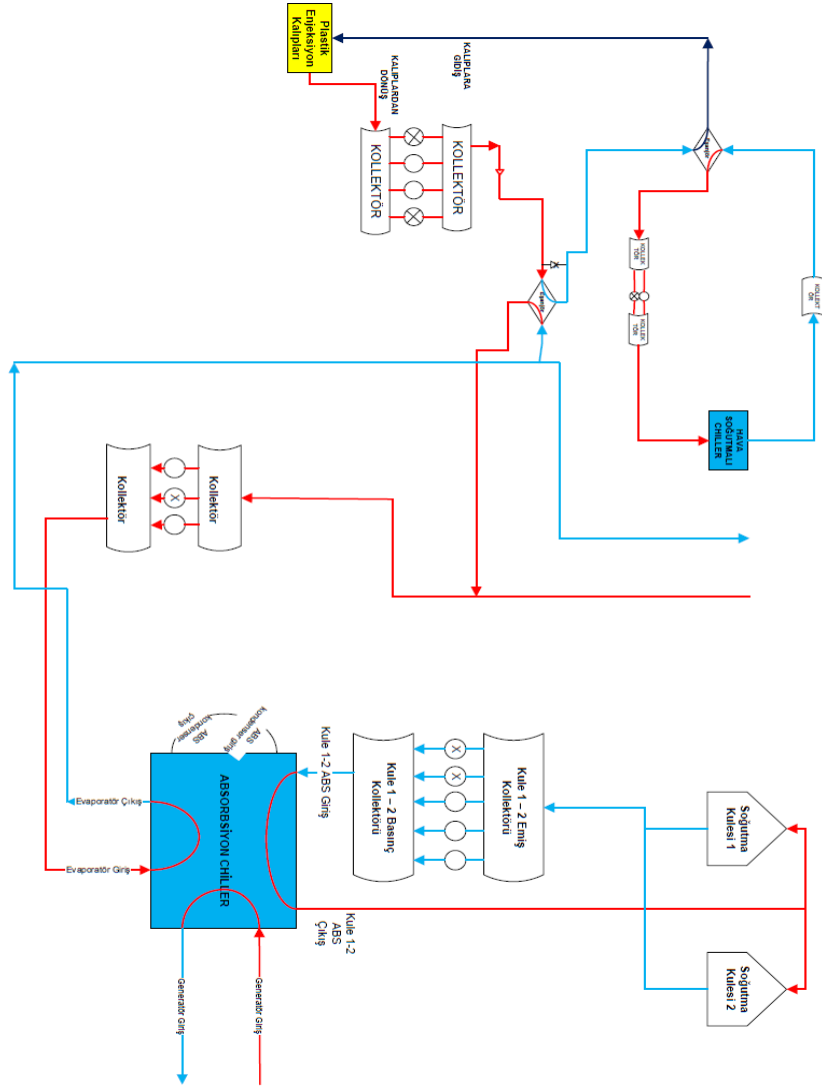
		Adana	Ankara	Erzurum	Eskişehir	Istanbul	Izmir	Malatya	Van	Antalya	
Soğutma Tasarım Şartları	0.4% KT/YT	Bu Çalışma	36.3/21.2	33.0/18.5	29.5/18.0	32.4/18.4	30.3/21.9	35.1/22.8	36.0/20.7	29.6/18.7	37.7/21.1
		ASHRAE 9	36.1/21.7	32.2/17.2	28.9/16.1	32.2/20.0	30.0/21.1	35.6/22.2	36.1/20.0	28.9/18.9	-
		TTMD	-	33.2/18.2	-	-	30.4/20.5	35.2/22.1	-	-	37.6/21.0
	1% KT/YT	Bu Çalışma	34.9/21.5	31.4/18.3	28.1/17.8	30.6/18.2	29.1/21.6	33.7/22.5	34.7/20.3	28.4/18.4	35.9/21.0
		ASHRAE 9	34.4/21.7	30.0/17.2	27.8/15.6	30.6/19.4	28.9/20.6	33.9/21.7	35.0/19.4	27.8/18.9	-
		TTMD	-	31.7/17.6	-	-	29.1/21.0	33.9/22.7	-	-	35.9/21.5
		ASHRAE 9	38.0/26.0	34.0/20.0	-	-	33.0/24.0	37.0/24.0	-	-	-
	İleri ve Üner		36.0/-	33.8/-	29.5/-	-	30.7/-	35.9/-	36.0/-	29.3/-	37.8/-
	2% KT/YT	Bu Çalışma	33.8/21.9	29.9/18.0	26.7/17.3	29.1/17.9	28.0/21.4	32.5/22.3	33.4/20.0	27.4/18.1	34.1/20.8
		ASHRAE 9	33.3/22.2	28.9/16.7	26.1/15.0	29.4/18.9	28.3/20.6	32.8/21.1	33.9/18.9	26.7/18.3	-
		TTMD	-	30.0/17.1	-	-	28.1/20.6	32.6/22.8	-	-	34.2/21.3
	Max KT	Bu Çalışma	40.5	36.3	32.6	35.9	34.6	39	39.2	32.7	41.8
		ASHRAE 9	39.4	35.0	31.1	35.6	35.0	38.3	38.9	32.2	-
		TTMD	-	36.0	-	-	33.3	37.9	-	-	40.8
	Günlük KT Sıcaklık Farkı	Bu Çalışma	11.0	14.5	17.6	17.1	9.0	10.7	14.5	13.2	13.1
		ASHRAE 9	11.0	15.8	16.6	14.4	8.5	12.8	15.2	10.8	-
		TTMD	11.4	10.5	11.8	12.3	6.8	8.4	10.4	11.5	10.5
Isıtma Tasarım Şartları	99.6% KT	Bu Çalışma	1.9	-9.4	-26.2	-9.8	-1.1	1.0	-8.4	-13.4	1.8
		ASHRAE 9	0.0	-16.7	-30.6	-11.1	-3.3	-2.2	-12.2	-14.4	-
		TTMD	-	-10.0	-	-	-2.0	0.3	-	-	1.4
	99% KT	Bu Çalışma	3.2	-7.8	-23.1	-8.2	-0.3	1.9	-6.7	-11.6	2.8
		ASHRAE 9	1.1	-13.3	-27.2	-8.9	-1.7	-0.6	-8.9	-12.8	-
		TTMD	-	-7.9	-	-	-0.5	1.6	-	-	2.5
		ASHRAE 9	1.1	-13.0	-	-	-2.0	-3.0	-	-	-
	İleri ve Üner		0.9	-11.2	-31.8	-	-1.5	0.0	-11.3	-14.0	0.9
	Min KT	Bu Çalışma	-1.2	-12.6	-31.9	-15.5	-3.6	-1.4	-11.9	-17.7	-0.8
		ASHRAE 9	-3.3	-18.9	-33.3	-14.4	-8.1	-4.4	-16.1	-16.7	-
		TTMD	-	-13.3	-	-	-3.6	-1.3	-	-	-0.2

## ÇMİ İŞLETMESİ KIŞ KONUMU MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ

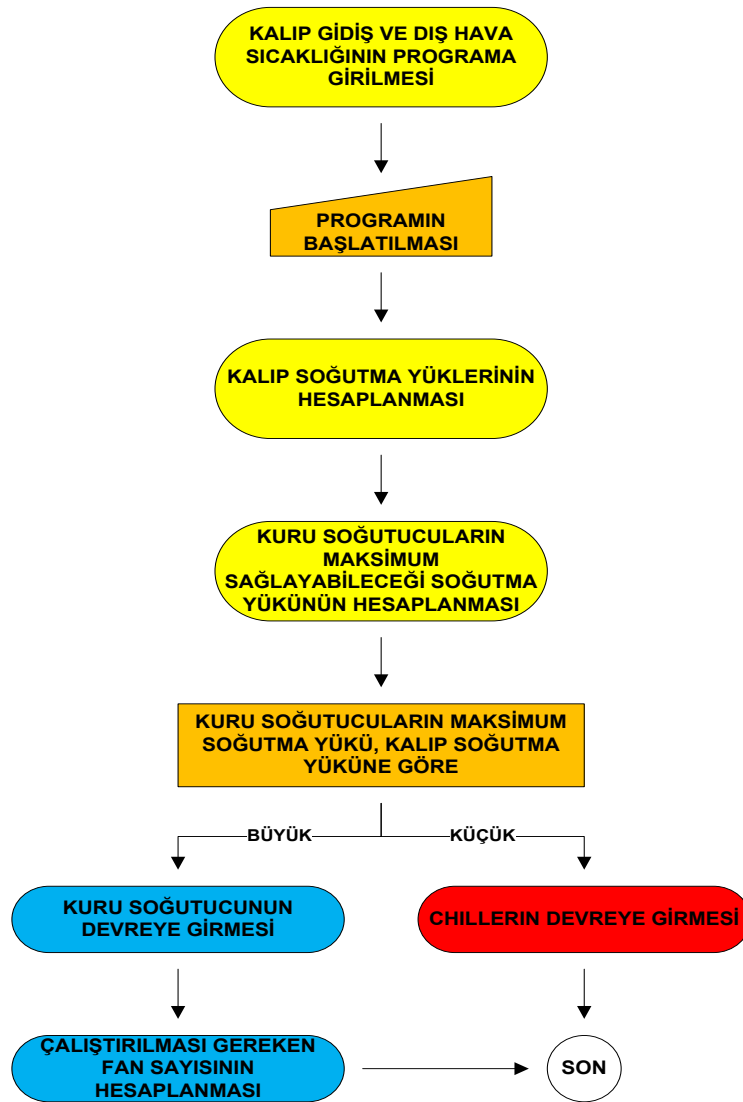


Şekil EK-D.1 Kış konumu mevcut soğutma sistemi

## ÇMİ İŞLETMESİ YAZ KONUMU MEVCUT SOĞUTMA SİSTEMİ



Şekil EK-E.1 Yaz konumu mevcut soğutma sistemi

**KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ KIŞ KONUMU ENERJİ MODELİ AKIŞ DİYAGRAMI**

Şekil EK-F.1 Kış konumu enerji modeli akış diyagramı

---

**KALIP SOĞUTMA SİSTEMİ YAZ KONUMU ENERJİ MODELİ AKIŞ  
DİYAGRAMI**



Şekil EK-G.1 Yaz konumu enerji modeli akış diyagramı

## KALIP SİRKÜLASYON ve SOĞUTMA KULESİ SİRKÜLASYON HATLARININ BORU ÇAPLARI

Çizelge EK-H.1 Boru çaplarının gösterimi

Nominal Çap	Dış Çap	SCH 5	SCH 10	SCH 20	STD	SCH 40	SCH 60	XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	XXS
DN	Inch	Mm	Et Kalınlıkları ( mm )											
3	1/8"	10,3	0,89	1,24		1,73	1,73		2,41	2,41				
6	1/4"	13,7	1,24	1,65		2,24	2,24		3,02	3,02				
10	3/8"	17,1	1,24	1,65		2,31	2,31		3,20	3,20				
15	1/2"	21,3	1,65	2,11		2,77	2,77		3,73	3,73				4,75 7,47
20	3/4"	26,7	1,65	2,11		2,87	2,87		3,91	3,91				5,54 7,82
25	1"	33,4	1,65	2,77		3,38	3,38		4,55	4,55				6,35 9,09
32	1 1/2"	42,2	1,65	2,77		3,56	3,56		4,85	4,85				6,35 9,70
40	1 1/2"	48,3	1,65	2,77		3,68	3,68		5,08	5,08				7,14 10,16
50	2"	60,3	1,65	2,77		3,91	3,91		5,54	5,54				8,71 11,07
65	2 1/2"	73,0	2,11	3,05		5,16	5,16		7,01	7,01				9,53 14,02
80	3"	88,9	2,11	3,05		5,49	5,49		7,62	7,62				11,10 15,24
90	3 1/2"	101,6	2,11	3,05		5,74	5,74		8,08	8,08				16,15
100	4"	114,3	2,11	3,05		6,02	6,02	7,14	8,56	8,56		11,10		13,49 17,12
112	4 1/2"	127,0				6,27			9,02					18,03
125	5"	141,3	2,77	3,40		6,55	6,55		9,53	9,53		12,70		15,88 19,05
150	6"	168,3	2,77	3,40		7,11	7,11		10,97	10,97		14,27		18,24 21,95
175	7"	193,7				7,65			12,70					22,23
200	8"	219,1	2,77	3,76	6,35	8,18	8,18	10,31	12,70	12,70	15,06	18,24	20,62	23,01 22,23
225	9"	244,5				8,69			12,70					
250	10"	273,1	3,40	4,19	6,35	9,27	9,27	12,70	12,70	15,06	18,24	21,41	25,40	28,58
275	11"	298,5				9,53			12,70					
300	12"	323,9	4,19	4,57	6,35	9,53	10,31	14,27	12,70	17,48	21,41	25,40	28,58	33,32
350	14"	355,6		6,35	7,92	9,53	11,10	15,06	12,70	19,05	23,80	27,76	31,75	35,71
400	16"	406,4		6,35	7,92	9,53	12,70	16,66	12,70	21,41	26,19	30,94	36,50	40,46
450	18"	457,2		6,35	7,92	9,53	14,27	19,05	12,70	23,80	29,36	34,93	39,67	45,24
500	20"	508,0		6,35	9,53	9,53	15,06	20,62	12,70	26,19	32,51	38,10	44,45	49,99
550	22"	558,8		6,35	9,53	9,53		22,23	12,70	28,58	34,93	41,28	47,63	53,98
600	24"	609,6		6,35	9,53	9,53		24,59	12,70	30,94	38,89	46,02	52,37	59,51
650	26"	660,4		7,92	12,70	9,53			12,70					
750	30"	762,0		7,92	12,70	9,53			12,70					
800	32"	812,8		7,92	12,70	9,53	17,48		12,70					
900	36"	914,4		7,92	12,7	9,53	19,05		12,70					
1050	42"	1.066,8				9,53			12,7					
1200	48"	1.219,2				9,53			12,7					



## KIŞ KONUMU KURU SOĞUTUCU ve HAVA SOĞUTMALI CHILLER ÇALIŞMA SENARYOSU

KURU SOĞUTUCU VE HAVA SOĞUTMALI CHILLER BİRLİKTE ÇALIŞMA SENARYOSU (ÇAYIROVA)																				
Sıcaklık Aralığı (°C)	(-9/-6)	(-6/-3)	(-3/0)	(0/2)	(2/5)	(5/8)	(8/11)			(11/14)			(14/17)			(17/20)				
							9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Çalışma Aralığı	%100 Doğal Soğutma 4 Fan Çalışır	%100 Doğal Soğutma 6 Fan Çalışır	%100 Doğal Soğutma 8 Fan Çalışır	%100 Doğal Soğutma 10 Fan Çalışır	%100 Doğal Soğutma 12 Fan Çalışır	%100 Doğal Soğutma 14 Fan Çalışır	%28 Mekanik Soğutma	%45 Mekanik Soğutma	%73 Mekanik Soğutma	%100 Mekanik Soğutma Bölgesi	%55 Doğal Soğutma (14 Fan)	%27 Doğal Soğutma (14 Fan)	%72 Doğal Soğutma (14 Fan)	%100 Doğal Soğutma Bölgesi					Kısmi Soğutma Bölgesi	

Şekil EK-I.1 Kış soğutma ekipmanlarının çalışma senaryosu

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Gökhan İbrahim GÜLPAK  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :15.02.1987 - İZMİR  
**Yabancı Dili** :İngilizce ve Almanca  
**E-posta** :gokhangulpak@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lisans	Makine Müh.	Ege Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	İzmir Anadolu Lisesi	2005

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
02.2011-01.2013	Arçelik A.Ş.	Proje Mühendisi

## **YAYINLARI**

### **Makale**

1. ENERJİ VERİMLİ "GREEN FACTORY":

ARÇELİK ESKİŞEHİR KOMPRESÖR FABRİKASI