



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**PLASTİK EKSTRÜDERLERİNDE ISITMA-SOĞUTMA
PROSESLERİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah DEMİRCİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Isı Proses Programı'nda Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezin Savunma Tarihi 08.03.2010

Tez Danışmanı Prof. Dr. İsmail TEKE

Jüri Üyeleri

- Prof. Dr. Galip TEMİR
- Prof. Dr. Bahri ŞAHİN

İSTANBUL,2010

Bu formun elektronik ortamda doldurularak Enstitüye teslim edilmesi gerekmektedir.

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK EKSTRÜDERLERİNDE ISITMA-SOĞUTMA
PROSESLERİNİN İNCELENMESİ**

Makine Müh. Abdullah DEMİRCİ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail TEKE

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
İNDİS LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİK MALZEMELER	2
2.1 Genel Bilgi	2
2.2 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	5
2.2.1 Termoplastikler	6
2.2.2 Termosetler	7
2.3 Plastiklerin Genel Özellikleri	7
2.4 Plastiklerin İşlenme Yöntemleri	8
2.4.1 Basma ile Kalıplama	8
2.4.2 Enjeksiyon ile Kalıplama	9
2.4.3 Ekstrüzyon ile Kalıplama	10
2.4.4 Döner Kalıplama	11
2.4.5 Isıl Şekillendirme	12
2.4.6 Döküm Kalıplama	12
2.4.7 Köpürtme Yöntemi	13
2.4.8 Şişirme Yöntemi	13
2.4.9 Transfer Kalıplama	14
3. PLASTİK EKSTRÜDERLERİ	15
3.1 Ekstrüderin Görevi	17
3.2 Plastik Ekstrüderlerinin Tipleri	18
3.2.1 Tek Vidalı Ekstrüderler	19
3.2.2 Çift Vidalı Ekstrüderler	23
3.3 Ekstrüderi Oluşturan Komponentler	25
3.3.1 Vida	25
3.3.2 Kovan	28

3.3.3	Besleme Boğazı	30
3.3.4	Besleme Hunisi	32
3.3.5	Ekstrüzyon Kalıbı	33
3.3.6	Motor ve Sürücü	35
3.3.7	Redüktör	36
3.4	Ekstrüderlerin Termik Olarak İncelenmesi	38
4.	EKSTRÜDER ISITMA-SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	43
4.1	Elektrikle Isıtma.....	43
4.1.1	Rezistansla Isıtma	43
4.1.1.1	Seramik Yalıtımlı Rezistanslı Isıtıcılar.....	44
4.1.1.2	Mika Yalıtımlı Rezistanslı Isıtıcılar.....	46
4.1.1.3	Döküm Gövdeli Isıtıcılar	48
4.1.2	Radyant Isıtma.....	49
4.1.3	İndüksiyonla Isıtma	50
4.2	Akışkanla Isıtma	51
4.3	Soğutma Sistemleri.....	51
4.4	Ekstrüder Vidasının Isıtılması-Soğutulması.....	55
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	58
5.1	Deneyin Amacı	58
5.2	Deney Düzeneği.....	58
5.2.1	Deney Düzeneğinde Kullanılan Elemanlar	60
5.2.1.1	Silindir	60
5.2.1.2	Kalıp Şartlandırıcı.....	61
5.2.1.3	Isıtıcılar	62
5.2.1.4	Soğutma Fanları.....	64
5.2.1.5	Isı Transfer Yağı	65
5.2.1.6	PLC Kontrol Paneli.....	66
5.3	Deneyin Yapılışı	67
5.3.1	Yağ Debisinin Tespit Edilmesi.....	69
5.3.2	Rezistanslı Isıtıcı ile Yapılan Deneyler	72
5.3.3	Radyant Isıtıcı ile Yapılan Deneyler.....	72
5.4	DeneySEL Bulgular	74
5.4.1	Rezistanslı Isıtıcı Kullanıldığında Elde Edilen DeneySEL Bulgular.....	74
5.4.2	Radyant Isıtıcı Kullanıldığında Elde Edilen DeneySEL Bulgular	78
5.5	DeneySEL Bulguların Karşılaştırılması.....	80
5.5.1	Isıtma Verimlerinin Karşılaştırılması	80
5.5.2	Isıtma Hızlarının Karşılaştırılması.....	81
5.5.3	Soğutma Hızlarının Karşılaştırılması	83
5.6	Değerlendirme	86
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
	KAYNAKLAR.....	88
	EKLER	89
	Ek 1 Deney düzeneğinde kullanılan silindirin teknik resimleri	90

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı [mm^2]
c_p	Sabit basınçta özgül ısı [J/kg.K]
c_v	Sabit hacimde özgül ısı [J/kg.K]
D	Vida çapı [mm]
F	Kuvvet [N]
h	Özgül entalpi [J/kg]
I	Direnç üzerinden geçen elektrik akımı [A]
ke	Özgül kinetik enerji [J/kg]
L	Kovan uzunluğu [mm]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
P	Basınç [bar]
pe	Özgül potansiyel enerji [J/kg]
Q	Isıl enerji [kWh]
\dot{Q}	Isıl güç [kW]
q	Birim kütle için ısı enerji [J/kg]
R	Elektrik direnci [ohm]
T	Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
u	Özgül iç enerji [J/kg]
V	Elektrik gerilimi [volt]
v	Özgül hacim [m^3/kg]
W	Mekanik enerji [kWh]
\dot{W}	Mekanik güç [kW]
w	Birim kütle için mekanik enerji [J/kg]
Δ	Fark
ε	Yayma oranı [-]
η	Isıtma verimi [-]

İNDİS LİSTESİ

1	Giriş
2	Çıkış
c	Soğutma
d	Dış
e	Ekstrüder
h	Isıtma
i	İç
k	Kalıp
l	Kayıp
m	Plastik
o	Oran
ort	Ortalama
p	Kapasite
r	Isıtıcı
s	Silindir
set	Ayarlanan
ş	Kalıp şartlandırıcı
t	Toplam
y	Yağ
*	Teorik

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AC	Alternatif akım (Alternating current)
CVD	Kimyasal buhar biriktirme (Chemically vapour deposition)
DC	Doğru akım (Direct current)
EVA	Etilen vinil asetat
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PLC	Programlanabilir lojik kontrolör
PID	Orantılı integral türetme (Proportional integral derivative)
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
PVD	Fiziksel buhar biriktirme (Physical vapour deposition)
Rez	Rezistanslı ısıtıcı
Rad	Radyant ısıtıcı
SAN	Stiren akrilonitril

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Plastiklerin üretim basamakları	3
Şekil 2.2	Dünya plastik tüketiminin ülke ve bölgelere göre dağılımı	4
Şekil 2.3	Dünya plastik tüketiminin ham madde cinslerine göre dağılımı.....	5
Şekil 2.4	Polimerlerin genel sınıflandırması	6
Şekil 2.5	Basma ile kalıplama	9
Şekil 2.6	Enjeksiyon ile kalıplama	10
Şekil 2.7	Ekstrüzyon ile kalıplama	10
Şekil 2.8	Döner kalıplama	11
Şekil 2.9	Isıl şekillendirme	12
Şekil 2.10	Döküm kalıplama	13
Şekil 2.11	Köpürtme yöntemi.....	13
Şekil 2.12	Şişirme yöntemi.....	14
Şekil 2.13	Transfer kalıplama yöntemi.....	14
Şekil 3.1	67/22D çift vidalı bir ekstrüder	15
Şekil 3.2	1938 yılında üretilen ilk eş dönüşlü çift vidalı ekstrüder	16
Şekil 3.3	Tek vidalı bir ekstrüderin şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.4	Plastik ekstrüderlerinin sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.5	Tek vidalı bir ekstrüderi oluşturan komponentler	19
Şekil 3.6	Ekstrüder vidasının fonksiyonel bölgeleri.....	20
Şekil 3.7	Bir ekstrüderin kontrol paneli.....	21
Şekil 3.8	60/36D tek vidalı bir ekstrüder.....	22
Şekil 3.9	Paralel çift vidalı ekstrüder tipleri ve çalışma mekanizmaları	23
Şekil 3.10	110/25D zıt dönüşlü paralel çift vidalı bir ekstrüder.....	24
Şekil 3.11	PE ve PVC üretiminde kullanılan tek ve çift ekstrüzyon vidaları.....	26
Şekil 3.12	Bimetalik iç yüzeye sahip bir kovan	29
Şekil 3.13	Kanallı ham madde besleme boğazı.....	31
Şekil 3.14	Sekiz komponentli bir ham madde dozajlama cihazı.....	33
Şekil 3.15	PE boru üretiminde kullanılan bir boru kafası	34
Şekil 3.16	Tek vidalı ekstrüderler için tasarlanmış bir tork motoru.....	35
Şekil 3.17	AC ve DC 44 kW gücündeki iki farklı motorun değişik yüklerdeki verimleri.....	36
Şekil 3.18	Tek vidalı bir ekstrüder redüktörü.....	37
Şekil 3.19	Tek vidalı bir ekstrüderin büte rulman montaj resmi	37
Şekil 3.20	Ekstrüderden dışarıya olan ısı kayıpları	39

Şekil 3.21 Ekstrüderdeki enerji dengesi	40
Şekil 4.1 Seramik yalıtımlı bir rezistanslı ısıtıcı.....	44
Şekil 4.2 Seramik yalıtımlı bir ısıtıcı bandın kesit görünüşü	45
Şekil 4.3 Fanlı soğutma sistemine sahip bir rezistanslı ısıtıcı	46
Şekil 4.4 Mika yalıtımlı bir rezistanslı ısıtıcı	46
Şekil 4.5 Mika yalıtımlı bir ısıtıcının kesiti.....	47
Şekil 4.6 Hava soğutmalı, alüminyum gövdeli bir ısıtıcı	48
Şekil 4.7 Ekstrüderler için üretilmiş bir radyant ısıtıcı.....	49
Şekil 4.8 İndüksiyonla ısıtma yapılan bir enjeksiyon makinesi	50
Şekil 4.9 Cebri hava soğutması yapabilen fanlı bir ısıtıcı	52
Şekil 4.10 Buharlı soğutma sistemi	54
Şekil 4.11 Vida soğutma sisteminin şematik gösterimi.....	56
Şekil 5.1 Deney düzeneğinin prensip şeması	59
Şekil 5.2 Deney ve kontrol düzeneği.....	60
Şekil 5.3 Silindir montaj resmi	61
Şekil 5.4 Kalıp şartlandırıcı	62
Şekil 5.5 Düzenekte kullanılan seramik yalıtımlı rezistanslı ısıtıcı	63
Şekil 5.6 Düzenekte kullanılan radyant ısıtıcı	63
Şekil 5.7 Rezistanslı ve radyant ısıtıcılara ait soğutma prensip şemaları	64
Şekil 5.8 Rezistanslı ve radyant ısıtıcıda kullanılan soğutma fanları	65
Şekil 5.9 Düzenekteki PLC ekranının üzerinde gösterilen değerler.....	67
Şekil 5.10 Düzenekte kullanılan enerji analizörü.....	67
Şekil 5.11 Kalıp şartlandırıcının giriş ve çıkışına bağlanan termokupllar	69
Şekil 5.12 Yağ giriş-çıkış sıcaklıklarının okunduğu göstergeler.....	70
Şekil 5.13 Düzenekteki yağ debisinin sıcaklıkla değişimi	71
Şekil 5.14 Silindirin üzerine monte edilmiş rezistanslı ısıtıcı	72
Şekil 5.15 Silindirin üzerine monte edilmiş radyant ısıtıcı	73
Şekil 5.16 Paslandırılmış silindirin yüzeyi	74
Şekil 5.17 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (100°C için).....	76
Şekil 5.18 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (120°C için).....	76
Şekil 5.19 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (140°C için).....	77
Şekil 5.20 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (160°C için).....	77
Şekil 5.21 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (180°C için).....	77
Şekil 5.22 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (100°C için)	78

Şekil 5.23 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (120°C için)	79
Şekil 5.24 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (140°C için)	79
Şekil 5.25 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (160°C için)	79
Şekil 5.26 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (180°C için)	80
Şekil 5.27 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (100-120°C için).....	81
Şekil 5.28 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (120-140°C için).....	82
Şekil 5.29 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (140-160°C için).....	82
Şekil 5.30 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (160-180°C için).....	82
Şekil 5.31 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (180-160°C için).....	84
Şekil 5.32 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (160-140°C için).....	84
Şekil 5.33 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (140-120°C için).....	84
Şekil 5.34 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (120-100°C için).....	85

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Ekstrüder vidası imalatında kullanılan malzemelerin özellikleri.....	27
Çizelge 3.2 Ekstrüder vidalarında kullanılan bazı kaplama malzemelerinin özellikleri	28
Çizelge 5.1 Mobiltherm 32 yağına ait sıcaklığa bağlı özellik tablosu.....	66
Çizelge 5.2 Düzenekte farklı sıcaklıklar için hesaplanan yağ debileri.....	71
Çizelge 5.3 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında elde edilen deneysel bulgular	76
Çizelge 5.4 Radyant ısıtıcı kullanıldığında elde edilen deneysel bulgular.....	78
Çizelge 5.5 Rezistanslı ve radyant ısıtıcıdan elde edilen verilerin karşılaştırılması	80
Çizelge 5.6 Isıtma hızlarının karşılaştırılması	83
Çizelge 5.7 Soğutma hızlarının karşılaştırılması.....	85

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli öneri ve katkılarıyla beni yönlendiren, problemlere farklı açılardan bakmamı sağlayan Değerli Hocam Prof. Dr. İsmail Teke'ye, tezin yazım aşamasında ve deneysel çalışmalarımda bana destek olan Sayın Adnan Sonay, Kadir Göker Önder, Süleyman Bozkurt, Aslan Gençoğlu, Hüseyin Bayar, Hızır Bayar, Yahya Aygün, Sinan Şahin ve tüm Mikrosan Ailesi'ne, sorduğum sorular karşısında düşünceleriyle bana yol gösteren Prof. John Vlachopoulos'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, hayatımın her aşamasında ve her konuda bana destek olan aileme ve Gülçin Barutçu'ya sonsuz teşekkür ederim.

Abdullah DEMİRCİ

ÖZET

Günümüzde enerjinin ve enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu kaynakların en doğru ve en verimli şekilde kullanılması, daha az enerji ile daha çok iş yapılması ve aynı zamanda da üretim kalitesinin artırılması gerekmektedir.

Ekstrüderler, plastik işleme endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan makinelerin başında gelmektedir. Ekstrüderlerde, polimer malzemenin ekstrüzyonu için gerekli olan enerjinin yaklaşık % 70-80 kadarı motorun ürettiği mekanik enerjiden karşılanırken, geriye kalan % 20-30'luk kısım ise ekstrüderin ısıtma sistemi tarafından karşılanmaktadır. Isıtma sistemi üzerinde yapılacak iyileştirmelerin sonunda sağlanabilecek verim ve performans artırıcı unsurlar, toplam proses veriminin de artmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında; plastik işleme yöntemleri, plastik ekstrüzyonu ve ekstrüderler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ekstrüderlerin kovan ısıtma-soğutma sistemleri ise detaylı olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ekstrüderlerin kovan ısıtmasında en yaygın olarak kullanılan bant tipi rezistanslı ısıtıcılarla, bu alanda yeni bir teknoloji olan radyant ısıtıcıların karşılaştırılması için bir deney düzeneği kurulmuştur. Isıtıcılar, deneysel bulgulara bağlı olarak verimlilik, performans ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Radyant ısıtıcıların performansının ısıtılan kovan yüzeyinin yayma oranına bağlı olduğu ve 0,55 yayma oranı için, bant tipi rezistanslı ısıtıcıların radyant tipi ısıtıcılardan daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüder, ekstrüzyon, ısıtma, soğutma, rezistanslı ısıtıcı, radyant ısıtıcı, verimlilik

ABSTRACT

Today, energy and energy resources are becoming more important day by day. These sources should be used more effectively and more work should be done with less energy consumption. The production quality should be increased as well.

Extruders are the most common used machines in plastics industry. In extruder processes, % 70-80 of the energy is produced by mechanical energy generated by the extruder motor and the rest % 20-30 energy is supplied by the heating system of the extruder. The total process efficiency could be increased by increasing the efficiency and performance of the heating system.

The principles of plastic processes, plastic extrusion and extruders were given in this study. Detailed information was mentioned for heating-cooling systems used in extruders. Band heaters which are the most commonly used heaters in plasticating extruders for heating the barrel and new technology radiant heaters were tested with an experimental set-up. The heaters were compared regarding the experimental results in terms of performance, efficiency and investment costs. In conclusion, it was seen that the heating performance of radiant heaters is depend on the emissivity value of the heating surface and for 0,55 emissivity value, band heaters show better performance than radiant heaters.

Keywords: Extruder, extrusion, heating, cooling, electric heater, radiant heater, efficiency

1. GİRİŞ

Radyant ısıtma teknolojisinin bugün değişik sektörlere hitap eden birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Plastik ekstrüderleri için ise, radyant ısıtma sistemleri henüz çok yeni bir teknolojidir ve hala birçok uygulayıcı tarafından deneme amaçlı kullanımın dışına çıkamamıştır. Günümüzde enerji ve üretim maliyetlerinin çok daha fazla önem kazandığı göz önünde bulundurularak, bu maliyetleri düşürecek her türlü donanımın ve alınabilecek önlemin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Son yıllarda ekstrüder ısıtma sistemlerinde kullanılmaya başlanan bu teknoloji, uygulayıcılar tarafından çok fazla bilinmemektedir. Radyant ısıtıcı üreticisi firmaların kendi bünyelerinde ürünlerini pazarlamak adına yaptıkları çalışmaların haricinde, bu teknolojinin ekstrüderlerde kullanılması üzerine bilimsel açıdan da yeteri kadar çalışma yapılmamış olması, radyant ısıtıcıların rezistanslı ısıtıcılara bir alternatif olarak kullanılabilmesini kısıtlamıştır. Bu teknolojinin ekstrüderlere sağlayabileceği enerji tasarrufu, verimlilik, düşük işletme maliyeti gibi faydaların mevcutta kullanılan sistemlerle karşılaştırılarak tespit edilmesi, plastik sektörü açısından son derece önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, plastik endüstrisinde genel itibariyle günün 24 saati çalışan plastik ekstrüderlerinin ısıtma-soğutma sistemlerinin incelenmesi ve bu alanda yeni bir alternatif olan radyant ısıtma sistemlerinin rezistanslı ısıtma-soğutma sistemleriyle deneysel olarak karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

2. PLASTİK MALZEMELER

2.1 Genel Bilgi

Çok eski tarihlerde kullanılan polimer malzemelerin başında selüloz, nişasta, doğal kauçuk vb. doğal polimerler gelir. Doğal polimerler, işlenme zorluğu ve bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri bakımından yetersizliklerinden dolayı yerlerini zamanla yarı sentetik ve sentetik polimer malzemelere bırakmışlardır.

Ticari olarak yapılan ilk plastikler yarı sentetiktir ve genellikle pamuk artıklarından elde edilen selülozdan üretilmişlerdir. İnsan üretimi ilk plastik, Alexander Parkes tarafından 1862 yılında pamuk artıklarının nitrik asitle muamelesi sonucu keşfedilmiştir (selüloz nitrat). Bu malzeme kullanılarak takılar, bıçak sapları, kutular ve daha birçok ürün elde edilmiştir. Ancak bu yarı sentetik plastik, endüstriyel olarak üretilmemiştir.

1870 yılında Amerikalı matbaacı John Wesley Hyatt, ticari bakımdan ilk başarılı plastik olan selüloidi üretmiştir. Bu keşif, fil dişinin ve kaplumbağa kabuğunun yerine kullanılacak alternatif bir malzemeyi ortaya çıkarmıştır. Selüloid daha sonra bilardo topları, bıçak sapları ve fotoğraf filmi gibi birçok ürünün yapımında da kullanılmıştır. Selüloz nitrat türevlerinin yanıcı özelliğe sahip olmaları kullanım alanlarını kısıtladığından, 1900'lerin başında selüloz asetat kullanılmaya başlanmıştır.

1907 yılında Belçikalı kimyager Leo Baekeland, çok sert ve koyu renkli bir plastik olan bakaliti üretmiştir. Bu malzeme, tümüyle sentetik olan bir plastiktir. Baekeland, kendi tasarladığı bir düzenekte çabucak katılaştıran ve içinde bulunduğu kabın şeklini alan bir malzeme elde etti. Bu malzeme yanmıyor, erimiyor ve bilinen çözücülerde çözünmüyordu. Sertleştikten sonra da mevcut durumunu muhafaza ediyordu. Böylece ilk termoset plastik üretilmiş oldu.

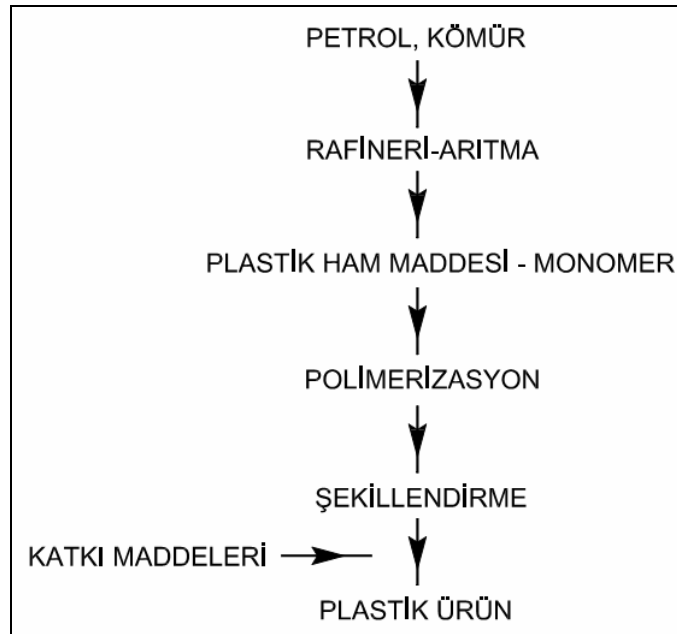
1922 yılında Alman kimyager Hermann Staudinger, kauçuk malzeme ile çalışmalar yaparken plastiklerin binlerce molekülün birleşmesi ile elde edilen zincirlerden oluştuğunu ortaya çıkartmıştır. Tüm plastik endüstrisinin yönünü değiştiren bu keşif, birçok yeni plastik üretiminin de önünü açmıştır. Bunun ardından, 1930'larda yapılan iki buluş plastik endüstrisini hızla geliştirmiştir. Öncelikle üreticiler petrolden plastik elde ettiler. Polistiren, akrilik polimerler ve polivinil klorür bu yolla elde edilmiştir. Daha sonraki süreçte kalıplamadaki problemler de çözülerek 1938'de ilk epoksi reçineler sentezlenmiş ve yapıstırıcı özelliklerinden dolayı dışçilikte ve eczacılıkta geniş kullanım alanı bulmuşlardır.

İkinci Dünya Savaşı, plastik endüstrisinin gelişmesinde büyük rol oynamıştır. Tümüyle yapay ilk lif olan naylon, 1920'lerde keşfedilmiş olmasına rağmen, 1940'lara kadar önemi ortaya çıkmamıştır. Uzun lifler haline getirilebilen naylon, paraşüt üretiminden döşeme sektörüne kadar birçok alanda kullanılmıştır. Polivinil klorürün (PVC) de önemi bu yıllarda ortaya çıkmış ve özellikle müzik endüstrisinde yoğun ilgi görmüştür. 1950'lerde gelişen popüler müzik, plakların üretiminde kullanılan polivinil klorürün önünü açmıştır.

Otomotiv endüstrisi plastik kullanımı ile ilk olarak 1956 yılında tanışmıştır. Fransız otomobil üreticisi Citroen, DS isimli modelinin tavanını cam elyaf ile güçlendirilmiş doymamış poliesterden üretti. Bu tarihten sonra poliester ve cam elyaf bileşimi, araba ve tekne gövdelerinde yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline gelmiştir.

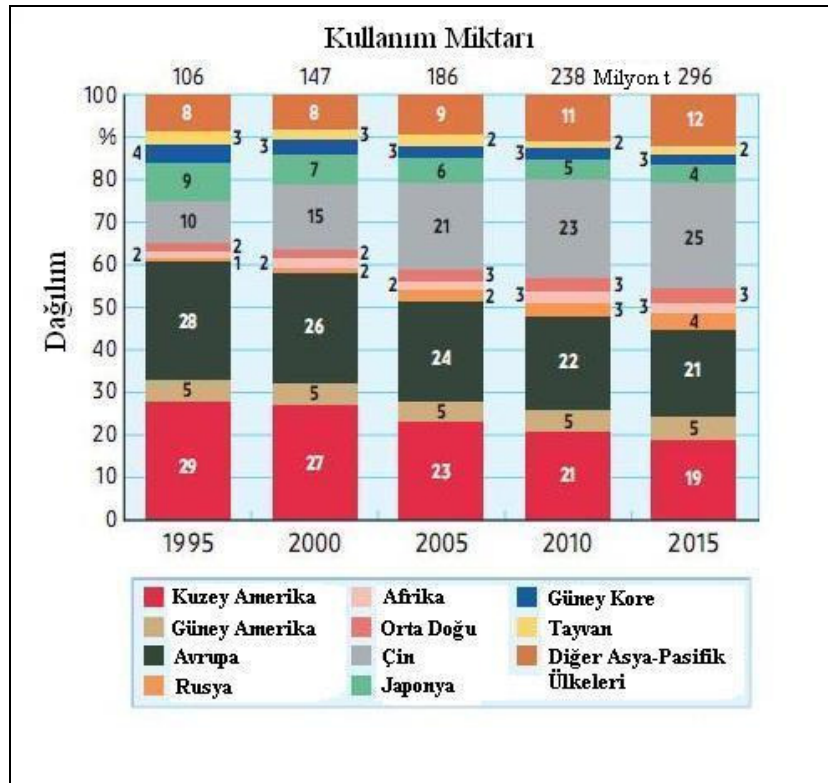
Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında doğal polimerlere erişmek kolay olmadığı için, plastiklerin sentetik olarak üretilmesi tercih edilmiştir. O günden bugüne, sentetik plastik endüstrisi hızlı bir şekilde büyümüştür. Kömür ve selüloz gibi doğal kaynaklardan da sentetik plastik üretilmekle birlikte, en önemli plastik ham madde kaynağı petroldür. Bu nedenle plastik endüstrisi, petrokimya endüstrisinin bir alt sektörü olarak ele alınır.

Dünyada üretilen petrolün % 4 kadarı plastik üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen plastiğin % 75-80'i ise buzdolabı, çamaşır makinesi, televizyon, otomobil, ev ve bahçe mobilyaları gibi dayanıklı tüketim mallarında, % 20-25'i de ambalaj sektöründe kullanılmaktadır. Bu ürünlerin yaklaşık % 50 kadarını plastik variller, bidonlar, çöp kutuları gibi ürünler oluşturur.



Şekil 2.1 Plastiklerin üretim basamakları

Özelliklerindeki üstünlüklerinden dolayı, mühendislik malzemeleri olarak uygulamalarda genellikle metaller ve polimerler tercih edilmektedir. Günümüzde geliştirilmiş polimer malzemeler, pek çok metal malzeme yerine tercihen kullanılabilir hale gelmiştir. Artık pek çok istenilen özelliğin polimer malzemelere kazandırılabilmesi sonucunda, bu yerine kullanılabilirliğin gelecekte de büyük bir hızla devam edeceği görülmektedir. 1995 yılında 100 milyon ton'un üzerinde olan dünya plastik malzeme tüketimi, 2005 yılında 186 milyon ton'a çıkmıştır. Bu tüketimin 2010 yılı içerisinde 238 milyon ton'a, 2015 yılında ise yaklaşık 300 milyon ton'a çıkması beklenmektedir.

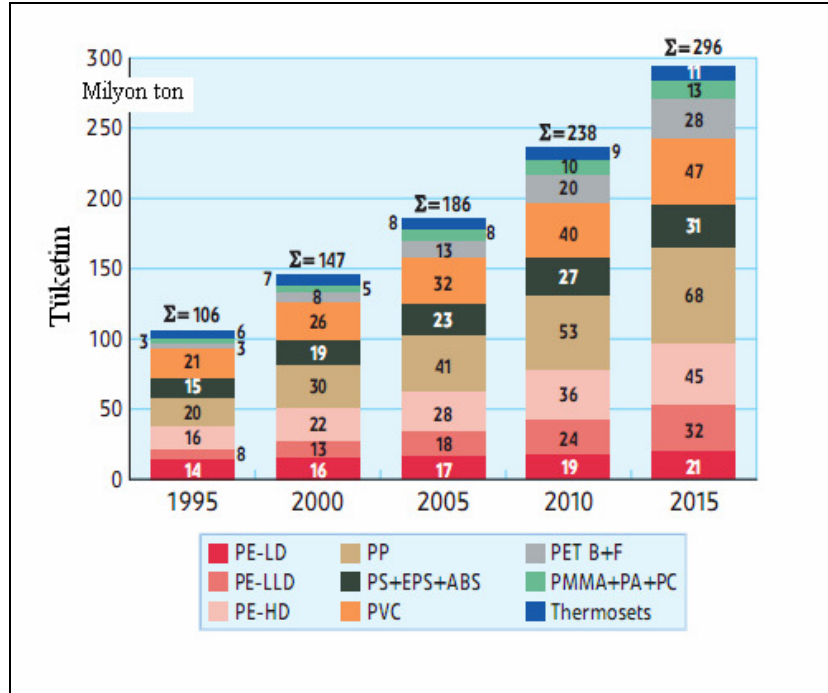


Şekil 2.2 Dünya plastik tüketiminin ülke ve bölgelere göre dağılımı (Kunststoffe International, 2009)

Bölgesel bazda değerlendirildiğinde, dünya plastik malzeme tüketiminde Güney Asya, Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinin en büyük paya sahip oldukları ve plastik tüketiminin ülkelerin gelişmişlikleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Plastik malzeme tüketim değerlerinin zaman içindeki değişimi incelenirse, dünya tüketim oranlarında Amerika ve Avrupa'nın payının gittikçe azaldığı, bu oranların diğer bölge ve ülkelerde arttığı görülmektedir. Özellikle Çin'in çok hızlı ve istikrarlı bir şekilde büyüyen plastik malzeme tüketimi söz konusudur.

Türk plastik sektörünün dünya plastik sektörü içindeki payı % 1,6 düzeyindedir. Bu sektörde

çoğu küçük ve orta ölçekli olmak üzere, 6000'in üzerinde firma bulunmaktadır ve bu firmaların % 66'sı Marmara Bölgesi'ndedir. Türkiye'de plastik tüketimini yönlendiren başlıca faaliyet alanları, dünyada da olduğu gibi ambalaj ve inşaat malzeme sektörleridir. Türkiye'nin 2004 yılında işlenmiş ve işlenmemiş plastik mamül ihracatı, 1,1 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Yine aynı yıl, plastik sektöründe 3,8 milyar dolarlık ithalat yapılmıştır.



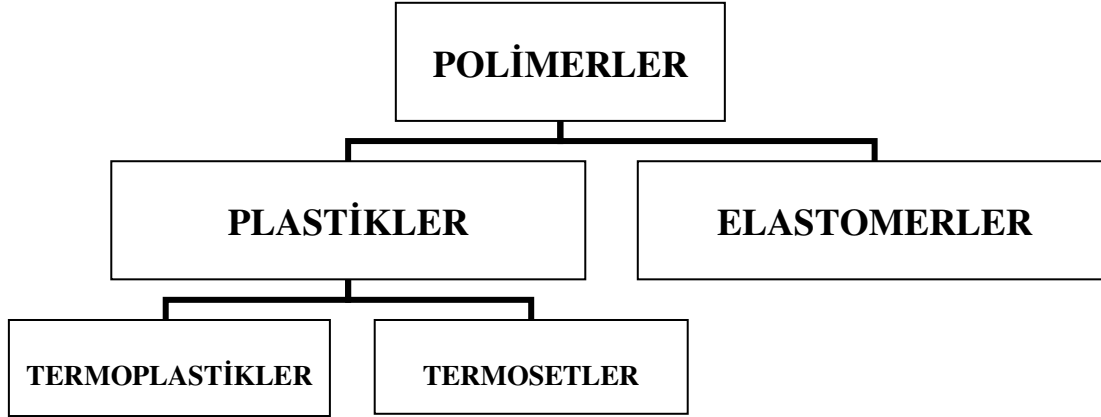
Şekil 2.3 Dünya plastik tüketiminin ham madde cinslerine göre dağılımı (Kunststoffe International, 2009)

Plastik ham madde cinslerinin tüketim oranları açısından yıllara göre bir değerlendirme yapılırsa, ilk plastik malzemeler olan termosetlerin yerlerini zamanla termoplastiklere bıraktıkları görülür. Başta PVC, PS ve poliolefinlerin (PE ve PP) tüketimine bağlı olarak termoplastikler, 21. yüzyılın ortasından itibaren plastik tüketimindeki liderliği devralmıştır. Şu andaki durum itibariyle, poliolefinler dünyada toplam plastik malzeme tüketimin yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

2.2 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Plastik malzemeler, elastomerlerle birlikte polimer malzeme sınıfını oluştururlar. Hafiflik, kolay işlenebilirlik, korozyon dayanımı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı, iyi bir yüzey kalitesi ve görünüşüne sahip plastik malzemeler, günümüzde gerek çeşitlilik ve gerekse uygulama alanı bakımından büyük gelişmeler göstermektedirler.

Plastiklerin sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem, malzemenin işleme yöntemine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu esasa göre plastik malzemeler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar.



Şekil 2.4 Polimerlerin genel sınıflandırması

2.2.1 Termoplastikler

Termoplastikler, sıcaklık ve basınç altında yumuşayan ve eriyen, bu durumdayken herhangi bir şekli alabilen ve soğutulduğunda tekrar katı hale geçerek şeklini muhafaza edebilen plastiklerdir. Bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Ardı ardına yapılan ısıtma ve soğutma işlemleri ve uygun işleme teknikleri ile, istenilen herhangi bir şekle tekrar tekrar kalıplanabilirler ve bu sebeple de termoplastik (ısıl yumuşar) olarak adlandırılırlar. Çapraz bağların olmaması nedeniyle, ısıtıldıklarında polimer zincirleri arasındaki nispeten zayıf kuvvetler ortadan kalkar ve bu zincirlerin birbirleri üzerinden kolaylıkla kaymasıyla birlikte malzeme akışkan bir hal alır. İstenilen şekildeki bir kalıba konulup malzeme soğutulduğunda ise eski sert haline geri döner ve şeklini muhafaza eder. Kullanılmış termoplastikler, ısı ve basınç altında geri dönüştürülüp üretimde yeniden kullanılabilirler.

Termoplastiklerin tekrar kullanımları ile alakalı olan döngüsünde kimyasal özellikleri genellikle çok fazla değişmez. Teorik olarak bu işlemin tekrarlanmasında herhangi bir sınırlama yoktur. Ancak, polimerin termal parçalanmamasına ve küçük moleküller haline gelmemesine dikkat edilmelidir.

Termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler arasında akrilikler, naylon, polistren, polietilen, polipropilen, karbonflorür, selülozikler ve viniller sayılabilir.

2.2.2 Termosetler

Termosetler, ısı yardımıyla istenilen şekle bir defa getirilebilen ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Bunun nedeni, termoset plastiklerin polimer zincirleri arasında çapraz bağlar olmasıdır ve buna bağlı olarak her sıcaklıkta katı halde bulunmalarıdır. Termoplastikler tekrar tekrar eritilip şekillendirilebildikleri halde, termosetler sıcaklığın etkisiyle erimeye başlamadan bozunurlar. Bu sebeple yeniden eritilip kullanılmaları mümkün değildir.

Termosetlere örnek olarak epoksi reçineleri, politetrafloroetilen, poliüretan, fenol-formaldehit reçineler ve doymamış poliester reçineler verilebilir.

2.3 Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastik malzemeler, hem çeşit hem de miktar olarak her geçen gün büyük gelişmeler göstermektedirler ve buna bağlı olarak da kullanım alanları sürekli olarak artmaktadır. Ancak plastik malzemeler, metalik malzemelere ve diğer mühendislik malzemelerine kıyasla oldukça farklı özelliklere sahiptirler. Bu özellikler kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Genellikle renksizdirler. Bu yüzden, istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Pigmentler yardımıyla mat bir görünüş elde edilebildiği gibi, çözünen organik boyalarla şeffaf bir görünüş de elde edilebilir. Bazı plastiklerin saydamlık derecesi % 92 ile caminkine ulaşır.
- Yüzeyleri yumuşaktır ve çizilmeye karşı dirençleri azdır. Cam, seramik ve metallere göre daha az serttirler.
- Ahşap hariç, diğer tüm malzemelere göre hafiftirler. Yoğunlukları $0,9 - 2,5 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir.
- Termoplastikler kendi ağırlıkları altında genellikle $65-120^\circ\text{C}$ aralığında, bazıları ise $250-260^\circ\text{C}$ gibi yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilirler. Termosetler daha sert ve ısıya mukavim olduklarından, birçoğu $150-230^\circ\text{C}$ 'ye, bazıları ise 260°C 'ye kadar kullanılabilirler.
- Isı iletkenlikleri iyi değildir. Metaller, plastiklere göre ısıyı 300 ila 2000 kat daha iyi iletirler. Bu özellikleri sayesinde, ısı yalıtım malzemesi olarak da kullanılırlar.
- Metallere ve cama göre, ısı ile daha fazla genleşirler. Isıl genleşme katsayıları metallere göre 2 ila 10 kat daha fazladır. Yüksek sıcaklıktaki ortamlarda düşük yük altında kullanılmalıdırlar.
- Kimyasallara karşı metallerden daha dayanıklıdırlar. Termoplastikler genellikle zayıf asit,

alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Diğer taraftan, termoplastiklerin çoğu organik çözücülerin etkisi altında çözünme ve şişme gösterirler. Termosetler ise, termoplastikere göre kimyasallara daha az duyarlıdırlar.

- Aleve karşı çok hassastırlar. Termoplastiklerin birçoğu, aleve veya aşırı ısıya maruz kaldıktan sonra kullanılamaz hale gelirler.
- Elektrik iletkenlikleri genellikle zayıftır. Elektriğin iletilmesi için, yapıda serbest elektronlar veya serbest iyonlar bulunması ve bunların yapı içinde hareket etmesi gerekir. Polimerlerin yapısındaki zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirini kuvvetli biçimde etkilemesi ve yüksek kristalinite, elektronların serbest hareketlerini engellemektedir.

2.4 Plastiklerin İşlenme Yöntemleri

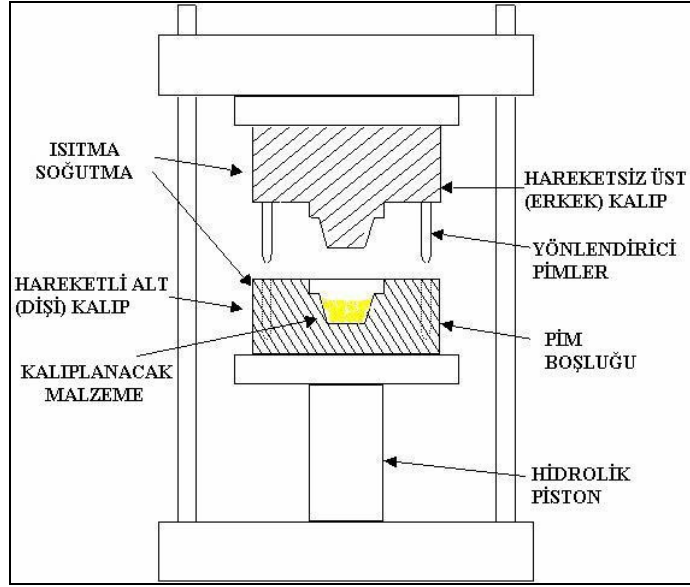
Plastik ürünlerin üretimi için, öncelikle uygun polimer veya polimerler seçilir. Polimer malzeme daha sonra çeşitli katkı maddeleri ile harmanlanır ve işlenmeye hazır ham madde karışımı oluşturulur. Bu karışımlar granül, toz veya hamur şeklinde olabilir ve farklı yöntemlerle işlenebilirler.

İşleme yöntemleri, ham maddeden başlayarak plastik ürünün boyutları, fonksiyonu, basit veya karmaşık olması, üretim adedi ve maliyeti gibi çeşitli unsurlara bağlı olarak değişir. Plastikler talaşlı ve talaşsız olarak işlenebilirler. Ancak, plastik ürünlerde maliyet ve üretim adedi odaklı bir üretim söz konusudur. Bu nedenle, plastiklerin üretiminde gerekmediği sürece talaşlı işleme yöntemi kullanılmaz.

2.4.1 Basma ile Kalıplama

Basit şekilli, küçük ve orta boy plastik parçaların üretiminde sıklıkla kullanılan basit ve ekonomik bir kalıplama yöntemidir.

Basma ile kalıplamada, yeterli miktardaki ham madde veya karışımı alınarak hareketli olan makinenin alt kalıbına (dişi kalıp) yerleştirilir. Üst kalıpta (erkek kalıp), her iki kalıbın birbirine tam olarak geçmesini sağlayan pimler bulunur. Sıcaklık (130-200°C) ve basınç (7-70 MPa) etkisi ile reçinenin ergiyip kalıbın şeklini almasından sonra (3-20 dk) termoplastik malzemeye soğutma uygulanır. Termoset malzemeler ise bir süre daha yüksek sıcaklık ve basınç altında tutulmaya devam edilir. Parça çıkartılır ve kalıptan taşan çapaklar tıraşlanıp temizlenir.



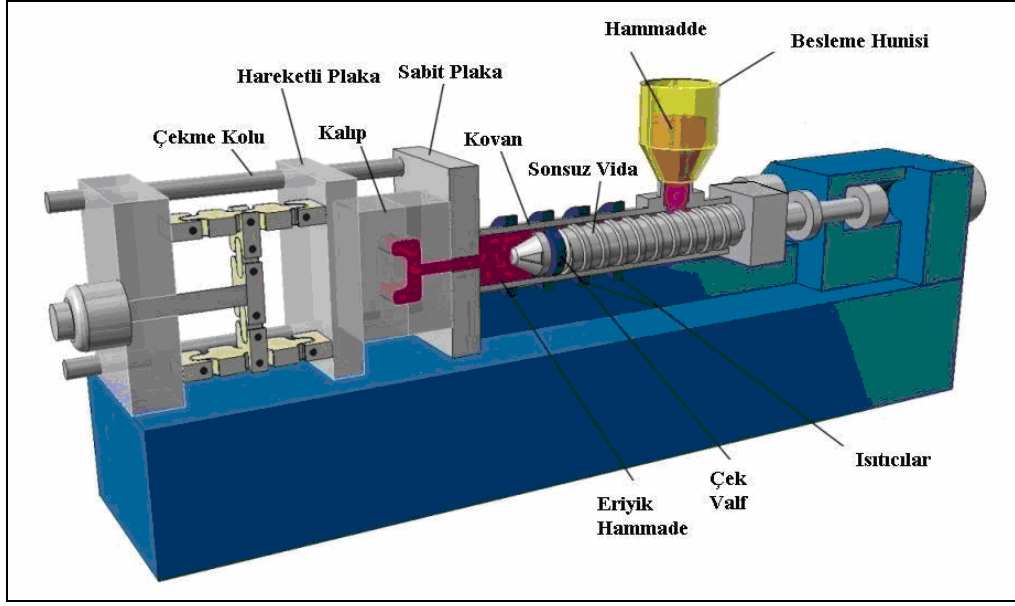
Şekil 2.5 Basma ile kalıplama

2.4.2 Enjeksiyon ile Kalıplama

Enjeksiyon ile kalıplama seri imalat için en uygun yöntemdir. Genellikle termoplastiklere uygulanan bu yöntem, bazı ek önlemler alınarak termosetlere de uygulanabilir. Günümüzde PE, PS, PP, ABS, SAN, Naylon başta olmak üzere birçok polimer bu yöntem ile işlenmekte ve çok çeşitli ürünler elde edilmektedir.

Plastik parçalar temel olarak, toz veya granül halde olan plastik reçinesinin ergitilmesi, kalıp boşluğuna doldurulması ve kalıptan çıkarılması kademelerinden geçirilmesi ile üretilirler (Şekil 2.6). Plastik reçinesi, besleme hunisinin titreşimi ve vidanın dönme hareketi ile enjeksiyon makinesine beslenir. Daha sonra uygulanan ısıtma ve vidanın aksel dönüş hareketi ile oluşan sürtünme ısı ve basıncın etkisiyle eritilip kovan çıkışına (kalıba) doğru iletilir. Eriyik reçine, vidanın ileri doğru ani olarak itilmesi ile silindir çıkışına takılan kalıbın içerisine sıvı halde enjekte edilir. Kalıbın kapama gücü ile 50-260 MPa aralığında oluşturulan yüksek basınç altında 15-20 saniye tutulan ürün, daha sonra soğutulularak kalıbın hareketli bölümünün açılmasıyla itici pimler kullanılarak katı halde dışarı alınır. Kalıbın açılması sırasında vida geri çekilir, aynı üretimi gerçekleştirmek için kalıp tekrar kapatılır ve besleme hunisinden tekrar plastik reçine beslenir. Bu proses sürekli olarak devam eder.

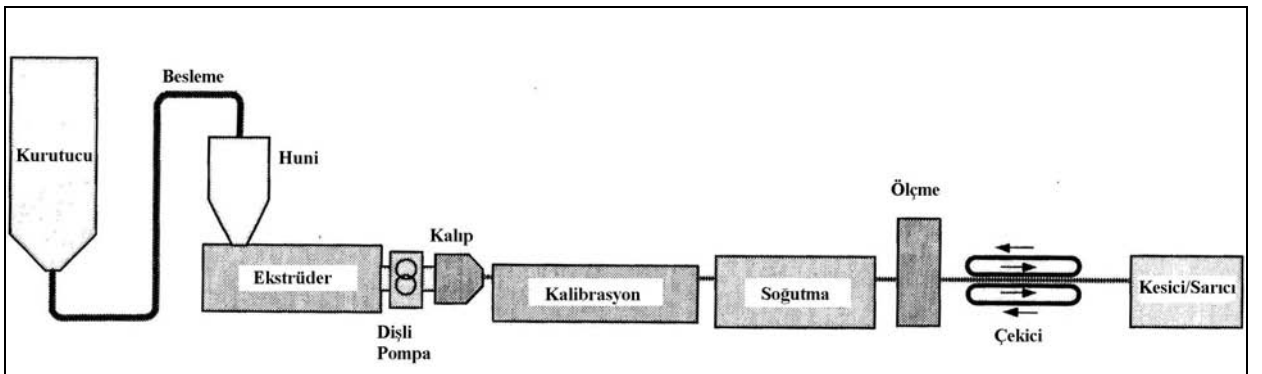
Bazı sistemlerde vida yerine piston kullanılır. Sonsuz vidalı sistemler daha homojen bir ısıtma sağladıkları için genellikle daha yaygın olarak kullanılırlar.



Şekil 2.6 Enjeksiyon ile kalıplama

2.4.3 Ekstrüzyon ile Kalıplama

Ekstrüzyon prosesi ile plastik ürünlerin devamlı (kesintisiz) olarak sabit bir kesitte üretimi sağlanır. Enjeksiyon prosesinde bitmiş ve sabit formda bir ürün elde edilirken, ekstrüzyonda kesitleri sabit formda fakat uzunlukları tercihe bağlı olarak değişken ürünler üretilir. Boru, profil, çubuk, yassı veya yuvarlak film, levha, çeşitli laminatlar temel olmak üzere gerdirilmiş filmler, oluklu ve delikli levhalar ekstrüzyon yöntemiyle üretilirler. Temel olarak ekstrüzyon, plastik ve katkı maddelerin karıştırılarak homojen ve akıcı bir hale getirilmesi, belirli bir şekil vermek üzere dar ve şekilli bir kalıptan basınç yardımıyla geçirilmesi olarak tanımlanabilir. Ekstrüzyon prosesi, ekstrüder adı verilen makinelerle yapılır.



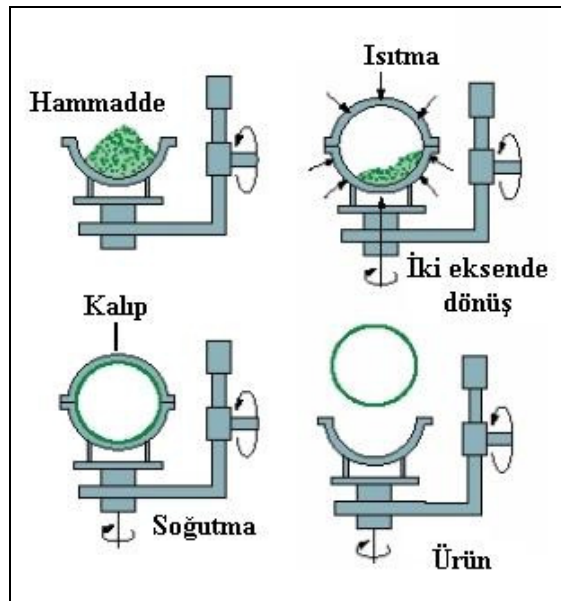
Şekil 2.7 Ekstrüzyon ile kalıplama

Toz veya granül haldeki reçine, bir besleme hunisinden sürekli olarak ekstrüder kovanına beslenir ve kovan içerisinde bulunan sonsuz vida ile ileri doğru taşınır. Malzeme, kovan içerisinde ilerledikçe kovan çevresinde bulunan ısıtıcıların ve iç mekanizmada kendi sürtünmesinden kaynaklanan ısının yardımı ile yumuşar ve erir. Eriyik reçine kovan çıkışına ulaştığında, makinenin ucuna monte edilmiş olan ve ürünün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan yüksek basınç yardımı ile geçmeye zorlanır. Kalıptan çıktıktan sonra kalıp boşluğunun şeklini alan ürün, düzenli bir şekilde soğutularak istenilen uzunlukta kesilir.

2.4.4 Döner Kalıplama

Döner kalıplama yönteminde toz ya da eriyik haldeki polimer reçine, kalıp içerisine konulur. Kalıp iki parçalıdır ve kapatıldıktan sonra birbirine dik eksenler etrafında sürekli olarak döndürülebilir. Döndürme esnasında kalıp belli sıcaklığa ısıtılır. Isı yardımıyla eriyen plastik, oluşan merkezkaç kuvvetinin de etkisiyle kalıptaki boşluklara düzgün olarak yerleşir ve kalıbın şeklini aldıktan sonra su ya da hava ile soğutulur. Soğutulan kalıp açılır ve ürün elde edilir.

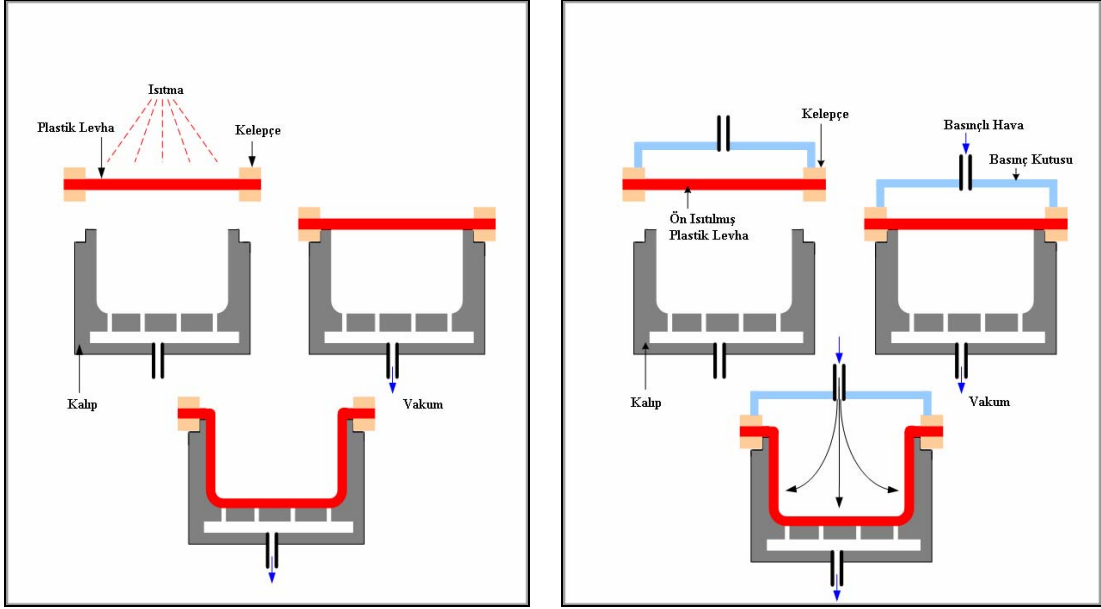
Bu yöntemle PE, çapraz bağlı PE, PP, PVC, PC ve naylonlar (naylon 6, 11 ve 12) gibi homopolimerlerin yanı sıra, etilen-kloro trifloro etilen, etilen vinil asetat (EVA) gibi kopolimerler, iyonomerler ve selülozikler de işlenmektedirler. İşlem süreleri uzun olmasına karşın, gerekli sistemin ve kalıpların ucuzluğu, aynı zamanda da basit olması bu yöntemin avantajları arasındadır.



Şekil 2.8 Döner kalıplama

2.4.5 Isıl Şekillendirme

Bu yöntem, termoplastik levhaların şekillendirilmesinde uygulanır. Kalıp üzerine tutturulan ve yumuşama noktasına kadar ısıtılan plastik levhaya; vakum, basınçlı hava ya da mekanik yöntemler ile istenilen şeklin verilmesi esasına dayanır.



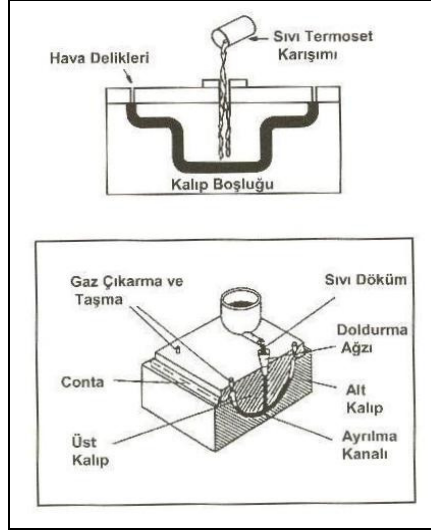
Şekil 2.9 Isıl şekillendirme

Isı ile yumuşatılmış durumda kalıba sıkıca bağlanan termoplastik levhanın, kalıp ara boşluklarından hava emilerek oluşturulan vakum, ya da üzerine hava basılarak oluşturulan basınç yardımı ile kalıba yapıştırılarak kalıbın şeklini alması sağlanır. Isıl şekillendirme ile hemen hemen her tür termoplastik malzeme işlenebilmektedir.

2.4.6 Döküm Kalıplama

Plastik malzemelerden levha, çubuk, boru, film vb. diğer özel şekillerde ürün elde etmek için kullanılan alternatif bir yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan işleme karışımı sıvı haldedir. Döküm işleminde monomer döküm, polimer döküm ve çözücü döküm olmak üzere 3 farklı yöntem bulunmaktadır.

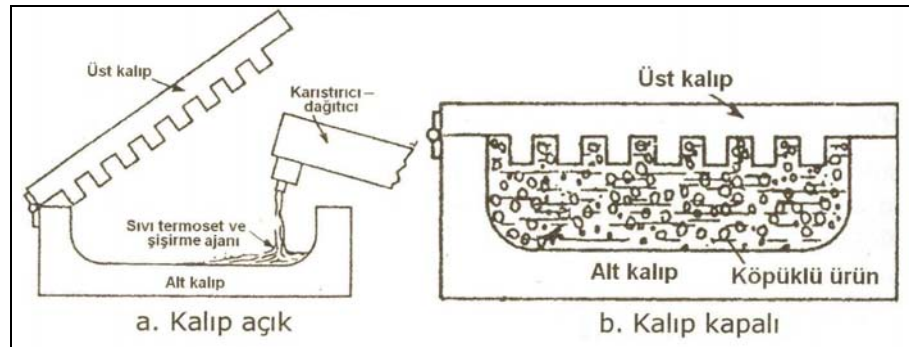
Döküm işleminde sıvı reçine çapraz bağ oluşturan katalizör ile karıştırılır ve kalıp boşluğuna dökülür. Oda sıcaklığında katalizör yardımı ile plastik sertleşmesinin gerçekleşmesi için beklenir. Sertleşme hızını arttırmak için sıcaklık ve basınç uygulanabilir. Genellikle oda sıcaklığında sıvı hale getirilebilen poliester, poliüretan, silikon ve epoksi gibi termoset malzemeler bu yöntem ile şekillendirilebilirler.



Şekil 2.10 Döküm kalıplama

2.4.7 Köpürtme Yöntemi

Köpürtme yöntemi termoplastik ve termoset malzemelere uygulanabilir. Genellikle termoplastiklere uygulanan yöntemde, kalıplama için hazırlanan plastiğe sıkıştırılmış gaz veya kolaylıkla gaz haline geçebilen sıvı eklenir. Kalıp içinde iken malzeme ısıtılarak plastik köpürtülür. Hızlı soğutma ile köpürtülmüş plastik kütle katılaşır ve polimer köpükler oluşturulur. Termosetler için çapraz bağlanma tepkimeleri ve köpürtme işlemi, katalizör ve köpürtücü karışımın kalıba dökülmesi ile sağlanır.

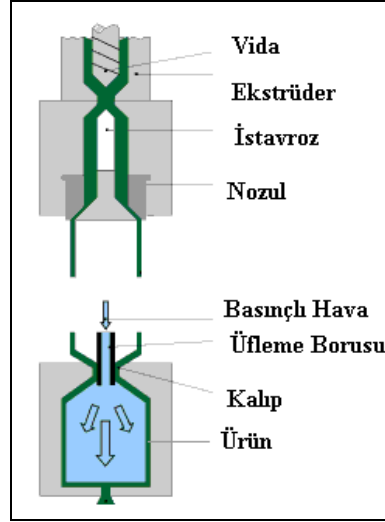


Şekil 2.11 Köpürtme yöntemi

2.4.8 Şişirme Yöntemi

Üfleme prosesi olarak da isimlendirilen yöntem; şişe, bidon, kap vb. gibi içi boş plastik ürünlerin üretilmesinde kullanılır. Ekstrüzyon, enjeksiyon ve çekme olmak üzere 3 şekilde

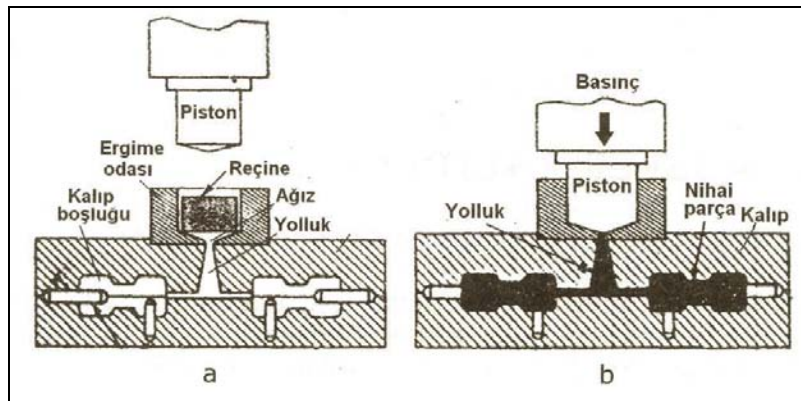
uygulanır. Bu işlem için en uygun plastikler PE, PVC ve termoplastik reçinelerdir. Genellikle tüp biçiminde olan ara ürün, ısıtılmış veya bazı durumlarda bir ön şekil verilmiş olarak iki parçadan oluşan ve içinde nihai ürünün şeklinde bir boşluk bulunan kalıba konulur. Kalıbın kapatılması ile ara ürünün içerisine hava üflenerek şişirilir ve kalıbın şeklini alması sağlanır. Ürün yine kalıp içerisinde soğutularak kalıptan dışarı çıkartılır.



Şekil 2.12 Şişirme yöntemi

2.4.9 Transfer Kalıplama

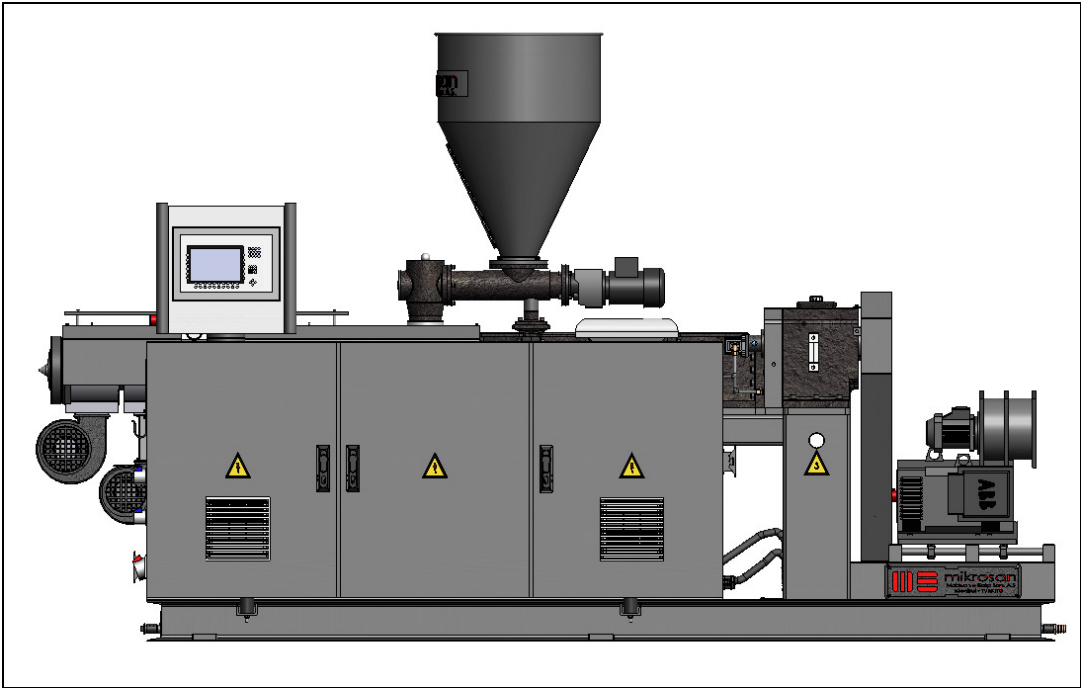
Transfer kalıplama yöntemi termoset malzemelere uygulanır. Bu yöntemde reçine, direkt kalıp boşluğuna değil, ergime odası denilen ayrı bir kaba yeterli miktarda konulur ve ısıtılarak eriyik hale getirilir. Eriyen reçine, yüksek basınç yardımı ile ağız ve yolluktan tamamen kapalı olan kalıp boşluğuna basılır. Çapraz bağlar oluşuncaya kadar, diğer bir ifadeyle reçine katılaşıncaya kadar bekletilir. Sertleşme tamamlandıktan sonra kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır.



Şekil 2.13 Transfer kalıplama yöntemi

3. PLASTİK EKSTRÜDERLERİ

Ekstrüderler, plastik işleme sektöründe en yaygın olarak kullanılan makinelerdir. Günümüzde plastik, metal, seramik, gıda gibi farklı sektörlerdeki malzemelerin ekstrüzyonu için kullanılan çok farklı tipte ekstrüderler vardır. Özellikle plastik ve gıda sektöründe çok çeşitli uygulama alanları olan ekstrüderler, ekstrüzyonun yanı sıra plastik enjeksiyon, şişirmeyle kalıplama (blow molding) ve ısıl şekillendirme (thermoforming) gibi farklı plastik işleme yöntemlerinde de kullanılırlar. Bu çalışmada, plastik ekstrüzyon prosesinde kullanılan ekstrüderler üzerinde durulmuştur.



Şekil 3.1 67/22D çift vidalı bir ekstrüder

Termoplastiklerin ekstrüzyonu için ilk makine, Paul Troester Maschinenfabrik firması tarafından 1935 yılında Almanya'nın Hannover şehrinde yapılmıştır. Bu zamana kadar ekstrüderler, genellikle kauçuk malzemelerin ekstrüzyonunda ve buhar ısıtmalı olarak üretilmişlerdir. 1930'lu yıllardan sonra ekstrüderler, elektrikli ısıtma sistemleriyle donatılarak kısa olan kovan boyları da uzatılmaya başlanmıştır.

Termoplastiklerin işlenmesinde kullanılan eş dönüşlü çift vidalı ekstrüderler de ilk olarak 1937 yılında İtalya'da Roberto Colombo tarafından yapılarak selüloz asetatın karıştırılması için kullanılmıştır. Daha sonra bu çift vidalı ekstrüder, 1938 yılında yine Colombo'nun

kurduğu İtalyan LMP firması tarafından ilk kez imal edilmiş ve PVC boru üretiminde kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 1938 yılında üretilen ilk eş dönüşlü çift vidalı ekstrüder

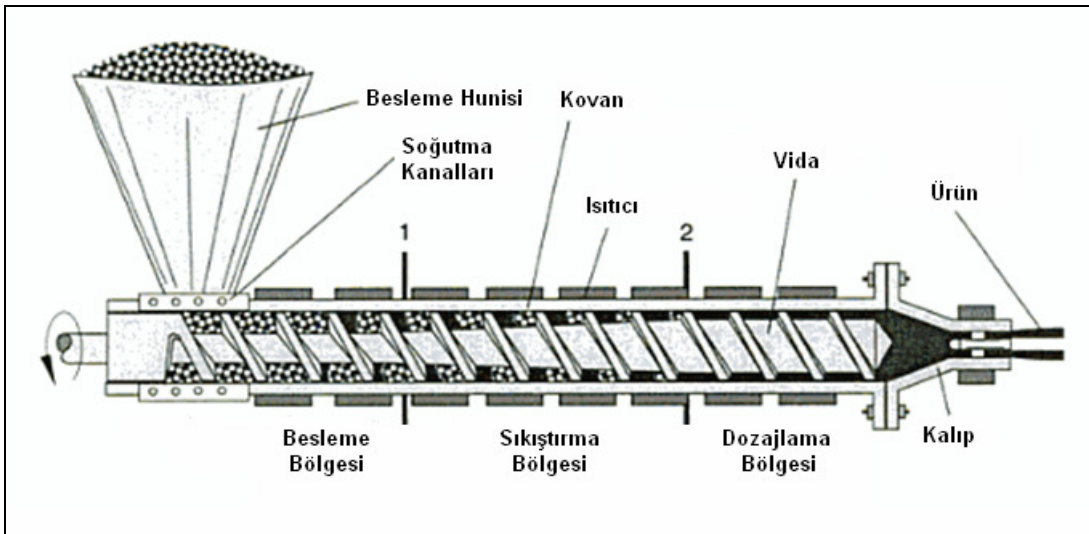
Ekstrüderler, genellikle standart vida çaplarıyla üretilirler. Ancak bazı firmalar, bu çapları standart ölçülerin dışında kendilerine özgü olarak da üretebilirler. Ekstrüder vidaları Amerikan standartlarında $\frac{1}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3 $\frac{1}{2}$, 4 $\frac{1}{2}$, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ve 24 inç olarak, Avrupa standartlarında ise 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 ve 600 mm olarak üretilirler. Ekstrüderlerin tanımlanması da vida çaplarına ve kovan uzunluklarına bağlı olarak yapılır. Kovan uzunluğunun (L) vida çapına (D) oranı, L/D oranı olarak ifade edilir. Bu değer, ekstrüder kovanının aktif uzunluğunu ifade eden boyutsuz bir değerdir. Örneğin vida çapı 60 mm, silindir uzunluğu 30D (60x30mm) olan bir ekstrüder, 60/30D (L/D=30) olarak isimlendirilir.

Ekstrüderler için L/D oranı karakteristik bir özelliktir. İşleme yöntemine, işlenecek malzemeye ve ekstrüderin kapasitesine bağlı olarak genellikle 20-30 arasında değerler alır. L/D oranı; ko-ekstrüzyon veya eriyik transferi yapan ekstrüderler için 20'den düşük, enjeksiyonla ve şişirmeyle kalıplama proseslerinde 25, gaz alma tertibatı olan veya yüksek kapasiteli ekstrüderlerde 30'dan büyük (30-40 arasında) değerler alırlar.

3.1 Ekstrüderin Görevi

Ekstrüzyon makinesi veya ekstrüder, ekstrüzyon prosesine uygun bir malzemeyi boyca süreklilik arz eden bir kesitte ve istenilen boyda üretmek için, uygun bir kalıptan basınç yardımıyla geçirerek şekillendirmek için kullanılan makinedir. Genellikle toz veya granül olarak ekstrüdere beslenen malzeme, bir vida yardımı ile kovan içerisinde ileri doğru taşınarak eritilir ve sıkıştırılır. Ekstrüderin çıkışında bulunan kalıba belli bir basınçla giren malzeme, kalıbın içindeki akış kanalının şeklini alır ve kalıbın çıkış noktasında istenen forma ulaşmış olur. Kalıptan sürekli ve stabil halde çıkan malzeme sayesinde, sabit kesitli bir ürün sürekli olarak üretilmiş olur. Kalıptan çıktıktan sonra üretim hattı boyunca su ve/veya hava yardımıyla soğutulan malzeme, uygun sıcaklığa geldiğinde istenen boyda kesilir ve bitmiş ürün elde edilir.

Ekstrüderin ana görevi, ekstrüzyonu yapılan malzemenin tam olarak erimiş ve karışmış biçimde kalıptan geçmesi için gerekli olan basıncı sağlamaktır. Gerekli olan bu basınç kalıbın geometrisine, malzemenin akış özelliklerine ve akış hızına bağlı olarak değişir. Basit bir tanımlamayla, bir plastik ekstrüderi tıpkı bir pompa gibi plastik malzemeyi eritip basınçlandırmaya yarayan bir makinedir. Ekstrüzyon mamulü olarak film, boru, levha, profil, köpük vb. malzemelerin yanı sıra, bu malzemelerin ekstrüzyonunda kullanılmak üzere pelet veya granül şeklinde yarı mamul ürünler de üretilebilir. Daha sonra bu yarı mamul, tekrar işlenmek üzere ekstrüzyon prosesine girer ve son ürün elde edilmiş olur. Aslında her plastik ürün son halini alana kadar en azından bir sefer ve çoğu zaman da bir seferden fazla olmak üzere ekstrüderde işlem görür.



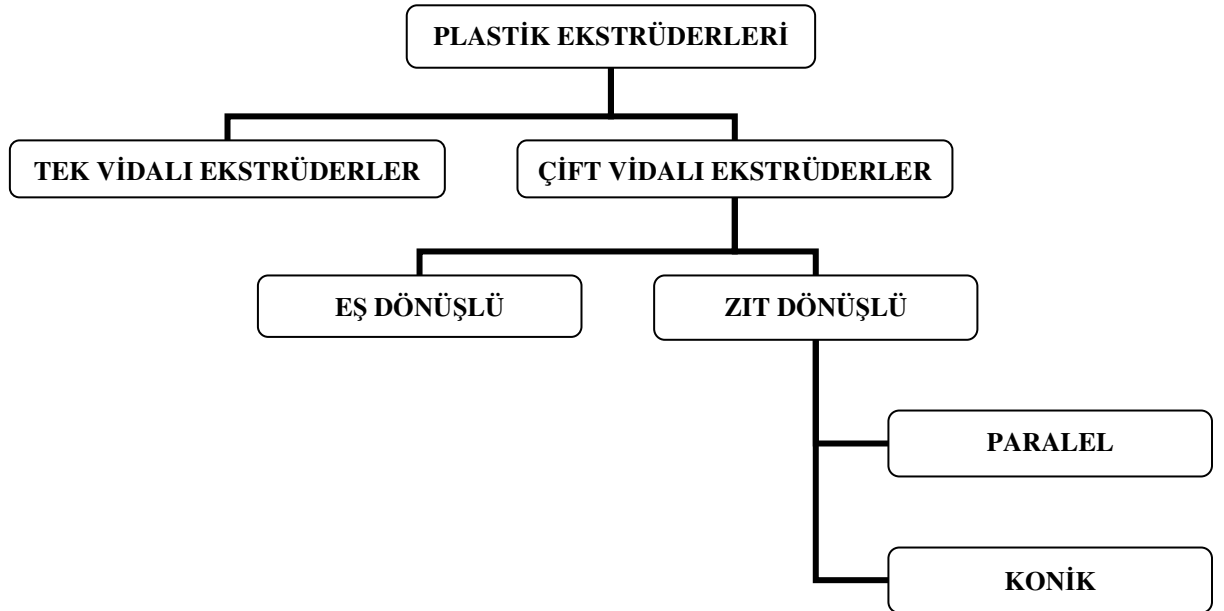
Şekil 3.3 Tek vidalı bir ekstrüderin şematik gösterimi

Malzemenin işlenme biçimi baz alındığında, iki farklı prensipte çalışan ekstrüder tipi vardır. Bunlar sürekli ve süreksiz ekstrüzyon kabiliyeti olan makinelerdir. Sürekli tipteki ekstrüderlerin içinde malzemenin devamlı ve stabil bir biçimde işlenmesini sağlayan döner sonsuz vida veya vidalar bulunur. Süreksiz tipteki ekstrüderlerde ise, malzemenin kalıptan geçirilmesi vida yerine bir piston yardımıyla sağlanır ve proses basamakları bir çevrim esasına dayanır.

3.2 Plastik Ekstrüderlerinin Tipleri

Ekstrüderler, işlenecek malzeme ve proses ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanırlar. Bu nedenle plastik sektöründe kullanılan birçok ekstrüder tipi vardır. Burada, ürünü kesintisiz olarak üreten vidalı ekstrüderler ve tiplerinden bahsedilecektir.

Vidalı ekstrüderleri genel olarak tek vidalı ve çift vidalı olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Çift vidalı ekstrüderlerin haricinde özel uygulamalar için kullanılan çok vidalı ekstrüderler de mevcuttur. Ancak bu çalışmada plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan tek ve çift vidalı ekstrüderler hakkında bilgi verilecektir.

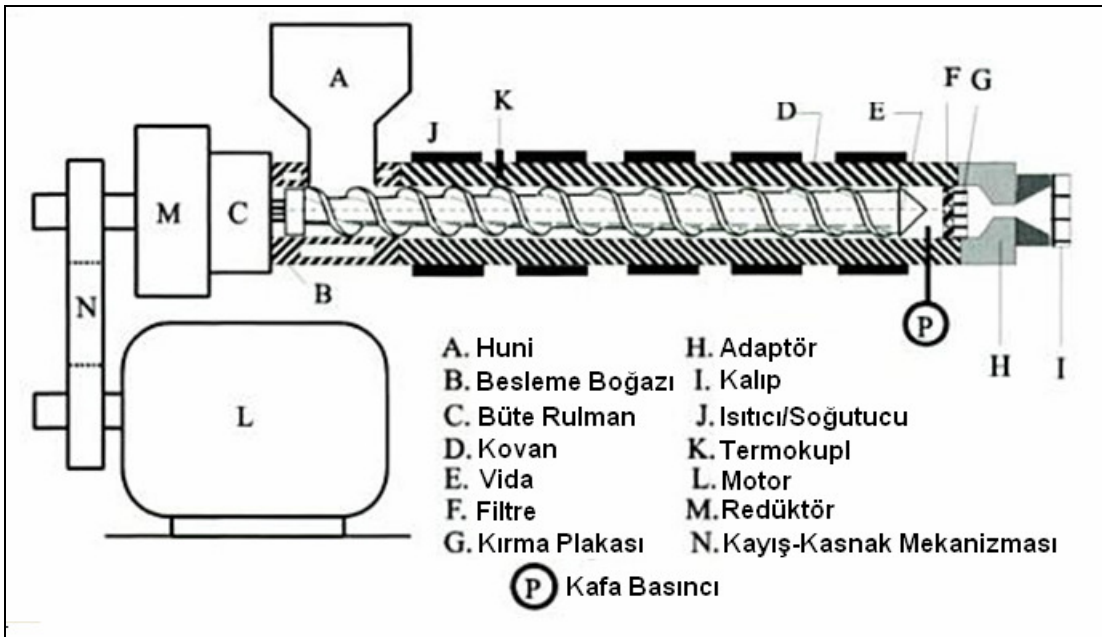


Şekil 3.4 Plastik ekstrüderlerinin sınıflandırılması

3.2.1 Tek Vidalı Ekstrüderler

Tek vidalı ekstrüderler, plastik işleme endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan ekstrüder tipidir. En önemli avantajları; diğer ekstrüder tiplerine göre düşük maliyetleri, daha basit dizaynları ve yüksek performans/maliyet oranlarıdır.

Tek vidalı bir ekstrüder, ısıtıcılarla donatılmış bir kovanın içerisinde yer alan sonsuz bir vidaya sahiptir. Birçok ekstrüderde ısıtma sistemine ek olarak soğutma sistemi de yer alır. Kovanın ilk bölgesinde ham madde besleme boğazı ve üzerinde de bir huni bulunur. İşlenecek plastik ham madde, huni yardımıyla makineye beslenir. Ham madde besleme boğazı, malzemenin işleme esnasında eriyerek bu bölgeye yapışmasını engellemek amacıyla sürekli olarak soğutulur. Silindirin çıkışında bir adaptör, ve bunun da önünde bir kalıp bulunur. Vida, ekstrüderin arka kısmında bulunan bir motorla tahrik edilir. Ancak bu motor, vidayı tahrik etmek için direkt olarak kullanılmaz. Bir redüktör yardımıyla ve/veya kayış-kasnak mekanizmasıyla hızı düşürülür ve torku artırılır. Bunun yanında, ekstrüder vidasını tahrik etmek için vidaya direkt olarak bağlanan yeni teknoloji ürünü tork motorları da vardır. Bu motorların özelliği, düşük devirde çalışmaları ve yüksek tork çıkışına sahip olmalarıdır. Bu sayede, sistemde redüktöre ihtiyaç duyulmaz. Ancak bu teknoloji henüz çok yeni olduğu için, uygulama alanı sınırlıdır ve günümüzde çok yaygın olarak kullanılmamaktadır.

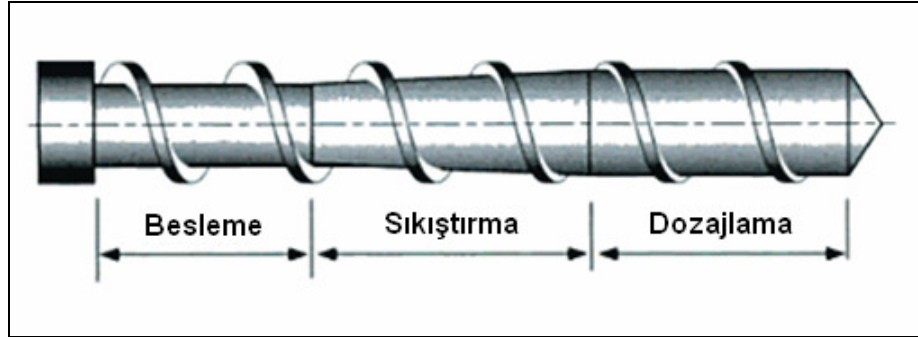


Şekil 3.5 Tek vidalı bir ekstrüderi oluşturan komponentler

Ekstrüzyonu yapılacak malzeme, besleme hunisinden ekstrüdere genellikle yerçekimi kuvvetinin etkisiyle serbest bir şekilde beslenir. Malzeme, huniden aşağıya inerek ekstrüder kovanının giriş bölümüne (besleme boğazına) gelir ve vidanın dönmesi sonucu üzerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle vida boyunca ileriye doğru taşınır.

Ekstrüderin içinde ilerleyen malzeme; polimer-vida, polimer-kovan ve polimer-polimer arasında oluşan sürtünme ısısının ve kovan etrafında bulunan ısıtıcıların da yardımıyla gittikçe ısınır. Malzemenin sıcaklığı erime sıcaklığını geçtiği anda, kovan iç yüzeyinde eriyik film tabakası oluşur. Bu noktadan itibaren artık malzeme erimeye başlamıştır.

Vidanın fonksiyonel bölgelerinin (besleme, sıkıştırma, dozajlama) sınırları; işlenen malzemenin özelliklerine, makine dizaynına ve proses koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örnek olarak; plastik malzemenin vidanın sıkıştırma bölgesinin başlangıcında erimeye başlaması gerekirken, pratikte bu şekilde olmayabilir. Aynı şekilde sıkıştırma bölgesinin sonunda tamamen eriyik hale geçmesi gereken malzeme, henüz tam olarak erimemiş olabilir. Bunun gibi sorunların sebebi, proses koşullarının birçok parametreye bağlı olarak değişmesinin yanında, makine dizaynının teoride ne kadar iyi olsa da bu şartlara her zaman tam anlamıyla uyum sağlayamayacak biçimde sabit olmasıdır.



Şekil 3.6 Ekstrüder vidasının fonksiyonel bölgeleri

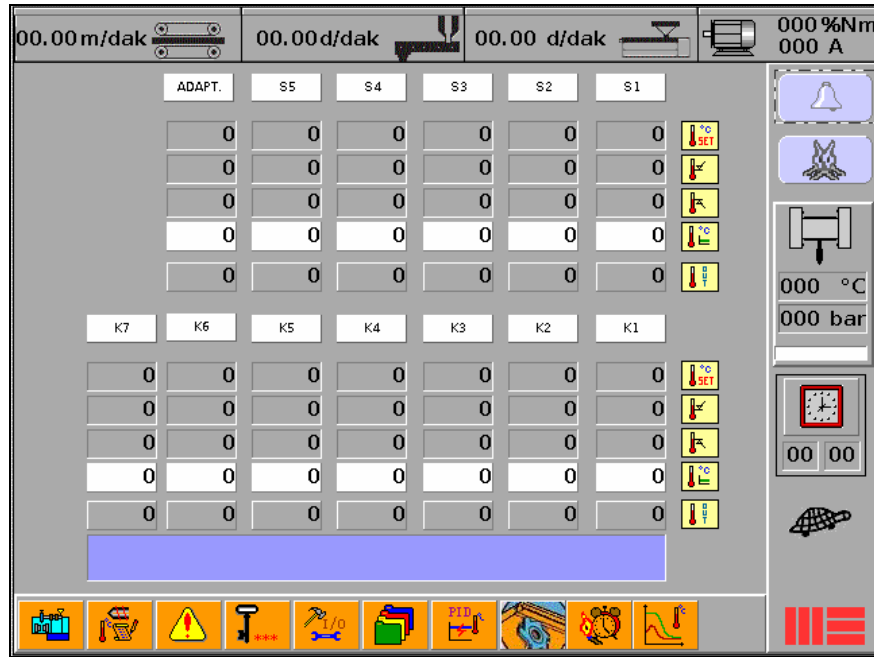
Plastik malzeme, ekstrüderin içinde ilerledikçe erimenin bir sonucu olarak katı halden eriyik hale sürekli bir geçiş olacaktır. Bütün katı partiküller eridiğinde, malzemenin bundan sonra ekstrüder içindeki dozajlanma süreci başlar. Dozajlama bölgesindeki eriyik malzeme, basit bir ifadeyle kalıba doğru pompalanır. Eriyik malzeme, kalıbın akış kanalı boyunca ilerlerken kanalın şeklini alır ve kalıptan dışarı sürekli bir biçimde çıkar.

Kalıp, içinden geçen eriyik malzemeye karşı akış kanalı boyunca bir direnç gösterir ve bu direnç kafa basıncı (die head pressure) olarak tanımlanır. Malzemenin kalıptan uygun şekilde

çıkması için, oluşan bu kafa basıncını yenmesi gerekir. Kafa basıncının oluşmasında kalıbın (akış kanalının) şekli, kalıptaki akış debisi, eriyik malzemenin sıcaklığı ve reolojik özellikleri etkilidir. Kafa basıncının aslında ekstrüderden değil, kalıptan kaynaklanması önemli bir husustur. Ekstrüderin görevi, eriyik malzemenin kalıptaki bu direnci yenmesi için gereken uygun basıncı sürekli ve stabil biçimde sağlamaktır. Eriyik malzemenin özellikleri, akış debisi ve kalıbın içindeki sıcaklıklar aynı değerlerde olduğu müddetçe, kafa basıncı da bunlara bağlı olarak sabit bir değerde kalacaktır.

Ekstrüderin ön tarafında oluşan kafa basıncı, vida üzerinde bir geri baskı kuvveti oluşturur. Bu kuvvete eş ve zıt yönde oluşan tepki kuvveti de aynı şekilde adaptöre etki eder. Vidaya etkiyen geri baskı kuvveti, redüktör üzerinde bulunan bir büte rulman grubu tarafından, adaptöre etki eden kuvvet ise adaptöre tespit edilen civatalar tarafından karşılanır. Vidaya direkt olarak bağlanan tork motorlarında, bu rulman grubu motorun üzerinde bulunur.

Geri baskı kuvveti, kafa basıncına bağlı olarak çok yüksek değerlere çıkabilir ve tedbir alınmadığı takdirde ciddi zararlara yol açabilir. Bu nedenle, kafa basıncı adaptörün içinde bulunan bir basınç sensörü yardımıyla ekstrüderin monitöründen izlenerek sürekli olarak kontrol edilir (Şekil 3.7). Ekstrüderi oluşturan komponentler, çoğu zaman 700 bar kafa basıncına dayanacak biçimde dizayn edilirler. Ancak güvenlik açısından, kafa basıncının belli bir değer üzerine çıkması durumunda (350-400 bar) ekstrüderin çalışması kontrol sistemi tarafından otomatik olarak durdurulur.



Şekil 3.7 Bir ekstrüderin kontrol paneli

Ekstrüder vidasının dozajlama bölgesindeki kanal kesitinin, besleme bölgesindeki kanal kesitine oranı sıkıştırma oranı (compression ratio) olarak tabir edilir. Vidaların sıkıştırma oranı, yüksek viskoziteli ve yüksek dökme yoğunluğu olan malzemeler için “2” değerinden başlayarak, düşük viskoziteli ve düşük dökme yoğunluğu olan malzemeler için “5” değerine kadar çıkabilir. “dökme yoğunluğu” (bulk density) ifadesi, granül veya toz halindeki malzemenin belli bir hacimde sahip olduğu kütle için kullanılır ve sürekli değişken değerler alabilir. Örneğin HDPE malzeme için katı haldeki yoğunluk değeri $0,95 \text{ g/cm}^3$ iken, dökme yoğunluğu yaklaşık olarak $0,60 \text{ g/cm}^3$ ’tür.

Ekstrüderlerin çalışma hızları, vidanın dönme hızına bağlı olarak ifade edilir. Büyük vida çapına sahip ($D > 90 \text{ mm}$) ekstrüderlerde vida hızları 50-150 dev/dk mertebesindeyken, küçük vida çapına sahip ekstrüderlerde bu hızlar 100-250 dev/dk değerlerine kadar çıkabilir. Ekstrüder vidasının devri, motorun değiştirilebilir devri sayesinde çıkış kapasitesine ve eriyik kalitesine bağlı olarak istenen şekilde ayarlanabilir.

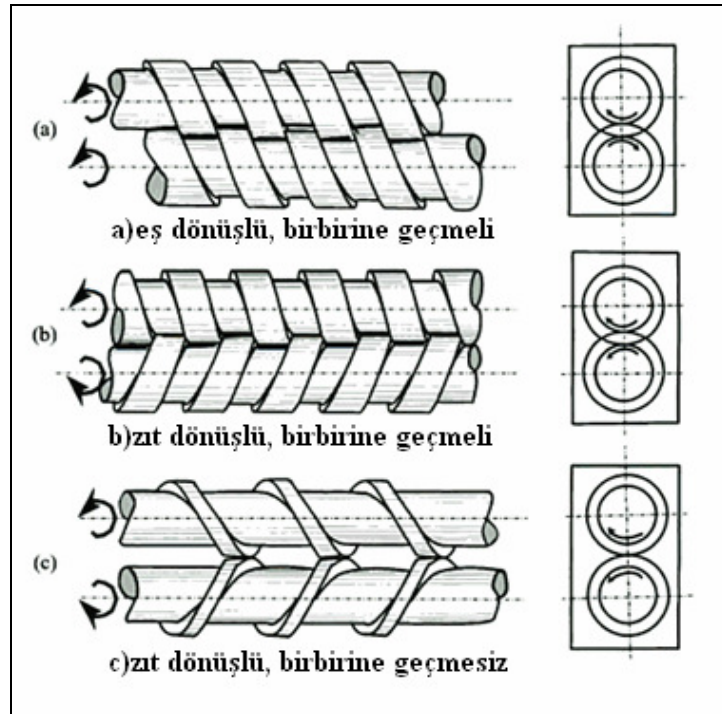


Şekil 3.8 60/36D tek vidalı bir ekstrüder

3.2.2 Çift Vidalı Ekstrüderler

Çift vidalı ekstrüderler, 1930'lu yıllarda ilk kullanılmaya başladıklarından itibaren bazı mekanik problemlerden dolayı tek vidalı ekstrüderler gibi yaygın biçimde kullanılmamışlardır. Bu problemlerin en başında, vida üzerindeki kuvvetleri karşılayan rulman gruplarının aksel ve radyal yüklerle karşı yeterince mukavim olmamalarıydı. 1960'ların sonlarında, çift vidalı ekstrüderler için özel olarak tasarlanan rulmanlar sayesinde çift vidalı ekstrüderler de mekanik açıdan yeterli bir seviyeye gelerek tek vidalı ekstrüderlerle karşılaştırılabilir duruma gelmişlerdir. Günümüzde çift vidalı ekstrüderler, plastik işleme endüstrisindeki yaygın kullanım alanları ve işlevleri bakımından çok önemli bir yere sahiptirler.

Çift vidalı ekstrüderlerin iki önemli uygulama alanı, termal açıdan hassas olan termoplastiklerin (PVC gibi) işlenmesi ve kompaund yapımı gibi özel polimer işleme yöntemleridir. İşlenecek malzemeye ve prosese bağlı olarak geliştirilmiş birçok çift vidalı ekstrüder tipi vardır. Bu makineler genel olarak eş dönüşlü ve zıt dönüşlü olarak ikiye ayrılırlar da, kendi içlerinde birbirine geçmeli, geçmesiz, paralel, konik gibi birçok farklı özelliği de bünyelerinde bulundurabilirler. Sonuç olarak çift vidalı bir ekstrüderin tipi, birden çok özelliğine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Çift vidalı ekstrüderlerin tiplerine bağlı olarak vida çalışma mekanizmaları, Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Paralel çift vidalı ekstrüder tipleri ve çalışma mekanizmaları

Zıt dönüşlü ekstrüder vidalarının eksenleri, genellikle birbirlerine paralel olur. Bu tip bir ekstrüder “paralel çift vidalı ekstrüder” olarak tanımlanır. Bunun yanında, vida eksenleri paralel değil de arasında belli bir açıyla konumlandırılmış tipleri de vardır. Bu ekstrüderlerin vida çapı, ekstrüderin arka tarafından ön tarafa doğru belli bir koniklik açısıyla gittikçe küçülür. Bu tipteki ekstrüderler, “konik çift vidalı ekstrüder” olarak tanımlanırlar.

Çift vidalı ekstrüderlerin tek vidalı ekstrüderlere göre birçok avantajı vardır. Malzemeyi ekstrüdere daha iyi besleme ve vida boyunca daha iyi taşıma özellikleri sayesinde, ekstrüder içinde ilerlemesi zor olan toz veya kaygan özellik gösteren malzemelerin işlenmesine olanak sunarlar. Proses esnasında malzemeyi iyi karıştırmaları ve malzemeye iyi ısı transferi sağlamaları neticesinde, işlenen plastik malzemenin sıcaklık kontrolü de çok daha sağlıklı biçimde yapılabilir. Sıcaklığa çok duyarlı olan plastik malzemelerin işlenmesinde, bu çok önemli bir özelliktir.



Şekil 3.10 110/25D zıt dönüşlü paralel çift vidalı bir ekstrüder

Boru ve profil ekstrüzyonunda kullanılan çift vidalı ekstrüderlerin vida diş üstü ile vida kanal profili iç içe geçer ve aralarında çok az boşluk bulunur. Bu nedenle, 10-40 dev/dk gibi düşük hızlarda çalışırlar. Buna karşılık, eş dönüşlü ve birbirine geçmeli vidalara sahip ekstrüderlerin hızları 300-600 dev/dk mertebelerine kadar ulaşmaktadır. Bu tip yüksek hızda çalışan ekstrüderler, plastik kompaund yapma işleminde kullanılırlar.

Birbirine geçmesiz vidalara sahip olan ekstrüderlerin, birbirine geçmeli vidalılara göre malzemeyi ileriye doğru taşıma kabiliyetleri düşüktür. Buna karşılık malzemeyi karıştırma özellikleri çok iyidir. Çift vidalı ekstrüderlerin malzemeyi ileri taşıma kapasiteleri arttıkça, malzemeyi karıştırma kabiliyetleri azalmaktadır ve prosese uygun ekstrüder seçimini yapmak verimlilik ve kalite açısından çok önemlidir.

3.3 Ekstrüderi Oluşturan Komponentler

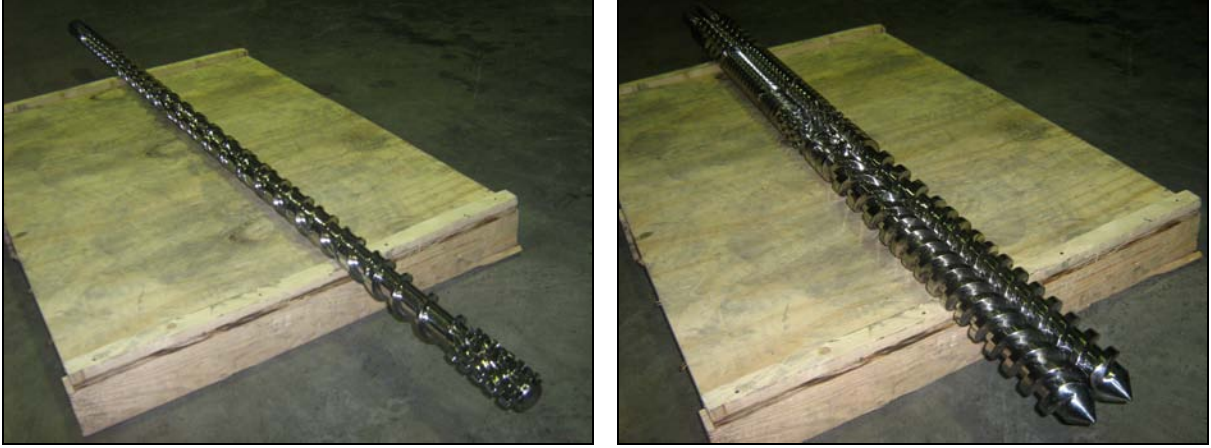
Ekstrüderler, ihtiyaçlarına ve tiplerine bağlı olarak çeşitli komponentlerden oluşurlar. Ekstrüderin verimli ve prosese uygun biçimde çalışabilmesi için, uygun komponentlerden oluşması gereklidir. Bu bölümde, tek vidalı bir ekstrüderi oluşturan komponentlerden bahsedilecektir.

3.3.1 Vida

Ekstrüderin kalbi olarak nitelendirilen vida (burgu), etrafı helisel bir dişle çevrili olan ve değişik çaplarda olabilen uzun bir mil şeklindedir. Vidanın dönmesi sonucu malzemenin ekstrüder içinde ileri doğru taşınması ve homojen bir şekilde karıştırılması sağlanır. Malzemenin ısınması ve erimesi için gerekli olan enerjinin büyük kısmı da vidanın dönme hareketinden karşılanır. Vidanın dizaynı, ekstrüderin görevini iyi şekilde yerine getirmesini sağlayan en önemli etkidir. Bir ekstrüder, çok gelişmiş kontrol sistemlerine sahip olsa bile, dizaynı iyi yapılmamış bir vidayla iyi sonuçların elde edilmesi zordur. Vida dizaynı günümüzde ihtisas gerektiren bir konudur. Gelişen ekstrüzyon teorisi ve teknolojisi ile birlikte, her geçen gün farklı bir boyut kazanmaktadır.

Vidalar, çalışma esnasında birçok etkenden dolayı kesme, sürtünme ve burulma kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu yüklerin etkisi ile vida yüzeyinde abrazif ve adhezif aşınma meydana gelir. Bu aşınma mekanizmaları dışında, işlenen malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olarak yüzeyde oluşturduğu korozyon etki ve aşındırma, vidanın kullanım ömrünü sınırlayan diğer bir etkidir. Ekstrüzyon prosesi esnasında oluşan yüksek basınç, sıcaklık ve sürtünme, aşınma

mekanizmalarını hızlandırır ve belirli bir süre sonunda vidada deformasyon oluşumuna neden olur. Deformasyon engellenemez ama çeşitli yöntemlerle oluşum zamanı geciktirilir. Bu yüzden vida üretiminde kullanılacak olan malzemenin seçimi ve bu seçime bağlı olarak malzemeye uygulanacak mekanik, kimyasal ve fiziksel özellik iyileştirici yöntemler, ekstrüder performansını ve ekstrüzyon prosesinin verimliliğini belirleyici etkenlerdendir.



Şekil 3.11 PE (solda) ve PVC üretiminde (sağda) kullanılan tek ve çift ekstrüzyon vidaları

Ekstrüderlerde kullanılan vidaların üretiminde genel olarak Nitralloy grubu olarak bilinen özel nitrasyon çelikleri kullanılır. Üretimden sonra malzemeler genellikle, nitrüleme olarak bilinen termokimyasal ısıl işleme tabi tutulurlar. Bu işlem ile malzeme yüzeyinden iç kısma doğru belirli bir derinlikte sertleştirme yapılarak vidanın aşınma, korozyon ve yorulma dayanımı artırılır. Ekstrüder vidaları için özel olarak geliştirilen ve 120-140 saat arasında işlem süresine sahip kontrollü gaz nitrüleme prosesleri ile aşınma mekanizmalarına karşı çok başarılı sonuçlar alındığı iyi bilinmektedir.

Vidaların yüzey özelliklerini geliştiren, ekonomik ve pratik bir yöntem olan nitrüleme işlemi dışında daha yüksek aşınma ve korozyon dayanımı sağlayan yöntemler ve malzemeler de mevcuttur. Gelişen teknoloji ile helis ve vida kanal yüzeylerine PVD-CVD ve termal sprej kaplama yöntemleri ile yapılan özel alaşımlı ve sertliği yüksek kaplamalar, özel kaynak yöntemleri, toz metalurjik yöntemler ile üretilmiş ve komple sertleştirilmiş vidalar bunlara örnek gösterilebilir.

Genel olarak vida üretiminde kullanılan malzemeler, uygulanan ısıl işlemler ve bu işlemler ile malzemelere kazandırılan özellikler Çizelge 3.1’de, vida üzerine yapılan kaplamalar ve bu kaplamaların vidaya kazandırdığı özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Ekstrüder vidası imalatında kullanılan malzemelerin özellikleri

	Vida Malzemesi	Isıl İşlem	Sertlik	Çekirdek Sertliği	Yüzey Sertliği	Aşınma Dayanımı	Korozyon Dayanımı	Nitrüleme Derinliği
Aşamalı Çelikler	AISI 4140	Alevle Yüzey Sertleştirme	-	28-32 HRC	48-55 HRC	*	*	-
	AISI 4340	Alevle Yüzey Sertleştirme	-	28-32 HRC	48-55 HRC	*	*	-
Nitrasyon Çelikleri	Nitralloy 135M	Nitrüleme	-	28-34 HRC	1000-1100 HV _(0,3)	**	**	0,5-0,7 mm
	(1.8550) 34CrAlNi7	Nitrüleme	-	28-34 HRC	1000-1100 HV _(0,3)	**	**	0,5-0,7 mm
	(1.8519) 31CrMoV9	Nitrüleme	-	28-34 HRC	750-850 HV _(0,3)	**	**	0,6-0,8 mm
Takım Çelikleri	(1.2379)(D-2) X155CrMoV12 1	Çekirdek Isıl İşlem	58-60 HRC	-	-	***	*	-
	(1.2344)(H13) X40CrMoV5 1	Çekirdek Isıl İşlem	58-60 HRC	-	-	***	*	-
	Duranickel 301	-	-	-	-	*	****	-
	Hastelloy C-276	-	-	-	-	*	****	-
Toz Metalurjik Takım Çelikleri	CPM Çelikleri (CPM-9V, CPM-10V, CPM-T440, CPM-M4)	Çekirdek Isıl İşlem	52-59 HRC	-	-	***	*	-
Paslanmaz Çelikler	AISI 304	Çekirdek Isıl İşlem	90 HRB	-	-	*	**	-
	AISI 316	Çekirdek Isıl İşlem	90 HRB	-	-	*	***	-
	AISI 416	Çekirdek Isıl İşlem	30 HRC	-	-	*	***	-
	17-4PH	Çekirdek Isıl İşlem	42 HRC	-	-	**	***	-

(*)Zayıf, (****)Mükemmel

Çizelge 3.2 Ekstrüder vidalarında kullanılan bazı kaplama malzemelerinin özellikleri

Vida Kaplama Malzemesi	Sertlik	Aşınma Dayanımı	Korozyon Dayanımı
Stellite 1	48-52 HRC	***	***
Stellite 6	30-36 HRC	*	***
Stellite 12	32-38 HRC	**	***
Colmonoy 56	46-53 HRC	***	***
Colmonoy 83	48-56 HRC	****	***
Sert Krom Kaplama	800-1100 HV _(0.1)	***	**
Kimyasal Nikel Kaplama	500-600 HV _(0.1)	**	*****
TiN (PVD Kaplama)	2500 HV _(0.05)	****	***
CrN (PVD Kaplama)	2100 HV _(0.05)	****	****
CrN (PVD Kaplama – Çift Katman)	2100 HV _(0.05)	*****	*****
BNW 8000	1000-1400 HV _(0.2)	*****	*****

(*)Zayıf, (*****Mükemmel

3.3.2 Kovan

Kovan (silindir), ekstrüder vidasını içinde yataklayan ekstrüder elemanıdır ve iki tarafı flanşlı bir silindir şeklindedir. Kovanlar, 700 bar'a kadar yüksek iç basınçlara dahi dayanabilecek ve iyi bir yapısal rijitliğe sahip olacak şekilde dizayn edilirler.

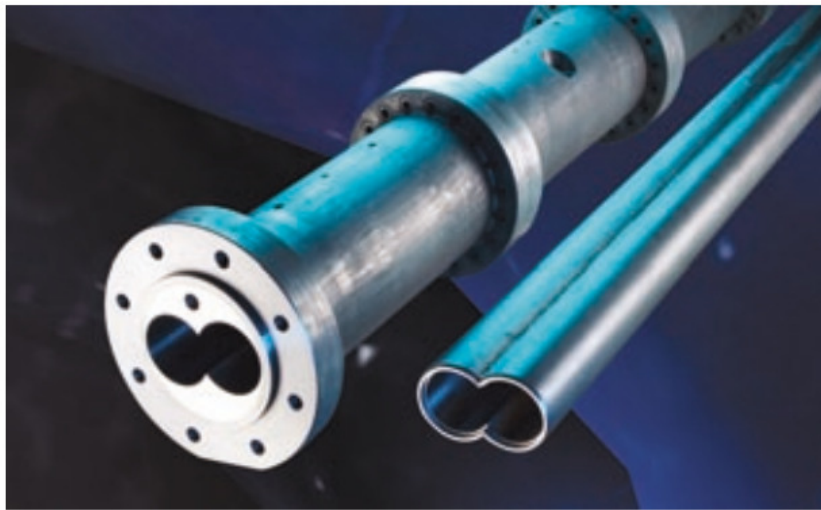
Kovanlar, çalışma ömürlerinin uzun olması açısından aşınma ve korozyon direnci yüksek bir iç yüzeye sahip olmalıdırlar. Bu kriterler kapsamında nitrülenmiş kovanlar ve bimetalik kovanlar, ekstrüderlerde en yaygın olarak kullanılan kovan çeşitlerindedir.

Nitrülenmiş kovanlar; hem yüksek yüzey sertlikleri, hem de düşük üretim maliyetleri ile geniş kullanım alanına sahiptirler. Nitrüleme, azotun çelik yüzeyine difüzyonu prensibi ile gerçekleştirilir. Yüzeyden itibaren 0,5 mm'yi geçemeyen efektif nitrüleme derinliği (efektif sertleşme derinliği) ve sertleştirilen bölgede derinlik ile ters orantılı olarak azalan sertlik değerleri, bu işlemin dezavantajlarından. Bunun nedeni, aşınmaya karşı gösterilen direncin malzeme yüzeyi aşındıkça azalması ve aşınmanın giderek hızlanmasıdır. Nitrüleme ile

sertleştirilen yüzeylerin sınırlı bir sertleşme derinliğine sahip olmasından dolayı nitrürlenmiş kovanların çalışma ömürleri sınırlıdır. Nitrürlenmiş kovanlar; üretim maliyeti, üretim teknolojisi ve tekrar üretilebilirlik açısından avantajlı oldukları için daha fazla tercih edilirler.

Vidaya göre yenileme maliyeti çok daha yüksek olan kovanın, uzun çalışma ömrüne sahip olması çok büyük bir avantajdır. Bu amaçla geliştirilen ve son yıllarda kullanım oranı giderek artan bimetalik kovanlar, nitrürlenmiş kovanlara göre çok daha avantajlıdır. Gelişen üretim teknolojisi ve malzeme bilimi sayesinde vida, kovan ve işlenen malzeme arasında meydana gelen aşınma mekanizmalarına karşı dayanımı çok yüksek kaplama malzemelerinin üretilebilmesi ve kovan iç yüzeyinin bu malzemeler ile kaplanması sonucunda bimetalik kovan olarak adlandırılan bu kovanların, nitrürlenmiş kovanlara nazaran çalışma ömürlerinde 4 kata kadar artış sağlanır. Temel alaşımı demir, tungsten karbür ya da nikel olabilen bu iç katmanlar, 1,5-2 mm arasında kalınlığa sahiptirler. Kesitleri boyunca sahip oldukları homojen ve yüksek sertlik değeri sayesinde lineer bir aşınma oranı sergilerler.

Çalışma ömürleri yüksek olan bimetalik kovanların aşınma sürelerinin de önceden öngörülebilmesi diğer bir avantajdır. Aşınan bir bimetalik kovan, iç katmanı tekrar üretilerek yeniden kullanılabilir hale getirilir ve böylece yeni bir kovan üretimi için oluşacak maliyet ortadan kalkmış olur. Ayrıca, bimetalik kovanların nitrürlenmiş kovanlara nazaran sahip oldukları daha yüksek korozyon direnci sayesinde, örneğin PVC'nin termal bozunum sonrasında meydana getirdiği ya da halojen içeren katkı maddelerinin neden olduğu korozif etkilere karşı çok iyi dayanım sağlanır.



Şekil 3.12 Bimetalik iç yüzeye sahip bir kovan

Bimetalik kovanların üretim ve teknoloji maliyetleri, nitrülenmiş kovanlara oranla çok daha fazladır. Aşınma ve korozyon dayanımları, yenileme maliyetleri ve çalışma ömürleri açısından değerlendirme yapılırsa, ilk yatırım maliyetleri kaliteli ve uzun süreli bir üretim açısından kabul edilebilir ölçüdedir. Yüksek korozif ve aşındırıcılık etkisine sahip ve üretim kapasitesi yüksek ekstrüzyon proseslerinde, nitrülenmiş kovanların çok kısıtlı olan çalışma ömrü ve dolayısıyla oluşacak fazla yenileme maliyetleri göz önüne alındığında, uzun vadeli ve yüksek kapasiteli üretimlerde bimetalik kovanların kullanımı gerekli ve önemlidir.

3.3.3 Besleme Boğazı

Ekstrüderde plastik malzemenin vida ile ilk bulunduğu bölüm besleme boğazıdır. Bazı ekstrüderlerde besleme boğazı kovandan ayrı olarak imal edilirken, bazılarında ise besleme boğazı ve kovan birlikte tek bir parçadan oluşur.

Besleme boğazı, genellikle su ile soğutulur. Bunun nedeni, plastik malzemenin sıcaklığının ekstrüderin içinde ilerlerken erkenden yükselmesini önlemektir. Eğer malzeme gereğinden fazla ısınıp zamanından önce erimeye başlarsa, kovan cidarının iç yüzeyine yapışır ve gelen malzemenin önünü tıkayarak ekstrüdere malzeme beslenmesine karşı bir direnç oluşturabilir. Bu da ekstrüderin performansını ciddi olarak düşüren bir problemdir. Aynı şekilde eriyen malzeme vida yüzeyine de tutunabilir ve vidanın besleme bölgesinde gerçekleşen katı malzeme taşınmasını engelleyebilir.

İç yüzeyleri düz olan besleme boğazlarının yanında, yüksek kapasiteli ekstrüderlerde sıkça kullanılan kanallı (grooved) besleme boğazları da vardır. Bu kanalların efektif uzunluğu 3-5 D kadar olabilir. Kanalların aksenel yönde derinliği gittikçe azalır ve belli bir noktadan sonra düz bir iç yüzeye sahip olan kovan başlar. Kanallı tipteki bir besleme boğazı, Şekil 3.13'de gösterilmiştir.

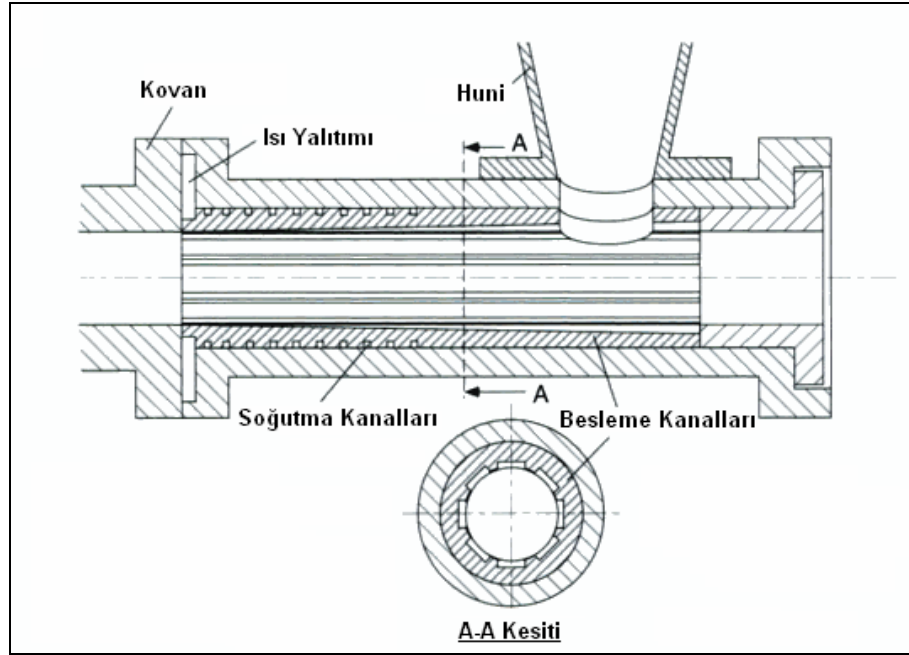
Besleme boğazının işlevini iyi biçimde yerine getirebilmesi için, aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Yüksek soğutma kapasitesi
- Kovan ile besleme boğazı arasında iyi bir ısı yalıtımı
- Yüksek basınç mukavemeti

Kanallı besleme boğazına sahip olan özellikle yüksek kapasiteli ekstrüderlerde, boğazda yüksek soğutma ihtiyacı gereklidir. Bunun nedeni, bu bölgede işlenen malzemenin açığa

çıkardığı yüksek sürtünme ısısıdır. Eğer bu ısı çabuk bir şekilde boğazdan uzaklaştırılmazsa, daha önceden de bahsedildiği gibi plastik malzeme zamanından önce yumuşamaya ve hatta erimeye başlayacaktır. Buna bağlı olarak da kanallı besleme boğazının ham madde besleme kapasitesi önemli ölçüde azalacaktır. Boğaz ile kovan arasında, kovandan boğaza olan ısı transferini en aza indirmek için ayrıca ısı yalıtımı kullanılır. Bunun nedeni, soğutma verimliliğini arttırmaktır.

Kanallı besleme boğazında, plastik ham maddenin kanallarda sıkışması sonucu 1000-3000 bar mertebelerinde çok yüksek basınçlar oluşabilir. Bu yüzden besleme boğazının dizaynı, bu basınçlara mukavemet gösterecek şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde, oluşan bu yüksek basınçlar sisteme ciddi zararlar verebilir.



Şekil 3.13 Kanallı ham madde besleme boğazı

3.3.4 Besleme Hunisi

Granül veya toz şeklindeki plastik malzemenin ekstrüdere beslendiği konik formdaki kısım, huni olarak isimlendirilir. Hunilerin koniklik açısı, beslenecek malzemeye uygun olarak seçilir ve malzemeler huniden ekstrüdere yerçekimi kuvvetinin etkisiyle genellikle sorunsuz bir şekilde beslenirler. Malzeme huniden akış için uygun özellikleri gösterse bile, iyi dizayn edilmemiş bir huniyle ekstrüderi sağlıklı bir şekilde beslemek mümkün olmaz. Huniden aşağıya doğru serbest akmaya uygun olmayan malzemeler, hunide köprüleşmeye (bridging) sebep olabilir. Böyle durumlarda malzemenin ekstrüdere sürekli bir biçimde beslenmesini sağlamak için huni vibrasyonu, karıştırıcı, dozajlama vidası vs. gibi ek donanımlar gerekir.

Ekstrüderin çalışma kapasitesine bağlı olarak işlenen malzeme seviyesi hunide sürekli olarak azalır. Azalan malzemenin huniye sürekli olarak doldurulması ve hunide belli bir seviyenin altına düşmemesi gerekir. Bunun için işletmedeki görevli bir kişi ya da makinenin operatörü, sürekli olarak azalan malzemeyi takip etmeli ve eksilen miktarı huniye tamamlamalıdır. Ancak bu işlem, modern plastik işleme tesislerinde pek tercih edilmez. Bunun yerine, malzemeyi otomatik olarak uygun yerde konumlandırılmış bir silodan alarak pnömatik nakille huninin üzerine taşıyan ham madde yükleme cihazları vardır. Pnömatik nakille taşınması mümkün olmayan, örneğin toz PVC gibi malzemeler de esnek bir hortumun içinde bulunan dozajlama vidası yardımıyla huniye taşınır.

Günümüzde plastik işleme fabrikaları, ürünün özelliklerini iyileştirmek ve üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla ana ham maddenin yanı sıra ek ham maddelere, geri dönüşüm (hurda) ve katkı malzemelerine de ihtiyaç duyarlar. Sonuç olarak, ekstrüdere beslenen malzeme birden çok komponentin karıştırılmasıyla hazırlanmış olur. Bu karıştırma işlemi, malzeme ekstrüderde işlem görmeden önce fiziksel olarak yapılır. Bu işlemin daha sağlıklı bir şekilde yapılması için ise, ekstrüderin üzerine huninin yerine konulan ve birden çok malzemeyi istenen oranlarda karıştırarak ekstrüdere besleyebilen cihazlar kullanılır. Bu cihazlar, malzemeyi oluşturacak komponentleri volümetrik veya gravimetrik olarak karıştırarak ekstrüdere verebilirler. Daha gelişmiş cihazlarla, birim zamanda ekstrüdere beslenen malzeme miktarı ile ekstrüderden birim zamanda çıkan malzeme miktarının senkronizasyonu sağlanarak, ekstrüzyon ürünü malzemenin birim boydaki ağırlığının kg/m olarak sabit tutulması dahi sağlanabilmektedir.



Şekil 3.14 Sekiz komponentli bir ham madde dozajlama cihazı

3.3.5 Ekstrüzyon Kalıbı

Ekstrüzyon kalıpları, ekstrüderin çıkış bölgesine bağlanırlar ve ekstrüderden çıkan malzemeye istenilen şeklin verilmesini sağlarlar. Ekstrüzyon ürünleri boru, profil, levha gibi çok değişik formlara sahip olabilirler ve değişik malzemelerden üretilebilirler. Bu yüzden kalıbın, kullanılacak malzemeye ve bitmiş ürüne uygun olması gerekir. Muhtelif profillerin üretilmesinde kullanılan kalıplar plastik sektöründe genel olarak “profil kalıbı”, boru üretiminde kullanılan kalıplar ise “boru kafası” (die head) olarak isimlendirilir.

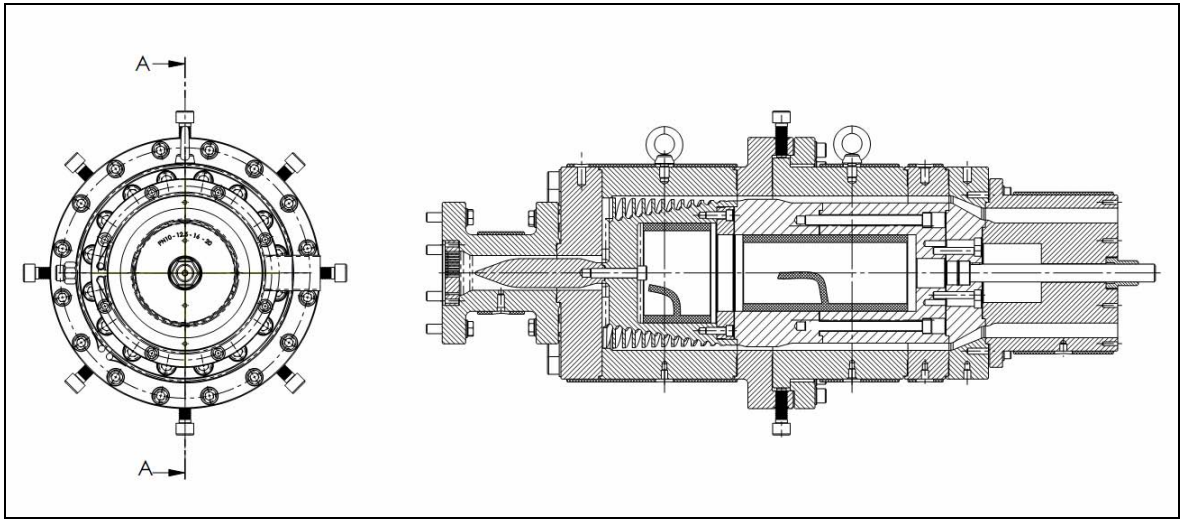
Ekstrüderlerde genellikle kovan ile kalıp arasında kırıcı plaka olarak tabir edilen bir eleman daha konulur. Bu eleman, üzerinde birbirine yakın ve akışa paralel şekilde konumlandırılmış birçok küçük deliğin bulunduğu, kalın bir metal disk şeklindedir. Kırıcı plakanın ana görevi, vidadan çıkan eriyik malzemenin spiral akış hareketini doğrusal harekete dönüştürerek düzenli bir hale getirmektir. Kırıcı plakanın olmadığı bir ekstrüderde, bu spiral akış kalıp çıkışına kadar devam ederek ekstrüzyon ürünü üzerinde şekil bozukluklarına neden olabilir. Kırıcı plakanın bir başka kullanım amacı da, ekstrüdere beslenen malzemenin içinde bulunan istenmeyen parçacıkları tutarak ürüne karışmasını engelleyen filtre sistemini korumaktır. Kırıcı plaka kullanılması, aynı zamanda kafa basıncını da artırarak ekstrüderin karıştırma

kapasitesini yükseltir. Metal ve eriyik malzeme arasında iyi bir ısı transferi sağlayarak, eriyiğin termal homojenizasyonuna katkıda bulunur.

Kalıp, ekstrüderi tamamlayan en önemli komponentlerinden biridir. Eriyik malzemenin istenen şekilde ekstrüzyonun yapılması kalıp sayesinde olur. Bunun yanında ekstrüderin görevi, daha önce de bahsedildiği gibi plastik eriyiğini gereken basınçta stabil bir biçimde kalıba göndermektir. Ekstrüder ve kalıp, proses açısından birbirini tamamlayan elemanlardır ve tek başlarına fonksiyonel değildirler.

Ekstrüderde kullanılacak kalıbın giriş bağlantısı, ekstrüderin çıkış bağlantısına uygun biçimde imal edilmelidirler. Eğer kalıbın ekstrüdere direkt olarak bağlanması uygun değilse, arada adaptör kullanarak bu bağlantı sağlanır. Ekstrüderlerin tasarımında, kalıpla bağlantı uygunluğu açısından bir standart yakalamak mümkün olmadığı için genellikle adaptöre ihtiyaç duyulur.

Kalıp dizaynı, ekstrüzyon sektöründe çok önemli bir yere sahiptir. Kalıbın içindeki akışın analizi, plastik eriyiğinin gösterdiği özelliklerden dolayı zor bir işlemdir. Kalıp dizaynında deneysel çalışmaların yanında, belli kabullere dayanan bilgisayar yazılımlarıyla akış simülasyonları da yapılabilmektedir. Bu sayede, sonucu önceden görebilmek belli bir yere kadar mümkün olmakta ve deneme-yanılma yoluyla kaybedilen zamanın ve yüksek deneme maliyetlerinin önüne geçilebilmektedir.

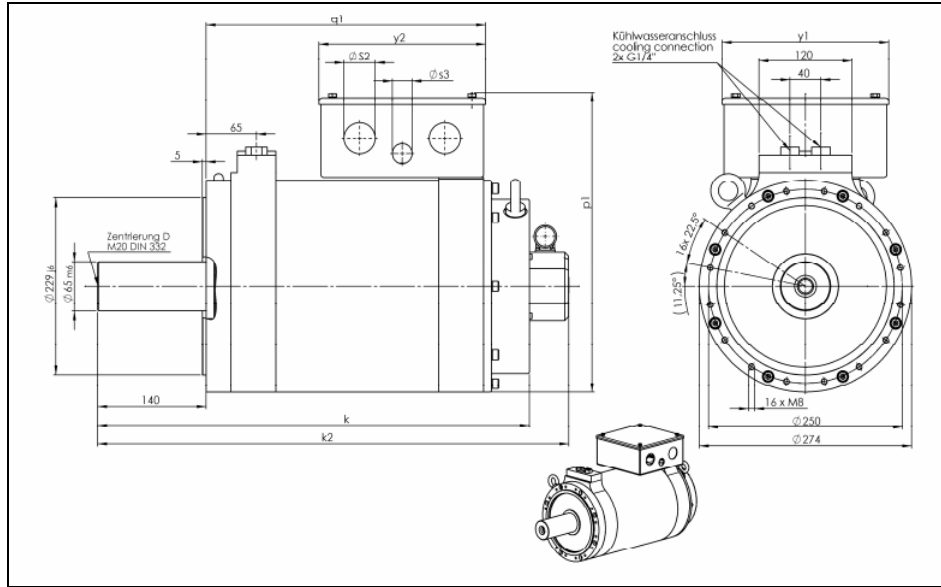


Şekil 3.15 PE boru üretiminde kullanılan bir boru kafası

3.3.6 Motor ve Sürücü

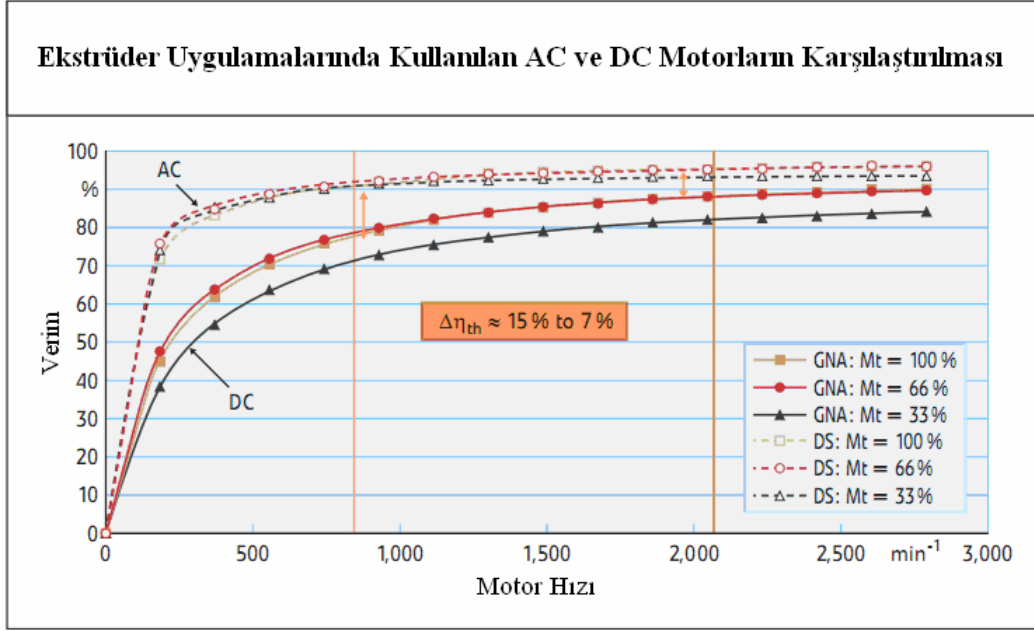
Ekstrüder motorunun ve sürücünün görevi, ekstrüder vidasının ihtiyacı olan torku istenen hızda stabil bir şekilde sağlamaktır. Ekstrüder vidasının dönme hızının, çalışma esnasında hassas biçimde korunması çok önemlidir. Aksi takdirde, ekstrüzyonu yapılan malzemenin üretim kapasitesinde buna bağlı dalgalanmalar olur. Ürün, ekstrüderden üniform bir kesitte çıkmaz ve kalitesi düşer. Özellikle ince cidarlı ürünlerde vida hızının stabilitesi, birim boydaki ağırlığın (kg/m) ve kesitin sürekli olarak korunmasında en önemli etkenlerden biridir.

Motor sürücüsünün bir başka görevi de, vidanın dönme hızının geniş bir aralıkta ayarlanmasını sağlamaktır. Genellikle bu hız, sıfırdan maksimuma kadar istenen her değere ayarlanabilir olur. Tek vidalı ekstrüderlerde motorun nominal çalışma hızı genellikle 1800 dev/dk, vidanın ise 100 dev/dk'dır. Bu yüzden, vida ve motor arasında redüktör kullanılarak motorun hızı düşürülür. Bunun yanı sıra daha önce de bahsedildiği gibi, redüktör kullanımına gerek duyulmayan tork motorları da mevcuttur (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Tek vidalı ekstrüderler için tasarlanmış bir tork motoru

Ekstrüderlerde, çok farklı tipte motor ve sürücü sistemleri kullanılabilir. En çok kullanılanlar, doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) motor-sürücü sistemleridir. Son yıllarda, AC sistemlerin kullanımı daha çok tercih edilmektedir. Bu tercihte, AC motorların DC motorlara göre yüksek verimli olmalarının payı büyüktür. 44 kW gücündeki iki AC ve DC ekstrüder motorunun, farklı tork değerleri için verimlerini gösteren grafik, Şekil 3.17'de verilmiştir.



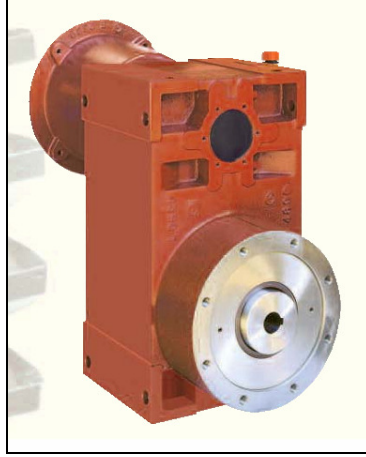
Şekil 3.17 AC ve DC 44 kW gücündeki iki farklı motorun değişik yüklerdeki verimleri (Kunststoffe International, 2008)

3.3.7 Redüktör

Ekstrüderlerde, ana motorla vidanın çalışma hızı arasında büyük fark vardır. Motorun hızını vidanın hızına düşürmek ve torku arttırmak için, motorla vida arasında redüktör kullanılarak hız düşürülür. Kullanılan redüktörlerin tahvil oranları genellikle 15:1 ile 20:1 aralığındadır.

Ekstrüderde yaygın olarak iki kademeli düz dişli veya helis dişli redüktörler kullanılır. Günümüzde redüktör dişlilerinin verimleri tam yükte % 98, düşük yüklerde ise % 96 mertebelerine ulaşmaktadır. Tahvil oranı, verimlilik, güç aktarım kapasitesi, diş çalışma boşlukları ve maliyet, ekstrüder redüktörleri için önemli parametrelerdir.

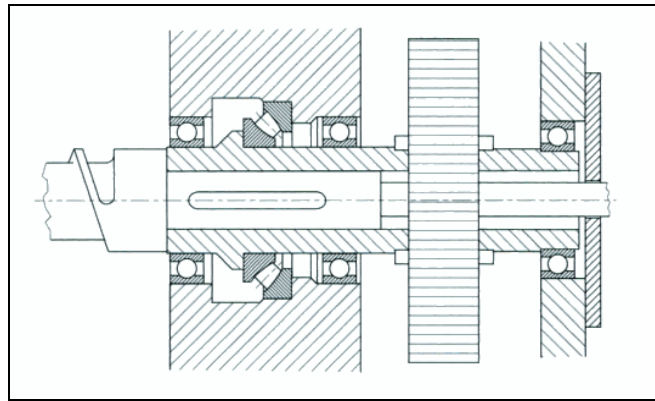
Bazı ekstrüderlerde redüktör motora direkt olarak bağlanmaz. Bunun yerine, güç aktarımı için motorla redüktör arasında kayış-kasnak mekanizması kullanılır. Bu tip uygulamanın avantajı, tahvil oranının kasnakları değiştirmek suretiyle kolay ve esnek bir biçimde değiştirilebilmesidir. Kayış-kasnak mekanizmasının bir başka avantajı da, aşırı tork yüklenmelerinde sistem için koruma sağlamasıdır. Buna karşılık bu mekanizmalar, sebep oldukları kayıplardan dolayı ekstrüderde harcanan gücü % 5-10 arasında artırırlar. Bu nedenle, gerekmediği takdirde redüktörün motora direkt olarak bağlanmasında fayda vardır.



Şekil 3.18 Tek vidalı bir ekstrüder redüktörü

Plastik malzemenin işlenmesi esnasında ekstrüderin ön bölgesinde oluşan yüksek basınçlardan (kafa basıncı) daha önce bahsedilmiştir. Bu basınç değerleri, proses esnasında genellikle 70-350 bar aralığında olur. Oluşan bu yüksek basınçlar, vidaya “geri baskı” olarak adlandırılan aksnel yönde bir kuvvet uygularlar. Oluşan bu kuvvet (F), ekstrüder vidasının kesit alanı (A) ile, oluşan kafa basıncının (P) çarpımına eşittir. Ekstrüderin büyüklüğü (vida çapı) arttıkça, aksnel yönde oluşan kuvvet de vida çapının karesiyle doğru orantılı olarak artar. Örnek olarak, 350 bar kafa basıncında çalışan ve vida çapı 90 mm olan tek vidalı bir ekstrüderin vidasına aksnel yönde yaklaşık 220 kN’luk bir kuvvet etki eder.

Oluşan bu yüksek geri baskı kuvvetlerini karşılamak için ekstrüder redüktörlerinde kullanılan aksnel büte rulmanların çalışma ömürleri, imalatçı firmalar tarafından 35 MPa kafa basıncı ve 100 dev/dk vida çalışma hızı için en az 100.000 saat olarak verilir. Bu süre; günde 24 saat, yılda 365 gün çalışan bir ekstrüder için, 10 yıldan daha fazla bir zamana tekabül eder. Yüksek kafa basıncı ve yüksek vida hızı, büte rulmanların ömrünü ciddi biçimde azaltan etkenlerdir.



Şekil 3.19 Tek vidalı bir ekstrüderin büte rulman montaj resmi (Rauwendaal, 1986)

3.4 Ekstrüderlerin Termik Olarak İncelenmesi

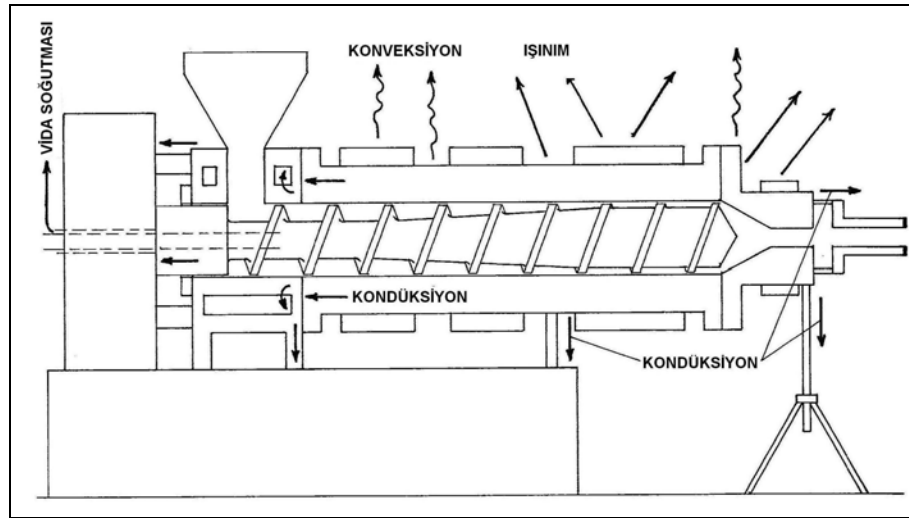
Plastik ekstrüzyon prosesi genel olarak ele alındığında, plastik malzemenin ortam sıcaklığında ekstrüdere girmesi ve harcanan enerji neticesinde yine ortam sıcaklığındaki yarı bitmiş veya bitmiş ürüne dönüşmesi söz konusudur. Proses esnasında enerjinin önemli kısmı; plastik malzemeyi şekillendirmek için gerekli olan sıcaklığa ısıtmak, malzemeyi eritmek, malzemenin homojen olarak karışımını sağlamak ve ekstrüderden çevreye olan ısı kayıplarını karşılamak için kullanılır. Ekstrüzyon sonucunda kimyasal bozunma, kristalizasyon değerindeki değişim, artık gerilme, şekil değişimi vs. gibi olaylar nadiren de olsa işlenen plastik malzemenin spesifik enerjisinde bir değişime sebep olabilir. Bu değişimlerin etkisi ihmal edildiği takdirde, malzemenin prosese girerken ve proses sonunda sahip olduğu iç enerji değerleri aynı kabul edilebilir. Sonuç olarak, proses sonunda üretilen malzeme için harcanan bir enerji söz konusudur. Bu enerji, birim ağırlıktaki bitmiş plastik ürünün üretilmesi için harcanan “spesifik enerji” (J/kg) olarak ifade edilir ve 1 kg plastik ürünün üretilmesi için gerekli olan enerjidir. Bu değer, aynı zamanda proses verimliliğinin de bir göstergesidir.

Ekstrüzyon prosesinde, ekstrüder kalıbından çıkan ve şekillenen plastik malzemenin ekstrüderden hemen sonra bulunan soğutma üniteleri ile soğutularak, üzerindeki fazla enerjinin alınması gerekir. Yeterli derecede soğutma yapılmadığı takdirde; ekstrüzyon ön hattında malzeme üzerinde yapılan çekme, kesme ve istifleme gibi işlemler, nihai üründe deformasyon oluşumuna ve kalite düşüklüğüne sebep olabilir.

Ekstrüzyon ön hattındaki soğutma ünitelerinde ihtiyaç olan soğutma yükü, tesiste kullanılan soğutma suyundan sağlanır. Soğutma suyunun sıcaklığı, prosese göre değişkenlik göstermekle birlikte plastik ekstrüzyon tesislerinde genellikle 12 ila 17°C arasında istenir. Belli bir debiyle ekstrüzyon hattına gönderilen suyun sıcaklığı, hattan dönüşte yükselmiş olur ve tesisteki su soğutma sistemi ile istenen sıcaklığa getirilerek hatta tekrar yollanır. Ekstrüzyon prosesinin sonunda, soğutma suyuna ve havaya düşük kalitede ısı geçmiş olur. Çevreye atılan bu atık ısının değerlendirilebilmesi, toplam enerji tüketiminin azalmasına sebep olacaktır. Ancak enerji verimliliğini arttırmadaki en önemli etken, prosese giren enerji miktarının azaltılmasıdır.

Plastik malzemenin ekstrüzyonu için gerekli olan enerjinin % 70-80'i ana motordan, % 20-30'luk kısmı ise kovan üzerinde bulunan ısıtıcılardan sağlanır. Malzemenin proses esnasında erimesini sağlayan asıl enerji kaynağı, vida dönmesiyle malzemenin iç sürtünmesinden kaynaklanan sürtünme ısıdır (viscous heating). Ana motordan sağlanan

mekanik enerjinin (\dot{W}_e) önemli bir kısmı, ekstrüder vidasını döndürmeye ve bu sayede plastik malzemenin makaslama kuvveti yardımıyla ısı üreterek erimesinde harcanır. Mekanik enerjinin çok az bir kısmı da beslenen plastik malzemeyi sıkıştırmaya, basıncını arttırmaya ve vidadan dışarıya doğru dozajlamaya kullanılır. Vidanın son bölümünde basıncı yükseltilem plastik eriyiği, kalıptan çıktığı anda atmosferik basınca düşmüş olur. Eriyik malzemenin kalıba girerken basıncından dolayı sahip olduğu mekanik enerji, kalıptan geçerken ısı enerjisine dönüşür. Sonuç olarak, sisteme giren mekanik enerjinin tamamına yakını ısı enerjisine dönüşmüş olur. İhmal edilebilecek düzeydeki bir enerji ise, güç aktarımı sırasında zincir, kayış-kasnak, redüktör gibi mekanik elemanlarda sürtünmeden dolayı ısı enerjisine dönüşür. Sürtünme kayıplarının dışında, ekstrüderden dışarıya farklı mekanizmalarla sürekli bir ısı kaybı mevcuttur (Şekil 3.20).

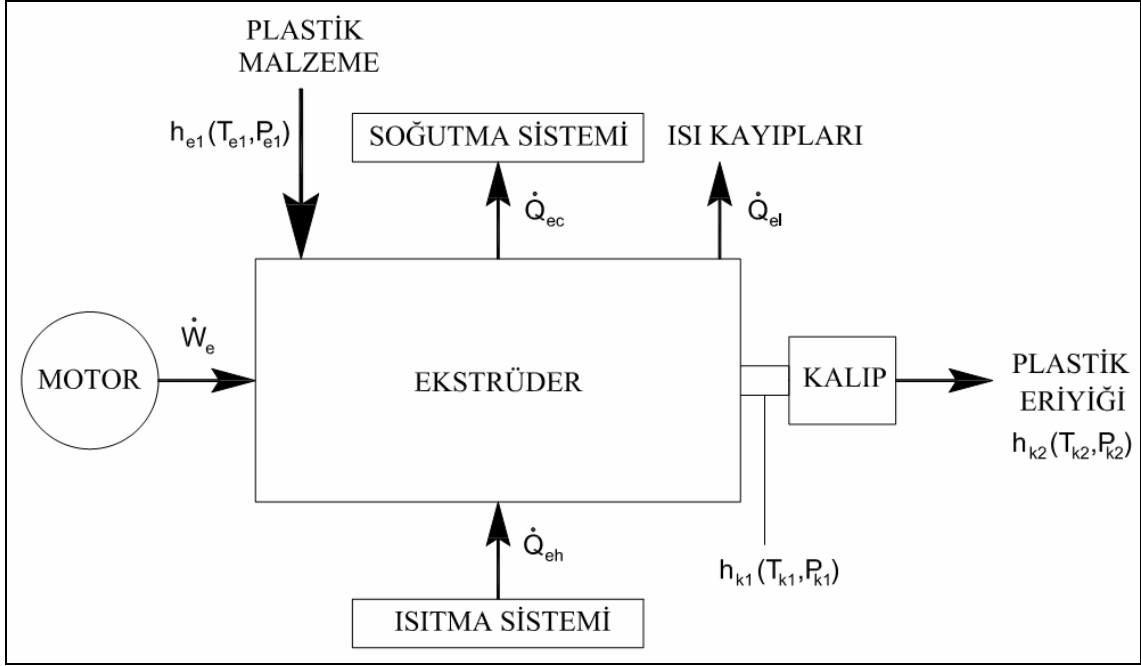


Şekil 3.20 Ekstrüderden dışarıya olan ısı kayıpları

Kovan dışında bulunan ısıtıcıların birim zamanda ürettiği ısı enerjisi (\dot{Q}_{eh}), kovan vasıtasıyla plastik malzemeye aktarılır. Eriyik malzemenin ürettiği ısıdan kaynaklı olarak ekstrüderin ayarlanan sıcaklık değerlerinin üzerine çıkması durumunda ise, soğutma sistemi devreye girerek eriyik malzemenin ısı çekilir (\dot{Q}_{ec}) ve istenilen sıcaklık değerine tekrar ulaşılır. Isının önemli bir kısmı da, kovan üzerinden ve vidanın arka tarafından ısı kaybı olarak sistemin dışına atılır. Mekanik ve termal enerjilerin toplamı, ekstrüdere ortam sıcaklığında beslenen plastik malzemeyi eriyik sıcaklığına ulaştırmak için gerekli olan enerjiye eşittir.

Plastik malzeme ekstrüdere T_{e1} sıcaklığında, P_{e1} basıncında ve h_{e1} entalpi değerinde girer. Kalıp çıkışında ise T_{k2} sıcaklığına, P_{k2} basıncına ve h_{k2} entalpi değerine ulaşır. Entalpi değeri,

sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonudur. Sabit sıcaklıktaki malzemenin basıncı arttıkça, entalpi değeri de buna bağlı olarak artacaktır. Aynı zamanda basıncı sabit malzemenin sıcaklığı arttıkça da, entalpi değeri yine buna bağlı olarak değişecektir. Ekstrüzyon prosesinde işlenen plastik malzeme için, hem sıcaklık hem de basınç değişimi söz konusudur. Bir ekstrüderdeki enerji dengesini ifade eden şema, Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Ekstrüderdeki enerji dengesi

Termodinamiğin birinci kanununa göre, ekstrüderde işlenen birim kütledeki malzeme için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\Delta h_m + \Delta p e_m + \Delta k e_m = \Delta q_m + \Delta w_m \quad [\text{J/kg}] \quad (3.1)$$

$$\Delta h_m = \text{Birim kütledeki plastik malzemenin entalpi değişimi} \quad (h_{k2} - h_{e1})$$

$$\Delta p e_m = \text{Birim kütledeki plastik malzemenin potansiyel enerji değişimi}$$

$$\Delta k e_m = \text{Birim kütledeki plastik malzemenin kinetik enerji değişimi}$$

$$\Delta q_m = \text{Birim kütledeki plastik malzemeye giren ısı enerji}$$

$$\Delta w_m = \text{Birim kütledeki plastik malzemeye giren net mekanik enerji}$$

Malzemedeki potansiyel ve kinetik enerji değişimleri, (3.1) numaralı denklemde entalpi değişiminin yanında ihmal edilebilir düzeydedir. Denklem böylece (3.2)'deki şekli alır.

$$\Delta h_m = \Delta q_m + \Delta w_m \quad [\text{J/kg}] \quad (3.2)$$

Δq_m ve Δw_m terimleri açılırsa, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\Delta q_m = (\dot{Q}_{ch} - \dot{Q}_{ec} - \dot{Q}_{el}) / \dot{m}_m \quad (3.3)$$

$$\Delta w_m = \dot{W}_e / \dot{m}_m \quad (\text{mekanik kayıplar ihmal}) \quad [\text{J/kg}] \quad (3.4)$$

Buradaki terimlerin anlamları şu şekildedir:

\dot{m}_m = Plastik malzemenin ekstrüderden birim zamandaki kütle çıkışı (kütleli debisi) [kg/s]

\dot{Q}_{ch} = Isıtma sistemiyle ekstrüdere birim zamanda sağlanan ısı enerjisi [W]

\dot{Q}_{ec} = Soğutma sistemiyle ekstrüderden birim zamanda atılan ısı enerjisi [W]

\dot{Q}_{el} = Ekstrüderden birim zamanda çevreye olan ısı kayıpları [W]

\dot{W}_e = Ekstrüdere birim zamanda motor tarafından sağlanan mekanik enerji miktarıdır. Başka bir ifadeyle, ekstrüder motorunun gücüdür. [W]

Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) birleştirilirse, ekstrüder için gerekli olan motor gücü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{W}_e = \dot{m}_m \cdot \Delta h_m - (\dot{Q}_{ch} - \dot{Q}_{ec} - \dot{Q}_{el}) \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

Proses adyabatik olarak düşünülürse, ısı kayıplarına ait terimler “sıfır” olur ve teorik motor gücünü ifade eden denklem, aşağıdaki şekline alır:

$$\dot{W}_e^* = \dot{m}_m \cdot \Delta h_m \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

Birçok gelişmiş ekstrüder, yüksek vida hızlarıyla çalışır. Bunun sonucunda, işlenen plastik malzeme yüksek ısı üreterek ekstrüder kovanında soğutma ihtiyacına neden olur. Bu nedenle, adyabatik durumda ekstrüder için gerekli olan motor gücü, (3.5) ifadesinde ulaşılan değerden daha büyük olmalıdır. Bir ekstrüderin mekanik verimliliği, adyabatik durumdaki motor gücünün, gerçekte ihtiyaç olan motor gücüne oranı olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\% \text{ Mekanik Verim} = 100 \times (\dot{W}_e^* / \dot{W}_e) \quad (3.7)$$

Sonuç olarak, ekstrüder için gerekli olan minimum motor gücü (3.8) denklemiyle bulunabilir.

$$\dot{W}_e = \dot{W}_e^* \times (100 / \% \text{ Mekanik Verim}) \quad [\text{W}] \quad (3.8)$$

Ekstrüderdeki mekanik enerji verimliliği pratikte, motorda harcanan enerjiye karşılık ekstrüderden çıkan plastik malzeme miktarı (kg/kWh) veya 1 kg plastik malzeme için harcanan enerji miktarı (kWh/kg) olarak da ifade edilir.

Adyabatik proses, yüksek vida hızlarında minimum motor gücü harcayarak en yüksek enerji verimliliğini sağlar (3.5). Plastik malzemenin ortam sıcaklığından alınarak 175-300°C arasındaki sıcaklara çıkarılabilmesi için, 95 ila 165 kcal/kg enerjiye ihtiyaç duyulur. Bu verilere bağlı olarak, ekstrüderlerdeki maksimum enerji verimlilikleri yaklaşık 5 ila 9 kg/kWh arasında değişmektedir.

Ekstrüzyon proseslerinde yüksek vida hızıyla çalışan bir ekstrüderdeki mekanik enerji verimliliği, düşük hızlarda çalışma hızına göre % 40'a kadar daha az olabilmektedir. Düşük vida hızlarında, silindir etrafındaki ısıtıcılardan plastik malzemeye daha fazla ısı transferi olduğu için mekanik verimlilik değerleri daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni, proses sırasında plastik eriyiği içerisinde daha çok ısı açığa çıkması ve kovan etrafındaki ısıtıcılarından plastik malzemeye daha az ısı transferi olmasıdır.

Eriyik malzemenin basıncı, ekstrüder vidasının sonunda genellikle 50 ila 400 bar değerleri arasında olur. Bu değer, malzeme kalıptan çıkarak dış ortama ulaştığı anda ise atmosferik basınca kadar düşmüş olur. Ekstrüzyon sırasında eriyik malzeme ile kalıp arasında ısı transferi yoksa, eriyik malzemenin ekstrüder çıkışında (kalıba girişte) T_{k1} ve P_{k1} şartlarındaki entalpi değeri (h_{k1}) ile, kalıp çıkışında T_{k2} ve P_{k2} şartlarındaki entalpi değeri (h_{k2}) birbirine eşit olmalıdır. Malzemenin kalıp girişinde sahip olduğu P_{k1} basıncı, kalıptan geçerken oluşan basınç düşümü neticesinde ($P_{k1} \rightarrow P_{k2}$) ısıya dönüşür ve malzemenin sıcaklığı T_{k1} değerinden T_{k2} 'ye yükselir. Kalıpla malzeme arasında olan ısı transferi ve malzemenin sıkıştırılabilirliği ihmal edilirse ($\Delta v = 0$), kalıp boyunca ilerleyen malzemenin sıcaklığındaki değişim aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\Delta h = \Delta u + \Delta(P \cdot v) = \Delta u + v \cdot \Delta P + P \cdot \Delta v = \Delta u + v \cdot \Delta P = 0 \quad (\Delta v = 0) \quad (3.9)$$

$$\Delta u = -v \cdot \Delta P = -v \cdot (P_{k2} - P_{k1}) = v \cdot (P_{k1} - P_{k2}) = c_v \cdot \Delta T = c_p \cdot (T_{k2} - T_{k1}) \quad (c_p = c_v) \quad (3.10)$$

$$\Delta T = (T_{k2} - T_{k1}) = \frac{v \cdot (P_{k1} - P_{k2})}{c_p} \quad (3.11)$$

4. EKSTRÜDER ISITMA-SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Ekstrüderler, kovan bölgelerinin prosese başlamadan önce istenen sıcaklık değerlerine gelmesi ve proses sırasında da bu sıcaklık değerlerini koruması için ihtiyaca göre ısıtılırlar veya soğutulurlar. Ekstrüderlerin elektrikle, akışkan yardımıyla ve buharla olmak üzere üç tip ısıtma yöntemi vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem, elektrikle ısıtmadır.

4.1 Elektrikle Isıtma

Ekstrüderlerin elektrikle ısıtılmasının, akışkan yardımıyla veya buharla ısıtmayla karşılaştırıldığında üstün özellikleri vardır. Geniş çalışma sıcaklığı aralığı, uygulama kolaylığı, düşük maliyet ve yüksek verimlilik en önemli avantajlarıdır.

Elektrikli ısıtıcılar, ekstrüder silindiri boyunca her bölgeye ayrı ayrı yerleştirilirler. Küçük ekstrüderlerde genellikle 2 ila 4 bölge vardır. Büyük ekstrüderlerde ise 5 bölgeden 10 bölgeye kadar bölge sayısı olabilmektedir. Her bir bölgenin kontrolü birbirinden bağımsız olur ve bu sayede silindir boyunca istenen bir sıcaklık profili sağlanabilir. Bu sıcaklık profili plastik malzemeye ve prosese bağlı olarak silindir boyunca sabit, artan, azalan veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir.

Elektrikle ısıtmanın, rezistansla ve indüksiyonla ısıtma olarak iki tipi vardır. Bunlara son zamanlarda bu alanda kendine uygulama sahası bulan radyant ısıtma da eklenmiştir. Ancak bu ürünle piyasaya çıkan üretici firmaların verdikleri bilgiler dışında, verimlilik ve diğer yöntemlerle karşılaştırma adına şu ana kadar bilimsel bir çalışma yapılmamıştır.

4.1.1 Rezistansla Isıtma

Ekstrüderlerde en yaygın olarak kullanılan elektrikle ısıtma yöntemi, rezistanslı ısıtıcılarla yapılır. Prensip olarak, bir iletkenin üzerinden akım geçmesi neticesinde rezistansın elektrikle ısıtılmasına dayanır. Üzerinden akım geçen rezistans ısınarak etrafa ısı yayar. Yayılan bu ısı, rezistansın direncine ve üzerinden geçen akıma bağlıdır. Üretilen ısı miktarı aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\dot{Q} = I^2 \cdot R = V \cdot I = \frac{V^2}{R} \quad (4.1)$$

Burada “I” rezistans üzerinden geçen akımı, “R” direnci, “V” ise voltajı göstermektedir. Bu denklem hem doğru akım (DC), hem de tek fazlı alternatif akım (AC) için geçerlidir. Üç fazlı

sistemlerde ise aşağıdaki formül kullanılır:

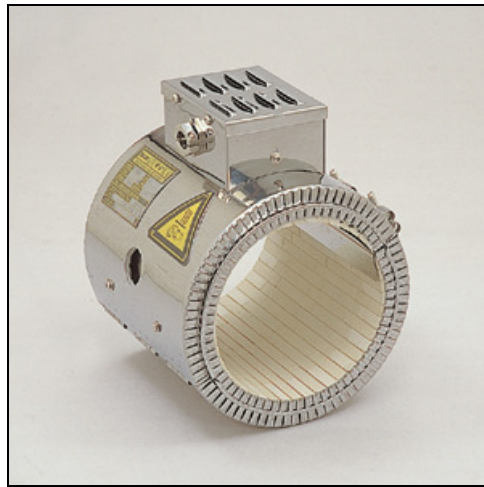
$$\dot{Q} = 3.V.I \quad (4.2)$$

Rezistanslı ısıtıcılar, ısıttıkları silindiri dış yüzey boyunca ısıtıcı bir bant yardımı ile sardıklarından dolayı, bantlı ısıtıcı olarak da isimlendirilirler. Bu ısıtıcıların direnç yalıtım malzemelerine göre seramik ve mika yalıtımlı tipleri mevcuttur.

4.1.1.1 Seramik Yalıtımlı Rezistanslı Isıtıcılar

Bu tip ısıtıcılar ilk olarak plastik ve kimyasal proses makinelerinin yüksek çalışma sıcaklığı ihtiyaçlarını ve yüksek üretim kapasitelerini karşılamak için üretilmiştir. Teknolojik olarak gelişmelerine bağılı olarak günümüzde yağ rafinerilerinde, güç santrallerinde, kauçuk ve alüminyum işleme tesisleri gibi yerlerde de kullanılmaktadırlar. Bu kadar yaygın kullanılmasının sebebi üstün ısıtma özellikleridir. Üzerlerinde bulunan yalıtım sayesinde, silindir boyunca istenmeyen sıcaklık dalgalanmaları da önlenmiş olur.

Seramik ve mika yalıtımlı ısıtıcıları karşılaştıracak olursak, mika yalıtımlı ısıtıcılar kondüksiyon esaslı ısıtma yaptıklarından dolayı ısıtılan komponentle iyi şekilde temas etmek zorundadırlar. Isıtılan silindirik yüzey üzerinde imalattan kaynaklanan pürüz veya boşluklar varsa, ısıtıcı bantla silindir yüzeyi tam olarak temas etmeyebilir ve bu da temas noktalarında yüksek sıcaklığa neden olarak ısıtıcının ömrünü azaltabilir. Seramik yalıtımlı ısıtıcılarda ise durum böyle değildir. Silindire olan ısı transferinin verimi yüzeyler arası boşluktan veya yüzeylerin birbiriyle tam olarak temas etmemesinden etkilenmez.



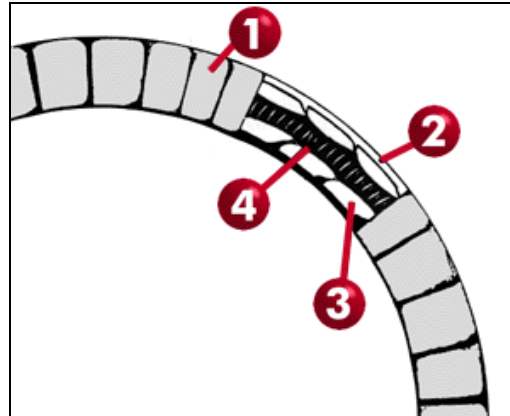
Şekil 4.1 Seramik yalıtımlı bir rezistanslı ısıtıcı

Seramik yalıtımlı ısıtıcılar, güç yoğunluğu ihtiyacı 15 W/cm^2 ve çalışma sıcaklıkları 750°C 'ye kadar olan uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilirler. Mika bantlı ısıtıcılarda bu değerler 7 W/cm^2 ve 500°C ile sınırlıdır. Keramik yalıtımlı ısıtıcıların birim maliyetleri; çapa, boya ve ısıtma gücüne bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık olarak $0,15-0,25 \text{ Euro/cm}^2$ 'dir.

Seramik yalıtımlı ısıtıcılar, mika yalıtımlı olanlara göre daha pahalıdır. Bunun üç temel nedeni vardır:

- Uzun ömür ve buna bağlı olarak uzun süreli yenilenmeye ihtiyaç duyulmaması
- Keramik yalıtım sayesinde yüksek enerji verimliliği
- Aynı uygulamada mika bantlı ısıtıcıya göre daha az adette kullanılması

Bu tip ısıtıcılar genel olarak nikel-krom alaşımlı direnç sarım teli ve etrafında ısıtılacak elemanla da temas halinde olan, aynı zamanda yalıtım görevi gören seramik malzeme ile kaplanmıştır. Keramik malzeme, direkt olarak ısıtılacak yüzeyle temas halindedir. Rezistans ve yalıtım malzemesi, paslanmaz çelikten sac bir kılıfla muhafaza edilir. En dışta ise yine paslanmaz çelikten bir gövde mevcuttur (Şekil 4.2).

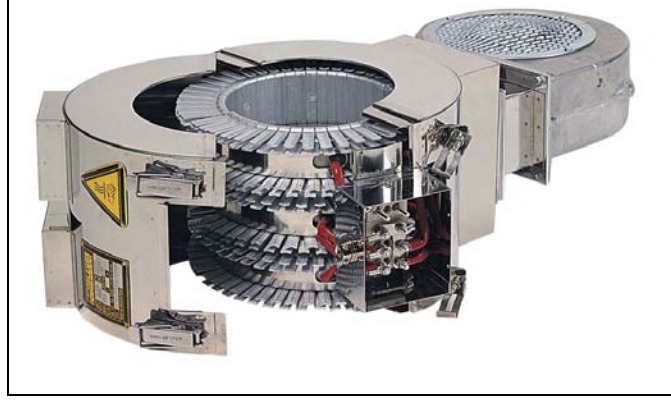


Şekil 4.2 Keramik yalıtımlı bir ısıtıcı bandın kesit görünüşü
(1-kılıf, 2-dış yalıtım, 3-seramik yalıtım, 4-rezistans)

Helisel formdaki direnç sarım telinin etrafı, esnek bir örgü oluşturacak biçimde seramik yalıtım malzemesi ile sarılıdır. Bu konstrüksiyon şekli, ısıtıcının silindire konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyonla ısı transferi edebilmesini sağlamaktadır.

Bu tip ısıtıcılara ihtiyaç halinde hava ile soğutma sistemi de ilave edilebilmektedir (Şekil 4.3). Örneğin bir ekstrüderin bazı bölgelerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulurken, bazı bölgelerinde aynı anda soğutmaya ihtiyaç duyulabilir. Uygulama esnasında istenilen sıcaklık değerini geçen bir ısıtıcıda soğutma sistemi devreye girerek sıcaklığı istenen değere getirmeye ve daha sonra da

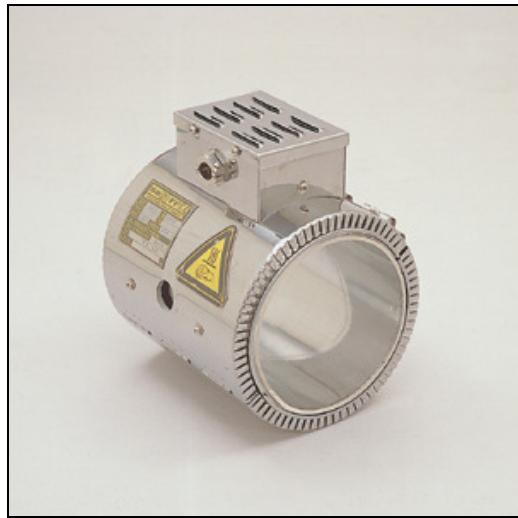
muhafaza etmeye çalışır. Ortamda bulunan hava, fan yardımıyla cebri olarak ısıtıcının içerisinde bulunan ve ısıtılan elemanı saran kanatlı bir serpantinin üzerinden geçirilir. Böylece ısıtılan eleman, gerektiğinde de etkin biçimde soğutulabilir.



Şekil 4.3 Fanlı soğutma sistemine sahip bir rezistanslı ısıtıcı

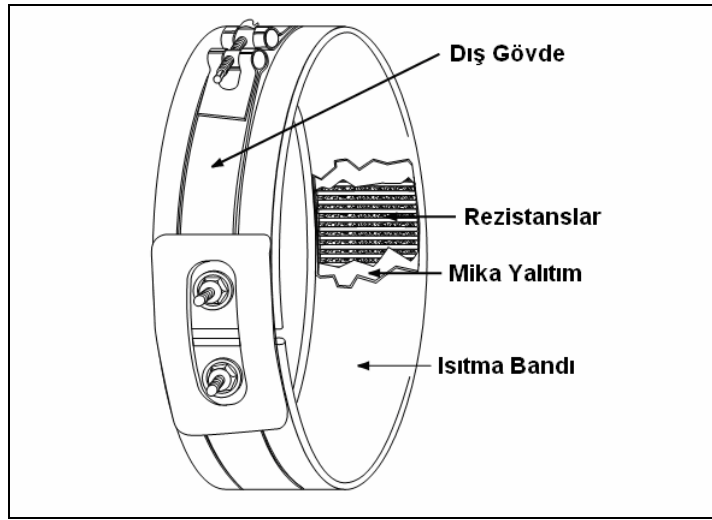
4.1.1.2 Mika Yalıtımlı Rezistanslı Isıtıcılar

Bu tip ısıtıcılar, kullanıcıya uzun ömürlü ve etkili bir kullanım sağlamak için tasarlanmıştır. Genellikle enjeksiyon makinelerinde ve kalıplarda olmak üzere, silindirik makine komponentlerinin ısıtılmasında kullanılmaktadırlar. Mika bantlı ısıtıcıların konstrüksiyonu ve kullanılan elemanlar, ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerindeki uzun süreli kullanım ihtiyacını karşılayacak niteliktedir. Isıtıcı banttan silindire olan ısı transferinin, ısıtıcının ömrü ve elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması açısından büyük önemi vardır.



Şekil 4.4 Mika yalıtımlı bir rezistanslı ısıtıcı

Mika yalıtımlı ısıtıcılar, ısıtılacak silindirik elemanı dıştan çok iyi bir şekilde saran çelik bir kılıfla (bantla) donatılmıştır. Bu çelik kılıfın içerisinde nikel-krom alaşımli direnç sarım teli (rezistans) ve etrafında da mika yalıtım bulunur. Kullanılan mika malzemenin görevi, direnç sarım teli ile çelik levha arasındaki elektrik yalıtımını sağlamaktır. Seramik yalıtımlı ısıtıcılarda, ısıtılan elemanla seramik yalıtım direkt olarak temas halindeyken, mika yalıtımlı ısıtıcılarda bu görevi paslanmaz çelikten bir bant yapar.



Şekil 4.5 Mika yalıtımlı bir ısıtıcının kesiti

Bu tip ısıtıcılarda kullanılan mikanın çok iyi düzeyde elektrik yalıtımı özelliği vardır. Ani gerilim dalgalanmalarına ve neme karşı dayanıklıdır. Ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerinin silindirlerine uyumluluk gösterebilecek kadar da esnektirler. Mika olarak birinci kalite inorganik, yüksek sıcaklığa dirençli çok ince bir malzeme kullanılır. Bu çok ince malzeme sayesinde ısı, hızlı bir şekilde silindiri saran levhaya iletilir.

Mika yalıtımlı ısıtıcıların silindiri ısıtması, daha önce de bahsedildiği gibi temas esaslı bir uygulamaya dayanır. Isıtıcılar eğer silindirle tam temas halinde ve sıkı bir vaziyette olmazsa, genişleyerek bu sıklığı kaybedebilirler. Bunun sonucunda da ısıtıcı bant ile silindir dış yüzeyi arasında hava boşlukları meydana gelebilir. Bu da ısı transferinin kötü olmasına, ısıtıcı ömrünün kılmasına, aşırı ısı kaybına ve gereksiz yere elektrik enerjisi harcanmasına sebep olur.

4.1.1.3 Döküm Gövdeli Isıtıcılar

Bir diğerk ısıtıcı tipi de döküm gövdeli ısıtıcılardır. Isıtıcı rezistanslar, yarı silindirik veya yassı bloklara yerleştirilir. Bu tip ısıtıcılarda, ısıtılacak elemana olan ısı transferi çok iyidir ve kullanım ömrü çok uzundur. Aynı zamanda kullanım esnasında çok emniyetlidirler. Bu avantajlarının yanında, diğerk rezistanslı ısıtıcılara kıyasla fiyatları oldukça yüksektir. Bu yüzden, özel uygulamalar dışında veya gereklilik arz etmedikçe pek tercih edilmezler.

Döküm gövdeler, uygulama yerine göre genellikle alüminyum veya bronzdan yapılırlar. Alüminyum gövdeli ısıtıcılar yaklaşık $5,5 \text{ W/cm}^2$ güç yoğunluğu verebilir ve 400°C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Bronz gövdeli ısıtıcılarda ise güç yoğunluğu değeri 8 W/cm^2 'ye kadar çıkabilir. Uygulama sıcaklığı ise azami 550°C olabilir.

Bu tip ısıtıcılara da gerektiğinde sistemden ısı çekmek için soğutucu bir sistem ilave edilebilmektedir. Hava soğutmalı, alüminyum döküm gövdeli bir ısıtıcı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

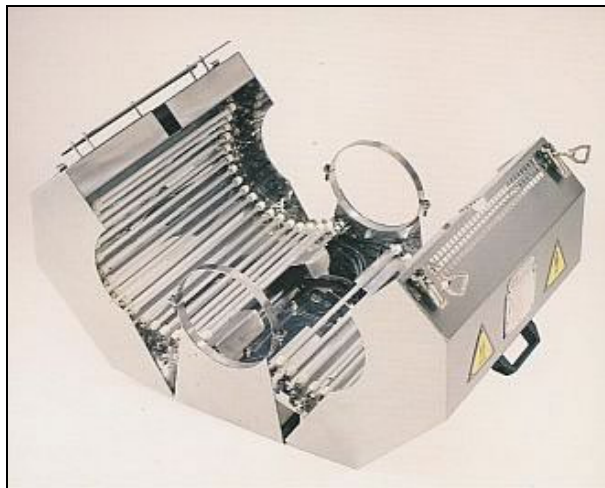


Şekil 4.6 Hava soğutmalı, alüminyum gövdeli bir ısıtıcı

4.1.2 Radyant Isıtma

Radyant ısıtıcılar değişik sektörlerde yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, ekstrüderlerin ısıtılmasında kullanılmaları henüz çok yeni bir uygulamadır. Plastik sektöründeki makineler için ısıtma-soğutma sistemleri üreten imalatçı firmalar için de bu ısıtıcılar, şu an için bir araştırma ve geliştirme konusudur. Ekstrüder ve enjeksiyon makineleri için radyant ısıtıcı üreten firmalar; enerji tasarrufu, kısa tepki süresi, yüksek soğutma kapasitesi ve uzun ömür gibi birçok konuda bu yeni teknolojinin seramik yalıtımlı rezistanslı ısıtıcılara kıyasla çok daha üstün olduğu belirtmektedirler. Ancak bu konuda şu ana kadar yapılmış ve literatüre geçen bilimsel bir çalışma yoktur. Üretici firmaların verdiği bilgiler de, sistemlerin sağlıklı şekilde mukayese edilebilmesi için yetersiz kalmaktadır.

Ekstrüder silindirinin dışına tıpkı bantlı ısıtıcılar gibi monte edilen ve silindiri çepeçevre saran radyant ısıtıcılar, isteğe bağlı olarak soğutma fanlı olarak da kullanılabilirler. Isıtıcının dış gövdesinin içine yerleştirilmiş kuartz tüpler kısa sürede yüksek sıcaklıklara çıkarak (600-800°C) ışıma yoluyla silindiri ısıtırlar. Soğutmada ise dış gövde ile kovan arasındaki boşluktan geçen hava, kovan yüzeyi ile direkt olarak temas ederek soğutmayı sağlar. Radyant ısıtıcılar çok fazla üretilmemelerine de bağlı olarak 0,25-0,40 Euro/cm² yaklaşık birim fiyatlarıyla, sektörde en çok tercih edilen seramik yalıtımlı rezistanslı ısıtıcılardan ilk yatırım maliyeti açısından 1,5 kat daha pahalıdır. Sektörde kabul görmesi durumunda, fiyatlarının zaman içinde daha uygun seviyelere geleceği de göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.7 Ekstrüderler için üretilmiş bir radyant ısıtıcı

4.1.3 İndüksiyonla Isıtma

İndüksiyonla ısıtma yönteminde, ekstrüder kovanını saran bir tel üzerinden alternatif elektrik akımı geçirilir. Bu elektrik akımı, kendisiyle aynı frekansta bir manyetik alan oluşmasına sebep olur. Sonuç olarak, ekstrüder kovanının içerisinde bir elektromotor kuvveti, buna bağlı olarak da girdap akımları (eddy-currents) oluşur.

Isıtılan yüzeydeki efektif ısıtma derinliği, frekansla ters orantılı olarak azalır. 50-60 Hz gibi normal frekanslarda, ısıtma derinliği ortalama olarak 25 mm'dir. Bu da yaklaşık olarak, bir ekstrüder kovanının cidar kalınlığına denk gelmektedir. Bu tip ısıtmanın avantajı, ısıtmanın derinliğe bağlı olarak yapılması ve ekstrüder kovanında çok üniform bir sıcaklık dağılımı sağlanmasıdır.

İndüksiyonla ısıtmanın bir başka avantajı da, istenen sıcaklık değişimlerine çok çabuk tepki vermesidir. Bunun nedeni, ısıtıcının silindire iyi temas etmemesinden kaynaklanan kayıpların olmamasıdır. Aynı zamanda etkin ısıtma ve minimum ısı kayıpları sayesinde, elektrik sarfiyatı da düşüktür.

Silindirin üzerine soğutma sistemi eklemek de mümkündür. Böylece, değişikliklere çok hızlı tepki verebilen bir sistem elde edilmiş olur. Bu avantajların yanında indüksiyonla ısıtmanın yaygın kullanım alanının olmamasının nedeni, çok yüksek yatırım maliyetleridir.



Şekil 4.8 İndüksiyonla ısıtma yapılan bir enjeksiyon makinesi

4.2 Akışkanla Isıtma

Ekstrüderlerin akışkan yardımıyla ısıtılmasında (örneğin yağ), silindir etrafında eşit bir sıcaklık dağılımı sağlanır ve ısıtma yapılırken çok yüksek sıcaklıklar oluşmaz. Akışkanların çalışabileceği sıcaklıklar sınırlıdır ve yaklaşık olarak 250°C'yi geçemez. Bazı akışkanlar bu sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda da çalışabilirler ancak bunun yanında genellikle zehirli buhar da oluştururlar. Bu nedenle, çalışma esnasında insan sağlığı açısından güvenli olmamaktadırlar.

Akışkanla ısıtma yönteminin kullanılacağı tesiste, belirli bir alana ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri fazladır. Bir başka olumsuz tarafı ise, sistemde kullanılacak akışkanın belli bir sıcaklık değerinde olmasıdır. Bunun sonucunda, örneğin ısıtma bölgelerinde farklı sıcaklıklar istenen bir ekstrüder için farklı sıcaklıklardaki akışkana ihtiyaç olacaktır. Her bir sıcaklık için farklı bir sistemin olması ise, çok yüksek yatırım maliyetlerini ve düşük verimliliği beraberinde getirecektir.

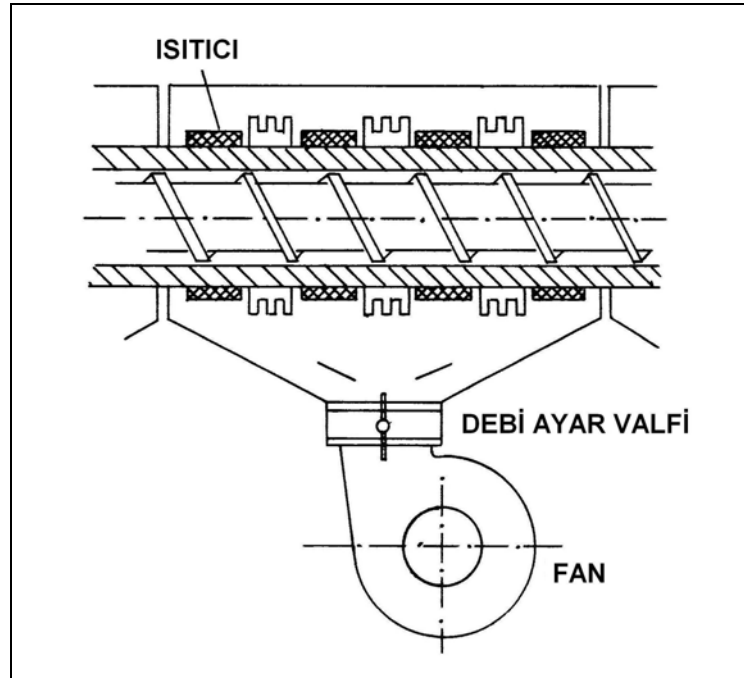
Buharla ısıtma yöntemi, ekstrüderlerin ısıtılmasında kullanılan bir başka alternatiftir. Bu yöntem, nadiren de olsa bazı ekstrüderlerde hala kullanılmaktadır. Plastik endüstrisinde kullanılan ilk ekstrüderlerde, özellikle kauçuk ekstrüderlerinde buharla ısıtma yöntemi kullanılmaktaydı. Buhar, yüksek spesifik ısıya sahip olması nedeniyle iyi bir ısı transferine olanak tanır. Ancak bunun yanında, polimer ekstrüzyonu için gerekli olan 200°C ve üzerindeki sıcaklıklara ulaşılması çok zordur. Çünkü bu tip uygulamalar için yüksek buhar basınçlarına ve normalden çok daha fazla tesis alanına ihtiyaç duyulur. Günümüzde bu tip yatırımlar; akışkan sızıntısı, ısı kaybı, korozyon gibi sorunların yanı sıra, çok esnek bir şekilde uygulama yapılabilen mevcut teknolojilerin yanında verimsiz kaldığı için tercih edilmemektedirler.

4.3 Soğutma Sistemleri

Ekstrüderin soğutulması, birçok uygulamada gerekli olan bir işlemdir. Ancak, soğutma işlemi mümkün olduğunca az olmalıdır. Hatta tercihen hiç olmamalıdır. Bunun nedeni, ekstrüderin soğutulmasının toplam proses verimliliği üzerindeki negatif etkisidir. Sonuçta sistemin soğutulması dışarı ısı atılması bir enerji kaybıdır. Ekstrüderin ısıtılması, ana motorda harcanan elektrik enerjisini azaltırken, ekstrüderdeki toplam enerji gereksinimine de katkıda bulunur. Buna karşılık, soğutmanın bu enerji ihtiyacına hiçbir katkısı yoktur. Aksine, soğutma için harcanan enerji proses için kayıp bir enerjidir.

Bir ekstrüzyon prosesi çok fazla miktarda soğutmaya ihtiyaç duyuyorsa, bu genellikle iyi olmayan bir proses dizaynı yapıldığının göstergesidir. Bunun nedeni, prosese uygun olmayan vida tasarımı, ekstrüderdeki yüksek L/D oranı veya yanlış ekstrüder seçimi olabilir. Ekstrüzyon prosesinin dizaynı, toplam enerji ihtiyacının ağırlıklı olarak ekstrüder ana motorundan karşılanacağı şekilde yapılır. Ekstrüder vidasının dönmesi, polimer malzemede sürtünme kaynaklı ısınmaya ve viskoz ısınmaya olur. Bu şekilde, elektrik motoru tarafından üretilen mekanik enerji, polimer malzemenin sıcaklığını yükseltmek için termal enerjiye dönüştürülmüş olur. Bu mekanik enerji, genellikle toplam enerji ihtiyacının %70 ila 80'ini karşılar. Bunun anlamı, kayıplar ihmal edildiğinde ısıtma sisteminin toplam enerji ihtiyacına katkısı % 20 ila 30 arasındadır.

Ekstrüderdeki enerjinin büyük bir kısmının vidadan karşılanması sonucunda polimer tarafından üretilen ısı, bazı durumlarda prosesi aynı sıcaklıkta tutmak için gerekli olan ısıdan daha fazla olabilmektedir. Bu yüzden bazı durumlarda, ısıtma yerine soğutma yapmak da gerekmektedir. Çoğu ekstrüderde, silindirin alt tarafına monte edilmiş fanlar yardımıyla cebri havalı soğutma yapılır (Şekil 4.9). Ekstrüder ısıtıcılarının dış yüzeyinde genellikle bir serpantin bulunur. Serpantin üzerinde bulunan kanatlar sayesinde, ısı transfer yüzeyi ve buna bağlı olarak da soğutma etkinliği artırılır.



Şekil 4.9 Cebri hava soğutması yapabilen fanlı bir ısıtıcı

Bazı ekstrüderler, dışarıdan ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duymadan çalışırlar. Bu tip bir proses, “kendine yeten” (auto-genous) bir proses olarak tanımlanır. Ancak bu tabir, adyabatik prosesle karıştırılmamalıdır. Ekstrüder için kullanılan “kendine yeten” tanımı, gerekli olan enerjinin tamamının mekanik enerjiden (ana motordan) sağlandığını belirtmek için kullanılmaktadır. Bu tip bir proseste, ısı kayıpları da olacaktır. Adyabatik bir ekstrüzyon prosesinde ise, sistemle çevre arasında hiçbir şekilde ısı alışverişi olmadığı kabul edilir. Diğer bir deyişle, sistemden çevreye olan ısı transferi yok kabul edilir. Sonuç olarak, kendine yeten bir proses gerçek anlamda asla adyabatik olamaz, yalnızca adyabatik olarak kabul edilebilir.

Pratikte, kendine yeten ideal bir prosesin gerçekleşmesi çok zordur. Polimer özellikleri, makine dizaynı ve çalışma koşullarının çok hassas bir şekilde dengelenmesi gerekir. Bu faktörlerden herhangi birinin en ufak biçimde dahi değişmesi, prosesi bu özelliğinden uzaklaştırır. Polimer malzemeye ait termal ve reolojik özelliklerin çok değişkenlik gösterebilmesi, farklı polimer malzemelerle çalışabilen ve kendi kendine yeten bir ekstrüder dizaynı yapılmasını zorlaştırır. Çalışma şartlarındaki bu değişkenliklerden dolayı ekstrüderler, ısıtıcılardan kayda değer biçimde faydalanılacak biçimde dizayn edilirler.

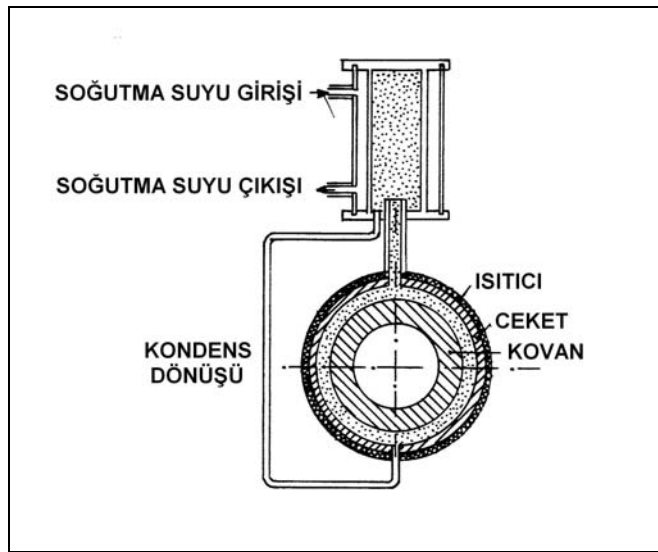
İdeal bir ekstrüderde, ısıtıcılardan ekstrüdere çok fazla ısı transferi olmamalıdır. Dıştan ısıtmada görülen problem, kovan cidarının dışı ile içi arasında yüksek sıcaklık farklarının oluşmasıdır. Özellikle düşük ısı iletim katsayısına sahip polimerlerin prosesinde, malzemeyi ısıtıcılar yardımıyla istenen sıcaklığa çıkarmak için kovan cidarında büyük sıcaklık farkları oluşur. Dıştan ısıtma, yavaş gerçekleşen ve yüksek sıcaklık farklarına neden olan bir yöntemdir. Bunun sonucunda, polimerle silindirin metal iç yüzeyi arasında yüksek sıcaklıklar ve uzun ısıtma süreleri oluşur. Bu da verimi ve çalışma ömrünü azaltıcı bir faktördür. Polimer malzemenin ihtiyacı olan enerjiyi viskoz ısınma yoluyla mekanik enerjiden alması, kütle olarak üniform bir şekilde ısınmasını da sağlamaktadır. İdeal bir ekstrüderde, toplam enerji ihtiyacının en az % 50'sinin, en fazla da % 90'ının mekanik enerjiden sağlanması istenir.

Ekstrüderlerin hava ile soğutulması, aslında çok da etkili olmayan bir soğutma yöntemidir. Bunu nedeni, ısı transferinin düşük olmasıdır. Eğer yüksek soğutma ihtiyacı varsa, bu yöntemin kullanılması uygun değildir. Bunun yanında hava ile soğutmanın en önemli avantajlarından birisi, soğutma esnasındaki sıcaklık düşümünün yavaş bir şekilde olmasıdır. Su ile soğutmada ise, sistem devreye girer girmez çok ani ve hızlı bir sıcaklık değişimi olur. Bu iki sistem kontrol edilebilirlik açısından karşılaştırılırsa, hava ile soğutmanın daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Yüksek soğutma ihtiyacının olduğu durumlarda, başta su olmak üzere bir akışkan yardımıyla soğutma yapılır. Özellikle ekstrüderin ham madde besleme boğazında, su ile dıştan soğutma yapılır. Ekstrüzyon prosesinde ürünün ekstrüderden sonra bulunan ön makine hattı boyunca soğutulmasında kullanılan su, ekstrüderin besleme boğazına da girer ve sıcaklığın istenen değerde kalmasını sağlar. Besleme bölgesinden çıkan ve ısınan su, diğer makinelerden çıkan sularla birlikte tesisin su soğutma sistemine tekrar yollanarak bir su çevrimi sağlanır.

Su ile soğutmada görülebilecek en büyük sorunlardan birisi, soğutma sıvısı olarak kullanılan suyun kaynama sıcaklığına ulaşarak buharlaşma ihtimalidir. Bu şekilde, daha fazla ısı transferi olur ve ekstrüderden daha çok ısı çekilir. Ancak ısı transferindeki bu ani artış, soğutma kapasitesinin de aniden artmasına ve ekstrüderin sıcaklık kontrolünün zorlaşmasına neden olur. Bu nedenle akışkanlı soğutma yapılan düzeneklerde, sıcaklığı stabil tutmak için kullanılan sistem ve proses ekipmanları hava soğutmalı sisteme göre çok daha gelişmiş olmak zorundadır.

Havalı soğutma yapılan sistemlerde, soğutma havasının nemlendirilmesiyle soğutma etkinliği artırılabilir. Ancak bu şekilde çalışan bir sistemde, hava ile etkileşimde olacak elemanlar korozyona dayanıklı malzemeden yapılmış olmalıdır. Bu tip bir sistemde, su buharının silindirin etrafında sirkülasyonu sağlanır. Silindirin etrafında dolaşan su buharı, farklı bir haznede bulunan yoğuşturma kabının dışından su ile soğutulur. Bu haznede yoğuşan su buharı, silindirin altında bulunan bir bölümden alınarak tekrar çevrime kazandırılır. Bu tip bir sistemin prensip şeması, Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Buharlı soğutma sistemi, ekstrüder sıcaklık kontrolü için iyi ve etkili bir sistemdir.



Şekil 4.10 Buharlı soğutma sistemi

Yağ veya hava ile soğutma, oransal valfler ve sürücülü motorlar kullanılarak çok hassas bir soğutma sistemi olarak da kullanılabilir. Bu tip sistemlerin yatırım ve bakım maliyetleri yüksektir ancak sıcaklık kontrolü için çok güvenilirlerdir. Su ile soğutmada, soğutma gücü bir solenoid valf sayesinde ayarlanır. Soğutma gücü, solenoid valfe giden sinyalle doğru orantılı olarak değişir. Böylece ihtiyaç kadar soğutma yapılmış olur.

Sonuç olarak, ekstrüderin sıcaklık kontrolü için bazı durumlarda soğutulması gereklilik arz etse de, soğutma mümkün olduğunca minimize edilmelidir. Soğutma için harcanan enerjinin, sistem için kayıp bir enerji olduğu unutulmamalıdır.

4.4 Ekstrüder Vidasının Isıtılması-Soğutulması

Şu ana kadar, ekstrüder kovanı ile alakalı ısıtma-soğutma sistemlerinden bahsedildi. Ancak göz önünde bulundurulması gereken bir başka nokta, silindir iç yüzeyiyle polimer malzemenin temas alanının, toplam temas alanının yaklaşık yarısına tekabül ettiğidir. Bunun anlamı şudur: Silindirle polimer arasındaki yüzey alanı, polimer malzemenin sahip olduğu toplam ısı transferi yüzeyinin yalnızca yarısını oluşturur. Sonuç olarak, vida ile polimer malzeme arasında da çok önemli bir ısı transfer yüzeyi vardır.

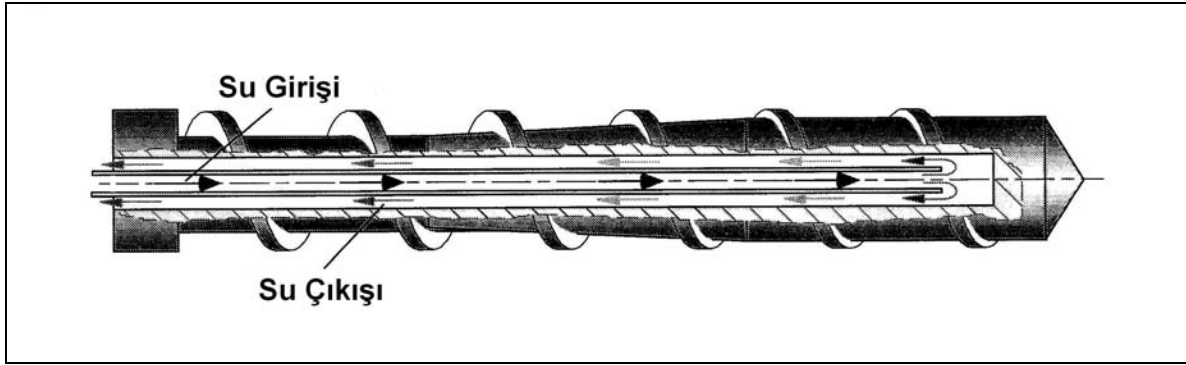
Çoğu ekstrüderde, vida için özel bir ısıtma ya da soğutma sistemi yoktur. Bu tip vidalar, çalışma şartlarına bağlı bir termal karakter sergilerler. Eğer silindirin dışından ısıtma-soğutma yapılması sistem açısından yeterliyse, vida için ayrıca ısıtma-soğutma yapılması gerekli olmayabilir. Aksi takdirde, vida sıcaklık kontrolü için de ek bir sisteme ihtiyaç duyulur.

Vida için yapılacak bir sıcaklık kontrolünün, silindirle mukayese edildiğinde daha zor bir işlem olduğu açıktır. Bunun nedeni, vidanın kendi eksenini etrafında dönmesi ve bu hareketle uyumlu, döner elemanlardan oluşan bir bağlantı sistemi gerektirmesidir. Bu tip bağlantı elemanları, günümüzde standart olarak kolay bir şekilde bulunabilmektedir.

Vida sıcaklık kontrolü için akışkan olarak genellikle su veya yağ kullanılır. Vidanın arka kısmındaki döner bir bloktan içeri giren akışkan, bir borunun içinden ilerler ve borunun bittiği yerde dışarı açılır. Daha sonra vidanın arka kısmına doğru vidayı soğutarak ilerleyen soğutma sıvısı, soğutma bloğundan dışarı atılır. Vidanın en güçlü biçimde soğutulduğu bölge, suyun borunun dışına çıktığı bölgedir. Bu sayede, borunun vida içindeki pozisyonu değiştirilerek en etkin soğutma bölgesi ayarlanabilir. Bazı uygulamalarda, vida deliğinin içerisine yerleştirilen keçeler yardımıyla vidanın yalnızca istenen bölgesi de soğutulabilir. Bunun yanında akışkanın debisi ve sıcaklığı da değiştirilerek, daha hassas biçimde ısıtma veya soğutma yapılabilir. Bu

sayede, vidanın ısıtılması veya soğutulması için gereken koşullar, çok esnek bir biçimde sağlanabilir ve prosesin toplam kontrol edilebilirliğine katkı sağlanmış olur.

Vidanın su ile soğutulması, döner elemanlar olmadan da yapılabilir. Bakır bir boru vidanın arka tarafından girerek vida içindeki delik boyunca ilerler. Vidanın arka tarafından bakır boruya giren soğutma suyu vida boyunca ilerler ve bakır borunun bittiği yerde boşluğa açılır. Daha sonra su, boru ile vida deliğinin arasındaki boşluktan vidanın arka tarafına doğru ilerleyerek dışarıya atılır. Bu yöntem, basit ama etkili bir vida soğutma yöntemidir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Vida soğutma sisteminin şematik gösterimi

Vidanın sıcaklık kontrolü için uygulanan bir başka yöntem, vidanın içinde ısı borusu (heat pipe) kullanılmasıdır. Isı borusu, vidanın besleme bölgesinden dozajlama bölgesine kadar ulaşır. Proses esnasında, vidanın dozajlama bölgesi besleme bölgesinden daha sıcak olur. Bu sıcaklık farkı, vidanın ön tarafından arka tarafına doğru ısı borusu boyunca bir ısı akışı sağlar ve bu sayede vida boyunca sıcaklık dengelenmeye çalışılır. Dozajlama bölgesi soğutulmuş, besleme bölgesi ise ısıtılmış olur. Kapalı devre çalışması, başka yardımcı elemanlara ihtiyaç duymaması, basit olması ve soğutmadan kaynaklanan ısı kayıplarının çok az olması bu yöntemin avantajları arasında sayılabilir. Özellikle sıcaklığa çok duyarlı plastik malzemelerin işlendiği çift vidalı ekstrüderlerde bu yöntem genellikle kullanılır. Bu yöntemin dezavantajı ise, sistemi dışarıdan kontrol etmenin mümkün olmamasıdır.

Vidanın ısıtılmasının gerektiği durumlarda, vidanın içindeki deliğe yerleştirilen fişek rezistanslardan da yararlanılabilmektedir. Isıtıcının elektrik beslemesi, vidanın arka tarafından yapılır. İçeriye yerleştirilen ısıtıcı pozisyon değişikliğine müsaade ediyorsa, vidanın ısıtılmak istenen bölgesi değiştirilebilir. Bu sistemde dikkat edilmesi gereken husus, ısıtıcı ile vida deliğinin birbirine çok iyi bir şekilde temas etmesidir. Bunun en sağlıklı şekilde yapılabilmesi

için ısıtıcının, önceden ısıtılmış olan vidanın içerisine yerleştirilmesi gerekir. Isıtıcının, çalışma şartlarındaki sıcaklıktan çok daha düşük bir sıcaklıkta bulunan vidanın içine yerleştirilmesi, yüksek sıcaklıklara çıktığında vida deliğinin genişmesine ve ısıtıcı ile vida arasındaki temasın kaybolmasına sebep olacaktır. Bunun yanında, vidaya sıkı şekilde temas eden ısıtıcının vidanın içinde aksel olarak hareket ettirilmesi zor bir işlemdir. Isıtıcı ile vida deliği arasında termal macun kullanılması, hem iyi bir ısı transferi sağlar, hem de ısıtıcının pozisyonunun değiştirilmesine olanak tanır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, ekstrüder ısıtma-soğutma sistemlerinde ısıtma için en yaygın olarak kullanılan seramik yalıtımlı rezistanslı ısıtıcılarla, bu alanda yeni bir teknoloji olan radyant ısıtıcıların performans ve verimlilikleri bir deney düzeneği kurularak karşılaştırılmıştır. Silindirin soğutulması için fanlar kullanılmış olup, atmosferik hava ile soğutma yapılmaktadır. Deney yöntemi ve ortam şartları, her iki tip ısıtıcı için de aynı olacak şekilde ele alınmıştır.

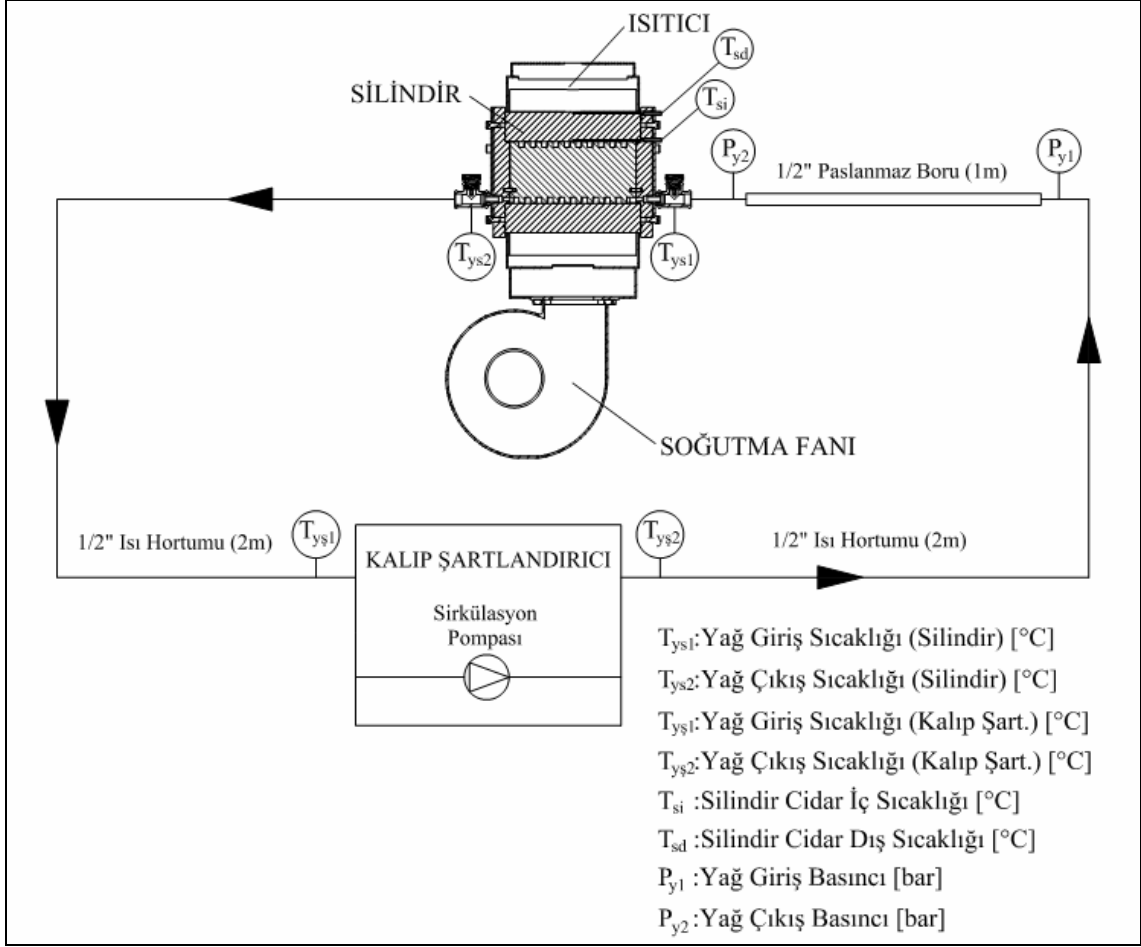
5.1 Deneyin Amacı

Ekstrüder kovanları, sıcaklıkları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen farklı ısıtma bölgelerine ayrılmıştır. Sıcaklıklar her bölge için ayrı ayrı ölçülür ve kendisine ait ısıtma-soğutma elemanı ile kontrol edilir. Bu bölgelerde istenen sıcaklıklar; prosese, işlenecek malzemeye ve makine dizaynına göre değişkenlik gösterebilir. Ancak plastik endüstrisinde, ekstrüder bölgeleri genellikle 150-250°C sıcaklık değerleri arasında kullanılırlar. Önemli olan, bir bölgenin istenen sıcaklığa kısa sürede gelmesi, kararlı bir şekilde bu sıcaklığı muhafaza etmesi ve bu esnada da mümkün olduğu kadar az enerji tüketmesidir.

Deneyin amacı; radyant ısıtıcı ve rezistanslı ısıtıcının ayarlanan sıcaklık değerine deney düzeneğini ne kadar sürede getirdiğinin, bu sıcaklığı ne kadar stabil koruyabildiğinin ve bu esnada ne kadar enerji tüketildiğinin deneysel olarak ölçülmesi ve karşılaştırılmasıdır. Bunun sonucunda, ilk yatırım maliyeti de dikkate alınarak hangi tip ısıtıcıyı kullanmanın ekstrüderler için daha verimli olduğu ortaya çıkacaktır. Plastik işleme tesislerinde günün 24 saati aralıksız olarak çalışan ekstrüderler için, farklı tip ısıtıcı kullanımıyla bu şekilde sağlanabilecek bir enerji tasarrufu işletmelere büyük katkı sağlayacaktır.

5.2 Deney Düzeneği

Ekstrüder ısıtıcıları, pratikte ekstrüder kovanının dışına sabitlenecek şekilde monte edilirler. Deney düzeneğinde kullanılan rezistanslı ısıtıcı ve radyant ısıtıcı, boyut ve güç olarak birbirinin muadilidir ve aynı kovana monte edilebilmektedirler. Düzenekte, ekstrüder kovanını temsilen ısıtıcıların boyutlarına uygun bir silindir kullanılmıştır. Bir sirkülasyon pompası yardımıyla yağın silindire girip çıkması esnasında sistemin değişik noktalarından alınan sıcaklık değerleri kaydedilerek incelenmiştir. Silindirin içinden geçerken silindirden ısı çeken ve sıcaklığı artan yağ, ekstrüder kovanının içinde ilerleyen ve kovandan ısı çeken plastik eriyiğini simüle etmektedir. Sistemin prensip şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Denei düzeneğinin prensip şeması

Ekstrüder ısıtıcılarının çalışması, PID kontrolle sağlanır. Mevcut sıcaklık ayarlanan sıcaklık değerinden düşükse, ısıtıcı sürekli açık konumunda çalışarak aradaki farkı hızlı şekilde kapatmaya çalışır. Sıcaklık farkı azaldıkça, ısıtıcılar PID kontrolle değişken sürelerde açık-kapalı konumda tutularak ayarlanan sıcaklık değerine ulaşılır. Bölgenin o andaki durumuna göre, ısıtma veya soğutma yapılarak sıcaklık hassas bir biçimde muhafaza edilir.

Denei düzeneğinde, ekstrüder sıcaklık kontrolü için özel olarak hazırlanmış bir PLC ve yazılımdan yararlanılmıştır. Farklı sıcaklık değerlerine ayarlanabilen sistem, silindir cidar iç sıcaklığını referans alacak şekilde düzenlenmiştir. Sistem herhangi bir sıcaklık değerine ayarlandığında, silindir cidar iç sıcaklık değerinin (referans değer) istenen değere gelmesi için, ısıtıcı veya soğutucu bilgisayar kontrollü olarak çalışarak sistemi bu sıcaklığa getirmektedir. Bu esnada ısıtıcının tükettiği anlık ve toplam enerji miktarları da, bir enerji analizörü yardımıyla ölçülerek kaydedilebilmektedir.

5.2.1 Deney Düzeneginde Kullanılan Elemanlar

Bu bölümde, düzenekte kullanılan elemanlardan bahsedilmiştir. Kurulan deney ve kontrol düzeneği, Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Deney ve kontrol düzeneği

5.2.1.1 Silindir

Düzenekte, ekstrüder kovanını temsilen kullanılan silindir ve üzerindeki elemanlar, Şekil 5.3’te gösterilmiştir. Kullanılan silindir; bir dış silindir, bir iç silindir ve dış kapaklardan oluşmaktadır.

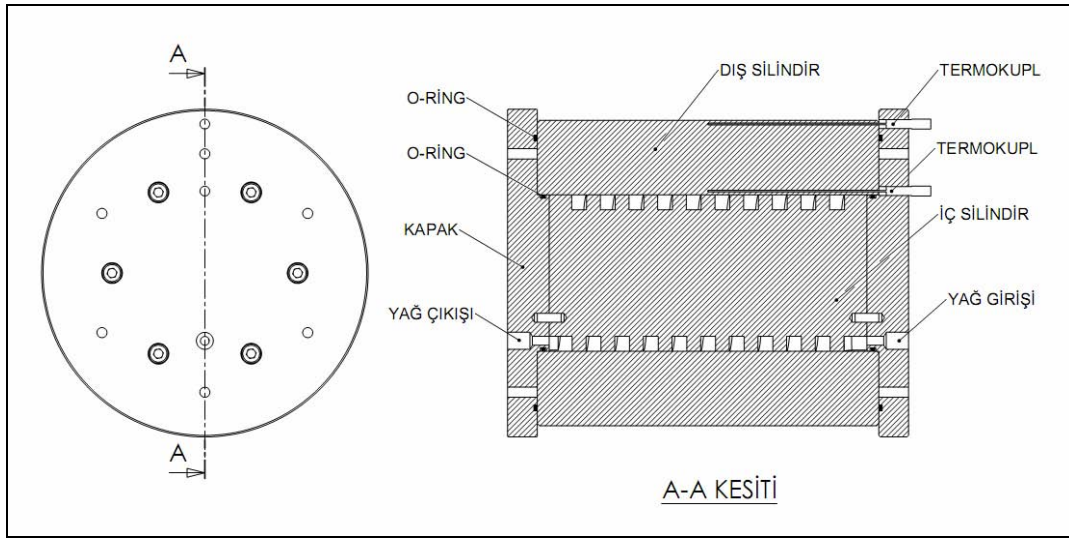
İç silindirin dış tarafında, helisel bir kanal bulunmaktadır. Bir pompa yardımıyla sistemde dolaştırılan yağ, silindire girdikten sonra bu helisel kanal boyunca ilerleyerek silindirden dışarı çıkmaktadır. Sistemde sürekli olarak dolaşan yağın görevi, silindirden ısı çekmektir. İç silindirde helisel kanal kullanılmasının amacı ise, içinden geçen yağın hızını ve buna bağlı olarak ısı transfer katsayısını artırarak silindirden yağa olan ısı transferini arttırmaktır. Deneyler sırasında (100-200°C aralığında) silindir kanalından geçen yağın ortalama hızı 5 m/s’dir. Yağın özelliklerine de bağlı olarak bu hız değerindeki taşınım katsayısı, 2500 W/m².K olarak hesaplanmıştır.

Silindir, dış tarafına monte edilen rezistanslı veya radyant ısıtıcı tarafından ısıtılmaktadır. Sıcaklıklar, silindirin yağ giriş ve çıkışında bulunan termokupllar sayesinde bilgisayara kaydedilmiştir. Bu veriler, ısıtıcıların karşılaştırılması için kullanılan parametrelerdendir.

Dış silindir cidarının iç ve dış yüzey sıcaklıkları, yüzeylere çok yakın olarak yerleştirilmiş termokupllar sayesinde görülebilmektedir. Bu sıcaklık değerleri de, bilgisayara kaydedilerek gözlemlenebilmektedir.

Sistemin yağ sızdırmazlığı, kapaklarla silindir arasına yerleştirilen yüksek sıcaklığa dayanıklı viton o-ringlerle sağlanmaktadır. Silindirden oluşabilecek ısı kayıplarını engellemek için, kapak yüzeylerinde taşıyünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır.

Silindir montajında kullanılan parçaların teknik resimleri, Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Silindir montaj resmi

5.2.1.2 Kalıp Şartlandırıcı

Sistemde sürekli olarak dolaştırılan yağ için, plastik endüstrisinde kalıpların sıcaklığını sabit tutmakta sıkça kullanılan bir kalıp şartlandırıcıdan yararlanılmıştır. Kalıp şartlandırıcı, içerisinde bir sirkülasyon pompası olan ve proses sıcaklığına göre yağ veya su ile çalışabilen bir cihazdır. Kalıp şartlandırıcıdan pompa yardımıyla kalıba gönderilen akışkan, kalıbın içinde dolaştıktan sonra tekrar şartlandırıcıya gelir. Akışkanın sahip olduğu sıcaklık değeri, kalıp şartlandırıcının çıkışında sürekli olarak okunur. Ölçülen sıcaklık değeri istenilen sıcaklık değerinden düşükse, içinde bulunan ısıtıcı yardımıyla istenen sıcaklığa getirilir. Eğer istenilen sıcaklıktan yüksekse, dışarıdan solenoid valfle soğuk su beslemesi olan bir eşanjöre ihtiyaca göre su alarak, sistemde dolaşan akışkanı soğutur. Bütün bu işlemler, küçük bir kontrol ünitesi tarafından PID kontrolle yapılır. Böylece kalıp ve sistemde dolaşan akışkan, istenen sıcaklık değerinde hassas bir biçimde tutulmuş olur.



Şekil 5.4 Kalıp şartlandırıcı

Deney düzeneğinde kalıp şartlandırıcının kullanım amacı, içinde bulunan pompa yardımıyla yağın silindire basılmasını ve sistemde dolaşmasını sağlamaktır. Aynı zamanda içinde bulunan ısıtıcı düzenek, yağın değişik sıcaklıklardaki debisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Cihazın üzerindeki pompa kapasitesi, 39 m basma yüksekliği için 75L/dk'dır. Ancak bu değer, akışkan olarak su kullanıldığında geçerlidir ve sistemde kullanılan yağ için pompa kapasitesi daha farklı olacaktır. Cihazın ısıtma gücü 9000 W'tır. Deney düzeneğinde, cihazın soğutma özelliğinden yararlanılmamıştır.

Kalıp şartlandırıcıda yağın geçtiği iç ısıtıcı bölümü ve tesisat, tamamen izoleli şekildedir ve yapılan deneylerde kalıp şartlandırıcıdan olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir.

5.2.1.3 Isıtıcılar

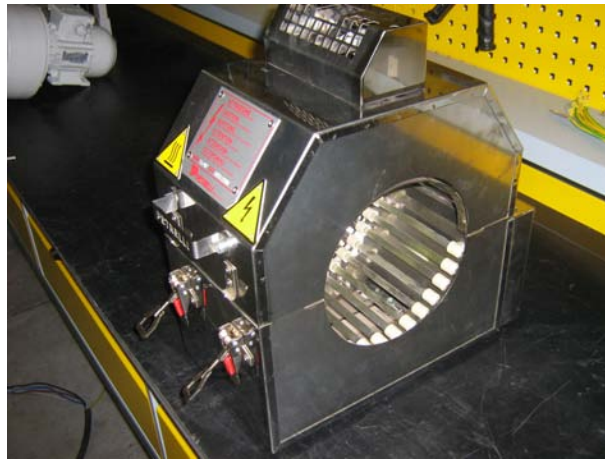
Deney düzeneğinde karşılaştırma için kullanılan elektrikli ısıtıcılar, kataloglarında verilen değerlere göre 4000 W ($2,76 \text{ W/cm}^2$) ısıtma gücüne sahiptirler. Isıtıcılar, sabit çalışma sıcaklıklarında daha stabil bir sıcaklık profili elde etmek ve soğutma hızlarının da karşılaştırılması açısından soğutma fanlı olarak kullanılmıştır. 205 mm dış çaplı bir ekstrüder kovanına uygun olarak dizayn edilmiş ısıtıcıların boyları 225 mm'dir. Rezistanslı ısıtıcı, içerisinde bulunan dışı seramik yalıtımlı dirençlerle ısıtma yaparken (Şekil 5.5), radyant ısıtıcı iç tarafında bulunan ve silindirin etrafında dairesel olarak sıralanmış kuartz tüplerle ısıtma yapmaktadır (Şekil 5.6).

Soğutma işlemi esnasında rezistanslı ısıtıcı, önce silindirin dış tarafında bulunan alüminyum serpantini (Şekil 5.5) fan yardımıyla soğutmaktadır. Soğuyan serpantin kanatları, daha sonra silindiri soğutmaktadır. Radyant ısıtıcıda, soğutma havası direkt olarak silindirin üzerine verilerek soğutma yapılmaktadır.

Rezistanslı ve radyant ısıtıcı uygulamalarında, sıcaklığı sabit tutulmak istenen sistemden sürekli olarak sıcaklık bilgisi alınır ve bilgisayar kontrollü olarak ihtiyaca göre ısıtıcılar veya soğutma fanları devreye girer. Sistemdeki istenen sıcaklık değeri ile mevcut değer birbirine yaklaştıkça ısıtıcının anlık enerji üretimi de buna bağlı olarak PID kontrol yapılarak elektronik kontrol elemanlarıyla ayarlanır. Ayarlanan sıcaklık değerinin tolerans dışına çıkılarak aşılması durumunda ise, soğutma fanı devreye girerek sıcaklığı istenen değere getirir. Sistemin sıcaklığı, bu şekilde sabit tutulmaya çalışılır.



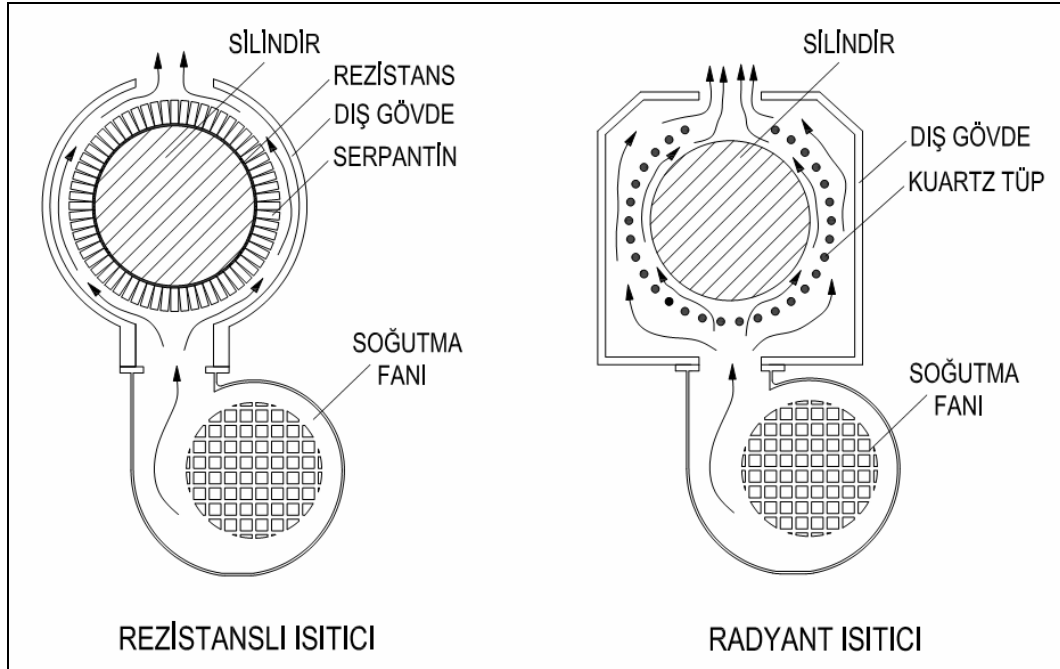
Şekil 5.5 Düzenekte kullanılan seramik yalıtımlı rezistanslı ısıtıcı



Şekil 5.6 Düzenekte kullanılan radyant ısıtıcı

5.2.1.4 Soğutma Fanları

Ekstrüder ısıtıcıları, daha önce de belirtildiği gibi ihtiyaca göre soğutma tertibatlı olarak da kullanılabilirler. Deneylerde kullanılan rezistanslı ve radyant ısıtıcı, düzenekte daha stabil bir sıcaklık profili elde edilmesi ve soğutma performanslarının da karşılaştırılması açısından soğutma fanlı olarak kullanılmışlardır. Sistem ayarlanan sıcaklık değerini geçtiği anda, PLC tarafından ısıtıcı otomatik olarak durdurularak fan çalıştırılmaktadır. Uygun sıcaklığa geldiğinde, fan otomatik olarak durmaktadır ve ihtiyaca göre tekrar ısıtıcı çalıştırılmaktadır. Sistemde önemli olan, ayarlanan sıcaklık değerinin ısıtıcı veya soğutma fanı kullanılarak istenen sıcaklıkta tutulmasıdır. Rezistanslı ve radyant ısıtıcılara ait soğutma prensip şemaları, Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Rezistanslı ve radyant ısıtıcılara ait soğutma prensip şemaları

Rezistanslı ısıtıcıda kullanılan radyal fan; 0,37 kW gücünde, 2800 dev/dk bir motorla tahrik edilmektedir (Şekil 5.8). Fanın basma kapasitesi katalog verilerinde 1750 m³/h, 65 mmSS olarak verilmiştir. Rezistanslı ısıtıcının iç tarafında silindiri dıştan saran alüminyum serpanthin bulunmaktadır. Serpanthinin üzerinde 512 adet kanatçık bulunmaktadır. Serpanthin, yaklaşık 0,55 m² yüzey alanına sahiptir ve 2,6 kg ağırlığındadır. Rezistanslarla birlikte toplam 4 kg’lık bir kütle söz konusudur. Soğutma fanından çıkan hava, doğrudan serpanthinı soğutmaktadır. Bu şekilde serpanthinin sarılı olduğu silindir de soğutulmaktadır.



Şekil 5.8 Rezistanslı (solda) ve radyant ısıtıcıda (sağda) kullanılan soğutma fanları

Radyant ısıtıcıda kullanılan fan; 0,60 kW gücünde, 2700 dev/dk bir motorla tahrik edilmektedir (Şekil 5.8). Fanın basma kapasitesi, katalog verilerinde $1600 \text{ m}^3/\text{h}$, 34 mmSS olarak verilmiştir. Isıtıcılarda kullanılan fanlar, debileri karşılaştırıldığında birbirlerinin muadili olarak kabul edilebilirler. Radyant ısıtıcıda, rezistanslı ısıtıcıda olduğu gibi bir soğutma serpantini bulunmamaktadır. Soğutma fanından çıkan hava, doğrudan silindir yüzeyini soğutmaktadır. Bununla birlikte, radyant ısıtma devreden çıkarak soğutma fanı çalıştığı anda ısıtıcının konstrüktif yapısından dolayı hala yüksek sıcaklıkta olan kuartz tüpler de soğutulmaktadır. Bunun sonucunda, fan ilk devreye girdiğinde soğutma gücünün büyük bir kısmı kuartz tüplere harcanmaktadır. Kuartz tüpler soğudukça, soğutma verimi de buna bağlı olarak artmaktadır. Isıtıcı, uygun sıcaklığa geldikten sonra soğutma fanı durdurularak tekrar ısıtıcılar devreye girmektedir.

Rezistanslı ısıtıcıda soğutulan silindirin yüzey alanı, yaklaşık $0,15 \text{ m}^2$ 'dir. Kuartz tüplerin toplam yüzey alanı ise yaklaşık $0,14 \text{ m}^2$ 'dir. Toplamda $0,29 \text{ m}^2$ 'lik bir yüzey alanı söz konusudur. Rezistanslı ısıtıcıda ise bu değer $0,55 \text{ m}^2$ 'dir ve radyant ısıtıcının toplam soğutma yüzey alanının yaklaşık 2 katıdır. Kuartz tüplerin her biri 10 mm çapında, 140 mm boyunda ve 28,5 g ağırlığındadır. Radyant ısıtıcıda toplam 30 adet kuartz tüp kullanılmaktadır ve 855 g'lık bir kütle söz konusudur.

5.2.1.5 Isı Transfer Yağı

Sistemde, Mobil firmasına ait Mobiltherm 32 ısı transfer yağı kullanılmıştır. Yağın maksimum kullanım sıcaklığı; atmosferik basınçtaki kapalı sistemler için 285°C , açık sistemler için ise 150°C 'dir. Deney düzeneğinde yağ, maksimum 200°C sıcaklıkta kullanılmıştır.

Sistemde yağın kullanım amacı, daha önce de belirtildiği gibi uygulamalarda ekstrüder kovanından ısı çeken plastik eriyiğini simüle etmektir. Isıtıcılardan silindire geçen ve yağın sıcaklığını arttıran enerji miktarı, ısıtıcı verimlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Yağın fiziksel özellikleri, sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Sistemde farklı sıcaklıklar için yapılan hesaplama ve deneylerde kullanılan yağ üreticisi firmaya ait özellik tablosu, Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Mobiltherm 32 yağına ait sıcaklığa bağlı özellik tablosu

Temperatur	Dampfdruck	Dichte	Spezifische Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Dynamische Viskosität	Kinematische Viskosität	Prandl-Zahl
t	p	ρ	cp	λ	η	ν	Pr
°C	mbar	kg/m ³	kJ/kgK	W/m*K	10 ⁻³ Ns/m ²	10 m ² /s	1
-10	0,000000	887	1,77	0,136	643	724	8378
0	0,000001	881	1,80	0,135	272	309	3645
20	0,00001	868	1,88	0,133	71	82	1001
30	0,00002	861	1,91	0,133	42	49	604
40	0,0001	855	1,95	0,132	26	31	391
60	0,000	842	2,02	0,131	12,5	15	194
80	0,002	828	2,10	0,129	6,94	8,4	113
100	0,01	815	2,17	0,128	4,32	5,3	73
150	0,1	783	2,35	0,124	1,81	2,3	34
200	1	750	2,53	0,120	0,99	1,3	21
250	9	717	2,71	0,117	0,63	0,9	15
300	41	684	2,89	0,113	0,44	0,65	11
320	71	671	2,97	0,112	0,39	0,58	10

5.2.1.6 PLC Kontrol Paneli

Ekstrüderlerin çalışma koşulları ve buna bağlı olarak termal karakterleri uygulamalarda değişkenlik gösterir. Ancak PLC kontrollü ekstrüderlerde, ısıtma ve soğutma elemanlarının çalışması karşısında sistemin nasıl bir karakter sergilediği cihaz tarafından ilk başta analiz edilerek, çok daha hassas sıcaklık kontrolü yapmak mümkün olmaktadır. Bu işlem, PID parametrelerinin her ekstrüdere uygun olarak değiştirilebilmesini (auto tuning) ve bu sayede kovan bölgelerinde istenen sıcaklık değerlerinin $\pm 1^\circ\text{C}$ toleransla korunmasını sağlamaktadır.

PID parametreleri, deneylere başlamadan önce her iki ısıtıcı için de 140°C referans alınarak uygun değerlere PLC tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. Deney düzeneğinde okunan bütün sıcaklık ve basınç değerleri, deneyler esnasında ekstrüderler için hazırlanmış özel bir yazılım ile PLC ekranından sürekli olarak okunarak kaydedilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Düzenekteki PLC ekranının üzerinde gösterilen değerler

5.3 Deneyin Yapılışı

Yapılan deneylerde, düzenek farklı sıcaklıklarda sabit tutulacak şekilde çalıştırılırken, rezistanslı ısıtıcı ve radyant ısıtıcının belli parametrelere bağlı olarak performans ve verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Sırasıyla 100, 120, 140, 160 ve 180°C sıcaklıklarda bir saat süreyle sabit tutulan sistemde, PID ile kontrol edilen ısıtıcıların anlık ve toplam enerji tüketimleri enerji analizörü ile kaydedilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Düzenekte kullanılan enerji analizörü

Sistemin çalıştırıldığı sıcaklık değerlerinde debisi önceden tespit edilen yağın, silindire giriş ve çıkış sıcaklıkları da kaydedilerek deney sırasında yağa transfer olan ısı miktarı hesaplanmış

ve her iki ısıtıcı için de bir verim ifadesi elde edilmiştir.

Deneyler esnasında, silindir cidarının iç ve dış sıcaklık değerleri kaydedilerek zamana bağlı değişimleri gözlemlenmiştir. Sistem belli bir sıcaklık değerinde çalışırken, bu değer arada 20°C fark olacak şekilde değiştirilerek ısıtıcıların ayarlanan değerlere geliş süreçleri de kayıt altına alınarak hem ısıtma, hem de soğutma hızları açısından değerlendirme yapılabilmektedir.

Isıtıcılarla yapılan deneylerde, düzenekteki kalıp şartlandırıcı pompası çalıştırılıp yağ sirkülasyonu başladıktan sonra silindir cidar iç sıcaklığı (T_{si}), ayarlanan sıcaklık değerlerine (T_{set}) ulaşıncaya kadar beklenmiştir. Sırasıyla 100, 120, 140, 160 ve 180°C çalışma sıcaklıkları için birer saat boyunca çalıştırılan düzenekte, deney parametreleri gözlemlenerek 5 saniyede bir bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

Deney düzeneğinde gözlemlenen parametreler, aşağıda verilmiştir:

- Düzenekte ayarlanan sıcaklık değeri (T_{set}) [°C]
- Silindir cidar iç sıcaklığı – Referans sıcaklık (T_{si}) [°C]
- Silindir cidar dış sıcaklığı (T_{sd}) [°C]
- Yağın silindire giriş sıcaklığı (T_{ys1}) [°C]
- Yağın silindirden çıkış sıcaklığı (T_{ys2}) [°C]
- Yağa transfer olan toplam enerji miktarı (Q_y) [kWh]
- Isıtıcının anlık enerji üretimi (\dot{Q}_r) [kW]
- Isıtıcının anlık enerji üretim kapasitesi (\dot{Q}_{rp}) [kW]
- Isıtıcının anlık enerji üretim oranı (\dot{Q}_{ro}) [\dot{Q}_r / \dot{Q}_{rp}]
- Isıtıcının toplam enerji üretimi (Q_f) [kWh]
- Isıtıcının toplam enerji üretim kapasitesi (Q_{rp}) [kWh]
- Isıtıcının toplam enerji üretim oranı (Q_{ro}) [P_t / P_{tk}]
- Isıtıcının ısıtma verimi (η_r) [Q_y / Q_r]

5.3.1 Yağ Debisinin Tespit Edilmesi

Isıtıcıların karşılaştırılmasında kullanılacak deneysel yöntem için, sistemde değişik sıcaklıklarda sürekli olarak dolaştırılacak yağ debisinin de bilinmesi gereklidir. Yağ debisinin ölçümü, ilk başta düzenekte bulunan ½” paslanmaz bir borudaki basınç düşümünden hesap yoluyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak, yağın viskozitesinin sıcaklıkla çok fazla değişmesinden dolayı (Çizelge 5.1) bu yöntem sadece düşük sıcaklıklarda (<100°C) sağlıklı sonuçlar vermiştir. Isıtıcıların yüksek sıcaklıklardaki (100-200°C) performansları karşılaştırılacağı için, yağ debisinin belirlenmesinde kalıp şartlandırıcının üzerinde bulunan elektrikli ısıtıcıdan yararlanılmıştır.

Yağ debisi tespiti için yapılan deneysel çalışmada, kalıp şartlandırıcı pompası çalıştırıldıktan sonra aynı anda ısıtma gücü bilenen ısıtıcısı da çalıştırılıp (9000 W), yağın şartlandırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıkları termokupullar yardımıyla her çalışma sıcaklığı için ölçülmüştür ve kaydedilmiştir (Şekil 5.11). Yağ debisinin ölçümünde yağın fiziksel özellikleri için referans sıcaklık olarak, yağın şartlandırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınmıştır. Düzenek, 50°C’den 200°C sıcaklığa kadar çalıştırılarak, yağın şartlandırıcıya giriş-çıkış sıcaklıkları anlık olarak okunarak kaydedilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.11 Kalıp şartlandırıcının giriş ve çıkışına bağlanan termokupullar



Şekil 5.12 Yağ giriş-çıkış sıcaklıklarının okunduğu göstergeler

Elde edilen ve bilinen değerler yardımıyla, birim zamanda ısıtıcıdan geçen yağ miktarı her referans sıcaklık için ayrı olarak hesaplanmıştır. 100°C deney sıcaklığı için yapılan örnek hesap aşağıda verilmiştir:

Kalıp şartlandırıcının ısıtma gücü (\dot{Q}_s): 9000 W

Şartlandırıcıya giren yağın sıcaklığı ($T_{yş1}$): 96°C

Şartlandırıcıdan çıkan yağın sıcaklığı ($T_{yş2}$): 106,3°C

Ortalama sıcaklık ($T_{yş,ort}$): 101,2°C

Yağın ısınma ısısı (c_{py}): 2,17 kJ/kg.K (Çizelge 5.1'den)

Yağın yoğunluğu (ρ_y): 815 kg/m³ (Çizelge 5.1'den)

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_y \cdot c_{py} \cdot \Delta T_{yş}$$

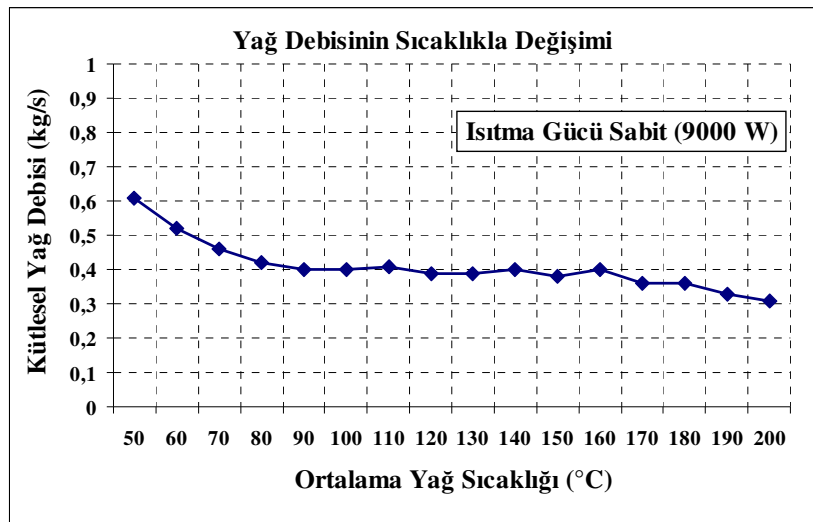
$$9000 \text{ W} = \dot{m}_y \cdot (2,17 \text{ kJ/kg}) \cdot (106,3 - 96)^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_y = 0,40 \text{ kg/s} \text{ (29,64 L/dk)}$$

Farklı sıcaklıklar için ölçülen ve hesaplanan değerler, Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak kalıp şartlandırıcı pompasının basma kapasitesindeki değişim ise, Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Düzenekte farklı sıcaklıklar için hesaplanan yağ debileri

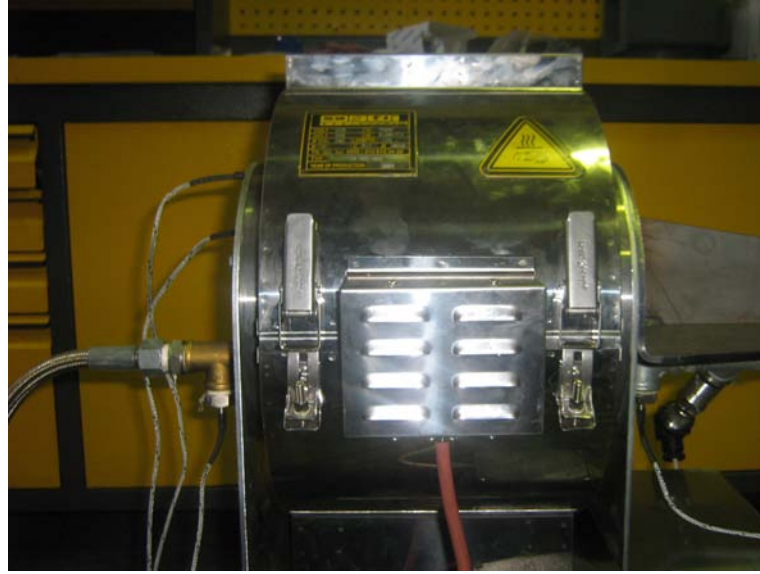
AKIŞKAN PARAMETRELERİ			ÖLÇÜLEN DEĞERLER (KALIP ŞARTLANDIRICI İÇİN)					HESAPLANAN DEĞERLER	
Sıcaklık	Yoğunluk	Isınma Isısı	Isıtıcı Gücü	Yağ Giriş Sıcaklığı	Yağ Çıkış Sıcaklığı	Ortalama Sıcaklık	Sıcaklık Farkı	Kütlesel Debi	Hacimsel Debi
[°C]	[kg/m ³]	[kJ/kg.K]	[W]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/s]	[L/dk]
50	848	1,98	9000	46,0	53,5	49,8	7,5	0,61	42,88
60	842	2,02	9000	56,0	64,6	60,3	8,6	0,52	36,92
70	835	2,06	9000	66,0	75,6	70,8	9,6	0,46	32,70
80	828	2,1	9000	76,0	86,3	81,2	10,3	0,42	30,15
90	821	2,13	9000	86,0	96,6	91,3	10,6	0,40	29,13
100	815	2,17	9000	96,0	106,3	101,2	10,3	0,40	29,64
110	808	2,2	9000	106,0	116,0	111,0	10,0	0,41	30,38
120	802	2,24	9000	116,0	126,2	121,1	10,2	0,39	29,47
130	795	2,27	9000	126,0	136,1	131,1	10,1	0,39	29,63
140	789	2,31	9000	134,0	143,8	138,9	9,8	0,40	30,23
150	783	2,35	9000	146,0	156,0	151,0	10,0	0,38	29,35
160	776	2,38	9000	155,0	164,4	159,7	9,4	0,40	31,10
170	769	2,42	9000	166,0	176,2	171,1	10,2	0,36	28,45
180	763	2,45	9000	175,0	185,2	180,1	10,2	0,36	28,32
190	756	2,49	9000	184,0	195,0	189,5	11,0	0,33	26,08
200	750	2,53	9000	194,0	205,6	199,8	11,6	0,31	24,53



Şekil 5.13 Düzenekteki yağ debisinin sıcaklıkla değişimi

5.3.2 Rezistanslı Isıtıcı ile Yapılan Deneyler

Deneylere başlamadan önce, PLC kontrol panelindeki PID parametreleri 140°C sıcaklık referans alınarak PLC tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. Pompa çalıştırılıp yağ sirkülasyonu başladıktan sonra, silindir cidar iç sıcaklığı 100°C olup sistem rejime girene kadar beklenmiştir. 1 saat boyunca bu sıcaklıkta çalıştırılan sistemde, bütün sıcaklık değerleri ile birlikte ısıtıcının anlık ve toplam enerji tüketimleri enerji analizörü yardımı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Isıtıcının tükettiği ve ürettiği enerjiler birbirine eşit olduğu için, bundan sonra ısıtıcının “enerji tüketimi” yerine, “enerji üretimi” ifadesi kullanılacaktır.



Şekil 5.14 Silindirin üzerine monte edilmiş rezistanslı ısıtıcı

Sırasıyla 120, 140, 160 ve 180°C deney sıcaklıkları için de, sistem rejime girdikten sonraki sıcaklık değişimi ve enerji üretimi değerleri kaydedilmiştir. Düzenek bu sıcaklıklarda sürekli rejimde çalışırken deney sıcaklığı 20°C fark olacak şekilde kontrol panelinden değiştirilerek, ısıtıcının ısıtma ve soğutma hızları gözlemlenmiştir. Isıtma ve soğutma hızı tespiti için yapılan deneylerde, ısıtıcı ve soğutma fanı tam kapasiteyle çalıştırılmıştır.

5.3.3 Radyant Isıtıcı ile Yapılan Deneyler

Deneylere başlamadan önce, PID parametreleri 140°C sıcaklığa göre sistemin karakterine özgü olarak PLC tarafından ayarlanmıştır. Deneysel yöntem olarak, rezistanslı ısıtıcı ile yapılan denemelerin hepsi, aynı şekilde radyant ısıtıcı için de yapılmıştır.



Şekil 5.15 Silindirin üzerine monte edilmiş radyant ısıtıcı

Radyant ısıtıcı için rezistanslı ısıtıcıdan farklı olarak önemli bir parametre olan silindir dış yüzeyinin yayma oranı ε (emissivity), infrared termometre yardımıyla tespit edilmiştir. Sıcaklığı ölçülen herhangi bir yüzeyin yayma oranının ayarlanabildiği infrared termometre, sıcaklığı bilinen bir yüzeye tutulmak suretiyle doğru sıcaklığı gösterene kadar kalibre edilebilmektedir. Yayma oranı tespit edilerek cihaza tanıtılan yüzeyin sıcaklığı, daha sonra cihazın toleransları doğrultusunda hatasız biçimde ölçülebilmektedir.

Deneylere başlamadan önce yapılan ölçüm neticesinde, talaşlı işlem görmüş silindir yüzeyinin yayma oranı 140°C sıcaklıkta 0,2 olarak tespit edilmiştir. Ekstrüder kovan yüzeylerinin genellikle nitrüleme ısı işlemine tabi tutuldukları göz önüne alınarak, nitrülenmiş bir ekstrüder kovanının yayma oranı da aynı yöntemle ölçülerek 140°C sıcaklıkta 0,50 olarak tespit edilmiştir. Deney silindirinin dış yüzeyi, ε değerinin yükselmesi için su bazlı bir kimyasal yardımıyla paslandırılmıştır (Şekil 5.16). Yapılan ölçümde, yüzeyin 140°C sıcaklıktaki yayma oranı 0,55 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, nitrülenmiş silindir yüzeyinin ε değerine (0,50) de yakındır.



Şekil 5.16 Paslandırılmış silindirin yüzeyi

5.4 Deneysel Bulgular

Rezistanslı ısıtıcı ve radyant ısıtıcı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular, bu bölümde açıklanmıştır.

5.4.1 Rezistanslı Isıtıcı Kullanıldığında Elde Edilen Deneysel Bulgular

Deneyler sırasında, ısıtıcının farklı sıcaklıklarda 1 saat boyunca çalışırken ürettiği anlık ve toplam enerji miktarlarıyla birlikte, silindire giren ve çıkan yağ sıcaklık farkının ortalamasına bağlı olarak yağa transfer olan toplam enerji miktarları, Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Ayrıca ısıtıcıdan yağa transfer olan enerjinin, ısıtıcının ürettiği enerjiye oranı olarak “ısıtma verimi” ifadesi de, Çizelge 5.3'de verilmiştir. Rezistanslı ısıtıcıyla farklı sıcaklıklarda yapılan denemelerden elde edilen sıcaklık değişimleri ve ısıtıcının anlık enerji üretim kapasiteleri, Şekil 5.17 – Şekil 5.21 arasında verilmiştir. Grafiğin sağ tarafındaki “y” ekseninde bulunan eksi (–) değerler, soğutma fanının devreye girdiği ve ısıtıcının çalışmadığı zamanları göstermektedir.

Farklı deney sıcaklıkları için, rezistanslı ısıtıcıdan 1 saatte yağa transfer olan toplam ısı miktarları (Q_y), her sıcaklık için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Silindire giren yağ sıcaklıklarının ortalaması ($T_{ys1,ort}$): 94,93°C

Silindirden çıkan yağ sıcaklıklarının ortalaması ($T_{ys2,ort}$): 95,99°C

Yağın ısınma ısısı (c_{py}): 2,17 kJ/kg (Çizelge 5.1'den)

Kütlesel yağ debisi (\dot{m}_y): 0,40 kg/s (Çizelge 5.2'den)

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_y \cdot c_{py} \cdot (T_{ys2,ort} - T_{ys1,ort})$$

$$\dot{Q}_y = 0,40 \text{ kg/s} \cdot (2,17 \text{ kJ/kg.K}) \cdot (95,99 - 94,93)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_y = 0,92 \text{ kW} \quad (\text{Birim zamanda yağa transfer olan enerji})$$

$$Q_y = 0,92 \text{ kWh} \quad (1 \text{ saatte ısıtıcıdan yağa transfer olan toplam ısı enerjisi})$$

100°C deney sıcaklığında ısıtıcının 1 saat süreyle çalışması neticesinde, yağa toplam 0,92 kWh enerji transfer olmuştur. Bunun yanında, ısıtıcının deney süresince ürettiği toplam enerji miktarı, enerji analizörü ile yapılan ölçümlerde belirlenmiştir. 1 saatte yağa transfer olan enerjinin (Q_y), ısıtıcının ürettiği enerjiye (Q_r) oranı, bu çalışmada ısıtıcının “ısıtma verimi” (η_r) olarak tanımlanmıştır. 100°C deney sıcaklığı için bu değer, aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Q_y = 0,92 \text{ kWh}$$

$$Q_r = 1,75 \text{ kWh} \quad (100^\circ\text{C deney sıcaklığında ısıtıcının ürettiği toplam enerji})$$

$$\eta_r = Q_y / Q_r$$

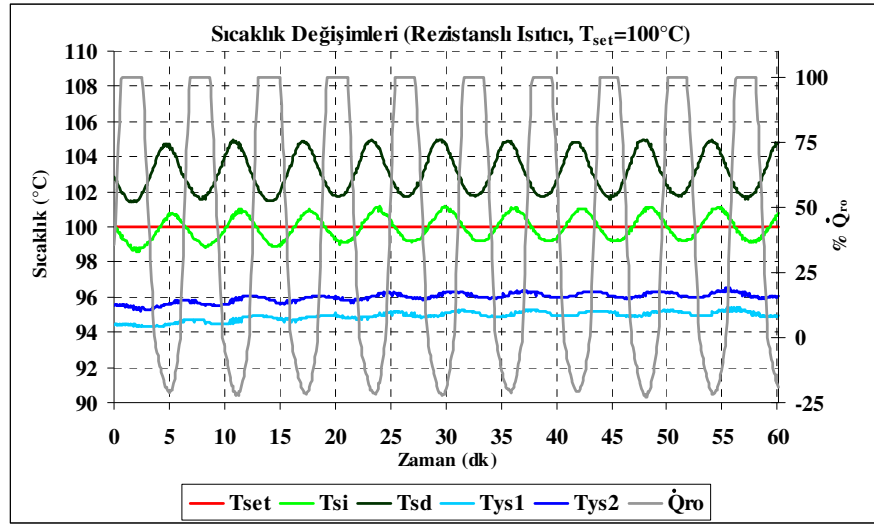
$$\eta_r = 0,92 \text{ kWh} / 1,75 \text{ kWh}$$

$$\eta_r = 0,53 \quad (100^\circ\text{C deney sıcaklığı için hesaplanan ısıtma verimi})$$

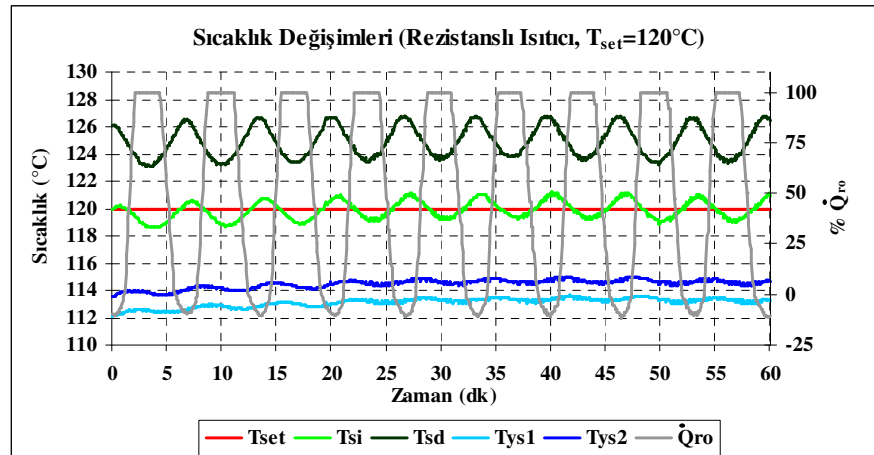
Sırasıyla 120, 140, 160 ve 180°C deney sıcaklıkları için de aynı şekilde hesaplanan değerler, Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında elde edilen deneysel bulgular

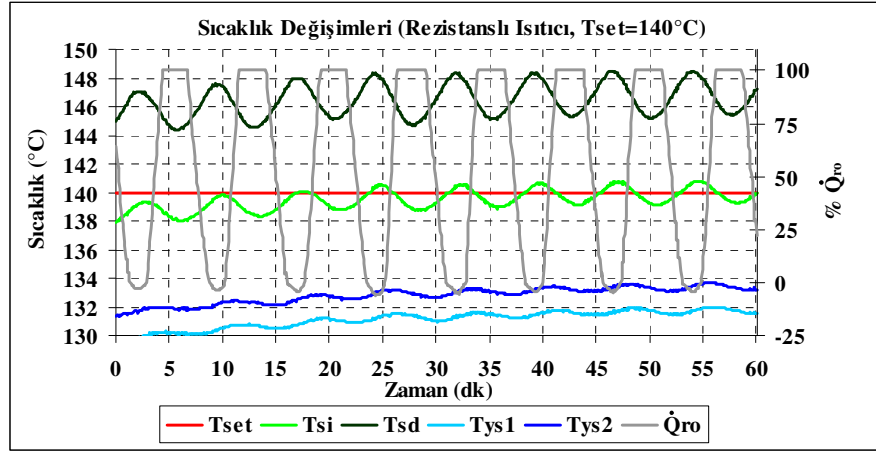
Deney Sıcaklığı	Çalışma Süresi	Toplam Enerji Üretim Kapasitesi	Toplam Enerji Üretimi	Toplam Enerji Üretim Oranı	Ortalama Yağ Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı	Yağa Transfer Olan Toplam Enerji	Isıtma Verimi
T_{set}	t	Q_{rp}	Q_r	Q_{ro}	$T_{ys2} - T_{ys1}$	Q_y	η_r
[°C]	[dk]	[kWh]	[kWh]	[P_t/P_m]	[°C]	[kWh]	[Q_y / P_t]
100	60	3,78	1,75	46,30%	1,06	0,92	0,53
120	60	3,85	1,90	49,35%	1,37	1,20	0,63
140	60	3,85	2,11	54,81%	1,73	1,60	0,76
160	60	3,80	2,40	63,16%	2,15	2,05	0,85
180	60	3,87	2,96	76,49%	2,54	2,24	0,76



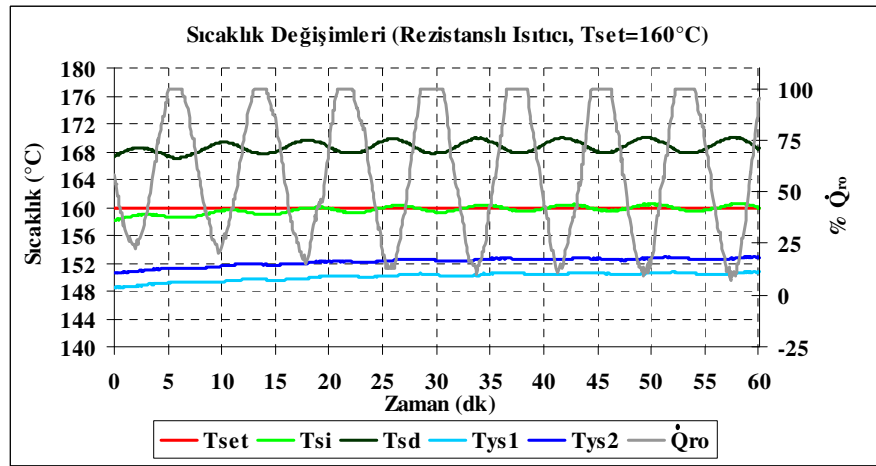
Şekil 5.17 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (100°C için)



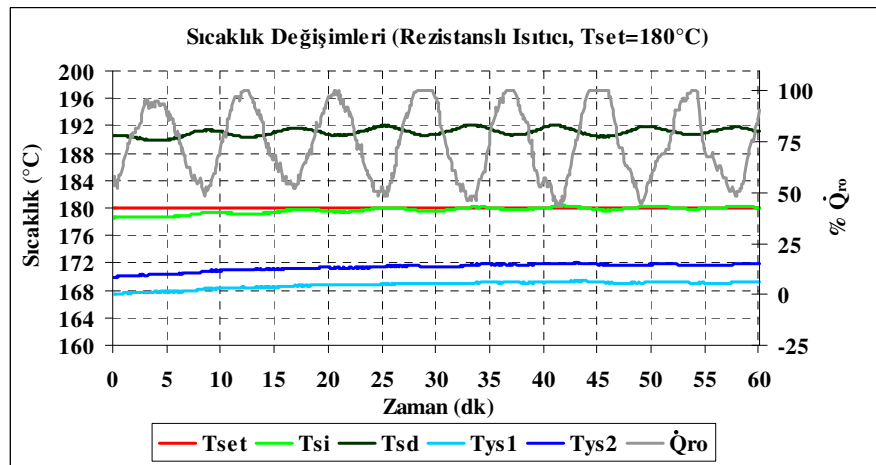
Şekil 5.18 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (120°C için)



Şekil 5.19 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (140°C için)



Şekil 5.20 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (160°C için)



Şekil 5.21 Rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (180°C için)

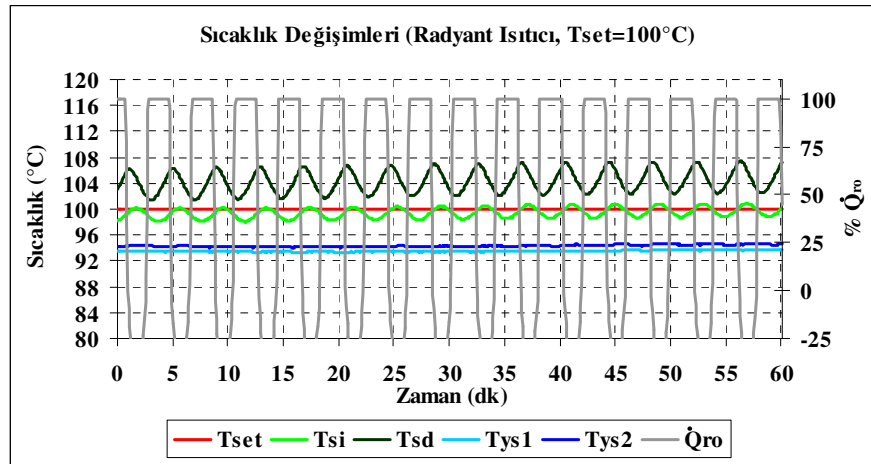
5.4.2 Radyant Isıtıcı Kullanıldığında Elde Edilen Deneysel Bulgular

Rezistanslı ısıtıcı ile aynı şartlarda test edilen radyant ısıtıcı için de; farklı sıcaklıklarda 1 saat boyunca çalışırken ürettiği anlık/toplam enerji miktarları ve yağa transfer olan toplam enerji miktarları Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

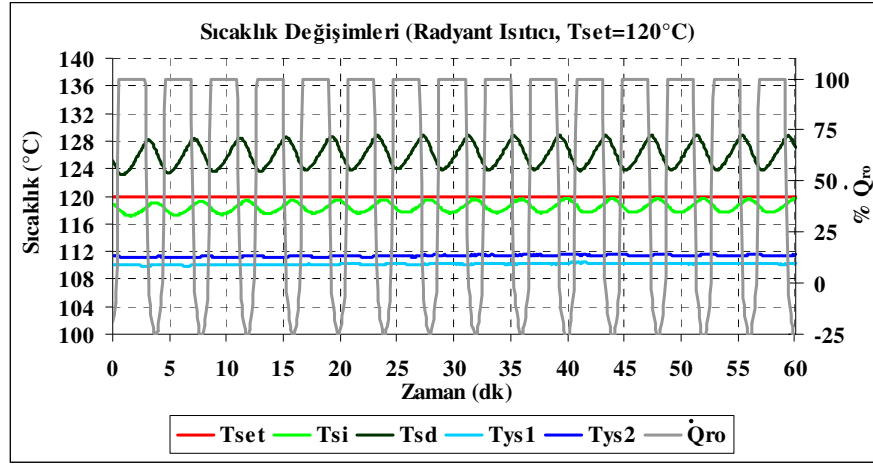
Farklı sıcaklıklarda yapılan deneyler için elde edilen sıcaklık değişim ve anlık enerji üretim değerleri ise Şekil 5.22 – Şekil 5.26 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Radyant ısıtıcı kullanıldığında elde edilen deneysel bulgular

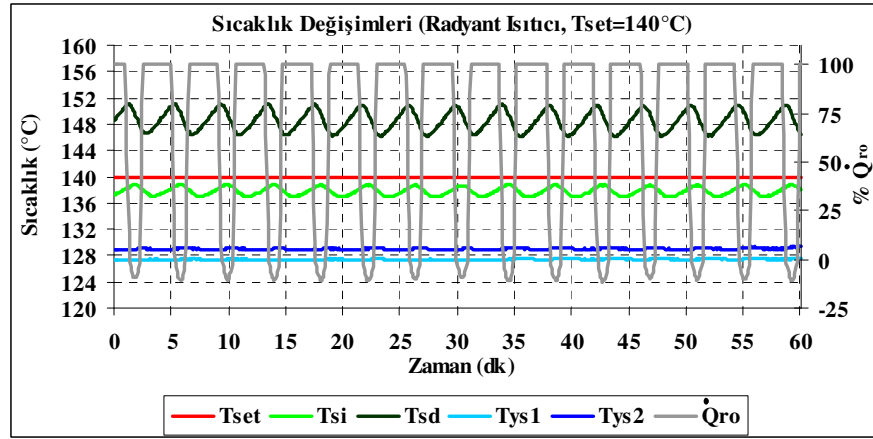
Deney Sıcaklığı	Çalışma Süresi	Toplam Enerji Üretim Kapasitesi	Toplam Enerji Üretimi	Toplam Enerji Üretim Oranı	Ortalama Yağ Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı	Yağa Transfer Olan Toplam Enerji	Isıtma Verimi
T_{set}	t	Q_{rp}	Q_r	Q_{ro}	$T_{ys2} - T_{ys1}$	Q_y	η_r
[°C]	[dk]	[kWh]	[kWh]	[P_r/P_m]	[°C]	[kWh]	[Q_y / P_r]
100	60	3,49	1,89	54,15%	0,86	0,75	0,40
120	60	3,52	2,19	62,22%	1,20	1,05	0,48
140	60	3,48	2,47	70,98%	1,61	1,49	0,60
160	60	3,54	2,77	78,25%	2,01	1,91	0,69
180	60	3,56	3,24	91,01%	2,31	2,04	0,63



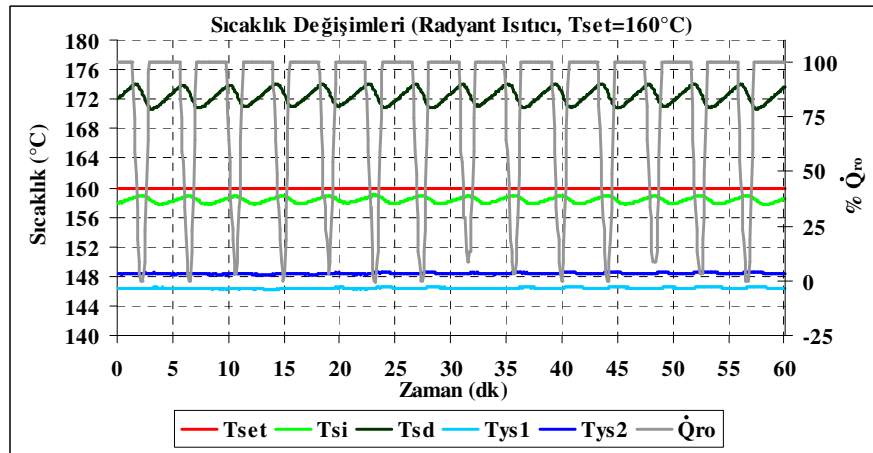
Şekil 5.22 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (100°C için)



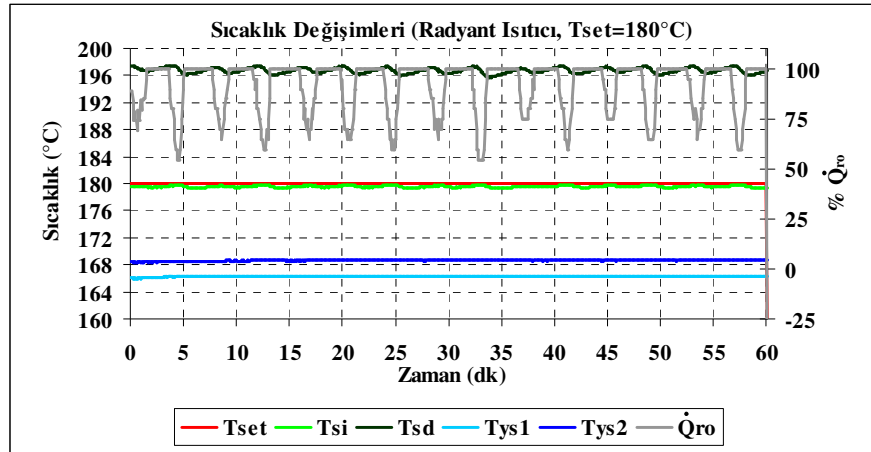
Şekil 5.23 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (120°C için)



Şekil 5.24 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (140°C için)



Şekil 5.25 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (160°C için)



Şekil 5.26 Radyant ısıtıcı kullanıldığında ölçülen sıcaklık değerleri (180°C için)

5.5 Deneysel Bulguların Karşılaştırılması

Bu bölümde, rezistanslı ve radyant ısıtıcı ile yapılan deneylerden elde edilen bulgular karşılaştırılarak bölüm sonunda değerlendirilmiştir.

5.5.1 Isıtma Verimlerinin Karşılaştırılması

Farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerden elde edilen enerji üretimi ve ısıtma verimi ile ilgili veriler, rezistanslı (Rez) ve radyant (Rad) ısıtıcı için Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Rezistanslı ve radyant ısıtıcıdan elde edilen verilerin karşılaştırılması

Deney Sıcaklığı	Çalışma Süresi	Toplam Enerji Üretim kapasitesi	Toplam Enerji Üretimi	Toplam Enerji Üretim Oranı	Ortalama Yağ Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı	Yağa Transfer Olan Toplam Enerji	Isıtma Verimi
T_{set}	t	Q_{rp}	Q_r	Q_{ro}	$T_{ys2} - T_{ys1}$	Q_y	η_r
[°C]	[dk]	[kWh]	[kWh]	[P_r/P_m]	[°C]	[kWh]	[Q_y / P_r]
Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad
100/100	60/60	3,78/3,49	1,75/1,89	% 46,30/54,15	1,06/0,86	0,92/0,75	0,53/0,40
120/120	60/60	3,85/3,52	1,90/2,19	% 49,35/62,22	1,37/1,20	1,20/1,05	0,63/0,48
140/140	60/60	3,85/3,48	2,11/2,47	% 54,81/70,98	1,73/1,61	1,60/1,49	0,76/0,60
160/160	60/60	3,80/3,54	2,40/2,77	% 63,16/78,25	2,15/2,01	2,05/1,91	0,85/0,69
180/180	60/60	3,87/3,56	2,96/3,24	% 76,49/91,01	2,54/2,31	2,24/2,04	0,76/0,63

Isıtıcıların toplam enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırıldığında, tam kapasiteyle çalışırken şebekeden çektikleri enerjilerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, ısıtıcılar

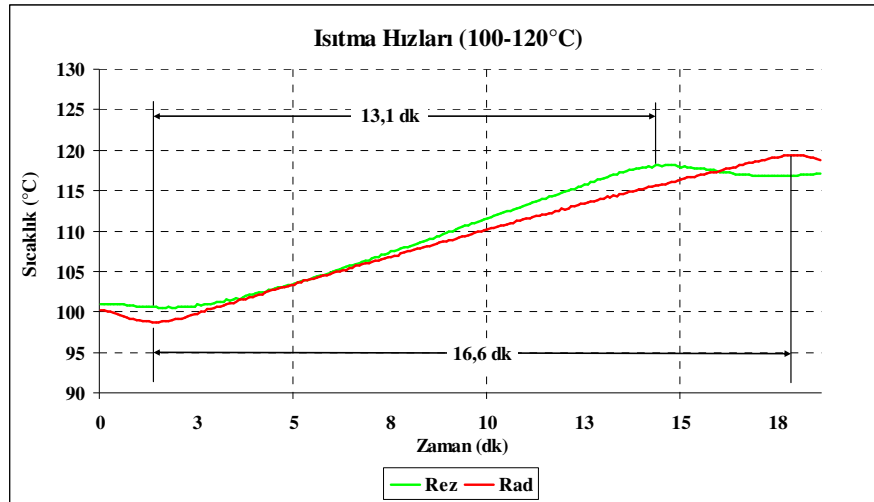
kapasite olarak birbirinin muadilidirler ve tam kapasiteyle çalışırken birim zamanda aynı enerjiyi harcamaktadırlar.

Isıtma verimini bulmak için yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.5'teki karşılaştırma tablosundan görüleceği üzere, rezistanslı ısıtıcıdan yağa transfer olan enerji miktarı her deney sıcaklığı için radyant ısıtıcıdan daha fazla olmuştur. Aynı PLC kontrol sisteminin kullanıldığı iki ısıtıcının farklı deney sıcaklıklarında çalışırken tükettikleri toplam enerji miktarları kıyaslandığında ise, rezistanslı ısıtıcının yağa daha çok ısı transfer etmesine karşılık daha az enerji tükettiği görülmüştür. Bu değerlere bağlı olarak da ısıtma verimi değerleri, rezistanslı ısıtıcı için radyant ısıtıcıdan her deney sıcaklığı için daha yüksek çıkmıştır.

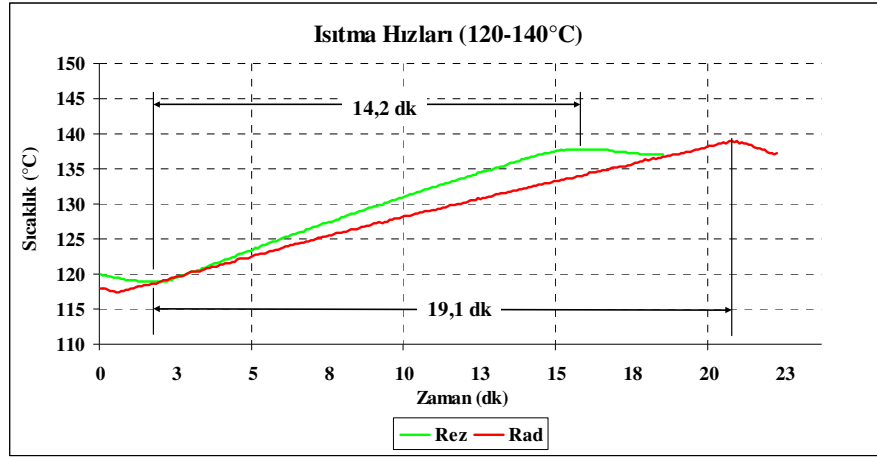
Ek olarak, ısıtıcıların ürettikleri enerjinin büyük kısmı deney esnasında sistemde dolaşan yağa geçerken, bir kısmı da ısı kaybı olarak sistemden dış ortama atılmıştır. Verim değerlerinin oluşmasında yağa geçen enerji ve tüketilen enerji miktarları en önemli faktörlerdir.

5.5.2 Isıtma Hızlarının Karşılaştırılması

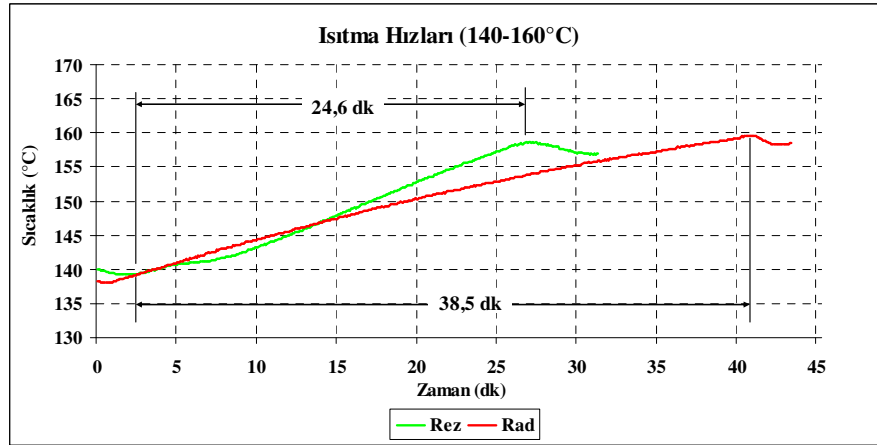
Deney düzeneği belli bir sıcaklıkta stabil halde çalışırken sistemin sıcaklığının 20°C fark olacak şekilde artırılması sonucunda elde edilen rezistanslı ve radyant ısıtıcıya ait "ısıtma hızı-zaman" eğrileri, Şekil 5.27 – 5.30 arasında gösterilmiştir. Isıtma hızlarının karşılaştırılmasını özetleyen tablo, Çizelge 5.6'da verilmiştir.



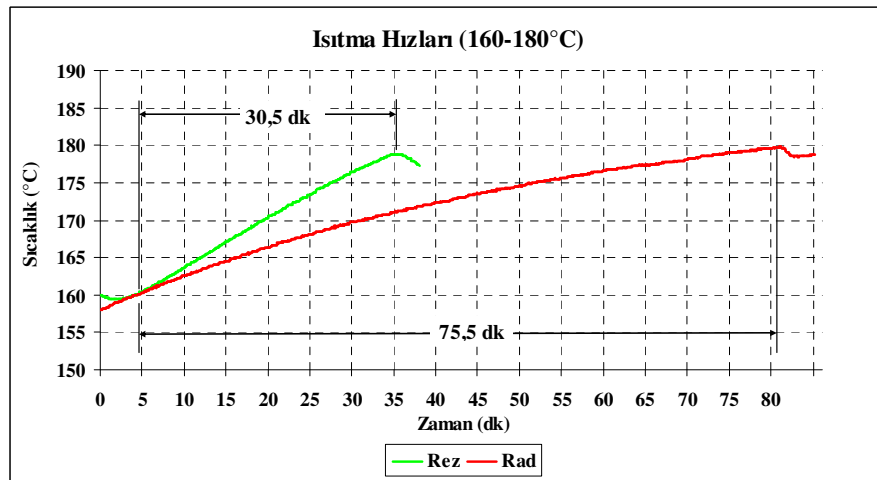
Şekil 5.27 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (100-120°C için)



Şekil 5.28 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (120-140°C için)



Şekil 5.29 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (140-160°C için)



Şekil 5.30 Isıtıcıların ısıtma hızlarının karşılaştırılması (160-180°C için)

Çizelge 5.6 Isıtma hızlarının karşılaştırılması

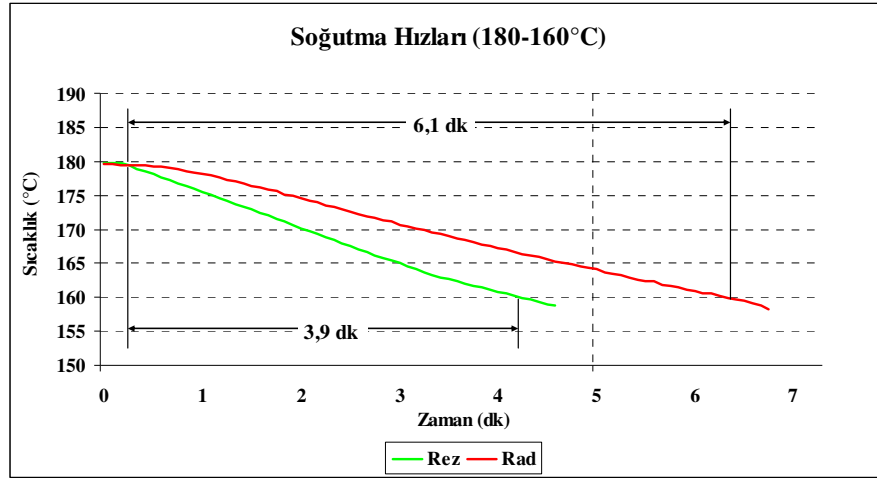
İlk Sıcaklık	Son Sıcaklık	Isıtma Süresi	Ortalama Isıtma Hızı	Toplam Enerji Tüketimi
[°C]	[°C]	[dk]	[°C/dk]	[kWh]
Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad
100/100	120/120	13,1/16,6	1,53/1,20	0,83/0,99
120/120	140/140	14,2/19,1	1,41/1,05	0,9/1,15
140/140	160/160	24,6/38,5	0,81/0,52	1,56/2,31
160/160	180/180	30,5/75,5	0,66/0,26	1,93/4,53

Isıtıcıların ısıtma hızları karşılaştırıldığında, rezistanslı ısıtıcının radyant ısıtıcıya göre her sıcaklık aralığı için daha hızlı ısıtma yaptığı gözlenmiştir (Çizelge 5.6). Isıtma için sıcaklık değişim aralığı sabit tutulan deneylerde ($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$), deney sıcaklığı arttıkça ısıtıcıların düzeneği ısıtma süreleri de buna bağlı olarak artmıştır. İki ısıtıcının ısıtma hızları arasındaki fark da buna bağlı olarak artmıştır. Örneğin 160°C 'den 180°C 'ye çıkarılan düzenekte radyant ısıtıcı kullanıldığında, rezistanslı ısıtıcının 1,5 katı daha fazla zamana ihtiyaç duyulmuştur.

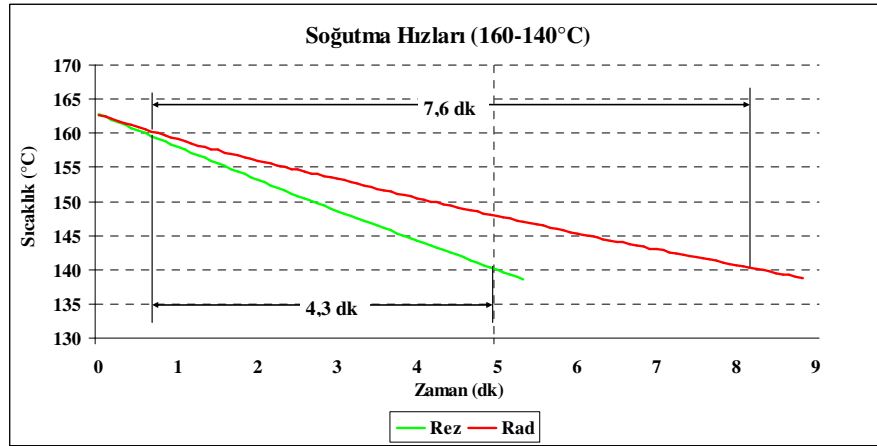
Isıtıcılar, ısıtma hızı tayini için yapılan deneylerde tam kapasiteyle çalıştırıldıkları için birim zamanda tükettikleri enerji değerleri de birbirine yakındır (Çizelge 5.5) ancak rezistanslı ısıtıcı kullanıldığında bu enerji sisteme daha verimli ve daha hızlı bir şekilde aktarılabilir.

5.5.3 Soğutma Hızlarının Karşılaştırılması

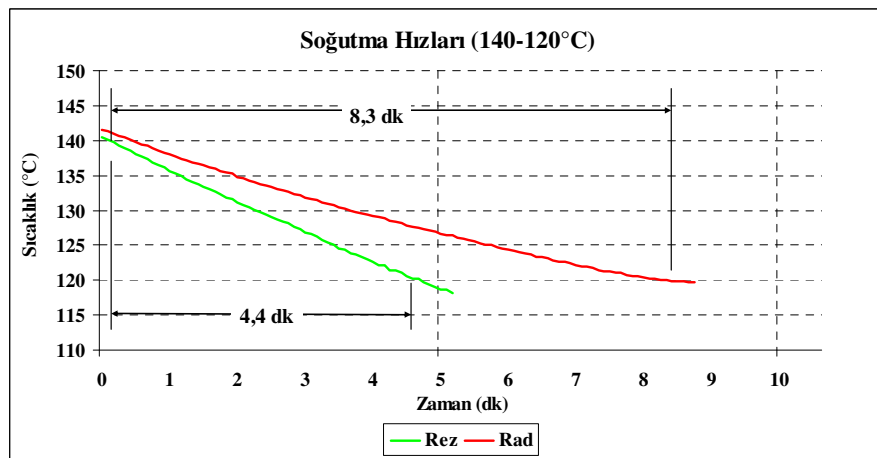
Deney düzeneği belli bir sıcaklıkta stabil halde çalışırken sistemin sıcaklığının 20°C fark olacak şekilde azaltılması sonucunda soğutma fanları çalıştırılarak elde edilen rezistanslı ve radyant ısıtıcıya ait “soğutma hızı-zaman” eğrileri, Şekil 5.31 – 5.34 arasında gösterilmiştir. Soğutma hızlarının karşılaştırılmasını özetleyen tablo ise, Çizelge 5.7’de verilmiştir.



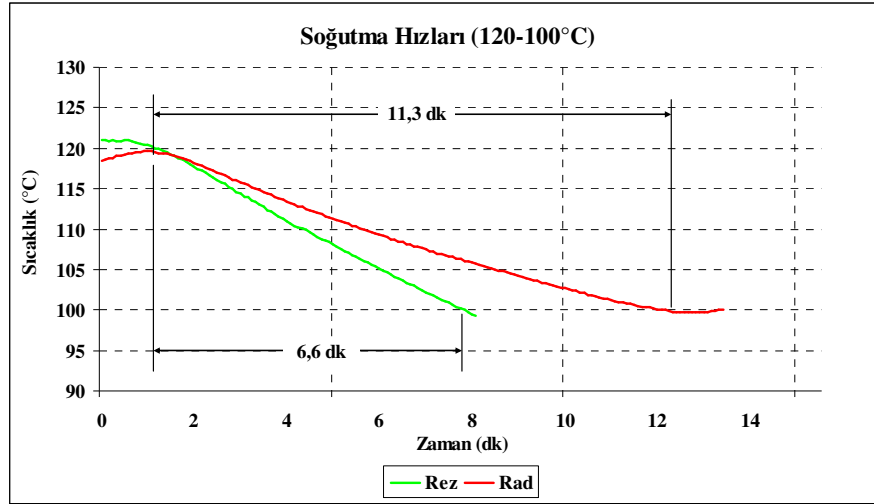
Şekil 5.31 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (180-160°C için)



Şekil 5.32 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (160-140°C için)



Şekil 5.33 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (140-120°C için)



Şekil 5.34 Isıtıcıların soğutma hızlarının karşılaştırılması (120-100°C için)

Çizelge 5.7 Soğutma hızlarının karşılaştırılması

İlk Sıcaklık	Son Sıcaklık	Soğutma Süresi	Ortalama Soğutma Hızı
[°C]	[°C]	[dk]	[°C/dk]
Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad	Rez/Rad
180/180	160/160	3,9/6,1	5,13/3,28
160/160	140/140	4,3/7,6	4,65/2,63
140/140	120/120	4,4/8,3	4,55/2,41
120/120	100/100	6,6/11,3	3,03/1,77

Isıtıcıların düzeneği soğutma hızları karşılaştırıldığında, rezistanslı ısıtıcının radyant ısıtıcıya göre her sıcaklık aralığı için daha hızlı soğutma yaptığı gözlenmiştir (Çizelge 5.7). Soğutma için sıcaklık değişim aralığı sabit tutulan deneylerde ($\Delta T=20^\circ\text{C}$), deney sıcaklığı azaldıkça ısıtıcı fanlarının düzeneği soğutma süreleri de buna bağlı olarak artmıştır. Bunun nedeni, cebri olarak silindire verilen soğutma havasının ortamdaki karşılanması ve sıcaklığının sabit olmasıdır ($15-20^\circ\text{C}$). Silindir sıcaklığı arttıkça ortam havası ile arasındaki sıcaklık farkı da artmakta, buna bağlı olarak da soğutma hızı ve verimi artmaktadır.

Radyant ısıtıcıda, soğutma havası fan yardımıyla direkt olarak silindir yüzeyine verilmesine rağmen soğutma hızlarının rezistanslı ısıtıcıdan daha düşük olmasının nedeni, rezistanslı ısıtıcıda bulunan ve soğutma yüzey alanını/verimini arttıran serpantinden kaynaklanmaktadır. Radyant ısıtıcıda ise soğutma yüzeyi, soğutulan silindirin yüzey alanı ile sınırlıdır.

5.6 Değerlendirme

Yapılan alışmalar sonucunda, radyant ısıtıcının ısıtma ve soğutma performansının yapılan deney şartlarında rezistanslı ısıtıcıdan daha dūřuk olduğu görülmüştür.

Bunun yanında ilk yatırım maliyetlerine bakıldığında, rezistanslı ısıtıcılar radyant ısıtıcılara göre çok daha uygun maliyetlidirler. Hem performans, hem de maliyet açısından radyant ısıtıcılardan daha üstün olan rezistanslı ısıtıcılar, ekstrüder ısıtma-soğutma prosesleri için kullanıcıya daha çok yarar ve verimlilik sağlamaktadırlar.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ekstrüder ısıtma sistemleri için yeni bir teknoloji olan radyant ısıtma sistemleri ile bu alanda en yaygın olarak kullanılan ve iletimle ısı transferi yapan rezistanslı ısıtma sistemleri performans ve verimlilik açısından deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, yayma oranı 0,55 olan bir silindir yüzeyinde radyant ısıtıcının hem ısıtma, hem de soğutma performansının rezistanslı ısıtıcıdan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Isıtma performansı ve verimliliği açısından bakıldığında, rezistanslı ısıtıcıda üretilen enerji silindire büyük oranda iletim yoluyla transfer edilirken, radyant ısıtıcıda silindir ışınım yoluyla ısıtılmaktadır. Işınım ile ısıtma yapan radyant ısıtıcıda; ısıtılan yüzeyin yayma oranı, cisimlerin birbirini görme faktörü gibi etkili olan parametreler, iletimle ısı transferi yapan rezistanslı ısıtıcıda ısıtma performansı açısından etkin değildir.

Radyant ısıtma mekanizmasında etkin olan parametrelerin geliştirilerek radyant ısıtıcının ısıtma performansında iyileştirmeler elde etmek şüphesiz ki mümkündür. Ancak günümüz şartlarında değerlendirildiğinde, hiçbir iyileştirme ve optimizasyon yapılmadan radyant ısıtıcıların ekstrüder silindirlerinin ısıtılmasında rezistanslı ısıtıcıların yerine direkt olarak kullanılması, performans ve verimlilik açısından kullanıcıya bir avantaj sağlamamaktadır. İlk yatırım maliyetlerinin de rezistanslı ısıtıcıların yaklaşık 1,5 katı olması bir başka dezavantajdır ve radyant ısıtıcıların mevcut haliyle rezistanslı ısıtıcılara daha iyi bir alternatif olmadığı görülmüştür.

Rezistanslı ısıtıcının kütesinin radyant ısıtıcıya göre daha fazla olmasına rağmen daha az enerji tüketmesi, rezistanslı ısıtıcının daha avantajlı olduğunun diğer bir göstergesidir. Rezistanslı ısıtıcının kütesinin düşürülmesi halinde, enerji tüketimi daha da azaltılarak radyant ısıtıcıya göre çok daha avantajlı hale getirilebilir.

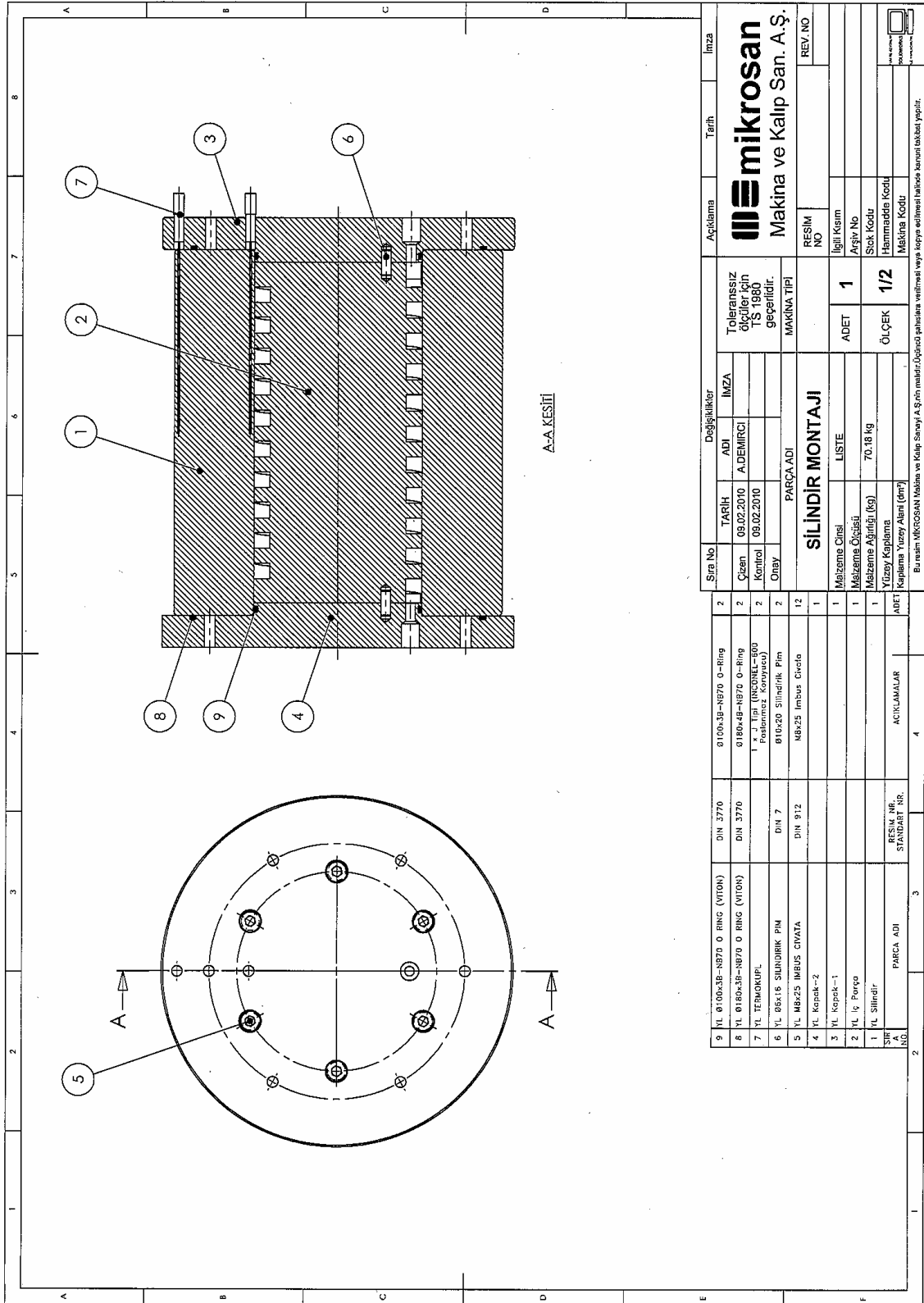
KAYNAKLAR

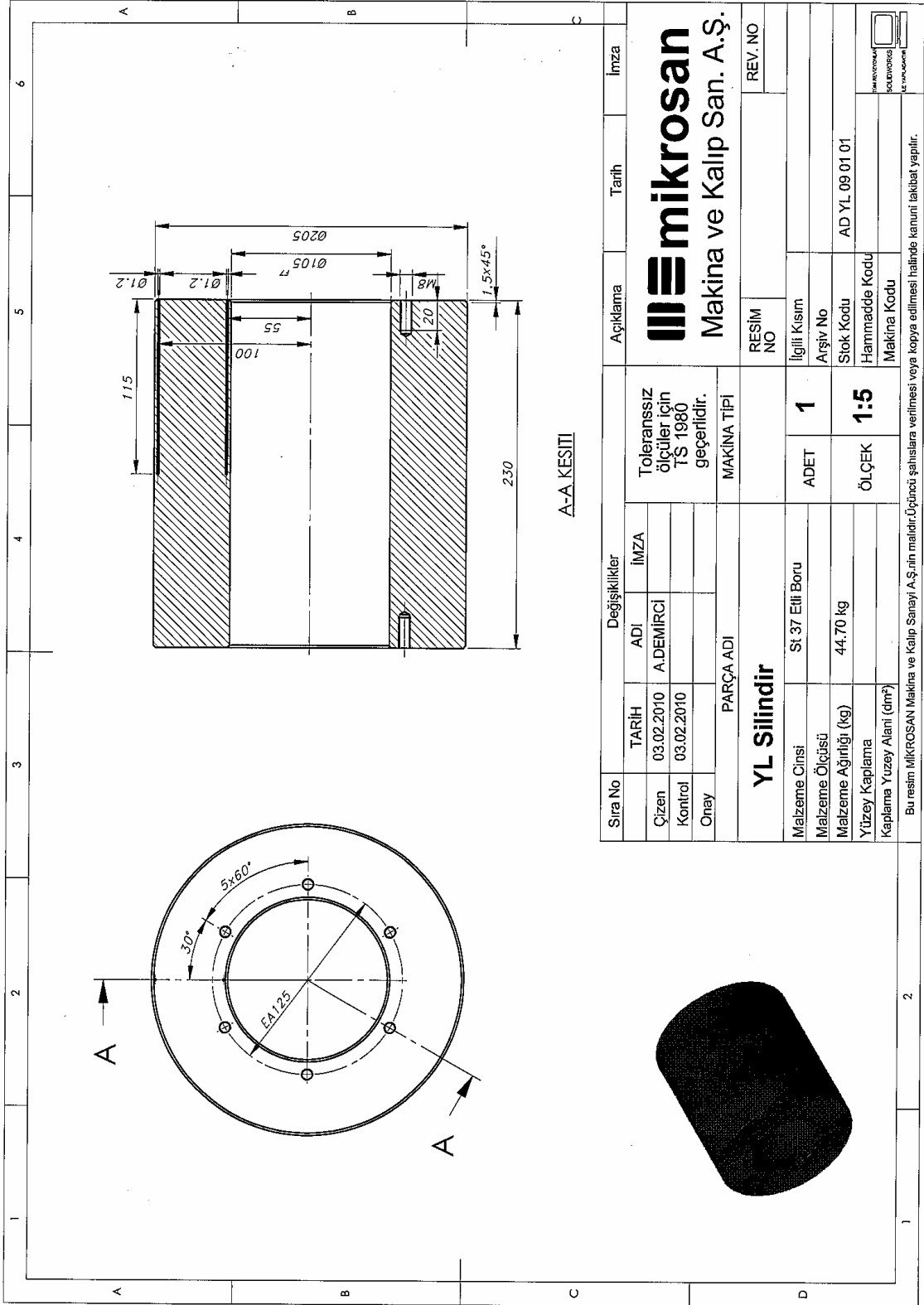
- Akkurt, S., (2007), Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Chung, C. I., (2000), Extrusion of Polymers – Theory and Practice, Hanser Publishers, Germany
- İşler, R. ve Alanbay, D., (1990), Plastik İşleme Teknolojisi, Alpet
- Kaya, F., (2005), Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Kıralp, S., Özkoç, G., Erdoğan, S., Çamurlu, P., Doğan, M. ve Baydemir, T., (2006), Plastikler, ODTÜ Yayıncılık, Ankara
- Kunststoffe International – Issue 2008/10, (2008), Carl Hanser Verlag, Munich
- Kunststoffe International – Issue 2009/1, (2009), Carl Hanser Verlag, Munich
- Natti, S. R. ve Schumacher, G., (2004), Design Formulas for Plastics Engineers, Hanser Publishers, Germany
- Osswald, T. A., (1998), Polymer Processing Fundamentals, Hanser Publishers, Germany
- Rauwendaal, C., (1986), Polymer Extrusion, Carl Hanser Verlag, Germany
- Rauwendaal, C., (1998), Understanding Extrusion, Hanser Publishers, Germany
- Richardson, P. N., (1974), Introduction to Extrusion, Society of Plastics Engineers, U.S.A.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N. ve Akovalı, G., (2008), Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi, PAGEV Yayınları, İstanbul
- Schenkel, G., (1963), Plastics Extrusion Technology and Theory, Carl Hanser, Germany
- Stevens, M.J., (1986), Extruder Principles and Operation, Elsevier Applied Science Publishers, Belfast/Northern Ireland
- Yaşar, H., (2001), Plastikler Dünyası, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara

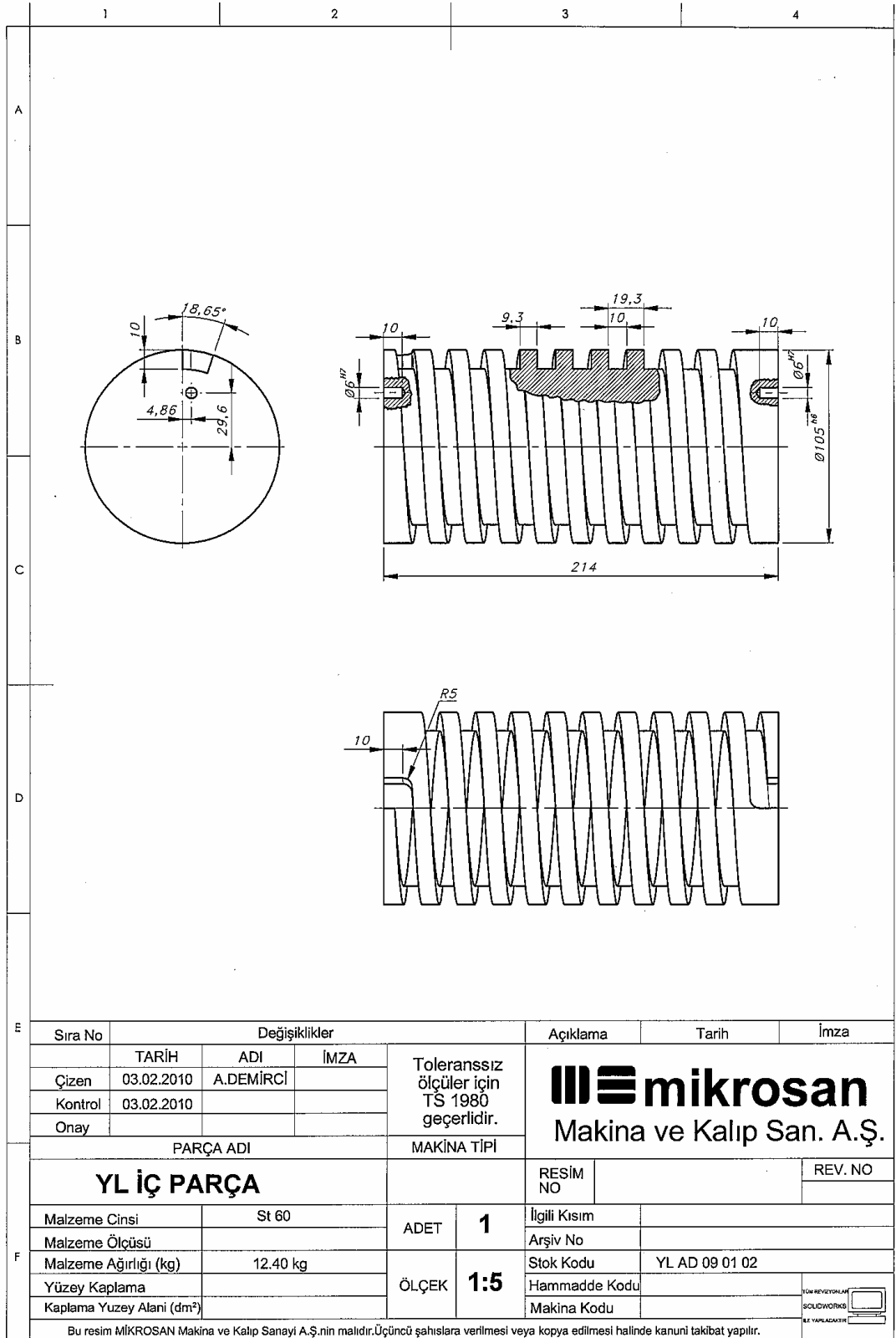
EKLER

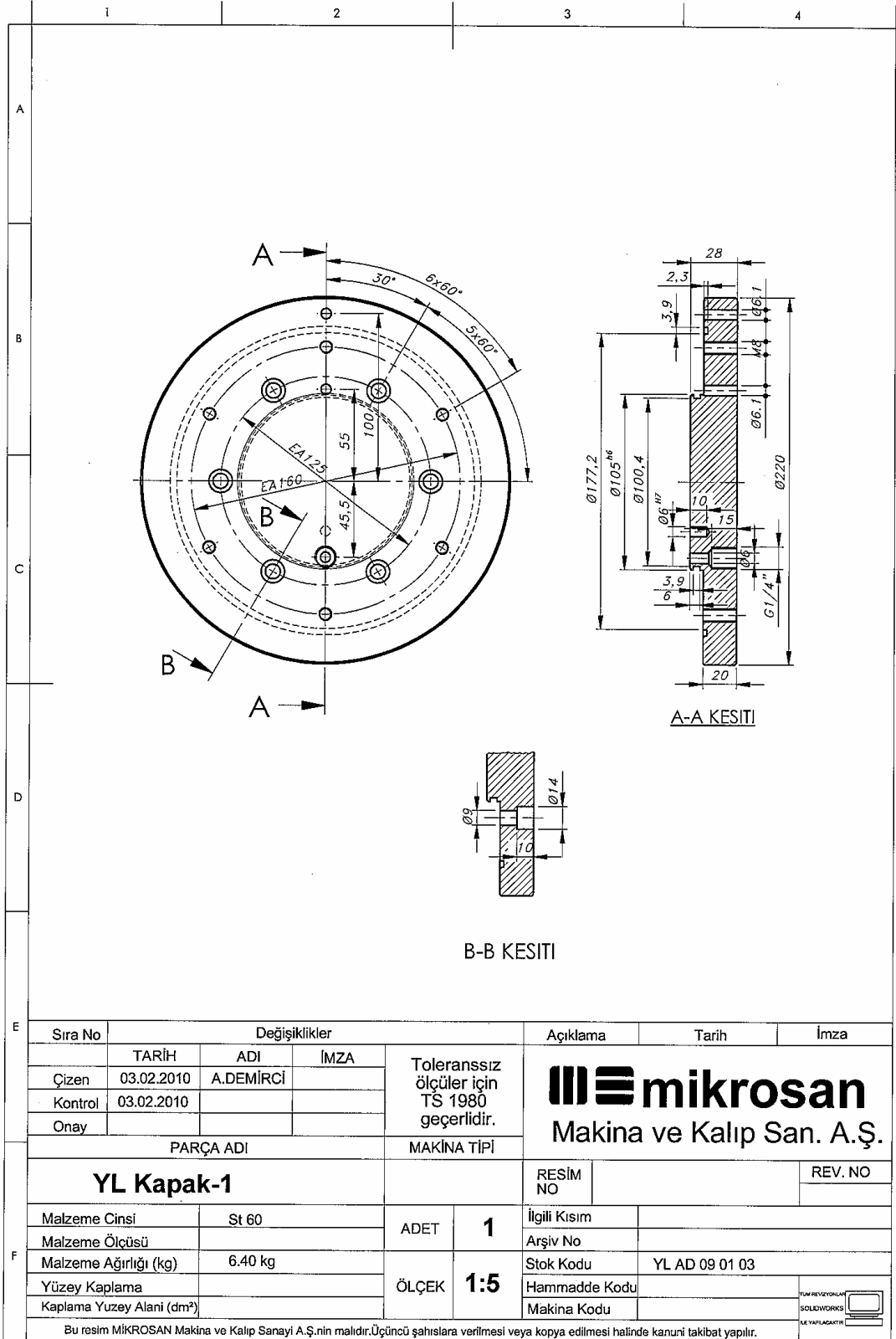
Ek 1 Deney düzeneğinde kullanılan silindirin teknik resimleri

Ek 1 Deney düzeneğinde kullanılan silindirin teknik resimleri

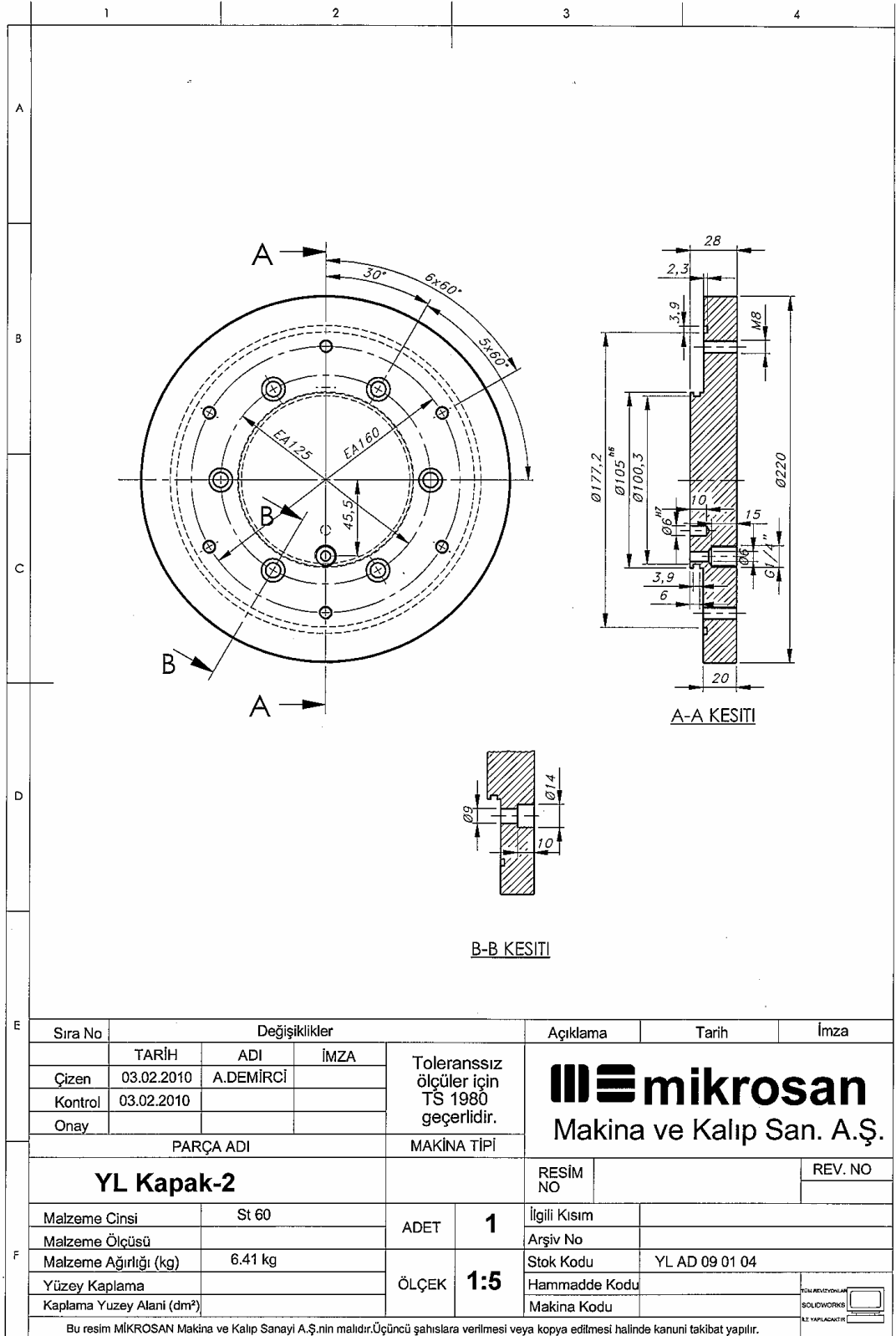








DİKKAT: RESİM ÜZERİNDEN ÖLÇÜ ALMAYINIZ!



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.04.1983

Doğum yeri Üsküdar

Lise 1994-2001 Gazi Anadolu Lisesi

Lisans 2002-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-Devam ediyor Mikrosan Makine ve Kalıp Sanayi A.Ş.