

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK BORU İMALATINDA BORU KALİBRESİNDE
TERMOELEKTRİK SOĞUTMA UYGULAMASI VE
KONTROLÜ**

Mak.Müh. Ümit TOKGÖZ

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. İsmail YÜKSEK

İSTANBUL,2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Plastik Malzemeler	2
1.1.1 Genel Sınıflandırma ve Aranılan Özellikler	2
1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması	7
1.2.1 Termoplastikler	7
1.2.2 Termoset Plastikler	8
1.3 Yaygın Olarak Kullanılan Plastiklerin Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları	8
2. PLASTİKLERİN EKSTRÜZYONU	12
2.1 Plastik Ekstrüzyon Yöntemleri	12
2.1.1 Piston Ekstrüzyonu	12
2.1.2 Yaş Ekstrüzyon	12
2.1.3 Kuru Ekstrüzyon	13
2.2 Ekstrüzyon Malzemeleri	13
2.3 Ekstrüzyon Malzemelerine Katılan İlaveler	14
2.3.1 Darbe Mukavemeti Verici	15
2.3.2 IsıStabilizatörleri	15
2.3.3 Renklendiriciler	16
2.3.4 Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar	17
2.3.5 Yağlayıcılar	18
2.3.6 Plastikleştiriciler	19
2.3.7 Antioksidantlar (Oksitlenmeyi Önleyiciler)	20
3. EKSTRÜDERLER	22
3.1 Tek Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri	22
3.1.1 Besleme Bölgesi	24
3.1.2 Sıkıştırma bölgesi	24
3.1.3 Ölçme bölgesi	24
3.2 Ekstrüderde Akış Analizi	30

3.2.1	Sürüklenme Akışı.....	30
3.2.2	Basınç Akışı	32
3.2.3	Kaçak Akış.....	34
3.3	Ekstrüder / Kafa Karakteristikleri	36
3.4	Çift Vidalı Ekstrüderler.....	38
3.4.1	Çift Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri	38
3.5	Tek ve Çift Vidalı Ekstrüderlerin Karşılaştırılması	39
3.6	Matris ve Matris Tasarım Prensipleri.....	41
4.	KALİBRASYON VE SOĞUTMA İŞLEMİ.....	45
4.1	Kalibrasyon Sistemleri	45
4.2	Kalibrasyon İşlemi	46
4.3	Rijit ve Yarı Rijit Borular için Kalibratörler	47
4.3.1	İç Kalibratörler	48
4.3.2	Dış Kalibratörler.....	49
4.3.3	İç ve Dış Kalibrasyonun Birlikte Uygulanması.....	53
4.3.4	Ufak Çaplı Boruların Kalibrasyonu	54
4.4	Isı Transfer Analizi.....	56
4.4.1	Kalibrasyonda Su Sıcaklığı ve Taşınım Katsayısının Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımı Üzerinde Etkileri	59
4.5	Kalibrasyonun Mamul Kalitesine Etkisi.....	66
4.5.1	Yüzey Kalitesi	66
4.5.2	Şekil Tamlığı.....	67
4.5.3	Yüzeyde Çukurluklar	68
4.5.4	Ölçü Tamlığı	68
4.5.5	Maksimum Isı iletimi	70
4.5.6	Sıkı Yapı ve Dayanım	70
4.6	DIN Normuna Göre Kalibratör Malzemeleri ve Özellikleri	70
5.	EKSTRÜDER VE KALİBRE OTOMASYONU	72
5.1	Basınç Ölçümü ve Otomasyonu	73
5.2	Sıcaklık Ölçümü ve Otomasyonu	79
5.3	Motor Kontrolü	80
6.	TERMoeLEKTRİK SOĞUTMA	82
6.1	Termoelektrik Soğutma Temelleri	82
6.2	Termoelektrik Soğutmada Kullanılan Metaller.....	84
6.2.1	Bizmut.....	84
6.2.2	Telleryum	86
6.2.3	Selenyum.....	88
6.2.4	Antimuan	90
6.3	Termoelektrik Eleman Uygulamaları.....	92
6.4	Termoelektrik Etkiler	96
6.4.1	Seebeck Etkisi	97
6.4.2	Peltier Etkisi	98
6.5	Termoelektrik Elemanın Jenaratör Durumu.....	106
7.	UYGULAMA.....	108

7.1	Üretilecek Boru Parametreleri.....	108
7.2	Soğutma Yüğü ve Mukavemet Hesapları.....	109
7.2.1	Yarı Sonsuz Duvarda Zamana Bağlı Isı iletimi	109
7.2.2	Sürtünme Kaynaklı Soğutma Yüğü.....	110
7.2.3.	Mukavemet Hesabı.....	112
7.3	Kullanılacak Termoelektrik Modülün Belirlenmesi	112
7.3.1.	Termoelektrik Hesaplamalar	112
7.3.2	Teorik Hesaplamalara Göre Standart Modülün Seçilmesi.....	114
7.4	Kalibre Tasarımı.....	117
7.5	Termoelektrik Eleman (Peltier Modül) Kontrolü.....	119
7.5.1	Kontrol Yöntemi	119
7.5.2	Peltier Modül İçin Kontrol Donanım ve Yazılımları	126
7.5.3	Termoelektrik Soğutma Kontrol Akış Diyagramları	130
8.	SONUÇLAR	134
	KAYNAKLAR.....	135
	EKLER.....	136
Ek 1	Huimao Şirketi Termoelektrik Soğutma Modül Kataloğı.....	136
Ek 2	Tasarlanan Kalibre Teknik Resimleri	145
Ek 3	Pratik Denemelerde Kalibre, Güç Kaynağı ve Boru	156
	ÖZGEÇMİŞ	157

SİMGE LİSTESİ

V_d	Eksenel hız
Q_L	Kaçak akış debisi
R	kafa geçiş radyusu
L_d	kafa uzunluğu
Q	Newtonien akışlarda kafa çıkışı
N	vida hızının
R	kafa radyusunun
α	taşınilma ısı transfer katsayısı
A	Isı akım yönüne dikey yöndeki ısı transfer alanı
C_p	Sabit basınçta ısınma ısısı
M	Kütle
ΔT_m	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı
T	Sıcaklık
α	Termal yayılma katsayısı
K	Hacim başına ısı kapasitesi
X	Tek boyutundaki dengesiz ısı akışı için fourier serileri
P	yoğunluk
C_p	Spesifik ısı
t	Zaman
x	silindir veya kürenin yarıçapı (yada levhanın kalınlığının yarısı)
T_1	Eriğin ilk üniform sıcaklığı
T_2	Isıtma ve soğutma sıcaklığı
T_3	t zamanındaki sıcaklık
α_{AB}	göreceli Seebeck katsayısı
E	açık devre gerilimi
ΔT	jonksiyonlar arası sıcaklık farkı
Q	Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı
π_{AB}	A ve B materyalleri için PELTİER sabiti
I	Doğru akım
T	Mutlak sıcaklık
α	Seebeck katsayısı
K	Isıl iletkenlik

R	Elektriksel direnç
Q	Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı
α	Seebeck katsayısı
K	Isıl iletkenlik
R	Elektriksel direnç
T_h	Sıcak yüzey sıcaklığı
T_c	Soğuk yüzey sıcaklığı
ΔT	$T_h - T_c$
ρ_n, ρ_p	Elektriksel iletkenlik
L_n, L_p	" çift " sütunlarının uzunluğu
A_n, A_p	Isı akışına dik "çift " sütun alanı
λ_n, λ_p	" çift " materyallerinin ısı iletim katsayıları
ρ_n, ρ_p	" çift " materyallerinin elektriksel iletkenliği
L_n, L_p	" çift " sütunlarının uzunluğu ,m
A_n, A_p	Isı akışına dik "çift " sütun alanı ,m ²
$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$	elektriksel direnç, Ohm
$G = \frac{A}{L}$	geometri faktörü (Alan / uzunluk) , cm
T_s	Yüzey Sıcaklığı (°C)
T_0	İlk Sıcaklık (°C)
T	Yüzeyden İtibaren x Mesafesindeki Sıcaklık (°C)
t	Zaman (s)
a	Isı Yayılım Katsayısı (m ² / s) olarak anılır.
m	0.5 mm aralıklar ile ayrılan herbir parçanın kütlesi.(Kg)
c	özgül ısı (kj/ kg.K)
Δt	0.5 mm aralıklar ile ayrılmış parçalar arası sıcaklık farkı (K) olarak anılır
Q	Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı , Watt
I	Akım , A
α	SEEBECK katsayısı , V / m ²
K	$K_n + K_p$, Isıl iletkenlik , W / °K
R	$R_n + R_p$, Elektriksel direnç , Ω
T_h	Sıcak yüzey sıcaklığı , °K

T_c	Soğuk yüzey sıcaklığı , °K
ΔT	sıcaklık farkı
N	Modüldeki çift sayısı “ adet ”
ρ	Elektriksel iletkenlik , Ω cm
G	Çift için “ alan / uzunluk ” cm
P_{out}	oransal çıkış
K_p	oransal kazanç, ayar parametresi
e	hata
t	zaman veya anlık süre
I_{out}	integral çıkış
K_i	integral kazanç, ayar parametresi
τ	zaman
D_{out}	türevsel çıkış
K_d	türevsel kazanç, ayar parametresi

KISALTMA LİSTESİ

ABS	akrilonitrilButadienStiren
SAN	StirenAkrilonitril
PVC	polivinilklorür
POM	polioksimetilen
PMMA	polimetilmetaklirat
CA	selülozasetat
PC	polikarbonat
PE	polietilen
LDPE	lowdensitypolietilen
HDPE	highdensitypolietilen
LDPE	lineerdensitypolietilen
PP	polipropilen
PS	polistiren
PET	polietilentereftalat
PID	proportionalintegralderivative
P	proportional
I	integral
D	derivative
PI	proportionalintegral
PD	proportionalderivative
Bi	bizmut
Te	tellerium
Se	selenyum
Sb	antimuan
TEC	termoelectriccouples

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Polimer Malzemelerde Gerilme - Gerinim Eğrileri.....	4
Şekil 3.1 Tek Vidalı Ekstrüder Sistemi	21
Şekil 3.2 Ekstrüzyon Sisteminin Şematik Gösterimi	22
Şekil 3.3 Ekstrüder Vidasında tipik bölgeler.....	24
Şekil 3.4 Daha uzun ölçme bölgesinin max basınç üzerindeki etkisi	25
Şekil 3.5 Farklı Ekstrüder Vidaları	25
Şekil 3.6 Farklı Plastikler için Ekstrüder Verimleri.....	26
Şekil 3.7 Karıştırma Bölge Dizaynları	27
Şekil 3.8 Hava Menfezi Açılmış Ekstrüder.....	27
Şekil 3.9 Koparma Plakası ve Elekler	28
Şekil 3.10 Paralel Plakalar Arasında Eriyik Akışı	29
Şekil 3.11 Ekstrüder Vidasının Detayları.....	31
Şekil 3.12 Geliştirilmiş Vida Detayı	34
Şekil 3.13 Ekstrüder ve Kafa Karakteristikleri	35
Şekil 3.14 Değişik çift vidalı ekstrüder tipleri	37
Şekil 3.15 Çift vidalı ekstrüder konum tipleri	37
Şekil 3.16 Modüler çift vidalı ekstrüder	38
Şekil 3.17 Matris kesitleri.....	40
Şekil 3.18 Ekstrüde edilecek malzeme.....	41
Şekil 3.19 Plastik boru ekstrüzyon matrisi.....	42
Şekil 4.1 Basit boru ekstrüzyonu işlemi.....	44
Şekil 4.2 Boru Kalibratörü	45
Şekil 4.3 Ekstrüder, Kalibrasyon bölümü ve Çekme ünitesi.....	46
Şekil 4.4 Kalibratör Kesiti.....	47
Şekil 4.4 Kaymış matris ile iç kalibratör.....	48
Şekil 4.5 Su ile soğutulan dış kalibratör.....	49
Şekil 4.6 Soğutma tankı	49
Şekil 4.7 Hareketli tıpalı dış kalibrasyon	50
Şekil 4.8 Vakum tanklı kalibratörler	52
Şekil 4.9 Ufak çaplı boruların kalibrasyonu.....	53
Şekil 4.10 Çeşitli küçük çaplı kalibreler	54
Şekil 4.11 Çeşitli çaplarda kalibreler	54

Şekil 4.14 Düz levha için Fourier Serisi -Sıcaklık Gradyeni arası değişim.....	57
Şekil 4.15 Silindir için Fourier Serisi - Sıcaklık Gradyeni arası değişim.....	57
Şekil 4.16 Isı akışı-Bi sayısı arasındaki ilişki	61
Şekil 4.17 Isı akışı- δ_n sayısı arasındaki ilişki	61
Şekil 4.18 Bi- δ_n sayıları arasındaki ilişki	62
Şekil 4.19 Isı taşınım katsayısı-ısı akışı arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.20 Isı akışı-Bi sayısı arasındaki ilişki	63
Şekil 4.21 Isı akışı- δ_n sayısı arasındaki ilişki	64
Şekil 4.22 Bi- δ_n sayıları arasındaki ilişki	64
Şekil 4.23 Isı taşınım katsayısı-ısı akışı arasındaki ilişki.....	64
Şekil 5.1 Ekstrüder, kontrol konsolu, matris ve motor.....	71
Şekil 5.2 Ekstrüderde kullanılan bir basınç sensörü	72
Şekil 5.3 Ekstrüder ve bölümleri.....	73
Şekil 5.4 Ekstrüder kafasında basınç ölçümü.....	74
Şekil 5.5 Kovan üzerinde basınç ölçümü	75
Şekil 5.6 Ekstrüderde filtre üzerinde basınç ölçümü.....	75
Şekil 5.7 Dişli pompada basınç ölçümü	75
Şekil 5.8 Ekstrüder otomasyon şeması	76
Şekil 5.9 PID kontrol kullanılan işlemin cevap grafiği.....	77
Şekil 5.10 Ek kontrol parametreleri blok şeması	78
Şekil 5.11 Sıcaklık kontrol şeması	78
Şekil 5.12 Motor sürücü blok diyagramı.....	79
Şekil 5.13 Motor için Hız- Zaman grafiği.....	80
Şekil 6.1 Termoelektrik Soğutma Şematik Gösterilişi	81
Şekil 6.2 Bizmut, Selenyum, Telleryum ve antimuandan oluşan termoelektrik çiftler	82
Şekil 6.3 127 adet çiftten oluşan bir termoelektrik modül	83
Şekil 6.4 Silindirik yüzeylerin soğutulmasında kullanılan termoelektrik modül.....	92
Şekil 6.5 Yarıiletken malzemelerin test edilmesinde kullanılan , termoelektrik olarak soğutulan bir cihaz	93
Şekil 6.6 Çeşitli boyutlarda termoelektrik modüller	93
Şekil 6.7 Bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında kulanılan termoelektrik modül	94
Şekil 6.8 Termohipoterm cihazı	94
Şekil 6.9 Seebeck devresi.....	96
Şekil 6.10 Peltier devresi.....	96

Şekil 6.11 Yarıiletken materyallerden oluşan bir peltier çift	98
Şekil 6.12 Bir peltier " çift "in fiziksel gösterimi.....	100
Şekil 6.13 Peltier elemanın jeneratör durumu	105
Şekil 7.1 Et kalınlığına bağlı sıcaklık diyagramı	109
Şekil 7.2 Boru kesiti.....	110
Şekil 7.3. Peltier modüller için sıcaklık farkı- soğutma kapasitesi ilişkileri.....	114
Şekil 7.4 Kalibre borusu.....	116
Şekil 7.5 Peltier kabı	117
Şekil 7.6 Tasarlanan kalibre montajı.....	118
Şekil 7.7 On-Off kontrol diyagramı	119
Şekil 7.8 Oransal bandın çıkış sinyaline katkısı.....	120
Şekil 7.9 Oransal kontrol kullanılan prosesin reaksiyon (Cevap) grafiği	121
Şekil 7.10 Oransal Türevsel Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği	121
Şekil 7.11 Oransal Integral Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği.....	122
Şekil 7.12 Oransal İntegral Türevsel Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiki	123
Şekil 7.13 PID Kontrolün Teorik Gösterimi	124
Şekil 7.14 Peltier Modül Kontrol Şeması.....	126
Şekil 7.15 PC1 Kontrol Kartı	127
Şekil 7.16 Basit Bir Peltier Kontrol Kartı	128
Şekil 7.17 Peltier Kontrol Kartı Devre Şeması	128
Şekil 7.18 National Instruments Kontrol Yazılımı LabView.....	129
Şekil 7.19 Sistemin Kontrol Akış Diyagramı.....	130
Şekil 7.20 Peltier Kontrol Akış Diyagramı	131

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Bazı plastik ve metallerin göreceli kopma dayanıklılıkları	5
Çizelge 1.2 Plastiklerin mekanik özellikleri	6
Çizelge 1.3A Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	8
Çizelge 1.3B Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri.....	9
Çizelge 1.3C Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	9
Çizelge 1.3D Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	10
Çizelge 1.4 Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin tipik kullanım alanları	11
Çizelge 2.1 Yaygın olarak kullanılan bazı ısı stabilizatörleri ve bunların genel özellikleri.....	16
Çizelge 2.2 Kullanılan başlıca organik pigmentler ve genel özellikleri	17
Çizelge 2.3 Toplam tüketim içindeki yüzde payları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri ve takviye edici katkılar	18
Çizelge 2.4 Toplam üretim içindeki yüzde payları ile plastikleştirici üretimi	20
Çizelge 2.5 Antioksidan katkı maddelerinin başlıcaları ve kullanım yerleri	21
Çizelge 3.1 Çift ve tek vidalı ekstrüderlerin karşılaştırılması	40
Çizelge 6.1 Bizmut elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri	85
Çizelge 6.2 Telleryum elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri	86
Çizelge 6.3 Selenyum elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	88
Çizelge 6.4 Antimuan elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	90
Çizelge 7.1 Hesap edilen sıcaklık ve ısı değerleri.....	110
Çizelge 7.2 Kullanılan termoelektrik modülün parametreleri.....	116

ÖNSÖZ

Çağımızdaki teknolojik gelişmeleri müteakiben, plastik sektörü ve daha özelde plastik boru sektöründeki gelişmeler dikkat çekicidir. Fakat tüm bu gelişmelerin beraberinde getirdiği birçok sorun bulunmaktadır. Termoelektrik soğutma ise tüm dünyada yeni bir ısı transfer sistemi olarak kullanılmakta olup ticari endüstriyel kullanımı sınırlıdır. Bu durum beni bu iki konunun birleştirilmesiyle ilgili bir tez araştırmasına yönlendirmiştir. Çalışmamdaki temel amaç; yeni, ideal bir kalibre ve soğutma-kontrol sistemi yaparak geleneksel sistemden kaynaklanan problemleri çözmektir.

Araştırma esnasında; birçok kalibrasyon, soğutma ve kontrol sistemi incelenmiş ve yerinde izlenmiştir.

Çalışmalarım esnasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail YÜKSEK'e; tezimin her aşamasında her türlü desteği veren, bana inanıp, güvenen Sayın Doç.Dr. Ahmet Koyun'a, karşılaştığım elektriksel problemlerin çözümünde sabırla bana yardım eden Elektrik Mühendisi Sayın İrfan DEMİRAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tezimin yazım aşamasında gösterdikleri sabır ve bana olan desteklerinden ötürü aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Plastiklerin işlenmesinde en yaygın metotlardan biri ekstrüzyon işlemidir. Plastik boru üretimi ekstrüzyon işlemlerinden biridir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem üretim bakımından birçok avantaj sunmaktadır.

Termoelektrik soğutma yeni bir kontrol edilebilir ısı transferi yöntemi sunmakla birlikte, şu ana kadar deneysel tabanda çalışmalar yürütülmektedir. Küçük çaplı işlemler haricinde endüstriyel olarak kullanılmamaktadır.

Çalışmada; plastikler, ekstrüzyon yöntemleri, ekstrüzyon donanımları temel bilgi niteliğinde olup, ağırlıklı plastik boru kalibreleri, kalibre soğutma-kontrol sistemleri ve termoelektrik soğutma ve kalibreye uygulanması üzerinde durulmuştur.

İlk bölüm ve müteakip 2 bölümde ekstrüzyon işleminde kullanılan malzemeler hakkında temel bilgiler, ekstrüzyon işlemi ve donanımları ele alınmıştır. Dördüncü ve beşinci bölümde, plastik maddenin ekstrüderden kalibreye kadar olan süreci, kalibredeki ısı transferi hesaplamaları tüm sistemin kontrol edilmesine yönelik incelemeler yapılmıştır. Diğer bölümlerde ise termoelektrik soğutma ilkeleri irdelenmiş, hesaplamalar yapılmış ve termoelektrik soğutma sistemi ile soğutulan, kontrol edilen bir kalibre tasarlanmıştır.

Ekstrüderden 200-220 °C olarak çıkan polietilen borunun, son formunu alacağı kalibrede yeterince soğutulabilmesi gerekmektedir. Ancak mevcut sistemlerde bu soğutma yetersiz kalmaktadır. Kalibrede ısı iletimle transfer olduğundan, kontrol edilebilen bir termoelektrik modül, geçmekte olan borunun hızıyla bağıntılı olarak boruyu daha kısa mesafede soğutmaktadır. Yapılan ısı transferi ve termoelektrik hesaplamalar sonucu, termoelektrik modülle soğutulan kalibrenin daha az güçle daha kısa mesafede istenilen soğutmayı sağlayacağı belirlenmiştir.

Çalışmanın son bölümünde, yapılan hesaplamalar doğrultusunda yeni bir kalibre tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir. Yeni kalibre termoelektrik modüller ile soğutulmuş ve kontrolü sağlanmıştır. Sonuç olarak uygulamalarda, yeni kalibre-soğutma ve kontrol sistemlerinin sorunsuz olarak çalıştığı görülmüş ve istenilen performans değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalibre, termoelektrik soğutma, kontrol, ekstrüzyon.

ABSTRACT

Extrusion is one of the most common methods of processing plastics. Plastic pipe production is one of extrusion process and has been used widely in nowadays. This method provides many advantages.

Thermoelectric cooling is a new controllable heat transfer method, however, which is used by only experimental studies. This method has been used for only small process and has not been used for industrial applications yet.

This study includes basic information of plastics, extrusion methods and extrusion equipment parts. Main themes are, plastic pipe calibrating sleeves, cooling-control systems of calibrating sleeves and thermoelectric cooling and its application for calibrating sleeves.

Basic information of extrusion material, process and equipment has been given in the first and following two chapters. In the fourth and fifth chapter, plastic material extrusion process, heat transfer analysis and control principles of the system have been discussed. In the sixth chapter, a thermoelectric cooling system has been explained and thermoelectric calculation has been made. Last chapter includes a new proposal of thermoelectric cooling device and its control application.

During the production in plastic pipe extruders the polymer which is leaving die at average 200-220 °C temperature, can not be enough cooled at calibrators, in which it enters to solidify. However the cooling is insufficient in existing systems. The new thermoelectric cooling calibrator device provides to cool the pipe short distances depending on pipe velocity and using minimum power for cooling.

In the last chapter, a new calibrator was designed dependent on theoretical heat transfer and thermoelectric calculations. New calibrator was cooled with thermoelectric modules and was controlled with a system. As a result of experimental study, we observed that the calibrator-cooling and control system worked without any problem and the system satisfied all desired performance criteria.

Keywords: Calibration sleeve, thermoelectric cooling, control, extrusion.

1.GİRİŞ

Plastikler 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tüm dünyada kullanıma sunulmuş ve günümüze kadar olan süreçte kullanım miktarı hızla katlanarak yaygınlaşmıştır. Geçen yüzyılın son çeyreğinden başlamak üzere, alt yapı üst yapı projelerinde plastik borular kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım, montaj avantajları; üretim kolaylığı, geri dönüşüm gibi faktörler göz önüne alındığında, termoplastik malzemeden imal edilen boru üretimi hızla artmış ve yüzyılımızda her alandan gelen büyük taleple karşılaşmaktadır.

Plastik boruların bu derece talep görmesi, sektördeki firma sayısının artışıyla birlikte, rekabeti de beraberinde getirmiştir. Bu malzemeye olan talep yanında, arzında; ucuz ve kaliteli olması beklentisi vardır. Mevcut koşullar altında, boru üretimine etkiyen faktörler büyük önem taşımaktadır. İmal edilen malzemenin kalitesi, hızlı üretilmesi, fazla iş gücü talep etmemesi üreticiler tarafından sürekli geliştirilmesi gereken faktörler olmaktadır. Bunun yanında imal edilen boruların hammaddelerini tanımak, tüm bu faktörlerde yapılacak iyileştirmelerin temelini oluşturmaktadır.

Üretimde yapılabilecek bir yenilik veya iyileştirme için öncelikle; kullanılan hammadde, yani plastik malzemelerden başlayıp, ekstrüzyon işleminin tanınması gerekmektedir. Şüphesiz ekstrüzyon işleminde iyileştirme, kullanılan makine, ekipman ve kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. Kullanılan ekstrüderler, kalibrasyon ve soğutma sistemleri bunların kontrol sistemlerinin de tanınması maliyeti azaltıcı, kaliteyi arttırıcı çalışmalar için vazgeçilmez bir olgudur.

Günümüzde üretilmekte olan plastiklerin yaklaşık %65'inin işlenmesinde ekstrüzyon veya ekstrüzyona bağlı bir yöntem kullanıldığı düşünüldüğünde, işlemin geniş bir alanı kapsadığı aşıkardır. Bununla birlikte süreç, boru üretimi ve hatta yüksek yoğunluklu polietilen boru üretimine indirgendiğinde ekstrüder çeşitlerinin ve işleminde sınırlanması söz konusudur.

Boru üretimi başlı başına bir süreç olmasına karşın, yapılacak olan iyileştirme öncelikle kontrol sistemlerinden başlamalıdır. Artık tüm proseslerin otomasyona geçtiği bir çağda, kontrol gerçeği göz ardı edilerek herhangi bir iyileştirmeden veya geliştirmeden bahsetmek mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı kontrol yöntemleri, kontrol için gerekli yazılım ve donanımlar iyi tanımlanmalı ve yerinde kullanımda işlem ekonomikleşirken, makine ve

ekipman maliyeti arttırılmamalıdır.

Plastik boru ekstrüzyon işleminde yapılacak bir geliştirme için boru çapını şekillendiren kalibre elemanının kontrolü yeni bir fikir olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha önce hedef alınmamış bu makine elemanında yapılacak kontrol ve soğutma sistemi değişikliği üretime büyük bir artı olarak dönecektir. Kalibre üzerinde kullanılacak soğutma sistemi ise işlemin hassasiyeti açısından, klasik yöntemlerle yapılamamaktadır.

Kalibre üzerinde hassas olarak kontrol edilebilecek, istenilen kontrol yöntemine uygun bir yazılım ve donanımla mükemmel hassasiyete sahip kontrol sistemi kullanılmalıdır. Bu tarz bir sistemde istenilen gereksinimleri karşılayabilecek tek yöntem ise termoelektrik soğutmadır. 19. yüz yılın sonlarında Seebeck ve Peltier kuramı olarak başlayıp, 20. yüzyılın ortalarında hayata geçirilen “Peltier Modüller” bir tür ısı pompası olarak görev yapmaktadır. Ancak bu modüller içinde sıvı, gaz olarak hiçbir madde kullanılmamakta buna karşın elektrik kullanılarak, elektron akışı aracılığıyla ısı bir taraftan diğer tarafa taşınmaktadır. Peltier modül içinde yer alan metaller, elektron akışının devamlılığını sağlamaktadır. Bu yöntemle, akım-gerilim değerleri kontrol edilerek sistemin hassas olarak kontrolü ve işlemin devamlılığı mümkün olabilmektedir.

1.1 Plastik Malzemeler

1.1.1 Genel Sınıflandırma ve Aranan Özellikler

Günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz parçası haline gelmiş olan polimerler, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahiptir. Bazı polimerlerden elektrik özellikleri nedeni ile yararlanılmaktadır. Başka bazı polimerler ise optik ve termal özellikleri nedeni ile malzeme olarak önem taşır. Buna karşılık bir başka grup, mekanik veya biyokimyasal özellikleri nedeni ile tercih edilmektedir. Her ne olursa olsun, polimer maddelerin kendilerine özgü veya diğer malzemelerin yerine geçen alanlarda kullanılmalarına yol açan temel özellikleri, mekanik özellikleridir ve bu özellikleri esas alınarak malzeme bilimi açısından sınıflandırılırlar.

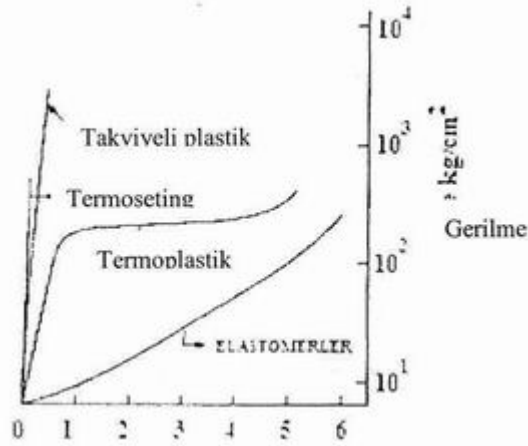
Polimer malzemelerin mekanik özellikleri gerilme - gerinim davranışları ile belirlenmektedir. Bu amaçla özel olarak şekillendirilmiş olan bir örnek, belirli bir yönde gerdirilerek davranışları gözlenip kaydedilmektedir. Şekil 1,1’de değişik polimer maddelerin gerilme -

gerinim eğrileri verilmektedir. Bu davranışlarına göre polimer maddeler,

- a) Takviyeli Plastik
- b) Termosetler
- c) Termoplastik
- d) Elastomerler

Olarak dört genel grupta sınıflandırılmaktadır. Her grup içinde çok sayıda çeşitli polimer yer almaktadır. Ancak literatürde on bine aşkın çeşitli polimerden ticari anlamda uygulama alanı bulanları kısıtlı sayıda olup, birkaç yüz civarındadır. Genel amaçlı olarak sınıflandırılan plastikler, diğerlerine kıyasla çok daha fazla üretilip kullanılmaktadır.

Plastik maddelerin gelişmesi, makro molekül kimyasının gelişmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte plastik maddelerin üretilmesi ise ticari ürünler haline getirilerek bir çok alanda kullanılması yapıların tanınmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plastik malzemelerin sağladığı avantajlardan dolayı her geçen gün plastik üretimi artmaktadır. Polimerler milyonlarca olduğuna göre plastiklerle elde edilebilecek yapılarında sonu yoktur. Ancak polimeri meydana getiren yapıların bulunması yeni özelliklerde plastikler üretilmesini de sağlamıştır.



Şekil 1.1 Polimer Malzemelerde Gerilme - Gerinim Eğrileri (Berna Alpan, 2000, Y.Lisans Tezi)

Bununla birlikte plastik malzemeleri işleme ve şekillendirme teknikleri de plastik teknolojisinin gelişimine paralel olarak gelişme göstermiştir. Bütün bu çalışmaların hedefi, polimer maddeleri, gerektiğinde;

- Sert
- hafif saydam
- ısıya dayanıklı
- ucuz ve ekonomik

hale getirebilmektir.

Ticari termoplastiklerin kopma dayanımları, 20–120 kg/cm² civarındadır. Buna karşılık değişik çelik türlerinin kopma dayanımı 500–1200 kg/cm²'dir. Son yıllarda, termoplastik polimerler çeşitli toz mineraller ve cam elyafla takviye edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamada, cam elyaf veya mineral dolgu maddesi ile polimer zincirleri arasındaki etkileşimi arttırmak için takviye malzemesinin yüzeyi modifiye edilerek, silan bileşikleri gibi özel bileşiklerle kaplanmıştır. Çizelge 1.1 takviyeleme yoluyla, plastiklerin kopma dayanımlarının ne boyutlarda arttırılabildiği açıkça görülmektedir. %20–40 dolaylarında kısa cam elyafı takviyesi ile termoplastiklerin kopma dayanımı bazı metallerinkine yaklaşmaktadır. Bazı özel takviyeli plastiklerin bu özelliği ise çeliğinkini bile aşabilmektedir. Aynı şekilde takviyeli termoplastiklerde elastiklik modülünün 7000 kg/cm, takviyeli poliesterlerde 20000 kg/cm²'ya ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 1.1. Bazı plastik ve metallerin göreceli kopma dayanıklılıkları (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

	Kopma Dayanımı (kg/cm ²)			
	Takviyeli			
	Takviyesiz	Kısa Cam Elyaf	Cam Yünü	Cam Dokuma
Takviyeli Termoplastikler				
Düz Polietilen	7-25			
Polipropilen	30-40	50-77		
Polioksimetilen	70	56-63		
Polistiren	42-56	74-88		
SAN (Stiren Akrilonitril)	67-77	80-100		
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	35-50	100-130		
Polikarbonat	56-67	100-130		
Naylon – 6/6	63-84	130-140		
Polisülfon	70	140-200		
Kalıp Döküm Meteleri		125-130		
Çinko	287			
Aluminyum	230-330			
Magnezyum	240			
Takviyeli Termosetler				
Poliester	15-90		140-173	
Epoks	35-100	28-70	100-200	200-500
Fenofik	50-56	70-140	35-100	140-400
Yeni Kompozitler		35-125		280-400
Çelik	560-1225			700-1400
Cam Elyaf	1750-2800			

Çizelge 1.2 Plastiklerin mekanik özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Malzeme	Çekme Dayanımı Kg/cm ²	Young Modülü Kg/cm ² ×10 ³	Kopma a Uzama %	Kopma Dayanımı Kg/cm ²	Baskı Dayanımı Kg/cm ²	Sertlik Rockwell	Darbe Direnci Kg.m/m	Düşük °C Özelliği
LDPE	70-160	1,2-2,5	90-650	-	-	D41-46	-	İyi
HDPE	220-390	5,6-10,5	50-800	140-210		D60-70	2,2-65	İyi
PP	300-400	9,15-14,1	50-600		600-700	R85-110	3,3-33	Orta
PVC (rijit)	530-600	21-28	2-40	950	530-600	R110	5,5-16,5	İyi
Vinil klorür / vinil asetat kopolimeri (rijit)	530-600	28-35	200-450	845	600-700		2,8-5,5	İyi
Plastikleştirilmiş PVC (düşük plastikleştirici)	280-420	35-50	200-250	845	785-985	R105	6,5-9,3	İyi
Plastikleştirilmiş PVC (yüksek plastikleştirici)	140-280		350-450			D76-80		İyi
Polimetil Metakrilat	490-775	27,5-35	3-8	915-1200	845-1400	M85-105	1,6-2,5	İyi
Politetrafloroetilen	175-280	3,5-6,3	250-600	-	49-127	D50-65	13,5-25	Ç. İyi
Polistiren	350-635	24,5-42	1-3	635-985	810-1125	M65-90	1,1-2,7	Zayıf
Polistiren (sert)	175-455	17,5-32	8-50	210-700	280-635	M35-70	2,7-13,5	Zayıf
ABS	175-600	14-35	10-140	280-1050	175-775	R30-110	11-55	Zayıf
SAN	565-845	28-39	2-4	845-1130	985-1200	M85-83	1,9-3,8	Zayıf
Selüloz Asetat	134-600	4,2-28	5-60	140-845	155-2520	R35-125	2,7-33	İyi
Polikarbonatlar	600-670	22-24,7	60-100	775-915	775-845	R118-124	65-87	Ç. İyi
Poliasetaller	620-705	28-31,7	15-75	915-995	1130-1270	M78-94	6,5-9,8	İyi
Fenol Formaldehid (dolgusuz)	350-565	43-70	1-1,5	845-1050	700-2100	M124-128	1,1-1,9	İyi
Fenol Formaldehid (tam dolgulu)	420-700	70-140	< 0,5	985-1480	700-2100		16,5-55	İyi
Polyester	320-700	28-70	< 5	700-1060	915-2460	M70-115	0,65-2,2	İyi
Metaller için kıyaslama değerleri	Alüminyum	845-985	725	15-30			110	
	Pirinç 70/30	2800-3200	985	65-80			470	
	Çelik % 0,4C	5300-5650	2040	30			27	

Doğrudan plastiklerin kendilerinin veya köpürtülmüş hallerinin kullanılmasıyla pek çok eşyanın çok daha hafif, ancak aynı zamanda sağlam üretilmeleri mümkün olabilmektedir. Köpük plastikler istenildiğinde esnek, istenildiğinde alabildiğine sert yapıda olabilmektedir. Bu tür polimer malzeme kullanımı ile günümüz uçaklarının ağırlığı %20-30 azaltılabilmektedir.

Polimer malzemeler, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle günümüzde pek çok malzeme yerine kullanılmaktadır. Polimerlerin yerini aldığı malzemeler, metallerden ipeğe, tahtadan cama kadar geniş bir alan içinde yer almaktadır. Polimer malzemelerin en ucuz olanları genel amaçlı plastikler olarak adlandırılan sınıfta yer alan ve günümüzde çok büyük tonajlarda üretilen polimerlerdir.

1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler, kimyasal yapılarına, fiziksel yapılarına, işleme durumlarına ve yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

İşleme esasına göre

- Termoplastikler
- Termoset plastikler

1.2.1 Termoplastikler

Bu malzemeler ısıtıldığı zaman plastikleşebilme, yani ısı ve basınç altında eğilme, bükülme ve istenilen şekle sokulabilme ve soğutulduğu zamanda katılaşabilme yeteneğine sahiptir. Bu özellikten dolayı çok geniş kullanım alanına sahiptir. Kalıplama sırasında kimyasal bir değişikliğe uğramazlar. Isı verilisinin ne süreyle tekrar edildiği önemli değildir. Isıtma ve soğutma işlemini birkaç kez tekrarlayarak termoplastiğe yeniden çeşitli şekiller verilebilir. Termoplastik, bu özelliğinden dolayı balmumuna benzer. Isıtıldığında dökülebilir, soğutulduğunda da katı hale gelir. Tekrar ısıtıldığında yine yumuşar. Teorik olarak bu olay sonsuz kere tekrarlanabilir ancak pratikte malzemenin şekil değiştirmesine ve stabilite derecesine bağlı limitler vardır. Bu da belli sayıda şekil değiştirmenin ardından maddenin ilk özelliklerinin kaybolduğunu gösterir. Bu yüzden bu malzemeler bu limitlere kadar kullanılabilirler. Termoplastik grubunun en önemli malzemeleri; akrilik, asetal, naylon, polietilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir.

1.2.2 Termoset Plastikler

Bu malzemeler ısı ve basınç altında şekillendirildikten sonra tekrar yeniden şekillendirilemezler. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklıdır. Termosetler polikondansasyon reaksiyonuyla elde edilirler ve genellikle çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler. Birbirine bağlanan atom zincirleri termoplastiklerdeki gibi ısıtıldığında birbiri üzerinde kaymaz. Örnek olarak çimentoyu verebiliriz. Çimentoda donduktan sonra eski haline dönüşmemektedir, bu nedenle termoset atıklarda tekrar kullanılamaz. Termoset plastikler özellikleri nedeniyle saf olarak kullanılamazlar. Bunlara mekanik özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddesi katılır. Termoset plastikler, termoplastiklere göre daha sert ve ısıya daha dayanıklıdır. Bu grubu oluşturan ve en çok kullanılan malzemeler, amin plastikler, urea ve melaminler, fenolikler (bakalitler), polyesterlerdir.

1.3 Yaygın Olarak Kullanılan Plastiklerin Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yaygın olarak kullanılan bazı termoplastik yapıdaki plastiklerin özellikleri, sırasıyla; Çizelge 1.2’de verilmektedir. Söz konusu polimerlerin belli başlı kullanım alanları ise Çizelge 1.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 1.3. A. Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

	Poli Asetal	Polimetil metakrilat	Selüloz Asetat	Naylon 6/6
Özgül ağırlık	1,43	1,17-1,20	1,23-1,34	1,09-1,14
Kırılma indisi	1,48	1,49	1,46-1,50	1,53
Kopma dayanı MPa	70	50-77	13-60	50-77
Uzama %	15-75	3-10	6-70	90
Gerilme modülü MPa	2870	3150	420-2800	1800-2800
Çentik darbe dayanı N.m/cm	0,21-1,2	0,16-0,27	0,21-2,8	0,54
Isı ile deformasyon sıc. °C	170	70-90	43-98	150-182
Dielektrik sabiti 10³ çev.	3,7	3,0-3,5	3,5-7,0	4,0-4,5
Dielektrik kaybı 10³ çev.	0,004	0,03-0,05	0,01-0,06	0,02-0,04
Su soğurması 24 saatte %	12	3-4	1,9-6,5	0,4-1,5
Yanma hızı	Yavaş	Yavaş	Yavaş	Hızlı
Güneş ışığının etkisi	Etkilenir	Yok	Kısıtlı etki	Solar kırılır
Kuvvetli asit/baz etkisi	Etkilenir	Etkilenir	Ayrışır	Etkilenir
Organik çözücü etkisi	Dayanıklı	Çözünür	Çözünür	Dayanıklı
Saydamlık	Opak	Saydam	Saydam	Opak

Çizelge 1.3. B. Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

	Polikarbonat	Politetra floroetilen	Polistiren	Antişok polistiren
Özgül ağırlık	1,2	2,1-2,2	1,04	0,98-1,10
Kırılma indisi	1,56	1,35	1,59-1,60	-
Kopma dayanı MPa	60-70	14-32	35-63	25-46
Uzama %	60-100	200-400	1,0-2,5	5-80
Gerilme modülü MPa	2250	420	2800-3500	2100-3150
Çentik darbe dayanı N.m/cm	6,4-8,6	1,6	0,13-0,21	0,27-5,9
Isı ile deformasyon sic. °C	136-143	120	66-91	65-93
Dielektrik sabiti 10³ çev.	3,0	2,0	2,4-2,65	2,4-4,5
Dielektrik kaybı 10³ çev.	0,0011	< 0,0002	0,0001-0,0003	0,0004-0,002
Su soğurması 24 saatte %	0,3	0,03	0,03-0,05	0,1-0,3
Yanma hızı	Yavaş	-	Yavaş	Yavaş
Güneş ışığının etkisi	Sararır	Yok	Sararır	Etkilenir
Kuvvetli asit/baz etkisi	Etkilenir	Dayanıklı	Etkilenir	Etkilenir
Organik çözücü etkisi	Etkilenir	Dayanıklı	Çözünür	Çözünür
Saydamlık	Saydam	Opak	Saydam	Opak

Çizelge 1.3. C. Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

	Alil Karbonat	Fenolik	Polyester	
	Dolgusuz döküm	Dolgusuz döküm	Dolgusuz sıvı	Dolgusuz esnek
Özgül ağırlık	1,3-1,4	1,30-1,32	1,10-1,46	1,01-1,20
Kırılma indisi	1,50-1,58	1,58-1,66	1,52-1,57	1,54-1,55
Kopma dayanı MPa	35-42	42-63	42-70	6-13
Uzama %	-	1,5-2,0	<5	40-130
Gerilme modülü MPa	2100	2800-3500	2100-4500	-
Çentik darbe dayanı N.m/cm	0,11-0,21	0,13-0,21	0,11-0,21	<3,8
Isı ile deformasyon sic. °C	60-88	74-80	60-205	-
Dielektrik sabiti 10³ çev.	3,35-5,0	5,5-6,0	2,8-5,2	4,5-7,1
Dielektrik kaybı 10³ çev.	0,01	0,01-0,05	0,005-0,0025	0,0016-0,05
Su soğurması 24 saatte %	0,3-0,44	0,3-0,4	0,15-0,60	0,50-2,5
Yanma hızı	Yavaş	Yavaş	Yavaş	-
Güneş ışığının etkisi	Sararır	Rengi solar	Sararır	-
Kuvvetli asit/baz etkisi	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir
Organik çözücü etkisi	Dayanıklı	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir
Saydamlık	Saydam	Saydam	Saydam	Saydam

Çizelge 1.3. D. Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

	HDPE	LDPE	PP
Özgöl ağırlık	0,941-0,965	0,91-0,925	0,90-0,91
Kırılma indisi	1,54	1,51	1,49
Kopma dayanı MPa	22-39	7-16	30-40
Uzama %	15-100	90-650	250-700
Gerilme modülü MPa	560-1050	120-245	900-1400
Çentik darbe dayanı N.m/cm	0,80-6,4	>8,6	0,32-3,2
Isı ile deformasyon sic. °C	60-82	40-50	100-110
Dielektrik sabiti 10³ çev.	2,30-2,35	2,25-2,35	2,0-2,1
Dielektrik kaybı 10³ çev.	<0,0002	<0,0005	<0,0003
Su soğurması 24 saatte %	<0,01	<0,015	<0,01
Yanma hızı	Yavaş	Yavaş	Yavaş
Güneş ışığının etkisi	Etkilenir	Yüzeyde çatlama	Etkilenir
Kuvvetli asit/baz etkisi	Dayanıklı	Dayanıklı	Dayanıklı
Organik çözücü etkisi	<80°C Dayanıklı	<80°C Dayanıklı	<80°C Dayanıklı
Saydamlık	Opak	Opak	Opak

Çizelge 1.4.Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin tipik kullanım alanları (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Plastiğin Adı	Simge	Kullanım Alanları
Poliasetal (Polioksimetilen)	POM	Dişliler, flanşlar, musluklar, aerosol vanaları Fermuarlar, perde tekerlekleri, mühendislik uygulamaları
Poliakrilik (polimetil metakrilat)	PMMA	Saydam paneller, lensler, aynalar, banyo ve mutfak aksesuarları, ışık kaynağı muhafazaları
Akrilonitril-Butadien Stiren Terpolimeri	ABS	Telefon aparatları, bavul valiz, çanta, beyaz eşya gövdeleri, boru, fittings
Selüloz asetat	CA	Avadanlık ve techizat kulpları, elektrik malzemesi kılıfları radio-teyp, parlak saydam ambalaj malzemesi, fotoğraf filmi, kalem gövdeleri
Polikarbonat	PC	İçecek kapları, tabak, tıbbi malzemeler, lensler, lamba camları, saydam levhalar
Polietilen	PE	
• Alçak yoğunluklu	LDPE	Ambalaj malzemeleri, alışveriş poşetleri, filmler, izolasyon malzemesi, oyuncaklar, mutfak eşyaları, kapaklar, şişeler
• Lineer alçak yoğunluklu	LLDPE	Taşıma poşetleri, lamine edilmiş filmler, tarım ve endüstri malzemeleri, boru, flanş
• Yüksek yoğunluklu	HDPE	Benzin tankları, kimyasal maddeler, süt, su ,çamaşır suyu kapları, boru,fittings, mühendislik parçaları, bavul, valiz, çanta
Polipropilen	PP	Gıda ambalajları, şişeler, kapaklar, otomobil parçaları, akü kutuları, halı, oyuncaklar, masa, sandalya, mobilyalar
Polistiren	PS	
• Genel amaçlı (kristal)		Mutfak eşyası, buzdolabı iç aksamı, paket malzemesi, elektrikli eşya düğmesi, şeffaf uygulamalar
• Şok dayanımlı (antişok)		Gıda ambalaj kutu ve kapları, makaralar, oyuncaklar, elektrik malzemeleri, beyaz eşya
Polivinil klorür	PVC	
• Sert		İzolasyon malzemesi, boru, flanş parçaları, ayakkabı, havuz kaplamaları, şampuan şişeleri, yer kaplamaları, plastik kart yapımı
• Plastikleştirilmiş		Müzik plakları, suni deri, pencere, kapı, ince film ve levhalar
Polietilen tereftalat	PET	Su, meşrubat, bira, şarap, hardal, ketçap şişeleri, turşu kavanozları, fotoğraf filmi, çeşitli kaplamalar

2. PLASTİKLERİN EKSTRÜZYONU

Plastik ekstrüzyon işlemi, plastik bir malzemenin ısı ve çözücü etkisiyle akıcı bir hale getirilerek belirli bir şekil vermek amacıyla şekilli bir kalıptan (matris) basınç yardımıyla geçirilmesi işlemidir. Günümüzde geniş bir uygulama alanı bulan plastik ekstrüzyonu plastiklerin şekillendirilmesinde önemli bir yöntemdir. Bu yöntemi gerçekleştiren makine ise ekstrüder olarak adlandırılmaktadır.

2.1 Plastik Ekstrüzyon Yöntemleri

2.1.1 Piston Ekstrüzyonu

İlk ekstrüzyon makinelerin de, bir silindir içine yerleştirilen ve hammaddeden hazırlanmış parça, pistonlar aracılığı ile işlenirdi. Bunlarda hassas olarak kontrol edilebilen basınç, istenildiği kadar yüksek ve üniform olabilir. Hammadde bazı malzemeler için son derece önemli olan silindirde sert darbelere ve karıştırmaya maruz kalmaz ve donanım son derece basittir. Bundan dolayı plastik duruma getirilmiş ya da böyle bir duruma yalnızca basınç ile gelebilen bütün malzemelerin ekstrüzyonu piston ile gerçekleştirilebilir. Pres normal olarak, bir malzeme topağını sıkıştırırken malzemenin ısı iletkenliğinin iyi olmamasından ötürü malzemeye preste kayda değer bir ısı miktarı iletilemez. Normal bir piston süreci bundan ötürü sadece sıcaklık dışında bir yöntem kullanılarak yumuşatılabilen veya ekstrüzyon sıcaklığına kadar bir ön ısıtma işlemine tabi tutulabilen malzemelere uygulanır. Bu son durum için ekstrüder kovani ve matris malzemenin sıcaklığını arttırmaktansa sabit tutmayı amaçlayan bir şekilde ısıtılır. Önemli dezavantajı sürecin süresiz oluşudur. Piston stroğunun sonuna geldiğinde işlem biter ve yeni bir malzeme topağının yerleştirilmesi için piston geri çekilir. Termal olarak kararsız olan malzemelerin kullanılması durumunda silindir, matris debisi ve diğer parçaların bir önceki strokta kalan parçalardan arındırılıp, iyice temizlenmesi gerekir. Soğuk dövme gibi bazı yeni plastik işlem teknikleri de piston ekstrüzyonu prensibi ile çalışmaktadır.

2.1.2 Yaş Ekstrüzyon

Pistonlu ekstrüderlerin günümüzdeki en yaygın kullanımı yaş ekstrüzyon işlemlerinde gerçekleştirilmektedir. Yaş ekstrüzyonda hammadde çözücüler aracılığı ile yumuşatılır. Yumuşatmanın sadece ısı ve basınç ile gerçekleştirildiği kuru ekstrüzyonun kullanım alanı

dışındaki ufak paya sahip uygulamalarda yaş ekstrüzyon kullanılır. Selüloz nitrat gibi aşırı ısıtıldığında parlayabilen ve tehlikeli olabilen malzemelerin, minimum sürtünme etkisi, düşük basınç ve sıcaklıkta ekstrüzyon işlemi yaş olarak gerçekleştirilir. Bunlardan ötürü selüloz nitrat, çözücü içeren bir hamur haline getirilerek ekstrüde edilir. Çözücü içeren bir karışımın bile, sürtünme etkisi karakteristik özelliği olan vidalı bir ekstrüderde işlenmesi sakıncalıdır. Bundan ötürü pistonlu presler çok yavaş dönel hıza sahip vidaların basınç pompaları gibi kullanılabilmesine karşın hala bu gibi durumlarda kullanılmaktadır. Selüloz asetat natürel olarak sert parçacıklar ve yabancı maddecikler içerir, yaş ekstrüzyonda kullanılan çözücüler ile daha üniform bir yapı elde edilebilir.

Yaş ekstrüzyonun dezavantajları ise hammaddenin hazırlanması için özel bir işlemin gerekmesi ve kullanılan çözücülerin genellikle parlak tipte ve pahalı olması bu sınırlamalardan bazılarıdır. Bitmiş parçanın boyutsal kararlılığı için bünyedeki tüm çözücülerin uzaklaştırılmış olması şarttır. Çözücülerin yok olması özellikle kalın kesitlerde oldukça uzun sürer. Ekonomi açısından bakıldığında bir çözücü dönüşüm tesisi faydalı olabilmektedir.

2.1.3 Kuru Ekstrüzyon

Kuru ekstrüzyonda malzemeyi yumuşatmak için yalnızca ısı kullanılır. Kuru ekstrüzyon, malzemenin ayrı olarak ön ısıtmaya tabi olduğu bir piston presinde gerçekleştirilebilir. Kuru ekstrüzyonun en önemli kullanım alanı ise malzemenin soğuk olarak girip, ısıyla yumuşatılırken vida ile sıkıştırıldığı ve gerekli basıncın elde edildiği vida mekanizması kullanılır.

2.2 Ekstrüzyon Malzemeleri

Ekstrüzyon işleminde kullanılan malzeme çeşitleri zamanla daha fazla büyümektedir. Ekstrüzyonda kullanılan plastik malzeme gruplarını 16 ana grupta toplayabiliriz.

1. Akrilik Reçineleri (Polimetil metakrilat)
2. ABS Kopolimerleri (Akrilonitril - butadien - sitren kopolimerleri)
3. Kazein Plastikleri

4. Selülozik Malzemeler (Selüloz asetat, selüloz asetat butirat, selüloz propionat)
5. Köpüklü Plastikler (Köpüklü polisitren, köpüklü polinilklorid, köpüklü poliolefinler)
6. Poliasetaller
7. Poliamidler
8. Polikarbonatlar
9. Poliolefinler (Düşük, orta ve yüksek yoğunluklu polietilenler, polipropilen, polibüten ve kopolimerleri)
10. Polisitrenler
11. Polivinilklorid esaslı malzemeler
12. Vinil Plastikler (Homopolimerler ve kopolimerler plastikleştirilmiş ya da esnek olmak üzere)
13. Vinil Plastikler (Homopolimerler ve kopolimerler plastikleştirilmemiş ve katı olmak üzere)
14. Florakarbon Reçineleri
15. Üretan elastomerleri
16. Termoset Malzemeler (Takviyeli plastikler dahil)

Bu malzemelerin dışında klorlanmış polieterlerin, poliallomerlerin, fenol reçinelerinin, polisüfonların, polifenilen oksitlerinin ve diğer bazı polimerlerde ekstrüzyon işleminde kullanılmaktadır. Bu malzemeler ticari açıdan pek önemli olmamaktadır.

2.3 Ekstrüzyon Malzemelerine Katılan İlaveler

Plastik Ekstrüzyonda kullanılan yardımcı kimyasal malzemelerden bahsedecek olursak,

- Darbe Mukavemeti Verici
- Isı Stabilizatörleri

- Renklendiriciler
- Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar
- Yağlayıcılar
- Plastikleştiriciler
- Antioksidanlar

2.3.1 Darbe Mukavemeti Verici

Darbe dayanımlarının düşük olması, termoplastiklerin çoğu için en önemli sorunlardan biridir. Bu sorun polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), polipropilen (PP) gibi yaygın kullanılan termoplastikler için de geçerlidir. Düşük sıcaklık uygulamaları söz konusu ise, bu sorun daha da belirgin hale gelmektedir. Plastik ekstrüzyonda darbe mukavemeti verici olarak çeşitli firmaların ürettiği malzemeler kullanılmaktadır.

2.3.2 Isı Stabilizatörleri

Polimerlerden yararlanılan sıcaklık aralığının genişletilmesi ve kullanma ömrünün uzatılması için ısı stabilizatörleri kullanılır. Plastik malzemenin ısı ile bozunarak özellik değişimine uğramasının engellenmesi için kullanılan bu katkı maddelerin üretim sırasında, plastik karışımın hazırlanmasında veya plastiğin işlenmesi sırasında eklenebilir. Stabilizasyon, bir veya daha fazla katkı maddesi ile de sağlanabilir ve böylece işlenmesi ve kullanımı sırasında plastiğin yıpranması önlenir. Birden fazla stabilizatörün sağladığı etkinlik, tek tek stabilizatörden gelen etki toplamından fazla olursa; sinerjetik karışım kullanılmış demektir.

Polimerlerin bozunmasına ısı, ışık, hava, oksijen ve mekanik etkiler neden olabilir. Endüstride yaygın kullanılan polimerlerden, stabilizatörlerin en çok kullanıldığı polimer PVC dir. PVC ısıl bozunmaya çok yatkındır. Bu olayın sonucunda PVC de renklenme gözlenir.

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan bazı ısı stabilizatörleri ve bunların genel özellikleri
(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Malzeme	Genel özellikler
Alkillenmiş Fenol Bisfenoller	Genellikle antioksidant olarak bilinirler. Baryum, kadmiyum ve Çinkonun metalik sabunları ile birlikte kullanıldıklarında stabilizasyon etkisi yaparlar
Doymamış yağ asitlerinin ve doymamış asit esterlerinin epoksileri	Sıvıdırlar, genelde plastifiyan özelliği gösterirler, tıbbi uygulamalarda kullanılırlar, diğer stabilizatörler üzerinde sinerjetik etki yaparlar
Difeniltiyo üre afenilindol β -aminokrotonik asidin esteri	Genelde kalsiyum ve çinko metalik sabunları veya oktil kalay stabilizatörleri ile birlikte kullanılırlar
Bazik kurşun karbonat	Ucuz, suda çözünebilir beyaz bir tozdu. 7/1 oranında plastifiyan karıştırılarak kullanılır. Zehirli kükürt içeren maddelerle kullanımı uygun değildir. İzolasyonda kullanılır.
Tribazik kurşun sülfat	Ucuz olmayan beyaz bir tozdu. Malzemeye opaklık verir. 4/1 oranında plastifiyan ile karıştırılarak kullanılır. Yüksek sıcaklıkta işleme özelliği sağlar.
Dibazik kurşun sülfat	Pahalıdır. 3/1 oranında plastifiyan ile karıştırılarak kullanılır. Dış uygulamalarda kullanılır.
Kurşun ve orto silikatlar	Tek tek, ayrı olarak veya silika jel ile beraber kullanılır, saydamlık verir.

2.3.3 Renklendiriciler

Plastik malzemenin görünümüne estetik etki, renklenme ile sağlanır. Renklendiriciler, kullanıldığı ortamda çözünebilen boyalar ile çözünemeyen ve ortamda ince tanecikler halinde dağıtılan, pigmentler olmak üzere genelde ikiye ayrılırlar. Boyalar saydamdırlar ve yapıya parlaklık da verirler. Ancak ışığa dayanıksızdırlar. Pigmentler ise tanecik boyutu ve pigment ile plastik yapı arasındaki göreceli kırılma indisi farkına göre saydamlık veya opaklık verebilirler. Pigmentler organik veya anorganik, doğal veya sentetik olabilirler. Sentetik organik pigmentlerle parlak, saydam renkler elde edilmekle beraber, bunların ısı ve ışık kararlılıkları türüne göre değişim gösterir. Buna karşın doğal anorganik pigmentler opak ancak ısı ve ışık dayanıklılığı yüksek renklendiricilerdir.

Çizelge 2.2. Kullanılan başlıca organik pigmentler ve genel özellikleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Pigment	Verdiği Renk	Genel Özellikler
İzoindolinonlar	Sarı turuncu kırmızı	Isıya, yüzeye çökmeye dayanıklı, parlak renktedirler. PVC'ye renk vermek için kullanılırlar.
Antrakininonlar	Sarı kırmızı mavi	Isıya, yüzeye çökmeye dayanıklı değildirler. Ancak tiyoinidigo kırmızısı solmazlık ve kararlılık açısından uygundur. En kararlı olan tetrakloromaron yumuşak PVC'de kullanılır.
Perilenler	Sarı kırmızı kızıl kahve kahverengi	Etkin saydamlık sağlayan ancak pahalı pigmentlerdir. Isıl dayanımları yüksek, yüzeye çökmeleri oldukça az olan renklendiricilerdir.

2.3.4 Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile polimerden çok farklı olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katkılardır. Bu katkılar genellikle anorganik maddelerdir. İnert dolgu maddeleri plastiklere, miktarlarını arttırarak fiyat düşürmek amacıyla katılırlar. Buna karşılık reaktif (etkin) dolgu maddeleri, plastiğe katıldıklarında bazı fiziksel ve mekanik özelliklerde iyileşme ve gelişmeler sağlarlar. Bu nedenle reaktif dolgu maddelerine takviye edici (pekiştirici) katkılarda denilmektedir. Bu tür katkılar başlangıçta sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmışlarsa da, giderek, takviye edici özelliklere sahip olanları da geliştirilmiştir.

Çizelge 2.3 Toplam tüketim içindeki yüzde payları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri ve takviye edici katkıları (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Dolgu Maddesi/Takviye Edici Katkı	Toplam Tüketim İçindeki Payı %
Karbonatlar	50-55
Silikatlar	
• Talk	5-6
• Asbest	5-6
• Kaolin	2-3
• Mika	0,01-0,02
• Diğer	0,4-0,5
Silisyum dioksit	2,5-3,5
Mineraller	0,2-0,4
Alüminyum trihidrat	6-7
Karbon siyahı	0,6-0,8
Organik maddeler	3,5-5
Cam elyafı	20-25
Cam kürecikler	0,5-0,7
Diğer elyaflar	0,01-0,02

2.3.5 Yağlayıcılar

Yağlayıcılar, polimer maddelerin gerek katı gerekse ergimiş haldeki akışkanlıklarını kolaylaştıran ve ergimiş polimerin makinelerin değişik yerlerine yapışmasını önleyerek, plastiklerin işlenmesini kolaylaştıran katkı maddeleridir. Ergime noktaları 150 °C ye kadar varabilir. Yağlayıcıların temel fonksiyonu, iç ve dış sürtünmeleri azaltarak, ergimiş haldeki plastiğin akma özelliğini iyileştirmektir. Bunun yanında yağlayıcılar, ergimeyi kolaylaştırır, ergimiş plastiğin yapışkanlığını azaltır ve son ürünün darbe dayanımını arttırabilir. Ayrıca son ürünün renginde ve yüzey görünümünde de iyileşmeler sağlayabilirler. İyi bir yağlayıcı, işleme sırasındaki enerji tüketimini azaltır ve son ürün özelliklerini iyileştirir.

Yağlayıcılardan, işleme işleminin kesintisiz ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi, teknik ve estetik açıdan istenilene uygun ürünler elde edilmesini sağlamaları beklenmektedir. Buna karşılık, son üründe genellikle uzun vadede ortaya çıkabilen, ısıyla deformasyon özelliğinin kötüleşmesi, yağlayıcının yüzeye göç ederek ürünün yüzey özelliklerini bozması gibi istenmeyen olgulara yol açmaması da istenmektedir.

Yaygın olarak kullanılan yağlayıcılara bakıldığında,

- Hidrokarbonlar
- Alkoller
- Karboksilik asitler
- Karboksilik asit esterleri
- Ketonlar
- Karboksilik asitlerin metal tuzları
- Amidler
- Halojenlendirilmiş hidrokarbonlar

şeklinde sınıflandırılabilir.

2.3.6 Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler, plastik işleme karışımlarına eklenen ve son ürün olan plastik eşyanın fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştiren kimyasal maddelerdir. Plastikleştirici ile malzemenin ergime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile elastik modülü düşürülür. Ayrıca malzemenin kopma dayanımı ve sertliği azalır. Bu değişiklikler fiziksel işlemlerle sağlandığından, genelde plastikleştirici eklenmesi, polimerin kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe yol açmaz. Az miktarda plastikleştirici kullanıldığında elde edilen plastik belirli ölçülerde kırılgan olabilmektedir. Bu nedenle, her tür plastikleştirici, plastikleştiriciye özgü en az miktarın üzerinde kullanılarak istenilen sonuçlar elde edilebilmektedir. Plastikleştiricilerin yukarıda belirtilen avantajları yanında en önemli dezavantajları, bu tür plastikleştiricilerin plastik eşyadan zamanla terleyip yüzeye göç ederek ve buna bağlı olarak zamanla miktarının azalarak plastiğin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açmaları; plastik eşyanın temasta bulunduğu malzemeleri kimyasal olarak kirletebilmeleridir. Bu konu özellikle gıda maddeleri ile temas halinde kullanılan plastik eşyada önem taşır.

Ticari plastikleştiriciler, genel olarak, düşük veya yüksek viskoziteli sıvılardır. Az sayıda da olsa katı plastikleştiriciler de bulunmaktadır. Genel anlamda plastikleştiricilerin,

Yüksek saflıkta,

- Renksiz,
- Kokusuz/tatsız olmaları,
- Tepkimeye girmemeleri ve
- Hep aynı kalitede sağlanmaları

İstenir.

Günümüzde, tüketilen plastikleştiricilerin en önemli bölümünü; ftalat esterleri oluşturmaktadır. Bu durum, plastikleştiricilerle birlikte en fazla kullanılan plastik türü olan polivinil klorür (PVC) ve kopolimerlerinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2.4. Toplam üretim içindeki yüzde payları ile plastikleştirici üretimi (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

Plastikleştirici Türü	Toplam Plastikleştirici Üretimindeki Pay %
Ftalatlar	74
Klorlu Parafınlar	9,5
Fosfatlar	5
Epoksi Plastikleştiriciler	5
Alifatik Esterler	2
Polimer Yapılı Plastikleştiriciler	1,9
Hidrokarbon Genişleticiler	1,9
Trimellitattlar	0,5
Diğerleri	0,2

2.3.7 Antioksidantlar (Oksitlenmeyi Önleyiciler)

Oksitlenme ile yaşlanma olayı, normal oksitlenme, ısı - ışık ile yaşlanma, metalik zehirlenme (özellikle kauçuk malzemedede), bükülme ile çatlama ve atmosferik çatlama olarak sınıflandırılabilir.

Plastik malzeme işleme sırasında, depolamada ve kullanımda daha ziyade oksitlenerek bozunabilir. Bu bozunma, hava oksijeniyle birlikte ısı, UV ışınması, ozon, metal iyonları ve

mekanik etki ile diğer çeşitli kimyasal tepkimelerden oluşabilir. Antidioksidantlar, plastik malzemeye az miktarda katılarak atmosferik oksitlemeyi önleyebilir veya geciktirebilir.

Antioksidan katkıları, plastik işlenirken veya harmanlama sırasında katılabilir. Bu katkıların işleme sıcaklığında bozulmaması veya polimerizasyonu hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etkileri bulunmaması gerekir. Kullanılan katkı maddesinin düşük ergime sıcaklıklı, kolaylıkla dağılabilen-çözünebilen toz maddeler olması tercih edilir. Ayrıca, , renklendirici, soldurucu, renk giderici olmaması, toksik etki yapmaması istenir. Antioksidan katkı polimer ile uyumlu olmalı ve diğer katkı maddelerinin varlığında da etkin olabilmelidir.

Çizelge 2.5. Antioksidan katkı maddelerinin başlıcaları ve kullanım yerleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, 1996)

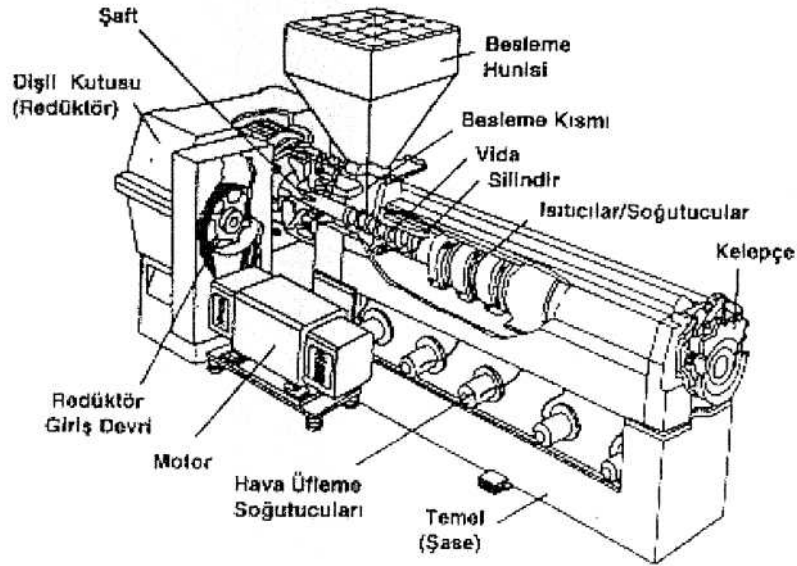
Tür	Özellikler	Kullanım Yeri
Parafenilen daimin Türevleri	Kuvvetli antioksidan Pek çok plastik için uygundur. Yüzeye nüfuz edebilir.	PE
Süstitüe fenoller	Toksik olmayan yerlerde yaygın olarak kullanılır. Uçuculuğundan dolayı yüksek sıcaklık ve uzun süreli kullanımlar için uygun değildir.	PE, PS, PA
Fenil alkanlar	En kuvvetli fenolik antioksidanlardır.	Poliolefinler (PP), PS, ABS, PVC
Fenil sülfidler	Fenil alkanlar kadar kuvvetli antioksidan değildirler. Karbon siyahı ile sinerjik etki elde edilebilir.	PE, PP, PVC
Organik fosiller	Stabilizatörlerle birlikte kullanılır. Batı tipleri ısı ve ışık stabilizasyonu da sağlar.	PVC, PE, ABS, polyesterler

3. EKSTRÜDERLER

Plastiklerin ekstrüzyonunun da, ekstrüzyon hattının ilk parçası olan ekstrüderler işlemin kalbi konumundadır. Birçok ekstrüder tipi bulunmasına rağmen işlemin sürekliliği ve birçok uygulamaya kolayca uygulanabilirliği açısından en çok kullanılan ekstrüder tipi vidalı ekstrüderdir.

3.1 Tek Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri

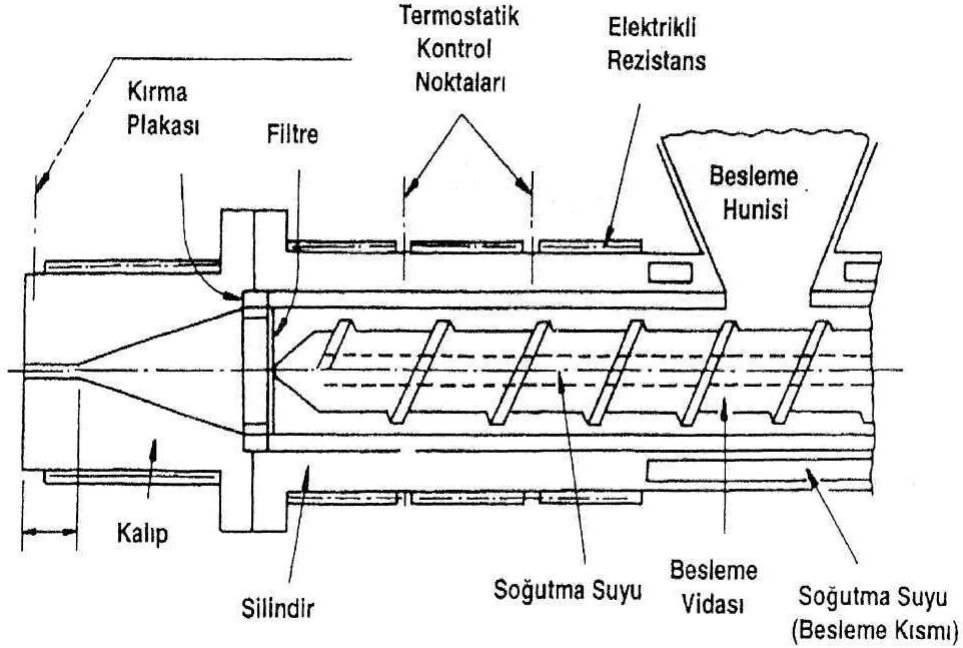
Plastiklerin prosesin de en yaygın olarak kullanılan metotlardan birisi olan ekstrüzyon işlemi silindir içindeki bir vidanın kullanılmasıyla olmaktadır. Plastik genellikle toz veya tanecik formunda vidaya bir huniden beslenir. Vida ve kovan, plastik malzemenin iletilmesi, eritilmesi ve basınç oluşturulmasında etkin olan birimlerdir. Dişli sistemi vidayı kontrollü hızda döndürür. Kovan, sıcaklık kontrolörlerine bağlı olan ısıtma ve soğutma ekipmanları ile donatılmıştır.



Şekil 3.1 Tek Vidalı Ekstrüder Sistemi

Ekstrüdere, ergiyik halindeki harman, sürekli olarak beslenme hunisinden aktarılarak beslenir. Önce ısıtıcı silindire gelen karışım, vida ile itilir, çıkışa doğru ilerledikçe de ısınıp yumuşar. Isıtma işlemi, silindir çeperinde bulunan elektrikli ısıtıcılarla veya indüksiyonla dışarıdan yapılabildiği gibi iç sürtünme kaynaklı da olabilir. Sürtünme ısılarından sistemde önemli ölçüde yararlanılır.

Ergitme iki ısı kaynağı ile kontrol edilir. İlki genellikle kovan ısıtıcıları (mika ve seramik rezistanslar) ile dışarıdan uygulanan ısıdır. İkinci ısı kaynağı ise kayma veya viskoz ısıtma olarak adlandırılır. Isıtma vidanın dönme hızının değiştirilmesiyle kontrol edilebilir. En uygun dönme hızının seçilmesinin önemi büyüktür. Düşük bir hızda ergiyik, kovan ve vida ile daha uzun bir süre temasta kalır. Düşük hızda kayma azalacağından dağılıcı ısı miktarı azalır ve bu birleşimin film özellikleri güçlenir. Optimum vida tasarımı için deneme yanılma metodu ile bilgisayar ile modelleme metodunun beraber kullanılması gerekmektedir. Ekstrüder vidasına bakıldığında basit olarak üç farklı kısma ayrılır.



Şekil 3.2 Ekstrüzyon Sisteminin Şematik Gösterimi (Turaçlı H., Ekstrüzyon teknolojisine giriş)

3.1.1 Besleme Bölgesi

Bu bölgenin amacı besleme hunisinden soğuk malzemenin alınıp ısıtılması ve sıkıştırma bölgesinin beslenmesidir. Besleme bölgesi kesiti formunun diğer bölgeler gibi en iyi forma sahip olması önemli değildir. Vidanın besleme bölgesinin debiyi kontrol ettiği kabul edildiği gibi, besleme bölgesinin ölçme bölgesini dolu tutacak yeterlikte malzeme taşıma kapasitesine sahip olması da önemlidir. Diğer taraftan, besleme bölgesinden ölçme bölgesine yollanan malzemenin çok fazla olmamasını sağlamakta aynı önemdedir. Dengeden ayrılış dalgalanma ve itmelere yol açacaktır, bu sebeple besleme malzemesinin hacim faktörüne uygun sıkıştırma oranının seçilmesinde uygulamaya dikkat edilmesi gerekir. Sıkıştırma oranı genellikle 1,5: 1 ve 4: 1 arasında değişmektedir.

3.1.2 Sıkıştırma bölgesi

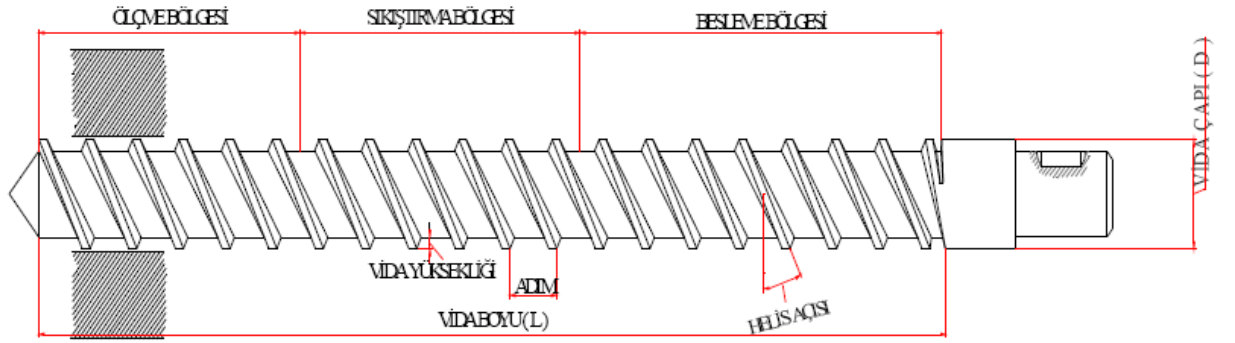
Sıkıştırma veya hal değiştirme bölgesi besleme bölgesini takip eder ve vida dışı yüksekliğinin azar azar küçülmesiyle ölçme kesitine kadar malzemeyi ulaştırırlar. Sıkıştırma bölgesi, katı bölgeden viskoz bölgelere malzeme geçişinde hacim değişimi ve ergime oranının ayarlanması için gerekli şekilde tasarlanmalıdır. İlk olarak tutulan havanın tekrar besleme bölgesine geri itilmesi ve ikinci olarak sıkıştırılan malzemenin termal iletkenliğini iyileştirmek için sıkıştırmanın doğru miktarda yapılması amaçlanmıştır. Bunun dışında sıkıştırma bölgesinden geçişi boyunca malzeme yeterli viskoz hale gelir ve kütle doğru üniform şekilde ısıtılır ve karıştırılır. Böylece malzeme sıkıştırma bölgesinden geçerek, homojen bir şekilde ergiyik hale dönüşür ve ergimemiş parçacıklardan yoksun bir şekilde daha sonraki bölgelere geçer.

3.1.3 Ölçme bölgesi

Bu bölgede vidanın dış yüksekliği tekrardan sabittir fakat besleme bölgesindeki dış yüksekliğinden çok daha azdır. Ölçme bölgesi, vidanın son kısmıdır ve ergimemiş plastik malzemeyi sabit hacim ve basınçta kalıp sistemine iletir. Ölçme bölgesinde ergiyik malzeme matrise, sabit debi, üniform sıcaklıkta malzeme ve basınç altında homojenleştirilir.

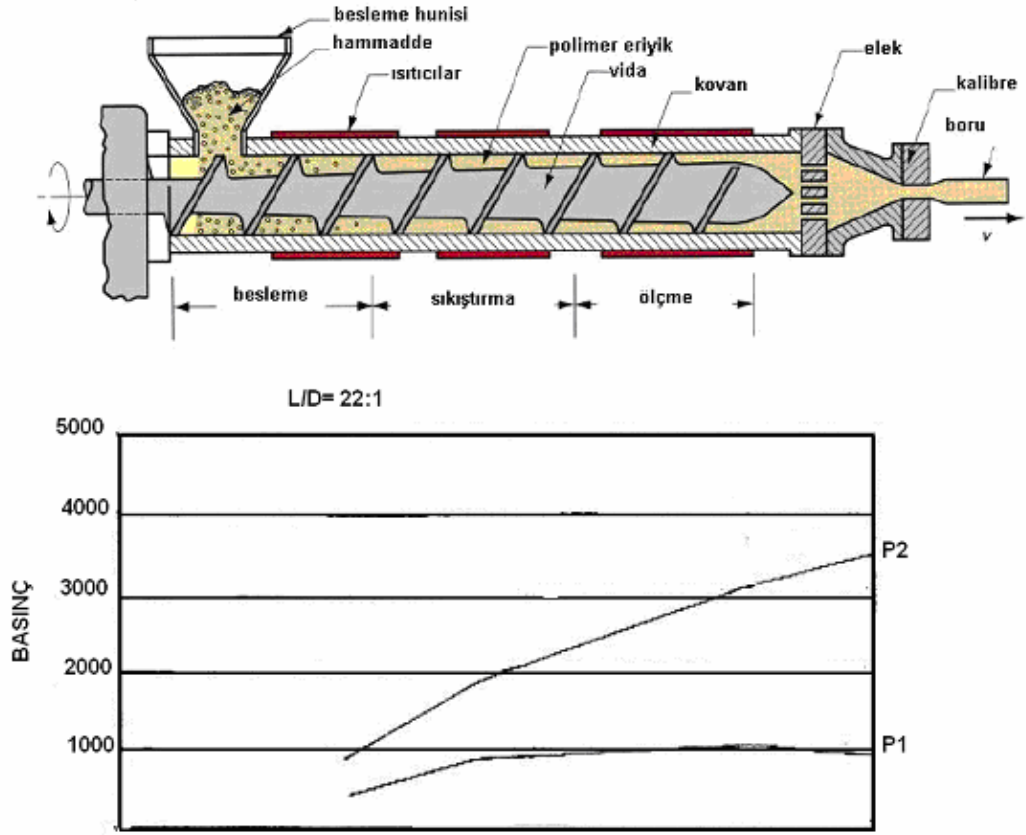
Şekil 3.3 de uzun bir vidanın basınç diyagramı bulunmaktadır. Özel bir vidada bölgelerin

uzunlukları ekstrüde edilen malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca ölçme bölgesi iki kısma ayrılarak vidanın tam ergimeyi ve homojenliği sağlayacak yivli bir karıştırma bölgesi içererek bir avantaj sağlayacaktır. Kısa geçiş bölgesine sahip bir vidada, geçiş bölgesinde çok şiddetli bir kayma artışı oluşur ve bu vida tipi bu nedenle rijit PVC ve benzeri yerel aşırı ısınma riski yüksek malzemelerde uygun olmayacaktır.

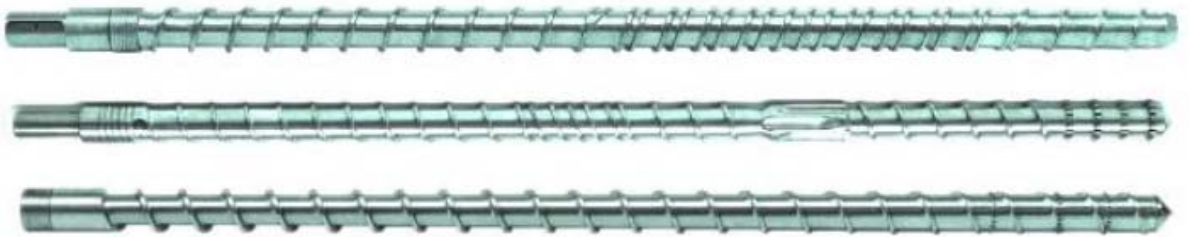


Şekil 3.3 Ekstrüder Vidasında tipik bölgeler (Turaçlı H., Ekstrüzyon teknolojisine giriş)

Şekil 3.4. de önerilen vida tipinin kısa geçiş bölgesi için basınç artışını göstermektedir ve basınç tepesinin vida sonunda olduğu görülebilmektedir, böylece itme riski daha da azaltılmıştır.



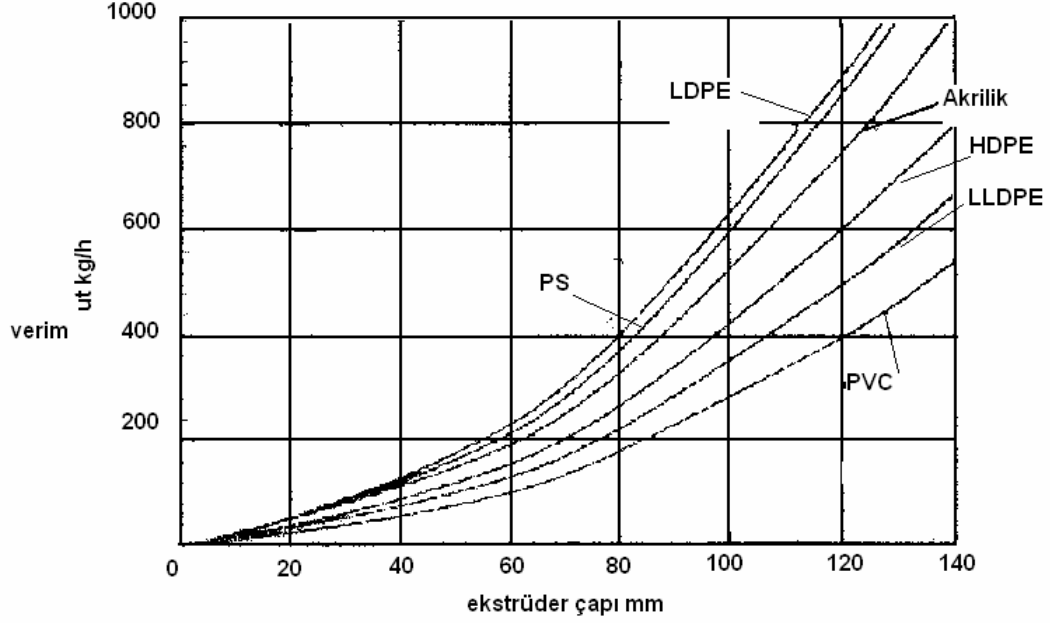
Şekil 3.4 Daha uzun ölçme bölgesinin max basınç üzerindeki etkisi (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)



Şekil 3.5 Farklı Ekstrüder Vidaları (Mikrosan Makine)

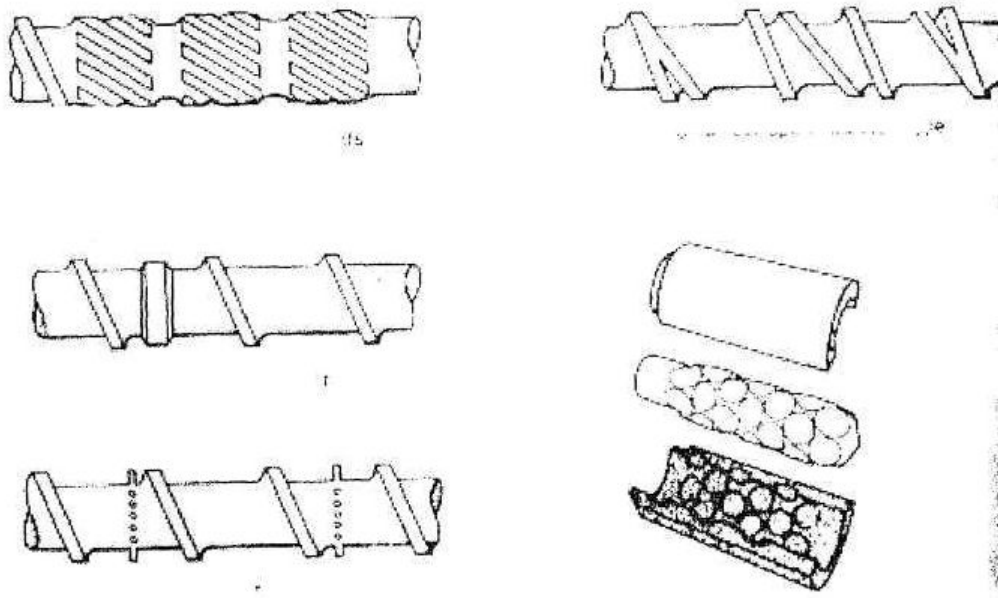
Yukarıdaki şekillerde görülen vida tipleri işlenecek polimer türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, naylon gibi, çabuk ergiyenlerde sıkıştırma bölgesi kısa iken PVC de sıkıştırma bölgesi tüm vida boyunca uzanacak ölçülerde ve çok uzundur.

Plastikler farklı viskozitelere sahip olabilirler, bu durum ekstrüzyon sırasında farklı davranışlar görülmesine sebep olur. Şekil 3.6 da farklı silindir çaplarıyla ekstrüderler de farklı plastiklerle oluşan bazı verim değerleri gösterilmiştir.



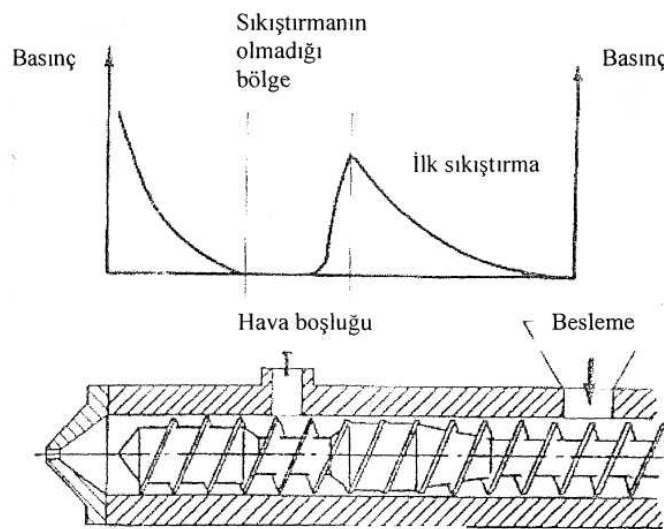
Şekil 3.6 Farklı Plastikler için Ekstrüder Verimleri (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

Ticari ekstrüderlerde eklenen bölgeler verim değerini arttırabilir. Örneğin ters çevrilmiş hatvelerden meydana gelen karıştırma bölgeleri olabilir. Bu bölgenin amacı eriğin uniform olmasını sağlamak içindir ve bu ölçme bölgesine yerleştirilmiştir. Şekil 3.7 de bazı ekstrüder vidalarında karıştırma bölgelerinin dizaynları gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Karıştırma Bölge Dizaynları (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

Ayrıca bazı ekstrüderler hava menfezi bölgesi içermektedir. Plastik malzemeler havada bulunan nemi absorbe ederek ekstrüder içine su buharı olarak girer. Eğer bu plastik malzemeler sıradan ekipmanlarla ekstrüde edilirse, eriyikte bulunan su buharı engellenmediğinden dolayı verim kalitesi iyi olmaz. Bir başka işlem ise plastik malzemenin ön kurutmaya tabi tutulmasıdır, fakat bu işlem pahalı olup; tekrar nemin malzemeye bulaşma olasılığı vardır. Hava kanalları açılmış silindirler bu problemlerin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir.

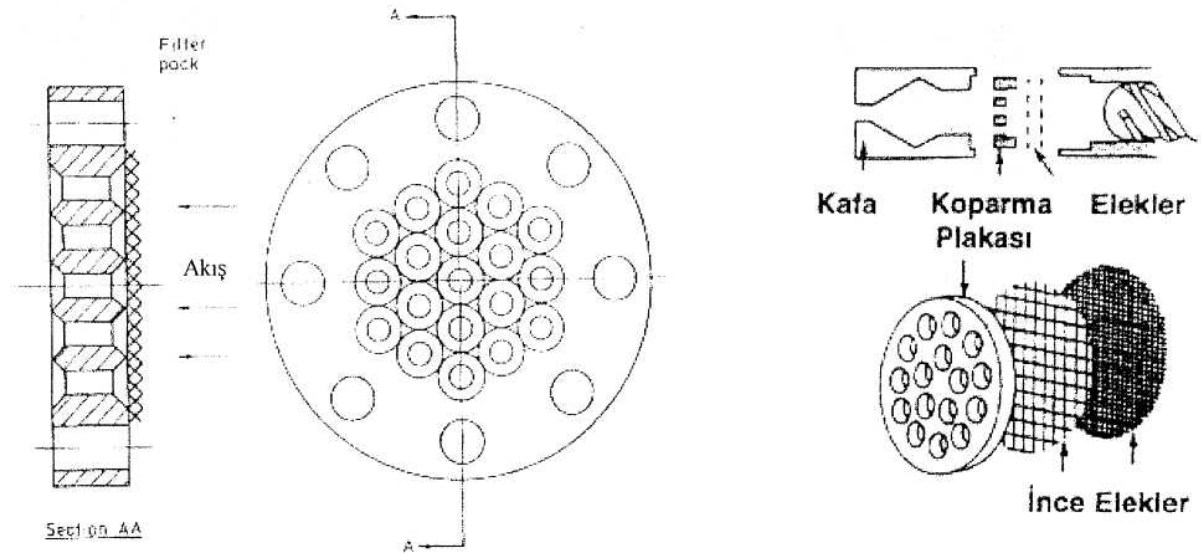


Şekil 3.8 Hava Menfezi Açılmış Ekstrüder (Friedhelm H., 1997, Plastic Extrusion Technology)

Hava deliği 250 ° C sıcaklıkta tipik olarak ekstrüzyonda çalışır. Plastik içinde bulunan su 4 MN/m² civarındaki basınçla buhar olarak çıkar. Bu basınçla kolaylıkla orifis çıkışından dışarıya atılacaktır.

Ekstrüderde, silindirin uç kısmında bulunan elekler ve kalıba uygulanan basıncı her tarafa eşit dağıtma gibi fonksiyonu olan koparma plakalarından geçtikten sonra, eriyik ürünün kesit şeklini belirleyen bir kafadan geçmeye zorlanır. Kafadan çıkan şekillendirilmiş plastik, sürekli soğutmayla katılaştırılır ve sistemden uzaklaştırılır.

Bu sistem iki önemli fonksiyonu yerine getirir. İlk olarak vidada bir geri basınç oluşturarak daha iyi bir karışım hareketi ve kayma gerilmesi sağlanırken, ikinci olarak elekler matrise giren malzemenin tamamen homojen olmasını ve yabancı maddelerden arındırılmasını sağlar.



Şekil 3.9 Koparma Plakası ve Elekler (Friedhelm H., 1997, Plastic Extrusion Technology)

3.2 Ekstrüderde Akış Analizi

Malzemenin ekstrüderden çıkışı; sürüklenme akışı, basınç akışı ve kaçak akışların birleşiminden oluşur. Ergiğin sabit viskozitesi de ve akışın ise geniş ve sık alanda izotermal olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar ölçme bölgesindeki şartlara çok yakındır.

3.2.1 Sürüklenme Akışı

İki paralel plaka arasındaki akış durumunu incelersek;

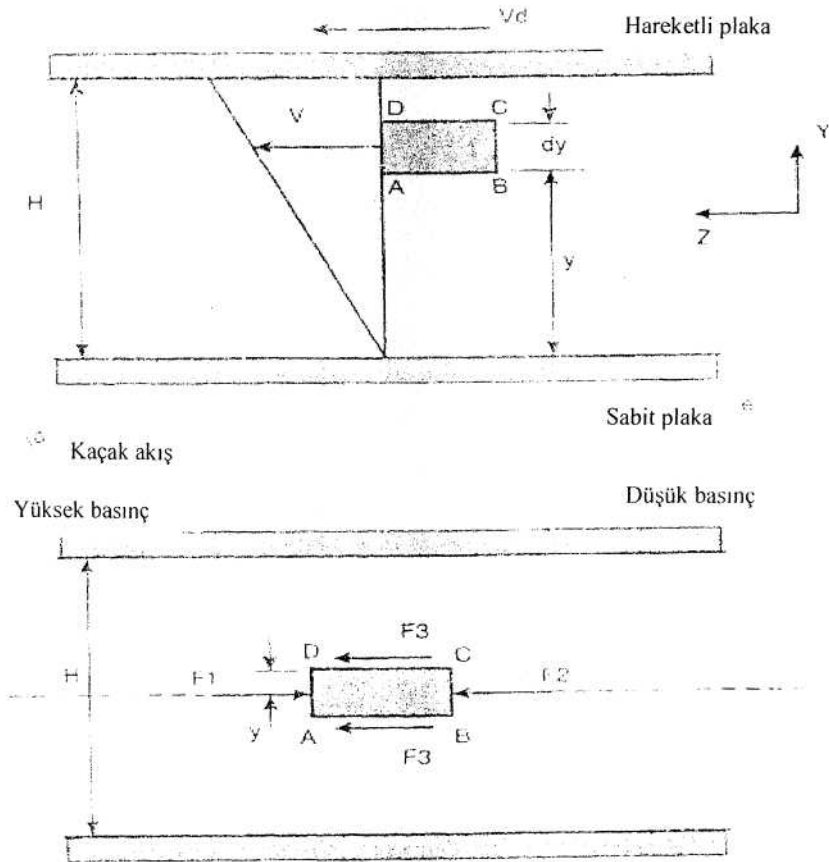
ABCD küçük eriyik parçası ele alınırsa, debi (Q)

$$dQ = V \cdot dy \cdot dx \quad (3.1)$$

Hız gradyeninin lineer olduğu kabulü ile buradan,

$$V / V_d = y / H$$

$$V = V_d \cdot y / H \text{ bulunur.}$$



Şekil 3.10 Paralel Plakalar Arasında Eriyik Akışı (Friedhelm H., 1997, Plastic Extrusion Technology)

Formül 3.1 de yerine koyarsak ve kanal derinliği H 'e bağlı olarak integrali alınırsa,

$$dQ = V_d \cdot y / H \, dy \cdot dx$$

$$Q_d = \int_0^H \int_0^T V_d y / H \, dy \, dx$$

$$Q_d = \frac{1}{2} V_d \cdot H \cdot T \quad (3.2)$$

V_d = Eksenel hız

$$V_d = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \phi$$

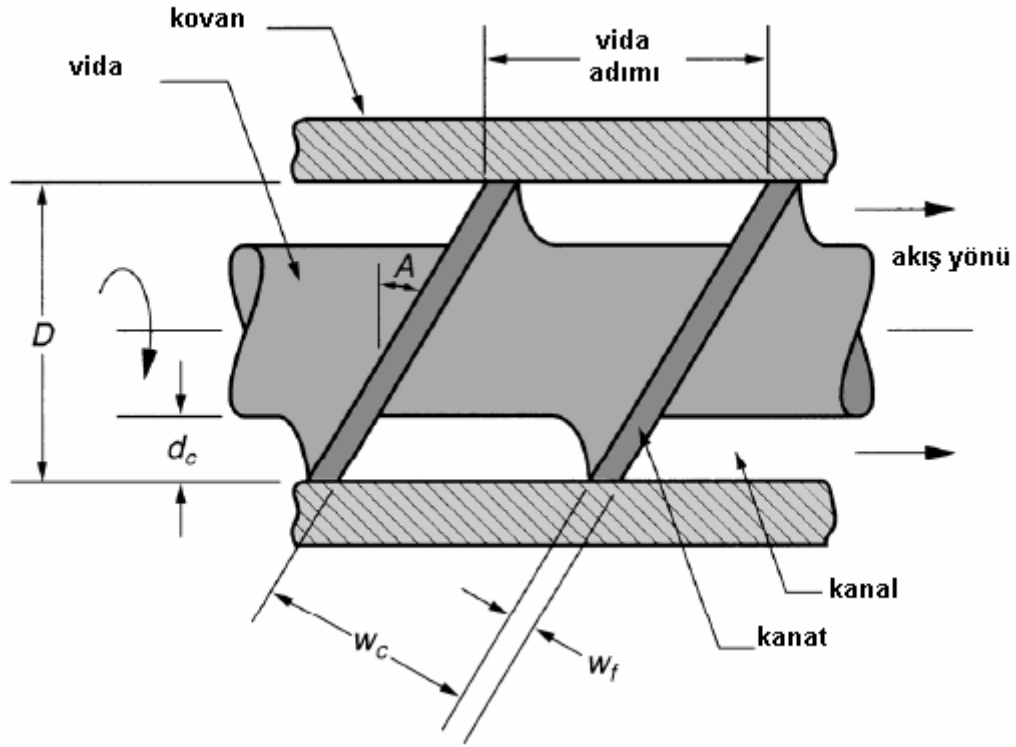
$$Q_d = \frac{1}{2} (\pi \cdot D \cdot N \cdot \tan \phi - e) (\pi \cdot D \cdot N \cdot \cos^2 \phi) H$$

Birçok durumda "e" ifadesi " $\pi \cdot D \cdot N \cdot \tan \phi$ " ile karşılaştırıldığında çok küçük kalacağı için ihmal edilebilir, o zaman;

$$Q_d = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \quad (3.3)$$

elde edilir.

Şekil 3.11 eriyik parçasının vida içerisindeki durumunu göstermektedir.



Şekil 3.11 Ekstrüder Vidasının Detayları (Turaçlı H., Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş)

3.2.2 Basınç Akışı

İlk şekildeki eriyik parçası dikkate alınır ve P basınç ve dt parça üzerindeki kayma gerilmesini belirtirse, buna göre kuvvetler;

$$F_1 = (P + \delta P / \delta z . dz) . dy . dx$$

$$F_2 = P . dy . dx$$

$$F_3 = \tau_x . dz . dx$$

Bu kuvvetler, sürekli akış için dengededir.

$$\text{Buradan; } F_1 = F_2 + F_3$$

Formülleri yerine koyarsak;

$$\frac{1}{2} dP / dz . dy = d \tau$$

haline indirgenebilir. Merkezden y uzaklıktaki kayma gerilmesini (τ_y) elde etmek için bu formülün integrali alınır;

$$\int_0^{2y} \frac{1}{2} \frac{dP}{dz} dy = \int_0^{T_y} d\tau$$

$$y \cdot dP / dz = \tau_y \quad (3.4)$$

Newtonien sıvı için kayma gerilmesi (τ_y) viskozite (η) ve kayma hızına (dV / dy) bağlıdır.

$$\tau_y = \eta \gamma = \eta dV / dy$$

bu değeri (3.4) formülünde yerine koyarsak;

$$y \cdot dP / dz = \eta dV / dy$$

$$\int_0^V dV = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \int_{H/2}^y y \cdot dy$$

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \left[\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right] \quad (3.5)$$

olur. Debi (dQ) ise ;

$$dQ = V \cdot T \cdot dy \text{ 'dir.}$$

Buradan basınç akışı (Q_p) integrale elde edilir.

$$Q_p = 2 \int_0^{H/2} \frac{1}{\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot T \cdot \left[\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right] dy$$

$$Q_p = - \frac{1}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot T \cdot H^3 \quad (3.6)$$

$$T = \pi \cdot D \cdot \tan\phi \cdot \cos\phi$$

Yukarıdaki şekilden de vida kanatları arasındaki eriyik parçası dikkate alınır ve $\sin\phi = dL / dz$ ve $dP / dz = dP / dL \sin\phi$

Kabul edilirse (3.6) nolu ifade ;

$$Q_p = - \frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dL} \quad (3.7)$$

3.2.3 Kaçak Akış

Kaçak akış, derinliği d , uzunluğu ($e \cos\phi$), genişliği ($\pi \cdot D / \cos\phi$) olan bir kanal boyunca düşünülebilir. Bu bir basınç akışı olduğu için (3.6) daki bağıntı kullanılabilir.

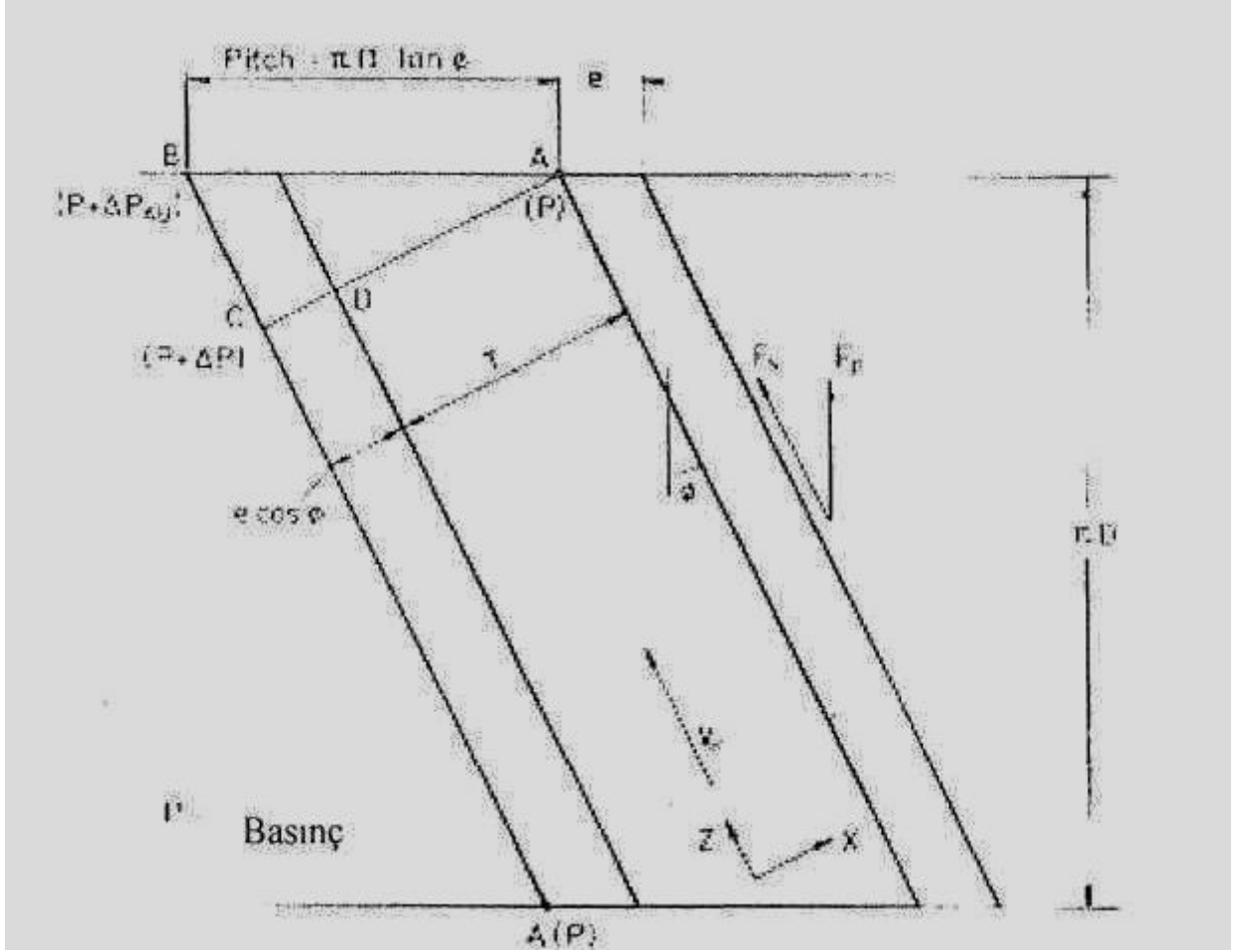
$$h = \delta$$

$$T = \pi \cdot D / \cos\phi$$

Basınç gradyeni = $\Delta P / e \cos\phi$ ' dir.

Böylece kaçak akış debisi (Q_L) ;

$$Q_L = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3}{12\eta \cdot 2\eta} \cdot \tan \phi \cdot \frac{dP}{dL} \quad (3.8)$$



Şekil 3.12 Geliştirilmiş Vida Detayı (Friedhelm H., 1997, Plastic Extrusion Technology)

Vidanın kovan içindeki aksenal kaçıklığı (eksantrikliği) da dikkate alınmalıdır. Kaçak akış bu durumda %20 civarında artış gösterecektir. Ekstrüderdeki toplam malzeme çıkışı, sürüklenme, basınç ve kaçak akışın kombinasyonu sonucunda oluşur. Böylece (3.3), (3.7), (3.8) bağıntılarından,

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi - \frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12 \eta} \cdot \frac{dP}{dL} - \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3}{12 \eta \cdot e} \cdot \tan \phi \cdot \frac{dP}{dL} \quad (3.9)$$

Pratikte kaçak akış ihmal edilebilir. Ayrıca basınç gradyeni aşağıdaki şekilde lineer olarak düşünülebilir.

$$dP / dL = P / L$$

3.3 Ekstrüder / Kafa Karakteristikleri

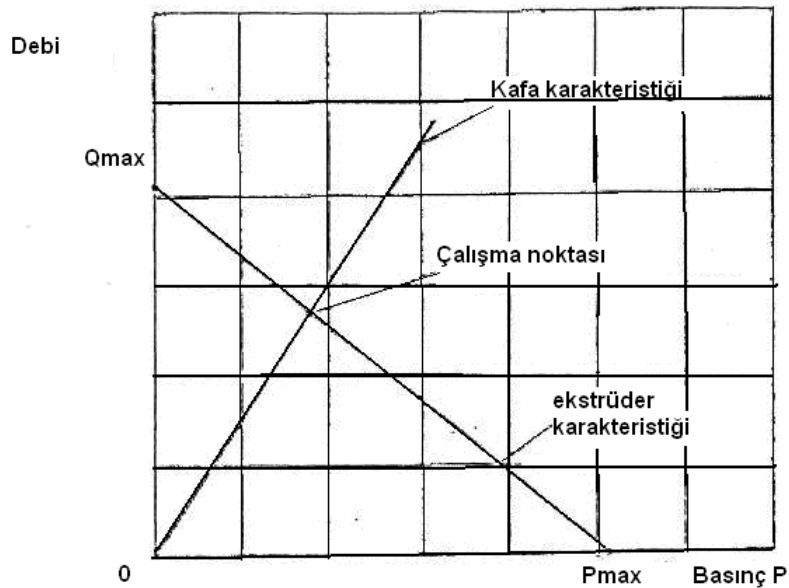
Bağıntı (3.9) 'dan iki nokta rahatlıkla tespit edilebilir. Bunlardan biri ekstrüder ucunda serbest akışın olduğu durumdur.

$$Q = Q_{\max} = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin\phi \cdot \cos\phi$$

Diğeri ise ekstrüder çıkışında akış olmayacak şekilde büyük basıncın olmasıdır. Yine (3.9) da kaçak akışı ihmal eder ve $Q = 0$ dersek ;

$$P = P_{\max} = \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N \cdot \eta}{H^2 \cdot \tan\phi}$$

Daha önceki şekilde verilen ekstrüder karakteristiği benzer olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir. Ekstrüder, çıkıştaki basınç düşük ise yüksek çıkış verir. Ancak ekstrüder çıkışı kafa girişidir ve kafa giriş basıncı arttıkça da kafa çıkışı artacaktır.



Şekil 3.13 Ekstrüder ve Kafa Karakteristikleri (Demirel T., Plastik Ekstrüderlerinde Malzeme Akışı)

$$K = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta \cdot L_d}$$

R kafa geçiş radyusu ve L_d kafa uzunluğuyken Newtonien akışlarda kafa çıkışı Q;

$$Q = K \cdot P \text{ 'dir.} \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliği, Şekil 3.13' de gösterilen kafa karakteristiklerini oluşturur ve iki karakteristiğin kesişme noktası ekstrüderin çalışma noktasıdır. Yukarıdaki şekilde çıkış üzerinde ne çeşit parametrelerin etken olduğunu göstermesi açısından ilginçtir. Örneğin; vida hızının (N) arttırılması ekstrüder karakteristiğini yukarı doğru çekecektir. Benzer şekilde kafa radyusunun (R) arttırılması kafa karakteristiğinin eğimini arttıracaktır. Her iki durumda ekstrüder çıkışını arttıracaktır. Ekstrüder / kafa kombinasyonunun çalışma noktası, kaçak akışın ihmal edilmesiyle (3. 9), (3.10) eşitlikleriyle belirlenebilir.

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi - \frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12 \eta} \cdot \frac{P}{L} = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta \cdot L_d} \cdot P$$

çalışma noktasındaki basınç ;

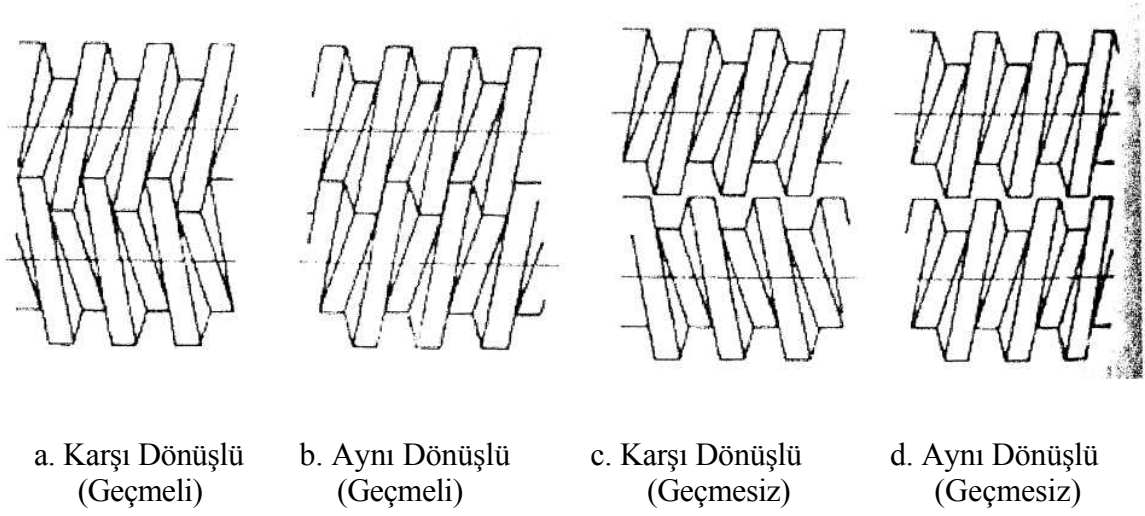
$$P_{OP} = \left\{ \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi}{\left(\frac{R^4}{2 \cdot L_d} \right) + \left(\frac{D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{3 \cdot L} \right)} \right\} \quad (3.11)$$

3.4 Çift Vidalı Ekstrüderler

3.4.1 Çift Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri

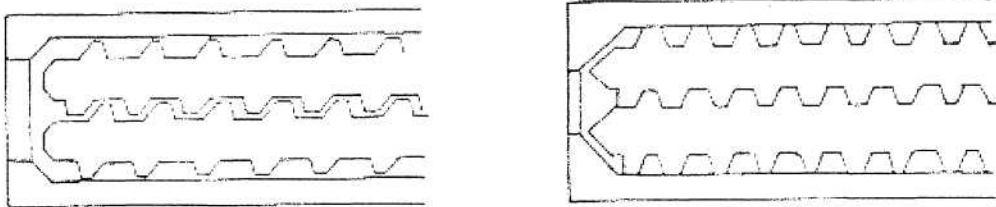
Bu makineler tek vidalı ekstrüderler ile kıyaslandığında yüksek verim, etkin karıştırma ve ısı üretimi gibi konularda daha geniş olanaklara sahip olduğu söylenebilir.

Çift vidalı ekstrüderler terimi çok genel olarak iki vidalı her ekstrüder için kullanılsa da gerçekte çift vidalı bir makine tipi bulunmaktadır. Şekil 3.14'te karşı dönüşlü ve aynı dönüşlü vidalı ekstrüderlerden bazılarının vidalarının birbirine göre durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Değişik çift vidalı ekstrüder tipleri (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

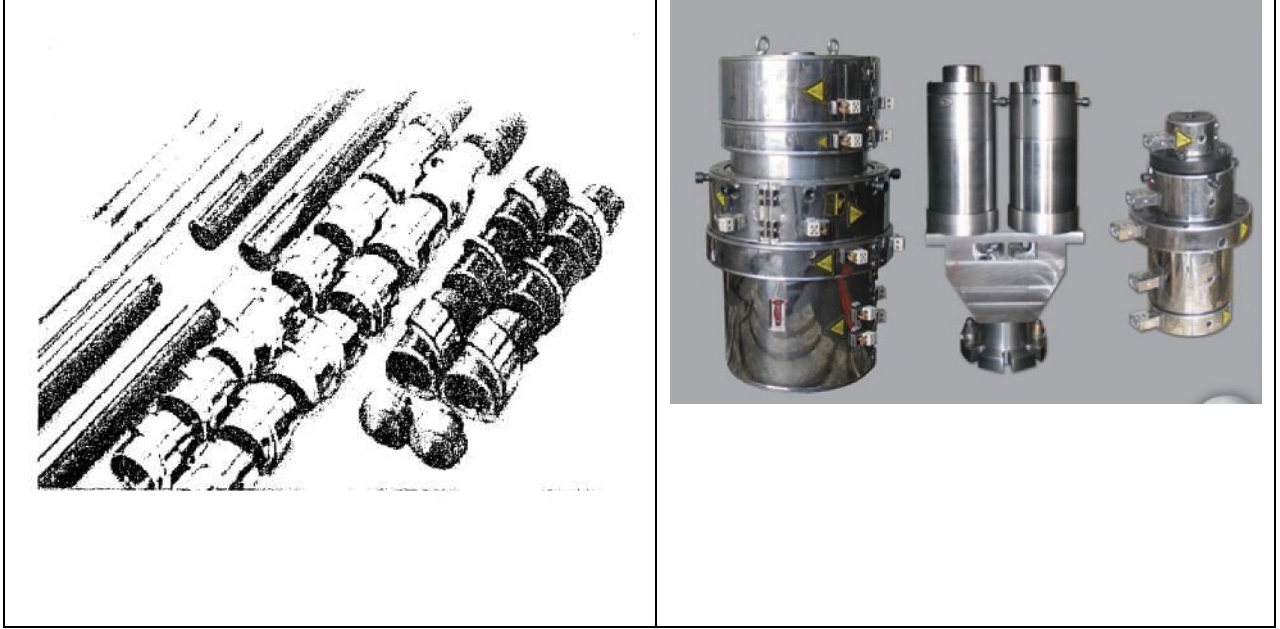
Bunun yanında vidalar birleşmiş veya birleştirilmemiş olarak da düzenlenebilir. Birleşmemiş vidalar ile oluşturulan yapıda, vida taşıyıcı yüzeyleri arasında malzeme geçişine imkan sağlayacak belli değerde bir boşluk bulunur.



A. Aralarında boşluk bulunan vidalar B. Aralarında boşluk bulunmayan vidalar Şekil

3.15 Çift vidalı ekstrüder konum tipleri (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

Bir karşı dönüşlü, çift vida ekstrüderde malzemeye uygulanan kayma gerilmesi ve basınç değerine yakın bir mekanizmayla gerçekleştirilir ve malzeme etkin bir şekilde karşı dönüşlü vidalar arasında sıkıştırılır. Aynı dönüşlü sistemde malzeme aşağıdaki şekilde görülen formu oluşturacak şekilde bir vidadan ötekine aktarılabilir.



Şekil 3.16 Modüler çift vidalı ekstrüder (Mikrosan Makine)

Bu tip sıralama, özellikle ısı hassasiyete sahip malzemelere, malzeme ekstrüderden hızlıca ve düşük sıkışma olasılığı ile iletilebildiği için uygulanan ideal bir düzenlemedir. Vidalar birleşmiş ise, vidaların çevresindeki hareket yavaştır ama itici hareket daha büyüktür.

3.5 Tek ve Çift Vidalı Ekstrüderlerin Karşılaştırılması

Tek ve çift vidalı ekstrüderler arasındaki en önemli farklardan birisi tek vidalılarda ısının büyük bir kısmının vidayı tahrik eden motor ile sağlanması ve buna karşılık çok vidalılarda dış ısıtıcıların kullanımına ihtiyaç duyulmasıdır. Karşılaştırılabilir verimlerdeki tek vidalı bir ekstrüdere göre, çok vidalı bir ekstrüderin maliyeti konstrüksiyonunun karmaşıklığından ötürü daha yüksektir. Ayrıca çok vidalı ekstrüderlerde karşılaşılan

yataklama ve tahrik güçlerinin yanı sıra kovanın adaptör bölgesinin geometrik yapısının akımı düzgünleştirmek üzere düzenlenmesi de önemli bir sınırlamadır. Genel olarak çift vidalı ekstrüderler bu sınırlamaların önemsiz olduğu veya ekstra maliyete karşılık işlem avantajlarının kayda değer olduğu durumlarda tercih edilir.

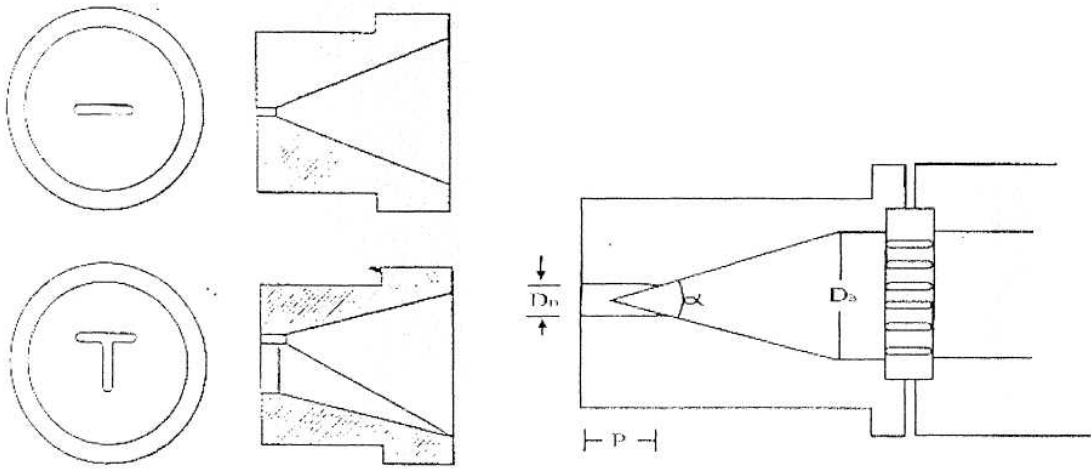
Çift vidalı ekstrüderler, tek vidalı ekstrüderler ile işlenmesi zor malzemeleri, daha toleranslı ekstrüzyon koşullarında başarıyla işlemeye fırsat tanır. İki tip ekstrüderde kullanılan basınç mekanizmaları farklı olduğundan, çift vidalı ekstrüderler, sistemde geri basınç oluşumunda kullanılan matris kısılmasına daha da az bağımlıdır. Dolayısıyla bu tip ekstrüderler özellikle işlenmesi zor malzemelerden kaim kesitlerin ekstrüzyonu için tek vidalı ekstrüderlere göre daha uygundur. Çizelge 3.1’ de çift ve tek vidalı ekstrüderlerin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çift ve tek vidalı ekstrüderlerin karşılaştırılması

TİP	TEK VİDALI EKSTRÜDER	AYNI DÖNÜŞLÜ ÇİFT VİDALI EKSTRÜDERLER	KARŞI DÖNÜŞLÜ ÇİFT VİDALI EKSTRÜDERLER
PRENSİP	silindir ve malzemeler arasında sürtünme, malzeme ve vida arasında sürtünme	Tek vidalı ekstrüderle aynı prensipte, sürtünme hareketiyle.	Dişli pompa prensibine göre baskılı mekanik iletim.
İletim Etkinliği	Düşük	Orta	Yüksek
Karıştırma etk.	Düşük	Orta /Yüksek	Yüksek
Kayma Gerilimi	Yüksek	Orta /Yüksek	Düşük
Isı Üretimi	Yüksek	Orta /Yüksek	Düşük
Isı Dağılımı	Geniş	Orta / Dar	Dar
Max. Dönme Hızı	100-300	25-35/250-300	35-45
Max. Etkin vida boyu L/D	30-32	7-8/30-40	21-10

3.6 Matris ve Matris Tasarım Prensipleri

Ekstrüzyon işlemi genel anlamıyla bir malzemenin bir baskı ile itilip, bir şekillendiriciden geçirilerek biçimlendirilmesidir. Burada şekillendirici diye adlandırdığımız aslında matris olmaktadır. Matrisler elde edilmesi istenen mamul şekline göre değişik tasarımlara sahip olabilmektedirler. Ekstrüzyon matrisleri basit olarak hazırlanırlar. Matrisler ve matris sabitleyicileri makinenin önünden ya da çıkış ucundan desteklenirler. Matrisin güvenli montajı ve çabuk değiştirilmesi önemlidir. Flanşlı matris taşıyıcıları yaygın olarak kullanılırlar matris mengene ile kovana tutturulabilir. Bu daha pahalı olan tüp matrisleri için modifiye edilebilen basit bir düzenlemedir. Tüp matrislerinde merkezi mandrel ayarlanması için düzenlemeler yapılmalıdır ve üniform duvar kalınlığı için dış çapa göre ayarlanabilen bir istavroza monte edilmelidir. Ekstrüzyon operasyonunda matris profilinin kesin ön belirlemesinin yapılması sırasında yeterince beklenmeyen olay ortaya çıkabilecek olmasına karşın, matris tasarımı ve ayrıntılarının hazırlanmasında, ekstrüde edilen malzemenin karakteri ve şeklinin kontrolü için birkaç basit prensip vardır. Tasarıma, bu prensiplerden hareket ederek başlanır.

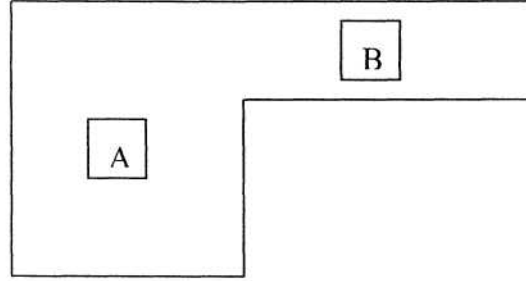


Şekil 3.17 Matris kesitleri (Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojileri, 1996)

Delikli plakadan dolayı bu plakanın ekstrüder tarafındaki erimiş plastikteki basınç, bu plakanın kalıp tarafındakinden büyüktür. Kalıp çıkışında basınç sıfırdır. Ayrıca kalıp da yeterli yüksek basıncı sağlamak önemlidir, böylece delikli plakadan süzülüp çıkan erimiş plastik kalıptan çıkmadan önce tekrar birleşir. Bu basınç kalıp çıkışındaki daralmayla

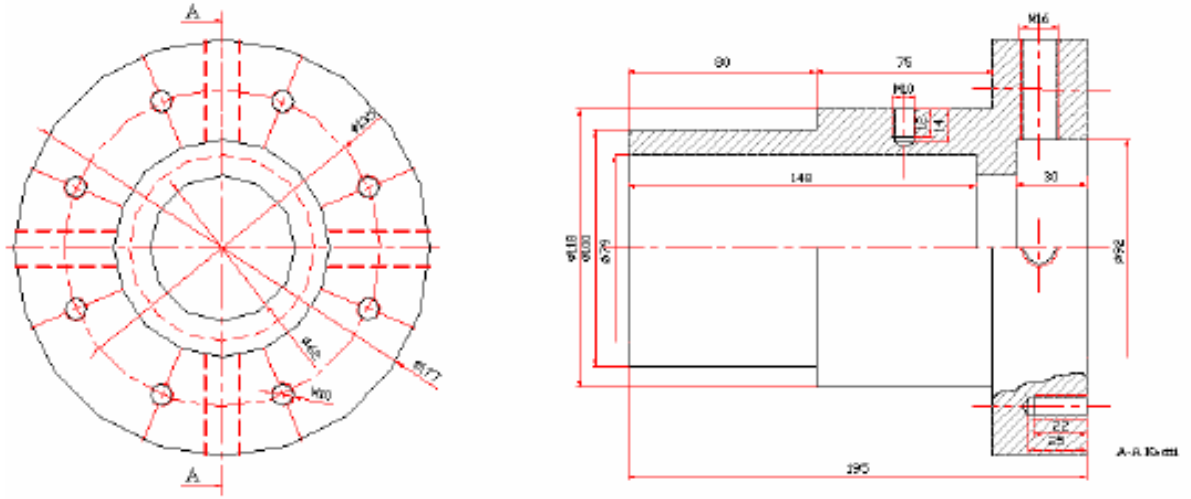
sağlanır. Bunun için DD/DB arasındaki fark 1 'den küçük olmalıdır. Pratikte bu normal olarak 0,5 'ten küçük olmalıdır.

Termoplastik malzemenin matris içinde akışına karşı olan sürtünme direnci matris boyu ile orantılı olmalıdır. Bu prensip, matris tasarımında pratik bir uygulama alanı bulmuştur, değişken alan uzunluğu çalışıldığında matris ağzından çıkan malzeme miktarının herhangi bir kesitte kontrol olanağı sağlanmıştır. Böylece eğer ekstrüzyon ürününün bir bölümünün kalınlığı azaltılacak ise matris ağzı küçültülebilir ya da bu bölgenin arkasında matris alanı uzatılabilir. İdeal koşullar altında matrsten akacak malzeme miktarı, matris uzunluğu ve plastik viskozitesi ile ters orantılıdır. Eğer ekstrüde edilmiş ürünün merkezinde şişkinlik eğilimi görülüyorsa matris çıkışına ters bir eğrilik ya da çıkışın arkasındaki alana daha büyük derinlik verilerek matris tasarımında özel kesitler için akışa karşı daha büyük direnç ile şişkinlik eğilimi düzeltilir. Düzgün olmayan cidar kalınlıkları, soğuma hızlarının farklı olmaları nedeniyle, ekstrüzyon ürününün boyutsal doğruluğunun kontrolünü zorlaştırır.



Şekil 3.18 Ekstrüde edilecek malzeme

Şekil 3.18 'de parçanın A bölümünden çıkan erimiş plastiğin hızı, B bölümünden daha fazladır; çıkan ürün spiral olma eğilimi gösterir. Bunun önlenmesi için A parçasındaki akışı azaltmamız gerekmektedir; bu A bölgesindeki kalıp paralelini B den daha uzun yapmakla sağlanır.



Şekil 3.19 Plastik boru ekstrüzyon matrisi

Soğuma sırasında hacimsel büzülme için izaftı olarak soğuk ince kesitlerdeki malzemeler sıcak kesitlere doğru hareket etme eğiliminde olacaklardır. Ekstrüde edilmiş bölümlerin boyutlarının kontrolü için soğuması uzun süre gerektiren kesitlere doğru etkin hava akışının yönlendirilmesi sağlanır. Matris boyunca akan termoplastik malzeme viskozitesinin düşük olması için matris sıcaklığının yüksek olması gerekirken matris köşelerinde gerçek malzeme akışından önce düşük sıcaklıklar, malzemenin katılaşmasına yardımcı olmak ve güvenli boyutlar için yararlı olabilir.

Düz levha ve benzeri ürünler için kullanılan askı kalıp, matris tasarımında önemli bir prensibi oluşturur. Levhanın köşelerindeki eriyik levhanın merkezine giden eriyiğe göre matris içinde daha çok yol almaktadır. Böylece, merkezde üçgensel bir engel olan diyagonal eriyik kanalı, direkt akışı belirli açılarda sınırlamak için kullanılır. Hemen hemen bütün ekstrüzyon ürünleri matrisi yüksek viskoziteli eriyik olarak terk ettikleri için matristen çekilerek uzaklaştırılmalıdırlar. Ekstrüzyonun soğuma aleti boyunca hızı çekme ruloları ve uzaklaştırma bandı ile kontrol edilir. Malzeme, matrisleri çıkış hızından biraz daha hızlı hareket eden uzaklaştırma bandı tarafından çekileceğinden gerçek matris ağzı istenen profilden % 10–15 daha büyük olmalıdır. Bu izaftı hareket ekstrüzyon ürününde üniform

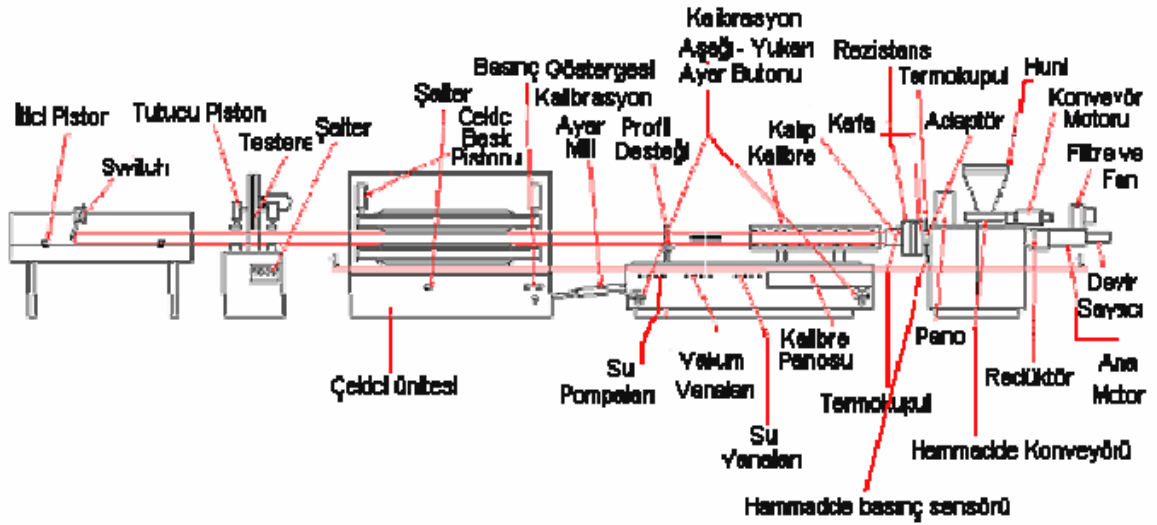
kalite ve boyutların elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Elastomerik bileşenler ise aynı oranda çekildiklerinde %30 a kadar şekil değiştirme eğilimindedirler. Plastik ekstrüzyonunun en önemli yönlerinden biri olan ekstrüde edilmiş kesitlerin çekilmesi, ekstrüzyon hızı ile kontrol edilen ve ayarlanan bant hareketinin yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Ekstrüzyon ürününü soğutması ve tavlama büyük önem taşımaktadır. Gelişen sonuç özellikle soğutmaya bağlıdır ve genellikle ekstrüzyon kalitesini belirler. Çekmenin oluştuğu sıcaklık kritiktir. Genel amaç, sıcak ekstrüzyon yüzeyinde boyutsal doğruluğu sağlayıcı bir tabaka oluşturmak ve tabakanın bütünlüğünü korumaktır. Ancak belirli bir oranda soğutmayı tatmin edici özellikler sağlar. Çekme ruloları ya da bantları mümkün olan en yakın yere yerleştirilerek ekstrüzyon ürününün rulo ve bantların basıncı nedeniyle deforme olmaları önlenir.

4. KALİBRASYON VE SOĞUTMA İŞLEMİ

4.1 Kalibrasyon Sistemleri

Ekstrüde edilen malzeme matrizen çıktığında hala yarı eriyik haldedir. Matrizen çıkışta profillere herhangi bir destek sağlanmamış olsaydı ekstrüde edilen malzeme buruşur ve yığılırdı. Kalibrasyon işlemi sırasında amaç, matrizen çıkan yumuşak malzemeye destek olarak profilin şeklini korumasına yardımcı olmaktır. Kalibrasyon işleminin diğer bir görevi de şekil ve boyut tamlığını sağlamaktır. Bu ifade yumuşak veya kauçuk gibi ürünlerde uygulanmamaktadır. Tübüler film veya yassı film üretiminde bu işlemler büyük hacimdeki soğuk havanın üflenmesi, su banyosundan uygun bir hızda geçirme veya soğutma merdanelerinin kullanılması gibi mamule göre değişen yöntemlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Ama rijit boru veya profil üretimi gibi işlemlerde daha somut yöntemler gerekmektedir.

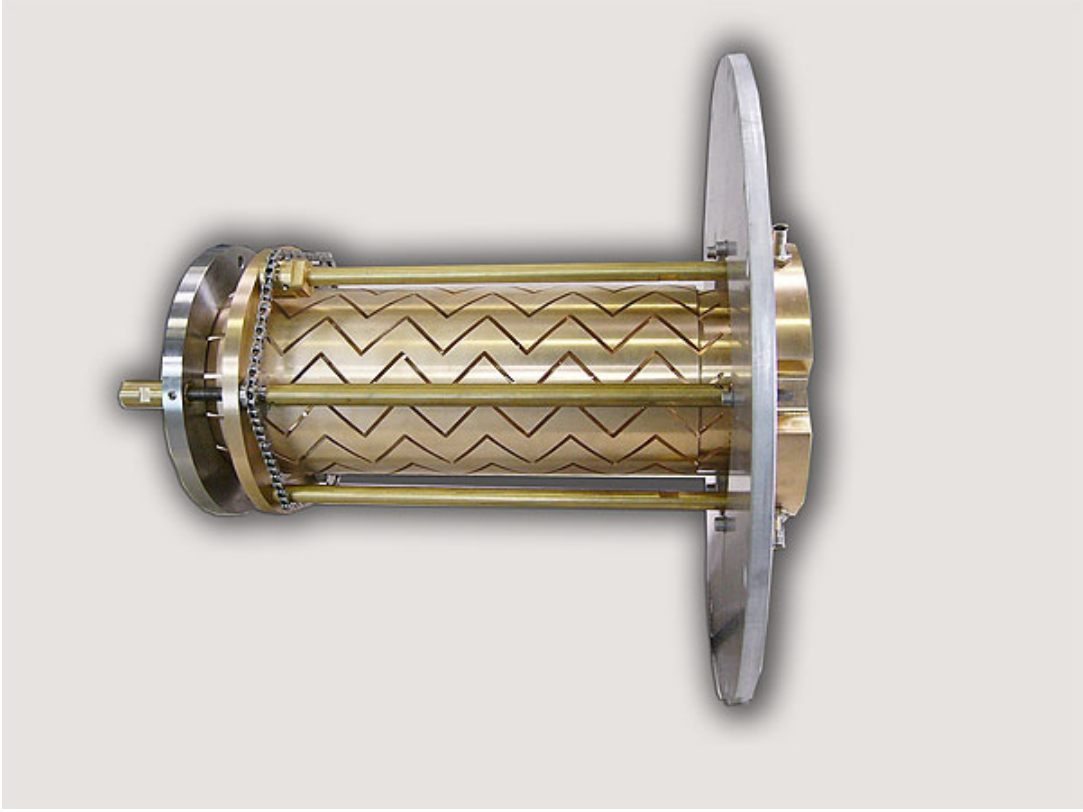


Şekil 4.1 Basit boru ekstrüzyonu işlemi

Kalibrasyon işlemi ile profilin almış olduğu ilk kaba şekil, kademeli olarak değiştirilerek son şekil ve boyutlara getirilir. Kalibrasyonun bir görevi de profilin soğutulması işlemidir. Bu soğutma işlemi de kalibrasyonun bir parçasıdır. Soğutma işlemi profilin büyüklüğüne göre kademeli olarak yapılmaktadır.

4.2 Kalibrasyon İşlemi

Ekstrüde edilen profil matristen çıkıp kalibratöre girmektedir. Malzeme kalibrasyon boşluklarından geçerken hem soğutulur hem de tam ölçüsüne getirilir. Bunları sağlamak için kalibratörde özel düzenekler bulunmaktadır. Kalibratörde profil ile temas eden iç yüzeylerde kılcal delikler vardır. Bu deliklerden uygulanan vakum $0,8 - 8 \text{ kg/cm}^2$ ile profilin çeperlere doğru çekilmesi sağlanır. Ayrıca soğutma için kalibratörlerde su kanalları da mevcuttur. Bu kanallar profil ile temas eden yüzeye yakındır ve buralarda dolaşan su vasıtası ile profilin sahip olduğu ısı çekilir.



Şekil 4.2 Boru kalibratörü

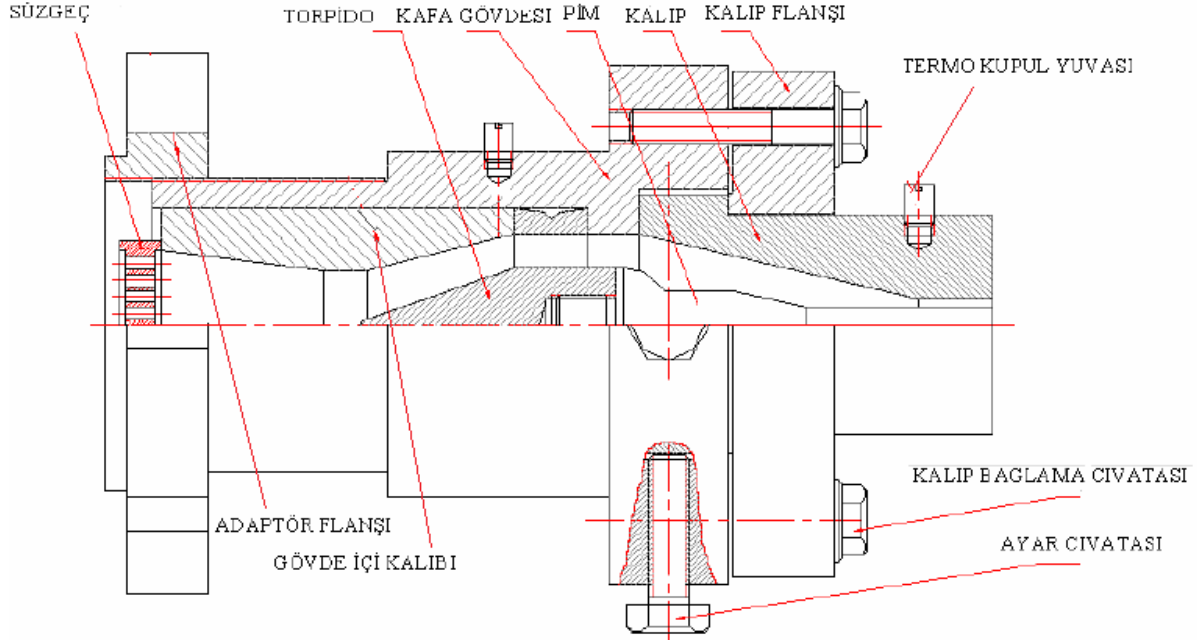
İçinde bulunan su kanalları vasıtası ile soğutma yapılan kalibratörlerde kuru kalibratörler denilmektedir. Bu kuru kalibratörlerin boyu, kapasiteye ve profilin şekline göre 200 – 1200 mm arasında değişebilmektedir



Şekil 4.3 Ekstrüder, kalibrasyon bölümü ve çekme ünitesi

4.3 Rijit ve Yarı Rijit Borular için Kalibratörler

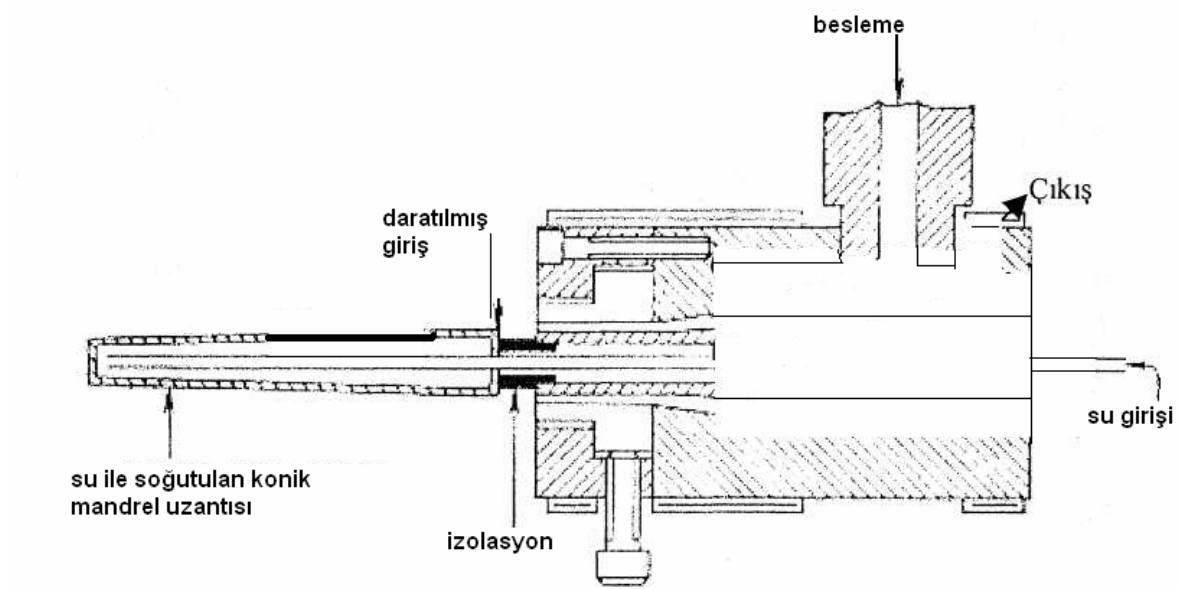
Boru kalibrasyonun da kullanılan iki ana sistem vardır. Bunlar iç ve dış ölçümleme sistemleridir. Belli bir dereceye kadar ovalliğini kabul edilebildiği durumlarda kalibratör kullanılmaz. Örneğin, sonradan şekillendirilecek ya da levha haline getirilmesi için yarılanacak borular kalibratör olmadan üretilir.



Şekil 4.4 Kalibratör kesiti

4.3.1 İç Kalibratörler

Aşağıdaki şekilde borunun iç çapının sabitliğinin, mandrel üzerindeki su soğutmalı konik ilave parça ile, dış kalibrasyon sistemlerindeki dış çapın kontrolüne benzer bir şekilde sağlandığı bir iç kalibratör görülmektedir. Bu tip iç kalibratörler, mandrelin ilave parçasının soğutmasının güçlüğünden ötürü normalde sürekli matrisler ile kullanılmaz. Bunların ideal kullanımı kaymış matrisler ile gerçekleşir. Bu sistemin getirdiği en büyük avantaj, aynı zamanda borunun hem içinin, hem de dışının soğutulabilmesi ile işlemin hızının artmasıdır. Bu şekildeki bir iç kalibratörün diğer avantajları, hava basıncına bağlı problemlerin olmaması ve mandrel ilave parçasının değiştirilmesi suretiyle dairesel kesitli bir matristen, dairesel kesitli olmayan hassas profillerin üretilmesidir. Operasyon, sırasında mamul soğuma esnasında kendini çekme eğilimi gösterdiği için uzatılmış matris üzerinden çekilir. Bu kendini çekme, parçanın şekillendirilmesi için gereken kalibrasyon basıncını sağlar. Çekme kuvveti gereksinimi genelde dış kalibrasyonda gerekenden büyüktür ama kendini çekme derecesi dolayısıyla mandrel uzunluğu ve konikliği, soğutma sıcaklığı, mandrel yüzeyi ile belirlenebilir.

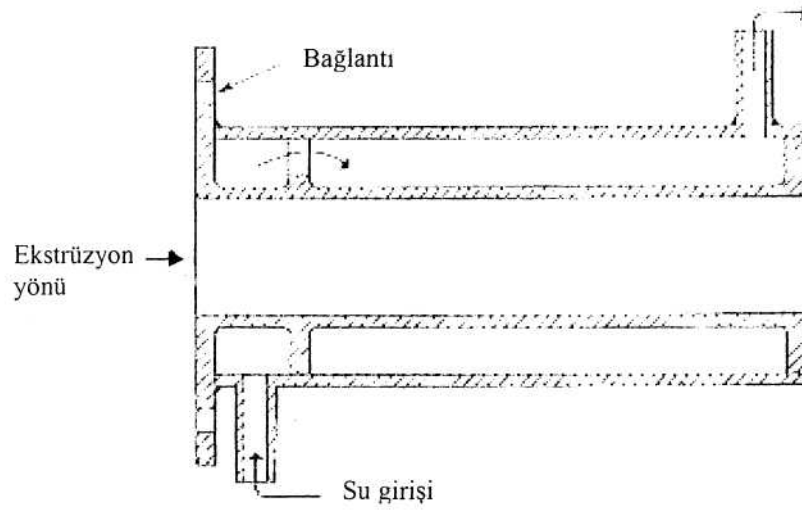


Şekil 4.4 Kaymış matris ile iç kalibratör (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Bu düzenlemeler borunun lineer hızı, mamulün başlangıç sıcaklığı, et kalınlığı ve polimerin fiziksel özellikleri gibi faktörlerden etkilenir. Bunun yanında, başlangıç için mandrel ilave parçasının uzunluğunun her mm. 'si için 0,004 mm 'lık bir eğim değeri alınır.

4.3.2 Dış Kalibratörler

Dış kalibrenin genel olarak formu şekil 4.5 'de görüldüğü gibidir. Bu gibi kalibratörler esas olarak iç çapı, imal edilecek borunun dış çapının kendini çekmesi göz önünde bulundurulardan hesaplanan değerine göre işlenmiş bir su gömleği borusundan oluşur. Bu sistem, matris ile arasındaki ısı transferi minimum olacak şekilde monte edilir. Yumuşak termoplastik boru izole edilmiş ucu ile kalibratörden geçerken, mandrelde ki hava deliğinden gelen basınçlı hava ile sürekli şişirilen borunun dış yüzeyi, kalibratör cihazının soğutulan iç yüzeyi ile kayma basıncı temasında olur ve dış yüzeyler istenen ölçülere getirilir. Kullanılan hava basınçları borunun et kalınlığına ve malzemenin viskozitesine göre değişir.



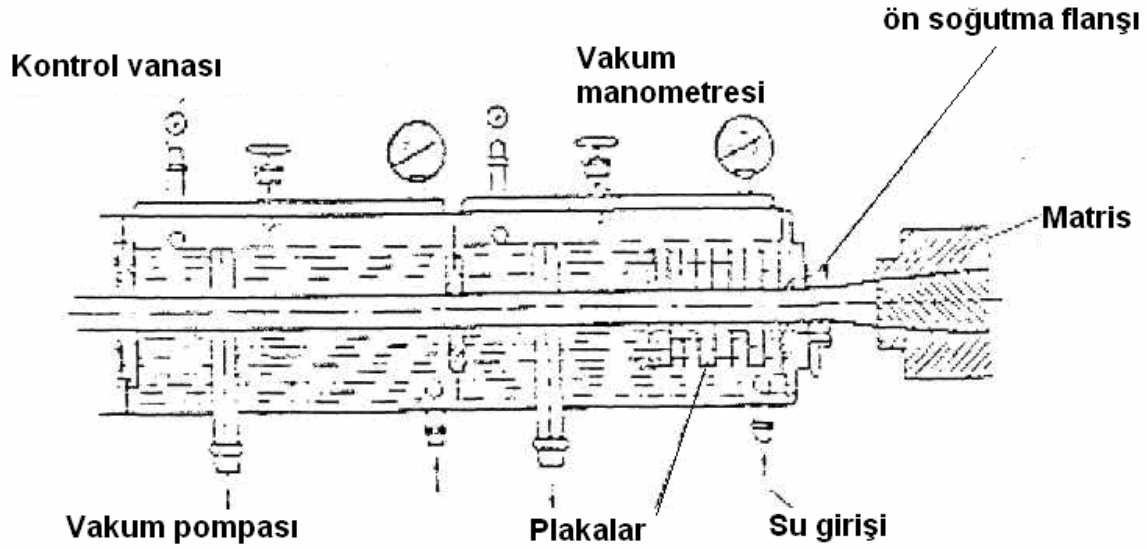
Şekil 4.5 Su ile soğutulan dış kalibratör (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Bu şekilde borunun dış tabakası formunu koruyacak biçimde soğutulur ve et kalınlığındaki asıl soğutma su banyosu, su spreyi gibi takip eden işlemlerle gerçekleştirilir. Kalibratörün uzunluğu, plastik borunun temas süresince sonraki soğutma işlemleri sırasında deforme olmamasını sağlayacak dış yüzey soğuma derinliğini verecek şekilde seçilir. Dolayısıyla bu uzunluk borunun lineer ilerleme hızı, sonraki soğutmanın etkinliği, malzemenin plastiklik



Şekil 4.6 Soğutma tankı

Benzer bir yöntemde hareketli tıpa elektromanyetik olarak konumlandırılmaktadır. Dış basınç sistemlerinde iç basınç kaybının olumsuz etkilerinden kaçınmak için yüksek verimli hatlarda tek alternatif olarak iç basınçlı kalibrasyon sistemlerinin yerini almış olan vakum kalibrasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Vakum tankında çapı 1 mm 'den 2000mm'ye kadar değişen tüm termoplastik boruların sabit kalitede, en uygun boyutsal hassasiyetle ve verimde kalibrasyonu mümkündür. İki temel vakum kalibrasyon sistemi vardır. Bunlardan birincisinde tek bir üniteye borunun soğutulup, kalibre edildiği alternatif vakum ve su soğutma bölgeleri bulunmaktadır. İkincisinde ise birkaç tane vakumla şekillendirme ünitesi ile soğutma tankı aynı doğrultuda yerleştirilmiştir. Üçüncü ve daha basit bir sistemde ise vakum tankı kullanılmaktadır. Bu sistemde mamul bir kalibrasyon matrisinden geçtikten sonra vakum altındaki bir su banyosundan geçirilir. Boru et kalınlığı ve hatta üretim hızına bağlı olarak vakum tankı iki yada daha çok kamaraya bölünmüştür. Kamara uzunlukları, yaklaşık 4,5 ve 6 m 'dir. Soğutma, su püskürtme ya da havuza daldırma şeklinde suyla yapılır ve daha yukarı çaplarda ölçülendirme kanalları (plakaları) kullanılır. Bu parçalar alüminyum ya da bronzdan yapılmalıdır. Alüminyum daha iyi ısı transferi sağladığı için tercih edilmelidir. Plaka çapları, küçük ölçülerde matris çapından %10 daha küçük olmalıdır. Ancak çap büyüdükçe, bu fark azalmalıdır. Plakalar uzunluğu boyunca yarılmalı ve plastik malzemenin kayganlığını sağlayan suyla ıslatılmalıdır. İlave olarak, yönlendirici makaralar, yüzükler hem kalibrasyon hem de soğutma tankında gerekli olabilir. Toplam uzunluk, plastik boru hattını terk ederken 45 ile 60 °C arasında olacak şekilde ayarlanmalıdır. Şekil 4.8 'de kalibrasyon için plaka kullanılan bir vakum tankı dizaynı gösterilmiştir. Yaklaşık 1600 – 2000 mm. çaplı polietilen borulara kadar bu sistem başarı ile kullanılabilir.



Şekil 4.8 Vakum tanklı kalibratörler (Fisher E.G., 1976, Ekstrusion of plastics)

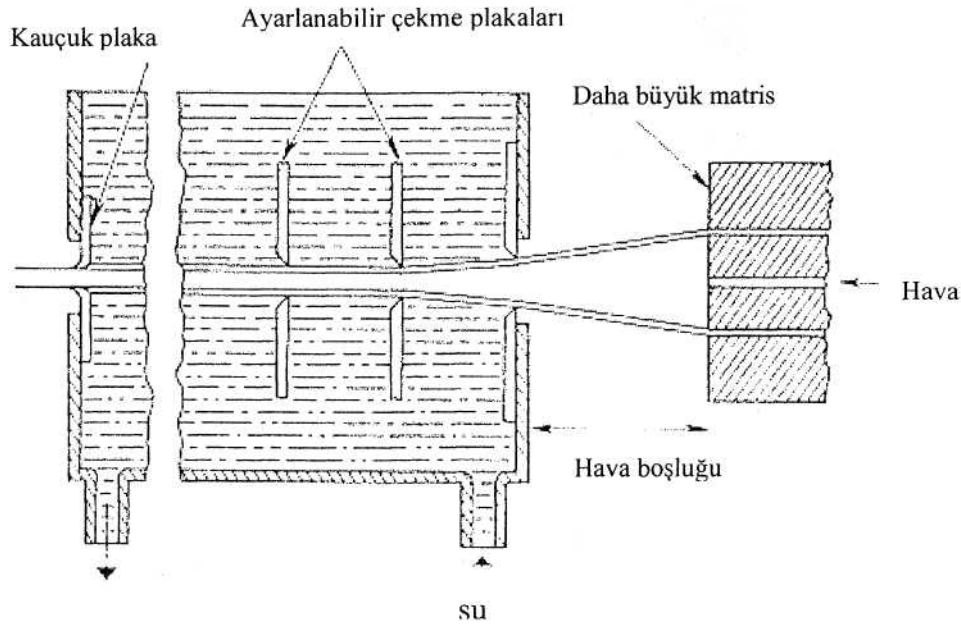
Şekil 4.8 'de çeşitli malzemeler ve boru çapları için ölçülendirme sistemi gösterilmiştir. Burada vakum kalibratörü ve bu kalibratörün girişi görülmektedir. Bu sistemde yüksek hızlı sabit vakum sisteminin kullanılmasıyla işlem hızı artar.

4.3.3 İç ve Dış Kalibrasyonun Birlikte Uygulanması

Dış kalibrasyonda borunun dış yüzeyinin soğutulan metalik bir yüzey ile kayma temasında olması ile yüksek parlaklık elde edilirken malzeme içindeki kusurlardan veya kullanılan ekstrüzyon koşullarının yanlış olmasından ötürü iç yüzey kaba ve pürüzlü kalabilir. Buna karşılık iç kalibrasyon içinde bunların tam tersi söylenebilir. Kullanım amacı iç yada dış kalibrasyon yönteminin seçiminde önemli bir faktördür. Örneğin, boru içindeki akışkanın akımının iyi olması istenirse iç kalibrasyon, sadece dış görünüm önemli ise dış kalibrasyon yapılır. Bu iki koşulun da gerekmesi durumunda, su ile soğutulan kısa bir dış kalibratör ile akış yukarı ucunda ısıtılan uzatılmış mandrel birlikte kullanılır. Boru, hala uzatılmış mandrel üzerinde iken dış kalibratörden çıktıktan sonra yoğun bir şok soğutmaya tabi tutulur ve borunun iç ve dış yüzeylerinin özellikleri bu şekilde geliştirilir.

4.3.4 Ufak Çaplı Boruların Kalibrasyonu

Daha önce bahsi geçen kalibrasyon sistemi orta ve büyük çaptaki borular için uygulanırken çapı 10 mm.'den küçük borulara uygulanamazlar. Bunun yanında bu durum polimerin eriyiğinin karakteristiklerine göre farklılıklar gösterebilir. Örneğin; rijit PVC gibi kalibrasyon sistemleri ile çok küçük çaplara kadar kalibre edilebilirken, poliolefinler ve diğer plastik halde çok yumuşak olan malzemeler bu şekilde kalibre edilemez.



Şekil 4.9 Ufak çaplı boruların kalibrasyonu (Fisher E.G., 1976, Ekstrusion of plastics)

Küçük çaplı boruların en yaygın olarak kullanılan kalibrasyon yönteminde, gereken son çaptan daha geniş bir matris kullanılır ve mamul su banyosu içinde bulunan ve ilki su banyosunun ön yüzünde bulunan bir seri prinç (veya alüminyum) kalibrasyon plakası ile kalibre edilir. İlk kalibrasyon plakası ile matris arasındaki, ayarlanabilen mesafe, hava boşluğu olarak adlandırılır.

Su banyosu içindeki kalibrasyon plakaları arasındaki mesafelerde ayarlanabilir. Kalibrasyon plakalarının orifis ölçüleri çekme oranına ve hava boşluğunun uzunluğuna göre belirlenir. Normal bir uygulamada, ilk plaka mamul ölçüsünden %10 daha büyük olurken, ikinci ve sonraki plakalar soğuma esnasında oluşan kendini çekme paylarının son ölçülere eklenmesi ile boyutlandırılır. Plaka orifislerinin iç yüzeylerine çekmeyi azaltmak üzere 45°'lik pah kırılması gerekmektedir.



Şekil 4.10 Çeşitli küçük çaplı kalibreler

Bu tarz sistemlerde ürünün et kalınlığının kontrolü, çekme hızı ile yapılırken, dış çapının kontrolü ise kalibrasyon plakaları ile yapılır ve yalnızca ilk plakaya kadar şişmeyi sağlayacak iç hava basıncı yeterlidir. Bu sistemlerde üretim hızı dakikada 100 m ‘nin üzerine çıkabilmektedir.



Şekil 4.11 Çeşitli çaplarda kalibreler

4.4 Isı Transfer Analizi

Bir katı yüzey ve buna bitişik hareketli bir akışkan arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferine taşınım (konveksiyon) ısı transferi denir. Taşınım ısı transferini hesaplamak için aşağıdaki temel ifade kullanılmaktadır.

$$Q_{\text{taşınan}} = \alpha \cdot A \cdot (T_{\text{yüzey}} - T_{\text{akışkan}}) \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.1)$$

α = taşınım ısı transfer katsayısı ($\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

A = Isı akım yönüne dikey yöndeki ısı transfer alanı (m^2)

$(T_{\text{yüzey}} - T_{\text{akışkan}})$ = Sıcaklık farkı ($^\circ\text{C}$)

α burada yüzey geometrisine, akım şartlarına, akışkanın fiziksel özelliklerine, akışkan ile yüzey arasındaki sıcaklık farkına, geometriye ve giriş şartlarına bağlıdır.

$$Q_{\text{boru}} = Q_{\text{su}}$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.2)$$

c_p = Sabit basınçta ısınma ısısı ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$)

m = Kütle (kg)

Kanal boyunca boru ile su arasındaki ısı transferi,

$$Q_{\text{taşınan}} = \alpha_{\text{boru}} \cdot A_{\text{boru}} \cdot \Delta T_m \quad (4.3)$$

ΔT_m = Ortalama logaritmik sıcaklık farkıdır.

$$\alpha_{\text{boru}} = 14.653,8 (V/60)^{0,85} \quad (\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$$

$$\Delta T_m = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.4)$$

Isı transferinde çevre etkisine bakıldığında şimdiye kadar eriyik üzerindeki çevre etkisi küçük olarak ifade edildi ve hesaplar bu kabul üzerine yapıldı. Bununla birlikte, birçok eriyik akışında eriyik ve çevresi arasındaki ısı transferi de dikkate alınması yararlı olacaktır.

T = Sıcaklık

α = Isıl yayılma katsayısı

K = Taşınım katsayısı

X = Tek boyutundaki dengesiz ısı akışı için fourier serileri

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.5)$$

Q = yoğunluk

Cp = Spesifik ısı

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot Cp} \quad (4.6)$$

Birçok malzeme üreticisi ürünlerinin termal yayılması ile ilgili teknik bilgileri verirler. Fakat herhangi bir bilgi yoksa termoplastikler için bu değer $1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak alınabilir.

Fourier serilerinin çözümü sonsuz seriler şeklindedir fakat genelde grafik form ile ifade edilebilir. Çözüm olarak aşağıdaki boyutsuz ifade kullanılır.

t = Zaman (s)

x = silindir veya kürenin yarıçapı (yada levhanın kalınlığının yarısı)

Levha üretiminde ısıtma veya soğutma sadece tek taraftan sağlanıyorsa x değeri kalınlığın tamamını ifade eder.

Fourier Serisi;

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot t}{x^2} \quad (4.7)$$

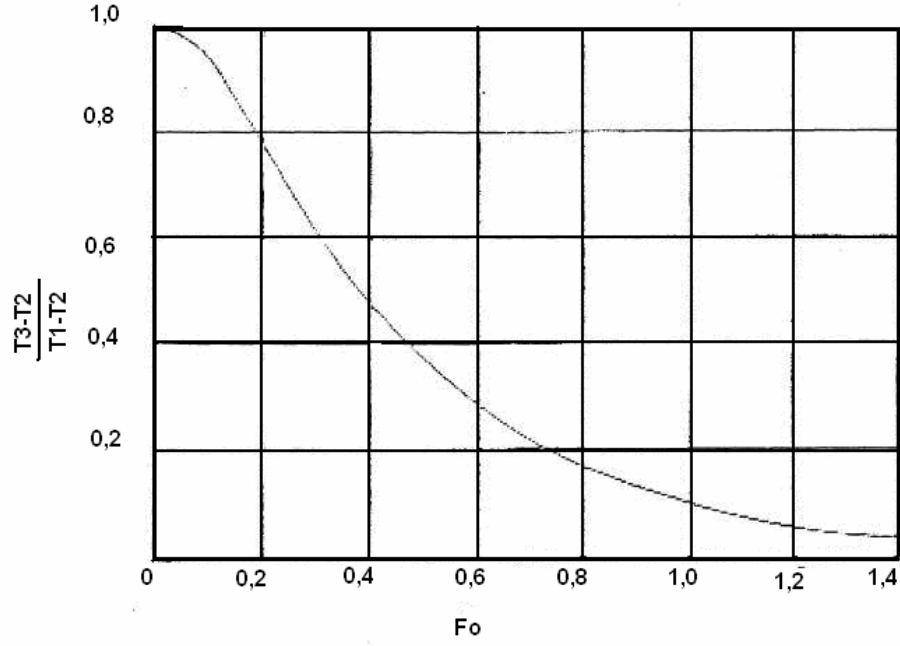
T₁ = Eriğin ilk üniform sıcaklığı

T₂ = Isıtma ve soğutma sıcaklığı

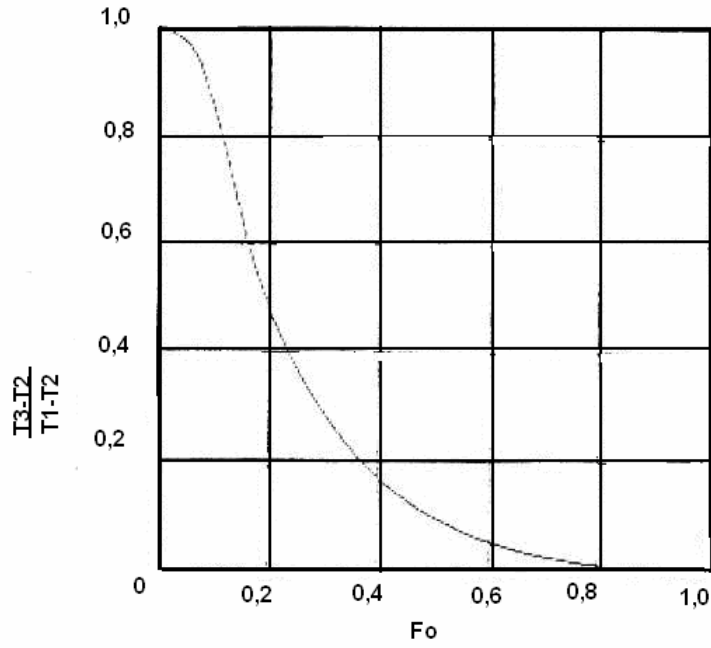
T₃ = t zamanındaki sıcaklık

Sıcaklık Gradyeni;

$$\Delta T = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \quad (4.8)$$



Şekil 4.14 Düz levha için Fourier Serisi - Sıcaklık Gradyeni arası değişim (İzmirlioğlu İ, 1994, Kullanılmış polipropilen boruların geri dönüşüm ve ekstrüzyon yöntemiyle imalinin araştırılması)



Şekil 4.15 Silindir için Fourier Serisi - Sıcaklık Gradyeni arası değişim (İzmirlioğlu İ, 1994, Kullanılmış polipropilen boruların geri dönüşüm ve ekstrüzyon yöntemiyle imalinin araştırılması)

4.4.1 Kalibrasyonda Su Sıcaklığı ve Taşınım Katsayısının Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımı Üzerinde Etkileri

Plastik boruları soğuturken ısı akışını arttırabilmek için iki farklı yöntemden biri seçilebilir; birincisi plastik boruyu soğutulacak suyun sıcaklığını düşürmek, ikincisi ise taşınım katsayısını arttırmaktır.

210 °C sıcaklıkta soğumak üzere üzere L_{kalibre} uzunluğundaki kalibreye, V_b mm/s hızla giren, s et kalınlığında ve D mm dış çapındaki polietilen borunun dış yüzeyi ile temas halinde bulunan suyun sıcaklığının $T_{\text{dış}}$ olması durumunda, plastik borunun et kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı ve ısı geçişinin zamana bağlı değişimi;

$$\rho_{PE} = 860 \text{ kg/m}^3 \quad C_p PE = 3,4 \text{ kJ/kgK} \quad \lambda_{PE} = 0,3 \text{ W/mK} \quad h_{\text{ort}} : \text{W/m}^2 \text{K}$$

Boru et kalınlığının çapa oranı küçük olduğundan ve boru iç yüzeyinde hava durgun sayılabildiğinden plastik boru düz duvar gibi ve bir kenarı adyabatik kabul edilirse;

$$\frac{Q}{A} = \int_0^t q \partial t \quad (4.9)$$

$$= 2 \cdot \lambda \cdot (T_i - T_\infty) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2} \right)} \cdot L^2 \cdot \delta_n \cdot \sin^2 \delta_n}{-\delta_n^2 \cdot a \cdot L \cdot (\delta_n + \sin \delta_n \cdot \cos \delta_n)}$$

$$= \frac{-2 \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2} \right)} \cdot \sin^2 \delta_n}{(\delta_n^2 + \delta_n \cdot \sin \delta_n \cdot \cos \delta_n)}$$

$t=0$ ve $t=t$ aralığında entegre edilirse;

$$\frac{Q}{A} = \frac{2 \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(1 - e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)}\right) \cdot \sin^2 \delta_n}{\left(\delta_n^2 + \delta_n \cdot \sin \delta_n \cdot \cos \delta_n\right)} \quad (4.10)$$

Borunun kalibreden geçiş süresi,

$$t = L_{kalibre} / V_{boru} = t_g \text{ s 'de boru kalibreden geçer.} \quad (4.11)$$

Kalibrede soğutmanın başladığı ilk saniyelerde borudan maksimum seviyede ısı çekilmesi üretim hızının artışı için şarttır.

$$Bi = h \cdot L / \lambda = \delta_n \cdot \tan \delta_n \quad (4.12)$$

$$C_n = \sum_{n=1}^k 4 \cdot \frac{\sin(\delta_n)}{2 \cdot \delta_n + \sin(2 \cdot \delta_n)} \quad (4.13)$$

$$a_{PE} = \lambda / \rho \cdot c_p \quad (4.14)$$

Bi sayısı için bulunan kökler $C_n \cong 1$ değerini sağlamalıdır.

$X = L$ mm, $t=1$ s anında Bi 'ye bağlı sıcaklık;

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = 4 \cdot \sum_{n=1}^k e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)} \cdot \frac{\sin^2 \delta_n \cdot \cos(\delta_n \cdot L/L)}{2 \cdot \delta_n + \sin(2 \cdot \delta_n)} \quad (4.15)$$

$X = L$ mm, $t=1$ s anında Bi 'ye bağlı transfer olan ısı akışı;

$$\frac{Q}{A} = \frac{2 \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^k \frac{\left(1 - e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)}\right) \cdot \sin^2 \delta_n}{\left(\delta_n^2 + \delta_n \cdot \sin \delta_n \cdot \cos \delta_n\right)} = J / m^2 \quad (4.16)$$

şeklinde gerçekleşir.

$T_i = 210$ °C, $L_{kalibre} = 300$ mm, $V_b = 3$ m/dak = 50 mm/s, 4 mm et kalınlığında, Ø 63 mm dış çapında polietilen borunun $T_\infty = 15$ °C durumunda et kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı ve ısı geçişinin zamana bağlı değişimi 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 bağıntıları yardımıyla hesaplanabilir.

$$\rho_{PE} = 860 \text{ kg/m}^3 \quad C_{pPE} = 3,4 \text{ kJ/kgK} \quad \lambda_{PE} = 0,3 \text{ W/mK}$$

Kabulleri ile birlikte, boru et kalınlığının çapa oranı küçük olduğundan ve boru iç yüzeyinde hava durgun sayılabildiğinden plastik boru düz duvar gibi ve iç yüzeyi adyabatik kabul edilirse;

$h_{ort} = 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000, 7500 \text{ W/m}^2\text{K}$ için hesaplanan değerler sırasıyla;

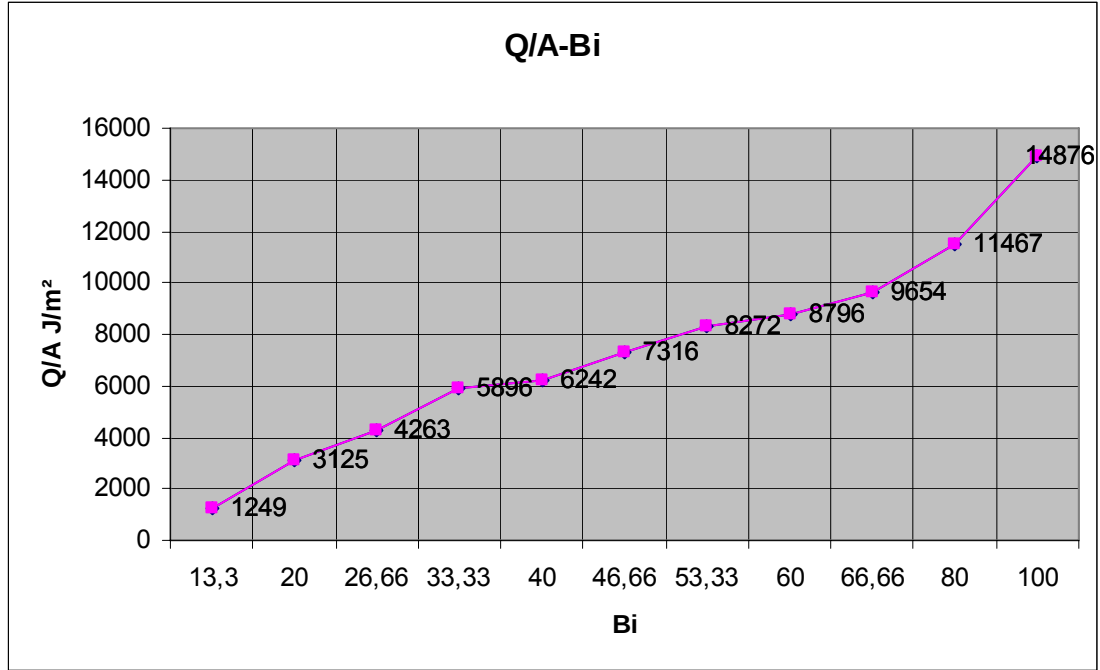
Bi= 13,3	$\delta_n = 26,59$	Q/A= 1249 J/m ²
Bi= 20	$\delta_n = 32,05$	Q/A= 3125 J/m ²
Bi= 26,66	$\delta_n = 36,30$	Q/A= 4263 J/m ²
Bi= 33,33	$\delta_n = 39,89$	Q/A= 5896 J/m ²
Bi= 40	$\delta_n = 43$	Q/A= 6242 J/m ²
Bi= 46,66	$\delta_n = 45,62$	Q/A= 7316 J/m ²
Bi= 53,33	$\delta_n = 48$	Q/A= 8272 J/m ²
Bi= 60	$\delta_n = 50,1$	Q/A= 8796 J/m ²
Bi= 66,66	$\delta_n = 52,03$	Q/A= 9654 J/m ²
Bi= 80	$\delta_n = 55,35$	Q/A= 11.467 J/m ²
Bi= 100	$\delta_n = 59,325$	Q/A= 15.876 J/m ²

olarak bulunur.

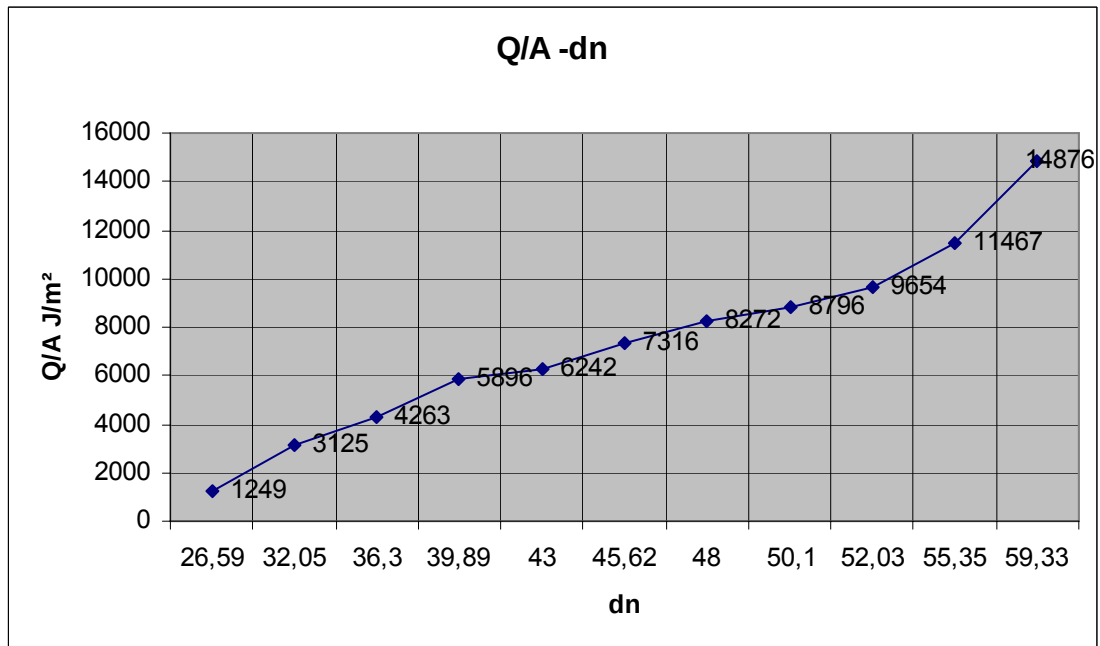
$$Bi = 100 \quad \delta_n = 59,325 \quad Q/A = 15.876 \text{ J/m}^2$$

olarak bulunur.

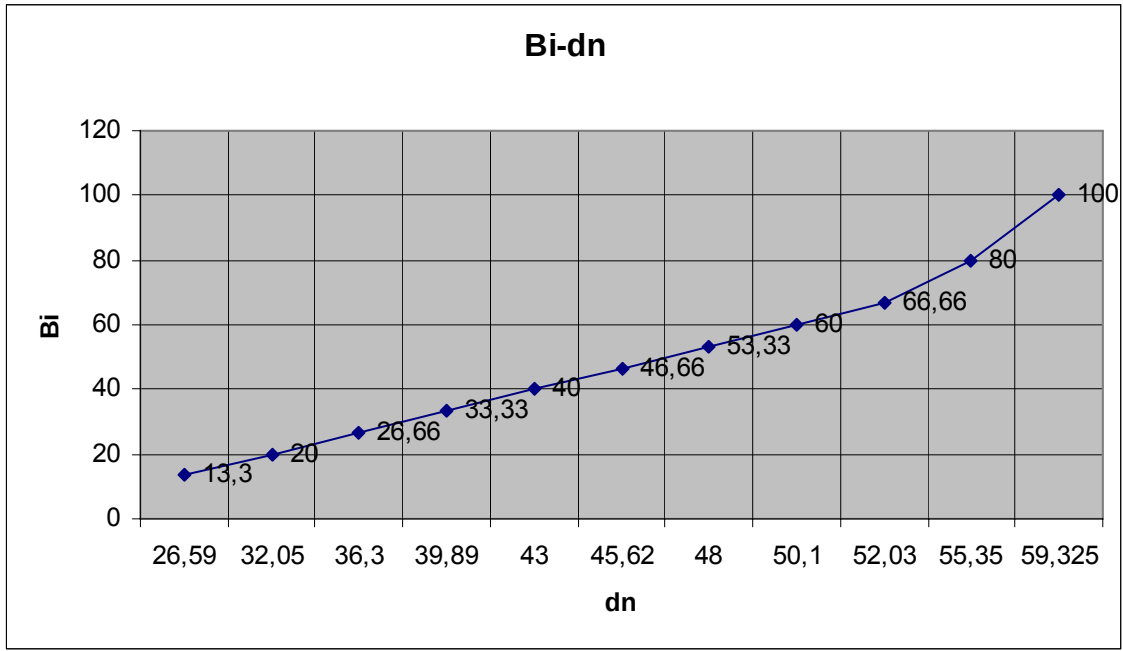
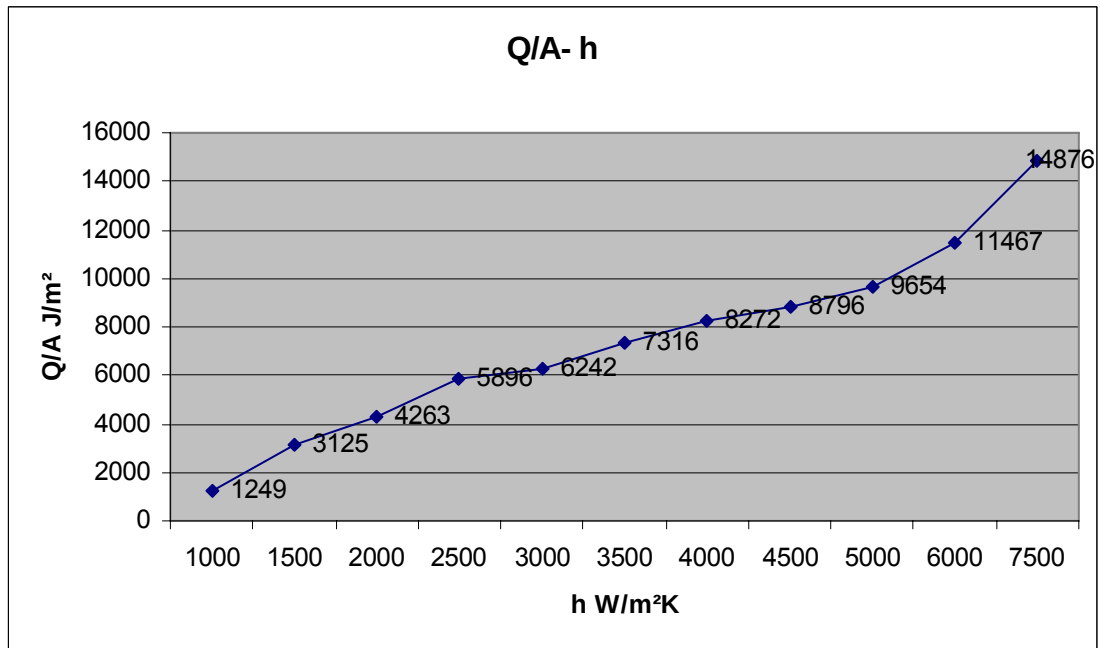
Hesaplanan değerlerde ısı taşınım katsayısının artmasıyla birlikte, sıcak borudan çekilen ısı miktarının arttığı görülmektedir. Isı taşınım katsayısı, ısı akışı, Bi ve δ_n değerlerini içeren eğriler şekil 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19 da görülmektedir.



Şekil 4.16 Isı akışı- Bi sayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.17 Isı akışı- δ_n sayısı arasındaki ilişki

Şekil 4.18 Bi- δ_n sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.19 Isı taşınım katsayısı-ısı akışı arasındaki ilişki

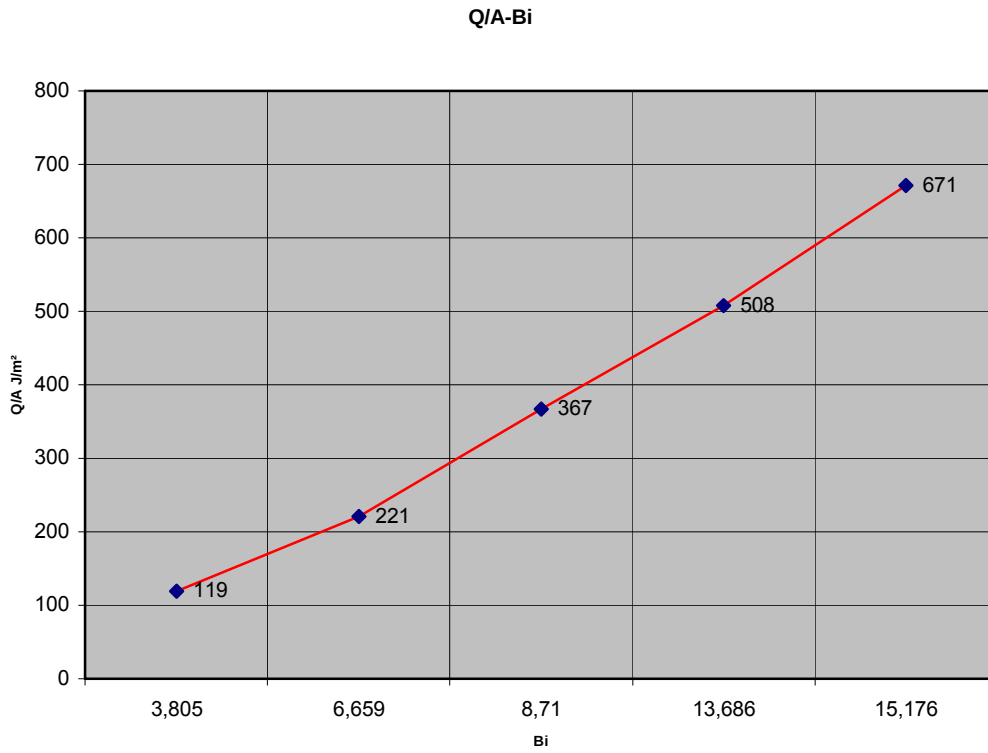
Yukarıda bulunan koşullar aynen kabul edilmek üzere, Boru ve soğutma yapılan peltier yüzeyi arasında alüminyum malzeme, izolasyon maddesi ve hava boşlukları olacağı varsayımıyla; ortalama ısı iletim katsayıları çok küçük mertebelerde olacaktır. Bu sebeple pratik model için hesaplama yapılırken

$h_{ort} = 20,50,100,250,500 W/m^2 K$ değerleri kullanılarak transfer olan ısı miktarı kabulü

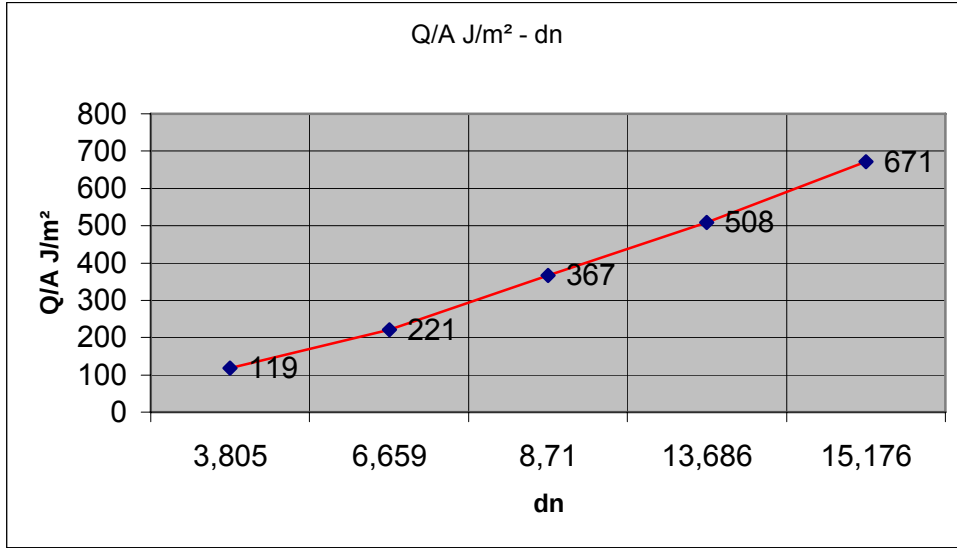
yapılacaktır. 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 bağıntıları yardımıyla hesaplanan değerler sırasıyla;

$Bi = 0,266$	$\delta_n = 3,805$	$Q/A = 119 \text{ J/m}^2$
$Bi = 0,666$	$\delta_n = 6,659$	$Q/A = 221 \text{ J/m}^2$
$Bi = 1,333$	$\delta_n = 8,71$	$Q/A = 367 \text{ J/m}^2$
$Bi = 3,333$	$\delta_n = 13,686$	$Q/A = 508 \text{ J/m}^2$
$Bi = 6,66$	$\delta_n = 15,176$	$Q/A = 671 \text{ J/m}^2$

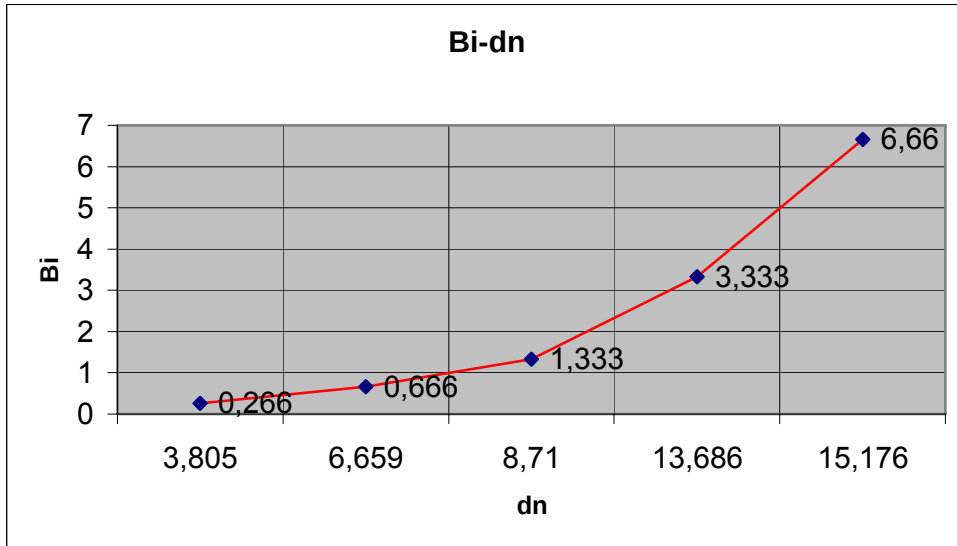
olarak bulunur.



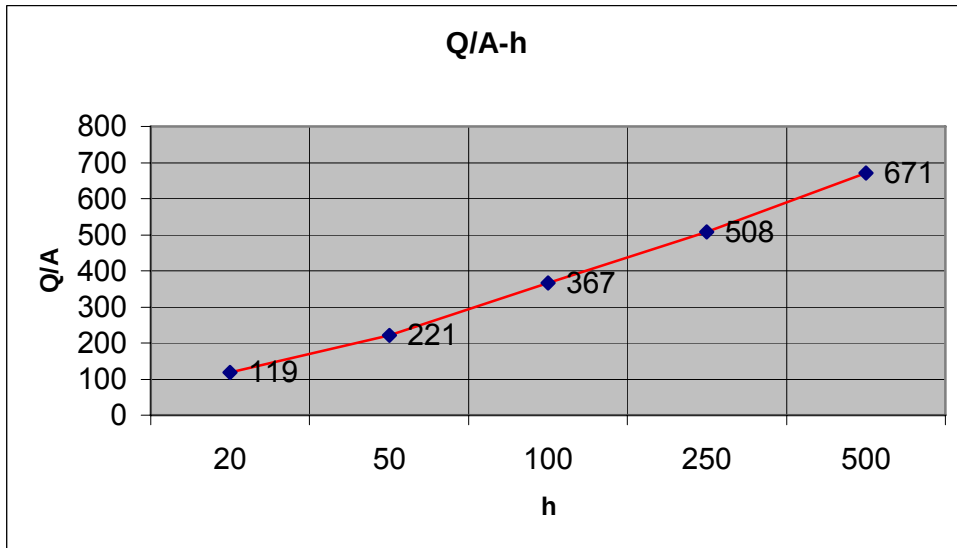
Şekil 4.20 Isı akışı-Bi sayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.21 Isı akışı- δ_n sayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.22 Bi- δ_n sayıları arasındaki ilişki



Şekil 4.23 Isı taşınım katsayısı-ısı akışı arasındaki ilişki

4.5 Kalibrasyonun Mamul Kalitesine Etkisi

4.5.1 Yüzey Kalitesi

Kalibratör kalıplarının yüzeylerinin mamulün kalitesine etkisinin önemi büyüktür. Parçanın kalibratörden geçerken yüzeye yapışmamasını ve aşırı sürtünme etkisini önleyecek şekilde olmalıdır. Eğer kalibratör yüzeyi pürüzlü ise parça kalibratörden geçerken yüzeye yapışmalar olacak ve çıkan parçanın yüzeylerinde dalgalanmalar, derin çizikler meydana gelecektir. Yani parçanın yüzey kalitesi kötü olacaktır. Ayrıca kalibratörün yüzey kalitesinin kötülüğünden dolayı sürtünme kuvveti artacaktır. Bununla birlikte parçada gerinimler oluşacak ve parçayı çeken kısım daha fazla zorlanacaktır.

Ekstrüzyon esnasında en çok karşılaşılan sorun kalibre kalıpları içerisinde yabancı parçalar kalması ve bunun ürünlere olumsuz etkisidir. Bu olay en çok ekstrüzyon hattına ilk yol verme esnasında olmaktadır. Henüz boru tam kıvamını almadan ve işlem tam rayına oturmadan, matriste bazı düzgün olmayan akışlara rastlanabilmektedir. Bu olay, genelde matrisle kalibre kalıpları arasında boruda ki dalgalanmalar şeklinde yansımaktadır.

Bu dalgalanmaların miktarı, kalibre kalıplarının içersine alabileceği maksimum miktarı aşarsa kalibre önünde malzeme yığılması gerçekleşir ve yığılma neticesi kalibre girişinde donup kalan belirli büyüklükteki parçalar, ekstrüzyon ürünü ile birlikte kalibre kalıplarının içersine ilerleyebilmektedir. Bu durumda kalibre kalıplarının iç kısımlarına takılan parçacıklar eğer büyük boyutlarda ise, bunların fark edilip temizlenmeleri nispeten kolay olmaktadır. Ama parçacıklar küçük ise çok dikkatli bakılmadığı takdirde fark edilemezler ve bu parçacıklar ürün yüzeyini sürekli bir şekilde çizecek ve yüzeyin pürüzlülüğünün bozulmasına neden olacaktır. En çok rastlanan şekliyle bu sorun küçük parçacıkların kalibre kalıpları içerisindeki vakum kanallarına takılarak profil yüzeyinde çok ince çiziklere neden olmalarıyla gerçekleşmektedir. Eğer içeride takılan parçacıklar büyük boyutlarda ise, gözlem yoluyla parçaların genelde üç kısımdan oluşan kalibrasyon kalıplarının hangisinde kaldığı bulunabilir ve kalıplar açılıp temizlenebilmektedir.

Kalan parçacıklar küçük ve sadece yüzey pürüzlülüğünü bozacak şekilde ise temizleme işlemi, pratikte kalibreler ile matrisin arasını bir miktar açıp, ürün yüzeyine yumuşak bir malzeme ile ekstrüzyon yönüne dik çizikler atılarak gerçekleştirilir. Ürün yüzeyinde oluşturulan bu düzensizlik yardımıyla vakum kanallarına tıkanan ufak parçacıkların, bu düzensizliklere takılarak dışarı atılması ile mümkün olabilmektedir. Profil yüzeyindeki pürüzlüğü bozacak şekilde ince çiziklere kalibrasyon havuzlarındaki kalibre plakalarının aralarında kalan parçacıklarda sebep olabilmektedir. Bu kısımlardan geçen ürün artık iyice soğumuş olduğundan ve rijit hale geldiğinden, oluşabilecek çiziklerin boyutları da daha çok göze çarpar şekilde, yani daha derin olabilmektedir. Kalibrasyon kalıplarında takılan parçacıkların neden olduğu çizikler, ürün henüz daha sıcak ve esnek olduğundan ince çizikler olmaktadır. Belirli bir derinliğe kadar olanları, standartlar içerisinde kaldığı sürece kabul edilebilmektedir. Bu parçacıkların kaynağı ise genelde su içerisindeki yabancı parçacıklar olmaktadır.

4.5.2 Şekil Tamlığı

Kalibrasyonun görevlerinden biride malzemenin soğumasını sağlamak ve parçanın şeklini korumasına yardımcı olmaktır. Malzeme matristen çıktığında sıcak ve hamurumsu kıvamdadır. Eğer malzemeye destek sağlanmamış olsaydı parça üzerinde buruşmalar, parçanın şeklini koruyamaması ve malzeme üzerinde çökmeler görülürdü. Kalibratör sıcak haldeki parça ile maksimum ısı iletimini sağlamalı ve böylece parçanın daha çabuk soğumasına olanak vermelidir.

Plastik ekstrüzyon işlemlerinde en önemli parametrelerden biriside, sistemde ekstrüzyon mamulünün soğutulması için kullanılan su olmaktadır. Soğutmada kullanılan su sistemi kapalı ya da açık devre olarak dizayn edilebilmektedir. Burada belirleyici etken işletmenin ucuz ve bol miktarda su temin edebilme imkanındır. Eğer su açısından kısıtlayıcı bir durum söz konusu ise sistemler genellikle kapalı devre olarak dizayn edilmektedirler.

10 – 15 °C arasında olması öngörülen su sıcaklığının her zaman sağlayabilmek için soğutma bir zorunluluk halini almaktadır. Su sıcaklığının istenilen değerlerde tutulması soğutucu ekipmanlar tarafından yapılacaktır. İmalat esnasında su sıcaklığının artması, kalibrasyon kısmında ürünün istenildiği gibi soğutulamamasının bir sonucudur. Su

sıcaklığının standart değerleri dışına çıkması ya soğutma sistemindeki bir arızadan ya da maksimum hat hızının aşılmasından kaynaklanmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşılması sonucunda, istenilen miktarda soğutulamayan ürün, soğutma kısmından çıktığı anda yeterli sertliğe ulaşmamış olacak ve çekiciye girdiği anda paletler tarafından deformasyona uğrayacaktır.

4.5.3 Yüzeyde Çukurluklar

Özellikle maksimum imalat hızlarının üzerine çıkılması durumlarında karşılaşılan yeterli soğutmanın olmaması sonucunda, ürün soğuduktan sonra geniş yüzeylerin ondülasyonlar veya çökmeler görülmektedir. Su sıcaklığının artması neticesinde, çekici kısmında mamulün ezilmesi, çekicinin paletlerinin mamulü kaydırması şartıyla, paletlerin mamule basma kuvvetlerinin düşürülmesiyle engellenebilmektedir. Fakat bu seferde yeterli derecede soğumayan ürünler eğer düzgün yüzeylerde stoklanmazlar ise ürünlerin soğuma neticesinde eğik bir hal almaları mümkün olabilmektedir. Buda istenilmeyen bir durumdur.

İmalat hızı yaklaşık olarak sınır değerlerinde yapılan ekstrüzyonlar da ise ilk bakışta ürün yüzeylerinde bariz bir hata ile karşılaşılacakla birlikte, eğer ürünlere soğutma havuzu çıkışında el ile bir kontrol yapılırsa yeterli derecede soğuk olduğu görülebilir fakat özellikle geniş kesitli ürünlerin iç yüzeyleri yeteri miktarda soğutulamayacağından, içeride kalan bu sıcaklık zamanla dış yüzeylere yansıyacak ve çekiciden boylara kesilmiş halde çıkan ürünler kontrol edildiğinde, ürünün sıcaklığının yeniden arttığı görülecektir. Böyle durumlarda gözle görülen kusur ise, ürünün yüzeyinde oluşan çökmelerdir.

Bu tip sorunların önüne geçilebilmesi için tek yapılması gereken 10 - 15 °C sıcaklıktaki suyu devamlı sağlayabilmek ve mümkün olduğu kadar m/dak bazında maksimum imalat hızlarının üzerine çıkmamaktır.

4.5.4 Ölçü Tamlığı

Kalibrasyon işleminin ana görevlerinden biri olan ölçü tamlığı, kalibrasyon kalıbının yüzeylerine yapıştırılarak olmaktadır. Bu ya vakumla ya da basınçla yapılmaktadır. Kalibratör kalıbının iç yüzeylere yakın yerlerden geçen su kanallarıyla mamul kalıp yüzeyine yapıştığı andan itibaren soğutulmaya başlanmaktadır. Buda ölçü tamlığının tam olarak sağlanmasına olanak vermektedir.

Kalibre kısmında işlenen borunun et kalınlığının büyüklüğü veya küçüklüğüne göre bir ya

da daha fazla sayıda kalibre kalıpları bulunabilmektedir. Kalibre kısmından geçen sıcak boru, kalıp içerisine sevk edilen suyun 0,8 kg/cm²'lik bir vakumlama ile yeniden kalıptan emilmesi esnasında, kalıpların çeperlerine yapıştırılmaktadırlar. Burada genelde karşılaşılan en büyük sorun 0,8 kg/cm² civarında yapılması gereken vakumlama değerinin istenilen seviyede olmamasıdır. Bunun nedeni ise, kalibrelerdeki su ve vakum kanallarının bir şekilde tıkanması ya da vakum pompalarında meydana gelen arızalar olabilmektedir.

Su kanallarının tıkanmasındaki temel sebep suyun kirlenmesidir. Her ne kadar su devamlı çevrim halinde olsa da, suya dışarıdan yabancı malzeme karıştırılmasa da, zaman içerisinde suda ki kimyasal malzemeler suda yosunlanmaya, kireçlenmeye ya da paslanmaya yol açabilmektedir. Bu tip zararlı oluşumlarda zamanla hassas işleme yöntemleri ile çok detaylı işlenmiş kanalların tıkanmasına neden olabilmektedirler.

Kalibratörlerin büyüklüğü ve uzunluğu ölçü tamlığı açısından olumludur. Çünkü; ürün kalıp içerisinden geçerken su kanalları yardımıyla soğuma olasılığını bulmaktadır. Fakat buna karşılık yüksek sürtünme ve gerinim gibi olumsuz sonuçlar etkinleşmektedir. Bu yüzden en kısa kalibratör uzunluğu ve etkin soğutma sistemi optimize edilmelidir.

Bazı parçalarda ölçü önemli değildir. Bu tür parçalarda kalibrasyon yapılmadan direk parça su havuzuna girmektedir. Burada ki et kalınlığını ise boru gibi parçalarda mandrelde ki hava deliğinden gelen hava basıncıyla arttırılıp azaltılmaktadır. Ayrıca burada malzemenin viskozitesi de önemlidir.

Ürün devamlı olarak kalibrelerin yüzeyi ile temas halinde olduğundan, sürtünmenin de etkisiyle üründen aşınan hammadde tozu kalibrelerin içerisine toplanabilmektedir. Bu tip tozlar ve çalışma ortamında gelen maddelerde vakum kanallarının tıkanmasına neden olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur, zira tıkanan vakumlama kanalları tarafından kalibre çeperlerine yapıştırılamayan ürün standart boyutlarına getirilemez ve parlatılamazlar. Bu sorunun önüne geçmek için önceden belirlenen bakım periyotları içerisinde, imalat yapılmadığı zamanlarda bu kanallar kalibreleri çizmeyecek yumuşak malzemelerle temizlenmelidir.

Su ve vakum hortumlarının temiz olması ve vakum pompalarının yeteri derecede vakumlama yapmaması durumunda yukarıda bahsettiğimiz sorunlar yaşanmaktadır.

4.5.5 Maksimum Isı İletimi

Kalibratörün başka bir önemi de sıcak haldeki parçadan maksimum ısı iletimini sağlamak ve böylece parçanın daha çabuk soğumasına olanak vermektedir. Parça kalibratör girişinde daha sıcak ve yumuşak haldedir. Kalibratör içinde şeklinin ve ölçüsünün bozulmayacak duruma gelmesi gerekmektedir. Kalibratörün iç yüzeylerine yakın yerlerinden geçen su kanalları parçanın soğumasını sağlamaktadır ve ayrıca kalibratör kalıbının da ısı iletkenliğinin iyi olması ve parçanın sıcaklığını çekerek soğumasına yardımcı olması gerekmektedir.

Kalibratörlerin uzunluğu parçanın soğuması açısından olumludur. Çünkü kalıp içerisinden geçerken parça daha fazla soğuma olanağı bulacaktır ve istenilen ölçüler sağlanacaktır. Fakat buna karşılık yüksek sürtünme ve gerinim gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bu durum kalibratöre ve parçaya zarar verecektir. Bu sebepten kalibrede uzunluk, ısı transferi optimizasyonu sağlanması şarttır.

4.5.6 Sıkı Yapı ve Dayanım

Parça kalibratör içinde vakum ile veya parça içinden hava basıncıyla kalıba doğru malzeme sıkıştırılır ve böylece sıkı yapı bir parça imali sağlanır. Polimer malzemeye ekstrüder sonrasında uygulanan bu sınırlı plastik deformasyonlar aynı zamanda moleküler düzeyde moleküler zincirlere deformasyon yönünde yönlendirdiği için bu yönlerde bir mukavemet artışına da neden olmaktadır.

Burada parçanın dayanımını ve sertliğini etkileyen en önemli faktör malzemenin kendisi ve eklenen ilave katkılardır. Kalibratörün etkisi ise çok azdır.

4.6 DIN Normuna Göre Kalibratör Malzemeleri ve Özellikleri

Boru ekstrüzyonunda kullanılan kalibreler, genel olarak termoplastik malzeme kalıplarıyla aynı özellikleri taşıyan çeliklerden veya, bakır alaşımı olan pirinç ya da bronz malzemeden imal edilirler. Bu malzemeleri 7 grupta toplamak mümkündür.

- DIN 1.1730 (C 45 W)

Özellikleri: Suda sertleşebilen bir malzeme olup ihtiva ettiği Mn sayesinde tok bir yapıya sahip çeliktir.

- DIN 1.2312 (40 CrMnMoS 8 6)

Özellikleri: Ön sertleştirilmiş plastik kalıp malzemesi olup teslimat sertliği 32 - 35 HRC dir. İçerdiği kükürtten dolayı işlenebilirliği rahattır. Parlatılabilirliği 1.2738 den daha azdır.

- DIN 1.2738 (40 CrMnNiMo 8 6 4)

Özellikleri: Ön sertleştirilmiş plastik kalıp çeliğidir. Sertlik değeri 32 - 35 HRC arasında değişmektedir. İşlenebilirliği iyi olmakla beraber % 1 Ni ihtiva ettiği için parlatılabilirliği son derece iyidir. Ayrıca yapısında az miktarda ($S < \% 0.002$) kükürt içermesinden dolayı sürtünme mukavemeti yüksektir.

- DIN 1.2316 (X 36 CrMo 17)

Özellikleri: Ön sertleştirilmiş plastik kalıp çeliğidir. Tıpkı 1.2083 ESR malzemesi gibi korozif ortamlara dayanıklıdır. Isıl işleme ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir. Parlatılabilirliği 1.2083 ESR kadar olmasa da iyidir.

- DIN 1.2343 SUPRA (X 40 CrMoV 5 1)

Özellikleri: Yüksek parlatılabilirliğe sahip olan sıcak iş çeliğidir. Aynı zamanda plastik kalıp çeliği olarak da kullanılır. Malzeme 180-230 HB olarak teslim edildiği için ısıl işlem yoluyla klasik plastik kalıp çeliğinden daha yüksek sertlik basamaklarına kadar sertleştirilebilir.

- DIN 1.2163 (CuZn35)

Özellikleri: İyi korozyon ve aşınma direnci istene yerlerde kullanılan pirinç malzemedir. Boru kalibresi ve yatak malzemesi olarak kullanılır. Sertliği 115 HB değerine kadar üretilir. Talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti yüksektir.

- DIN 2.1247 (CuBe2)

Özellikleri: Berilyum bronzü olarak tanınan malzeme, nadir olarak da olsa kalibre ve kalıp malzemesi olarak kullanılır. Sürtünmenin fazla olduğu durumlarda kullanılır. Sertliği 320–400 HB civarındadır. Talaşlı işleme kabiliyeti zayıftır.

- DIN 1.7665 (CuAl8)

Özellikleri: Yatak ve kalıp malzemesi olarak kullanılır. Alüminyum Bronzü, korozyona ve aşınmaya yüksek dayanım gösterir. Sertliği 210HB değerine kadar çıkar. Talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti yüksektir.

5. EKSTRÜDER VE KALİBRE OTOMASYONU

Ekstrüzyon işleminde kontrol edilmesi gereken çok sayıda değişken bulunduğu ve bu değişkenlerin tümünü aynı anda manuel olarak kontrol etmek mümkün olmadığından; ekstrüder ve buna bağlı diğer cihazlarda otomatik kontrol yöntemleri etkin olarak kullanılmaktadır.

Bir ekstrüzyon sisteminde; sıcaklık, basınç, çekme ve ya hat hızının kontrol edilmesi şarttır. Ekstrüder de plastik malzeme sürtünme etkisi ve dışarıdan verilen ısı ile erimektedir. Verilen ısıнын malzemeyi eritip eritemeyeceği düzeyde olması sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Yine aynı şekilde ekstrüder matrisinden çıkan ürün belli bir basınç değerine sahip olmalıdır, bu basıncın az ve ya fazla olması ürün kalitesini doğrudan etkileyeceğinden izlenmeli ve ayarlanmalıdır. Bir diğer önemli faktör hat hızıdır. Sürekli işlem içinde ürün hızının izlenmesi ve ayarlanması da önemli bir işlemdir.



Şekil 5.1 Ekstrüder, kontrol konsolu, matris ve motor

5.1 Basınç Ölçümü ve Otomasyonu

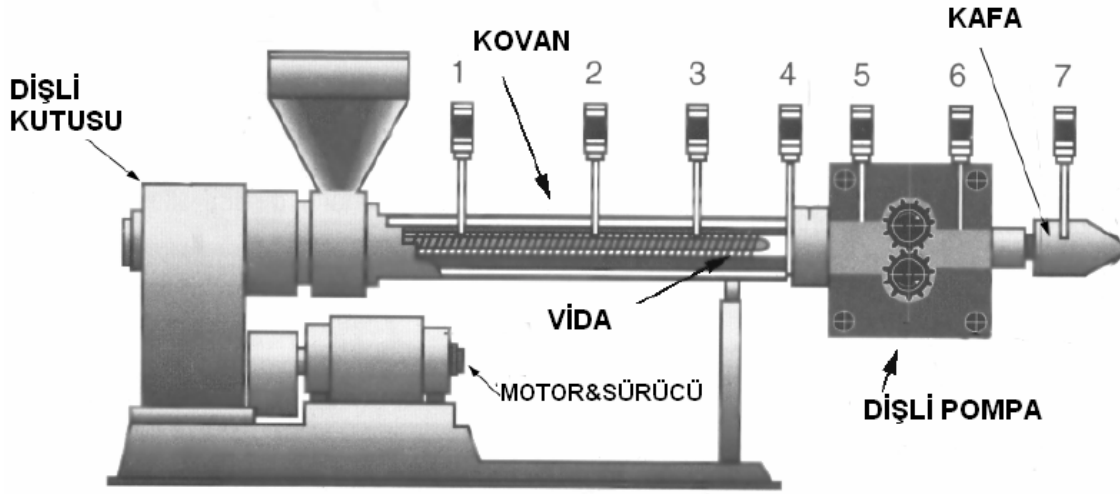
Ekstrüzyon işleminde, ekstrüder kafasındaki eriyik (melt) malzemenin basıncı daha önceleri genellikle ölçülmemekteydi. Ancak son zamanlarda, hemen hemen tüm ekstrüzyon makineleri kafalarında ekstrüzyon sensörü diye adlandırılan, ‘ekstrüzyon basıncı sensörleri’ ile standart olarak donatılmaktadır. Bu sensörler, 400 °C ‘ye kadar oldukça yüksek sıcaklıklarda bile basıncı sürekli olarak algılayabilecek şekilde üretilmektedirler. Bu sensörlerin basınç aralığı ise 100–2000 bar’dır.

Makinenin içine yerleştirilen sensörlerin tam görevi, yürümekte olan işlemin basınç açısından kontrolünü sağlamaktır. Bu sensörlerin ölçtüğü değerler makinenin çalışmasını anlamaya ve sistemin çözümlenmesine yardımcı olur. Sensörlerden alınan değerler ürün kalitesinin istenilen şekilde ayarlanmasına olanak sağlar. Üründe herhangi bir problem ortaya çıkması durumunda bunun nedenleri hakkında bilgi verir, bununla birlikte optimum kalite şartları için ayarlama yapılacak değerlerin bilinmesini sağlar. Tüm bunlara ek olarak; kullanılan hammaddenin akışkan dinamiğindeki değişimleri algılamayı kolaylaştırır.



Şekil 5.2 Ekstrüderde kullanılan bir basınç sensörü (National Instruments)

Şekil 5.3 ‘te ekstrüderin vidası ve kovanı, vidanın dönmesini sağlayan motor ve şanzman, matris ve kafa, sabit akı sağlamaya yönelik dişli pompası, filtreleme sistemi, basınç-sıcaklık sensör grubu ve yerleştirilmesi görülmektedir. Ekstrüder üzerinde yer alan sensörlerin kullanım amaçlarına bakılırsa;



Şekil 5.3 Ekstrüder ve bölümleri

1,2 ve 3. sensörler, kovan üzerindeki basınç dağılımının izlenmesini sağlar. Bunun yanında, akışkanın dinamiğinin tanımlanmasına yardımcı olur. Genellikle test ve ölçüm ekstrüderlerinde bulunurlar. Hammadde kalitesinin anlaşılmasında ve vida doğruluğunun tespiti için kullanılırlar. Zor şartlara (sıcaklık, basınç v.b.) dayanıklıdırlar. Erime bölgesinde bulunan bu sensörlerin, kalınlığı $\sim 100\mu$ olan membranı erimiş hammadde tarafından bozulabilir.

4. sensör; filtre önündeki basıncı izlemek için kullanılır. Filtreye zarar gelmemesi için yeterince hassas ve sağlam olmalı, bunun yanında sürekli ölçüme uygun olmalıdır.

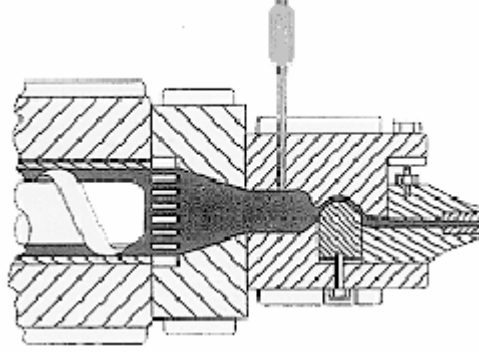
5 ve 6. sensörler; dişli pompanın doğru olarak çalışıp, çalışmadığını kontrol amacıyla kullanılırlar. Bu sensörlerin yeterince hassas olmalı ve ısıl stabilitesi olmalı tercih edilir.

7. sensör; en önemli sensördür. Kafa ve matris basıncını ölçerler. Ekstrüzyon işleminin sürekli kontrolünün sağlarlar. Ürün kalitesinin kontrolünün ana şartıdır. Ürün kalitesi birebir olarak kafada sabitlenen sıcaklık ve basınç değerine bağlıdır. Bu sensörlerin hassas ve ısıl kararlılığa sahip olması gerekmektedir.

Genellikle, sensörlerden elde edilen sinyaller, vidayı süren motorun ve çekici motorun hızını kontrol etmek amacıyla kullanılır. Ancak sadece alarm ve güvenlik amaçlı kullanımı da yaygındır.

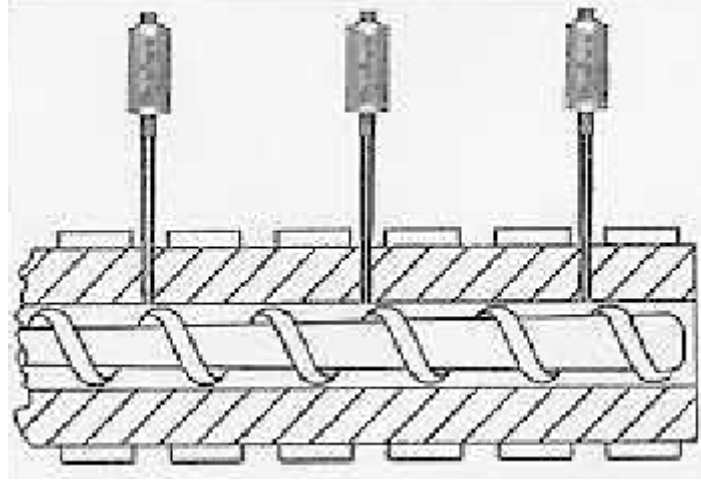
Bahsi geçen sensörler kullanılarak ekstrüzyon işleminde; verimlilik, üretkenlik artırılır, üründe kalite garantisi sağlanır, ekstrüder emniyeti sağlanır ve yapılan ölçümlerden elde edilen bilgiler bakım, onarım gibi maliyeti olan işlerin yapılma zamanlarının kestirilmesini sağlar. Tüm bunları sonucunda zaman ve para tasarrufu sağlanır. Örneğin kovanda yükselen basınç görülerek ekstrüderi kurtaran bir sistem, üretimde büyük avantaj sağlar.

Ekstrüderin basınç ölçümü alınan bölgelerinde ki basınç değişimleri yorumlanarak olası sorun veya sorunlar tespit edilebilir. Sensörlerde; çok yavaş basınç arttığı gözlemleniyorsa, malzemenin düzgün karıştırılmadığı ve/veya ergimenin tam olarak gerçekleşmediği, aşırı basınç değeri varsa filtre tıkanması, motor ve/veya sürücü problemi olduğu, değişken basınç değerlerinde ise hammadde beslemesinin hatalı olduğu veya degazör problemi olduğu algılanır.



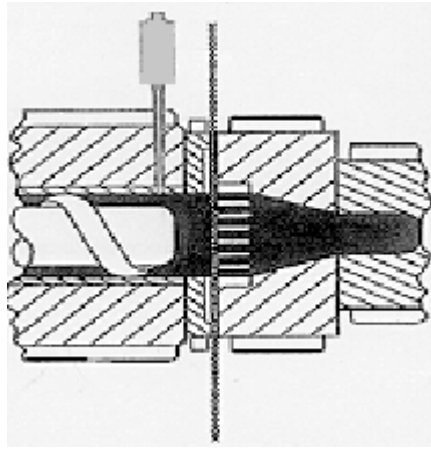
Şekil 5.4 Ekstrüder kafasında basınç ölçümü (Wiley J., 2002, Fundamentals of modern manufacturing)

Şekil 5.4'te ekstrüzyon işlemini kontrol etmek için gerekli en önemli ölçüm noktası gösterilmiştir. Kafanın tasarımına göre, doğru ve kaliteli ürün eldesi için çok hassas basınç kontrolü gerekir. Matristen çıkan polimerdeki boyutsal doğruluk ve denge, ekstrüder kafasındaki basınca bağlıdır.



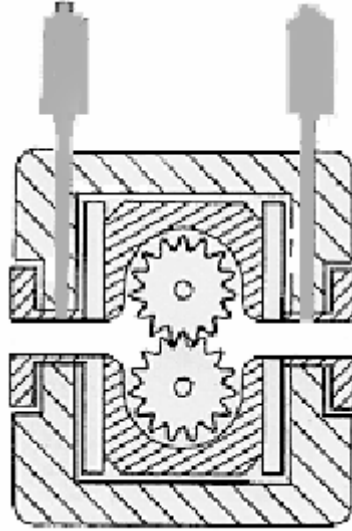
Şekil 5.5 Kovan üzerinde basınç ölçümü

Kovan üzerindeki basınç ölçümü ile, kademeli basınç dağılımı izlenebilir. Bu sayede polimerin farklı, sıkışma ve gevşeme grafikleri oluşturulabilir.



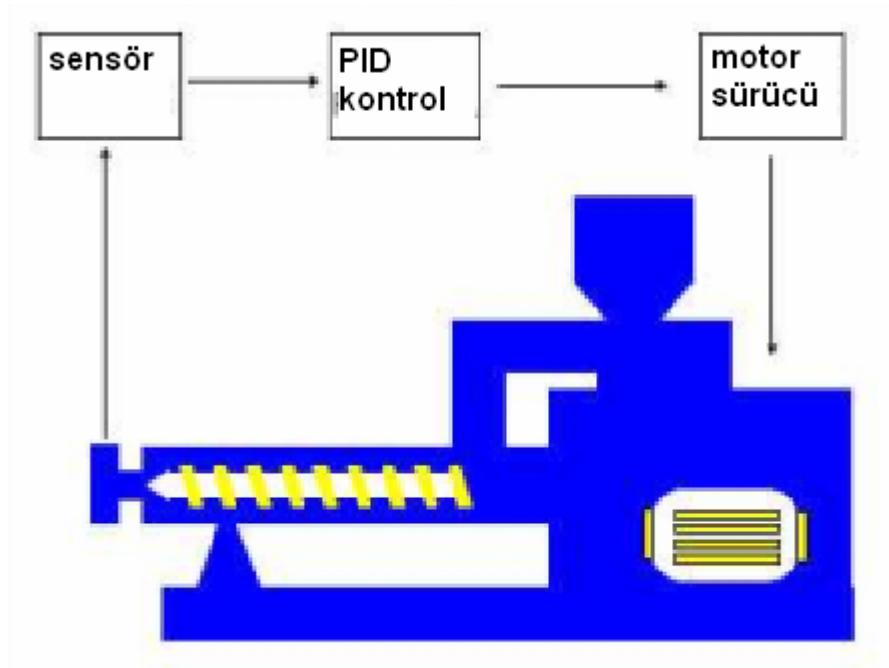
Şekil 5.6 Ekstrüderde filtre üzerinde basınç ölçümü

Filtreleme işlemi, ekstrüzyon işleminde saf ve hassas bir ürün elde etmek için gerekli temel işlemdir. Filtreleme sayesinde mükemmel bir boyutsal doğruluk elde edilir. Filtre aynı zamanda malzemenin akışını zorlaştıran bir engel gibidir. Dolayısıyla filtrenin durumunu bilmek çok önemlidir. Ekstrüdere zarar verecek aşırı basınç yükselmesini önlemek için, filtrede basıncın izlenmesi çok önemlidir.



Şekil 5.7 Dişli pompada basınç ölçümü (Gefran Automation)

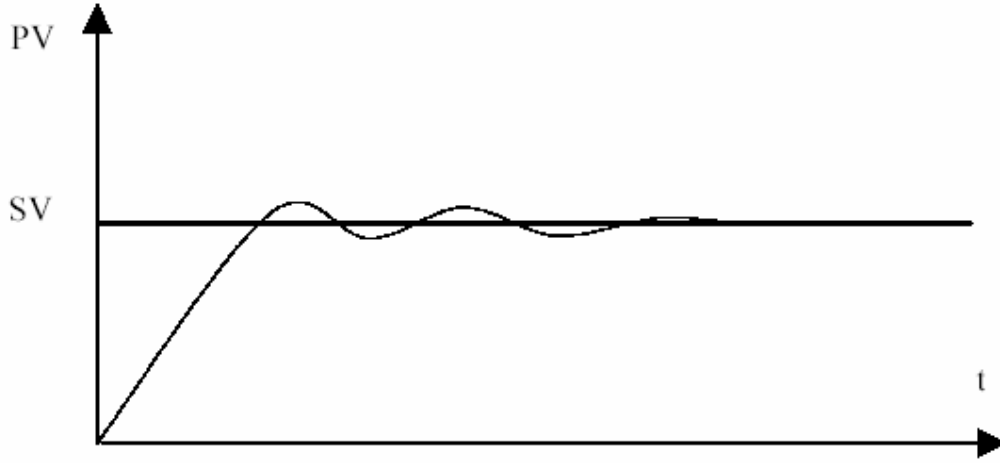
Gerçek anlamda, çok yüksek boyutsal doğrulukta malzeme üretmek için sabit hızda ve sabit hacimde eriyik akışını sağlamak şarttır. Bu sabit akışı sağlamak için dişli pompalar kullanılır. Bu maliyeti çok yüksek malzemelerde her zaman için iki basınç sensörü kullanılır. Bunlardan biri malzeme beslemesinin doğruluğu için girişe, diğeri ise akışın düzgünlük kontrolü için çıkışa yerleştirilir.



Şekil 5.8 Ekstrüder otomasyon şeması

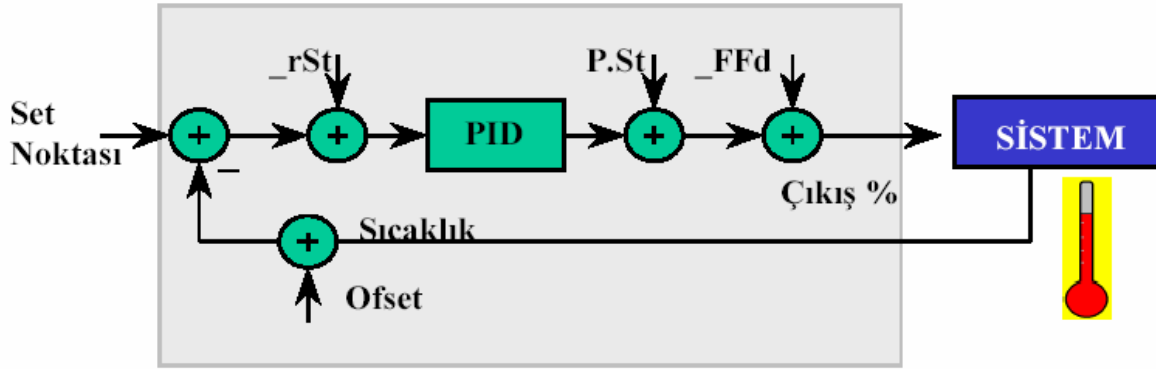
Ekstrüder kafasındaki basıncın kontrolü, plastik ekstrüzyon hatlarında karşılaşılan ana kontrol problemlerinden biridir. Kafadaki basıncın kontrolü, ekstrüder vidasının hızını kontrol etmek ile mümkündür. Bu tip bir kontrol pek çok bakımdan kritiktir. Vıdanın hızının arttırılması ile azaltılması arasındaki işlem cevapları farklı olabilir. Vida hızındaki ufak bir azalma, ani basınç düşümüne neden olabildiği gibi, vida hızındaki artış, basınçta çok yavaş bir yükselmeye neden olabilir. Bu tip tepkiler sistemi dengesiz yapar.

Bu nedenlerden dolayı bir kontrol cihazı kullanmak kaçınılmazdır. Bu cihazlar sensörlerle birlikte bir takım olarak çalışırlar. Kontrol döngüsü, ekstrüder kafasına takılan bir basınç sensörünü içermektedir. Bu sensörden gelen basınç bilgisi, mikroişlemci denetimli kontrol cihazına iletilir. Kontrol cihazı, basınç bilgisini operatör tarafından girilen set değeri ile karşılaştırarak motor sürücüsü için gerekli olan çıkış sinyalini üretir. Kontrol cihazı, motor hızını otomatik olarak ayarlayarak, ekstrüder kafasında istenilen basıncın eldesini sağlar. Kontrol cihazı, basıncın düzenlenmesinin yanında ani yükselme ve düşüşlerde ekstrüderin durmasını sağlayarak hasar oluşumunu engeller.



Şekil 5.9 PID kontrol kullanılan işlemin cevap grafiği

Kontrol cihazında PID parametrelerinin ayarlanabilmesi için, algoritma ve fonksiyonlar bulunmaktadır. Kontrol cihazındaki bu fonksiyonların aktif hale getirilmesiyle, PID parametreleri otomatik olarak ayarlanır. Kendi kendini ayarlama ve otomatik ayarlama özellikleri ile parametre ayarı yapılmaksızın çalışabilir. İstenildiği takdirde ek parametreler manuel olarak ayarlanmak suretiyle sistem daha hassas olarak kontrol edilebilir.

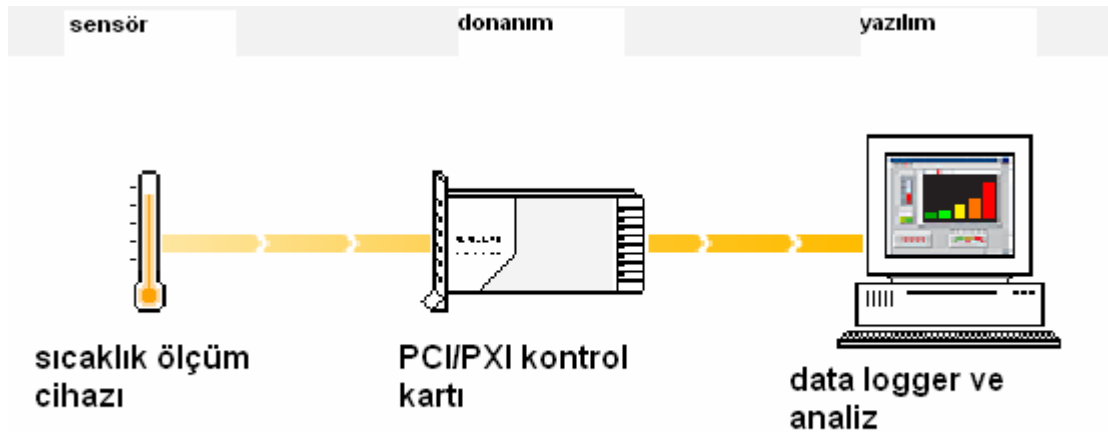


Şekil 5.10 Ek kontrol parametreleri blok şeması

5.2 Sıcaklık Ölçümü ve Otomasyonu

Ekstrüder üzerinde yapılan sıcaklık ölçümü birçok açıdan önem taşımaktadır. Hammaddenin tamamen ergiyip ergimediği, ya da çok yüksek sıcaklıktan dolayı yanıp yanmadığı sıcaklık ölçümü ile anlaşılabilir. Sıcaklık etkeni de basınçta olduğu gibi ürünün kalitesine doğrudan etki eden bir parametredir.

Sıcaklık ölçümü genellikle basınç ölçümü alınan noktalardan yapılır, çoğu kez basınç sensörleri içine entegre edilmiş sıcaklık sensörleri aracılığı ile ölçüm alınır. Sıcaklık ölçümü için ekstrüder üzerine yerleştirilmiş termocouple kullanımı yaygın bir uygulamadır. Bununla birlikte ekstrüder üzerinden ve kalibratör üzerinden infrared olarak sıcaklık ölçümü yapılması mümkün olabilmektedir.

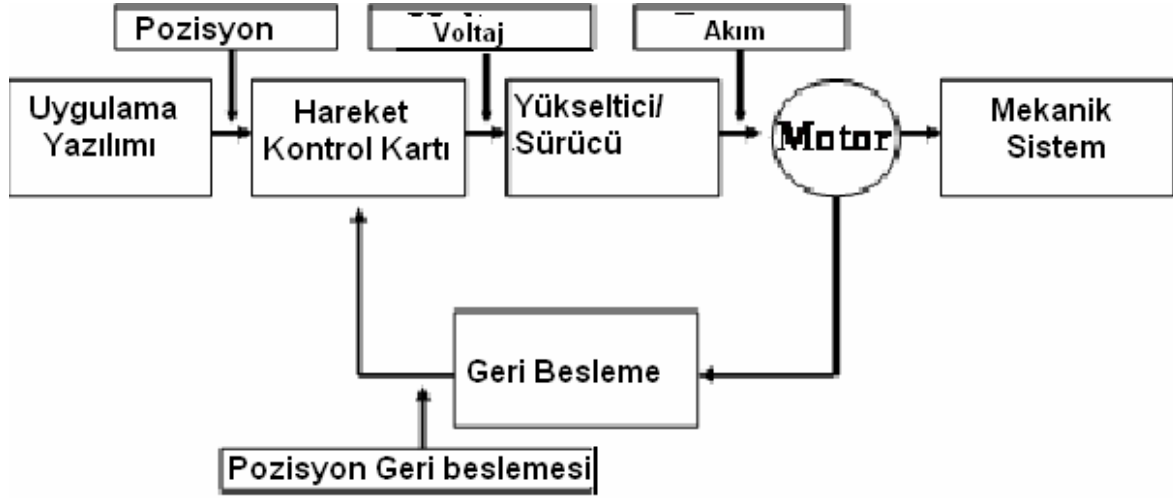


Şekil 5.11 Sıcaklık kontrol şeması

Sıcaklık ölçüm cihazından gelen analog sinyal, bir çevirici kart üzerinde dijital olarak işlenir ve bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayarda ve/veya kontrol cihazında bir yazılım tarafından işlenen veri sistem çevrimini entegre edilir. Bu sayede hem ölçüm alınan noktalarda sıcaklık manuel olarak gözlemlenir, hem de belirtilen algoritma içine alınan değerden işlemin doğruluğu kontrol edilebilir.

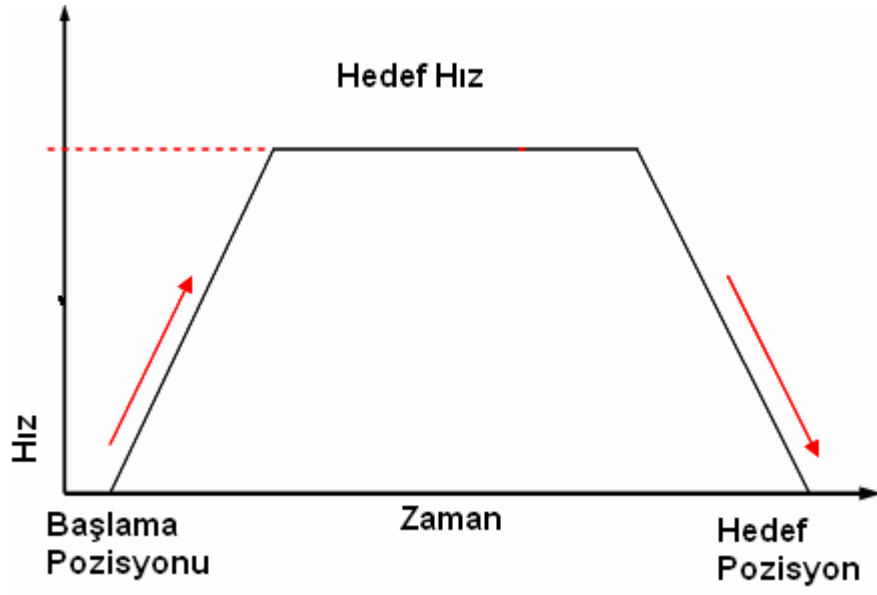
5.3 Motor Kontrolü

Ekstrüder vidasının bağlı olduğu motor, sürücü ve buna bağlı yazılım ile kontrol edilir. Basınç ve sıcaklık sensörlerinden alınan değerler bir kontrol yazılımında değerlendirilip işlenir ve ekstrüder vida hızının uygun olan değerde kalması için, bir sinyal üretilip; motor sürücüsüne gönderilir. Bir kapalı çevrim şeklinde devam eden bu işlem sonucunda, ekstrüder içerisinde basınç ve sıcaklığın istenilen değerde olması sağlanır. Bununla birlikte, hat hızıda yine aynı şekilde motor hızının azaltılıp, artırılmasıyla ayarlanır.



Şekil 5.12 Motor sürücü blok diyagramı

Motorun sürülmesi için kullanılan yazılım, istenilen değerler arasında motorun çalışmasını sağlar. Yazılımla istenilen pozisyon ve hareket profili ayarlanır ve sinyal hareket kontrol kartı üzerine gönderilir. Gelen dijital değer burada analog değere çevrilerek motor sürücü üzerine voltaj değeri olarak gönderilir. Motor sürücü ise motoru dolayısıyla mekanik sistemi, akım çıkışı vererek kontrol eder. Bu çalışma sisteminde motor üzerinde bulunan bir geri besleme cihazı tarafından, kontrol kartı üzerine geri besleme alınarak motorun istenilen konumda olup olmadığı denetlenir.



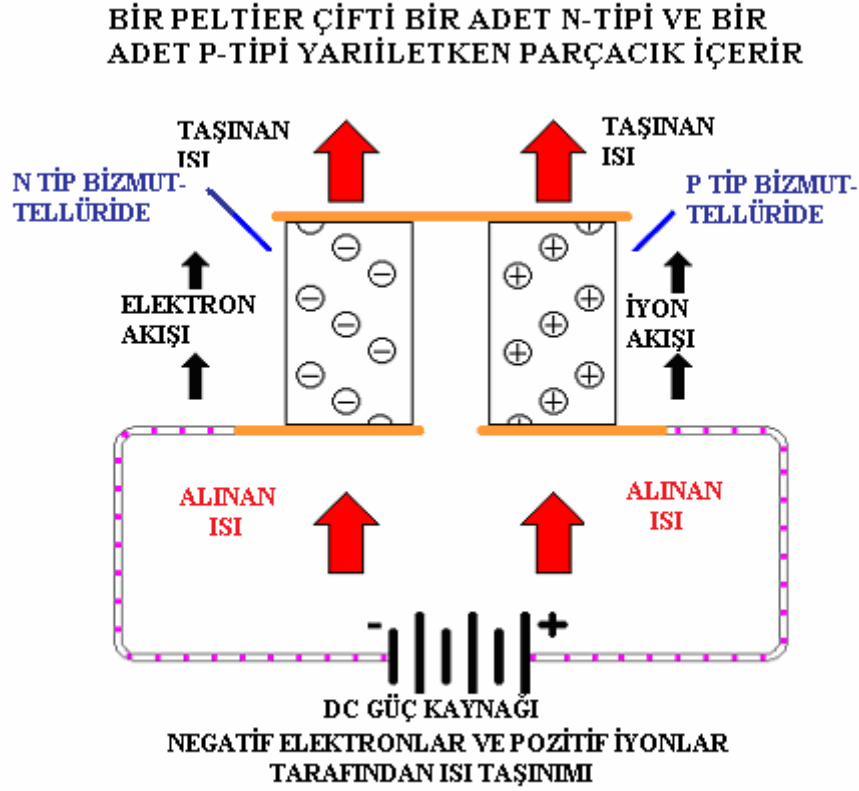
Şekil 5.13 Motor için Hız- Zaman grafiği

Şekil 5.13'te verilen hız zaman grafiğinde de görüldüğü üzere, motor ilk önce hedeflenen hıza yükselmekte, hedef hızda çalışmasını sürdürmekte ve istenilen pozisyonda durdurulması mümkün olmaktadır. Bu profilde olduğu gibi, ekstrüder motoru da sürücü tarafından kontrol edilerek istenilen basınç, sıcaklık ve hat hızı değerlerinin elde edilmesi sağlanır.

6. TERMOELEKTRİK SOĞUTMA

6.1 Termoelektrik Soğutma Temelleri

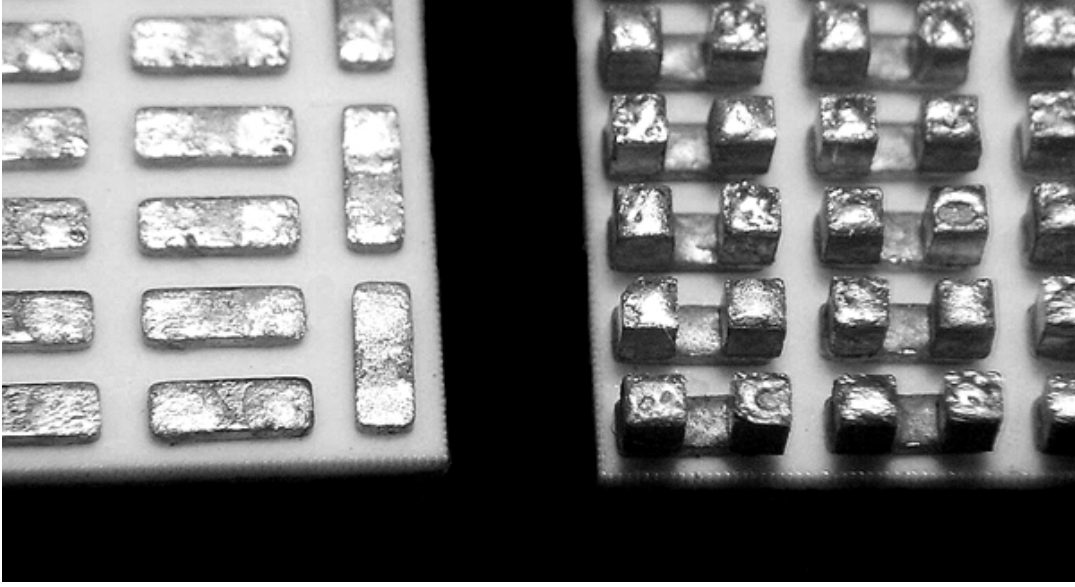
İki farklı metal elemanın meydana getirdiği bir devreye elektrik akımı verildiğinde aksi uçlarda, akımın yönüne göre ısınma veya soğuma meydana gelmesi olayına dayanan bu çevrimden soğutma maksadı ile yararlanılabilmektedir.



Şekil 6.1 Termoelektrik soğutma şematik gösterilişi

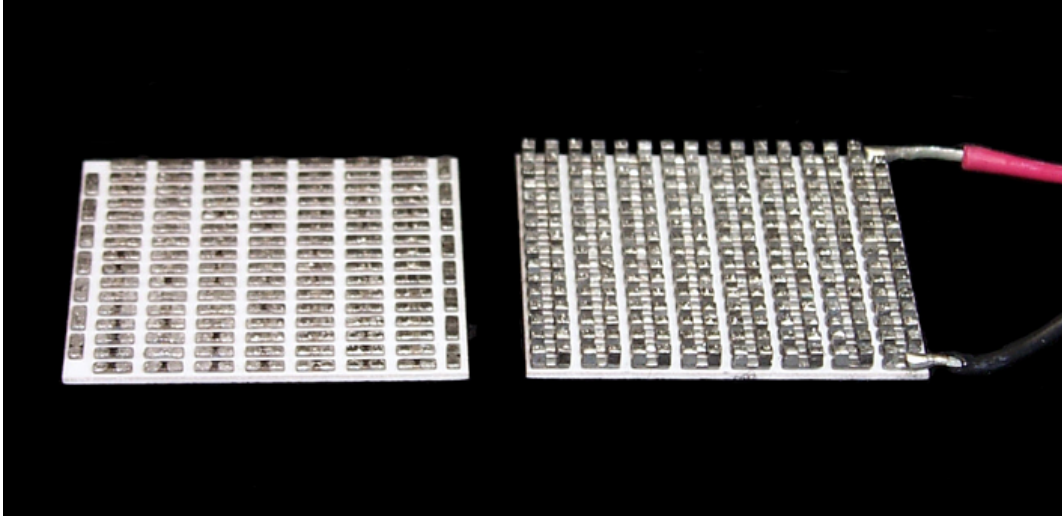
Hareket eden parçası olmaması yönünden diğer soğutma çevrimlerinden farklıdır. Ancak , performans katsayısının (alınan soğutma ısısının harcanan enerjiye oranı) mevcut metal çiftleri ile çok düşük seviyelerde kalması bu sistemin ticari soğutma maksatlı uygulamalarda kullanılmasını ekonomik yönden mümkün kılmamaktadır. Bugün Kullanılan metal çiftler ; Negatif kutup için : Bizmut , Telleryum ve Selenyumun alaşımları , Pozitif kutup için : Bizmut , Telleryum ve Antimuan alaşımları olup bunlarla dahi normal soğutma uygulamalarındaki çalışma sıcaklıklarında ,kompresörlü bir sisteme oranla beşte bir seviyesinde bir performans katsayısı elde edilebilmektedir.Sıcak

ve soğuk uçlar arasındaki sıcaklık farkı ne kadar az olursa performans katsayısı o kadar yükselmektedir. Bu nedenle , sıcak uçta meydana gelen ısıyı süratle almak ve sıcaklığın yükselmesini önlemek çok önemlidir.



Şekil 6.2 Bizmut, Selenyum, Telleryum ve Antimuandan oluşan termoelektrik çiftler

Hareket eden parçasının olmayışı yanında , gürültü , titreşim , aşınma , eskime , soğuktan ve yağ sızıntısı gibi istenmeyen unsurlardan arı olması , kapasite ve sıcaklık kontrolünün akım şiddetini azaltıp çoğaltarak kolayca yapılabilmesi , gravitenin (yer çekimi) çok az veya çok fazla olduğu ortamlarda ve geometrik her pozisyonda etkilenmeden çalışabilmesi bu sistemin uzay araçlarında kullanılmasını istenir hale getirmiştir. Bu uygulamalarda , elektrik akımı güneş pilleri ile (solar batarya) sağlanmakta olup sıcak uçlardaki ısı , güneşin aksi tarafındaki uzay boşluğuna baktırılan radyasyon plakaları ile alınır. Böylece , oldukça yüksek performans katsayılarına da ulaşılabilir.



Şekil 6.3 127 adet çiftten oluşan bir termoelektrik modül

Hem sıcak hem soğuk plakalarından yararlanılacak tarzda yapılması halinde (örneğin yiyecek ısıtıcı ve soğutucu bölümleri bulunan bir yemek servis arabası gibi) enerji sarfı bakımından oldukça ekonomik olabilmektedir.

Bu sistemin diğer bir özelliği , ısı pompasında olduğu gibi , istendiğinde ısıtma veya soğutma işlemlerinin yaptırılabilmesidir. Pozitif ve negatif kutupların yerlerini ters çevirmek sureti ile bu çok kolay sağlanır.

6.2 Termoelektrik Soğutmada Kullanılan Metaller

Termoelektrik soğutmada kullanılan Bizmut, Telleryum, Selenyum ve Antimuan günümüzde stratejik önemi olan; özellikle askeri savunma sanayinde kullanılan metallerdir. Bu metallerle ilgili kimyasal ve fiziksel özellikler aşağıda ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

6.2.1 Bizmut

Bi sembolü ile gösterilir atom numarası 83'tür. Atom ağırlığı 208,98 g/mol olup 298 °K sıcaklığında parlak kırmızımsı-beyaz renkli katı olarak bulunur. P blok elementi bir metaldir. Bizmut doğada oksitleri (Bi_2O_3), sülfürü (Bi_2S_3) ve $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ şeklinde bulunur. Oksitlerinin karbon veya hidrojen ile indirgenmesi ile elde edilir. Bizmutun fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 6.1 de belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 Bizmut elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri(Erdik E., Temel Üniversite Kimyası,1999)

Yoğunluğu	9.78 g/ml																				
Erime noktası	271.3 °C (722.66K)																				
Kaynama noktası	1564 °C(1261K)																				
Molar hacmi	21.31 ml/mol																				
Mineral Setliği	0.12																				
Isı iletkenliği(300K)	0.0792 W cm ⁻¹ K ⁻¹																				
Özgül ısı	2.25 J g ⁻¹ K ⁻¹																				
Buharlaşma Entalpisi	160 kJ mol ⁻¹																				
Atomlaşma Entalpisi	207 kJ mol ⁻¹																				
Elektronik konfigürasyonu	[Xe].4f ¹⁴ .5d ¹⁰ .6s ² .6p ³																				
Kabuk yapısı	2.8.18.32.18.5																				
Elektronegatiflik	2.02 (Pauling birimine göre) 2.36 (Sanderson elektronegatifliğine göre)																				
Elektron ilgisi	91.2 kJmol ⁻¹																				
Atomik Yarıçapı	160 pm (123 pm hesaplama ile)																				
İyonlaşma enerjisi	<table> <tr><td>I. İyonlaşma Enerjisi</td><td>703 kJ mol⁻¹</td></tr> <tr><td>II. İyonlaşma Enerjisi</td><td>1610 kJ mol⁻¹</td></tr> <tr><td>III. İyonlaşma Enerjisi</td><td>2466 kJ mol⁻¹</td></tr> <tr><td>IV. İyonlaşma Enerjisi</td><td>4370 kJ mol⁻¹</td></tr> <tr><td>V. İyonlaşma Enerjisi</td><td>5400 kJ mol⁻¹</td></tr> <tr><td>VI. İyonlaşma Enerjisi</td><td>8250 kJ mol⁻¹</td></tr> </table>	I. İyonlaşma Enerjisi	703 kJ mol ⁻¹	II. İyonlaşma Enerjisi	1610 kJ mol ⁻¹	III. İyonlaşma Enerjisi	2466 kJ mol ⁻¹	IV. İyonlaşma Enerjisi	4370 kJ mol ⁻¹	V. İyonlaşma Enerjisi	5400 kJ mol ⁻¹	VI. İyonlaşma Enerjisi	8250 kJ mol ⁻¹								
I. İyonlaşma Enerjisi	703 kJ mol ⁻¹																				
II. İyonlaşma Enerjisi	1610 kJ mol ⁻¹																				
III. İyonlaşma Enerjisi	2466 kJ mol ⁻¹																				
IV. İyonlaşma Enerjisi	4370 kJ mol ⁻¹																				
V. İyonlaşma Enerjisi	5400 kJ mol ⁻¹																				
VI. İyonlaşma Enerjisi	8250 kJ mol ⁻¹																				
Oksidasyon sayısı	+3, +5																				
İzotopları	<table> <tr><td>Bi-202</td><td>1.7 saat</td></tr> <tr><td>Bi-204</td><td>11.2 saat</td></tr> <tr><td>Bi-205</td><td>15.3 gün</td></tr> <tr><td>Bi-206</td><td>6.24 gün</td></tr> <tr><td>Bi-207</td><td>32.0 yıl</td></tr> <tr><td>Bi-208</td><td>368000.0 yıl</td></tr> <tr><td>Bi-209</td><td>Kararlı</td></tr> <tr><td>Bi-210</td><td>5.0 gün</td></tr> <tr><td>Bi-210m</td><td>3000000.0 yıl</td></tr> <tr><td>Bi-211</td><td>2.1 dakika</td></tr> </table>	Bi-202	1.7 saat	Bi-204	11.2 saat	Bi-205	15.3 gün	Bi-206	6.24 gün	Bi-207	32.0 yıl	Bi-208	368000.0 yıl	Bi-209	Kararlı	Bi-210	5.0 gün	Bi-210m	3000000.0 yıl	Bi-211	2.1 dakika
Bi-202	1.7 saat																				
Bi-204	11.2 saat																				
Bi-205	15.3 gün																				
Bi-206	6.24 gün																				
Bi-207	32.0 yıl																				
Bi-208	368000.0 yıl																				
Bi-209	Kararlı																				
Bi-210	5.0 gün																				
Bi-210m	3000000.0 yıl																				
Bi-211	2.1 dakika																				

	Bi-212	1.0 saat	
	Bi-213	45.6 dakika	
	Bi-214	19.9 dakika	
	Bi-215	7.0 dakika	
İndirgenme Potansiyeli			

Bizmutun kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Dövülebilir demir üretiminde
- Akrilik fiber yapımında katalizör olarak
- Termocouple metali
- Termoelektrik soğutucularda (peltier elemanı)
- Yangın dedektörlerinde ve yangın söndürücülerde
- İlaç sanayisinde
- Kozmetik sanayide kullanılır

6.2.2 Telleryum

Te sembolü ile gösterilir atom numarası 52'dir. Atom ağırlığı 127,60 g/mol olup 298 °K sıcaklığında parlak gri renkli katı olarak bulunur. P blok elementi bir metaldir. Telleryumun fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 6.2 de belirtilmiştir.

Çizelge 6.2 Telleryum elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri(Erdik E., Temel Üniversite Kimyası,1999)

Yoğunluğu	6.240 g/ml
Erime noktası	449.51°C (722.66K)
Kaynama noktası	988 °C(1261K)
Molar hacmi	20.46 ml/mol
Mineral Setliği	2.25

Isı iletkenliği(300K)	0.03 W cm ⁻¹ K ⁻¹																										
Özgül ısı	0.202 J g ⁻¹ K ⁻¹																										
Buharlaşma Entalpisi	48 kJ mol ⁻¹																										
Atomlaşma Entalpisi	197 kJ mol ⁻¹																										
Elektronik konfigürasyonu	[Kr].4d ¹⁰ .5s ² .5p ⁴																										
Kabuk yapısı	2.8.18.18.6																										
Elektronegatiflik	2.10 (Pauling birimine göre) 2.62 (Sanderson elektronegatifliğine göre)																										
Elektron ilgisi	190.2 kJmol ⁻¹																										
Atomik Yarıçapı	140pm (123 pm hesaplama ile)																										
İyonlaşma enerjisi	I. İyonlaşma Enerjisi 869.3 kJ/mol II. İyonlaşma Enerjisi 1790 kJ/mol III. İyonlaşma Enerjisi 2698 kJ/mol IV. İyonlaşma Enerjisi 3610 kJ/mol V. İyonlaşma Enerjisi 5668 kJ/mol VI. İyonlaşma Enerjisi 6820 kJ/mol VII. İyonlaşma Enerjisi 13200 kJ/mol																										
Oksidasyon sayısı	-2, 4, 6																										
İzotopları	<table> <tr><td>¹¹⁶Te</td><td>2.49 saat</td></tr> <tr><td>¹¹⁷Te</td><td>1.03 saat</td></tr> <tr><td>¹¹⁸Te</td><td>6 gün</td></tr> <tr><td>¹¹⁹Te</td><td>16 saat</td></tr> <tr><td>¹²⁰Te</td><td>Kararlı</td></tr> <tr><td>¹²¹Te</td><td>16.8 gün</td></tr> <tr><td>¹²²Te</td><td>Kararlı</td></tr> <tr><td>¹²³Te</td><td>>1x10¹³ yıl</td></tr> <tr><td>¹²⁴Te, ¹²⁵Te, ¹²⁶Te</td><td>Kararlı</td></tr> <tr><td>¹²⁷Te</td><td>9.4 saat</td></tr> <tr><td>¹²⁸Te</td><td>2.2x10²⁴ yıl</td></tr> <tr><td>¹²⁹Te</td><td>33.6 gün</td></tr> <tr><td>¹³⁰Te</td><td>7.9x10²⁰ yıl</td></tr> </table>	¹¹⁶ Te	2.49 saat	¹¹⁷ Te	1.03 saat	¹¹⁸ Te	6 gün	¹¹⁹ Te	16 saat	¹²⁰ Te	Kararlı	¹²¹ Te	16.8 gün	¹²² Te	Kararlı	¹²³ Te	>1x10 ¹³ yıl	¹²⁴ Te, ¹²⁵ Te, ¹²⁶ Te	Kararlı	¹²⁷ Te	9.4 saat	¹²⁸ Te	2.2x10 ²⁴ yıl	¹²⁹ Te	33.6 gün	¹³⁰ Te	7.9x10 ²⁰ yıl
¹¹⁶ Te	2.49 saat																										
¹¹⁷ Te	1.03 saat																										
¹¹⁸ Te	6 gün																										
¹¹⁹ Te	16 saat																										
¹²⁰ Te	Kararlı																										
¹²¹ Te	16.8 gün																										
¹²² Te	Kararlı																										
¹²³ Te	>1x10 ¹³ yıl																										
¹²⁴ Te, ¹²⁵ Te, ¹²⁶ Te	Kararlı																										
¹²⁷ Te	9.4 saat																										
¹²⁸ Te	2.2x10 ²⁴ yıl																										
¹²⁹ Te	33.6 gün																										
¹³⁰ Te	7.9x10 ²⁰ yıl																										

İndirgenme Potansiyeli	+6 +4 0 -1 -2 $\xrightarrow{1.00} \text{TeO}_2 \xrightarrow{0.53}$ $\text{H}_2\text{TeO}_4 \xrightarrow{0.93} \text{Te}^{4+} \xrightarrow{0.57} \text{Te} \xrightarrow{-0.74} \text{Te}_2^{2-} \xrightarrow{-0.64} \text{TeH}$ $\text{TeO}_4^{2-} \xrightarrow{0.07} \text{TeO}_3^{2-} \xrightarrow{-0.42} \text{TeH} \xrightarrow{-0.84} \text{Te}_2^{2-} \xrightarrow{-1.4} \text{Te}^2$ $\xrightarrow{-1.14}$
------------------------	--

asidik
çözeltibazik
çözelti

Telleryumun kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Kurşun metaline eklenerek, sülfürik asidin korrozif etkisini azaltmak ve metalin kuvvetliliğini ve dayanıklılığını artırmak için,
- Yarı iletken özelliğinden dolayı bir çok sektörde,
- Bakırın ve çeliğin işlenebilirliğini arttırmak amacı ile,
- Termoelektrik aletlerde,
- Seramik üretiminde kullanılmaktadır.

6.2.3 Selenyum

Se sembolü ile gösterilir atom numarası 34'tür. Atom ağırlığı 78,96 g/mol olup 298 °K sıcaklığında gri renkli katı olarak bulunur. P blok elementi bir ametaldir. Bizmutun fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 6.3 de belirtilmiştir.

Çizelge 6.3 Selenyum elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri (Erdik E., Temel Üniversite Kimyası,1999)

Yoğunluğu	4.819 g/ml
Erime noktası	221 °C (722.66K)
Kaynama noktası	685 °C(1261K)
Molar hacmi	16.42 ml/mol
Mineral Setliği	2
Isı iletkenliği(300K)	0.0204 W cm ⁻¹ K ⁻¹
Özgül ısı	0.320 J g ⁻¹ K ⁻¹

Buharlaşma Entalpisi	26 kJ mol ⁻¹																						
Atomlaşma Entalpisi	227 kJ mol ⁻¹																						
Elektronik konfigürasyonu	[Ar].3d ¹⁰ .4s ² .4p ⁴																						
Kabuk yapısı	2.8.18.6																						
Elektronegatiflik	2.55 (Pauling birimine göre) 3.01 (Sanderson elektronegatifliğine göre)																						
Elektron ilgisi	195 kJmol ⁻¹																						
Atomik Yarıçapı	115 pm (123 pm hesaplama ile)																						
İyonlaşma enerjisi	<table><tr><td>I. İyonlaşma Enerjisi</td><td>941 kJ/mol</td></tr><tr><td>II. İyonlaşma Enerjisi</td><td>2045 kJ/mol</td></tr><tr><td>III. İyonlaşma Enerjisi</td><td>2973.7 kJ/mol</td></tr><tr><td>IV. İyonlaşma Enerjisi</td><td>4144 kJ/mol</td></tr><tr><td>V. İyonlaşma Enerjisi</td><td>6590 kJ/mol</td></tr><tr><td>VI. İyonlaşma Enerjisi</td><td>7880 kJ/mol</td></tr><tr><td>VII. İyonlaşma Enerjisi</td><td>14990 kJ/mol</td></tr></table>	I. İyonlaşma Enerjisi	941 kJ/mol	II. İyonlaşma Enerjisi	2045 kJ/mol	III. İyonlaşma Enerjisi	2973.7 kJ/mol	IV. İyonlaşma Enerjisi	4144 kJ/mol	V. İyonlaşma Enerjisi	6590 kJ/mol	VI. İyonlaşma Enerjisi	7880 kJ/mol	VII. İyonlaşma Enerjisi	14990 kJ/mol								
I. İyonlaşma Enerjisi	941 kJ/mol																						
II. İyonlaşma Enerjisi	2045 kJ/mol																						
III. İyonlaşma Enerjisi	2973.7 kJ/mol																						
IV. İyonlaşma Enerjisi	4144 kJ/mol																						
V. İyonlaşma Enerjisi	6590 kJ/mol																						
VI. İyonlaşma Enerjisi	7880 kJ/mol																						
VII. İyonlaşma Enerjisi	14990 kJ/mol																						
Oksidasyon sayısı	-2, 4, 6																						
İzotopları	<table><tr><td>⁷²Se</td><td>8.4 gün</td></tr><tr><td>⁷³Se</td><td>7.1 saat</td></tr><tr><td>⁷⁴Se</td><td>Kararlı</td></tr><tr><td>⁷⁵Se</td><td>119.78 gün</td></tr><tr><td>⁷⁶Se, ⁷⁷Se, ⁷⁸Se</td><td>Kararlı</td></tr><tr><td>⁷⁹Se</td><td>1.13x10⁶ yıl</td></tr><tr><td>⁸⁰Se</td><td>Kararlı</td></tr><tr><td>⁸¹Se</td><td>18.5 dakika</td></tr><tr><td>⁸²Se</td><td>1.08x10²⁰ yıl</td></tr><tr><td>⁸³Se</td><td>22.3 dakika</td></tr><tr><td>⁸⁴Se</td><td>3.3 dakika</td></tr></table>	⁷² Se	8.4 gün	⁷³ Se	7.1 saat	⁷⁴ Se	Kararlı	⁷⁵ Se	119.78 gün	⁷⁶ Se, ⁷⁷ Se, ⁷⁸ Se	Kararlı	⁷⁹ Se	1.13x10 ⁶ yıl	⁸⁰ Se	Kararlı	⁸¹ Se	18.5 dakika	⁸² Se	1.08x10 ²⁰ yıl	⁸³ Se	22.3 dakika	⁸⁴ Se	3.3 dakika
⁷² Se	8.4 gün																						
⁷³ Se	7.1 saat																						
⁷⁴ Se	Kararlı																						
⁷⁵ Se	119.78 gün																						
⁷⁶ Se, ⁷⁷ Se, ⁷⁸ Se	Kararlı																						
⁷⁹ Se	1.13x10 ⁶ yıl																						
⁸⁰ Se	Kararlı																						
⁸¹ Se	18.5 dakika																						
⁸² Se	1.08x10 ²⁰ yıl																						
⁸³ Se	22.3 dakika																						
⁸⁴ Se	3.3 dakika																						
İndirgenme Potansiyeli	<table><tr><td></td><td>+6</td><td>+4</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>asidik çözelti</td><td>SeO₄²⁻</td><td>1.15</td><td>H₂SeO₃</td><td>0.74</td><td>Se</td><td>-0.11</td><td>H₂Se</td></tr><tr><td>bazık çözelti</td><td>SeO₄²⁻</td><td>0.03</td><td>SeO₃²⁻</td><td>-0.36</td><td>Se</td><td>-0.67</td><td>Se²⁻</td></tr></table>		+6	+4	0	-1	asidik çözelti	SeO ₄ ²⁻	1.15	H ₂ SeO ₃	0.74	Se	-0.11	H ₂ Se	bazık çözelti	SeO ₄ ²⁻	0.03	SeO ₃ ²⁻	-0.36	Se	-0.67	Se ²⁻	
	+6	+4	0	-1																			
asidik çözelti	SeO ₄ ²⁻	1.15	H ₂ SeO ₃	0.74	Se	-0.11	H ₂ Se																
bazık çözelti	SeO ₄ ²⁻	0.03	SeO ₃ ²⁻	-0.36	Se	-0.67	Se ²⁻																

Selenyumun kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Elektrik iletkenliği ışık ile değiştiğinden fotosellerde,
- Fotoiletken özelliği nedeniyle fotokopi makinalarında,
- Seramikte ve renkli cam üretiminde renk vermek için,
- Çelik üretiminde katkı maddesi olarak,
- A.C akımı D.C akıma çevirme özelliğinden dolayı bir çok uygulamada kullanılmaktadır.
- Termoelektrik cihaz uygulamalarında

6.2.4 Antimuan

Sb sembolü ile gösterilir atom numarası 51'dir. Atom ağırlığı 121.760 g/mol olup 298 °K sıcaklığında gümüşümsü parlak gri renkli katı olarak bulunur. P blok elementi bir yarı metaldir. Bizmutun fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 6.4 te belirtilmiştir.

Çizelge 6.4 antimuan elementi fiziksel ve kimyasal özellikleri (Erdik E., Temel Üniversite Kimyası,1999)

Yoğunluğu	6.697 g/ml
Erime noktası	630,63 °C (722.66K)
Kaynama noktası	1587 °C(1261K)
Molar hacmi	18.22 ml/mol
Mineral Setliği	3
Isı iletkenliği(300K)	0.243 W cm ⁻¹ K ⁻¹
Özgül ısı	0.210 J g ⁻¹ K ⁻¹
Buharlaştırma Entalpisi	77.140 kJ mol ⁻¹
Atomlaşma Entalpisi	263.59 kJ mol ⁻¹
Elektronik konfigürasyonu	[Kr].4d ¹⁰ .5s ² .5p ³
Kabuk yapısı	2.8.18.18.5
Elektronegatiflik	2.05 (Pauling birimine göre) 2.46 (Sanderson elektronegatifliğine göre)

Elektron ilgisi	103.2 kJmol ⁻¹		
Atomik Yarıçapı	140 pm (123 pm hesaplama ile)		
İyonlaşma enerjisi	I. İyonlaşma Enerjisi	834 kJmol-1	
	II. İyonlaşma Enerjisi	1594.9 kJ mol ⁻¹	
	III. İyonlaşma Enerjisi	2440 kJ mol ⁻¹	
	IV. İyonlaşma Enerjisi	4260 kJ mol ⁻¹	
	V. İyonlaşma Enerjisi	5400 kJ mol ⁻¹	
	VI. İyonlaşma Enerjisi	10400 kJ mol ⁻¹	
Oksidasyon sayısı	-3,+3, +5		
İzotopları	Sb-117	2.8 saat	
	Sb-119	38.1 saat	
	Sb-120	15.89 dakika	
	Sb-121	kararlı	
	Sb-122	2.7 gün	
	Sb-123	Kararlı	
	Sb-124	60.2 gün	
	Sb-125	2.75 yıl	
	Sb-126	12.4 gün	
	Sb-126m	19.0 dakika	
	Sb-127	3.84 gün	
	Sb-129	4.4 saat	
İndirgenme Potansiyeli			
	+5 +4 +3 0 asidik çözelti Sb₂O₅ — 0.605 — SbO⁺ — 0.204 — Sb		
	nötr çözelti Sb₂O₅ — 1.055 — Sb₂O₄ — 0.342 — Sb₄O₆ — 0.150 — Sb 0.699		
	bazik çözelti [Sb(OH)₆]⁻ — -0.465 — [Sb(OH)₄]⁻ — -0.639 — Sb		

Antimuanın kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Yarı iletken bir madde olduğu için bu teknolojiye kullanılır. Infrared dedektörlerin yapımında.
- Termoelektrik cihaz yapımında.
- Sertliğı arttırmak için alaşımlar halinde kullanılır.
- Pil, sürtünmeyi önleyen alaşımlar, ayna, kablo yapımında.
- Oksitleri, sülfürleri, triklorürleri alev geçirmeyen materyallerin yapımında, boya endüstrisinde, seramik ve cam yapımında. Potasyum antimontartarat hidrat ilaç sektöründe kullanılır.

6.3 Termoelektrik Eleman Uygulamaları

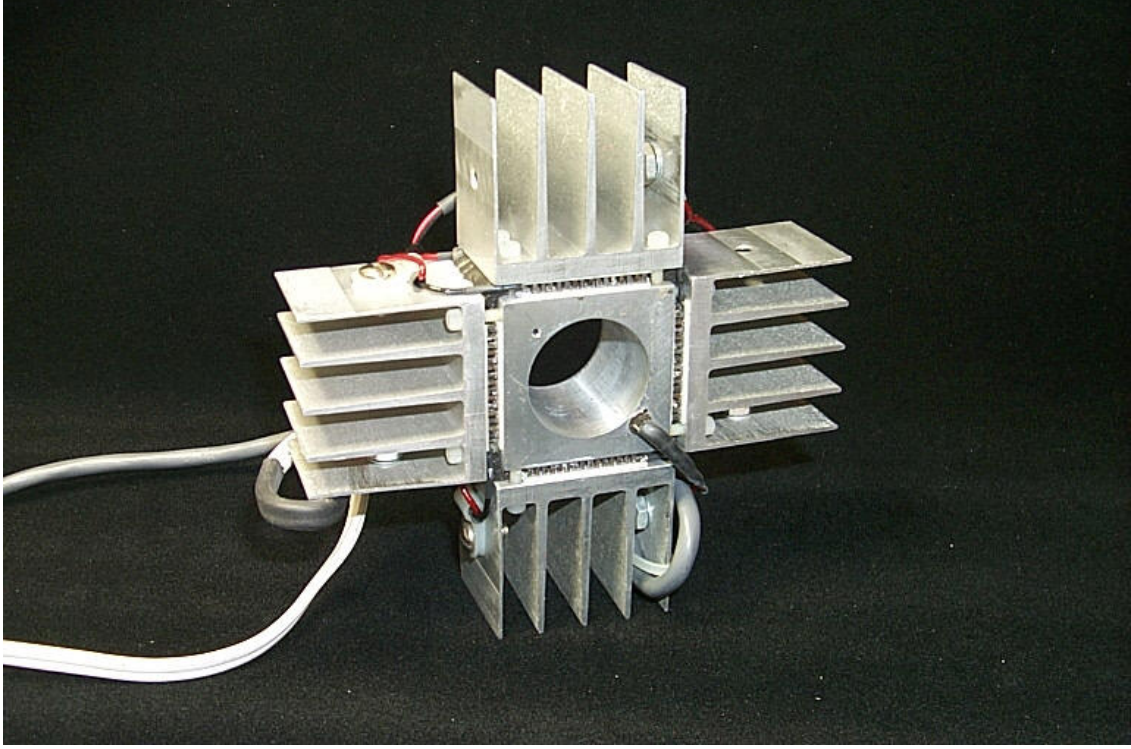
Termoelektrik soğutma, soğutma süreci boyunca hareketli parçaların olmaması nedeni ile geleneksel kompresörlü soğutuculardan farklıdır. Sıcak yüzeyinin ısısı kanatçıklı yüzeyler (fan ilave edilebilir) veya devridaim pompası kullanan akışkanlı sistemler kullanılarak alınmalıdır. Termoelektrik sistemin ısıtma ve soğutma fonksiyonları sadece akım yönünü değiştirerek ters çevrilebilmektedir. Yani aynı düzenele hem soğutma hemde ısıtma yapılabilmektedir.

Tek bir termoelektrik eleman ile düşük soğutma kapasiteli sistemler yapılabilir. İnfrared dedektörlerin soğutulmasında kaskat bağlantı kullanılarak 145 °K (-128 °C) elde edilmiştir.Paralel bağlantı yapılarakta 35.2 kW ‘a kadar kullanılabilirler.

Termoelektrik sistemlerde kapasite kontrolü, uygulanan voltajı ayarlayarak veya seri/paralel kombinasyonları devreye alıp, çıkararak yapılabilir. Voltaj azaltılınca kapasitede azalacaktır.

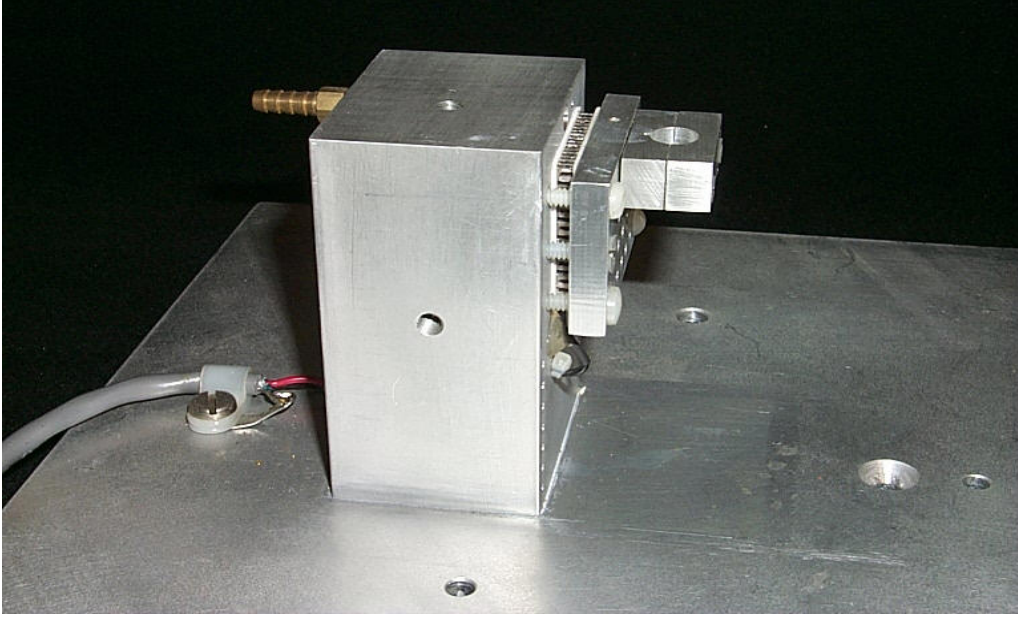
Termoelektrik elemanların başka bir özelliğı ise yerçekimi olmayan yerlerde veya dünya yerçekimi kuvvetinin birkaç katında çalışabilmesidir. Bu özelliğı dolayısıyla U.S.A. uzay programlarında üzerinde önemle durulmaktadır. Bir termoelektrik eleman geniş bir sıcaklık aralığında rahatlıkla kullanılabilir.

Askeri uygulamalarda termoelektrik eleman, gürültüsüzlük, karmaşık olmamak gibi avantajlar sunar. 2500 W 'lık bir ünite, denizaltı yiyecek muhafaza depolarında inceleme amaçlı olarak kurulmuştur. Yine küçük bir denizaltıda 31.7 kW 'lık (9 ton) bir air-condition uygulaması vardır ve her iki uygulamada sıcak yüzeydeki ısı, deniz suyu ile alınmaktadır.



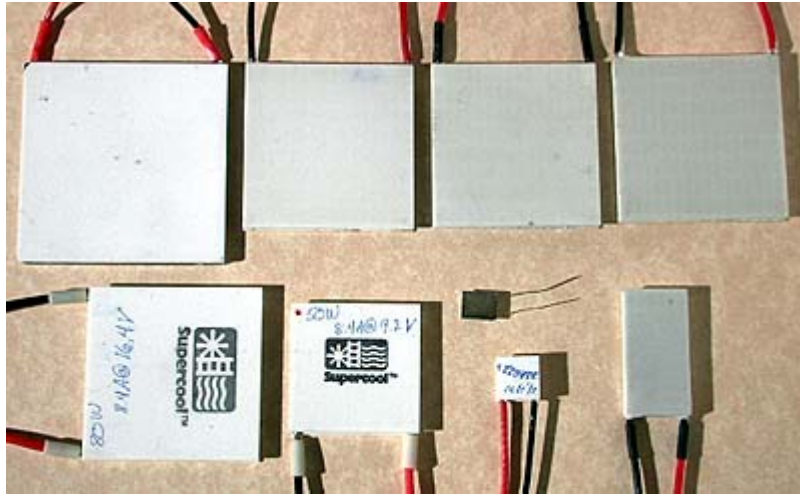
Şekil 6.4 Silindirik yüzeylerin soğutulmasında kullanılan termoelektrik modül

Ticari alandaki uygulamalardan; ulaşım araçları, özel araçlar, deniz, çöl gibi şebeke cırcerayanı olmayan yerlerde, işyerlerinde, ilaç muhafazasında kullanılan küçük portatif soğutucular ve oteller için buz yapıcılar sayılabilir. Buz yapıcı uygulama 0.464 kg suyu 6 saat içinde kübik buz yapabilmektedir. 120 / 220 V a.c. veya 12 V d.c. gerilim ile çalışan 0.283 m³ 'lük portatif soğutucular yurtdışında birçok üretici tarafından satılmaktadır. Bu soğutucular akım yönünü ters çevirerek ısıtıcı olarakta kullanılabilir. 0,0566 m³ 'lük bir hacimde, soğutucu durumunda 2 °C, ısıtıcı durumunda 71 °C elde edilebilmektedir.



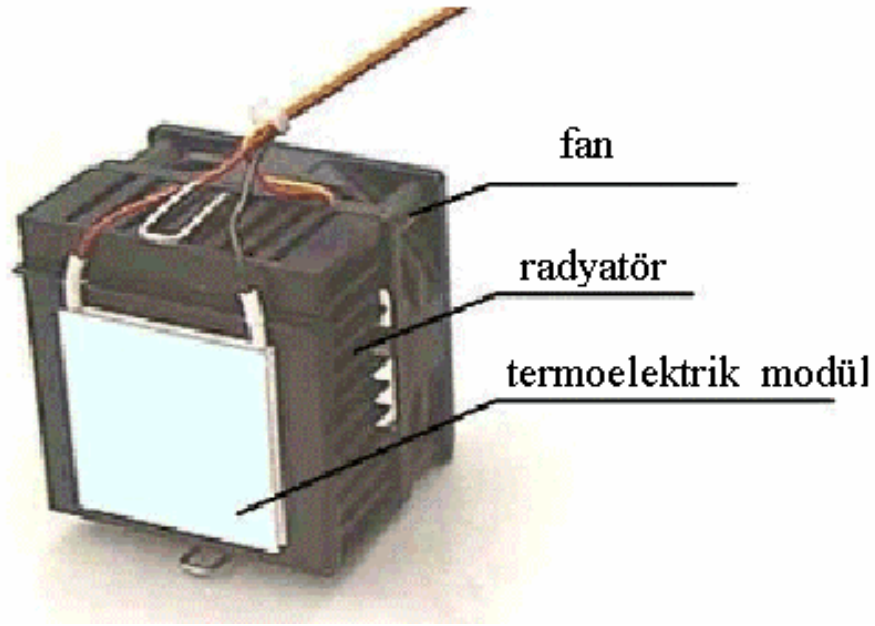
Şekil 6.5 Yarıiletken malzemelerin test edilmesinde kullanılan , termoelektrik olarak soğutulan bir cihaz

Ticari alanda termoelektrik soğutucular, nem kontrolü ve küçük özel uygulamalarda soğuk yüzey elde etmekte iyi sonuçlar vermektedir. Termoelektrik sistemler; soğutma kapasitesi 60 ...90 W değerlerine kadar ekonomik olmaktadır.



Şekil 6.6 Çeşitli boyutlarda termoelektrik modüller

60-90 W arasındaki soğutucular genellikle bilgisayar endüstrisinde, özellikle işlemcilerin soğutulmasında kullanılmaktadır.



Şekil 6.7 Bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında kullanılan termoelektrik modül

1980 yılında Texas A&M üniversitesinde, çöl ortamında enerjisini fotovoltaiik dönüşümle karşılayacak şekilde bir termoelektrik soğutucu tasarlanmıştır. 3600 cm³ hacmindeki soğutucu ilaç kutusu olarak düşünülmüş olup \$8500 maliyet hesaplanmıştır. Bunun \$6000 'ı PV modül, \$500'ı Peltier modül, \$2000'ı diğer malzemeler olarak paylaştırılmıştır.

Tüm bu çalışmaların yanında ülkemizde de termoelektrik soğutma ile ilgili tıp alanında çalışmalar devam etmektedir. Prof.Dr. Raşit AHISKA tarafından geliştirilmiş olan “Termohipoterm Cihazı” ile beyin ısısı istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir.



Şekil 6.8 Termohipoterm cihazı

Termoelektrik modülün bazı avantajlarını maddeler halinde sıralayacak olursak;

- Boyutu küçük ve ağırlığı azdır,
- Yarıiletken olması dolayısıyla ,güvenilir , sessiz ve sarsıntısızdır,
- Ortalama ömrü 200.000 saatten fazladır (22 yıl),
- Sıcaklık kontrolünü etkin bir şekilde yapabilir,
- Elektriksel gürültüsü minimumdur,
- DC gerilim ile çalışır,

Isıtma ve soğutma işlemi sadece akım yönü ters çevrilerek seçilebilir.

Genel uygulama olanları olarak;

- Askeri çalışmalar ve uzay çalışmaları,
- Fiber-optik ve laser uygulamaları,
- Bilgisayarlar ve elektronik endüstrisi,
- Laboratuvar ve bilimsel deneyler,
- Tıp,

sayılabilir.

6.4 Termoelektrik Etkiler

SEEBECK 1822 yılında; iki farklı materyalden oluşan kapalı bir devrede iki jonksiyon farklı sıcaklıklarda tutulduğunda, devreden bir akım aktığını gözlemledi. Bu gözlemini değişik materyaller kullanarak tekrarladı ve sonuçları seri halde yayınladı. 1834 yılında PELTIER ters etkiyi, yani; iki farklı materyalden oluşan kapalı bir devreden akım geçirildiğinde, jonksiyonlardan birinin ısıyı absorbe ederken diğerinin ısı açığa çıkardığını gözlemledi.

Yıllarca bu etkilerin pratik uygulamaları sadece SEEBECK etkisinin, sıcaklık ölçümünde (termocouple olarak) kullanımıyla sınırlı kaldı. Çünkü metaller küçük SEEBECK katsayısına sahiptiler. Transistör ve diğer yarıiletken materyallerin keşfi ile bu yolda önemli adımlar atıldı ve yarıiletken materyallerle fabrikasyona uygun, başarılı sonuçlar alınabilen PELTIER elemanlar geliştirildi.

6.4.1 Seebeck Etkisi

A ve B gibi iki farklı materyalden oluşmuş iki jonksiyon farklı sıcaklıklarda olduğunda materyal uçlarından bir gerilim ölçülür (Şekil 2.1). Bu gerilim jonksiyonlar arası sıcaklık farkı ile doğru orantılı olup ;

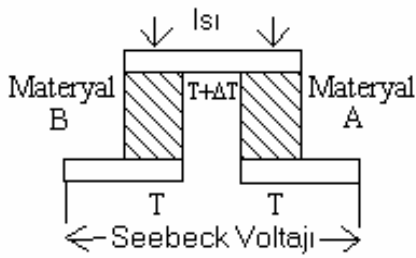
$$E = \alpha_{AB} \cdot \Delta T \quad (6.1)$$

ifadesiyle verilir. Burada;

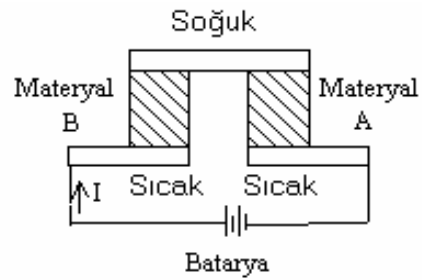
$$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$$

olup göreceli Seebeck katsayısı; E, açık devre gerilimi; ΔT ise jonksiyonlar arası sıcaklık farkı olmaktadır.

Metallerde $\alpha < 0.00005$ Volt / $^{\circ}\text{C}$, yarıiletkenlerde ise $0.0002 < \alpha < 0.0003$ Volt / $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Uygulamada bu etki, genellikle sıcaklık ölçümü amacıyla kullanılır.



Şekil 6.9 Seebeck devresi



Şekil 6.10 Peltier devresi

6.4.2 Peltier Etkisi

A ve B gibi iki farklı materyalden oluşmuş bir kapalı devreden I akımı geçirilirse, birim zamanda absorbe edilen veya açığa çıkarılan ısı miktarı, I akımı ile doğru orantılıdır.

$$Q = \pi_{AB} \cdot I \quad (6.2)$$

Q : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı , W

π_{AB} : A ve B materyalleri için PELTIER sabiti , V

I : Doğru akım , A

Bu iki etkinin birbirine tam ters olması dolayısıyla (6.1) eşitliğindeki α_{AB} ile (6.2) eşitliğindeki π_{AB} arasında bir ilişki olduğu düşünülebilir.

Beklenen bu ilişki Lord Kelvin tarafından;

$$\pi = \alpha \cdot T \quad (6.3)$$

T : Mutlak sıcaklık , Kelvin

α : Seebeck katsayısı

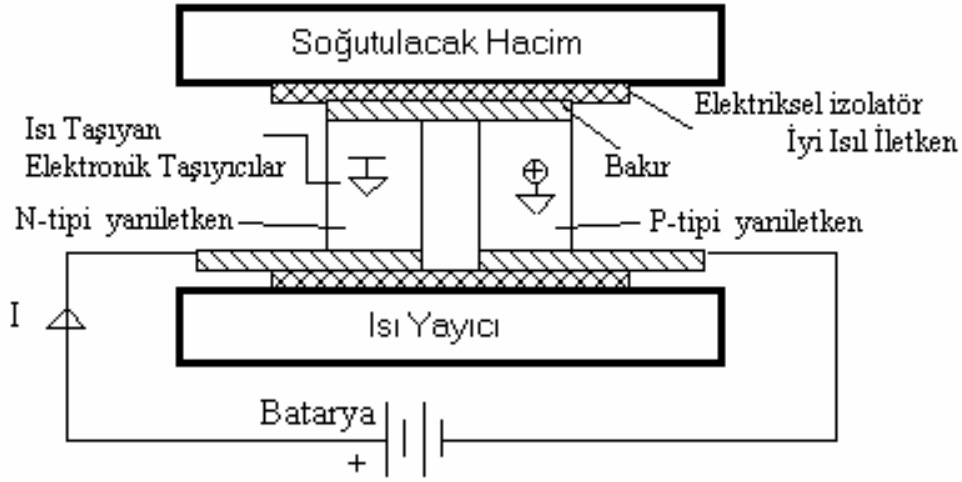
eşitliği ile ifade edildiği için, Q (6.2) eşitliği ;

$$Q = \alpha \cdot T_C \cdot I \quad (6.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Soğuk ve sıcak yüzeyler tamamen Peltier etkisi ile oluşan ısı transferinin doğal sonucudur.yani Peltier etkisiyle ısı, soğuk yüzeyden sıcak yüzeye transfer edilmekte, ayrıca bir ısı üretilmemektedir.¹

¹JOULE ısı etkisi (I².R) dolayısıyla oluşan elektriksel ısı ayrı olarak düşünülmelidir.

Yarıiletkenler fiziği incelemeleri, termoelektrik soğutucunun ısıyı transfer etmek için elektronların enerji seviyelerindeki değişimi kullanan bir ısı pompası olduğunu göstermektedir. Elektronlar iki farklı termoelektrik materyalin oluşturduğu jonksiyondan geçerken, bir enerji soğurucu (absorber) veya yayıcı (evolve) değişime uğramaktadırlar. Akım, düşük enerji seviyesine sahip p-tipi yarıiletken, yüksek enerji seviyesine sahip n-tipi yarıiletkene akarken, elektronlar soğuk yüzeyden aldıkları enerjiyi sıcak yüzeyde terketmektedirler. Dışarıdan verilen elektriksel güç, elektronların sistem içinde hareket etmeleri için gerekli enerjiyi sağlamakta ve böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı transfer etmekte, başka bir deyişle ısı taşımaktadırlar. Dışarıdan verilen elektriksel güç arttırılırsa, hareketli elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da artacaktır. Eğer akım yönü ters çevrilirse, bu işlem tersine işleyecek ve dolayısıyla sıcak ve soğuk yüzeyler kendi arasında yer değiştireceklerdir.



Şekil 6.11 Yarıiletken materyallerden oluşan bir peltier çift

Şekil 6.11 'deki iki farklı materyalden oluşan eleman " çift " (couple) olarak isimlendirilir. N-tipi termoelektrik materyal negatif Seebeck katsayılıdır ve elektron fazlalığı vardır. P-tipi termoelektrik materyal ise pozitif Seebeck katsayılıdır ve elektron eksikliği vardır. Akım yönü bilinen yönde olup, elektronların akış yönünün tersinedir. Termoelektrik materyallerle bakır levhalar arasında dört adet bağlantı noktası olmasına karşın, biri üstte diğeri altta olmak

üzere sadece iki termoelektrik jonksiyon vardır. Üst (veya soğuk) yüzeyden ısı absorbe edilirken, bu ısı alt (veya sıcak) yüzeyden açığa çıkar.

Bahsedilen bu ideal termoelektrik devrede iki etki daha vardır ki; bunlar performansı önemli ölçüde sınırlamaktadır. Birincisi *joule* ısıtma etkisi , ikincisi ise sıcaklık farkından dolayı kaçınılmaz olan, iki jonksiyon arasındaki *kondüksiyon* ile ısı transferidir.

JOULE ısıtma etkisinden dolayı soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi lineer olmamaktadır.

Buna göre soğuk yüzeye ulaşan (sıcak yüzeyden kondüksiyon ve JOULE) ısı kazancı;

$$K \cdot \Delta T + 0.5 \cdot I^2 \cdot R \quad (6.5)$$

K : Isıl iletkenlik , $W / ^\circ K$

R : Elektriksel direnç , Ω

aynı şekilde sıcak yüzeyden ayrılan ısı miktarı ise;

$$K \cdot \Delta T - 0.5 \cdot I^2 \cdot R \quad (6.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer aşağıdaki kabuller yapılırsa ;

α (SEEBECK katsayısı) , ρ (öz direnç) ve K (ısı iletkenlik) sıcaklıktan bağımsızdır. "çift" ile ortam arasındaki ısı alışverişi sadece sıcak ve soğuk yüzeylerden olmaktadır. Kontak dirençleri, bakır ile yarıiletken arasındaki elektriksel direnç ihmal edilebilir.

Soğuk yüzeyde ve giriş gücünde kararlı durum olduğu zaman PELTIER elemanın soğuk yüzeyden soğurabileceği ısı miktarı; Q (6.4) eşitliğinden, buna ters yöndeki istenmeyen ısı kazançlarının ifadesini (6.5) eşitliğini çıkartarak;

$$Q = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - 0.5 \cdot I^2 \cdot R \quad (6.7)$$

Q : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı , Watt

α : $\alpha_p - \alpha_n$, Seebeck katsayısı , V/m^2

K : $K_n + K_p$, Isıl iletkenlik , $W/^{\circ}K$

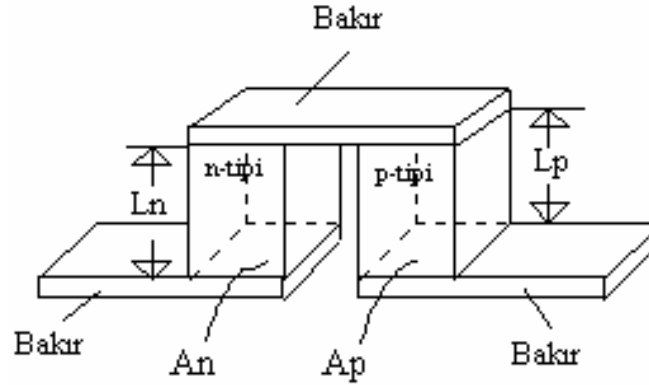
R : $R_n + R_p$,Elektriksel direnç , Ω

Th : Sıcak yüzey sıcaklığı , $^{\circ}K$

Tc : Soğuk yüzey sıcaklığı , $^{\circ}K$

ΔT : $Th - Tc$, $^{\circ}K$

şeklinde elde edilir.Böylece transfer edilecek ısınnın (Q) akım arttıkça artacağı ve sıcaklık farkı arttığında ise azalacağı gözükmemektedir.



Şekil 6.12 Bir Peltier " çift "in fiziksel gösterimi

Burada yarıiletken materyallerin elektriksel dirençleri ;

$$R_n = \frac{\rho_n L_n}{A_n} \quad R_p = \frac{\rho_p L_p}{A_p}$$

ρ_n , ρ_p :Elektriksel iletkenlik ,Ohm . cm

L_n , L_p : " çift " sütunlarının uzunluğu ,m

A_n , A_p :Isı akışına dik "çift " sütun alanı ,m²

şeklindedir.

Isıl iletkenlik ise ;

$$k_n = \lambda_n \frac{A_n}{L_n} \quad k_p = \lambda_p \frac{A_p}{L_p}$$

λ_n, λ_p : " çift " materyallerinin ısı iletim katsayıları, $W/m^{\circ}K$

biçimindedir. Görüldüğü üzere K ve R sabitleri fiziksel boyutlara bağlı olduğundan Q(6.7) ısısıda fiziksel boyutlara bağlı olmaktadır.

(6.7)'de verilen soğutma gücünü sağlamak için gerekli giriş gücü ise;

$$W = I \cdot V = I \cdot (I \cdot R + \alpha \cdot \Delta T) \quad (6.8)$$

olup gerilim; elektriksel iletkendeki gerilim düşümü ile Seebeck voltajının toplamı olmaktadır. Böylece giriş ve çıkış gücü belli olduğuna göre Peltier elemanın verim katsayısı bir başka deyişle performans katsayısı (C.O.P. Coefficient of Performance) bulunabilir.

$$\eta = \frac{Q}{W} = \frac{\alpha T_c I - 0.5(I^2 R) - K \Delta T}{I^2 R + \alpha \Delta T I} \quad (6.9)$$

Görüldüğü üzere sabit bir akımda verim, $\Delta T = T_h - T_c$ sıcaklık farkına bağlı olup ΔT arttıkça azalmaktadır. Akım için ise optimum bir değer vardır. (6.9) eşitliği ile verilen verimi yüksek tutmak için Q 'yu (6.7) yüksek tutmak gerekmekte, bu ise daha önce bahsedildiği gibi fiziksel boyutlara da bağlı olmaktadır. Buna göre şekil 6.12'deki "çift" için Q (6.7) denkleminde;

$$\frac{\partial Q}{\partial (A_p / L_p)} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial (A_n / L_n)} = 0$$

kısmi türevlerini kullanarak Q'yu maksimum yapacak geometrinin sağlanması gereken şart olarak;

$$\frac{A_p / L_p}{A_n / L_n} = \sqrt{(\lambda_n \cdot \rho_p) / (\lambda_p \cdot \rho_n)} \quad (6.10)$$

λ_n, λ_p : " çift " materyallerinin ısı iletim katsayıları, $W/m^{\circ}K$

ρ_n, ρ_p : " çift " materyallerinin elektriksel iletkenliği, $Ohm . cm$

L_n, L_p : " çift " sütunlarının uzunluğu, m

A_n, A_p : Isı akışına dik "çift " sütun alanı, m^2

eşitliği elde edilebilir ve bu optimum geometri şartı olmaktadır. Bundan sonraki eşitliklerde, optimum geometri şartına uygun geometrinin kullanıldığı varsayılmıştır. Optimum geometri şartını kullanarak, verimin (6.9) akıma (I) göre türevi sıfıra eşitlenir ve I'ya göre çözülürse;

$$I_{\eta_{\max}} = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{(M-1) \cdot R} \quad (6.11)$$

maksimum verimdeki akımın değeri bulunur. Verimi en büyük değerine çıkaran bu akım, optimum akım olmaktadır. Optimum akım verim ifadesinde (6.9) yerine konulursa;

$$\eta_{\max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \left[\frac{M - (T_h / T_c)}{M + 1} \right] \quad (6.12)$$

optimum akımdaki verimin ifadesi bulunur. (6.12) denklemindeki M değişkeni materyal parametrelerine bağımlı bir sabit olup,

$$M = \sqrt{1 + \left[\alpha^2 / \left(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n} \right)^2 \right]} \cdot [(T_h + T_c) / 2] \quad (6.13)$$

biçimindedir. Böylece verim; M eşitliğinden (6.13) görüldüğü üzere sadece iki materyalin çalışma sıcaklıklarına, seebeck katsayılarına, elektriksel öz direncine ve ısı iletkenliklerine bağlı olmaktadır. (6.12)'deki $T_c/\Delta T$ oranı tersinir durumun yani, jeneratör durumunun verimini göstermektedir. M denklemindeki materyal parametreleri ile ilgili kısım Z ile gösterilir ve "**Materyal Faktörü**" (figure of Merit) olarak isimlendirilmektedir.

$$Z = \alpha^2 / \left(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n} \right)^2 \quad (6.14)$$

Z parametresi, termoelektrik materyalin performansı açısından çok önemlidir. Eğer Z büyükse verim yüksek olacaktır. Dolayısıyla (6.14) eşitliğinden de görülebileceği gibi, büyük seebeck katsayısı, düşük öz direnç ve kötü ısı iletkenliği istenmektedir. Z parametresi materyal parametrelerine bağımlı olduğundan termoelektrik materyallerin karşılaştırılmasında da kullanılmaktadır.

Maksimum verimdeki akım değerini (6.11), Q 'da (6.7) yerine koyarsak maksimum verimde transfer edilen ısı miktarını aşağıdaki gibi bulabiliriz;

$$Q_{\eta_{\max}} = \frac{2.K.\Delta T.M[M - T_h / T_c]}{[M - 1][1 + T_h / T_c]} \quad (6.15)$$

Termoelektrik materyaldeki $\Delta T = T_h - T_c$ sıcaklık farkı ısı yük tarafından belirlendiğinden maksimum ΔT , $Q = 0$ şartında oluşacaktır. Buna göre (6.7)'deki denklemi sıfıra eşitleyerek;

$$\Delta T_{\max} = \frac{[\alpha.I.T_c - 0,5.(I^2.R)]}{K} \quad (6.16)$$

bulunur. Maksimum ΔT 'nin elde edilebileceği akımı bulabilmek için (6.16)'nın akıma göre türevi sıfıra eşitlenir ve çözülürse maksimum akım eşitliği elde edilecektir. Çünkü bu değerden sonra akımı arttırmanın hiçbir faydası olmadığı gibi, (2.7) eşitliğinde joule ısı etkisinin değeri artacağı için peltier elemanın soğurabileceği net ısı (Q) düşecektir. Buna göre maksimum akım;

$$I_{\max} = \frac{\alpha.T_c}{R} \quad (6.17)$$

şeklinde elde edilir ve (6.16)'da yerine koyulursa termoelektrik materyalin sağlayabileceği maksimum sıcaklık farkı (6.16);

$$\Delta T_{\max} = 0,5.(Z.T_c^2) \quad (6.18)$$

şekline dönüşür. Görüldüğü gibi maksimum sıcaklık farkı, Materyal Faktörü (Z) ve soğuk yüzey sıcaklığına bağlıdır. (6.17)'deki maksimum akım değerini, (6.7)'de yerine koyarak elde edilebilecek maksimum ısı transferini ;

$$Q_{\max} = \frac{0,5 \cdot \alpha^2 T_c^2}{R} - K \cdot \Delta T \quad (6.19)$$

veya,

$$Q_{\max} = K \cdot \left[0,5 \left(Z T_c^2 \right) - \Delta T \right] \quad (6.20)$$

şeklinde elde edebiliriz. Bu noktadaki verim ise, (6.17)'yi (6.9)'da yerine koyarak;

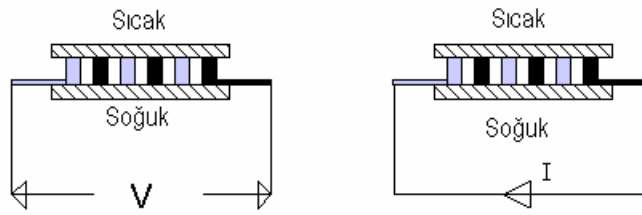
$$\eta_{\max} = \frac{\left[0,5 \left(Z T_c^2 \right) - \Delta T \right]}{Z \cdot T_h T_c} \quad (6.21)$$

olarak bulunabilir. (6.21)'den görüldüğü üzere ΔT sıfıra yaklaşırken max değeride 0.5 limit değerine yaklaşmaktadır.

Bir termoelektrik "çift" (couple), ısı pompası veya elektrik üretimi amacıyla çalışabilen iki yönlü bir elemandır. Jeneratör durumu daha sonraki bölümlerde incelenecektir. Termoelektrik eleman yapımında kullanılacak materyal, yüksek seebeck katsayısına, iyi bir elektriksel iletkenliğe ve kötü bir ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır (Peltier elemanın Q (6.7) eşitliğinden görülebilir). Günümüzde en çok kullanılan yarıiletken malzemesi, n-tipi veya p-tipi katkılandırılabilen Bismuth Telluride materyalidir ve n-tipi için Selenyum (Selenium), p-tipi için ise Antimon (Antimony) materyalleri ile katkılanır. P-tipi materyalin "Materyal Faktörü (Z)" n- tipininkine göre daha yüksektir. "Çift" için "Materyal Faktörü" olarak her ikisinin ortalaması alınır.

6.5 Termoelektrik Elemanın Jeneratör Durumu

Peltier modüle elektrik enerjisi verilerek, bir ısı transferi sağlandığı incelenmişti. Bunun tersi yapılırsa, yani Peltier Modül farklı sıcaklıklardaki iki yüzey arasına yerleştirilirse, uçlarından elektrik enerjisi elde edilmektedir.² Bir peltier " çift " in jeneratör durumundaki akım gerilim ilişkisi Seebeck etkisindeki gibi;



Şekil 6.13 Peltier Elemanın Jeneratör Durumu

$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (6.22)$$

bağıntısı ile gösterilir. Peltier elemanın kontak uçları bir iletkenle birleştirilirse, bu iletkenin bir akım akacaktır. Dolayısıyla;

$$\alpha \cdot \Delta T = I \cdot R \quad (6.23)$$

yazılabilir. Buradaki R direnci Peltier elemanın iç direnci ile dışarıdan bağlanan iletkenin direncinin toplamıdır. İletkenin direncini sıfır kabul ederek, bu ifadeyi OHM kanununa ($V = I \cdot R$) benzetip gerilim ve akım ifadelerini;

$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (6.24)$$

²Literatürlerde bu konuda fazla bilgi bulunamamıştır. Sadece Melcor firmasının mühendislik kataloğunda bir örnek verilmiş ve verim hesaplanmıştır.

$$I = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{R} \quad (6.25)$$

şeklinde elde edebiliriz. Bir termoelektrik " modül" de;

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} , \text{elektriksel direnç, Ohm} \quad (6.26)$$

$$G = \frac{A}{L} , \text{geometri faktörü (Alan / uzunluk) , cm} \quad (6.27)$$

tanımlarını kullanarak akım ifadesi;

$$I = \frac{\alpha \cdot G}{\rho} \cdot \Delta T \quad (6.28)$$

biçimine dönüştürülebilir. (2.28) denklemindeki α , ρ ve G sabitleri peltier elemanın materyal parametreleridir. Burada çıkış gücü akım ve gerilimin çarpımı olacağından;

$$Q_{el} = V \cdot I = \frac{\alpha^2 \Delta T^2 G}{\rho} \quad (6.29)$$

olarak bulunur.

Giriş gücü ise sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru peltier eleman üzerinden kondüksiyon ile ısı iletimi olmaktadır.Böylece;

$$Q_{isi} = \frac{\lambda \cdot A}{L} (T_h - T_c) = \lambda \cdot G \cdot \Delta T \quad (6.30)$$

elde edilir.Bu halde peltier elemanın jeneratör durumundaki verimi hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{Q_{el}}{Q_{isi}} = \frac{\alpha^2 \Delta T}{\lambda \cdot \rho} \quad (6.31)$$

Görüldüğü gibi verim ΔT ile doğru orantılıdır ve materyal parametrelerine sıkı sıkıya bağlıdır.

7. UYGULAMA

Önceki bölümlerde anlatılmış ve teorik alt yapısı hazırlanmış olan termoelektrik soğutma ile plastik boru imalatı, bu bölümde uygulamalı olarak yapılacaktır. İlk olarak üretilecek borunun malzemesi, çapı ve et kalınlığına, hızı ve sürtünmesine bağlı olarak “soğutma yükü” hesaplanacaktır. Deney düzeneği için, özel olarak bir boru kalibresi tasarlanmış ve üretilmiştir. Hesaplanan soğutma yüküne bağlı olarak, termoelektrik soğutmayı sağlamak için gerekli hesaplamalar yapılacak ve sistemde kullanılması planlanan “termoelektrik modüller” belirlenecektir. Peltierlerin sıcak yüzeylerine transfer edilen ısı ise, yine özel olarak imal edilmiş ve peltierlerin sıcak yüzeyini komple kaplayan, alüminyum radyatör ile alınacaktır. Bu parçanın içindeki su kanalları sayesinde soğuk su sirkülasyonu sağlanacaktır. Boru içindeki çökmenin önlenmesi amacıyla, imal edilmiş olan kalibreye uç tarafından vakum uygulanacaktır. Termoelektrik soğumanın hassas olarak kontrolü ve ekstrüdere akuplajı elektronik kartlar, sıcaklık ve basınç ölçüm sensörleriyle sağlanacaktır.

7.1. Üretilecek Boru Parametreleri

Günümüzde teknolojinin gelişme hızı dikkate alındığında; verimlilik, hız ve üretim kolaylığı sanayide en temel ihtiyaçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Dünya ve ülkemizde sanayi ve inşaat sektöründeki gelişmeler paralel olarak ilerlemektedir. İçinde bulunduğumuz dönemde gerek altyapı, gerekse üst yapı sektöründeki ilerlemeler, yeni malzemeler olan polietilenin ve polipropilenin ortaya çıkmasına ve yoğun olarak kullanılmasına olanak tanımıştır. Ülkemizde de özellikle, son 10 yıldır bu malzemelerden yapılmış tesisat ürünleri, borular, ve boru ek parçaları yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı üretilecek olan boru malzemesi olarak “yüksek yoğunluklu polietilen” (HDPE) seçilmiştir. Üretim ve uygulama kolaylığından ötürü 63 mm dış çapında ve 4 mm et kalınlığına sahip HDPE boru üretilmesi planlanmaktadır. Bu malzeme için ekstrüderden kalibreye giriş sıcaklığı $T_i = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ dir.

Kalibre boyu $L_{kalibre} = 300\text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Ekstrüderden en yüksek çıkış hızı $V_b = 3\text{ m/dak} = 50\text{ mm/s}$ kabul edilmiştir. Peltier elemanın dış yüzeyinin $T_{\infty} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması planlanmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin karakteristik özellikleri;

$$\rho_{PE} = 860\text{ kg/m}^3 \quad C_{pPE} = 3,4\text{ kJ/kgK} \quad \lambda_{PE} = 0,3\text{ W/mK} \quad a = \lambda / \rho c_p = 1,026 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Malzeme tüketimi : 137 kg/h olarak kabul edilir.

7.2 Soğutma Yüğü ve Mukavemet Hesapları

7.2.1 Yarı Sonsuz Duvarda Zamana Bağlı Isı İletimi

Borudan transfer edilecek ısı, yarı sonsuz duvarda zamana bağli ısı iletimi olması kabulüyle hesaplanacaktır. Farklı et kalınlıklarında farklı sıcaklıklar olacağından, boru 0,5 mm aralıklarla parçalara ayrılır ve her bir parçadaki sıcaklık ve parçadan çekilecek ısı hesaplanır. Parçaların içindeki “x” mesafesindeki sıcaklık,

$$\frac{T_s - T}{T_s - T_o} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \quad (7.1)$$

bağıntısı ile ve parçalardan çekilecek ısı;

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (7.2)$$

Bağıntısı ile hesaplanır.

7.1 denkleminde,

T_s : Yüzey Sıcaklığı (°C)

T_o : İlk Sıcaklık (°C)

T : Yüzeyden İtibaren x Mesafesindeki Sıcaklık (°C)

t : Zaman (s)

a : Isı Yayılım Katsayısı (m^2 / s) olarak anılır.

7.2 denkleminde ise,

m : 0.5 mm aralıklar ile ayrılan herbir parçanın kütlesi.(Kg)

c : özgül ısı (kj/ kg.K)

Δt : 0.5 mm aralıklar ile ayrılmış parçalar arası sıcaklık farkı (K) olarak anılır.

Borular kalibre içinden geçirildiğinden, borunun kalibre yüzeyi ile temas süresi, boru çekme hızından hesaplanabilir.

$V_b = 3 \text{ m/dak} = 50 \text{ mm/s}$ hızla ilerlerse 0.3 m’yi 6 sn’de geçer ve kalibreden geçen kütle 0,228 kg olur. Peltier ile soğutulan yüzey sıcaklığı $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ ve borunun kalibreye giriş sıcaklığı $T_i = 210^\circ\text{C}$ kabul edilerek, (7.1) bağıntısı ile, yüzeyden itibaren 4 mm kalınlığına kadar olan sıcaklıklar 0,5 mm aralıklarla hesaplanacaktır. (7.2) bağıntısı ile sıcaklığı

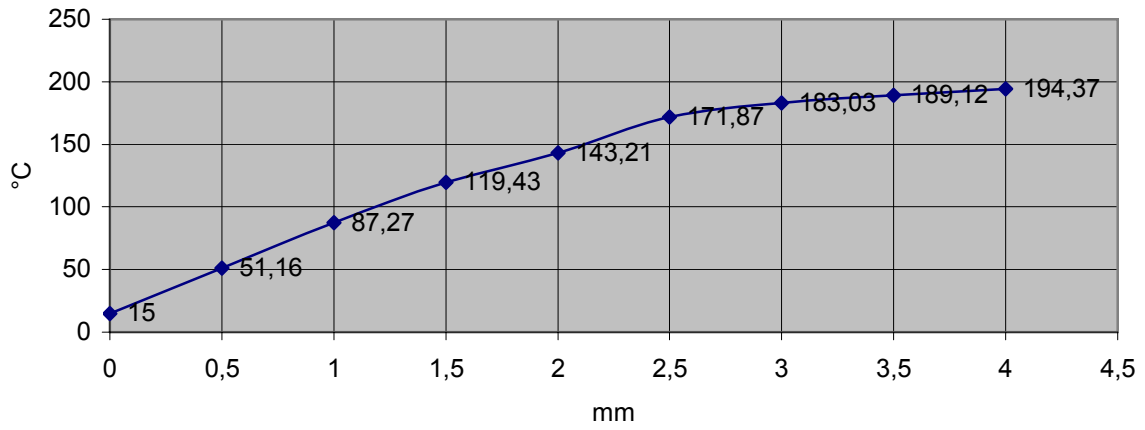
hesaplanan her bir parça için soğutma yükü hesaplanacaktır.

7.1 ve 7.2 bağıntılarından,

Çizelge 7.1 Hesap Edilen Sıcaklık ve Isı Değerleri

Et kalınlığı (mm)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	ΣQ W
Sıcaklık(°C)	15	51,16	87,27	119,43	143,21	171,87	183,03	189,12	194,37	5367

Et Kalınlığına Bağlı Sıcaklık Dağılımı



Şekil 7.1 Et Kalınlığına Bağlı Sıcaklık Diyagramı

7.2.2 Sürtünme Kaynaklı Soğutma Yükü

Boru; kalibreden geçerken, kalibre uzunluğu boyunca sürtünme kuvvetine maruz kalır. Bu kuvvetten kaynaklı ısı açığa çıkar. Toplam soğutma yükünü hesap etmek için sürtünme kaynaklı ısıların belirlenmesi gerklidir.

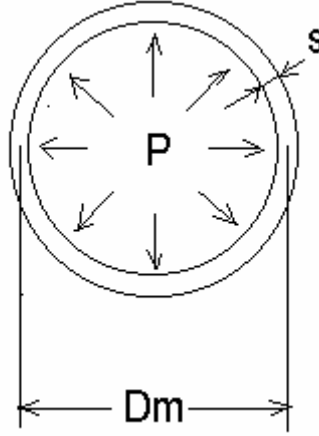
$$\sigma = \frac{p \cdot D_m}{2s} \quad (7.3)$$

(7.3) bağıntısında,

p : boruya içten etkiyen basınç

D_m: boru ortalama çapı

s : boru et kalınlığı olarak anılır.



Şekil 7.2 Boru kesiti

63 mm dış çapındaki boru için $s=4$ mm $P = 100$ mmHg = 13,33kPa = 13 300 N/m² değerleri yerine koyulursa $\sigma = 98.087$ N / m² bulunur. Borunun kalibre ile temas eden iç yüzey alanı 0,051836 m² hesaplanır. Buradan boru iç yüzeyini dışarı iten kuvvet,

$$F = \sigma \cdot A \quad (7.4)$$

Bağıntısına göre, 5084,43 N olarak bulunur. Sürtünme kuvveti (7.5) bağıntısı ile hesaplanır.

$$F_{\text{sürtünme}} = F \times \mu \quad (7.5)$$

μ : sürtünme katsayısı

$$F_{\text{sürtünme}} = 1525 \text{ N olarak bulunur.}$$

Güç, kuvvet ve hızın çarpımı olduğundan her boru için hız değeri m/s olarak alınmalıdır.

$$P = F_{\text{sürtünme}} \times v \text{ (W = J/s = Nm/s)} \quad (7.6)$$

(7.6) bağıntısından, 1525 (N) $\times$ $0,05$ (m/s) = $76,25$ W sürtünmeden dolayı oluşan ısı olarak bulunur.

7.2.3. Mukavemet Hesabı

Boru çekmede soğutma işlemi vakum altında gerçekleştiğinden, kalibreden geçen borunun soğuyan dış kısmının vakuma karşı mukavemet gösterme durumu incelenmelidir. Boru malzemesi olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE 100) erime sıcaklığı 135 °C ve yumuşama sıcaklığı 70 °C dir. Yumuşama sıcaklığından daha düşük olan, dış kısmın sıcaklığı (7.1) denklemi ile hesaplanır. Yüzey sıcaklığı 15 °C, ilk sıcaklık 210 °C ve katılan kısım sıcaklığı 70 °C kabulüyle hesaplanırsa; yüzeyden itibaren 0,77 mm'nin katıldığı bulunur. (7.3) bağıntısına göre katılan bölgenin gerilme değeri hesaplanır.

$\sigma = 537441 \text{ N} / \text{m}^2 = 0,537 \text{ MPa}$ olarak hesaplanır. Kullanılan malzeme için emniyet gerilmesi $\sigma_{emniyet} = 22 - 30 \text{ MPa}$ ve $\sigma < \sigma_{emniyet}$ olduğundan boru emniyetlidir.

Yapılmış olan hesaplamaları takiben, hesaplanan veriler kullanılarak, peltier ve kalibre tasarımına geçilecektir.

7.3 Kullanılacak Termoelektrik Modülün Belirlenmesi

Soğutma sisteminde kullanılması planlanan termoelektrik modülü belirlemek için bölüm 6.4'te bahsedilen “peltier etkisi” hesapları yapılacaktır. Buradan alınan sonuçlar doğrultusunda standart olarak bir peltier modül ve kullanım adedi belirlenecek ve temin edilecektir. Peltier modüller; firma bazında çeşitlilik gösterse de, henüz her uygulamaya yönelik bir modül bulunmamaktadır. Burada yapılan uygulama içinde, kullanıma yönelik bir modül yoktur; fakat standart modüller çeşitli elektriksel ve mekanik işlemlerle kullanılabilir duruma getirilecektir.

7.3.1. Termoelektrik Hesaplamalar

Yapılan tüm hesaplamalar dikdörtgen modül kabulüyle yapılacaktır. 6.7 denklemi tekrar, genişletilerek yazılırsa,

$$Q = 2.N.(\alpha.T_c.I - K.\Delta T.G - I^2.\rho/2G) \quad \text{elde edilir.} \quad (7.7)$$

Burada ;

Q : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı , Watt

I : Akım , A

α : $\alpha_p - \alpha_n$, SEEBECK katsayısı , V / m²

K : $K_n + K_p$, Isıl iletkenlik , W / °K

R : $R_n + R_p$, Elektriksel direnç , Ω

T_h : Sıcak yüzey sıcaklığı , °K

T_c : Soğuk yüzey sıcaklığı , °K

ΔT : $T_h - T_c$, sıcaklık farkı , °K (°C) (sıcaklık farkı olduğu için birimi önemsizdir)

N : Modüldeki çift sayısı “ adet ”

ρ : Elektriksel iletkenlik , Ω cm

G : Çift için “ alan / uzunluk ” cm

olarak ifade edilir. Böylece transfer edilecek ısıнын, akım arttıkça artacağı ve sıcaklık farkı arttığında ise azalacağı görülmektedir.

Uygulama için; üretimi planlanan borunun soğutma yükü bölüm 7.2’de hesaplanmıştı, buradan 7.7 eşitliği söz konusu üretim hattı için yazılarak akım değerleri bulunacaktır. Modül “Bismuth-Telluride” malzemesinden imal edilecektir. Bismuth-Telluride için kullanılacak parametreler aşağıda verilmiştir.

α : 0,0002 W / °C

ρ : 0,001 Ω cm

λ : 0,015 W / cm °K

Z : 0,00267 °K⁻¹

N : 31 adet (Her 16 cm² alanda 31 tane olacak şekilde yerleşmiştir.)

Toplam Soğutma Yüğü : ısı kapasitesi + sürtünme ısıısı = 5367 + 76,25 = 5443,25 W olur.

16 cm² alanda 31 çift varsa, toplam kalibre alanı 593 cm² de 1147 termoelektrik çift olmalıdır. Boru dış yüzeyinin 15 °C olması gerekmektedir. Kalibre boyu ise 0,3 m olarak belirlenmiştir. Yukarıda yer alan değerler 7.7 eşitliğinde yazılırsa,

$$5443,25 = 2 \times 1147 \times (0,0002 \times 288 \times I - 2,34 \times 10^{-3} \times 35 \times 0,516 - I^2 \times 0,001 / 2 \times 0,516)$$

I değeri buradan ≈ 33 A bulunur.

Cihazın direnci;

$$R = 2 \cdot \rho \cdot N / G \quad (7.8)$$

bağıntısından $R = 4,4 \, \Omega$ bulunur.

Cihazın gerilimi;

$$V = I.R \quad (7.9)$$

Eşitliğinden $V = 145,2 \, V$ bulunur.

Cihazın gücü ise;

$$W = I.V = I.(I.R + \alpha.\Delta T) \quad (7.10)$$

Bağıntısından $\approx 4791,6 \, W$ bulunur.

Termoelektrik soğutma elemanları için “soğutma etkisi” değeri söz konusu olduğundan.

Hesaplanan sistem için “soğutma etkisi” (performans katsayısı) değeri;

$$\text{Soğutma Etkisi (Performans Katsayısı)} = \frac{\text{Elde Edilen Soğutma}}{\text{Verilen Güç}} \quad (7.11)$$

Eşitliğinden 1,136 olarak bulunur.

Termoelektrik modülün toplam gücü 4791,6 W olmaktadır. Boru peltier modül ile 6 s temas etmektedir. Buna göre 0,3 m borunun soğutulması için geçen zaman $1,666 \times 10^{-3}$ saat olur.

Buradan 0,3 m borunun soğutulması için gerekli elektrik enerjisi,

$$4,7916 \, (kW) \times 1,666 \times 10^{-3} \, (h) = 7,98 \times 10^{-3} \, kWh \, \text{olur.}$$

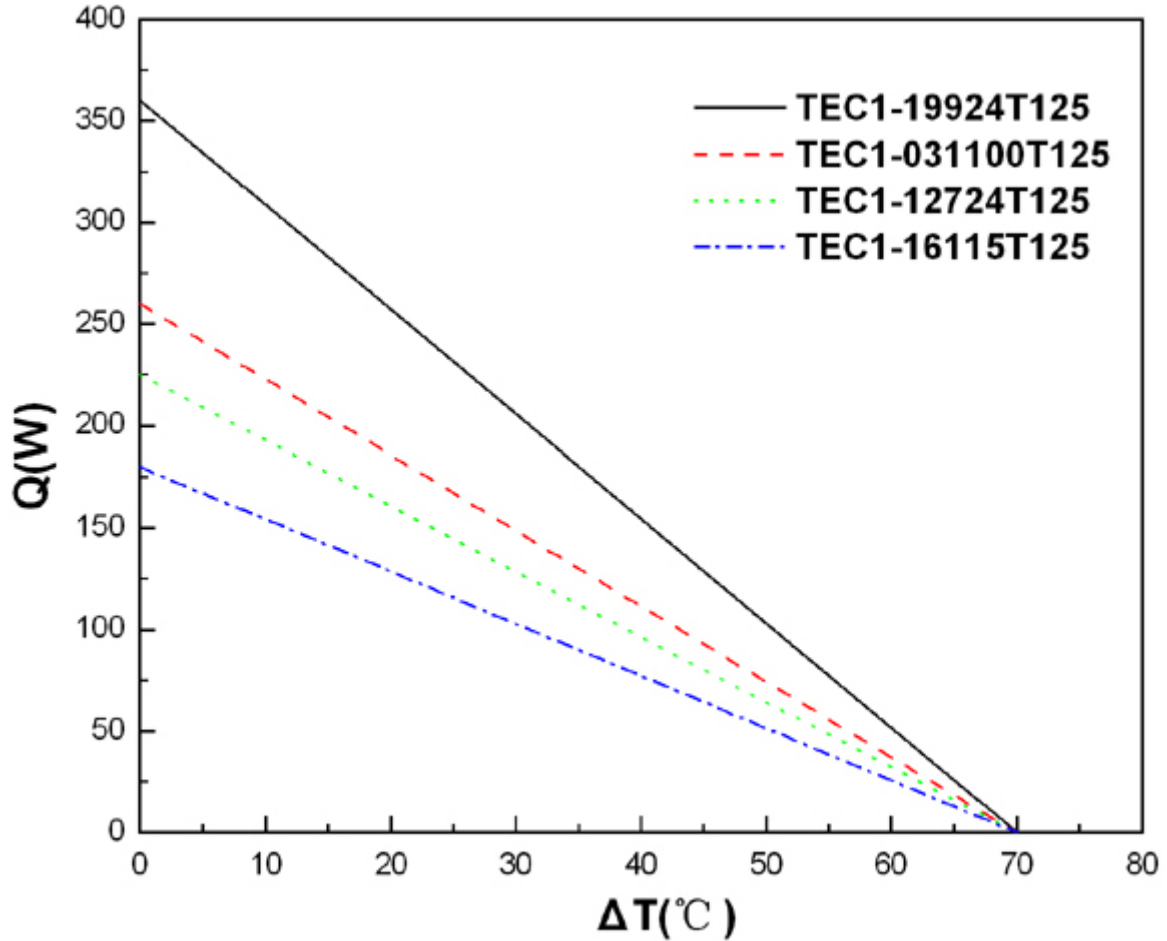
7.3.2 Teorik Hesaplamalara Göre Standart Modülün Seçilmesi

7.3.1 bölümünde yapılmış tüm hesaplamalar, kalibrenin peltier olduğu kabulüyle yapılmıştır. Boru imalatına uyarlanacak termoelektrik soğutma elemanı için teoride ve uygulamada en verimli sistem, kalibrenin tamamen bu elemanla kaplanması veya bu elemandan yapılmasıdır. Fakat uygulama aşamasında bu sistemin tedariki oldukça zor ve masraflıdır. Günümüzde termoelektrik uygulama Türkiye ve Dünyada yeni olarak ticarileşmektedir. Standart modülleri oldukça ucuz olmasına karşın; özel olarak yapılacak bir peltier modül, ticari uygulamalar dışında, oldukça maliyetli olmaktadır.

Çalışmanın uygulama aşamasında, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı standart termoelektrik modüller kullanılacaktır. Termoelektrik modüller, yurt içi üretici bulunmadığından dolayı, yurt dışından tedarik edilmiştir. Yurt dışı üretici firmalarla görüşülmüş, fiyat ve sürece uygunluluk açısından Çin Halk Cumhuriyeti’nde üretimini sürdüren “Huimao” isimli firma tedarikçi olarak seçilmiştir. Firmanın tedarik edilen kataloğu

(Ek 1) incelenerek en uygun modül için karar verilmiştir.

Öncelikle, termoelektrik modül standart olarak kare ve dikdörtgen şeklinde üretilmektedir. Kullanılacak modül de bu sebeple kare olacaktır. Kare modülün, yuvarlak kalibre borusuna uyarlanması amacıyla kalibre borusunun dış yüzeyi altıgen olarak işlenmiştir. En ince et kalınlığında, en fazla modülün kullanılması amacıyla ve standart modül ölçüleri göz önüne



Şekil 7.3. Peltier Modüller için Sıcaklık Farkı- Soğutma Kapasitesi ilişkileri (Huimao Corp. Product Cataloge)

alınarak, kalibrenin dış yüzeyi, her bir kenarı 40 mm olan altıgen olarak şekillendirilmiştir. Böylelikle kalibre dış yüzünde, 40×300 mm boyutunda 6 adet dikdörtgen elde edilmiştir. Bağlantı kabloları ve bağlantı elemanları da düşünüldüğünde, bu alana 6 adet 40×40 mm boyutunda peltier konulması uygun bulunmuştur. Katalog incelendiğinde “standart” olarak anılan modüllerin 7.3.1 bölümünde hesaplana gerilim, akım ve sıcaklık farkı değerlerinin tümünü sağlamadığı, görülmüş ve “yüksek güçlü termoelektrik soğutma modülleri” içinde araştırma devam ettirilmiştir. Söz konusu değerlerden(Ek 1), istenilen ölçüye uygun olan 7

modül vardır(TEC1-03125T125, TEC1-03130T125, TEC1-03140T125, TEC1-03150T125, TEC1-03160T125, TEC1-03180T125, TEC1-031100T125). Yine bölüm 7.2.1 ve 7.2.2’de hesaplanan toplam soğutma yükü $\Sigma W = 5443,25$ W’dır. Bu değer 36 adet modülle sağlanacağından dolayı bir modülün soğutma kapasitesi,

$5443,25(W) \div 36 = 151,2$ W olmalıdır. Bu hesaplamayla birlikte olasılık 3 modül üzerine yoğunlaşmıştır (TEC1-03160T125, TEC1-03180T125, TEC1-031100T125). Sıcaklık farkı $\Delta T = 35-40$ °C olmaktadır. Her üç modülün katalog değeri bu parametreyi karşıladığından, belirleyici faktör akım olacaktır. Belirlenen modüllerin katalog dirençleri sırasıyla 0.045, 0.035, 0.027 Ω olarak verilmiştir.

$$W = R \times I^2 \quad (7.12)$$

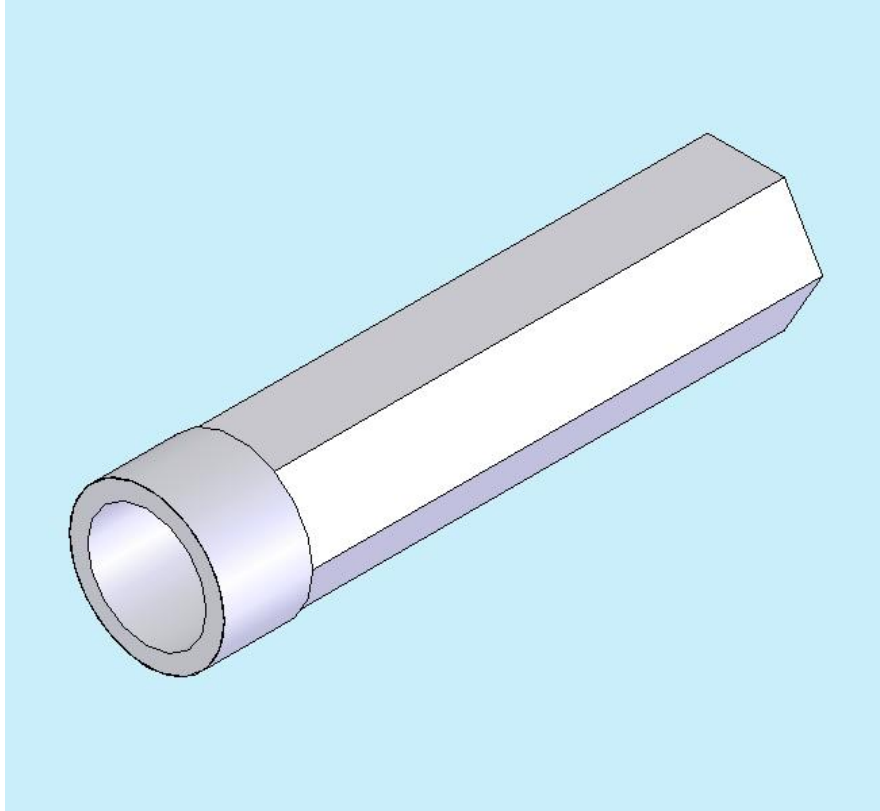
Bağıntısında W ve R değerleri yerine yazılarak akım değerleri sırasıyla, 57.96, 65.72, 74.83 Amper olarak bulunur. Kayıplar, kablo direnci gibi faktörler göz önüne alınarak bulunan akım değerleri 1,2 gibi bir emniyet katsayısı ile çarpılırsa; elde edilen değerler, 69.55, 78.86, 89.79 Amper olur. Bu değerlere göre; TEC1-03160T125 modülü en fazla 60 A’da çalışabildiğinden kullanılamaz, TEC1-03180T125 modülü en fazla 80 A’da çalışabildiğinden sınırda bir seçim olacaktır. TEC1-031100T125 modülü ise 100 A’da çalışabileceğinden uygulamada güvenli bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır. Seçilen TEC1-031100T125 modülü ile ilgili parametreler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Kullanılan termoelektrik modülün parametreleri (Huimao Corp. Product Cataloge)

Model	Couples	U _{max}	I _{max}	ΔT_{max}	Q _{max}	L×W×H(mm)	R(Ω)
TEC1-031100T125	31	3,5	100	55	260	40×40×4,35	0,027

7.4 Kalibre Tasarımı

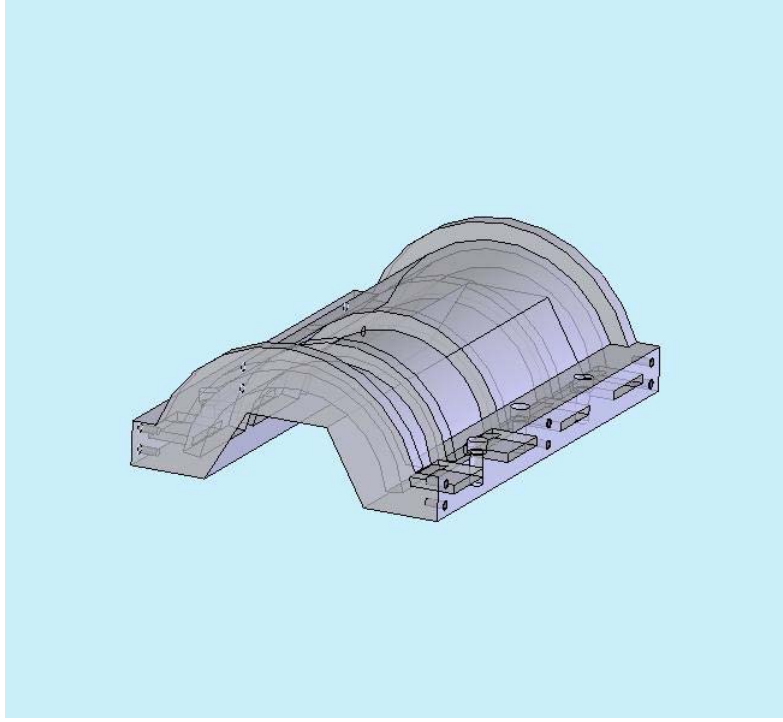
Termoelektrik soğutma uygulamasında kullanılmak üzere özel bir kalibre tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kullanılan kalibre 6000 serisi alüminyum malzemeden işlenmiştir. Kalibreden 63 mm dış çapında HDPE boru geçirileceğinden, iç çap 63 mm olarak üretilmiştir. Dış yüzeyine ise peltier modül uygulaması yapılacağından, dış yüzey her bir kenarı 41,57 mm gelen altıgen şeklinde işlenmiştir.



Şekil 7.4 Kalibre Borusu

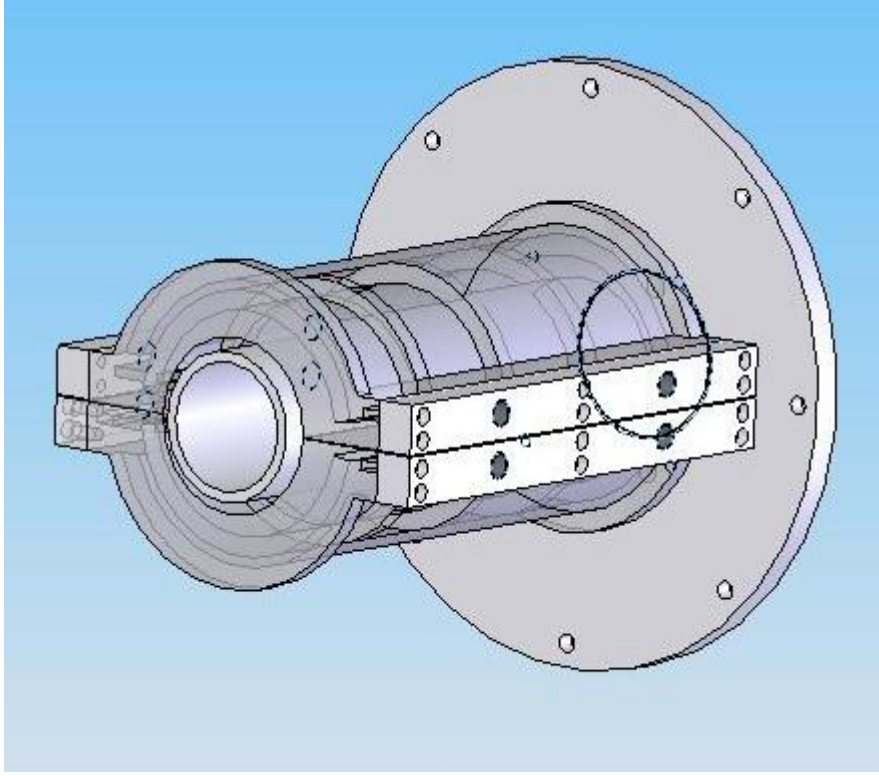
41,57 mm kenarların üzerine 40×40 mm boyutlarında peltierler dizilecektir. Kalibre borusunun son bölümüne ise soğutma tankı flanşına bağlanması için metrik 84 dış çekilmiştir. Kalibre borusunun ayrıntılı teknik resmi Ek-2 de verilmiştir.

Termoelektrik modüllerin; ısı transferi gerçekleşen dış yüzeyleri için, dış ortam sıcaklığını sürekli kılmak için, bir kap tasarlanmıştır. Tasarlanan kabın içinden ortam sıcaklığında su sirküle ettirilecektir. Bu sayede modüllerin dış yüzeylerinde homojen olarak sıcaklık dağılımı sağlanmış olacaktır. Bu amaç için tasarlanmış kabın ayrıntılı teknik resmi Ek-2 de verilmiştir.



Şekil 7.5 Peltier Kabı

Tasarlanmış olan kalibre ve Peltier kabının, üretim hattına montaja hazır resmi Şekil 7.6 da verilmiştir. Kalibre, Peltier modül ve Peltier kabına ek olarak flanş ve kapak gibi yardımcı elemanlar kullanılmıştır. İmalatı yapılan tüm parçalar 6000 serisi alüminyumdur.



Şekil 7.6 Tasarlanan Kalibre Montajı

7.5 Termoelektrik Eleman (Peltier Modül) Kontrolü

Bu bölümde termoelektrik modülün kontrol edilmesi ve kontrol ilkeleriyle ilgili bilgiler verilecektir. Çalışmanın temelini oluşturan Peltier modülün; soğutma sistemi olarak kullanılmasındaki en temel amaç çok hassas olarak kontrol edilebilmesidir. Sistem böylelikle istenilen oranda soğutma sağlayabilir. Yapılan kontrol ölçümleri ve girilen parametreler ile hiçbir dış müdahaleye yer vermeksizin, boru üretim hattındaki değişimlere tepki verebilen ve kendini uyarlayabilen bir sistem kurulabilir.

Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak Peltier modülü kontrol etmek için gerekli temel kontrol ilkeleri belirtilecek; gerekli kontrol ve geri besleme donanımları incelenecek, çalışma algoritması ve akış diyagramları oluşturulacaktır.

7.5.1 Kontrol Yöntemi

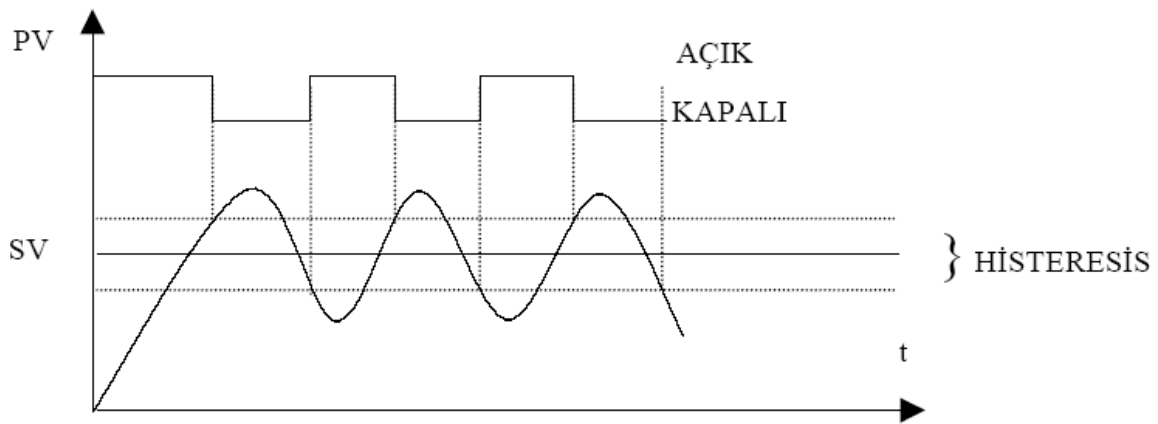
Termoelektrik modüllere on-off, P (oransal), PI (oransal-integral), PD (oransal-türevsel), PID (oransal, integral, türevsel) kontrol yöntemlerinden herhangi birini uygulamak mümkündür.

Modül akım ve voltaj değerlerinin değiştirilmesi ile kontrol edilebilir. Yukarıda sayılan yöntemlerin içinde, en hassas sonucu verecek olan yöntem PID (oransal, integral, türevsel) olmakla beraber; çalışmada bu yöntemin kullanılması daha uygundur. Ayrıca aşağıda kullanılacak tüm kontrol yöntemleri incelenecektir.

On-Off Kontrol Sistemi: Bu teknik en basit kontrol tekniğidir. Ölçülen değer (PV), set değerinin (SV) üzerinde olduğunda çıkış sinyali açılır, set değerinin üzerine çıkmasıyla çıkış sinyali kapanır. Sistemlerin ataleti nedeniyle, kontrol gücü (çıkış) kesildiği halde, ölçülen değer yükselmeye devam eder ve set değeri üzerinde sürekli bir dalgalanma oluşur. Dalgalanmanın tepeden tepeye değişim ve sıklığı kontrol edilen prosesin dinamiğine bağlıdır. On-Off kontrol sistemlerinde genellikle histeresis eklenmiş tip kullanılmaktadır. Şöyle ki, set değeri etrafında histeresis bandı oluşturulur, proses değeri, set değerini geçer geçmez kontrol cihazı çıkışı “Kapalı” sinyali üretmez, ancak bu band aşıldıktan sonra çıkış kapatılır. Aynı şekilde, ölçülen değer düşerken, set değerinin altına düşünce değil, histeresis bandının dışına çıkınca “Açık” sinyali üretilir.

Bu sistemin sakıncaları:

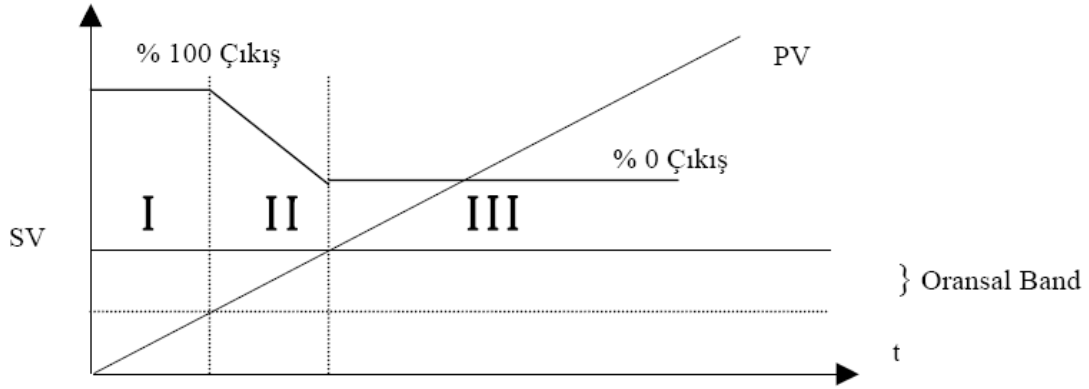
- Kesinlikle sağlıklı bir kontrol sistemi değildir. Ölçülen proses değeri, hiçbir zaman set noktasına sabitlenemez, sürekli salınım oluşur.
- Bu sistemle aşırı enerji tüketimi oluşur.
- Kritik proseslerde, hızlı proseslerde tümüyle yetersiz kontrol gerçekleştirir.



Şekil 7.7 On-Off Kontrol Diyagramı

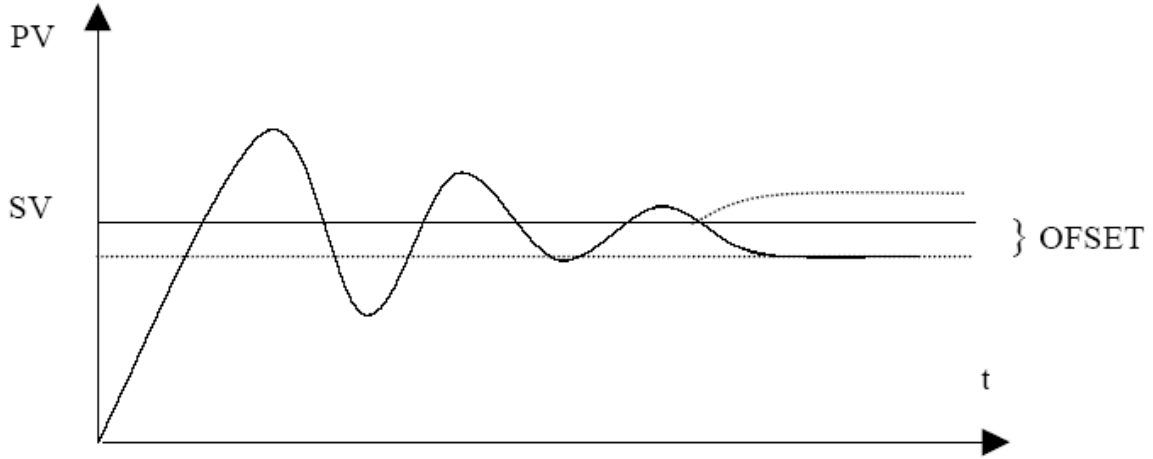
PID Kontrol Sistemleri: PID kontrolün açılımı, Proportional (Oransal), Integral (İntegral), Derivative (Türevsel) kontroldür. Bu parametrelerin kullanılmasıyla oluşturulan, P, PI, PD ve PID kontrol sistemleri kısaca özetlenirse;

Oransal (Proportional -P) Kontrol: Oransal kontrol sistemlerinde, kontrol cihazının çıkış sinyali, prosesin talep ettiği oranda otomatik olarak ayarlanır: Şöyle ki, oransal bandın dışında ve set noktasının altında ölçülen proses değerinde kontrol cihazı % 100 (sürekli) çıkış sinyali üretir (Bölge I). Ölçülen proses değeri, oransal band ile tanımlanan bölgeye girince, çıkış sinyali orantılı olarak azaltılır. Ölçülen değer, set noktasına yaklaştıkça çıkış sinyali sıfıra doğru azalır (Bölge II). Ölçülen değer, set noktasının üzerine çıkınca, çıkış sinyali kapatılır (Bölge III).



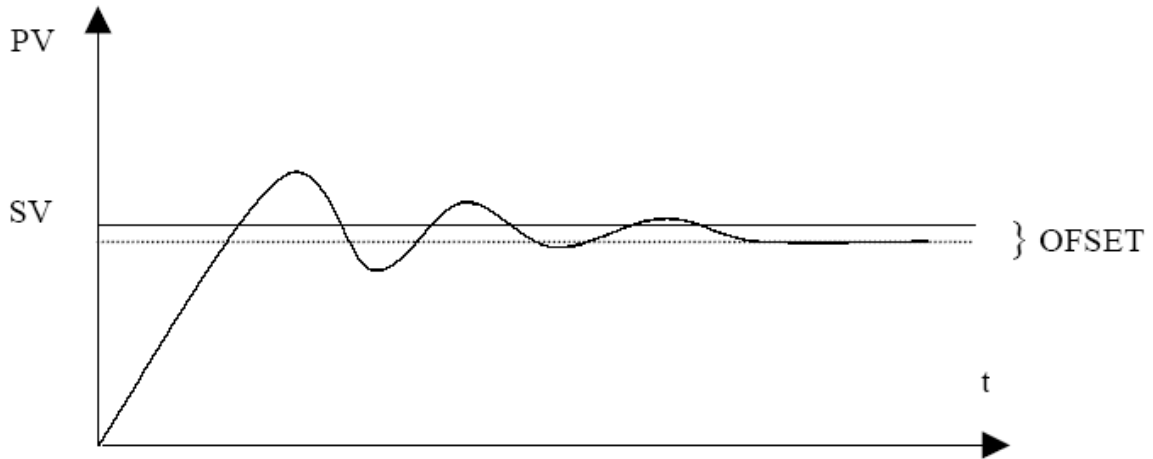
Şekil 7.8 Oransal Bandın Çıkış sinyaline Katkısı

Oransal kontrollü sistemlerin örnek cevabı şu şekilde olur; öncelikle ölçülen değer set noktasının üzerine çıkar, bir kaç kez set noktası üzerinde dalgalanma yaptıktan sonra, set değerinin altında veya üzerinde bir noktaya yerleşir. Set noktasından kaymayı gösteren bu farklılık ofset olarak adlandırılır. Set noktasının üzerine aşırı yükselme “overshoot” veya aşırı düşüşler “undershoot” ve kayma “offset”, ideal kontrol sisteminde istenmeyen etkilerdir.



Şekil 7.9 Oransal Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği

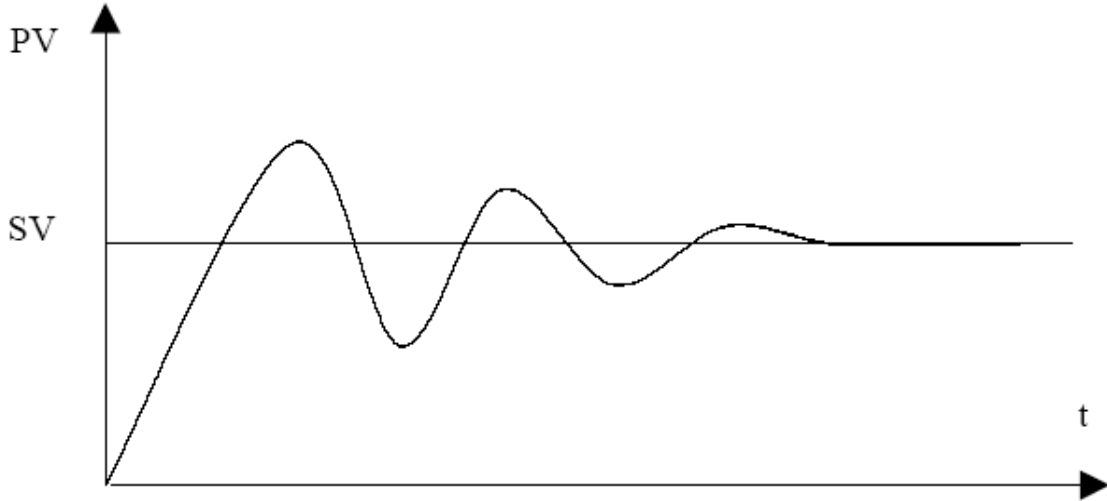
Oransal Türevsel (Proportional Derivative - PD) Kontrol: Türevsel parametrenin kullanılmasının asıl nedeni, oransal kontrolde oluşan, aşırı yükselme ve düşüşleri azaltmaktır. Bu parametrenin kullanılmasıyla set noktasından kayma “offset” de bir miktar azalır ancak tümüyle ortadan kalkmaz. Türev etkisinin çalışmasını basitçe anlatırsak; Set değeri ile ölçülen değer arasındaki farkın türevi alınır (yani prosesin reaksiyon hızı ölçülmüş olur) ve prosesin cevabına göre çıkış sinyali ayarlanarak (oransal çıkışın azaltılması veya artırılması ile) aşırı yükselmeler ve aşırı düşüşler engellenmiş olur. Bu sistemin en büyük özelliği, dinamik cevabının çok iyi olmasıdır. Türevsel etki, düzeltici görevini çok hızlı bir şekilde gösterir.



Şekil 7.10 Oransal Türevsel Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği

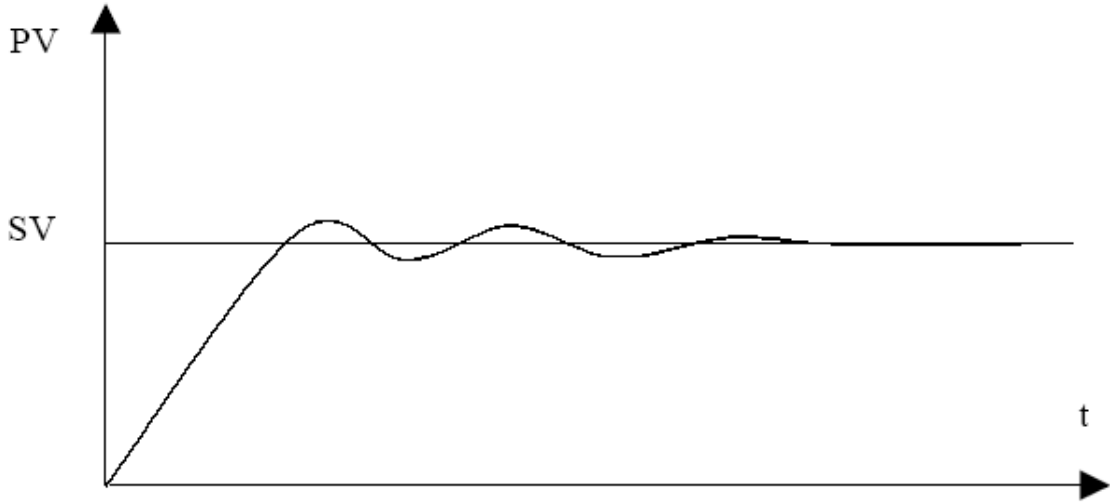
Oransal İntegral (Proportional integral - PI) Kontrol: Oransal kontrol uygulanan bir sistemde offset dediğimiz, set noktası ile kontrol edilmiş (ölçülen değer) arasında bir kaymadan söz etmiştik. Bu offset değerinin (yani kaymanın) ortadan kaldırılabilmesi için gerekli olan katkı eklenen integral kontrol ile sağlanır. İntegral kontrolde ölçülen değer ile istenen değer

arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır, bu değer fark değeri üzerine eklenerek oransal band kaydırılır ve proses değeri istenen değere oturtulur. Sisteme kontrol cihazı tarafından verilen enerji, integral algoritmasının katkısıyla ihtiyaca göre sürekli artırılıp azaltılarak ofset ortadan kaldırılır. Oransal İntegral kontrolde, ilk başlama anında proses değeri set noktasının üzerine önemli miktarda çıkar (overshoot), set değeri etrafında bir kaç kez salınım yaptıktan sonra istenen değere oturur.



Şekil 7.11 Oransal İntegral Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği

Oransal İntegral Türevsel (proportional Integral Derivative - PID) Kontrol: Oransal (P), Oransal Türevsel (PD), Oransal İntegral (PI) kontrolün yeterli gelmediği, karmaşık proseslerde Oransal İntegral Türevsel (PID) kontrol sistemleri devreye girer. Oransal kontrolde oluşan ofset integral algoritmasıyla, istenen değerin çok üzerine veya altına çıkılması (overshoot ve undershoot) ise türev algoritması ile giderilir. PID parametrelerinin doğru ayarlanması ile mükemmel bir kontrol sağlanabilir. Genellikle kullanılan kontrol cihazlarında PID parametrelerinin ayarlanabilmesi için otomatik algoritmalar-fonksiyonlar bulunmaktadır. Kontrol cihazlarındaki bu fonksiyonların aktif hale getirilmesiyle PID parametreleri otomatik olarak ayarlanır. “Self Tune” kendi kendine ayar, “Auto Tune” otomatik ayar olarak adlandırılan bu fonksiyonlar kontrol cihazını devreye alma sırasında kullanıcıyı en zorlayan kısım olan PID parametrelerini ayarlama külfetinden kurtarır.



Şekil 7.12 Oransal İntegral Türevsel Kontrol Kullanılan Prosesin Reaksiyon (Cevap) Grafiği

PID Kontrol Teorisi: Teorik olarak, ideal bir oransal-integral-türevsel kontrol devresi tanımlanacaktır. PID kontrol üç ayrı düzeltme faktöründen oluşmakla birlikte, bunların toplamı istenilen değişkenin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Oransal terim:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad 7.13$$

Burada,

P_{out} : oransal çıkış

K_p : oransal kazanç, ayar parametresi

e : hata = SP – PV

t : zaman or anlık time

İntegral terim:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad 7.14$$

Burada,

I_{out} : integral çıkış

K_i : integral kazanç, ayar parametresi

e : hata = SP – PV

τ : zaman

Türevsel terim:

$$D_{\text{out}} = K_d \frac{de}{dt} \quad 7.15$$

Burada,

D_{out} : türevsel çıkış

K_d : türevsel kazanç, ayar parametresi

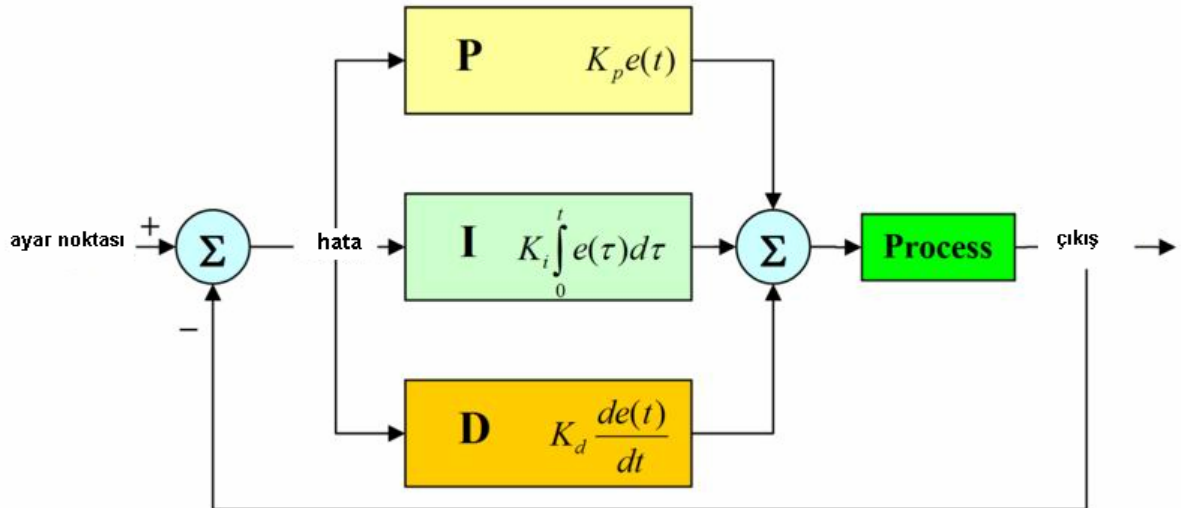
e : hata = SP – PV

t : zaman olarak tanımlanır.

Toplam: Yukarıda yer alan üç terimin toplamı PID teriminin çıkışını verecektir. Buradan PID algoritması,

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad 7.16$$

olarak belirlenir.

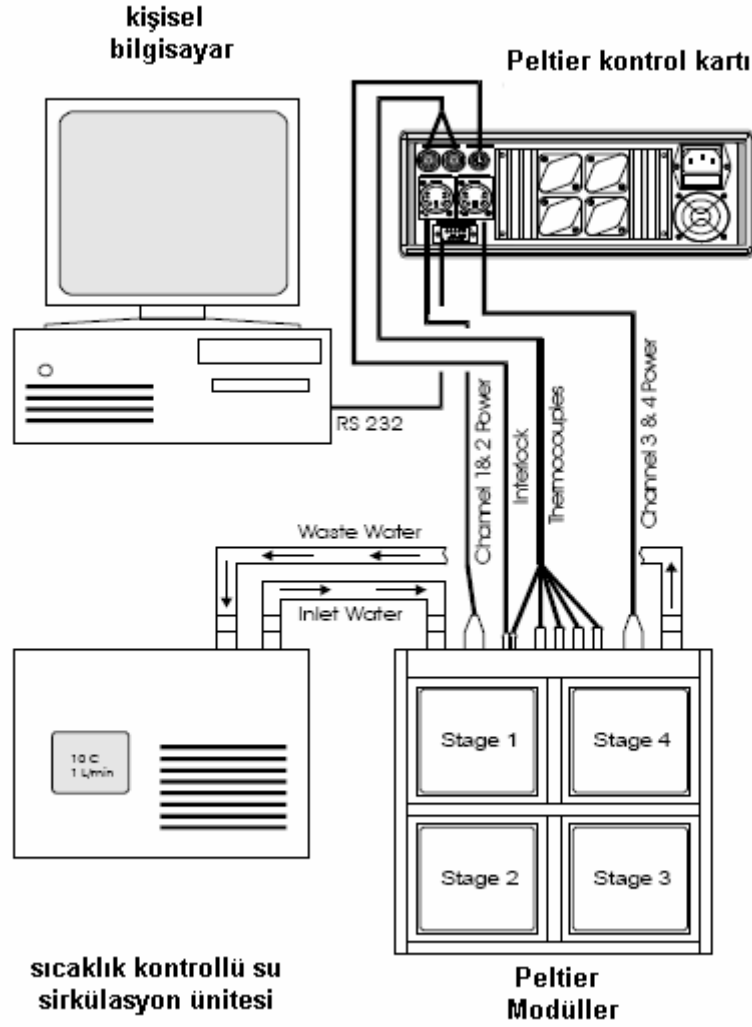


Şekil 7.13 PID Kontrolün Teorik Gösterimi

7.5.2 Peltier Modül İçin Kontrol Donanım ve Yazılımları

Uygun kontrol yönteminin belirlenmesinin ardından, yöntemi uygulamak için gerekli donanımlar ve yazılımlar kısaca tanıtılacak ve uygulamada kullanılmak üzere bir seçim yapılacaktır.

Peltier modülün kontrol edilmesi amacıyla, çeşitli özelleştirilmiş endüstriyel kartlar halihazırda üretilmektedir. Bu nedenle, PID kontrolcüyü sisteme uygulamak için hazır bir endüstriyel kart seçilmesi uygun olacaktır. Seçilecek endüstriyel kartın sistemi kontrol edecek yeteneklere ve çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Bununla birlikte uygulama açısından maliyetinin düşük olması bir diğer tercih nedenidir. Endüstriyel kart kullanıldığından dolayı, sistem bir PC üzerinden kontrol edilecektir. RS 232 bağlantısı üzerinden PC ve kart arasında iletişim sağlanacaktır. Şekil 7.14'te kontrol edilecek sistem ve kontrol şeması verilmiştir. Sistem içinde bir adet PC bilgisayar, peltier modülleri kontrol eden endüstriyel kart, termoelektrik modüller, modüllerin sıcak yüzeylerindeki ısıyı uzaklaştırmak için su sirkülasyon ünitesi bulunmaktadır. Sıcaklık ölçümü için termocouplelar kullanılmaktadır.



Şekil 7.14 Peltier Modül Kontrol Şeması

Photek firması tarafından üretilmekte olan PTC-4 termoelektrik modül kontrol kartı ile geniş bir kullanım aralığı sunmaktadır. PTC-4 kontrol kartı RS 232 bağlantısı ile bir bilgisayar yardımıyla kullanılabilir ve 4 analog çıkış özelliğine sahiptir. Isıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Komutlar, standart bir bilgisayardan, özel olarak yazılmış bir programla yada Photek firmasının yazılımı yardımıyla PTC-4 kartına iletilebilir. Kartın özellikleri kısaca özetlenirse, 4 kanal çıkış sağlayabilir, soğutma suyunu, güç ünitesini ve termocoupleleri kontrol edebilme özelliği, RS 232 ile bilgisayar ile haberleşebilme, LCD göstergesi ile ayarlanan ve ölçülen sıcaklıkları izleyebilme özelliklerini sunar.

Bir diğ er termoelektrik modül kontrol kartı ise AOS firması tarafından üretilen PC1 ve PC2 kartlarıdır. PC1 kontrol kartı daha ekonomik ve kontrol bakımından daha basit olmasına karş ın özellikleri proses için tatmin edicidir. Isıtma ve soğ utma iş lemlerinde kullanılabilmektedir. 0,005 °C hassasiyetle sıcaklık ayarı yapabilmektedir, standart 10 k Ω termistör sıcaklık sensörü kullanmaktadır. Termoelektrik modül akımını analog olarak izleyebilme özelliğ i sunmakta ve P, PI, PID çevrimlerini kullanabilmektedir.



Ş ekil 7.15 PC1 Kontrol Kartı

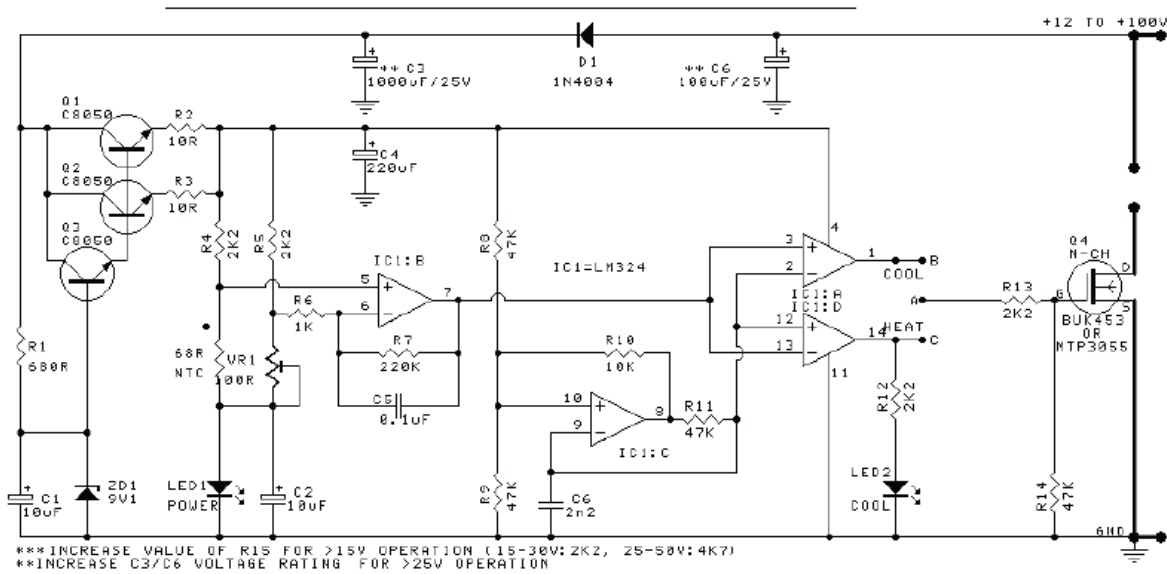
PC2 kontrol kartı ise daha maliyetli olmasına rağmen daha fazla kontrol özelliğ i sağlamaktadır. PC1 kartının sağ ladığ ı özelliklere ek olarak, birden fazla sıcaklık kontrol elemanının bağ lanabilmesi, sensör ve düşük, yüksek voltaj koruma özelliğ i, USB ve RS 232 portlarından bilgisayara bağ lanabilmesi gibi ek özellikleri sayılabilir. Ayrıca kontrol çevriminin kullanıcı tarafından ayarlanabilmesi ek bir özelliktir.

Yukarıda anlatılan 3 kontrol kartının haricinde, kontrol kartları da bulunmasına rağmen gerek termoelektrik ısıtma ve soğ utmanın uygulamada yeterince kullanım alanı bulamaması, gerekse çok yüksek maliyetten dolayı tercih edilmemektedirler. Bunun yanında bu tarz bir kartı gereksinim duyulan elemanlarla birlikte prototip olarak yapmak mümkün olabilmektedir. Fakat bu tarz yapılmış kartlar düşük güçler ve akımlar için kullanılabılır nitelikte olmaktadır. Temel amaç, akım-voltaj değ erlerinin istenilen sıcaklık (ısıtma-soğ utma) değ erlerine göre değ iş tirilerek hedeflenen ısı transferinin sağ lanmasıdır. Bu şekilde kullanılabilecek tüm kontrol sistemleri proses için kabul görür niteliktedir.



Şekil 7.16 Basit Bir Peltier Kontrol Kartı

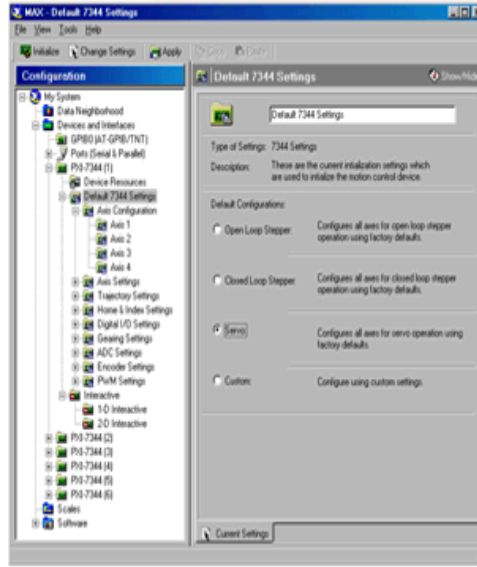
Şekil 7.16 da basit bir kontrol kartı gösterilmiştir. Şekil 7.17 deki şema yardımıyla bu kart üzerindeki elemanların işlevlerini ve çalışma çevrimini anlamak daha kolay olacaktır. Şekil 7.17’de gösterilen Q1, Q3 ve ZD1 elemanlarının birleşmesi ile bir voltaj regülatörü oluşur. Bu regülatör IC1 elemanına 7,5 V çıkış voltajı üretmektedir. Sıcaklık ayarlaması ve algılaması IC1:B girişine bağlı olan sensörler ve termistör tarafından gerçekleştirilir. Ters çevirilmiş giriş üzerindeki gerilim VR1 tarafından ayarlanmaktadır. Sıcaklığın değişmesi ile ters çevrilmiş girişteki gerilim değeri de değişir. Sıcaklığın artması durumunda, termistör üzerindeki direncin düşmesiyle, giriş üzerindeki gerilimde düşer. IC1:B ve IC1:C çıkışları Q4’ü kontrol eden IC1:A ve IC1:D girişlerine bağlıdır. Sıcaklık, önceden ayarlanmış değerin altına düştüğünde IC1:A çıkışı açılır veya sıcaklık önceden ayarlanmış değerin üzerine çıktığında IC1:D çıkışı açılır.



Şekil 7.17 Peltier Kontrol Kartı Devre Şeması

Sıcaklık ölçümü ile ilgili donanım bilgileri bölüm 5.2’de verilmiştir. Uygulama olarak yöntem aynıdır.

Yazılımsal olarak sistemi, endüstriyel kart kullanımıyla birlikte bir standart bilgisayar üzerinden kontrol etmek mümkün olabilmektedir. Endüstriyel kart ayarları ve komutları bir yazılım ve ara yüz yardımıyla kolaylıkla yapılabilir. Bu tarz yazılımlar, Photek, AOS gibi firmalarca sağlanabileceği gibi National Instruments firması tarafından kullanıma sunulmuş ve tüm kontrol sistemlerine hitap eden LabView yazılımıyla da kontrol edilebilmektedir.

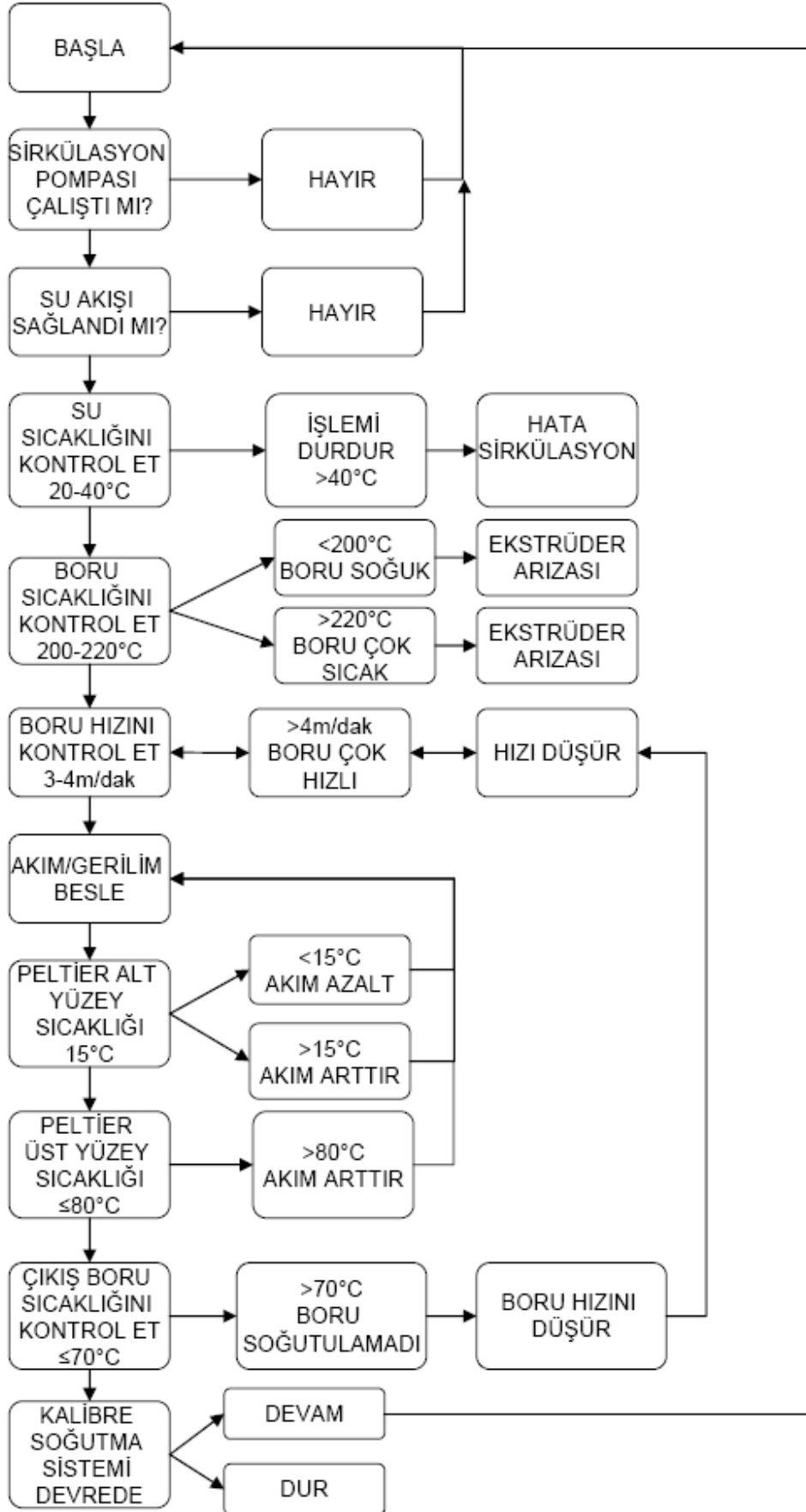


Şekil 7.18 National Instruments Kontrol Yazılımı LabView

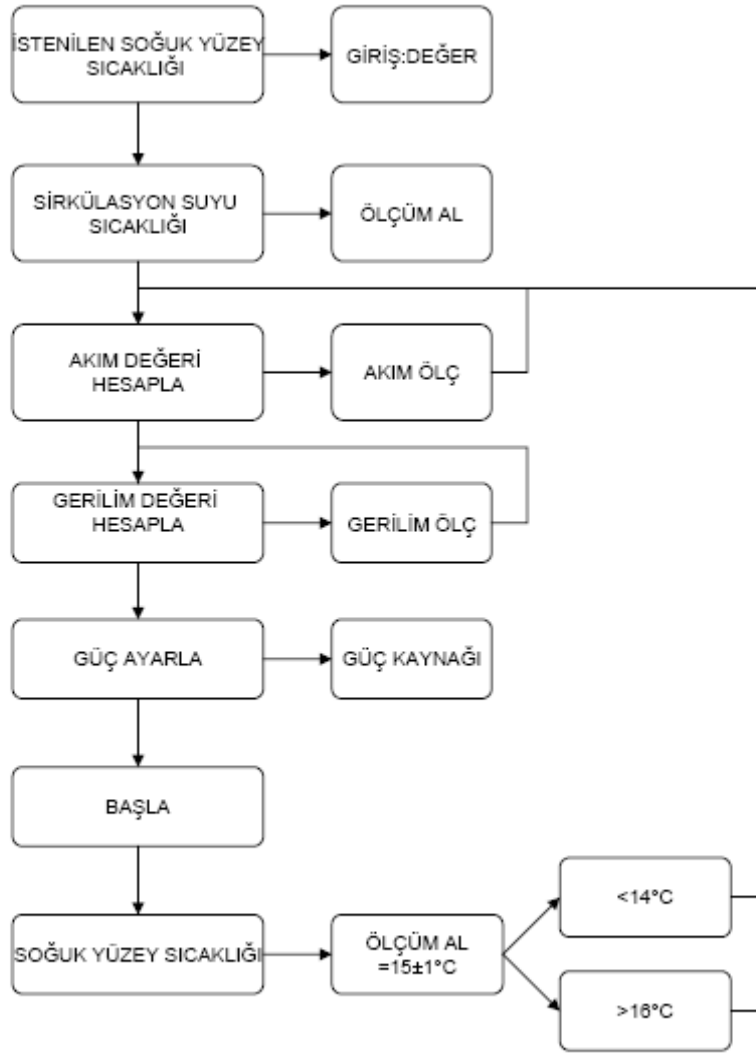
LabView yazılımı prototip sistemlere göre uyarlanabileceği için bu tür sistemlerde kullanımı mümkün olabilmektedir. Bunun dışında C veya Visual Basic programlama dillerinde oluşturulmuş uygun yazılımların sistemde kullanımı da mümkün olabilmektedir.

7.5.3 Termoelektrik Soğutma Akış Diyagramları

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde bahsedilen kontrol yöntemleri, donanımları ve yazılımlarını tamamlayıcı olarak blok akış diyagramları ve çalışma algoritmasından bahsedilecektir. Şekil 7.19’da verilen diyagram, genel sistemin kontrol akışını ve şekil 7.20’de verilen diyagram ise sadece peltier elemanın kontrol akışını göstermektedir.



Şekil 7.19 Sistemin Kontrol Akış Diyagramı



Şekil 7.20 Peltier Kontrol Akış Diyagramı

Termoelektrik kontrollü kalibre soğutma sistemini kontrol eden yazılımda en önemli parametre, peltier modüller için “istenilen soğuk yüzey sıcaklığıdır”. Yapılan hesaplarla bu sıcaklığın, değişik boru çapları ve et kalınlıkları için ne mertebede olduğu bulunabilmektedir. İstenilen sıcaklık değerine ulaşılabilmesi için termoelektrik elemanın, sıcak yüzeyinin su sirkülasyonu ile sürekli bulunacağı sıcaklık kontrol edilmesi gerekli bir diğer parametredir. Termoelektrik elemanda ısı transferi elektrik enerjisi ile sağlandığı için akım ve gerilimin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tüm bu değişkenlerle birlikte, sistemin sağlıklı çalışması için boru giriş sıcaklığı ve hedef soğutmaya ulaşıp ulaşılamadığının belirlenmesi için çıkış sıcaklığı ölçülmeli ve girdi olarak çevrim içinde olmalıdır. Boru ile ilgili ölçülen bu değerler,

gerektiğinde sistemin korunması için kullanılabilir olmaktadır. Bunun yanında, ölçüm alınan diğer sıcaklık, akım, gerilim değerleri sisteme geri besleme yapıldığından dolayı son derece önem arz etmektedir. Şekil 7.19’da görülen diyagram kalibre soğutma sistemini bütünüyle kontrol etmekte, gerekli olması durumunda tüm boru ekstrüzyon işlemini durdurabilecek yeteneğe sahiptir. Ayrıca boru hızının kontrolü amacıyla, ekstrüder kontrol sisteminde dolaylı olarak müdahalede bulunmaktadır. Şekil 7.20’de görülen çevrimde ise, sadece kalibre soğutma sistemi içindeki peltier modüllerin, istenilen değerler doğrultusunda akım-gerilim değerleri değiştirilerek kontrolü sağlanmaktadır. Yapılan ölçümlerle geri besleme alınmakta ve çevrim, kapalı olarak sürekli devam etmektedir.

SONUÇLAR

Tez hazırlanırken, ana konu olarak kalibrasyon prosesi, bu prosese termoelektrik soğutma yöntemi uygulanması ve kontrolü seçilmiştir. Konuya girmeden önce plastikler, işlem makineleri ve proses hakkında temel özellikler belirlenmiş ve bu konularla ilgili özet bilgiler verilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler, plastiklerin ekstrüzyonunda termoelektrik soğutma ve kontrol yönteminin, üretim kalitesi, tesis ve üretim maliyetlerinde etkili bir parametre olabileceğini ortaya koymaktadır.

Plastik borulara uygulanan kalibrasyon işleminde termoelektrik soğutma kullanılması amacıyla, yeni bir kalibre tasarlanmış ve üretilmiştir. Yeni kalibreye entegre edilen termoelektrik soğutma sistemi DC bir güç kaynağı ile beslenmiştir. Kalibre sıcaklığı akım ve voltaj değiştirilerek hassas olarak kontrol edilmiş ve eriyik haldeki boru kalibretörün içinden geçirilmiştir. Boru çekme işlemi iki kere, farklı kontrol parametreleri ile denenmiştir. Deneme esnasında kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

	Boru giriş sıcaklığı °C	Boru çıkış sıcaklığı °C	Kalibre sıcaklığı °C	Akım A	Voltaj V	Boru hızı m/dak
1	160	90	20	45	70	0,5
2	180	70	18	54	84	0,5

Yukarıda yer alan sonuçlar, yeni nesil kalibrelerde termoelektrik soğutma ve kontrol yönteminin kullanılabileceğini göstermektedir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda; teorik hesapların, yapılan denemelerle uyumlu olduğu aşıkardır. Termoelektrik soğutma yönteminin ekstrüzyon prosesi için yeni bir dönüm noktası olduğu görülmekte ve ilerleyen dönemde bu yöntem kullanılarak daha ekonomik ve kaliteli plastik boru üretimi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Akkurt S., (1991), Plastik Malzeme Bilgisi, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.

Alpan B., (2000), Plastik Ekstrüzyonda Kalibrasyon ve Soğutma Olaylarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirel T., (1997), Plastik Ekstruderlerinde Malzeme Akışı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fisher E.G., (1976), Ekstrusion of Plastics, Newsnes-Butterworth.

Friedhelm H., (1997), Plastic Ekstrusion Technology, Hardcover.

İzmirlioğlu İ., (1994), Kullanılmış Polipropilen Boruların Geri Dönüşüm ve Ekstrüzyon Yöntemiyle İmalinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Levy S., (1981), Plastics Extrusion Technology Handbook, Industrial Pres. Inc.

Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., (1996), Ana Hatları İle Plastikler ve Plastik

Teknolojisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.

Tadmer Z., Gogas C.G., (1979), Principles of Polymer Processing.

Turaçlı H., (2003), Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş, PAGEV.

Erdik E., Sarıkaya Y., (1999), Temel Üniversite Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara.

Basell Polyolefins, (2002), Polyethylene Products and Properties.

İNTERNET KAYNAKLARI

www.peltier-info.com

www.ni.com

www.plastics.org

www.excaliburextrusions.com

www.plastictechnology.com

www.dow.com

EKLER

EK 1 Huimao Şirketi Termoelektrik Soğutma Modül Kataloğu

大功率电致冷组件

HIGH-POWER THERMOELECTRIC COOLING MODULE

惠茂公司生产的电致冷组件, 由于焊接质量好, 焊接电阻小, 再加上组装技术高超, 能用薄型致冷材料 (最小为 0.6 毫米), 所以能生产大功率电致冷组件, 最大电流可达 24A, 产冷量超过 200 瓦。

惠茂公司还选用双面敷铜的薄陶瓷基片或铝片做热面基板, 减少了由于热流流过热面基板而产生的温差, 使电致冷组件能有更大的产冷量。

In production of Thermoelectric Cooling Modules, the soldering quality is satisfied, joint resistance is small, the assembly is excellent, and the thin cooling materials can be adopted (at 0.6mm minimum), so Huimao Company can produce the high-power Thermoelectric Cooling Modules. The maximum current can reach 24A, and the cooling power is more than 200W.

In addition, Huimao Company selects the double-sided copper thin ceramic plate or aluminum plate as the hot-side plate, so it reduces the temperature difference produced by the heat flow across the hot-side plate, and enables Thermoelectric Cooling Module to have larger cooling power.

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工作电压 Umax (V)	最大电流 Imax (A)	最大温差 ΔT_{max} Qcmax=0 (°C)	最大产冷量 Qcmax $\Delta T_{max}=0$ (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻 (Ω)
				热端温度 Th=27°C		L	M	H	
TEC1-07115T125	71	8.5	15	61	79.0	38	38	3.50	0.430
TEC1-07118T125			18	60	94.8	38	38	3.30	0.360
TEC1-07124T125			24	55	126.4	38	38	3.10	0.270
TEC1-12715T125	127	15.2	15	61	141.3	50	50	3.50	0.780
TEC1-12718T125			18	60	169.6	50	50	3.30	0.650
TEC1-12724T125			24	55	226.1	50	50	3.10	0.480
TEC1-16108T125	161	19.3	8	65	101.8	45	45	3.50	1.980
TEC1-16109T125			9	62	113.0	45	45	3.40	1.800
TEC1-16110T125			10	62	134.2	45	45	3.20	1.440
TEC1-16112T125			12	60	157.0	45	45	3.10	1.260
TEC1-16115T125			15	60	188.4	45	45	3.00	1.080
TEC1-03125T125	31	3.5	25	60	66	35	35	5.85	0.110
TEC1-03130T125			30	60	80	35	35	5.45	0.085
TEC1-03140T125			40	60	105	35	35	5.05	0.065
TEC1-03150T125			50	60	130	35	35	4.85	0.055
TEC1-03160T125			60	55	160	35	35	4.65	0.045
TEC1-03180T125			80	55	200	35	35	4.50	0.035
TEC1-031100T125			100	55	260	35	35	4.35	0.027
TEC1-03125T125	31	3.5	25	60	66	40	40	5.85	0.110
TEC1-03130T125			30	60	80	40	40	5.45	0.085
TEC1-03140T125			40	60	105	40	40	5.05	0.065
TEC1-03150T125			50	60	130	40	40	4.85	0.055
TEC1-03160T125			60	55	160	40	40	4.65	0.045
TEC1-03180T125			80	55	200	40	40	4.50	0.035
TEC1-031100T125			100	55	260	40	40	4.35	0.027
TEC1-03150T125	31	3.5	50	60	130	55	55	5.65	0.050
TEC1-03160T125			60	55	160	55	55	5.35	0.040
TEC1-03180T125			80	55	200	55	55	4.95	0.035
TEC1-031100T125			100	55	260	55	55	4.75	0.027

注: 电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

高温电致冷组件

HIGH-TEMPERATURE THERMOELECTRIC COOLING MODULE

惠茂公司用高温焊料生产的高温电致冷组件可长期工作于150℃、200℃和250℃。组件中的导体片与氧化铝陶瓷基片是烧结连接，保证产品的稳定性。

The high-temperature TEC modules produced with the high-temperature soldering flux by Huimao Company can operate for long-time at 150°C, 200°C and 250°C. The conductor tab and alumina ceramic plate in the module are sintered together, so as to assure the stability of products.

型号 TYPE NUMBER	电 堆 数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 △T _{max} Q _{cmax} =0 (℃)	最大产冷量 Q _{cmax} △T _{max} =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻 (Ω)
				热端温度 Th=27℃	L	M	H		
TEC1-07106T150	71	8.5	6	65	31.6	30	30	3.9	1.08
TEC1-07110T150			10	63	52.7	30	30	3.3	0.65
TEC1-07112T150			12	62	63.2	38	38	3.9	0.54
TEC1-07118T150			18	60	94.8	38	38	3.4	0.36
TEC1-07106T200			6	65	31.6	30	30	3.9	1.08
TEC1-07110T200			10	63	52.7	30	30	3.3	0.65
TEC1-07112T200			12	62	63.2	38	38	3.9	0.54
TEC1-07118T200			18	60	94.8	38	38	3.4	0.36
TEC1-07106T250			6	65	31.6	30	30	3.9	1.08
TEC1-07110T250			10	63	52.7	30	30	3.3	0.65
TEC1-07112T250			12	62	63.2	38	38	3.9	0.54
TEC1-07118T250			18	60	94.8	38	38	3.4	0.36
TEC1-12706T150	127	15.2	6	65	56.5	40	40	3.9	1.94
TEC1-12710T150			10	63	94.2	40	40	3.3	1.16
TEC1-12712T150			12	62	113.0	50	50	3.9	0.97
TEC1-12718T150			18	60	169.6	50	50	3.4	0.65
TEC1-12706T200			6	65	56.5	40	40	3.9	1.94
TEC1-12710T200			10	63	94.2	40	40	3.3	1.16
TEC1-12712T200			12	62	113.0	50	50	3.9	0.97
TEC1-12718T200			18	60	169.6	50	50	3.4	0.65
TEC1-12706T250			6	65	56.5	40	40	3.9	1.94
TEC1-12710T250			10	63	94.2	40	40	3.3	1.16
TEC1-12712T250			12	62	113.0	50	50	3.9	0.97
TEC1-12718T250			18	60	169.6	50	50	3.4	0.65
TEC1-03140T150	31	3.5	40	60	85.5	40	40	5.0	0.07
TEC1-03140T200			40	60	85.5	40	40	5.0	0.07
TEC1-03140T250			40	60	85.5	40	40	5.0	0.07

注：电阻、高度为参考值。

Attention: Electric resistance, height are only for reference.

普通致冷组件

STANDARD COMMON TEC MODULE

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 ΔT_{max} Q _{cmax} =0 (°C)	最大产 热量 Q _{cmax} $\Delta T_{\text{max}}=0$ (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻范围 (Ω)
				热端温度	T _h =27°C	L	M	H	
TEC1-09503T125	95	11.4	3	67	22.2	30	40	5.4	3.00~3.35
TEC1-09504T125			4	67	30.0	30	40	4.6	2.20~2.45
TEC1-09505T125			5	67	39.0	30	40	4.0	1.65~1.85
TEC1-09506T125			6	67	45.6	30	40	3.9	1.45~1.60
TEC1-09507T125			7	66	54.0	30	40	3.6	1.20~1.35
TEC1-09508T125			8	66	60.0	30	40	3.5	1.10~1.25
TEC1-09509T125			9	66	66.7	30	40	3.4	1.00~1.12
TEC1-09510T125			10	65	79.2	30	40	3.2	0.80~0.90
TEC1-09512T125			12	65	92.6	30	40	3.1	0.70~0.80
TEC1-09515T125			15	65	111.2	30	40	3.0	0.60~0.70
TEC1-12703T125	127	15.2	3	67	29.7	40	40	5.4	3.30~4.30
TEC1-12704T125			4	67	40.1	40	40	4.6	2.60~3.30
TEC1-12705T125			5	67	52.1	40	40	4.0	2.20~2.60
TEC1-12706T125			6	67	61.0	40	40	3.9	1.90~2.20
TEC1-12707T125			7	66	72.2	40	40	3.6	1.60~1.90
TEC1-12708T125			8	66	80.3	40	40	3.5	1.50~1.60
TEC1-12709T125			9	66	89.2	40	40	3.4	1.30~1.50
TEC1-12710T125			10	65	105.8	40	40	3.2	1.00~1.30
TEC1-12712T125			12	65	123.8	40	40	3.1	0.90~1.00
TEC1-12715T125			15	65	148.6	40	40	3.0	0.80~0.90
TEC1-16103T125	161	19.3	3	67	37.7	45	45	5.4	5.10~5.65
TEC1-16104T125			4	67	50.9	45	45	4.6	3.75~4.15
TEC1-16105T125			5	67	66.0	45	45	4.0	2.80~3.10
TEC1-16106T125			6	67	77.3	45	45	3.9	2.45~2.70
TEC1-16107T125			7	66	91.5	45	45	3.6	2.00~2.30
TEC1-16108T125			8	66	101.8	45	45	3.5	1.88~2.08
TEC1-16109T125			9	66	113.0	45	45	3.4	1.70~1.90
TEC1-16110T125			10	65	134.2	45	45	3.2	1.35~1.50
TEC1-16112T125			11	65	157.0	45	45	3.1	1.20~1.32
TEC1-16115T125			15	65	188.4	45	45	3.0	1.00~1.14

注：电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

普通致冷组件

STANDARD COMMON TEC MODULE

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工作电压 U _{max} (V)	最大电流 I _{max} (A)	最大温差 ΔT _{max} Q _{cmax} =0 (℃)	最大产冷量 Q _{cmax} ΔT _{max} =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻范围 (Ω)
				热端温度 Th=27℃	L	M	H		
TEC1-03503T125	35	4.2	3	67	8.1	15	30	5.4	1.11 ~ 1.23
TEC1-03504T125			4	67	11.0	15	30	4.6	0.82 ~ 0.90
TEC1-03505T125			5	67	14.3	15	30	4.0	0.62 ~ 0.68
TEC1-03506T125			6	67	16.8	15	30	3.9	0.53 ~ 0.59
TEC1-03507T125			7	66	19.9	15	30	3.6	0.45 ~ 0.49
TEC1-03508T125			8	66	22.1	15	30	3.5	0.41 ~ 0.45
TEC1-03509T125			9	66	24.5	15	30	3.4	0.37 ~ 0.41
TEC1-03510T125			10	65	29.1	15	30	3.2	0.30 ~ 0.32
TEC1-03512T125			12	65	34.1	15	30	3.1	0.26 ~ 0.28
TEC1-03515T125			15	65	40.9	15	30	3.0	0.22 ~ 0.24
TEC1-04703T125	47	5.6	3	67	11.0	20	30	5.4	1.50 ~ 1.66
TEC1-04704T125			4	67	14.8	20	30	4.6	1.10 ~ 1.22
TEC1-04705T125			5	67	19.2	20	30	4.0	0.83 ~ 0.91
TEC1-04706T125			6	67	22.5	20	30	3.9	0.72 ~ 0.80
TEC1-04707T125			7	66	26.7	20	30	3.6	0.60 ~ 0.66
TEC1-04708T125			8	66	29.7	20	30	3.5	0.55 ~ 0.61
TEC1-04709T125			9	66	33.0	20	30	3.4	0.50 ~ 0.56
TEC1-04710T125			10	65	39.1	20	30	3.2	0.40 ~ 0.44
TEC1-04712T125			12	65	45.8	20	30	3.1	0.35 ~ 0.39
TEC1-04715T125			15	65	55.0	20	30	3.0	0.30 ~ 0.34
TEC1-07103T125	71	8.5	3	67	16.6	30	30	5.4	2.26 ~ 2.50
TEC1-07104T125			4	67	22.4	30	30	4.6	1.66 ~ 1.84
TEC1-07105T125			5	67	29.1	30	30	4.0	1.24 ~ 1.38
TEC1-07106T125			6	67	34.1	30	30	3.9	1.08 ~ 1.20
TEC1-07107T125			7	66	40.3	30	30	3.6	0.90 ~ 1.00
TEC1-07108T125			8	66	44.9	30	30	3.5	0.83 ~ 0.91
TEC1-07109T125			9	66	49.8	30	30	3.4	0.75 ~ 0.83
TEC1-07110T125			10	65	59.1	30	30	3.2	0.61 ~ 0.67
TEC1-07112T125			12	65	69.2	30	30	3.1	0.53 ~ 0.59
TEC1-07115T125			15	65	83.1	30	30	3.0	0.46 ~ 0.50

注：电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

普通致冷组件

STANDARD COMMON TEC MODULE

惠茂公司生产的常用普通组件最高工作温度为150℃, 长期工作温度为125℃, 有100多个规格可供选用。

The highest operating temperature of the standard common TEC module produced by Huimao Company are 150℃, the continuous operating temperature are 125℃, and there are more than one hundred specifications provided for selection.

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 ΔT _{max} Q _{Cmax} =0 (℃)	最大产 冷量 Q _{Cmax} ΔT _{max} =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻范围 (Ω)
				热端温度	T _H =27℃	L	M	H	
TEC1-00703T125	7	0.85	3	67	1.6	10	10	5.4	0.22~0.24
TEC1-00704T125			4	67	2.2	10	10	4.6	0.16~0.18
TEC1-00705T125			5	67	2.8	10	10	4.0	0.12~0.14
TEC1-00706T125			6	67	3.3	10	10	3.9	0.10~0.12
TEC1-00707T125			7	66	3.9	10	10	3.6	0.08~0.10
TEC1-00708T125			8	66	4.4	10	10	3.5	0.08~0.09
TEC1-00709T125			9	66	4.9	10	10	3.4	0.07~0.09
TEC1-00710T125			10	65	5.8	10	10	3.2	0.05~0.07
TEC1-00712T125			12	65	6.8	10	10	3.1	0.05~0.06
TEC1-00715T125			15	65	8.1	10	10	3.0	0.04~0.05
TEC1-01503T125	15	1.8	3	67	3.5	10	20	5.4	0.45~0.50
TEC1-01504T125			4	67	4.7	10	20	4.6	0.35~0.39
TEC1-01505T125			5	67	6.1	10	20	4.0	0.27~0.29
TEC1-01506T125			6	67	7.2	10	20	3.9	0.23~0.25
TEC1-01507T125			7	66	8.5	10	20	3.6	0.19~0.21
TEC1-01508T125			8	66	9.5	10	20	3.5	0.17~0.19
TEC1-01509T125			9	66	10.5	10	20	3.4	0.16~0.18
TEC1-01510T125			10	65	12.5	10	20	3.2	0.12~0.14
TEC1-01512T125			12	65	14.6	10	20	3.1	0.11~0.13
TEC1-01515T125			15	65	17.5	10	20	3.0	0.09~0.11

注: 电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

普通致冷组件

STANDARD COMMON TEC MODULE

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 $\Delta T_{\max}$ Q _{cmax} =0 (℃)	最大产 冷量 Q _{cmax} $\Delta T_{\max}$ =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻范围 (Ω)
				热端温度	Th=27℃	L	M	H	
TEC1-01703T125	17	2	3	67	3.9	15	15	5.4	0.54~0.60
TEC1-01704T125			4	67	5.3	15	15	4.6	0.40~0.44
TEC1-01705T125			5	67	6.9	15	15	4.0	0.29~0.32
TEC1-01706T125			6	67	8.1	15	15	3.9	0.26~0.28
TEC1-01707T125			7	66	9.6	15	15	3.6	0.22~0.24
TEC1-01708T125			8	66	10.7	15	15	3.5	0.20~0.22
TEC1-01709T125			9	66	11.9	15	15	3.4	0.18~0.20
TEC1-01710T125			10	65	14.1	15	15	3.2	0.14~0.16
TEC1-01712T125			12	65	16.5	15	15	3.1	0.12~0.14
TEC1-01715T125			15	65	19.9	15	15	3.0	0.10~0.12
TEC1-02303T125	23	2.8	3	67	5.3	15	20	5.4	0.73~0.81
TEC1-02304T125			4	67	7.2	15	20	4.6	0.54~0.60
TEC1-02305T125			5	67	9.4	15	20	4.0	0.40~0.44
TEC1-02306T125			6	67	11.0	15	20	3.9	0.35~0.39
TEC1-02307T125			7	66	13.0	15	20	3.6	0.30~0.32
TEC1-02308T125			8	66	14.5	15	20	3.5	0.27~0.29
TEC1-02309T125			9	66	16.1	15	20	3.4	0.24~0.26
TEC1-02310T125			10	65	19.1	15	20	3.2	0.19~0.21
TEC1-02312T125			12	65	22.4	15	20	3.1	0.17~0.19
TEC1-02315T125			15	65	26.9	15	20	3.0	0.14~0.16
TEC1-03103T125	31	3.7	3	67	7.2	20	20	5.4	0.99~1.09
TEC1-03104T125			4	67	9.8	20	20	4.6	0.72~0.80
TEC1-03105T125			5	67	12.7	20	20	4.0	0.54~0.60
TEC1-03106T125			6	67	14.8	20	20	3.9	0.48~0.52
TEC1-03107T125			7	66	17.6	20	20	3.6	0.39~0.43
TEC1-03108T125			8	66	19.6	20	20	3.5	0.36~0.40
TEC1-03109T125			9	66	21.7	20	20	3.4	0.32~0.36
TEC1-03110T125			10	65	25.8	20	20	3.2	0.27~0.29
TEC1-03112T125			12	65	30.2	20	20	3.1	0.23~0.24
TEC1-03115T125			15	65	36.2	20	20	3.0	0.20~0.22

注：电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

普通致冷组件

STANDARD COMMON TEC MODULE

TES 系列

TES Series

型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 △T _{max} Q _{cmax} =0 (℃)	最大产冷量 Q _{cmax} △T _{max} =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻范围 (Ω)
				热端温度 Th=27℃	L	M	H		
TES1-03102T125	31	3.7	2	66	4.6	15	15	4.4	1.35~1.50
TES1-03103T125			3		7.0	15	15	3.5	0.90~1.00
TES1-03104T125			4		9.2	15	15	3.1	0.65~0.75
TES1-03105T125			5		11.5	15	15	2.9	0.55~0.60
TES1-04702T125	47	5.6	2	66	7.0	15	23	4.4	2.05~2.25
TES1-04703T125			3		10.5	15	23	3.5	1.35~1.50
TES1-04704T125			4		13.9	15	23	3.1	1.00~1.15
TES1-04705T125			5		17.4	15	23	2.9	0.80~0.90
TES1-06302T125	63	7.6	2	66	9.4	15	30	4.4	2.75~3.05
TES1-06303T125			3		14.0	15	30	3.5	1.80~2.00
TES1-06304T125			4		18.7	15	30	3.1	1.35~1.50
TES1-06305T125			5		23.4	15	30	2.9	1.10~1.20
TES1-07102T125	71	8.5	2	66	10.5	23	23	4.4	3.00~3.40
TES1-07103T125			3		15.8	23	23	3.5	2.05~2.25
TES1-07104T125			4		21.1	23	23	3.1	1.55~1.70
TES1-07105T125			5		26.3	23	23	2.9	1.20~1.35
TES1-12702T125	127	15.2	2	66	18.8	30	30	4.4	5.50~6.10
TES1-12703T125			3		28.3	30	30	3.5	3.70~4.10
TES1-12704T125			4		37.7	30	30	3.1	2.70~3.00
TES1-12705T125			5		47.1	30	30	2.9	2.20~2.45

注：电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

温差发电组件

THERMOELECTRIC MODULE FOR ELECTRIC GENERATION

随着保护环境，节约能源的呼声越来越高，利用温差电组件发电可能是大方向，要达到发电的目的需做到：

- 1、内阻小，否则功率输不出来；
- 2、耐高温；
- 3、长寿命。

惠茂公司的温差电组件很好的满足以上三点。

With the increasing demand of environmental protection and energy saving, utilizing thermoelectric module to generate electricity may be a great tendency. To achieve the goal of electric generation, the following is required:

1. Small internal resistance, otherwise, the power will not be transmitted;
2. Thermostability;
3. Long life.

The thermoelectric module produced by Huimao Company well meets the above requirements.

型号 TYPE NUMBER	电 堆 数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大温差 △T _{max} Q _{cmax} =0 (℃)	最大产冷量 Q _{cmax} △T _{max} =0 (W)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻 (Ω)
				热端温度 T _h =27℃	L	M	H		
TEC1-03130T125	31	3.5	30	63	64.2	35	35	5.0	0.09
TEC1-03140T125			40	61	85.5	35	35	4.5	0.07
TEC1-03150T125			50	—	106.9	35	35	4.2	0.05
TEC1-03160T125			60	—	128.3	35	35	4.0	0.04
TEC1-03180T125			80	—	171.1	35	35	3.8	0.03
TEC1-03140T125	31	3.5	40	63	85.5	40	40	5.0	0.07
TEC1-03150T125			50	61	106.9	40	40	4.5	0.05
TEC1-03160T125			60	—	128.3	40	40	4.2	0.04
TEC1-03180T125			80	—	171.1	40	40	4.0	0.03
TEC1-031100T125			100	—	213.9	40	40	3.8	0.03

注：电阻、高度为参考值。

Attention: electric resistance, height are only for reference.

大温差多层大功率电致冷组件

Multi-stage High Power and Temperature Difference TEC Module

惠茂公司由于组装技术高超，能批量生产大功率多层电致冷组件，温差在 90℃ 以上，产冷量达几十瓦。这种组件的问世将迎来新一代的电致冷冷藏箱，也为研制电致冷的冷风机和空调带来了希望。

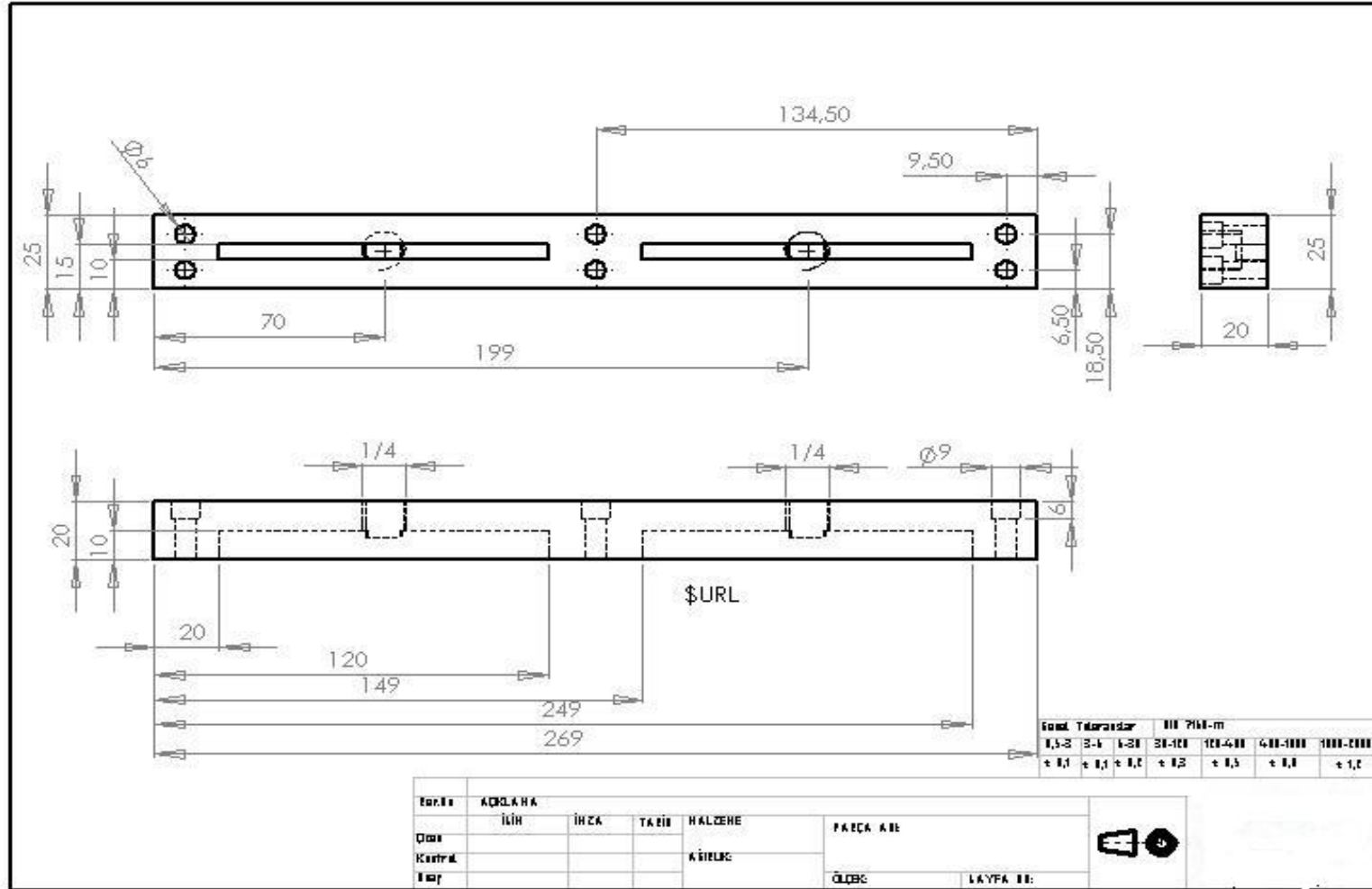
Huimao company's technology has made the multi-stage high power and high temperature difference Thermoelectric Cooling Module. Its power enables to reach tens of watts and its temperature difference is over 90℃. We can supply this kind of module in large quantities. Its coming into the world will welcome in a new generation of electric cooling refrigerator, and it brings possibility for the electrical cooling air cooler and air conditioner.

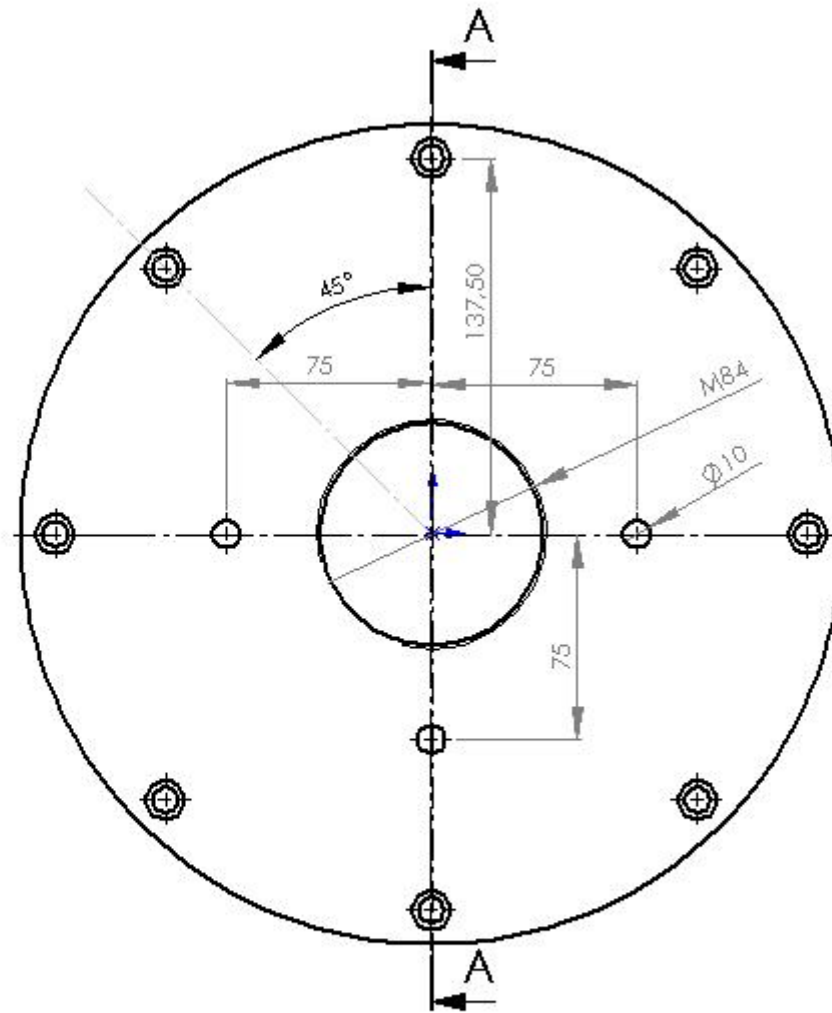
型号 TYPE NUMBER	电堆数 COUPLES	最大工 作电压 U _{max} (V)	最大 电流 I _{max} (A)	最大 温差 Δ T _{max} (℃)	外型尺寸 DIMENSIONS (mm)			电阻 (Ω)
					L	M	H	
TEC2-25405T125	254	15.2	5	90	40	40	8.10	2.45
TEC2-25406T125	254	15.2	6	90	40	40	7.02	2.20
TEC2-25408T125	254	15.2	8	100	40	40	8.10	1.60
TEC2-25409T125	254	15.2	9	100	40	40	9.90	1.50
TEC2-25410T125	254	15.2	10	100	40	40	7.90	1.30
TEC3-22901T125	229	15.2	2	100	30	30	8.25	6.40
TEC3-22903T125	229	15.2	3	100	40	40	10.80	4.50
TEC3-22904T125	229	15.2	4	100	40	40	9.40	3.10
TEC3-22905T125	229	15.2	5	100	40	40	9.00	2.80
TEC3-22906T125	229	15.2	6	100	40	40	8.80	2.20
TEC3-22907T125	229	15.2	7	100	40	40	8.40	1.95

注：电阻、高度为参考值。

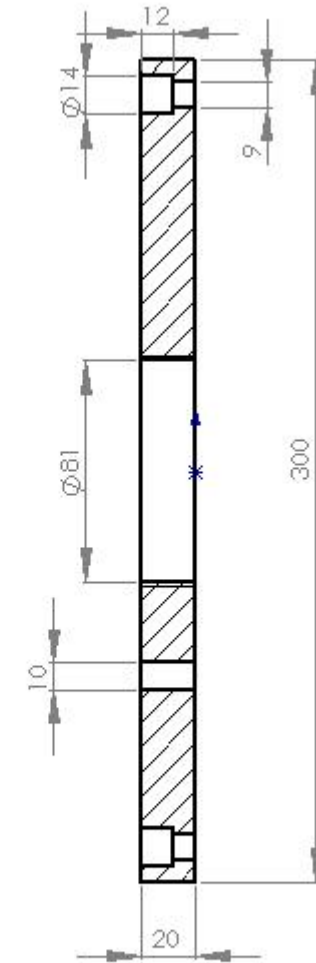
Attention: electric resistance, height are only for reference.

EK 2 Tasarlanan Kalibre Teknik Resimleri

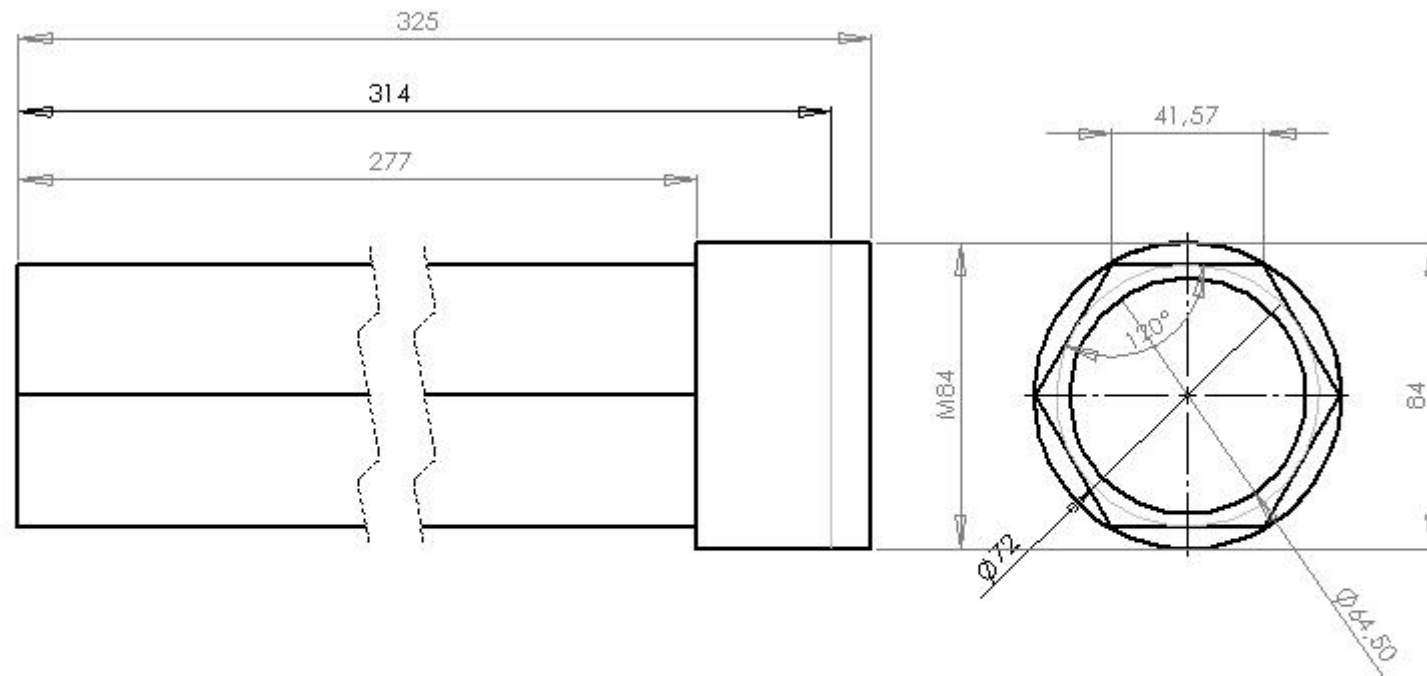


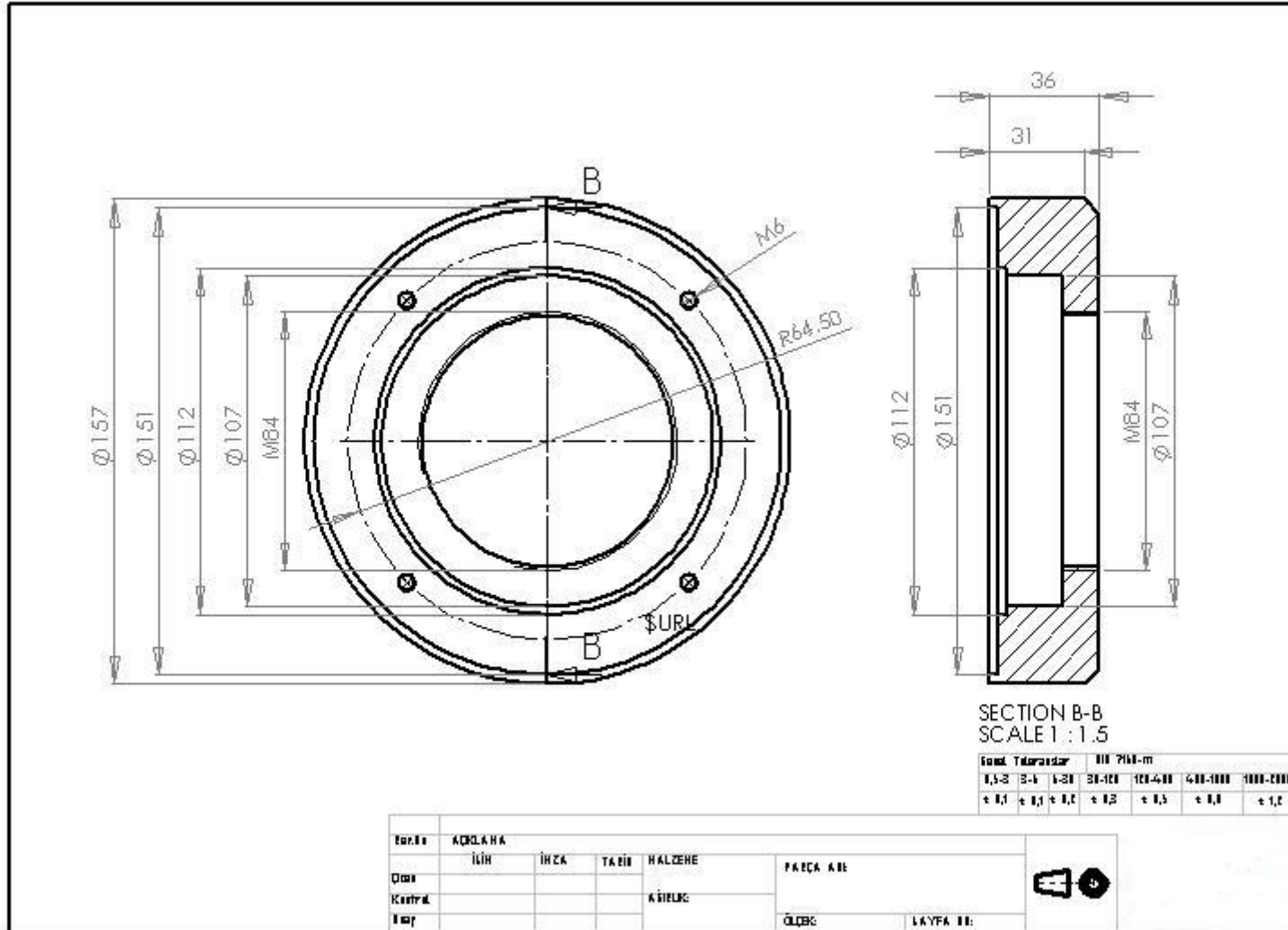


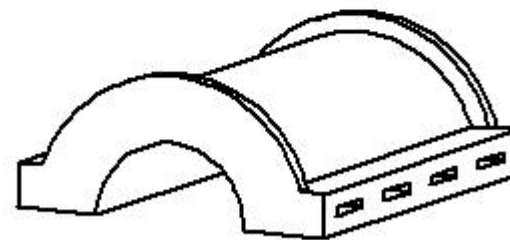
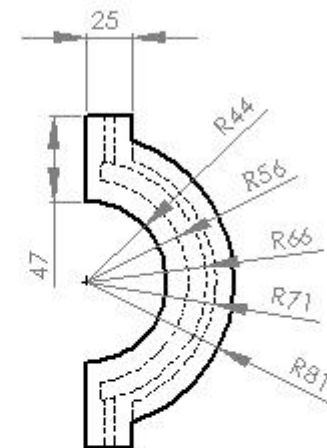
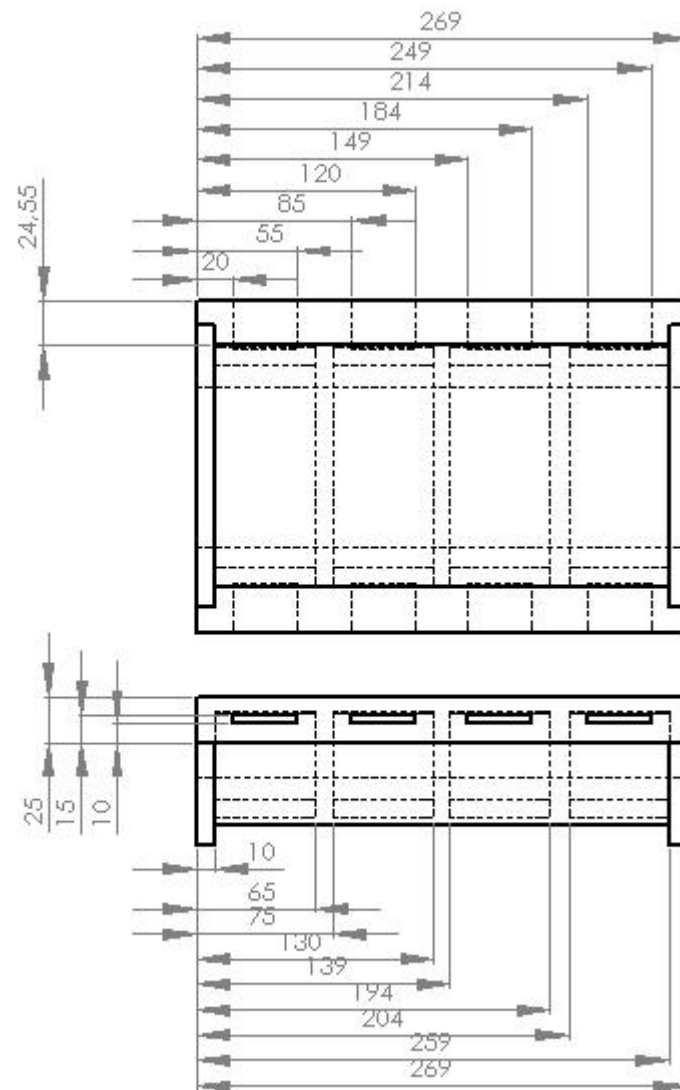
Not: Flanşın ortasında kalınlık boyunca metrik 84 diş olacak!!

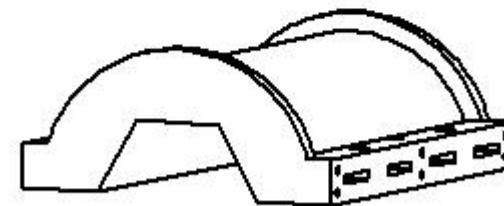
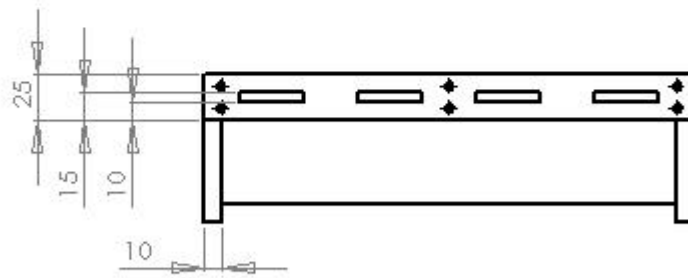
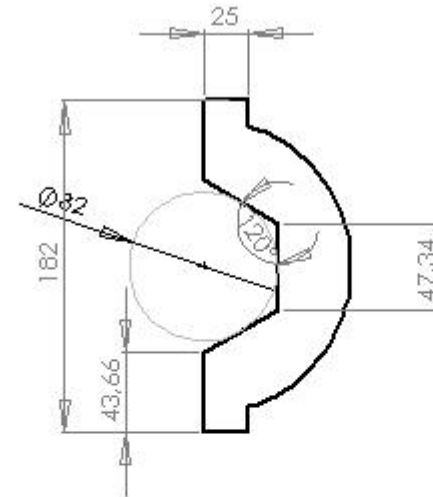
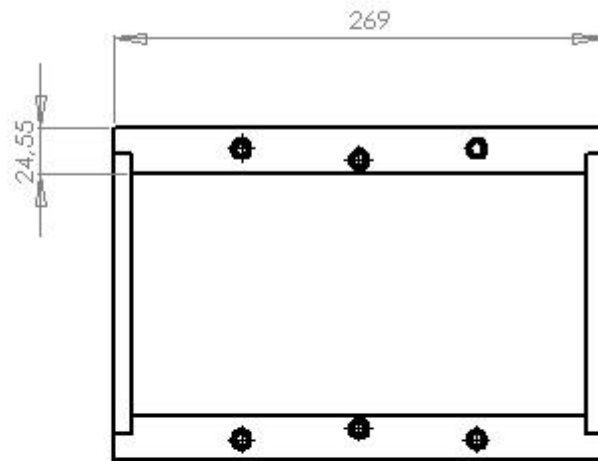


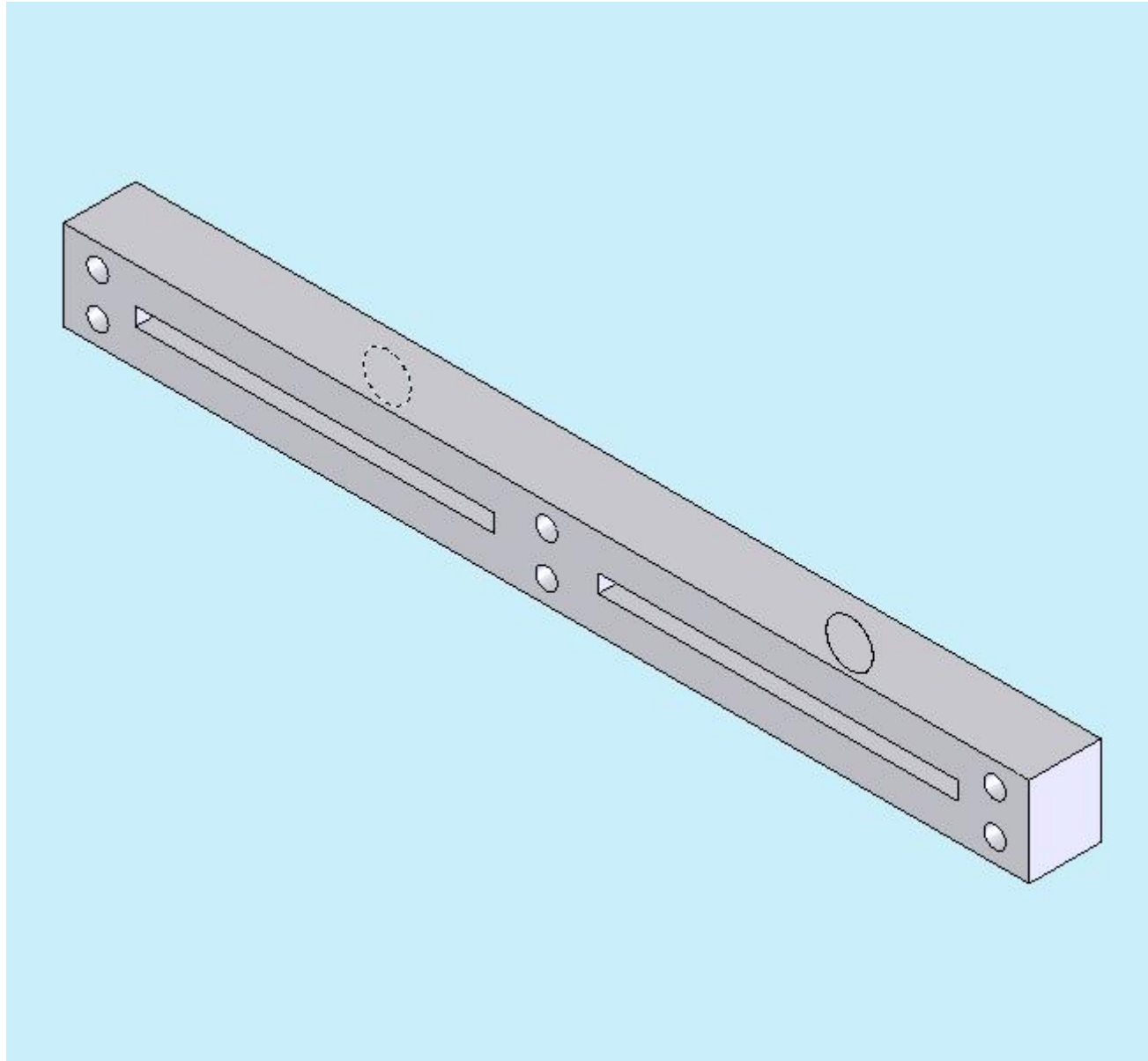
SECTION A-A
SCALE 1 : 2

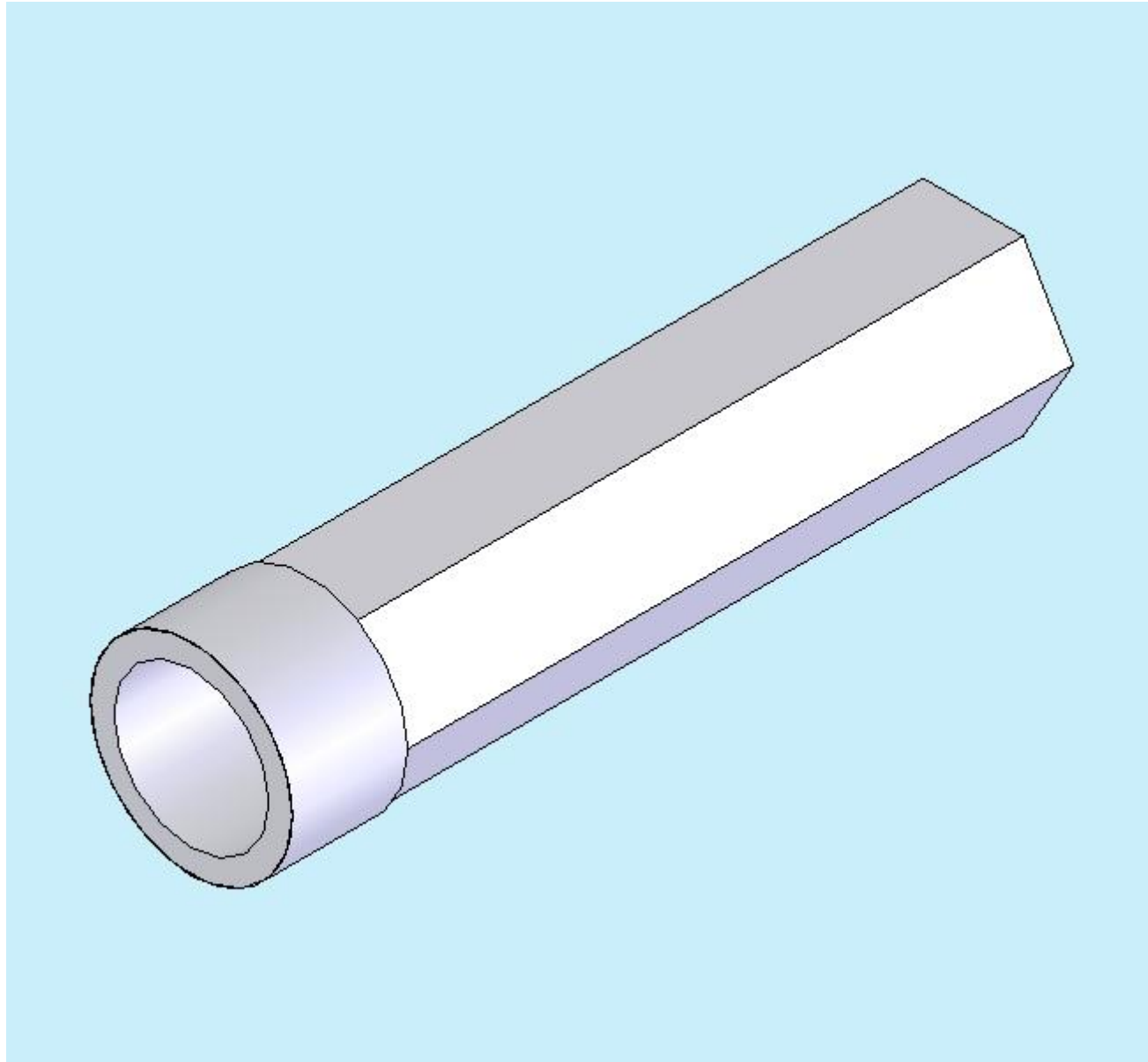


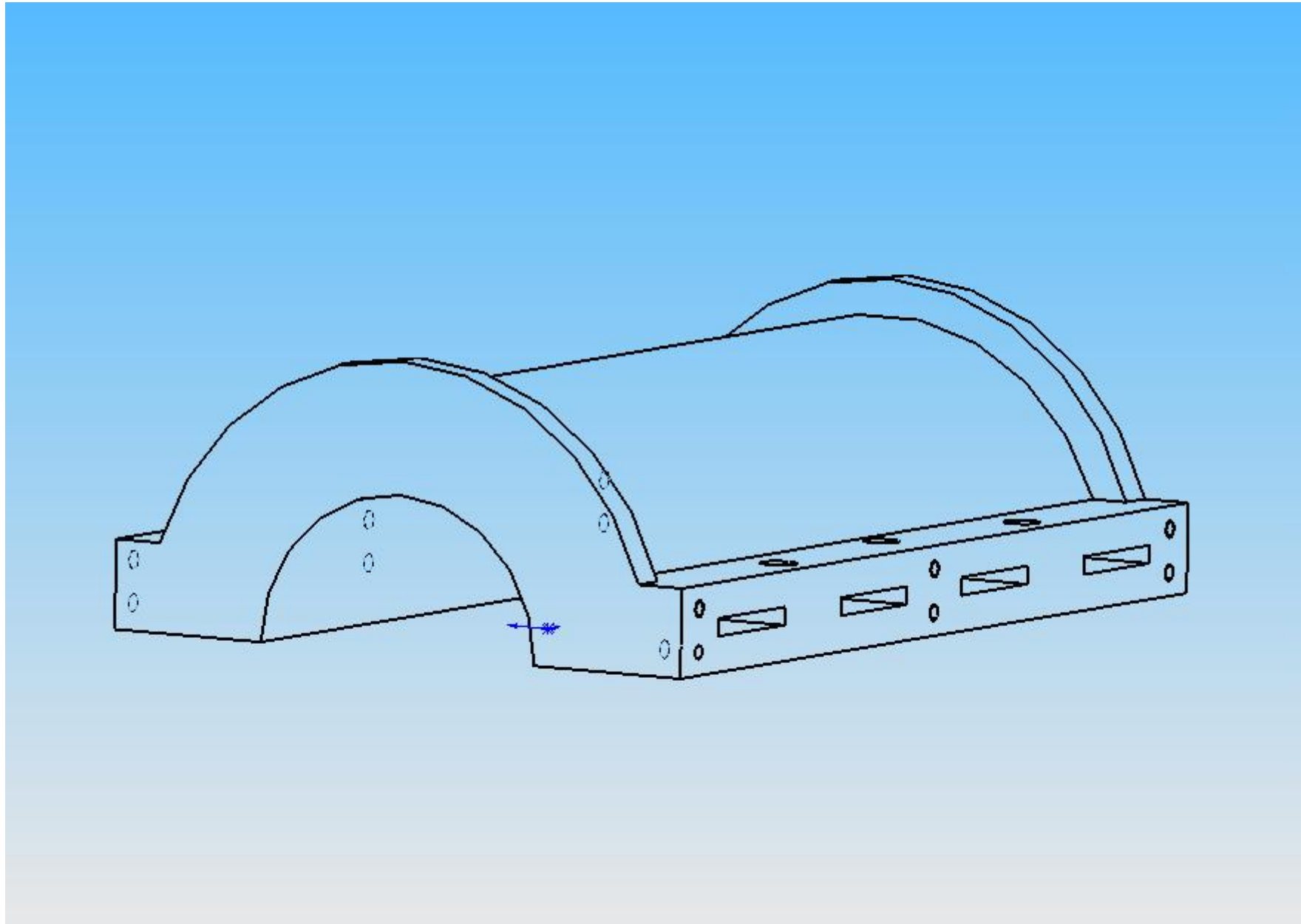


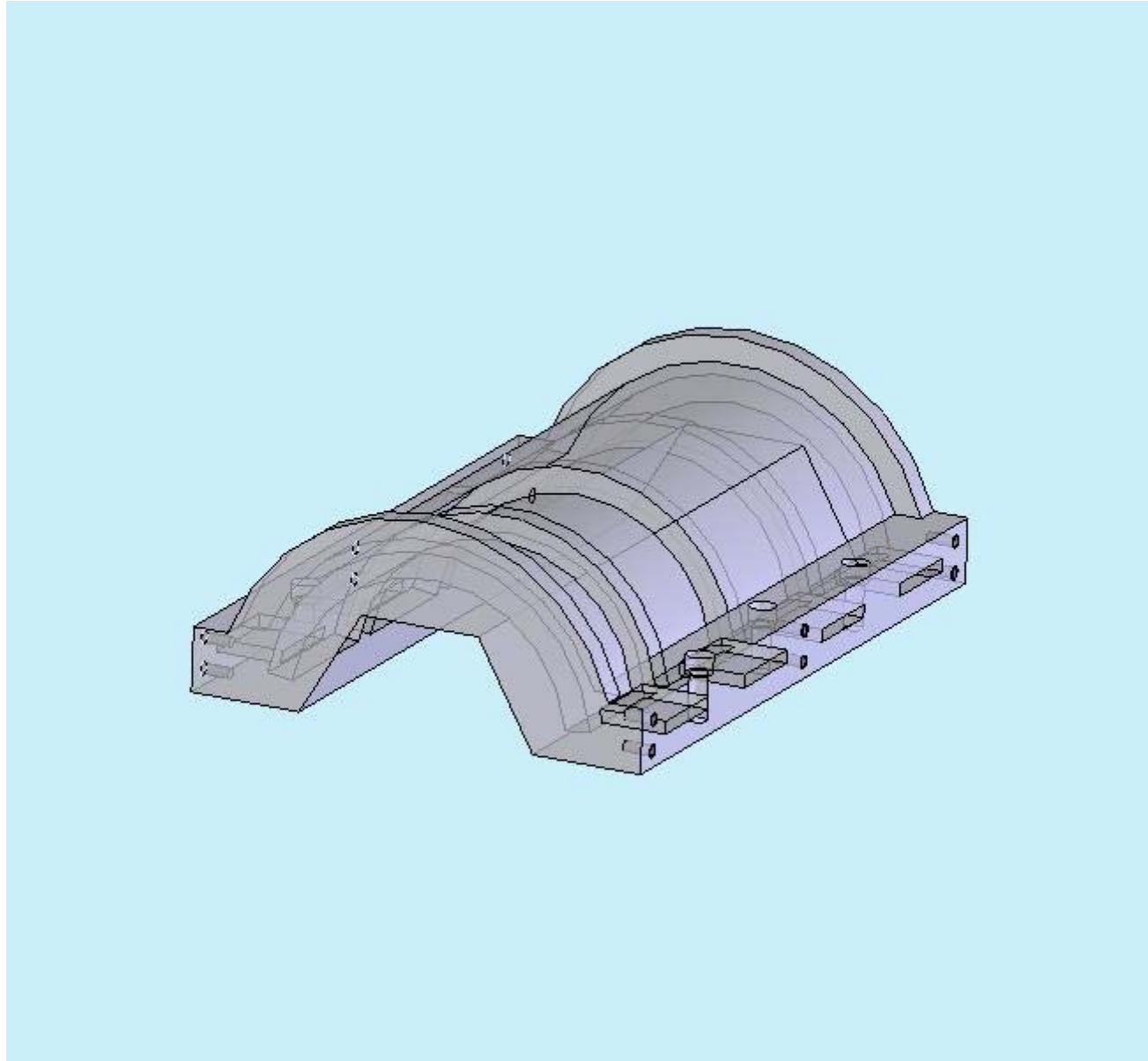


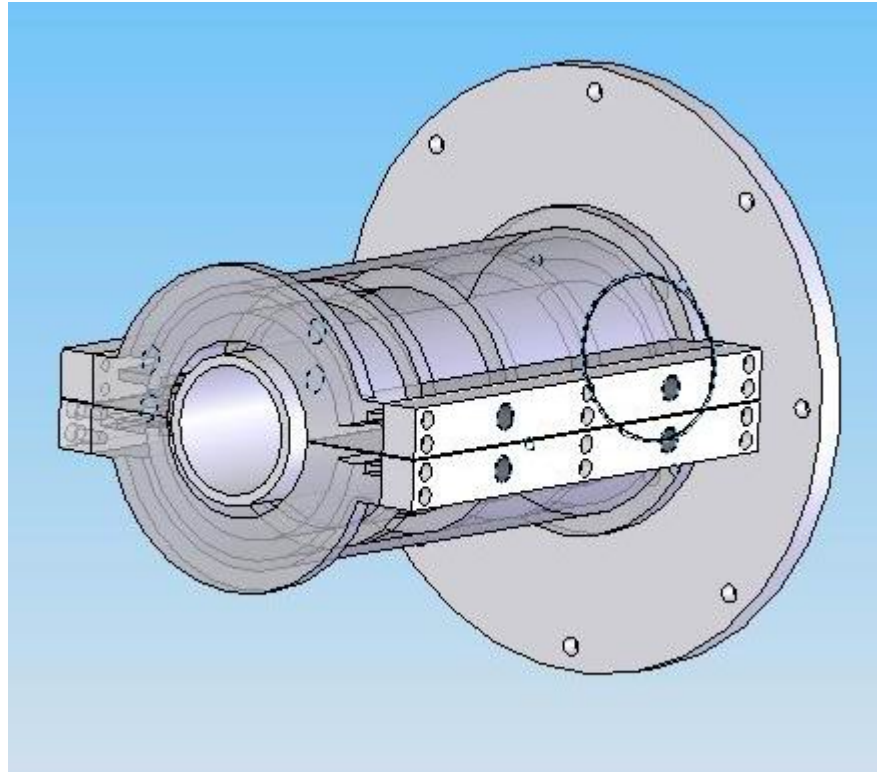


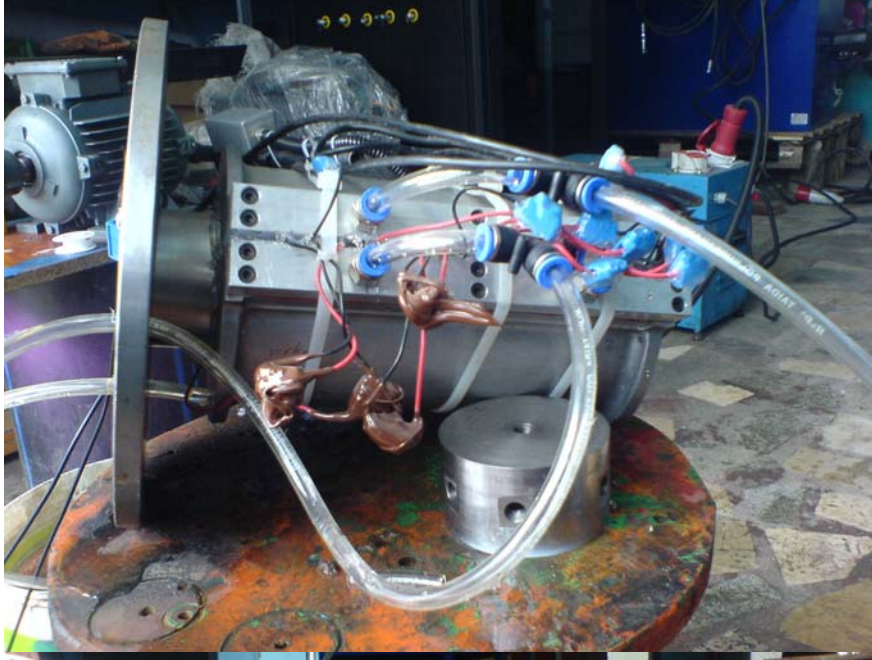










EK 3 Pratik Denemelerde Kalibre, Güç Kaynağı ve Boru

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 22.12.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1992–1999 Kartal Anadolu Lisesi

Lisans 1999–2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Y.Lisans 2005-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mak.Müh. A.B.D. Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

Çalıştığı kurumlar

2004-2007 Alarge Ltd.Şti.

2007- Alce Elektrik A.Ş.