

**ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN BAZI MÜHENDİSLİK
PLASTİKLERİNİN AKIŞ UZUNLUĞUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

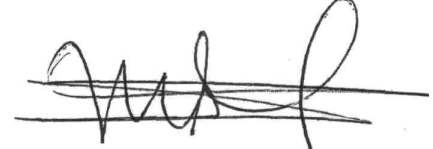
Lezgi BULDU

**YÜKSEK LİSANS
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

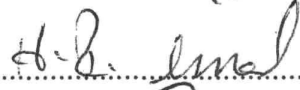
**NİSAN 2007
ANKARA**

Lezgi BULDU tarafından hazırlanan ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN BAZI MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİNİN AKIŞ UZUNLUĞUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

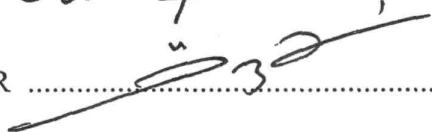


Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ
Tez Yöneticisi

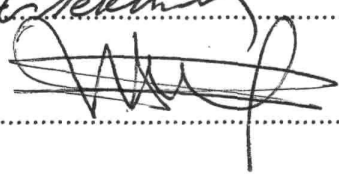
Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında OY BİRLİĞİ ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. H.İbrahim ÜNAL 

Üye : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER 

Üye : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR 

Üye : Doç.Dr. Zafer TEKİNER 

Üye : Y. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ 

Tarih : 19/04/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Lezgi BULDU

ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN BAZI MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİNİN AKIŞ UZUNLUĞUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Lezgi BULDU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2007

ÖZET

Plastiklerin ana monomerine katkılar konularak veya farklı monomerler belirli oranda karıştırılarak çelik kadar dayanıklı plastikler elde edildiği gibi aynı zamanda doğal süngerler kadar yumuşak, esnek plastikler de elde edilmiştir. Bu plastikler mühendislik plastikleri olarak isimlendirilmektedir ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Kalıp tasarımı mühendislik plastiklerinin akış uzunluğunun bilinmesi önemlidir. Kalıbın verimli şekilde dolması için, yolluk, dağıtıcı kanal genişliği ve enjeksiyon parametrelerinin iyi bilinmesi gerekir. Bu amaçla, ASTM D 3123 standardında belirtilen farklı kanal genişlik ve derinlikte kalıplar yapılmış ve en çok kullanılan Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Polikarbonat (PC), Poliamid 6 (PA 6), Poliamid 6.6 (PA 6.6), Polioksimetilen (POM) mühendislik plastiklerinin akış uzunlukları araştırılmıştır. Bunun için enjeksiyon parametrelerinden sıcaklık, basınç ve vida hızı değerlerinden ikisi sabit tutulup biri değiştirilerek farklı spiral kanal genişliğine sahip plakalar içine enjeksiyon basımı yapılarak araştırma yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda mühendislik plastiklerinden sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS malzemelerinin akış uzunluklarının 941, 900, 811, 665, 627 olduğu tespit edilmiştir. Enjeksiyon parametrelerinin değerleri arttıkça akış uzunluğunun da arttığı saptanmıştır.

Bilim Kodu :708.3.028
Anahtar Kelimeler :Kalıplanabilirlik, Spiral akış, Ergiyik akış uzunluğu
Sayfa Adedi :128
Tez Yöneticisi :Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ

EFFECT OF INJECTION PARAMETERS OF ENGINEERING PLASTICS ON FLOW LENGHT

(M.Sc. Thesis)

Lezgi BULDU

**GAZI UNIVERSTY
INSTUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2007

ABSTRACT

Plastics resistant as steel were obtained by putting additives to main monomer of plastics or mixing them with different monomers at certain ratios and also flexible plastic, soft as naturel sponge were obtained. These plastics are defined as engineering plastics and their uf usage fields increase day by bay. It is important to know the flow lenght of engineering plastics at mould design. Runner, distributor canal with and injection parameters should be known well for filling mould effectively. For this purpose, mould having different canal wideness (determined according to ASTM D 3123 standards) were made and the flow lenght of widely used Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polycarbonate (PC), Polyamide 6 (PA6), Polyamide 6.6 (PA6.6), Polioksimetilen (POM) engineering plastics were studied. Experiments were carried out by fixing two values from the heat, pressure and screw speed of injection parameters and changing one of them and making injection impression in plaques having different spiral canal wideness. It was determined that flow lenght of PA6.6, PA6, POM, PC and ABS engineering plastics were 941, 900, 811, 665, 627 respectively. It was determined that flow lenght increases with the increasing values of injection parameters.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Mouldability, Spiral flow, Melt flow lenght.
Page Number : 128
Adviser : Asist. Prof. Dr. Çetin KARATAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Plastik İşleme Bölüm Şefi Hayrettin ATEŞ'e, mesai arkadaşım Tarık KALAFAT, Aydın SAYIN ve Kenan AYDEMİR'e, kalıp yapımında yardımcı olan OKSET, GENÇ KALIP, ÇETİN KALIP ve HAT TEKNİK'e, ürünlerin basılması için enjeksiyon tezgahı tedarik eden ÇALIŞKAN Plastik Ltd. Ştd.'ne, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli sevgili eşime ve biricik kızım Elif Azra BULDU'ya teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Literatür Araştırması	3
2.2. Katalog Araştırması	7
3. PLASTİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	18
3.1. Plastiklerin Sınıflandırılması	18
3.1.1. Termoplastikler	19
3.1.2. Termosetler	19
3.1.3. Elastomerler	20
3.2. Plastiklerin Özellikleri	20
3.2.1. Plastiklerin görünüşü	21
3.2.2. Plastiklerin yüzey sertliği	21
3.2.3. Plastiklerin yoğunluğu	22
3.2.4. Plastiklerin mekanik özellikleri	22

Sayfa

3.2.5. Termal özellikler	25
3.2.6. Elektriksel özellikler	25
3.2.7. Kimyasal özellikler	25
3.3. Polimerlerin Uygulama Alanları	26
3.3.1. Yüzey örtü maddesi, yüzey koruyucu kaplama ve film şeklinde	27
3.3.2. Kalıplama ve döküm tipi malzeme üretiminde	27
3.3.3. Standart şekillerdeki malzeme yapımında	27
3.3.4. Yapıştırıcı sanayinde	27
3.3.5. Elyaf (fiber) ve lif (filament) üretiminde	27
4. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI	28
4.1. Yolluk Burcu	30
4.2. Dağıtıcı Kanallar	32
4.3. Giriş Konumu ve Tasarımı	34
4.3.1. Giriş tipleri	35
4.3.2. Doğrudan giriş kanalları	35
4.3.3. Kenar yolluk girişi	36
4.3.4. Fan giriş	37
4.3.5. Diyafram giriş	37
4.3.6. Halka girişi	38
4.3.7. Tünel veya dalgıç girişi	38
4.3.8. İğne yolluk	39
4.3.9. Kulaklı giriş	40

	Sayfa
4.4. Plastik Kalıplarının Isıtılması ve Soğutulması	41
4.4.1. Kalıpların ısıtılması	41
4.4.2. Kalıpların soğutulması	42
4.5. Enjeksiyonla Kalıplamada Kavramlar	44
4.5.1. Ergime sıcaklığı	44
4.5.2. Plastiğin ergime haznesinde kalma süresi	45
4.5.3. Sıcaklık ayarı	45
4.5.4. Enjeksiyon hızı	45
4.5.5. Enjeksiyon basıncı	46
4.5.6. Vida dönme hızı	46
4.5.7. Ütuleme basıncı	47
5. ERGİMİŞ PLASTİĞİN AKIŞI	48
5.1. Ergimiş Plastiğin Kalıp İçindeki Akış Davranış Özellikleri	48
5.2. Çeşitli Parametrelerin Plastiklerin Akış Davranışına Etkisi	51
5.2.1. Moleküler ağırlığın plastik akışına etkisi	52
5.2.2 Basıncın plastik akışına etkisi	52
5.2.3. Sıcaklığın plastik akışına etkisi	52
6. MATERYAL VE METOD	54
6.1. Deney Kalıbının İmalatı	54
6.2. Deneylerde Kullanılan Plastik Malzemeler ve Özellikleri	59
6.2.1. Akrilonitril bütadien sitren (ABS)	59
6.2.2. Poliamid 6, Poliamid 6.6. (Naylon6, Naylon 6.6)	60
6.2.3. Polikarbonat (PC)	62

	Sayfa
6.2.4. Polioksümetilen (POM)	63
6.3. Deneyde Kullanılan Plastiklerin Ergime Akış İndislerinin (MFI) Ölçülmesi	67
6.4. Plastik Enjeksiyon Tezgâhı	68
6.5. Deneyin Yapılışı	68
6.6. Deney Numunelerinin Ölçülerinin Hesaplanması	70
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	74
7.1. Bazı Mühendislik Plastiklerinin Akış Uzunluğunun İncelenmesi	74
7.1.1. ABS malzemesiyle elde edilen sonuçlar	74
7.1.2. PA6 malzemesiyle elde edilen sonuçlar	81
7.1.3. PA6.6 malzemesiyle elde edilen sonuçlar	87
7.1.4. PC malzemesiyle elde edilen sonuçlar	93
7.1.5. POM malzemesiyle elde edilen sonuçlar	100
7.2. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM Mühendislik Plastiklerinin Karşılaştırılması	107
7.2.1. Enjeksiyon sıcaklığına göre karşılaştırılması	107
7.2.2. Enjeksiyon basıncına göre karşılaştırılması	111
7.2.3. Enjeksiyon debisine göre karşılaştırılması	116
7.2.4. Akma oranına ve kanal kesit alanına göre karşılaştırılması	120
7.3. Sonuçlar	123
7.4. Öneriler	124
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ	128

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Katkı maddelerinin akış uzunluğuna etkisi	7
Çizelge 2.2. PA6 ve PA6.6 mamüllerinin farklı sıcaklık ve farklı kalınlıklardaki spiral akış uzunlukları	16
Çizelge 3.1. Plastiklerin özellikleri	26
Çizelge 6.1. Spiral kanalların yüzey pürüzlülük değerleri	57
Çizelge 6.2. ABS malzemesinin bazı üretici firmaları ve bunların verdiği ticari isimler	59
Çizelge 6.3. PA malzemesinin bazı üretici firmaları ve bunların verdiği ticari isimler	60
Çizelge 6.4. Poliamidlerin isimlendirilmesi	61
Çizelge 6.5. PC malzemesinin bazı üretici firmaların verdiği ticari isimler	62
Çizelge 6.6. POM malzemesinin bazı üretici firmaları ve bunların verdiği ticari isimler	63
Çizelge 6.7. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin genel özellikleri	65
Çizelge 6.8. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin üretici firmalarının enjeksiyon parametreleri ve deney şartları	66
Çizelge 6.9. Deneyde kullanılan plastik enjeksiyon tezgâhının özellikleri	69
Çizelge 6.10. 1,6 mm'lik numunenin spiral uzunluk ölçüm değerleri	73
Çizelge 7.1. ABS malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	75
Çizelge 7.2. ABS malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	77
Çizelge 7.3. ABS malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	78
Çizelge 7.4. ABS malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi	79
Çizelge 7.5. PA6 malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	82

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.6. PA6 malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	83
Çizelge 7.7. PA6 malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	84
Çizelge 7.8. PA6 malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi	85
Çizelge 7.9. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	88
Çizelge 7.10. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	89
Çizelge 7.11. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	90
Çizelge 7.12. PA6.6 malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi	91
Çizelge 7.13. PC malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	94
Çizelge 7.14. PC malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	96
Çizelge 7.15. PC malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	97
Çizelge 7.16. PC malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi	98
Çizelge 7.17. POM malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	101
Çizelge 7.18. POM malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	102
Çizelge 7.19. POM malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	104
Çizelge 7.20. POM malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi	105
Çizelge 7.21. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi	108
Çizelge 7.22. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi.....	110
Çizelge 7.23. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi.....	112
Çizelge 7.24. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	113

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.25. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	114
Çizelge 7.26. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	115
Çizelge 7.27. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	116
Çizelge 7.28. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	117
Çizelge 7.29. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	118
Çizelge 7.30. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi	119
Çizelge 7.31. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi....	121
Çizelge 7.32. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığı, basıncı ve debisine göre artış değerleri	122

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çeşitli termoplastiklerin maksimum akma uzunluğunun parça kalınlığına oranı	3
Şekil 2.2. Titreşim frekansı değişimi ile maksimum akış uzunluğu	4
Şekil 2.3. Titreşim aralığı değişimi ile maksimum akış uzunluğu	4
Şekil 2.4. Parça et kalınlığına göre spiral akış uzunlukları	5
Şekil 2.5. Ergimiş polimerin spiral uzunluğunun spiral yüksekliğiyle fonksiyonu	5
Şekil 2.6. Enjeksiyon basıncına göre çeşitli malzemelerin parça kalınlıklarının akış uzunlukları	6
Şekil 2.7. Ergiyik malzeme sıcaklığına göre çeşitli plastiklerin akış uzunluğu	8
Şekil 2.8. Çeşitli plastiklerin kalıp sıcaklığına göre akış uzunlukları	8
Şekil 2.9. Çeşitli termoplastiklerin parça kalınlığına göre akış uzunlukları	9
Şekil 2.10. Parça et kalınlığına göre akış uzunluğu	10
Şekil 2.11. Çeşitli mühendislik plastiklerinin akış uzunluklarının karşılaştırılması	10
Şekil 2.12. Parça et kalınlığına göre spiral akış uzunluğu	11
Şekil 2.13. Ergiyik sıcaklığına göre spiral akış uzunlukları	11
Şekil 2.14. Lexan resin 141 akış uzunluğunun gösterilmesi	12
Şekil 2.15. Sıcaklığa göre spiral akış uzunluğu	13
Şekil 2.16. Spiral et kalınlığına göre akış uzunluğu	13
Şekil 2.17. Ergiyik sıcaklığına göre akış uzunluğu	14
Şekil 2.18. Enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi	14
Şekil 2.19. Enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış uzunluğu	15
Şekil 2.20. Ergiyik sıcaklığına göre spiral akış uzunlukları	15

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. Enjeksiyon basıncına göre spiral akış uzunluğu	17
Şekil 2.22. Enjeksiyon basıncına göre spiral akış uzunluğu	17
Şekil 3.1. Plastiklerin sınıflandırılması	18
Şekil 3.2. Plastik moleküllerinin dizilişi	19
Şekil 3.3. Termoplastikler için çekme uzama eğrisi	23
Şekil 3.4. Çekme uzama eğrisi	24
Şekil 4.1. Enjeksiyon tezgâhı	28
Şekil 4.2. Kalıp setleri	29
Şekil 4.3. Farklı yolluk burçlarının gösterilişi	30
Şekil 4.4. Yolluk burcunun kısımları	31
Şekil 4.5. Yolluk dağıtıcı ve yolluk girişi	31
Şekil 4.6. Dağıtıcı kanal kesitleri	32
Şekil 4.7. Çoklu kalıplamada bulunan dağıtıcı kanal tipleri	33
Şekil 4.8. Doğrudan giriş kanalı	36
Şekil 4.9. Kenar yolluk girişi	36
Şekil 4.10. Fan giriş sistemi	37
Şekil 4.11. Diyafram girişi	38
Şekil 4.12. Tünel veya dalgıç giriş	39
Şekil 4.13. İğne yolluk sistemi	40
Şekil 4.14. Kulaklı giriş	40
Şekil 4.15. Spiral soğutma kanalları	43
Şekil 4.16. Soğutma sistemlerinin gösterilişi	43
Şekil 5.1. Plastiğin akışı	49

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Newton sıvıları için akış eğrileri	50
Şekil 5.3. Newton ve incelenen akışkanların viskozitelerinin kayma hızına göre değişimi	51
Şekil 5.4. Çeşitli parametrelerin plastiklerin akış davranışlarına etkisi	51
Şekil 5.5. Ergiyik haldeki plastik malzemenin akış profilleri	53
Şekil 6.1. Tasarlanan deney kalıbının önden ve üstten görünüşü	55
Şekil 6.2. Tasarlanan deney kalıbının katı model çizimi	56
Şekil 6.3. ABS polimerinin yapısı	60
Şekil 6.4. Poliamidlerin yapısı	61
Şekil 6.5. PC polimerinin yapısı	63
Şekil 6.6. POM polimerinin yapısı	64
Şekil 6.7. 1,6 mm'lik numunenin spiral uzunluk ölçüm değerleri	71
Şekil 7.1. ABS malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	76
Şekil 7.2. ABS malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	77
Şekil 7.3. ABS malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	78
Şekil 7.4. ABS malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	79
Şekil 7.5. ABS malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği	80
Şekil 7.6. PA6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	82
Şekil 7.7. PA6 malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	83

Şekil	Sayfa
Şekil 7.8. PA6 malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	84
Şekil 7.9. PA6 malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	86
Şekil 7.10. PA6 malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği	86
Şekil 7.11. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	88
Şekil 7.12. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	89
Şekil 7.13. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	90
Şekil 7.14. PA6.6 malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	92
Şekil 7.15. PA6.6 malzemesinin spiral kanal derinliğine göre akış boyu grafiği	92
Şekil 7.16. PC malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	95
Şekil 7.17. PC malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	96
Şekil 7.18. PC malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	97
Şekil 7.19. PC malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	99
Şekil 7.20. PC malzemesinin kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği	99
Şekil 7.21. POM malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	102
Şekil 7.22. POM malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	103

Şekil	Sayfa
Şekil 7.23. POM malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	104
Şekil 7.24. POM malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	105
Şekil 7.25. POM malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği	106
Şekil 7.26. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	108
Şekil 7.27. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	109
Şekil 7.28. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	110
Şekil 7.29. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği	111
Şekil 7.30. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	112
Şekil 7.31. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	113
Şekil 7.32. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	114
Şekil 7.33. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği	115
Şekil 7.34. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	117
Şekil 7.35. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	118
Şekil 7.36. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	119
Şekil 7.37. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği	120

Şekil	Sayfa
Şekil 7.38. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği	121
Şekil 7.39. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği	122

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Deneyde kullanılan farklı spiral kanallı plakalar	57
Resim 6.2. Deney kalıbının basıma hazır hali	58
Resim 6.3. Ergime akış indisi ölçme deney cihazı	67
Resim 6.4. Spiral akış kalıbının tezgâha bağlanması	68
Resim 6.5. Basılan ürünün spiral kanal içinde görünümü	73
Resim 6.6. Spiral akış uzunluğunun ölçme şablonuyla ölçülmesi	73
Resim 7.1. ABS malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri	80
Resim 7.2. PA6 malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri.	87
Resim 7.3. PA6.6 malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri	93
Resim 7.4. PC malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri	100
Resim 7.5. POM malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
τ	Kayma Gerilimi
μ	Kayma Viskozitesi
γ	Kayma oranı
Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Akrilo nitril Bütadien sitren
AYPE	Alçak yoğunluklu polietilen
Enj. S.	Enjeksiyon sıcaklığı
MFR	Ergiyik akış sabiti
PA 6	Poliamid 6 (Naylon)
PA 6.6	Poliamid 66 (Naylon 66)
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
POM	Poli Oksi Metilen (Delrin)
POS	Polisülfon
PP	Polipropilen
PS	Polistren
PVC	Polivinil klorür
SAN	Sitren akrilonitril
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen

1. GİRİŞ

Plastik endüstrisi de diğer bütün endüstri dalları gibi, hatta birçoğundan daha hızlı bir şekilde gelişmiş ve halen gelişmeye devam etmektedir. Plastik malzemelerin çeşitlilikleri ve mekanik özellikleri başta olmak üzere kullanıcılara sundukları birçok avantaj, onların gittikçe daha fazla tercih edilmelerine sebep olmuştur. Plastik endüstrisindeki hızlı gelişmeler plastik işleme teknolojilerini de kapsamaktadır. Özellikle pek de yeni olmayan plastik enjeksiyon teknolojisinde büyük ilerlemeler sağlanmış ve en çok kullanılan teknoloji haline gelmiştir. Bu teknoloji sadece ürün imali ile sınırlı kalmamış, ürün tasarımından malzeme ve makine seçimine kadar her alanda kendini göstermiştir.

Ticari plastikler yapılan değişimlerle kaliteleri arttırılarak diğerlerine nazaran daha üst düzeyde yapılara (kimyasal, fiziksel özellikleri açısından) sahip olabilirken, yeni plastik malzeme cinsleri ortaya çıkmıştır. Üretici firmaların bünyesinde mühendislik plastikleri olarak adlandırılan bu plastikler, her geçen gün yeni buluşlarla performansları artmakta, kullanım alanları genişlemekte ve malzeme tercihlerine yeni öneriler sunmaktadır. Mühendislik plastikleri daha çok metal yerine egzotik görünümün arandığı ve yapısal karakteristiklerin aranmadığı durumlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde plastik üretimi yapan firmalar tüketici taleplerini karşılamak, plastiklere ilave özellikler kazandırmak, maliyeti düşürebilmek ve pazarda söz sahibi olabilmek için süratle çalışmalarını arttırmak durumunda kalmışlardır.

Plastiklerin özelliklerini incelerken tamamen aynı şartlarda yapılan deneylerin sonucunu karşılaştırmak sağlıklıdır. İncelenen tüm değerler aynı laboratuvarda yapılamayacağından, pratikte plastik özellikleri için farklı kaynaklardan alınan değerler incelenirken test metodlarına bakılmalıdır. Aynı test metodunda bile küçük farklılardan dolayı sonuçlar farklı çıkabilir. Özellikle mekanik özellikler (çekme, darbe, basma dayanımı, burkulma ve bükülme) gibi testler için değişik laboratuvar sonuçlarını karşılaştırırken numune hazırlama koşullarının da bilinmesi gerekir [1].

Bu çalışmada deney numunelerinin basılabilmesi için ASTM D 3123 spiral akış testi kalıbı referans alınarak çalışmalar yapılmıştır. Bu standart kalıp plastiklerin spiral akışı, ergime, viskozite ve jelleşme oranlarının karakteristiklerini ölçmek için tasarlanmıştır [2].

Endüstride kalıpcıların ve enjeksiyon operatörlerinin çoğu, kalıpta kullanacağı plastikleri seçmede problem yaşamakta, plastik üreticilerinden aldığı kataloglarda plastiklerin kalıptaki akış miktarlarıyla ilgili herhangi bir bilgiye ulaşamamaktadır. Bu olumsuzluk endüstride çalışan bireyleri deneme yanılma yöntemine itmekte, maliyetleri arttırmakta veya kulaktan duyma bilgilerle çalışma yapmaya zorlamaktadır. Bu bağlamda yapılan bu çalışma kalıpcılara ve enjeksiyon operatörlerine yol göstereceği gibi plastik üretici firmalarında kataloglarında ürünlerinin basılabilirlik oranları ve akış uzunlukları ile ilgili yeni veriler bulundurabilecekleri tahmin edilmektedir.

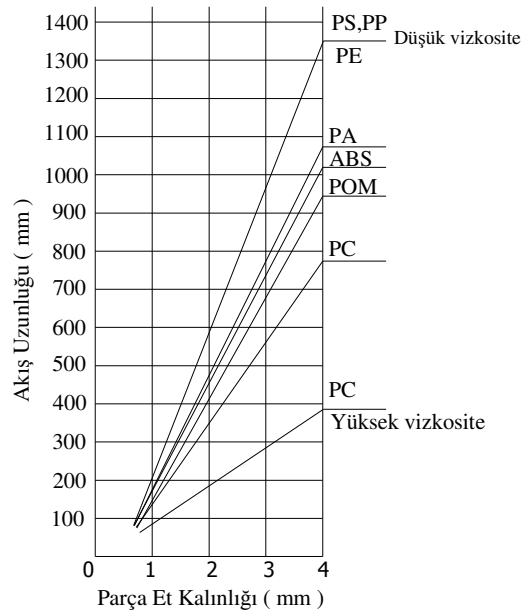
Yapılan bu çalışmada mühendislik plastiklerinden Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Poliamid 6 (PA6), Poliamid 6.6 (PA6.6), Polikarbonat (PC), Polioksümetilen (POM) malzemelerinin basılabilirliklerini incelemek, akış uzunluklarını elde etmek ve enjeksiyon parametrelerinin (silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve debisi) ergimiş plastik üzerindeki etkilerini araştırmak hedeflenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda mühendislik plastiklerinden sırasıyla PA6.6, PA6 ve POM malzemelerinin daha fazla akış özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık PC ve ABS malzemesinin ise daha az akış özelliğine sahip olduğu saptanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Literatür Araştırması

Termoplastiklerin enjeksiyon kalıptaki akış oranları ile ilgili bilim adamlarının gerek ticari gerekse bilimsel amaçla yapmış olduğu deneysel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

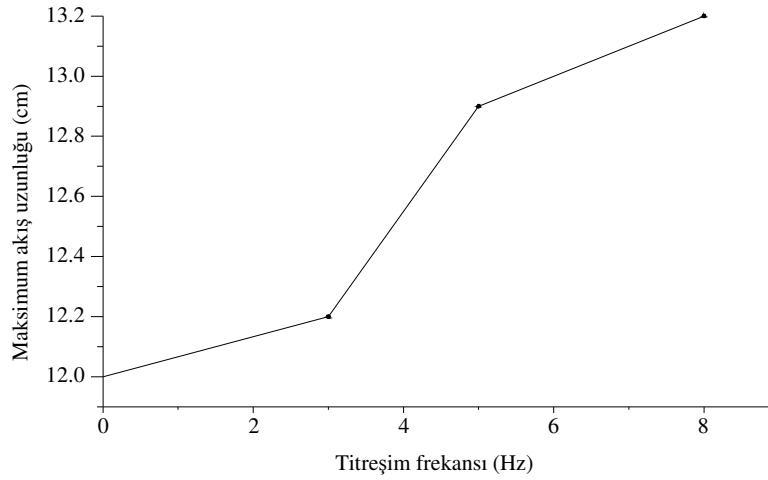
Hasan TURAÇLI'nın "Enjeksiyoncunun El Kitabı"nda çeşitli Termoplastiklerin maksimum akma uzunluğunun parça et kalınlığına oranı grafikte gösterilmiştir (Şekil 2.1) [3]. Şekil 2.1'de parça et kalınlığı arttıkça malzeme akış uzunluğunun da lineer olarak arttığı, bu artış oranının kullanılan malzemeye bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir.



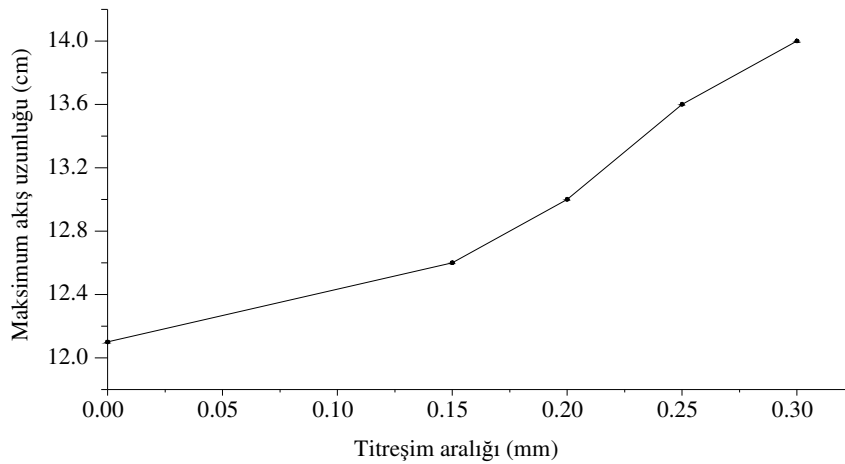
Şekil 2.1. Çeşitli termoplastiklerin maksimum akma uzunluğunun parça kalınlığına oranı [3]

XI CHEN, FUONG GAO, GUOHUA CHEN [4], araştırmalarında dinamik enjeksiyon kalıplama süresince, spiral kanallı kalıp, kistlerin bir takım çekme basınç değerleri, çekme tepkisi ve maksimum akış uzunluğu üzerinde çalışmışlardır.

Çalışma koşulları; enjeksiyon hızını, enjeksiyon basıncını, kalıp sıcaklığını titreşim sıcaklığı ve titreşim aralığını kapsamaktadır. Bu çalışmanın sonucunda maksimum akış uzunluğunun dinamik enjeksiyon kalıplama ile geliştirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Bu yöntemle daha düşük enjeksiyon basıncında maksimum akış uzunluğu %15 civarı artırılabilir. Ütöleme basıncı esnasında vida titreşiminin neden olduğu dinamik doldurma safhasında ütöleme basıncının düzenli olarak dalgalandığı bulunmuştur. Dinamik enjeksiyon süresince polimer akış viskozitesi düşmekte ve kalıp doldurma kapasitesi artmaktadır (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).

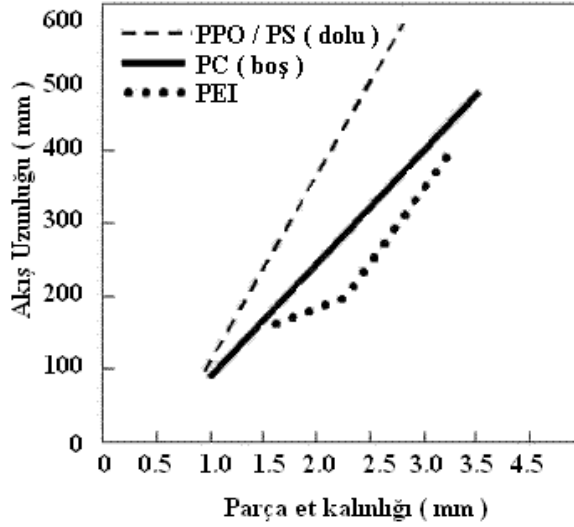


Şekil 2.2. Titreşim frekansı değişimi ile maksimum akış uzunluğu [4]
(Titreşim aralığı 0,18 mm, enjeksiyon basıncı 10 kg/cm²)



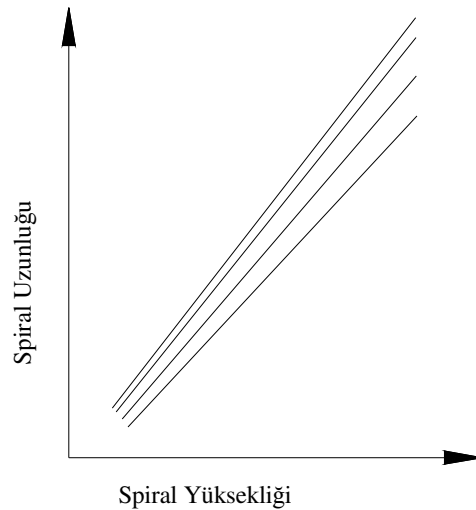
Şekil 2.3. Titreşim aralığı değişimi ile maksimum akış uzunluğu [4]
(Titreşim frekansı 5 Hz, enjeksiyon basıncı 10 kg/cm²)

M. Hawley, K. Jayaraman [5] araştırmalarında PPO / PS, PC ve PEI (kauçuk katılmış polietilen) malzemelerini ele alarak akış uzunluklarını mukayese etmişlerdir. Parça et kalınlığı arttıkça akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir (şekil 2.4).



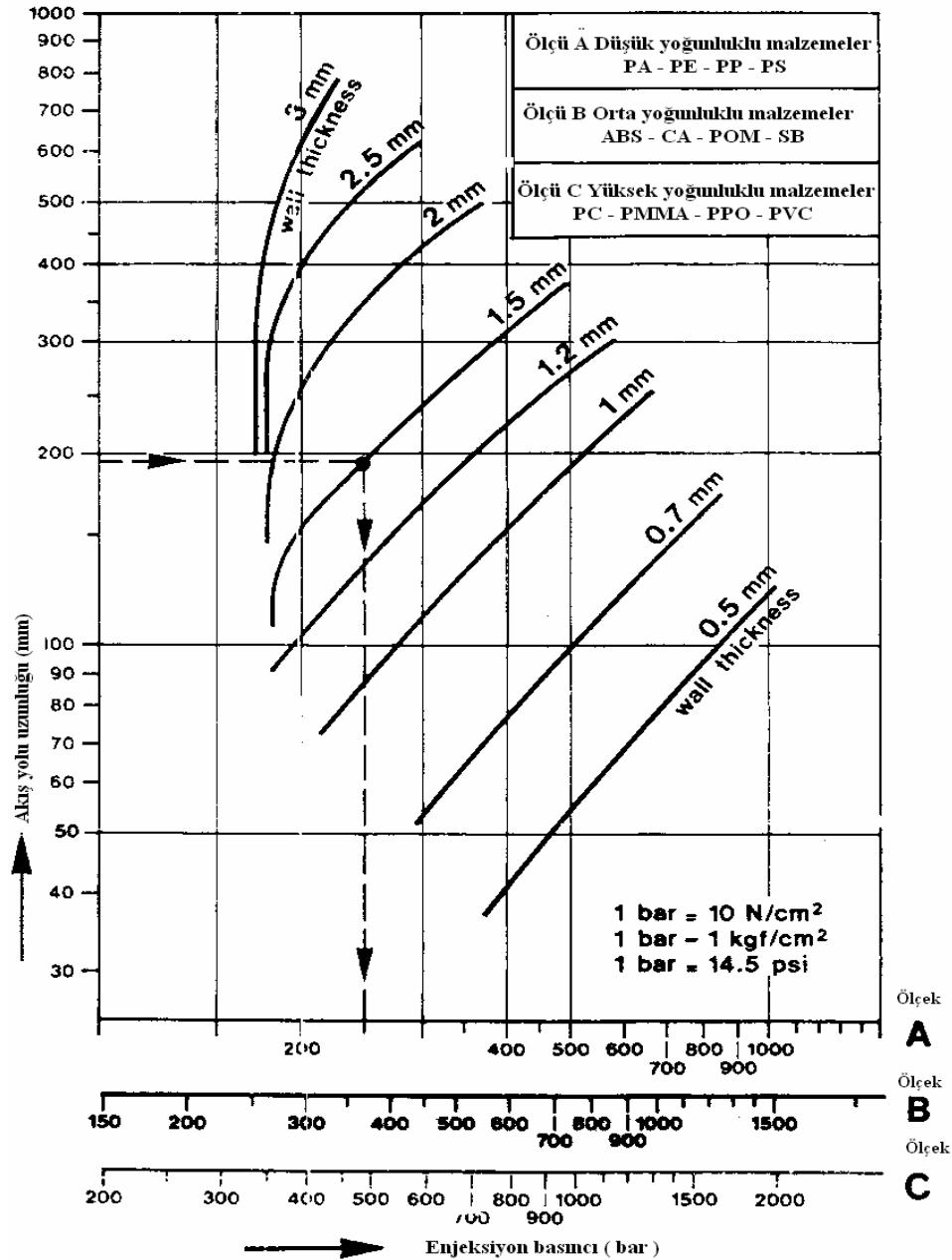
şekil 2.4. Parça et kalınlığına göre spiral akış uzunlukları [5]

Goof J., Whelen T.'nın “ İnjecıon Moulding Of Engineering Termoplastic” [6] kitaplarındaki çalışmada kalıptaki spiral yükseklik arttıkça akış uzunluğunun da lineer olarak arttığının gözleendiğini, malzemeden malzemeye farklılık gösterebilmek için de ilave doğrular çizilerek izah edildiği belirtmişlerdir (şekil 2.5).



şekil 2.5. Ergimiş polimerin spiral uzunluğunun spiral yüksekliğiyle fonksiyonu [6]

Herbert Rees, “Mold Engineering” adlı kitabında [7], çeşitli plastiklerin enjeksiyon basıncına ve spiral et kalınlığına göre akış uzunluklarını araştırmıştır. Çalışmalarında düşük, orta ve yüksek yoğunluklu plastik malzeme kullanarak enjeksiyon basıncı ve parça et kalınlığı arttıkça malzemelerin tümünde akış uzunluğunun arttığını belirtmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Enjeksiyon basıncına göre çeşitli malzemelerin parça kalınlıklarının akış uzunlukları [7]

2.2. Katalog Araştırması

Termoplastiklerin enjeksiyon kalıptaki akış oranları ile ilgili çeşitli firmaların yapmış olduğu deneysel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

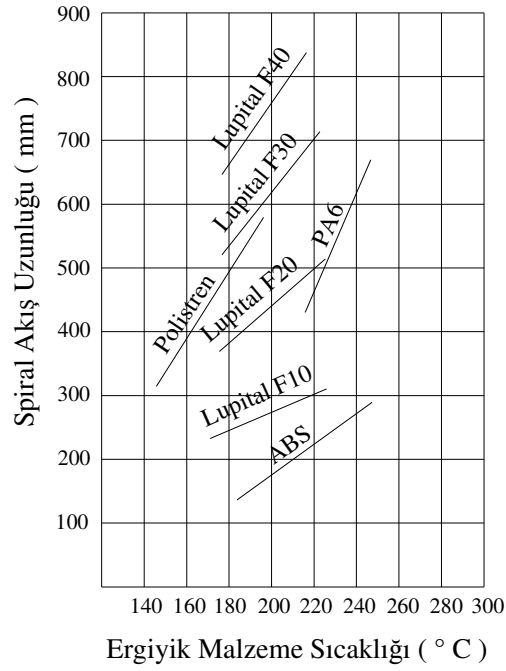
Dainippon inj. and Chemicals firması [8], yaptığı bir çalışmada çeşitli katkı maddeleri ilave ederek malzemelerin akış uzunluğuna olan etkisini incelemişlerdir. Bu araştırmada kullanılan ortam şartları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Ancak yağlayıcı katkı maddeleri kullanıldığı koşullarda akış uzunluğunun arttığını ve malzemedan malzemeye değişiklik gösterdiğini belirtmektedirler (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Katkı maddelerinin akış uzunluğuna etkisi [8]

Malzeme	Katılan Malzeme	Saf Malzeme Uzaması (mm)	Katkı ilavesiyle uzama (mm)	Uzamadaki Değişiklik (%)
Polipropilen	Amoca 40398	457	472	3,3
ABS	Mo 648	411	424	3,2
Polietilen	DC 10262B	387	402	3,9
Akrilik	RH811	269	279	3,2

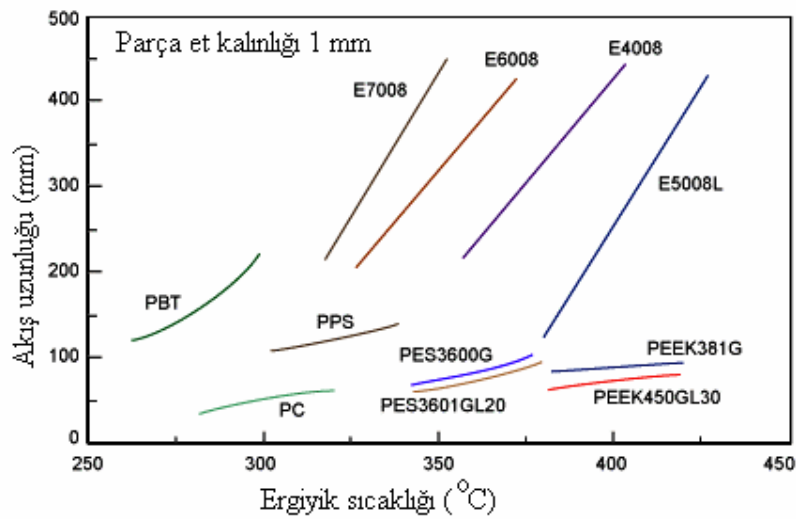
Lupital firması [9], kendi ismini verdiği Lupital F40, Lupital F30 poliasetal (POM) türevli malzemeleri; Polietilen, PA6 ve ABS gibi plastikleri kullanarak yaptığı deneylerde akış uzunluklarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında kalıp sıcaklığını 30 °C, enjeksiyon basıncını 1180 bar, enjeksiyon debisini 4 cm³/s ve akış yolu kalınlığını 2 mm olarak almışlardır. Enjeksiyon sıcaklığı arttıkça akış uzunluğunun arttığını iddia etmektedirler (Şekil 2.7).

Şekil 2.7’de plastiklerin sıcaklığı artırıldığında plastik akış uzunluğunun da arttığı görülmektedir. 220 °C Enjeksiyon sıcaklığında ABS 220 mm, PA6 450 mm olduğu anlaşılmaktadır. Yine aynı grafikte Lupital F10 malzemesinin akışının 180 °C de akış uzunluğu 220 mm olduğu görülmüştür.



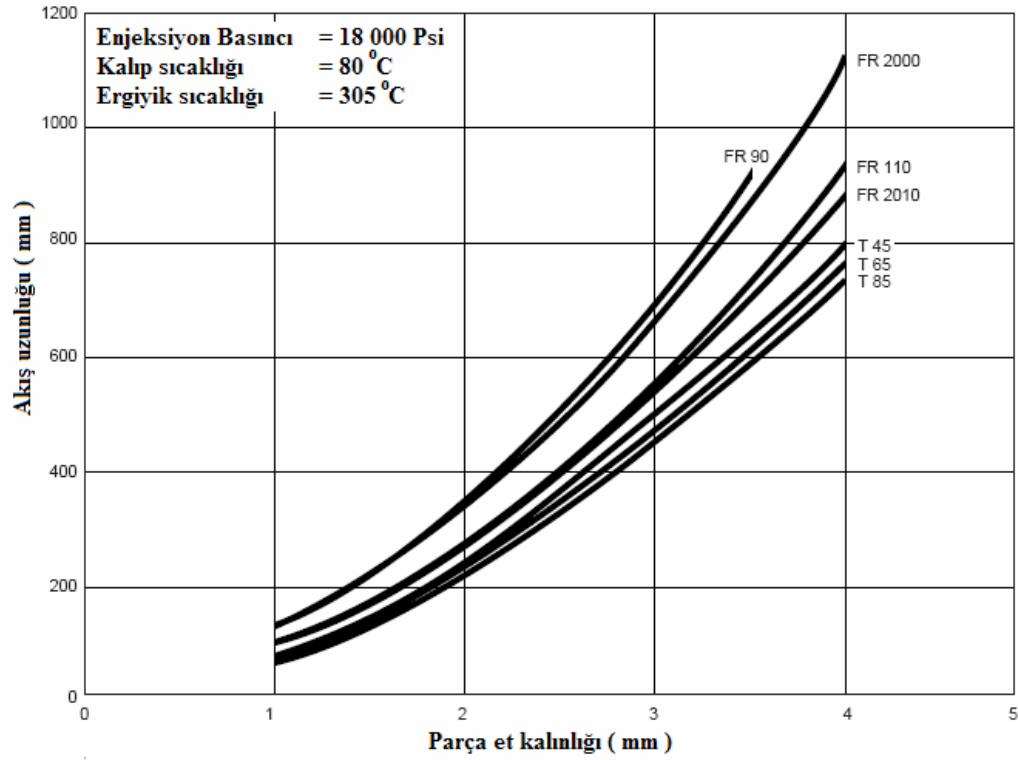
Şekil 2.7. Enjeksiyon sıcaklığına göre çeşitli plastiklerin akış uzunluğu [9]

Sumitomo Chemical Co. Ltd. firması [10], çeşitli plastikler üzerinde çalışma yaparak akış uzunlukları elde etmişlerdir. Malzemeye bakılmaksızın ergime sıcaklığı arttıkça akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Çeşitli plastiklerin kalıp sıcaklığına göre akış uzunlukları [10]

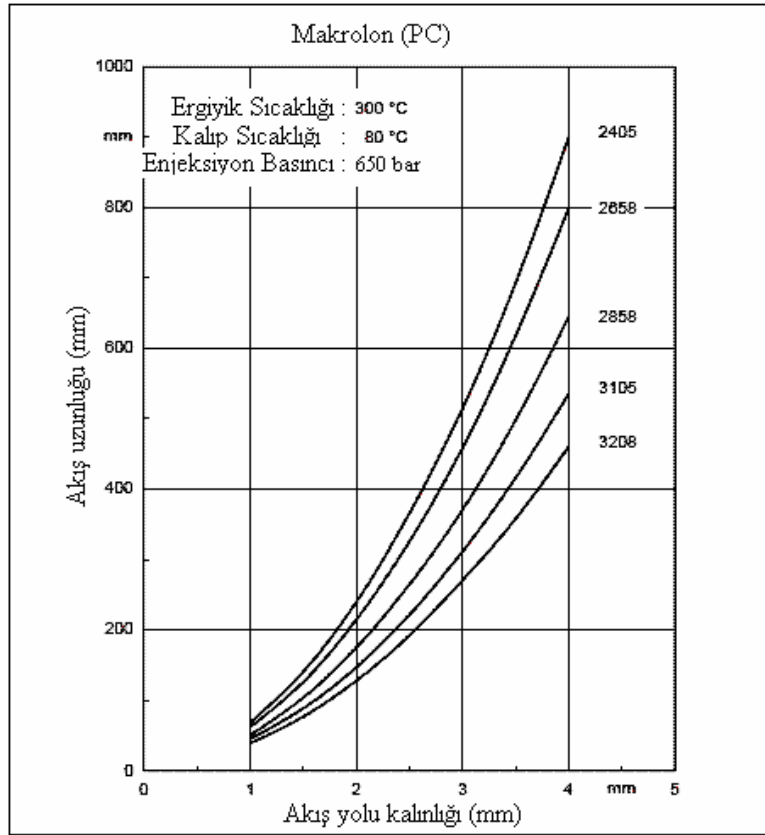
Bayblend firması [11], ABS malzemelerin farklı et kalınlığındaki akış uzunluklarını elde etmişlerdir. Çalışmalarında parça et kalınlığı arttıkça akış uzunluğu da arttığı belirtilmektedirler (Şekil 2.9).



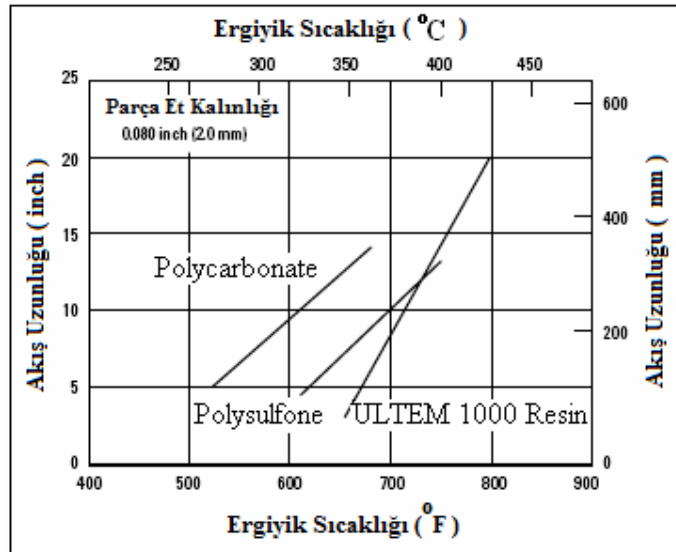
Şekil 2.9. Çeşitli termoplastiklerin parça kalınlığına göre akış uzunlukları [11]

Bayer firması [12], ürettiği makrolon adını verdikleri PC malzemelerinin üzerinde çalışma yaparak akış uzunlukları elde etmişlerdir. PC malzemelerinin akış uzunlukları birbirinden farklı ve parça et kalınlığına göre doğrusal olarak arttığını, en iyi akış uzunluğunun 2405 kodlu PC malzemede, en kötü akış uzunluğunun ise 3280 kodlu PC malzemede olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.10).

GE plastik firması [13], çeşitli mühendislik plastikleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Ergiyik sıcaklığı arttıkça akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir. En iyi akışın ULTEM 1000 Resin olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 2.11).

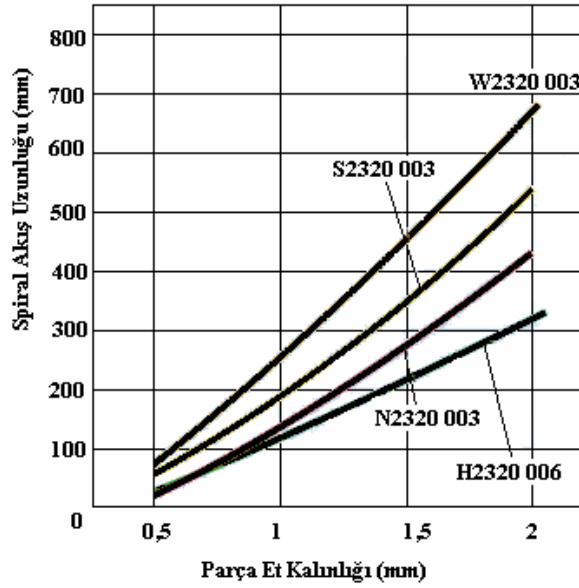


Şekil 2.10. Parça et kalınlığına göre akış uzunluğu [12]

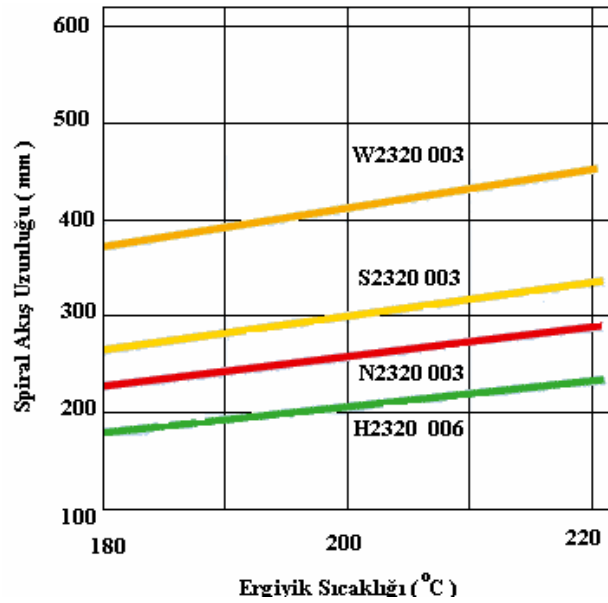


Şekil 2.11. Çeşitli mühendislik plastiklerinin akış uzunluklarının karşılaştırılması [13]

BASF plastik firması [14], POM adını verdikleri plastiğin spiral kalıplama yöntemiyle akış uzunlukları verileri elde etmişlerdir. Çalışmalarında enjeksiyon basıncı 1200 bar, ergiyik sıcaklığı 210 °C ve kalıp sıcaklığı 80 °C olarak sabit tutarak parça et kalınlığı değiştirerek akış boyları elde etmişlerdir (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13).

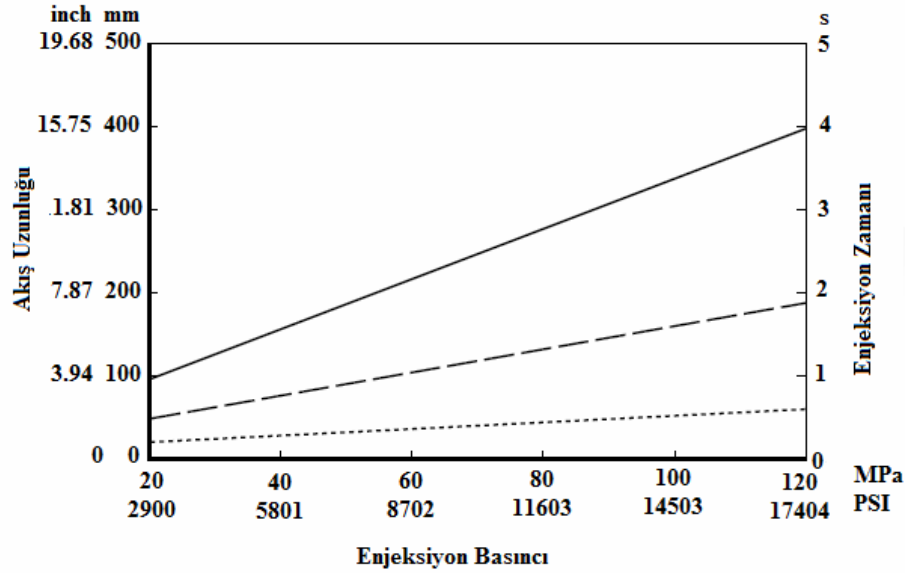


Şekil 2.12. Parça et kalınlığına göre spiral akış uzunluğu [14]



Şekil 2.13. Ergiyik sıcaklığına göre spiral akış uzunlukları [14]

Lexan Firması [15], PC malzemesine katkıları ilave ederek elde ettikleri LEXAN Resin 141 R malzemesinin akış uzunluğu üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmada ergiyik sıcaklığı ve spiral kanal derinliği artırıldıkça akış uzunluğunun da lineer olarak arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.14).

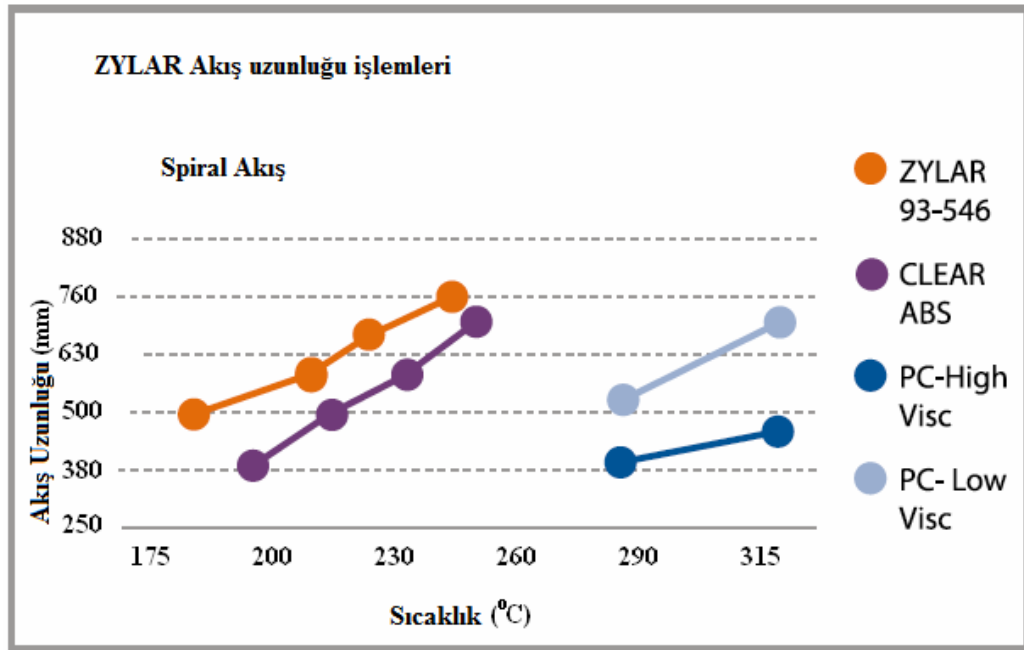


Şekil 2.14. Lexan resin 141 akış uzunluğunun gösterilmesi [15]

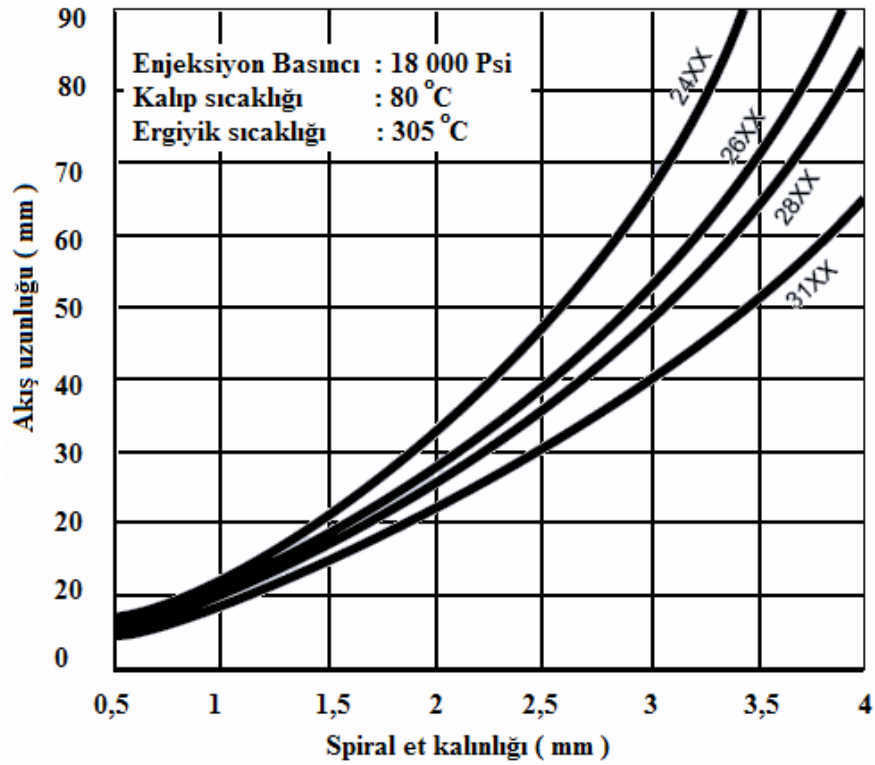
Nova Chemicals Inc. Firması [16], ürettiği ZYLAR malzemesinin özelliklerini PC ve ABS malzemeleri ile mukayese etmek için akış uzunluklarını araştırmışlardır. Çalışmalarında PC ve ABS malzemelerini spiral akış uzunlukları da elde edilmiştir.

Düşük yoğunluklu PC malzeme için 290 °C'de 510 mm, yüksek yoğunluklu PC için 390 mm'dir. ABS için ise 230 °C'de 550 mm'dir. Bütün malzemelerde enjeksiyon sıcaklığı arttıkça spiral akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.15).

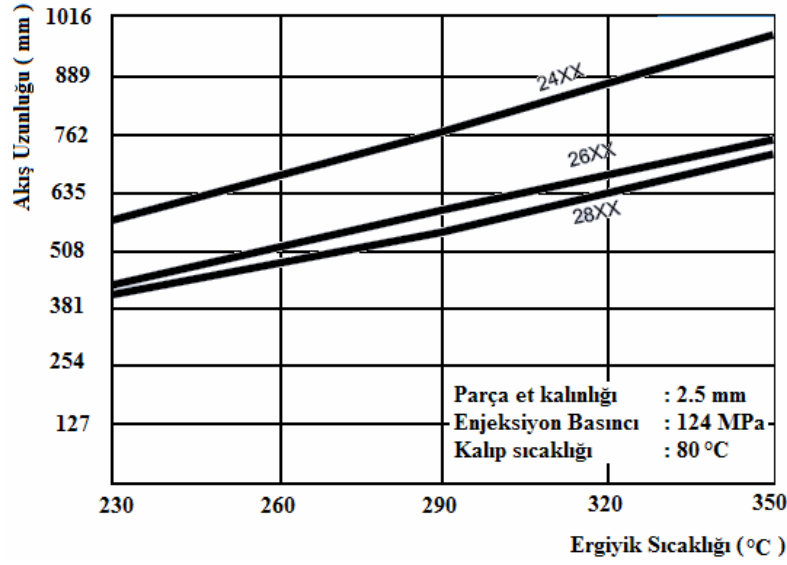
Bayer firması [17], makroları adı verilen çeşitli PC malzemelerinin akış uzunluğunu araştırmışlardır. Çalışmalarında parça et kalınlığı ve ergiyik sıcaklığını arttırdıkça akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17).



Şekil 2.15. Sıcaklığa göre spiral akış uzunluğu [16]

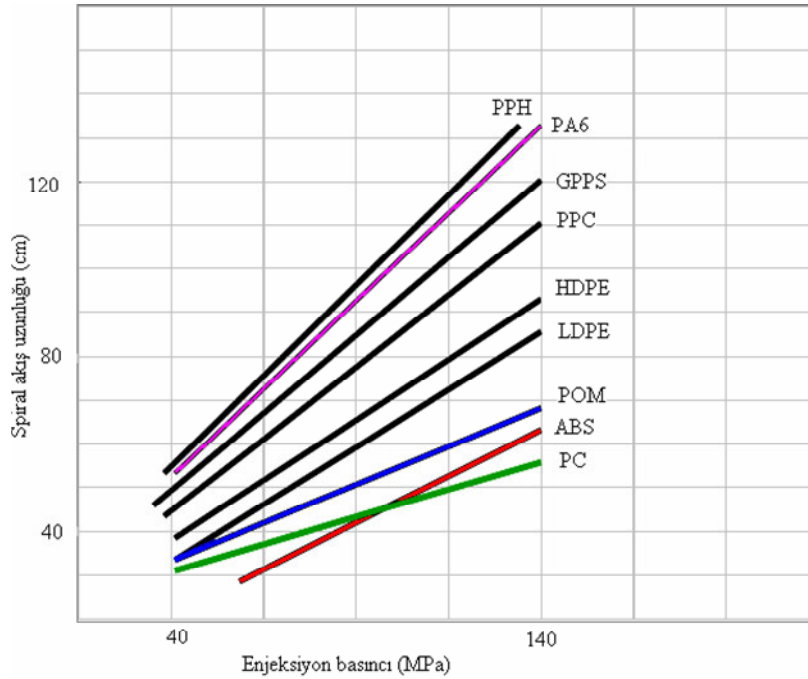


Şekil 2.16. Spiral et kalınlığına göre akış uzunluğu [17]



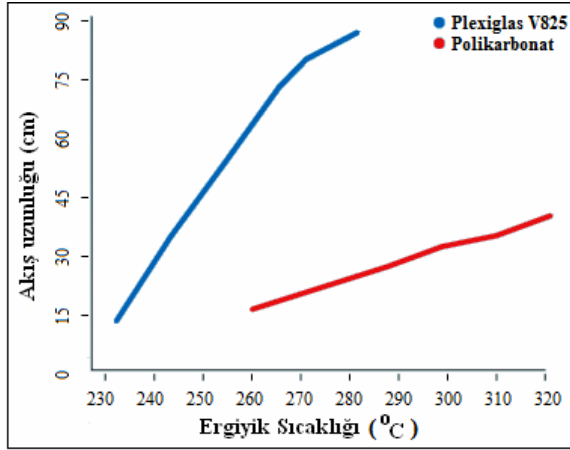
Şekil 2.17. Ergiyik sıcaklığına göre akış uzunluğu [17]

Yine CHI MEI firması [18], Wonderlite PC malzemesi üzerine yaptığı çalışmada akış uzunlukları elde etmişlerdir. Enjeksiyon basıncı arttıkça akış uzunluğunun arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.18).



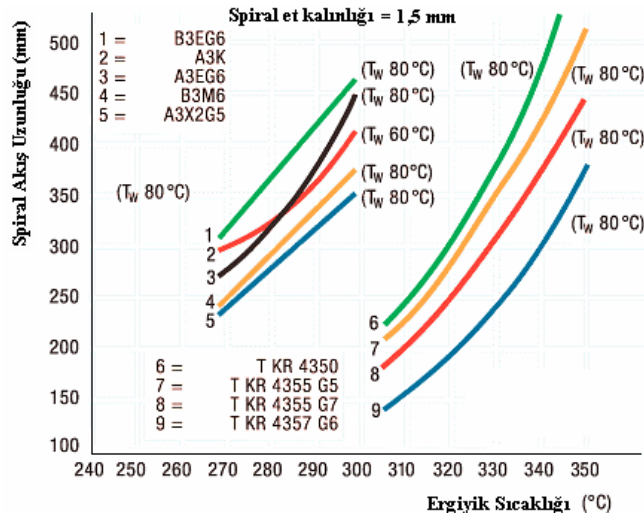
Şekil 2.18. Enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi [18]

Altuglas International firması [19], otomotiv sektörü için ürettiği Plexiglas V825 adlı malzemeyi PC ile mukayesesi için yaptığı spiral akış uzunluğu çalışmalarında enjeksiyon sıcaklığının, malzeme cinsinin farklılık gösterdiğini, sıcaklık artışının akış uzunluğunu arttırdığını belirtmişlerdir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış uzunluğu [19]

BASF plastik firması [20], Ultramid adını verdikleri PA6 ve PA6.6 malzemeleri üzerinde çalışma yaparak spiral kalıplama yöntemiyle akış uzunlukları elde etmişlerdir. Enjeksiyon sıcaklık artışının akış uzunluğunu arttırdığını belirtmişlerdir (Şekil 2.20 ve Çizelge 2.2).

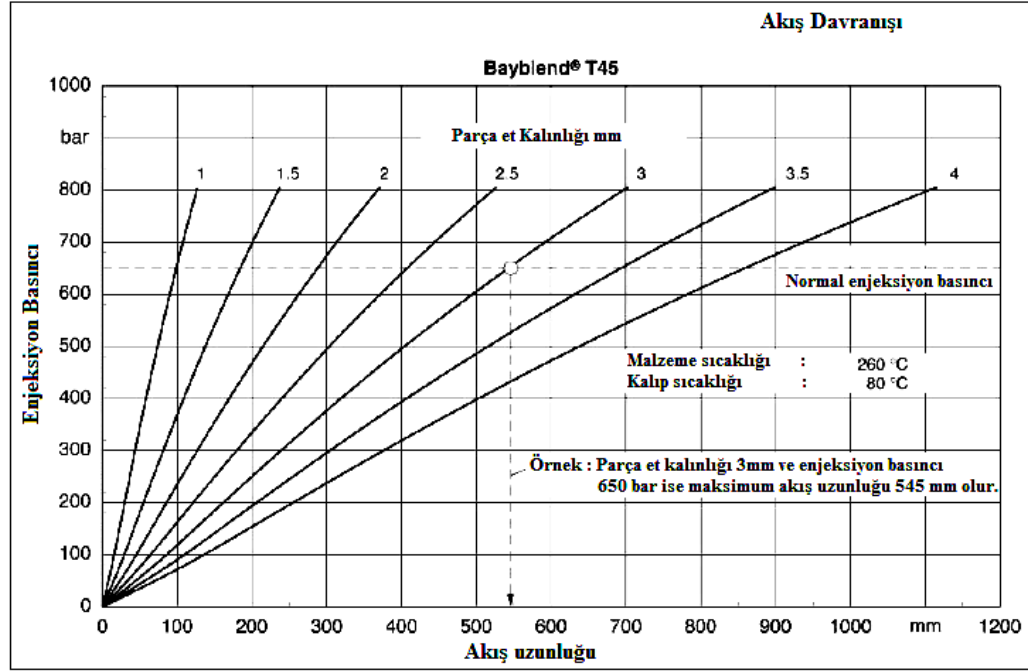


Şekil 2.20. Ergiyik sıcaklığına göre spiral akış uzunlukları.[20]

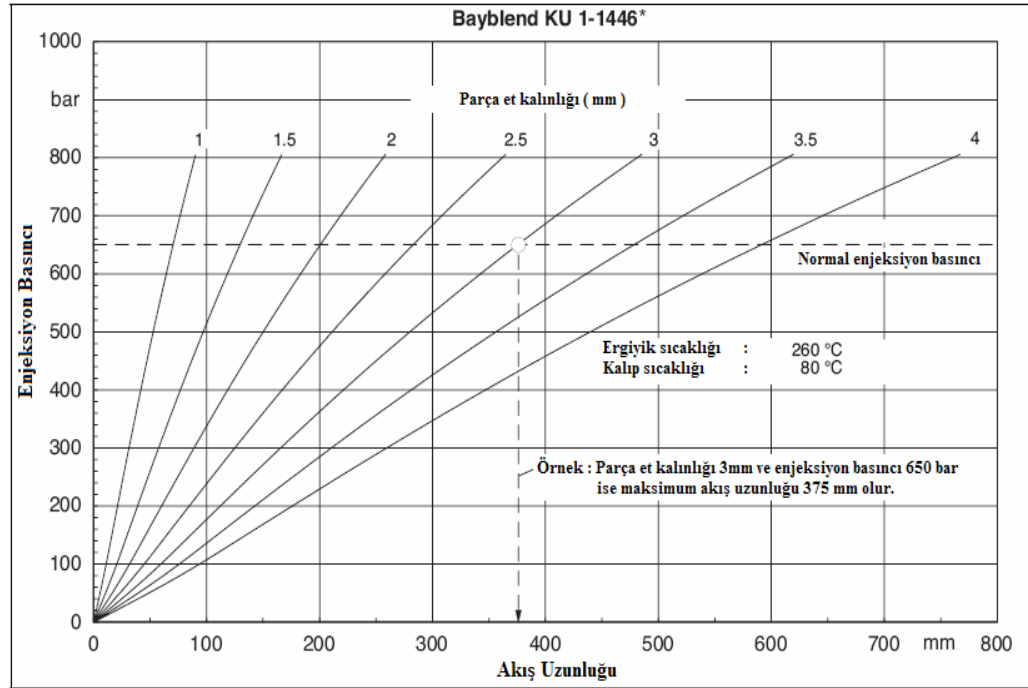
Çizelge 2.2. PA6 ve PA6.6 mamüllerinin farklı sıcaklık ve farklı kalınlıklardaki spiral akış uzunlukları [20]

PA6 ve PA6.6 Mamülleri	Ergiyik Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Spiral Kalınlığı	Spiral Kalınlığı	Spiral Kalınlığı
	T _m	T _w	1 mm	1,5 mm	2 mm
B3S	270	60	230	430	630
A3K	300	60	250	415	615
C3U	270	60	285	505	775
B3EG3	290	80	260	515	650
B3EG6	290	80	190	405	530
B3WGM24	280	80	210	320	490
B3ZG6	290	80	180	325	450
B3M6	290	80	170	335	440
A3EG5	300	80	280	465	620
A3EG6	300	80	270	450	580
A3WGM53	300	80	280	440	520
A3X2G5	300	80	180	290	460
A3EG10	310	80	300	500	590
T KR 4350	340	80	-	450	545
T KR 4355 G5	350	80	-	505	600
T KR 4357 G6	350	80	-	370	440
T KR 4355 G7	350	80	-	455	570

Bayar firması [21], ürettikleri plastikler üzerinde akış uzunlukları belirleme çalışmalarında akışın, akış yoluna, malzemeye, enjeksiyon basıncına göre değiştiği, basıncın ve akış yolu kalınlığının artması ile akış uzunluğunun da arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.21 ve Şekil 2.22).



Şekil 2.21. Enjeksiyon basıncına göre spiral akış uzunluğu [21]



Şekil 2.22. Enjeksiyon basıncına göre spiral akış uzunluğu [21]

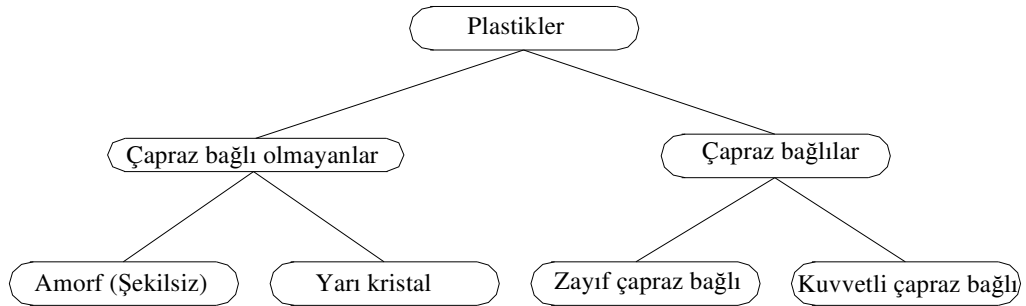
3. PLASTİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Plastik malzeme grubundan herhangi birinin tamamı veya bir kısmı, karbon ile oksijen, hidrojen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerin bileşimidir. Bitmiş halde katı olmasına rağmen, bazı hallerde sıvı olarak da elde edilebilir. Genellikle plastiklere değişik biçimlerin verilmesinde sıcaklık ve basınç kullanılır. Uygulamada bazen yalnız sıcaklık veya basınç bazen de her ikisi etkili olur [22].

Polimerlerden oluşan plastikler, polimerlerin farklı kimyasal yapılarından dolayı farklı fiziksel özellikler gösterirler ve bu özelliklerinden dolayı da sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Isı ve basınç altında şekillendirilme ve şekillendirildikten sonra plastiğin gösterdiği özellik plastik maddeyi tanımda kolaylıklar sağlamaktadır.

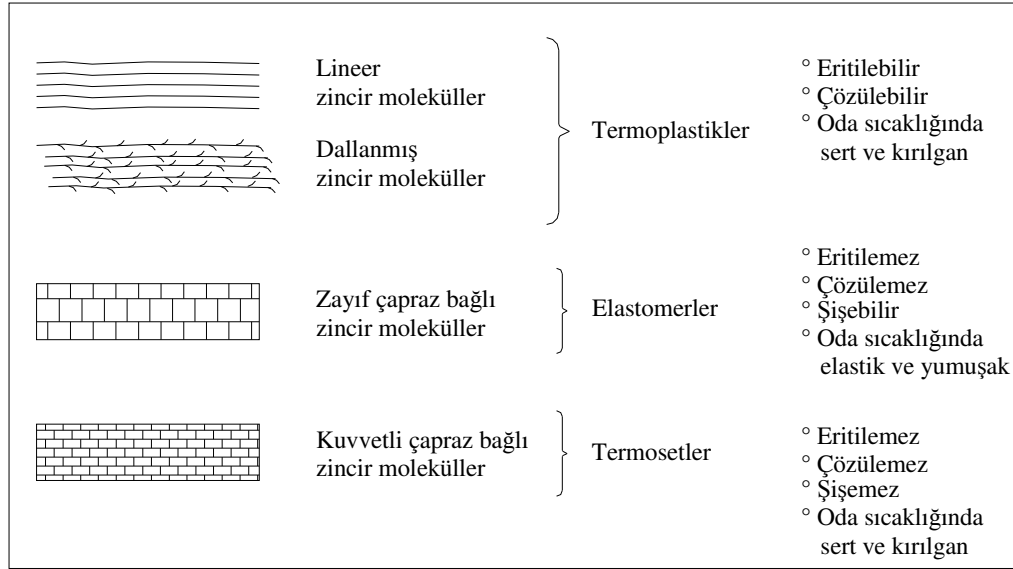
3.1. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Genelde; kimyasal yapılarına göre kabaca “çapraz bağlı” ve “çapraz bağlı olmayan” plastikler diye bir sınıflandırma yapılır (Şekil 3.1) [23].



Şekil 3.1. Plastiklerin sınıflandırılması [23]

Termoplastikler çapraz bağlı olmayan, termosetler ve elastomerler ise çapraz bağlı plastiklerdir. Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden oluşurlar (Şekil3.2) [23].



Şekil 3.2. Plastik moleküllerinin dizilişi [23]

3.1.1. Termoplastikler

Genellikle yapıları düz zincirli veya hafif dallanmış olup, ısı uygulandığında ergime dışında hiçbir özellik değişmesi göstermeyen, soğutulduğunda, tekrar aynı özellikleri gösteren maddelerdir. İstenildiği kadar ısıtma soğutma yapılabilen geri dönüşümlü olan plastiklerdir [23].

Yarı kristal termoplastikler (PP, PE, POM, PA vb.) sütü, beyaz ve donuk bir görüntüye sahiptirler.

Amorf (Şekilsiz) termoplastikler (PC, PMMA, PS, PVC vb.) molekül yapısı şeffaflık bakımından cama benzeyen şekilsiz plastiklerdir.

3.1.2. Termosetler

Yüksek oranda çapraz bağ yapısına sahip olan ve ısıtıldıktan sonra tekrar şekillenemeyen sert, kırılgan bir plastiktir. Termosetler özel sentetik reçinelerden yapılmışlardır. Genellikle müşterek özellikleri vardır. Bu maddeler ısıtıldıklarında

yumuşar ve ergiyik hale gelir ve basınç altında akarak kalıpları doldururlar. Bu esnada malzeme bazı reaksiyonlar neticesinde sertleşir ve dolayısıyla tekrar ergimez olur. Onun için bu plastikler ancak bir kere işlenirler. Termoset döküntüler tekrar kullanılamaz. Termosetlerin piyasada birçok türleri vardır. Kendilerine has özelliklerinden ötürü termoset plastikler tek başlarına kullanılmazlar, diğer maddeler karıştırılarak kullanılırlar [23].

3.1.3. Elastomerler

Kauçuk özelliği gösteren maddelerdir. Yani bir kuvvet uygulandığında uzayıp genişleyebilirler. Kuvvet tatbiki ortadan kalkınca tekrar eski haline geri dönerler. Bu özellik moleküldeki hafifçe karşıt bağlanmanın mevcudiyetinden ileri gelmektedir. Moleküler kuvvet tatbikinde birbirlerinin üzerinde kayarlar (deformasyon), karşıt bağlanma tamamen akışı önler ve gerilme tatbiki ortadan kalkınca tekrar eski haline dönebilirler. Karşıt bağlanmanın olması demek elastomerlerin ergimesinin mümkün olmaması demektir [23].

3.2. Plastiklerin Özellikleri

Polimerlerin özellikleri incelenirken tamamen aynı şartta yapılan deneyin sonucunun karşılaştırılması sağlıklıdır. İncelenen tüm değerler aynı laboratuvarda yapılamayacağından, pratikte plastik özellikleri için farklı kaynaklardan alınan değerler incelenirken test metodlarına bakılmalıdır. Özellikle mekanik özellikler (çekme, darbe, basma dayanımı, burulma ve bükülme) değişik laboratuvar sonuçlarını karşılaştırırken numune hazırlama koşullarının bilinmesi gereklidir [1].

Plastiğin en önemli avantajlarından birisi hafif malzeme olmasıdır. Özellikle taşıma söz konusu olan uygulamalarda enerji tasarrufu sağlar. Plastiğin hafifliği spesifik ağırlık değerine bakılarak değerlendirilir. Spesifik ağırlık azaldıkça plastik hafifleşir. PP en hafif plastik ailesidir.

Polimeri oluşturan moleküllerin, ağırlığı, yapısı, moleküller arasındaki bağ ve fonksiyonel gruplar polimer kütlelerinin özelliklerini oluştururlar [24]. Bu özellikler sırasıyla şunlardır:

- a) Görünüş
- b) Sertlik
- c) Yoğunluk
- d) Mekanik özellikler
- e) Termal özellikler
- f) Elektriksel özellikler
- g) Kimyasal özellikler

3.2.1. Plastiklerin görünüşü

Polimerler genelde şeffaf olup çok azda mat görünüşlüdürler. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Polimer ürünlerinin albenisini arttırmak, ayırt edici özellikler vermek için boyanır. Görünüş; parlak renk, ışıltılı, berrak ve çok fazla parlatılmış yüzey olarak plastik maddelerin dış görünüşü tanımlayan özelliklerdendir. Bazı polimerlerde aşırı derecede berraklık istenir. Polimetilmetakrilat gibi çok berrak olan polimerler bu özellikleri yanında hafif oldukları için camın yerine kullanılırlar. Polimetilmetakrilat bu iki özelliğinden dolayı hem optik camın yerine hem de ağırlık ve berraklığın önemli olduğu uçak gibi vasıtalarda kullanılırlar [24]. İklim şartları, ilk olarak plastiğin görünüşünü etkiler. Rengin solması veya rengin bozulması plastiğin dış etkenlere karşı kullanımını sınırlamaktadır. Bu durum bazı antioksidan ve stabilizatörlerin katkısıyla giderilmektedir.

3.2.2. Plastiklerin yüzey sertliği

Plastik malzemelerin bir dezavantajı, yüzeylerinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı dirençlerinin az olmasıdır. Plastikler cam, seramik ve metallere göre daha az serttir. Sertlik genellikle termoplastiklerde artan sıcaklıkla azalır, termosetlerde ise biraz daha

artma olur. Plastiklerin, özellikle termoplastiklerin sertliği sıcaklığın ve katılan plastikleştiricilerin artmasıyla dūřer. Termosetler gerekli ve özel dolgu maddeleriyle sert bir şekil alırlar [25].

3.2.3. Plastiklerin yoğunluğu

Genelde bütün plastikler dūřuk yođunluklu bileřiklerdir. Kullanıma bađlı olarak yüksek yođunlukta olmaları istenebilir. Uygun katkı maddeleri ile bu sađlanabilir. Fakat genelde dūřuk yođunluklu olmaları tercih edilir. Böylece malzeme hem hafif olur hem de malzeme tasarrufu sađlanmış olur. Eđer plastik malzemenin yođunluđu dūřrlmek istenirse köpürtücü katkı maddesi kullanılabilir. Plastik maddeler için yođunluk $0,9 - 2,5 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Bu yüzden ađırlıđın birinci planda olduđu yerlerde plastikler dūřnlmelidir. Plastiklerin pratikteki tatbikatları genelde hacime göredir [25].

3.2.4. Plastiklerin mekanik zellikleri

Plastiklerin dayanıklılığı mekanik özelliklerine bakılarak değerlendirilir. Plastikler kırılganlık, yumuşaklık ve sertlik gibi mekanik özellik gösteren maddelerdir. Metal, seramik gibi malzemelere göre dış etkenlere karşı daha duyarlıdırlar. Plastiklerin mekanik özellikleri arasında yer alan özellikler şunlardır [26].

a) Kopma yükü: Malzeme kopma dayanımının oranını gösterir. Küçük bir değer farkı bile önemli malzeme farklılıklarını ortaya çıkarır. Özel cihazlarla ölçümü söz konusudur. Bu ölçümden çıkan sonuçlarla germe - gerilme grafiği çıkarılabilir.

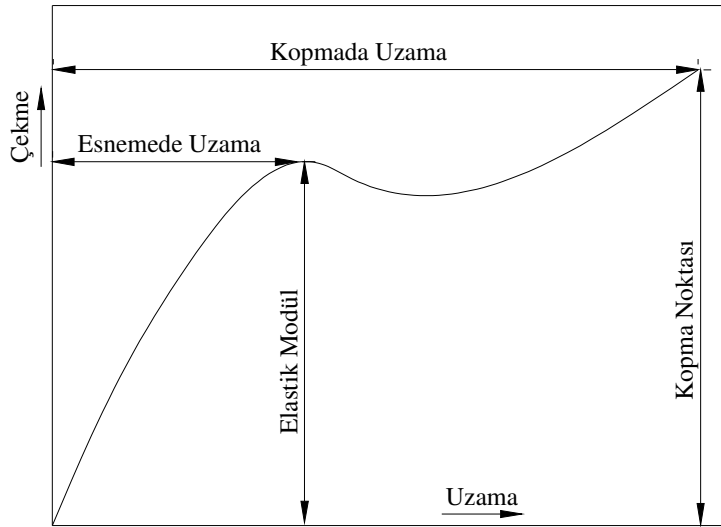
b) Baskıya karşı dayanıklılık: Çeşitli yapıdaki polimerlere birim zamanda kuvvetin arttırılarak uygulanmasıdır. Meydana gelen deformasyon incelenir.

c) Bklmeye karşı dayanıklılık: Çeşitli yapıdaki polimerlerin standartlara uygun olarak bükülme testi uygulaması ile tespit edilir.

d) Darbe ve çizilmeye karşı dayanıklılık: Çizilmeye karşı dayanıklılığın tespiti için sertlik ölçmedeki bazı metotlar kullanılabilir. Darbeye karşı olan dayanıklılığını ise standart cihazlarda standart ağırlık darbesi uygulanarak tespit edilir. Numunede meydana gelen deformasyon göre incelenir.

e) Yorulmaya karşı dayanıklılık: Elastomer yapıdaki polimerler için önemli bir özelliktir. Özellikle kauçuktan yapılmış otomobil lastikleri, ayakkabı tabanları bu testlere (belirli etkiler altında belirli sürelerde hareket testi) tabi tutularak oluşabilecek patlama, yırtılma v.b. değişimler cihazlarla izlenir.

Şekil 3.3’de çekme - uzama eğrisi başlangıçta düzdür ve polistiren gibi çekilebilir olmayan plastikler bu arada yer alırlar. Bu plastikler esneme noktasına gelmeden kırılırlar. Eğrinin ilk dirseğindeki uzama esneme noktası olarak tanımlanır. Bu nokta malzemenin direncini ve kalıcı deformasyon için gösterilen direnci gösterir. Eğrinin sonu, en son çekmeyi göstermektedir. Bu nokta ile esneme noktası arasındaki uzama kopmadan önce plastiğin gösterdiği deformasyonun ölçüsüdür. Eğrinin altında kalan tüm alan dayanıklılığın bir ölçüsüdür. Eğrinin lineer olan kısmındaki çekmenin uzamaya olan oranı elastikiyet modülü ve Young Esneklik Modülü olarak bilinir [26].



Şekil 3.3. Termoplastikler için çekme uzama eğrisi [26]

Genel olarak plastiklerin mekanik özelliklerini Şekil 3.4’de görüldüğü üzere sıralamak mümkündür.

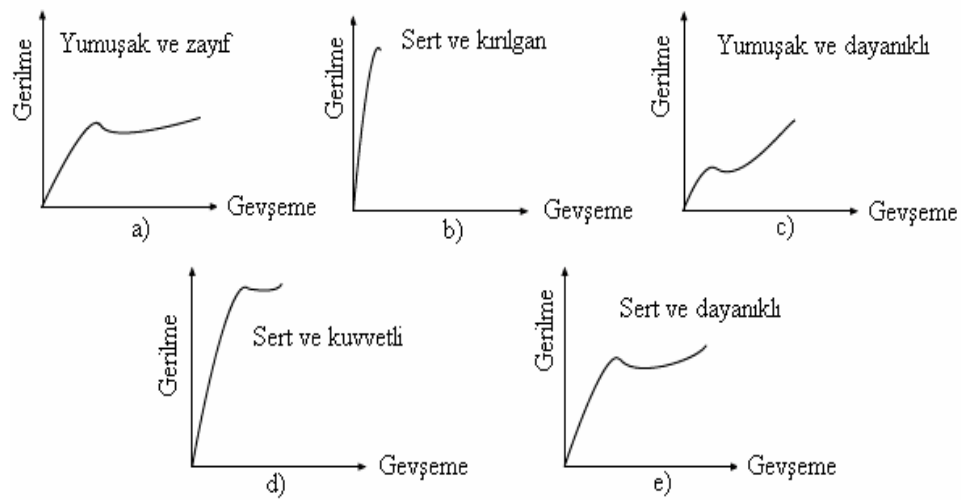
Yumuşak ve zayıf malzemeler düşük modüllü, düşük esneme noktası ve orta derecede kopmada uzaması olan malzemelerdir (Şekil 3.4.a).

Sert ve kırılgan plastiklerin yüksek modülü, tam belli olmayan esneme noktası ve kopmada uzaması vardır (Şekil 3.4.b).

Yumuşak ve dayanıklı plastikler düşük modüllü, düşük esneme noktası ve yüksek kopmada uzaması olan maddelerdir. Ayrıca kırılma noktası esneme noktasından çok yüksektir (Şekil 3.4.c).

Sert ve kuvvetli malzemelerin yüksek modülü, yüksek esneme noktası, orta kopmada uzama ve yüksek kırılma gerilimi vardır (Şekil 3.4.d).

Sert ve dayanıklı olan malzemeler yüksek modül, yüksek esneme noktası, yüksek kopmada uzama ve yüksek kırılma gerilimine sahiptirler (Şekil 3.4.e) [26].



Şekil 3.4. Çekme uzama eğrisi [26]

3.2.5. Termal özellikler

Plastiklerin genleşme katsayısı, ısı iletkenliği, özgül ısı, ısıyla bozulma sıcaklığı, ısı direnci ve yanıcılığı en önemli termal özellikleridir. Plastiklerin düşük ısı iletkenlikleri plastiklere bazı üstünlükler sağlar. Bu yüzden plastikler ısı yalıtıcı maddeler arasında yer alırlar. Isı iletkenliği düşük olan plastiklerin bir özelliği de, kütle halinde istenen sıcaklığa düzgün bir şekilde çıkaramama güçlüğüdür. Plastiklerin ısıya karşı olan direnci çok düşüktür. Bazı plastikler oda sıcaklığında bile deforme olurlar ve bu tür plastikler kendi ağırlıklarından başka bir gerilimin altında tutulmamalıdır [25].

3.2.6. Elektriksel özellikler

Plastiklerin tamamı iyi bir izolasyon özelliğine sahiptirler. Bazıları normal bazıları da yüksek voltajlarda iyi bir izolatör görevi görürler. Elektriksel özellik bakımından en önemli faktör elektriksel iletkenliktir. Polimerlerin elektrik iletmesi için yapıda serbest elektronlar veya serbest iyonların bulunması ve bunların yapı içinde hareket etmesi gereklidir [25]. Genelde plastiklerin elektrik iletkenlikleri zayıftır. Bu özelliklerinden dolayı önemli bir kullanım alanına sahiptirler. Bilhassa esneklik gösteren plastikler ve elastomerler elektrik izolasyonunda (iletken tellerin kaplanması), sert plastikler ise bobin ve sigorta gibi yerlerde tercih edilirler.

3.2.7. Kimyasal özellikler

Polimerlerin kullanımı açısından önemlidir. Polimerden polimere değişmektedir. Birkaç polimer (teflon gibi) birçok aşındırıcı kimyasallara ve güçlü çözücülere karşı dayanıklıdır. Plastikler metal malzemelere göre kimyasal etkilere daha fazla dayanıklıdır. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Örneğin PE ve PP asit depolama kabı imalinde kullanılmaktadır. Böyle polimerler şüphesiz çeşitli kimyasal etkenlerin bulunduğu ortamda son derece geniş kullanım alanına sahiptirler. Diğer taraftan bazı tip polimerler ise su veya çok kuvvetli olmayan çözücülerden bile etkilenirler [25].

Çizelge 3.1’de PC, PA6 ve PA6.6 plastiklerinin işleme, mekaniksel, termal ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.1. Plastiklerin özellikleri [25]

Özellikler	PC	POLİAMİDLER		
	Dolgusuz	PA6	PA 6.6	PA6-PA 6.6 Kopolimeri
1. İşleme				
Kalıplama sıcaklığı - °C	250 – 340	225 – 288	270 – 325	177 – 205
Kalıplama basıncı T - Kg/cm ²	700 – 1400	-	-	-
Kompresyon oranı	1,75 – 5,5	-	-	-
Komp. Kalıplama basıncı Kg/cm ²	70 – 140	-	-	-
Özgül ağırlık	1,2	1,12 – 1,14	1,13–1,15	1,08 – 1,14
2. Mekaniksel				
Çekme direnci — Kg/cm ²	550 – 700	840 – 700	840–770	540 – 900
Kopmada uzama — %	100 – 130	100 – 300	60 – 300	40 – 300
Çarpma direnci - İzod mKg/cm	-	0,05 – 0,15	0,05 – 0,1	Kırılmaz
3. Termal				
Özgül ısı — Cal/°C/gr.	0,28 – 0,30	0,4	0,4	0,4
Mak. Kullanma sıcaklığı — °C	120	85 – 120	85 – 120	120
4. Kimyasal				
Su absorpsiyonu — % 24 saatte	0,15 – 0,18	1,3–1,9	1,9	-
Asitlere dayanıklılık — kuvvetli	İyi	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Alkalilere dayanıklılık	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi	İyi
Alkoller	Metanolda	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez
Ketonlar	Çözünür	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez
Aromatikler	Çözünür	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez
Klorlu hidrokarbonlar	Çözünür	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez

3.3. Polimerlerin Uygulama Alanları

Şimdiye kadar çeşitli genel özellikleri verilen polimer maddelerin, günümüzde uygulama alanları hayli gelişmiştir. Çok çeşitli şekillerde yaygın olarak kullanılan polimerlerin uygulama alanlarını genel olarak 5 sınıfta toplayabiliriz [24].

3.3.1. Yüzey örtü maddesi, yüzey koruyucu kaplama ve film şeklinde

Boyalar, vernikler, metallerin kaplanması v.b. uygulama alanlarına birkaç örnektir. Ayrıca yüzeyin bazı özelliklerini değiştirmek içinde kullanılırlar. İnce film halinde ise; deri ve kâğıt sanayisinde su geçirgenliğini azaltmak amacıyla kullanılır [24].

3.3.2. Kalıplama ve döküm tipi malzeme üretiminde

Bilhassa polimerlerin, plastik grubundaki bileşikleri kalıplama ve döküm tipi malzeme hazırlanmasında kullanılır. Örneğin; şalter, düğme, televizyon, kabinleri, bakalit malzeme, elektrik izolasyon ürünleri olarak kullanılan malzemelerin hazırlanışı bu uygulama sınıfına girer [24].

3.3.3. Standart şekillerdeki malzeme yapımında

Burada da kalıplama, döküm, dayanıklı levha yapımı, çekme (ekstrüzyon) proseslerinin birkaçının bir arada tatbik edilmesi bazı özel şekillerde uygulanmaktadır. Bunlara örnek verecek olursak levha, tüp, boru, bazı özel profillerin yapımında kullanılır [24].

3.3.4. Yapıştırıcı sanayinde

Bilindiği gibi çeşitli yapıştırıcılar mevcuttur. Ahşap, metal, çelik, cam, kâğıt v.s. gibi malzemeyi yapıştırabilen ve bunların birbirlerine yapışmasını sağlayabilen çeşitli yapıştırıcılar yapılmaktadır [24].

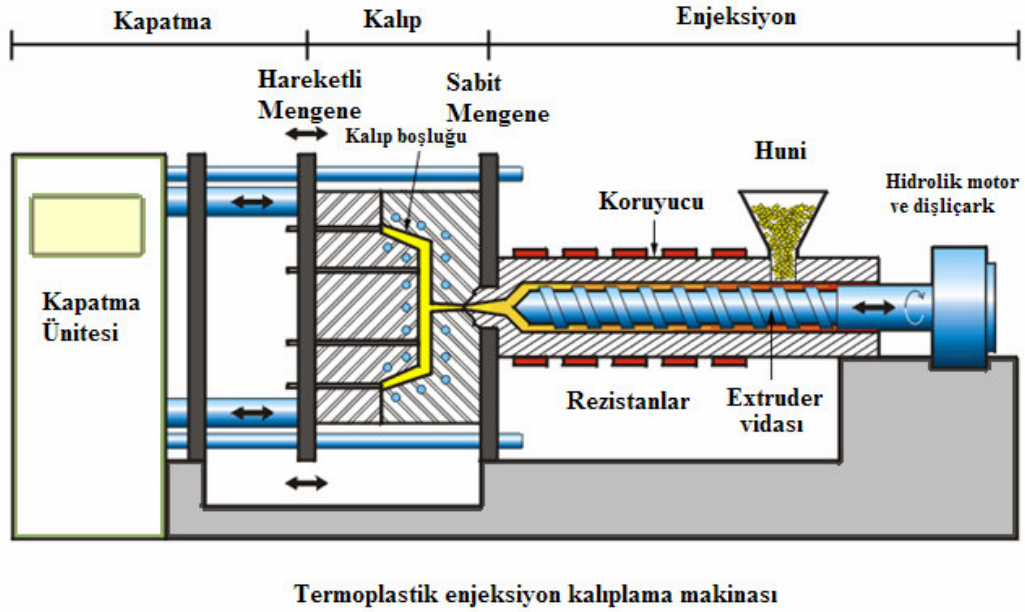
3.3.5. Elyaf (fiber) ve lif (filament) üretiminde

Bazı polimerlerde bilindiği gibi çok ince hale getirilebilen, bazıları çekilebilen türde, dayanıklı malzeme haline gelebilir. Bilhassa tekstil sanayinde önemli yer tutmaktadır. Ayrıca çekme işleminin türüne göre de küçük boyutlarda (10–15 mikron) malzeme (lif) oluşturulabilir [24].

4. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI

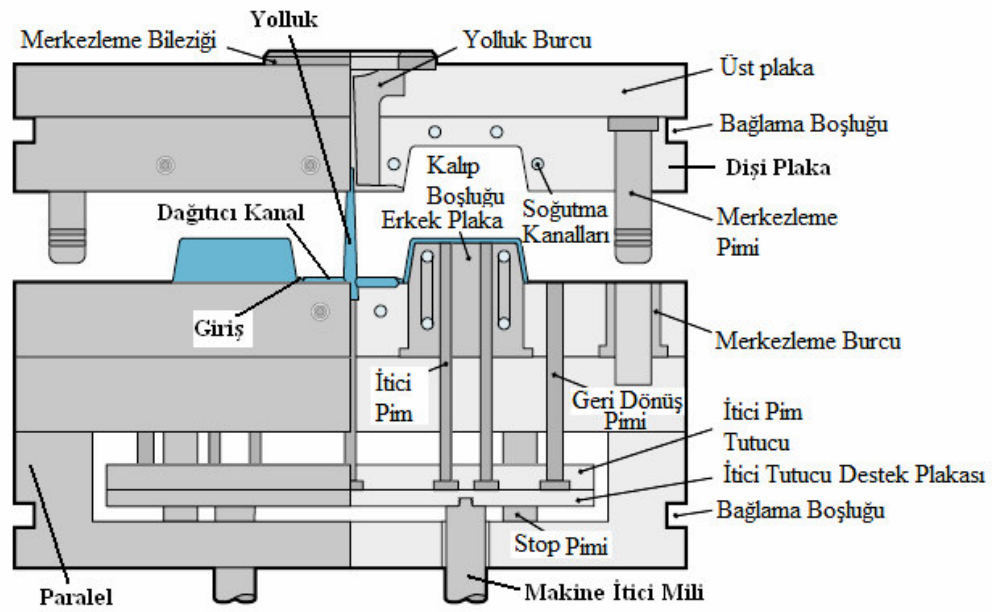
Plastiklerin en önemli özelliklerinden biri kolayca biçimlendirilebilmesidir. Ergimiş plastik, enjeksiyon memesinden kalıp yolluğuna enjekte edildikten sonra kalıp içersindeki boşluğu doldurarak enjeksiyon süresini doldurur ve ürünün elde edilmesi işlemi bitmiş olur (Şekil 4.1).

Şekil 4.1’de kalıbın enjeksiyon tezgâhına bağlanması ve ürünün kalıp boşluğuna nasıl dolduğu gösterilmiştir.

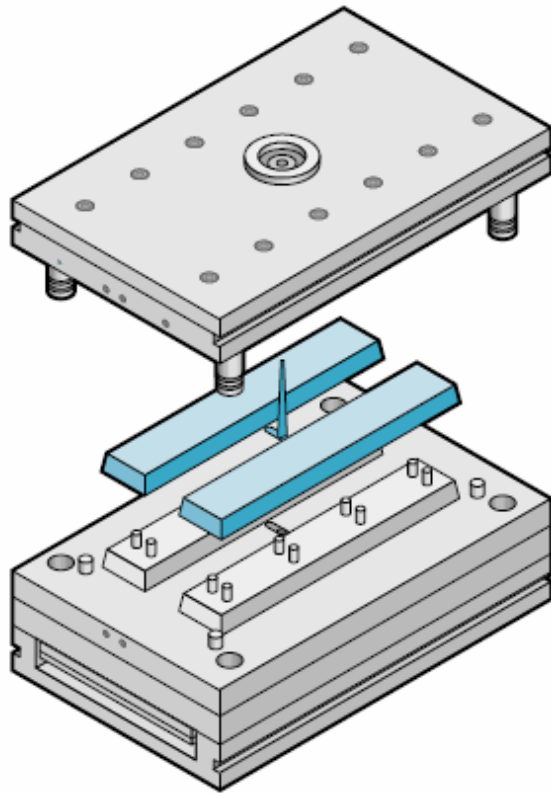


Şekil 4.1.Enjeksiyon tezgâhı [27]

Enjeksiyon tezgâhında ürün elde edilmesinin en önemli elemanlarından biri de kalıptır. Kalıp içersine açılmış boşluğa ergimiş plastiğin dolması ve boşluğun şeklini almasına yarayan birden fazla parçadan oluşmuş settir. Kalıp plakaları erkek ve dişi plaka olmak üzere iki ana plakadan oluşur. Plastik enjeksiyon yönteminde ürünün şekli, boyutları, kalitesi ve toleransları öncelikli olarak kalıp tarafından belirlenmektedir (Şekil 4.2) [28].



a)



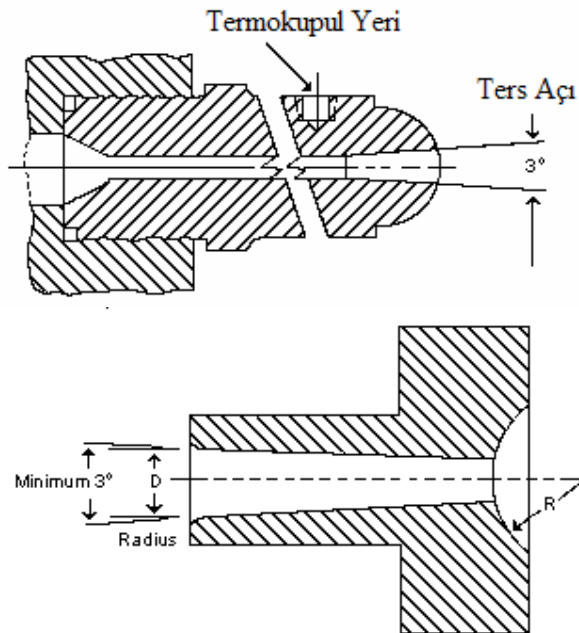
b)

Şekil 4.2. Kalıp setleri a) İki plakalı kalıp, b) kalıp seti [29]

4.1. Yolluk Burcu

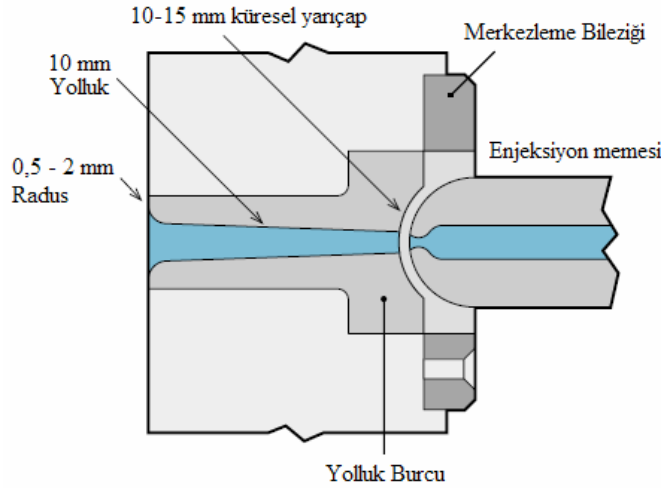
Kalıp tasarım mühendisleri için, kalıp boşluğunun doldurulmasının önemi büyüktür. Besleme sistemlerinin geometrisi, uzunluğu, boyutu ve hacminin kaliteli parça üretimine doğrudan etkisi vardır. Yolluk burcu kalıbın dişi kısmına yerleştirilir. Enjeksiyon ünitesi memesinden gelen ergiyik haldeki plastik malzemenin kalıp gözlerine akışı sağlayan kalıbı doldurması için giriş noktasıdır. Enjeksiyon süresince meme ucu kalıp yolluk burcuyla temas halinde olup buradan kalıba çok yüksek basınçlarda ergiyik malzeme enjekte edilir. Diğer görevi ise makine memesi ile burç arasında sızıntıyı en aza indirmektir. Her kalıplama çevrimi sonunda, yollukta donan malzemenin kalıptan ayrılmasını sağlamak için, yolluk burcu içine 3° - 6° koniklik verilmiştir (Şekil 4.3). Donan malzeme kalıbın erkek kısmıyla birlikte atılmasını sağlar. Yolluk burcunun şekli, boyutları ve kalıp bağlantısı, üretilen parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir.

Tek gözlü kalıplarda yalnız yolluk burcu vardır ve yolluğun girişini de bu sağlar. Çok gözlü kalıplarda ise yolluk haricinde dağıtıcı ve tali dağıtıcıları bulunmaktadır.



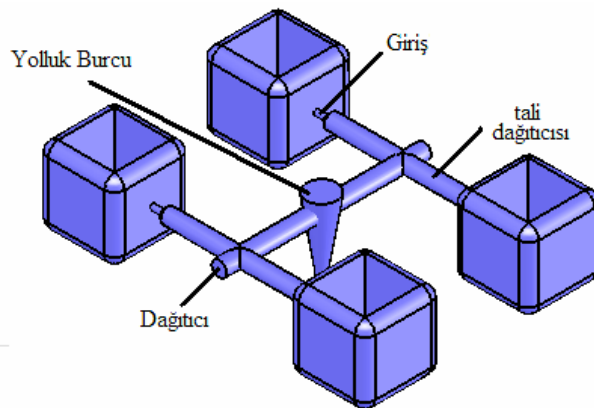
Şekil 4.3. Farklı yolluk burçlarının gösterilişi [30]

Yolluk burcu, malzemenin kalıp gözlerine, aynı basınç ve sıcaklıkta, aynı zamanda dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yolluk burcu genellikle çeşitli kısımlardan oluşur. Bu durum özellikle çok gözlü kalıplarda daha da belirgindir (Şekil 4.4) [29].



Şekil 4.4. Yolluk burcunun kısımları [29]

Yolluk girişi, malzemenin yolluk dağıtıcısından kalıp gözüne geçişini sağlar. Parçanın yolluk burcundan kolay ve temiz bir şekilde ayrılabilmesi için yolluk girişi özellikle ince tasarlanmalıdır (Şekil 4.5). Bu aynı zamanda parçanın görünümünü de olumlu yönde etkiler. Fakat günümüzde yolluk burçları, kalıp seti imal eden firmalarca enjeksiyon makinesi memelerine uygun olacak şekilde, farklı biçim ve ölçülerde firma standartlarına uygun şekilde imal edilip kullanıma sunulmaktadır.

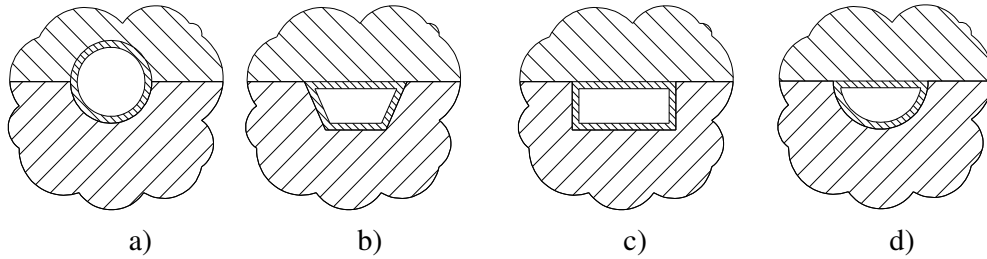


Şekil 4.5. Yolluk dağıtıcı ve yolluk girişi

4.2.Dağıtıcı Kanallar

Etkin kalıp besleme sistemi tasarımı, tasarım mühendisleri ergimiş plastiğin akma tabiatını anlaması ve bunun akma kanal geometrisine etkisine, basınç transferi ve akma etkinliği yönünden etkilerini anlaması gerekir. Sıcak ergimiş polimer, soğuk metal kalıpla kontak kurduğu zaman, polimerin yüzeyi donarak kabuk oluşturur. Bu donmuş kabuk termal izolatör gibi hareket ederek, ergimiş plastiğin merkezinin sıcak kalmasını ve akmasını sağlar. Besleme kanallarının geometrisi, bu donmuş kabuğun şeklini belirler, akma hacmindeki düşmeye bağlı olarak basınç düşmesi olur. Akma donma karakteristikleri, yolluk geometrisi tarafından belirlenir ve bunların kanaldaki plastik akma oranına ve basınç iletişimine etkisi vardır.

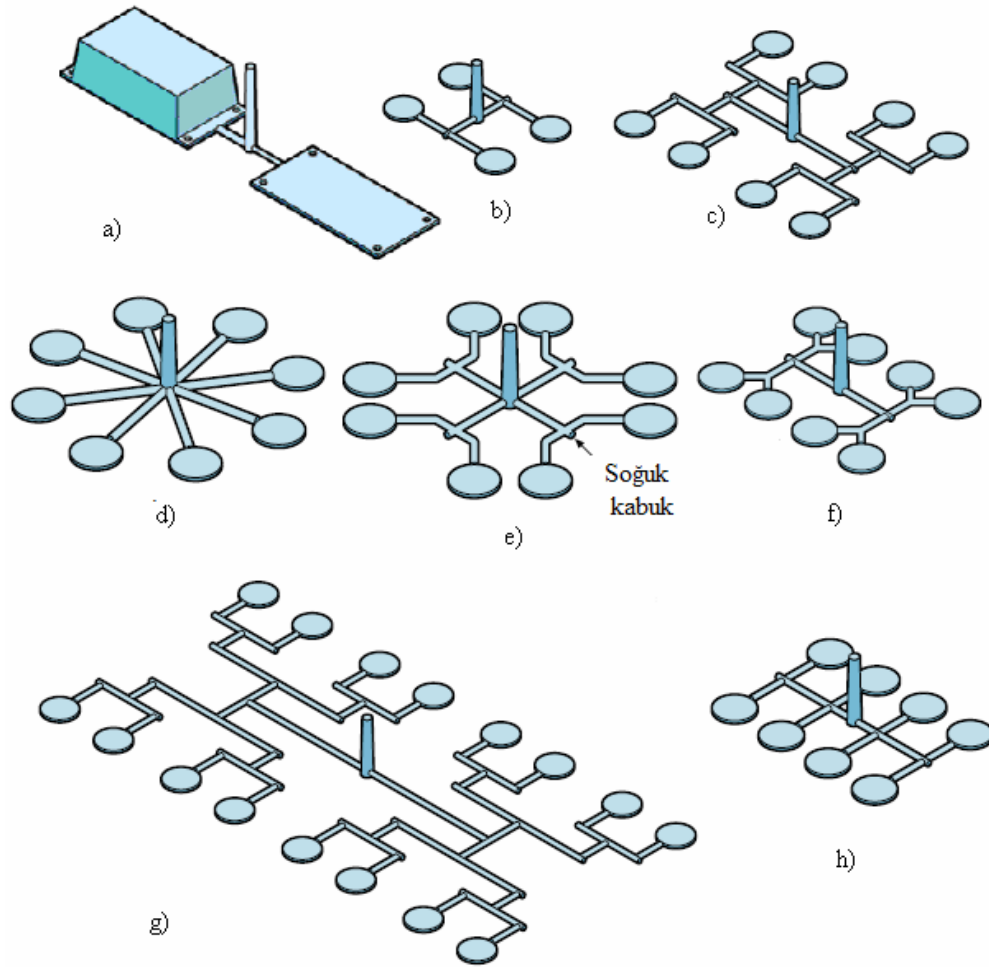
Dağıtıcı kanalların profilleri farklı olabilir. En iyi akış hangisinde ise o tercih edilir (Şekil 4.6). Örneğin; dört köşe, dikdörtgen ve yarım daire şeklindeki, yolluklar akma donma karakteristiklerinden dolayı fazla tercih edilmez. Bu tip yollukların etkin akma hacimlerinde azalma olur ve bu tip kanallarda, basınç düşmesi fazladır. Baskıdaki kalıp içi basınç kontrolü azalır. Yolluk sisteminin kesiti, ayrıca yolluk sistemini dışarı atmak için gerekli itici kuvvetlerin üzerine etkisi vardır. Eğimli veya açılı şekillerdeki yolluklar örneğin, yarım ve tam yuvarlak veya trapez kesitli yolluklar, ürünün kalıptan atılması esnasında daha az kuvvete ihtiyaç duyar. Tam yuvarlak yolluk sistemi, diğer yolluklara göre daha iyi atma ve kalıptan atılma karakteristiklerine sahiptir. Fakat bu yolluğun her bir yarısının, bir kalıp plakaya işlenmesinin zorluğundan dolayı yapılmaları pahalıdır (Şekil 4.6) [31].



Şekil 4.6. Dağıtıcı kanal kesitleri a) Yuvarlak, b) Trapez, c) Kare, d) Yarım daire [31]

Yolluk seçiminde, üretilecek üründe aranılan kalite, önemli bir faktördür. Dengesiz yolluk sisteminde, kalıp giriş yolluğuna yakın, kalıp boşluğunun önce dolma eğilimi vardır. Bu durumda, kalıp giriş yolluğuna yakın kalıp boşluğuna, gereğinden fazla malzemenin dolması meydana gelirken, kalıp giriş yolluğundan uzak noktadaki kalıp boşluğuna da yeterli plastik dolmaz.

Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda bütün boşlukların aynı anda doldurulması veya plastik maddenin bütün boşluklara aynı oranda akması gerekmektedir (Şekil4.7).



Şekil 4.7. Çoklu kalıplamada bulunan dağıtıcı kanal tipleri [29]

- a) 2 gözlü, b) 4 gözlü, c) H tipi 6 gözlü, d) Merkezden çevreye 6 gözlü, e) Normal 6 gözlü, f) İyi 6 gözlü, g) 16 gözlü, h) Standart 6 gözlü.

Kalıplama boşluklarına akan plastik madde oranı farklı ise bazı kalıplama boşlukları boş kalacak ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamayacaktır. Sonuç olarak; çıkan üründe, ağırlıklar ve boyutlarda farklılıklar oluşur. Kalıbın dengesiz dolma özelliğinden dolayı kalıpta çapak oluşma ihtimali artar ve bunun kontrolü zorlaşır, zamanla kalıp yüzeyinde çökme oluşabilir.

Kalıp doldurmanın dengesiz olduğu durumlarda, her kalıp boşluğundaki basınç düşmesi her bir yolluk girişinin boyutları değiştirilerek eşitlenilebilir veya yolluksuz kalıplarda (sıcak yolluklarda), yolluk giriş konumuyla dengesiz doldurma sağlanabilir. Bütün yolluk sistemleri ve bütün yan yolluklar veya bağlantılar, mümkün olduğunca basınç düşmesini en aza indirmek için yuvarlanmalıdır, eğimlendirilmelidir [31].

4.3. Giriş Konumu ve Tasarımı

Kalıp boşluğuna, ergimiş polimerin aktığı yola göre yolluk girişinin bulunduğu yer önemlidir. Yolluk giriş bölgesinin seçilmesinde göz önüne alınacak diğer faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- a) Baskının estetik görünüşü.
- b) Baskının karmaşıklığı
- c) Kalıp sıkma
- d) İşlenecek polimerlerin özelliği.
- e) Yolluk girişinden beslenen polimerin hacmi ve besleme oranı.
- f) Kaynak izinin oluşacağı yerin önemi.
- g) Kalıp doldurma eğrisinin sonucu olarak, kalıp içinde gazın çıkmadığı ve bu gazın bulunduğu bölge.

İki plakalı kalıp tasarımı, yolluk giriş konumu yönüyle diğer sistemlerle karşılaştırdığı zaman kalıp tasarımcısı üç plakalı ve yolluksuz kalıp tasarımını seçerek, istenilen yolluk giriş bölgesini tahmin edebilir [31].

4.3.1. Giriş tipleri

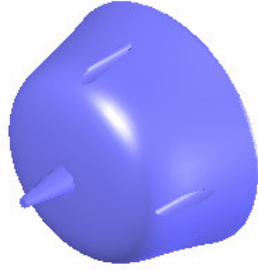
Dağıtıcı kanal ile kalıplama boşluğunu birbirine bağlayan belli biçim ve boyutlardaki kanallara, giriş kanalı denir. Giriş kanalları, yeterli miktardaki plastik maddenin kalıplama boşluğuna girmesini ve kalıbın doldurmasını sağlar. Giriş kanallarının boyutları, tipi ve yerleşim planı kalıplanan parçaya etki ederek fiziksel özelliklerini değiştirir. Bu nedenle giriş kanalı boyutları, kalıplanacak plastik maddenin cinsine, kalıplama hacmine, dağıtıcı boyutlarına ve enjeksiyon basıncına göre seçilir. Yolluk giriş bölgesi kararlaştırıldıktan sonra, doğru yolluk giriş tasarımı ve geometrisi seçilir. Yolluk giriş tasarımı kullanılma yerine göre farklılık gösterir. Tek gözlü kalıplarda veya büyük tek parçalı baskılarda direkt besleme, yolluk giriş sistemi benimsenir. Bu durumlarda makine memesi direkt baskıya plastik gönderir, sonuç olarak yolluk sistemine ihtiyaç yoktur. Baskıyı düzgün şekilde, kaynak izin oluşmasından, doldurmak için direk besleme yolluk girişi, parçanın geometrik merkezine yerleştirilir [32].

4.3.2. Doğrudan giriş kanalları

Genellikle kesit alanı büyük olan giriş kanallarıdır. Bu tip giriş kanalları termoplastiklerin kalıplanmasında ve aşağıdaki amaçlar için kullanılır.

- a) Dağıtıcı kanalı bulunmayan iki plakalı kalıplarda uygulanan yolluk beslemeli giriş kanalı
- b) Yüksek viskoziteli plastiklerin giriş kanalı
- c) Maksimum kalıplama basıncını iletmek amacıyla derinliği veya kalınlığı fazla ve simetrik olmayan kalıplama işlemlerindeki giriş kanallarıdır.

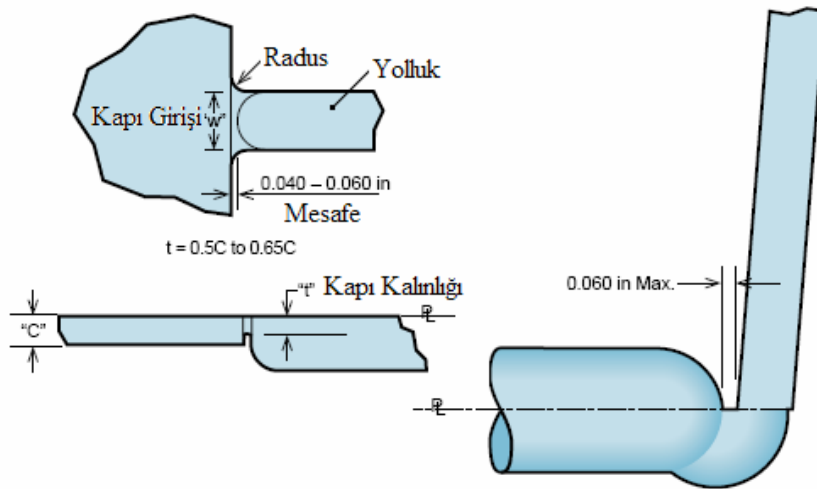
Doğrudan giriş kanalları genellikle yandan kenar giriş veya üstten kenar giriş kanallarıdır. Bu giriş kanalları yarım yuvarlak, kare, dikdörtgen ve bazen de trapez kesitli olarak açılır (Şekil 4.8) [32].



Şekil 4.8. Doğrudan giriş kanalı

4.3.3. Kenar yolluk girişi

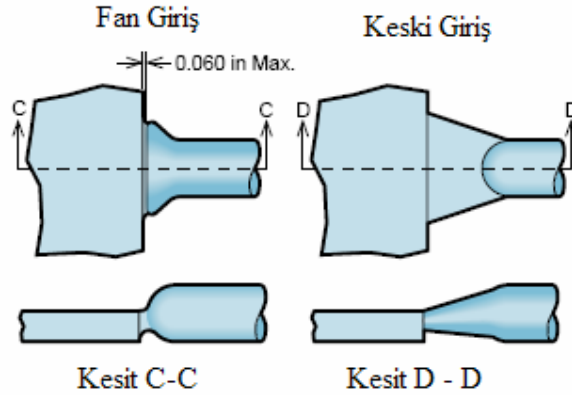
Kenar yolluk girişi, en basit yolluk girişi tasarımıdır ve kolayca işlenebilir. Kenar yolluk girişinin yapımının kolay olmasına rağmen kullanım alanı sınırlıdır, çünkü bu tasarımın kalıp doldurma karakteristiği iyi değildir. Yolluk giriş geometrisi, ergimiş plastiğin kötü bir şekilde girişte yayıldığını gösterir. Bazı durumlarda, ergimiş plastiğin kalıp girişindeki akışında hiç yayılmaz, solucan gibi kıvrılarak ve fışkırarak akan plastik parça içinde kıvrımlar oluşturur. Bu durumların sonucu, baskının kuvveti azalır ve parça yüzeyi kötü olur. Kenar yolluk girişi, eğer parçada çok iyi kalite veya estetik aranmazsa kullanılır. Yolluk giriş yerinde herhangi bir yırtılma olduğunda, girişin değiştirilmesi istenebilir (Şekil 4.9) [31].



Şekil 4.9. Kenar yolluk girişi [29]

4.3.4. Fan giriş

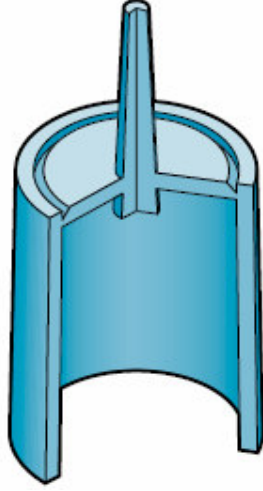
Fan giriş, kenar yolluk girişinin şekillendirilmiş halidir. İnce parçaları doldurmakta kullanılır. Ergimiş plastik girişten yayılarak girer, bunun sonucunda kalıp doldurma işlemi düzgün olur. Fan giriş, parçanın yamulmasını azaltır ve parçanın düzgün yüzeyli çıkmasına yardımcı olur. Etkili sonuç almak için, girişin parçayla kontak yüzeyinin büyüklüğü, besleme yollarının kesitinden büyük olmamalıdır. Büyük yolluk giriş alanından dolayı, yolların kesilmesi veya koparılması esnasında hafif yolluk giriş izi problem olabilir (Şekil 4.10) [31].



Şekil 4.10. Fan giriş sistemi [29]

4.3.5. Diyafram giriş

Diyafram giriş, disk silindirik veya içi boş parçalarda, konsantiriklik ve kaynak kuvveti istendiği zaman kullanılır. Dengeli kalıp doldurma için en küçük yolluk giriş uzunluğunun genel olarak 0,5–1 mm olması tavsiye edilir. Disk şeklindeki girişin parçadan alınması esnasına, parça kenarında keskinlik oluşur. Girişin baskının içine konumlandırmak, baskı sonrası işlemleri azaltır (Şekil 4.11) [31].



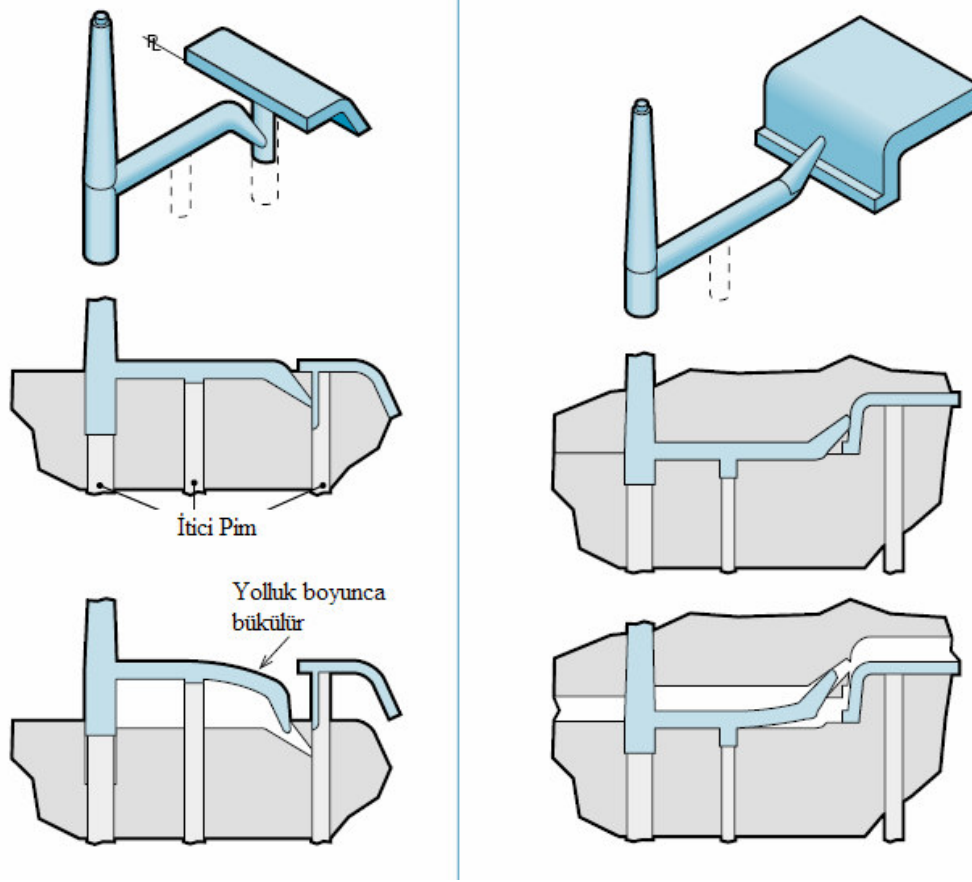
Şekil 4.11. Diyafram girişi [29]

4.3.6. Halka girişi

Halka giriş genellikle silindirik ve iç çapının boyutlarının dış çaptan daha önemli olduğu parçalarda kullanılır. Yolluk kısmı ilk önce dişi kalıba açılır ve sonra bunun karşıtı erkek kısma açılır ve yolluk giriş uzunluğu, bu yolluktan parçaya doğru açılır. Giriş derinliği, genellikle kalıp denemesiyle belirlenir. Sığ giriş derinliği, kalıp dolma kontrolünü azaltırken, kalın girişte yolluğun koparılması problemi çıkar ve bu maliyeti artırır [31].

4.3.7. Tünel veya dalgıç girişi

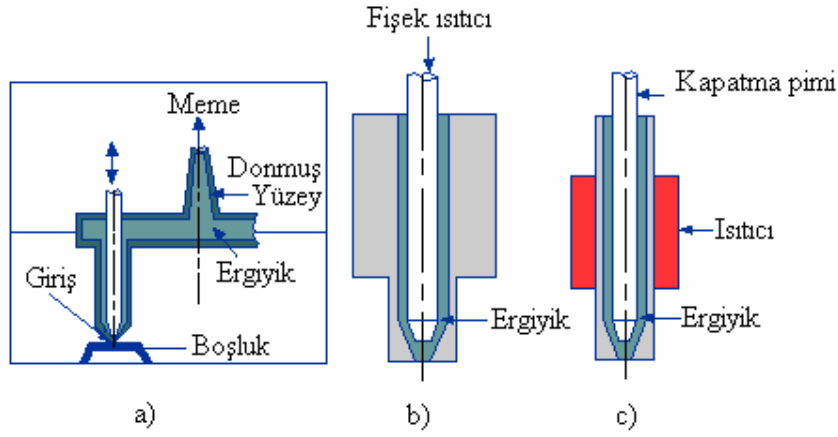
Tünel giriş, baskı sonrası yolluk girişinin parçadan otomatik olarak kopmasına imkân sağlar. Giriş enjeksiyon işlemi esnasında parçadan koparılır. Tünel giriş çapları fiber takviyesiz plastikler için 0,5–0,8 mm fiber takviyeli çeşitleri 2 mm değerdedir. Bu tasarımda, girişin gömülü olması nedeniyle, kalıp tasarımına sahip, kalıba uygun havalandırmanın yerleştirilmesi akılda tutulmalıdır. Girişin kopma izi parça yüzeyinde kalabilir, bunun boyutları giriş kullanıldıkça artar (Şekil 4.12) [31].



Şekil 4.12. Tünel veya dalgıç girişi [29]

4.3.8. İğne yolluk

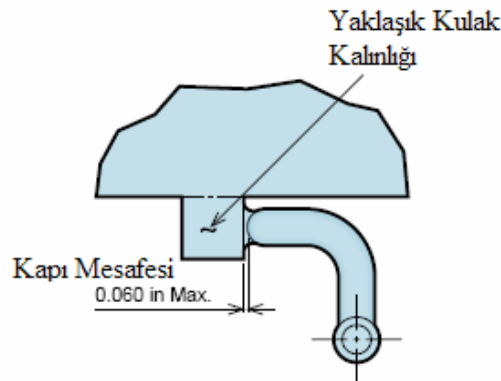
Üç plakalı kalıplar ve katkısız plastikler için iğne yolluk girişi boyutları 0,8–2 mm ve katkılı plastikler için 2,5–3 mm arasındadır. Bu tip giriş kullanımı esnasında otomatik olarak girişin kopmasına imkân sağlar. Girişin kopması genellikle yollukları arkasından çekerek koparmak suretiyle sağlanır, bu da genellikle emici veya yolluğun arkasına gömülmüş çekici pimlerle yapılır. Giriş uzunluğu ve kalınlığındaki azalmadan dolayı iğne yolluk kolayca zarar görebilir ve devamlı şekilde, katkılı plastik kullanıldığı zaman eskimeye eğilimlidir (Şekil 4.13) [31].



Şekil 4.13. İğne yolluk sistemi a) iğne yolluk, b) Fişek ısıtıcılı iğne yolluk, c) Rezistans ısıtıcılı iğne yolluk

4.3.9. Kulaklı giriş

Kulaklı girişin yandan doldurma etkisi, plastiğin kalıp içinde yılan gibi akmasını azaltır. Kulaklı giriş, büyük dekoratife parçaların yapımında estetik görünüşün önemli olduğu yerlerde kullanılır. Düzgün doldurma gerilimin soğuma esnasında bozulmaması veya parçanın yamulma etkilerini azaltır. Kulak kısmının parçadan koparılması pahalı bir operasyondur. Bundan dolayı parçanın öyle bir yerine konulmalıdır ki, parça basıldıktan sonra orada bırakılabilsin ve öyle bir yerde olmalıdır ki, herhangi bir kullanım fonksiyonu olmasın. Örneğin, kulak kısmını tutarak parçayı boyama ve buna benzer işler için kullanılabilsin (Şekil 4.14) [31].



Şekil 4.14. Kulaklı giriş [29]

4.4. Plastik Kalıplarının Isıtılması ve Soğutulması

Enjeksiyon baskıdaki temel prensip, sıcak plastiği kalıp içine gönderip kalıp boşluğunun şeklini alarak soğuyup sertleşmesidir. Kalıp sıcaklığı baskı süresini belirleyeceğinden önemlidir. Sıcak kalıpta ergimiş plastik, kolayca akmasına rağmen, baskının soğuyup kalıptan dışarı atabileceği sıcaklığa düşme süresi uzar. Bunun tersi olarak soğuk kalıpta ergimiş plastiğin soğuması çabuk olur, bazı durumlarda plastik kalıbı doldurmadan soğuyup sertleşir. Bu iki durum arasında bize en uygun baskı süresini elde ederiz [33].

Plastik kalıplarının ısıtılması ve soğutulması, kalıplanan parçanın kaliteli ve kalıplamanın ekonomik olmasını sağlamaktadır. En etkili kalıp ısıtma ve soğutma metodları, dişi kalıp ve dalıcı zımba veya maça pimi içerisine açılacak ısıtma ve soğutma kanalları, kalıplama yüzeyinden uygun olan uzaklıkta ve kalıbın çatlamasına sebep olmayacak şekilde olması gerekmektedir [24].

4.4.1. Kalıpların ısıtılması

Enjeksiyon kalıpların birçoğu elektrikle ısıtıldığı gibi buharla da ısıtılmaktadır. Kalıbın çeşitli kısımları delinerek açılmış kanallardan buhar doğrudan doğruya gönderilir. Bu buhar kanallarının yeri ve çapı, kalıp tasarımına, ölçüsüne ve biçimine bağlıdır. Buhar kanalları, dişi kalıba, maça plakasına, bağlantı plakalarına, taşıyıcı plakalara açılan deliklerle sağlanır. Buhar kanalları kalıplama yüzeyinden delik çapının iki veya üç katı kadar uzaktan açılır [34].

Günümüzde ise kalıplar daha çok elektrikli rezistans ısıtıcılarıyla donatılmaktadır. Bu teknikte daha çok kalıbın etrafına yerleştirilen ısıtıcı elemanlar kullanılır. Çubuk şeklinde ısıtıcı elemanların elektrik direnç ısılarından, endüksiyon akımı ile oluşturulan endüksiyon ısısından yararlanılmaktadır [35].

4.4.2. Kalıpların soğutulması

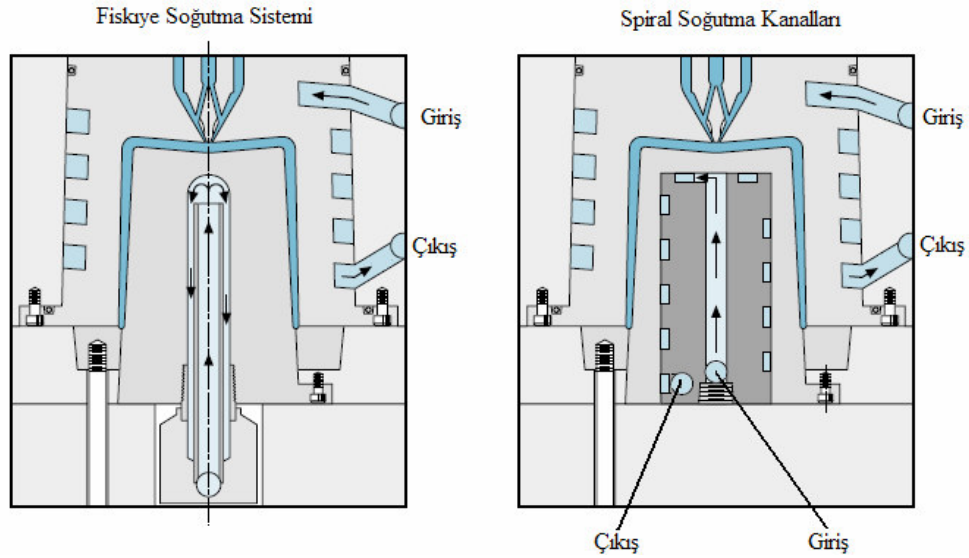
Bütün enjeksiyon kalıplarında özellikle termoplastik malzeme kullanılan yerlerde, kalıbın içine malzeme gönderildikten sonra sertleşmesini sağlamak için soğutulması gerekir. Soğutma işlemi, kalıbın çeşitli kısımlarına açılan deliklerden devamlı su akışını sağlamak suretiyle yapılır. Bitmiş iş parçasının üzerinde kabarcık, gerginlik, sıkışma gibi zorlamaları önlemek için sıcaklığın çok iyi kontrol edilmesi gerekir. Kullanılmakta olan suyun sıcaklığı 24 °C ile 55 °C arasında olmalıdır. Sıcaklık miktarları; iş parçasının ölçüsüne, biçimine ve kullanılmakta olan termoplastik malzemenin cinsine bağlıdır. Su kanallarının ölçüsü küçük kalıplar için 14 mm ve aralıklarındaki uzaklık 60 mm olarak yapılır. Su giriş ve çıkışını düzenlemek için delik uçlarına tapa veya ısıdan etkilenmeyecek elastik borular takılır. Büyük kalıplar için kanalların aralıkları 100 mm ve çapları 17 mm seçilmelidir.

Bu çapların seçilme sebebi, standart olarak her yerde bulabileceğimiz tapaları ve rekorları kullanabilmek içindir. Kanallara genellikle çerçeve veya dişi kalıp bloklarına delinirler [34].

Yüksekliği uzun olan ve büyük parçalı silindir kalıplarda Şekil 4.15.'deki gibi kanallar açılır. Böylece su değişik seviyelere inme imkânı bularak daha iyi ve dengeli bir soğutma sağlar. Kalıp dolma esnasında en sıcak ergimiş plastik, kalıp girişinde ve en soğuk ergimiş plastik yolluk girişinden en uzak noktadadır. Soğutma suyunun sıcaklığı bu kanallardan geçtikçe artar, bundan dolayı baskıda eşit soğuma sağlamak için, kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı ve parçanın soğuk kısımlarına sıcak sıvı girişi sağlamak gereklidir [36].

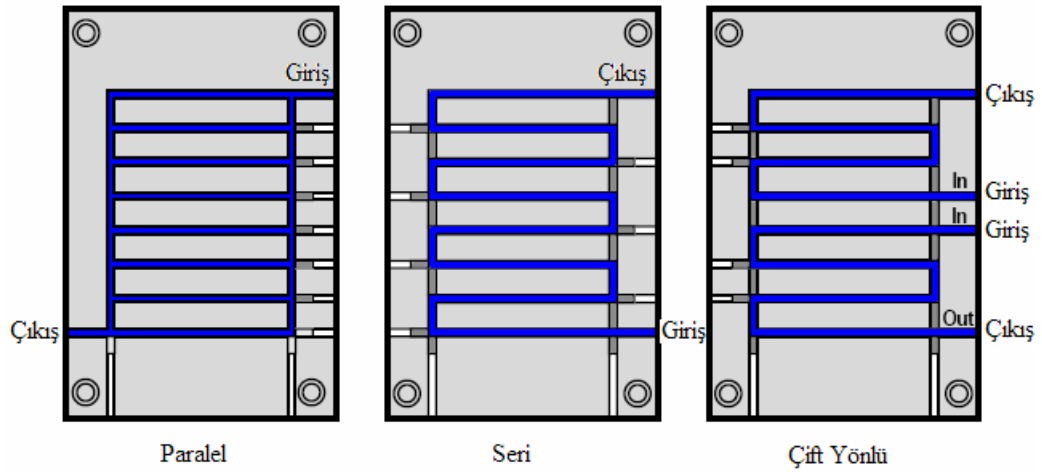
Genelde en basit sistem, kalıbın boydan boya delinmesi ile sağlanan soğutma sistemidir. Fakat bu sistem baskılar için en etkin metot değildir (Şekil 4.16).

Soğutma kanalını matkapla açarken mümkün olduğunca kalıp boşluğuna yakın olmasına dikkat edilmelidir. Soğutma devresi, bazen soğutma kanalının kalıptaki diğer kanallara yakın delinmemesi gerektiğinden karmaşık hale gelebilir.



Şekil 4.15. Spiral soğutma kanalları [29]

Kalıp plakasında birçok delik mevcuttur. Burç delikleri, itici pim delikleri, lokma delikleri vs. soğutma kanalının diğer deliklere emniyetli olarak ne kadar yakın açılacağı delinecek soğutma kanalının uzunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Derin delik delerken delmenin daima belirlenen yoldan kaçma eğilimi gösterdiği görülür. Genelde 150 mm lik deliklerde kullanılan kural, soğutma kanalının herhangi bir deliğe 3 mm daha yakın delinmemesidir. Daha uzun soğutma kanalları için uzaklık 5 mm'dir [31].



Şekil 4.16. Soğutma sistemlerinin gösterilişi [29]

Soğutma devresinde en iyi konumu yakalamak için tasarım esnasında bunu mümkün olduğunca erken planlamak gerekir. Diğer kalıp parçaları bundan sonra bu soğutma devresine göre yerleştirilir. Örneğin itici pimler burçlar vb.

Tek parçalı kalıp plakasını soğutma

Tek parçalı kalıp plakası tipinin sıcaklığı plakaya açılmış delikten geçirilen su sirkülasyonu ile kontrol edilir. Bu delikler birbirine bağlanarak devre oluşturulur. Devre birkaç seviyeli olabilir, bunun sayısı kalıp plakasının kalınlığına bağlıdır. Kalıbın dişi kısmı ve erkek kısmı birbirine benzemediğinden bunların soğutma devreleri ayrı ayrı ele alınmalıdır [31].

Tek parçalı dişi kalıp plakasının soğutulması

Bu kalıp için en basit yaklaşım iki tane su kanalı boşluğunun her iki tarafına açılır ve bunlar esnek hortumla birbirine bağlanır, akma kanalının sonuna adaptör takılır. Bu yöntem kalıp içine kanal delinerek içtende yapılabilir. Bu “U” şeklindeki su devresi dar ve uzun kalıp boşluklarını soğutmakta faydalıdır.

İçten kanalları birleştiren delik açma yerine, freze ile açılmış yarıklı plakayı kalıba bağlamak suretiyle bu su kanalları birleştirilerek suyun bu kanallardan devamlı kalıp plakasını içine gömülecek şekilde vidalanır. Conta kullanılarak su kaçağı önlenir [31].

4.5. Enjeksiyonla Kalıplamada Kavramlar

4.5.1. Ergime sıcaklığı

Her malzeme için ergime sıcaklığı farklıdır. Bu sıcaklığı sağlamak enjeksiyon silindirindeki ocakların ısılarının ayarı ile yapılır. İnce kesitli parçalarda, sıcaklık, plastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığının üst değeri olmalıdır. Ergime sıcaklığı derecenin alt değeri, kalın plastik parçaların kalıplanmasında kullanılmalıdır [36].

4.5.2. Plastiğin ergime haznesinde kalma süresi

Plastiğin bozulma miktarı sıcaklığa ve bu sıcaklığın uygulama süresine bağlı olmaktadır. Örneğin plastik yüksek sıcaklıkta kısa süre veya düşük sıcaklıkta uzun süre tutulduğunda bozulma olabilir. Bundan dolayı plastiğin enjeksiyon silindirinde kalma süresi çok önemlidir [36]. Özellikle büyük makinede, küçük baskı basılacaksa ocakta uzun kalma süresinden dolayı zarara uğrayabilir. Plastiğin enjeksiyon silindirinde kalma süresi, kabaca aşağıdaki eşitlik hesaplanır.

$$[\text{Haneinin kapasitesi (gr) x baskı süresi (s)}] / [\text{Baskı ağırlığı(gr) x 30}] \quad (4.1)$$

4.5.3. Sıcaklık ayarı

Herhangi bir plastik malzeme tipi için önceden herhangi bir tecrübeye dayalı bilgi yok ise makinenin sıcaklıkları en aşağı dereceye ayarlanmalıdır. Kolay ısı kontrolü için hazne bölgelere ayrılmıştır. Bütün sıcaklıklar ilk etapta aynı ayarlanmaktadır. Eğer yüksek sıcaklıkta çalışmak gerekiyorsa besleme bölgesi sıcaklığı düşük değere alınarak erken ergimeden dolayı plastik granüllerinin birbirine takılıp vidanın plastik malzeme almasını güçleştirmesi önlenabilmektedir [3]. Vidanın besleme kısmına malzemenin rahatça girmesi için besleme hunisinin ağzı suyla soğutulmalıdır.

4.5.4. Enjeksiyon hızı

Vidanın kalıbı doldurmak için ileri doğru hareketinden kaynaklanan hız olarak ifade edilmektedir. İnce kesitli parçalarda ergimiş plastiği katılaşmadan doldurmak için yüksek enjeksiyon hızı gerekmektedir. Fakat kalın parçalarda daha iyi bir yüzey yavaş enjeksiyon hızı ile elde edilmektedir. Genellikle enjeksiyon hızı 1 saniye civarındadır. Birçok baskı hatası değişik enjeksiyon hızı kullanılarak üstesinden gelinir. Kalıp doldurması esnasında enjeksiyon hızı programlanabilir. Makine ayarında hangi enjeksiyon hızı kullanılırsa kullanılsın enjeksiyon süresiyle birlikte kayıt edilmelidir. Modern enjeksiyon makinelerinin çoğu kapalı devre sistemiyle

baskı süresini kontrol eder. Ürünün dolma esnasında basınç gittikçe artar. Çünkü kalıbın dolması esnasında ergimiş plastiğin akışkanlık direnci artar [3].

4.5.5. Enjeksiyon basıncı

Kalıbı doldurmasında; yüksek hıza erişmek için yüksek basınca ihtiyaç duyulmakta ve kalıp dolduktan sonra yüksek basınca ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Birçok baskıda, yüksek ilk basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip etmektedir. Asetal ve naylon gibi bazı yarı kristal termoplastiklerin baskısı esnasında bu ikinci basınca ihtiyaç olmayabilir. Çünkü ani basınç değişimi kristal yapıda istenmeyen değişikliğe sebep olur. Yolluk girişi donmadan basıncı yeterince yüksek tutarak kalıp yavaşça dolar. Bu da baskıda yüksek dâhili gerilime sebep olur. Çünkü kalıp yavaşça doldurulurken soğumayla baskıdaki yüzey kalitesi bozulur. Bu durum enjeksiyon basıncı ve kalıp doldurma hızı artırılarak üstesinden gelir [3].

4.5.6. Vida dönme hızı

Plastiğin ergimesi için gerekli ısının bir kısmı vida dönüşüyle sağlanmakta ve hızı arttıkça sıcaklık da artmaktadır. Vida baskı süresine uygun ayarlanmakta ve vida hızı düşük tutulmaktadır. Çünkü düşük hız makinede daha düzgün sıcaklık dağılımını sağlamakla, makinenin yıpranmasını ve ergimiş plastiğin beklemesini azaltmaktadır. Vida çevresel (yüzey) hızının öneminden dolayı büyük makinelerin vidası küçük makinelerin vidasından daha yavaş döndürülmelidir. Bu sürtünme oranını düşürmekte, bölgesel ısınmaya engel olmakta ve aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$n = V \cdot 1000 / \pi \cdot D \quad (4.2)$$

V: Vida çevresel hızı, m/dak.

D: Vida çapı, mm.

n : Vida dönme hızı, devir/dak.

Yukarıdaki eşitlikten, vida çevresel hızı olarak her bir plastik malzemeye göre tavsiye edilen çevresel hızlar alınmalıdır [3].

4.5.7. Ütöleme basıncı

Enjeksiyon vidası tarafından, vida geri gelmeden önce yapılan basınçtır. Yüksek ütöleme basıncı kullanmak renk karışımına ve malzemenin ergimesine olumlu yönde etki eder. Fakat vida dönüş süresini arttırır. Geri basıncı, fiberli malzemede fiber boyutlarını kısaltır ve enjeksiyon makinesine baskı yapar. Mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Her şartta makinenin maksimum enjeksiyon basıncının %20'sini geçmemelidir. Ütöleme basıncı ile vida dönme hızını ayarlayarak ergime ve sonra da vidanın en kısa zamanda ileri gitmesi sağlanır. Köpüklü ve süngerimsi malzeme basıldığında ütöleme basıncı gaz basıncından büyük olmalıdır, aksi takdirde gaz ocaktan bir iş yapmadan atılır. Bazı makinelerde ütöleme basıncı programlanarak basınç dengelenir [3].

5. ERGİMİŞ PLASTİĞİN AKIŞI

Plastiklerin reolojik davranış şekillerini yani akış özelliklerini bilmek, hammadde üreticileri için olduğu kadar makine imalatçıları ve plastiği işleyenler için de oldukça önemlidir [23].

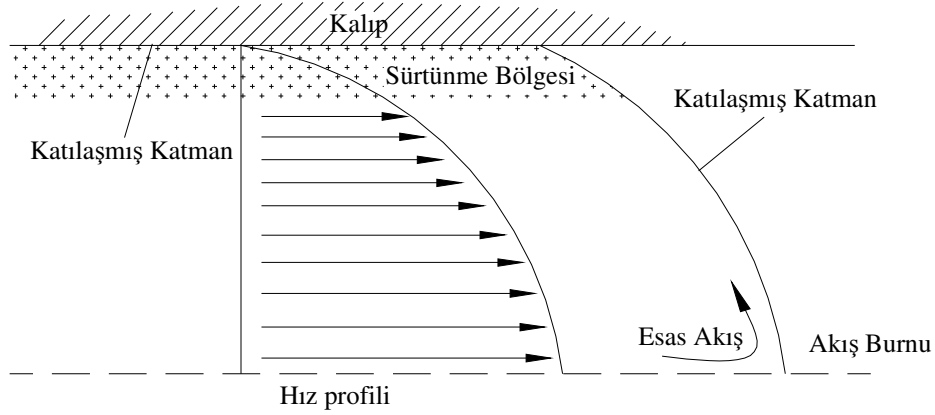
Reoloji malzemenin akışını inceleyen bilim dalıdır. Bu yüzden polimerlerin reolojik özellikleri enjeksiyon kalıplama işleminde en önemli rolü üstlenmektedir. Kalıplama esnasında akışkan haldeki malzemenin kalıbı doldurabilmesi için gerekli basıncı ve sıcaklığı bu özellikler tayin eder. Ayrıca bu özellikler kalıplanan parça içinde kalan artık gerilmelerin miktarının dolayısıyla da parçanın mekanik özelliklerini tayin eder.

Reolojik özellikler malzemenin deformasyonundan ve akışkandan olduğu kadar akma sona erdikten sonraki gerilme değişimlerinin oluşumundan da sorumludurlar. Bu yüzden bu özellikler enjeksiyon kalıplama işleminde en önemli rolü oynarlar. Reolojik özelliklerden viskozite; ısıl özelliklerle birlikte ergimiş malzemenin yolluklardan ve girişlerden geçerek kalıp boşluğunu doldurabilmesi için gerekli olan basıncı tayin eder [37].

5.1. Ergimiş Plastiğin Kalıp İçindeki Akış Davranış Özellikleri

Enjeksiyon memesinden yolluğa enjekte edilen plastik malzemenin kalıp içerisindeki akışı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, plastiğin akışı sırasındaki akış burnunda (akışın ucu) ve kalıp yüzeylerinde katılaşmış bir yüzey bulunmaktadır [38].

Plastik işleme makinelerindeki veya kalıplardaki akış işlemler daha çok eriyik malzemenin akış özellikleri ile ilgilidir. Eriyik malzemenin ocak veya kalıp duvarları gibi yüzeylere yapışık olarak akması, iki yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı kayma gerilmesi meydana getirir.



Şekil 5.1. Plastiğin akışı [38]

Kayma oranı, hacimsel birimin üst ve alt kenarlarının hızları arasındaki farkın, hacimsel birimin kalınlığına oranıdır.

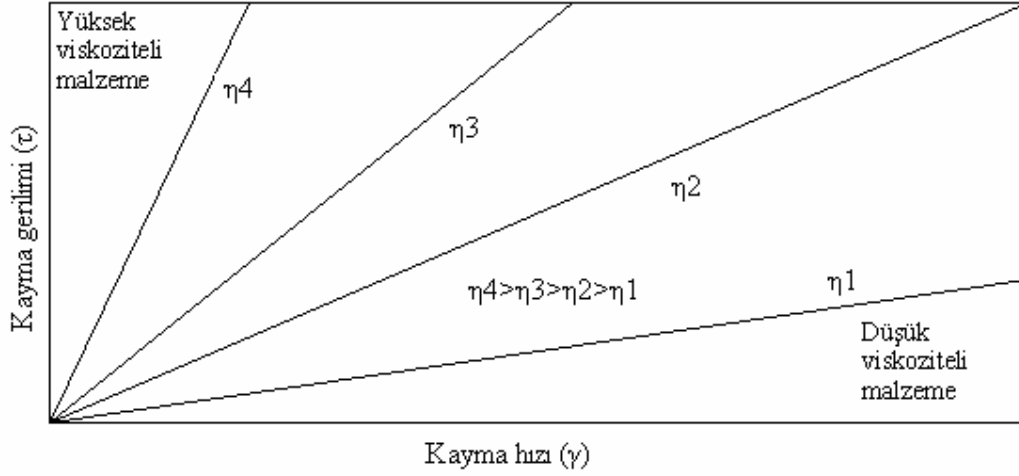
$$\gamma = \Delta V / \Delta y \quad (5.1)$$

Burada γ kayma oranı, ΔV hız, Δy ise düzlem arası uzaklıktır.

Kayma gerilimi (τ), malzemeyi akış yönünde deforme etmek için gerekli kuvvetin hacimsel birimi kesit alanına oranıdır. Su veya yağ gibi bazı sıvılar için kayma hızı ile kayma kuvveti yani kayma gerilimi lineer bağlantılıdır. Burada söz konusu olan sıvı; ideal viskoz sıvı veya “Newton” sıvısıdır. Kayma gerilimi şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (5.2)$$

Burada τ kayma gerilimi, η kayma viskozitesi ve γ da kayma oranıdır. Kayma viskozitesi gerilmeye maruz kalan akış dencini de gösteren bir kriterdir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi aynı kayma oranı değerinde yüksek viskozite yüksek kayma gerilimi anlamına gelmektedir. Yine aynı şekilden, aynı kayma kuvvetinde viskozite azalırken kayma oranı ve akış hızının arttığı da görülmektedir. Buradaki gibi kayma oranı (γ) ve kayma gerilimi (τ) arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilere “akış eğrisi” adı verilir [23].

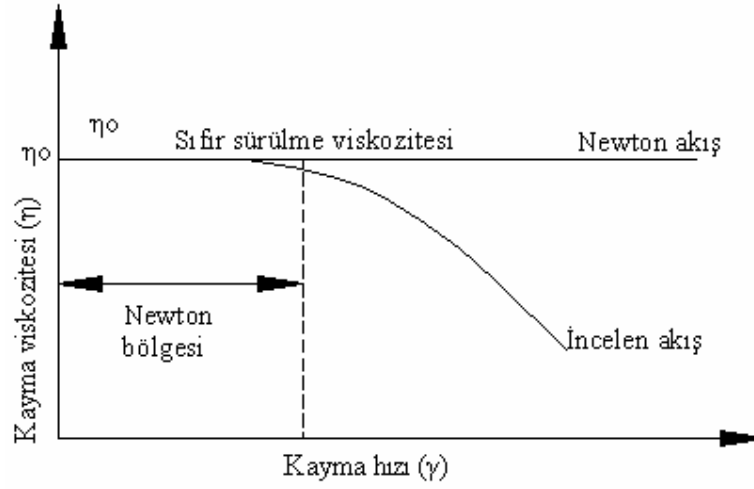


Şekil 5.2. Newton sıvıları için akış eğrileri [23]

İdeal bir viskoz sıvıda viskozite anlamına gelen eğrinin eğimi sabittir, böyle eğrilerde viskoziteden sapmalar görülebilir. Bazı durumlarda kayma oranı arttıkça viskozitede artabilir. Böyle durumlarda Newton sıvısına oranla daha yüksek kuvvetler söz konusudur. Bu akış şekline “genleşen akış” denir.

Ergimiş polimer Newton veya basit sıvı karakteristikleri göstermez. Polimer malzemelerde çok daha sık rastlanan durum viskozitenin kayma oranı arttıkça azalması, yani kayma gerilimi, kayma oranı artışından çok daha yavaş artması şeklindedir. Bu akış şekline de incelen akış denir. Akışla incelen akış ayrıca makro moleküllerin daha az birbirlerine dolaştığı ve daha çok oryantasyona uğradığı durumları açıklamak için kullanılır. Oryante olan moleküller, akış sırasında üzerlerine uygulanan kuvvetlerle çok daha kolay hareket ettirilebilirler.

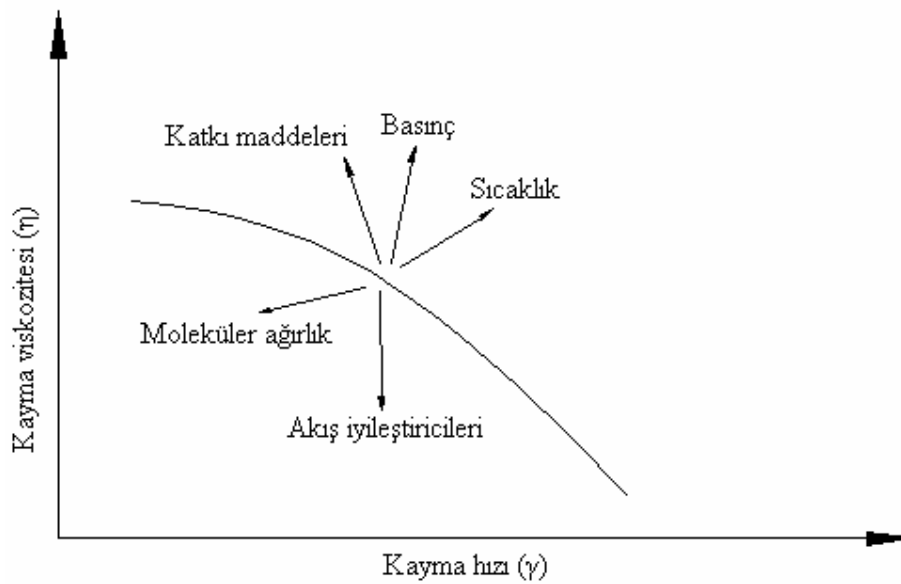
Eriyik plastikler kayma hızının sadece belli bir bölgesinde akma incelenmesi özelliği gösterirken genelde düşük kayma hızlarında Newton akış özellikleri gösterirler (Şekil 5.3). Bu nedenle plastiklerin ideal akış özellikleri gösterdikleri kayma hızı bölgesine “Newton akış bölgesi” denir. Akış incelenmesi özelliği ise yüksek akış hızlarında görülmektedir. Viskozitenin kayma hızına göre değişimi genelde daha geniş değerler dizesi gözlenebilmesi için logaritmik grafiklerde gösterilir [23].



Şekil 5.3. Newton ve incelenen akışkanların viskozitelerinin kayma hızına göre değişimi [23]

5.2. Çeşitli Parametrelerin Plastiklerin Akış Davranışına Etkisi

Plastiklerin kalıpta kaymasını meydana getirebilmek yani bir akış işlemi sağlayabilmek için ise bir kuvvete ve bazı parametrelere ihtiyaç duyulur. Bu parametreler Şekil 5.4'de görüldüğü gibi molekül ağırlığı, sıcaklık, basınç, katkı maddeleri ve akış iyileştiriciler gibi birçok parametreye bağlıdır [23].



Şekil 5.4. Çeşitli parametrelerin plastiklerin akış davranışlarına etkisi [23]

5.2.1. Moleküler ağırlığın plastik akışına etkisi

Polimer malzemelerin molekül ağırlığının üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Yüksek molekül ağırlığı plastikler akmaya karşı dirençlidir. Yüksek moleküler ağırlıklı yani daha uzun makro moleküllere sahip bir polimer, düşük moleküler ağırlıklı yani daha kısa makro moleküllere sahip bir polimerden daha zor akar [23].

5.2.2 Basıncın plastik akışına etkisi

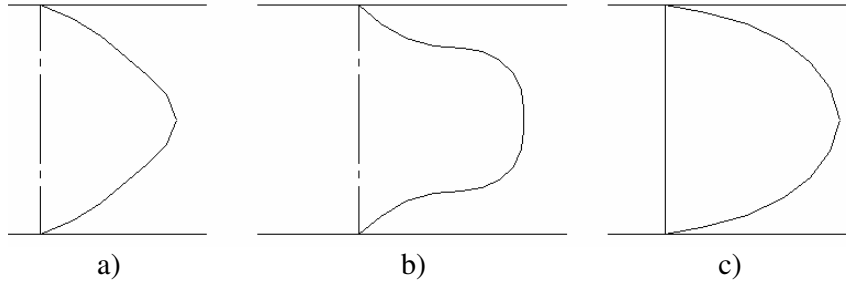
Plastiğin akışı basınca da bağlıdır. Basınç yükseldikçe akışkanlık artar. Serbest hacim ne kadar büyükse moleküllerin deformasyon üzere hareketi o kadar kolaylaşacak ve bunun sonucu olarak da akma artacaktır. Polimerler çok fazla sıkıştırılabilir olmadıkları için serbest hacme bağlı olan viskozitenin basınçla değişimi sıcaklığa göre daha az etki etmektedir [37].

5.2.3. Sıcaklığın plastik akışına etkisi

Viskoelastik özellik gösteren ergimiş plastiğin akışını etkileyen en önemli parametrelerden biriside sıcaklıktır. Sıvı haldeki plastik sıcaklığını kaybettikçe yoğunlaşmakta (katılaşmakta)ve dolayısıyla viskozitesi artmaktadır [23].

Kalıp ve malzeme seçildikten sonra üretici üretim koşullarını optimize edebilmek için belirli bir esnekliğe sahiptir ve bu esnekliği sağlayan ana değişkenlerin başında sıcaklık gelir. Kalıp sıcaklıkları genellikle 20–150 °C arasındadır. Sıcaklık yükseltilerek parçanın eksiksiz olarak çıkması temin edilebilir, dolayısıyla viskoziteyi azaltır ve akış hızını artırır [37].

Ayrıca ergimiş sıcak plastik, kalıp içersinde akarken kalıp yüzeylerine temas ettiği yerde katılaşmış bir katman oluşturmaktadır. Katılaşan bu katmandan dolayı plastiğin aktığı yerlerde kesit daralması olmaktadır. Şekil 5.5’de izotermal, soğutmalı ve ısıtmalı akış tipleri hız profilleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Ergiyik haldeki plastik malzemenin akış profilleri [39]
a) İzotermal profil, b) Soğutmalı profil, c) Isıtmalı profil.

Viskozite-kayma hızı grafiklerinde sıcaklık arttıkça viskozitenin azaldığını (akışın arttığını) da görmekteyiz. Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisinin malzemeden malzemeye fark ettiğini bilmemiz gerekir [39].

6. MATERYAL VE METOD

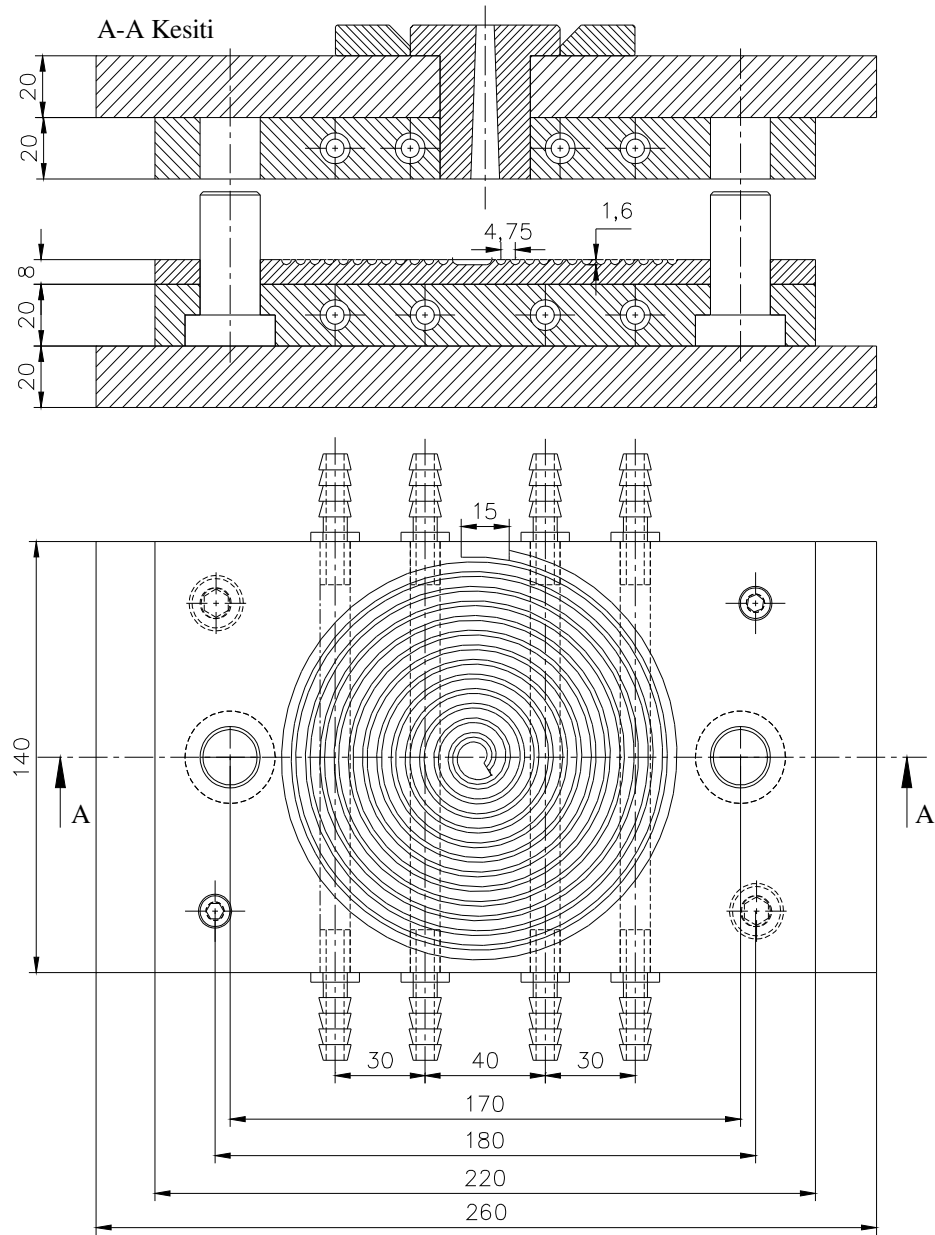
6.1. Deney Kalıbının İmalatı

Deneyde kullanılacak kalıbın boyutları ve özellikleri için öncelikle Türk Standartları taranmış, ancak plastiklerin enjeksiyon parametrelerinin akış uzunluğuna etkisini ortaya koyan bir dökümana ulaşılamamıştır.

ISO referansları taranmış ISO 294 ve alt serileri özellikle plastiklerin kalıplanmasıyla ilgili şartlara ayrılmış, basılabilirlik ve plastiklerin akış uzunluğuyla ilgili de bir çalışma yaptıkları saptanmıştır. Bu aşamada elde edilen veriler ve anahtar sözcüklerle ASTM D 3123 deney kalıbı referans olarak alınmıştır. Bu standart kalıp 69 bar altında kalıplama basıncı, yumuşak veya çok yumuşak ısı ile sertleşen termoset plastiklerin spiral akış, erime, viskozite ve jelleşme oranlarının karakteristiklerini ölçmek için tasarlanmıştır (Şekil 6.1) [2].

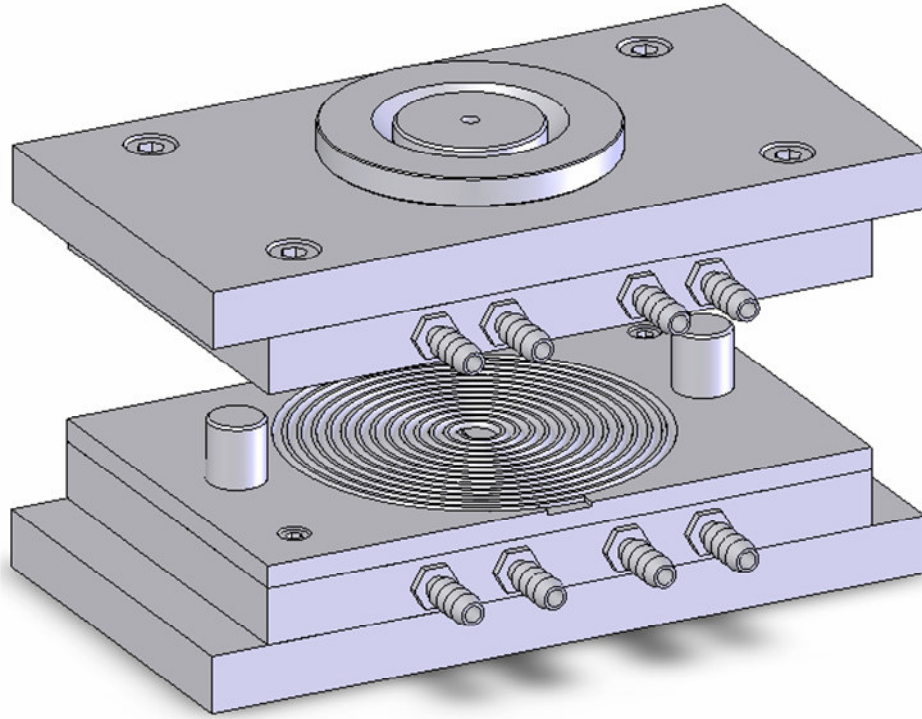
ASTM D 3123 deney kalıbının 1,6 mm spiral kanal derinliğindeki plaka haricinde 2 mm, 3 mm ve 4 mm kanal derinliğine sahip toplam 4 plaka tasarlanmıştır (Resim 6.1). Tasarlanan spiral plakaların rahat bir şekilde sökülüp takılabilmesi için modüler çekirdekli kalıp sistemine uygun olarak tasarlanmıştır. Gömme başlı vida ile bu spiral plakalar destek plakaya bağlanmıştır. Numunelerin basılması esnasında kanal kesiti farklı spiral plakaları değiştirme işlemi kalıp sökülmeden plastik enjeksiyon makinesi üzerinde yapılmıştır. Böylece deneylerin uzun bir süre alması önlenmiştir.

Enjeksiyon tezgâhında ergimiş plastiğin spiral plaka içerisine girdikten ve ütüleme basıncı yapıldıktan sonra hızlı bir şekilde katılaşması için soğutma kanalları açılmıştır. Bu soğutma kanalları erkek ve dişi destek plakalarının boydan boya delinmesi ile yapılmıştır. Her plaka üzerinde toplam 4 adet soğutma kanalı açılmıştır. Kapalı su devresi oluşturabilmesi için delikler birbirine hortumla bağlanarak devreyi tamamlaması sağlanmıştır. Soğutma etkinliği, baskı işleminden sonra hızlı numune elde edilmesinde etkili olmuştur (Resim 6.2).



Şekil 6.1. Tasarlanan deney kalıbının önden ve üstten görünüşü

ASTM D 3123 standardından elde edilen verilere göre kalıp Solidworks programında tasarlanmış ve detaylandırılmıştır. Kalıbın en ufak detayına kadar bütün parçaları bu programda katı model olarak birleştirilmiştir. Ayrıca Solidworks programında kalıbın çalışıp çalışmayacağı kontrol edilmiş ve plakaların esas ölçüleri elde edilmiştir (Şekil 6.2).

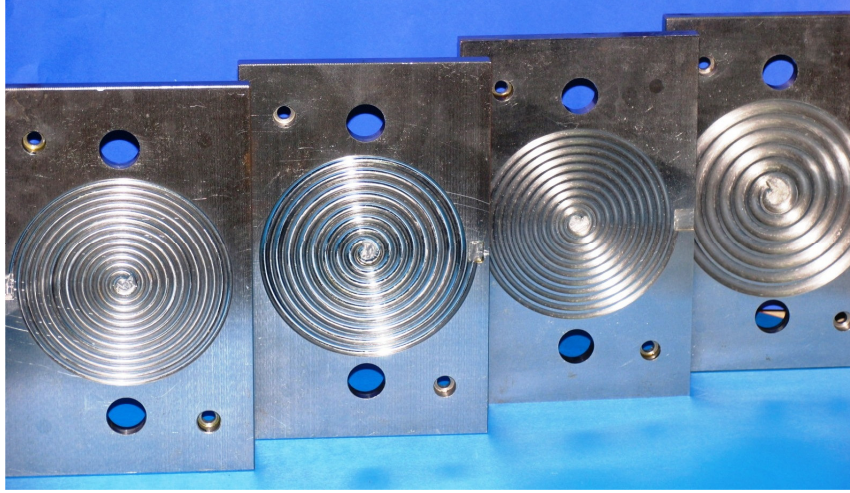


Şekil 6.2. Tasarlanan deney kalıbının katı model çizimi

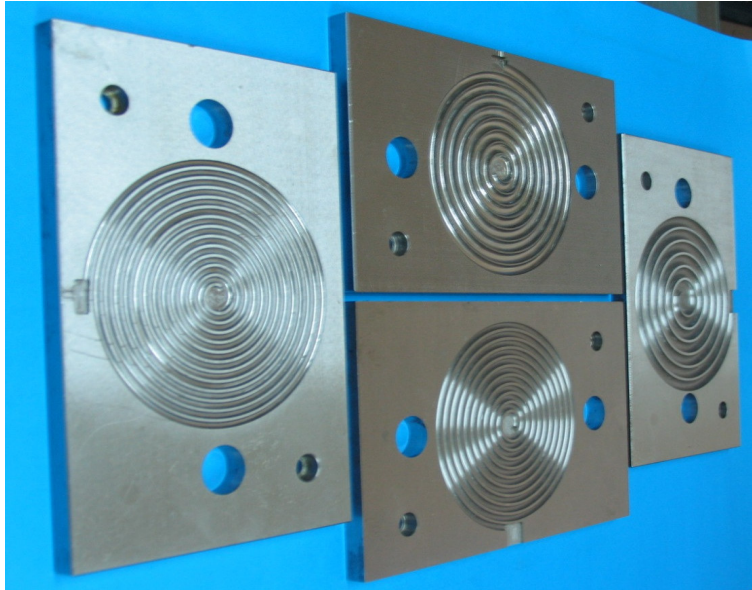
Kalıp imalatı için gereken parçalar ticari yollarla temin edilmiştir. Kalıp için gerekli tüm parçalar ve kalıp seti Samet Kalıp Ltd. Şti.'den alınmıştır. Ayrıca kalıp plakalarının sertliği Pancar Motor Ltd. Şti.'de ölçülerek 198 HBR olduğu tespit edilmiştir. Solidworks programında tasarlanan parçalar dxf formatında CAM Tebis bilgisayar destekli üretim programına aktarılmıştır ve kalıp plakaları Genç Kalıp Ltd. Şti.'nde CNC tezgâhında işlenmiştir. 4 plaka, farklı spiral kanal derinlik ve genişlikleri verilmek suretiyle kalıp yapımı sonuçlandırılmıştır (Resim 6.1). Daha sonra plakaların spiral kanallarının parlatılması Hat Teknik Ltd. Şti.'de yapılmıştır. Özellikle spiral kanallar içersinde ergimiş plastiğin akması daha rahat hale getirilmiştir. Spiral kanalların yüzey pürüzlülüğü Pancar Motor Ltd. Şti.'de ölçülerek Çizelge 6.1'de verilmiştir. Kanalların yüzey pürüzlülük değeri sırasıyla 3 mm, 4 mm, 1,6 mm ve 2 mm olduğu saptanmıştır. Parlatılma işleminden sonra bütün detay parçalar bir araya getirilerek kalıbın toplanması sağlanmıştır. Soğutma suyunun kapalı devre oluşturabilmesi için su hortumları takılmıştır. Kalıp enjeksiyon tezgâhına bağlanması için hazır hale getirilmiştir (Resim 6.2).

Çizelge 6.1. Spiral kanalların yüzey pürüzlülük değerleri

Spiral kanal derinliği (mm)	1,6	2	3	4
Ortalama pürüzlülük değeri Ra (μm)	0,83	1,16	0,34	0,66
Pürüzlülük yüksekliği Rt (μm)	6,2	7,9	1,2	3,1
Ortalama pürüz yüksekliği Rz (μm)	6,2	7,9	1,2	3,1



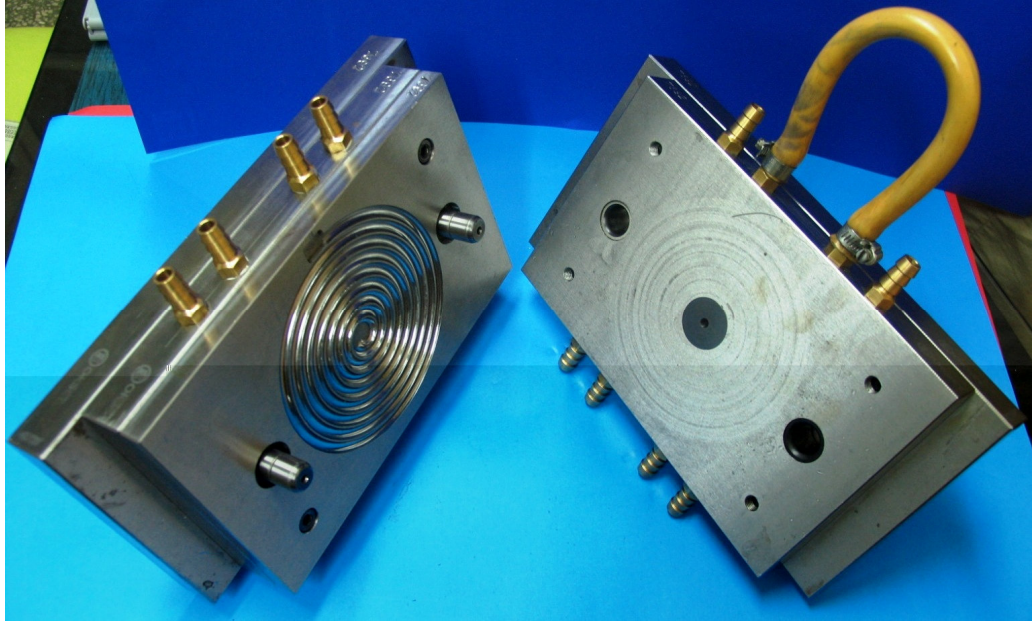
a)



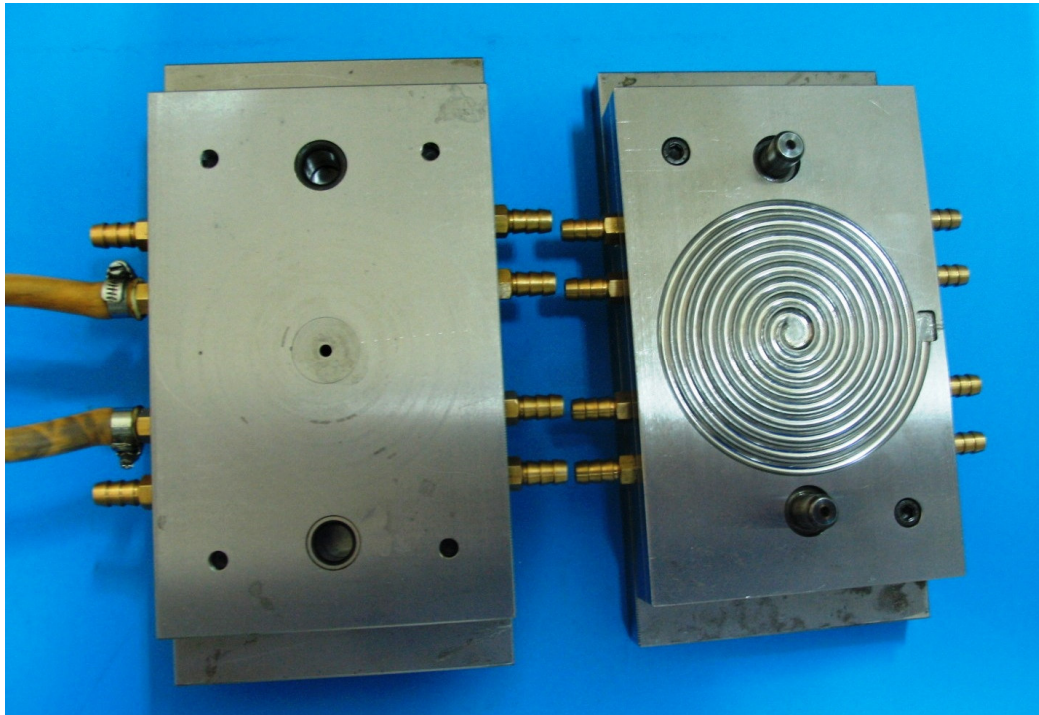
b)

Resim 6.1. Deneyde kullanılan farklı spiral kanallı plakalar

- a) CNC tezgâhında işlenmiş spiral kanallı plakalar
- b) Parlatılmış spiral kanallı plakalar



(a)



(b)

Resim 6.2. Deney kalıbının basıma hazır hali a) Perspektif görünüş, b) Üstten görünüş

6.2. Deneylerde Kullanılan Plastik Malzemeler ve Özellikleri

6.2.1. Akrilonitril bütadien sitren (ABS)

ABS malzemesinin bazı hammadde üreticilerinin verdiği ticari isimler Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

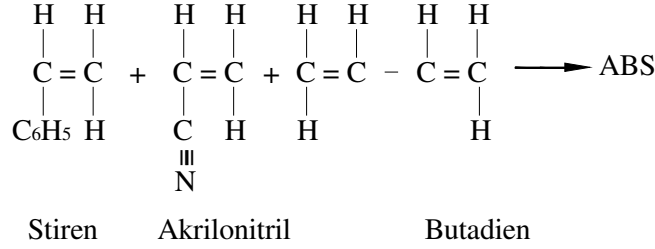
Çizelge 6.2. ABS malzemesinin bazı üretici firmaları ve bunların verdiği ticari isimler [3]

Üretici Firma	Ticari İsim
BASF	Terluran
Bayer	Novodur
Bayer	Bayblend (ABS/PC)
Borg Warner	Cycolac
Cdf chimie	Ugikral
Dow	Magnum
Dow	Pulse (ABS/PC)
DSM	Ronfalin
ENI chemical	Urtal ve Ravikral
Montanso	Lustran
Montanso	Cadon
Montedison	Edister
Rhone Poulenc	Alcoryl
USS Chemical	Arylon T (ABS/Polisulfon)

Malzeme yapısı

ABS polimerleri, Şekil 6.3’de gösterildiği gibi, akrilonitril, bütadien ve stiren monomerleri reaksiyonu ile elde edilen bir termoplastik olup adını bu üç monomerin ilk harflerinden alır. Amorf termoplastikler sınıfındandır. ABS’de iki faz vardır. Sürekli faz stiren-akrilonitril (SAN) kopolimeri, dağılmış faz ise bütadien esaslı elastomerik polimerden oluşur. Sürekli faz malzeme özelliklerini değiştirmek üzere kopolimerin molekül dağılımı ve polimer ana zincirinde monomerlerin dizilimi değiştirilir veya yapıya akrilonitril ile kopolimerleri ilave edilir. Dağılmış faz (kauçuk) için polibütadien uygun bir elastomerdir. Ancak bu faz sürekli fazın içerisinde homojen dağılımını sağlamak üzere polibütadien SAN kopolimeri aşılır. Bütadien’in stiren ile kopolimeri (SBR kauçuğu) ve nitril bütadien kauçuğu da

(NBR) özel tiplerdeki ABS üretimi için kullanılır. Kauçuk fazın toplam yapı içindeki bağıl miktarı, boyutları ve bu fazdaki polimerin çapraz bağ yoğunluğu değiştirilerek ABS özelliklerini istenilen yönde iyileştirmek mümkündür [40].



Şekil 6.3. ABS polimerinin yapısı [40]

Kullanılan ABS malzeme üreticisi “Polylac” [41] firmasının malzeme özellikleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler üretici firmanın sunmuş olduğu değerlerin alt ve üst limitlerini kapsayacak şekildedir (Çizelge 6.8).

6.2.2. Poliamid 6, poliamid 6.6. (nylon6, nylon 6.6)

PA malzemesinin bazı hammadde üreticilerinin verdiği ticari isimler Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

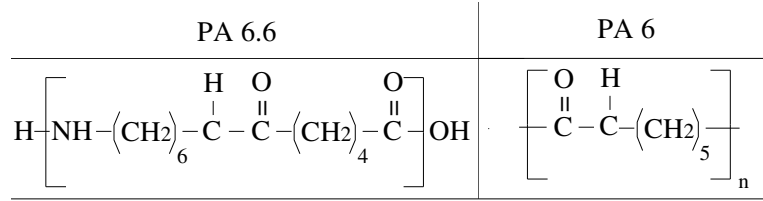
Çizelge 6.3. PA malzemesinin bazı üretici firmaları ve bunların verdiği ticari isimler[3]

Üretici firma	Ticari ismi
Akzo	Akulan K veya akulan M
BASF	Ultramid
BIP	Betle nylon 6
Atrochem	Orgamid
EMS-Grilon (EMS-Chemie)	Griol Grioln

Malzeme yapısı

Poliamid ailesi oldukça geniş olup, bu tür plastiklerin molekül yapısında -CO-NH şeklinde kimyasal olarak gösterilen “amid” bağları mevcuttur. Poliamidlerin sanayideki diğer adı “nylon”dur. Günümüzde bu yapıyı sağlayan değişik poliamid

türleri laboratuvarlarda sentezlenmekte ve sanayinin kullanımına sunulmaktadır. Poliamidler diaminlerin ve dibazik asitlerin reaksiyona girmeleriyle, ya da tek molekülde hem amin hem de asit fonksiyonel gruplarını içeren aminoasitlerin reaksiyona girmesiyle elde edilebilirler (Şekil 6.4) [42].



Şekil 6.4. Poliamidlerin yapısı [42]

Günümüzde bu yapıyı sağlayan değişik poliamid türleri laboratuvarlarda sentezlenmekte ve sanayinin kullanımına sunulmaktadır. Poliamidler diaminlerin ve dibazik asitlerin reaksiyona girmeleriyle, ya da tek molekülde hem amin hem de asit fonksiyonel gruplarını içeren aminoasitlerin reaksiyona girmesiyle elde edilebilirler. Naylonlar monomerlerdeki karbon atomlarının sayısını ifade eden sayılarla isimlendirilirler. Diaminlerin ve dibazik asitlerin bir araya gelmesiyle oluşanlar, iki ayrı rakamla ifade edilirken; sadece bir rakamla isimlendirilen naylonlar, üretimleri için kullanılan aminoasit kökünde kaç tane karbon atomu olduğunu gösterir (Çizelge 6.4) [40].

Çizelge 6.4. Poliamidlerin isimlendirilmesi [42]

Diamindeki C atomu sayısı	Diasitteki C atomu sayısı	Naylon adı
6	6	Naylon 6.6
Aminoasitteki C atomu sayısı		Naylon adı
6		Naylon 6

Poliamidler genellikle berraktırlar ve ısıyla şekillendirilebilirler. Güçlüdürler ve geniş bir sıcaklık aralığında sağlam kalırlar. Naylon 6 ve naylon 6.6 poliamidleri, esnek ambalaj imalatında, gaz bariyeri olarak sıkça kullanılır. Sert plastik ambalaj uygulamalarında ise pek tercih edilmezler. Gaz geçirgenliği nemli ortamlarda artar.

PA6 ve PA6.6 aynı zamanda kimyasallara dirençli maddelerdir ve solvent geçirgenliğini engellemek için uygundur. Bu nedenle, hem naylon 6 hem de naylon 6.6 zirai kimyasalların ve diğer solvent bazlı kimyasalların bulunduğu çok katmanlı HDPE şişelerde kullanılmaktadır. Poliamidlerin molekülleri arasındaki kuvvetler güçlüdür. Bu kuvvetler kristal yapı ile birleşince ortaya erime noktası yüksek, katı termoplastik malzemeler çıkar.

Kullanılan PA6 malzeme üreticisi “Akulon” [43] ve PA 6.6 malzeme üreticisi “Basf” [44] firmalarının verdiği malzeme özellikleri Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler üretici firmaların sunmuş olduğu değerlerin alt ve üst limitlerini kapsayacak şekildedir (Çizelge 6.8).

6.2.3. Polikarbonat (PC)

PC malzemesine bazı hammadde üreticilerinin verdiği ticari isimler Çizelge 6.5’de sıralanmıştır.

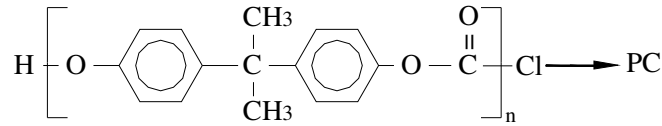
Çizelge 6.5. PC malzemesinin bazı üretici firmaların verdiği ticari isimler [3]

Üretici firma	Ticari ismi
Atochem (SP&C ltd)	Duolon
Bayer	Makrolon
General Electric Plastics	Lexon
Mobay Chemicals	Merlin
Dow	Calibre
Bayer	Bayblend (PC/ABC)

Malzeme yapısı

Polikarbonat, dihidrik ve polihidrik fenol gruplarının karbon reçineleriyle bağlanma ürünüdür. Genel amaçlı polikarbonat bisphenol A’dan elde edilmektedir. Ancak küçük miktarlarda diğer polihidrik fenollerin kullanıldığı formülasyonlar da mevcuttur (Şekil 6.5) [40]. Standard polikarbonat türleri, yüksek darbe dayanımı, iyi elektriksel özellikler, boyutsal kararlılık, sertlik ve düşük nem çekme gibi özellikler gösterir. Mat ve şeffaf çeşitleri mevcut olduğu gibi çeşitli renkleri de bulunmaktadır.

Güçlendirici %5 ile %40 cam elyafı gibi katkıları, akma direncini 132°C 'ye kadar olan sıcaklıklarda bile 4000 psi'ye kadar artırır. Diğer katkıları ya da formülasyon değişiklikleri, reçinenin alevlenmeye karşı dayanımını ısı kararlılığını, UV ışığına karşı kararlılığını ve rengini etkileyebilir. Polikarbonat üzerindeki kaplamaların, kimyasal direnci arttırdığı gibi, boyalı ürünün hava almasını da sağlar.



Şekil 6.5. PC polimerinin yapısı [40]

Kullanılan PC malzeme üreticisi “Wonderlite” [45] firmasının verdiği malzeme özellikleri Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler üretici firmanın sunmuş olduğu değerlerin alt ve üst limitlerini kapsayacak şekildedir (Çizelge 6.8).

6.2.4. Polioksimetilen (POM)

Poliasetal, asetal homopolimer (POM-H) ve asetal kopolimer (POM-K)’de denilen POM malzemesinin bazı hammadde üreticilerinin verdiği ticari isimler Çizelge 6.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. POM malzemesinin bazı üretici firmaların verdiği ticari isimler [3]

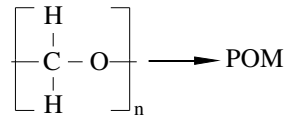
Üretici firma	Ticari ismi
BASF	Ultraform kopolimer
Hoechst Celanese	Kematal kopolimer
Du Pont	Delrin homopolimer
Du Pont	Delrin II homopolimer
Hoechst Celanese	Hostaform kopolimer

Malzeme yapısı

Asetaller sert, darbeye dayanıklı, şoktan etkilenmez, ayrıca malzemenin yük altında uzun sürede deforme olması zordur. Dirençli ve baskı sonrası çekmeden dolayı

boyutlarında bozulma olmayan yapıya sahiptir. -50 °C’de dahi darbe direnci çok iyidir. Homopolimer ve kopolimer olmak üzere iki tipi vardır. Homopolimer en fazla çekme kuvveti, esneme kuvveti, yorgunluk direnci ve darbe dayanımına sahiptir. Kopolimer ise daha iyi termal dengeye sahiptir. Bazlara ve sıcak suya direnci daha iyidir ve kolay işlenir. Her iki tipte kristalleşir ve tabi olarak beyaz ve çok az nem çeker. Açık havada kullanımı için karbon siyahı takviyeli çeşidini veya UV stabilizanlı çeşidini kullanmak gerekir. Elektriksel izolasyon yapısı iyidir.

Normalde kopolimer parça havada 100 °C’ye kadar kullanılabilir. Suda kullanılacak parça için bu değer 20 °C daha düşüktür. Homopolimer biraz daha fazla sıcaklık direncine sahiptir. Yaklaşık 95 °C ve %25 cam fiber ilavesiyle bu 100 °C’ye çıkar. Geliştirilmiş stabilizen katkısıyla homopolimer kötü işleme karakteristikleri iyileştirilmiştir ve diğer yönleriyle orijinal malzemeyle aynı yapıdadır. POM genelde PA 66 ve PA6 ile rakiptir. Bu malzemeler sürtünmeye ve darbeye daha iyi dayanımlıdır. Fakat asetallerin yorgunluğa ve suya direnci daha iyidir. POM’un yük taşıma yapısı PTFE silikon veya fosfor bronzu karıştırılmasıyla daha iyi hale getirilmiştir. Şekil 6.6’da POM malzemesinin polimer yapısı görülmektedir [42]. POM oldukça yüksek sıcaklığa uzun süre dayanabilir. Kopolimer 80 – 100 °C sıcaklığa yıllarca 140 °C sıcaklığı birkaç saat dayanabilir. Malzeme yüksek sıcaklığa maruz kalırsa ufalanmaya başlar. 120 °C sıcaklıkta kopolimer 3 saatten sonra ciddi şekilde ufalanır [42].



Şekil 6.6. POM polimerinin yapısı [42]

Kullanılan POM malzeme üreticisi “Lupital” [46] firmasının verdiği malzeme özellikleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler üretici firmanın sunmuş olduğu değerlerin alt ve üst limitlerini kapsayacak şekildedir (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.7. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin genel özellikleri [41, 43–46]

	DSM Akulon F223-D Naylon 6	Ultramid A3K Poliamid 6.6 (Naylon 6.6)		Chi Mei Polylac® PA-757 ABS Resin - Genel Özellikleri		PC 122 MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ		KEP Kepital F30 POM Malzemesinin Özellikleri	
Fiziksel özellikler	Değer	Değer	Test Metodu	Değer	Test Metodu	Değer	Test Metodu	Değer	Test Metodu
Yoğunluk (g/cm³)	1,13	1,13	ISO 1183	1,05	ASTM D792	1,2	ASTM D792	1,41	ASTM D792
Su Alma (%)	10	8,5	ISO 62	0,15	ASTM D570	0,2	ASTM D570	0,22	ASTM D570
Kalıp Çekmesi (cm/cm)	0,0095	0,01	ISO 294-4	0,003-0,007	ASTM D955	0,5-0,7	ASTM D955	0,02	ASTM D955
Ergime Akış İndisi (g/10 min)	100	115	PA6 için: 255°C/5 kg; PA6.6 için: 275 °C/5 kg; ISO-1133	10	220°C/10 kg; ISO-1133	65	290 °C/5 kg; ISO-1133	67	190 °C/5 kg; ISO-1133
Mekaniksel özellikler									
Sertlik, Rockwell R	-	-	-	116	ASTM D785	77	ASTM D785	80	ASTM D785
Çekme Mukavemeti (Mpa)	90	83	ISO 527-1/-2	46,9	ASTM D638	63	ASTM D638	62,7	ASTM D638
Kopmadaki Uzama (%)	20	20	ISO 527-1/-2	-	-	-	-	50	ASTM D638
Akmadaki Uzama (%)	3,5	4	ISO 527-1/-2	20	ASTM D638	-	-	-	-
Çekme Modülü (GPa)	3,5	3	ISO 527-1/-2	2,92	ASTM D638	-	-	2,88	ASTM D638
Eğilme Modülü (GPa)	-	-	-	2,62	ASTM D790	24000	ASTM D790	-	-
Eğilme Mukavemeti (MPa)	-	-	-	77,2	ASTM D790	92	ASTM D790	91,7	ASTM D790
İzod Darbe Muk. Çentikli(J/cm)	-	-	-	1,83	ASTM D256	-	-	-	-
Termal özellikler									
Ergime Noktası (°C)	220	260	10°C/min;ISO 11357-1/-3	-	-	-	-	165	10°C/min ergime; DSC
Bükülme Sıcaklığı (°C)	185	220	ISO 75-1/-2	87	ASTM D648	-	-	110	ASTM D648
Yanma Özelliği, UL94	V-2	V-2	0,75 mm;IEC 60695-1-10	HB	1/16 in	3,2mm V2	-	HB	0,00311 in
Kayma Hızı (shear rate×1000)	60	60	-	50	-	40	-	40	-
Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	-	-	-	104,9	ASTM D1525	149	ASTM D1525	162	ASTM D1525

Çizelge 6.8. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin üretici firmalarının enjeksiyon parametreleri ve deney şartları [41, 43–46]

	Chi Mei Polylac® PA-757 ABS Resin - Genel Özellikleri		DSM Akulon F223-D Naylon 6		Ultramid A3K 6.6 (Naylon 6.6)		PC 122 MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ		KEP Kepital F30 POM Malzemesinin Özellikleri	
Enjeksiyon Parametreleri	Üretici firma parametreleri	Deneyde kullanılan parametreler	Üretici firma parametreleri	Deneyde kullanılan parametreler	Üretici firma parametreleri	Deneyde kullanılan parametreler	Üretici firma parametreleri	Deneyde kullanılan parametreler	Üretici firma parametreleri	Deneyde kullanılan parametreler
Ergiyik Sıcaklık Ayarı (°C)	190 – 260	180 – 270	255 – 265	200 – 290	280 – 300	250 – 310	280 – 300	250 – 330	185 – 220	160 – 240
Flanş Sıcaklık Ayarı (°C)	35 – 45	40	60 – 80	70	60 – 80	70	70 – 90	80	30 – 40	40
Basınç Aralığı (Bar)	600 – 1500	600 – 1400	600 – 1500	600 – 1400	350–1250	600 – 1400	600 – 2000	600 – 1400	483 – 1170	600 – 1400
Enjeksiyon Debisi (cm ³ /s)	5,5 – 6,5	5 – 20	2	5–20	5	5–20	6	5 – 20	2 – 5	5 – 20
Ütüleme Basıncı (Bar)	750	750	150	250	100	200	600	700	200	700
Kalıp Sıcaklığı (°C)	30 – 80	35 ±1	80–90	35 ±1	40–80	35 ±1	80 – 100	35 ± 1	70 – 90	35 ±1
Kurutma sıcaklığı(°C)	80	80	80	80	85	85	120	120	85	85
Kurutma saati	2–4	2–4	4–5	4–5	4–5	4–5	2–4	2–4	2–3	2–3
Nem oranı (24 saat) (%)	0,2–0,35	–	0,20	–	0,20	–	1,50	–	1,6	–
Yolluk Çapı (mm)	6–8	6	3–6	6	3–6	6	6–9	6	3-6	6
L/D Oranı	18:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	25:1	20:1	18:1	20:1
Vida Yastığı (mm)	3 – 9	6	3 – 6	6	3 – 6	6	3	6	9	6
Spiral kanal derinliği (mm)	–	1,6 – 2 – 3 – 4	–	1,6 – 2 – 3 – 4	–	1,6 – 2 – 3 – 4	–	1,6 – 2 – 3 – 4	–	1,6 – 2 – 3 – 4

6.3. Deneyde Kullanılan Plastiklerin Ergime Akış İndislerinin (MFI) Ölçülmesi

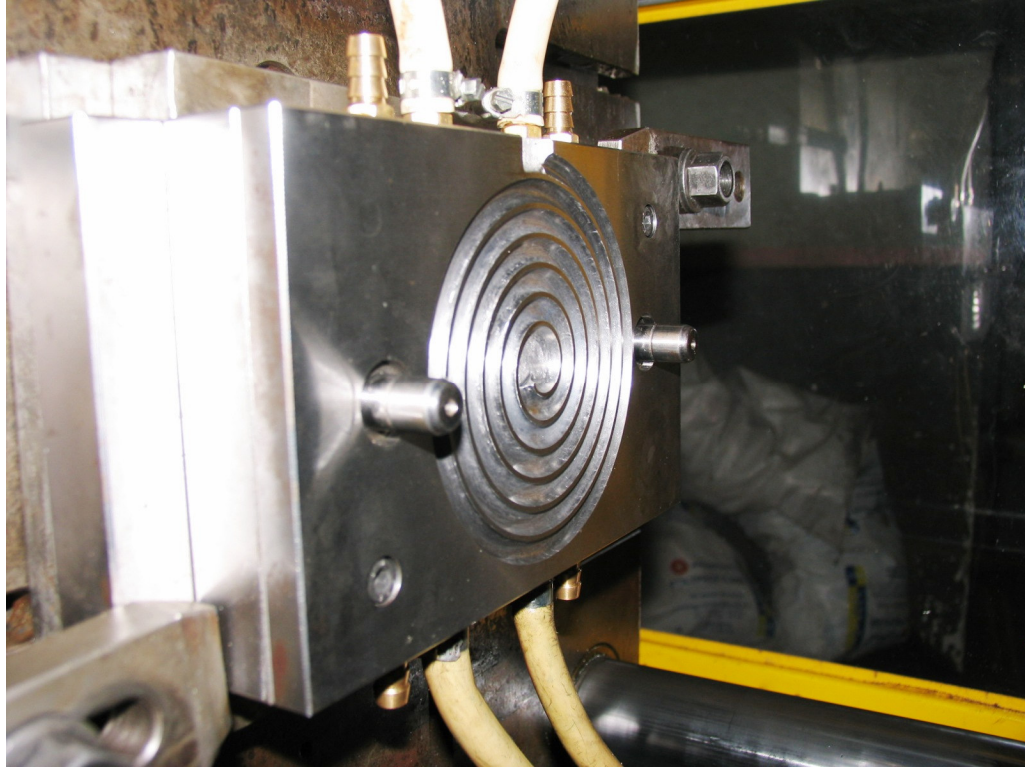
Polimer sistemlerinde genellikle viskozite yerine akma indeksi, MFI (Melt Flow Index) kullanılmakta olup, MFI deneyi için ISO-1133 standardı referans olarak alınmıştır. Bu standart 9,5 mm çapındaki bir silindirin ucunda bulunan 2,09 mm çapındaki bir lüleden belirli bir sıcaklıkta ve belirli basınç altında belirli bir zamanda geçirilebilen kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır. Zwick firmasının plastikler için ürettiği deney cihazında kullanılan mühendislik plastiklerinin ergime akış indisleri ölçülmüştür (Resim 6.3). MFI değeri, kullanılan mühendislik plastikleri üretici firmalarının kataloglarında yer alan ergime derecesi esas alınarak 5 kg yük altında, 10 dakika içerisinde akan polimerin gram olarak değeridir. Yapılan deneyler sonucunda mühendislik plastiklerinin büyükten küçüğe doğru ergime akış indislerinin sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS (115, 100, 67, 65, 11 g/10 dak.) malzemeleri olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.7).



Resim 6.3. Ergime akış indisi ölçme deney cihazı

6.4. Plastik Enjeksiyon Tezgâhı

Çalışkan Plastik Ltd. Şirketi'nde bulunan 160 gramlık JİNHWA enjeksiyon tezgâhı kullanılmıştır. Tezgâhın özellikleri Çizelge 6.9'da verilmiştir. Kalıp, plastik enjeksiyon makinesine rijit bir şekilde bağlanmıştır (Resim 6.4).



Resim 6.4. Spiral akış kalıbının tezgâha bağlanması

6.5. Deneyin Yapılışı

Yapılan çalışmada, enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı değiştirilerek enjeksiyon işlemi esnasında plastiğin spiral kalıp içersindeki akış boyunun bulunması amaçlanmıştır. Çalışma esnasında yapılan her deneyde bir parametrede değişiklik yapılmış ve diğerleri sabit tutularak deneylerin yapılmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 6.9. Deneyde kullanılan plastik enjeksiyon tezgâhının özellikleri [47]

ÜNİTE	İŞLEM	BİRİM	DEĞER
ENJEKSİYON ÜNİTESİ	Vida Çapı	mm	35
	Max Taşıma Hacmi	cm ³	168
	Azami Enjeksiyon Kapasitesi (PS)	g	160
	Azami Enjeksiyon Basıncı	bar	1400
	Azami Plastikleştirme Kapasitesi	Kg/h	58
	Vida Hızı	rpm	280
	Meme Sıkıştırma Kuvveti	ton	4,7
	Vida Hız Sistemi		Hidrolik Motor
MENGENE ÜNİTESİ	Kalıp Kapatma Kuvveti	ton	120
	Kalıp Açılma Mesafesi	mm	400
	Kalıp Yüksekliği (min/max)	mm	180/500
	Gergi Çubukları Arası Boşluk	mm	460 * 460
	Kalıp Plakası Ölçüleri	mm	675 * 675
	İtici Kuvveti	ton	4
	İtici Mesafesi	mm	110
	İtici Çubuğu		Merkez 1 + 4
ELEKTRİK & HİDROLİK ÜNİTESİ	Elektrik Motoru	Kw (HP)	18,5 (25)
	Isıtma Kapasitesi	Kw	8,1
DİĞER	Makine Ölçüleri	m	4,7×1,5×1,8
	Koruyucu Yağ Kapasitesi	l	320
	Makine Ağırlığı	ton	5,7
	Soğutma Suyu Tahliyesi	l/min	36

Ham plastik malzemeler enjeksiyon tezgâhına verilmeden önce üretici firmaların tavsiye ettiği kurutma şartlarında nemleri alınarak hazır hale getirilmiştir (Çizelge 6.8). Deneye başlamadan önce, kalıptaki su kanallarına hortumlar geçirilmiş ve kalıbın ısınması için kalıp şartlandırıcıya yağ konularak kalıbın 35 ±1 °C olması sağlanmıştır.

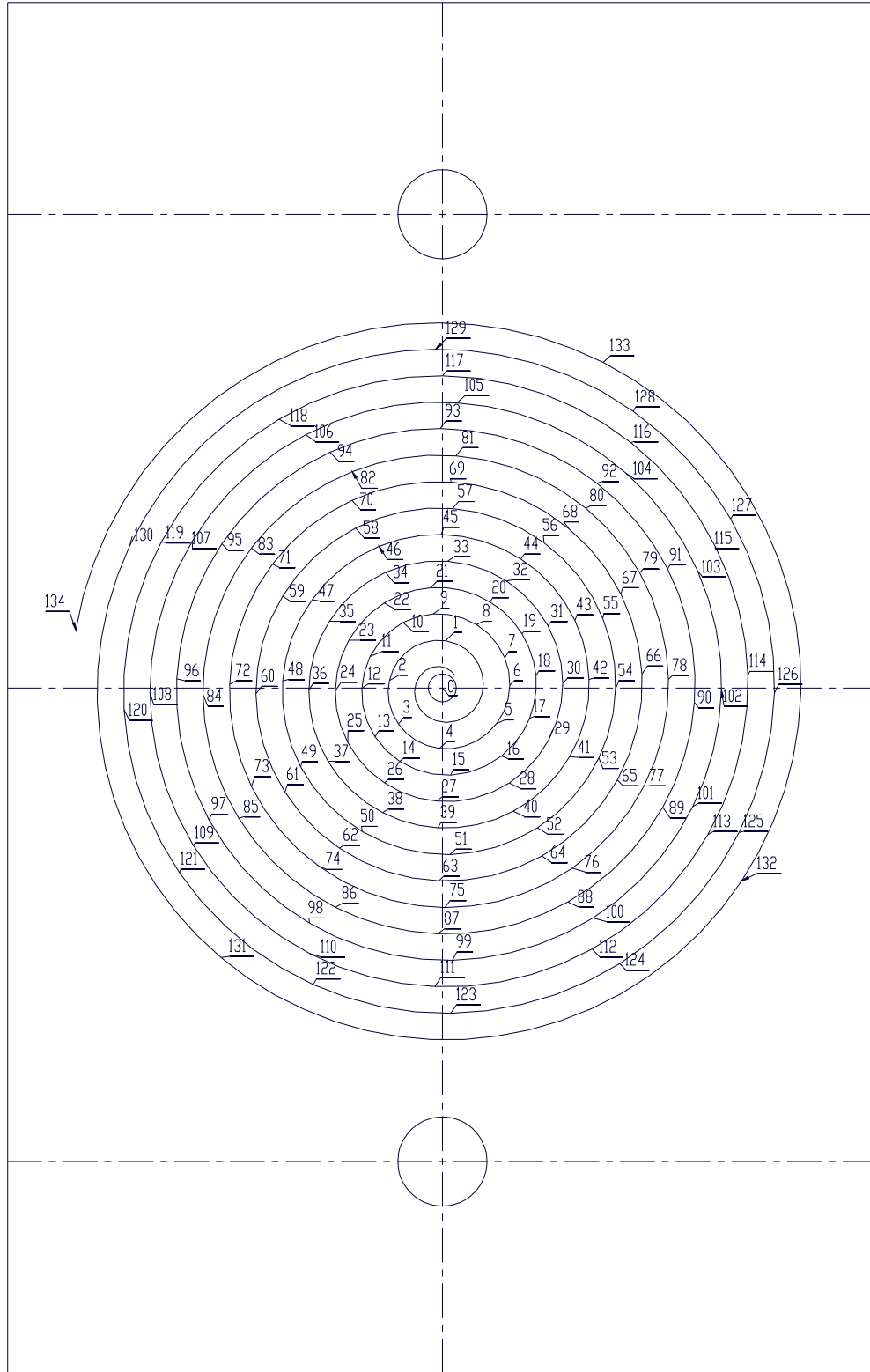
Enjeksiyon haznesine ilk etapta ergime sıcaklığı düşük olan POM malzemesi konularak silindir ve meme temizliği için bir miktar malzeme boşa akıtılmıştır. Kalıbın yağlardan temizlenmesi için birkaç numune basılmıştır. Temizlenen kalıp boşluğu basıma hazır hale getirilmiştir. Bu işlem her malzeme değişikliğinden sonra tekrarlanmıştır. Enjeksiyon işlemi sırasında her hangi bir problemle karşılaşıldığında, üretim aksadığından dolayı silindirde bekleyen plastiğin seçilen parametrelerin gerçek değerlerini verebilmesi için bir miktar malzeme memeden boşa akıtılmıştır. Yine deney esnasında her parametre değişikliğinde en az 3–4 numune basılarak gerçek değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Bütün değerlerin elde edilmesi için toplam olarak 1050’ye yakın ürün basılmıştır.

Enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisine bağlı akış uzunluklarının araştırıldığı bu deneyde; üretici firmaların tavsiye ettiği değerlerin iki veya üç alt ve üst değerleri alınmıştır.

6.6. Deney Numunelerinin Ölçülerinin Hesaplanması

Deney numunelerinin akış uzunluğunu ölçme işlemi tek tek olarak yapılmıştır. Kanal kesitleri farklı olan spiral plakalardan elde edilen numunelerin akış uzunluğunu ölçmek için Solidworks programında tasarlanan parça SLDPRT olarak kaydedilmiştir. Parça yeni bir dosyada DWG olarak kaydedilmiştir. Daha sonra Autocad programında açılarak SLDDRW olarak kaydedilmiştir. “Measure” komutu kullanılarak spiral kanal uzunlukları belirli aralıklarla ölçülerek resim üzerine not edilmiştir (Şekil 6.7 ve Çizelge 6.10).

Ölçme işlemi sona erdikten sonra parça 1:1 ölçeğinde yazıcıdan çıkartılarak PC’den imal edilmiş iki levha arasına konulmuştur. Ürünü dışı kalıp üzerine yerleştirerek (Resim 6.5) ölçme şablonuyla akış boyları ölçülmüştür (Resim 6.6). Farklı spiral kanal derinliğine sahip plakalarda ölçme işlemi aynı şekilde yapılmıştır.



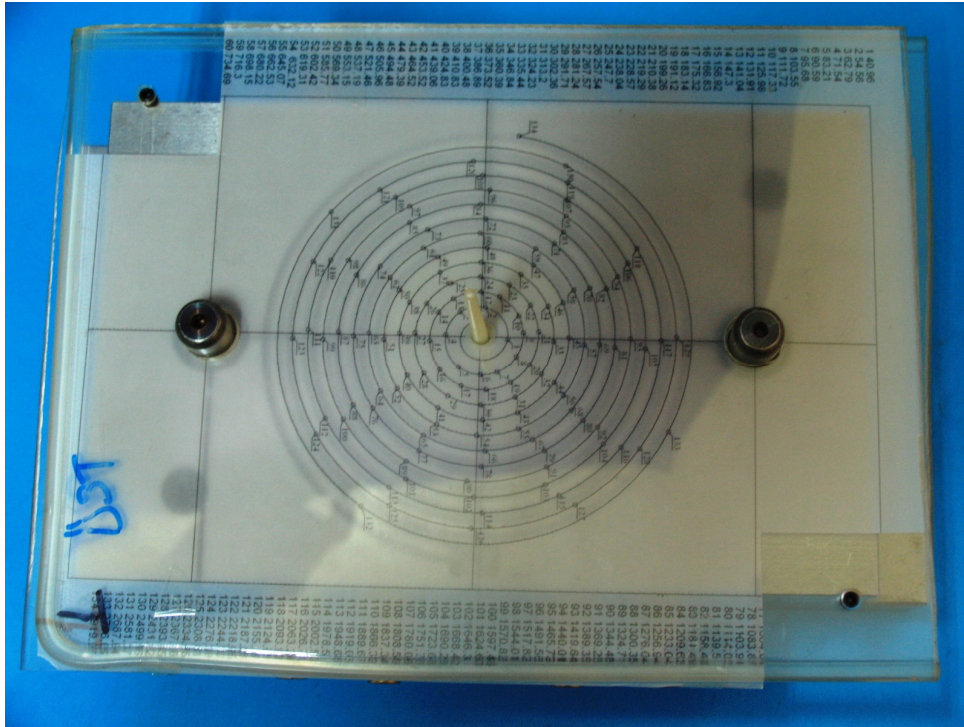
Şekil 6.7. 1,6 mm'lik numunenin spiral uzunluk ölçüm değerleri

Çizelge 6.10. 1,6 mm'lik numunenin spiral uzunluk ölçüm değerleri

Nokta	Mesafe (mm)	Nokta	Mesafe (mm)	Nokta	Mesafe (mm)	Nokta	Mesafe (mm)
1	40,96	35	360,39	69	898,03	103	1668,42
2	54,56	36	373,52	70	916,29	104	1690,28
3	62,79	37	386,89	71	934,73	105	1723,68
4	71,54	38	400,48	72	958,05	106	1751,76
5	83,21	39	410,83	73	976,9	107	1780,06
6	90,59	40	424,83	74	995,94	108	1808,59
7	95,68	41	439,06	75	1019,99	109	1837,34
8	103,55	42	453,52	76	1044,33	110	1866,32
9	111,72	43	464,52	77	1064,01	111	1889,67
10	117,33	44	479,39	78	1083,87	112	1919,05
11	125,98	45	494,48	79	1103,91	113	1948,66
12	131,91	46	505,96	80	1114,02	114	1978,5
13	141,04	47	521,46	81	1139,5	115	2002,53
14	147,3	48	537,19	82	1158,48	116	2026,71
15	156,92	49	553,15	83	1181,49	117	2063,24
16	166,83	50	569,34	84	1209,62	118	2093,93
17	175,32	51	585,77	85	1233,04	119	2124,85
18	183,14	52	602,42	86	1256,94	120	2155,99
19	191,12	53	619,31	87	1276,04	121	2187,36
20	199,26	54	632,12	88	1300,35	122	2218,95
21	210,38	55	645,07	89	1324,71	123	2244,39
22	219,29	56	662,53	90	1344,48	124	2276,39
23	228,57	57	680,22	91	1369,25	125	2308,61
24	238,04	58	698,15	92	1389,35	126	2334,55
25	247,7	59	716,3	93	1419,64	127	2367,18
26	257,54	60	734,69	94	1440,01	128	2393,45
27	267,57	61	753,31	95	1465,72	129	2431,22
28	281,24	62	767,42	96	1491,56	130	2499,96
29	291,71	63	786,44	97	1517,82	131	2581,37
30	302,36	64	805,7	98	1544,01	132	2687,94
31	313,2	65	825,18	99	1570,82	133	2796,65
32	324,23	66	844,89	100	1597,46	134	2919,97
33	335,44	67	859,83	101	1624,63		
34	346,84	68	874,9	102	1646,3		



Resim 6.5. Basılan ürünün spiral kanal içinde görünümü



Resim 6.6. Spiral akış uzunluğunun ölçme şablonuyla ölçülmesi

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

7.1. Bazı Mühendislik Plastiklerinin Akış Uzunluğunun İncelenmesi

Enjeksiyon parametrelerinin, mühendislik plastiklerinin basılabilirlik veya akış uzunluğu üzerinde etkisinin araştırıldığı bu çalışma üç aşamadan meydana gelmiştir.

Birinci aşamada; Literatür çalışmaları ışığında akış uzunluğunu elde eden ASTM D3123 standardına göre kalıp tasarımı yapılmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada; Yapımı tamamlanan kalıbın enjeksiyon tezgâhına bağlanması ve enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisinin etkilerini araştırmak amacıyla numuneler elde edilmiştir.

Üçüncü aşamada; Basılan numunelerin akış uzunluklarının hazırlanan şablonla ölçülmesidir. Böylece akış uzunlukları ile silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisi arasındaki ilişkiler karşılaştırılarak grafik haline getirilmiştir ve literatür araştırması ışığında sonuçları tartışılmıştır.

7.1.1. ABS malzemesiyle elde edilen sonuçlar

ABS malzemesi için alınan enjeksiyon sıcaklığının en alt değerlerindeki 170–180 °C arasında hiç plastik basılamadığı veya sadece yolluğun basıldığı görülmüştür. Üst değerlerdeki 250–260 °C arasında ise, akış uzunluklarında fazla değişiklik olmamıştır. ABS malzemesinin kalıpta basılan numunelerinin akış boylarının ölçülmesi ile elde edilen enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1) görüldüğü gibi enjeksiyon sıcaklığı arttıkça malzemenin akış boyunun da düzgün arttığı görülmektedir. Enjeksiyon sıcaklığı 250 °C üzerine çıkıldığında malzemede koku ve yanma meydana gelmiştir. Ayrıca malzemede renk değişikliği ve yüzeyde çökmeler ortaya çıkmıştır. Numunenin kalıptan çıkarılması esnasında soğutulma süresi aynı tutulduğundan spiral kanal derinliği arttıkça yolluğun koptuğu gözlenmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı 220 °C ve üzerinde kanal

derinliği 1,6 ve 2 mm’de birbirine yakın akış boyu elde edilirken, 3 ve 4 mm’de ise daha fazla akış boyu elde edilmiştir. Bunun sebebi kanal derinliği arttıkça akma oranının daha iyi olmasıdır. ABS malzemesi üretici firmasının tavsiye ettiği enjeksiyon sıcaklığı olan 220 °C’de kanal derinliği 1,6–4 mm arasında artışın %302 olduğu saptanmış ve enjeksiyon sıcaklığının bu değerde olması ispatlanmıştır.

Dainippon inj. and Chemicals firması [8], yaptığı çalışmada ABS malzemesinin akış uzunluğunu 411 mm olarak rapor etmişlerdir.

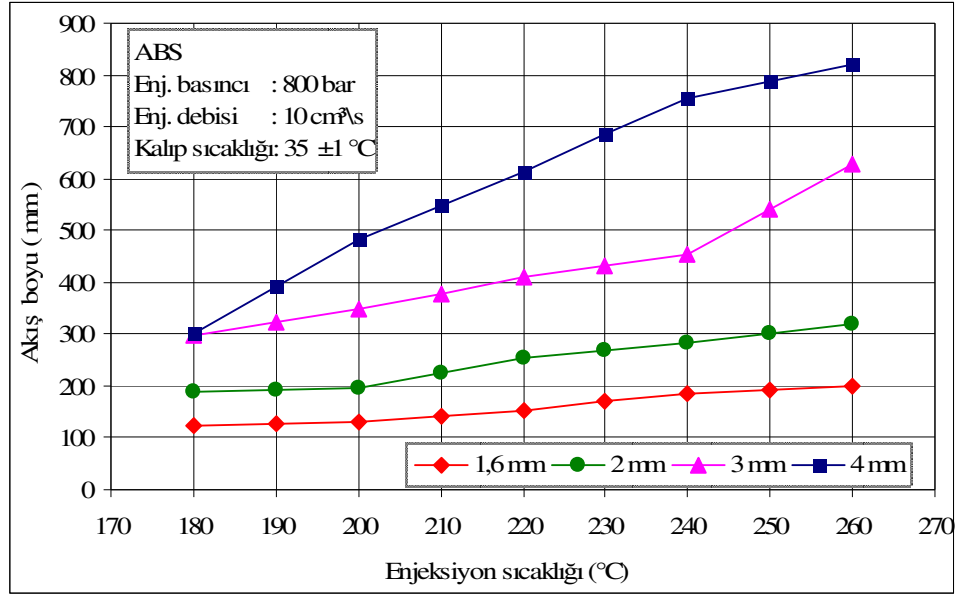
Yapılan çalışmada enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm’de akış boyu 411 mm olduğu görülmektedir (Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1).

Bayer firmasının [21], Bayblend T45 adını verdikleri ABS plastiğini enjeksiyon sıcaklığı 260 °C, enjeksiyon basıncı 650 bar, kalıp sıcaklığı 80 °C ve kanal derinliği 3 mm’de maksimum akış uzunluğunu 545 mm olarak tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmada enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm’de akış boyu 541 mm olduğu tespit edilmiştir. Aradaki farkın kalıp sıcaklığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1).

Çizelge 7.1. ABS malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi
(Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
180	125	188	299	400	142,4
190	127	192	323	440	208,7
200	129	196	347	481	272,9
210	141	226	379	548	288,7
220	153	255	411	615	302
230	169	269	433	685	305,3
240	185	282	454	755	308,1
250	193	302	541	787	307,8
260	200	321	627	819	309,5
Akış boyu değişikliği (%)	60	70,7	109,7	104,8	



Şekil 7.1. ABS malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

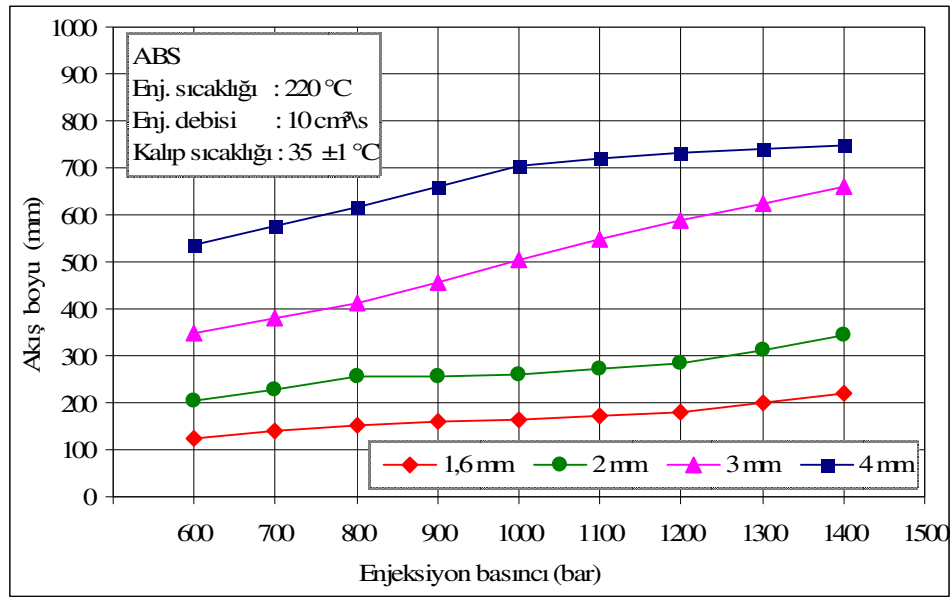
Enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.2 ve Şekil 7.2), basınç artışı ile akış boyunun lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Akış boyu değişikliğine bakıldığında kanal derinliği 1,6 ve 2 mm’de birbirine paralel olarak artış (akış boyu değişikliği sırasıyla %78,2, %68,1) olduğu, 3 mm’de ise en iyi akışın (akış boyu değişikliği %89,7) sağlandığı tespit edilmiştir. Basıncın 800–1200 bar olduğu seviyelerde kanal derinliği 1,6 ve 2 mm’de akış boyu düşük gerçekleşmesine rağmen, basıncın daha üst değerlerinde ise akış boyunun arttığı gözlenmiştir. Basıncın 1200 ve üzeri olduğu seviyelerde kanal derinliği 1,6, 2 ve 3 mm’de akış boyunun artmaya devam ettiği, 4 mm’de ise akış boyunda artışın çok değişmediği (akış boyu değişikliği %39,1) tespit edilmiştir.

CHI MEI firması[18], ABS için enjeksiyon basıncı 1400 bar’da akış uzunluğunu 650 mm olarak elde etmişlerdir. Deney şartları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Enjeksiyon basıncı arttıkça akış uzunluğunun arttığını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 1400 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm’de akış uzunluğu 660 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.2. ABS malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 220 °C, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
600	124	204	348	537	333,1
700	139	230	380	576	314,4
800	153	255	411	615	302
900	159	258	458	661	315,7
1000	164	261	505	706	330,5
1100	173	273	547	719	315,6
1200	181	284	589	732	304,4
1300	201	314	625	740	268,2
1400	221	343	660	747	238
Akış boyu değişikliği (%)	78,2	68,1	89,7	39,1	



Şekil 7.2. ABS malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

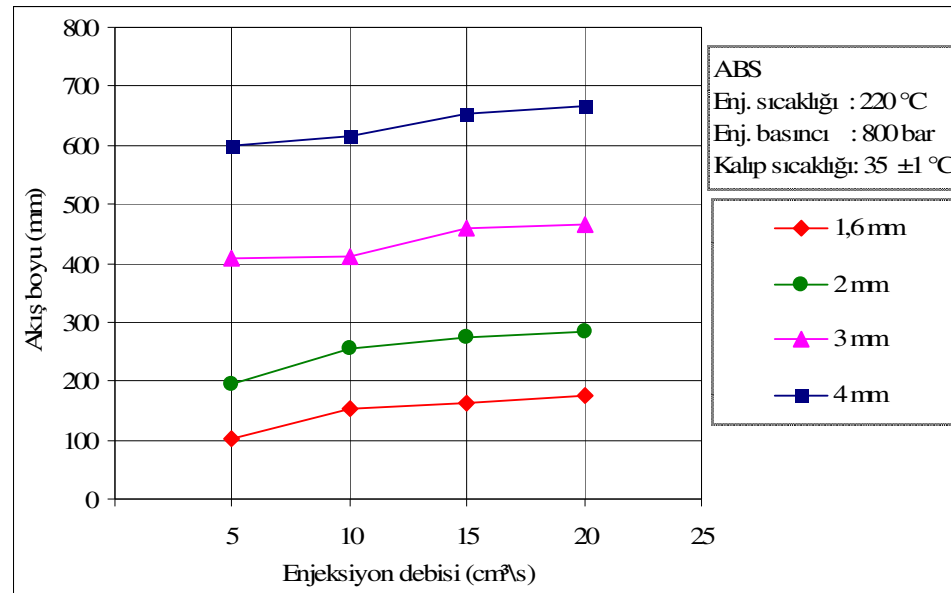
Enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.3 ve Şekil 7.3) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 15 cm³/s'den sonra akış boyunda fazla artış tespit edilmemiştir. Ayrıca debi arttıkça, vidanın hızlı bir şekilde ilerlemesi ve basılan miktarın kalıba gönderilmesinin ani gerçekleşmesi sonucunda makinede sarsıntıya neden olduğu görülmüştür.

Lupital firması [9], tarafından yapılan deneyde ABS için, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 1180 bar, enjeksiyon debisi 4 cm³/s, kalıp sıcaklığı 30 °C ve akış yolu kalınlığı 2 mm’de spiral akış boyunun 230 mm olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada ABS için, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 2 mm’de spiral akış uzunluğu 255 mm bulunmuştur. Aradaki farkın enjeksiyon debisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.3 ve Şekil 7.3).

Çizelge 7.3. ABS malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 220 °C, enj. basıncı: 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
5	103	196	408	599	481,6
10	153	255	411	615	302
15	164	274	458	653	298,2
20	174	284	466	667	283,3
Akış boyu değişikliği (%)	68,9	44,9	14,2	11,4	

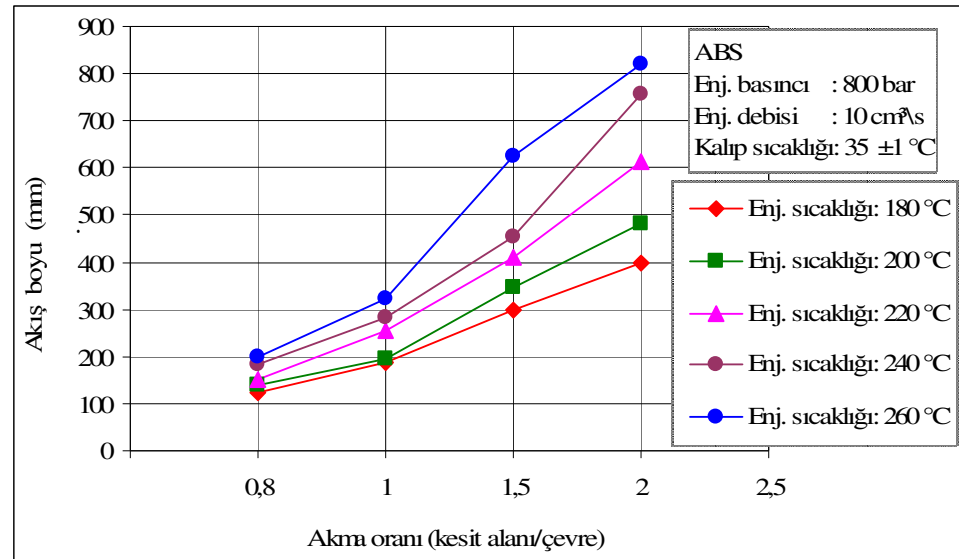


Şekil 7.3. ABS malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

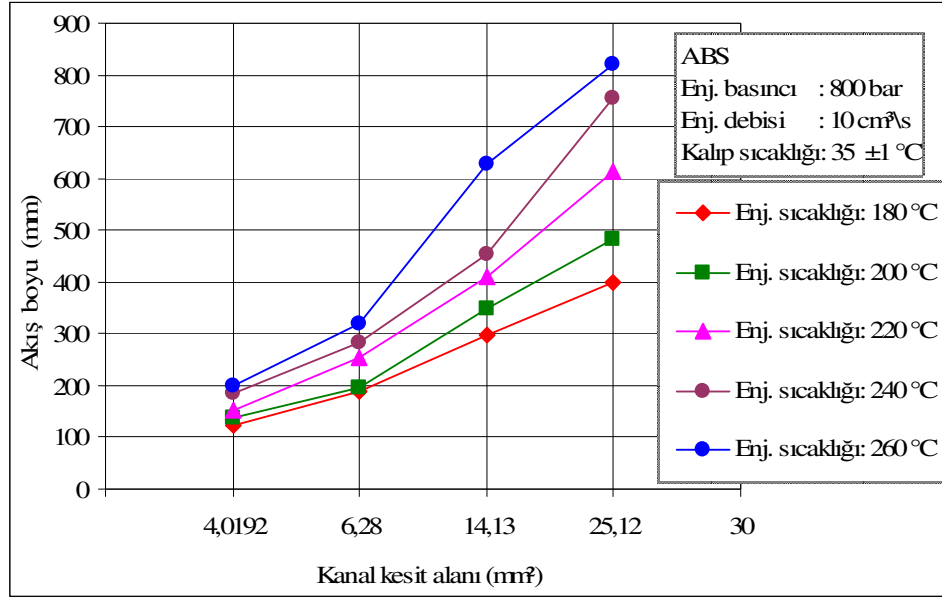
ABS malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına (kanal kesit alanı/çevre) ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.4, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da arttığı görülmüştür. Kanal kesit alanı 4,01'de malzeme baskısı esnasında ütüleme basıncı iyi yapılamamıştır. Oysa kesit alanı 25,12'de malzeme baskısı esnasında ütüleme basıncı yapılmasına rağmen numuneler üzerinde çökme meydana gelmiştir. Yine kesit alanı 14,13–25,12 mm²'deki baskılarda sıcaklık arttırılınca soğutma süresi sabit tutulduğundan bazı numunelerde yolluğun koptuğu saptanmıştır.

Çizelge 7.4. ABS malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Kanal derinliği (mm)	Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (kesit alanı/çevre)	ABS malzemesinde kullanılan enjeksiyon sıcaklıkları					Akış boyu değişikliği (%)
			180 °C	200 °C	220 °C	240 °C	260 °C	
1,6	4,01	0,8	125	139	153	185	200	60
2	6,28	1	188	196	255	282	321	70,7
3	14,13	1,5	299	347	411	454	627	109,7
4	25,12	2	400	481	615	755	819	104,8
Akış boyu değişikliği (%)			220	246	302	308,1	309,5	

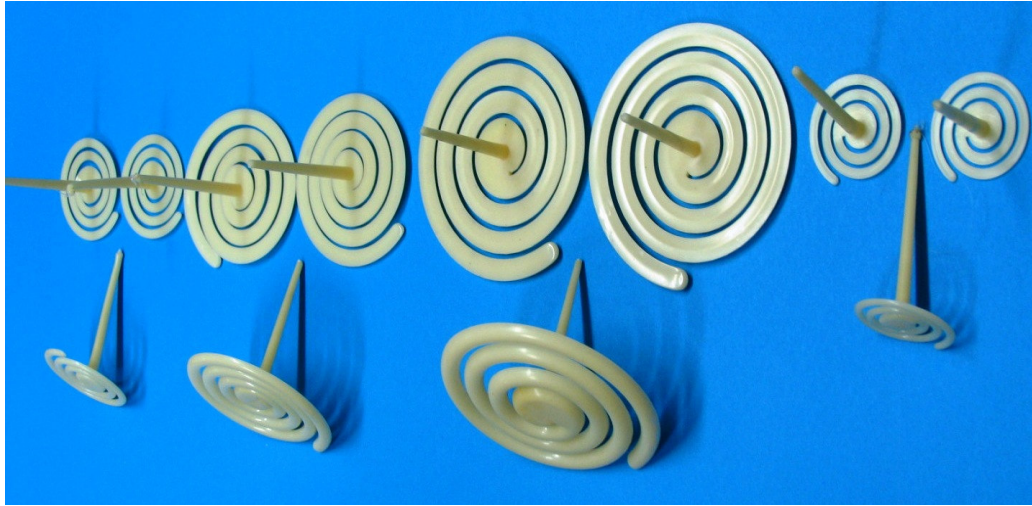


Şekil 7.4. ABS malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği



Şekil 7.5. ABS malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

ABS malzemesinin uygun enjeksiyon parametreleri kapsamında Enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, debisi, kanal kesit alanı ve akma oranı arttıkça akış boyunda artış olduğu saptanmıştır. ABS malzemesinin spiral kalıplanmış hali Resim 7.1’de görülmektedir.



Resim 7.1. ABS malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri

7.1.2. PA6 malzemesiyle elde edilen sonuçlar

PA6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklık parametrelerinin en alt değerlerindeki 190–200 °C hiç plastik basılmadığı görülmüştür. Enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.5 ve Şekil 7.6) görüldüğü gibi enjeksiyon sıcaklığı arttıkça akış boyunun da arttığı gözlenmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı 270 °C ve üzeri uygulandığında malzemede koku ve yanma meydana gelmiştir. Yine 270 °C ve üzeri sıcaklıklarda spiral kanal derinliği büyüdükçe malzeme yüzeyinde çökmeler meydana geldiği saptanmıştır. Özellikle 1,6 mm spiral kanal derinliğinde elde edilen numunelerin 270 °C’den sonra aşırı yanma yaptığı saptanmıştır. Spiral kanal derinliği 4 mm olan numunelerde ise 270 °C’den sonra malzeme yüzeyinde çökmeler meydana geldiği saptanmıştır. PA6 malzeme üretici firmasının tavsiye ettiği enjeksiyon sıcaklığı olan 250 °C’de kanal derinliği 1,6–4 mm arasında artışın %313 olduğu saptanmış ve enjeksiyon sıcaklığının bu değerde olması ispatlanmıştır.

BASF plastik firması [20], Ultramid adını verdikleri B3EG3 PA6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 290 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C ve kanal derinliği 1,5 mm’de akış boyunu 515 mm olarak elde etmişlerdir.

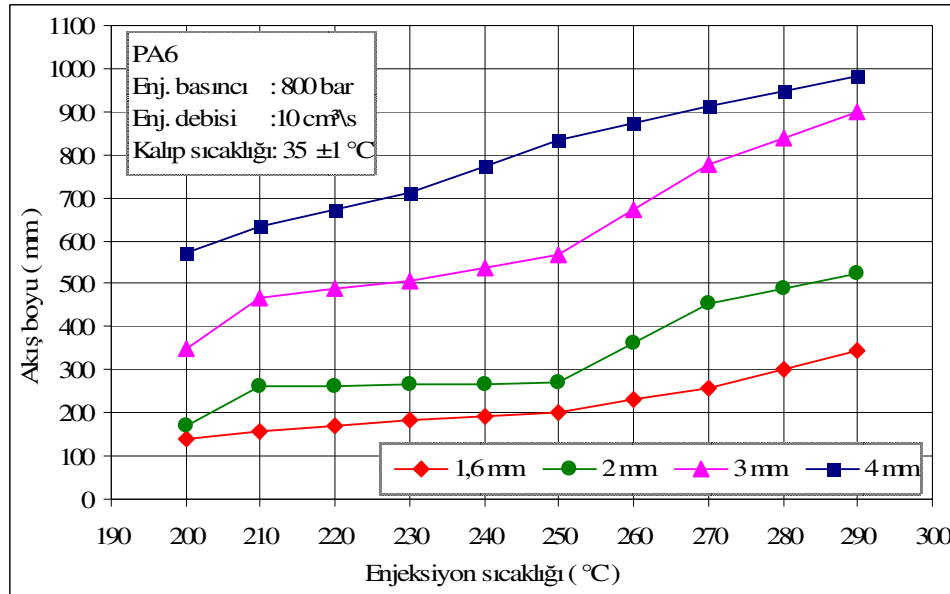
Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 290 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 2 mm’de spiral akış boyu 524 mm olduğu gözlenmiştir. Aradaki farkın kanal derinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.5 ve Şekil 7.6).

Yine BASF plastik firması [20], Ultramid adını verdikleri A3K PA6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 270 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C ve kanal derinliği 1,5 mm’de akış boyunu 415 mm olarak elde etmişlerdir.

Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 270 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 2 mm’de spiral akış boyu 453 mm olduğu tespit edilmiştir. Aradaki farkın kalıp sıcaklığı ve kanal derinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.5 ve Şekil 7.6).

Çizelge 7.5. PA6 malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi
(Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
200	140	169	349	570	307,1
210	156	260	465	632	305,1
220	170	264	487	671	294,7
230	184	267	508	710	285,9
240	193	268	538	773	300,5
250	202	269	569	835	313,4
260	230	361	672	874	280
270	258	453	775	914	254,3
280	301	489	838	948	215
290	343	524	900	982	186,3
Akış boyu değişikliği (%)	145	210,1	157,9	72,3	

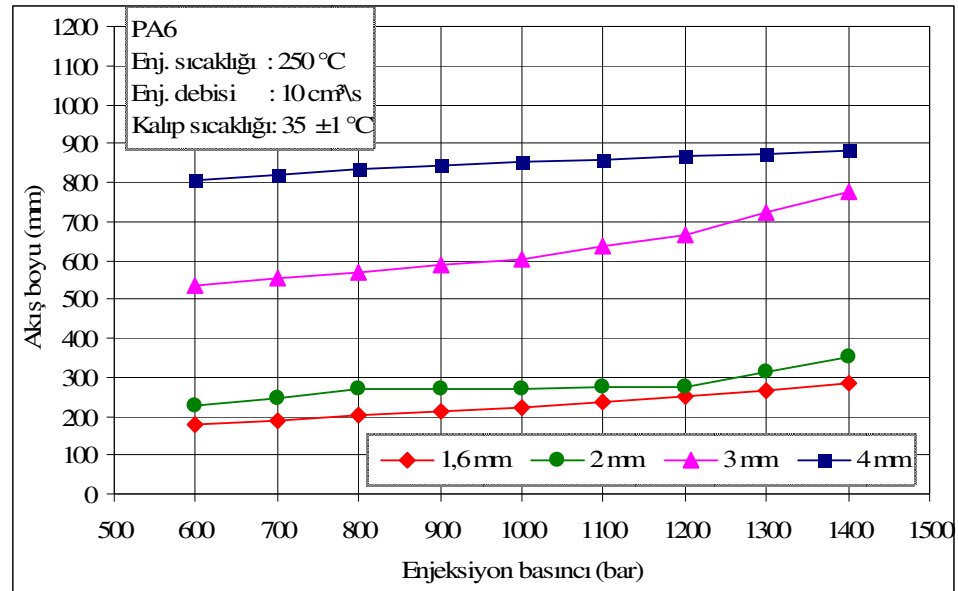


Şekil 7.6. PA6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

Enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.6 ve Şekil 7.7) görüldüğü gibi enjeksiyon basınç artışı ile akış boyunun da lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Enjeksiyon basıncı 800–1200 bar arasında akış boyunu çok değiştirmedikleri görülmektedir. 1200 bardan sonra akış uzunluğunun artmaya başladığı görülmektedir. Basıncın akış boyunu en çok arttırdığı kanal kesitinin 1,6 mm olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.6. PA6 malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 250 °C, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
600	176	228	535	805	357,4
700	189	248	552	820	333,9
800	202	268	569	835	313,4
900	213	270	586	844	296,2
1000	223	272	603	852	282,1
1100	237	274	635	859	262,4
1200	250	275	667	866	246,4
1300	267	313	722	874	227,3
1400	284	351	777	881	210,2
Akış boyu değişikliği (%)	61,4	53,9	45,2	9,4	



Şekil 7.7. PA6 malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

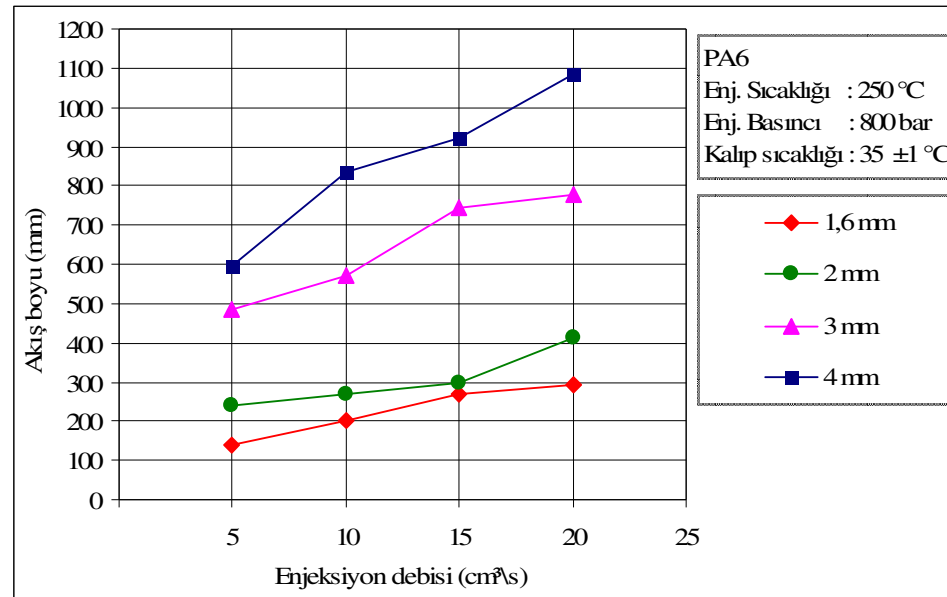
Enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.7 ve Şekil 7.8) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 10 cm³/s'den sonra akış boyunda fazla artış tespit edilmiştir. Buna göre PA6 malzemesinin uygun enjeksiyon debisinin 10 cm³/s'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek sıcaklık debi kullanılırken enjeksiyon zamanının azaldığı fakat parça çıkarılması sırasında yolluğun koptuğu saptanmıştır.

Lupital firması [9], tarafından yapılan deneyde PA6 için, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 1180 bar, enjeksiyon debisi 40 cm³/s, kalıp sıcaklığı 30 °C ve akış yolu kalınlığı 2 mm’de spiral akış boyunun 450 mm olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada ise PA6 için enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal genişliği 2 mm’de spiral akış boyu 412 mm olduğu tespit edilmiştir. Aradaki farkın enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.7 ve Şekil 7.8).

Çizelge 7.7. PA6 malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 250 °C, enj. basıncı: 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
5	140	240	485	596	325,7
10	202	269	569	835	313,4
15	268	300	744	923	244,4
20	291	412	780	1083	272,2
Akış boyu değişikliği (%)	107,9	71,7	60,8	81,7	



Şekil 7.8. PA6 malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

ABS malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da arttığı görülmektedir. Kanal kesit alanı 4,01 mm²'de olan numunelerin basımında 270 °C yüksek sıcaklıkta aşırı yanma meydana gelmiştir. Ayrıca malzemede renk değişikliği ortaya çıkmıştır. Numunenin kalıptan çıkarılmasından sonra çarpılma çok olmuştur. Kesit alanı 25,12 mm²'de basılan numunelerde çökme meydana geldiği saptanmıştır. PA6 malzemesinin zarar görmeden basıldığı 250 °C'de akma oranı en fazla kesit alanı 6,28 mm²'de olduğu saptanmıştır.

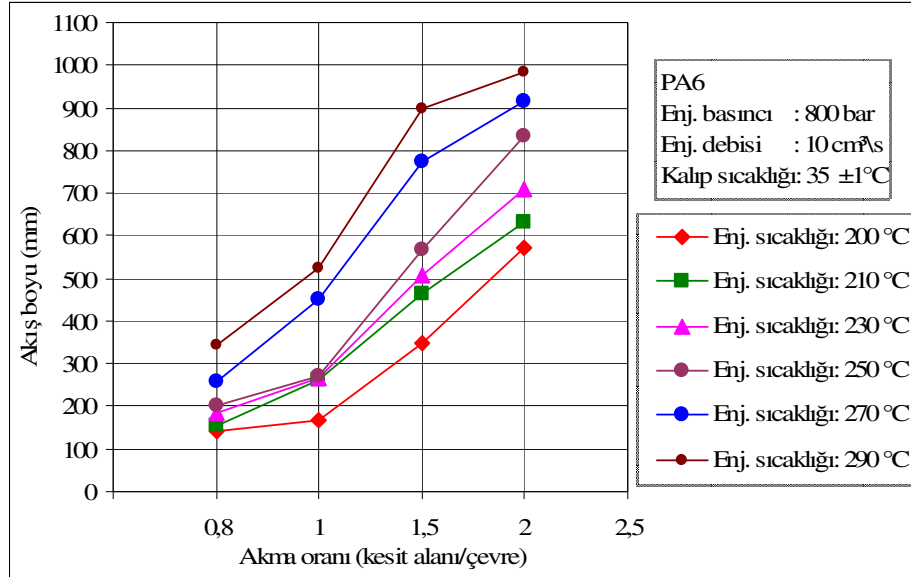
Hasan TURAÇLI'nın "Enjeksiyoncunun El Kitabı"nda [3], PA malzemesi için, parça et kalınlığı 2 mm'de 460 mm, 3 mm'de 780 mm olduğunu saptamıştır.

Herbert Rees, "Mold Engineering" adlı kitabında [7], PA için enjeksiyon basıncı 300 bar ve kanal derinliği 2 mm'de akış boyunun 435 mm olduğunu belirtmiştir.

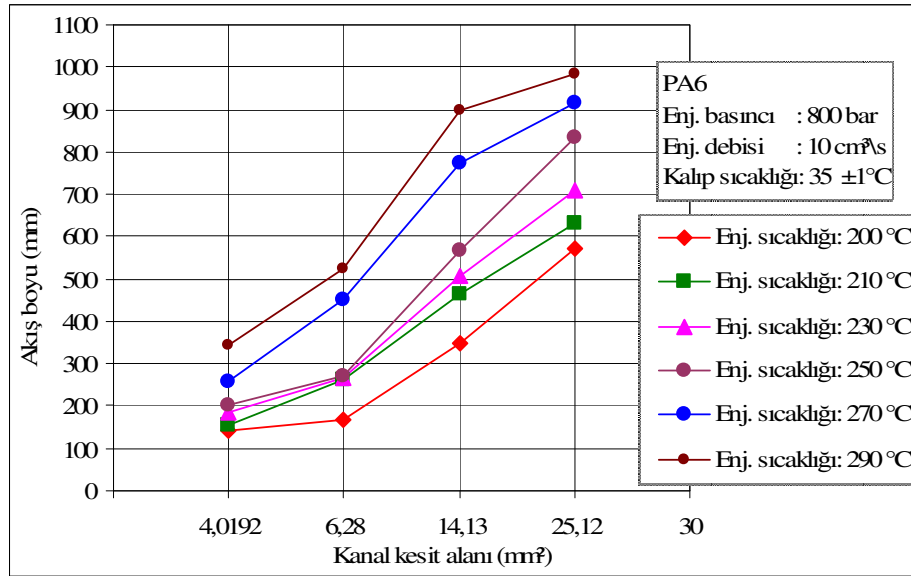
Yapılan çalışmada PA6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 270 °C, enjeksiyon basıncı 1200 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C ve kanal derinliği 2 mm'de 453 mm, 3 mm'de 775 mm olduğu tespit edilmiştir. Aradaki farkın enjeksiyon basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 7.8. PA6 malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Kanal derinliği (mm)	Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (kesit alanı/çevre)	PA6 malzemesinde kullanılan enjeksiyon sıcaklıkları						Akış boyu değişikliği (%)
			200 °C	210 °C	230 °C	250 °C	270 °C	290 °C	
1,6	4,01	0,8	140	156	184	202	258	343	145
2	6,28	1	169	260	267	269	453	524	210,1
3	14,13	1,5	349	465	508	569	775	900	157,9
4	25,12	2	570	632	710	835	914	982	72,3
Akış boyu değişikliği (%)			307,1	305,1	285,9	313,4	254,3	186,3	



Şekil 7.9. PA6 malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği



Şekil 7.10. PA6 malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

PA6 malzemesinin uygun enjeksiyon parametreleri kapsamında Enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, debisi, kanal kesit alanı ve akma oranı arttıkça akış boyunda artış olduğu saptanmıştır. PA6 malzemesinin spiral kalıplanmış hali Resim 7.2’de görülmektedir.



Resim 7.2. PA6 malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri

7.1.3. PA6.6 malzemesiyle elde edilen sonuçlar

PA6.6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklık parametrelerinin en alt değerlerinde 240–250 °C arasında malzemenin homojen bir şekilde ergimediği, memeden boşa akıtılan malzemenin eriyik kırığı şeklinde olduğu görülmüştür. Enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.9 ve Şekil 7.11) görüldüğü gibi enjeksiyon sıcaklığı arttıkça akış boyunun da lineer olarak arttığı gözlenmiştir. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon sıcaklığı arttığında malzemedeki yanma ve çökme gerçekleşmemiştir. PA6'ya göre işlenebilirliğin daha uygun olduğu saptanmıştır. 300–310 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda malzemedeki koku meydana gelmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı 290 °C ve üzerinde kanal derinliği 1,6 ve 2 mm'de birbirine yakın akış boyu oranları elde edilirken, 3 ve 4 mm'de ise daha fazla akış boyu elde edilmiştir. En fazla akışın arttığı kanal derinliği ise 3 mm olduğu görülmüştür. PA6.6 malzemesi üretici firmasının verdiği enjeksiyon sıcaklığı olan 290 °C' kanal derinliği 1,6–4 mm arasında artışın %331 olarak saptanmış ve enjeksiyon sıcaklığının bu değerde olması ispatlanmıştır. Enjeksiyon sıcaklığı 290 °C'den sonra akış boyunda fazla değişiklik meydana gelmemiştir.

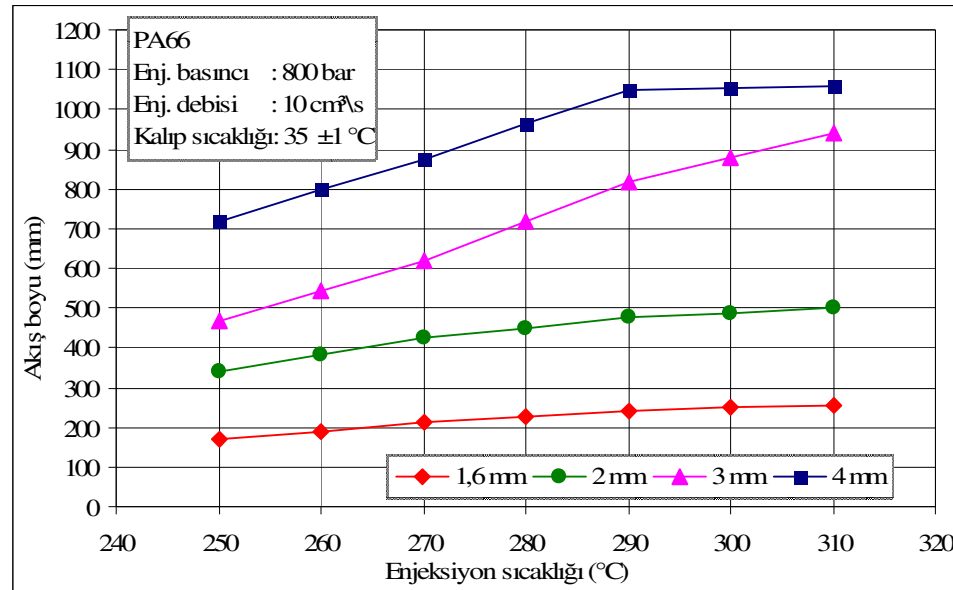
BASF plastik firması [20], Ultramid adını verdikleri A3K PA malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 300 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C ve kanal derinliği 1 mm'de 250 mm akış uzunluğu elde etmişlerdir.

Yine BASF plastik firması [20], Ultramid adını verdikleri B3WGM24 PA6.6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 280 °C, kalıp sıcaklığı 80 °C ve kanal derinliği 2 mm’de 490 mm akış uzunluğu elde etmişlerdir.

Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 300 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı 35 ± 1 °C, enjeksiyon debisi 10 cm³/s ve kanal genişliği 1,6 mm’de 250 mm, 2 mm’de 487 mm akış uzunluğu elde edilmiştir. Aradaki farkın kalıp sıcaklığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.9 ve Şekil 7.11).

Çizelge 7.9. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi
(Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
250	169	339	466	720	326
260	190	383	542	798	320
270	211	426	618	876	315,2
280	227	451	718	962	323,8
290	243	475	818	1048	331,3
300	250	487	880	1052	320,8
310	257	499	941	1056	310,9
Akış boyu değişikliği (%)	52,1	47,2	101,9	46,7	

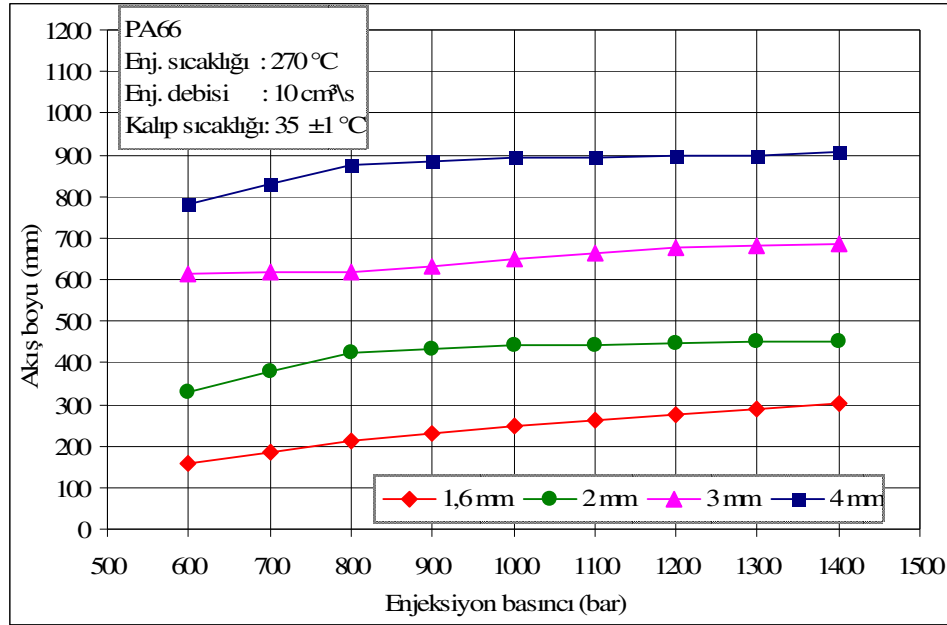


Şekil 7.11. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

Enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.10 ve Şekil 7.12) görüldüğü gibi enjeksiyon basınç artışı ile akış boyunun da lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Enjeksiyon basıncı 600–800 bar arasında akış boyunu arttırdığı, 800–1400 bar arasında ise akış boyunda çok değişiklik meydana gelmediği görülmüştür. Enjeksiyon basıncı en fazla 1,6 mm kanal derinliğinde etkili olmuştur.

Çizelge 7.10. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 270 °C, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
600	160	329	615	781	388,1
700	185	377	616	828	347,6
800	211	426	618	876	315,2
900	229	433	633	885	286,5
1000	247	441	648	895	262,3
1100	262	443	663	895	241,6
1200	277	446	678	896	223,5
1300	289	449	682	900	211,4
1400	302	453	687	905	199,7
Akış boyu değişikliği (%)	88,8	37,7	11,7	15,9	

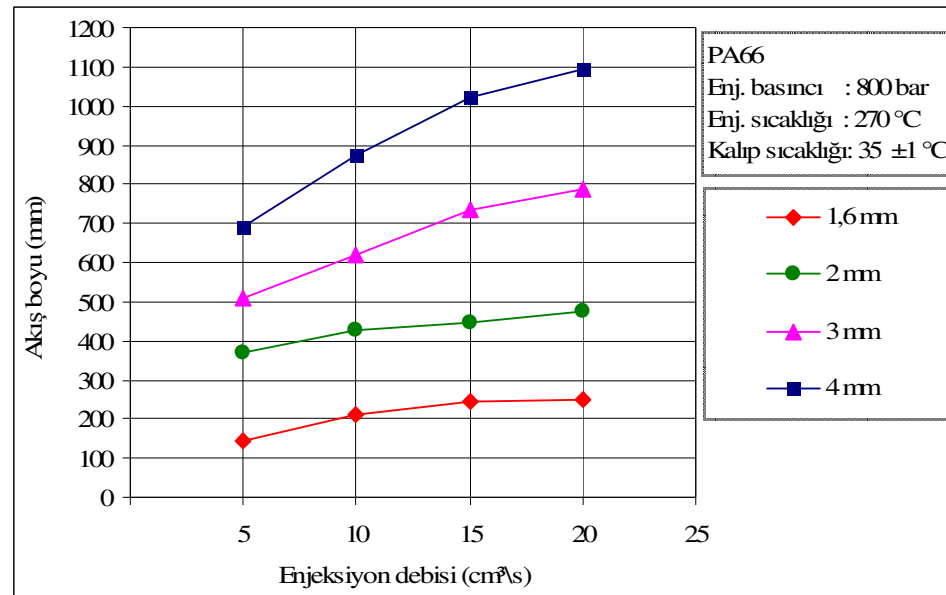


Şekil 7.12. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

Enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.11 ve Şekil 7.13) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 15 cm³/s'den sonra akış boyunda fazla artış tespit edilmemiştir. Buna göre PA6 malzemesinin uygun enjeksiyon debisinin 15 cm³/s'den yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek sıcaklık ve yüksek debide malzemede koku meydana gelmiştir. Akış boyundaki değişikliklere bakıldığında en iyi akış artışı 1,6 mm'de %74,8, en düşük % artışın ise kanal derinliği 2 mm'de %28 olduğu saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 5 cm³/s'de %382,5 artışla % artış oranının en fazla olduğu saptanmıştır.

Çizelge 7.11. PA6.6 malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 270 °C, enj. basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
5	143	371	510	690	382,5
10	211	426	618	876	315,2
15	244	447	735	1022	318,9
20	250	475	788	1093	337,2
Akış boyu değişikliği (%)	74,8	28	54,5	58,4	



Şekil 7.13. PA6.6 malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

PA6.6 malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.12, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da arttığı görülmektedir. Akma oranı ve kesiti alanı küçük olan numuneler, kalıptan çıktıktan sonra aşırı derecede çarpılma olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda malzemede koku meydana gelmiştir. Kanal kesit alanı 25,12 mm²'de basılan numunelerde çökme meydana gelmemiştir. PA6.6 malzemesinin zarar görmeden basıldığı 270 °C'de en uygun kanal derinliğinin 3 mm olduğu saptanmıştır.

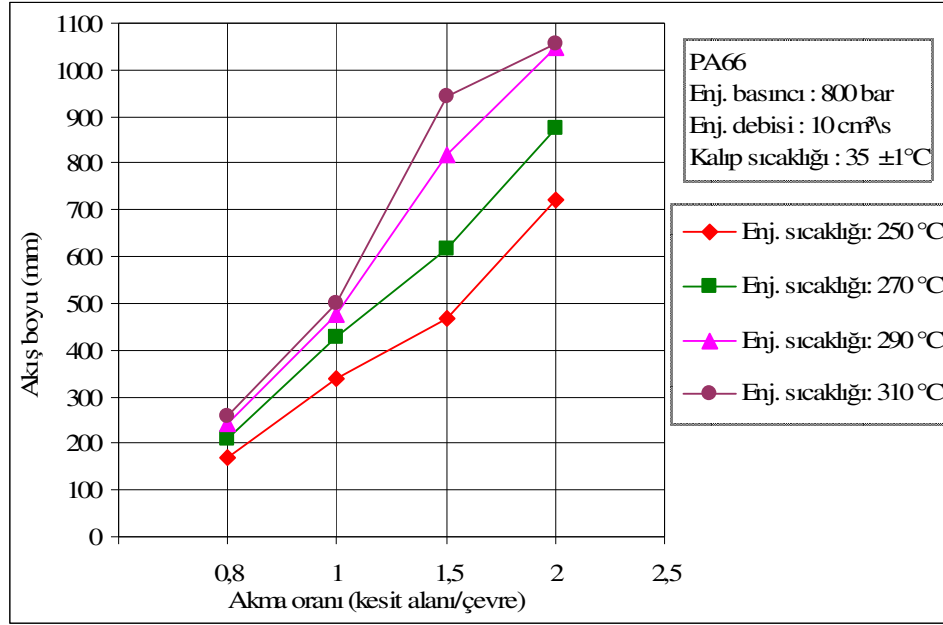
Hasan TURAÇLI'nın "Enjeksiyoncunun El Kitabı"nda [3], PA malzemesi için, spiral kanal derinliği 2 mm'de 460 mm, 4 mm'de 1080 mm olduğu görülmüştür. Deneyde kullanılan ortam şartları hakkında bilgi verilmemiştir.

Yapılan çalışmada PA6.6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s ve kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C'de kanal derinliği 2 mm'de 426 mm elde edilmiştir.

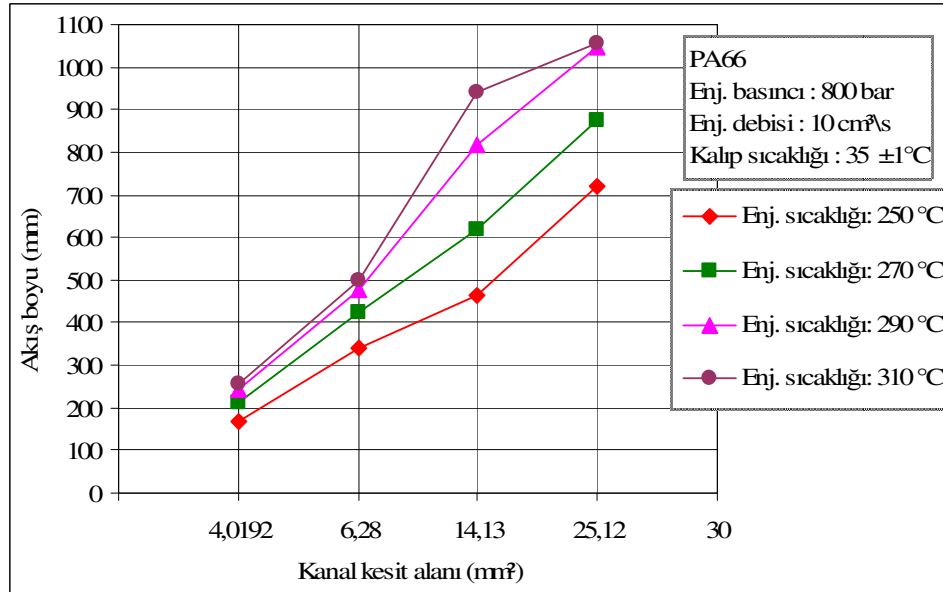
Yine yapılan çalışmada PA6.6 malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 310 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s ve kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C'de kanal derinliği 4 mm'de 1056 mm elde edilmiştir. Aradaki farkın spiral kanalın yüzey kalitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü 2 mm ve 4 mm kanal derinliğindeki plakaların yüzey pürüzlülüğü fazla çıkmıştır.

Çizelge 7.12. PA6.6 malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Kanal derinliği (mm)	Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (kesit alanı/çevre)	PA6.6 malzemesinde kullanılan enjeksiyon sıcaklıkları				Akış boyu değişikliği (%)
			250 °C	270 °C	290 °C	310 °C	
1,6	4,01	0,8	169	211	243	257	52,1
2	6,28	1	339	426	475	499	47,2
3	14,13	1,5	466	618	818	941	101,9
4	25,12	2	720	876	1048	1056	46,7
Akış boyu değişikliği (%)			326	315,2	331,3	310,9	



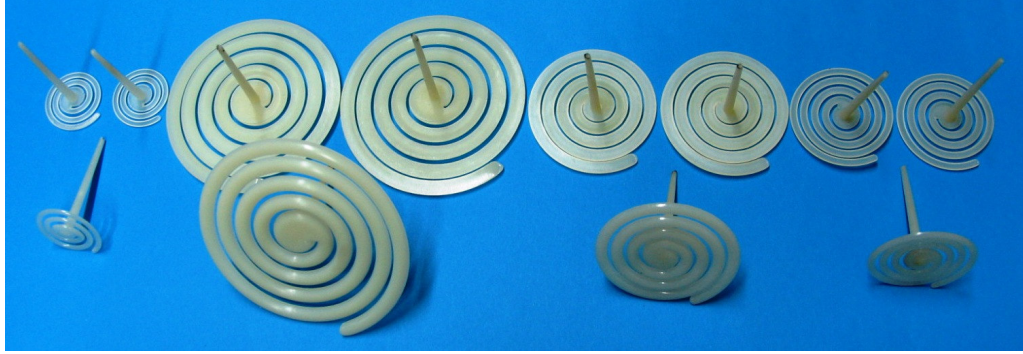
Şekil 7.14. PA6.6 malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği



Şekil 7.15. PA6.6 malzemesinin kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

PA6.6. malzemesinin uygun enjeksiyon parametreleri kapsamında Enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, debisi, kanal kesit alanı ve akma oranı arttıkça akış boyunda artış

olduğu saptanmıştır. PA6.6. malzemesinin spiral kalıplanmış hali Resim 7.3’de görülmektedir.



Resim 7.3. PA6.6 malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri

7.1.4. PC malzemesiyle elde edilen sonuçlar

PC malzemesi için alınan enjeksiyon sıcaklıklarının en alt değerlerindeki 240–250 °C arasında homojen bir ergime sağlanamadığından numune basılamamıştır. PC malzemesinin kalıpta basılan numunelerinin akış boylarının ölçülmesi ile elde edilen enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.13 ve Şekil 7.16) görüldüğü gibi enjeksiyon sıcaklığı arttıkça malzemenin akış boyunun da düzgün olarak arttığı görülmektedir. PC malzemesi amorf ve camsı bir görünümü olduğundan 250–260 °C arasındaki sıcaklıkta ürün içinde hava kabarcıkları, 310–330 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda ise aşırı renk bozukluğu ve yanma gerçekleştiği saptanmıştır. Düşük enjeksiyon sıcaklığı olan 290 °C’ye kadar akış boyu fazla artmamıştır. 290 °C’den sonra akış boyu hızlı bir şekilde artmıştır. 320–330 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda ise akış boyu artması olduğu fakat malzemede çökme ile beraber yolluğun koptuğu tespit edilmiştir. Kanal derinliği 1,6 ve 2 mm’de birbirine paralel ve akış boylarının artma oranı yakın değerlerde gerçekleştiği gözlenmiştir. Kanal derinliği 3 ve 4 mm’de birbirine paralel oranlarda artmıştır. PC malzemesi üretici firmasının verdiği enjeksiyon sıcaklığı olan 290 °C’ kanal derinliği 1,6–4 mm arasında artış %480 olarak saptanmış ve enjeksiyon sıcaklığının bu değerde olması ispatlanmıştır.

Bayer firması [12], tarafından üretilen Makrolon (PC) adlı malzemenin enjeksiyon sıcaklığı 300 °C, enjeksiyon basıncı 650 bar, kalıp sıcaklığı 80 °C ve parça kalınlığı 2 mm’de 2405 malzemesi 225 mm olduğu saptanmıştır.

GE plastik firması [13], PC malzemesinin enjeksiyon sıcaklığı 300 °C, parça et kalınlığı 2 mm’de akış uzunluğunun 195 mm olduğunu tespit etmişlerdir.

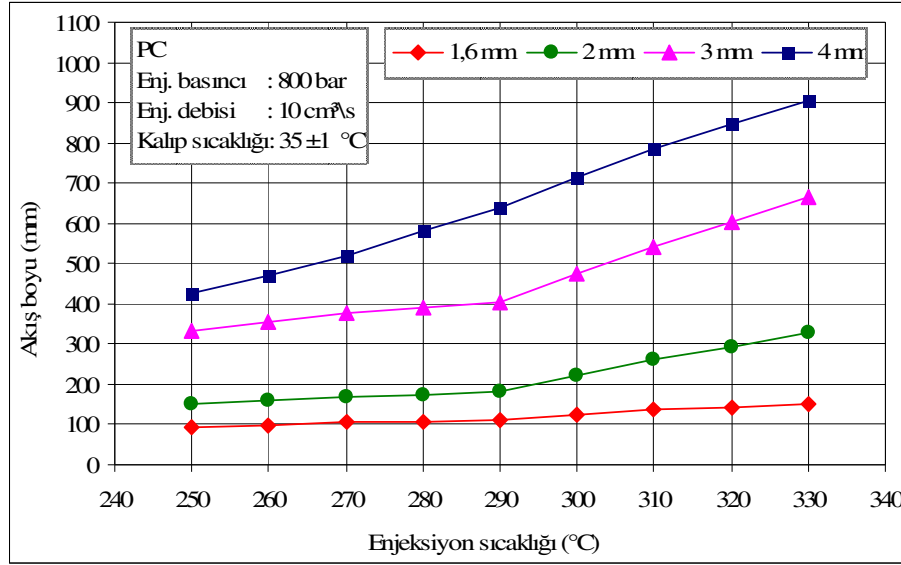
Yapılan çalışmada enjeksiyon sıcaklığı 300 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C, enjeksiyon debisi 10 cm³/s ve kanal derinliği 2 mm’de spiral akış uzunluğu 221 mm olduğu görülmektedir. Aradaki farkın enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.13 ve Şekil 7.16).

Bayer firmasının [17], makrolan adını verdiği 26 XX PC malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 305 °C, enjeksiyon basıncı 1240 bar, kalıp sıcaklığı 80 °C ve kanal derinliği 3 mm’de 525 mm olarak tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 310 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C, enjeksiyon debisi 10 cm³/s ve kanal derinliği 3 mm’de akış uzunluğu 542 mm’dir. Aradaki farkın enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Çizelge 7.13 ve Şekil 7.16).

Çizelge 7.13. PC malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi
(Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
250	92	150	332	424	360,9
260	99	159	355	472	376,8
270	106	168	377	520	390,6
280	108	175	391	579	436,1
290	110	182	405	638	480
300	124	221	474	712	474,2
310	137	260	542	785	473
320	144	294	604	846	487,5
330	151	328	665	906	500
Akış boyu değişikliği (%)	64,1	118,7	100,3	113,7	



Şekil 7.16. PC malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

Enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.14 ve Şekil 7.17) görüldüğü gibi enjeksiyon basınç artışı ile akış boyunun da lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Enjeksiyon basıncı 600–1200 bar arasında akış boyunda çok değişiklik meydana gelmemiştir. 1200 bardan sonra akış boyunda daha fazla artış meydana gelmiştir. Enjeksiyon basıncı bütün kanal derinliklerinin akış boyunu aynı oranda ve paralel olarak artırmıştır.

CHI MEI firması [18], PC için enjeksiyon basıncı 1400 bar’da akış uzunluğunu 550 mm olarak elde etmişlerdir. Deney şartları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir.

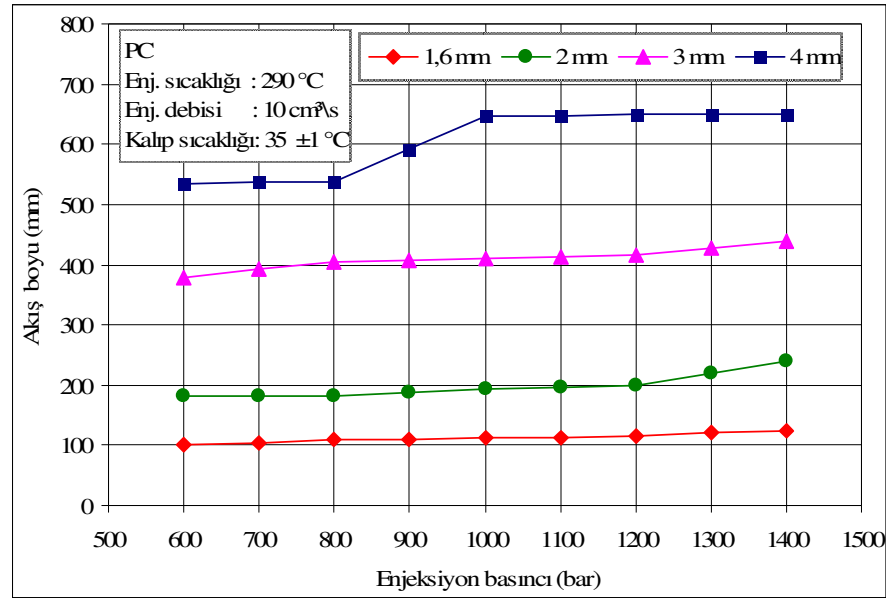
Hasan TURAÇLI’nın “Enjeksiyoncunun El Kitabı”nda [3], yüksek viskoziteli PC malzemesinin parça et kalınlığı 2 mm’de 175 mm, 3 mm’de 290 mm, 4 mm’de 395 mm olduğu görülmüştür. Deneyde kullanılan ortam şartları hakkında bilgi verilmemiştir.

Yapılan çalışmada ise PC malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 290 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ± 1 °C ve kanal derinliği 2 mm’de 181 mm, 3 mm’de 392 mm ve 4 mm’de 538 mm olarak

saptanmıştır. Aradaki farkın kullanılan PC malzemesinin ergime akış indisi ve viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.14 ve Şekil 7.17).

Çizelge 7.14. PC malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 290 °C, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
600	100	181	379	535	435
700	105	181	392	536	410,5
800	110	182	405	538	389,1
900	111	187	408	593	434,2
1000	113	193	410	648	473,5
1100	114	196	413	648	468,4
1200	115	200	416	649	464,3
1300	120	220	427	649	440,8
1400	125	240	439	650	420
Akış boyu değişikliği (%)	25	32,6	15,8	21,5	



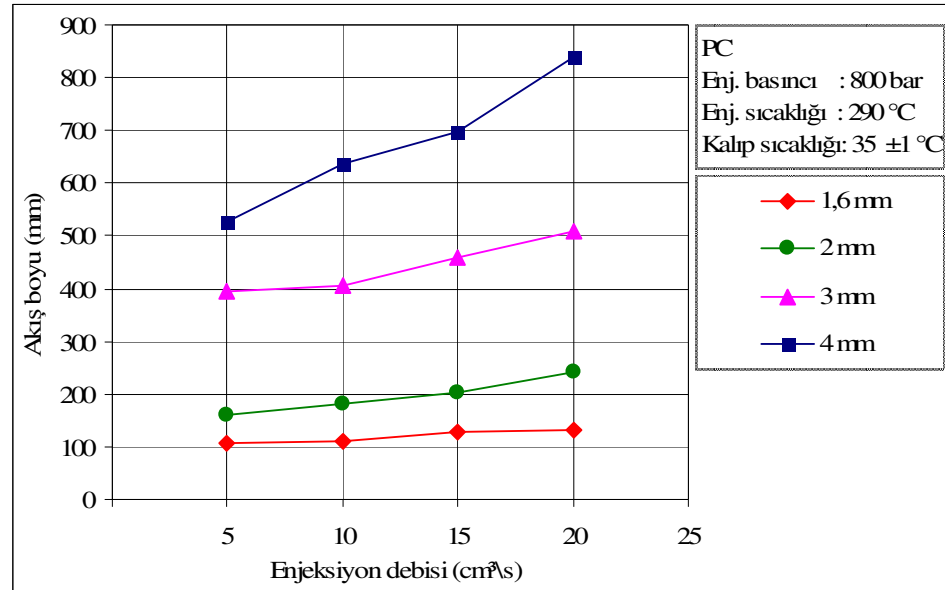
Şekil 7.17. PC malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

Enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.15 ve Şekil 7.18) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 15 cm³/s'den sonra akış boyunda fazla artış tespit edilmiştir. Buna

göre enjeksiyon debisinin minimum 15 cm³/s olması gerekir. Özellikle yüksek sıcaklık ve yüksek hızda malzemede yanma ile beraber aşırı renk bozukluğu ve ürün içerisinde hava kabarcıkları meydana gelmiştir.

Çizelge 7.15. PC malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 290 °C, enj. basıncı: 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
5	106	159	394	526	396,2
10	110	182	405	638	480
15	129	201	459	696	439,5
20	131	243	510	840	541,2
Akış boyu değişikliği (%)	23,6	52,8	29,4	59,7	



Şekil 7.18. PC malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

PC malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.16, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da arttığı görülmektedir. Kanal kesit alanı 4,01–6,28 mm² olan numunelerin baskısı esnasında ütüleme basıncı iyi yapılamamıştır. Kesit alanı 14,13–25,12 mm² olan numunelerin baskısında ise ütüleme basıncı yapılmasına rağmen numuneler üzerinde çökme meydana gelmiştir.

Yine büyük akma oranı ve kesit alanındaki baskılarda sıcaklık arttıkça soğutma süresi aynı tutulduğundan bazı ürünlerde yolluğun koptuğu saptanmıştır. Özellikle akma oranı 2’de malzemenin akış sonuna doğru yüzeyinin çok bozuk olduğu saptanmıştır. PC malzemesinin zarar görmeden basıldığı 290 °C’de en uygun kesit alanının 25,12 mm² olduğu saptanmıştır (Çizelge 7.16, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20).

LEXAN Firması [15], PC malzemesine katkılar atarak elde ettikleri LEXAN Resin 141 R malzemesinin için enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 4 cm³/s ve parça et kalınlığı 3 mm’de akış uzunluğunu 300 mm olarak saptamışlardır.

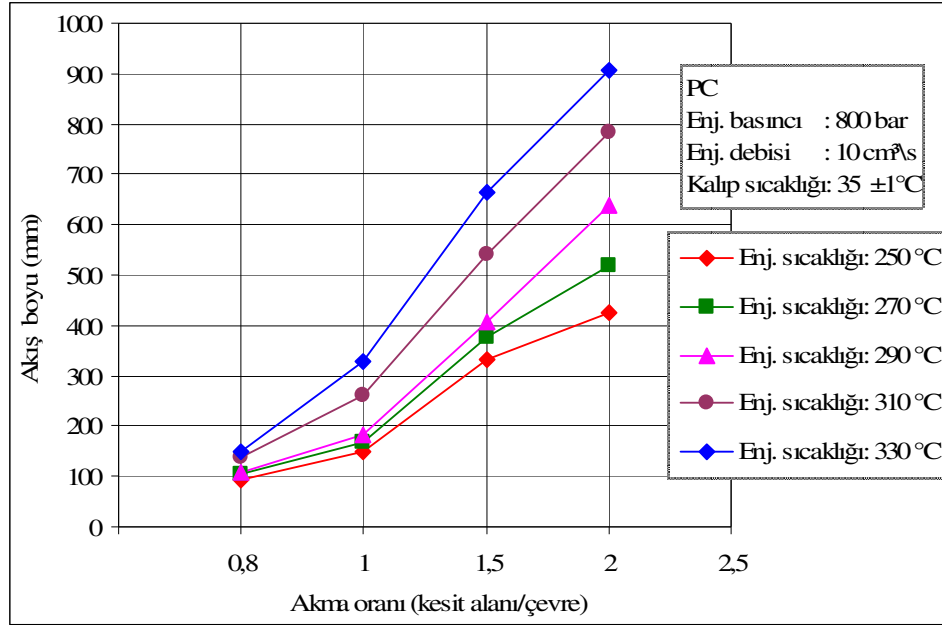
Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, Enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm’de akış uzunluğu 332 mm’dir. Aradaki farkın enjeksiyon debisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

NOVA Chemicals Inc. Firmasının [16], yüksek viskoziteli PC malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 290 °C’de 405 mm akış uzunluğu elde etmişlerdir. Deney şartları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir.

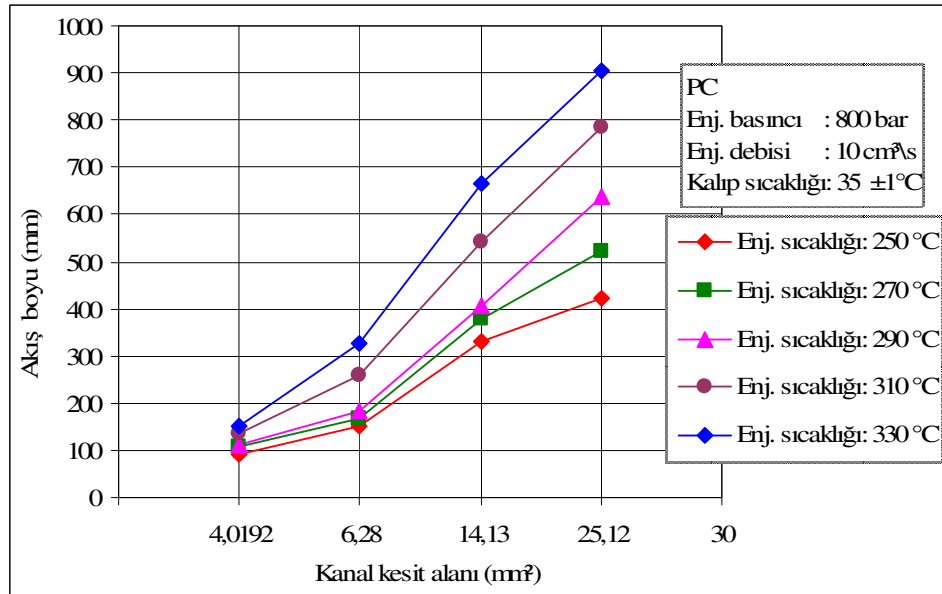
Yapılan çalışmada ise enjeksiyon sıcaklığı 290 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm’de 405 mm olarak saptanmıştır.

Çizelge 7.16. PC malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Kanal derinliği (mm)	Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (kesit alanı/çevre)	PC malzemesinde kullanılan enjeksiyon sıcaklıkları					Akış boyu değişikliği (%)
			250 °C	270 °C	290 °C	310 °C	330 °C	
	4,01	1,6	92	106	110	137	151	64,1
	6,28	2	150	168	182	260	328	118,7
	14,13	3	332	377	405	542	665	100,3
	25,12	4	424	520	638	785	906	113,7
Akış boyu değişikliği (%)			360,9	390,6	480	473	500	



Şekil 7.19. PC malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği



Şekil 7.20. PC malzemesinin kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

PC malzemesinin uygun enjeksiyon parametreleri kapsamında Enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, debisi, kanal kesit alanı ve akma oranı arttıkça akış boyunda artış olduğu

saptanmıştır. PC malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri Resim 7.4’de görülmektedir.



Resim 7.4. PC malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri

7.1.5. POM malzemesiyle elde edilen sonuçlar

POM malzemesinin alınan enjeksiyon sıcaklık parametrelerinin en alt değerlerindeki 150–160 °C arasında ergime tam gerçekleşmemiş eriyik kırığı şeklinde memeden çıkmıştır. Enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.17 ve Şekil 7.21) görüldüğü gibi enjeksiyon sıcaklığı arttıkça akış boyunun da lineer olarak arttığı gözlenmiştir. Sıcaklığın üst değerlerinde akış uzunluklarında fazla değişiklik olmamıştır. Enjeksiyon sıcaklığı 240 °C üzerinde malzemede yanma ve renk değişikliği olmamasına rağmen gaz tahliye kanalından çıkan kokudan dolayı çalışma yapılamamıştır. Atölye havalandırması yapılarak çalışmaya ara verilmiştir. Bilinçsiz çalışma yapılmış olsaydı meme bölümündeki gaz çıkışı yeterli olmadığından patlama gerçekleşirdi. Aynı zamanda vida ve kovanda yüzeysel tahribatlara neden olabilirdi. Enjeksiyon sıcaklığı arttıkça kanal derinliği 1,6 ve 2 mm’de birbirine yakın akış boyu oranı elde edilirken, 3 ve 4 mm’de ise daha fazla akış boyu elde edilmiştir. En fazla akış boyunun arttığı kanal derinliği ise 3 mm olduğu görülmüştür. POM malzemesi üretici firmasının verdiği enjeksiyon sıcaklığı olan 190 °C’ kanal derinliği 1,6–4 mm arasında artış %314 olarak saptanmış ve enjeksiyon sıcaklığının bu değerde olması ispatlanmıştır.

Lupital firmasının [9], kendi ismini verdiği Lupital F20 POM türevli malzeme için enjeksiyon sıcaklığı 200 °C, enjeksiyon basıncı 1180 bar, enjeksiyon hızı 40 cm³/s, kalıp sıcaklığı 30 °C ve spiral kanal derinliği 2 mm’de 440 mm olarak ölçmüşlerdir.

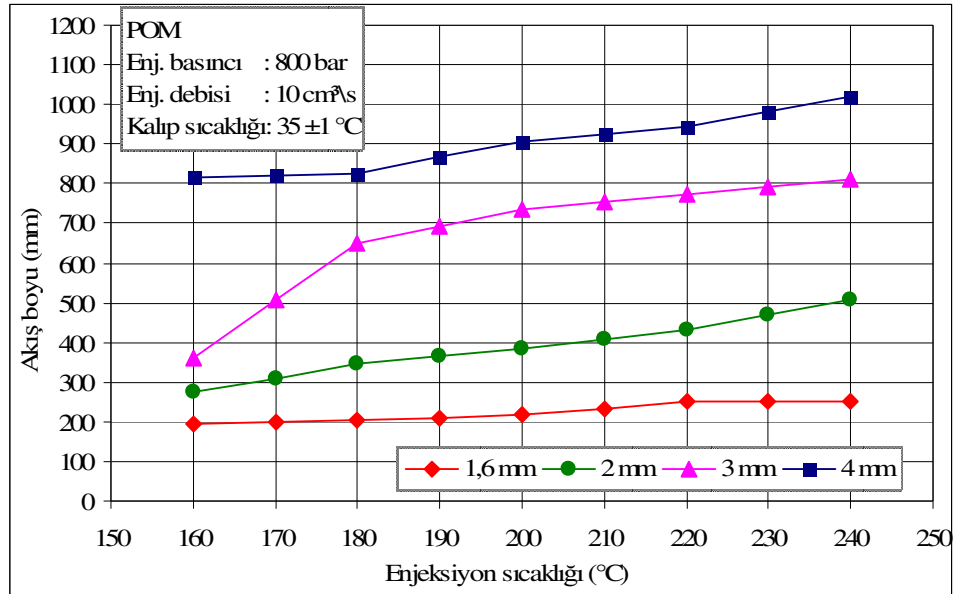
Yapılan çalışmada ise, enjeksiyon sıcaklığı 200 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 2 mm’de akış uzunluğu 386 mm olduğu tespit edilmiştir. Aradaki farkın enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 7.17 ve Şekil 7.21).

BASF plastik firması [14], N2320 003 adını verdikleri POM malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 200 °C, enjeksiyon basıncı 1200 bar, kalıp sıcaklığı 80 °C ve kanal derinliği 1,6 mm’de 255 mm akış boyu saptamışlardır. Yine aynı malzeme için enjeksiyon sıcaklığı 210 °C ve parça et kalınlığı 2 mm’de 430 mm olarak ölçmüşlerdir.

Yapılan çalışmada ise, POM malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 1,6 mm’de 250 mm, 2 mm’de 432 mm akış boyu tespit edilmiştir (Çizelge 7.17 ve Şekil 7.21).

Çizelge 7.17. POM malzemesinde enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi
(Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
160	195	273	360	814	317,4
170	199	310	506	820	312,1
180	202	347	652	827	309,4
190	209	367	694	866	314,4
200	216	386	735	905	319
210	233	409	755	925	297
220	250	432	775	944	277,6
230	252	470	793	983	290,1
240	253	507	811	1021	303,6
Akış boyu değişikliği (%)	29,7	85,7	125,3	25,4	

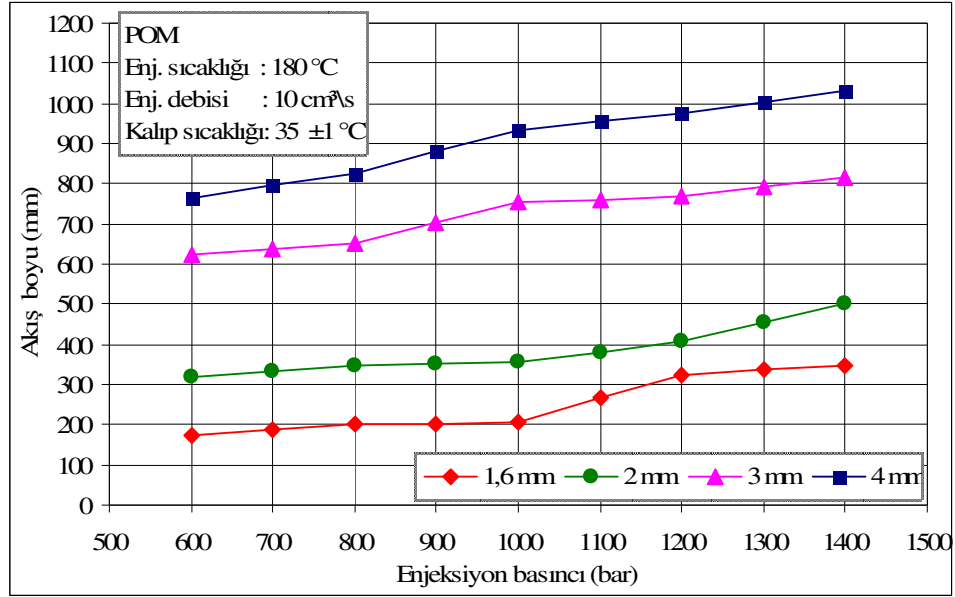


Şekil 7.21. POM malzemesinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

POM malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.18 ve Şekil 7.22) görüldüğü gibi enjeksiyon basınç artışı ile akış boyunun da lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Özellikle düşük basınçlardaki 600–900 bar arasında basıncın akış boyunu çok değiştirmedeği görülmektedir. 1000 bardan sonra akış boyunun daha fazla artmaya başladığı görülmektedir. Basıncın akış boyunu en çok arttırdığı kanal derinliğinin 4 mm olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.18. POM malzemesinde enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 180 °C, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ± 1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
600	173	317	624	766	342,8
700	188	332	638	797	323,9
800	202	347	652	827	309,4
900	204	351	704	881	331,9
1000	205	355	755	934	355,6
1100	265	381	762	956	260,8
1200	325	406	768	977	200,6
1300	336	454	791	1005	199,1
1400	347	502	814	1032	197,4
Akış boyu değişikliği (%)	100,6	58,4	30,4	34,7	



Şekil 7.22. POM malzemesinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

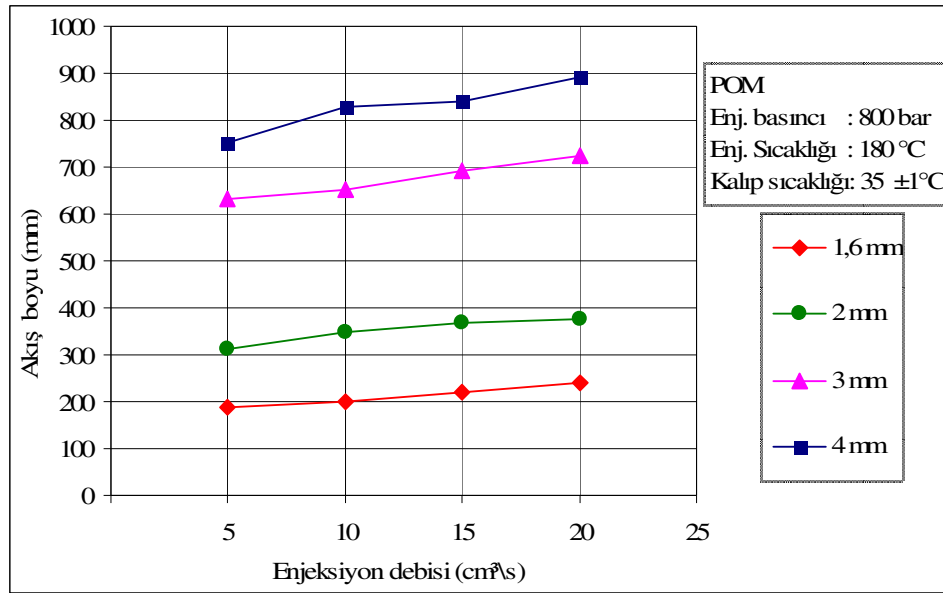
Enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.19 ve Şekil 7.23) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisi 15 cm³/s'den sonra akış boyunda fazla artış tespit edilmemiştir. Buna göre POM malzemesinin en uygun enjeksiyon debisinin 10–15 cm³/s arasında olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek sıcaklık ve yüksek debide malzemede aşırı derecede koku meydana gelmiştir. Özellikle enjeksiyon debisinin 1,6 mm ve 4 mm kanal derinliklerinde artış oranının daha iyi olduğu görülmektedir.

CHI MEI firması [18], POM için enjeksiyon basıncı 1400 bar'da akış uzunluğunu 690 mm olarak elde etmişlerdir. Deney şartları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir.

Yapılan çalışmada POM malzemesi için enjeksiyon sıcaklığı 180 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 3 mm'de akış boyu 693 mm olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 7.19 ve Şekil 7.23).

Çizelge 7.19. POM malzemesinde enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi
(Enj. sıcaklığı: 180 °C, enj. basıncı: 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	Spiral kanal derinliği				Akış boyu değişikliği (%)
	1,6 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
5	190	311	631	751	295,3
10	202	347	652	827	309,4
15	220	369	693	840	281,8
20	242	377	726	893	269
Akış boyu değişikliği (%)	27,4	21,2	15,1	18,9	



Şekil 7.23. POM malzemesinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

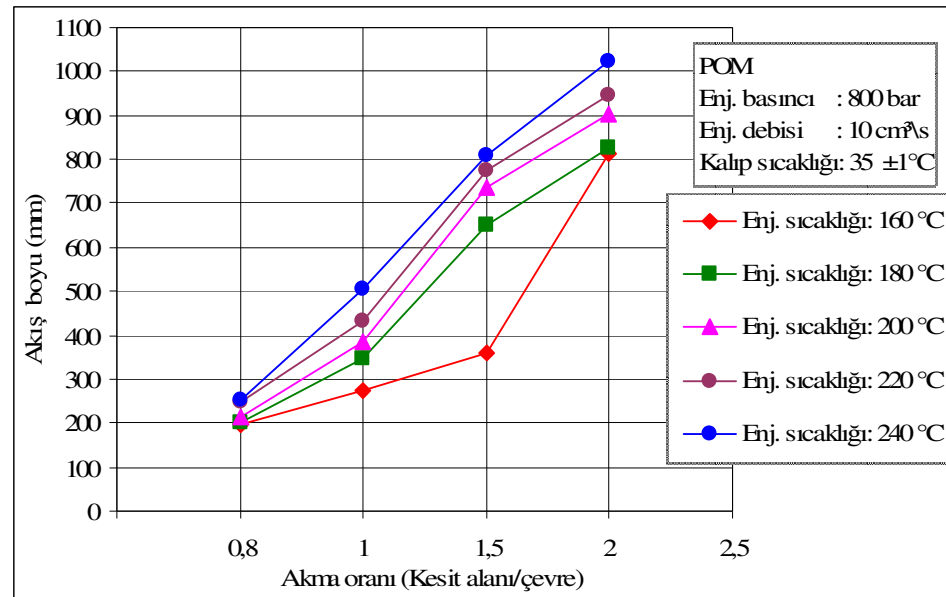
POM malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.20, Şekil 7.24 ve Şekil 7.25) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da arttığı görülmektedir. Özellikle enjeksiyon sıcaklığı 220–240 °C’de kanal kesit alanı 25,12 mm²’de basılan numunelerde aşırı koku meydana gelmiştir. Bütün akma oranı ve kanal kesit alanlarında malzeme üzerinde herhangi bir çökme veya çarpılma olmamıştır. Ayrıca malzeme üzerinde herhangi bir renk değişikliği de olmamıştır. POM malzemesinin zarar görmeden basıldığı 180 °C’de en uygun kanal kesit alanının 14,13 mm² olduğu saptanmıştır. Ütölleme basıncı sonuna kadar yapılamadığından Malzeme üzerinde akışın sonuna doğru yüzeyde kırışıklık meydana geldiği saptanmıştır.

Hasan TURAÇLI'nın "Enjeksiyoncunun El Kitabı"nda [3], POM malzemesinin parça et kalınlığı 4 mm'de 970 mm akış boyu olduğu ölçülmüştür. Deneyde kullanılan ortam şartları hakkında bilgi verilmemiştir.

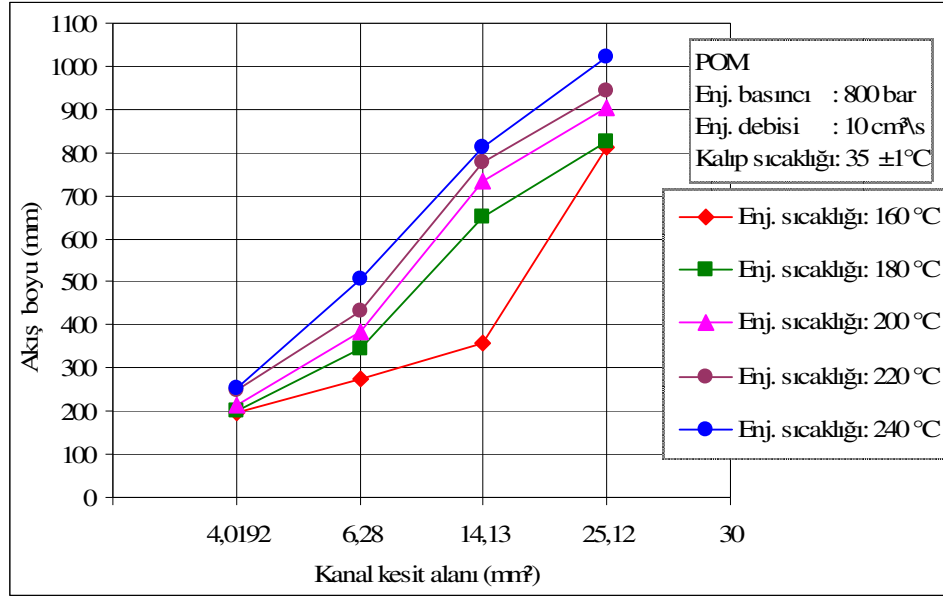
Yapılan çalışmada POM için enjeksiyon sıcaklığı 180 °C, enjeksiyon basıncı 800 bar, enjeksiyon debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C ve kanal derinliği 4 mm'de 944 mm olarak tespit edilmiştir. Aradaki farkın kullanılan POM malzemesinin enjeksiyon parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 7.20. POM malzemesinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1°C)

Kanal derinliği (mm)	Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (Kesit alanı/çevre)	POM malzemesinde kullanılan enjeksiyon sıcaklıkları					Akış boyu değişikliği (%)
			160 °C	180 °C	200 °C	220 °C	240 °C	
1,6	4,01	0,8	195	202	216	250	253	29,7
2	6,28	1	273	347	386	432	507	85,7
3	14,13	1,5	360	652	735	775	811	125,3
4	25,12	2	814	827	905	944	1021	25,4
Akış boyu değişikliği (%)			317,4	309,4	319	277,6	500	



Şekil 7.24. POM malzemesinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği



Şekil 7.25. POM malzemesinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

POM malzemesinin uygun enjeksiyon parametreleri kapsamında Enjeksiyon sıcaklığı, basıncı, debisi, kanal kesit alanı ve akma oranı arttıkça akış boyunda artış olduğu saptanmıştır. POM malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri Resim 7.5’de görülmektedir.



Resim 7.5. POM malzemesinin spiral kalıplanmış numuneleri

7.2. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM Mühendislik Plastiklerinin Karşılaştırılması

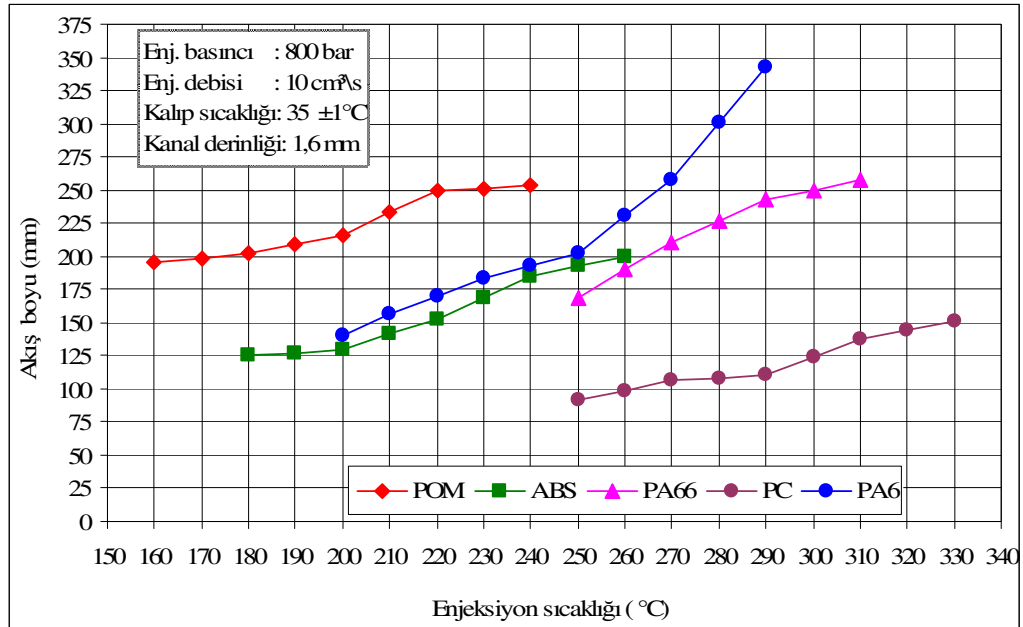
7.2.1. Enjeksiyon sıcaklığına göre karşılaştırılması

Seçilen mühendislik plastiklerinin ergime sıcaklıkları birbirinden farklı olduğundan dolayı ortak bir sıcaklık değerinde çalışılamamıştır. Şekil 7.26'da görüldüğü gibi POM malzemesinin basılabileceği maksimum sıcaklık 240 °C olmasına karşılık PA6.6 ve PC malzemeleri bu sıcaklıkta basılamamıştır. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM mühendislik plastiklerinin 1,6 mm kanal derinliğinde enjeksiyon sıcaklık parametreleri arttıkça akış boylarının da arttığı saptanmıştır (Çizelge 7.21 ve Şekil 7.26). Spiral kanal derinliği 1,6 mm'de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6, PA6.6, POM, ABS ve PC (343, 257, 253, 200 ve 151 mm) olduğu tespit edilmiştir. POM ve ABS malzemelerinin akış boyları paralel ve aynı oranda arttığı saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açılarına bakıldığında PA6 malzemesinin eğim açısının en fazla, PC'ın ise en az olduğu görülmektedir. Bu da 1,6 mm kanal derinliğinde sıcaklık artışına göre kalıplanabilirliği, en iyi PA6 malzemesi, en kötü ise PC malzemesi olduğunu göstermektedir.

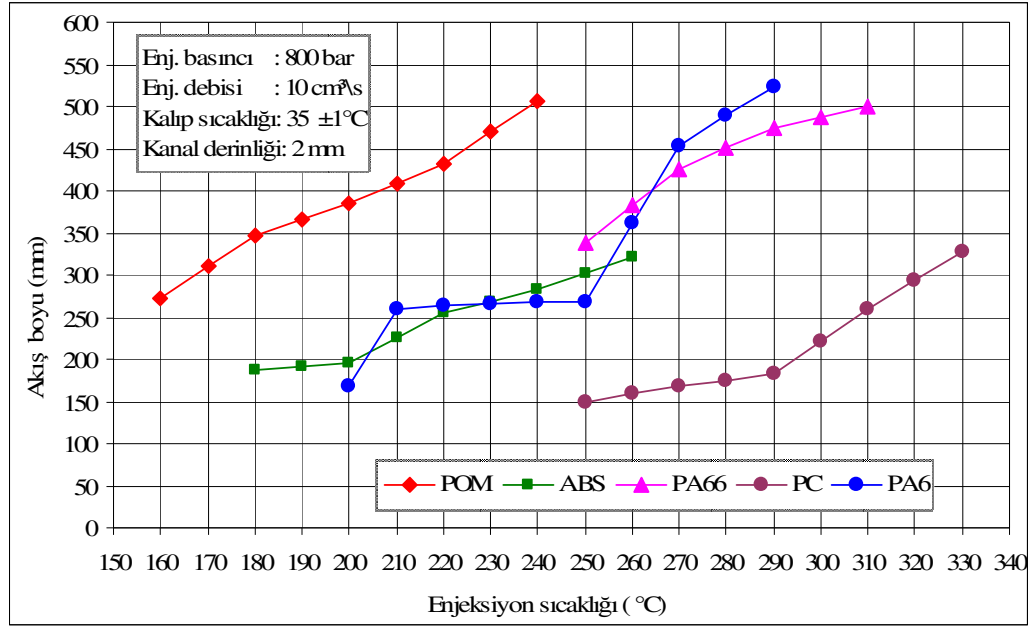
Spiral kanal derinliği 2 mm'de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6, POM, PA6.6, PC ve ABS (524, 507, 499, 328 ve 321 mm) olduğu tespit edilmiştir. ABS ve PC malzemelerinin akış boyları paralel ve aynı oranda arttığı saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açılarına bakıldığında PA6 malzemesinin eğim açısının en fazla, ABS'in ise en az olduğu görülmektedir. Bu da 2 mm kanal derinliğinde sıcaklık artışına göre kalıplanabilirliğin, en iyi PA6 malzemesi, en kötü ise ABS malzemesi olduğunu göstermektedir. Akış boyu değişikliğine bakıldığında % artış sırasıyla PA6, PC, POM, ABS ve PA6.6 (%201,1, %118,7, %85,7, %70,7 ve %47,2) olduğu saptanmıştır (Çizelge 7.21 ve Şekil 7.27).

Çizelge 7.21. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C).

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	1,6 mm Spiral kanal derinliği					2 mm Spiral kanal derinliği				
	POM	ABS	PA66	PC	PA6	POM	ABS	PA66	PC	PA6
160	195					273				
170	199					310				
180	202	125				347	188			
190	209	127				367	192			
200	216	129			140	386	196			169
210	233	141			156	409	226			260
220	250	153			170	432	255			264
230	252	169			184	470	269			267
240	253	185			193	507	282			268
250		193	169	92	202		302	339	150	269
260		200	190	99	230		321	383	159	361
270			211	106	258			426	168	453
280			227	108	301			451	175	489
290			243	110	343			475	182	524
300			250	124				487	221	
310			257	137				499	260	
320				144					294	
330				151					328	
Akış boyu değişikliği (%)	29,7	60	52,1	64,1	145	85,7	70,7	47,2	118,7	210,1



Şekil 7.26. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği



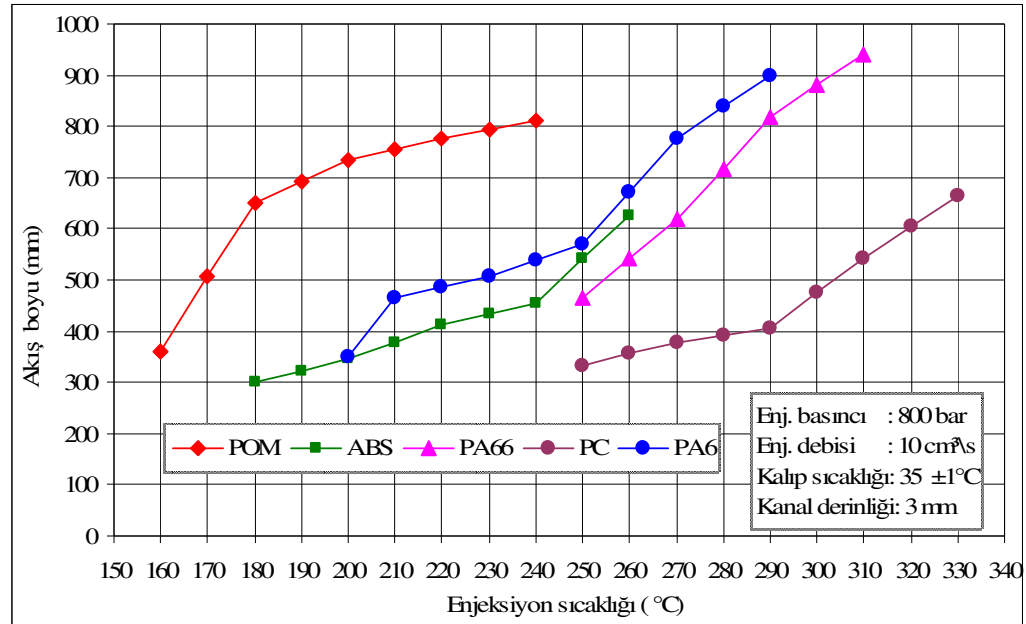
Şekil 7.27. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 3 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS (941, 900, 811, 665 ve 627 mm) olduğu tespit edilmiştir. PA6.6 ve PA6 malzemelerinin akış boyları paralel ve aynı oranda arttığı saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açlarına bakıldığında PA6.6 ve PA6 malzemelerinin eğim açlarının en fazla, ABS’in ise en az olduğu görülmektedir. Bu da 3 mm kanal derinliğinde sıcaklık artışına göre, en iyi PA6.6 ve PA6 malzemelerinin kalıplanabileceğini, en kötü kalıplanabilirliğin ise ABS malzemesi olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.22 ve Şekil 7.28).

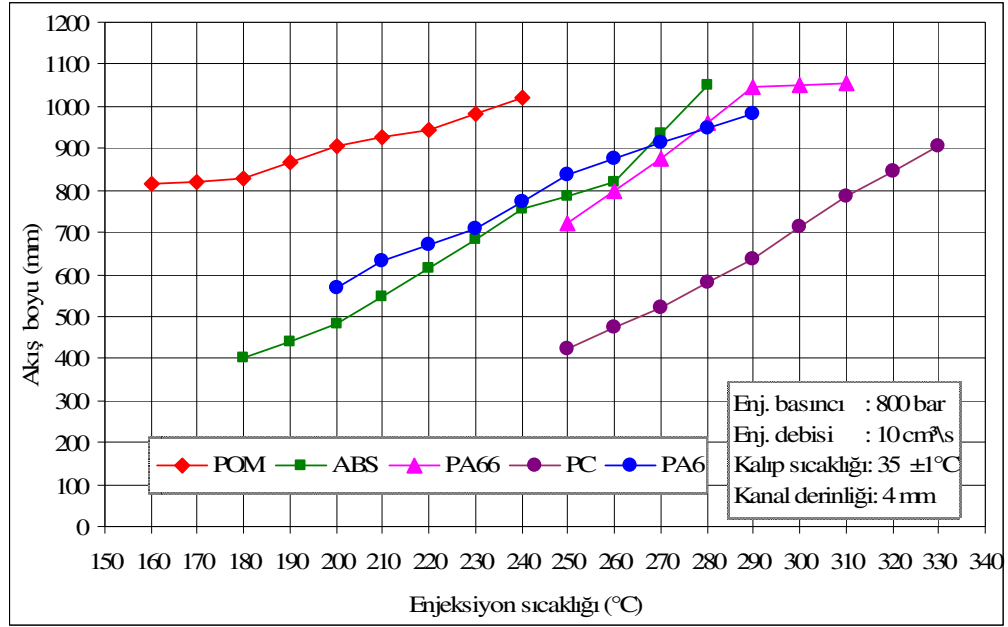
Spiral kanal derinliği 4 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6.6, ABS, POM, PA6 ve PC (1056, 1050, 1021, 982 ve 906 mm) olduğu tespit edilmiştir. PA6, ABS ve PC malzemelerinin akış boyları paralel ve aynı oranda arttığı saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açlarına bakıldığında seçilen plastiklerin hepsinin kanal derinliği 4 mm’de basılabilirliklerinin uygun olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.22 ve Şekil 7.29).

Çizelge 7.22. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	3 mm Spiral kanal derinliği					4 mm Spiral kanal derinliği				
	POM	ABS	PA66	PC	PA6	POM	ABS	PA66	PC	PA6
160	360					814				
170	506					820				
180	652	299				827	400			
190	694	323				866	440			
200	735	347				905	481			570
210	755	379			465	925	548			632
220	775	411			487	944	615			671
230	793	433			508	983	685			710
240	811	454			538	1021	755			773
250		541	466	332	569		787	720	424	835
260		627	542	355	672		819	798	472	874
270			618	377	775		935	876	520	914
280			718	391	838		1050	962	579	948
290			818	405	900			1048	638	982
300			880	474				1052	712	
310			941	542				1056	785	
320				604					846	
330				665					906	
Akış boyu değişikliği (%)	125,3	109,7	101,9	100,3	157,9	25,4	104,8	46,7	113,7	72,3



Şekil 7.28. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği



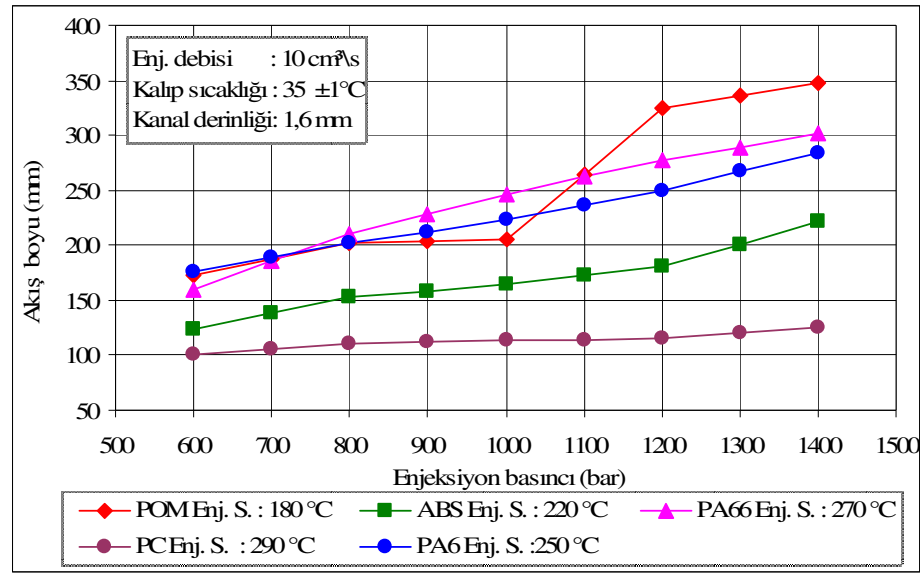
Şekil 7.29. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığına göre spiral akış boyu grafiği

7.2.2. Enjeksiyon basıncına göre karşılaştırılması

ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.23 ve Şekil 7.30) görüldüğü gibi enjeksiyon basıncı arttıkça akış boyunun da lineer olarak arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon basıncı değerleri oluşturulurken plastiklerin üretici firmanın önerdiği enjeksiyon sıcaklıkları alınmıştır. Spiral kanal derinliği 1.6 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum basınçta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla POM, PA6.6, PA6, ABS ve PC (347, 302, 284, 221 ve 125 mm) olduğu tespit edilmiştir. PA6 ve PA6.6 malzemelerinin basıncın değişimi ile akış boyları paralel ve aynı oranda arttığı saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açlarına bakıldığında seçilen plastiklerden en iyi basılabilirliğin POM (akış boyu değişikliği %100) olduğu görülmektedir. Fakat diğerlerine nazaran sadece PC malzemesinin kanal derinliği 1.6 mm’de (akış boyu değişikliği %25) basılabilirliğinin uygun olmadığı saptanmıştır (Çizelge 7.23 ve Şekil 7.30).

Çizelge 7.23. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi (Enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	1,6 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
600	173	124	160	100	176
700	1885	139	186	105	189
800	202	153	211	110	202
900	204	159	229	112	213
1000	205	164	247	113	223
1100	265	173	262	114	237
1200	325	181	277	115	250
1300	336	201	290	120	267
1400	347	221	302	125	284
Akış boyu değişikliği (%)	100,6	78,2	88,8	25	61,4



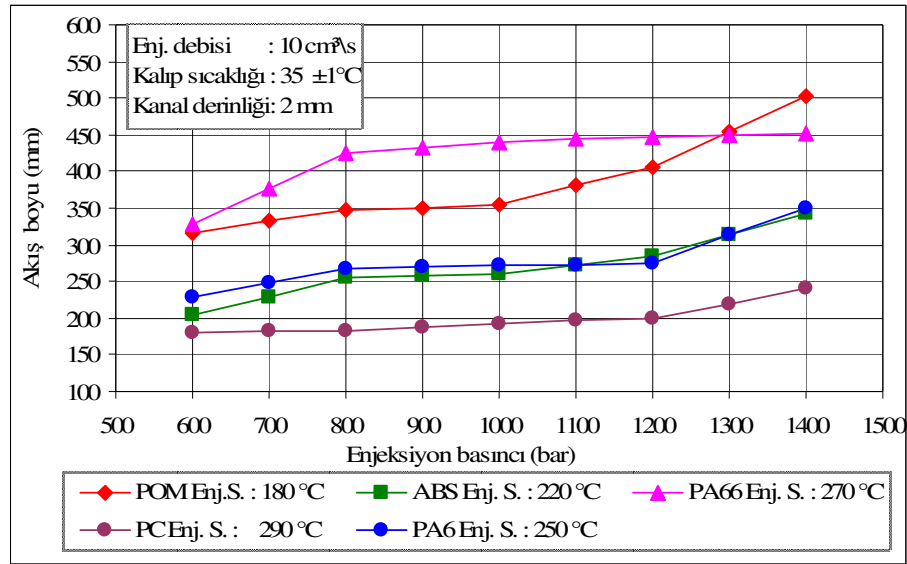
Şekil 7.30. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 2 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum basınçta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla POM, PA6.6, PA6, ABS ve PC (502, 453, 351, 343 ve 240 mm) olduğu tespit edilmiştir. Sadece PA6.6 malzemesinin basınç altında diğerlerine nazaran çok değişmediği saptanmıştır. Malzemelerin grafikteki eğim açılarına bakıldığında kanal derinliği 2 mm’de basıncın değişimi ile en iyi kalıplanabilirliğin POM, ABS ve PA6 (akış boyu

değişikliği sırasıyla %68, %58 ve %53) olduğu PA6.6 ve PC malzemelerinin kalıplanabilirliğinin daha zor olduğu saptanmıştır (Çizelge 7.24 ve Şekil 7.31).

Çizelge 7.24. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi (Enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	2 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj.S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
600	317	204	329	181	228
700	332	230	378	182	248
800	347	255	426	182	268
900	351	258	434	188	270
1000	355	261	441	193	272
1100	381	273	444	197	274
1200	406	284	446	200	275
1300	454	314	450	220	313
1400	502	343	453	240	351
Akış boyu değişikliği (%)	58,4	68,1	37,7	32,6	53,9



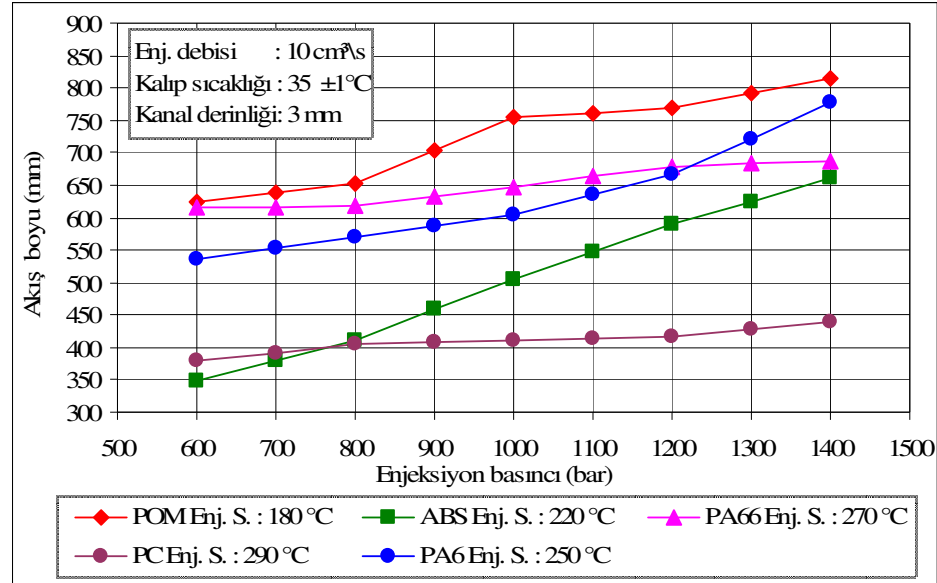
Şekil 7.31. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 3 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum basınçta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla POM, PA6, PA6.6, ABS ve PC (814, 777, 687, 660 ve 439 mm) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.25 ve Şekil 7.32). ABS, PA6 ve POM malzemelerinin kanal derinliği 2 mm’de

basınç değişiminde grafikte görüldüğü gibi eğim açılarının fazla olması sebebiyle basılabilirliklerinin daha iyi olduğu saptanmıştır. Sadece PC malzemesinin basınç altında diğerlerine nazaran çok değişmediği saptanmıştır.

Çizelge 7.25. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi (Enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	3 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
600	624	348	615	379	535
700	638	380	617	392	552
800	652	411	618	405	569
900	704	458	633	409	586
1000	755	505	648	410	603
1100	762	547	663	413	635
1200	768	589	678	416	667
1300	791	625	683	428	722
1400	814	660	687	439	777
Akış boyu değişikliği (%)	30,4	89,7	11,7	15,8	45,2



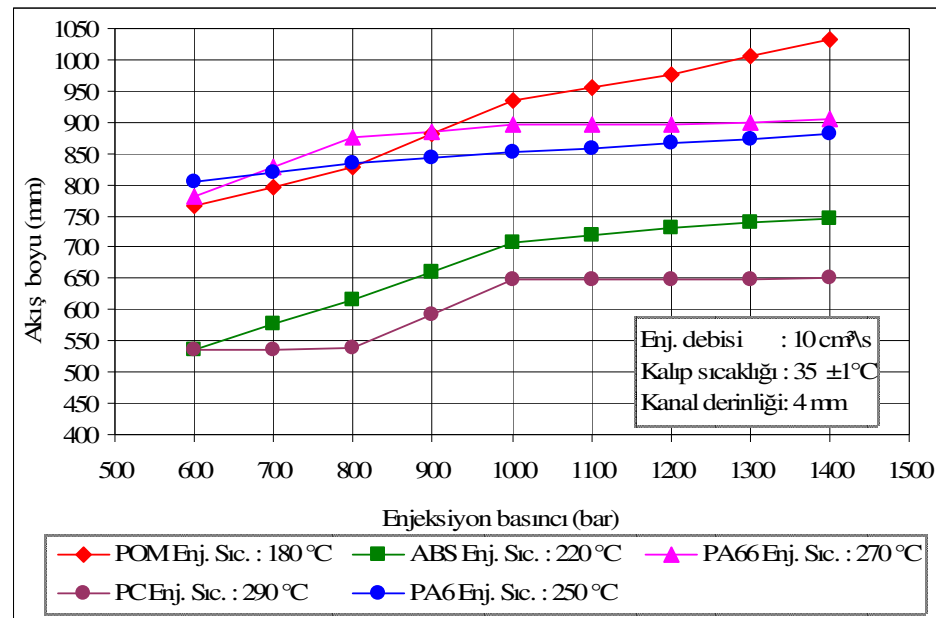
Şekil 7.32. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 4 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basılabileceği maksimum basınçta yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla POM,

PA6.6, PA6, ABS ve PC (1032, 905, 881, 747 ve 650 mm) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.26 ve Şekil 7.33). PA6.6 ve PC malzemelerinin 1000 bardan sonra akış boylarının pek değişmediği görülmektedir. ABS ve POM malzemelerinin kanal derinliği 4 mm’de basınç değişiminde grafikte görüldüğü gibi eğim açılarının fazla olması sebebiyle kalıplanabilirliğinin daha iyi olduğu saptanmıştır.

Çizelge 7.26. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncının akış boyuna etkisi (Enj. debisi 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı 35 ±1 °C)

Enjeksiyon basıncı (bar)	4 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
600	766	537	781	535	805
700	797	576	829	537	820
800	827	615	876	538	835
900	881	661	886	593	844
1000	934	706	895	648	852
1100	956	719	896	649	859
1200	977	732	896	649	866
1300	1005	740	901	650	874
1400	1032	747	905	650	881
Akış boyu değişikliği (%)	34,7	39,1	15,9	21,5	9,4



Şekil 7.33. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon basıncına göre spiral akış boyu grafiği

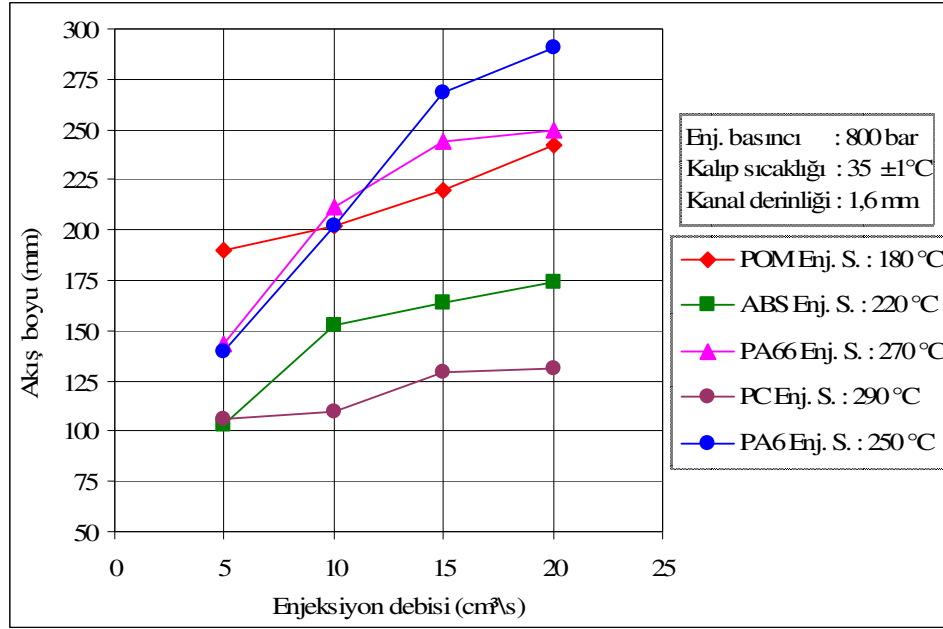
7.2.3. Enjeksiyon debisine göre karşılaştırılması

ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiğinde (Çizelge 7.27 ve Şekil 7.34) görüldüğü gibi enjeksiyon debisi arttıkça akış boyunun da arttığı görülmektedir. Enjeksiyon debisi değerleri elde edilirken plastiklerin ergime sıcaklıkları farklı olduğundan sabit sıcaklıkta elde edilen veriler yanıltıcı olabilir. Bu nedenle her plastik üretici firma tavsiyesinin ergime derecesinde numuneler basılmıştır.

Spiral kanal derinliği 1,6 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basıldığı maksimum debide yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6, PA6.6, POM, ABS ve PC (291, 250, 242, 174 ve 131 mm) olduğu tespit edilmiştir. PA6.6 ve ABS malzemelerinin kanal derinliği 1,6 mm’de birbirine paralel ve benzer akış boyu oranıyla arttığı görülmektedir. PA6.6, ABS ve PC malzemeleri 15 cm³/s’e kadar akış boylarının hızlı arttığı saptanmıştır. Kanal derinliği 1,6 mm’de mühendislik plastiklerinin eğim açılarına bakıldığında enjeksiyon debisinin artırılması sonucunda PA6 malzemesinin (akış boyu değişikliği %107,9) diğerlerine nazaran daha iyi olduğu görülmüştür. PC malzemesinin (akış boyu değişikliği %23,6) kalıplanabilirliğinin kötü olduğu saptanmıştır Akış boyu değişikliğinde % artış sırasıyla PA6, PA6.6, ABS, POM ve PC (%107,6, %74,8, %68,9, %27,4 ve %23,6) malzemeleri olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 7.27 ve Şekil 7.34).

Çizelge 7.27. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi (Enj. basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm ³ /s)	1,6 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
5	190	103	143	106	140
10	202	153	211	110	202
15	220	164	244	129	268
20	242	174	250	131	291
Akış boyu değişikliği (%)	27,4	68,9	74,8	23,6	107,9

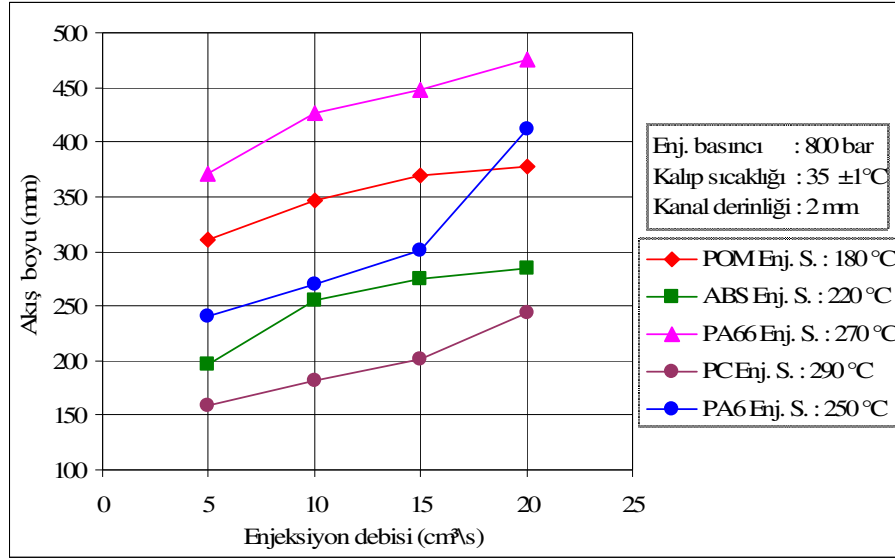


Şekil 7.34. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 2 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basıldığı maksimum debide yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6.6, PA6, POM, ABS ve PC (475, 412, 377, 284 ve 243 mm) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.28 ve Şekil 7.35). ABS ve POM malzemelerinin kanal derinliği 1,6 mm’de birbirine paralel ve benzer akış boyu oranıyla arttığı görülmektedir. Enjeksiyon debisi 15 cm³/s üzerinde PA6 malzemesinin akış boyu artmaya devam ettiği fakat POM ve ABS malzemelerinin akış boyunda pek değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 7.28. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi (Enj. basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm³/s)	2 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
5	311	196	371	159	240
10	347	255	426	182	269
15	369	274	447	201	300
20	377	284	475	243	412
Akış boyu değişikliği (%)	21,2	44,9	28,0	52,8	71,7

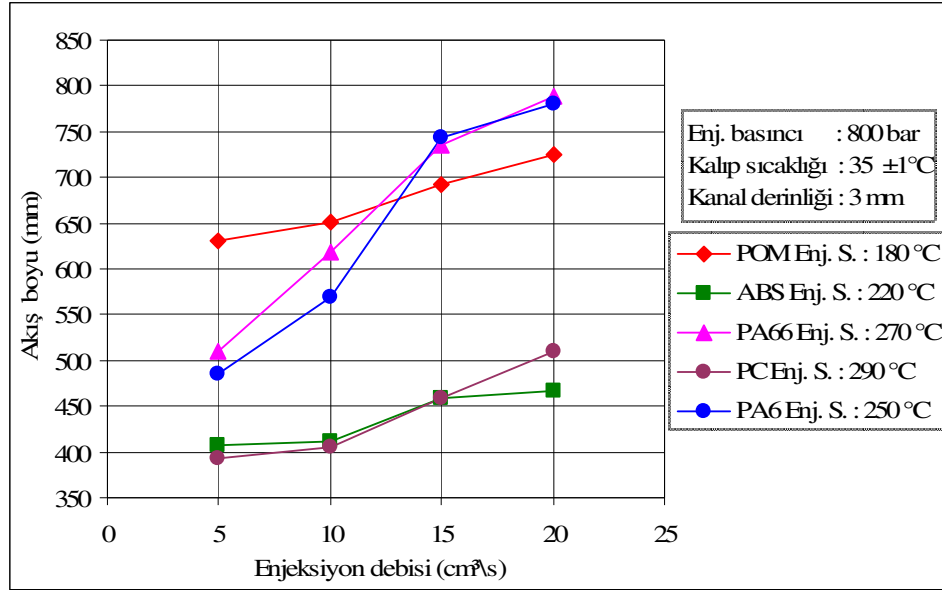


Şekil 7.35. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 3 mm’de seçilen mühendislik plastiklerinin basıldığı maksimum debide yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS (788, 780, 726, 510 ve 466 mm) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.29 ve Şekil 7.36). PA6.6 ve PA6 malzemelerinin kanal derinliği 3 mm’de birbirine paralel ve benzer akış boyu oranıyla arttığı görülmektedir. Aynı şekilde birbirine benzer akış oranları ABS ve PC malzemeleri arasında vardır. 10 cm³/s’den sonra bütün malzemelerin akış boyunun hızlı arttığı saptanmıştır. Enjeksiyon debisinin artırılması sonucu PA6.6 ve PA6 malzemesinin kalıplanabilirliğinin diğerlerine nazaran çok daha iyi olduğu görülmektedir. ABS ve PC malzemelerinin grafikteki eğimine bakıldığında kalıplanabilirliğinin kötü olduğu saptanmıştır.

Çizelge 7.29. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm³/s)	3 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
5	631	408	510	394	485
10	652	411	618	405	569
15	693	458	735	459	744
20	726	466	788	510	780
Akış boyu değişikliği (%)	15,1	14,2	54,5	29,4	60,8

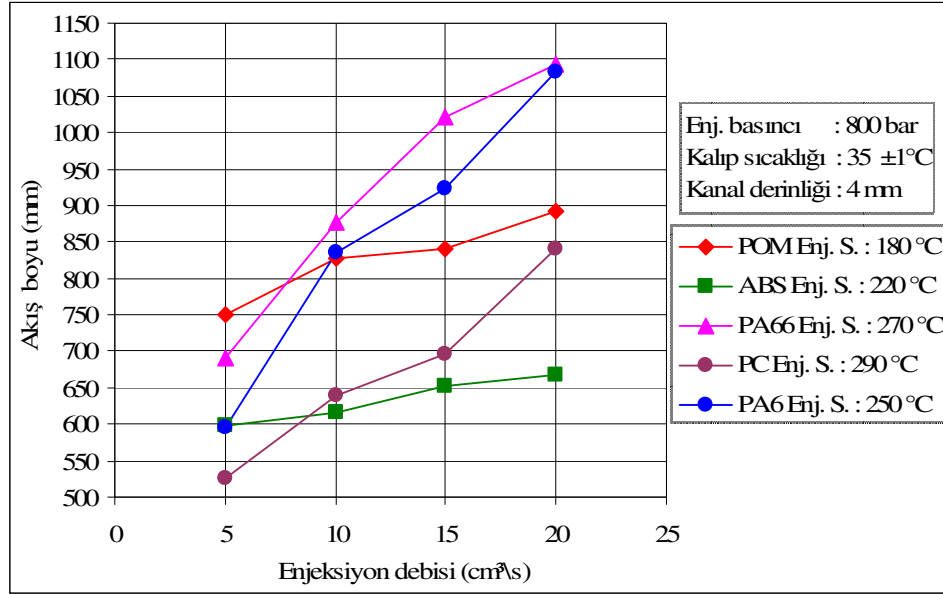


Şekil 7.36. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

Spiral kanal derinliği 4 mm'de seçilen mühendislik plastiklerinin basıldığı maksimum debide yapılan deneyler sonucunda akış boylarının sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS (1093, 1083, 893, 840 ve 667 mm) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.30 ve Şekil 7.37). PA6.6, PA6 ve PC malzemelerinin kanal derinliği 3 mm'de birbirine paralel ve benzer akış boyu oranıyla arttığı görülmektedir. Aynı şekilde birbirine benzer akış oranları ABS ve POM malzemeleri arasında vardır. Enjeksiyon debisinin artırılması sonucu grafikte eğim açılarına bakıldığında en iyi kalıplanabilirliğin PA6 olduğu, ABS ve POM malzemelerinin ise kalıplanabilirliğinin kötü olduğu saptanmıştır.

Çizelge 7.30. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisinin akış boyuna etkisi (Enj. basıncı 800 bar, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Enjeksiyon debisi (cm³/s)	4 mm spiral kanal derinliği				
	POM Enj. S. : 180 °C	ABS Enj. S. : 220 °C	PA66 Enj. S. : 270 °C	PC Enj. S. : 290 °C	PA6 Enj. S. : 250 °C
5	751	599	690	526	596
10	827	615	876	638	835
15	840	653	1022	696	923
20	893	667	1093	840	1083
Akış boyu değişikliği (%)	18,9	11,4	58,4	59,7	81,7



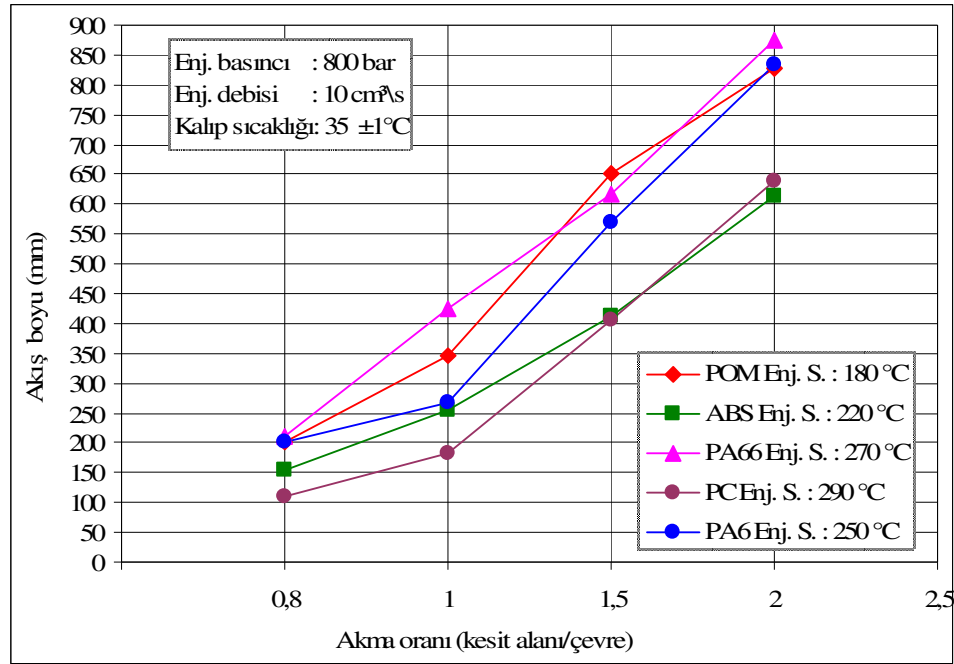
Şekil 7.37. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon debisine göre spiral akış boyu grafiği

7.2.4. Akma oranına ve kanal kesit alanına göre karşılaştırılması

ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin spiral kanal içindeki akma oranına ve kanal kesit alanına göre akış boyu grafiklerinde (Çizelge 7.31, Şekil 7.38 ve Şekil 7.39) görüldüğü gibi akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça akış boyunun da lineer olarak arttığı saptanmıştır. Seçilen mühendislik plastiklerinin ergime sıcaklıkları kendilerine özgü olarak maksimum kanal kesit alanında basılması sonucu akış boylarının sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS (876, 835, 827, 638 ve 615 mm) olduğu tespit edilmiştir. Malzemelerin ergime akış indisleri sırasıyla PA6.6, PA6, POM, PC ve ABS tespit edilmiştir. Buda ergime akış indisi arttıkça akış uzunluğunun arttığını göstermektedir. Kanal kesit alanına göre akış boyu değişikliği % artış olarak sırasıyla PC, PA6.6, PA6, POM ve ABS (%480, %315,2, %313,4, %309,4, %302) olduğu saptanmıştır. Seçilen plastiklerin hepsinin akma oranı ve kanal kesit alanı arttıkça kalıplanabilirlik özelliklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Kanal kesit alanı 6,28 ve 14,13 mm²'de PA6, PA6.6 ve POM, 25,12 mm²'de POM ve ABS malzemelerinin en iyi kalıplanabileceği görülmektedir.

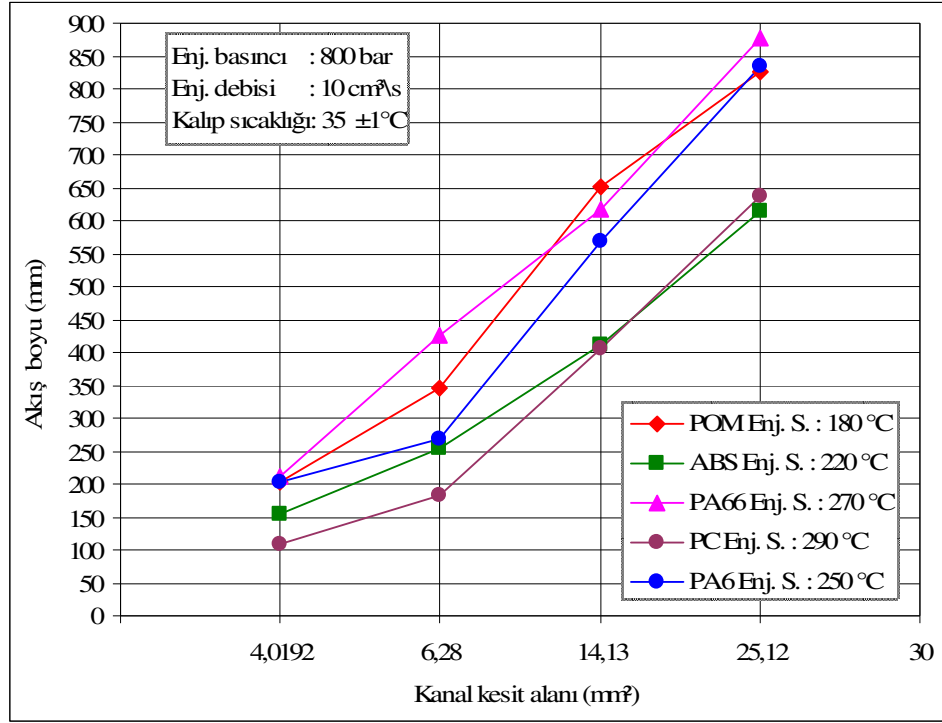
Çizelge 7.31. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinde spiral kanal içindeki akma oranının ve kanal kesit alanının akış boyuna etkisi (Enj. basıncı: 800 bar, enj. debisi: 10 cm³/s, kalıp sıcaklığı: 35 ±1 °C)

Kanal kesit alanı (mm ²)	Akma oranı (kesit alanı/çevre)	POM Enj. S. :180 °C	ABS Enj. S. :220 °C	PA66 Enj. S. :270 °C	PC Enj. S. :290 °C	PA6 Enj. S. :250 °C
4,01	0,8	202	153	211	110	202
6,28	1	347	255	426	182	269
14,13	1,5	652	411	618	405	569
25,12	2	827	615	876	638	835
Akış boyu değişikliği (%)		309,4	302	315,2	480	313,4



Şekil 7.38. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin spiral kanal içindeki akma oranına göre akış boyu grafiği

Çizelge 7.32’de yapılan çalışmada mühendislik plastiklerinin (ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM) basılabilirliklerini incelenmesi neticesinde, enjeksiyon parametrelerinin (silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve debisi) ergimiş plastik üzerindeki % artış değerlerini göstermektedir. Yapılan deneyler sonucunda enjeksiyon parametrelerinin mühendislik plastiklerinin akış boylarının % artış değerlerini etkileme sıralaması sıcaklık, basınç ve debi (örneğin ABS malzemesi için kanal derinliği 2 mm’de enjeksiyon parametreleri sırasıyla % 70,7, %68,1, %44,9) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.39. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin spiral kanal kesit alanına göre akış boyu grafiği

Çizelge 7.32. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM malzemelerinin enjeksiyon sıcaklığı, basıncı ve debisine göre artış değerleri

	Enjeksiyon parametreleri	Değer	1,6 mm'de % artış	2 mm'de % artış	3 mm'de % artış	4 mm'de % artış
ABS	Sıcaklık (°C)	180–260	60	70,7	109,7	170,3
	Basınç (bar)	600–1400	78,2	68,1	89,7	39,1
	Debi (cm³/s)	5–20	68,9	44,9	14,2	11,4
PA6	Sıcaklık (°C)	200 – 290	145	210,1	157,9	72,3
	Basınç (bar)	600–1400	61,4	53,9	45,2	9,4
	Debi (cm³/s)	5–20	107,9	71,7	60,8	81,7
PA6.6	Sıcaklık (°C)	250 – 310	52,1	47,2	101,9	46,7
	Basınç (bar)	600–1400	88,8	37,7	11,7	15,9
	Debi (cm³/s)	5–20	74,8	28	54,5	58,4
PC	Sıcaklık (°C)	250 – 330	64,1	118,7	100,3	113,7
	Basınç (bar)	600–1400	25	32,6	15,8	21,5
	Debi (cm³/s)	5–20	23,6	52,8	29,4	59,7
POM	Sıcaklık (°C)	160 – 240	29,7	85,7	125,3	25,4
	Basınç (bar)	600–1400	100,6	58,4	30,4	34,7
	Debi (cm³/s)	5–20	27,4	21,2	15,1	18,9

7.3. Sonuçlar

1. ABS, PA6, PA6.6, PC ve POM mühendislik plastiklerinin akış uzunlukları silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon debisi ile artmaktadır.

2. Dağıtıcı kanal kesit alanı arttıkça akış uzunluğu da artmaktadır.

3. Kullanılan ABS, PA6, PA6.6, POM ve PC mühendislik plastiklerinin optimum kalıplama koşulları aşağıdaki gibidir.

➤ ABS mühendislik plastiği en ideal akışı, 190–250 °C silindir sıcaklığı, 800–1400 bar enjeksiyon basıncı, 10–20 cm³/s enjeksiyon debi aralığında sağlamış 1,6, 2, 3 ve 4 mm kanal derinliğinde sırasıyla (185, 282, 454 ve 755 mm) akış uzunlukları elde edilmiştir.

➤ PA6 mühendislik plastiği en ideal akışı, 220–280 °C silindir sıcaklığı, 600–1400 bar enjeksiyon basıncı, 5–20 cm³/s enjeksiyon debi aralığında sağlamış 1,6, 2, 3 ve 4 mm kanal derinliğinde sırasıyla (301, 489, 838 ve 948 mm) akış uzunlukları elde edilmiştir.

➤ PA6.6 mühendislik plastiği en ideal akışı, 260–300 °C silindir sıcaklığı, 600–1400 bar enjeksiyon basıncı, 10–20 cm³/s enjeksiyon debi aralığında sağlamış 1,6, 2, 3 ve 4 mm kanal derinliğinde sırasıyla (250, 487, 880 ve 1052 mm) akış uzunlukları elde edilmiştir.

➤ PC mühendislik plastiği en ideal akışı, 270–310 °C silindir sıcaklığı, 600–1400 bar enjeksiyon basıncı, 10–20 cm³/s enjeksiyon debi aralığında sağlamış 1,6, 2, 3 ve 4 mm kanal derinliğinde sırasıyla (137, 260, 542 ve 785 mm) akış uzunlukları elde edilmiştir.

➤ POM mühendislik plastiği en ideal akışı, 170–220 °C silindir sıcaklığı, 800–1400 bar enjeksiyon basıncı, 10–15 cm³/s enjeksiyon debi aralığında sağlamış 1,6, 2, 3 ve 4 mm kanal derinliğinde sırasıyla (250, 432, 775 ve 944 mm) akış uzunlukları elde edilmiştir.

4. Kullanılan mühendislik plastikleri arasında kalıplamaya en uygun olan PA6.6 (akış boyu 876), en kötü kalıplanabilirlik ise PC malzemesi olduğu tespit edilmiştir.

PA6.6

5. Enjeksiyon parametrelerinin ABS, PA6, PA6.6, POM, PC mühendislik plastiklerinin akış boylarını etkilemesi sırasıyla sıcaklık, basınç ve debi (örneğin kanal derinliği 3 mm’de ABS malzemesinin için akış boyu değişikliği %109,7, %89,1, %14,2) olarak tespit edilmiştir.

6. Kullanılan mühendislik plastiklerinin ergime akış indislerine bakıldığında ergime akış indisi arttıkça akış uzunluğunun arttığı tespit edilmiştir. PA6.6, PA6, POM, PC, ABS malzemelerinin akış indisleri sırasıyla 115, 100, 67, 65, 10 g/10 min olduğu ve bu malzemelerin maksimum kanal kesit alanında basılması sonucu akış boylarının sırasıyla 876, 835, 827, 638 ve 615 mm elde edilmiştir.

7.4. Öneriler

1. Farklı kalıp sıcaklıkları ile çalışılarak akış boyu incelenmelidir.
2. Enjeksiyon dolum süresine göre akış boyu incelenmelidir.
3. Basınç aralığı 1400 bar üzerine çıkılarak akış boyu incelenmelidir.
4. Pürüzlülüğün akış boyunu nasıl etkilediği üzerinde çalışılmalıdır.
5. Enjeksiyon dolum esnasında vida titreşiminin akış boyunu nasıl etkilediği incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. ISO 294/1, “Termoplastiklerin enjeksiyonla kalıplanması”, (1996).
2. ASTM D 3123, “Isı ile sertleşen termoset kalıplama bileşiklerinin spiral akış için standart test metodu”, (1998).
3. Turaçlı H., “Enjeksiyoncunun El Kitabı”, *Pagev Yayınları*, İstanbul, 17-122 (1999).
4. Hong, W., Hang, X., Jin-ping, Q., Shao-dan, Z., “Cavity pressure response and melt flow length during dynamic injection molding”, *Polymer-Plastic Technology and Engineering*, 45(8): 935-937 (2006).
5. Hawley M., Jayaraman K., “Basic Process Factors in Injection Molding” Departments of Chemical Engineering, **Michigan State University**, Lansing, MI, 121-122 (1998)
6. Goof, J., Whelen T., “Injection Moulding Of Engineering Thermoplastic”, New York 25 (1990).
7. Rees, H., “Mold Engineering”, *Hanser Gardner Publications*, 2nd edition New York, 144-146 (June 15, 2002)
8. “Flow length polymer” *Dainippon ink. And chemicals*, Tokyo, 5-6 (2005).
9. “Engineering polymers”, *Mutsubishi Engineering Plastics Corporation* (2006).
10. “Moldability of LCP”, *Sumitomo Chemical Company* (2003).
11. “A processing guide for injection molding”, *Bayer Corporation*, California, 29–30 (1997).
12. “Injection Blow Moulding of Makrolon”, *Bayer Corporation*, Leverkusen, 3–4 (1997).
13. “Engineering Thermoplastics Processing Guide”, *General Electric Company*, California, 11–15 (1999).
14. “Injection moulding of Ultraform® (POM)”, *BASF Plastic Corporation*, Leverkusen, 6–10 (2005).
15. “PC Resin Product Brochure GE Advanced Materials Plastics”, *General Electric Company*, Michigan 41–44 (2005).
16. “Processing Advantage” *Nova Chemicals, Inc*, New York, 3–4 (2005).

17. "A processing guide for Injection Molding Bayblend Macrolon", **Bayer Corporation**, Leverkusen, 20–30 (1997).
18. "Wonderlite Engineer Plastic", **Chimei-Asahi Corporation**, 2-5 (2007).
19. "Plexiglas® V825 Acrylic Resin", **Altuglas International, Arkema Inc**, 1–4 (2000).
20. "Injection moulding of Ultramid polyamides" **Basf Chemical Company**, Michigan 1–4 (2005)
21. "Bayblend Technical Information", **Bayer Corporation**, Leverkusen, 1–6 (2002).
22. Prof. Dr. YURCİ, M.Emin., "Meslek İçi Eğitim Programı Plastik Teknolojisi", **TMMOB Seminer Notları**, İstanbul, 255–275 (22–24 Aralık 1993).
23. Akyüz, Ö. F., "Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş" **Pagev Yayınları**, İstanbul, 45-89 (1999).
24. Uzun, İ., "Hacim Kalıpcılığı", **Mili Eğitim Bakanlığı Basımevi**, İstanbul, 20-80 (1984).
25. Akkurt, S., "Plastik Malzeme Bilgisi", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 35-55 (1991).
26. Kaya, F., "Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları", **Zafer Matbaası**, İstanbul, 33-47 (1983)
27. Gutowski, T., "Advanced Composites Manufacturing" **Wiley-Interscience; 1 edition**, Chicago, 319 – 359 (2004).
28. Menges, G., Mohren, P., "How To Make Injection Molding", **Hanser Publication**, Munich, 21-51 (1993)
29. "A processing guide for Injection Molding sprue Considerations" **Bayer Corporation**, Pittsburgh, 34-38 (2001).
30. "Standart malzeme kataloğu", **Samet Teknik Hırdavat Tic. ve Ltd. Şti.**, İstanbul, 5-8 (2006).
31. Turaçlı, H. R., "Enjeksiyon Kalıpları İmalatı", **Pagev Yayınları**, İstanbul, 25-33, 142-144 (2000).
32. Yenitepe, R., "Termoplastiklerin Kalıplanmasında Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi", **Plastik Ambalaj Dergisi**, İstanbul (61): 12-18 (2002).
33. Yaşar, H., "Plastikler ve Plastikler Dünyası", **TMMOB Makine Mühendisleri Odası**, Ankara 24-30 (1992).

34. Kluz, J. (Çeviren Erci, G., Editör Bağcı M.), "Plastik ve Metal Döküm Kalıpları", *Erk. Tek. Öğr. Yük. Ok.*, Ankara, 23-26 (1985)
35. Subaşı, M., "Hacim Kalıpcılığında Kalıpların Isıtılması ve Soğutulması", *Pagev Yayınları*, İstanbul, 28-30 (2001).
36. Birinci, A., "Enjeksiyon ile Kalıplama", *İst. Tek. Üniv. Fen Bil. Enst. Yük. Lis. Tezi*, İstanbul (1997).
37. Alkaya, A. R., "Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi", *İst. Tek. Üniv. Fen Bil. Enst. Yük. Lis. Tezi*, İstanbul, (1998)
38. Karaağaç, R., "Enjeksiyon Kalıbında Basılan Ürünlerde Kaynak Hattının Deneyisel Olarak İncelenmesi", *G.Ü. Fen Bil. Enst. Yük. Lis. Tezi*, Ankara. (2001).
39. Rosato, D.V., "Injection Molding Handbook", 2. Edition, *Kluwer Academic Publishers*, London 71-72 (1999).
40. Pişkin, E., "Polimerler II Mühendislik Polimerleri", *Pagev Yayınları*, İstanbul 44-104 (2000).
41. "PA-757 ABS Resin" Chi Mei Polylac Engineering Plastics, *Calsak Corporation*, 1-3 (2006).
42. Raymond, B. Seymour., "Polymers for Engineering Applications", *Universty of Southern Mississippi*, New York 125-128 (1987).
43. "Designed for DSM Akulon Engineering Plastics" *DSM Plastic Corporation*, Singapore 2-4 (2005).
44. "Ultrad® A3K Polyamide 66 (Nylon 66)", *BASF Corporation Engineering Plastics*, 1-2 (2006).
45. "Wonderlite Engineer Plastic Grades", *Chimei-Asahi Corporation*, 1-2 (2006)
46. "Engineering Polymers", *Mitsubishi Engineering Plastics Corporation*, 2-3 (2006).
47. "Injection Molding Machine" *Jinhwa Corporation*, Taiwan, 13 (2002)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BULDU, Lezgi
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.05.1976 MUŞ
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (212) 615 15 48
 Faks : 0 (212) 577 03 28
 e-mail : lezgibuldu@gmail.com, lbuldu@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine eğitimi	1999
Lise	Manisa Teknik Lisesi	1994
Ortaokul	Akşemseddin	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999 -2001	İnönü And. Tek., Tek. ve E.M.L	Öğretmen
2001- 2003	Tunceli E.M.L.	Öğretmen
2003- 2006	İnönü And. Tek., Tek. ve E.M.L	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Buldu, L. Maçalı Kalıplar ”PAGEV Araştırma – Geliştirme ve İnceleme Dergisi, sayı 54 s: 76 – 82, Sayı 55 s: 92 – 101, Sayı 56- s: 70 – 75, 2001

Hobiler

Yüzme, Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Basketbol