



POLİPROPİLEN MALZEMENİN ŞİŞME ORANININ İNCELENMESİ

Ali AKKUŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Ali AKKUŞ tarafından hazırlanan “POLİPROPİLEN MALZEMENİN ŞİŞME ORANININ İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Eğitimi Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Şener KARABULUT

Makine Programı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 13/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Ali AKKUŞ
13/09/2019

POLİPROPİLEN MALZEMENİN ŞİŞME ORANININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali AKKUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bu çalışmada, plastik malzemelerin ekstrüzyonunda sıkça karşılaşılan şişme oranı problemine, kalıp giriş açısı, sıcaklık, basınç ve hız parametrelerinin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel malzemesi olarak, endüstride ekstrüzyon proseslerinde yaygın olarak kullanılan ve PETKİM tarafından üretilen polipropilen (PP) seçilmiştir. Sıcaklık parametresi olarak 210 °C ve 230 °C, vida hızı parametresi olarak da 20, 40, 60, 80 ve 100 dev/dk belirlenmiştir. Yapılan çalışmada 3 mm çapa (D) sahip farklı boylarda (30 mm, 45 mm ve 60 mm) ve kalıp giriş açılarında (45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 180°) kılcal kalıplar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; kalıp giriş açısı aynı olan ve farklı L uzunluklarına sahip kalıplarda L uzunluğu arttıkça şişme oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı L uzunluklarına sahip ancak kalıp giriş açıları değişen kalıplarla yapılan deneylerde ise artan ilerleme hızının şişme oranının artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Polipropilen PP, Kalıp Şişmesi
Sayfa Adedi : 80
Danışman : Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ

INVESTIGATION OF DIE SWELL RATIO OF POLYPROPYLENE MATERIAL

(M. Sc. Thesis)

Ali AKKUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

In this study, the effects of mold entry angle, temperature, pressure and velocity parameters on the common problem of die swell ratio in the extrusion of plastic materials have been researched experimentally. The Polypropylene (PP) produced by PETKİM and widely used in the extrusion processes in the field of industry has been selected as the experiment material. 210 °C and 230 °C as the temperature parameter and 20, 40, 60, 80 and 100 rpm. as the screw velocity parameter have been determined. The capillary molds having 3 mm diameter in different sizes (30mm, 45mm and 60 mm) and angles (45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 180°) have been used in this study. As a result of the experimental studies; it has been observed that the die swell ratio decreases as the L size increases in the molds with the same mold entry angles and different L sizes. However, it has been observed in the experiments performed with the molds having the same L sizes but different mold entry ratios that the rising feed rate causes the die swell ratio to increase.

Science Code : 91438

Key Words : Polipropilen, Die Swell

Page Number : 80

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ

TEŞEKKÜR

İnsanlık tarih boyunca, ihtiyaçlarımızdan kaynaklı hep bir adım daha ileriye gitmenin yollarını aramıştır. Elde ettiklerimiz bir sonraki yaşantılarımıza ışık tutarak hayatımızı kolaylaştırırken, bir yandan da anlamlandırmıştır.

Yapmış olduğum bu çalışma vesilesiyle; yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. İbrahim KARAAĞAÇ ile fakülte yıllarımdan bu yana her zaman desteğini gördüğüm Doç. Dr. Onuralp ULUER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Yapılan deneysel çalışmalarda laboratuvar imkanları oluşumu için ARDEB 1003 programı kapsamında 115M041 nolu projeye verdiği desteklerden dolayı TÜBİTAK'a, teşekkür ederim.

Tez yazım aşaması ve öncesinde her zaman desteğini arkamda hissettiğim eşime, peşimi bir an olsun bırakmayan büyük kızıma ve aramıza yeni katılan minik kızıma sevgilerimi sunuyorum. Ayrıca hayatım boyunca, bana kılavuzluk eden başta annem ve rahmetli babam ile ablama en derin duygularıyla saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİK MALZEMELER (POLİMERLER)	3
2.1. Genel Bakış	3
2.2. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
2.2.1. Termoplastikler	4
2.2.2. Termosetler	5
2.2.3. Elastomerler	6
2.3. Polipropilen (PP).....	7
2.3.1. Genel bakış.....	7
2.3.2. Polipropilenlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	8
2.3.3. Polipropilenlerin kullanım alanları	9
3. EKSTRÜZYON	13
3.1. Ekstrüzyon Makinesinin Ana Kısımları.....	14
3.1.1. Huni.....	14
3.1.2. Vida (Burgu veya helezon)	14

Sayfa

3.1.3. Silindir.....	15
3.1.4. Soğutma ve vakumlama ünitesi	15
3.1.5. Çekici	15
3.1.6. Hız kontrol sürücüsü	15
4. ŞİŞME	17
5. LİTERATÜR TARAMASI.....	21
5.1. Malzeme Çeşitlerine Göre Oluşan Şişme Oranları	21
5.2. Şişme Oranında Değişkenlerin Önemi	36
5.3. Şişme Oranı İncelenmesinde Kalıp Tasarımı ve Yöntemlerin Önemi	42
6. MATERYAL METOD	49
6.1. Materyal	49
6.1.1. Ekstrüder makinesi (NOVOMA NTB 30/25D)	49
6.1.2. Konveyör bant.....	52
6.1.3. Deneyleerde kullanılan kalıplar ve tasarımları	54
6.2. Metod	59
6.2.2 Malzemenin şişme oranının tespiti	61
6.2.3 Malzemenin ekstrüderden akış hızının belirlenmesi.....	64
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	65
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Polipropilenin Özellikleri [6].....	8
Çizelge 5.1. Deneysel ölçülen veriler [15].....	48
Çizelge 6.1. Ekstrüder makineye ait teknik özellikler	49
Çizelge 6.2. Konveyör banta ait teknik özellikler.....	54
Çizelge 6.3. Kalıp bilgileri.....	54
Çizelge 6.4. PETOPLEN MH 418 serisi PP özellikleri.....	60
Çizelge 6.5. Ekstrüder makine bölgelerinde ayarlanan sıcaklık değerleri.....	60
Çizelge 6.6. Şişme oranı ölçümü için belirlenen parametreler	61
Çizelge 6.7. 1 numaralı kalıba ait 210 °C'deki şişme oranı değerleri.....	63
Çizelge 6.8. 1 numaralı kalıba ait 230 °C'deki şişme oranı değerleri.....	64
Çizelge 7.1. 1 numaralı kalıba ait şişme oranı verileri	66
Çizelge 7.2. Eriyik kırılmalarının görüldüğü kalıplar ve parametreleri.....	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metan, Etilen ve Polietilen' in birleşimi ve polimer oluşumu [1]	3
Şekil 2.3. Amorf ve yarı kristal termoplastik için zincir dizilimi [2]	4
Şekil 2.4. Termosetlerin moleküler yapısı [2]	5
Şekil 2.5. Elastomerlerin molekül yapısı [3]	6
Şekil 2.6. Polipropilenin kimyasal yapısı [4].....	7
Şekil 2.7. Hammadde halinde polipropilen [6].....	9
Şekil 2.8. Homopolimerin kullanım alanları [6].....	10
Şekil 2.9. Random Kopolimerlerin kullanım alanları [6]	10
Şekil 3.1. Tek vidaya sahip bir ekstrüder makinesi [1].....	13
Şekil 3.2. Ekstrüder vidaları [1].....	15
Şekil 4.1. Dairesel kesit için şişme [9].....	17
Şekil 4.2. Polimerin kalıptan ekstrüzyonu	18
Şekil 4.3. Çeyrek dikdörtgen kesit için hız alanı gösterimi [9]	18
Şekil 5.1. Farklı kesitler için kalınlık ve çap şişmesi [16].....	21
Şekil 5.2. Sıcaklığın PP/700 sisteminin kalıp kabarma oranına etkisi [17].....	22
Şekil 5.4. Düzlemsel giriş akışı ve serbest yüzey kullanılan sonlu elemanlar kafesi [18] ..	24
Şekil 5.5. 5 ile 100 s ⁻¹ aralığında meydana gelen şişme oranları [20]	25
Şekil 5.8. 160 °C'deki eriyik haldeki polimerin kesiti [24]	28
Şekil 5.9. Eriyik akış hızı ile numune A'nın sıcaklığı arasındaki ilişkisi (L/D=3,8) [11]...29	
Şekil 5.10. LDPE eriyiği için görünür kesme oranının bir fonksiyonu [25]	30
Şekil 5.11. Kalıp şeklinin şişme oranı üzerine etkisi [12]	31
Şekil 5.12. Sıcaklığın şişme oranına etkisi [27].....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13 Şişme oranı (B) ile L/D (230 °C) arasındaki ilişki [28].....	33
Şekil 5.14. Akışkanının ekstrüzyonundan elde edilen sonlu eleman ızgarası [29].....	34
Şekil 5.15. Ekstrüdat kabarma sınır şartları ve genişleme değeri gösterimi [30]	34
Şekil 5.16. Kalıp şişmesi (a) ve gecikmiş kalıp şişmesi (b) gösterimi [31].....	36
Şekil 5.17. Kısa kalıp ekstrüzyon akışının analizi için diyagram [32]	37
Şekil 5.18. Sıcaklık ve L/D değerlerine göre şişme oranları [32].....	38
Şekil 5.19. Sıcaklık-Şişme diyagramı [33]	38
Şekil 5.20. 90 °C’de B ve e arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram [34].....	39
Şekil 5.21 Kare kesitli kalıp şişme oranı [35].....	41
Şekil 5.22. Sıcaklığa göre şişme grafiği [37].....	42
Şekil 5.23. Homojen ekstrüdat şişme fonksiyonu [38].....	43
Şekil 5.24. Farklı kalıp çıkış açıları için çıkış görselleri [39].....	44
Şekil 5.25. Molar kütle dağılım momentleri karışımların kapsadığı aralıklar [13]	45
Şekil 5.26. Hesaplama kullanılan sonlu elemanlar ağı [40].....	46
Şekil 5.27. Çift lümenli tüpün ekstrüdat profili $n = 2 r / dk.$ [40].....	47
Şekil 6.1. NOVOMA NTB 30/25D Ekstrüzyon Makinesi	50
Şekil 6.2. Ekstrüdere ait 5.5 kW AC motor ve redüktör	50
Şekil 6.3. Makinede kullanılan ekstrüder vida.....	51
Şekil 6.4. Kovan üzerinde konumlandırılan sıcaklık kontrol sensörleri ve rezistanslar	51
Şekil 6.5. Kontrol paneli üzerinde yer alan sıcaklık göstergeleri	52
Şekil 6.6. Konveyör bant	53
Şekil 6.8. Kalıplara ait görseller	55
Şekil 6.9. Kalıplara ait boyutların teknik resim olarak gösterimi	56
Şekil 6.10. Tutucu kafa	56

Şekil	Sayfa
Şekil 6.11. Tutucu kafaya ait teknik resim	57
Şekil 6.12. Kalıp sıcaklığı için tercih edilen rezistans ve sensör	57
Şekil 6.13. Polipropilenin kalıptan çıkışı ve kamera ile anlık veri elde edilmesi	58
Testler için hazırlanan deneysel düzenek Şekil 6.14’te sunulmuştur.	58
Şekil 6.14. Deney düzeneği	59
Şekil 6.15. PP eriyiğinin kalıp nozulundan akması	61
Şekil 6.16. Denklem verilerinin elde edilişi.....	62
Şekil 6.17. 1 numaralı kalıbın 210 °C’de şişme oranı için elde edilen denklem	63
Şekil 7.3. 1 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C’deki şişme oranı.....	67
Şekil 7.5. 8 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C’deki şişme oranı.....	68
Şekil 7.6. 4 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C’deki şişme oranı.....	69
Şekil 7.7. 6 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C’deki şişme oranı.....	69
Şekil 7.8. 210 °C ve değişen L değerlerine göre elde edilen şişme oranları.....	70
Şekil 7.9. 230 °C ve değişen L değerlerine göre elde edilen şişme oranları.....	70
Şekil 7.12. PP malzemede oluşan eriyik kırığı (düzensiz akış).....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
C	Karbon Elementi
H	Hidrojen Elementi
N	Azot Elementi
η^{∞}	Sonsuz kayma hızı viskozitesi
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
g/cm^3	Özgül ağırlık
kg/cm^2	Çekme dayanımı
kg/m^2	Darbe dayanımı
ΔP	Basınç Değişimi
ΔP_{en}	Giriş bölümündeki basınç düşüşü
ΔP_{d}	Kalıp duvarındaki basınç
ΔP_{ex}	Çıkıştaki basınç düşüşü
t	Zaman
V	Bileşke hız
V	Kesitteki ortalama hız
vn	Normal hız bileşeni
vr	Hız vektörünün radyal doğrultudaki bileşeni
vt	Normal hız bileşeni
vx	Hız vektörünün x doğrultusundaki bileşeni
vy	Hız vektörünün y doğrultusundaki bileşeni
vz	Hız vektörünün z doğrultusundaki bileşeni
\emptyset	Çap işareti
γ_{kri}	Kritik kayma şekil değiştirme miktarı
γ	Kayma şekil değiştirme hızı
γ_a	Görünen kayma şekil değiştirme hızı
τ	Kayma gerilmesi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ALE	Arbitrary Logrange Eulerian
B	Şişme değeri
D	Çap
GNP	Grafen Nano Toz
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
L	Boy Uzunluk Değeri
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
O	Oksijen Elementi
PA	Poliamid
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PMMA	Polimetilmetakrilat
PS	Polistiren
PTT	Phan-Thien-Tanner
PU	Poliüretan
PVC	Polivinilklorid
UP	Poliester

1. GİRİŞ

Polimerik malzemelerin kullanım alanları ve çeşitliliği her geçen gün katlanarak artmaktadır. Bu malzemeler öncelikli olarak kolay elde edilebilirlikleri, düşük yoğunluğa sahip olmaları, şekil verilebilirliklerinin oldukça kolay olması, ısı ve elektrik iletkenliklerinin düşük olması, geri dönüşüm gibi birçok özelliklere sahip olmasından kaynaklı olarak tercih edilmektedir. Otomotiv, uçak sanayi, tekstil, elektrikli ürünler, bilgisayar malzemeleri, medikal ürünler, altyapı ve birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Birçok sektörde tercih edilen polimerler için çeşitli şekillendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok tercih edilenler; enjeksiyonla kalıplama, şişirme ve ekstrüzyonla kalıplama yöntemleridir. Şekillendirme yöntemlerine bağlı olarak ve polimerlerin moleküler yapılarından kaynaklı, şekillendirme süreçlerinde olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Şişme ya da ekstrüdat kabarması olarak bilinen bu olumsuzluk, yaşanan en büyük problemlerin başında gelmektedir.

Ekstrüzyon çıkışında kesitsel ve boyutsal olarak elastik tepkime gösteren polimerlerin, şişme oranları üzerine endüstride birçok çalışma mevcuttur. Bu bağlamda, yapılan tez çalışması ile şişme oranına etki eden faktörler araştırılmıştır. Farklı sıcaklık ve hız değerleri ile farklı giriş açısı ve boy değerlerine sahip 9 adet ekstrüzyon kalıbı üzerinde şişme oranlarının sayısal analizleri yapılmıştır.

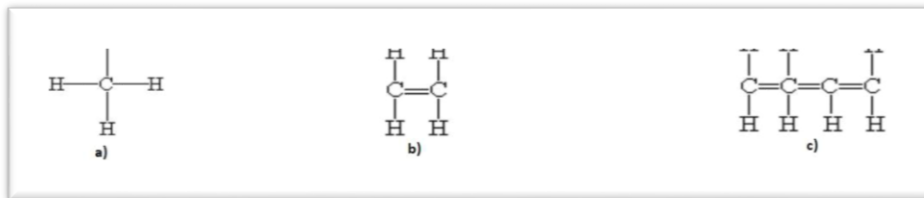
Yedi bölümden oluşan bu tez çalışmasında, ikinci bölümde; plastik malzemeler üzerine genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde; plastik malzemeleri şekillendirme yöntemlerinden olan ekstrüzyon konusu işlenmiştir. Dördüncü bölümde; tez çalışmasının genel problemi olan şişme hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde; literatür çalışmasına yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise tez çalışması için yararlanılan materyal ve metottan bahsedilmiştir. Son bölüm olan yedinci bölümde, yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde sonuçlar ve öneriler üzerinde durulmuştur.

2. PLASTİK MALZEMELER (POLİMERLER)

2.1. Genel Bakış

Günlük hayatımızın büyük bir kısmına hitap eden plastik malzemeler, metallere sonra en önemli malzeme cinsidir. Kolay şekil alabilirliği, özgül ağırlığı ile ısı ve elektrik iletkenliklerinin düşük olması, dayanıklı ve korozyona karşı dirençli olması, kolay elde edilmesi ve ucuz olması gibi birçok etken, plastiklerin yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

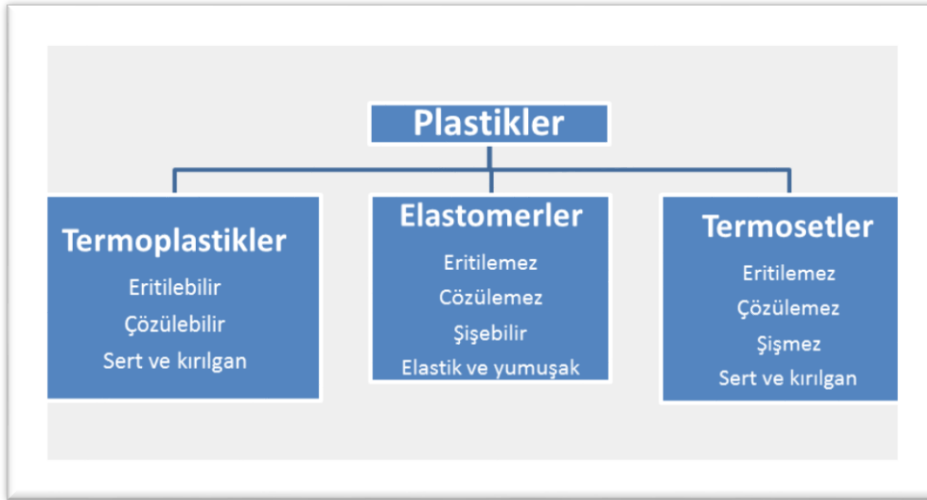
Plastikleri tanımsal olarak ifade etmek gerekirse, karbonun (C); Hidrojen (H), Oksijen (O), Azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementler ile bir araya getirilmesi, basit yapıdaki molekül gruplarında yer alan bağın koparılması, uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi sonucu elde edilen malzemelerdir. Uzun ve zincirli yapıya dönüştürülerek elde edilmesinden dolayı polimer olarak da adlandırılır. Küçük moleküllerin bir araya gelerek daha büyüklerini meydana getirme işlemine ise polimerizasyon adı verilmiştir [1]. Şekil 2.1’de polimer yapının elde edilmesi için kimyasal yapı sunulmuştur.



Şekil 2.1. Metan, Etilen ve Polietilen' in birleşimi ve polimer oluşumu [1]

2.2. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

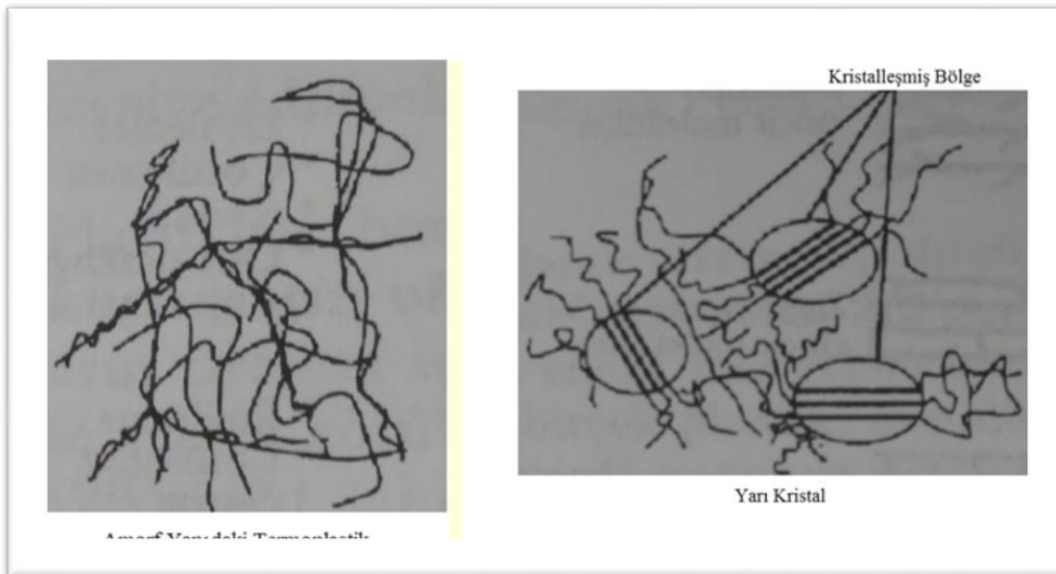
Plastikleri çeşitli kriterlerde sınıflandırmak mümkündür. Genel olarak kimyasal yapıdan kaynaklı kabaca “çapraz bağlı” ve “çapraz bağlı olmayan” olarak sınıflandırılmaktadır. Bu doğrultuda ayrıştırılırsa; termoplastikler, elastomerler ve termosetler olarak üç ana plastik çeşidi mevcuttur [2].



Şekil 2.2. Plastiklerin sınıflandırılması [2]

2.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler uzun moleküler yapıya sahip olup, ısıtıldıklarında yumuşar ve akarlar. Soğutulduklarında ise tekrar katı hallerini alırlar. Bu özellikleri ile kimyasal yapıda bozulma olmamasından dolayı tekrar kullanıma müsaittirler. Ancak yapısal bağlardaki çözülmelerden kaynaklı ısıtılıp soğuduktan sonra cama benzerler ve çatlamalar görülebilir. Şekil 2.3’de amorf ve yarı kristal termoplastik için zincir dizilişi sunulmuştur.



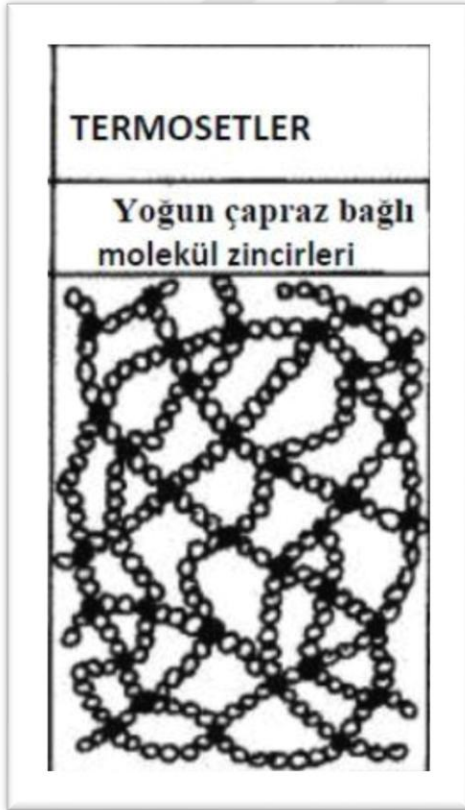
Şekil 2.3. Amorf ve yarı kristal termoplastik için zincir dizilimi [2]

Termoplastiklerin kullanım amacı çok çeşitli olmakla birlikte, Selüloz Türevleri, Polietilen Teraftalat, Naylon, Polikarbonatlar ve Poliasetaller olmak üzere beş grupta toplanırlar. Yaygın olarak kullanılmakta olanları ise aşağıdaki gibidir:

- Polietilen (PE)
- Polipropilen (PP)
- Poliamid (PA)
- Polimetilmetakrilat (PMMA)
- Polikarbonat (PC)

2.2.2. Termosetler

Termosetleri termoplastiklerden ayıran ön önemli özelliği tekrar geri dönüşümü olmayışıdır. Moleküler yapıları çok kuvvetlidir. Bu özelliği ile şekil aldıktan sonra sertleşir ve malzeme artık yumuşamadığından şekil değiştirmez.



Şekil 2.4. Termosetlerin moleküler yapısı [2]

Termoset plastik ürünler sıvı veya tozun bir kalıp içerisinde ısıtılıp sertleşmesiyle üretilirler. Termoset plastik türleri genel olarak epoksiler, polyesterler, silikonlar ve fenoliklerdir. Sertleştirilmiş kauçuk da yine termoset plastik için örnek verilebilir. Termosetler günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olup özellikle otomotiv, medikal (gözlük, diş dolguları...), ambalajlama, pet şişeler, plastik borular, elektronik çipler gibi birçok alanda geniş yelpazeye sahiptir.

2.2.3. Elastomerler

Çekme kuvveti uygulandığında yüksek derecelerde uzama gösterebilen ve üzerindeki kuvvet ortadan kalktığında tekrar eski formuna dönebilen plastiklerdir. Düşük çapraz bağlarla birbirine tutunan bu yapı kauçuk polimerler olarak da bilinirler.



Şekil 2.5. Elastomerlerin molekül yapısı [3]

Elastomerler tıpkı termosetler gibi geri dönüştürülemezler. Bunun sebebine gelince yapısında bulunan bağların parçalanması, yüksek sıcaklık ile parçalanmış bağların tekrar eski haline gelmesinin mümkün olmamasıdır. Sıcaklık karşısında elastomerlerin yapısı ve geometrisi bozulur ve tekrar kullanılamayacak şekle gelirler [3].

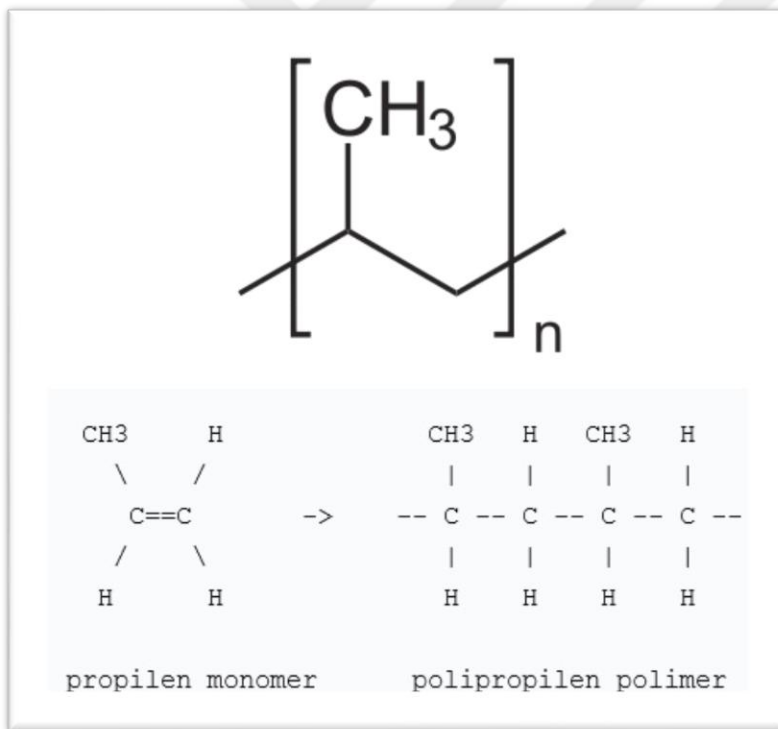
Birçok spor ürünleri, otomotiv sanayi, yalıtım malzemeleri, hortum, oring, conta türü malzemelerde sıkça karşılaşılan elastomerlerin en yaygın olanları aşağıda sıralanmıştır.

- Poliizopiren (Doğal Kauçuk)
- Poliüretandır
- Poliizobütillen
- Polibütadiyen

2.3. Polipropilen (PP)

2.3.1. Genel bakış

Polipropilen ilk defa 1954 yılında Giulio Natta ve Alman kimyager Karl Rehn tarafından bulunmuştur. Kimyasal yapısı monomer olarak $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH}_3$ şeklinde olup, çift bağ ile açık kalan uçlara CH_3 ve H elementlerinin bağlanması sonucunda polimer yapısı oluşmaktadır [4].



Şekil 2.6. Polipropilenin kimyasal yapısı [4]

2.3.2. Polipropilenlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Polipropilen; genel olarak sert, opak ve sağlam bir malzeme olması ile bilinir. Düşük özgül ağırlığa sahip olan polipropilenler, yüksek sıcaklıklarda ve nem koşullarında kararlı yapısıyla tercih edilen bir polimerdir.

Polipropilen, yorulmaya karşı çok iyi direnç gösterir. Ticari kullanımı maliyet anlamında düşük olmasından dolayı oldukça geniş ürün yelpazesine sahiptir. Darbe dayanımı iyi, sürtünme katsayısı düşük olup, çok iyi elektrik yalıtımı sağlamaktadır [5-6]. Erime sıcaklığı 130 ile 171 °C arasında olan polipropilen için Çizelge 2.1’ de özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Polipropilenin Özellikleri [6]

	Test Modu ISO/ASTM-D-648	Değer
Genel Özellikleri		
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1183	0,92
Su Emme (% Doymuş)	62	0,1
Aside karşı direnci		Mükemmel
Alkaliye karşı direnci		Mükemmel
Çözücüye karşı direnci		Mükemmel
Mekanik Özellikler		
Çekme Dayanımı (Kg/cm ²)	527	300
Elastikiyet Modülü (MP ₃)	527	1250
Kopma Uzaması (%)	527	>50
Darbe Dayanımı (Kj/m ²)	180	7
Sertlik (Shore D)	868	70
Termal Özellikler		
Deformasyon noktası (°C)	ASTM-D-648	120-130
Yumuşama Noktası (°C)	ASTM-D-648	165-172
En Yüksek Sürekli Çalışma Sıcaklığı (°C)	-	100
En Düşük Sürekli Çalışma Sıcaklığı (°C)	-	5
Isıl Genleşme Katsayısı	11359	1,6 x 10 ⁻⁴

Polipropilenler ticari yaygınlığı oldukça iyi olması ile bilinirler. Kristal yapısı, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olarak tercih edilirler. Her malzemede olduğu üzere polipropilenlerin de avantajları olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Polipropilenlerde bu durum ultraviyole ışınlarına dayanım açısından ön plana çıkmaktadır. Yüksek termal genişleme gösterebilirler. Dış hava şartlarına dayanımı az olup, oksitlenmeye açıktır. Boya ve kaplama açısından zorluk gösterir. Yanıcı olduğundan klor içeren solventler ile etkileşime girebilir.



Şekil 2.7. Hammadde halinde polipropilen [6]

2.3.3. Polipropilenlerin kullanım alanları

Polipropilen türleri üç ana gruba ayrılırlar:

H – Homo Polimerler

Homo Polipropilenler genel olarak enjeksiyon ve şişirme kalıplama yöntemlerine uygundur. Yüksek sertlik gösterirler. Düşük sıcaklık uygulamalarında tercih edilmezler. Uygulama alanlarına bakıldığında; gıda, ambalaj oyuncak, mutfak gereçleri, endüstriyel parçaların imalatı, kırtasiye ürünleri, tekstil, elektrikli ev aletleri ve otomotiv sektöründeki aksamlar olmak üzere aktif olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. Homopolimerin kullanım alanları [6]

C – Kopolimerler

Enjeksiyon ve şişirme kalıplamaya uygundur. Darbe mukavemetleri yüksek olup ısıya dayanıklıdır. Uygulama alanlarına bakıldığında; otomobil far ve tamponlarında, elektronik ürünlerde, saklama kapları, çeşitli amaçlarla kullanılan taşıma kasalarında, beyaz eşya aksamlarında, su boruları vb. yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

RC – Random Kopolimerler

Saydımlıkları iyidir. Şişirme kalıplarında tercih edilirler. Sıhhi tesisat ürünleri başta olmak üzere profil plakalarda, pet şişeler, boru üretimi gibi endüstriyel ürünlerin hammaddesidir.



Şekil 2.9. Random Kopolimerlerin kullanım alanları [6]

Ana hatlarıyla kullanım alanları belirtilen polipropilenler günümüz şartlarında hemen hemen her sektörde yaygın biçimde yer almaktadır. Moleküler özelliğinden kaynaklı ve üretimi esnasında yapısal özelliklerini geliştirmek üzere katkı maddeleri kullanımına elverişli olması polipropilenlerin çok sayıda uygulamada yer almasını sağlamaktadır.

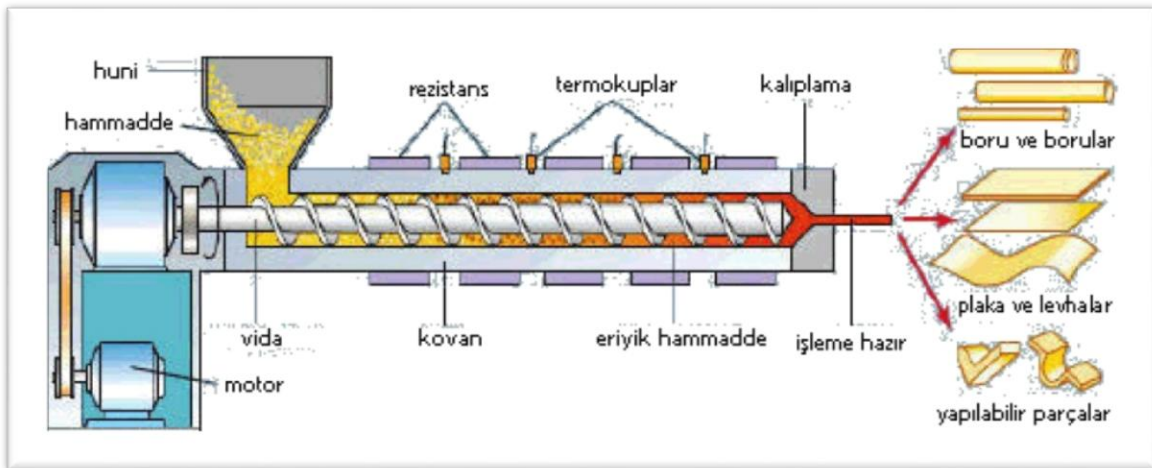




3. EKSTRÜZYON

Ekstrüzyon, bir metal ya da plastik malzemenin belli bir ergime sıcaklığında, belli bir kuvvet uygulanarak formu verilmek istenen ürün için hazırlanmış olan kalıp boşluğundan geçirilmesi ve sürekli biçimde ürün elde edilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Polipropilen malzemelerin işlenmesinde en sık kullanılan proseslerin başında ekstrüzyon yöntemi gelmektedir. Bunun yanı sıra enjeksiyonla kalıplama ve şişirme yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon prosesinde, enjeksiyonda olduğu gibi granül ya da toz halindeki reçine, bir besleme hunisi vasıtasıyla devamlı olarak ısıtma silindrine (kovan) gönderilir. Silindir içerisinde bulunan ve redüktörlü motor sistemi ile çalışan taşıma ve sıkıştırma özelliğine sahip sonsuz vidanın ileri yönlü hareketi polimerik malzemeyi iter. Silindirin ısıtılması ve sıkışan polimerin kayma etkisiyle oluşturduğu sürtünme ergime olayını başlatır [1]. Bu aşamadan sonra kayma gerilmesine maruz kalan katı malzeme şekil değiştirerek deforme olurken, eriyik hale gelen malzeme akmaya başlamaktadır [7]. Böylece kalıp boşluğuna doğru ilerleyen numune buradan çıkar ve soğuma işlemi tamamlandıktan sonra kalıp boşluğunun şeklini alır. Elde edilmek istenen form böylelikle sağlanmış olur. Şekil 3.1’de tek vidalı bir ekstrüder makinenin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek vidaya sahip bir ekstrüder makinesi [1]

Ekstrüder, ekstrüde kelimesinden gelmektedir. Ekstrüde latin kökenli bir kelime olup “ex” (dışarı) ve “trude” (itmek) kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Katı haldeki

polimerin etkin ve sürekli eriyik hale dönüştürülerek, basınçlı bir şekilde kalıp çıkışına gönderen bu makineler, imalat yöntemleri açısından önemli bir yere sahiptir [8].

Ekstrüzyon işleminde temel değişkenler; vida hızı ve sıcaklıktır. Temel imalat parametreleri de vida uzunluğu (L) ve vida çapı (D) olarak kabul edilmektedir. Bu iki parametrenin birbirine oranı (L/D) ekstruder makine karakteristiğini göstermektedir. L/D oranı da büyük ölçüde ekstruder makineden polimerik malzemenin çıkışı, polimerik malzemenin çıkış süresi ve polimere olan ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirlemektedir. Bu sebeple, ekstruder makine tasarımları yapılırken en önemli parçalardan birisi de vida tasarımı ve bunun yanında L/D oranının tayinidir [1].

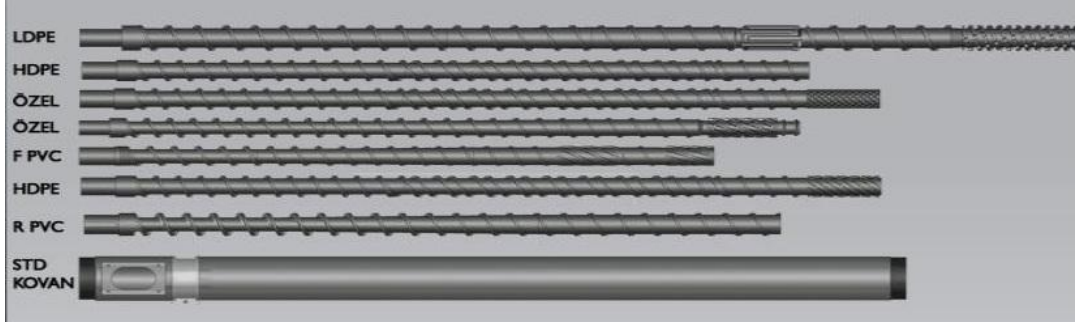
3.1. Ekstrüzyon Makinesinin Ana Kısımları

3.1.1. Huni

Ekstrüderde işlenecek malzemenin düzenli olarak beslenmesini sağlayan bölümdür. Genellikle serbest akma eğiliminde tasarlanırlar, fakat bir konveyör veya karıştırıcı ile desteklendiği görülür.

3.1.2. Vida (Burgu veya helezon)

Ekstrüder vidası, polimerik ham malzemenin aktarılmasında, eriyik hale dönüştürülmesinde ve homojen olarak elde edilmesinde rol oynayan, önemli bir parçadır [9]. Vida tasarımı ve çalışma koşulları, makinenin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Ekstrüder vidasının temel geometrik değişkenleri; vida geometrisi ve sayısı, kanalın derinliği ve ekstruder boyunca meydana gelen derinlik değişimi, vida ile kovan arasındaki radyal açıklık olarak nitelendirilebilir. Vidanın ve kovanın malzemeleri çeliktir ve aşınmaya karşı çeşitli proseslerle sertleştirilebilmektedir. Kullanım amacına göre geliştirilen birçok değişik vida tipi mevcuttur. Bu tipler arasında en yaygın olanı üç bölgeli vidadır. Üç bölgeli vidadaki mevcut bölgeler; besleme, sıkıştırma ve ölçmedir. Şekil 3.2’de üretici firmalar tarafından önerilen farklı vida tasarımları gösterilmiştir [1].



Şekil 3.2. Ekstrüder vidaları [1]

3.1.3. Silindir

Ocak veya kovan olarak da adlandırılan silindirler, vidanın içerisine yataklanmış ısıtıcıların üzerinde bulunduğu, ergimiş haldeki malzemenin içerisinden aktığı kısım olarak tanımlanır [10].

3.1.4. Soğutma ve vakumlama ünitesi

Vakum ve soğutma pompası, ürünün istenilen form için doğru biçimde soğuması ve vakumlanmasının gerçekleştirildiği birimdir.

3.1.5. Çekici

Makinede işlenmiş olan ürünü, kalıp boşluğundan geçtikten sonra, bir palet yardımıyla çekerek kesime hazırlayan sistemdir.

3.1.6. Hız kontrol sürücüsü

Elektrik motorundan sisteme giren mekanik gücün verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacı ile geliştirilen hız kontrol sürücüleri, hammaddenin girişinden kalıp boşluğundan çıkışına kadarki sürecin ana unsurlarındandır.



4. ŞİŞME

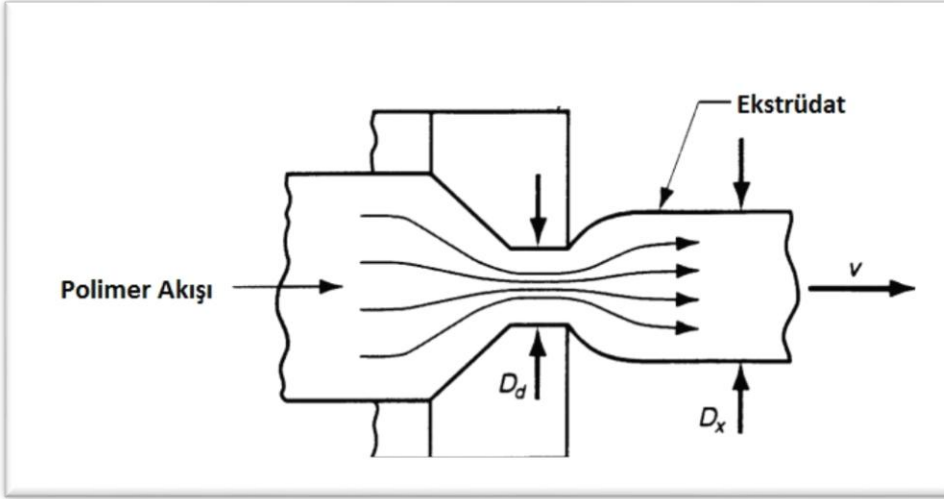
Şişme ya da ekstrüdat kabarması, polimer işleme esnasında ürünün ekstrüzyon çıkışında kesitsel ve boyutsal olarak gösterdiği şekil değiştirmesidir. Herhangi bir ekstrüzyon işlemi sırasında bir polimerin şişme özelliği, plastik endüstrisinde her zaman endişe kaynağı olmuştur [11].

Üretimde, işlem parametreleri tamamlandıktan sonra kesin geometrik boyut çok önemlidir. Şişme oranı, ürün şekil kontrolünde birincil engellerden kabul edilir [12]. Eriyik malzeme kalıp içerisinde ilerlerken, akış doğrultusunda çekme ve kayma gerilmesine maruz kalır. Bu gerilmelerin ortadan kalkması ile tekrar eski moleküler yapısına dönmek ister. Gerilme gevşemesi adı verilen bu olay belli bir zaman aralığında olur. Şekil 4.1’de dairesel bir kesitin ekstrüzyon sonrası şişme gösterilmektedir [9].



Şekil 4.1. Dairesel kesit için şişme [9]

Ekstrüdat kabarmasının, polimer eriyiklerin viskoelastik doğası ile ilgili olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır [13]. Hala viskoelastik sıvıdaki şişmenin sebepleri tam olarak bilinmemektedir. Hem teknik parametreler hem de kalıpların geometrik yapıları şişme oranında önemli bir yere sahiptir. Bunların dışında normal stres farkının ($N1$) etkisi şişmenin ana sebebi olarak görülürken, polimerlerin elastikiyetlerinden dolayı, genellikle araştırmacılar bu iki unsur üzerinde denklemler kurulmasını önermektedir [14].



Şekil 4.2. Polimerin kalıptan ekstrüzyonu

Viskoelastik bir sıvı kalıp boşluğundan aktığı sırada, elastik enerjinin depolanması ve dağıtılması bariz son basınç kayıplarına da sebebiyet vermektedir [15]. Şişme olayının önemli problemlerinden biri de profil çevresi boyunca üniform gerçekleşmemesidir. Bu durum profilde şekil bozukluğuna neden olur. Örneğin çeyrek bir dikdörtgen profilden çıkan akışkan kenar bölgelerde yüksek şekil değiştirme hızı gösterirken, köşelere doğru gelindiğinde bu hızın yavaşladığı görülecektir. Bu durum Şekil 4.3’de akış eğrisi olarak verilmiştir. Yani kenarlardaki şişme oranı köşelere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır [9].



Şekil 4.3. Çeyrek dikdörtgen kesit için hız alanı gösterimi [9]

Bu nedenle şişme üzerine hem teorik olarak hem de endüstriyel bağlamda araştırmalar yapılmaktadır. Sonlu elmalar yöntemi, spektral yöntem ve sınır integral yöntemi dahil olmak üzere sağlam ve kararlı sayısal yöntemler üzerine çalışılmıştır [12].

Şişme oranı, ekstrüdatın enine kesit alanından çıkıp hava ile temas ettiği andan itibaren hacimsel olarak yaşanan değişiklikler olarak özetlenirse, bu duruma etki eden faktörleri minimize etme adına, kalıp tasarımı (açı, kalıp uzunluğu ve çap), sıcaklık, viskozite, kalıp geometrisi, uygulanan basınç değeri, ekstürüzyon öncesi simülasyon vb. unsurların etkisinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.





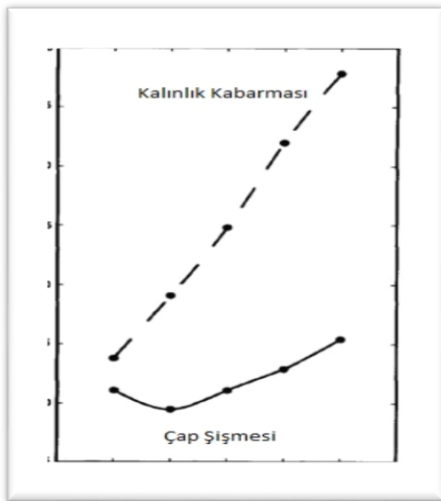
5. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda plastik malzemelerin öncelikli olarak ekstrüzyon sonunda şişme oranları, şişme oranlarına etki eden faktörler ile malzeme çeşidine göre akış davranışları ve kalıp tasarımının önemi üzerine yapılmış birçok çalışmanın olduğu görülmüştür.

5.1. Malzeme Çeşitlerine Göre Oluşan Şişme Oranları

Bu bölümde malzeme akma davranışları, kalıplama şekilleri, deneysel çalışmalar ve deneysel çalışmalara ait yöntemler özetlenmiştir.

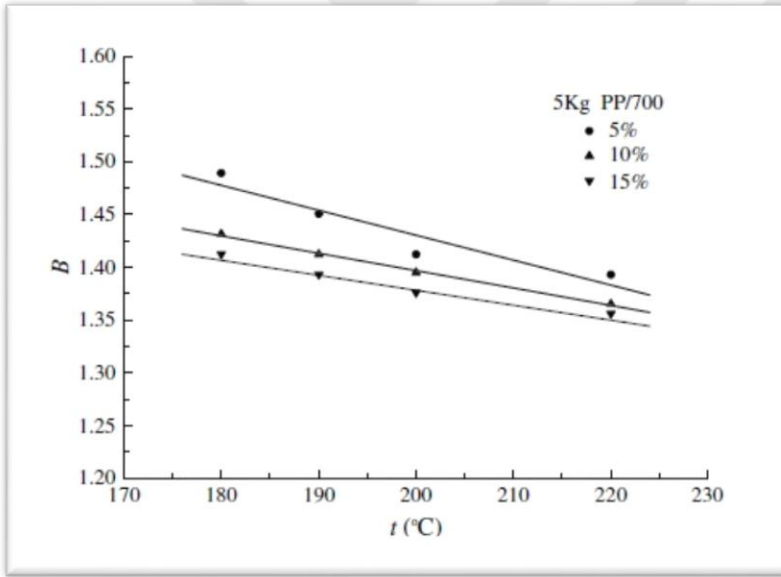
A. Garcia –Rejon ve diğerleri (1995) yapmış oldukları çalışmalarında, yüksek yoğunluktaki polietilen (HDPE) malzeme için, şişirme kalıplarındaki kalıp eğim açısı, kalıp boşluğu, kalıp büzülme oranı, ürün uzunluğu, istenen geometri gibi parametreleri göz önünde bulundurarak, malzemenin yaşadığı deformasyon, gerilme ve şişme oranı gibi etmenleri deneysel incelemişlerdir. Malzeme davranışı, integral tipi bir K-BKZ denklemi ile temsil edilmiştir. Yapılan hesaplamalar ayrıca ekstrüzyon şişirme makinelerinde de deneysel olarak incelenmiş ve bunun yanında PLOYFLOW adlı yazılım programından da yararlanarak bilgisayar destekli (simülasyon) incelemeler yapılmıştır.



Şekil 5.1. Farklı kesitler için kalınlık ve çap şişmesi [16].

Sonuç olarak; ekstrüzyondaki kalınlık ve şişmeyi etkileyen faktörlerin, malzemenin kalıpta geçen kayma süresi ve genişleme süreleri göz önünde bulundurulduğunda; kalıptaki geometrik karmaşıklık, eğim açısı, daralma oranı, uzunluk ve boşluk açısı ile yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Şişme akışkanın yani malzemenin viskoelastik yapısı ile doğrudan ilişkili olup, elastikiyet açısından bakıldığında, ekstrüzyondaki malzemenin kalıbın akış yönüne bağlı olarak kanal çapına geri gelme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir [16].

Liang (2008) yapmış olduğu çalışmada; farklı partikül boyutlarına (%10'luk hacim oranı) sahip polipropilen kompozitlerin şişme oranını, kalıp geometrisini ve ekstrüzyon koşullarını göz önünde bulundurarak incelemiştir. 210 ila 230 °C arasındaki sıcaklık ve 5 ila 12,5 kg arasındaki yük ile deneysel koşullar oluşturulmuştur.

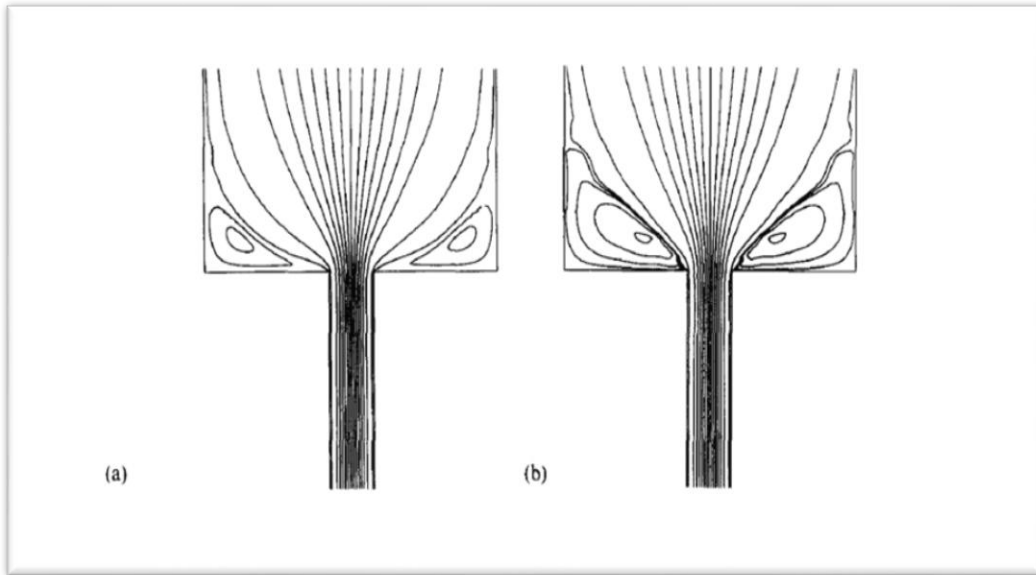


Şekil 5.2. Sıcaklığın PP/700 sisteminin kalıp kabarma oranına etkisi [17]

Sıcaklık sabit olduğunda, kompozit sistemin kalıp-şişme oranı, kayma gerilimi ve kayma oranının artırılması sonucunda doğrusal olmayan bir şekilde yükseldiği görülmüştür. Yük sabitlendiğinde ve sıcaklık artışı sağlandığında şişmenin de azaldığı gözlemlenmiştir. Yük ve sıcaklık sabit olduğunda, kompozit sistemin kalıp şişmesi oranı, kalıp çapının artmasıyla doğrusal olmayan bir şekilde yükseldiği tespit edilirken, kalıp uzunluğunun çap oranının artmasıyla doğrusal olmayan bir şekilde azaldığı görülmüştür [17].

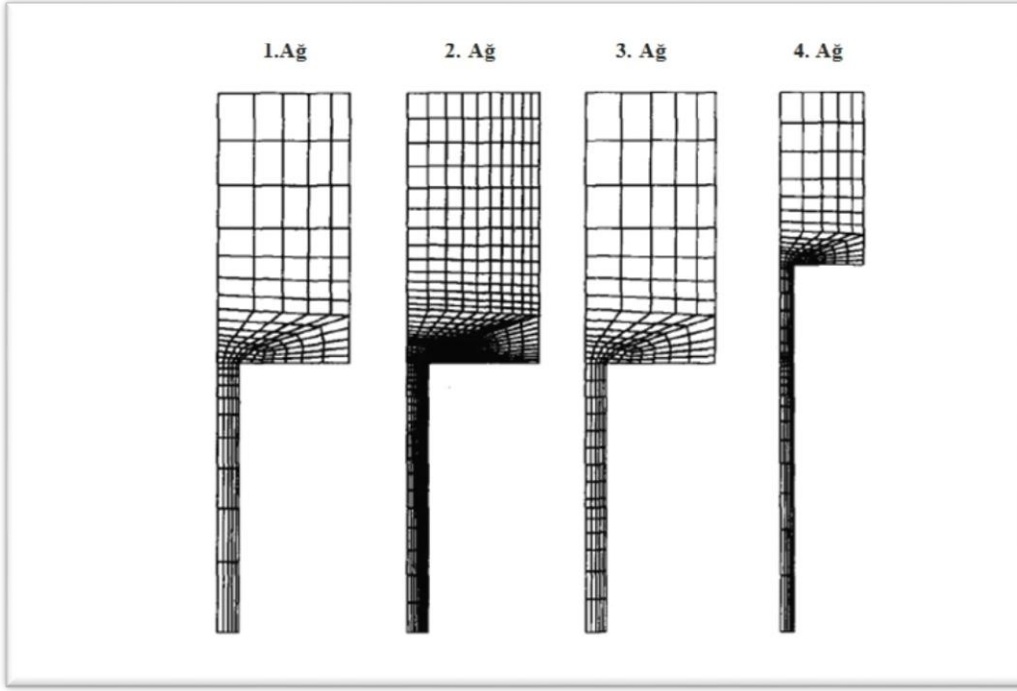
Ahmed ve diğeri (1995) iki yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve bir düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemenin düzlemsel giriş akışı ve kalıp şişme oranını, deneysel gözlemleri ile sayısal simülasyonları arasında eşleştirmişlerdir. Stres alanları, merkez hattı hızları ve kalıp şişmesi için deneysel verilerin her polimer için beyan edildiği ve sonuçların sayısal simülasyon ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Malzemeler, ayrı bir gevşeme-zaman spektrumu ve tek bir parametre sönümlenme fonksiyonu ile Wagner İntegral Kurucu Denklemi kullanılarak basit makaslama yöntemi ile karakterize edilirken, sayısal simülasyon, sonlu elemanlar yazılım paketi POLYFLOW yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada yapılan deneylerde HDPE için stres ve kalıp şişme verilerinde tutarlılık gözlenirken, diğeri HDPE ve LDPE malzemelerde, basit kayma reolojisi verileri kullanılarak tahmin edilemeyen bir genişmeli gerinim görülmüştür. İkinci durumda, basit kayma parametrelerinden ziyade, genişmeli akış parametreleri seçilirse, giriş akışı deneysel gözlemlerle tutarlı sayısal tahminler elde edilebileceği gözlenmiştir.



Şekil 5.3. 32 g s^{-1} ve $180 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığında LDPE için oluşan çizgiler [18]

Sonuç olarak bu çalışma, erimiş polietilenin bir daralmaya girip çıkması ile ilgili olarak deneysel verilerin ve sayısal simülasyonun karşılaştırılması ile ilgilidir. Özellikle, giriş akışında polietilenin genişmeli akış davranışı ve bu davranışı basit makaslama reolojik verileri kullanarak simüle edebilme olanağı olduğu gözlemlenmiştir.



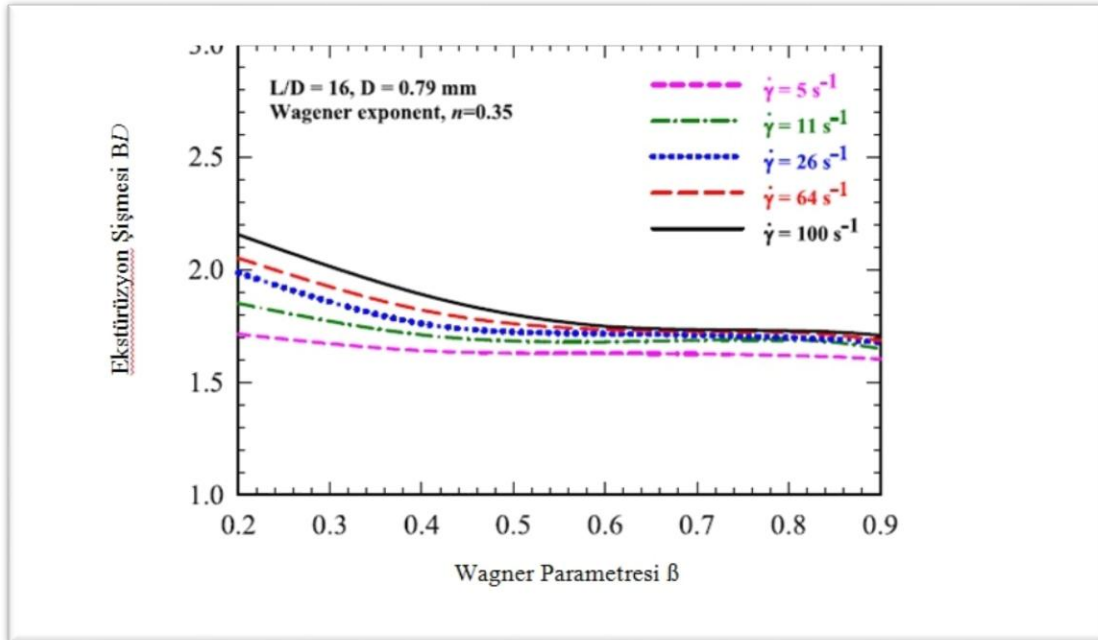
Şekil 5.4. Düzlemsel giriş akışı ve serbest yüzey kullanılan sonlu elemanlar kafesi [18]

Giriş ve çıkış akış davranışı, polimer işlemenin birçok yönünün anlaşılmasında merkezi bir öneme sahip olduğu ve konu olarak bu çalışmanın başlangıcını oluşturan Ahmed ve Mackley tarafından gözden geçirilmiştir. Hem ergiyik polietilenlerin giriş ve çıkış akışlarını hem de incelenen malzemelerin doğru genişlemeli akış tasvirinin önemine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır [18].

Behzadfar ve diğerleri (2015), kapiler akışta yüksek yoğunluklu polietilenlerin (HDPE) şişme oranlarını kılcal reometreye bağlanmış pirometre kullanılarak incelenmişlerdir. Moleküler yapının, kesme kuvvetinin, kalıbın geometrik özelliklerinin (giriş açısı, uzunluk-çap oranı ve çap) ve sıcaklığın şişme oranı üzerindeki etkileri sistematik olarak gözlemleyen araştırmacılar, özellikle kalıpta L/D oranının düşmesiyle kabarık biçimde şişme meydana geldiğini tespit etmişlerdir. İçbükey olarak farklı eğilimler sergileyen giriş açısıyla lineer olmayan bir şekilde değiştiği (şişme 60° ila 180° arasında artar) ve dışbükey (kabarıklık 180° 'den 300° 'e düşmektedir) açılara sahip olduğu görülmüştür. Molekül ağırlık ve dağılımının da HDPE'nin şişme oranını önemli ölçüde etkilediği anlaşılmıştır. Ortam sıcaklığının değeri ne kadar yüksek olursa, ekstrüdat kabarması da bu oranda yükseldiği önemli bir parametre olarak görülmüştür [19].

Konaganti ve diğeri (2016) yapmış oldukları çalışma ile kapiler kalıplarda sertleştirilmiş çelik ya da elektro-erozyon teknikleri kullanılarak, yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) ekstrüzyon şişmesini, integral K-BKZ yapısal modeli kullanılarak incelemiştir. Polimer reçinesinin doğrusal olmayan viskoelastik akış özellikleri, kademeli kayma hızı ve yüksek kesilme oranları aralığında incelenmiştir. Reolojik parametrelerin doğru bir şekilde saptanması açısından $N = 0,15-0,5$ aralığındaki Wagner üssünün farklı değerlerine sahip integral K-BKZ Wagner modeli kullanılarak gerçekleştirilen bir dizi simülasyonlar, ekstrüzyon şişme tahminlerinin Wagner sönümlenme işlevi üssüne son derece duyarlı olduğunu göstermiştir.

Yapılan analizlerde; iyi karakterize edilmiş, yüksek molekül ağırlıklı endüstriyel sınıf HDPE eriyiklerinin kılcal kalıplarındaki ekstrüdat şişme davranışı incelenmiştir. Polimer eriyiklerin doğrusal olmayan kayma akışı özellikleri, Anton Paar MCR702'nin koni ve bölmeli plaka (CPP) fikstürü kullanılarak araştırılmıştır. Ek olarak, şişme öngörülerinin, sönümlenme fonksiyonunun Wagner parametresinin β 'ya kıyasla Wagner üssüne olan n değerine olan aşırı duyarlılığı da bu çalışmada incelenmiştir.



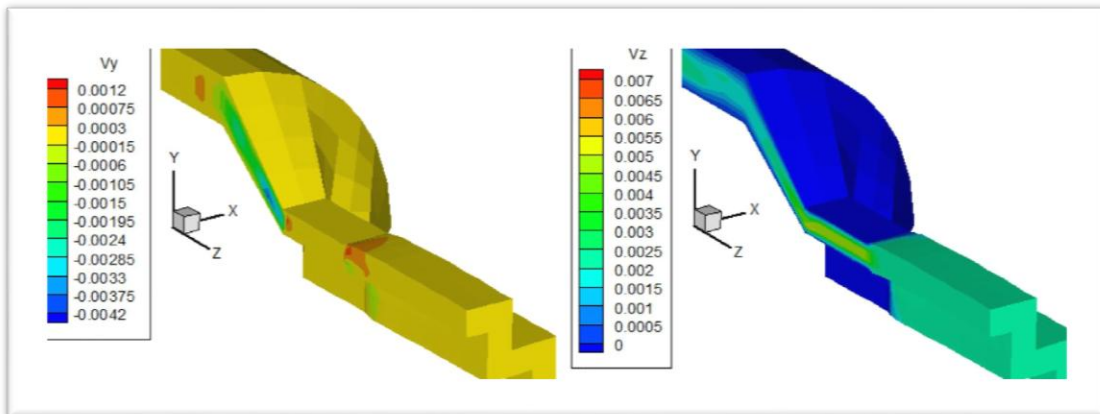
Şekil 5.5. 5 ile 100 s⁻¹ aralığında meydana gelen şişme oranları [20]

Ayrıca, farklı uzunluk çap oranları olan ($L/D = 5, 16$ ve 33) üç kılcal kalıp ile şişme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, kabarcık uzunluğu ölçeği ile

azaldığını ve deneysel gözlemler ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. Çalışma, ekstrüzyon şişmesi gibi geçici akışlarda polimer erimesinin davranışını doğru olarak tahmin etmede sönümlenme fonksiyonunun önemini ortaya koymaktadır [20].

Ganvir ve diğerleri (2010), polimer malzemeler için profil ekstrüzyon uygulamalarda, ekstrüdat şişme tahmini ve polimer erimelerinin yapısal davranış özelliklerini incelemiştir. Daha önce yapmış oldukları çalışmalarda sonlu elemanlar formülünün ekstrüzyon şişmesi gibi serbest yüzey deformasyonlarını simüle etmede avantajı olabileceğini savunan araştırmacılar, bu çalışmalarında simülasyonlarını doğrusal polietilen (LLDPE) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemeler üzerinde çalışmışlardır. Deneysel ölçümler için MultiPass Reometre'de kullanılmıştır. Uygulanan basınç düşümü ve ana gerilme farkının konturları deney verileri ile karşılaştırıldığında verilerin uyduğu görülmüştür. Polimerlerin, uzun ($L/D = 30$) ve kısa ($L / D = 10$) kılcal damarların $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa maruz kaldıkları şartlarda, özelliklerini kaybettiği tespit edilmiştir. Simüle edilmiş olan ekstrüdat şişmesi deney verileri ile iyi bir uyum gösterdiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklığa ulaştırılan ekstrüdat içindeki sıkışmış gerilmeler daha da gevşediği ve izotermal simülasyonlardan tahmin edilen şişme ile eşdeğere ulaştığı görülmüştür [21].

Mu ve diğerleri (2014), kalıp içinde ve çıkan polimer erimelerinin sürekli viskoelastik akışı, kabarması ve kristalleşme davranışlarının, içyapıyı önemli ölçüde etkilemesi ve bu nedenle pratik işlemdaki nihai ürünlerin performansını gözlemlemek üzere çalışma yapmışlardır.



Şekil 5.6. Akış hızının dağılımı (a) radyal akış hızı V_y , (b) eksenel akış hızı V_z [22]

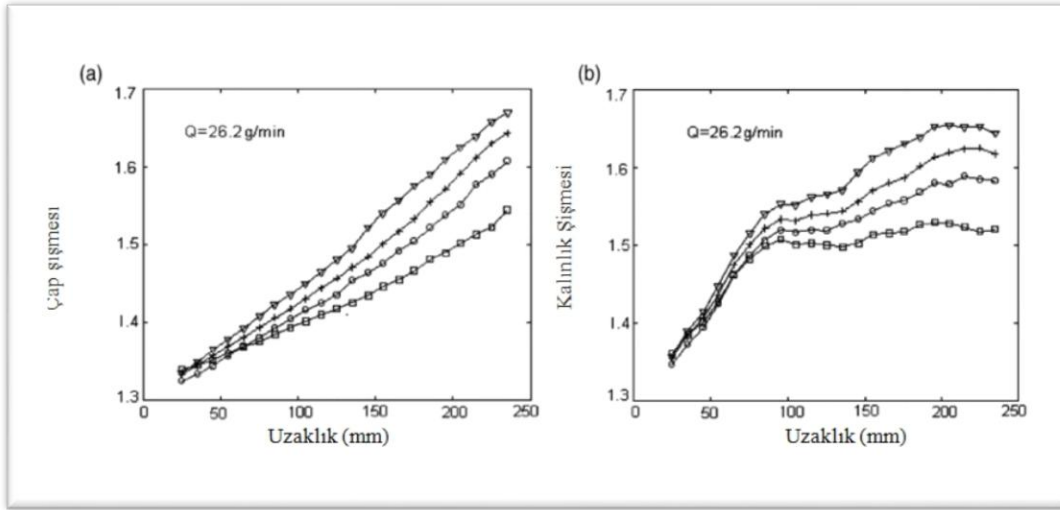
Çalışmada, polimerlerin sürekli viskoelastik akış, kabarma ve kristalleşme davranışları, pratik olarak tasarlanmış basit bir kalıp ile sonlu eleman ve sonlu fark simülasyonları

üzerinde incelenmiştir. Polimer eriyiklerin üç boyutlu viskoelastik akışının matematiksel modeli, Phan-Thien Tanner kurucu modeliyle kurulmuştur.

Ekstrüdatın şişen serbest yüzeyini ayarlamak için akış yüzeyi-akış çizgisi yönteminden yararlanılmıştır. Yönetim denklemleri için bir ayrıştırma algoritması tanıtılmış ve karşılık gelen sonlu eleman ve sonlu fark modeli türetilmiştir. Temel viskoelastik akış karakteristikleri, şişme oranı ve profil ekstrüzyon işleminde polimer eriyiklerinin akışa bağlı kristalleşmesi, önerilen matematiksel model ve sayısal yöntemlere göre incelenmiştir. Hem ekstrüzyon kalıbı içindeki akış değişkenlerinin dağılımı hem de şekillendirilmiş kalıp içindeki kristalizasyon, viskoelastik polimer eriyiklerin akış, kabarma ve kristalizasyon gibi davranışlarının başarılı bir şekilde tahmin edildiğini göstermiştir. [22].

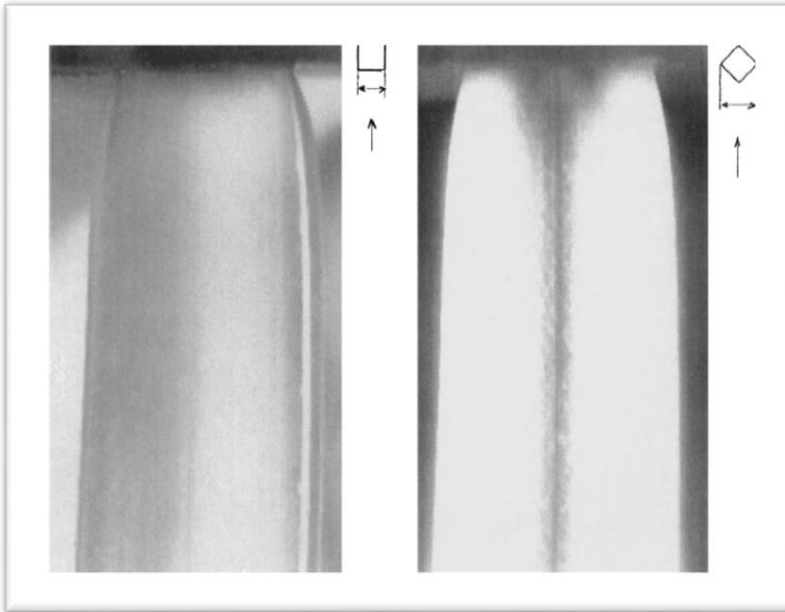
Huang ve Liao (2002) yapmış oldukları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) üfleli ekstrüzyonunda, kalıp sıcaklığı ile akış hızının, çap ve kalınlık değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada bir sinir ağı tabanlı model yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan bu sinir ağı modeli tahminlerinin deneysel verilerle beklenen doğrultuda uyum sağlamış olduğu ve sinir ağı modelinin farklı işlem parametrelerinde parison kabarıklıklarının yüksek hassasiyetlerinin tahmin edilmesinde (0.001 içinde) önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada 0.18g / 10 dk. erime indeksi ve 0.946 g/cm³ katı yoğunluğa sahip bir HDPE (HHM TR-144, Phillips Petroleum Singapore Chemicals) malzeme kullanılmıştır. 15 ve 25 mm'lik çapa sahip ekstrüder üzerinde yer alan düz bir kalıp (Ø3 mm) vasıtasıyla malzeme ekstrüde edilmiştir. Bir video veri sistemi, hattın görüntülerine erişmek için kullanılmıştır. Deneyler esnasında kullanılan kameranın (Hitachi modeli VK-C220E), eriyik çıkış eksenine dik olarak monte edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında veriye dönüştürülmüştür. Dört farklı kalıp sıcaklığı, 160, 180, 200 ve 220 °C ve yedi farklı ekstrüzyon akış hızı, 13.4, 18, 22, 26.2, 29.2, 33.2 ve 37.4 g/dk kullanılmıştır. Böylece farklı işlem parametrelerinde ekstrüde edilen 28 adet çap ve kalınlık için şişme verileri elde edilmiştir [23].



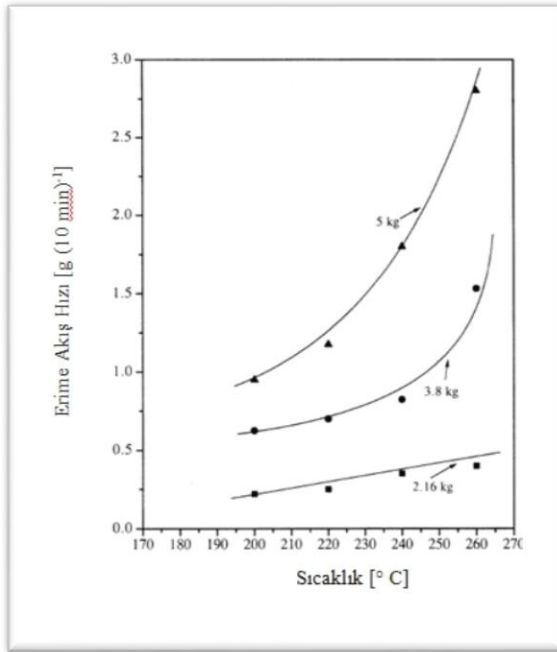
Şekil 5.7. Çap şişmesi (a) ve kalınlık kabarması (b) 160, 180, 200 ve 220 °C [23]

Normandin ve diğerleri (1998), yapmış oldukları çalışmada, bir kare kesitli kalıbın çıkışında 160 °C'de doğrusal düşük yoğunluklu bir polietilen eriyiğin (LLDPE) akış özelliklerini deneysel ve sayısal olarak ele almaktadırlar. Ekstrüdat jetinin özellikleri, farklı akış hızlarında optik vasıtalarla belirlenmiş olup, hız ve integral kurucu denklemlerinden yararlanmışlardır. Sayısal sonuçların genellikle deneysel verilerle tutarlı olduğu ve akış hızının arttığı görülmüştür [24].



Şekil 5.8. 160 °C'deki eriyik haldeki polimerin kesiti [24]

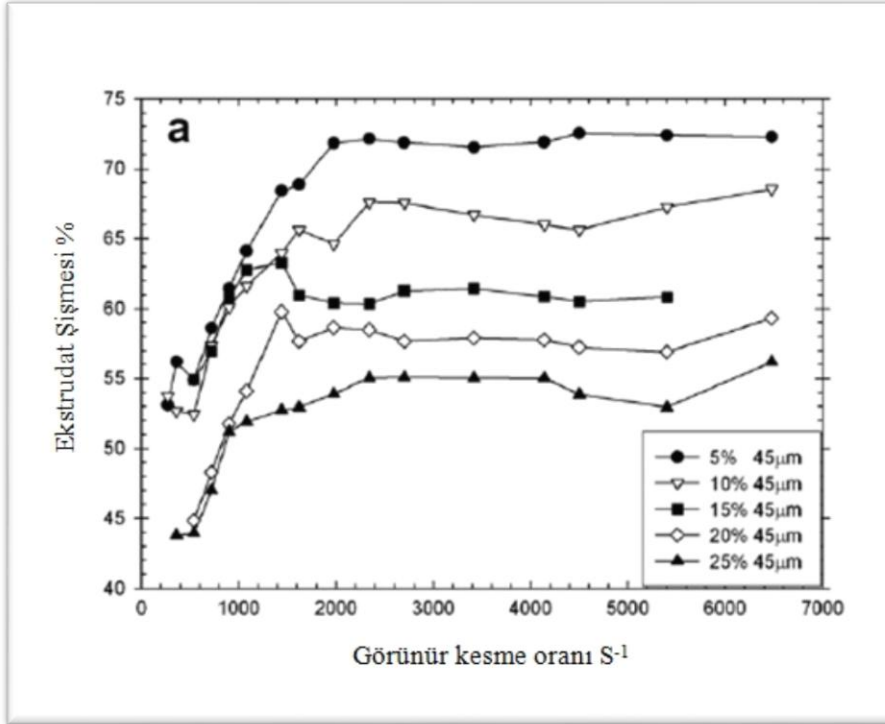
Wong (1997), yapmış olduğu çalışmada, kılcal bir kalıpta; sıcaklık, yük ve L/D oranının eriyik akış hızı üzerindeki etkileri ile farklı polietilenlerin şişme özelliklerini araştırmıştır. Polietilenlerin seçimi, seçilen iki polimer özelliği üzerindeki moleküler yapı etkisini yansıtmak üzere dikkatli bir şekilde yapılmıştır. Akma hızı artan sıcaklık ve yük ile artarken, artan L/D oranı ile azaldığı görülmüştür. Kalıp çıkışında ölçülen ekstrüdat şişmesinin, sıcaklık ile içbükey aşağıya doğru özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ekstrüdat sarkmasının, bulunan maksimum şişme oranından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneysel veriler ayrıca, bu maksimum şişme oranında, L/D oranının değişmesiyle farklılık göstermiştir. Şekil 5.11’de eriyik akış hızı ve malzeme arasındaki ilişki gösterilmiştir [11].



Şekil 5.9. Eriyik akış hızı ile numune A'nın sıcaklığı arasındaki ilişkisi (L/D=3,8) [11]

Dangtungee ve Supaphol (2009) çalışmalarında; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemenin reolojik özelliklerini incelemiştir. Malzeme olarak erime reolojisi ve değişen partikül büyüklüğüne (45, 75 ve 125 mm) sahip sodyum klorür (NaCl) katkılı düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) kullanılmıştır. Ekstrüdat şişmesi açısından reolojik özellikler kapiler reometri ile incelenmiştir. Tuz içeriği ağırlıkça %5 ile %25 arasında değişmiştir. Genel olarak, gerçek kayma gerilmesinin artan görünür kayma hız ile monoton olarak arttığı görülmüştür. Bu durum artan kayma gerilmesi ile değişim oranının azaldığını göstermektedir. Görünür kayma gerilmesi, gerçek kayma gerilmesinin artan tuz partikül büyüklüğü ile hafifçe artmasına sebep olmuştur. Beklendiği gibi, bu materyaller kayma -

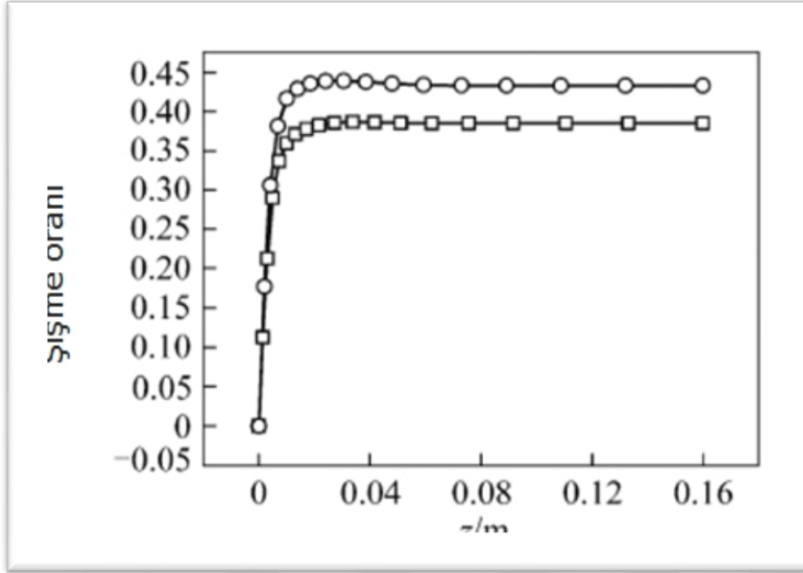
inceltme davranışı sergilemiştir. Kayma viskozitesi artan gerçek kayma hızı ile tekdüze azalmıştır. Tuz içeriğinden bağımsız olarak şişme oranı, 500–1200 S⁻¹ aralığında görünür kayma hızı ile tuz oranından bağımsız olarak artmıştır. Parçacık büyüklüğünde, ekstrüdat şişmesinin artan tuz içeriği ile azaldığı görülmüştür. Bir diğer parametre olarak, yüksek L/D oranına sahip bir kılcal kalıp kullanıldığında ekstrüdat şişmesinin azaldığı görülmüştür [25].



Şekil 5.10. LDPE eriyiği için görünür kesme oranının bir fonksiyonu [25]

Aloku ve Yuan (2010) yapmış oldukları çalışma ile polimer köpüğün üretiminde, kalıp şişmesi üzerindeki viskoelastisite ve kabarcık büyüme etkilerinin sebeplerini irdelemek üzere ekstrüzyon akışında polimer köpükleme işlemlerinin bilgisayar simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Çift konveksiyonlu pomp (DCPP) modelinden yararlanarak köpüklenme olmadan ekstrüzyon akışında LDPE eriyiği simülasyonlarını, SVM tarafından kalıp şişmesi tahminlerini incelemişler ve EPTT ve DCPP modellerinden elde edilen sonuçlarla makul ölçüde uyum içinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Kuş-Carreau modeli ve SVM kullanılarak ekstrüzyon akışında LDPE köpüğün simülasyon sonuçlarının karşılaştırılmasıyla, polimer viskoelastisitesinin ve kabarma büyümesinin kalıp şişmesi üzerinde ortak etkisi ölçülmüştür. Sayısal sonuçlar ayrıca, polimerik köpüğün yoğunluğunun artan köpürme maddesi konsantrasyonu ile önemli ölçüde azaldığını göstermiştir [26].

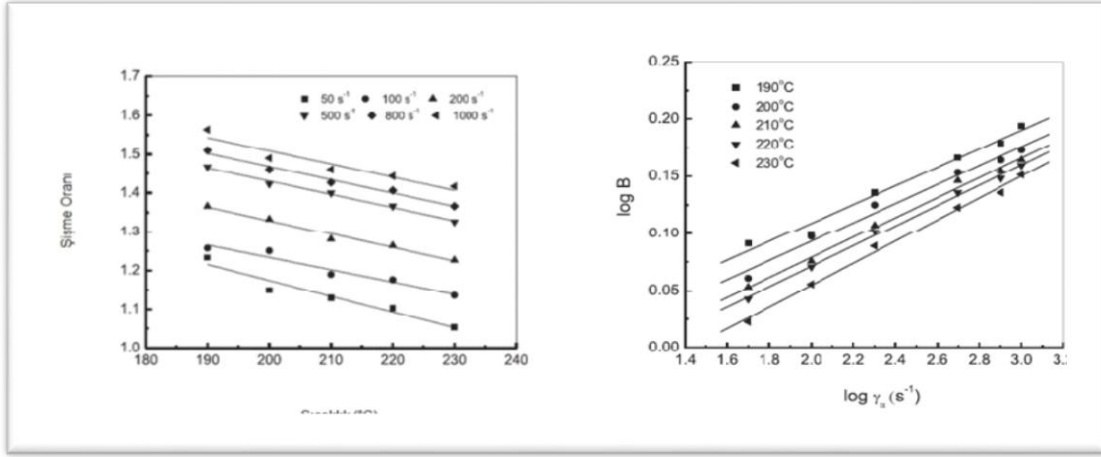
Xingming ve diğeri (2011), polimer ekstrüzyonu için eliptik halka kalıbı ile üç boyutlu (3D) viskoelastik akışın matematiksel modeli üzerinde durmuşlardır. Viskoelastik sıkıştırılmaz sıvının formülasyonu, 3D ekstrüzyon problemini analiz etmek için sonlu eleman modeline dönüştürülmüştür.



Şekil 5.11. Kalıp şeklinin şişme oranı üzerine etkisi [12]

Yapılan analizlerle nümerik benzetim sonuçlarında, ekstrüdat şişmesinde sıfır kayma viskozitesi ve uzama parametresine etkisi hafif olmakla birlikte, hacimsel akış hızının artması ve gevşeme süresi ile şişme oranının belirgin olarak arttığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek hacimsel akış oranının, yüksek ekstrüdat şişme oranına yol açtığı görülmüştür. Aynı ortalama akış hızında, elips biçimli kalıpta daha fazla elastikiyet deformasyonunun olduğu ve bunun sonucunda ekstrüdat şişme oranının daha yüksek olduğu bulunmuştur. [12].

Liang ve diğeri (2015) kalıp ekstrüzyonunda PP/GNP (Polipropilen / Grafen Nano Toz) kompozitlerinin çeşitli koşullarda şişme oranları üzerine çalışma yapmışlardır. Grafen nanotrombositlerle (GNP'ler) doldurulmuş polipropilen (PP) kompozit eriyiklerinin ekstrüdat şişme oranları, 180 °C ile 230 °C sıcaklık aralığı içinde kılcal reometre kullanılarak, 100 ila 4000 s⁻¹ arasında değişen görünür kayma hızı ile şişme oranlarındaki değişimler incelenmiştir.



Şekil 5.12. Sıcaklığın şişme oranına etkisi [27]

Yapılan testler neticesinde ekstrüdat şişme oranı değerlerinin, sıcaklık artışı ile hemen hemen lineer olarak azaldığını gözlemleyen araştırmacılar, kompozitlerin şişme oranı değerlerinin, kayma hızının artmasıyla aralarında bir korelasyon ve güç-yasa ilişkisi bağlamında arttığını tespit etmişlerdir. Artan kayma gerilmesi sonucunda şişme oranının doğrusal olarak arttığını ve GNP ağırlık fraksiyonunun artışı ile kabaca lineer olarak azaldığını göstermiştir. Buna ek olarak, elektronik mikroskop kullanılarak ekstrüzyondaki kırılma yüzeyini gözlemlemeye çalışmışlardır. Bu çalışma, arzu edilen mekanik performans ve darbe dayanımı ile grafen takviyeli polimer kompozitlerin daha da geliştirilmesi için temel oluşturmaktadır [27].

Liang ve Ness (1997) yapmış oldukları çalışmada, dereceli termoplastik, polipropilen (PP) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemeyi, bir vidalı ekstrüderde eriterek karıştırmışlardır. Harmanlanan eriyiğin kalıp şişme oranı ve bu duruma etki eden faktörleri kılcal reometre kullanarak araştırmışlardır. Karışımların kalıp şişme oranı (B), artan sıcaklık ve kalıp uzunluğu- çap değeri (L / D) ile doğrusal şekilde azalırken, artan kayma hızı neticesinde ise son basınç kayıpları yaşanırken, şişme oranının doğrusal olmayan şekilde arttığı görülmüştür. Basınç kayıplarının hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanmışlardır [28].

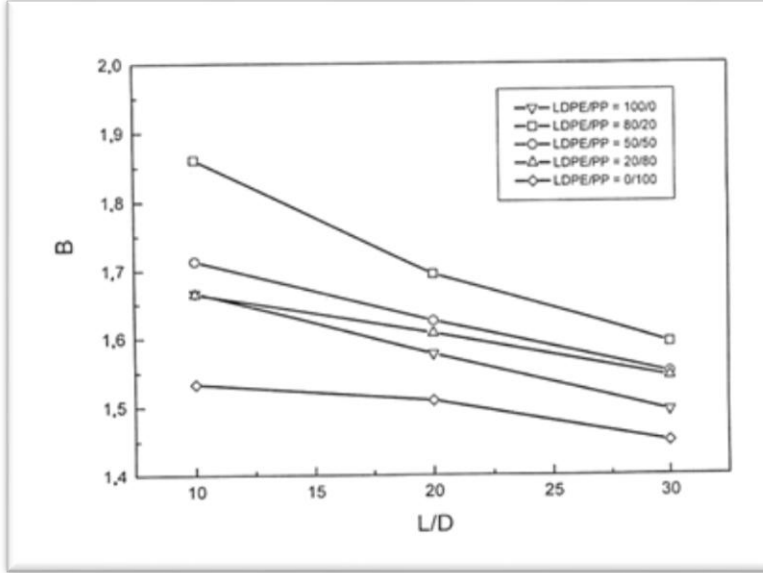
$$\Delta P = \Delta P_{en} + \Delta P_d + \Delta P_{ex}$$

ΔP : Toplam basınç

ΔP_{en} : Giriş bölümündeki basınç düşüşü

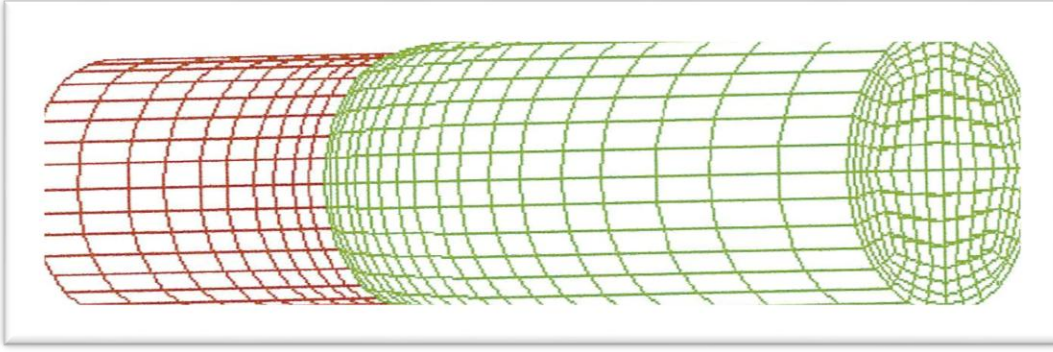
ΔP_d : Kalıp duvarındaki basınç

ΔP_{ex} : Çıkıştaki basınç düşüşü



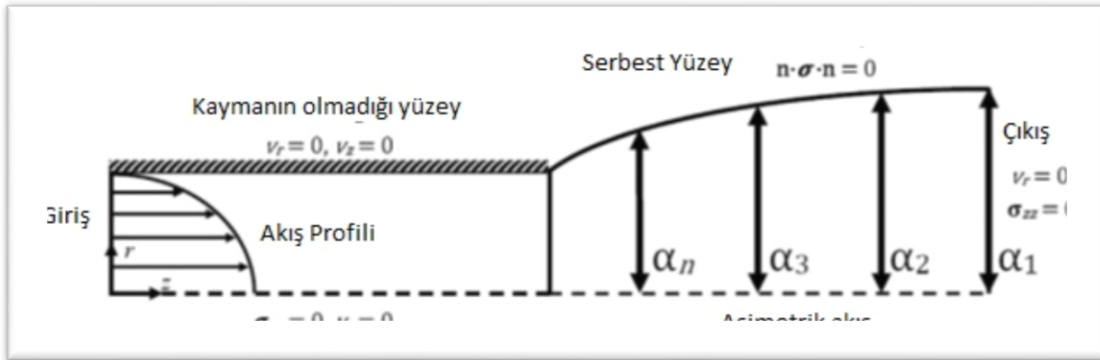
Şekil 5.13 Şişme oranı (B) ile L/D (230 °C) arasındaki ilişki [28]

Mitsoulis (1998), üç boyutlu alanlarda ekstrüdat şişme problemi için sayısal simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Sonlu elemanlar yönteminden yararlanan araştırmacı, bir kare ve bir de çapraz şekilli kalıp kullanmıştır. Mevcut 3D simülasyonlar, literatürde mevcut olan Newtonian, Bingham ve CEF model sayısal çözümleri için ekstrüzyon kalıplarından geçen akış üzerinden asimetric geometriler karşısında doğrulanmıştır. Ekstrüdat şişme sonuçları, önceki 2D aksenal simetrik simülasyonlar ile uyumlu olduğu ve bu sayede mevcut nümerik uygulamanın güvenilir olduğu anlaşılmıştır. Daha karmaşık geometriler ve reolojik modeller şu anda araştırılmaktadır [29].



Şekil 5.14. Akışkanın ekstrüzyonundan elde edilen sonlu eleman ızgarası [29]

Heller ve diğerleri (2016) çalışmalarında, ekstrüde polimerde polimer eriyik akışının nozul geometrisi ile ekstrüdat şişmesinin lif oryantasyonu üzerindeki ilişkisinin etkilerinin modellenmesi için bir hesaplama yaklaşımı sunmaktadır. FFF (Füzyonlu Filament İmalatı) nozulunun asimetric akış alanındaki stokes akışını değerlendirmek için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Ekstrüde edilmiş polimerin radyal ve aksenal modülü daha sonra nozul çıkışındaki kompozitte yer alan fiber oryantasyon tensörlerinden hesaplanmıştır. Ekstrüdat ekseni boyunca lif oryantasyonunun, meme yakınsama bölgesi içindeki uzama akışına bağlı olarak artması ve ekstrüdat şişmesinde, ekstrüde edilen polimerin esneklik modülünün, ekstrüdat şişmesinden orta derecede etkilendiği ve nozul geometrisinden büyük ölçüde etkilendiği anlaşılmıştır.



Şekil 5.15. Ekstrüdat kabarma sınır şartları ve genişleme değeri gösterimi [30]

Şekilde gösterilen asimetric FFF nozul geometrisindeki akışkan, sıkıştırılmaz bir stokes akışı olarak modellenmiştir. Stokes akışı Navier-Stokes denklemindeki atalet terimini ihmal ederek polimer eriyik akışlarında bulunan düşük Reynolds sayısı ve yüksek viskoziteli

akışlar için kullanılmıştır. Stokes akışı için süreklilik ve momentum denklemleri, aşağıdaki gibi; v , akışkan hızı vektörü ve p basınçtır.

$$\nabla \cdot v = 0 \quad \nabla \cdot \epsilon = 0$$

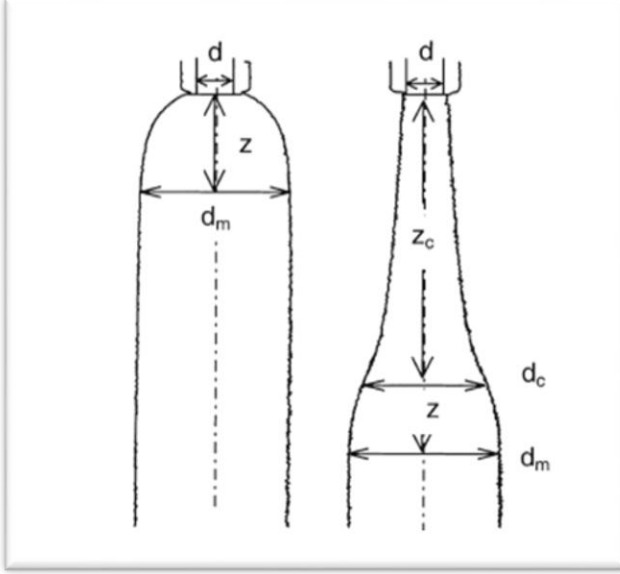
$$\epsilon = -pI + \frac{1}{2}[(\nabla v) + (\nabla v)^T]\epsilon$$

Sonuç olarak, ekstrüdatların fiber yönelim durumu üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ve polimer eritme FFF işlemi içinde kısa lif süspansiyonları için mekanik özellikler sergilediği gösterilmiştir. Ekstrüdat kabarma serbest yüzeyinin lif oryantasyonu üzerindeki etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Verilen FFF nozul geometrisi için %19,9'luk eksensel katsayı ve %6,62'lik esneklikteki radyal modül ile ilgili bir artış olduğu görülmüştür. Ekstrüdat kabarması, ekstrüzyon sırasında polimer eriyiğindeki makron lif oryantasyon değişiminin son kaynağı olduğundan, lif süspansiyonunun nihai yönelimi ve FFF üzerinden ortaya çıkan kabarcıkların, mekanik özellikler açısından önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. [30].

Cloitre ve diğerleri (1998) çalışmalarında; gecikmiş kalıp kabarcıkları ve yönelimli parçacıkların akış tipindeki değişiklikleri rapor ve analiz etmişlerdir. Yapılan analizlerin temeli herhangi bir kurucu denkleme dayanmamış olup, elde edilen sonuçlar gecikmiş kalıp şişmesi ve uzamış sedimentasyonun yorumlanmasını güçlü bir şekilde desteklemiştir. Viskoelastik sıvılardaki partiküller, alt kritiklerden süper kritik olana kadar akış tipi değişimi ile yönetilmiştir.

Deneyleerde, misel çözeltileri farklı çaplardaki paslanmaz iğnelerden dikey olarak ekstrüde edilmiştir. Ekstrüzyon, ara yüzey etkilerini ihmal edilebilir ve jetin küçük damlacıklara girmesini önlemek için sıvı bir banyoda gerçekleştirilmiştir. Kapilerdeki akış, Harvard programlanabilir bir şırınga pompası tarafından oluşturulmuştur. Enjektörün pistonu üzerinde pompa tarafından uygulanan maksimum basınç çok yüksektir (200 psi). Böylece viskoz çözeltiler kolaylıkla ekstrüde edilebileceği düşünülmektedir. İğneler 50 mm uzunluğundadır; iç çapları, 0.31 ila 1.0 mm arasındadır. Uzun, esnek, teflon kılcal damarlar iğneleri birbirine bağlar ve bu kılcal kısımların iç çapı 1 mm'dir. İğnenin çıkışı ile şırınganın çıkışı arasındaki uzun mesafe, iğne çıkışında tam gelişmiş akış koşulları sağlar. Stabilite için, misel çözeltileri, şırıngadan banyoya akarken 25°C sabit sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. İğne

çıkışındaki jet, bir görüntü işleme sistemine bağlı makro fotografik 55 mm lens ile donatılmış ve CCD kamera ile gözlemlenmiştir.



Şekil 5.16. Kalıp şişmesi (a) ve gecikmiş kalıp şişmesi (b) gösterimi [31]

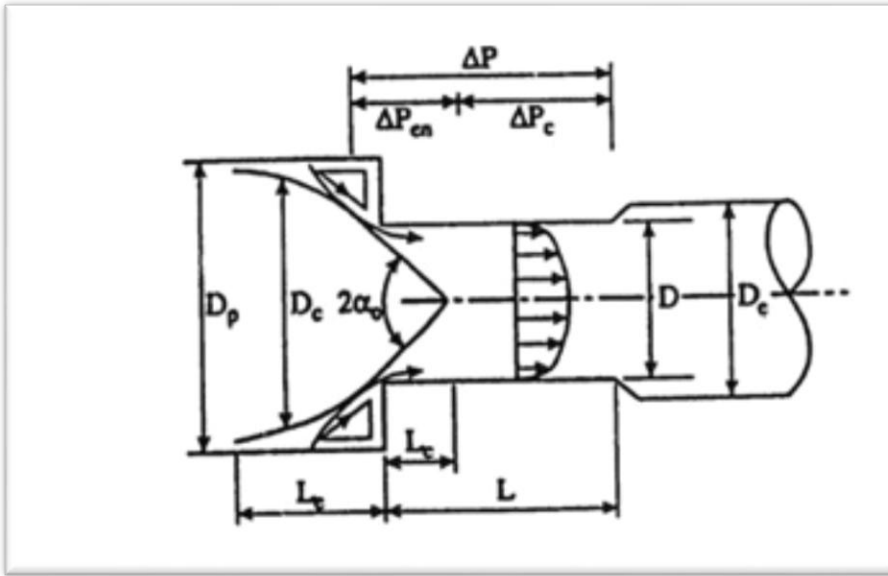
Yapılan deneyler neticesinde ilk olarak, uzatılmış parçacıkların çökeltilmesi sırasında gecikmiş kalıp şişmesi ve yönelimin eğilmesinin istisnai olmadığını ve polimerik olmayan viskoelastik çözeltilerde ortaya çıkabileceğini gösterilmiştir. Kalıp şişmesi ile ilgili olarak, kalıp şişmesinin görüldüğü kritik Mach sayısının, büyük ölçüde kalıbın çapına bağlı olduğu tahmin edilmektedir [31].

5.2. Şişme Oranında Değişkenlerin Önemi

Bu bölümde ağırlıklı olarak polimer, polietilen, kauçuk vb. malzeme davranışlarında sıcaklık, kayma gerilmesi, basınç gibi değişkenlerin şişme oranına etkileri üzerine yapılan araştırmalar sunulmuştur.

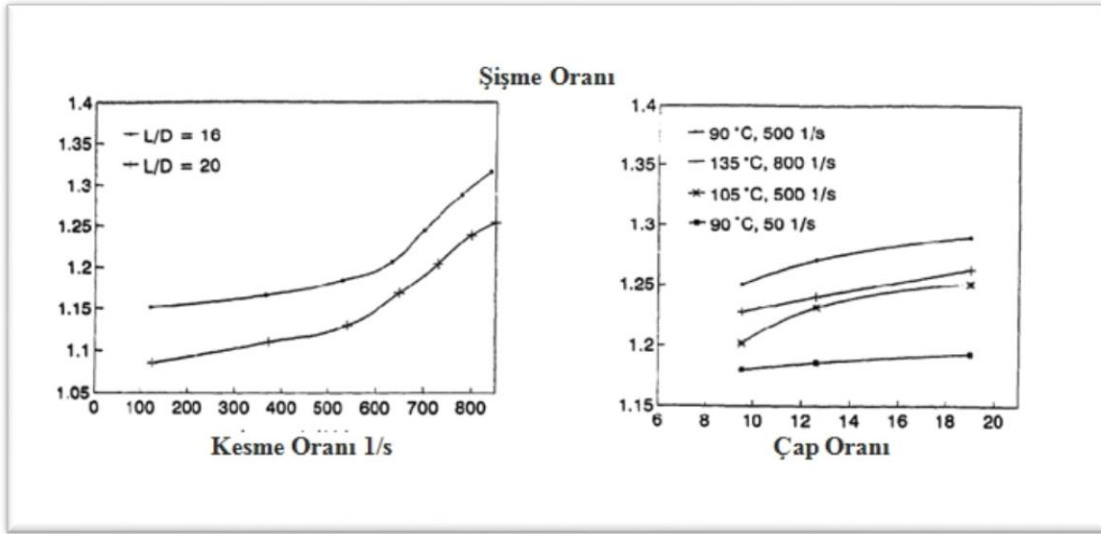
Liang (1995) yapmış olduğu çalışma ile polimer eriyiklerinin kalıplama davranışını etkileyen faktörleri deneysel olarak incelemiştir. Kalıp-şişme oranının değerlerini tahmin etmek için farklı giriş açısına sahip püskürtme memesi ve buna bağlı ekstrüdat şişme denklemi sunmuştur.

Çalışmada doğal kauçuk (NR), stiren-butadien kauçuk (SBR), kükürt, sülfik asit, karbon siyahı ve diğer bazı katkı maddelerini içeren endüstriyel kauçuk tercih edilmiştir. Şartları basitleştirmek ve deneyleri gerçekleştirmek için uygun olan kısa kalıplar ve buna bağlı şişme denklemini kurmaya çalışılmıştır. Uzunluk/çap oranı (L/D) çok küçük olan kısa bir kalıp için, elastik deformasyonun ve kalıp giriş akışında üretilen makaslama deformasyonunun elastik geri kazanımını temel faktör olarak görmüştür. Deneylerde kılcak reometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ olup, kayma hızı parametresi de 50 ile 1000 s^{-1} arasında belirlenmiştir.



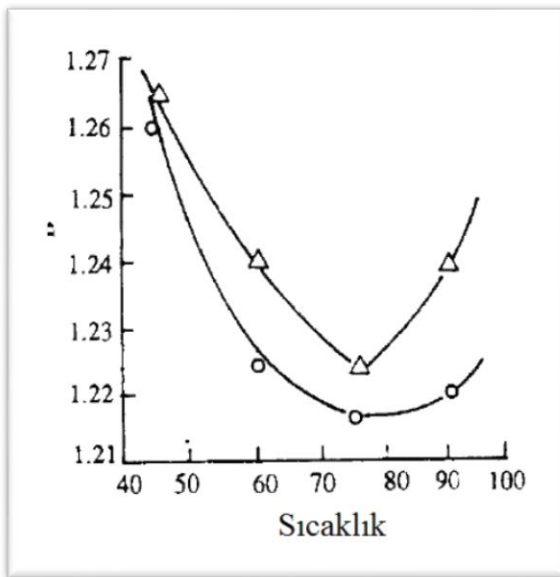
Şekil 5.17. Kısa kalıp ekstrüzyon akışının analizi için diyagram [32]

Sonuç olarak; kısa kalıp için, kalıp giriş akışında üretilen deformasyonun elastik geri kazanım ve polimer eriyiklerin ekstrüzyonundaki normal stres etkisi, polimer reolojisinin fenomenolojik teorisinin bakış açısı ile şişmeye neden olan başlıca faktörler arasında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, kalıp-şişme oranı (B), kalıp geometrisinde ve belirli bir malzeme için ekstrüzyon hızları ve sıcaklık gibi çalışma koşullarına önemli ölçüde bağlı olduğu mutlaklıdır. Numunenin B değerinin, kayma hızlarının artması ve kullanılan test sıcaklıklarında L/D arttıkça arttığı deneysel olarak da görülmüştür. Polimer eriyiklerin reolojik parametreleri, kanal geometrisi, ekstrüzyon koşulları ve kısa kalıp ekstrüzyonu sırasında B 'nin değeri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Sonuçlar, tahmin edilen ve ölçülen değerler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir [32].



Şekil 5.18. Sıcaklık ve L/D değerlerine göre şişme oranları [32]

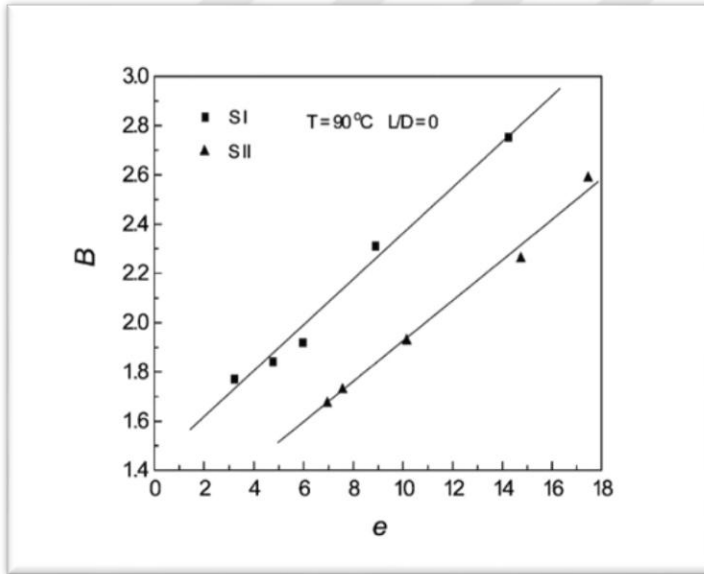
Liang (1993) yapmış olduğu bu çalışmada ise bir kauçuk bileşiğin ekstrüzyonu sırasında kalıp giriş açısından kaynaklanan malzeme şişme oralarını incelemiştir. Ekstrüzyon esnasında numune erimesinin kalıp-şişme oranı üzerindeki etkisini araştırmak için giriş açısı 35, 45, 60, 75 ve 90° olan kılcal kalıplar kullanılmıştır. Çap ve uzunluk oranı (L/D) sırasıyla 1,2 ve 16 mm olarak belirlenmiş ve test sıcaklıkları 90, 100, 110 ve 120°C'dir. Numunenin ekstrüzyon şişme hızı MPT'de kalıp altına yerleştirilen bir lazer tarayıcı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 5.19. Sıcaklık-Şişme diyagramı [33]

Yapılan deneyler sonucunda ekstrüzyon esnasında şişme davranışını etkileyen birçok faktör olduğu görülmüş, kalıp girişindeki akışa bağlı makaslama ve ekstansiyon (gerilme, uzama, doğrulma, genişleme, yayılma) deformasyonların elastik geri kazanımı ve eriyiğin kalıp çıkışından sonra kalıp akışındaki makaslama gerilmesi, ekstrüzyona neden olan ana etken olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, belirli koşullar altında, kalıp giriş açısı giriş basıncı düşüşünü ve polimer erimesinin kalıp-şişme davranışını etkilediği, kalıp uzunluğu çap oranı ne kadar küçükse bu etkinin de o kadar belirgin olduğu tespit edilmiştir [33].

Liang (2003), kauçuk bileşikler için kılcal ekstrüzyon akışındaki viskoelastik üzerine çalışma yapmıştır. Sıcaklığın 90 °C olduğu, çalışma koşulları ve görünür makaslama hızı aralığı 10^{-10} s⁻¹ olan iki lastik bileşiğinin, boşluk stoğu ve tampon stoğunun reolojik özellikleri ölçülmüştür. Giriş basıncı düşüşü (P₀), girişte elastikiyetten kaynaklı enerji (e) ve kalıp şişme oranı (B) arasındaki bağlantılar incelenmiştir. Örnek malzemeler sırasıyla SI ve SII olarak adlandırılan iki lastik kauçuk bileşiği, boşluk stoklu ve tampon madde olarak seçilmiştir.



Şekil 5.20. 90 °C'de B ve e arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram [34]

Yapılan testlerde bir kılcal reometreden (Instron-3211 modeli) yararlanılmıştır. Numune akış özelliklerini ve giriş basıncı düşüşünü ölçmek için uzun kılcal kalıp (D=1,214 mm, L/D=40) ve kısa kılcal kalıp (D=0,78 mm, L/D=0,2564) seçilmiştir. Kalıp-şişme oranı, sabit uzunlukta ekstrüzyon ürünü tartan bir metot kullanılarak ölçülmüş ve hassas bir ölçek

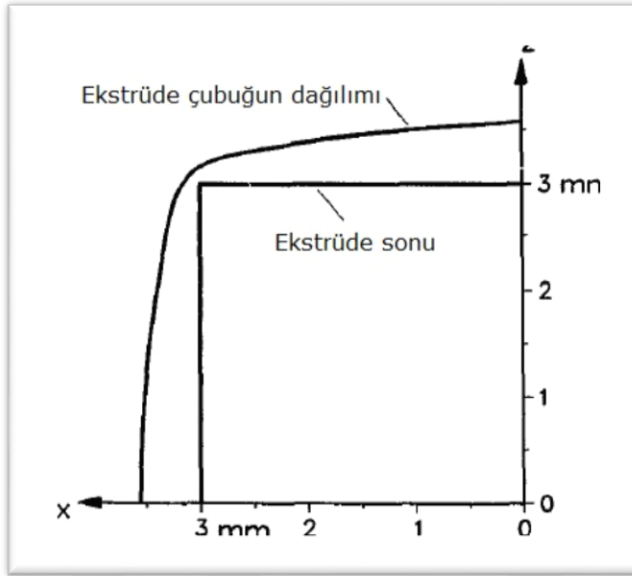
(model DT-100) kullanılmıştır. Rezervuar sıcaklığı 90 °C ve piston hızı (V) 0,45- 1,5- 4,5- 15- 45 ve 150 mm/dk. olarak belirlenmiştir.

Karşılaştırılan test sonucunda her iki numunenin de şişme oranı ve giriş elastik depolama enerjisi arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Giriş basınç düşüşü (P0), giriş elastik depolanan enerji (e) ve kalıp-şişme oranı (B), kanal duvarı üzerindeki kayma gerilmesinin artmasıyla kabaca doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kalıp-şişme oranı ile giriş elastik depolanmış enerji arasındaki korelasyon tartışılmıştır. Sonuçlar B'nin ve e'nin lineer bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir [34].

Grupta ve diğerleri (2016) ekstrudat şişmesinde polimer eriyiklerinin lif eğirme akışındaki stabilitesinin rolü, lineer ve sonlu genlik stabilite analizleri kullanılarak incelenmiştir. Polimerin doğrusal olmayan uzamalı reolojisi, gerçekçi akışlarda mevcut zorlanma etkisini yakalayan genişletilmiş Pom-Pom (XPP) modeli kullanılarak tarif edilmiştir. İnce gövde lifi profilinin, aksel simetrik bozukluklara karşı stabilitesi, izotermal koşullar altında incelenmiştir. Kalıp çıkışına yakın eğirme akışının üst ucunda, büyüklüğü hem kalıp içindeki akış hem de dış eğirme kuvveti tarafından yönetilen, elyaf enine kesit alanındaki şişlik katılmaktadır.

Analizlerde ekstrudat şişmesinde eğirme akışının stabilitesi önemli ölçüde etken olduğu görülmüştür. Akışın yukarı ucunda yer alan lif profilindeki esneklik, önceki şişmelerde kabarmayı görmezden gelen bir özellik olarak dengeleyici rol oynarken, bununla birlikte belirli bir akış için kalıp şişmesi, kılcal alana dayalı olarak tanımlanan belirgin çekme oranının görünenden daha güçlü etki yaptığı gözlemlenmiştir [5].

Mayer ve diğerleri (1996), cam elyaf eriyiklerin ekstrüzyonu sırasında ortaya çıkan kalıp şişme faktörünü sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Deneylede işlem parametreleri olarak kayma hızı, viskozite, yoğunluk ve yüzey gerilimi baz alınmıştır. Dikdörtgen veya dairesel kalıp koruyucuların yardımı ile kalıp kanalı uzunluğunun değişimi üzerinden ekstrüzyon denenmiştir. Bir kare kalıp kesiti durumunda, takip eden doğrusal çubuk artışı yaklaşık %1 ila %9 olurken, dairesel bir kalıp profilin %12'lik şişmeye neden olduğu gözlemlenmiştir. Cam eriyiğin yoğunluğu ve viskozitesi ile yüzey gerilimi, mevcut deneysel aralık içinde kalıp şişmesi fenomeni üzerinde hiçbir etki yaratmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, ortalama kayma hızı ve çubuk artışı arasında zayıf bir korelasyon kurulmuştur.

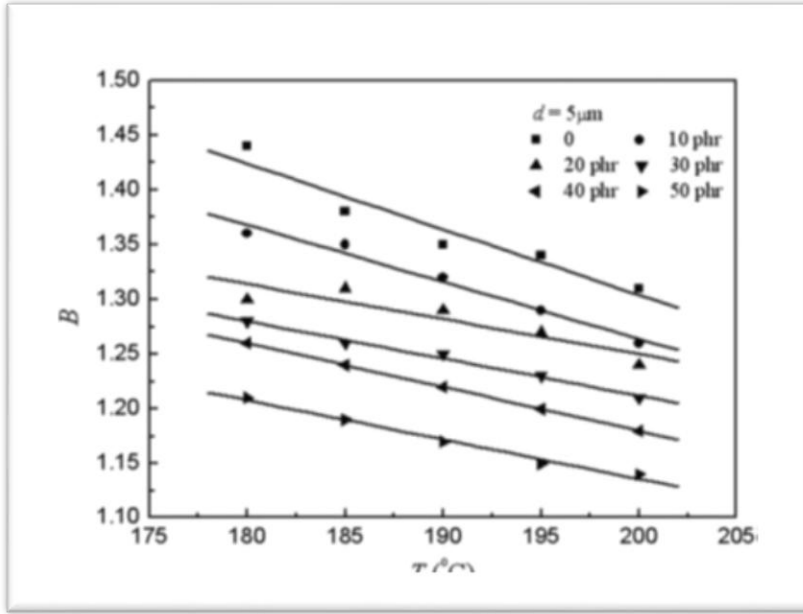


Şekil 5.21 Kare kesitli kalıp şişme oranı [35]

Elde edilen sonuçlar, daha önce performeti deneyleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Dahası çekme-ekstrüzyon prosesi durumunda çubuğun sayısal olarak hesaplanması, hâlihazırda kullanılan 3 boyutlu modelin pratik koşullara yakın araştırmalar için uygunluğunu göstermektedir [35].

Widjojo ve diğerleri (2010) çalışmalarında, yeni spinner tasarımlarının ve eğirme parametrelerinin uygun kombinasyonu ile kalıp şişme oranına etkili bir şekilde karşı koyabildiğini göstermiştir. Çeşitli spiner tasarımları ve eğirme koşulları kullanılarak kalıp şişmesi ve akış davranışı farklılıklarını analiz etmişlerdir. Akış açısı 60° olan kısa konik rondelaların ve 30° akış açısına sahip kısa dairesel akış kanalı spiner ile ekstrüdat bozulmalarını azaltabileceği veya ortadan kaldıracabileceği ortaya çıkmıştır. Spinner tasarımlarının yanı sıra, bu çalışma aynı zamanda, akış stabilitesini sağlamak ve kalıp şişmesini azaltmak için her bir özel spinerde eğirme koşulunun önemini vurgulamaktadır. Parametre olarak akışkan bileşimi, akış oranı, eğirme sıcaklığı ve kalkış hızı baz alınmıştır. Deney sonuçları, spinner tasarımının ve bu dört eğirme parametresinin uygun kombinasyonunun eğirme işlemini stabilize etmede kilit rol aldığını göstermiştir. Akışkanın yüksek sarma hızı ve çözücü olmayan yüksek konsantrasyonu, kısa ve konik ya da yuvarlak çubukları kullanılarak HPES içi boş elyaf eğirmede şişme davranışını tamamen ortadan kaldıracabileceğini göstermiş ve ayrıca akış stabilitesini de artırdığı saptanmıştır [36].

Liang ve diğeri (2010), yapmış oldukları araştırmada, Alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) ve magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) ile doldurulan polipropilen (PP) kompozitlerin kalıp şişme oranını (B), ortalama olarak 180 ila 200 °C arasındaki sıcaklık ve farklı deney şartları altında kapiler reometre kullanarak test etmişlerdir. Ekstrüzyon koşullarını tanımlamak için 10^{-1} ila 10^3 s^{-1} arasında değişen görünür kayma hızı denenmiştir. Deneyler neticesinde makaslama stresi ve kırılma oranı, şişme oranındaki kırışıklık (dalgalanma) ile kademeli olarak azaldığı görülmüştür [37].



Şekil 5.22. Sıcaklığa göre şişme grafiği [37]

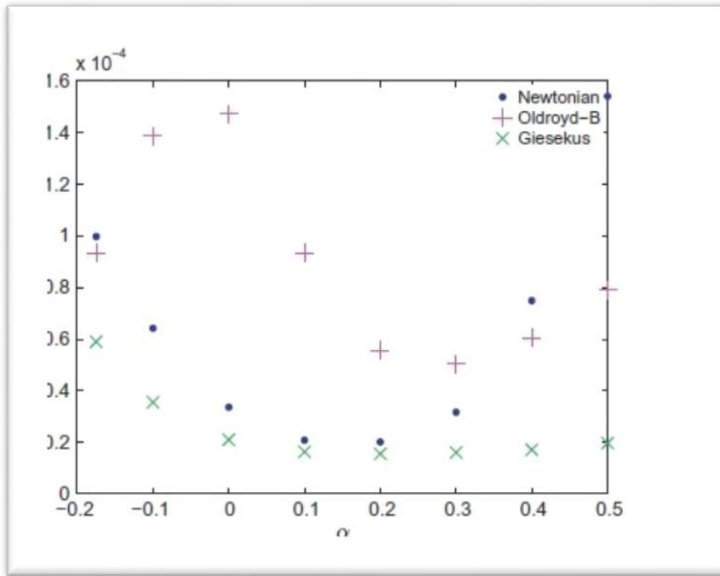
5.3. Şişme Oranı İncelenmesinde Kalıp Tasarımı ve Yöntemlerin Önemi

Ekstrüde edilen malzemelerde şişme oranına etki eden faktörler arasında kalıp tasarımının önemi büyüktür. Bunun yanı sıra davranış verilerinin elde edilmesinde kullanılacak olan denklem ve yöntemler yapılan çalışmalara katkı sağlamaktadır. Bu bölümde kalıp tasarımına yönelik çalışmalar ile deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

Pauli ve diğeri (2012) yapmış oldukları çalışma ile ekstrüzyon kalıplarındaki homojen kalıp şişmesini dikkate alarak, çıkıştaki hız dağılımı ve şişme oranlarını araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada homojen kalıp şişmesi amacı ile sayısal kalıp tasarımına yönelik adımlar sunulmaktadır. Kalıp şişmesinin doğru hesabı halen devam etmekte olan bir araştırmanın konusu olduğundan, Galerkin / Least-Squares istikrar yönteminin bir uzay-

zaman sonlu elemanlar yöntemi ve Oldroyd-B ve Giesekus modeli ile birlikte ele alınmaktadır. Oldroyd-B modeli için DSD/SST (Deformasyon Mekansal Alan /Stabilize Uzak-Zaman) sonlu elemanlar formülasyonu ve Giesekus modeli için bir stabilizasyon yöntemi uygulanmıştır.

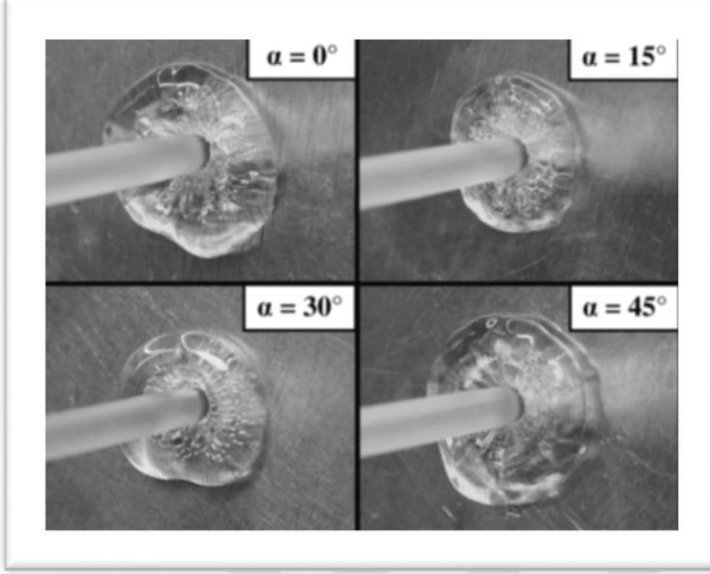
Çalışmalar sonunda formülasyonun, şişme ile ilgili optimizasyonlar için işlevselliğinin yeterli olduğunu, ancak ılımlı SR sayıları olan akışlar için yetersiz olduğu kanıtlanmıştır. Malzeme modelinin seçimi, şişme durumunda optimizasyon sonucu için belirgin bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [38].



Şekil 5.23. Homojen ekstrüdat şişme fonksiyonu [38]

Musil ve Zatloukal (2012) yapmış oldukları çalışmalarında, HDPE ekstrüzyonu sırasında ortaya çıkan içsel kalıp sarkma olgusuna kalıp çıkış tasarımının etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. İlk olarak, HDPE'nin ekstrüzyonu sırasında kalıbın içindeki yoğunluk miktarının, uzunluk ve kalıp çıkış açısına etkisinin monoton olmayan bir karaktere sahip olduğu ve ikinci olarak da genişletilmiş kalıpların oluklu kalıplara kıyasla daha fazla stabilize olduğu ortaya çıkmıştır. Kalıptan çıkış modifikasyonu yoluyla iç kalıp sarkma fenomeni bastırma mekanizmasının, kalıp çıkışındaki eriyik basıncı / normal gerilmeler, metal duvar / akıcı eriyik ara yüzeyinde yapışma ve ekstrüdatın neden olduğu gerilme arasındaki denge ile gözlenebileceği sonucuna varılmıştır. Düşük molekül ağırlıklı türlerin hareketli ekstrüdat ile kalıp çıkış bölgesinden etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı akış

durumuna yol açtığı ve bunların sadece küçük bir kısmı kalıp çıkış yüzeyinde kaldığı gözlemlenmiştir.



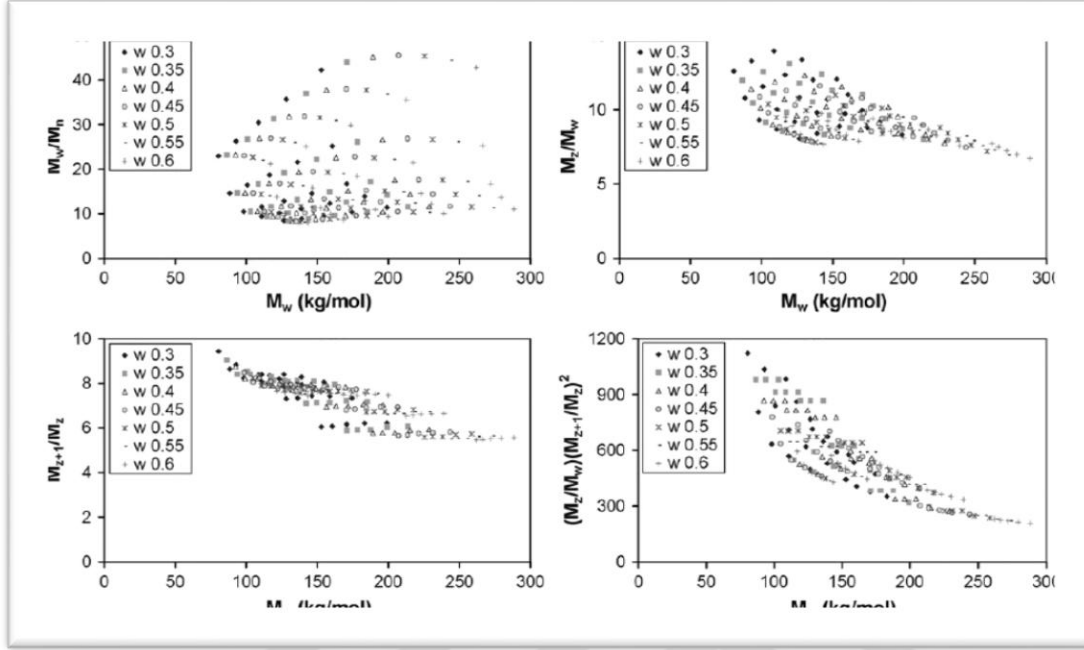
Şekil 5.24. Farklı kalıp çıkış açıları için çıkış görselleri [39]

Ekstrüzyon prosesi sırasında, ekstrüde edilmiş polimer malzemelerin bir kısmının, ekstrüde edilen materyalin çıktığı çıkış kenarlarına veya ekstrüzyon kalıbının açık yüzeylerine yapışma eğiliminde olduğu görülmüş, kalıp çıkışında bu şekilde biriken malzeme, büyük bir kompakt ve genellikle bozulmuş kütleye dönüşmüştür. Bazen de kalıptan sık sık kopan eriyik malzemenin, ince taneler veya toz oluşturduğu görülmüştür [39].

Doelder ve Koopmans (2007) çalışmalarında, yüksek yoğunluklu polietilenler üzerinde daha önce yayınlanmış deneysel verileri tekrar gözden geçirerek, iki molekülü değişkenlerin birleşik etkisini anlamak için bir model önermektedir. Model, çift tekrarlı modellerinden elde edilen bulguları, geri kazanılabilir uyumluluk ile ekstrüdat şişmesine bağlamaktadır. Bildirilen sonuçlar modele destek sağlamış ve polidispers polimerlerde yüksek kütle fraksiyonlarının önemli rolünün daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.

Sabit durum akışı göz önüne alındığında ve silindirik bir kalıp çıkışı ile incelenen model ekstrüzyon sistemlerine odaklanarak kasılma, düz kılcal kalıp ve serbest yüzey ekstrüdat şişmesinin, kalıptan belirli bir konumda veya zamanın fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Böylece ekstrüdat şişmesi ekstrüzyon sisteminin geometrisine (büzülme oranı ve açısı, kalıp

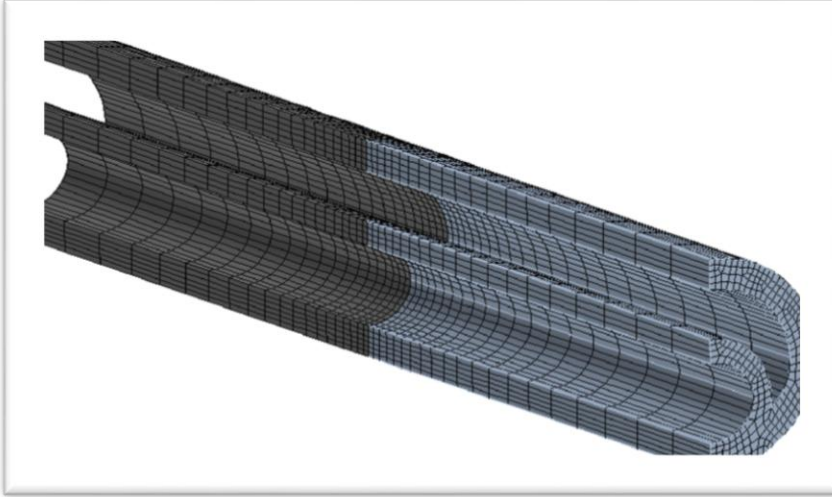
uzunluğu ve çapı) ve çalışma koşullarının (sıcaklık, akış oranı) birbirine olan bağlantısı incelenmiştir.



Şekil 5.25. Molar kütle dağılım momentleri karışımların kapsadığı aralıklar [13]

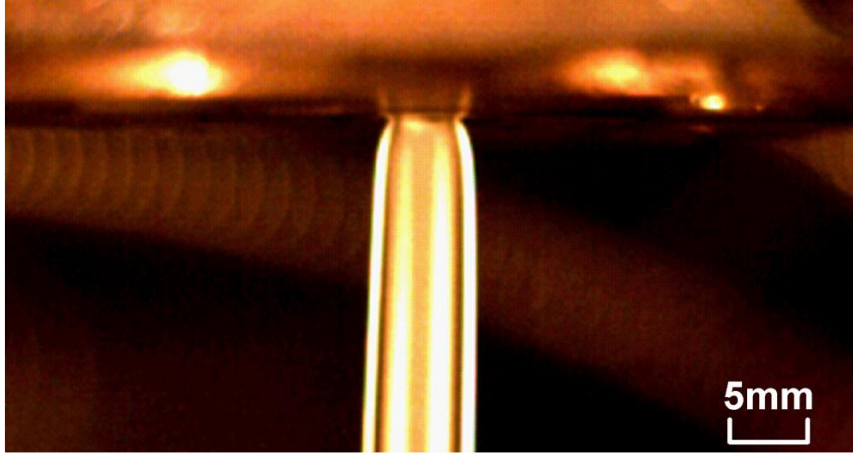
Önceki deneysel çalışmalar sınırlı değişkenliğe sahip örnek kümelerle odaklanmıştır. Burada sunulan ilk ana katkı, molar kütle dağılımlarında çok daha büyük ve daha sistematik varyasyona sahip bir veri seti oluşturmak için mevcut karışım verilerinin geliştirilmiş analizidir. İkinci ana katkı, ekstrüdat şişme verilerinin, geri kazanılabilir uyumluluk yoluyla, temel yapı-reoloji modellerinden elde edilen ilgili polidispersite göstergelerine bağlanması olmuştur [13].

Tian ve diğerleri (2015), çok lümenli mikro profiller için kullanılan ekstrüzyon kalıplarının tasarımı ve buna bağlı ekstrüdat şişmelerini incelemişlerdir. Tercih edilen malzeme olarak polipropilendir. Çift lümenli bir mikro kalıp üzerinde, sayısal simülasyonlar eşliğinde şişme oranları incelenmiştir.



Şekil 5.26. Hesaplama da kullanılan sonlu elemanlar ağı [40]

Seçilen profil tipik aksel olmayan geometri, düzensiz kalınlık ve mikro ölçekli boyut sergilemiştir. Polimer eriyiğinin viskoelastik özelliklerini karakterize etmek için mikro boyut etkisine göre çift sarılı bir pom-pom modeli önerilmiştir. Tahminler, deney sonuçları ve güç kanunu modelini kullanan simülasyonlar ile karşılaştırılmış ve önerilen modelin anizotropik şişmeyi kantitatif olarak değerlendirebilme kapasitesini göstermiştir. Mikro boyut etkisi, hacimsel akış hızı ve ekstrüdat şişmesi üzerine malzeme parametrelerinin etkileri parametrik çalışmalar ile incelenmiştir. Ekstrüdat kesiti üzerindeki çeşitli pozisyonların şişme oranlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Şişen anizotropi derecesi, artan hacimsel akış hızının yanı sıra, ikinci normal kuvvet katsayısı ve dallanma derecesi malzeme parametreleri ile güçlendirilirken, oryantasyonun gerilme gevşeme süresine oranı arttıkça baskılandığı görülmüştür.



Şekil 5.27. Çift lümenli tüpün ekstrüdat profili $n = 2 \text{ r / dk}$. [40]

Yine parametrik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, mikro boyut etkisinin, kalıp tasarımında ve mikro profillerin ekstrüzyon işleminde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. İhmal edilmesi durumunda, akış kanalının karakteristik büyüklüğü onlarca mikrona düştüğünden, ekstrüdat şişme oranının küçülmesi %20 oranında sapsmiş ve ekstrüdat profilinde kalınlık açısından belirgin özellik göstermiştir. Malzeme parametrelerinin ekstrüdat şişmesi üzerindeki etki mekanizmaları da ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Mikro boyut etkisi ile indüklenen anizotropik ekstrüdat şişmesinin önemli olduğu ve yüksek hassasiyetli mikro profil ekstrüzyonlarında dikkate alınması gerektiği önerilmektedir [40].

Liang (2000) yapmış olduğu bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen malzeme kullanarak, ekstrüdat şişmesi ve çıkış basınç kayıplarını incelemiştir. Kalıp şişme oranı (B) genellikle ekstrüdatın şişme derecesini tarif etmek için kullanılmıştır. Çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen eriyiğin kılcal kalıp ekstrüzyonu sırasında ölçülen giriş basınç düşüşü (ΔP_{ent}) ve çıkış basınç düşüşü (ΔP_{exit}) verileri kullanılarak doğrulamalar yapılmıştır. 200 °C'de numune eriyiğin ölçülen reolojik parametrelerinde kılcal kalıbın uzunluk/çap (L/D) oranı sırasıyla 3,175 mm ve 20 mm arasında seçilmiştir. Kalıp şişme oranı (B) ve giriş basınç düşüş (ΔP_{ent}) değerlerinin artan kayma hızı veya kayma gerilmesi ile arttığı gözlemlenmiş olup, göreceli olarak, çıkış basınç düşüşü (ΔP_{exit}) kalıp şişme oranından (B) daha büyük olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.1. Deneysel ölçülen veriler [15]

Kesme hızı (s^{-1})	τ_w (dynes/cm ²) ($\times 10^{-6}$)	B	ΔP_{exit} (dynes/cm ²) ($\times 10^{-6}$)
185.2	0.648	1.827	0.556
237.6	0.691	1.838	0.633
277.1	0.724	1.854	0.691
320.0	0.759	1.862	0.755
376.4	0.805	1.870	0.840
455.5	0.871	1.880	0.961
520.1	0.924	1.901	1.061
579.3	0.973	1.915	1.154
621.1	1.007	1.921	1.221
685.3	1.060	1.930	1.324

Sonuçlar, teorik hesaplamaların kılcal kalıp ekstrüzyonundaki HDPE eriyiği için kalıp şişme oranının deneysel olarak ölçülen değerlere yakın olduğunu göstermiştir [15].

Literatür incelendiğinde, plastik malzemelerin şekillendirilmesi üzerine birçok çalışma olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte şekillendirme işlemlerine bağlı olarak plastik malzemelerde karşı karşıya kalınan oldukça çok problemin olduğu görülmektedir. Genel olarak eriyik halde kalıplama yöntemi ile şekillendirilen plastik malzemelerde; sıcaklık, basınç, kalıp geometrisi, giriş açısı, kayma hızı, kayma gerilmesi vb. sebeplerden kaynaklanan tepkimeler oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında diğerlerinden farklı olarak, plastik malzemelerin kalıplanmasında meydana gelen şişme oranı problemi birden fazla parametre üzerinden deneysel olarak incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda ağırlıklı olarak bir ya da iki parametre üzerinden incelemelerde bulunulurken bu çalışmada; kılcal kalıp boyu (L), nozul çapı (D), kalıp giriş açısı ($^{\circ}$), sıcaklık ($^{\circ}C$) ve vida hızı (dev/dk.) parametreleri ile şişme üzerine veriler elde edilmiştir.

6. MATERYAL METOD

Bu bölümde yapılan tez çalışmasında kullanılan deneysel araç gereçler ile uygulanan yöntemler ele alınmıştır. Birinci kısımda materyal, yani cihazlar, malzeme ve destekleyici ekipmanlar konu alınmıştır. İkinci kısım olan metod kısmında ise teçhizat ve ekipmanlar ile elde edilen verilerin elde edilmiş yöntemlerinden bahsedilmiştir.

6.1. Materyal

Bu bölümde çalışmada yer alan ekipmanların ne olduğu ve özellikleri konu alınmıştır.

6.1.1. Ekstrüder makinesi (NOVOMA NTB 30/25D)

Tez çalışmasında NOVOMA NTB 30/25D model ismi ile özel olarak deneysel çalışmalar için özel olarak tasarlanmış ekstrüzyon makinesi kullanılmıştır. Tek vidalı olarak tasarlanan makineye ait teknik özellikler Çizelge 6.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ekstrüder makineye ait teknik özellikler

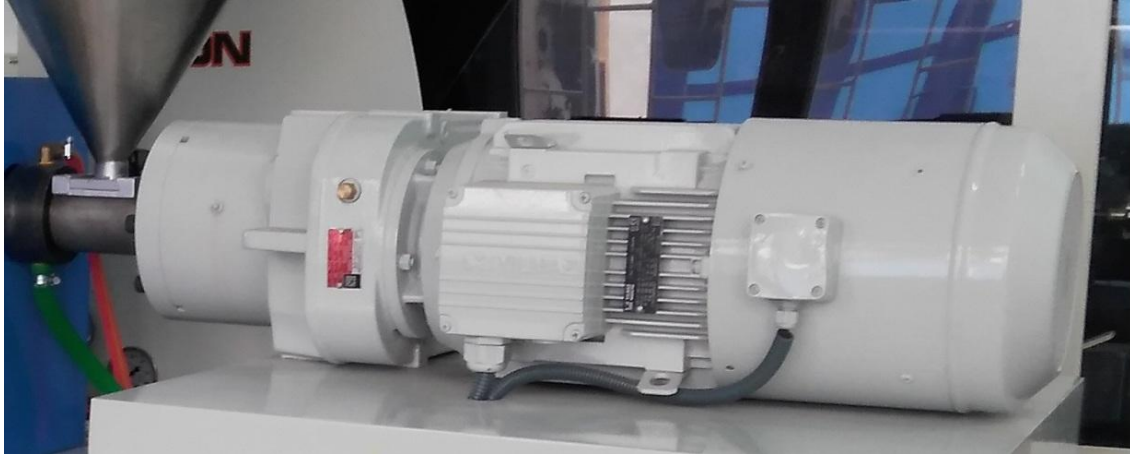
Motor gücü (kW)	4
Vida çapı (mm)	30
Vida işleme boyu (L/D)	25
Maksimum vida hızı (rpm)	124
Teorik kapasite (kg/saat)	≈14
Kovan ısı bölgesi	4
Kalıp ısı bölgesi	2
Boy L (mm)	1500
Genişlik B (mm)	900
Yükseklik H (mm)	1100
Ortalama ağırlık (kg)	450

Novoma Makine Sanayi Ticaret Anonim Şirketi ürünü olan ekstrüzyon makinesine ait görsel, Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. NOVOMA NTB 30/25D Ekstrüzyon Makinesi

Makine üzerinde 5.5 kW kapasiteli AC motor ve TÜV sertifikalı DRE 373 serisi Yılmaz marka redüktör bulunmaktadır. Makine üzerinde yer alan vidaya hareket verecek olan bu birim Şekil 6.2’de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.2. Ekstrüdere ait 5.5 kW AC motor ve redüktör

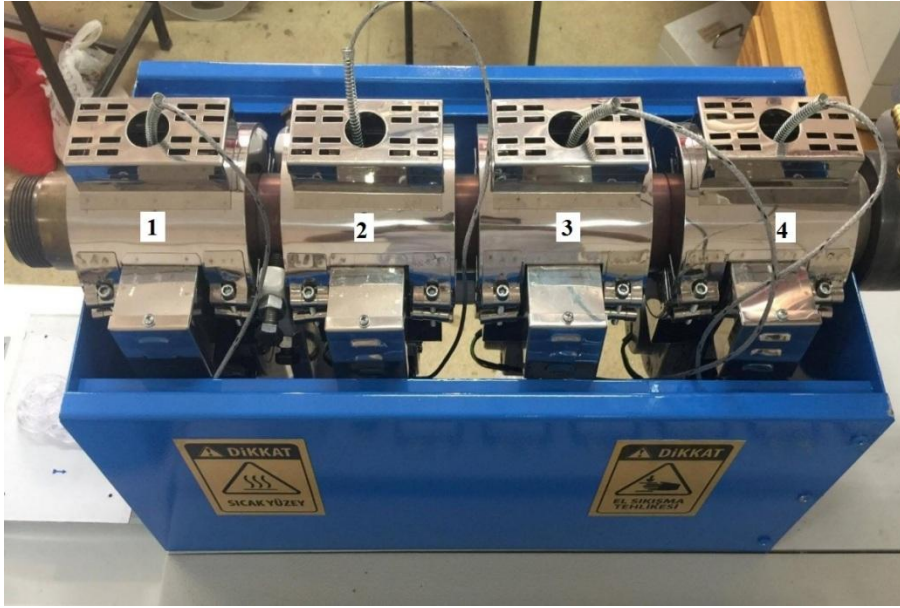
Makineden eriyik malzeme akışını gerçekleştirecek olan yine özel olarak üretilmiş vida ve kovan mevcuttur. Bu vida ve kovan, Enformak PT A.Ş. tarafından TÜV sertifikalı nitrasyon

çeliği 1,8550 (DIN 1.2891, 34CrAl Ni7) olup, uzun süreli derin gaz nitasyonu ile sertleştirilerek (0,6-0,7 mm derinlikte 66-70 HRc sertlik) üretilmiştir (Bkz. Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Makinede kullanılan ekstrüder vida

Makinenin kovan bölümünde PID kontrollü 4 adet sıcaklık kontrol bölgesi yer almaktadır. Şekil 6.4.'te gösterilen bölgeler sıcaklık olarak 400 °C'ye kadar $\pm 0,1$ °C hassasiyetle kontrol edilebilmekte ve kovan dışında sıralı dört adet ısıtıcı ile donatılmıştır.



Şekil 6.4. Kovan üzerinde konumlandırılan sıcaklık kontrol sensörleri ve rezistanslar

Makinede, Engin Rezistans marka CE ve ISO 9001:2008 sertifikalı seramik yalıtımlı ve paslanmaz hava gömlekli ısıtma rezistansları bulunmaktadır. Şekil 6.5'te sıcaklık değerlerinin kontrol edildiği panel kısmı verilmiştir.



Şekil 6.5. Kontrol paneli üzerinde yer alan sıcaklık göstergeleri

Deneysel çalışmalar için belirlenmiş sıcaklık ve vida hızı parametreleri, kontrol paneli üzerinden sağlanmaktadır. Ünite üzerinde toplamda 6 adet termostat kontrolü yer almaktadır. Bu kısımda iki bölge kalıp sıcaklığının kontrolü için çalışırken, geriye kalan dört bölge de kovan üzerindeki sıcaklığın kontrolünü sağlamaktadır.

6.1.2. Konveyör bant

Şişme oranı ölçümlerinde genel olarak kılcal reometreler kullanılmaktadır. Ölçüm kalıp boşluğundan akan malzemenin aşağı yönlü hareketi esnasında yapılmaktadır. Bu durum yerçekimi kuvveti ile birleşerek malzemede sünmeye neden olduğundan şişme oranı verilerini olumsuz etkilemektedir. Bu ve benzeri durumlardan kaynaklanan olumsuzlukları ortadan kaldırmak adına düzeneğe ek konveyör bant kullanılmıştır.

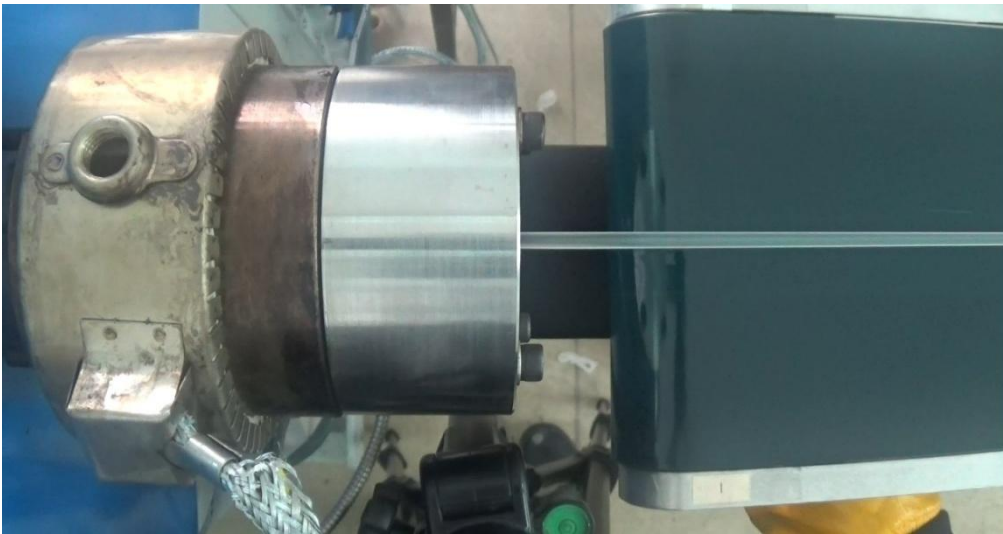
Ekstrüder makineden çıkacak olan eriyik malzemenin karşılanması ve şişme oranının daha net inceleyebilmek adına 1 adet redüktörlü motor ile çalışan konveyör bant tasarlanmıştır. Şekil 6.6'da gösterildiği üzere konveyör bant, üzerinde bulunan 0,18 kw (1/4 HP) 1500d/d trifaze elektrik motoru ve NMRV 30 gövdeye sahip redüktör (mil çapı Ø14) ile çalışmaktadır.

Konveyörün kumanda panosuna yerleştirilen Schneider ATV12H018M2 0,18kW Hız Kontrol Cihazı ve BPR10K tipi emas potansiyometre sayesinde bantın hızı ayarlanabilmekte ve kalıptan çıkan eriyik malzemenin bant üzerinden akışı sağlanmaktadır.



Şekil 6.6. Konveyör bant

Ayrıca konveyörde kullanılan bant, ısıya dayanıklı teflon olarak tercih edilmiştir. Konveyörün ayaklarına monte edilen ayarlanabilir takozlar ile yükseklik ayarı yapılabilmekte, böylece kalıptan çıkan malzemenin bant üzerine opsiyonel olarak düşmesi amaçlanmıştır. Şekil 6.7’de malzemenin kalıp boşluğundan konveyör bant üzerine doğru sergilediği akışa yer verilirken, Çizelge 6.2’de konveyörün diğer özelliklerine ait bilgiler sunulmuştur.



Şekil 6.7. Polipropilenin kalıptan çıkışı ve konveyör üzerinden hareketi

Çizelge 6.2. Konveyör banta ait teknik özellikler

Motor gücü (kW)	4
Redüktör	30
Bant genişliği (mm)	16
Boy (mm)	1500
Yükseklik (mm)	1150- 1250

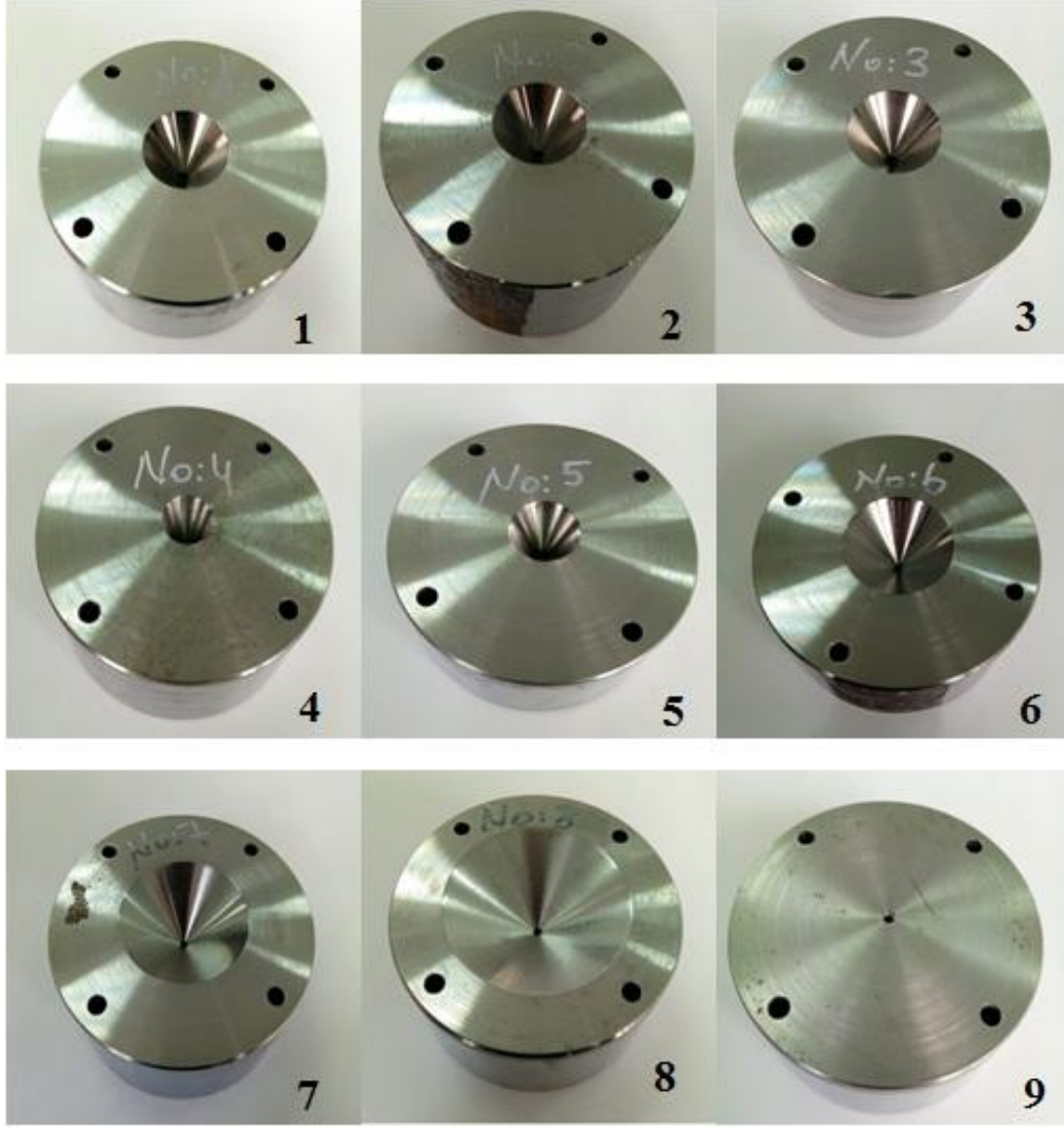
6.1.3. Deneyleerde kullanılan kalıplar ve tasarımları

Bu çalışmada kullanılan kalıplar, incelenen literatür de baz alınarak kapileri kalıplardan oluşmaktadır. 9 adet üretilmiş olan bu kalıplarda en önemli parametre, L/D oranları ile kalıp giriş açıları ve vida hızı olmuştur. Kalıp malzemesi olarak DIN 1.2343 (X38 CrMoV51) türü çelik seçilmiştir. Kalıpların nozul çapları CNC Tel Erezyon Tezgahında, diğer kısımları ise talaşlı imalat yöntemi ile CNC Torna Tezgahında literatür ve ticari firmaların kullandıkları yaklaşımlar göz önünde bulundurularak üretilmiştir. Üretim aşamasından sonra kalıpların ısıt işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalıplara ait oranlar ve ölçüler detaylı olarak açıklanacaktır. Öncesinde Çizelge 6.3’de genel kalıp boyutları verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kalıp bilgileri

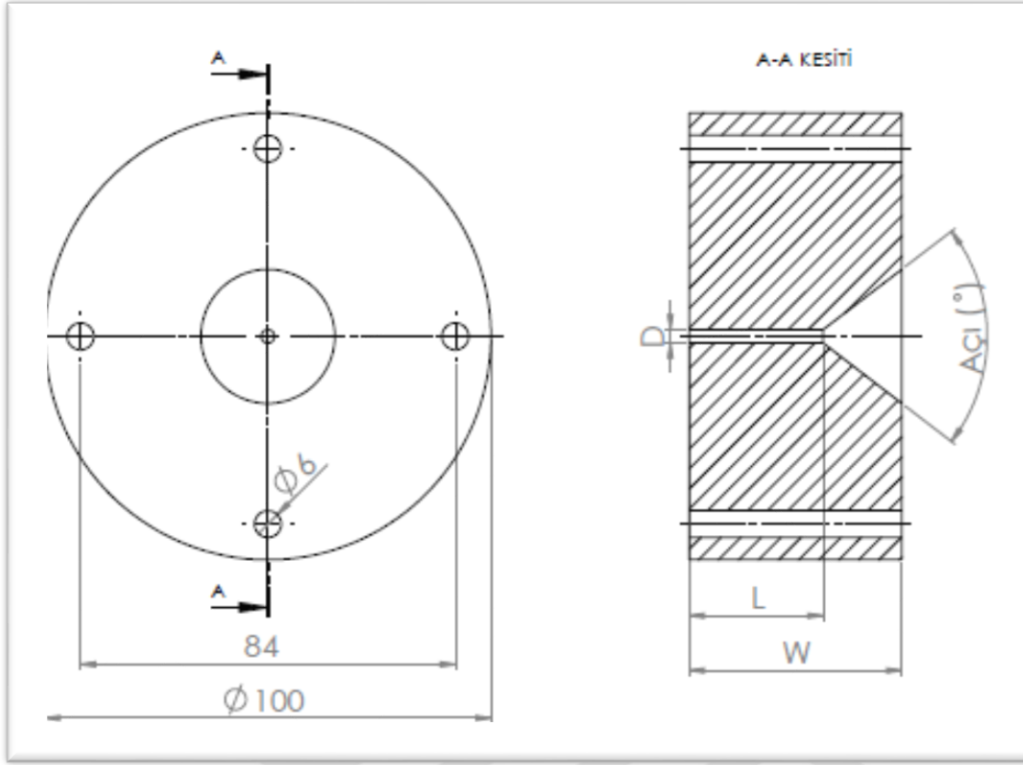
Kalıp numarası	Çap D (mm)	Boy L(mm)	Kalıp genişliği W (mm)	Açı (°)	
1	3	30	47,6	75	
2		45	62,6		
3		60	77,6		
4		30	47,6	47,6	45
5					60
6					90
7					105
8					120
9					180

Tüm kalıplarda eriyiğin çıkış nozulu aynı olup, çap değeri 3 mm olarak belirlenmiştir. Kalıplara ait görseller Şekil 6.8’de verilmiştir.



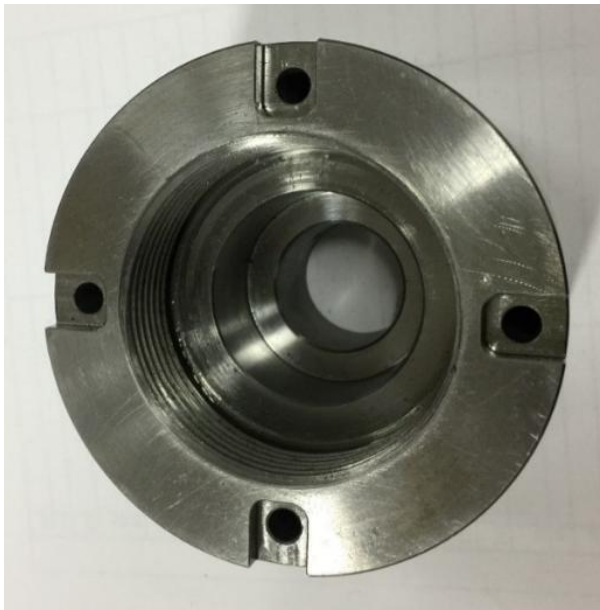
Şekil 6.8. Kalıplara ait görseller

İlk üç kalıpta açı değeri (75°) sabit olup, L oranları (30 mm, 45 mm ve 60 mm) değişken olmuştur. Dördüncü kalıptan itibaren ise L (30 mm) oranı sabit tutularak, açı değerleri (45° , 60° , 90° , 120° ve 180°) değişkenlik göstermiştir. Çizelge 6.3’de yer alan kalıp bilgileri ve Şekil 6.8’de görsel olarak sunulan kalıpların teknik detayları Şekil 6.9’da verilmiştir.

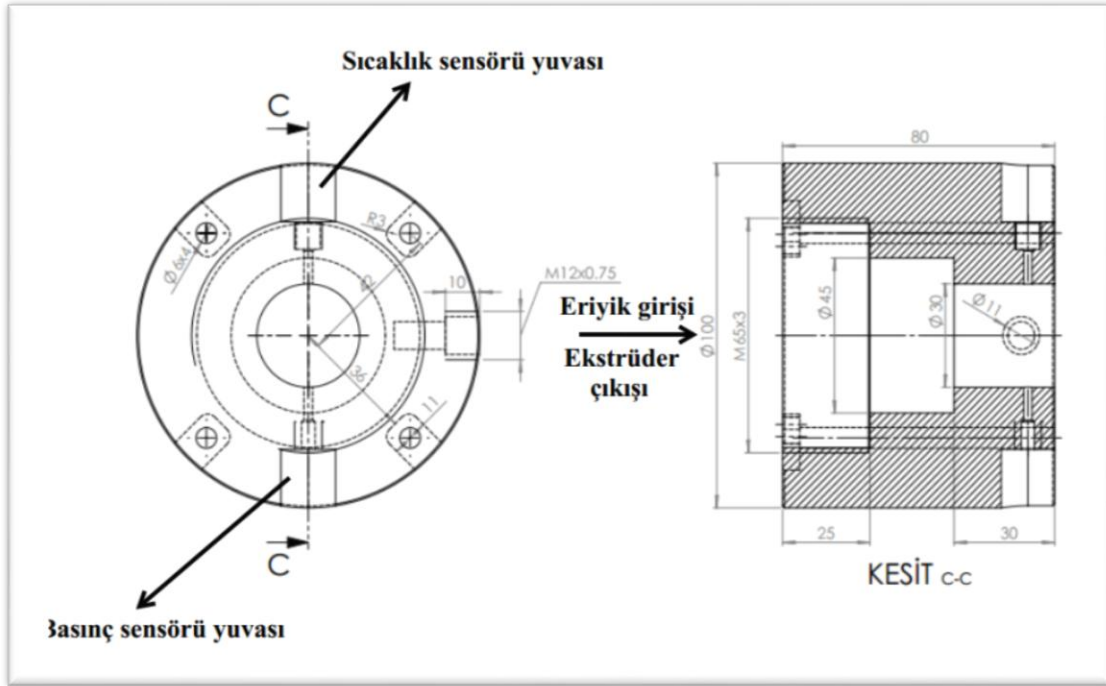


Şekil 6.9. Kalıplara ait boyutların teknik resim olarak gösterimi

Kalıpların ekstrüder makinesine bağlanmasını sağlamak amacı ile kalıplarla uyumlu tutucu kafa tasarlanmıştır. Şekil 6.10-11'de tutucuya detaylar sunulmaktadır. Tutucu üzerine sıcaklık ve basınç sensörleri bağlantısı yapılabilmektedir.

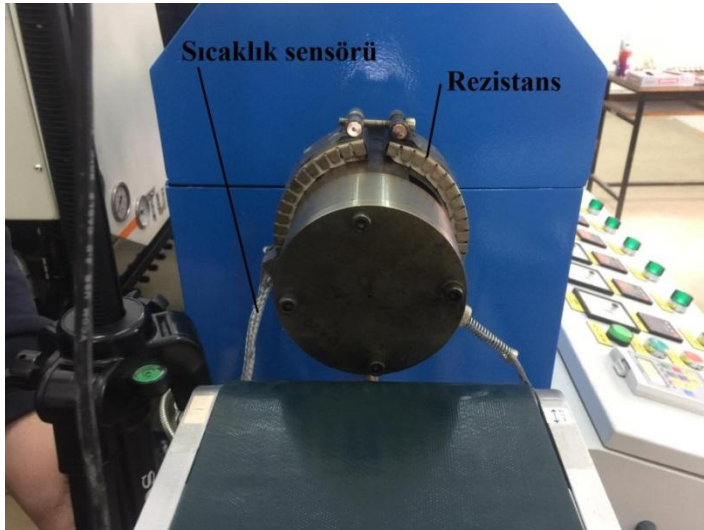


Şekil 6.10. Tutucu kafa



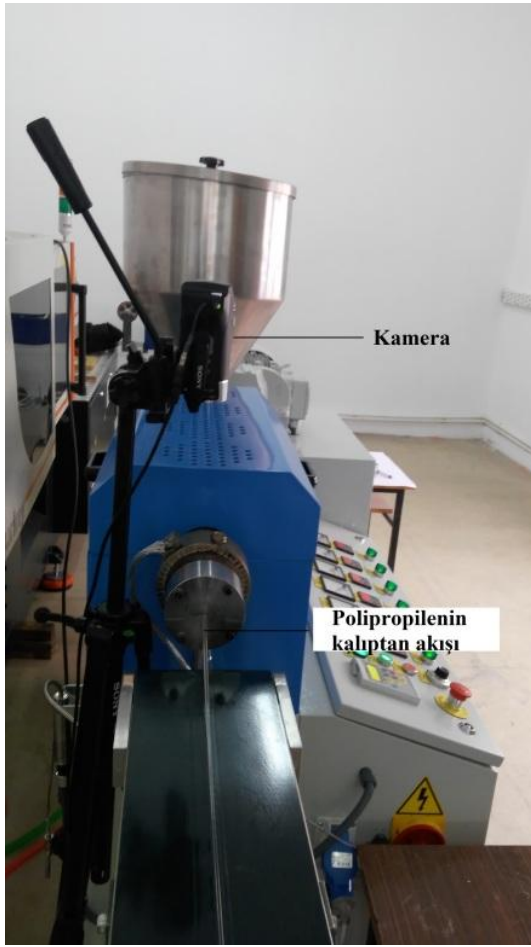
Şekil 6.11. Tutucu kafaya ait teknik resim

Ekstrüderle şekillendirme işleminde hammaddenin akışı için makinenin sağlamış olduğu sıcaklık kadar, kalıp sıcaklığı da büyük önem taşır. Bu nedenle kalıp sıcaklığını istenilen seviyede tutma amaçlı 1200 Watt güç ve 220 Volt çalışma gerilmesine sahip, 400 °C sıcaklığa çıkabilen seramik tipi bir rezistanstan yararlanılmıştır (Bkz. Şekil 6.12).



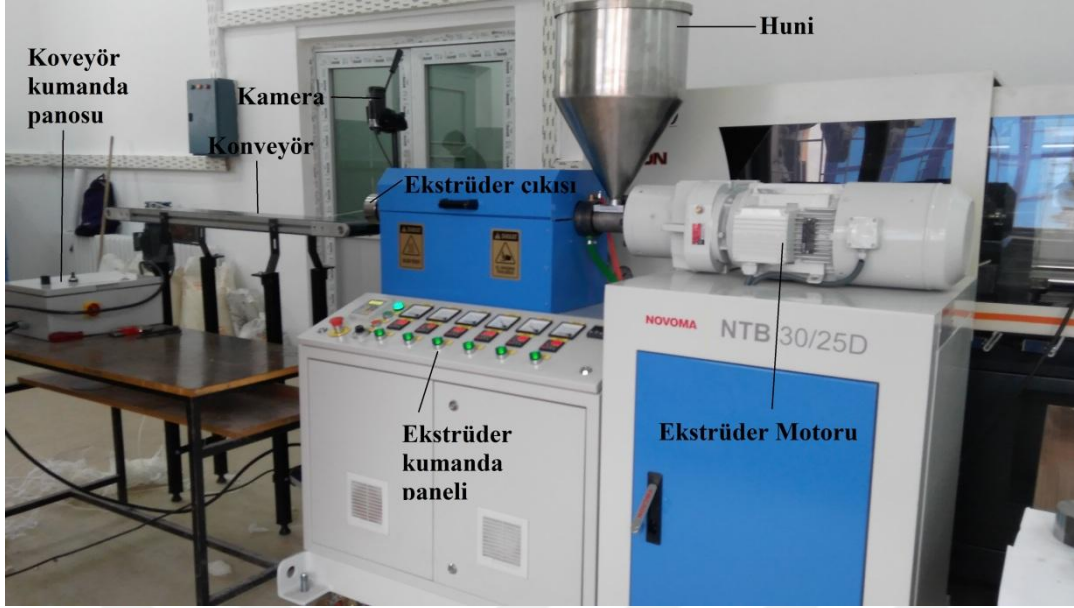
Şekil 6.12. Kalıp sıcaklığı için tercih edilen rezistans ve sensör

Yapılan testlerde, şişme oranlarının değerlendirilmesi için ekstrüder makine ve konveyör banta paralel, kalıba yani ekstrüde olan malzemeye dik olarak konumlandırılmış bir adet Sony marka HDR-CX 240 model kamera kullanılmıştır. Belirlenen parametreler doğrultusunda polipropilenin kalıp çıkışından sonraki şişme oranı anlık olarak kaydedilmiştir. Kayıt işlemi kalıp numarası, sıcaklık ve vida hızı bilgileri üzerinden tutulmuştur. Malzemenin kalıp boşluğundan çıkmasıyla başlayan süreç her bir parametre için bir dakika ve iki tekrar şeklinde kayıt altına alınarak gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Polipropilenin kalıptan çıkışı ve kamera ile anlık veri elde edilmesi

Testler için hazırlanan deneysel düzenek Şekil 6.14'te sunulmuştur.



Şekil 6.14. Deney düzeneği

6.2. Metod

Bu bölümde yapılan çalışmalardaki deneysel verilerin elde edilmiş yöntemleri konu alınmıştır.

Deneysel malzeme olarak PETKİM tarafından üretilen, PETOPLen MH 418 serisi polipropilen (PP) tercih edilmiştir. Çizelge 6.4’de özellikleri verilen polimer PETOPLen MH418 orta moleküler ağırlık dağılımına sahip homopolimer yapıda bir üründür. Çok amaçlı kullanıma uygun olarak orta erime akış hızında üretilmesi hem enjeksiyon ile hem de ekstrüzyonla monofilament üretimi yapan imalatçıların kullanımına olanak sağlamaktadır [41].

Çizelge 6.4. PETOPLLEN MH 418 serisi PP özellikleri

Özellikler	Değer	Test modu
Reçine özellikleri		
Akış hızı (g / 10 dk)	4,7	ASTM D1238
Yoğunluk (g/cm ³)	0,905	ASTM D1505
Ergime noktası (°C)	163	ASTM D 3418
Mekanik özellikler		
Akmada gerilme dayanımı (MPa)	34	ASTM D638
Bükülme modülü (MPa)	1450	TS EN ISO 178
Izod darbe dayanımı (J/m)	22	ASTM D256
Rockwell sertliği (R-scale)	94	ASTM D785
Termal özellikler		
Deformasyon sıcaklığı (°C)	110	ASTM D648

Polipropilen (PP) malzeme deneysel çalışmalara başlamadan önce iki saat 80 °C’de Etüv fırınında bekletilerek nem alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Nem alma işleminden sonra PP malzeme ekstrüder makinesinin hunisinden boşaltılarak kontrollü şekilde kovana gönderilmektedir. Belirlenmiş olan sıcaklık değerleri ekstrüder makinenin kontrol paneli kullanılarak ayarlanmıştır (Bkz. Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Ekstrüder makine bölgelerinde ayarlanan sıcaklık değerleri

1.Bölge °C	2.Bölge, °C	3. Bölge, °C	4. Bölge, °C	Kalıp Sıcaklığı, °C
160	180	210	210	210
170	190	230	230	230

Ekstrüder makinesinin Çizelge 6.5’de belirtilen değerlere ulaşması ile deney düzeneği hazır hale getirilmiştir. Böylece önceden nemi alınıp huni vasıtasıyla kovana gönderilen PP, sıcaklığın etkisiyle eriyik duruma getirilmiştir. Bu aşamadan itibaren belirlenen vida hızı (20, 40, 60, 80, 100 dev/dk) ile eriyik durumdaki malzemenin kalıp nozulundan akması sağlanmıştır.



Şekil 6.15. PP eriyiğinin kalıp nozulundan akması

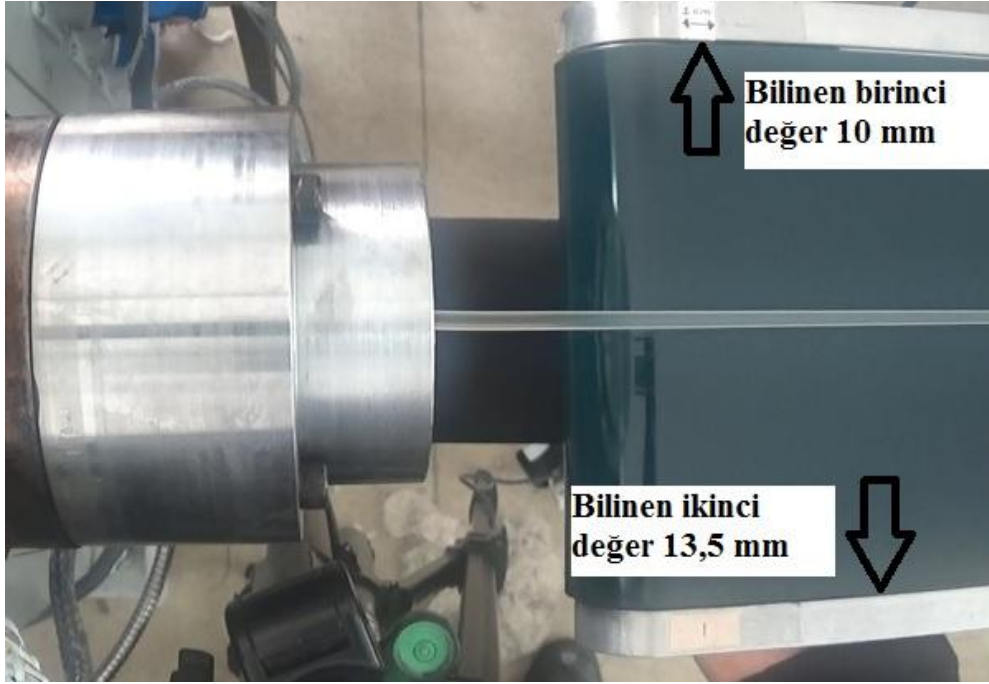
6.2.2 Malzemenin şişme oranının tespiti

Kalıp üzerinde eriyik malzemenin ekstrüde olduğu çap 3 mm ve sabit olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra değişken olan değerler L (ekstrüzyon boyu), D (ekstrüzyon çapı), W (kalıp genişliği), sıcaklık ve akış hızlarıdır. Çizelge 6.6'da verilen parametreler doğrultusunda şişme oranlarını incelemek için testler yapılmıştır.

Çizelge 6.6. Şişme oranı ölçümü için belirlenen parametreler

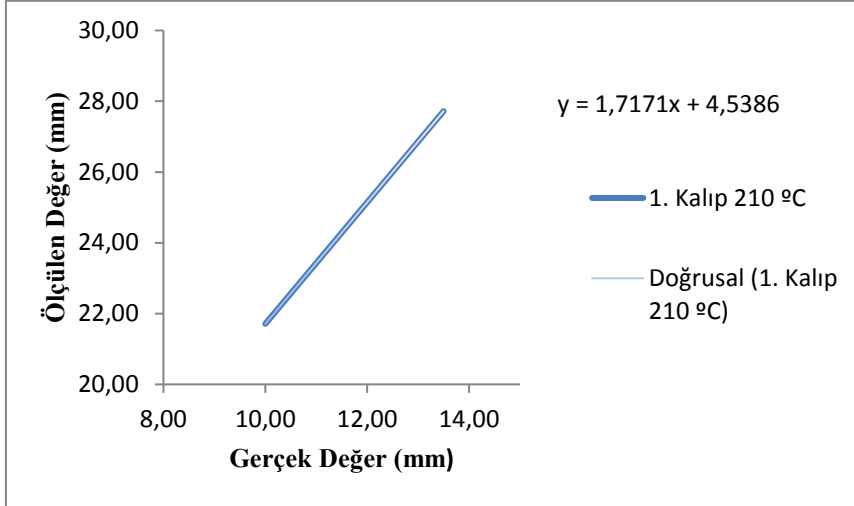
Kalıp no	D (mm)	L (mm)	W (mm)	Açı (°)	Sıcaklık (°C)		Vida Hızı (dev/dk.)				
1	3	30	47,6	75	210	230	20	40	60	80	100
2		45	62,6								
3		60	77,6								
4		30	47,6	45	210	230					
5				60							
6				90							
7				105							
8				120							
9				180							

Belirlenen bu parametreler doğrultusunda, akışın başlaması ile deney düzeneğinde yer alan sabitlenmiş kamera vasıtasıyla malzeme akışı, bir dakika ve iki tekrar olacak şekilde kaydedilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 6.16'da gösterildiği üzere, bilinen iki değer ile görüntü üzerinden ölçülen değerler veri olarak kabul edilmiştir. Bilinen birinci değer milimetrik kâğıt üzerinden 10 mm olarak belirlenmiştir. İkinci değer ise konveyöre ait bant kulağının genişliği olan 13,5 mm'dir.



Şekil 6.16. Denklem verilerinin elde edilişi

Mevcut bilinen iki değer ile deney düzeneği üzerinden elde edilen görüntüler arasında denklem kurularak PP malzemenin kalıp kanalından çıktığı an itibari ile kesit üzerinde meydana gelen şişme oranının sayısal olarak hesaplanması sağlanmıştır (Bkz. Şekil 6.17).



Şekil 6.17. 1 numaralı kalıbın 210 °C’de şişme oranı için elde edilen denklem

Elde edilen denklemler her kalıp ve sıcaklık değişimi sonrasında sabitlenmiş olan kameranın açısının değişebilme olasılığı göz önünde bulundurularak yenilenmiştir. Böylece şişme oranı ölçümlerinin daha sağlıklı yapılması sağlanmıştır. Yapılan testler neticesinde her bir parametre için ölçülen değerler, oluşturulan hesaplama çizelgelerinde yerine yazılarak gerçek şişme oranları elde edilmiştir (Bkz Çizelge 6.7-8).

Çizelge 6.7. 1 numaralı kalıba ait 210 °C’deki şişme oranı değerleri

1. Kalıp (L=30mm, D=3mm, Açı=75°)					
Bilinen Değer (mm)	Ölçülen Değer (mm)				
10,00	21,71				
13,50	27,72				
Sıcaklık Değeri (°C)	Vida hızı (dev/dk)	$y = 1,7171x + 4,5386$		Çap Değeri (mm)	Gerçek Değer (mm)
210	20	1,7171	4,5386	14,1824	5,6163
	40			14,2954	5,6821
	60			14,4857	5,7930
	80			14,8002	5,9761
	100			15,0019	6,0936

Çizelge 6.8. 1 numaralı kalıba ait 230 °C'deki şişme oranı değerleri

1. Kalıp (L=30mm, D=3mm, Açı=75°)					
Bilinen Değer (mm)	Ölçülen Değer (mm)				
10	21,74				
13,5	28,76				
Sıcaklık °C	Vida hızı (dev/dk)	$y = 2,0057x + 1,6829$		Çap Değeri (mm)	Gerçek Değer (mm)
230	20	2,0057	1,6829	13,4468	5,8652
	40			13,6268	5,9550
	60			13,8699	6,0762
	80			14,0510	6,1665
	100			14,1921	6,2368

6.2.3 Malzemenin ekstrüderden akış hızının belirlenmesi

Polipropilenin kalıp üzerinden ekstrüde olduğu nozul çapı 3mm olarak belirlenmiş olup bu değer diğer kalıplar için de aynı ve sabittir. Yapılan çalışmada, önceden elde edilen hacimsel debilerin eriyik malzemenin aktığı kesit alanına bölünmesi suretiyle hız değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Hızın tespiti için kullanılan eşitlik (Bkz: Eş. 6.1) aşağıda verilmiştir [1].

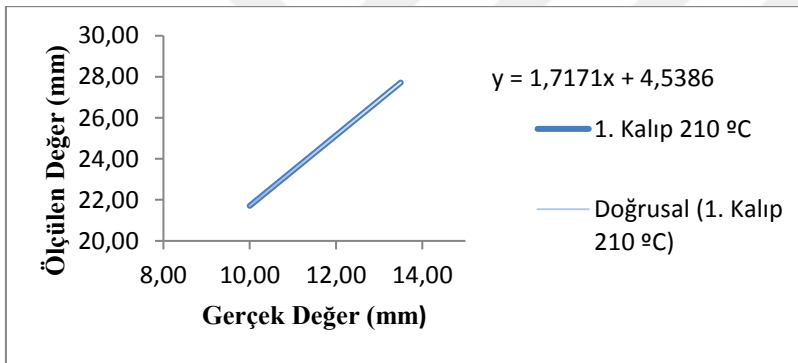
$$V = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (6.1)$$

Eşitlikte V, ekstrüde olan eriyik malzemenin kanaldan çıkış hızı (mm/s), \dot{Q} , hacimsel debi (mm³/s) ve A, akış kanalının kesit alanıdır (mm²).

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

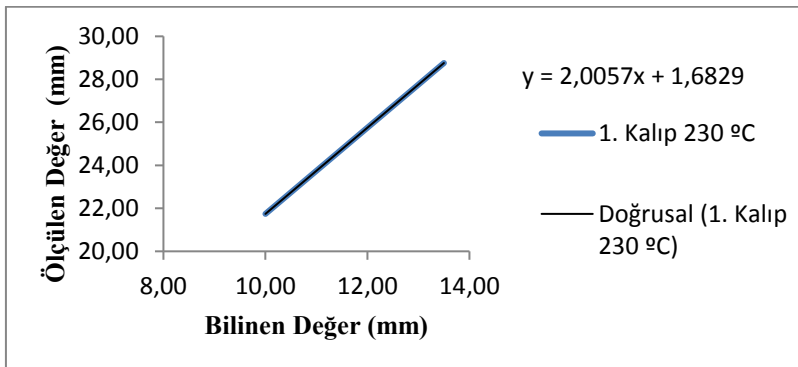
Yapılan tez çalışmasında polipropilen (PP) malzeme için şişme oranları incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneylerde 9 adet farklı giriş açlarına sahip, farklı L boylarında ve her biri 3 mm nozul çapına sahip kılcal kalıplar kullanılmıştır. 2 farklı sıcaklık değerinde (210 °C-230 °C), 5 adet vida hızı (20, 40, 60, 80, 100 dev/dk.) belirlenerek, şişme oranı değerleri elde edilmiştir.

Şekil 7.1-7.2’de birinci kalıp için 210 °C ve 230 °C ‘de oluşan şişme oranlarını elde etmek üzere belirlenen denklemlere ait grafikler sunulmuştur. Metod bölümünde açıklandığı üzere denklem, bilinen iki değer ile ölçülen değerlerin veri olarak kabul edilmesi neticesinde elde edilmiştir.



Şekil 7.1. 1 numaralı kalıp ve 210 °C için elde edilen denklem

Aynı kalıp için 230 °C’de elde edilen denklem ise aşağıdaki gibidir (Bkz. Şekil 7.2).



Şekil 7.2. 1 numaralı kalıp ve 230 °C için elde edilen denklem

Belirlenen denklemler ile birinci kalıp için şişme oranlarına ait veriler Çizelge 7.1’de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere sıcaklık artışı ve hızın artması ile şişme oranının da doğrusal olarak arttığı gözlemlenmektedir.

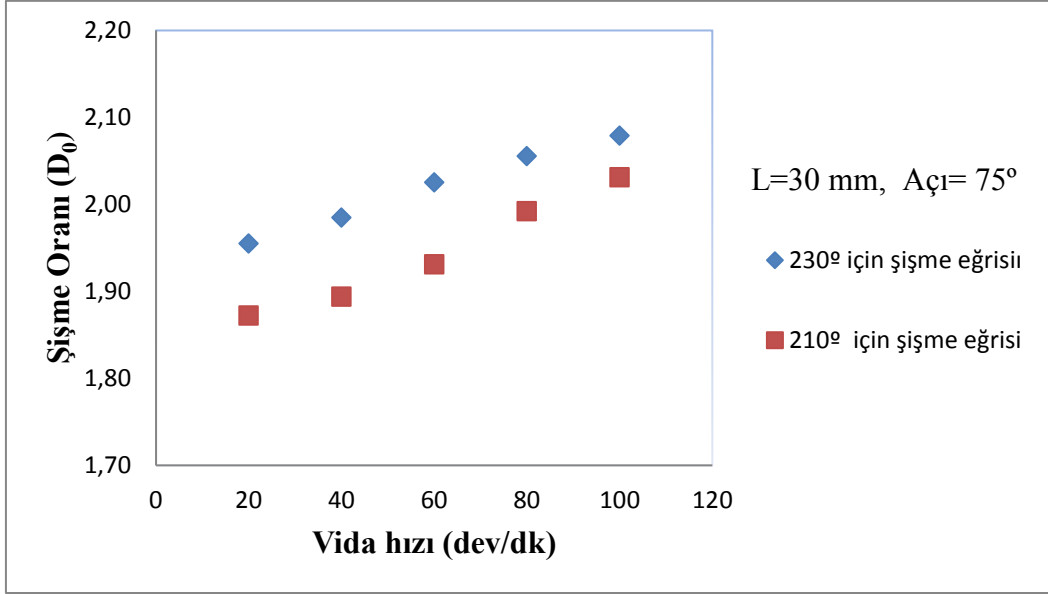
Çizelge 7.1. 1 numaralı kalıba ait şişme oranı verileri

1. Kalıp (L=30 mm, D=3 mm, Aç=75°)

Bilinen Değer (mm)	Ölçülen Değer (mm)			Çap Değeri (D=mm)	Gerçek Değer (Dg= mm)	Şişme Oranı (D ₀ =D _g /D)
10,00	21,71					
13,50	27,72					
Sıcaklık Değeri (°C)	Vida hızı (dev/dk)	$y = 1,7171x + 4,5386$		Çap Değeri (D=mm)	Gerçek Değer (Dg= mm)	Şişme Oranı (D ₀ =D _g /D)
210	20	1,7171	4,5386	14,1824	5,6163	1,8721
	40			14,2954	5,6821	1,8940
	60			14,4857	5,7930	1,9310
	80			14,8002	5,9761	1,9920
	100			15,0019	6,0936	2,0312

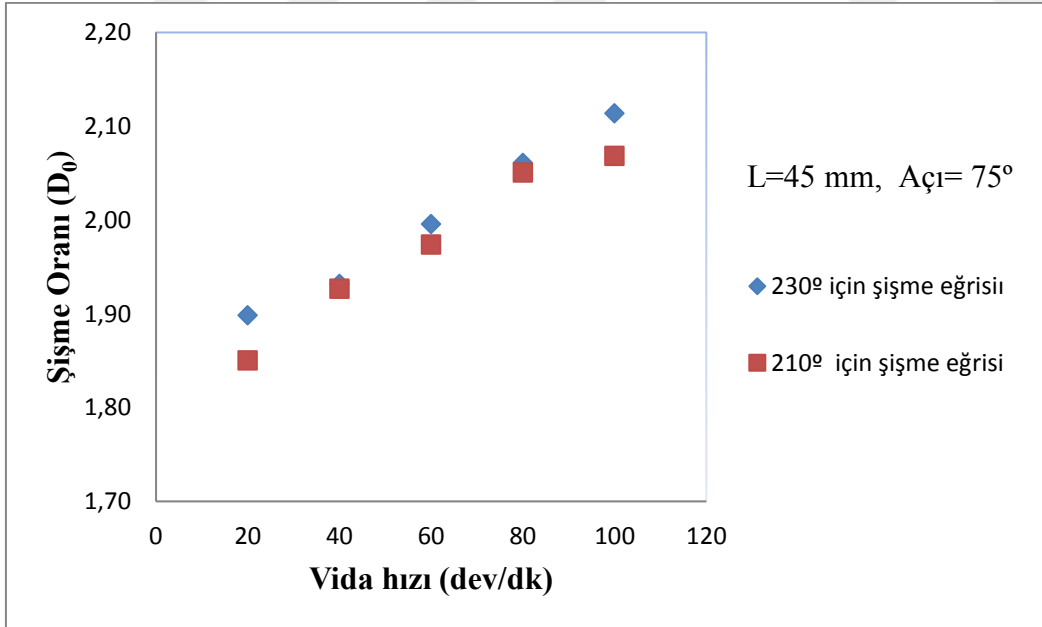
Bilinen Değer (mm)	Ölçülen Değer (mm)			Çap Değeri (D=mm)	Gerçek Değer (Dg= mm)	Şişme Oranı (D ₀ =D _g /D)
10,00	21,74					
13,50	28,76					
Sıcaklık Değeri (°C)	Vida hızı (dev/dk)	$y = 2,0057x + 1,6829$		Çap Değeri (D=mm)	Gerçek Değer (Dg= mm)	Şişme Oranı (D ₀ =D _g /D)
230	20	2,0057	1,6829	13,4468	5,8652	1,9551
	40			13,6268	5,9550	1,9850
	60			13,8699	6,0762	2,0254
	80			14,0510	6,1665	2,0555
	100			14,1921	6,2368	2,0789

Sayısal veri tablosu şeklinde yukarıda verilmiş olan şişme oranlarının eğrisi ise grafiksel olarak Şekil 7.3’de sunulmuştur.



Şekil 7.3. 1 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C'deki şişme oranı

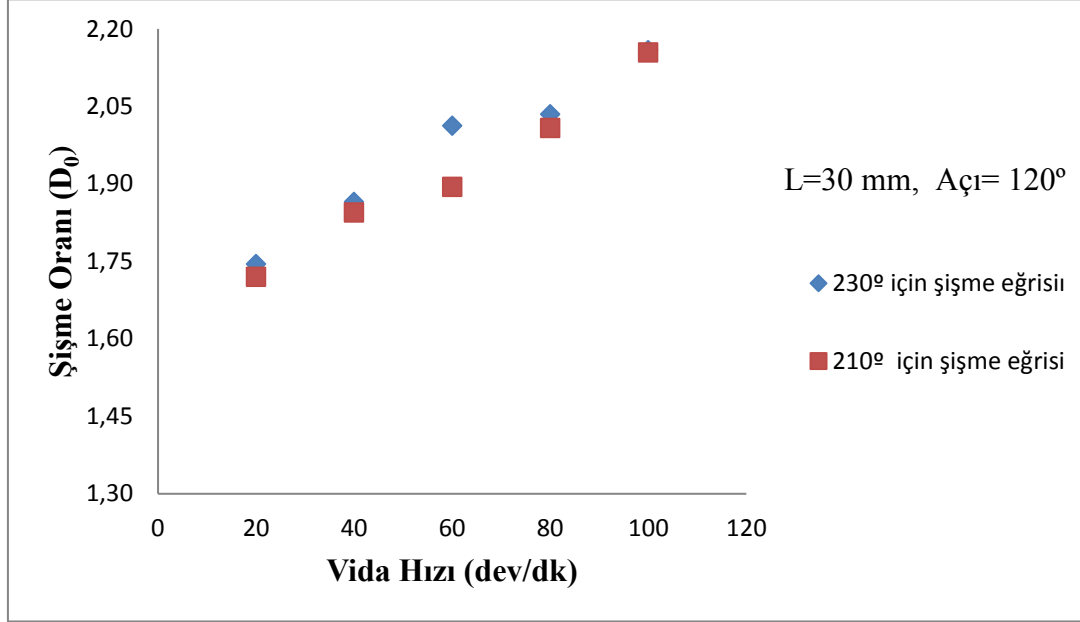
Yukarıda 1 numaralı kalıp için uygulanan deneysel parametreler tüm kılcal kalıplar üzerinde de uygulanmıştır. Parametreler arasında yer alan vida hızı (dev/dk) incelendiğinde, vida hızının artması ile şişme oranının da arttığı görülmüştür (Bkz. 7.4).



Şekil 7.4. 2 numaralı kalıp için vida hızının şişme oranına etkisi

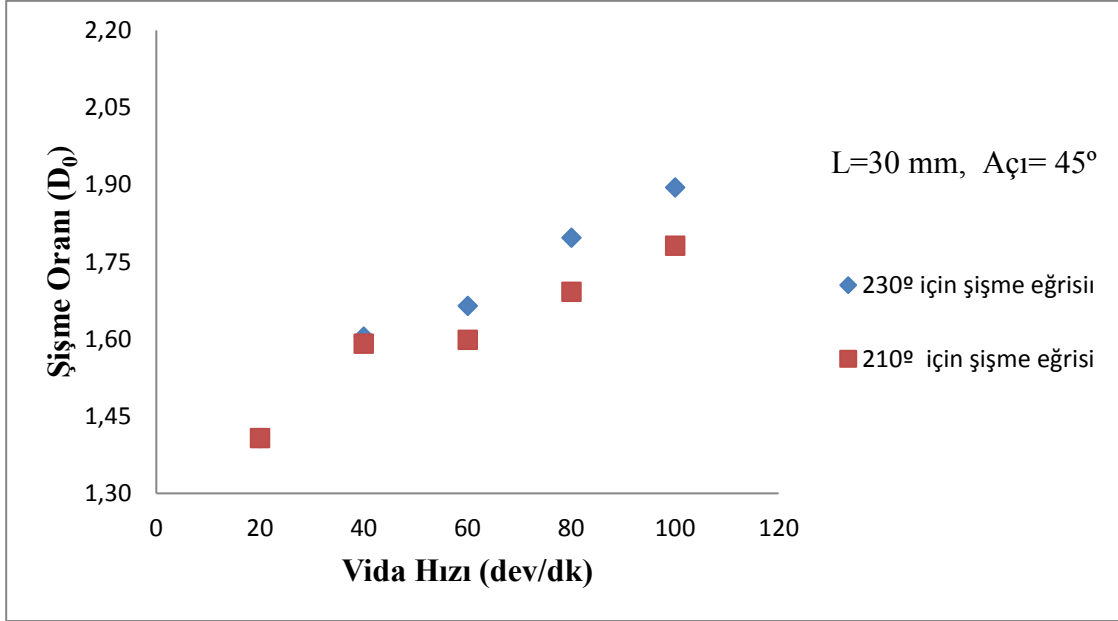
Vida hızı parametresi diğer kılcal kalıplar üzerinden incelendiğinde, kalıp giriş açısı daha büyük olan kılcal kalıplarda vida hızının etkisi şişme oranını yukarı yönlü etkilemiştir. Şekil

7.3’de yer alan 1 numaralı kılcal kalıba ait grafik ile Şekil 7.5’deki grafik, şişme oranındaki bu farkı net olarak göstermektedir.

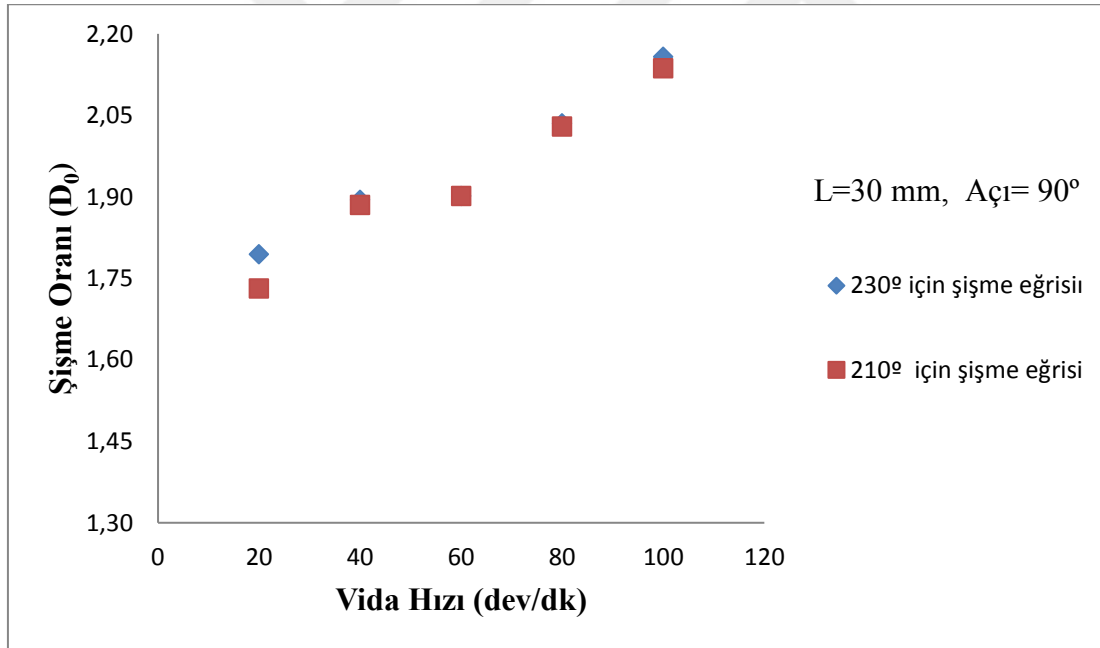


Şekil 7.5. 8 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C’deki şişme oranı

Sıcaklık parametresi irdelendiğinde, sıcaklığın şişme oranını artırdığı tespit edilmiştir. Şekil 7.6–7.7’de verilen 4 ve 6 numaralı kılcal kalıplara ait grafikler incelendiğinde sıcaklığın artması ile şişme oranının da bu artışa bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. L değeri aynı fakat kalıp giriş açıları farklı olan bu kalıplarda giriş açısı 90° olan 6 numaralı kılcal kalıp ile giriş açısı 45° olan 4 numaralı kılcal kalıbın şişme oranları karşılaştırıldığında, 6 numaralı kalıbın şişme oranının 4 numaralı kalıba göre daha yüksek oranda olduğu görülmektedir.

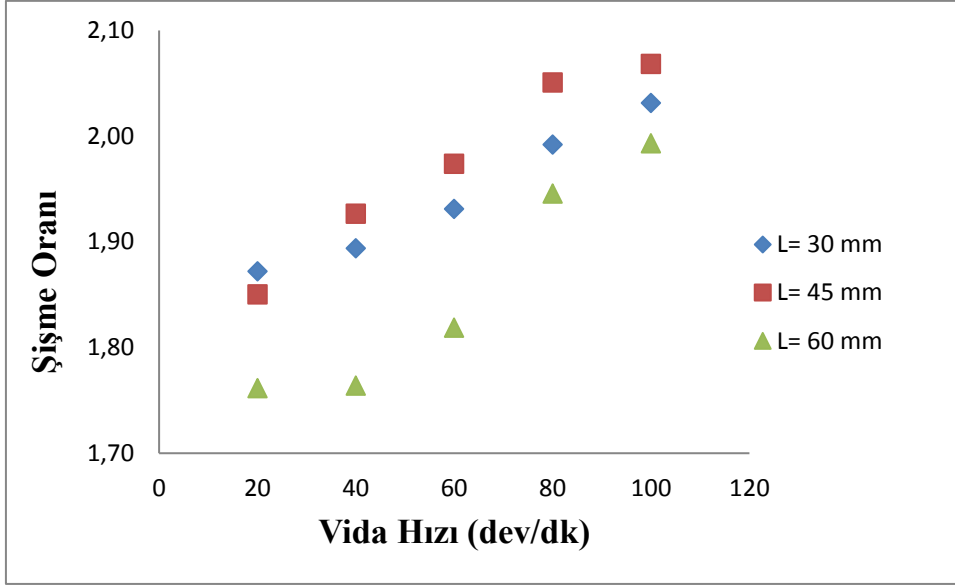


Şekil 7.6. 4 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C'deki şişme oranı



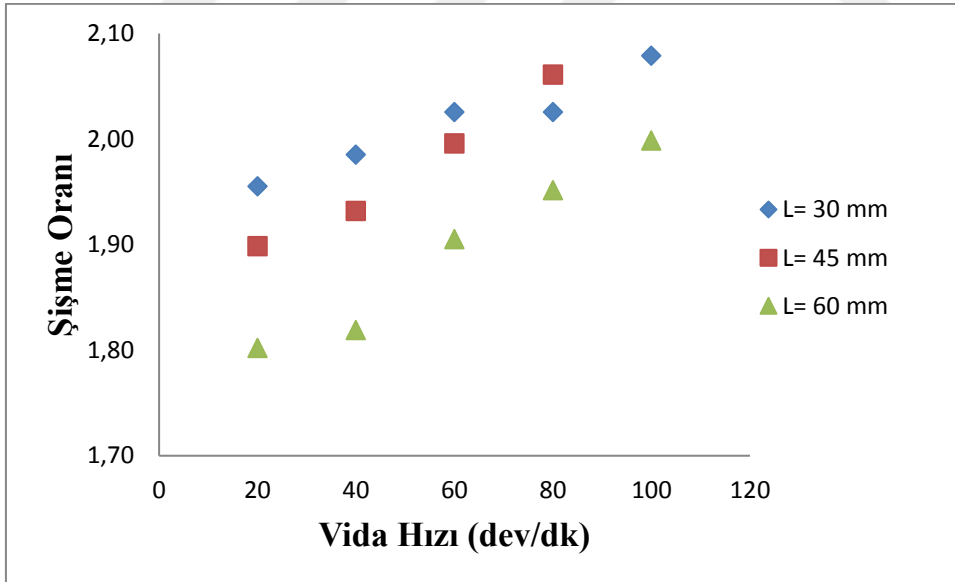
Şekil 7.7. 6 numaralı kalıp için 210 ve 230 °C'deki şişme oranı

Diğer bir parametre de kılcal kalıp boyu L olarak belirlenmiştir. Kalıp giriş açısı aynı olan kalıplarda L değerinin artması ile şişme oranının azaldığı sonucu elde edilmiştir. Şekil 7.8'de yer alan grafikte bu veriler gösterilmiştir.



Şekil 7.8. 210 °C ve değişen L değerlerine göre elde edilen şişme oranları

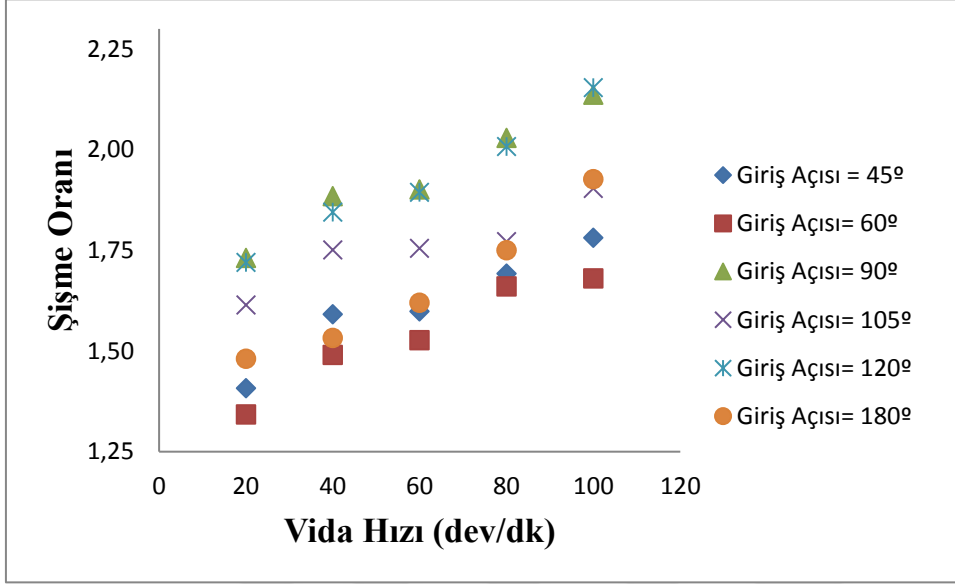
Şekil 7.8’de 210 °C’de farklı L boylarında gerçekleştirilen deneyler, 230 °C üzerinden de gerçekleştirilmiş olup şişme oranında sıcaklığa bağlı artış olduğu gözlemlenmiştir (Bkz. 7.9).



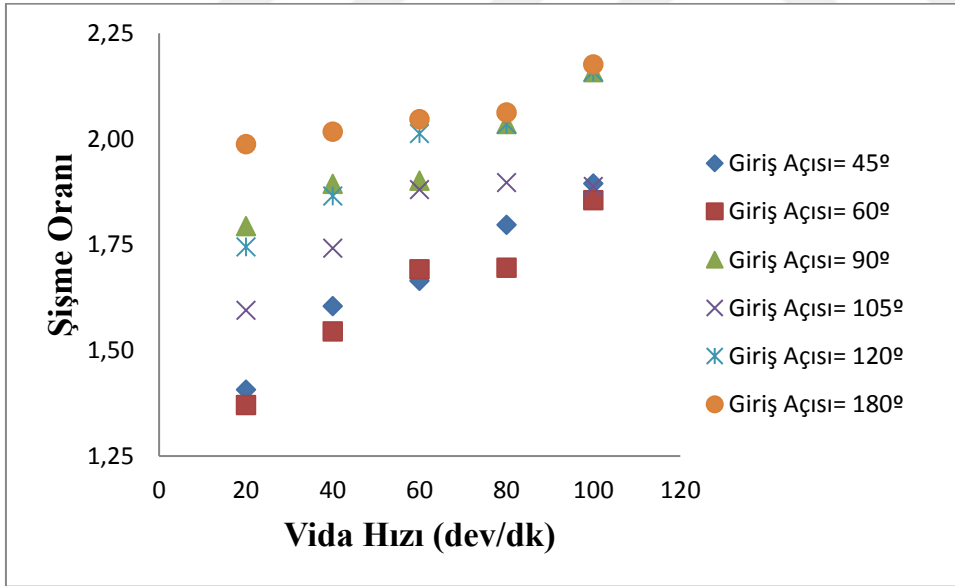
Şekil 7.9. 230 °C ve değişen L değerlerine göre elde edilen şişme oranları

Dördüncü parametre olarak şişme oranına etki eden faktör, kılcal kalıpların giriş açıları olmuştur. L ve D değerleri sabit, açı değerleri farklı olan diğer altı kalıbın verileri incelendiğinde, sıcaklık ve hız arttığında şişme oranının da arttığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Parametre olarak belirlenen ve 45°’den 180°’ye kadar değişen açı faktörünün

PP için şişme oranına olan etkisi net olarak belirlenememiştir. Şekil 7.10 – 7.11’de iki farklı sıcaklıkta değişen şişme oranları grafiği verilmiştir.

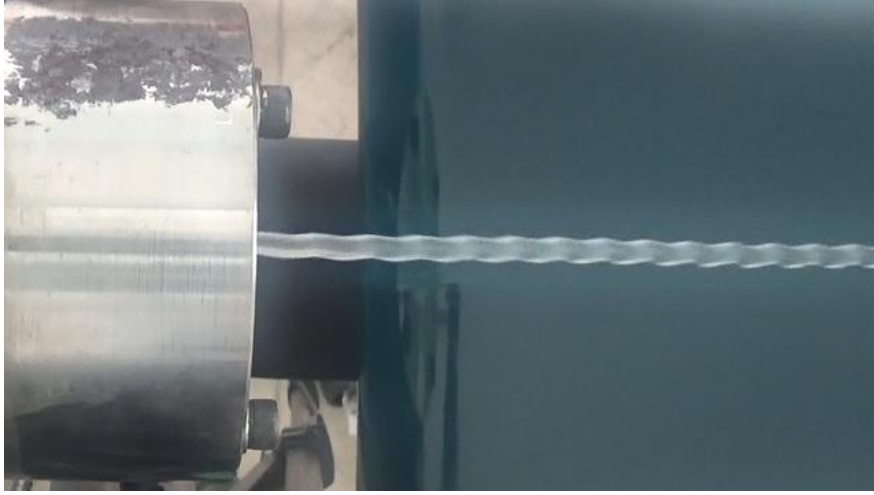


Şekil 7.10. 210 °C ve değişen kalıp giriş açıları için şişme oranları



Şekil 7.11. 230 °C ve değişen kalıp giriş açıları için şişme oranları

Ayrıca eriyik malzemelerin moleküler yapısından kaynaklı olarak kalıp dışına her zaman düzgün formda çıkmadıkları bilinen bir özelliktir. Test verilerinde de bu durumla karşılaşılmıştır. Özellikle kalıp giriş açıları büyük olan 7, 8 ve 9. kalıplarda, sıcaklık ve hız değerlerinin artması ile eriyik kırığı olarak bilinen düzensiz akışlar görülmüştür. Bu durum Şekil 7.12’de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. PP malzemede oluşan eriyik kırığı (düzensiz akış)

Eriyik kırılmasının yaşandığı kalıplar ve hangi değerlerde görüldüğü, Çizelge 7.2’de detaylı olarak verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere eriyik kırılmaları, artan sıcaklık ve hız parametrelerinde ortaya çıkmaktadır. Bu durum kalıp boyu (L) oranları aynı olmasına rağmen, artan hız faktörüne ek olarak kalıp giriş açısının da önemini ortaya çıkarmaktadır. 7 ve 8. kalıplar için 210 °C ve 100 dev/dk’da düzensiz akışlar, 9. kalıpta 210-230 °C’lerde 60, 80 ve 100 dev/dk’da meydana gelmiştir. Bu durum giriş açısının büyümesiyle eriyik kırılmasının daha fazla oluştuğunu göstermektedir.

Çizelge 7.2. Eriyik kırılmalarının görüldüğü kalıplar ve parametreleri

Kalıp numarası	Kılcal kalıp uzunluğu (L) mm	Giriş Açısı (°)	Sıcaklık (°C)	Vida hızı (dev/dk)
7	30	105	210	100
8	30	120	210	100
9	30	180	210-230	60-80-100

Yapılan bu tez çalışması ile polipropilen (PP) malzemenin şişme oranları, üretilen 9 adet kılcal kalıp üzerinde farklı parametreler kullanarak test edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda;

- Yapılan çalışma ve kullanılmış olan yöntemin, elde edilen verilerin şişme oranının ölçülmesine olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

- Deneysel verilere göre kalıp boyunun (L) uzun olarak tercih edildiği kalıplardaki şişme oranı, kısa olan kalıplara göre daha az olduğunu göstermiştir. Bu durum L arttıkça şişme oranının azaldığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.
- Deneyler için belirlenen sıcaklık parametresi incelendiğinde, tüm kalıplar için sıcaklık artışının şişme oranını artırdığı görülmektedir.
- Vida hızı parametresine bakıldığında, artan vida hızı sıcaklıkta olduğu gibi şişme oranını artırmıştır.
- Açık parametresi incelendiğinde, açının şişme oranı üzerindeki etkisi kesin olarak ölçülememiştir.
- Elde edilen veriler doğrultusunda; polimerlerin şekillendirilmesi sonucu, göstermiş oldukları yapısal davranışların sebeplerinin bilinmesi ile ilerleyen zamanda yapılacak olan çalışmalara da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Kalıp giriş açısı, boy (L) ve çap (D) değerleri farklı olan yeni kalıplar ile ekstrüzyon sırasında farklı parametre değerleri üzerinden yapılacak çalışmalar ile polimerik malzemelerde meydana gelen şişme oranı probleminin sebeplerinin bilinmesi açısından alana katkı sağlayacaktır.

Şişme oranlarına etki eden problemlerin sebeplerinin farklı yönlerden araştırılması, ilerleyen zamanlarda yapılacak olan çalışmalara katkı sağlaması adına, üzerinde çalışmış olduğumuz deneysel düzeneğe ek, anlık veri aktarımı yapabilen kameralar ile entegre programlamalar sonucunda şişme oranı için elde edilecek sayısal verilerin çok yönlü olarak elde edilmesi mümkün olacaktır

.



KAYNAKLAR

1. Ağbulut, Ü. (2018). *Karbondioksit Hücresi Üretimine Yönelik Polipropilen Malzemenin Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. Akyüz, Ö.F. (2001). *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş* (İkinci Baskı). İstanbul: PAGEV Yayınları, 59-64.
3. Palabıyık, M. (2009). *Polimer Kompozit Malzemeler ile Konstrüksiyon ve İmalat*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi.
4. Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkiran, İ., Yağcı, M.A., Cöbek, M. ve Bilgiç, T. (1999). *Polimerler I*, İstanbul: PAGEV Yayınları, 53-96.
5. Gupta, K., Chokshi, P. ve Stepanyan, R. (2016). Die-swell effect in draw resonance of polymeric spin-line. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 230, 1-11.
6. İnternet, Polipropilen Malzeme Özellikleri, URL: http://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf , Son erişim tarihi: 04.05.2019.
7. Uluer, O. (2009). *Enjeksiyonla Kalıplamada Üç Boyutlu Polimer Ergiyik Akışların Sayısal Analizi ve Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
8. Hieber, C. A., Chiang, H.H. (1992). Shear-rate-dependence modeling of polymer melt viscosity. *Polymer Engineering & Science*, 32, 931-945.
9. Yılmaz, O. (2007). *Polimer malzemelerin ekstrüzyonunun Deneysel ve sayısal olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
10. Demiryürek, O. (2004). *Sentetik Lif Üretiminde Kullanılan Ekstrüderler ve Ekstrüder-Pompa Sisteminin Tasarım Esasları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
11. Wong, A.C. (1997). Factors affecting extrudate swell and melt flow rate. *Journal of Materials Processing Technology*, 79, 163-169.
12. XU, X., Zhao, G., Qin, S. ve Wang, W (2011). Numerical simulation of viscoelastic extrudate swell through elliptical ring die. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(1), 10-17.
13. Deolder, C. F. J. ve Koopmans, R. J. (2007). The effect of molar distribution on extrudate swell of linear polymers. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 152, 195-202.

14. Huang, S., Chen, X., Lu, C., Peng, Z., Wan, C., He, X. ve Sun, M. (2010). Rheological characterizations and extrudate swell predictions of an LDPE melt by two KBKZ-type constitutive equations. *Journal of Hydrodynamics*, 22, 915-919.
15. Liang, J.Z. (2000). Estimation of die swell ratio for polymer melts from exit pressure drop data. *Polymer Testing*, 20, 29-31.
16. Garcia-Rejon, A., DiRaddo, R.W. ve Ryan, M.E. (1995). Effect of the die geometry and flow characteristic on viscoelastic annular swell. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 60(1995), 107-128.
17. Liang, J.Z. (2008). Effects of extrusion conditions on die-swell behavior of polypropylene/diatomite composite melts. *Polymer Testing*, 27, 936-940.
18. Ahmed, R., Liang, R.F. ve Mackley, M.R. (1995). The experimental observation and numerical prediction of planar entry flow and die swell for molten polyethylenes. *J. Non-Newtonian Fluid mech*, 59, 129-153.
19. Behzadfer, E., Ansari, M., Konaganti, V.K. ve Hatzikiriakos, S.G. (2015). Extrudate swell of HDPE melts: I. Experimental. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 225(2015), 86-93.
20. Konaganti, V.K., Ansari, M., Mitsoulis, E. ve Hatzikiriakos, S.G. (2016). The effect of damping function on extrudate swell. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 236, 73-82.
21. Ganvir, V., Gautham, B.P, Pol, H., Bhamla, M.S., Sclesi, L., Thaokar, R., Lele, A. Ve Mackley, M. (2010). Extrudate swell of linear and branched polyethylenes: ALE simulations and comparison with experiments. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 166, 12-24.
22. Mu, Y., Zhao, G., Wu, X., Hang, L. ve Chu, H. (2014). Continuous modeling and simulation of flow-swell-crystallization behaviors of viscoelastic polymer melts in the hollow profile extrusion process. *Applied Mathematical Modelling*, 39, 1352-1368.
23. Huang, X. ve Lio, M. (2002). Prediction of parison swell in plastics extrusion blow molding using a neural network method. *Polymer Testing*, 21, 745-749.
24. Normandin, M., Clermont, R., Guillet, J. ve Raveyre, C. (1998). Three-dimensional extrudate swell experimental and numerical study of a polyethylene melt obeying a memory-integral equation. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 87, 1-25.
25. Dangtungee, R. ve Supaphol, P. (2009). Melt rheology and extrudate swell of sodium chloride-filled low-density polyethylene: Effects of content and size of salt particles. *Polymer Testing*, 29, 188-195.
26. Alok, G. ve Yuan, X. (2010). Numerical simulation of polymer foaming process in extrusion flow. *Chemical Engineering Science*, 65, 3749-3761.
27. Liang, J.Z., Du, Q., Wei, L.Y., Tsui, C.P., Tang, C.Y., Law, W.C. ve Zhang, S.D. (2015). Melt extrudate swell behavior of graphene nano-platelets. *Polymer Testing*, 45, 179-184.

28. Liang, J.Z. ve Ness, J.N. (1997). The melt die-swell behaviour during capillary extrusion of LDPE/PP blends. *Polymer Testing*, 17, 179-189.
29. Mitsoulis, E. (1998). Three-dimensional non-Newtonian computations of extrudate swell with the finite element method. *Computer Methods Apply. Mechanics. Engineering.*, 180, 333-344.
30. Heller, B.P., Smith, D.E. ve Jack, D.A. (2016). Effects of extrudate swell and nozzle geometry on fiber orientation in Fused Filament Fabrication nozzle flow. *Additive Manufacturing*, 12, 252-264.
31. Cloitre, M., Hall, T., Mata, C. ve Joseph, D.D. (1998). Delayed-die swell and sedimentation of elongated particles in wormlike micellar solutions. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 79, 157-171.
32. Liang, J.Z. (1995), A study of the die-swell behaviour of rubber compounds during short-die extrusion. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 59, 268-271.
33. Liang, J.Z. (1993), Effect of the die angle on the extrusion swell of rubber compound. *Journal of Materials Processing Technology*, 52, 207-212.
34. Liang, J.Z. (2003). A relationship between extrudate swell ratio and entry stored elastic strain energy during die flow of tyre compounds. *Polymer Testing*, 23, 441-446.
35. Mayer, H.J., Stiehl, C. ve Roeder, E. (1996). Applying the finite-element method to determine the swell phenomenon during the extrusion of glass rods with non-circular cross-sections. *Journal of Materials Processing Technology*, 70, 145-150.
36. Widjojo, N., Chung, T., Arifin, D.Y., Weber, M. ve Warzelhan, V. (2010). Elimination of die swell and instability in hollow fiber spinning hyperbranched polyethersulfone (HDPEs) via novel spinneret designs and precise spinning conditions. *Chemical Engineering Journal*, 163, 143-153.
37. Liang, J.Z., Yang, J. ve Tang, C. (2010). Die swell behavior of PP/AL(OH)₃/Mg(OH)₂ flame retardant composite melts. *Polymer Testing*, 29, 624-628.
38. Pauli, L., Behr, M ve Elgeti, S. (2012). Towards shape optimization of profile extrusion dies with respect to homogeneous die swell. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 200, 79-87.
39. Musil, J. ve Zatloukal, M. (2012). Effect of die exit geometry on internal die droll phenomenon during linear HDPE melt extrusion. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56, 667-673.
40. Tian, H., Danyang, Z., Wang, M., Jin, G. ve Jin, Y. (2015). Study on extrudate swell of polypropylene in double-lumen micro profile extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 225, 357-368.
41. İnternet, Polipropilen Ürünler, URL: From character to personality. (2017) Web: https://app.petkim.com.tr/web/files/urunler/tr/UR.17-BF-U1762_1.pdf. Son Erişim Tarihi: 02.05.2019



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKKUŞ, Ali
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.05.1984, İzmir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (532) 5148774
e-mail : aliakkus84@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Eğitimi	2006
Lise	Buca Anadolu Meslek Lisesi / Makine	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen
2006-2012	Özel Sektör	Plan- Projelendirme

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Doğa Gezintisi, Yüzme, Kitap

DİZİN

A

Abstract · 25, 66, 68
Alıntılar · 14
Alt Bölümler · 10
APA · 35, 45
Araştırma · 30
Arial · 6

B

Bakınız · 23
Baskı · 36, 42
başlık · 10, 15, 20, 29, 31, 34, 40,
47
bölüm · 6, 31, 47

C

CD · 3
Cilt · 8

Ç

çizelge · 4, 19, 20, 21, 23, 25, 28,
47, 81
Çizelge · 9, 27, 70, 71, 72, 73, 74,
75, 76, 77

D

Dipnot · 18
Dizin · 50
Doğrudan aktarma · 15
Dolaylı aktarma · 16

E

EKLER · 6, 20, 47, 49, 51, 69
Eşitlik · 20, 21
Etik · 9, 25

F

Format · 4, 5

formül · 20, 25

G

Giriş · 2, 4, 5, 9, 29, 31, 80
Görüntü · 4
grafik · 4, 20, 25

H

Harita · 9
Haritalar · 27

İ

İlk kontrol · 3
indis · 6
İspat · 11

K

Kabul ve Onay · 25
Kaynak · 11
Kenar Boşlukları · 7
Key Words · 25, 65, 66
Kılavuz · 1

L

Lemma · 11
literatür · 11, 14, 29

N

Numaralandırılma · 9, 11, 20

O

Onay · 2, 9
Ondalık Sayılar · 19

Ö

Özet · 10, 25, 64, 68
Özgeçmiş · 10, 49, 69, 76

P

patent · 5
pdf · 1, 3, 4
program · 4, 47
punto · 6, 9, 10, 18, 24, 25, 26

R

Referans · 5, 18
resim · 2, 4, 20, 21, 28, 47
Resimle · 27
Resimlemelerin Açıklamaları · 21

S

savunma · 1
sembol · 25, 40
simge · 6, 25, 28
Simgeler ve kısaltmalar · 28, 75
Simgeler ve Kısaltmalar · 9, 19
Sonuç ve öneriler · 31

Ş

şekil · 4, 20, 21, 23, 25, 28, 47
Şekil · 27, 68, 71
Şekille · 9, 27

T

Tanım · 11, 19
Teşekkür · 9, 10, 26, 67, 68, 70,
71, 73, 74
Tetkik · 75
Times New Roman · 6

U

Unvan · 34

Y

yazar · 13, 14, 15, 16, 34, 38, 42



GAZİ GELECEKTİR..