

**TERMOPLASTİKLERİN
EKSTRÜZYONUNDA KALIP YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN AKIŞ HIZI VE
BASINÇ DÜŞÜMÜNE ETKİSİ
Ümit GÜLER**

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş
Dalmış**

2012

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOPLASTİKLERİN EKSTRÜZYONUNDA KALIP YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN AKIŞ HIZI VE BASINÇ DÜŞÜMÜNE ETKİSİ**

ÜMİT GÜLER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. İBRAHİM SAVAŞ DALMIŞ

TEKİRDAĞ-2012

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ danışmanlığında, Ümit GÜLER tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ (Danışman)

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMOPLASTİKLERİN EKSTRÜZYONUNDA KALIP YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN AKIŞ HIZI VE BASINÇ DÜŞÜMÜNE ETKİSİ

Ümit GÜLER

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

Bu çalışmada termoplastik hammaddelerin ekstrüzyonunda kullanılan ekstrüder profil kalıplarının yüzey pürüzlülüğünün basınç, akış hızı ve enerji maliyeti ile ilgisi araştırılmıştır. Ekstrüder makinesine aynı geometride, farklı pürüzlülük değerlerine sahip dikdörtgen kesitli kalıplar bağlanarak deneysel çalışma yapılmış ve bir öngörü oluşturulmak istenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri dışında kalan bütün parametreler sabit tutularak yüzey pürüzlülük değerinin etkisi gözlemlenmiştir.

Ekstrüder profil (boru, levha, hortum, çubuk v.s) kalıplarının, akışkana temas eden yüzeylerinde ne kadarlık bir yüzey pürüzlülüğüne ihtiyacı olduğu, optimum değer ne olması gerektiği irdelenen bu deneysel çalışma ile daha az enerji harcanarak, daha yüksek hızlarda profil üretmek için farklı kalıp yüzey pürüzlülük şartlarının üretime olan etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik ekstrüzyonu, Plastik ekstrüzyon kalıpları, Yüzey pürüzlülüğü parametreleri, Yüzey düzensizliği

2012, 50 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE EFFECT OF THERMOPLASTIC EXTRUSION DIE SURFACE ROUGHNESS ON PRESSURE LOSS AND FLOW VELOCITY

Umit GULER

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machinery Engineering

Assist. Prof. Dr.: Ibrahim Savaş DALMIS

In this study, relation between the surface roughness of the extrusion dies, which are used in the extrusion of thermoplastic materials, and pressure, flow velocity and energy costs. An experimental study has been made with connection of dies which has rectangular cross section in same geometry but with different surface roughness to have a prediction in this aspect. The effect of surface roughness is observed with constant extrusion parameters except the surface roughness.

It is examined that the amount of surface roughness of wetted surfaces of extrusion profile (pipe, plate, bar, etc) dies should have and it is tried to decide the optimum value of it. In this experimental study, it is tried to find the required working conditions to produce profiles with less energy consumption and faster production speed.

Keywords: Thermoplastic extrusion, Plastic extrusion dies, Surface roughness parameters, Surface instabilities.

2012, 50 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
GİRİŞ	
1.1. Termoplastik ekstrüzyon prosesi	1
1.1.1. Ekstrüder makinesi	1
1.1.2. Termoplastik profil üretiminde kullanılan ekstrüder kalıpları.....	2
1.2. Yüzey pürüzlülüğü	3
1.2.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri.....	3
1.2.2. Yüzey kaliteleri	7
1.2.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	7
1.3. Termoplastikler	9
2. KAYNAK ÖZELLİKLER ve ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Denemelerde kullanılan ölçüm aletleri ve cihazlar	16
3.1.1.1. Basınç sensörü ve basınç indikatörü	16
3.1.1.2. Dijital aktif sayaç	17
3.1.1.3. Elektronik hassas terazi	17
3.1.1.4. Titreşim sensörü	17
3.1.2. Ekstrüder makinesi	18
3.1.3. Deney kalıbı seti.....	19
3.1.4. Levha profil kalıbı.....	20
3.1.5. Deney seti	20
3.1.6. Yazılım	23
3.1.7. Kullanılan hammde özellikleri	24
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Analiz şartları.....	26
3.2.2. Analiz sonuçları	27
3.2.3. Deneyin yapılması hakkında ön bilgiler	30
3.2.4. Yüzey pürüzlülük cihazının kalibrasyonu	31
3.2.5. Deney kalıplarının yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü.....	31
3.2.5.1. Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın pürüzlülük ölçüm değerleri.....	31
3.2.5.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın pürüzlülük ölçüm değerleri	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	
4.1. Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları	36
4.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları	37

5. SONUÇ ve ÖNERİLER	40
6. KAYNAKLAR	41
İLGİLİ STANDARTLAR.....	43
TEŞEKKÜR	44
ÖZGEÇMİŞ.....	45

BÜYÜKLÜKLER, BİRİMLER, SİMGELER

<u>Boyut</u>	<u>Birim</u>	<u>Simge</u>
Profil sapmalarının aritmetik ortalaması	µm	Ra
Maksimum pürüzlülük derinliği	µm	Rz
Maksimum profil yüksekliği	µm	Ry
Profil düzensizliklerinin ortalama aralığı	µm	Sm
Mevzii profil tepelerinin ortalama aralığı	µm	S
Profil taşıma bölümü	%	tp
Kuadratik ortalama pürüzlülük	µm	Ra
Profilin taşıyıcı uzunluğu	µm	Np
Profilin en küçük kareler ortalaması çizgisi	µm	M
Yoğunluk	g/ml	d
Eriyik akış oranı	g/10min	MFR
Kayma hızı	s-1	γ
Viskozite	Pa.s	η
Sonsuz kayma hızındaki viskozite	Pa.s	η∞
Sıfır kayma hızındaki viskozite	Pa.s	η0

Kimyasal Maddelerin ve Polimerlerin Adları ile İlgili Kısaltmalar

Polietilen	PE
Polivinil klorür	PVC
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE
Düşük yoğunluklu polietilen	LDPE
Politetra floretoilen	PTFE

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Termoplastik profil ekstrüzyon prosesi şematik gösterimi.....	1
Şekil 1.2. Termoplastik profil ekstrüder makinesi.....	1
Şekil 1.3. Beş katmanlı ekstrüder boru kafası kesiti.....	2
Şekil 1.4. Komple boru ekstrüder kafası ve ekstrüder makinesine bağlantısı.....	3
Şekil 1.5. R_a ve R_q değerlerinin hesaplanması.....	4
Şekil 1.6. Aynı R_a ' ya sahip yüzeylerin topografyaları.....	5
Şekil 1.7. R_q ' nun hesaplanması.....	5
Şekil 1.8. R_z ' nin gösterilmesi.....	5
Şekil 1.9. R_y ' nin gösterimi ve hesaplanması.....	6
Şekil 1.10. R_t ' nin grafik üzerinde gösterimi.....	6
Şekil 1.11. Profilometre.....	8
Şekil 1.12. Profilometrenin çalışma prensibi.....	9
Şekil 3.1. Basınç sensörü ve indikatörü.....	16
Şekil 3.2. Dijital aktif sayaç.....	17
Şekil 3.3. Elektronik hassas terazi.....	17
Şekil 3.4. Titreşim sensörü.....	18
Şekil 3.5. Ekstrüder makinesi.....	18
Şekil 3.6. Deney kalıbının patlatılmış ve kesit alınmış katı model resmi.....	19
Şekil 3.7. Deney kalıbı kesit resmi ve ölçüler.....	19
Şekil 3.8. Levha profil kalıbı montaj ve patlatılmış modeli.....	20
Şekil 3.9. Deney seti montaj ve patlatılmış katı modeli.....	20
Şekil 3.10. Deney seti katı model kesit resmi.....	21
Şekil 3.11. Deney seti montajı.....	21
Şekil 3.12. Deney hattı ve panolar.....	22
Şekil 3.13. Ekstrüzyon prosesi.....	22
Şekil 3.14. Ekstrüzyon kalıbından hammaddenin çıkışı.....	23
Şekil 3.15. Sıcaklık kontrol ünitesi ve basınç sensöründen değerlerin alınması.....	23
Şekil 3.16. Malzemenin proses sıcaklığındaki reolojik akış davranışı.....	26
Şekil 3.17. Analiz edilen kalıp akış geometrisi ve analiz için hazırlanan ağ örgüsü.....	27
Şekil 3.18. Kalıp içi malzeme akış çizgileri (hız dağılımıyla birlikte).....	27
Şekil 3.19. Kalıp içinde üç ayrı bölgedeki hız dağılımları ve yönleri.....	28
Şekil 3.20. Kalıp içi basınç dağılımı.....	28
Şekil 3.21. Kalıp orta ekseni.....	29
Şekil 3.22. Kalıp orta eksenindeki basınç değişimi.....	29
Şekil 3.23. Freze ile işlenmiş kalıbın ölçülen bir noktadaki yüzey pürüzlülük grafiği.....	32
Şekil 3.24. Taşlama ile işlenmiş kalıbın ölçülen bir noktadaki yüzey pürüzlülük grafiği.....	33
Şekil 4.1. Analiz sonucu ve deney sonuçlarına göre basınç değerlerinin mukayesesi.....	38
Şekil 4.2. Kalıp içi malzeme akış çizgileri.....	38
Şekil 4.3. Denemeler sonucu elde edilen farklı parametrelerin değerlerinin karşılaştırılması.....	39

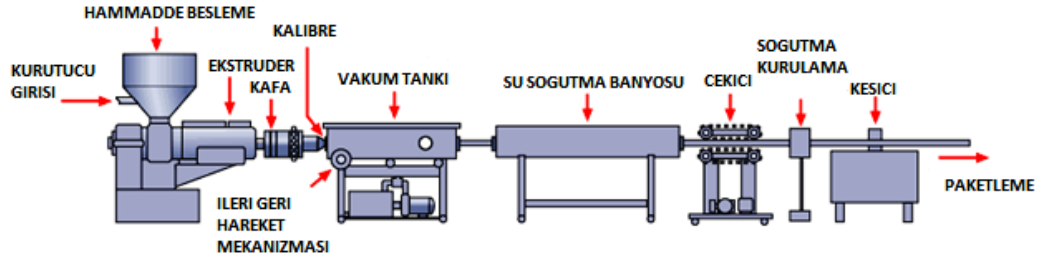
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Ra ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı	7
Çizelge 3.1. Hammadde özellikleri.....	24
Çizelge 3.2. Sisteme uygulanan sıcaklık değerleri	31
Çizelge 3.3. Frezeleme ile elde edilen bir noktanın pürüzlülük değerleri	32
Çizelge 3.4. Freze ile işlenmiş kalıbın yüzeypürüzlülük ölçüm değerleri	33
Çizelge 3.5. Frezelenmiş kalıpta sisteme uygulanan sabit sıcaklıklar	33
Çizelge 3.6. Taşlanmış kalıbın bir noktasına ait ölçülen yüzey pürüzlülüğü parametreleri	34
Çizelge 3.7. Taşlama ile işlenmiş kalıbın yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.....	34
Çizelge 3.8. Taşlanmış kalıpta sisteme uygulanan sabit sıcaklıklar	35
Çizelge 4.1. Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları.....	36
Çizelge 4.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları.....	37

1. GİRİŞ

1.1. Termoplastik ekstrüzyon prosesi

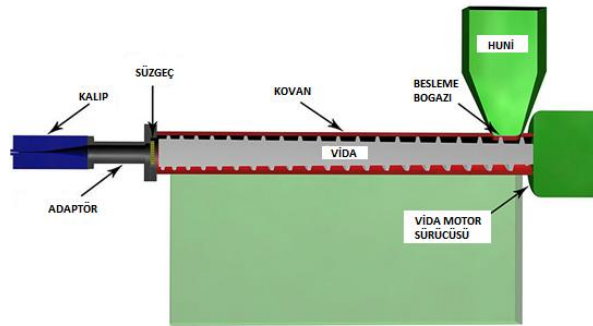
Ekstrüzyon basit olarak, kapalı bir bölmede bulunan malzemeye ısı ve basınç uygulanarak bir kalıp açıklığından akışa zorlanması ile ürün elde etme yöntemidir. Şekil 1.1.'de termoplastik ekstrüzyon prosesini açıklayan şematik gösterim yer almaktadır.



Şekil 1.1. Profil ekstrüzyon prosesi şematik gösterimi (Hatzikiriakos 2012)

1.1.1. Ekstrüder makinesi

Ekstrüder makinesi metal, termoplastik, elastomer gibi malzemelerden boru, hortum, profil, film, levha, kaplı elektrik telleri v.s. üretmek için kullanılan makinelerdir. Ekstrüder makinesi; huni, motor, vida, kovan, kurutucu, rezistanslar ve fanlardan oluşmaktadır (Şekil 1.2.). Termoplastiklerin ekstrüzyonunda kullanılan ekstrüzyon makinesinin çalışma prensibi; huni içerisine vakum makinesi yardımıyla doldurulan hammadde, kurutucu ile istenilen sıcaklık ve nem oranında ayarlanır, nemli olan hammaddenin kurutulması için kurutucu istenilen sıcaklığa ayarlanır. Huni içerisinden ekstrüder vidası tarafından alınan hammadde makine kovanına doğru ilerler. Kovan dışarıdan rezistanslarla ısıtılarak hammaddenin eritilmesini sağlar. Eriyen hammadde vida yardımıyla ötelenerek makinenin çıkışında bulunan ekstrüzyon kalıbına basınçlandırılarak gönderilir ve istenilen kesitte ürün elde edilir.

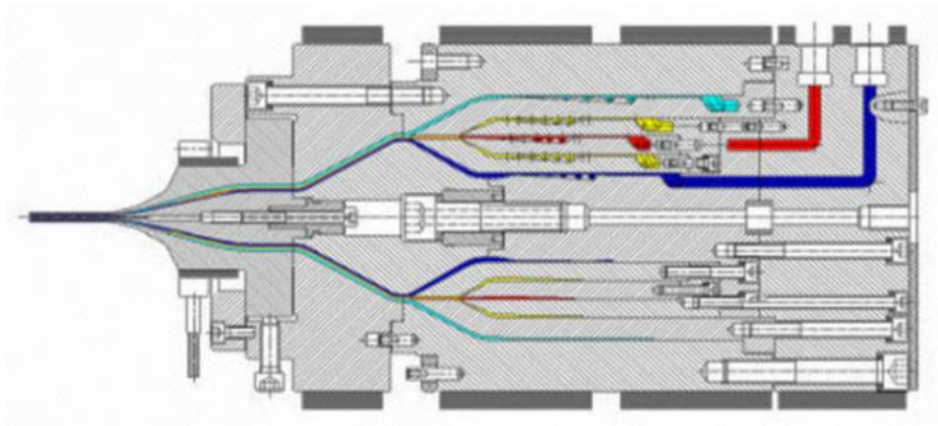


Şekil 1.2. Termoplastik profil ekstrüder makinesi (Anonim 3 2007)

1.1.2. Termoplastik profil üretiminde kullanılan ekstrüder kalıpları

Ekstrüder profil kalıpları ekstrüder makinesinin parçası değildir. Termoplastik ekstrüzyon kalıpları, ekstrüzyon makinelerinden istenilen özellikte ürün elde edebilmek için kullanılan, ürün özelliklerini sağlamaya uygun kalıp boşluklarına sahip, genellikle profil, levha ve boru üretiminde kullanılan kalıplardır.

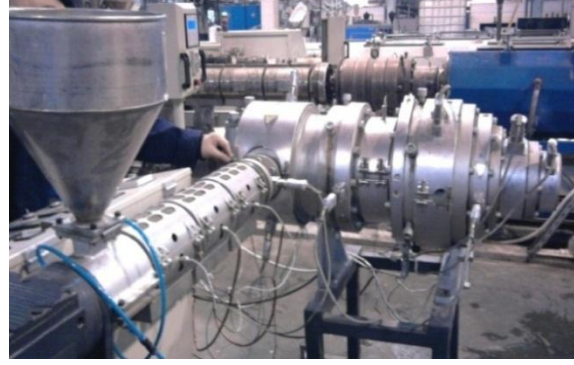
Ekstrüzyon kalıpları ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılır, kalıp içerisinden geçen eriyik plastiğin sıcaklığı sabit tutulur. Şekil 1.3.'de beş katmanlı bir ekstrüder kafası ve bu kafaya ait akış yolları gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Beş katmanlı ekstrüder boru kafası kesiti (Fischer 2003)

Ekstrüder profil kalıplarında ürünün kalıptan homojen olarak çıkması için dağıtıcı adı verilen parçalar kullanılır. İstenilen geometride ürün elde edilebilmesi için dağıtıcı kanalların içerisinden geçen eriyik hammaddenin kalıp çıkışında her noktadaki hızı aynı olmalıdır. Aksi takdirde istenilen geometride ürün elde edilemez. Bu durum dağıtıcılar üzerindeki kanalların geometrisinin önemini arttırmaktadır.

Şekil 1.4.'de rezistansları, termokuplları, arabası v.s ile ekstrüder makinesine bağlanmaya hazır bir termoplastik boru ekstrüzyon kafası ve ekstrüder kafasının ekstrüder makinesine montajı görülmektedir.



Şekil 1.4. Komple boru ekstruder kafası ve ekstüder makinesine bağlantısı (Anonim 3 2007)

1.2. Yüzey pürüzlülüğü

Bir yüzeyin kalitesini belirleyen izlerin girinti ve çıkıntılarının değeri pürüzlülük olarak ifade edilir. Yüzey pürüzlülüğü yüksekliği R_t veya ortalama pürüzlülük değeri R_a harfleri ile gösterilir. Yüzey pürüzlülüğü ürünlerin aşınma, sürtünme, geçme, kaydırma, sızdırmazlık, yorulma, elektriksel ve termal kontak gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. İş parçalarının yüzeylerinin pürüzlülüğü sürtünmeyi, aşınma mukavemetini, yorulma dayanımını ve montaj parçalarının görüntülerini belirlemektedir. Yüzey kalitesini değerlendirmek ve matematiksel parametrelere çevirmek için pürüzlülük ölçümleri yapılmaktadır.

1.2.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri, (Oğuz 1993)

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullanılması gereken yüzey pürüzlülüğü parametreleri aşağıdadır.

Ra: Profil sapmalarının aritmetik ortalaması

Rz: On nokta yüksekliği (profil düzensizliklerinin)

Ry: Maksimum profil yüksekliği

Sm: Profil düzensizliklerinin ortalama aralığı

S: Mevzii profil tepelerinin ortalama aralığı

tp: Profil taşıma bölümü

• Aritmetik ortalama pürüzlülük (R_a)

Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y koordinatlarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Yüzey pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir. TS 2495' e göre numune uzunluğu sınır dalga boyuna (*cut-off*) eşittir.

Örneğin 6 μ, 8 μ ve 10 μ olarak elde edilen üç ölçüm sonucuna göre Ra, ortalama pürüzlülük değeri aşağıdaki gibi hesaplanır ;

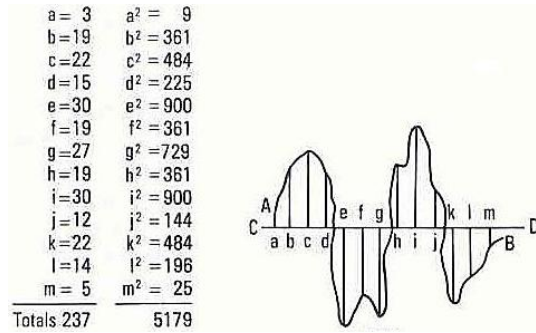
$$\frac{(6 + 8 + 10)\mu}{3} = 8\mu\text{m}$$

RMS (etkin) değer, her okumanın karelerinin birbiriyle toplanıp okunma sayısına bölünmesi ve elde edilen sayının karekökünün alınmasıyla bulunur. Değerleri bu metotta uygularsak Rq etkin değer ;

$$\sqrt{[(6\mu)^2 + (8\mu)^2 + (10\mu)^2]/3} = \sqrt{(36\mu^2 + 64\mu^2 + 100\mu^2)/3} = \sqrt{(66,6\mu^2)} = 8,16\mu\text{m}$$

olarak bulunur.

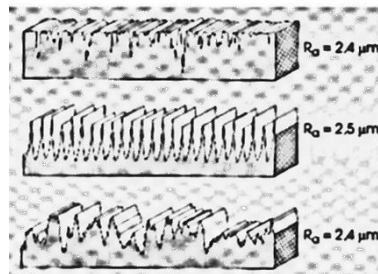
Bulunan iki sonuç arasında 0.16 μm kadar bir fark vardır. Ortalama değer etkin değerden %2 ile %10 daha küçüktür. Çoğu uygulamada bunlar birbirinin yerine kullanılabilir. Yani karekök almakla uğraşmaya gerek kalmaz. Şekil 1.5.'de Ra ve Rq değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Rq pürüzlülük ölçmede büyük sapmaları hesaba kattığı için gerçeğe daha yakın olmakla beraber Ra daha pratiktir.



$$R_a = \frac{237}{13} = 18,2 \mu\text{m} \quad R_q = \sqrt{\frac{5179}{13}} = 19,9 \mu\text{m}$$

Şekil 1.5. Ra ve Rq değerlerinin hesaplanması (Demircioğlu 2011)

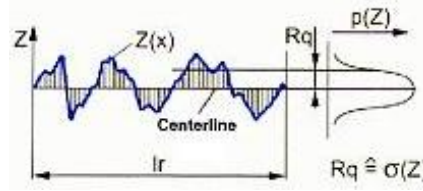
Ra değeri eşit bile olsa yüzey topoğrafyası farklı olabilir. Ra ile birlikte Rmax ve Rt de önemlidir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Aynı Ra'ya sahip yüzeylerin topoğrafyaları (Demircioğlu 2011)

- **Kuadratik ortalama pürüzlülük, Rq**

Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y koordinatlarının kuadratik ortalama değeridir. Rq verilen alana dağıtılmış profil çıkıntılarındaki (ve boşluklardaki) standart sapmayı ifade ettiği için, yüzey profili hakkında istatistik olarak önemli bilgi sağlar (Anonim 1 2004). (Şekil 1.7.)

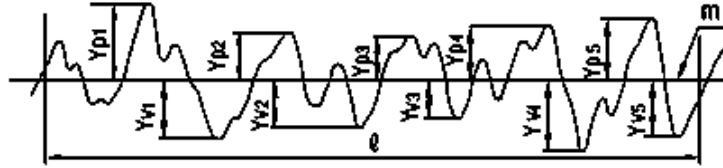


$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int Z^2(x) dx}$$

Şekil 1.7. Rq' nun hesaplanması

- **Maksimum pürüzlülük derinliği, Rz**

Profil düzensizliklerinin on nokta yüksekliğidir. Numune uzunluğu içerisinde en derin beş profil çukurluğu ile en yüksek beş profil tepe yüksekliğinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır. (Şekil 1.8.)



$$Rz = \frac{|Y_{p1} + Y_{p2} + Y_{p3} + Y_{p4} + Y_{p5}| + |Y_{v1} + Y_{v2} + Y_{v3} + Y_{v4} + Y_{v5}|}{5}$$

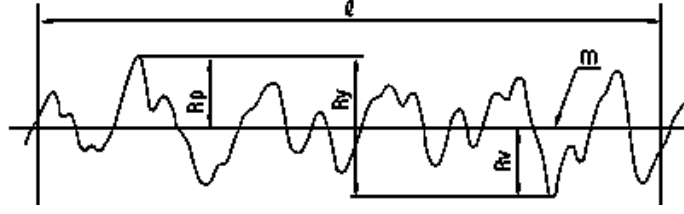
Şekil 1.8. Rz'nin gösterilmesi (Anonim 2 1994)

Yp1, Yp2, Yp3, Yp4, Yp5: En yüksek beş profil tepe yüksekliği

Yv1, Yv2, Yv3, Yv4, Yv5: En derin beş profil çukur yüksekliği

- **Maksimum profil yüksekliği, Ry, (Rmax):**

Numune uzunluğu içerisindeki profilin en yüksek noktası (üst değme çizgisi) ile en çukur noktası (alt değme çizgisi) arasında kalan mesafedir (Şekil 1.9.). Bu parametre yüksek tepeleri yada derin çukurları ifade etmesi açısından önemlidir.

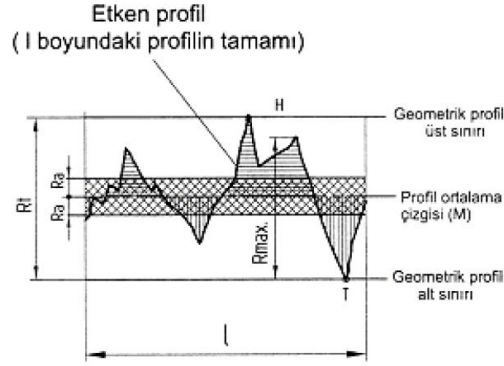


$$Ry = Rp + Rv$$

Şekil 1.9. Ry'nin gösterimi ve hesaplanması (Anonim 1 2004)

- **Rt:**

Pürüzlülük profilinde tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinlik arasındaki mesafedir (Şekil 1.10.).



Şekil 1.10. Rt'nin grafik üzerinde gösterimi (Anonim 2 1994)

- **Profil düzensizliklerinin ortalama aralığı, Sm:**

Numune uzunluğu içerisindeki düzensiz profil aralıklarının aritmetik ortalama değeri olup ;

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \dots \dots \dots (1)$$

formülü (1) ile hesaplanır. Burada S_{mi}, profil düzensizliklerinin aralığı, n'de numune uzunluğu içerisindeki profil düzensizliklerinin sayısıdır.

- **Mevzii profil tepelerinin ortalama aralığı, S:**

Numune uzunluğu üzerindeki mevzii profil tepeleri aralığının ortalama değeri olup aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \dots \dots \dots (2)$$

Burada S_i, mevzii profil tepelerinin aralığı; n de, numune uzunluğu üzerindeki mevzii profil tepelerinin sayısıdır.

- **Profil taşıma bölümü, t_p :**

Profilin taşıyıcı n_p uzunluğunun, numune uzunluğuna oranı olup aşağıdaki formülle (3) hesaplanır.

$$t_p = \eta_p \tau \dots \dots \dots (3)$$

Profil taşıma bölümü (alanı), genellikle % olarak verilir.

- **Profilin taşıyıcı uzunluğu, n_p :**

Verilen herhangi bir seviyede numune uzunluğu boyunca en küçük kareler m ortalama çizgisine (M_1, M_2) paralel çizilen bir çizgiyle profil tepelerini keserek elde edilen kesit uzunluklarının toplamıdır (4). Profilin taşıyıcı uzunluğunun belirlenmesinde kullanılan numune uzunluğu, diğer yüzey pürüzlülüğü parametrelerinde (yukarıda irdelenen ek parametreler) kullanılanlardan daha büyük olabilir.

$$n_p = b_1 + b_2 + \dots + b_n \dots \dots \dots (4)$$

- **Profilin en küçük kareler ortalaması çizgisi (ortalama çizgi), m :**

Geometrik profil biçiminde ve profilin yayılma yönüne paralel olan bir referans çizgisi olup numune uzunluğu içinde merkezi çizgi ile profilin oluşturduğu alanların toplamı her iki tarafta birbirine eşit olmalıdır.

1.2.2. Yüzey kaliteleri

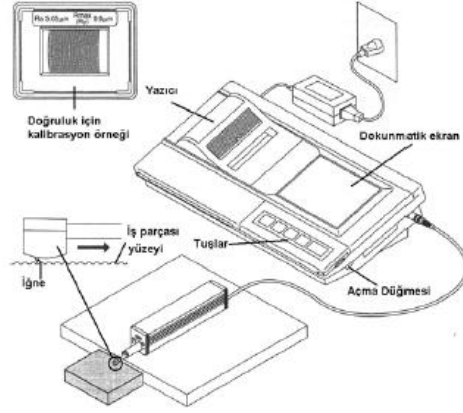
Yüzey kalitelerinin değişik gösterimleri Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Ra ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı (Şen ve Özçilingir 2004)

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra (μm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
Simge	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		

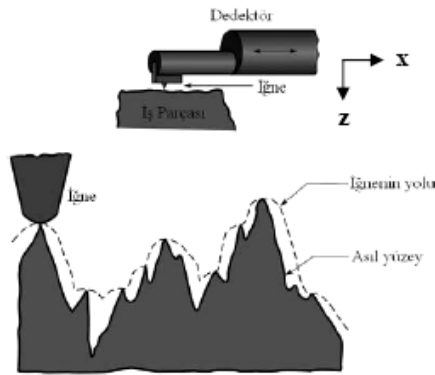
1.2.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü profilometre ile ölçülmektedir. Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri dijital ve grafik olarak dokunmatik ekranda görülür ve yazıcısından çıktıları alınabilir. Profilometre ile pürüzlülük ölçüm prosesi Şekil 1.11.' de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Profilometre (Demircioğlu 2011)

Düz ve silindirik gibi farklı yüzey şekline sahip parçaların yüzey pürüzlülük değerlerini ölçerken, elmas uçlu iğnenin bulunduğu dedektör kısmı, sürücü ünitesine vidalar ile monte edilebilen burun parçaları ile ölçülen yüzeye teğet konuma getirilir. Destek ayakları kullanılarak sürücü ünitesinin ölçülen yüzeye paralel olması sağlanır. Cihazın kalibrasyonun yapılabilmesi için yüzey pürüzlülüğü (R_a , R_y değerleri) belirli olan hassas kalibrasyon numunesi bulunmaktadır. Dedektörün ucundaki iğne maksimum z ekseninde $350 \mu\text{m}$ ($+150 \mu\text{m} / -200 \mu\text{m}$; $0.01 \mu\text{m}$ çözünürlükte), x ekseninde 12.5 mm hareket edebilmektedir. ($1 \mu\text{m}=0.001 \text{ mm}$). Dedektör gidişi 0.25 veya 0.5 mm/s , dönüşü 1 mm/s 'dir. Dedektör, sürücü ünitesine bağlıdır, bir motor vasıtasıyla yatay olarak iş parçası üzerinde ileri geri hareketini yapar. Dedektörün parça üzerindeki yatay hareketi esnasında yüzey üzerindeki pürüzlüklere değen dedektöre bağlı elmas uçlu iğnenin dikey hareketinin oluşturduğu mekanik sapmaların sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyallerine çevrilip yükseltilmesi ve verilere göre filtrelenmesine, yüzey pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasına, ekranda gösterilmesine ve çıktısının alınmasına dayanır (Demircioğlu 2011). (Şekil 1.12.)



Şekil 1.12. Profilometrenin çalışma prensibi (Demircioğlu 2011)

Cihaz ekranından istenilen standart seçilir. Yüzey pürüzlülük değeri ölçülecek parça düz bir yere konularak, yüzeyin üzerine iğne ucun değmesi sağlanır. Ölçülecek parça yüzeyi ile elmas uçlu sürücü ünitesi arasında tam paralellik sağlandığı anda cihaz üzerinde bulunan çalıştırma tuşuna basılarak ölçme başlar, ölçüm sonlandığında dedektör başlangıç pozisyonuna geri döner. Ra, Rz değerlerinin çıktısı alınarak deney tamamlanır.

1.3. Termoplastikler

Genel olarak plastik olarak adlandırılan termoplastikler, ısıtıldığı zaman eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir. Termoplastikler ısı ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, deforme olabilen, bu durumda şekil alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı geri dönüşüm yolu ile tekrar kullanılabilirler. Bu şekillendirme sırasında herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Isıtma ve biçimlendirme sırasında kimyasal yapı değişmez. Toplam plastik üretiminin %70 ini oluşturur, ticari bakımdan en önemli gruptur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ ve ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Allal ve ark. (2011) yaptıkları bu çalışmada, polimerlerin ekstrüzyonunda kalıp yapışma kayma etkisi ile moleküler kayma arasındaki ilişki araştırmışlardır. Kırılma yüzeyindeki polimerin ıslanabilirlik fonksiyonunu baz aldıklarında, yada polimer ile kırılma yüzeyinin arasındaki görünür temas açısının işlevine baktıklarında, Brochard–de Gennes’in kayma modelini ve düzenekteki moleküler zinciri göz önüne alarak, yapışma kaymasının başlangıcındaki kritik kayma gerilimi için bir tabir öneriyorlar. Bu faktörü, kırılma yüzeyindeki polimerin ıslanabilirlik fonksiyonu, yada daha bariz bir şekilde, polimer ile kırılma yüzeyinin arasındaki görünür temas açısının işlevi olarak açıklamışlardır.

Burghilea ve ark. (2010) yüzey düzensizliği (*shark-skin*) mekanizması üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında ekstrüzyon prosesi iki materyalle incelenmiştir. Başlangıç değerinden büyük akış hızının yüzey dengesizliği dayanıksızlığını gösteren Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen ve geniş bir yelpazeyi aşkın akış hızında düzensizlik göstermeyen Düşük Yoğunluklu Polietilen. Lazer Doppler hız ölçerini, tek eksenli uzantı ve kaymadaki reolojik ölçümle birleştirerek, ekstrüzyon akışındaki gerilimin ve kaymanın basınç dağılımı her iki materyalle de ölçülmüştür. Deney için ölçülen akış alanları dayanıksız ve dayanıklı kırılma çıkışının çevresindeki akış, sınıra yakın yerde hızlanır ve akış ekseninin çevresinde yavaşlar örneklerinde nitelik olarak benzerlik göstermiştir. Ayrıca, iki materyalin uzanımsal reolojik özelliklerinde de önemli farklılıklar bulunmuştur. Böylece, yüzey dengesizliği oluşmasında akışın kayma unsurunun önemli bir rol oynamadığını görmüşlerdir.

Sikora (2008) yaptığı bu çalışmada; ekstrüzyon kafası, kalıptan çekilen malzemenin şeklinin, özelliklerinin, yapılarının ve boyutlarının yanısıra ekstrüzyon sürecindeki elementlerin karşılıklı konumlarını da belirleyen üretim aparatı olduğunu ifade etmiştir. Ekstrüzyonun kalıbı, açık çukur biçimlendiriciye sahip olan bir araçtır. Ekstrüzyonun kalıbı, polimerin akım kanalına doğru olan akışı süresince, uygun fiziksel ve kimyasal gidişin oluşumunu temin etmek zorundadır. Örümcek bacakları şeklindeki akışkan geçen kanalların PTFE gibi yapışmaz materyallerle kaplansa da, prosesden ötürü bu tür tabakalar kısa bir sürede tahrip olacağını ifade etmiştir.

Ferrás (2007) çalışması ile kalıp yüzey kayma ilişkisini incelemiştir. Eskiden ekstrüzyon kalıplarının tasarımı, büyük ölçüde tasarımcının bilgisi ile deneyimine bağlı olan ve çoğu zaman çok sayıda yineleme gerektiren deneme ve yanılma yöntemleri üzerine kurulu idi. Son on yılda

ise, daha kesin ayrıştırma ve eklenti düzenleriyle birlikte daha karmaşık reolojik modellerin daha gerçekçi bir şekilde uygulanmasına olanak sağlayan bilgisayar teknolojisi ile hesaba dayalı akışkan dinamiklerin gitgide gelişmesi hesaba dayalı sistematik yolla gözlemsel olan deneme-yanılma yönteminin yerini aldı. Bu araştırma grubu yakın zamanda, karmaşık ekstrüzyon kalıplarıyla karşı karşıya kalındığında otomatik olarak dengenin kurulmasını hedefledi. Sonlu hacime dayanan üç boyutlu kodla akış ve ısının geçiş dengesini sayısal çözümlerle kapsayarak, bu yöntemi başarılı bir şekilde uyguladılar ve onayladılar. Bu sayısal yöntemde, kalıp kanal duvarlarındaki kayma olmayan sınırların durumu, ilk başta göz önüne alındı. Aslında çalışmaların çoğu ekstrüder basınçtaki akışı, ekstrüzyon kalıplarını ve genel olarak akan erimelerin kalıba bağlı kalacağı tahmininden kaynaklanan akışölçerleri hedef alıyordu. Ancak Polivinil Klörür, Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve elastomerler gibi yoğunlukla lanine kesitinde kullanılan bellibaşlı eriyen plastikler de mevcuttur. Bunlar bazı durumlarda, kalıpta kayma gösterir. Polimer eriyikleri tarafından meydana gelen kalıp yüzey kaymaları, birkaç yazar tarafından incelendi. Bu çalışma, akış ve basınç alanının üstündeki duvar kayması sınırının durumlarıyla ilgili olan belli sayısal sorunları tartışarak, uygulamayı tanımlar. Dahası, duvar kaymasını göz önüne alarak ya da almayarak elde edilmiş olan belirli ekstrüzyon kalıbının benzer sonuçlarını karşılaştırır.

Croce ve ark. (2006) yüzey pürüzlülüğünün, küçük kanalların verimliliğinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Çünkü böyle bir küçük çapta, doğru pürüzsüz yüzeyi bulmak neredeyse imkansızdır. Sayısal yaklaşım, yüzey kusurlarının detaylı bir tanımına izin verir. Böylece, pürüzlülüğü, diğer küçük çaplı etkilerden kolayca ayırabilir. Bu makalede pürüzlülük bir takım üç boyutlu konik tepeler olarak modellenmiştir. Farklı tepe yükseklikleri ve değişik tepe düzenlemeleri, çeşitli Reynolds sayılarına göre düşünülmüştür. Hem çapraz, hem de akım yönünde olan dönemsel koşullar, bir veya iki tepeli içine alarak küçük hacimde manyetik alanın azaltılmasına izin verir. Paralel levhalara sahip olan pürüzlü kanalların verimliliği, standart oranla karşılaştırılır. Sonuçlar, basınç düşmesinde pürüzlülüğün gözle görülür bir etki yarattığını gösterirken, Nusselt sayılarında bu etki biraz daha azalıyor. Verimlilikler, pürüzlülük unsurunun geometrik detaylarına bağlandığını ifade etmişlerdir.

Smith (2005) kalıp yüzeyinin işlenmesi ve kaplanması ile ilgili bu çalışmada, kalıp yüzeyinin kaplanmasının faydaları, kalıbın ömrünü uzatmak için giderek önemli bir rol oynadığını ifade etmiştir. Kalıp yüzeyi veya diğer tadilat yapılan yüzeyleri kaplamanın yararı, şiddetli ek

basınçların ihtiyacını gidermek için çoğunlukla etkili bir yol. Yağlayıcıların riskli atık olarak çoğunlukla kontrol gerektiren tehlikeli materyaller içerdiğini ifade etmiştir.

Akinlade (2005) türbülanslı sınır tabakasının akış karakteristiğinde yüzey pürüzlülüğünün etkisi konulu yaptığı çalışmada; aerodinamik bir şekilde pürüzsüz olan kalıp yüzey duvarlarının üstündeki türbülanslı sınır tabakasının dinamiğinin günümüzdeki anlamı, yaklaşık olarak son on yıldan fazla bir süredir açıklığa kavuşmuş durumda olduğunu belirtmiştir. Ancak, pürüzlü yüzeylerin üstündeki türbülanslı sınır tabakasının dinamikleri çok fazla bilinmediğini ifade etmiştir. Buna rağmen, ortalama hız ve pürüzlü elementlerin yakın çevresindeki türbülans hakkında bilgi sahibi olmayı gerektiren çeşitli endüstriyel ve çevresel akış uygulamaları var. Bu çalışma, türbülanslı sınır tabakasına göre, akış özelliklerine bakarak bir yüzeyin pürüzlü olmasının etkilerini belirtiyor. Bu çalışmada hem deneysel, hem de sayısal araştırmalar kullanılmıştır. Deneysel çalışma için kapsamlı veri setleri, pürüzsüz bir yüzeyin üstüne, iki boyutlu sıfır basınç eğimli türbülanslı sınır tabakası ile temin edilmiştir. Ayrıca, kum kağıdından, delikli levhadan ve dokumalı tel örgüden on değişik engebeli yüzey oluşturulmuştur. Farklı ölçme parametreleri, yaklaşık olarak aynı olan serbest akış hızı için hem pürüzsüz hem de pürüzlü kalıp yüzeyi duvarı verisini değişik Reynolds sayılarıyla yorumlamak ve değerlendirmek için kullanılmıştır. Logaritmik yasa ile güç yasasını uygunluğu George ve Castillo (1997) tarafından taşma bölgesindeki ortalama hızı tarif etmek için önerilmiştir. Bu sonuçlar, Townsend'in kalıp yüzeyi benzerliği kuramının içeriğiyle birlikte yorumlanmıştır. Bu sonuçlar, ayrıca türbülans alanlarındaki pürüzlü yüzeyin etkilerinin bir yere kadar pürüzlülük unsurlarının belli niteliklerine bağlı olduğuna işaret etmekle birlikte, bunun Reynolds gerilme tensörü aksamalarıyla da alakalı olabileceğini ifade etmiştir.

Ferrás ve ark. (2004) bu çalışma, yapım aşamasında olan üç boyutlu sonlu hacim sayısal kodunun içindeki akış kanalı duvarlarında olan kayma sınırı durumunun uygulanmasıdır. Hızla ilgili olan bazı görüngüsel modeller ile duvardaki kesme gerilimi uygulamaya konmuştur. Yeni sayısal kodun ihtimalleri, çeşitli hız kaymalarının beklendiği karmaşık akış kanalının içinde eriyen bir polimerin akış benzeşmesinde rol olarak örneklendirilir. Alınan sonuçlar, kuramsal beklentilerle niteliksel olarak uyumludur.

Denn (2001) ekstrüzyon düzensizliği ve duvar kayması üzerine yapılmış bu çalışma ile polimer eriyikleri, basıncın yeterince yüksek seviyelerdeki ekstrüzyon dayanıksızlığını göz önüne

sermiştir ve onlar, duvar kaymasını da göstermişlerdir. Kayma işaretlerini, kaymanın olası mekanizmalarını ve kayma ile ekstrüzyon dayanıksızlığı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Black (2000) polimer akışı ve duvar yüzey kayma üzerine yapılmış bir çalışmadır. Polimer yüzey etkileşimi, bir çok önemli endüstriyel ve reolojik akışı fazlasıyla etkiler. Özellikle polimer eriyiği ve solüsyonlar yüzeye doğru kayar, bu durum uzun bir süredir yüzey düzensizliği ile ekstrüzyondaki akış ilişkilendirilir ve son zamanlardaki deneysel gözlemler, kaymanın ayrıca, çapraşık polimer solüsyonlardaki artan derişim dalgalanmalarının oluşumunda rol oynadığını ifade etmiştir. Model uzamalarındaki erime akışı analizleri, basit kayma örneklerine sahiptir. Bu örnekler de seri uyumlandırmasını ve genişlemeyi içerir. Doğrusal olan ve olmayan viskoelastik modelleri, polimer gerilme için kullanılır. Böylece, kaymanın kısa dalgalı hidrodinamik dayanıksızlığa yol açabileceği gösterilir. Toparlayacak olursak; bu analizler, basınç, derişim ve kayma gibi çeşitli akış özelliklerinin arasındaki eşleşmenin ve sınır yüzeylerin üstündeki iri ölçekli akış davranışının önemini vurgulamıştır.

Rahul (1999) yüzey kalitesinde kalıp kaplamanın etkisi üzerine çalışmasında aşağıdaki sonuçları elde etmiştir. Kalıptan çekilmiş malzemenin yüzey kalitesi, büyük bir ölçüde kalıba ve kalıp çıkışına doğru akan polimer eriyine bağlıdır. Yüksek üretim hızda üretim, kalıptan çekilen malzemenin yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olup, genellikle yüzey düzensizliği veya erime kırılması olarak bilinen yüzey dayanıksızlığı ile sonuçlanabilir. Çeşitli kalıp kaplamalarının kalıptan çekilen malzemenin yüzey kalitesi üzerindeki etkisini ölçmek için bir çalışma yürütmüştür. Malzemenin yüzey özelliklerine, çeşitli ekstrüzyon oranlarında bakmıştır. Deneysel süresince araştırılan yüzey kaplamaları krom, titanium nitrür, nikel-seramik bileşimi, polyond ve volfram karbür karbondur. Çalışılan materyaller, yoğunluğu az polietilen, doğrusal yoğunluğu az polietilen, metalosen, katalize edilmiş polietilen ve polivinil klörürdür. Materyallerin reolojik özellikleri, kapiler akış ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; malzemenin yüzey özelliklerinde, araştırılan kalıp kaplamalarının hiçbir önemli etkisi olmadığını söylemiştir.

Ngamaramvaranggul ve ark. (1999) çalışmaları, tel kaplama akışlarının sayısal tahminleriyle ilgilidir. Hem dairesel boru işleme, hem de basınç işleme tarzlı ekstrüzyon sürüklenme akışı, akışmaz sıvılarla araştırılır. Kalıp duvarlarındaki kayma etkileri analiz edilir ve serbest yüzeyler hesaplanır. Kaymama durumunu oluşturup karşılaştırarak ve kalıp duvarındaki şartlar için çeşitli kayma modelleri hazırlayarak, kalıp çıkışı civarındaki akış şartlarını göz önüne alınır. Kalıp çıkışında ki duvarların üzerindeki kayma koşullarının, basınç tekilliklerini nasıl azalttığını

gösteren sayısal solüsyonlar; zamanı akıtarak Taylor Galerkin basınç-doğrulama sonlu elemanlar vardiyası ile hesaplanır. Basınç işleme için uygun kaymanın hareketi ile belki de kalıp çıkışlarındaki kesme geriliminde azalma sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Aarts (1996) bu çalışma ile esas olarak seçilen belli akış olaylarıyla tarif edilen derişim solüsyonları ile polimerik eriyiklerin hareket özellikleri arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek için yapılmıştır. Kalıp şişmesi şimdiye kadar birçok makalede analiz edilmiştir. Çalışmasında, pistonla gerçekleşen akışın yanısıra, basınçla meydana gelen akışın gözlemlendiği patlamalara odaklanmıştır. Esas itibariyle bu tezin asıl amacı, malzemenin pürüzsüz ve cilalı olduğu durumlar ile hiçbir akış düzensizliğinin olmayıp, optimal ekstrüzyon oranının başarıya ulaşması halindeki gibi girdi parametrelerini belirlemek için kuramsal temel oluşturmaktır.

Chen ve ark. (1996) yaptıkları bu çalışma ile polimer eriyiklerin akışı sırasında duvar kaymalarının var olmasının, eriyiklerin yol alabilmesinde önemli sonuçları olduğunu ifade etmişlerdir. Bu araştırmada, yüzey pürüzlülüğü ile yapım materyallerinin doğrusal düşük yoğunluklu polietilenin duvar kayması özelliklerinin üzerindeki etkisi, kapiler akımdan yararlanılarak incelenmiştir. Bakırdan, paslanmaz çelikten, alüminyumdan ve camdan inşa edilen kapilerler kullanılmıştır. Kapilerlerin iç yüzey pürüzlülüğü, yüzey ölçer kullanılarak ve elektron mikroskopuyla tarama yapılarak karakterize edilmiş, bakır kapilerlerin pürüzlü profilleri ayrıca kimyasal aşındırma ile de değiştirilmiştir. Mooney'in analizleri kullanılarak, duvar kaymasının hız değerlerinin 0.09 ile 1.34 mm/s arasında yer aldığı belirlenmiştir. Duvar kaymasının hız değerleri paslanmaz çelikte en üst seviyedeysen, alüminyumla ise önemsenmeye değmez değerdedir. Polietilen birleşim değerlerinin ilgili çalışmaları, paslanmaz çelik ve bakırla en azken, camla en üst seviyede olduğu açıklanmıştır. Konuyu toparlamak gerekirse, duvar kaymasının hız değerleri, kapilerlerin yüzey pürüzlülüğü azalırken ve birleşim çalışmaları düşerken yükselmiş olmuştur.

Meijerve ark. (1995) bu çalışmaları ile sınırlardaki kaymaların, yoğunluğu fazla olan akışlarda muhtemel olacağını belirtmiştir. Örneğin, bu durum gıda maddelerinin ekstrüzyonlarında, su bazlı materyallerde ve bazı polimerlerde meydana gelir. Kaymanın görüngüsel olarak iki tanımı vardır: Birincisi, çok ince ve düşük yoğunluklu sınır levhasının varlığına dayanır; kapiler akım ve ekstrüzyon için çıkarılmıştır. İkincisi ise Coulomb sürtünme mekanizmasına dayanır ve sadece kapiler akım için çıkarılmıştır. Bu sonuçlarla ilgili bir araştırmadan sonra, sürtünme modeli, ekstrüzyon süreci için elde edilir. Tüm hesaplamalar, mümkün olduğunca basittir; iki boyutlu,

Newton uyumlu, eş ısıt ve sabit sınır tabakalı parametrelı veya sürtünme faktörlü. Pompalama zelliklerine son derece bağlı kaldığı, kayma sınırı özellikleri üzerinde ve sürtünme durumunda ekstrüzyon boyutunda etkili olduğu görülmüştür. Özellikle de kaymaya sadece helezon yüzünde olanak verilmişken. Bunun gibi alıştırmalar, kaygan materyallerin anormal ekstrüzyon özelliklerini uygulamalı olarak anlamakta yardımcı olabileceğini ifade etmiştir.

Yapılan yurt içi ve yurtdışı literatür araştırmalarında ekstrüzyon kalıplarının yüzey pürüzlülüğünün, basınç düşümüne ve enerji maliyetine etkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Gerçekleştirilen bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen bilgilerin, ekstrüzyon kalıplarının yüzey kalitesinin basınç düşümüne ve enerji maliyetine etkisi ile ilgili önemli bir eksikliği gidereceği öngörülmektedir. Deneysel alışmalar sonucunda elde edilen sonuçların, bu çalışma konusu ile ilgili mühendislik açısından yapılan farklı yaklaşımlara da yardımcı olması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Termoplastiklerin ekstrüzyonunda kalıp iç yüzey pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelemek üzere yapılan deneysel çalışmada kullanılan materyal ve yöntem bu bölümde açıklanmıştır.

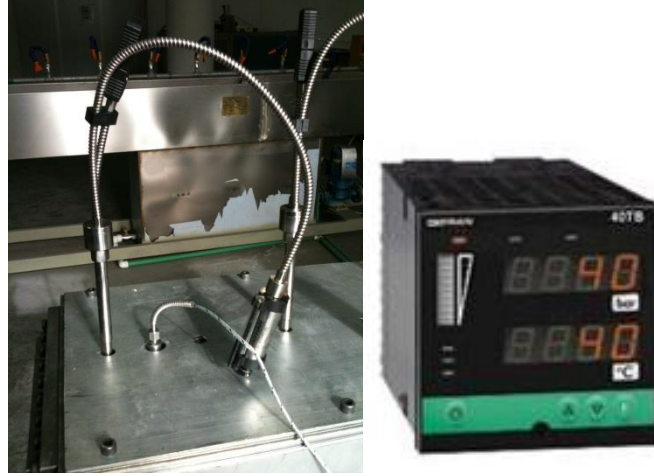
3.1. Materyal

3.1.1. Denemelerde kullanılan ölçüm aletleri ve cihazlar

3.1.1.1. Basınç sensörü ve basınç indikatörü

Deney kalıbı üzerinde üç adet Gefran marka basınç sensörü kullanılmıştır. Kullanılan sensörler aynı zamanda sıcaklık ölçümü de yapabilmektedir. Basınç sensörleri kalıp üzerine 200 mm aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Basınç sensörlerinin değerleri indikatör vasıtasıyla dijital olarak ölçülmüştür. Sensörler kalıp üzerine vidalı bağlantı ile bağlanmıştır. Doğru ölçüm yapabilmek için sensörün okuyucu ucu kalıp iç yüzeyi ile aynı düzlemde ve akışkana temas edecek şekilde monte edilmiştir. Sensör ürün kodu : MN2-6-M-B07C-1-4-D XM026 2130X000X00' dir. (Şekil 3.1)

Basınç sensöründen gelen sıcaklık ve basınç verileri özel bir veri kablosu ile Gefran 40TB model indikatöre aktararak ölçülmüştür (Şekil 3.1). İndikatörler elektrik panosu üzerine monte edilerek kullanılmıştır. İndikatörlerin basınç ölçüm hassasiyeti 1 bar, sıcaklık ölçüm hassasiyeti ise $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 3.1. Basınç sensörü ve indikatörü

3.1.1.2. Dijital aktif sayaç

Ekstrüder makinesinde hacanan gücü ölçmek için elektrik panosu içine yerleştirilmiş bir dijital aktif sayaç kullanılmıştır. Sayaç kw/h cinsinden harcanan gücü vermektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Dijital aktif sayaç

3.1.1.3. Elektronik hassas terazi

Maksimum 30 kg kapasiteli elektronik tartı 1' er gram hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. Her bir deneme sürecinde ekstrüde edilen hammadde miktarının ağırlığını ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Elektronik hassas terazi

3.1.1.4. Titreşim sensörü

Etech Instruments (USA) 461880 kodlu temaslı olarak çalışan titreşim sensörü, (Şekil 3.4.) kalıp yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak oluşan kayıpların titreşim ile olan ilişkisini saptayabilmek için kullanılmıştır. Mıknatıslı ucu ile kalıp üzerinden ölçüm alınmıştır. Cihaz 1 metre kablolu sensörü ile uzaktan vibrasyon ölçümü yapabilmekte ve 1 kHz ile 10 Hz geniş frekans aralığında, RMS veya PEAK (tepe değer) ölçüm modlarında, 1000 adet manuel veya otomatik kayıt hafızası bulunmaktadır.



Şekil 3.4. Titreşim sesörü

3.1.2. Ekstrüder makinesi

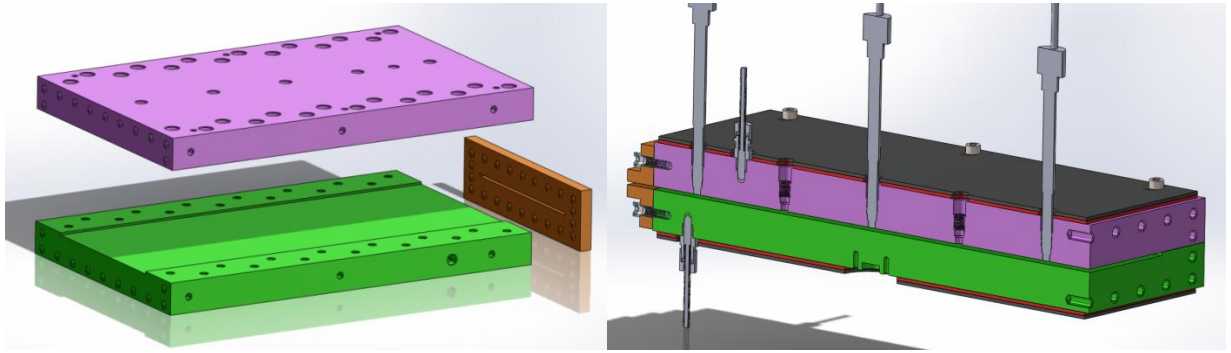
Kullanılan ekstrüder makinesi polietilen ve poliproilen termoplastiklerini ekstüde etmek için kullanılmaktadır. Toplam dört ısıtıcı bölgeden oluşmaktadır. 70 kg/h kapasiteli, 22 kw gücünde 150 d/dak maksimum devirde çalışmaktadır. Makine üzerinde nemli hammaddenin kurutulması için sıcaklık ayarlı kurutucu bulunmaktadır. Ekstrüder makinesi çıkış delik çapı 60 mm'dir. Makinenin sıcaklık, devir v.s gibi değerleri makine panosu üzerinden kontrol edilmektedir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Ekstrüder makinesi

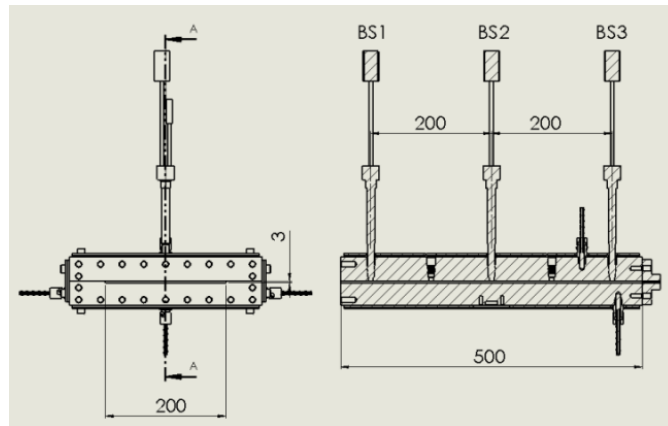
3.1.3. Deney kalıbı seti

Deney kalıp seti üç parçadan oluşmaktadır. Alt kalıp, üst kalıp ve düzeltici (Şekil 3.6.). Alt kalıp üzerine açılmış olan 3 mm derinliğinde, 200 mm eninde, 500 mm boyundaki kanaldan eriyik haldeki hammadde geçmektedir. Deney kalıbı ölçüleri personeli olduğum Mir Holding bünyesindeki Dizayn Teknik firmasının uzman personeli ile istişare sonucu elde edilmiştir. Daha büyük ölçülerdeki kalıpta, ekstrüder makinesi kalıp boşluğunu doldurmayacak, ekstrüder basıncı arttırıldığında da kalıptan eriyik hammaddenin sızması söz konusu idi. Bu sebeplerden dolayı kalıp ölçüleri belirtilen değerlerde seçilmiştir. Alt kalıbın üst yüzeyi ile üst kalıbın alt yüzeyine talaşlı imalat işlemi uygulanarak farklı yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Basınç sensörlerinin yerleşimi, rezistanslar, rezistans sacları, termokupllar v.s Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deney kalıbının patlatılmış ve kesit alınmış katı model resmi

BS1, BS2, BS3 sırasıya ekstrüder makinesinden kalıp çıkışına doğru basınç sensörleridir (Şekil 3.7.).

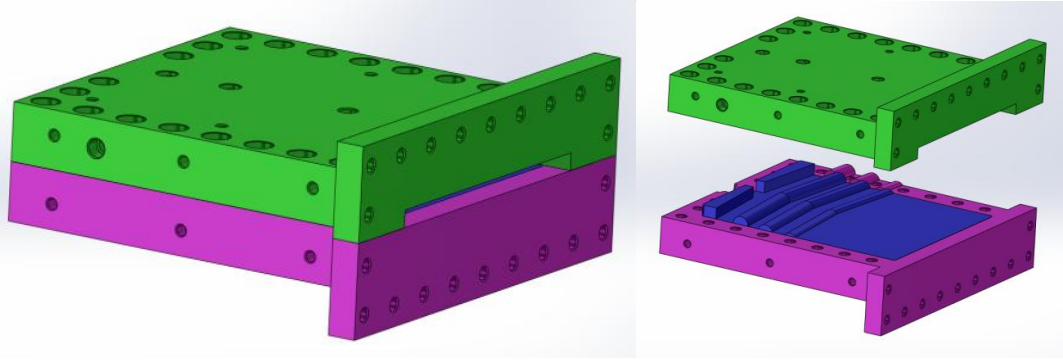


Şekil 3.7. Deney kalıbı kesit resmi ve ölçüler

Basınç sensörleri basınç farkının değişimini daha kolay yorumlamak için eşit aralıklarla yerleştirilmiştir.

3.1.4. Levha profil kalıbı

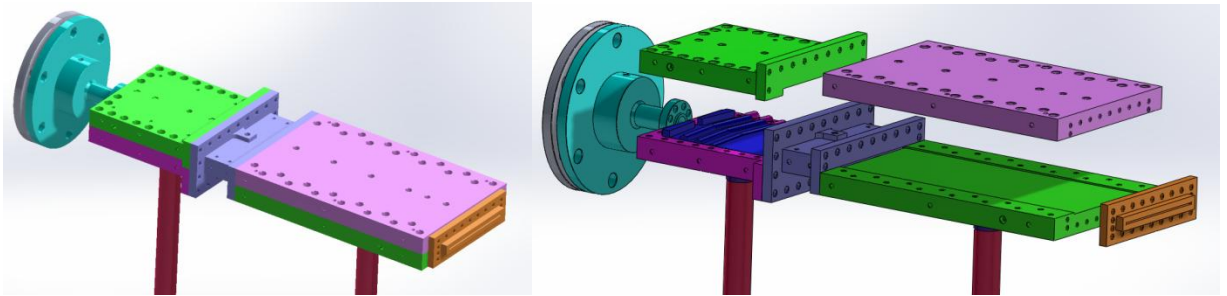
Deneysel çalışmada kullanılacak dikdörtgen kesitli kalıp, akışın kalıbın girişinden itibaren homojen şekilde ilerlemesi için levha profil kalıbına bağlanmıştır. Levha profil kalıbı akışkanın kalıp içerisinde homojen bir şekilde yayılması için kullanılmıştır (Şekil 3.8.). Bu kalıbın iç geometrisinin nasıl olacağı C.A.E. analiz programlarında yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir.



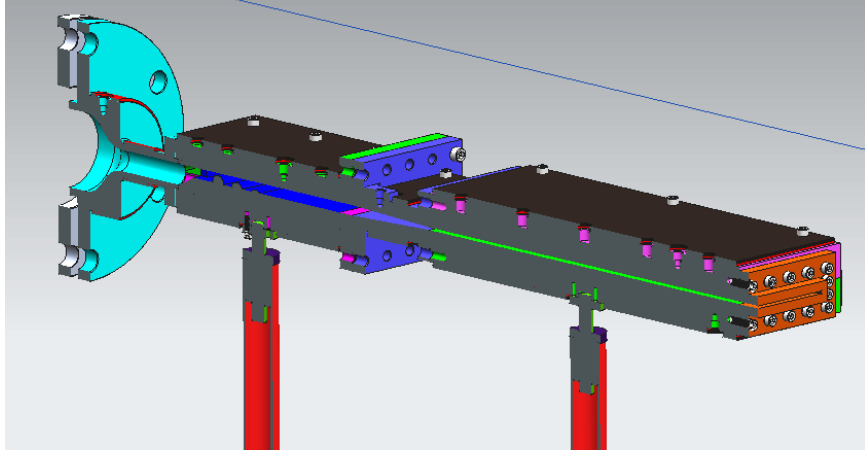
Şekil 3.8. Levha profil kalıbı montaj ve patlatılmış modeli

3.1.5. Deney seti

Deney seti bir kaç bölgeden oluşmaktadır. Ekstrüder makinesine bağlantı için adaptör, sonrasında levha profil kafası, deney kalıp seti ve düzeltici (Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.).

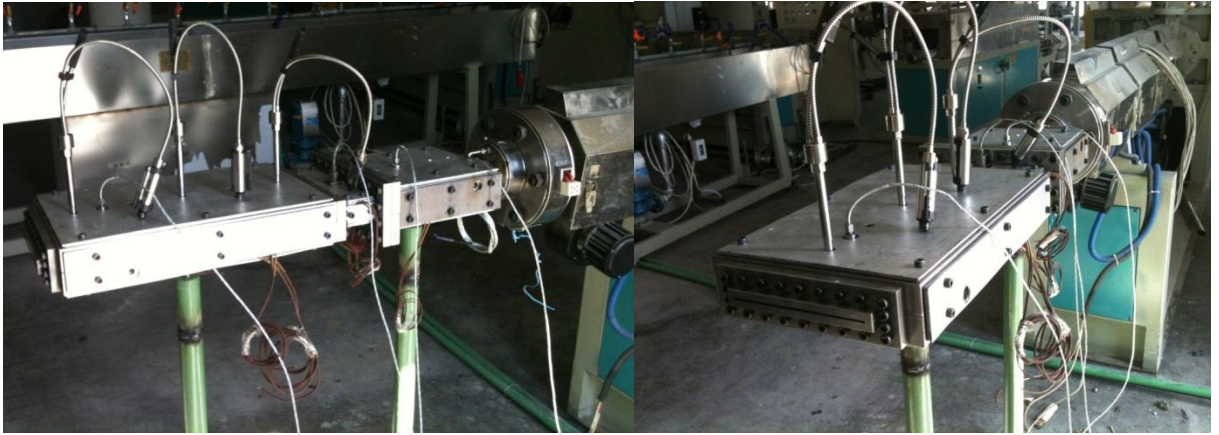
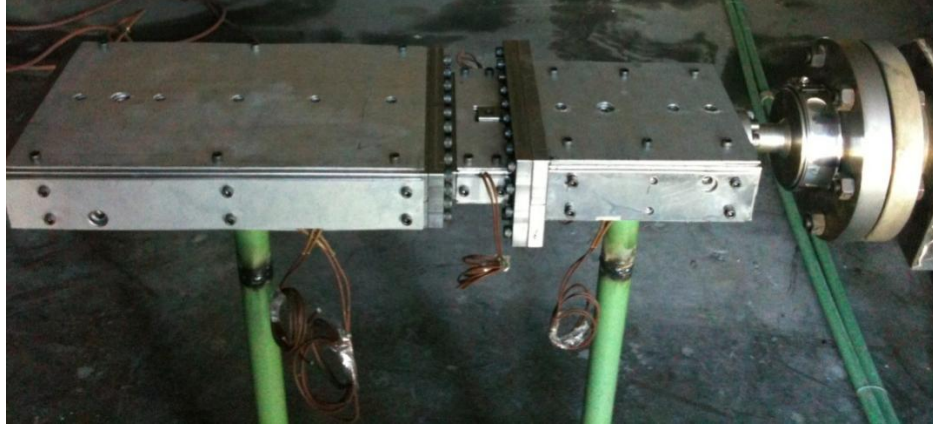


Şekil 3.9. Deney seti montaj ve patlatılmış katı modeli



Şekil 3.10. Deney seti katı model kesit resmi

İmalatı tamamlanmış deney setinin ekstrüder makinasına bağlanmış genel montaj resimleri Şekil 3.11., Şekil 3.12., Şekil 3.13.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Deney seti montajı



Şekil 3.12. Deney hattı ve panolar



Şekil 3.13. Ekstrüzyon prosesi

Ekstüder makinesine bağlanmış deney kalıbından ekstrüde edilen erimiş haldeki hammadde Şekil 3.14' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ekstrüzyon kalıbından hammaddenin çıkışı

Ekstrüder makinesi ve deney kalıplarının ısıtılması için kullanılan rezistansların sıcaklık kontrolleri termokupllar vasıtasıyla pano üzerinden kontrol edilmiştir (Şekil 3.15.). Pano üzerinden istenilen proses sıcaklık değerleri girilebilmektedir. Deney kalıbı üzerinde üç adet basınç sensörü bulunmaktadır. Deney kalıbındaki basınç değerleri özel bir veri kablosu (Şekil 3.15.) ile ölçülmüş ve dijital olarak görüntülenmiştir.



Şekil 3.15. Ekstrüder kalıbının sıcaklık ve basınç kontrol ünitesi ve basınç sensöründen basınç ve sıcaklık değerlerinin alınması

3.1.6. Yazılım

Deneysel çalışmada kullanılan bütün ekipmanlar ve kalıplar katı model programı (C.A.D.) Siemens Unigraphics NX8 versiyonunda modellenmiş ve imalat resimleri çıkartılmıştır.

Levha profil kalıbının mesh işlemi Gambit programında, akış analizleri Polyflow programında yapılmıştır.

3.1.7. Kullanılan hammadde özellikleri

Denemelerde hammadde olarak Polietilen (HDPE) kullanılmıştır. Hammadde ile ilgili teknik bilgiler aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Çizelge 3.1.).

HD – I4

Lisans sınıf kodu HC HD 7255

HD7255 yüksek darbe dayanımı ve düşük çarpılma özelliğine sahiptir. THS katalizör tarafından üretilmiştir.

Çizelge 3.1. Hammadde özellikleri

Özellik	Birim	Değer	Test Metodu
Yoğunluk	(g/ml)	0.954	ISO 1183
Eriyik akış oranı / MFR (190°C/2.16kg)	(g/10min)	3.5	ISO 1133
Eriyik akış oranı / MFR (190°C/5kg)	(g/10min)	11	ISO 1133
Hidrostatik mukavemet (4N/mm ² 80°C)	h	-	ISO 1176

Bu veriler ortalamadır ve 23°C ortam sıcaklığında test edilmiştir.

3.2. Yöntem

Denemelerde kullanılacak olan levha kalıbının akışkana temas eden yüzeylerinin nasıl bir geometriye sahip olması gerektiğine yapılan analizler sonucunda karar verilmiştir. Analiz programı, ekstrüder makinesi ile ekstrüde edilen hammaddenin, kalıbın atmosfer çıkışındaki her noktada aynı hızda olması ve homojen bir akışın oluşması amacıyla kullanılır.

Analiz işlemi şu sırayla gerçekleşmektedir; öncelikle tecrübe ile elde edilmiş bilgiler doğrultusunda ve istenilen özelliklere sahip (ürün formu, kapasite v.s) kalıp şekli bilgisayar ortamında modellenir. Bu kalıp içerisinde geçecek olan akışkanın katı modeli çıkartılır ve mesh işlemine tabi tutulur. Optimum mesh atma işlemi, analiz sonucunu ve analiz süresini doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Mesh işleminden sonra analiz işlemi öncesi gerekli olan parametreler girilir ve analiz işlemine başlanır. Analiz sonucuna göre kalıp modeli gerekiyorsa değiştirilerek tekrar analiz yapılır ve optimum analiz sonucu elde edilene kadar bu işlem devam eder.

Ekstrüder makinesine bağlı levha kafadan çıkan ürünün genişlik ve kalınlığı ekstrüder makinesi, çekici veya makine devirleri ile ilgilidir, daha ince yada daha az genişlikte ürünler elde edilebilir. Ekstrüder makinesinin devri düşürülerek yada ürüne bağlı olan çekici veya makinenin devri arttırılarak çıkan ürünün kalınlık veya genişliği düşürülebilir. Bu işlemlerin tam tersi ile elde edilen ürünün kalınlık ve genişliği kalıp çıkış kesitine göre çok az bir miktar arttırılabilir.

Çok ince filmlerin (poşet, çöp torbası, yüzey koruma filmleri v.s) ekstrüzyonunda ürünün yüzey pürüzlülük kalitesi, soğutma sistemi (soğutma sıvısı sıcaklığı, soğutma süresi v.s) yanında kalıp yüzey pürüzlülüğü ile de ilgilidir. Deneysel sistemde kullanılan ürünün kalınlığı 3mm'dir, burada ürünün yüzey kalitesi kalıp yüzey pürüzlülüğünden ziyade soğutma sistemi ile ilgilidir. Yapılan deneysel çalışmada çıkan ürünün yüzey pürüzlülük değerleri incelenmediğinden deneysel sistemde ürünün soğutulması için bir soğutma sistemi kullanılmamıştır. Ürünün kalınlığı ve yüzey pürüzlülük değeri oranlandığında, daha kalın ürünlerde pürüzlülük değerinin etkisi daha az, ince ürünlerde daha fazla olacaktır.

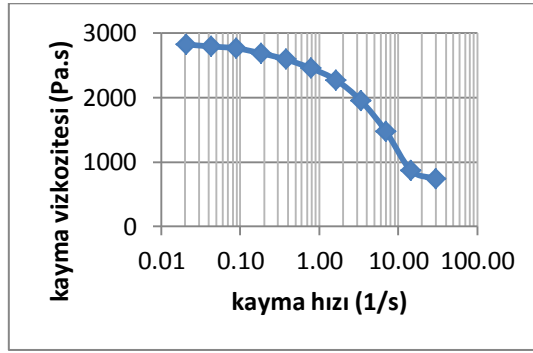
Polimerlerde viskozite değişken olduğu için, kayma hızına bağlı olarak değiştiği için Re sayısı da değişkendir ancak her durumda laminar akış sınırları içindedir (viskozite çok yüksek olduğu için Re sayısı her zaman düşüktür).

Önce yaklaşık debilerle kaba dağıtıcı kısım analizi yapıldı. Buna uygun olarak dağıtıcı kalıp üretildi. Dağıtıcı kalıp ve denem plakaları ile çalışmalar yapıldı. Test sonuçlarından elde edilen

verilere göre tüm akış geometrisinin nihai değerlendirme analizi gerçekleştirildi. Denemeden alınan ölçüm sonuçları ile analiz nihai sonuçları karşılaştırıldı.

3.2.1. Analiz şartları :

Newton Tipi olmayan malzeme özellikleri girilerek proses modellenmiştir. Kalıp akış geometrisinde giriş ve çıkış dışındaki tüm kenarlar için, sınır koşul olarak “sıfır duvar hızı” kabul edilmiştir. Giriş akış debisi: 4.379 kg/saat, hammadde NPC I4 yüksek yoğunluklu polietilen hammaddedir. Denemelerde kullanılan malzemenin proses sıcaklığındaki reolojik akış davranışı Şekil 3.16.’daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Malzemenin proses sıcaklığındaki reolojik akış davranışı

Analiz çalışmasında kullanılan Newton Tipi olmayan akış modelinin (Bird-Carreau Tipi) formül (5) de görülmektedir.

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})x(1 + \gamma^2\lambda^2)^{(n-1)/2} \dots \dots \dots (5)$$

Burada,

γ : kayma hızı (s⁻¹)

η : viskozite (Pa.s)

η_{∞} : sonsuz kayma hızındaki viskozite (Pa.s)

η_0 : sıfır kayma hızındaki viskozite (Pa.s)

λ : Doğal zaman, akışkanın Newton tipinden kuvvet yasası tipine geçtiği kayma hızının tersi, s

n: Kuvvet yasası katsayısı

NPC I4'e ait bu modeldeki akış parametreleri aşağıdaki gibidir:

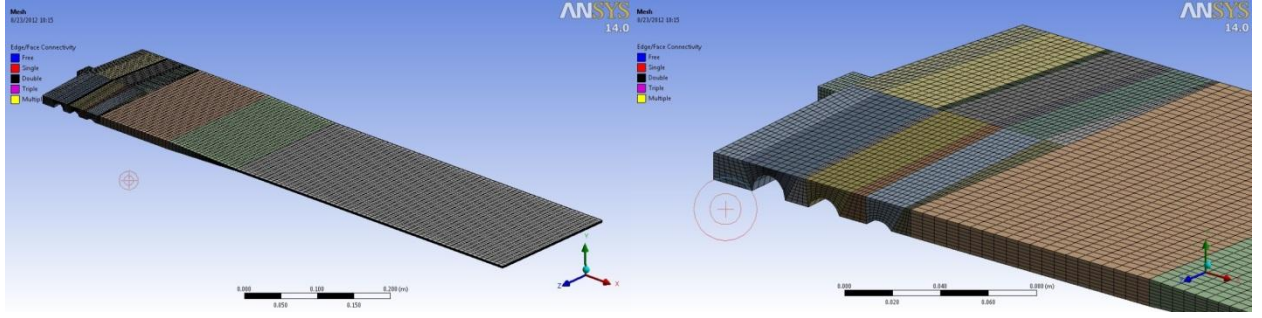
$$\eta_{\infty} = 0$$

$$\eta_0 = 2820 \text{ Pa.s}$$

$$\lambda = 1.5 \text{ s}$$

$$n = 0.6$$

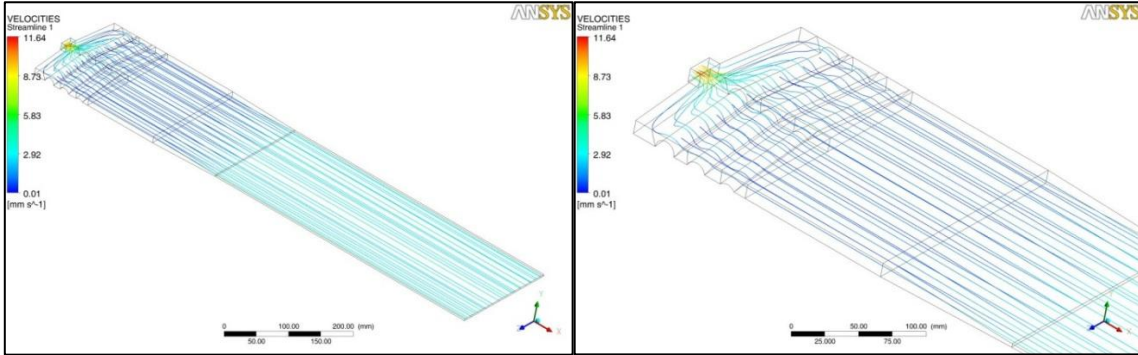
Denemelerde kullanılan kalıbın mesh atılmış katı model Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Analiz edilen kalıp akış geometrisi ve analiz için hazırlanan ağ örgüsü

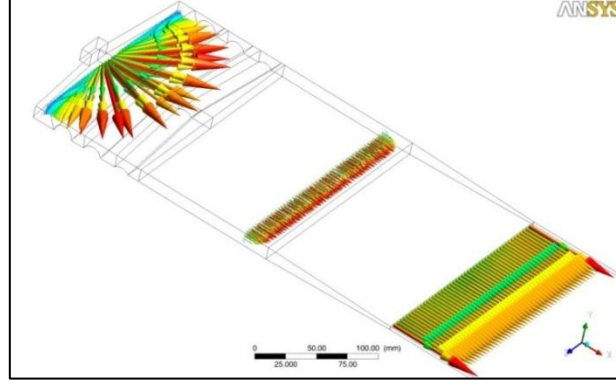
3.2.2. Analiz sonuçları

Şekil 3.18. incelendiğinde ekstrüder makinesi çıkışına bağlanan levha kafa amacına uygun olarak düzgün bir akış oluşturmaktadır. Düzgün bir akış için, levha kalıbının atmosfer çıkışında, her notadaki akışkanın hızının aynı olması istenir. Levha kafa olmadan deney kalıbı direkt olarak ekstrüder makinesine bağlansaydı, deney kalıbının her iki iç yan kısımlarında akışkan daha yavaş hareket edecek, orta ekseninde hız daha fazla olacaktır. Bu da basınç ölçümünde hatalara neden olacaktı. Ayrıca düzgün bir film elde edilemeyecekti. Levha kafaya giren eriyik akışkan kafa geometrisinden dolayı kalıp yan yüzeylerine doğru hareket etmekte ve orta eksenindeki akışkan ile aynı hızda ilerlemektedir.



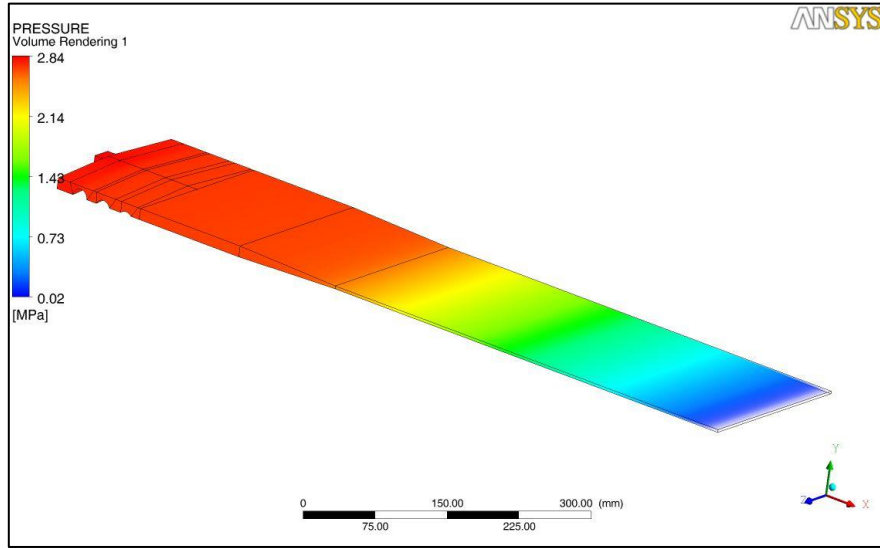
Şekil 3.18. Kalıp içi malzeme akış çizgileri (hız dağılımıyla birlikte)

Levha kafa girişinde akışkan farklı yönlerde farklı hızlarda hareket etmektedir. İç geometriden dolayı levha kafa çıkışında akışkanın hızı her noktada aynıdır. Levha kafa sonrasında homojen bir akış hızına ulaşan akışkan aynı hızlar ile deney kalıbından ekstrüde edilmektedir (Şekil 3.19.).



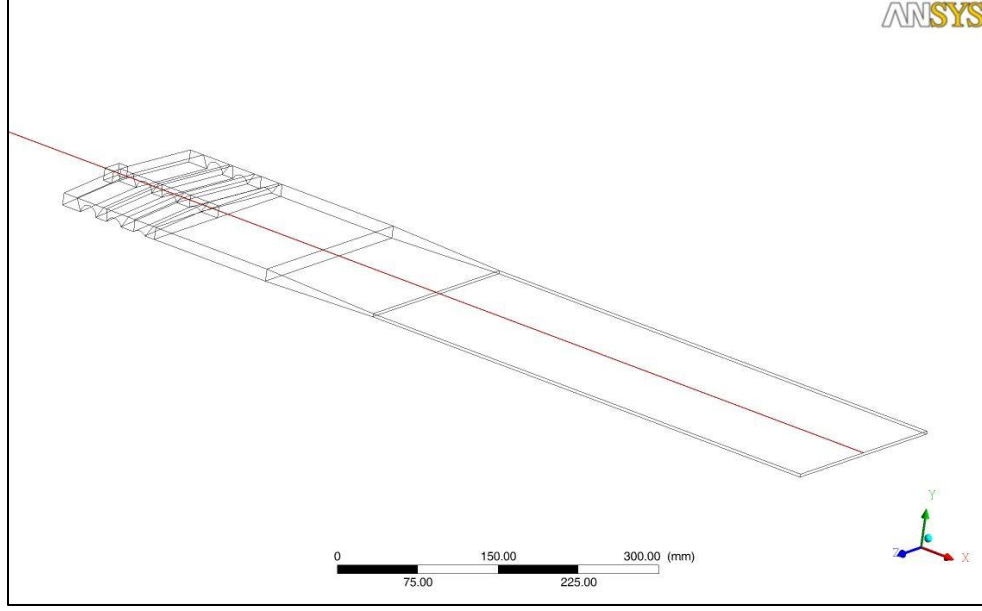
Şekil 3.19. Kalıp içinde üç ayrı bölgedeki (giriş, dağıtıcı sonu tezde incelenen kısım başlangıcı) hız dağılımları ve yönleri (hız oklarının büyüklükleri, hızla orantılıdır).

Kalıp girişinden itibaren basınç düşümü gözlenmektedir. Basınç kırmızı renkten mavi renge doğru azalmaktadır. Kalıp girişinde 2.84 MPa olan basınç, kalıp çıkışında 0.02 MPa'a kadar azalmaktadır (Şekil 3.20.).



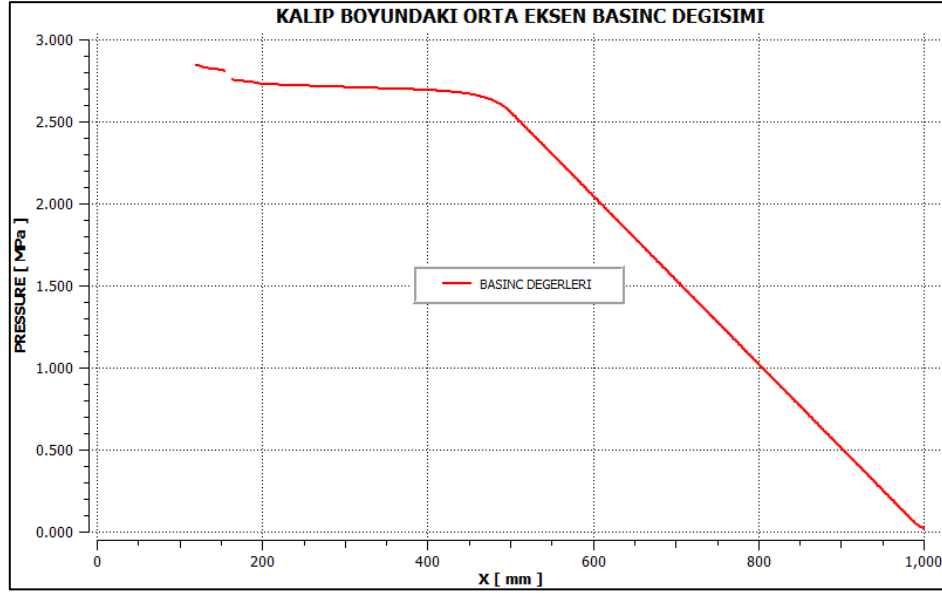
Şekil 3.20. Kalıp içi basınç dağılımı

Şekil 3.21.'de deneme kalıbının ekstrüder boğazı eksenine eşmerkezli bir hat çizilmiş (basınç sensörleri bu hat üzerine sıralanmıştır) ve bu hat üzerindeki basınç değerleri Şekil 3.22.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Kalıp orta ekseninin gösterilmesi

Deneme kalıplarının orta eksenindeki basınç değişimi Şekil 3.22.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Kalıp orta eksenindeki basınç değişimi (ilk şekil, basınç değerlerinin alındığı hattı gösteriyor). Burada, X=500 mm'den itibaren incelenen geometri (plaka) içindeki basınç değişimi görülüyor. (geometri başlangıcında yaklaşık 27 bar)

3.2.3. Deneyin yapılması hakkında ön bilgiler

Deneysel çalışmanın doğru sonuç vermesi için denemelerin aynı şartlar altında yapılması gerekmektedir. Ekstrüzyon prosesine doğrudan etki edecek bazı parametrelerin, her bir deney esnasında aynı olması sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.

Deneysel çalışma için frezeleme ve taşlama imalat yöntemleri kullanılarak farklı yüzey pürüzlülük değerine sahip iki kalıp kullanılmıştır. Her bir kalıp, ekstrüder makinesine ayrı ayrı bağlanarak aynı deney şartlarında çalışılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Her bir kalıbın denenmesi öncesinde ekstrüder makinesi ve kalıplar 90 dakika ısıda kalarak rejime ulaşması sağlanacaktır.

Ekstrüde edilecek hammadde içerisinde olması muhtemel nemden dolayı makine üzerindeki kurutucu 70°C sıcaklığa ayarlanarak hammadde içerisindeki nem alınmıştır.

Ekstrüder devri, her bir kalıp için aynı olacak şekilde 100 d/dak olarak ayarlanarak denemeler yapılmıştır. Daha düşük devirlerde akış hızı çok düşük olduğu için deneme süreleri çok uzamakta, daha yüksek devirlerde deney kalıbı yüksek basınçtan dolayı hammadde sızdırmakta idi. Daha yüksek basınçlarda kalıplarda sızdırmazlık sorunu yaşanmıştır.

Her bir deney kalıbı için, her biri 60 dakika olmak üzere toplam 180 dakikalık üç tekrarlı ekstrüzyon prosesi gerçekleştirilmiştir.

Her bir deney kalıbının üzerinde eşit aralıklı yerleştirilmiş üç adet basınç sensörü bulunmaktadır. Kalıp içerisindeki basınç değerleri indikatör vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu sensörlerden elde edilen basınç farkları kalıp içerisinde nasıl bir basınç değişimi oluşturduğunu gösterecektir. Bu değerler farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip kalıplardan elde edilen değerler ile karşılaştırılacaktır.

Deney kalıplarının her birinin 60'şar dakikalık ekstrüzyonu sonucunda elde edilen hammadde miktarı hassas elektronik tartı ile tartılmış. Kalıp kesiti ve hammadde miktarı belli olduğundan akış hızı hesabı yapılmıştır.

Debi hesabı; hava boşukları olması ihtimaline karşı kütleli debi değeri kullanılacaktır.

$(Q = v \times A \times \rho)$ kütleli debi formülü

Enerji sarfiyatı karşılaştırılması; ekstrüder makinesinde harcanan gücü kw/saat cinsinden dijital olarak görmek için sisteme bağlanan dijital aktif sayaç vasıtasıyla her bir kalıbın ekstrüzyonunda harcanan güç belirlenmiştir.

Levha profil kalıbı sonrasında deneysel çalışmanın uygulanacağı dikdörtgen kesitli kalıp bağlanmıştır. Kalıp ölçüleri 3x200x500 mm' dir.

Kalıplar levha şeklindeki rezistanslarla ısıtılarak, termokupllar vasıtasıyla belirli sabit sıcaklıkta kalması sağlanmıştır.

Ekstrüder makinesi üzerinde dört tane, deney seti üzerinde de dört tane olmak üzere toplam sekiz bölgede ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklık değerleri aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi bütün deney kalıplarına aynı şekilde uygulanmıştır (Çizelge 3.2.).

T1, T2, T3, T4, T5 sırasıyla ekstrüder üzerindeki sıcaklık bölgeleri T6, T7, T8 kalıp üzerindeki sıcaklık bölgeleridir (Çizelge 3.2.).

Bütün denemeler ortam sıcaklığı 20 °C’de gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Sisteme uygulanan sıcaklık değerleri

Bölgeler	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Sıcaklık değerleri (°C)	180	180	170	170	170	170	170	170

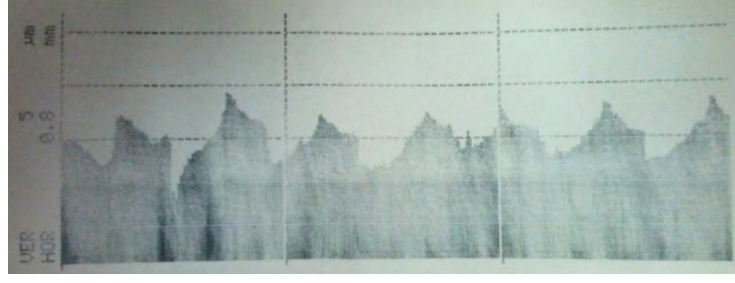
3.2.4. Yüzey pürüzlülük cihazının kalibrasyonu

Deney kalıplarının her birinin yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü KOSGEB Metal Kalite Kontrol Laboratuvarı İstanbul İkitelli Hizmet Müdürlüğünde yapılmıştır. Kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı Mitutoyo SurfTest 301’dir (Şekil 3.23.). Numuneler TS 971, TS 6959 standartlarına uygun test edilmiştir. Ölçüme başlamadan önce yapılacak olan ölçümlerin doğruluğunun kontrolü için ölçüm cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon uygulamasında, belirli bir yüzey pürüzlülük değerine sahip (Ra: 2.96 µm) metal bir plakadan ölçüm alınarak, bu ölçümün metal plaka üzerindeki yüzey pürüzlülük değeri ile aynı olup olmadığı kontrol edilmiştir (Şekil 3.25.). Her bir deney kalıbı setini oluşturan alt ve üst parçalardan toplam yedi adet ölçüm alınarak yüzey pürüzlülük parametrelerine ulaşılmıştır.

3.2.5. Deney kalıplarının yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü

3.2.5.1. Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın pürüzlülük ölçüm değerleri

Frezeleme yöntemi ile elde edilen deney kalıbı üzerinden alınan herhangi bir noktaya (Ra: 1.58 µm) ait grafik, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazından alınmıştır (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Freze ile işlenmiş kalıbın ölçülen bir noktadaki ($R_a: 1.58 \mu\text{m}$) grafiği

Çizelge 3.3. Frezeleme ile elde edilen bir noktanın ($R_a: 1.58 \mu\text{m}$) yüzey pürüzlülük parametre değerleri

CUT-OFF		0.8 mm	X3
R_a		1.58	μm
R_q		1.70	μm
R_{3z}		0.8	μm
R_t		10.1	μm
R_y		9.8	μm
R_z		7.3	μm
R_p		4.4	μm
t_p	(10%)	2	%
	(15%)	3	%
	(20%)	6	%
	(25%)	13	%
	(30%)	21	%
	(40%)	43	%
	(50%)	65	%
	(60%)	79	%
	(70%)	94	%
	(80%)	98	%
	(90%)	99	%

Frezeleme işlemi kalıp akış yönü doğrultusunda yapılmıştır. Kalıp üzerinde birbirinden minimum 50 mm uzaklıktaki noktalardan yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri Şekil 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Freze ile işlenmiş kalıbın yüzeypürüzlülük ölçüm değerleri

Ra	Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	Ra6	Ra7	Raort
Değerler (μm)	0.95	1.28	1.36	1.39	1.49	1.51	1.58	1.36

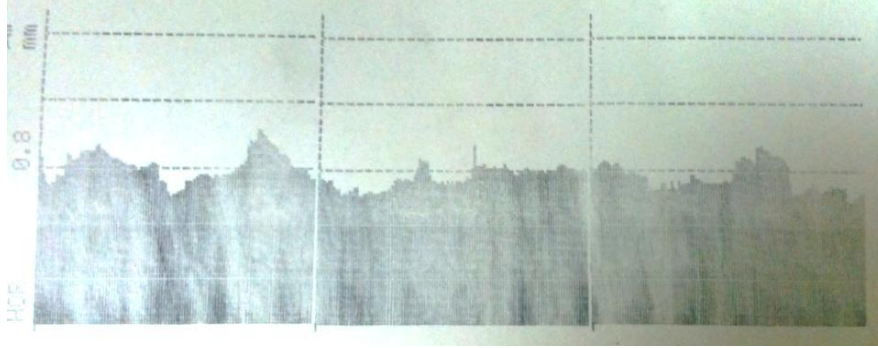
T1, T2, T3, T4, T5 sırasıyla ekstrüder makinesi üzerindeki sıcaklık bölgeleri T6, T7, T8 deney kalıbı üzerindeki sıcaklık bölgeleridir (Çizelge 3.5.).

Çizelge 3.5. Frezelenmiş kalıpta sisteme uygulanan sabit sıcaklıklar (ekstrüder ve kalıplar)

Bölgeler	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Sıcaklık değerleri ($^{\circ}\text{C}$)	180	180	170	170	170	170	170	170

3.2.5.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın pürüzlülük ölçüm değerleri

Taşlama yöntemi ile elde edilen deney kalıbı üzerinden alınan herhangi bir noktaya (R_a : 0.86 μm) ait grafik, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazından alınmıştır (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Taşlama ile işlenmiş kalıbın ölçülen bir noktadaki (R_a : 0.86 μm) yüzey pürüzlülük grafiği

Çizelge 3.6. Taşlanmış kalıbın bir noktasına ait (Ra: 0.86 µm) ölçülen yüzey pürüzlülüğü parametreleri

CUT-OFF		0.8 mm	X3
Ra		0.86	µm
Rq		1.03	µm
R3z		0.4	µm
Rt		10.4	µm
Ry		9.6	µm
Rz		4.4	µm
Rp		2.9	µm
tp	(10%)	1	%
	(15%)	1	%
	(20%)	3	%
	(25%)	5	%
	(30%)	7	%
	(40%)	17	%
	(50%)	33	%
	(60%)	51	%
	(70%)	71	%
	(80%)	85	%
	(90%)	98	%

Taşlama işlemi kalıp akış yönü doğrultusunda yapılmıştır. Kalıplar üzerinde birbirinden minimum 50 mm uzaklıktaki noktalardan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile alınan ölçümler değerleri Çizelge 3.7.'de görülmektedir.

Çizelge 3.7. Taşlama ile işlenmiş kalıbın yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Ra	Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	Ra6	Ra7	Raort
Değerler (µm)	0.44	0.69	0.67	0.76	0.80	0.86	0.89	0.73

T1, T2, T3, T4, T5 sırasıyla ekstrüder üzerindeki sıcaklık bölgeleri T6, T7, T8 kalıp üzerindeki sıcaklık bölgeleridir (Çizelge 3.8.).

Çizelge 3.8. Taşlanmış kalıpta sisteme uygulanan sabit sıcaklıklar (ekstrüder ve kalıplar)

Bölgeler	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Sıcaklık değerleri (°C)	180	180	170	170	170	170	170	170

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1.Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları

Çizelge 4.1.' de frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları sunulmuştur. Frezeleme yöntemi ile elde edilebilecek yüzey pürüzlülük değeri bir çok parametreye bağlı olmasına rağmen 0.4µm ile 25µm arasındadır. Deneme kalıplarından elde edilen ortalama Ra değeri bu aralıkta olup 1.36µm'dur. İmalat parametreleri değiştirilerek farklı değerler elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.1. Frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları (Ra:1.36 µm)

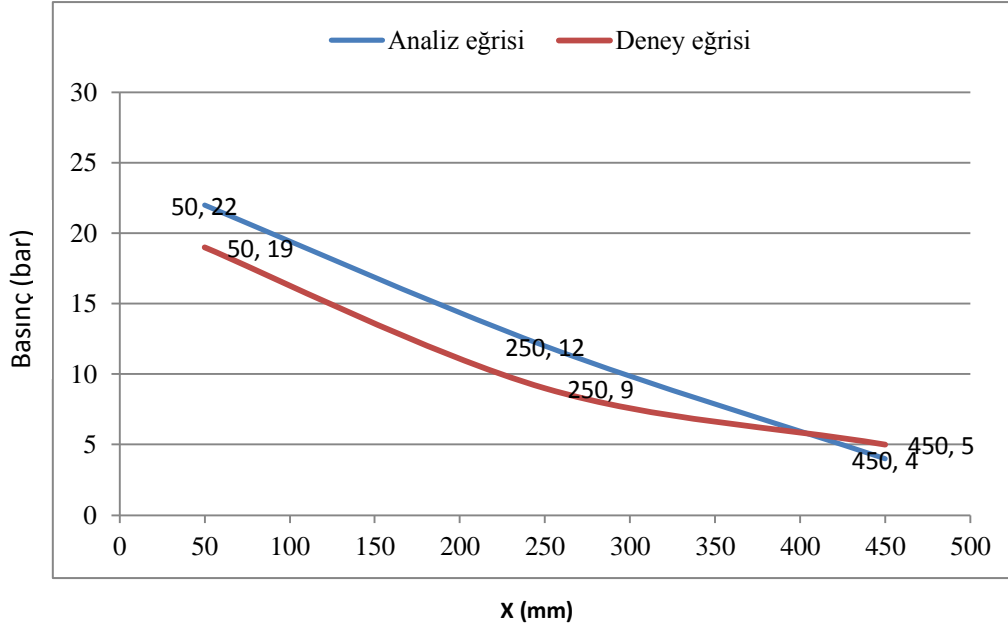
	1.Tekrar	2.Tekrar	3.Tekrar	Ortalama
Harcanan güç (kw/h)	6.85	6.85	6.85	6.85
Dijital aktif sayaç değerleri				
Akış hızı (m/dak)	0.126	0.126	0.126	0.126
Hammadde miktarı (Kg/h)	4.38	4.38	4.38	4.38
Basınç Değeri 1 (bar)	19	19	19	19
Basınç Değeri 2 (bar)	9	9	9	9
Basınç Değeri 3 (bar)	5	5	5	5
Kurutucu sıcaklığı (°C)	70	70	70	70
Ekstrüzyon süresi (dak)	60	60	60	60
Titreşim (m/s ²)	0.4	0.4	0.4	0.4
Ortam sıcaklığı (°C)	20	20	20	20
Hammadde çıkış sıcaklığı (°C)	160	160	160	160
Ekstrüder devri (d/dak)	100	100	100	100

4.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları

Çizelge 4.2.' de frezeleme yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları sunulmuştur. Taşlama yöntemi ile elde edilebilecek yüzey pürüzlülük değeri bir çok parametreye bağlı olmasına rağmen 0.025 μm ile 6.3 μm arasındadır. Deneme kalıplarından elde edilen ortalama Ra değeri bu aralıkta olup 0.73 μm 'dur. İmalat parametreleri değiştirilerek farklı değerler elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.2. Taşlama yöntemi ile imal edilmiş kalıbın deneysel çalışma sonuçları (Ra:0.73 μm)

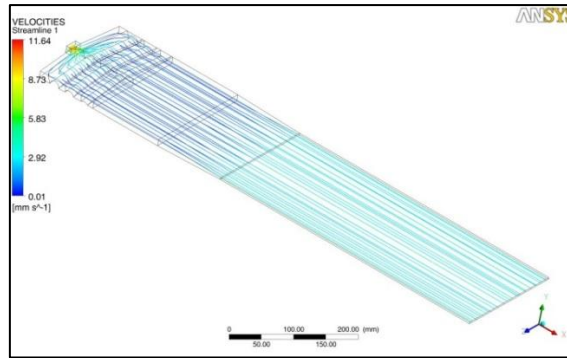
	1.Tekrar	2.Tekrar	3.Tekrar	Ortalama
Harcanan güç (kw/h) Dijital aktif sayaç değerleri	6.84	6.84	6.84	6.84
Akış hızı (m/dak)	0.127	0.127	0.127	0.127
Hammadde miktarı (Kg/h)	4.39	4.39	4.39	4.39
Basınç Değeri 1 (bar)	19	19	19	19
Basınç Değeri 2 (bar)	9	9	9	9
Basınç Değeri 3 (bar)	5	5	5	5
Kurutucu sıcaklığı (°C)	70	70	70	70
Ekstrüzyon süresi (dak)	60	60	60	60
Titreşim (m/s^2)	0.4	0.4	0.4	0.4
Ortam sıcaklığı (°C)	20	20	20	20
Hammadde çıkış sıcaklığı (°C)	160	160	160	160
Ekstrüder devri (d/dak)	100	100	100	100



Şekil 4.1. Analiz sonucu ve deney sonuçlarına göre basınç değerlerinin mukayesesi

Deney kalıbının bilgisayar ortamında yapılan analiz sonucu ile deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerler arasında fark gözlemlenmiştir. Bu farkı şu şekilde yorumlayabiliriz; akışkanın kalıp çeperlerine teması ve kendi içindeki sürtünmesinden dolayı sıcaklık artışı meydana gelmektedir, dolayısıyla viskozite düşmektedir. Düşük viskozite ise basıncın düşmesine neden olmaktadır.

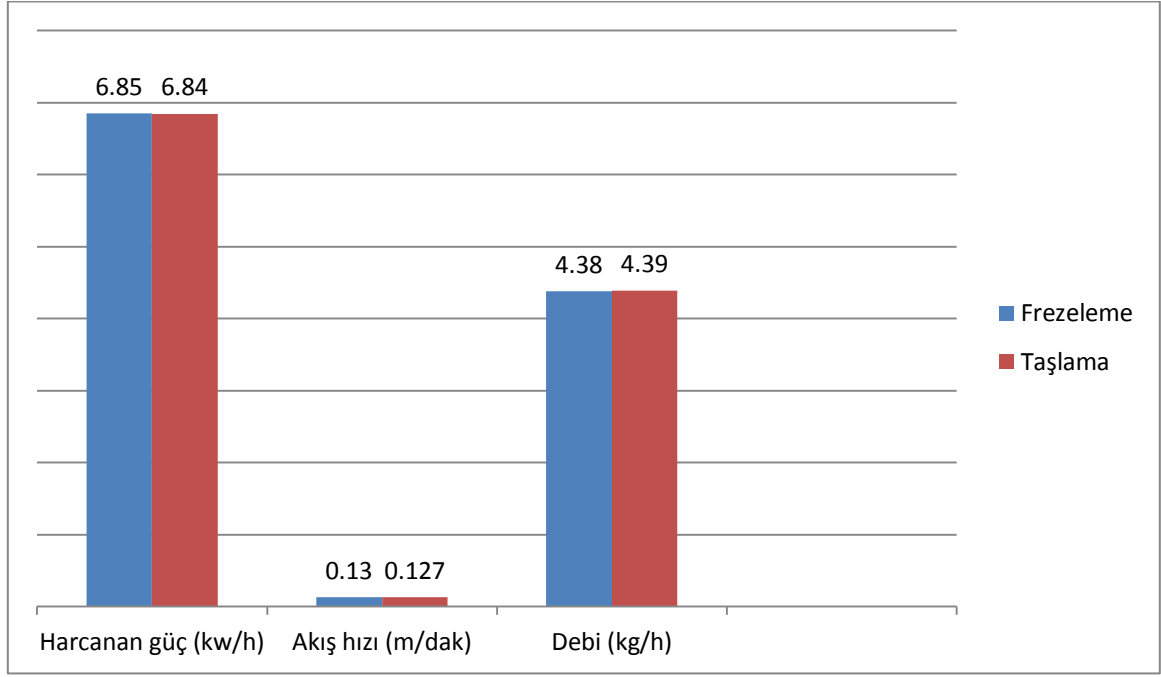
Frezelenmiş kalıp ve taşlanmış kalıplarda yürütülen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre kalıp boyunca gerçekleşen basınç düşümü her iki talaşlı imalat yönteminde de aynı olmaktadır. Bu da kalıp yüzey pürüzlülüğünün basınç düşümünü etkileyecek düzeyde olmadığını gösterir.



Şekil 4.2. Kalıp içi malzeme akış çizgileri

Eriyiğin akış hızı ile ilgili olarak; kalıp çeperlerinden sıfır duvar hızı kabulü yapıldığından kalıp orta eksenindeki akış hızı maksimum, kalıp çeperlerinde sıfır olmaktadır. Sayısal çözümde ortalama akış hızı 0.125 m/dak olarak okunmuştur.

Deneysel çalışmalarda; harcanan güç, akış hızı ve debide kalıplar arasındaki yüzey pürüzlülüklerine bağlı farklılıklar saptanmıştır. Frezelenmiş ve taşlanmış kalıpların denemeleri sonucunda elde edilen farklı değerler Şekil 4.3.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Denemeler sonucu elde edilen farklı parametrelerin değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Termoplastiklerin ekstrüzyonunda kullanılan ekstrüzyon kalıplarının dairesel formlu olanları freze tezgahı ve düz satırlı olanları taşlama işlemine tabi tutularak imal edilir. Bu yöntemlerle elde edilebilecek Ra değerleri belirli sınırlar içerisinde. Deneysel çalışmadaki parametreler dikkate alındığında görüldü ki elde edilen yüzey pürüzlülük parametreleri ile akış hızı, basınç düşümü ve enerji sarfiyatında prosesi etkileyebilecek bir durum ortaya çıkmamıştır.

Frezeleme yöntemi ile elde edilen kalıptaki ortalama yüzey pürüzlülük değeri Ra: 1.36 μ m (Çizelge 3.4.) ve taşlama yöntemi ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Çizelge 3.7.) ise Ra: 0.73 μ m dir. Aradaki fark % 86 olmasına rağmen harcanan güç miktarı farkı 20.46'nın 20.54'e oranına baktığımızda 0.99 çıkar ki bu da % 4 dür. Ayrıca akış hızı oranında ise 0.1266'nın 0.1278'e oranına baktığımızda 0.99m/dak çıkar yani % 0.94 oranında bir fark meydana gelmiştir, tabi bu değerler %86'lık bir Ra değerine karşılık gelen değerlerdir.

Taşlama işlemi, kalıp malzeme ve işçilik maliyetine ek olarak ortalama % 5'lik bir maliyet getirmektedir. Ayrıca ekstrüzyon kalıbı içerisinden geçen hammaddenin etkisi ile kalıp iç yüzeyindeki sürtünmelerden dolayı aşınmalar meydana gelecek ve taşlama ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerine yaklaşacaktır.

Bazı ekstrüzyon kalıplarının parlatılması ya estetik kaygılardan yada çok ince film çekilen kalıplarda ürünün yüzey kalitesinin önemli olduğu durumlarda ehemmiyet kazanmaktadır.

Çalışmada yüzey pürüzlülük değerinin enerji tüketimi üzerinde olan etkisinin çok küçük değerlerde olması nedeni ile ara yüzey pürüzlülük değerlerine sahip kalıplarla denemeler yapılarak optimum yüzey pürüzlülük değerinin saptanması için ileri bir çalışma yürütülmedi.

Bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen bilgiler değerlendirildiğinde; eğer ekstrüzyon kalıplarına kaplama (krom kaplama v.s) yapılmayacaksa (talaşlı imalat kaplamanın kalitesini önemli derecede etkiler) kalıp imalat sonrası ikincil işlemler görmeden direkt kullanılacaksa, yukarıda belirtilen değerler göz önüne alındığında frezeleme yöntemi ile imal edilmiş düz satırlı kalıpların taşlama işlemine veya daha hassas bir frezeleme işçiliğine ihtiyaç olmadığı deneysel çalışma sonucunda görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Anonim1. (2004). Yüzey Ölçüm Parametreleri Yamasa, <http://yamasa.com.tr/242/1/4/yamasa/yuzeyolcumparametreleri.aspx> (2012) .
- Anonim2. (1994). Yüzey İşlem ve YüzeYişlem Sembolleri Misumiusa, www.misumiusa.com/CategoryImages/.../METRIC1837-1838.pdf (2012) .
- Anonim3. (2009). Extruder dies. <http://www.ap-magazine.com/upload/plastics/Product/Image1/PipeExtrusionMachine10474m60058.jpg> (2012) .
- Arda D.R., Mackley M.R. (2004). The effect of die exit curvature, die surface roughness and a fluoropolymer additive on sharkskin extrusion instabilities in polyethylene processing. *Journal of Non- Newtonian Fluid Mechanics* DOI:10.1016.12.005:47-61.
- Atwood B. and Schowalter W. (1989). Measurements of slip at the wall during flow of high density polyethylene through a rectangular conduit. *Rheol. Acta*, 28:134–146
- Black W.and Graham M. (1996). Wall slip and polymer melt flow instability *Phys. Rev. Lett.*, 77(5): 956–959
- Çataltaş İ. (1986). *Kimya Mühendisliğine Giriş*. 3. baskı, İnkılap Kitabevi, 82, İstanbul.
- Denn M. and Morton M. (2001). Extrusion instabilities and wall slip. *Annual Review of Fluid Mechanics* 33, 265–287.
- Demircioğlu T. (2011). *Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ve Uygulamaları*, B.A.Ü.
- Düzgün D. (2007). *Uygulanmış Makine Elemanları Dizayn Konstrüksiyon Kitabı* İstanbul , 34-38.
- Fischer P. (2003). ETA Kunststofftechnologie GmbH Co-extrusion dies based on spiral mandrel technology Peter Fischer, ETA Kunststofftechnologie GmbH Bad Neuenahr, January 30/31
- Hatzikiakos S. and Dealy J.M. (1991). Effect of Interfacial Conditions on Wall Slip and Sharkins Melt Fracture of a High Density Polyethylene , *ANTEC 91, SPE Tech. Papers* 37, p.2311, (1991)
- Hatzikiriakos S.G. and Migler K.B. (2004). *Polymer Processing Instabilities Understanding and Control*, Marcel Dekker, New York
- Potente H., H. Ridder, R.V. Cunha. Global concept for describing and investigation of wall slip effects in the extrusion process. *Macromolecular Materials and Engineering*. 11: 287, 836-842, 2002.

- Kalika S. and Denn M. (1987). Wall slip and extrudate distortion in linear low density polyethylene. *Journal of Rheology* 31, 815–834.
- Kissi N. and Piau J. (1994). Effect of surface properties on polymer melt slip and extrusion defects. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 52, 249–261.
- Metal Mesleğinde Tablolar Kitabı (1999) . MEB Sayfa 46-48
- Mitsoulis B. Kazatchkov S. Hatzikiriakos (2005). The effect of slip in the flow of a branched PP melt experiments and simulations. *Rheol Acta* 44: 418-426
- Oğuz B, (1993). Oerlikon Yayını, Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları
- Petrie C. Morton M. (1976). Instabilities in polymer processing. *AIChE Journal* 22, 209–236.
- Pınar D. (2011) . *Mühendis ve Makina* Cilt 52 Sayı
- Şen İ. Özçilingir N. (2004). *Standart Makine Elemanları Çizelgeleri*.5. Baskı 34
- Taylor B. Carrano A. Kandlikar S. (2006). Characterization of the effect of surface roughness and texture on fluid flow Past, present and future, *Int. J. Therm. Sci.* 45 962
- Uysal, B. Z. (2003). *Akışkanlar Mekaniği*, Alp yayımları, Ankara
- Venet C. and Vergnes B. (1997). Experimental characterization of sharkskin in polyethylenes. *Journal of Rheology* 41, 873–892.

İLGİLİ STANDARTLAR

DIN EN ISO 4287: Bu standart yüzey yapısının (yüzey pürüzlülüğü, dalgalılık ve ana profil) profil metodları ile tayinine ilişkin terimleri, tarifleri ve parametreleri kapsar.

TS 971: Yüzey Pürüzlülüğü - Parametreler ve pürüzlülük tespiti kuralları

TS 6959: Yüzey Pürüzlülüğü - Terimler-Yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin ölçülmesi için

TS 929: Yüzey pürüzlülüğünün profil yöntemi ile ölçülmesinde kullanılan aletler-terimler

TS 2578: Pürüzlülük karşılaştırma numuneleri.

TSE 2040: Teknik resimde yüzey pürüzlülüğünün gösterilmesi

DIN 140: Yüzey işleme işaretleri

TS 2495: Yüzey pürüzlülüğünün profil metodu ile ölçülmesinde kullanılan aletler -

Ardışık profil değişimini ölçen iğneli aletler "M" sistemi degmeli profilmetreler.

Bu standard, "M" sistemi profilmetreler ile ilgili temel terimleri tanımlar, bu aletlerin temel parametrelerini ve bunların sayısal değerlerini verir ve ölçüm sistemlerinin özelliklerini belirtir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından itibaren benimle ve çalışmamla her an yakından ilgilenen, pratik ve teorik anlamda yol gösteren tez danışmanım değerli hocam **Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ**'a verdiği her türlü destekten ötürü minnettarım.

Sanayiye faydalı olacağını düşündüğüm tez çalışmamın amacına ulaşmasında maddi manevi her türlü desteğini esirgemeyen personeli olduğum MİR Araştırma ve Geliştirme A.Ş'e adına Araştırma ve Geliştirme Koordinatörümüz Makine Mühendisi **Sn. Dr. Zafer GEMİCİ**'ye minnettarım.

Bu uzun çalışma sürecinde problemlere farklı bakış açılarıyla bakmayı öğrendiğim değerli hocam **Sn. Prof. Dr. İsmail TEKE** 'ye teşekkür ederim.

Tecrübesiyle beni yönlendiren, deney sisteminin kurulmasında ve denenmesinde desteğini esirgemeyen MİR Araştırma ve Geliştirme A.Ş Ürün Geliştirme Müdürü Makina Yüksek Mühendisi **Sn. Tamer BİRTANE**'ye teşekkür ediyorum.

Polimer malzemeler ile ilgili desteğinden ötürü Kimya Mühendisi **Sn. Dr. Mustafa DOĞU**'ya teşekkür ederim.

Bahçeşehir Üniversitesinde akışkanlar mekaniği konusunda uzman Öğretim Üyesi **Sn. Dr. Kenan KAYA** 'ya ve Mir Ar-Ge A.Ş'den çalışma arkadaşım **Sn.Dr.Alihsan KOCA** 'ya verdiği destekten ötürü teşekkür ederim.

Tezimin elektrik ve elektronik aksamının oluşturulmasında her türlü desteği sağlayan değerli arkadaşım Elektrik - Makine Mühendisi **Sn. Dr. Ali Erdem ÖNDER** ' e de teşekkürü borç bilirim.

Eylül 2012

Ümit GÜLER

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbul'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen MİR HOLDİNG bünyesinde bulunan MİR ARAŞTIRMA ve GELİŞTİRME A.Ş' de Ar-Ge uzmanı olarak görev yapmaktadır.