

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

VİSKOZ MALZEMELERİN AKIŞI VE MODELLENMESİ

Mak.Müh. Recep YILMAZ

**F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet KOYUN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. REOLOJİ	2
2.1 Reolojik Özellikleri	2
2.2 Akışkanın Yapısının Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	3
2.3 Temel Reolojik Terminoloji	6
2.3.1 Kesme Gerilmesi	7
2.3.2 Kesme Hızı	7
2.4 Kesme Kuvveti ile Kesme Hızı veya Zaman Arasındaki İlişki	8
2.5 Reolojik Özellikler.....	11
2.5.1 Viskozite	11
2.5.2 Elastisite.....	11
2.5.3 Viskoelastisite.....	12
2.5.4 Kesme Duyarlılığı.....	12
2.5.5 Sıcaklık Duyarlılığı.....	13
2.5.6 Basınç Duyarlılığı	16
2.5.7 Moleküler Ağırlığın Etkisi.....	17
2.5.8 Dolgu Maddelerinin Etkisi	17
3. SIVILAR VE VİSKOZİTE	18
3.1 Temel Viskozite.....	18
3.2 Viskozite Birimleri	20
3.3 Kayma Gerilmeleri ve Kayma Hızları.....	21
3.4 Çeşitli Proseslerde Kayma Hızları	21
3.5 Polimer Sistemlerinin Viskoziteleri.....	23
4. VİZKOSİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	25
4.1 Akışa Yönelik Bilgilerin Elde Edilmesi İçin Kullanılan Deneysel Yöntemler	25
4.2 Koni ve Plaka Viskometre	26
4.3 Eş-eksenli Silindir Viskozimetre	27
4.4 Kapılar Viskozimetre	28
4.5 Ergimiş Malzeme İndeksi (Melt flow Index)	33

4.6	Viskozite ölçümlerinin neticesi	36
5.	VİSKOZİTE MODELLERİ	40
5.1	Reolojik Davranış Özelliklerinin Matematiksel Yaklaşımı.....	40
5.2	Güç Kanunu Modeli (power-law).....	41
5.3	Carreau Model	43
5.4	Cross Model.....	43
5.5	Cross-WLF Model	44
5.6	Ellis Model.....	44
6.	GELİŞTİRİLEN DENKLEMLER.....	45
6.1	Kanal İçinde Newtonien Sıvıların İzotermal Akışı.....	45
6.1.1	Üniform dairesel kesitli kanal boyunca newtonien sıvının akışı	45
6.1.2	Paralel plakalar arası newtonien sıvı akışı.....	47
6.2	Üniform dairesel kesitli kanal içinde newtonien olmayan sıvının akışı	51
6.3	Paralel Plakalar Arasındaki Newtonien Olmayan Sıvıların Akışı.....	53
6.3	Güç Kanunu Kullanılarak Annüler Bölgedeki Akışın İncelenmesi	56
6.4	Konik Kanallarda Basınçlı Akış (güç kanuna göre).....	62
7.	UYGULAMALAR	65
8.	DENEY	122
8.1	Deney Yapılışı	124
8.2	Deneyde Elde Edilen Değerler	126
9.	SONUÇLAR.....	128
EK1	PROGRAMLAMA	130
EK2	MAKALELER.....	136
	KAYNAKLAR.....	142
	ÖZGEÇMİŞ.....	144

SİMGE LİSETESİ

A	Alan (m^2)
F	Kuvvet (N)
E	Aktivasyon enerjisi
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G	Elastite modülü (Ns/m^2)
L	Boy(m)
m	Power law sabiti (Kpas)
n	Power law indeksi
ΔP	Basınç kaybı (kpa)
Ro	Yarı çap (m)
R	Yarı çap (m)
Q	Debi (m^3/s)
V	Hız (m/s)
Vo	İlk hız (m/s)
T	Tork (Nm)
α	Tepe açısı
θ	Dönme açısı
ΦV	Sürtünme ısısı
γ'	Kayma oranı (s^{-1})
τ	Kayma gerilmesi ($N m^{-2}$)
τ_0	Eşik kayma gerilmesi ($N m^{-2}$)
η	Kayma viskozitesi ($N s m^{-2}$)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Durgun ortamda ve kayma gerilimi altında (a) polimerlerin (b) emülsiyonların ve (c) kil karışımlarının yönelimi.....	3
Şekil 2.2	(a) Nişasta granüllerinin, (b) kil karışımlarının ve (c) emülsiyonların mikroskop altında görünümü	4
Şekil 2.3	Kil karışımlarındaki yapının deformasyon hızıyla değişimi.....	5
Şekil 2.4	Paralel plakalar modeli	7
Şekil 2.5	Akışkanların kayma gerilimi (noktalı çizgiler) ve viskozitelerinin (siyah çizgiler) deformasyon hızıyla değişimlerine tipik örnekler: (a) Newton akışkanı, (b) Bingham plastiği, (c) sahte plastik akışkan, (d) tiksotropik akışkanlar, (e) Dilatant akışkanlar, (f) reopektik akışkanlar, (g) Herschel-Bulkley modeline uyan akışkanlar, (h) Casson modeline uyan akışkanlar, (j) Cross modeline uyan akışkanlar.....	9
Şekil 2.6	Farklı materyaller için kayma gerilmesi ile kayma oranı arasındaki ilişki.....	10
Şekil 2.7	Kayma gerilmesi ile zaman arasındaki ilişki	10
Şekil 2.8	Sıvı akışkanların basınçlı borudaki hız profilleri.....	14
Şekil 2.9	Viskozite ile sıcaklık arasındaki ilişki	14
Şekil 2.10	Sıcaklığın viskoziteye etkisi	15
Şekil 2.11	Bazı polimerler için viskozitenin sıcaklıkla değişimi. (kayma hızı 10^3 s^{-1})	15
Şekil 3.1	Viskozitenin Prensibi.....	18
Şekil 3.2	Kayma hızı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki.....	19
Şekil 3.3	Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi.....	22
Şekil 3.4	Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi bölgeler ayrılması.....	22
Şekil 4.1	Dönmeli viskozimetreler (a) koni-levha (b) eşeksenli silindir	25
Şekil 4.2	Koni ve plaka viskozimetre	26
Şekil 4.4	Pistonlu ekstrüderin kesiti.....	28
Şekil 4.4.a	Bir tüpteki laminar akışın sürülme hızı	29
Şekil 4.4.b	Poiseuille akımında hız ve kayma gerilimi gradyanları	29
Şekil 4.5	170°C 'deki polietilenin akış eğrileri	30
Şekil 4.6	Kafa uzunluğuna bağlı olarak oluşan basınç kayıpları	32
Şekil 4.7	Odun Kompozitlerinin farklı kılcal çaplardaki akış eğrileri	33
Şekil 4.8	Eriyik İndeksini ölçmek için kullanılan aparat	34
Şekil 4.9	Farklı moleküler ağırlığa sahip doğrusal zincirli polimerler için kayma oranı – viskozite eğrileri	35
Şekil 4.10	Yarı kristal bir malzemenin viskozite-sürülme hızı grafiği.....	36
Şekil 4.11	Amorf bir malzemenin viskozite-sürülme hızı grafiği	36
Şekil 4.12	Polistirenin (PS) akış eğrileri.....	37
Şekil 4.13	Çeşitli parametrelerin malzemelerin akış davranışlarına etkileri	38
Şekil 4.14	Molekül ağırlığı dağılımının viskoziteye etkisi.....	39
Şekil 5.1	Farklı malzemelerin viskozite- kayma oranı arasındaki ilişki (carreau modele göre).....	41
Şekil 5.2	Logaritmik ölçekli 180 °C'deki Polostirenin Ps(Δ) Newtonien ve Ps(\bullet) Power Law modeline göre viskozite ve kayma oranı grafiği.....	42
Şekil 5.3	Viskozite-kayma oranı arsındaki ilişki bölgelere ayrılması	42
Şekil 5.4	Viskozitenin – kayma oranına göre değişimi : P Power law model , C Carreau	

model, M modifiye Cross model	43
Şekil 5.5 180 °C LLDPE için viskozite-kayma oranı ve kompleks viskozite – frekans arasındaki ilişki	44
Şekil 6.1 Boru içinde sıvı parçası	45
Şekil 6.2 Paralel plakalar arasındaki sıvı parçası	48
Şekil 6.3 Daire şeklindeki durumda akış	51
Şekil 6.4 Boru içindeki akış	51
Şekil 6.5 Boru üretimi için kullanılan silindirik annüler bölge içindeki akışın hız ve momentum profilleri	56
Şekil 6.6 Silindirik kabuk üzerindeki akışkanın kuvvet ve momentum dengesi	57
Şekil 6.7 Power law akışkanı için annülüs bölgede geçen debi bulmak için gerekli $F(s,\kappa)$ grafiği	61
Şekil 6.8 Konik kanalda akış	62
Şekil 7.1 Odun kompozitlerin ve HDPE'nin kayma viskozitesi ve kayma oranı grafiği	65
Şekil 7.2 Düz boruda akış	66
Şekil 7.3 Konik sistemde enerji kaybı- uzunluk arasındaki ilişki	71
Şekil 7.4 Konik sistemde basınç kaybı- uzunluk arasındaki ilişki	71
Şekil 7.5 Farklı sıcaklıklardaki HDPE için enerji kaybı – uzunluk ilişkisi	72
Şekil 7.6 Farklı sıcaklıklardaki HDPE için enerji kaybı – uzunluk ilişkisi	72
Şekil 7.7 63/55 Annüler boruda kayma oranı-viskozite ilişkisi	73
Şekil 7.8 700/600 Annüler boruda kayma oranı-viskozite ilişkisi	74
Şekil 7.9 110' luk ekstrüder kafası	75
Şekil 7.10 Basınç kaybı – debi ilişkisi	120
Şekil 7.11 Enerji kaybı – debi ilişkisi	121
Şekil 8.1 Amut marka ekstrüderin kafa takılmış hali	122
Şekil 8.2 Ekstrüderin silosu	123
Şekil 8.3 Ekstrüderin ekranı	123
Şekil 8.4 Ekstrüzyon makinesinin gövdesi	124
Şekil 8.5 Ekstrüder kafasının sökülmiş hali	125
Şekil 8.6 Ekstrüder kafası takılı - sökülme halde harcanan enerji değerleri	126
Şekil 8.7 Deney ve hesaplarda çıkan enerji kaybı değerlerinin karşılaştırılması	127
Şekil 9.1 Deney sonuçlarının formüle edilmesi	129

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Artan viskoziteli bazı maddeler	18
Tablo 3.2 Bazı prosesler için kayma hızı değerleri.....	23
Tablo 3.3 Çeşitli malzemelerin viskoziteleri	24
Tablo 6.1 Paralel plaka basınçlı akış.....	64
Tablo 6.2 Dairesel kanalda basınçlı akış.....	64
Tablo 7.1 Odun kompozitleri için güç kanunu sabitleri.....	65
Tablo 7.2 Düz boruda akışta odun kompozitleri için değerler.....	67
Tablo 7.3 Odun kompozitleri için değerler	67
Tablo 7.4 HDPE için çözümler	69
Tablo 7.5 63/55 Annüler die için viskozite hesabı.....	73
Tablo 7.6 700/600 Annüler die için viskozite hesabı.....	74
Tablo 7.7 % 40 Mapple için 50 Kg/h için çözümler.....	76
Tablo 7.8 % 40 Mapple için 100 Kg/saat için çözümler.....	78
Tablo 7.9 % 40 Mapple için 500 Kg/saat için çözümler.....	81
Tablo 7.10 % 60 Mapple 50 Kg/saat için çözümler.....	84
Tablo 7.11 % 60 Mapple 100 Kg/saat için çözümler.....	87
Tablo 7.12 % 60 Mapple 500 Kg/saat için çözümler.....	90
Tablo 7.13 % 40 Pine 50 Kg/saat için çözümler	93
Tablo 7.14 % 40 Pine 100 Kg/saat için çözümler.....	96
Tablo 7.15 % 40 Pine 500 Kg/saat için çözümler.....	99
Tablo 7.16 % 60 Pine 50 Kg/saat için çözümler.....	102
Tablo 7.17 % 60 Pine 100 Kg/saat için çözümler.....	105
Tablo 7.18 % 60 Pine 500 Kg/saat için çözümler.....	108
Tablo 7.19 180 °C HDPE için 50 Kg/saat çözümler.....	111
Tablo 7.20 180 °C HDPE için 100 Kg/saat çözümler.....	114
Tablo 7.21 180 °C HDPE için 500 Kg/saat çözümler.....	117
Tablo 7.22 Yukarıda yapılan çözümlerin sonuçları	120
Tablo 8.1 Deney değerleri.....	125

ÖNSÖZ

Plastikler giderek artan ve sürekli geliştirilmeye çalışılan günümüz sanayisinin parlayan yıldızıdır. Günümüzde malzeme ve makinelere talepteki artış performans açısından çok daha güvenilir ekipmanların üretimine neden olmaktadır. Temel olarak plastik üretimi bir bilim olarak değil de diğer üretim tekniklerinden (metal veya cam gibi) etkilenecek ortaya çıkan bir sanat olarak gelişmiştir. Bu da polimer malzemenin akış özelliklerinin ilk zamanlarda tam olarak anlaşılmasına neden olmuştur. Bununla birlikte kullanımdaki artış kendi teknolojisine benzer ürünlere göre çok daha hızlı olmuştur. Bir çok üretim metodu üniform, konik veya dikdörtgen kesitteki akışla gerçekleşmekte. Bu çalışmada plastik kalıplarında akış karakteristiği incelenmiş harcanan enerji ve basınç kaybı değerleri bulunmuştur. Ayrıca bu konuyla ilgili olarak MATLAB'TA bir yazılımda geliştirilmiştir.

Bana bu alanda çalışma fırsatı veren değerli hocam Doç. Dr. Ahmet KOYUN'A, MİCROSAN firmasına özellikle Taner SARUL'A ayrıca çalışmamda bana deney yapma imkanı veren BERKE PLATİK'E, Sacit BEYENAL'A ve fabrika çalışanlarına, çalışmalarım esnasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve değerli arkadaşlarım Ümit DEMİREL, Defne YILMAZ ve Onur YENİLMEZ'E teşekkürlerimi bir borç bilirim

Saygılarımla
Recep YILMAZ
2007

ÖZET

Plastik malzemelerden imal edilmekte olan çeşitli parça ve mamuller günümüzde otomotivden beyaz eşyaya, oyuncaktan elektronik sektörüne kadar tüm alanlara girmiş ve yoğun bir kullanım alanına sahip olmuştur. Böylesine çok talep edilen bir mühendislik malzemesi olması dolayısıyla, plastiğin biçimlendirilme yöntemleri üzerinde yoğun araştırmaların yapılması bir zorunluluk haline gelmiş ve günümüze kadar bu alanda büyük gelişmeler kaydedilmiş bulunmaktadır. Halen bu gelişmelerin sürdüğü; sık sık yeni malzeme türlerinin lanse edildiği ve plastik malzeme üretim prosesleri ile parça ve profil imalatında aşamalar kaydedildiği bilinmektedir.

Ergimiş plastiğin akış davranışının teorik olarak belirlenmesi ve akış davranışının simülasyonu için gerekli olan viskozite ve yoğunluk değerleri kayma hızı, sıcaklık ve basınca bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, Carreau, Cross, Cross-WLF ve Power Law viskozite modelleri kullanılarak viskozite değerleri elde edilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıplarında, kalıp boşluğu içerisinde ergimiş plastiklerin akışının matematiksel modellenmesi, akış burnu hareketlerinin tayini ve basınç, hız ve sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi için kullanılan temel denklemler türetilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, ergimiş plastiklerin akışı ile ilgili temel denklemlerin detaylı olarak elde edilmesi, sayısal analizi, dikdörtgen ve dairesel bir kalıp boşluğu içindeki akış simülasyonunun yapılmasıdır.

Anahtar sözcükler: Viskozite, Kayma Gerilmesi, Kayma Oranı, Enjeksiyon Basıncı, Reoloji

ABSTRACT

Many pieces and products made of plastic materials are used nowadays in every sector from electronics, automotive to toys and has possessed a very intense using field. As it is requested much as an engineering material, researches on plastic processing methods has become an asset and up to day many developments has been observed.

In injection molding, to determine the flow behavior theoretically and to simulate the flow, the variations in viscosity and density can be calculated via by the shear rate, temperature and the pressure. In this study, viscosity is obtained by using Carreau, Cross, Cross-WLF and Power-Law viscosity model

In the injection molds, the governing equations that describe the flow front of a polymer melt and form of the pressure, velocity and temperature distribution have been derived for the mathematical modeling.

The goal of this study is to obtain the governing equations for molten plastics in detail and numerical analysis and flow simulation of molten plastic in rectangular and circular tube mould cavity.

Keywords: Viscosity, shear stress, shear rate, injection pressure, reology

1. GİRİŞ

Ergimiş termoplastik malzeme viskoz sıvıların ve elastik katıların kombinasyonu olan viskoelastik bir davranış sergilemektedir. Viskoz sıvının akışı esnasında sarf edilen enerji, öncelikle elastik katıda enerji depolanmasına ve daha sonrada deformasyona neden olmaktadır. Bu esnada, malzemenin ekstrüder içindeki iç ve dış sürtünmeleri ile viskoz ısınma meydana gelmektedir. Ergiyik halindeki termoplastik kalıp içerisinde akarken ergiyiğin tüm molekülleri birbirlerine göre kayma ve uzama akışları sergileyerek bir akış tabakası meydana getirmektedir. Moleküller kendi aralarındaki kayma dayanımlarını yenerek, birbirlerinin üzerinden kaymak suretiyle akış olayını gerçekleştirmektedir. Burada kayma gerilmesinin τ , kayma gerinim hızına $\dot{\gamma}$ oranı viskozitenin bir tanımı olmaktadır. Uygulanan enjeksiyon basıncı artarsa, hız da artacağından kayma gerinim hızı $\dot{\gamma}$ ve kayma gerilmesi τ artacak ve buna bağlı olarak malzeme sıcaklığı da yükselecektir. Bu kez yükselen sıcaklıktan dolayı enjeksiyon basıncında düşmeler meydana geleceğinden, kalıbı tam olarak doldurup parçanın ölçü ve biçim stabilitesini sağlayabilmek için daha yüksek enjeksiyon ve tutma basınçlarının ve tutma sürelerinin uygulanmasına ihtiyaç doğacaktır. Dolayısıyla enjeksiyon parametrelerinin tümü ile ilgili düzenlemeleri plastiğin viskoelastik davranışı tayin etmiş olmaktadır. Genelde, polimer malzemelere uygulanan imalat yöntemlerinin tümü, ısıtma, şekillendirme ve soğutma olmak üzere üç ayrı kademeyi kapsamaktadır. Plastik malzemelerin bir çoğu içinde, üniform dairesel, konik formlar da veya çok ince dikdörtgen kesitlerdeki, matrislerden akış prosesinin gerçekleştirmekte. Bu yüzden söz konusu matris kanallarından Newtonien akış ile ilgili olarak plastiklerin akışını tanımlayan ilk teori geliştirilmiş daha sonra viskozite modellerinden güç kanunu kullanılarak bu formlarda akış denklemleri elde edildi. Bu denklemler MATLAB'TA akış formlarına göre küçük bir paket program haline getirildi.

Çalışmanın amacı plastik malzemelerin reolojik özellikleri ve etkilerinin ele alınarak kalıp içerisindeki Ergiyik malzemenin viskoz akışı incelenmiştir. Ayrıca kafa boyunca sürtünmeden dolayı oluşan basınç kaybı ve enerji kaybı elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

REOLOJİ

Reoloji, malzemelerin deformasyon ve akış özellikleri ile ilgili bir kavramdır. Genel anlamda tüm malzemeleri kapsar. Momentum ve enerji ile ilgili akış ve deformasyon prosesleriyle yakından bağlantılı olduğu için, mekanik bilimi ile de ilişki içindedir. Reolojinin amacı, malzemelerin özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamayı sağlamaktır. Reoloji kavramı, bize verilen problemin doğru formüle edilmesini sağlar. Reolojik davranış iki uç örneği, Newtonian (completely viscous) ve Hooken (completely elastic) malzemeleridir. Buda mekanik biliminin iki ana dalını oluşturur: Akışkanlar Mekaniği ve Katılar Mekaniği (Mukavemet). Reolojistlerin esas uğraşları; Newton Akışkanları ve Hooken elastikleri değil, her ikisine ait özelliklerin bir arada bulunduğu viskoelastik malzemelerdir.

Reoloji sözcüğü Yunanca rheo (akış) ve logy (bilimi) sözcüklerinden türemiştir. Maddelerin akış davranışları bilimi anlamına gelir. Bir başka deyişle Reoloji, katıların deformasyonu ve sıvıların akışını inceler.

2.1 Reolojik Özellikleri

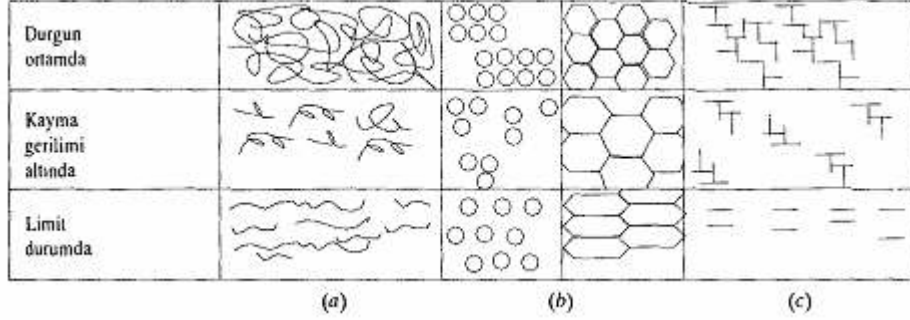
Dış kuvvetlerin etkisi altında akışkanın nasıl davranacağı tümüyle moleküler yapısına bağlıdır. Basit, küçük moleküllerden oluşan akışkanların uğradığı deformasyon $\gamma (= dx/dy)$, kayma gerilimiyle doğru orantılıdır. Kuvvet sürekli olarak uygulandığı zaman, yaratılan hız gradyanı $\gamma' (= dV/dy)$ de kayma gerilimiyle doğru orantılı olarak değişir:

$$\tau = \eta \gamma' = \mu (dV/dy)$$

Uygulanan kayma gerilimiyle içinde yaratılan hız gradyanı arasında doğrusal ilişki bulunan akışkanlar **Newton akışkanları** olarak tanımlanır. Su, hava, benzin, alkol, gliserin gibi birçok basit akışkan Newton akışkanı kapsamına girer. Ancak akışkanlar her zaman basit moleküllerden oluşmayabilir. Örneğin, polimer çözeltileri, polimer eriyikleri çok karmaşık yapıda moleküllerden oluşan akışkanlardır. Karmaşık moleküler yapıya sahip çözelti ve eriyiklerle, katı veya sıvı olarak birden fazla fazdan oluşan çok fazlı akışkanların bu davranışı Reoloji bilimi kapsamına girer ve en fazla araştırılan alanlardan biridir. Reoloji, Newton kuralına uymayan akışkanların kayma gerilimine karşı davranışının incelenmesini, ölçülmesini ve modellenmesini kapsar.

2.2 Akışkanın Yapısının Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Kayma gerilimi altında polimerler gibi çok uzun moleküllerin, kil/su gibi katı- sıvı karışımlarının ve yağ/su emülsiyonları gibi sıvı-sıvı karışımlarının kayma gerilimi altında uğradıkları değişim Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.2’de, nişasta polimerleri ile kil tabakalarının elektron mikroskobu altında, emülsiyonların optik mikroskopta gözlenebilen görüntüleri verilmiştir.



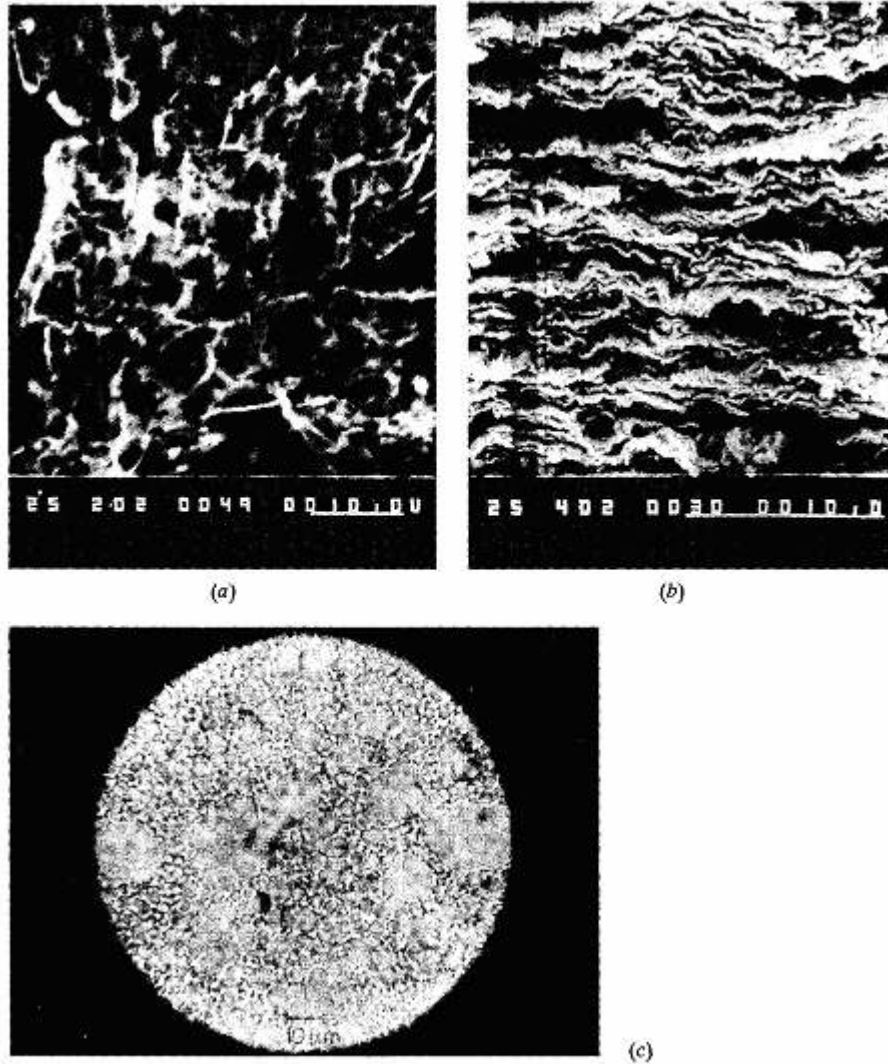
Şekil 2.1 Durgun ortamda ve kayma gerilimi altında (a) polimerlerin (b) emülsiyonların ve (c) kil karışımlarının yönelimi.

Eğer akışkanı oluşturan moleküller veya damla, tane gibi birimler arasındaki etkileşim kuvvetleri büyükse, akımın sağlanabilmesi için akışkanın önemli oranda deformasyona uğratılıp bu birimlerin arasındaki ikincil bağların koparılması ve birimlerin serbest hale getirilmesi gerekir. Bu deformasyonu yaratarak akımı sağlayan gerilime **eşik kayma gerilimi** denir. Eşik değerinin üzerinde bir kayma gerilimi uygulandığında akışkan **plastik davranış** gösterir. Akışkana bu değer altında bir gerilim uygulanırsa, akışkan **elastik davranış** gösterir.

Kuvvet uygulanan süre içinde “akışkan” deforme olur; kuvvetin etki yönüne göre basınç veya kayma gerilimi altında yönelimi değişen kimyasal bağlardaki gerilme “bağ” enerjisi olarak depolanır. Kuvvet ortadan kalktığı anda, kimyasal bağlar tekrar minimum enerji konumuna döner ve “akışkan” eski şeklini alır. Eğer bağların bir kısmı kopuyor ve bir kısmı tekrar oluşabiliyorsa akışkan **viskoelastik** özellik gösterir: Kuvvet şeklinde uygulanan mekanik enerjinin ancak bir kısmı akıma (kinetik enerjiye) dönüşür, diğer bölümü önce bağ enerjisi (potansiyel enerji) şeklinde depolanır; kuvvet ortadan kalkıp bağlar minimum enerji konumuna dönünce, depolanan enerji ısıya dönüşür. Akım başladıktan sonra koparılan bağların eski (minimum enerji) konumlarına dönmesi zaman alıyorsa, akışkanın direnci uygulanan deformasyonla azalır (**tiksotropik akışkanlar**). Akışkan üzerine uygulanan kuvvet akışkanın yapısını değiştirerek daha fazla sayıda moleküler grup veya yapı birimlerinin ortaya

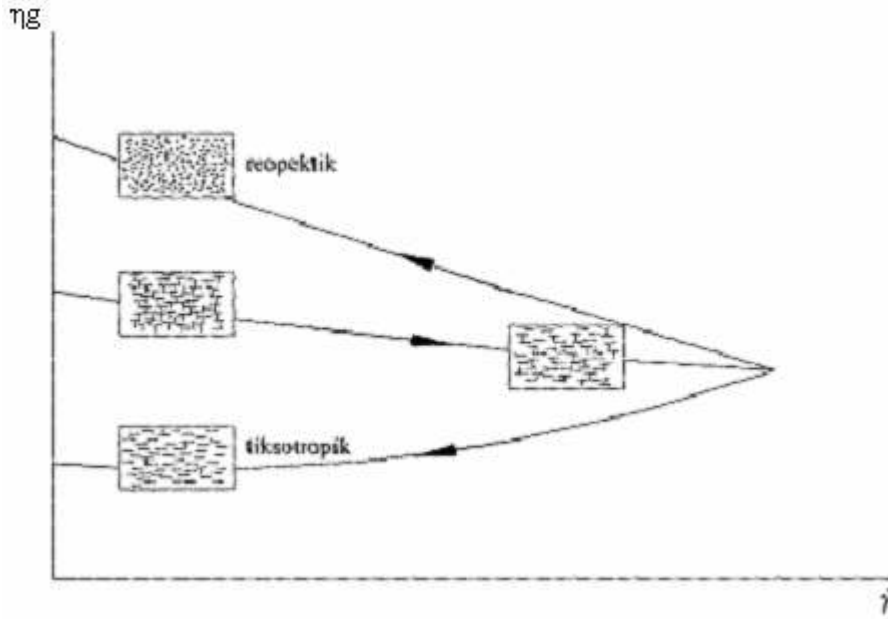
çıkmasına neden oluyorsa, akışkanın direnci uygulanan deformasyonla artar (**reopektik akışkanlar**).

Reolojik davranış biçimlerini, Şekil 2.3'te görülen kil/su karışımlarının deformasyon hızına ($\dot{\gamma}$) karşı çizilen viskozite η_g eğrileri üzerinde açıklayabiliriz. Şekil 2.2(b)'de görüldüğü gibi, kil taneleri tabakalardan oluşan pul şeklindedir. Bu pulun kenarları (+) yüklü, geniş yüzeyleri (-) yüklüdür. Bu elektrostatik yükler, Şekil 2.1(c)'de görüldüğü gibi kilin su içinde üç boyutlu bir yapı oluşturmasına neden olur. Kil konsantrasyonu fazlaysa bu üst yapının yıkılabilmesi için bir eşik kayma geriliminin aşılması gerekir.



Şekil 2.2 (a) Nişasta granüllerinin, (b) kil karışımlarının ve (c) emülsiyonların mikroskop altında görünümü.

Kayma gerilimi altında bu yapı çöker ve deformasyon hızı (örneğin, kili karıştırma hızı) artırıldıkça taneler önemli ölçüde paralel hale gelir. Erişilen bu noktadan sonra deformasyon hızı tekrar azaltılırsa yapı iki türlü değişim gösterebilir. Kil, Na katyonları içeriyorsa yüksek kayma gerilimi altında kil taneleri tabakalara ayrışır, sayıca çoğalır; bu durumda karışımın viskozitesi ilk değerine göre artış gösterir (repektik davranış). Seyreltik karışımlarda olduğu gibi, hızı azalsa da deformasyon uygulaması süresince kil taneleri paralel hale gelmeye devam ederlerse, kilin



Şekil 2.3 Kil karışımlarındaki yapının deformasyon hızıyla değişimi.

viskozitesi ilk değerine göre azalma gösterir (tikotropik davranış). Bu nedenle, kil-su karışımları koşullara bağlı olarak, Bingham plastiği, tiksotropik veya repektik davranış gösterebilirler.

Polimer moleküllerinin belkemiğini oluşturan hidrokarbon zincirlerinin uzunluğu çok fazla, moleküler ağırlıkları merteye olarak $10^4 - 10^6$ [kg/kmol] aralığındadır. Polimer, bağ enerjilerini minimum düzeyde tutabilecek şekilde rast gele büklümler veya granüller halinde durur [2.1(a) ve 2.2(a)]. Polimer zincirinin kendi parçaları içinde veya diğer moleküllerle arasında oluşan Van der Waals kuvvetleri (hidrojen bağları) bu rasgele konumun bozulmasına karşı direnç gösterir. Çözelti içinde polimer konsantrasyonu arttıkça, polimer zincirleri bir ağ yapısı oluşturur. Şekil 2.1(a)'da şematik olarak gösterilen bu moleküler ağ yapısı, akışkanın kayma gerilimi altındaki davranışını birçok yönden değiştirebilir: (1) Uygulanan kayma gerilimi fazla değilse, ağ yapısı akıma karşı direnç gösterir ve akmaz. Moleküller arasında

kalan boşluk kayma gerilimi veya basınç altında molekülün esnemesine müsait olduğundan, ağ yapısı elastik özellik gösterir: Uygulanan kuvvet ortadan kalktığında polimerler yeniden eski şekillerine dönerler. (2) Akım ancak, polimerler arasındaki karşı bağları koparmaya yetecek düzeyde bir τ_0 eşik kayma gerilimi değeri aşıldıktan sonra başlar. (3) τ_0 değerinin üzerinde bir kayma gerilimi uygulanırsa, yumak şeklinde duran polimer zincirleri açılır ve kayma gerilimi yönüne paralel hale gelir. Moleküllerin paralel olarak yönelimi akıma karşı direnci önemli ölçüde azaltır. Çözeltinin viskozitesi kayma gerilimine veya eşdeğer olarak deformasyon hızına bağımlı hale gelir.

Polimerlerin davranışına örnek olarak nişasta verilebilir. Nişasta doğal halde granüller halinde bulunur. Nişasta-su karışımlarında, su granüllerin içine yayılarak polimer zincirleri arasına girer ve granülleri şişirir. Granüllerdeki hacim artışıyla orantılı olarak viskozite artar. Şekil 2.2(a)'da görüldüğü gibi, granüller birbirine değecek kadar şişerek bir üstyapı oluşturduğunda nişastanın reolojik özelliği değişir. Daha fazla su ve ısı etkisiyle granüllerin içinde bulunan amilaz ve amilopektin polimerleri çözülür ve granüller yapı Şekil 2.1(a)' görüldüğü gibi polimerlerin oluşturduğu ağ yapısına dönüşür. Bu durumda nişasta çözeltisi jelleşir, eşik kayma gerilimi ve viskoelastik özellikler gösterir.

Şekil 2.1(b)'de görülen emülsiyonlarda da iç faz oranı arttıkça damlalar arasında kümeleşme görülür. Kayma gerilimi altında bu kümeler dağılır. Emülsiyon tiksotropik özellik gösterir. İç fazın hacimsel yüzdesi, %74'ü aşınca, Şekil 2.2(c)'de görülen emülsiyon içinde polihedral damlalardan oluşan bir ağ yapısı meydana gelir. Bu durumda emülsiyon, tiksotropik özelliğinin yanı sıra, eşik kayma gerilimi ve viskoelastik özellikler de kazanır. Çok fazla bekleyen emülsiyonlarda damlalar birleşerek büyür, emülsiyonun eşik kayma gerilimi düşer, davranışı Newton akışkanlarına yaklaşır. Emülsiyon tekrar kayma gerilimine tabi tutulursa, yeni damlalar oluşur, emülsiyon yeniden yapılanır. Bu gibi durumlarda reopektik özellikler de gözlemlenebilir.

2.3 Temel Reolojik Terminoloji

Terminolojiyi tanımlamak için bir model kullanabiliriz: A kesit alanlı, araları maddeyle doldurulmuş iki paralel plaka düşünelim (Şekil 2.4)

Üstteki plaka u hızıyla alttaki plaka da u hızıyla hareket etsin.

2.3.1 Kesme Gerilmesi

Maddenin deformasyonunu ifade eder ve

$$\gamma = dx/dy.$$

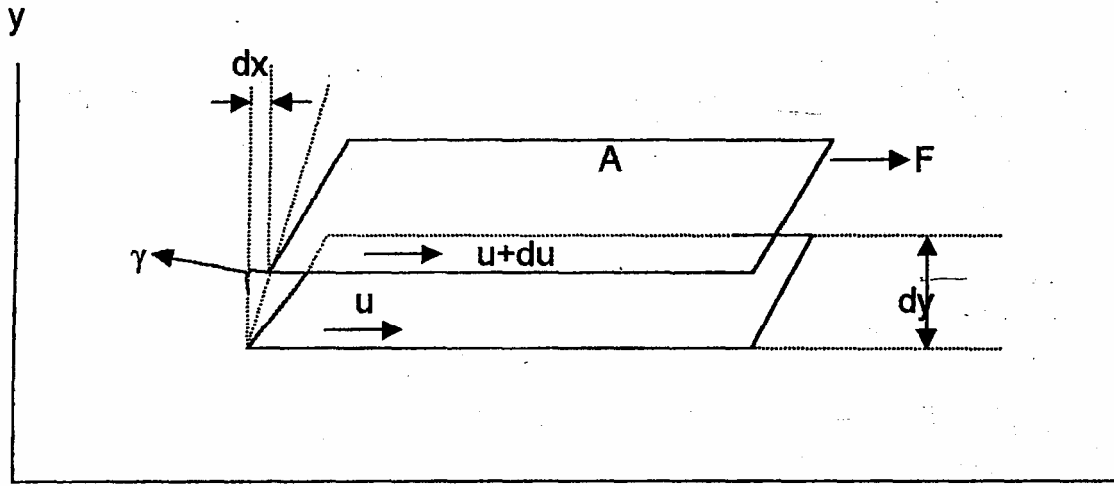
şeklinde tanımlanır.

2.3.2 Kesme Hızı

Deformasyon hızıdır ve

$$\gamma' = d/dt (\gamma) = du/dy \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

Şeklinde tanımlanır. Bu yüzden iki plaka arasındaki hız dağılımı şeklinde de tanımlanır.



Şekil 2.4 Paralel plakalar modeli

2.3.3 Kayma Kuvveti

Maddeyi iki plaka arasında kaydırmak için (A kesit alanlı) düzleme etki

Eden kuvvettir ve

$$\tau_{xy} = F/A \text{ (dyne/cm}^2\text{)}$$

Şeklinde tanımlanır.

2.4 Kesme Kuvveti ile Kesme Hızı veya Zaman Arasındaki İlişki

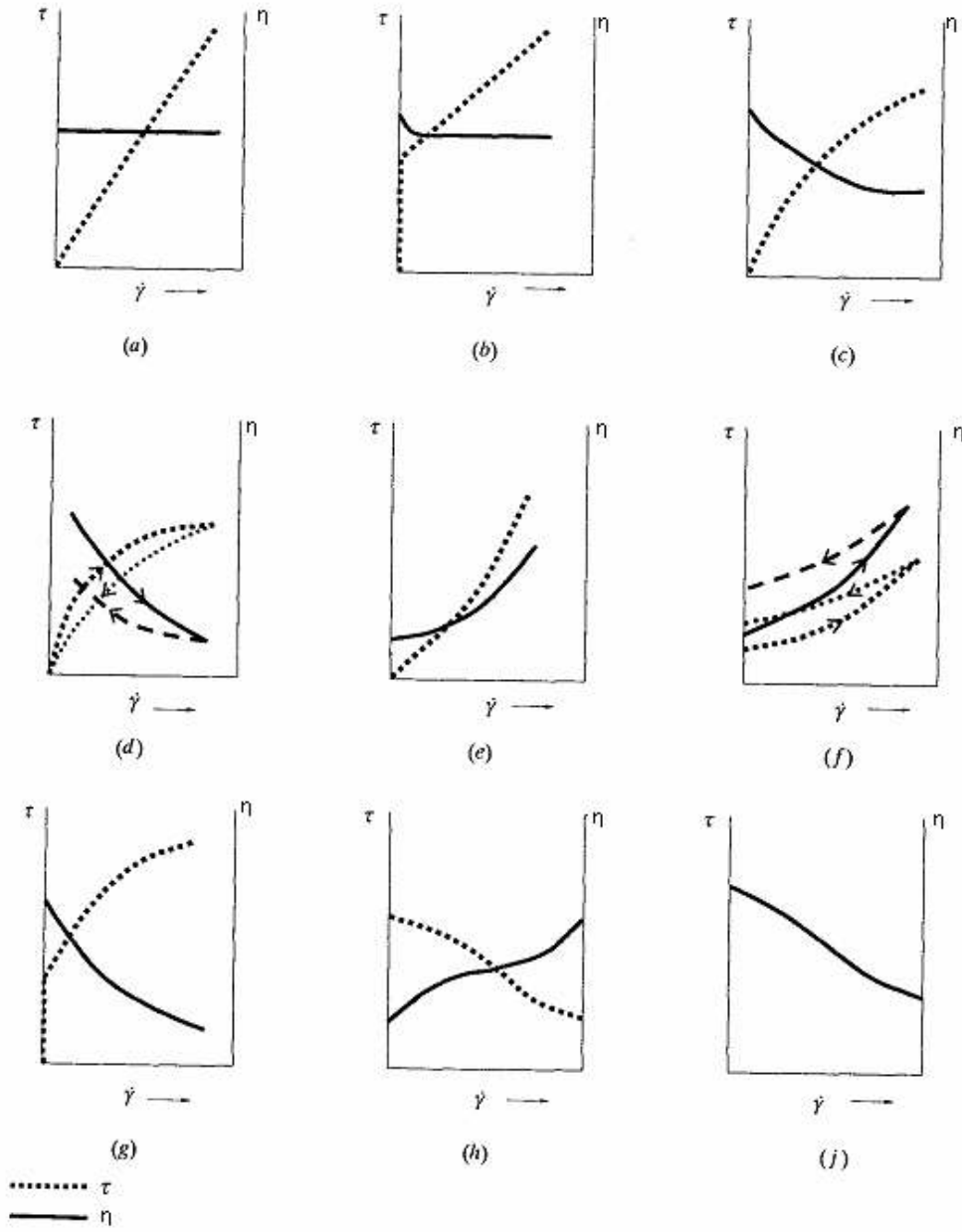
Değişik maddeler, kesme kuvvetinin kesme hızı veya zaman cinsinden fonksiyonlarına göre sınıflandırılabilir. Değişik akışkanlar aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Newtonian Akışkan: Viskozite kesme hızından bağımsızdır. Bir başka deyişle, kesme kuvvetinin kesme hızına oranı (viskozite) sabittir

Psödoplastik Akışkan: Viskozite kesme hızının bir fonksiyonudur, kesme hızı arttıkça viskozite azalır.

Dilatant: Bu tip maddelerde kesme hızı arttıkça viskozite de artar.

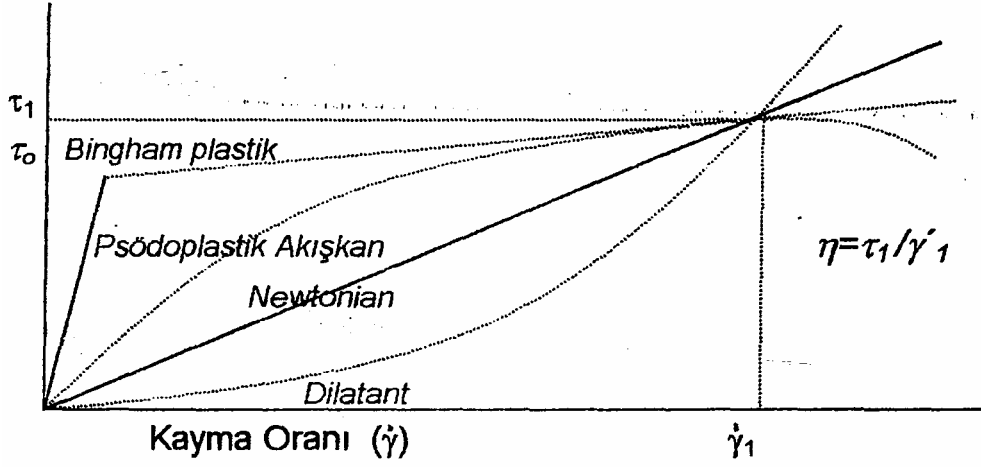
Bingham Plastiği: Bu tip akışkanlar psödoplastikler gibi davranırlar ancak, maddenin akmaya başlaması için uygulanması gereken bir başlangıç gerilimi (τ_0) vardır. Bu, sıfır kesme hızındaki kesme kuvveti olarak açıklanır. Şekil 2.6'da kesme kuvveti ile kesme hızı arasındaki ilişki grafiksel olarak görülmektedir. Yine Şekil 2.6'da görüldüğü gibi farklı akışkanların görünen viskoziteleri birbirinin aynısı olabilir, bu yüzden reolojik özelliklerin gerçek üretim şartlarındaki kesme hızlarında ölçülmesi gerekmektedir.



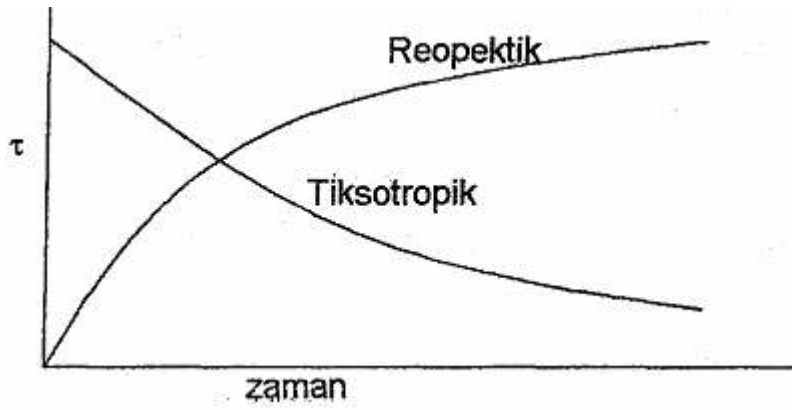
Şekil 2.5 Akışkanların kayma gerilimi (noktalı çizgiler) ve viskozitelerinin (siyah çizgiler) deformasyon hızıyla değişimlerine tipik örnekler: (a) Newton akışkanı, (b) Bingham plastiği, (c) sahte plastik akışkan, (d) tiksotropik akışkanlar, (e) Dilatant akışkanlar, (f) reopektik akışkanlar, (g) Herschel-Bulkley modeline uyan akışkanlar, (h) Casson modeline uyan akışkanlar, (j) Cross modeline uyan akışkanlar.

Tiksotropik Akışkan: Bu akışkanın viskozitesi zamana bağlıdır, yani sabit kesme hızında zaman arttıkça viskozite azalır.

Kayma Gerilmesi (τ)



Şekil 2.6 Farklı materyaller için kayma gerilmesi ile kayma oranı arasındaki ilişki



Şekil 2.7 Kayma gerilmesi ile zaman arasındaki ilişki

Reopektik Akışkan: Bu tip akışkanlarda sabit kesme hızında zaman arttıkça viskozite de artar. Şekil 2.7 tiksotropik ve reopektik malzemeler için kesme kuvveti ile zaman arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

2.5 Reolojik Özellikler

Polimer işleme, tasarım, formülasyon ve alaşımlama ile yakından ilgili 4 ana reolojik özellik mevcuttur. Bunlar viskozite, elastisite, kayma ve sıcaklık duyarlılığıdır.

2.5.1 Viskozite

Viskozite (η) belirli bir kesme hızı ve sonucunda ortaya çıkan kesme kuvveti altında sıvının akmaya karşı gösterilen iç dirençtir. Kesme kuvveti (τ) ile kesme hızının ($\dot{\gamma}$) oranı olarak tanımlanır. Yalnızca viskoz özellik gösteren bir sıvıya Newtonian veya ideal viskoz madde denir. Newton yasası ile ifade edilir.

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Viskozite, CGS ve SI sistemlerinde aşağıdaki birimlerle kullanılır:

CGS	SI
$\tau = \text{dyne/cm}^2$	$\tau = \text{Newton/m}^2 = \text{Pa}$
$= \text{dyne/cm}^2 \text{ sec}^{-1}$	$\eta = \tau/\dot{\gamma}$
$= \text{dyne sec/cm}^2$	$= \text{Pa sec}$
$= \text{poise} = 100 \text{ cp}$	$= 1000 \text{ mPa sec}$
	$= 1000 \text{ cp}$
	$= 10 \text{ poise}$

2.5.2 Elastisite

Maddenin deformasyon sonrası orijinal şekil ve boyutunu geri kazanma eğilimi özelliğidir. Eğer gerilme uygulanan kuvvetle orantılı ise madde Hookean veya ideal elastik davranış gösteriyor denir. Hooke kanunu ile temsil edilir:

$$\tau = G \dot{\gamma}$$

Burada G elastisite modülüdür.

2.5.3 Viskoelastisite

Hem viskoz hem de elastik özellik gösteren maddelerin karakteristik özelliğidir. Bu tip maddeler ne tam olarak sıvı ne de tam olarak katıdır. Viskoelastik bir katı, birbirini takip eden tüm geçmiş şekillerini anımsar. Viskoelastik bir sıvı ise tüm şekilleri unuttur. Bu viskoelastik davranış “silly putty” denen bir silikon polimerinde görülür. Katı bir yüzeye çarpıp sıçradığında, sıçrama öncesi sahip olduğu potansiyel enerjinin çoğunu geri kazanarak elastik bir davranış sergiler. Duvara yapıştırıldığında ise deformasyonu geri döndürmek için çok az bir eğilim göstererek yavaşça duvardan aşağı akar.

2.5.4 Kesme Duyarlılığı

İşlenen maddenin kesme duyarlılığının iyi bilinmesi önemlidir çünkü sistemdeki polimere uygulanan aşırı kesme kuvveti, polimerin yapısının bozulmasına sebep olur bu da son ürünün mekanik özelliklerini etkiler.

Çok yaygın olarak kullanılan kuvvet yasası modeli, polimer malzemelerin kesme duyarlılığını karakterize etmek için sıklıkla kullanılır.

$$\tau = m\gamma^n$$

Burada m, viskoz sabit, n de kuvvet yasası indeksidir. Kuvvet yasası indeksi polimerin kesme duyarlılığını gösteren parametredir.

Kuvvet yasası denklemine uygun davranan sıvılara kuvvet yasası sıvısı denir n indeksi, $\log \tau$ 'ya karşı $\log \gamma'$ veya $\log \tau$ 'ya karşı $\log \eta$ grafiklerinin eğiminden elde edilir.

Her iki tarafın logaritması alındığında $\log \tau = \log m + n \log \gamma'$ şeklini alır.

Dolayısı ile n:

$$n = d(\log \tau) / (d \log \gamma')$$

Denklemin yardımı ile hesaplanır. Viskozite terimleri kullanıldığında ise:

$$\eta = m\gamma'^{n-1}$$

$$\log \eta = \log m + (n-1) \log \gamma'$$

$$n = 1 + d(\log \eta) / d(\log \gamma')$$

Şeklinde hesaplanır.

Newtonian olmayan akışlar kuvvet yasası indeksine göre aşağıdaki şekle göre sınıflanır.

$n = 0$ haddeden çekilebilen malzeme

$n < 0$ Psödoplastik malzeme

$n = 1$ Newtonian akışkan

$n > 1$ Dilatant akışkan

Şekil 2.8 ergimiş polimerin basınçlı bir sonsuz boruda hız profillerini gösterilmekte. Burada n değerine göre farklı akışkanların hız profilleri gösterilmiş $n=0$ viskoz olmayan sıvının akışını, $n=1$ ise newtonian sıvının akışını, $0 < n < 1$ arasındaki hız profilleri ise plastiklerin akış profillerini temsil eder.

Bu yüzden, n değeri 1'e yaklaştıkça malzeme kesmeye daha az duyarlı, 0'a yaklaştıkça daha fazla duyarlı denir.

2.5.5 Sıcaklık Duyarlılığı

Genel olarak sıcaklık arttıkça sıvıların viskozitesi azalır ve gazların viskozitesi artar. Bu da sıvı ve gazların akış mekanizmalarında temel bir fark olduğunu gösterir.

İşlenen malzemenin sıcaklık duyarlılığı hakkında bilgi sahibi olmak, polimerin daha iyi işlenmesine olanak sağlar. Eğer sıcaklığa duyarlı bir malzemeye sistem içinde uzun süre ısı verilirse, malzeme ısıl bozunmaya uğrar. Bu yüzden, ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesi sırasında ekipmanlarda optimum sıcaklık dağılımlarının seçilmesi ve eriyik sıcaklığının sürekli izlenmesi istenir.

Sıcaklığa duyarlılık, görünen akış aktivasyon enerjisi cinsinden ifade edilir. Viskoziteyi sıcaklıkta ilişkilendirmekte en çok kullanılan ifade Arrhenius denklemidir:

$$\eta = Ae^{\Delta E/RT}$$

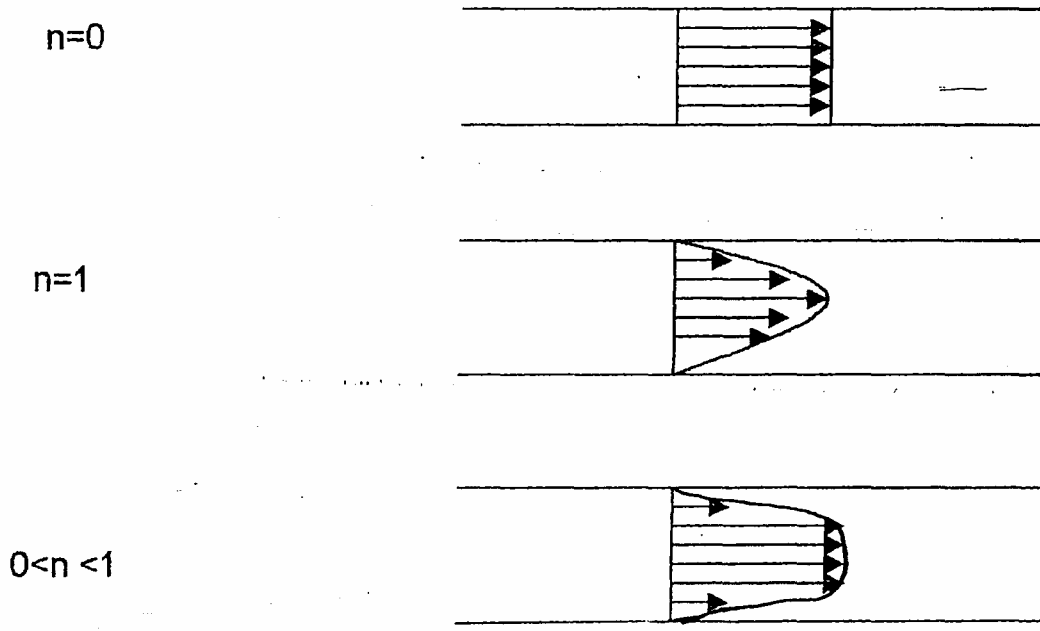
Burada; η = viskozite

ΔE = aktivasyon enerjisi

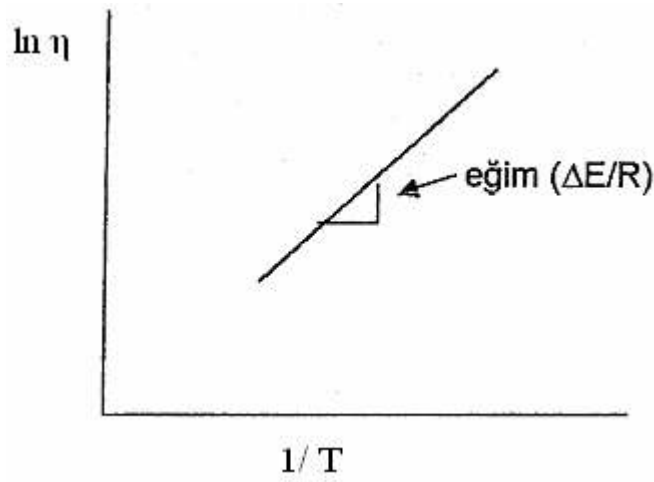
R = evrensel sabit

T = Kelvin derecesidir

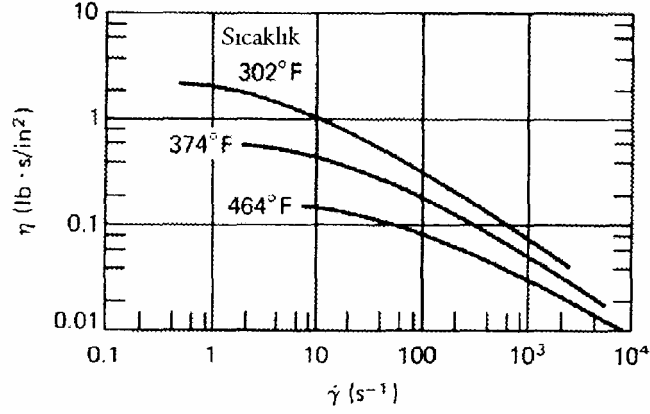
Şekil 2.9 sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisini gösterir. Aktivasyon enerjisi eğrinin eğiminden hesaplanır. Belirli bir sıcaklık aralığında aktivasyon enerjisi arttıkça polimerin sıcaklık duyarlılığı da artar.



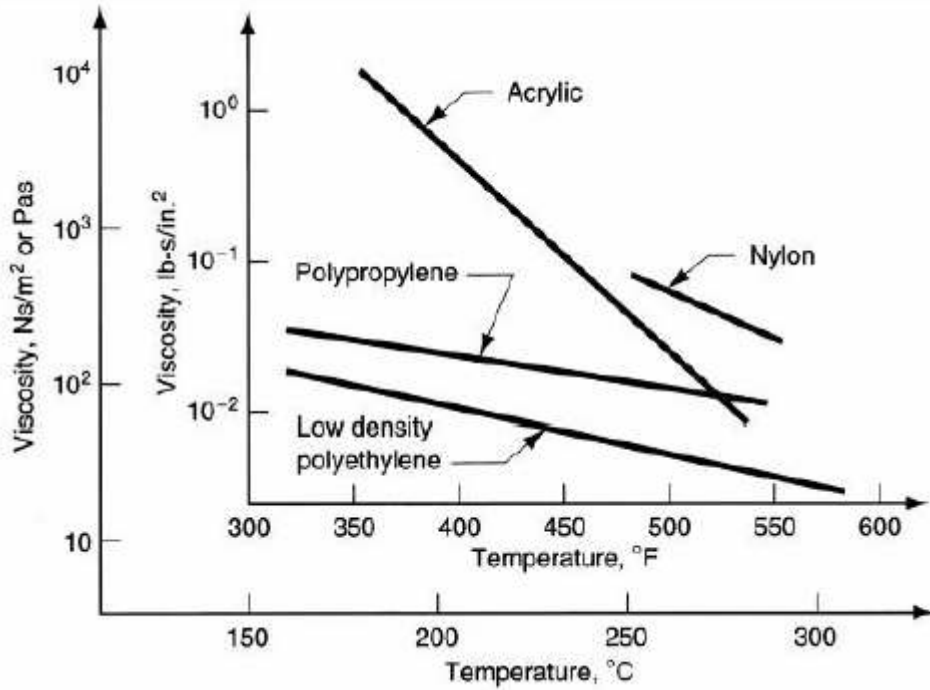
Şekil 2.8 Sıvı akışkanların basınçlı borudaki hız profilleri



Şekil 2.9 Viskozite ile sıcaklık arasındaki ilişki



Şekil 2.10 Sıcaklığın viskoziteye etkisi



Şekil 2.11 Bazı polimerler için viskozitenin sıcaklıkla değişimi. (kayma hızı 10^3 s^{-1})

Polimer eriyiklerinin çoğunda yüksek viskoziteden dolayı, akış esnasındaki sürtünme ısı açığa çıkmasına sebep olur ve eriyik sıcaklığı artar. Polimer eriyiklerinde açığa çıkan bu ısı, sistemde kullanılan kesme hızına bağlıdır. Bu sürtünme ısı (ΦV) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Newtonian olmayan akışkanlar için : $\Phi V = \tau \gamma'^{1+n}$

Newtonian akışkanlar için:

$$\Phi V = \tau \gamma'^2$$

Bu yüzden, kesme kuvveti ve kesme hızına maruz kalan polimer malzemedeki adyabatik sıcaklık artışı (C/sec):

$$dT/dt = \Phi V \rho / C_p$$

olur. Burada :

ρ = eriyik yoğunluğu

C_p = spesifik ısıdır. Bu yüzden ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesinde ekipmanlardaki akış hızının doğru seçimi de önemlidir.

2.5.6 Basınç Duyarlılığı

Bir sıvının viskozitesi aynı zamanda basınca bağlıdır ve basınç azaldıkça viskozite de azalır. Sıcaklık ve basınçla değişiminin, viskozitenin serbest hacim adı verilen temel bir özelliğe bağlılığının bir göstergesi olduğu düşünülür. Bu hacim ergimiş malzeme içinde moleküller tarafından doldurulmamış ve bu yüzden moleküllerin hareket edebilmesini kolaylaştıran bir boşluktur. Açıkça görülebileceği gibi serbest hacim ne kadar büyükse moleküllerin deformasyon oluşturmak üzere hareketi o kadar kolaylaşacak ve bunun sonucu viskozite düşecektir. Sıcaklığın yükselmesi ısıl genleşmeyi dolayısı ile de serbest hacmi artırır. Bu durum viskozitenin artan sıcaklıkla düşüşünü açıklamaktadır. Öte yandan basıncın artması malzeme içinde sıkışma yaratır ve bu da viskozitenin artması anlamına gelir. Polimerler çok fazla sıkıştırılabilir olmadıkları için serbest hacme bağlı olarak viskozitenin basınçla olan değişimi sıcaklıkla olan kadar önemli değildir. Cogswell sıcaklığa en duyarlı olan polimerlerin sıklıkla basınca da en duyarlı olduklarını gözlemlemiştir. Bu gözlem onu Aşağıdaki ifade ile gösterilen sıcaklık basınç denklik katsayısının tanımlamasına götürmüştür.

$$N_e = -(\Delta T / \Delta P)_\eta$$

Burada ΔT aynı miktarda viskozite azalmasını sağlayan basınç düşmesi ΔP ye karşı gelen sıcaklık yükselmesidir. Diğer bir deyişle malzemenin sıcaklığı - ΔT kadar değişirken basınçta

aynı anda ΔP kadar artarsa viskozite sabit kalır. Cogswell N_e 'nin bir polimerden diğerine çok büyük oranlarda değişmediğini ve bu değer PVC, naylon 66 ve PMMA için $3 \cdot 10^{-7}$ °C/Pa ve polipropilen için $8 \cdot 10^{-8}$ °C/Pa civarında olduğunu rapor etmiştir.

2.5.7 Moleküler Ağırlığın Etkisi

Hem viskozite değeri hem de viskozite eğrisinin şekli bir plastik malzemeden diğerine farklılık gösterir. Verilen bir polimer için η_0 sıfır kayma viskozitesi çoğu lineer, monodispers polimerlerde molekül ağırlığının 3,5. kuvvetiyle orantılıdır.

Bununla birlikte yüksek kayma oranlarında moleküler ağırlığın etkisi çok daha az etkilidir. Düşük kayma oranlarındaki Newton bölgesinden, üstel davranışın sergilendiği bölgeye geçişte bir viskozite eğrisi için ağırlık dağılımının etkisi düşük kayma oranlarında başlar ve daha geniş kayma oranları bölgesine kadar genişler. Dallanma da benzer bir etkiye sahiptir.

Bazı polimerler diğerlerine göre daha fazla Newton dışı bir davranış gösterirler. Örneğin $n=0,3-0,4$ olan polietilenler kayma oranına büyük oranda bağlı bir viskoziteye sahiptirler. Öte yandan polikarbonatlar, naylonlar ve polyesterler geniş bir kayma oranı bölgesinde Newton akışkanlığı gösterirler.

2.5.8 Dolgu Maddelerinin Etkisi

Dolgu maddeleri veya takviye amacıyla kullanılan fiberler reolojik özellikler üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olabilirler. Hacimsel olarak tipik %20-40 oranında bir katkı sonucu viskozite gözle görülür bir şekilde artar. Cam kürecikler ile takviye edilmiş polipropilenin kullanıldığı kalıp dolma davranışının test edildiği bir çalışmada cam küreciklerin viskoziteyi önemli miktarda arttırmasına rağmen kalıp boşluğu içindeki akış patenine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.

BÖLÜM 3

SIVILAR VE VİSKOZİTE

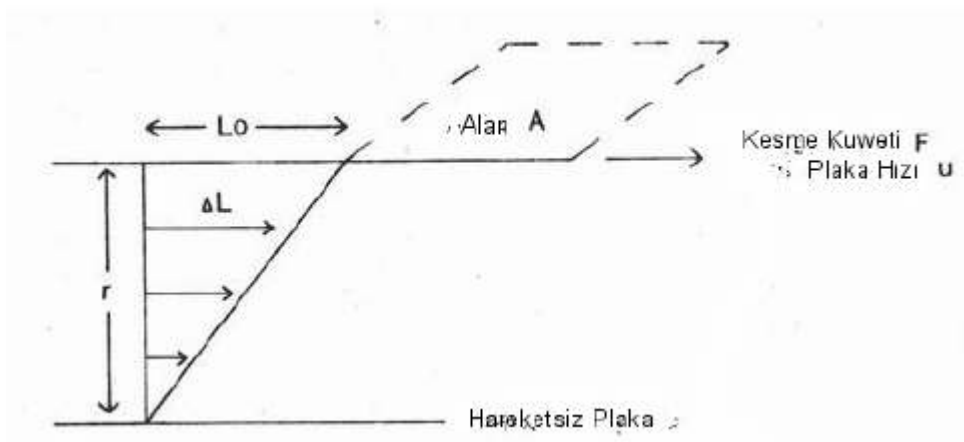
3.1 Temel Viskozite

Aşağıdaki tabloda birtakım bileşikler, artan viskozitelerine göre, listelenmiştir. Dikkat edilirse tabloda (3.1) aşağı doğru gidildikçe maddelerin daha ‘kıvamlı’ oldukları açıktır. Ancak bilimsel bir tartışma için ‘kıvamlı’ teriminden daha kantitatif olmak gereklidir. Ek olarak polimerler sistemlerinin hangi aralıkta yer alacağını da bilmek isteyebiliriz. Bu bilgiler bize, polimerlerin işlenmesinde bunların şekillendirilmeleri için gerekli kuvvetlerin büyüklükleri hakkında fikir verecektir.

Tablo 3.1 Artan viskoziteli bazı maddeler

<i>Madde</i>	<i>‘Kıvamlılık’</i>
Hava	Gaz
Su	Kolay akıcı sıvı
Zeytin yağı	Sıvı
Gliserin	Koyu sıvı
Katran	Akabilen katı
Cam	Rijit katı

Şekil 3.1 deki gibi, biri birinden uzaklığı r olan iki levha düşünelim.



Şekil 3.1 Viskozitenin Prensibi

Bunların arası bir sıvı ile dolu bulunsun. Levhalardan birisi diğerine göre U hızıyla hareket etsin. Bu hareket sıvıdaki viskoz bir tepki ile engellenmek istenir. Buradaki hareket bir kayma (shear) hareketi olduğuna göre buna tepki de kayma viskozitesidir (shear viscosity). Kayma gerilimi ise, hareket eden plakaya etki eden F kuvveti ve plakanın alanı A dan hesaplanabilir:

$$\text{Kayma gerilimi, } \tau = F/A \text{ Nm}^{-2} \quad (3.1)$$

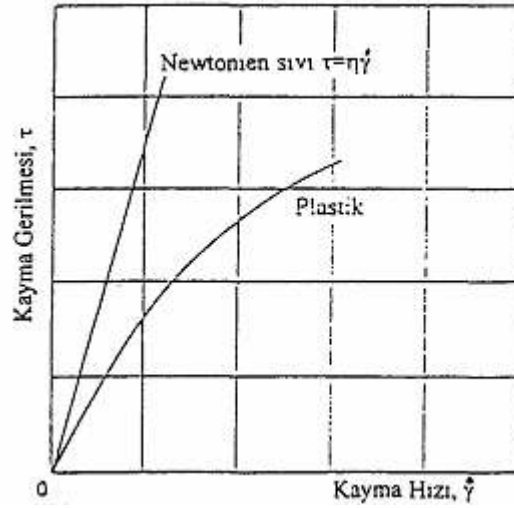
Kayma hızı ise L mesafesine bağlı olarak U hızından bulunur ve dolayısı ile bu bir türev büyüklüğüdür. Kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki orantı sabiti ise kayma (kesme) viskozite katsayısı η dır.

$$\text{Kayma (kesme) hızı, } \dot{\gamma} = U/L \text{ s}^{-1}$$

$$\tau \propto \dot{\gamma}$$

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

$$(3.2)$$



Şekil 3.2 Kayma hızı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki.

Artık bu büyüklük, 'kıvamlılık' veya bir sıvının viskozitesi gibi kantitatif kavramları tanımlamada kullanılabilir.

3.2 Viskozite Birimleri

Viskozite, şaşılacak kadar çok birimle ifade edilmektedir. Birçok kere ya bir sıvının belli bir hacminin akma hızının ölçülmesi veya çelik bir bilyenin, standartlaştırılmış şartlarda, söz konusu sıvının içinde belli bir mesafeyi kat etmesi zamanı olarak bulunur. Bu metotlar, her ne kadar kalite ve prosesin kontrolü için değerli iseler de viskoziteyi, sadece mukayese açısından, akma zamanı olarak meselâ 'saniye' biriminde verirler. Malzemelerin reolojik özelliklerinin daha temel incelenmesi için ise daha temel birimlere gerek vardır. SI sisteminde gerilme, birim alan başına kuvvet, Nm^{-2} , olarak verilir. Bu, Şekil 3.2 den de bellidir ki burada F kayma kuvveti A alanına etki etmektedir.

Kayma (kesme) hızı bir türev olup kesilen akışkanın hızının, r kalınlığı boyunca, değişmesi hızıdır. Bu hız, hareket etmekte olan plakanın hemen yakınında maksimum, hareketsiz plakanın hemen yakınında ise sıfırdır.

$$\dot{\gamma} = \frac{dU}{dr}$$

Buna göre kayma hızının birimi, hız / uzunluk = $U / L = \text{ms}^{-1} / \text{m} = \text{olur}$. Görüldüğü gibi bu birim, zamanın tersi şeklindedir ve genelde saniyenin tersi olarak verilir. Viskozite ise $\tau / \gamma = \text{N m}^{-2} / \text{s}^{-1} = \text{N s m}^{-2}$, metre kare başına Newton saniye şeklindedir.

$1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ Paskal}$ olduğu dikkate alınırsa viskozitenin birimi, Paskal saniye, Pa s, olarak anılır.

Viskozitenin CGS sisteminde birimi ise Poise dir. Bu birim de , benzer şekilde türetilmiş olup santimetre kare başına dyne saniye şeklindedir. Poise, P, ve bunun yüzde biri olan cP, teknik literatürde çok kullanılır. Poise ve Paskal saniye arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir :

$$10 \text{ Poise} = 1 \text{ Pa s ve cP} = \text{m Pa s (mili Pa s)}$$

3.3 Kayma Gerilimleri ve Kayma Hızları

Bir akışkanın işlenmesinde şekillendirme için söz konusu akışkan, uygun bir şekilde ve hızda hareket ettirilmelidir. Bunu sağlamak için gerekli girdi, malzemeye bir kayma (kesme) hızı uygulamaktır. Şimdilik malzemenin sabit bir özelliği olarak kabul edilecek olan viskozite yüzünden bu işlem sırasında karşı bir kayma (kesme) gerilimi oluşur .

Düşük moleküler ağırlıklar için su, gliserin gibi tek fazlı sıvılarda viskozite sıcaklığa ve basınca bağımlı, kayma oranından bağımsızdır. Bu tür akışkanlara Newton akışkanı denir. Bir Newton akışkanın viskozitesi sıcaklığın artması ile azalır ve basıncın artması ile de artar.

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Bir diğer deyişle, eğer η düşükse düşük değerlerdeki τ , yüksek $\dot{\gamma}$ değerlerine yol açacaktır.

3.4 Çeşitli Proseslerde Kayma Hızları

Konu ile ilgili tartışmalara girmeden evvel hemen belirtelim ki yüksek üretim miktarları için yüksek kayma gerilimleri gerekli değildir. Kayma hızı $\dot{\gamma}$, sadece akışkan elemanlarının yer değiştirme hızı ile ilgilidir. Tablo 3.2 da kayma hızları ile ilgili bazı değerler görülmektedir. Kayma hızı, prensip olarak, şekillendirme prosesinin, üretimin, hızından ziyade şekillendirmenin tabiatına, yani akışkanın şeklinin değiştirilmesi prosesi, ile ilgilidir.

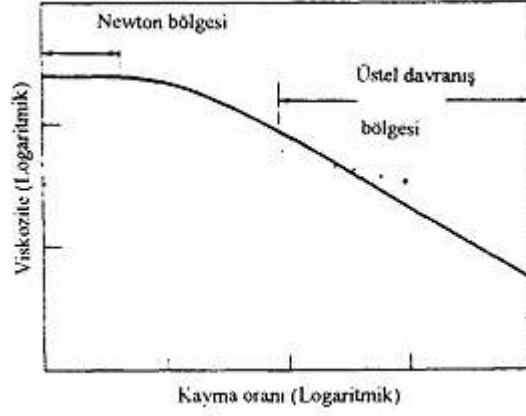
Ergimiş plastikler bir Newton akışkanından çok daha kompleks bir reolojik davranış gösterirler. Örneğin eğer yukarıda bahsedilen şekilde bir basit kayma deneyi yapılacak olursa viskozitenin sadece sıcaklığa ve basınca değil aynı zamanda kayma oranı $\dot{\gamma}$ ya da bağlı olduğu bulunur. Viskozite kayma oranı yükseldikçe düşer.

Çok küçük kayma oranlarında viskozite kayma oranından bağımsız hale gelir. Bu düşük kayma oranlarında ortaya çıkan sabit viskoziteye sıfır kayma viskozitesi veya düşük kayma oranı sınır viskozitesi denir ve η_0 ile gösterilir.

Eğer viskozite ve kayma oranı ikili bir logaritmik eksen takımında gösterilirse, yüksek kayma oranlarına karşılık gelen viskozite değerleri bir doğruya çok yakın bir şekilde düşüş gösterir.

Bu da viskozitenin kayma oranı ile olan bağlantısının, ampirik bir üstel ifade ile gösterilebilmesini sağlar.

$$\eta = m\dot{\gamma}^{n-1}$$

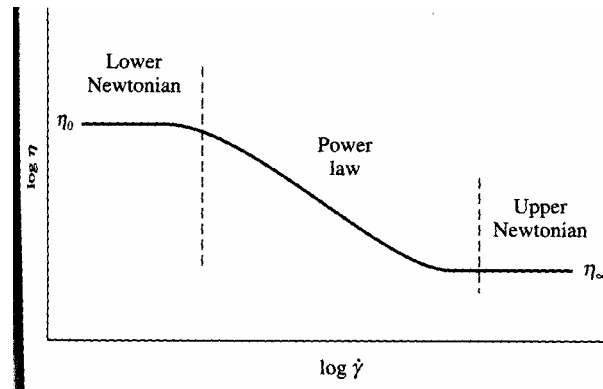


Şekil 3.3 Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi

Buradan kayma gerilmesi

$$\tau = m \cdot \dot{\gamma}^n \text{ elde edilir.}$$

Bir Newton akışkanı bu ifadenin $n=1$ özel haline karşılık gelmektedir. Ergimiş polimerler için n in 0.3 ile 1 arasında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4 Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi bölgeler ayrılması

Bu ifade ampirik bir denklemdir. Polimerlerin akış davranışları için değişik ampirik denklemler bulunmuştur.

Tablo 3.2 Bazı prosesler için kayma hızı değerleri

<i>Proses</i>	<i>Kayma Hızı (s^{-1})</i>
Kompresyon kalıplaması	1-10
Kalenderleme	10-100
Ekstrüzyon	100-1000
Enjeksiyon kalıplama	1000-10 ⁵
Ters merdane kaplama	3 x 10 ³

3.5 Polimer Sistemlerinin Viskoziteleri

Aşağıdaki tablo daha evvel verilen Tablo 3.1' in genişletilmiş bir şekli olup burada viskozite değerleri nümerik olarak girilmiştir. Tabloda Polimer sistemlerinin viskoziteleri için verilen değerler, bunların işleme sıcaklıklarındaki yaklaşık değerleridir. Dikkat edilirse polimerler için verilen viskozite değerleri çok geniş bir aralıkta dağılmışlardır. Su kıvamındaki latekslerden şurup kıvamındaki reçinelere, bonbon şekeri kıvamından hamur kıvamındaki kauçuklara kadar birçok viskozite söz konusudur. Dolayısı ile bu tür malzemelerin şekillendirilmesinde çok farklı kayma gerilimi sağlayabilecek proses ve makinelere gerek duyulacaktır.

Tablo 3.3 Çeşitli malzemelerin viskoziteleri

<i>Madde veya sistem</i>	<i>Viskozite (MPas)</i>	<i>Kıvam</i>
Hava	10^{-5}	Gaz
Su	10^{-3}	Kolay akıcı sıvı
Polimer lateks sistemi	$10^{-3} - 10^{-2}$	Sıvı
Zeytin yağı	10^{-1}	Sıvı
Boyalar (yağlı)	$10^{-2} - 10^{-1}$	Krem gibi
PVC plastisoller	$1 - 3 \times 10^{-1}$	Boya gibi
Gliserin	10	Kıvamlı sıvı
Cam elyaf kompozit reçinesi	50	Şurup kıvamı
Akide şeker şurubu	10^2	Şurup
Sıvı poliüretanlar	$10^2 - 10^3$	Şurup
Polimer eriyikleri	$10^2 - 10^6$	Bonbon
Kauçuk (kürlenmeden evvel)	$10^2 - 10^6$	Yoğun plastiğimsi
Kalıplama bileşikleri	10^2	Hamur
Katran	10^9	Akabilen katı
Cam	10^{21}	Rijit katı

BÖLÜM 4

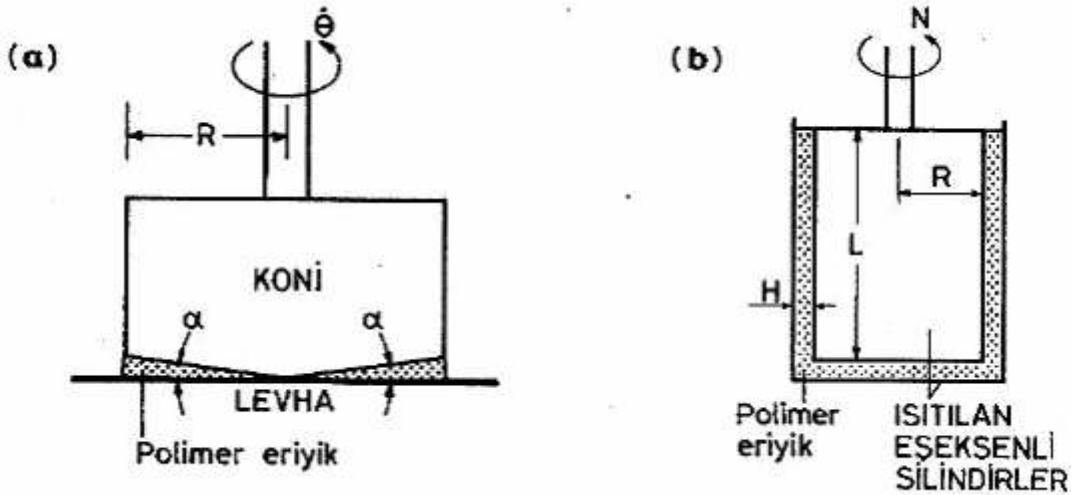
VİZKOSİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

4.1 Akışa Yönelik Bilgilerin Elde Edilmesi İçin Kullanılan Deneysel Yöntemler

Polimerik ürünlerinin elde edilmesi için genellikle polimerler ısıtılır, şekillendirilir ve soğutulur. Katı polimerlerin şekillendirilmesi için akıcı hale gelmesi sağlanmalıdır. Erimiş haldeki Polimer ise enjeksiyon, ekstrüzyon vb birçok teknikte basınç ile akıtılıp, şekillendirilir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi Polimer eriyiğinin akış özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Sıvının bir kısmının, diğer kısmının akışına karşı gösterdiği dirence o sıvının viskozitesi denir ve bu direnç viskozimetre ile ölçülür. Polimer eriyiklerinin akışı ile ilgili verilerin elde edilmesi için genellikle iki grup viskozimetre kullanılır.

Bunlar;

- 1- Dönmeli (rotasyonel) Viskozimetre
 - 2- Kapılar (kılcal) Viskozimetre
- şeklinde incelenirler.



Şekil 4.1 : Dönmeli viskozimetreler (a) koni-levha (b) eşeksenli silindir

4.2 Koni ve Plaka Viskozimetre

Bu aparatta, analiz edilecek plastik, ısıtılmış koni ile ısıtılmış plaka arasına yerleştirilir. Koninin tepesi yuvarlatılmış ve sivri olan kısmı plaka üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Koni ve plaka arasındaki açı küçüktür(5° 'den küçük)

Bu aparatın dezavantajı, gerilme hızlarını 10 ile 1 s^{-1} arasında sınırlamasıdır. Oysa ki plastik üretiminde gerilme hızları 10^3 ile 10^4 s^{-1} arasındadır.

Koni, plaka üzerinde döner ve bu durumda T gerekli olan tork, θ ise dönme açısıdır.

$$\text{Dairenin alanı} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$$

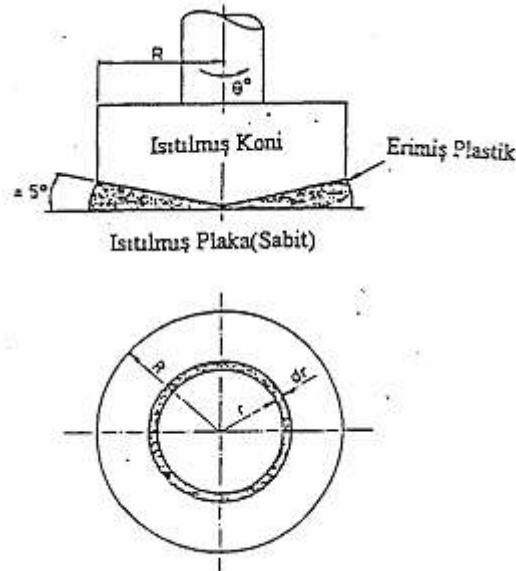
$$\text{Kuvvet} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \tau \cdot dr$$

$$\text{Tork} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \tau \cdot dr$$

$$\text{Toplam Tork, } T = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \tau \cdot dr$$

$$T = \left(\frac{2}{3}\right)\pi R^3 \tau$$

(4.1)



Şekil 4.2 Koni ve plaka viskozimetre

$$\begin{aligned} \text{Kayma uzaması,} \quad \gamma &= \frac{x}{h} = \frac{r\theta}{r\alpha} = \frac{\theta}{\alpha} \\ \text{Kayma hızı,} \quad \dot{\gamma} &= \frac{\dot{\theta}}{\alpha} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Viskozite,} \quad \eta &= \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \\ \eta &= \frac{3T}{2\pi R^3} \cdot \frac{\alpha}{\theta} \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.3 Eş-eksenli Silindir Viskozimetre

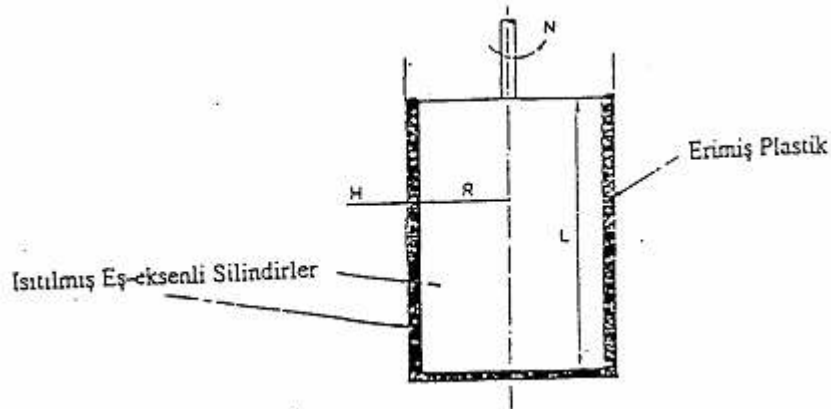
Bu aparatta polimer eriyiği, eş-eksenli silindirler arasında kesilir. İçteki silindirin dönmesini sağlayacak gerekli tork viskozitenin ve kayma hızının hesabı için gereklidir.

$$\text{Tork,} \quad T = 2\pi RL \cdot R \cdot \tau = 2\pi R^2 L \tau$$

$$\text{Kayma hızı,} \quad \dot{\gamma} = \frac{du}{dy} = \frac{2\pi RN}{H}$$

$$\text{Viskozite,} \quad \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{TH}{4\pi^2 R^3 LN}$$

Bir önceki durum gibi bu da düşük kayma hızları için geçerlidir.



Şekil 4.3 Eş-eksenli silindir viskozimetre

4.4 Kapılar Viskozimetre

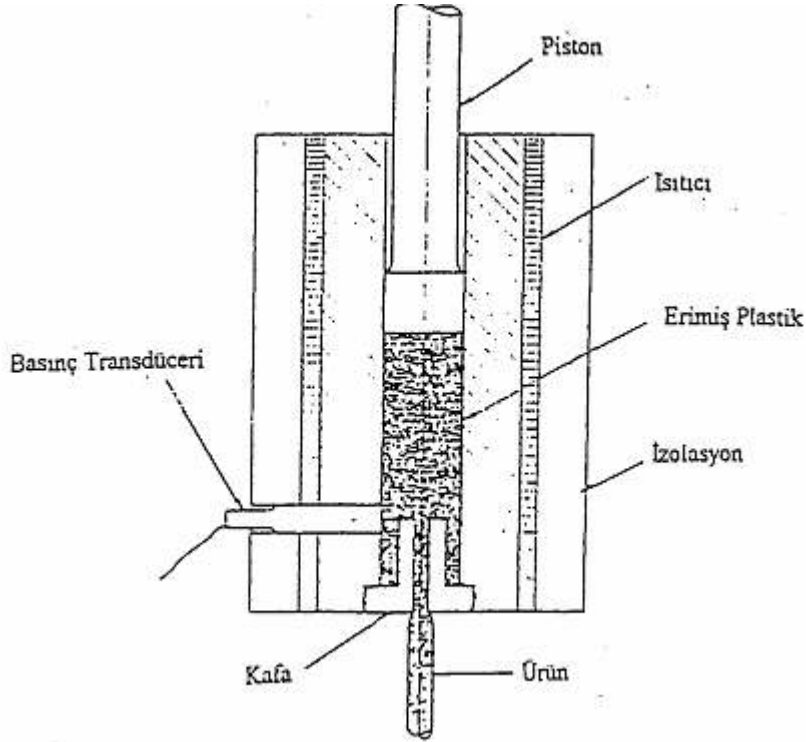
Bu aparatta test edilecek plastik, gövde içinde ısıtılır ve sonra şekil 4.4'de gösterildiği şekilde boru kafadan geçirilir. Normalde piston sabit bir debi(Q) temini için sabit hızda hareket eder. Böylece Newtonian akış ifadesinden kayma hızının hesaplanması mümkündür.

$$\dot{\gamma}_w = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

Sıvı Newtonien değilse gerçek kayma hızı ifadesinden ayırmak amacıyla bu ifadeye görünür kayma hızı denir. P, kafa boyunca meydana gelen basınç kaybı ise τ , kayma gerilmesi hesaplanabilir.

$$\tau = \frac{PR}{2L}$$

görünür kayma gerilmesi (*)



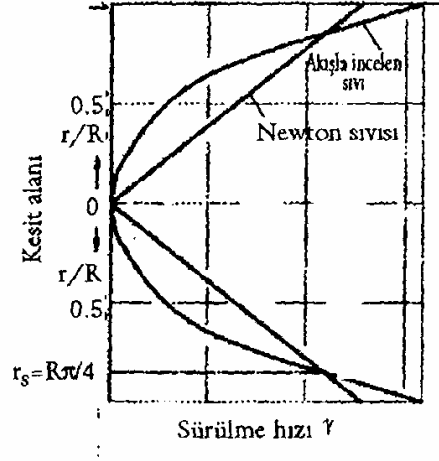
Şekil 4.4 Pistonlu ekstrüderin kesiti

Bu, görünür viskozitenin kayma gerilmesinin görünür kayma hızına oranı olduğunu da gösterir.

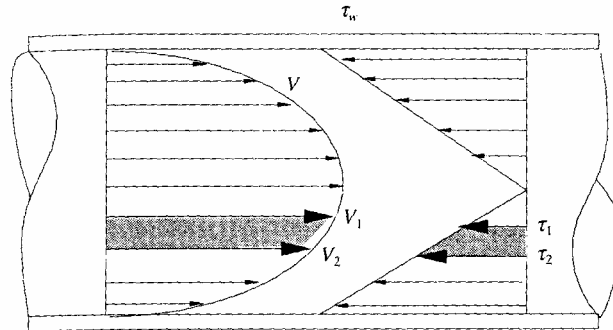
*Flow properties and entrance corrections of polymer melts by a mobile barrel capillary rheometer.
N. Sombatsompop, N.-T. Intawong,

$\tau_g = RP/2(L+NR)$ gerçek kayma gerilmesi. N kapılar çapına bağlı sabit. L kapılar boyu R ise kapılar çapı.(**)

$$\eta = \frac{\pi PR^4}{8LQ}$$



Şekil 4.4.a Bir tüpteki laminar akışın sürülme hızı

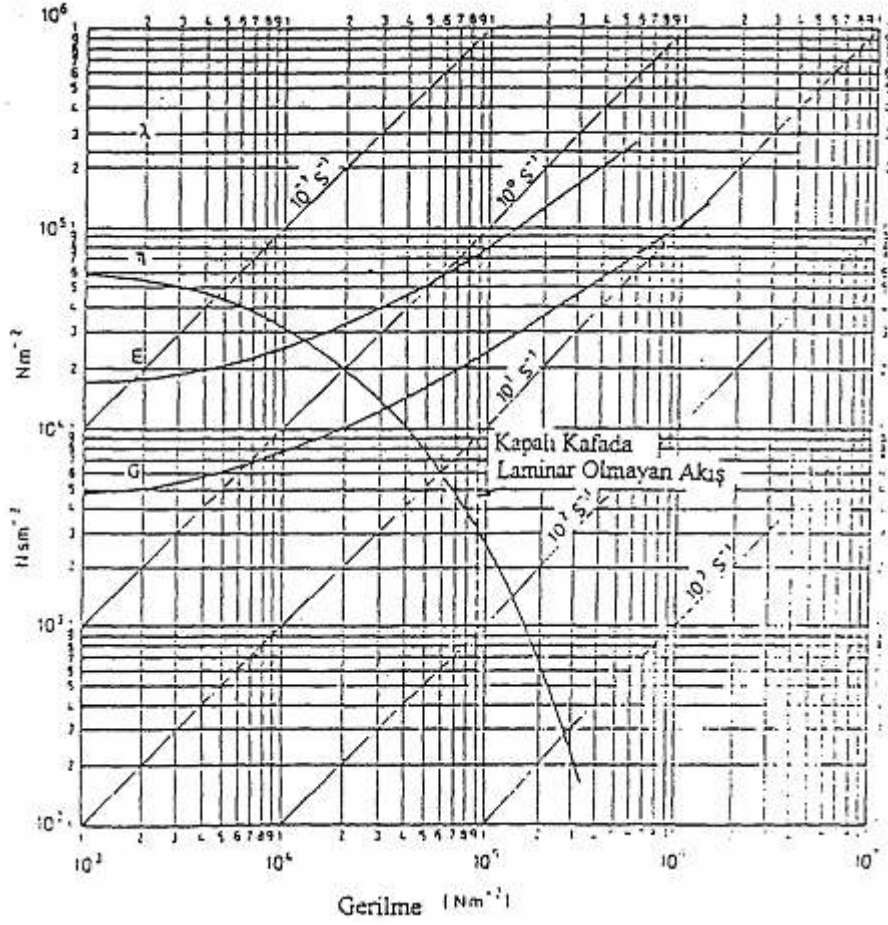


Şekil 4.4.b Poiseuille akımında hız ve kayma gerilimi gradyanları

Görünür viskozitenin kayma gerilmesine göre diyagramının çizilmesi şekil 4.5'de gösterilen şekli meydana getirir. Bazen bu ifade gerçek kayma hızı içinde geçerli olabilir. Aşağıdaki ifadeden;

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \frac{4Q}{\pi R^3}$$

**Flow properties and entrance corrections of polymer melts by a mobile barrel capillary rheometer.
N. Sombatsompop, N.-T. Intawong,



Şekil 4.5 170°C 'deki polietilenin akış eğrileri

Bununla birlikte, analiz edilen akışta gerçek kayma hızı dikkate alınması gereken bir husustur. Newtonian kayma hızı kullanılarak hesabı yapılan akış ile Newtonian kayma hızı arasında bağıntı varsa hata meydana gelmeyeceğinden tecrübeler ilave kompleks durumların ortaya çıkmadığını göstermiştir.

Döner viskozimetre gerçek kayma hızını verir ve eğer Newtonian akış eğrileri kullanılırsa, düzeltme faktörü $(4n/3n + 1)$ de uygulanmalıdır.

$(3n+1)$ oranı Rabinowitsch Düzeltme Faktörü olarak anılır ve Newtonian kayma hızlarının gerçek kayma hızlarına çevrimi için kullanılır.

Ayrıca incelen akışkanlar için Hagen-Poiseuille (4.4.b) eşitliği ile temsili değerler kullanarak viskozite ölçümleri yapılabilir. Bu durumda tüpün içinden elde edilen değerler duvarlardan elde edilen değerlerden daha önemlidir. Akış tüpünde, Newton ve akışla incelen sıvıların

sürülme hızlarının aynı olduğu noktalara temsili noktalar denir. Bu noktalar hemen hemen $r_s = \pi R/4$ olan bölgeye denk gelir (Şekil 4.4.a). Akışla incelen sıvının sürülme hızını bu noktalarda ölçüldükten sonra bilinen bir sürülme gerilimi ile gerçek viskoziteyi bulabiliriz.

$$V_z = \Delta P \cdot R^2 / 8L\eta \quad \text{Hagen-Poiseuille eşitliği.}$$

Bu testle ilgili olarak iki önemli nokta daha vardır. Birincisi, akış ile ilgili bilgiler boru tipi kafanın kullanılmasıyla elde edilir. Böylelikle farklı yapıdaki bir kafa kullanıldığında düzeltme faktörü kullanılır. Bununla birlikte, pratikte durumlar çok farklı değildir ve ciddi bir sorun ortaya çıkmaz.

İkincisi, yukarıdaki ifadedeki P basınç kaybı, kafa boyunca kayma nedeniyle oluşan bir kayıptır. Basınç kayıplarını kaydetmek için transdüserler kullanılırsa kafa girişinde oluşan tüm kayıp tespit edilebilir. Bu problem farklı uzunluklardaki veya kısalıktaki (teorik olarak 0) kafaların kullanımıyla giderilebilir. Farklı uzunluktaki kafalarda meydana gelen basınç kayıpları 0 uzunluktaki kafaya girişteki basınç kaybını belirlemek için hesap edilebilir. (Bkz Şekil 4.6) İkinci durumda bu basınç 0 uzunluktaki kafanın kullanımıyla doğrudan elde edilir. Bu, dikkate alınan uzunluktaki kafa üzerinde ölçülen basınç kaybından (P_L) çıkartılır.

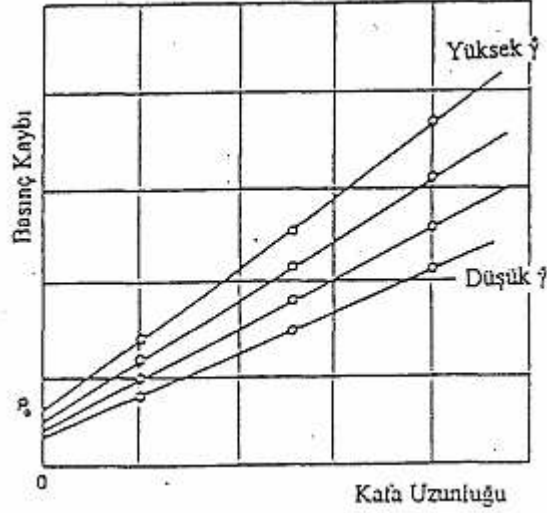
Buradan;

$$\tau = \frac{(P_L - P_0)R}{2L}$$

Ayrıca her iki testte de üründeki şişme ölçülürse, uzun kafanın kullanıldığı durumdaki şişme BSR ve kısa kafanın kullanıldığı durumdaki şişme BER olacaktır. Yukarıdaki eşitliklerinin kullanılmasıyla bunlar yeniden kazanılabilen uzamanın kayma ve çekme bileşenleri ile kayma ve çekme modüllerinin hesaplanabilmesini mümkün kılar.

Bu basit test ile şekil 4.5'de gösterilen akış bilgilerinin elde edilmesi mümkündür. Ayrıca kayma hızları tecrübelerle elde edilen ile de benzerlik gösterir. Eriyiğin sıcaklığı ve hidrostatik basıncındaki değişimler gerilme ve kayma viskozitesi üzerinde etkindir. Sıcaklıktaki yükselme viskozitenin düşmesine, basınçtaki yükselme ise viskozitenin de yükselmesine

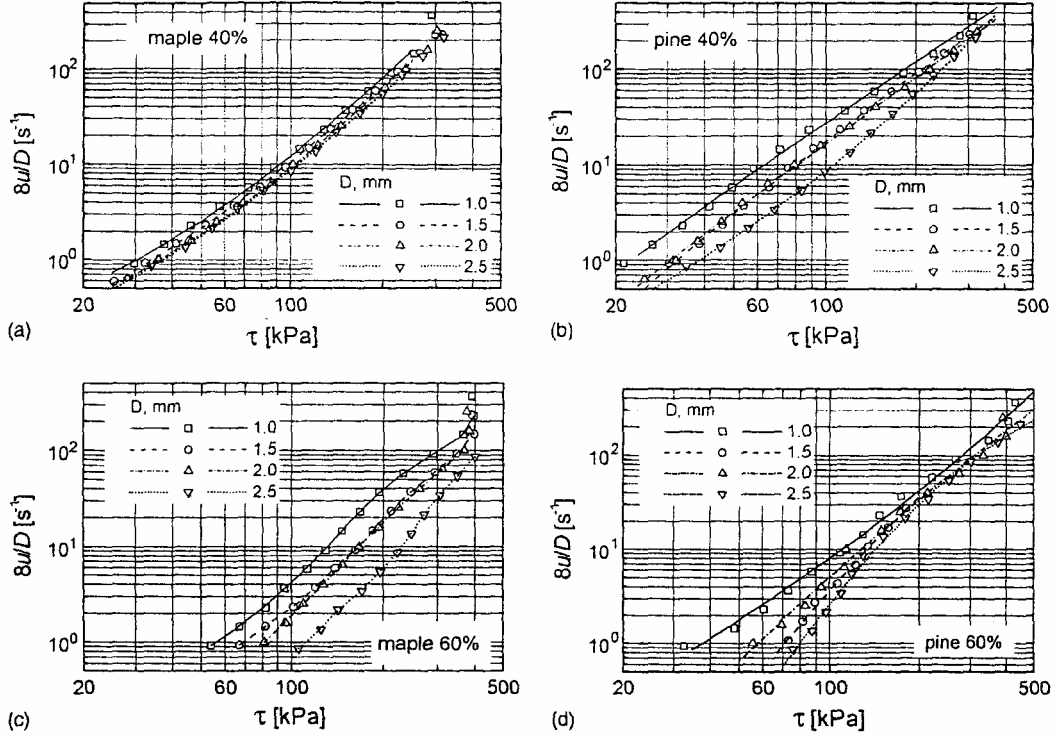
neden olur. Düşük yoğunluklu polietilenin sıcaklığının 40 °C'lik bir yükselme yaklaşık 3'lük bir faktörle viskozite eğrisini yatay olarak yükselmesine sebep olur. Kafa boyunca ilerlerken plastik eriyiğin sıcaklığındaki yükselme önemli olduğundan bu durum sürekli olarak kontrol altında tutulmalıdır.



Şekil 4.6 Kafa uzunluğuna bağlı olarak oluşan basınç kayıpları

Basıncın atmosferik basınçtan($=0.1 \text{ MN/m}^2$) 100 MN/m^2 değişmesi LDPE için yaklaşık 4 değerindeki bir faktörle viskozite eğrisinin yatay olarak yukarı çıkmasına neden olur. Bu etki, üretim aşamasında malzemenin nozullar, geçişler gibi muhtelif yerlerden geçerken basınç açısından değişikliklere maruz kalması açısından önemlidir. Bununla birlikte, basıncın yükselmesi veya düşmesi, sıcaklığın düşmesi ve yükselmesini etkiler ki bu durumda viskozite üzerindeki net etkisi ihmal edilebilir.

Katkı maddelerinin kullanılması gibi bazı diğer faktörler akış eğrisini etkiler. Pigmentler viskoziteyi yükseltici etki yaparlarken alev geciktiriciler kullanılıyorsa viskoziteyi düşürür.

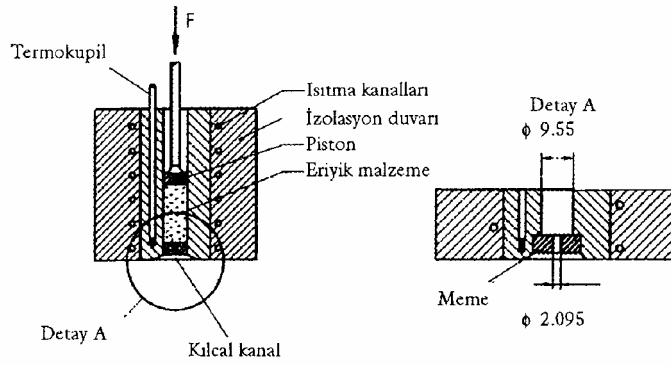
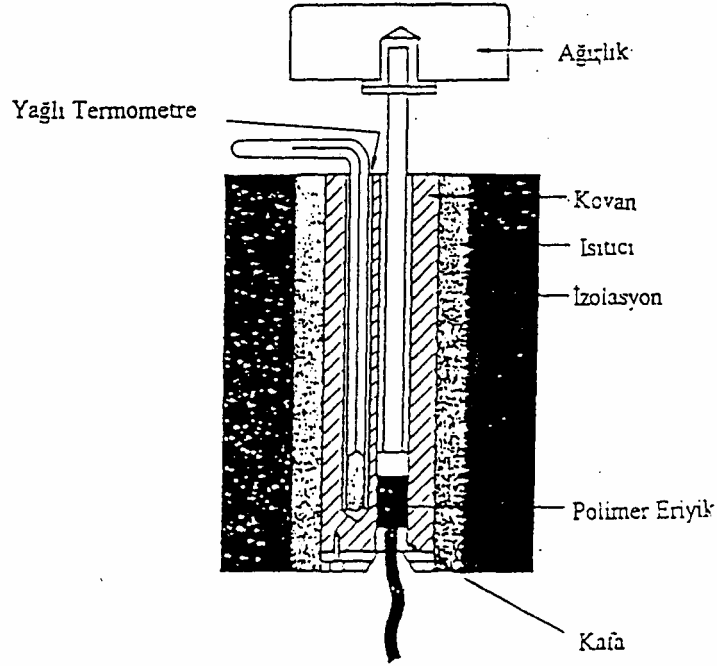


Şekil 4.7 Odun Kompozitlerinin farklı kılcal çaplardaki akış eğrileri

Şekil 4.7 'de bütün kompozitlerin eriyiklerin akışının çapa göre değiştiği görülmekte. Bu değişim odun kompozitlerin de daha çok kendini gösterir. Şekil 4.7'deki a) ve b) grafiklerini karşılaştırırsak pine bileşenlerinin çapa bağlılığı diğer % 40 odun bileşenlerine nazaran daha çok kendini gösterir. Mapple kompozitlerin de ise çapa bağlılığı % 40 -60 giderken artış gösterdiği anlaşılmakta.

4.5 Ergimiş Malzeme İndeksi (Melt flow Index)

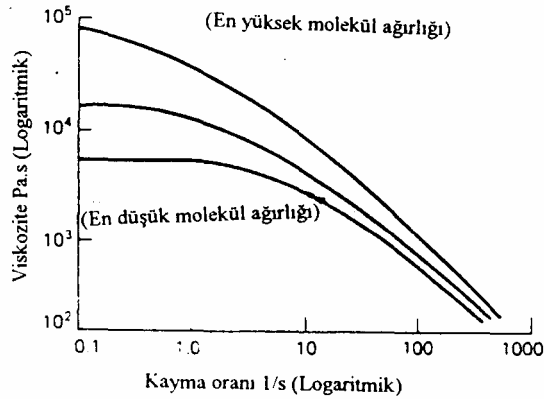
Viskozitenin geniş bir kayma oranı bölgesi içinde hassas olarak ölçülmesi oldukça sofistike kapılar reometreler ile yapılabilmektedir ve elde edilen verilerden $\eta(\dot{\gamma})$ eğrisini elde etmek sıradan bir işlem değildir. Kalite kontrol amacıyla bu yöntem yerine çok daha basit olan ergimiş malzeme indeksini ölçen donanımlar kullanılır. ASTM'nin D1238 standart test metoduna göre tanımlanmış prosedürde önceden belirlenmiş bir kuvvetle polimer 10 dakikalık bir zaman süresince belli bir şekle sahip bir kalıp içinden geçirilir. Ergimiş malzeme indeksi, bu süre içerisinde geçen malzeme miktarının gram cinsinden değeridir.



Şekil 4.8 Eriyik İndeksini ölçmek için kullanılan aparat.

Buradan açıkça anlaşılacağı gibi yüksek ergimiş malzeme indeksi akışa karşı gösterilen düşük direncin göstergesi olduğu için düşük viskozite anlamına gelir. Enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılan malzemeler genellikle kabuk veya şişirme ile kalıplanan malzemelere göre çok daha yüksek ergimiş malzeme indekslerine sahiptirler. Akmaya karşı gösterilen bu düşük direnç kalıp boşluğunun çabuk ve üniform bir şekilde dolması için istenen bir özelliktir. Örneğin enjeksiyon kalıplamada kullanılan polietilen genellikle 30-60 g/10 dak. indekse sahipken, film ve şişe uygulamalarında kullanılan polietilen 1-5 g/10 dak arasında indekse sahiptir.

Bununla birlikte ergimiş malzemenin viskozitesinin kayma oranı ile güçlü değişiminden dolayı, malzemeler karşılaştırılırken ergimiş malzeme indeksinin kullanımında dikkatli olunmalıdır. Ergimiş malzeme indeksi 10^{-20} s⁻¹ değerleri civarındaki kayma oranlarında ergimiş malzemenin akmaya karşı olan direncini ölçerken, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında meydana gelen kayma oranları 10^5 s⁻¹ değerleri arasındadır. Aynı gruptan plastik malzemeler (yani aynı genel şekle ve kesişmeyen viskozite eğrilerine sahip) karşılaştırılırken malzemelerin ergimiş malzeme indeksine göre sıralanmaları viskoziteye göre sıralanmaları ile aynı olacaktır. Bu durumda iken bile malzemeler arasındaki farklar sadece düşük kayma oranı bölgelerinde belirli bir şekilde ortaya konmuş olacaktır. (Şekil 4.9). Dahası eğer iki malzeme arasında moleküler ağırlık dağılımında önemli farklılıklar varsa gerçekte bu iki malzemenin viskozite eğrileri kesişebilir. Bu durumda ergimiş malzeme indeksine göre malzemeleri sıralamak kalıp içindeki akışın ölçülmesini kolaylaştırmak için uygun bir yöntem olmayabilir.



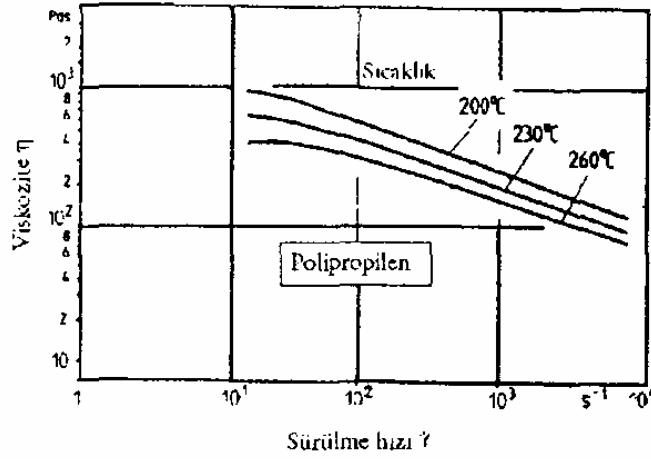
Şekil 4.9 Farklı moleküler ağırlığa sahip doğrusal zincirli polimerler için kayma oranı – viskozite eğrileri

Buradaki önemli nokta ergimiş malzeme indeksinin aynı gruptan malzemelerin sıralaması için uygun olması ancak malzemenin reolojik karakterinin tamamının tanımlanması için uygun olmamasıdır.

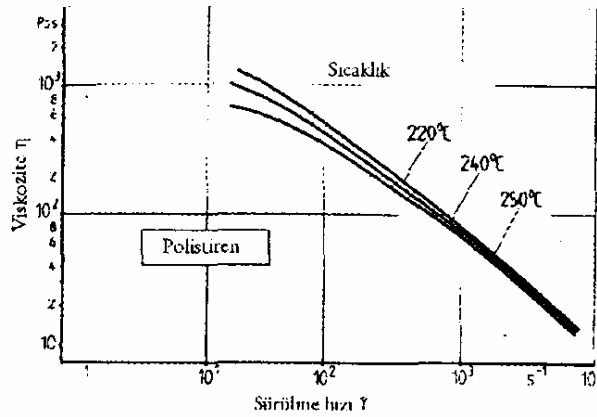
Bu testte, test kuvveti 3.19 N ile 121 N, test sıcaklığı ise 150° C ile 300° C arasında değişebilir. Akış indeksi eriyik malzemenin sadece belli bir çalışma özelliğini gösterdiğinden, bu aletle yapılan ölçümlerde test şartları açıkça belirlenmelidir. Aksi takdirde, değişik ölçüm neticeleri karşılaştırılmaz. Mesela, 190° C erime sıcaklığında 21.2 N kuvvete maruz kalan düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) akış indeksi $(190/21.2) = 7$ g/10 dak'dır.

Uzmanı için bir akış indeksi değeri malzemenin işlenebilirliği hakkında bilgi verir ama aynı akış indeksi sahip malzemelerin akış özellikleri arasında büyük farklılıklar gösterilebileceği de unutulmamalıdır.

Viskozite ölçümlerinin neticeleri genelde viskozite-sürülme hızı grafikleriyle gösterilir. Şekil 4.10'da yarı kristal bir malzemenin, Şekil 4.11'de amorf bir malzemenin viskozite ölçümleri gösterilmiştir. Bu tür grafikler, genelde daha çok değer aynı anda görülebilsin diye logaritmik ölçekli olarak çizilirler. Sürülme hızı ve sürülme gerilimi arasındaki ilişki ise akış grafiklerinde daha az kullanılır (Şekil 4.11).



Şekil 4.10 Yarı kristal bir malzemenin viskozite-sürülme hızı grafiği

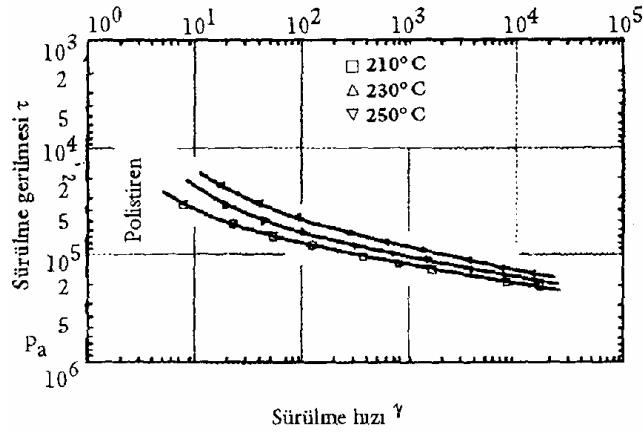


Şekil 4.11 Amorf bir malzemenin viskozite-sürülme hızı grafiği

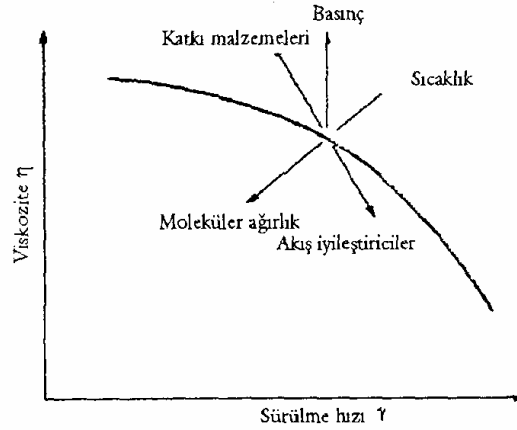
Viskozite-sürülme hızı grafiklerini, malzemelerin reolojik davranış özelliklerini incelemek üzere kullanacağız. Öncelikle belli bir sıcaklıktaki bir eğriyi, mesela Şekil 4.10’da 200°C’deki eğriyi ele alalım. Eğriyi rotasına göre ikiye ayırabiliriz. Birinci bölüm yani viskozitenin sabit olduğu düşük sürülme hızı bölgesi akışkanın Newton (ideal sıvı) özelliği gösterdiği bölgedir. Düşük sürülme hızlarındaki sabit viskozite aynı zamanda “sıfır-akış viskozitesi” olarak da adlandırılır.

Sürülme hızı arttıkça viskozitenin gözle görülür şekilde azaldığı fark edilmektedir. Polimer malzemelerin enjeksiyon sırasındaki çalışma viskoziteleri de bu bölgeye denk gelmektedir. Akışkanın Newton özelliğinden incelme özelliğine geçtiği ara bölgedeki sürülme hızı oranına da “geçiş sürülme hızı” denir

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’deki viskozite-sürülme hızı grafiklerinden, sıcaklık arttıkça viskozitenin azaldığını da görmekteyiz. Bununla birlikte sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisinin malzemedan malzemeye fark ettiğini belirtmekte fayda vardır. Tabi viskozite sadece sürülme hızına ve sıcaklığa bağlı olmayıp başka parametrelere de bağlıdır (Şekil 4.12). Çalışma özelliklerini geliştirmek ve viskozitelerini azaltmak için malzemelere genelde ‘akış iyileştiriciler’ denen başka malzemeler ilave edilir.



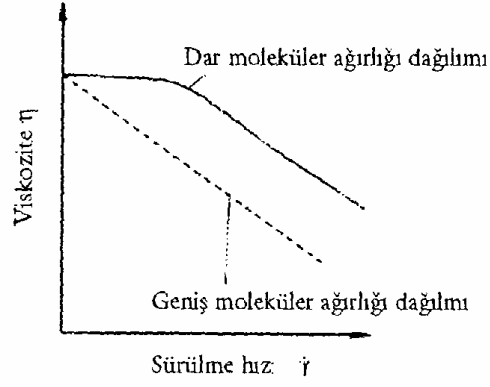
Şekil 4.12 Polistirenin (PS) akış eğrileri



Şekil 4.13 Çeşitli parametrelerin malzemelerin akış davranışlarına etkileri

Polimer malzemelerin moleküler ağırlığının da viskozite üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Bu sebeple ortalama moleküler ağırlıkla molekül ağırlığı dağılımı arasındaki farka da dikkat edilmelidir. Molekül ağırlığı dağılımı sabiti sayesinde, yüksek molekül ağırlığının yüksek viskoziteye sebep olduğunu görmekteyiz (Şekil 4.13). Yüksek moleküler ağırlıklı yani daha uzun makro moleküllere sahip bir polimer, düşük moleküler ağırlıklı yani daha kısa makro moleküllere sahip bir polimerden daha zor akar. Çünkü uzun makro molekül zincirleri malzeme yapısının daha karışık olmasına ve zor işlenmesine neden olur. Bundan dolayı işlenebilirlikleri açısından plastiklerin moleküler ağırlıkları önemli bir sınırlamadır.

Molekül ağırlığı dağılımı akışkanın Newton sayısı özelliği gösterdiği de değişimlere sebep olur (Şekil 4.14). Geniş bir molekül ağırlığı dağılımıyla kısa zincirli moleküller yağlayıcı madde özelliği gösterir ve uzun zincirli moleküller de eriyik malzemenin içinde dolgu malzemeleri gibi yüzerler. Diğer taraftan, dar bir molekül ağırlığı dağılımı da yüksek viskoziteyle beraber şüpheli, belirsiz bir Newton bölgesine neden olur. Bu farklı akış bölgesine, ayıca özellik gösterememeleri neticesinde kısa zincirli moleküllere gereken yüksek deformasyon kuvvetlerini sebep olarak gösterebiliriz.



Şekil 4.14 Molekül ağırlığı dağılımının viskoziteye etkisi

Viskozite basınca da bağlıdır. Basınç yükseldikçe viskozite artar (Şekil 4.13). Ama basıncın viskozite üzerindeki etkisi sıcaklık ve sürülme hızından çok daha az olduğu için genelde ihmal edilir.

Son olarak, doldurucu veya takviye edici cam tanecikleri veya fiberglas gibi malzemeler viskoziteyi arttırdıkları için, bu malzemelerin kullanılması durumunda yeterli akış sağlamak için daha yüksek basınçlar gerektiği de bilinmelidir.

BÖLÜM 5

VİSKOZİTE MODELLERİ

Günümüzde uçak otomotiv, elektronik sanayi kuruluşları yerli üretim yapmakta ve birçoğunda plastik enjeksiyonla ve ekstrüzyonla üretim yapılmakta. Plastik artık günümüzde çoğu alanda metalin yerini almış durumda. Bu ürünler herhangi bir işleme tabi tutulmadan elde edilmekte. Bu yüzden plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon ürünleri diğerlerine göre daha ucuz ve çabuk üretilmekte. Bu nedenle enjeksiyon parametrelerini etkileyen birçok çalışmalar yapılmıştır.

Asıl önemli olan plastik eriğinin non-newtonian davranışını anlamaktır. Gerilim altındaki davranışını ve ergimiş plastiğin viskoelastik yapısı çok komplekstir. Sonuç olarak plastik eriyik akışının incelenmesi ve modellenmesinde, eriyik viskozitesinin sıcaklığa, basınca, ve kayma oranına bağlı olduğu kesindir.

5.1 Reolojik Davranış Özelliklerinin Matematiksel Yaklaşımı

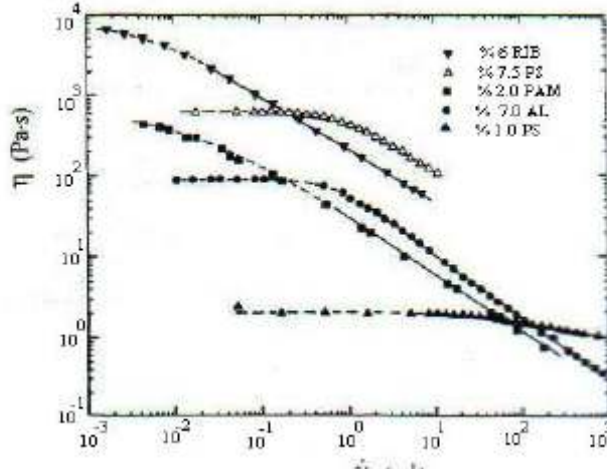
Plastik eriyik akışını katmanlardan oluştuğunu ve bu katmanların bir biri üzerinden farklı diferansiyel hızda aktığını düşünelim. Kayma oranı birinin diğeri üzerinden ne kadar hızlı aktığını gösterir. Bu yüzden

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

burada η viskozite $\dot{\gamma}$ kayma oranını gösterir. Eğer akışkanda gerilimle kayma oranı orantılıysa Newtonian, değilse non-newtonian akış denir. Ergimiş plastikler non-newtonian özellik gösterir.

Akışkan yapısı biraz daha karmaşık hale gelince viskozite gibi tek bir parametre kayma gerilimiyle deformasyon hızı arasındaki ilişkiyi açıklamakta yeterli olmaz. İkinci parametre, ya akışkanın yapısının plastik (kalıcı) deformasyona uğrayabilmesi için gereken minimum gerilim (τ_0), veya akışkanın viskozitesinin sabit kalmadığını gösteren bir indis (n) şeklindedir. Bu iki sabitin bilinmesi Bingham akışkanlarında (τ_0 , n) ve üstel kurala uyan akışkanlarda (m,n) Reolojik özelliklerin tamamen tanımlanabilmesinde yeterli olabilir. Ama bazen buda yetersiz kaldığı durumlarda üç parametrelili modeller (cross modeli gibi) kullanılır.

Ergimiş plastik modellenmesinde viskozite modellenmesi gereklidir. Bu konuda birçok model vardır. Önemli olan hangi modelin hem tüm akış prosesinde uygulanabilmesi hem de doğru sonuçlar vermesidir. Ergimiş plastiğin viskozitesine en çok etki eden parametre kayma oranıdır. Aşağıdaki grafikte viskozite kayma oranı arasındaki ilişkiyi gösterir.



Şekil 5.1 Farklı malzemelerin viskozite- kayma oranı arasındaki ilişki (carreau modele göre)

5.2 Güç Kanunu Modeli (power-law)

$$\eta = m\dot{\gamma}^{n-1} \quad (5.1)$$

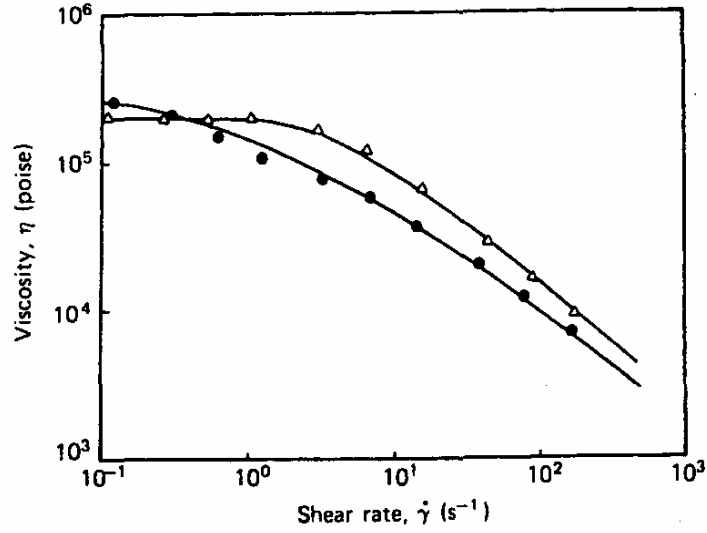
Bu iki parametrelili modelde n Newton davranışından sapma derecesini m : sabittir. Burada $n=1$ ve $m=\mu$ ise newtonian akış olur. Ve $n<1$ ise pseudoplastik, $n>1$ ise dilatant akış olur.

$$K = M_0 e^{-a(T-T_0)} \quad (5.2)$$

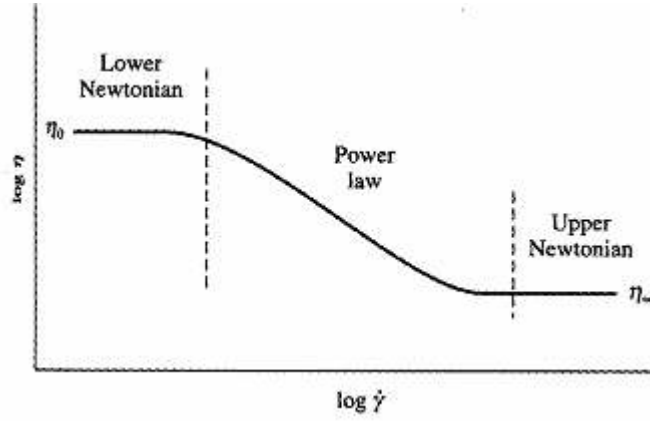
Burada M_0 malzeme sabiti, T_0 başlangıçtaki sıcaklık, T malzeme sıcaklığı. Denklem 5.1 her iki tarafın logaritmasını alırsak:

$$\ln(\eta) = (n-1)\ln(\dot{\gamma}) + \ln(m) \text{ eşitliği elde edilir.}$$

$\ln(\eta)$ karşı $\ln(\dot{\gamma})$ değişim grafiği elde edilir.



Şekil 5.2 Logaritmik ölçekli 180 °C'deki Polostirenin Ps(Δ) Newtonien ve Ps(\bullet) Power Law modeline göre viskozite ve kayma oranı grafiği.



Şekil 5.3 Viskozite-kayma oranı arasındaki ilişki bölgelere ayrılması

Bu modelin dezavantajı kayma oranı $10 < \dot{\gamma} < 10^2$ olan ve düz çizgi bölgesi power law denklemini uygulanır. Bu model polimer akışkanların dinamiğini açıklamakta en çok kullanılan metottur. Bu ifadenin sıcaklık değişimi ise:

$$\eta = m\dot{\gamma}^c \exp(cT) \quad (5.3)$$

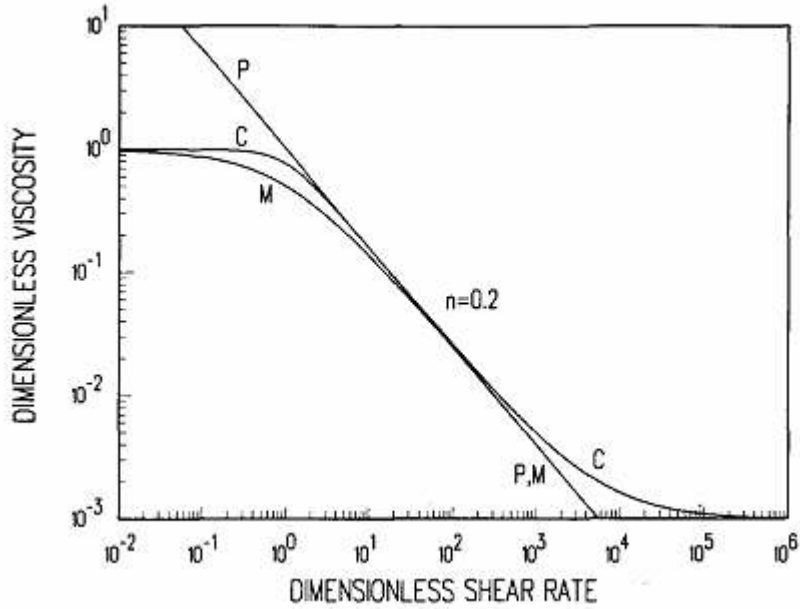
dir.

Burada c sabittir, T ise sıcaklık.

5.3 Carreau Model

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = [1 + (\lambda_c \dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2} \quad (5.4)$$

bu dört parametrelilik model genel olarak tüm akım eğrilerini açıklamaya yeter. Bu model polimer eriyik çözeltilerini çok iyi açıklar. λ_c karakteristik zaman sabiti. $(\lambda_c \dot{\gamma})^2 \ll 1$ için $\eta = \eta_0$ ve $(\lambda_c \dot{\gamma})^2 \gg 1$ için $\eta = \eta_{\infty}$. bu iki arada ise power law akışkanlığı özelliğini taşır. Aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu model çok küçük kayma oranı sınırlarındaki Newton akışkanlarının davranışlarını da kapsamaktadır.



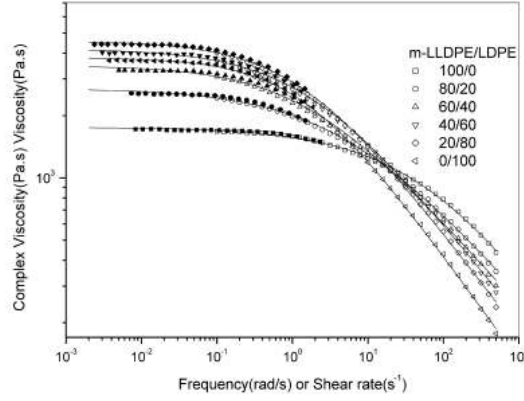
Şekil 5.4 Viskozitenin – kayma oranına göre değişimi : P Power law model , C Carreau model, M modifiye Cross model

5.4 Cross Model

Üstel kurala uyan tiksotropik akışkanlar çok düşük ve çok yüksek deformasyon hızlarında Newton akışkanları gibi davranıyorsa, Cross modeli akışkanın davranışını diğer modellere göre daha iyi tanımlar:

$$\eta = \eta_0 / [1 + (\tau_0 \dot{\gamma}')^{1-n}] \quad (5.5)**$$

**Rheological and thermal properties of m-LLDPE , Chenyang Liu, Jin Wang ,Polymer (2002) 3811-3818



Şekil 5.5 180 °C LLDPE için viskozite-kayma oranı ve kompleks viskozite – frekans arasındaki ilişki **

$$\eta_0 = B \cdot \exp(T_b/T) \cdot \exp(\beta P) \quad (5.6)$$

Burada η_0 sıfır kayma oranındaki viskozite, T sıcaklık, P basınç, n , β , T_b , B , T^* deneysel sonuçlardan elde edilen sabitler.

Bu model deformasyon hızının uç değerlerinde zamk ve diğer kıvam(viskozite) artırıcı maddelerin davranışını açıklamakta kullanılır.

5.5 Cross-WLF Model

Bu model cross modele benzer ama bu modelde sıfır kayma oranındaki viskoziteyi hesaplar.

Bu modelde η_0 aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta_0 = D_1 \exp[-A_1(T-T^*)/(A_2 + (T-T^*))] \quad (5.7)$$

$$T^* = D_2 + D_3 P \quad (5.8)$$

Burada T^* basınca bağlı sabittir. A_1 , A_2 , D_1 , D_2 , D_3 deneysel sonuçlardan elde edilen sabitlerdir.

5.6 Ellis Model

Ellis model viskoziteyi kayma gerilimini bir fonksiyonu olarak açıklar. Bu şekilde ifade edilir:

$$\eta_0 / \eta = 1 + (\tau / \tau_0)^{\alpha-1} \quad (5.9)$$

burada τ_0 , $\eta = \eta_0/2$ olduğu andaki kayma gerilimi değeridir.

$\alpha - 1$ ise $\ln[(\eta_0 - \eta) - 1] - \ln(\tau / \tau_0)$ grafiğinin eğimidir.

6.BÖLÜM

GELİŞTİRİLEN DENKLEMLER

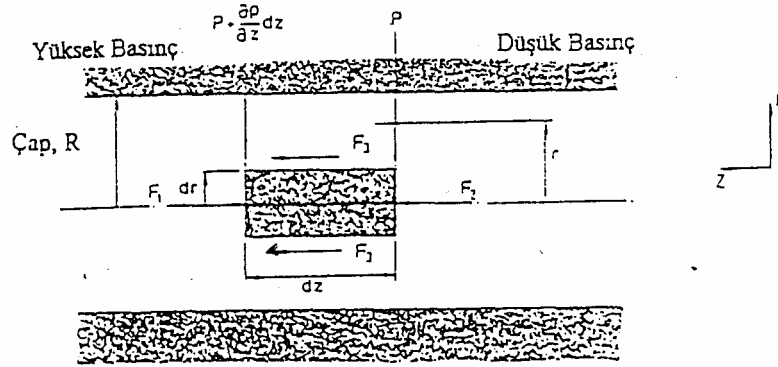
6.1 Kanal İçinde Newtonien Sıvıların İzotermal Akışı

Bu durumun analiz edilebilmesi için aşağıdaki kabuller dikkate alınmıştır.

1. Cidarda kayma yoktur.
2. Eriyik sıkıştırılmaz.
3. Akış düzgün, laminar ve zamandan bağımsızdır.
4. Viskozite, kanal boyunca oluşan basınç değişimlerinden etkilenmez.
5. "Son etkileri" ihmal edilebilir.

6.1.1 Üniform dairesel kesitli kanal boyunca newtonian sıvının akışı

Küçük bir parça üzerine etkiyen kuvvetlerin şekil 6.1'deki gibi olduğu düşünülerek etki eden kuvvetlerin $\sum F_z = 0$ olması gerekmektedir. Buradan ;



Şekil 6.1 Boru içinde sıvı parçası

$$F_1 = \pi \cdot dr^2 \cdot \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right)$$

$$F_2 = \pi \cdot dr^2 \cdot P$$

$$F_3 = 2\pi \cdot dr \cdot dz \cdot d\tau$$

Akış düzgünse $\sum F_z = 0$

$$\pi \cdot (dr)^2 \cdot P = \pi \cdot dr^2 \cdot \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) - 2 \cdot \pi \cdot dr \cdot dz \cdot d\tau$$

$$d\tau = \frac{dr}{2} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

Buradan herhangi bir r yarıçapındaki kayma gerilmesi (τ_r) integrasyonla bulunabilir.

$$\tau_r = \frac{r}{2} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (6.1)$$

Birçok durumda basınç gradyanı üniformdur. Bu durumda uzunluğa (L) bağlı olarak basınç kaybı (P) ve maksimum kayma gerilmesi $r=R$ olduğu durumda meydana gelir.

$$\tau_w = \frac{P \cdot R}{2L} \quad (6.2)$$

dır.

$$\tau = \eta \cdot \gamma = \eta \frac{\partial V}{\partial r}$$

olduğundan 6.1 eşitliği kullanarak

$$\eta \cdot \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2} \cdot \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

bu formülün integrali alınırsa:

$$\int_0^V dV = \int_R^r \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp}{dz} \cdot r \cdot dr$$

$$V = \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \left(\frac{r^2}{2} - \frac{R^2}{2} \right)$$

$r=0$, $V=V_0$ olduğu yerde,

$$V_0 = -\frac{1}{4\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot R^2 \quad (6.3)$$

$$V = V_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) \quad (6.4)$$

Debi (Q) buradan elde edilir.

$$Q = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot V \cdot dr$$

Bu denklem 6.3 kullanarak yeniden oluşturulur.

$$Q = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot V_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \cdot dr = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot V_0 \cdot R^2$$

$$Q = -\frac{\pi \cdot R^4}{8\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \quad (6.5)$$

Eğer basınç kaybı üniform ise bu formül çok basit olarak ifade edilebilir.

$$Q = \frac{\pi R^4 P}{8\eta L} \quad (6.6)$$

Buradan kayma hızı ($\dot{\gamma}$) içinde ifade çıkarmak mümkündür.

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial}{\partial r} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \right] \quad (6.7)$$

bu ifade, $r = R$ ' deki kayma hızını elde etmek için debi ile V_0 arasındaki ilişkiye bağlı olarak yeniden düzenlenebilir.

$$\dot{\gamma}_\omega = \frac{-4Q}{\pi R^3} \quad (6.8)$$

Debi ve hız için negatif işaret, seçilen z doğrultusuna göre bunların ters yönde olduklarını gösterir.

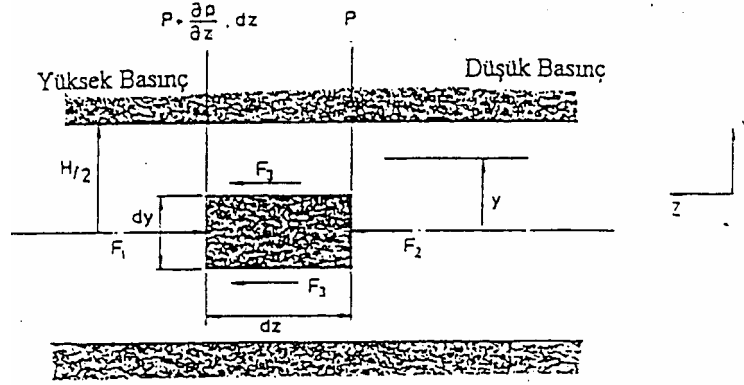
6.1.2 Paralel plakalar arası newtonian sıvı akışı

Paralel plakalar arasındaki sıvının küçük bir parçası dikkate alındığında, plaka T genişliğine ve H aralığına sahiptir. Buna göre parçaya gelen yükleri hesaplayacak olursak;

$$F_1 = \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) \cdot dy$$

$$F_2 = P \cdot dy$$

$$F_3 = d\tau \cdot dz$$



Şekil 6.2 Paralel plakalar arasındaki sıvı parçası

Dengeli bir akış için kuvvetler arasında bir denge olmalıdır. Buradan ;

$$P \cdot dy = \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) \cdot dy - 2 \cdot d\tau \cdot dz$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dy = d\tau$$

Eksenden y mesafedeki kayma gerilmesinin (τ_y) bulunması için bu eşitliğin integrali alınır.

$$\int_0^{2y} \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dy = \int_0^{\tau_y} d\tau$$

$$y \cdot \frac{\partial P}{\partial z} = \tau_y$$

(6.9)

Bir çok durumda basınç gradyeni üniformdur ($\partial P/\partial z = \Delta P/L$). Bu yüzden maksimum kayma gerilmesi $y = 1/2H$ olduğu noktada oluşur.

$$\tau_w = \frac{PH}{2L}$$

(6.10)

Newtonien sıvılar için kayma gerilmesi (τ) aşağıdaki gibi olup;

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \cdot \frac{\partial V}{\partial y}$$

6.9'un kullanılmasıyla,

$$\eta \cdot \frac{\partial V}{\partial y} = y \cdot \frac{\partial P}{\partial z}$$

Bunun integrali alınırsa;

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

$$V = \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \left(y^2 - \left(\frac{H}{2} \right)^2 \right)$$

$y = 0$, $V = V_0$ 'da,

$$V_0 = -\frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \left(\frac{H}{2} \right)^2 \quad (6.11)$$

V 'yi elde etmek için dP/dz 'yi yerine koyarsak ;

$$V = V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right) \quad (6.12)$$

Debi (Q) ;

$$Q = 2 \cdot \int_0^{H/2} TV \cdot dy$$

6.12 ifadesi kullanılarak bu ifade şu hale getirilebilir.

$$Q = 2 \cdot \int_0^{H/2} TV_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right) dy$$

$$Q = 2TV_0 \left(\frac{H}{3} \right)$$

$$Q = -\frac{TH^3}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dz}$$

(6.13)

Üniform basınç gradyanı durumunda;

$$Q = \frac{TPH^3}{12\eta L}$$

(6.14)

Kayma hızı ($\dot{\gamma}$) ifadesi de buradan ;

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial y}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial}{\partial y} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right) \right]$$

$$\dot{\gamma} = -8V_0 y / H^2$$

(6.15)

Yukarıda ifade edildiği üzere;

$$V_0 = \frac{3Q}{2TH}$$

Öyleyse;

$$\dot{\gamma} = \frac{-12Q_y}{TH^3}$$

Kenarda; $y = H/2$

$$\tau = \frac{r}{2} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \cdot \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$\frac{\partial V}{\partial R} = \frac{r}{2\eta} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

üstel kanununun ifadesinden:

$$\eta = \eta_0 \cdot \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1} = \eta_0 \left[\frac{\partial V / \partial r}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2\eta_0 \left[\frac{\partial V / \partial r}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)^n = \frac{r (\dot{\gamma}_0)^{n-1}}{2\eta_0} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

buradaki γ_0 , μ_0 keyfi değerlerdir. γ_0 genellikle $1s^{-1}$ alınır, ve $\eta_0 = m$ konur güç kanunu ifadesinde.

Yarıçap = r 'deki hız = V ve yarıçap R 'deki hız = 0 olarak belirlenir ve integrali alınırsa herhangi bir yarıçaptaki hız aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V = \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0^{(n-1)/n} \left[\frac{\partial p / \partial z}{2\eta_0} \right]^{1/n} \left[r^{(n+1)/n} - R^{(n+1)/n} \right]$$

$r = 0$, $V = V_0$ değer;

$$V_0 = - \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0^{(n-1)/n} \left[\frac{\partial p / \partial z}{2\eta_0} \right]^{1/n} R^{(n+1)/n} \quad (6.17)$$

$$V = V_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right] \quad (6.18)$$

Debi(Q);

$$Q = \int_0^R 2\pi r V \cdot dr = 2\pi V_0 \int_0^R r \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right) \cdot dr$$

$$Q = \left(\frac{n+1}{3n+1} \right) \pi R^2 V_0 \quad (6.19)$$

Kayma hızı;

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{(n+1)/n} \right) \right]$$

$$\dot{\gamma} = - \frac{\left(\frac{n+1}{n} \right) V_0}{R} \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^{1/n} \quad (6.20)$$

Kenardaki kayma hızı $r = R$ yazılarak bulunabilir ve bu eşitlik 6.19 denkleminde V_0 'ın Q ile değiştirilmesiyle daha uygun bir hale gelir. Bu durumda kenardaki kayma hızı;

$$\dot{\gamma}_\omega = - \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \frac{4Q}{\pi R^3}$$

Newtonian sıvılar üstsel kanunun $n = 1$ olduğu durumdaki özel bir halidir.

6.3 Paralel Plakalar Arasındaki Newtonian Olmayan Sıvıların Akışı

Şekil 6.2 dikkate alındığında ve 6.9 eşitliği sıvıdan bağımsız olduğundan:

$$\tau = y \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

fakat;

$$\tau = \eta \frac{\partial V}{\partial y} \text{ ve } \eta = \eta_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}$$

buradan;

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \frac{y}{\eta_0 \left[\frac{\partial V / \partial y}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \dot{\gamma}_0^{(n-1)/n} \cdot y^{1/n} \cdot \left(\frac{1}{\eta_0} \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{1/n}$$

bu eşitliğin integrali (y 'de hız = V ve $H/2$ ' de hız= 0) limitler dahilinde alınırsa;

$$V = \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0 \left(\frac{1}{\eta_0 \dot{\gamma}_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{1/n} \left[y^{(n+1)/n} - \left(\frac{H}{2} \right)^{(n+1)/n} \right]$$

$y=0$ iken $V = V_0$ dir.

$$V_0 = \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0 \left(\frac{1}{\eta_0 \dot{\gamma}_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{1/n} \left(\frac{H}{2} \right)^{(n+1)/n} \quad (6.21)$$

V 'yi bulmak için ifadeyi basitleştirirsek;

$$V = V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{(n+1)/n} \right) \quad (6.22)$$

Debi(Q) bu ifadeden de elde edilebilir;

$$Q = 2T \int_0^{H/2} V \cdot dy$$

$$Q = 2T \int_0^{H/2} V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{(n+1)/n} \right) \cdot dy$$

$$Q = \left(\frac{n+1}{2n+1} \right) T V_0 H \quad (6.23)$$

Daha önceki gibi;

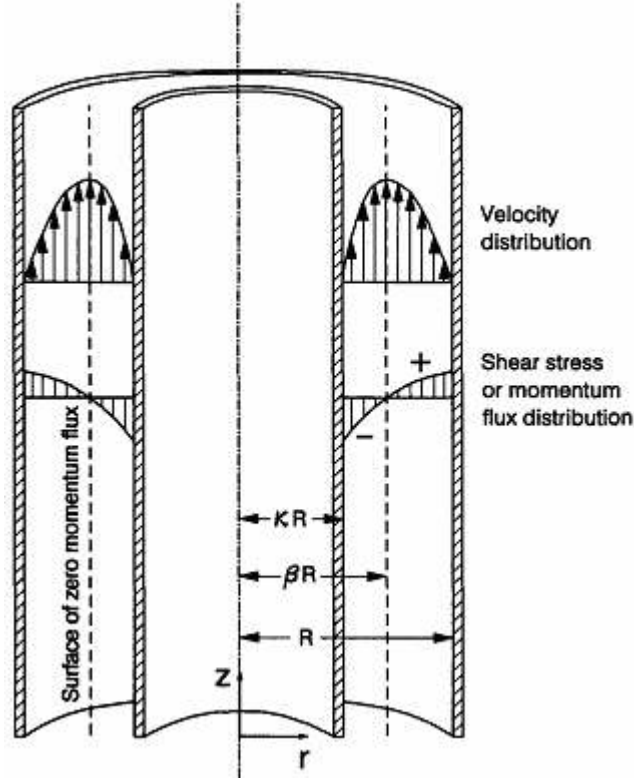
$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{(n+1)/n} \right) \right] \\ \dot{\gamma} &= -V_0 \left(\frac{2}{H} \right)^{(n+1)/n} \cdot \left(\frac{n+1}{n} \right) y^{1/n}\end{aligned}\tag{6.24}$$

6.23'de V_0 için $y=H/2$ ifadesi yerine konursa;

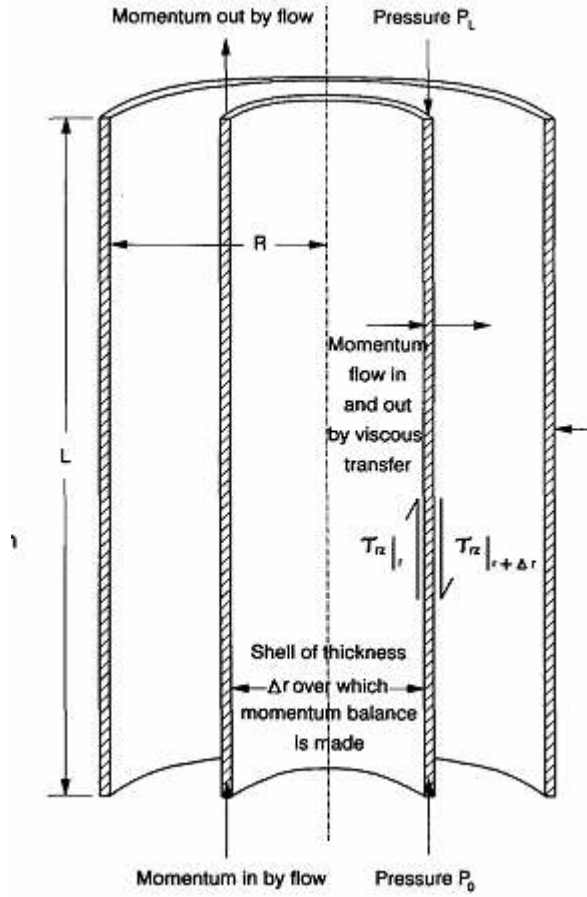
$$\dot{\gamma}_\omega = -\left(\frac{2n+1}{n} \right) \cdot \frac{2Q}{TH^2}\tag{6.25}$$

$n=1$ olduğunda özel durum bu eşitlikler Newtonian akış için gerçekleşir.

6.3 Güç Kanunu Kullanılarak Annüler Bölgedeki Akışın İncelenmesi



Şekil 6.5 Boru üretimi için kullanılan silindirik annüler bölge içindeki akışın hız ve momentum profilleri



Şekil 6.6 Silindirik kabuk üzerindeki akışkanın kuvvet ve momentum dengesi

Şekilde gösterilen sistemde z yönündeki kuvvetlerin toplamı dengeden dolayı sıfıra eşittir.

$\tau_{rz} = F/A$ dan

F : kuvvet

A : alan

Buradan hareketle z yönündeki kuvvetlerin denklemi:

$$\tau_{rz}|_r 2\pi r L - \tau_{rz}|_{r+\Delta r} 2\pi(r+\Delta r)L - \rho g 2\pi r \Delta r L + (p_0 - p_L) 2\pi r \Delta r = 0. \quad (6.26)$$

birinci ve ikinci ifade iç ve dış tarafta kayma gerilmesinden dolayı meydana gelen kuvvetler.

3. ifade iç silindirin ağırlığından dolayı meydana gelen kuvvettir.

Bu denklemi $2\pi \Delta r L$ ye bölersek ve limit Δr sıfıra giderken:

$$\frac{\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \left(\frac{(r\tau_{rz})|_{r+\Delta r} - (r\tau_{rz})|_r}{\Delta r} \right)}{\Delta r} = \left(\frac{P_0 - P_L}{L} - \rho g \right) r. \quad (6.27)$$

buradan :

$$\frac{d}{dr}(r\tau_{rz}) = + \left(\frac{P'_0 - P'_L}{L} \right) r, \quad (6.28)$$

bu diferansiyel denklemin integrali alınır:

$$P'_0 = p_0 \quad \text{ve} \quad P'_L = p_L + \rho g L$$

$$\tau_{rz} = \left(\frac{P'_0 - P'_L}{L} \right) \frac{r}{2} + \frac{C_1}{r}. \quad (6.29)$$

denklemleri elde edilir. βR mesafesinde hız maksimuma ulaşır, buradaki kayma gerilmesi (τ_{rz}) sıfıra eşit olur. Buradan hareketle integral sabiti C_1 bulunur. Yerine konulduğu zaman aşındaki denklem oluşur.

$$\tau_{rz} = \frac{(P'_0 - P'_L)R}{2L} \left[\frac{r}{R} - \beta^2 \left(\frac{R}{r} \right) \right]. \quad (6.30)$$

buradan sonra power law kanunundaki denklemden :

$$\tau_{rz} = -m \left(\frac{dv_z}{dr} \right)^{n-1} \left(\frac{dv_z}{dr} \right). \quad (6.31)$$

bu denklemleri yukarıdaki denklemde yerine koyarsak hız ifadesini buluruz. Fakat burada hız profillerine bakarsak iki farklı sınır koşullarından dolayı iki farklı hız denklemleri elde edilecek. Yani :

$\kappa R < r < \beta R$ için $dv_z/dr > 0$ olur ve kayma gerilimi

$$\tau_{rz} = -m(dv_z^</dr)^n. \quad \text{şekilde gösterilir.}$$

$\beta R < r < R$ için $dv_z/dr < 0$ kayma gerilimi

$$\tau_{rz} = m(-dv_z^>/dr)^n. \quad \text{şeklinde gösterilir.}$$

$V_z^>$ ve $V_z^<$ denklemleri:

$$-m\left(\frac{dv_z^<}{dr}\right)^n = C\left[\frac{r}{R} - \beta^2\frac{R}{r}\right]$$

$$m\left(\frac{-dv_z^>}{dr}\right)^n = C\left[\frac{r}{R} - \beta^2\frac{R}{r}\right],$$

şekline dönüşür. Burada $C : (P'_0 - P'_L) R^2 / 2L$ dır. Bu ifadelerin integralini alıp. Her iki tarafın $1/n$ kuvvetiyle çarparsak :

denklem

$$v_z^< = R\left[\frac{(P'_0 - P'_L)R}{2mL}\right]^s \int_{\kappa}^{\xi} \left(\frac{\beta^2}{\xi'} - \xi'\right)^s d\xi', \quad \kappa \leq \xi \leq \beta$$

$$v_z^> = R\left[\frac{(P'_0 - P'_L)R}{2mL}\right]^s \int_{\xi}^1 \left(\xi' - \frac{\beta^2}{\xi'}\right)^s d\xi', \quad \beta \leq \xi \leq 1.$$

$\zeta : r/R$

s: $1/n$ kısaltmasıdır.

$1/n$ tamsayı (1,23...) olduğu zaman bu integraller alınabilir. Fakat genelde n kesirli oluyor(0,52). Bu nedenle κ bulmak için $r : \beta R$ yukarıdaki hız ifadelerini bir birine eşit olur.

$$\int_{\kappa}^{\beta} \left(\frac{\beta^2}{\xi} - \xi \right)^s d\xi = \int_{\beta}^1 \left(\xi - \frac{\beta^2}{\xi} \right)^s d\xi.$$

bu ifade bize β nın κ ve s fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Bu ifadeye sadece $1/n$ tam sayı olmadığı zaman değerlendirilir.

Kesit boyunca geçen debiyi bulmak için yukarıdaki hız ifadelerinden birini kesit kullanarak :

$$Q = 2\pi \int_{\kappa R}^R v_z r dr = \pi R^3 \left[\frac{(P'_0 - P'_L)R}{2mL} \right]^s \int_{\kappa}^1 |\beta^2 - \xi^2|^{s+1} \xi^{-s} d\xi. \quad (6.32)$$

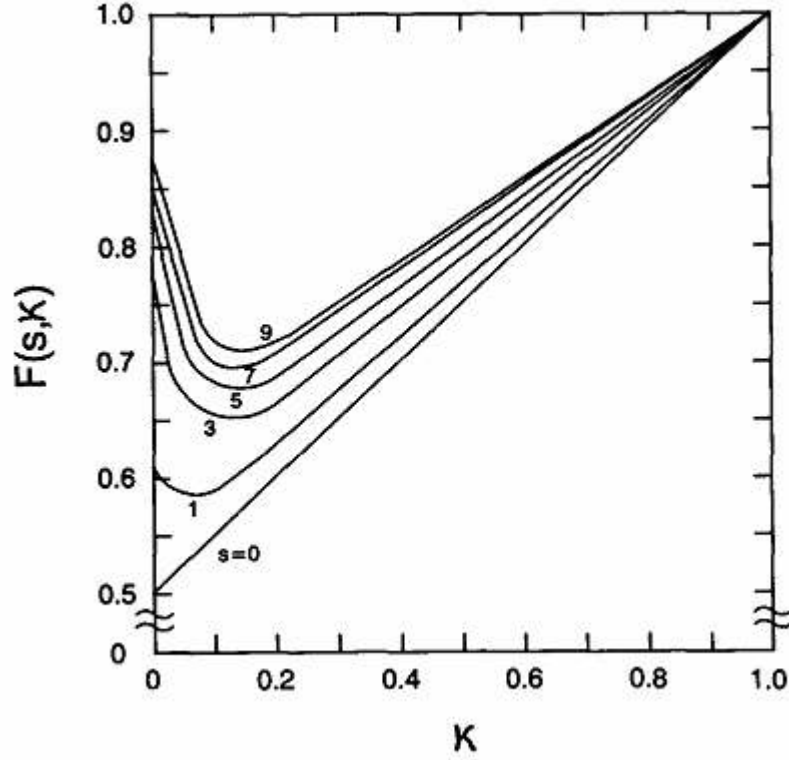
eğer akışkan newtonian olsaydı $n : 1$ olur ve β ifadesi hızların eşitliğinden elde edilen denklem sadeleşir ve integralini aldığımızda β ifadesi:

$$2\beta^2 = (1 - \kappa^2) / \ln(1/\kappa). \quad \text{olur.}$$

Bunu debi denkleminde yerine koyarsak:

$$Q = \pi R^3 \left(\frac{(P'_0 - P'_L)R}{2mL} \right)^{1/n} \frac{(1 - \kappa)^{1/n+2}}{s+2} F(s, \kappa), \quad (6.33)$$

$F(s, \kappa)$ fonksiyonunun grafiği:



Şekil 6.7 Power law akışkanı için annülüs bölgede geçen debi bulmak için gerekli $F(s, \kappa)$ grafiği.

Şimdi düz duvarlarda oluşacak kayma gerilmesini bulmak için :

$$\tau_{rz} = \frac{(P'_0 - P'_L)R}{2L} \left[\frac{r}{R} - \beta^2 \left(\frac{R}{r} \right) \right] \quad (6.34)$$

ifadesini kullanırız. Kayma gerilmesi en çok ikinci dairenin dış ve iç tarafında oluşur.

$$\tau_w(\kappa R) = \left(\frac{(P'_0 - P'_L)\kappa R}{2L} \right) \left[1 - \frac{\beta^2}{\kappa^2} \right] \quad (6.35)$$

$$\tau_w(R) = \left(\frac{(P'_0 - P'_L)R}{2L} \right) (1 - \beta^2). \quad (6.36)$$

denklemleri elde edilir.

Not : eğer $\kappa < 0,80$ olursa hız ifadeleri yüzeyde kayma olmadığını kabul edersek

$$v_z^<(\xi) = \left(\frac{(P'_0 - P'_L)R}{mL} \right)^{1/n} \frac{Rn}{n+1} [(\beta - \kappa)^{1/n+1} - (\beta - \xi)^{1/n+1}] \quad (6.37)$$

$$v_z^<(\xi) = \left(\frac{(P'_0 - P'_L)R}{mL} \right)^{1/n} \frac{Rn}{n+1} [(1 - \beta)^{1/n+1} - (\xi - \beta)^{1/n+1}]. \quad (6.38)$$

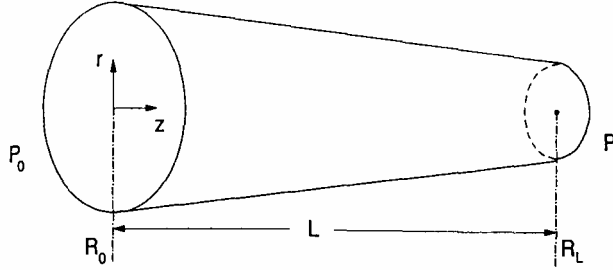
elde edilir. Buradan debi integre edilerek:

$$Q = \left(\frac{\pi R^3}{s+2} \right) \left(\frac{R\Delta P}{2mL} \right)^s (1 - \kappa)^{s+2} \frac{(1 - \kappa)}{2}, \quad (6.39)$$

elde edilir.

6.4 Konik Kanallarda Basınçlı Akış (güç kanuna göre)

Konilerde akış denklemleri çözümünde dairesel kesitli borularda elde edilen denklemlerden yararlanır.



Şekil 6.8 Konik kanalda akış

$$\frac{d}{dr}(r\tau_{rz}) = + \left(\frac{P'_0 - P'_L}{L} \right) r, \quad (6.40)$$

bu ifadede basınç değişimini üniform bir şekilde olduğu görülür, fakat koni elemanlarda basınç dağılımı böyle üniform bir şekilde olmaz burada basınç ifadesinin kısmi integrali alınır.

$$v_z(r) = \frac{R}{1+s} \left(\frac{R\Delta P}{2mL} \right)^{1/n} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{n}+1} \right], \quad (6.41)$$

elde edilen hız ifadesinde R yerine $R_{(z)}$ konur.

$$R_{(z)} = -[(R_0 - R_L)/L]z + R_0 \quad (6.42)$$

Yukarıdaki hız ifadesi buru buyunca integre edildiğinde elde edilen debi(Q):

$$Q = \left(\frac{\pi R^3}{s+3} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2mL} \right)^s \quad (6.43)$$

elde edilen bu ifadede $\Delta P/L$ yerine $-dp/dz$, R yerine R_z ifadesini koyarsak:

$$\left(\frac{Q(s+3)}{\pi} \right)^n \frac{R^{-3n-1}}{2m} = - \frac{dp}{dz} \quad (6.44)$$

ifadesi elde edilir.

Bu ifade $z = 0$, $p = P_0$ ve $z = L$, $p = P_L$ sınır koşullarında integre edildiğinde,

$$P_0 - P_L = \frac{2mL}{3n} \left[\frac{Q}{\pi} \left(\frac{1}{n+3} \right) \right]^n \left(\frac{R_L^{-3n} - R_0^{-3n}}{R_0 - R_L} \right) \quad (6.45)$$

elde edilir.

Bu ifade eğimin 30° den az olduğunu konik elemanlar için kullanılır.

Tablo 6.1 Paralel plaka basınçlı akış

$\tau_{yz} = -\mu \frac{dv_z}{dy}$	$\tau_{yz} = -m \left \frac{dv_z}{dy} \right ^{n-1} \frac{dv_z}{dy}$
$\tau_{yz}(y) = \left(\frac{\Delta P}{L} \right) y$	$\tau_{yz}(y) = \left(\frac{\Delta P}{L} \right) y$
$\tau_w = \tau_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{H \Delta P}{2L}$	$\tau_w = \tau_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{H \Delta P}{2L}$
$-\dot{\gamma}_{yz}(y) = \left(\frac{\Delta P}{\mu L} \right) y$	$-\dot{\gamma}_{yz}(y) = \left(\frac{\Delta P}{mL} \right) y^s \quad y \geq 0$
$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{H \Delta P}{2\mu L}$	$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \left(\frac{H \Delta P}{2mL} \right)^s$
$v_z(y) = \left(\frac{H^2 \Delta P}{8\mu L} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right]$	$v_z(y) = \frac{H}{2(s+1)} \left(\frac{H \Delta P}{2mL} \right)^s \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{s+1} \right] \quad y \geq 0$
$v_z(0) = v_{\max} = \frac{H^2 \Delta P}{8\mu L}$	$v_z(0) = v_{\max} = \frac{H}{2(s+1)} \left(\frac{H \Delta P}{2mL} \right)^s$
$\langle v_z \rangle = \frac{2}{3} v_{\max}$	$\langle v_z \rangle = \left(\frac{s+1}{s+2} \right) v_{\max}$
$Q = \frac{WH^3 \Delta P}{12\mu L}$	$Q = \frac{WH^2}{2(s+2)} \left(\frac{H \Delta P}{2mL} \right)^s$
$\tau_{yz} = -\eta(\tau) \frac{dv_z}{dy} \quad \eta(\tau) = \frac{\eta_0}{1 + (\tau/\tau_{1/2})^{\alpha-1}} \quad \tau = \tau_{yz} $	
$\tau_{yz}(y) = \left(\frac{\Delta P}{L} \right) y$	
$\tau_w = \tau_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{H \Delta P}{2L}$	
$-\dot{\gamma}_{yz} = \left(\frac{\Delta P}{\eta_0 L} \right) y \left[1 + \left(\frac{\Delta P y}{\tau_{1/2} L} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{yz} \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{H \Delta P}{2\eta_0 L} \left[1 + \left(\frac{H \Delta P}{2\tau_{1/2} L} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$v_z(y) = \frac{H^2 \Delta P}{8\eta_0 L} \left\{ \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{H \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{\alpha+1} \right] \right\}$	
$v_z(0) = v_{\max} = \frac{H^2 \Delta P}{8\eta_0 L} \left[1 + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{H \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$\langle v_z \rangle = \frac{2}{3} v_{\max} \left[1 + \left(\frac{3}{2+\alpha} \right) \left(\frac{H \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right] \left/ \left[1 + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{H \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right] \right.$	
$Q = \frac{WH^3 \Delta P}{12\eta_0 L} \left[1 + \left(\frac{3}{2+\alpha} \right) \left(\frac{H \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	

Tablo 6.2 Dairesel kanalda basınçlı akış

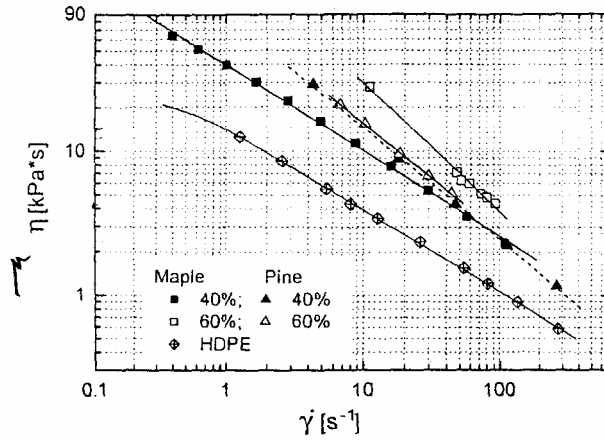
$\tau_{rz} = -\mu \frac{dv_z}{dr}$	$\tau_{rz} = -m \left \frac{dv_z}{dr} \right ^{n-1} \frac{dv_z}{dr}$
$\tau_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P}{2L} \right) r$	$\tau_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P}{2L} \right) r$
$\tau_w = \tau_{rz}(R) = \frac{R \Delta P}{2L}$	$\tau_w = \tau_{rz}(R) = \frac{R \Delta P}{2L}$
$-\dot{\gamma}_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P}{2\mu L} \right) r$	$-\dot{\gamma}_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P r}{2mL} \right)^s$
$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{rz}(R) = \frac{R \Delta P}{2\mu L}$	$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{rz}(R) = \left(\frac{R \Delta P}{2mL} \right)^s$
$v_z(r) = \frac{R^2 \Delta P}{4\mu L} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$	$v_z(r) = \frac{R}{1+s} \left(\frac{R \Delta P}{2mL} \right)^s \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{s+1} \right]$
$v_z(0) = v_{\max} = \frac{R^2 \Delta P}{4\mu L}$	$v_z(0) = v_{\max} = \frac{R}{1+s} \left(\frac{R \Delta P}{2mL} \right)^s$
$\langle v_z \rangle = \frac{1}{2} v_{\max}$	$\langle v_z \rangle = \left(\frac{s+1}{s+3} \right) v_{\max}$
$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\mu L}$	$Q = \left(\frac{\pi R^3}{s+3} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2mL} \right)^s$
$\tau_{rz} = -\eta(\tau) \frac{dv_z}{dr}, \text{ where } \eta(\tau) = \frac{\eta_0}{1 + (\tau/\tau_{1/2})^{\alpha-1}} \quad \tau = \tau_{rz} $	
$\tau_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P}{2L} \right) r$	
$\tau_w = \tau_{rz}(R) = \frac{R \Delta P}{2L}$	
$-\dot{\gamma}_{rz}(r) = \left(\frac{\Delta P}{2\eta_0 L} \right) r \left[1 + \left(\frac{\Delta P r}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$\dot{\gamma}_w = -\dot{\gamma}_{rz}(R) = \left(\frac{R \Delta P}{2\eta_0 L} \right) \left[1 + \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$v_z(r) = \frac{R^2 \Delta P}{4L\eta_0} \left\{ \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\alpha+1} \right] \right\}$	
$v_z(0) = v_{\max} = \frac{R^2 \Delta P}{4L\eta_0} \left[1 + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	
$\langle v_z \rangle = \frac{1}{2} v_{\max} \left[1 + \left(\frac{4}{3+\alpha} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right] \left/ \left[1 + \left(\frac{2}{1+\alpha} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right] \right.$	
$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta_0 L} \left[1 + \left(\frac{4}{3+\alpha} \right) \left(\frac{R \Delta P}{2L\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \right]$	

Kaynak : Z.Tadmor ve C.G. Gogos, Principles of polymer processing. (Wiley, New York, 1979)

BÖLÜM 7

UYGULAMALAR

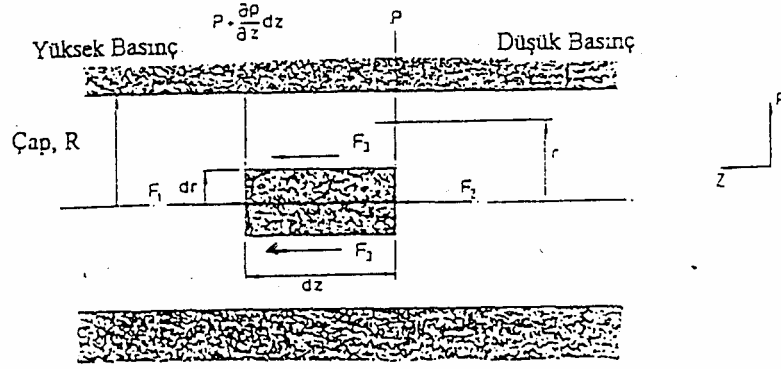
UYGULAMA 1: Çapı 0,01m ve uzunluğu 0,5 m olan düz bir boru içinde geçen debi, basınç kaybı ve harcanan enerjiyi güç kanunu kullanarak hesaplayın. Konu ile ilgili grafik ve tabloyu kullanarak.



Şekil 7.1 Odun kompozitlerin ve HDPE'nin kayma viskozitesi ve kayma oranı grafiği.

Tablo 7.1 Odun kompozitleri için güç kanunu sabitleri.

Materials	K (kPa s ⁿ)	n	R^2
Maple 40%	97.1 ± 1.0	0.408 ± 0.008	0.999
Maple 60%	1022.3 ± 1.1	0.109 ± 0.031	0.994
Pine 40%	362.5 ± 1.1	0.225 ± 0.014	0.999
Pine 60%	818.5 ± 1.0	0.239 ± 0.009	1.000



Şekil 7.2 Düz boruda akış

- a) % 40 akça ağaç için grafikten $\gamma' = 10 \text{ s}^{-1}$ kayma oranına karşılık gelen viskozite (η) yaklaşık olarak 10 kpa alınır. Tablodan akça ağaç için verilen değerler kullanılarak.

$\gamma'_w = (R\Delta p/2mL)^s$ bu denklemde verilen değerler yerine konulduğunda, boru boyunca oluşan basınç kaybı bulunur. ($s=1/n$)

$$10 \text{ s}^{-1} = (0,01\Delta p/2.97,1.0,5)^{2,451} \quad \text{buradan}$$

$$\Delta p = 24843,8 \text{ kpa}$$

debi:

$$Q = (\pi.R^3/s+3).(R\Delta p/2mL)^s \text{ buradan}$$

$$Q = 5,763.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 19,7 \text{ kg/h}$$

Sürtünmeden Dolayı Harcanan enerji:

$$W = Q. \Delta p$$

$$W = 5,763.10^{-6}. 24843,8 = 0,143 \text{ Kw}$$

Diğer kompozitler içinde excelde çözümleri yapıldı ve aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7.2 Düz boruda akışta odun kompozitleri için değerler

	% 40 maple	% 60 maple	% 40 pine	% 60 pine
R (m)	0,01	0,01	0,01	0,01
kayma oranı (s^{-1})	10	10	10	10
Viskozite (kpa*s)	10	70	30	30
m (kpa ⁿ)	97,1	1022,3	362,5	818,5
n	0,408	0,109	0,225	0,239
S	2,450980392	9,174311927	4,444444444	4,184100418
L (m)	0,5	0,5	0,5	0,5
basınç kaybı ΔP (kpa)	24843,86896	131394,8552	60856,64566	141911,8572
debi Q (m^3/s)	5,76335E-06	2,58051E-06	4,22005E-06	4,37298E-06
debi Q (kg/h)	19,71066463	8,82534036	14,43256743	14,95558805
harcanan enerji (Kw)	0,143183968	0,33906559	0,256818024	0,620577566
harcanan enerji (Kw/kg)	0,007264289	0,038419548	0,017794341	0,041494695

UYGLUMA 2 : Giriş ve çıkış yarı çapları sırasıyla 62-212 mm olan bir konik boruda power law kanunu kullanılarak odun kompozitlerinin ve HDPE basınç ve enerji kayıplarının boya göre değişimin kıyaslanması:

a) Aşağıda odun kompozitleri için kullanılan değerler tablo halinde verilmiştir.

Tablo 7.3 Odun kompozitleri için değerler

debi 100 kg/h				
	% 60 mapple için	% 60 pine	% 40 mapple	% 40 pine
Ro (m)	0,062	0,062	0,062	0,062
R1 (m)	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212
Q (m^3/s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,109	0,239	0,408	0,225
3n	-0,327	-0,717	-1,224	-0,675
s	9,174311927	4,184100418	2,450980392	4,444444444
m (kpa'n)	1022,3	818,5	97,1	362,5
ara işlem	39972,16544	22545,43907	1706,650425	10366,87625

Konik sistem için elde edilen denklem kullanılarak

$$P_0 - P_L = \frac{2mL}{3n} \left[\frac{Q}{\pi} \left(\frac{1}{n+3} \right) \right]^n \left(\frac{R_L^{-3n} - R_0^{-3n}}{R_0 - R_L} \right)$$

Bu denklemde yukarıda verilen ifadeler yerine konularak her bir uzunluk için basınç kaybı değerleri elde edildi. Daha sonra bu basınç kaybı değerlerinden kanal boyunca basınç kaybından dolayı oluşan enerji kaybı ise:

E: $Q \cdot \Delta P$ (Kw) bulunur.

Denklemler çözümünde ilk olarak diğere ifadeler yerine konularak ara bir değer elde edildi.

Daha sonra bu değerler uzunlukla çarpılarak sonuçlar excelde yapıldı.

Tablo 7.3 devamı

180 °C deki % 60 mapple için basınç ve enerji kaybı değerleri					
	39972,16544	39972,16544	39972,16544	39972,16544	39972,16544
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	1998,608272	3997,216544	5995,824816	7994,433088	9993,04136
ΔP (bar)	19,98608272	39,97216544	59,95824816	79,94433088	99,9304136
harcanan en. Kw	0,058359362	0,116718723	0,175078085	0,233437446	0,291796808

39972,16544	39972,16544	39972,16544	39972,16544	39972,16544
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
11991,64963	13990,2579	15988,86618	17987,47445	19986,08272
119,9164963	139,902579	159,8886618	179,8747445	199,8608272
0,350156169	0,408515531	0,466874892	0,525234254	0,583593615

180 °C deki % 60 pine için basınç ve enerji kaybı değerleri					
	22545,43907	22545,43907	22545,43907	22545,43907	22545,43907
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	1127,271954	2254,543907	3381,815861	4509,087814	5636,359768
ΔP (bar)	11,27271954	22,54543907	33,81815861	45,09087814	56,36359768
harcanan en. Kw	0,032916341	0,065832682	0,098749023	0,131665364	0,164581705

22545,43907	22545,43907	22545,43907	22545,43907	22545,43907
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
6763,631721	7890,903675	9018,175628	10145,44758	11272,71954
67,63631721	78,90903675	90,18175628	101,4544758	112,7271954
0,197498046	0,230414387	0,263330728	0,296247069	0,32916341

Tablo 7.3 devamı

180 °C deki % 40 pine için basınç ve enerji kaybı değerleri					
	10366,87625	10366,87625	10366,87625	10366,87625	10366,87625
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	518,3438125	1036,687625	1555,031438	2073,37525	2591,719063
ΔP (bar)	5,183438125	10,36687625	15,55031438	20,7337525	25,91719063
harcanan en. Kw	0,015135639	0,030271279	0,045406918	0,060542557	0,075678197

10366,87625	10366,87625	10366,87625	10366,87625	10366,87625
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
3110,062875	3628,406688	4146,7505	4665,094313	5183,438125
31,10062875	36,28406688	41,467505	46,65094313	51,83438125
0,090813836	0,105949475	0,121085115	0,136220754	0,151356393

180 °C deki % 40 maple için basınç ve enerji kaybı değerleri					
	1706,650425	1706,650425	1706,650425	1706,650425	1706,650425
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	85,33252125	170,6650425	255,9975638	341,330085	426,6626063
ΔP (bar)	0,853325213	1,706650425	2,559975638	3,41330085	4,266626063
harcanan en. Kw	0,00249171	0,004983419	0,007475129	0,009966838	0,012458548

1706,650425	1706,650425	1706,650425	1706,650425	1706,650425
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
511,9951275	597,3276488	682,66017	767,9926913	853,3252125
5,119951275	5,973276488	6,8266017	7,679926913	8,533252125
0,014950258	0,017441967	0,019933677	0,022425387	0,024917096

b) Aşağıda HDPE için değişik sıcaklıklarda kullanılan değerler tablo halinde verilmiştir.

Tablo 7.4 HDPE için çözümler

debi 100 kg/h HDPE			
	180 °C	200 °C	220 °C
Ro (m)	0,062	0,062	0,062
R1 (m)	0,0212	0,0212	0,0212
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,56	0,59	0,61
3n	-1,68	-1,77	-1,83
s	1,785714286	1,694915254	1,639344262
m (kpas'n)	6,19	4,68	3,73
ara işlem	73,06047601	51,09481434	38,66455396

Tablo 7.4 devamı

180 °C deki HDPE basınç ve enerji kaybı değerleri					
	73,06047601	73,06047601	73,06047601	73,06047601	73,06047601
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	3,653023801	7,306047601	10,9590714	14,6120952	18,265119
ΔP (bar)	0,036530238	0,073060476	0,109590714	0,146120952	0,18265119
harcanan en. Kw	0,000106668	0,000213337	0,000320005	0,000426673	0,000533341

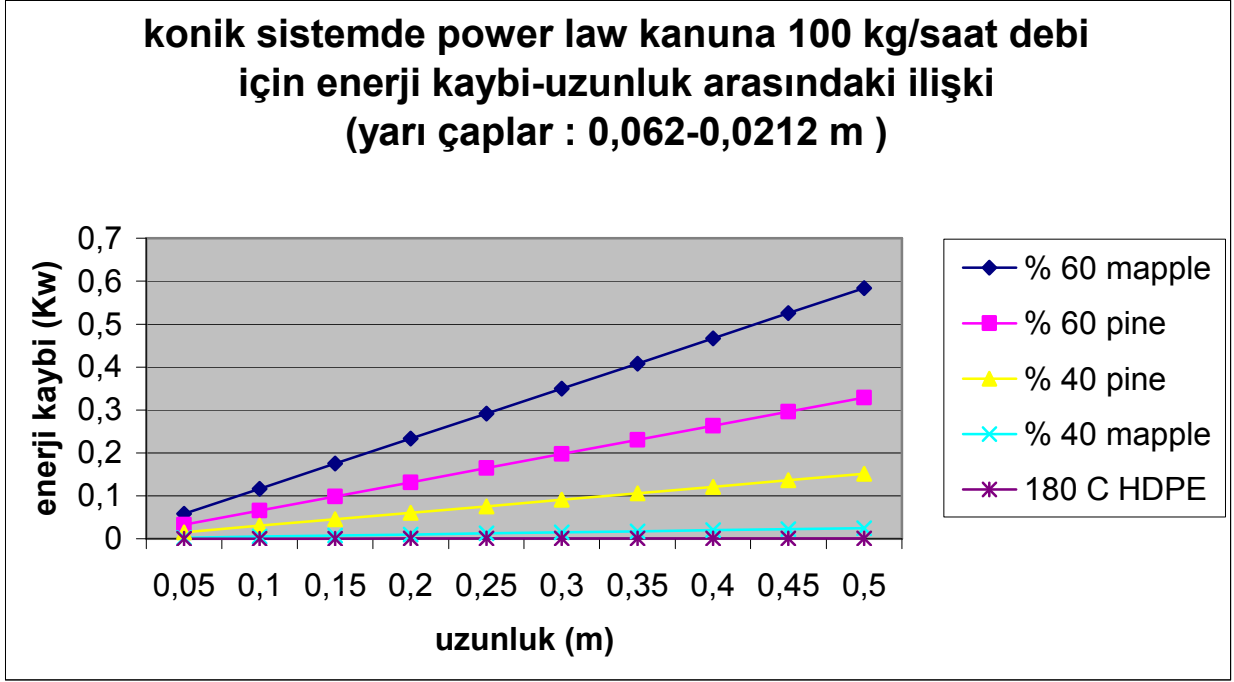
73,06047601	73,06047601	73,06047601	73,06047601	73,06047601
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
21,9181428	25,5711666	29,2241904	32,8772142	36,53023801
0,219181428	0,255711666	0,292241904	0,328772142	0,36530238
0,00064001	0,000746678	0,000853346	0,000960015	0,001066683

200 °C deki HDPE basınç ve enerji kaybı değerleri					
	51,09481434	51,09481434	51,09481434	51,09481434	51,09481434
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	2,554740717	5,109481434	7,664222151	10,21896287	12,77370359
ΔP (bar)	0,025547407	0,051094814	0,076642222	0,102189629	0,127737036
harcanan en. Kw	7,45984E-05	0,000149197	0,000223795	0,000298394	0,000372992

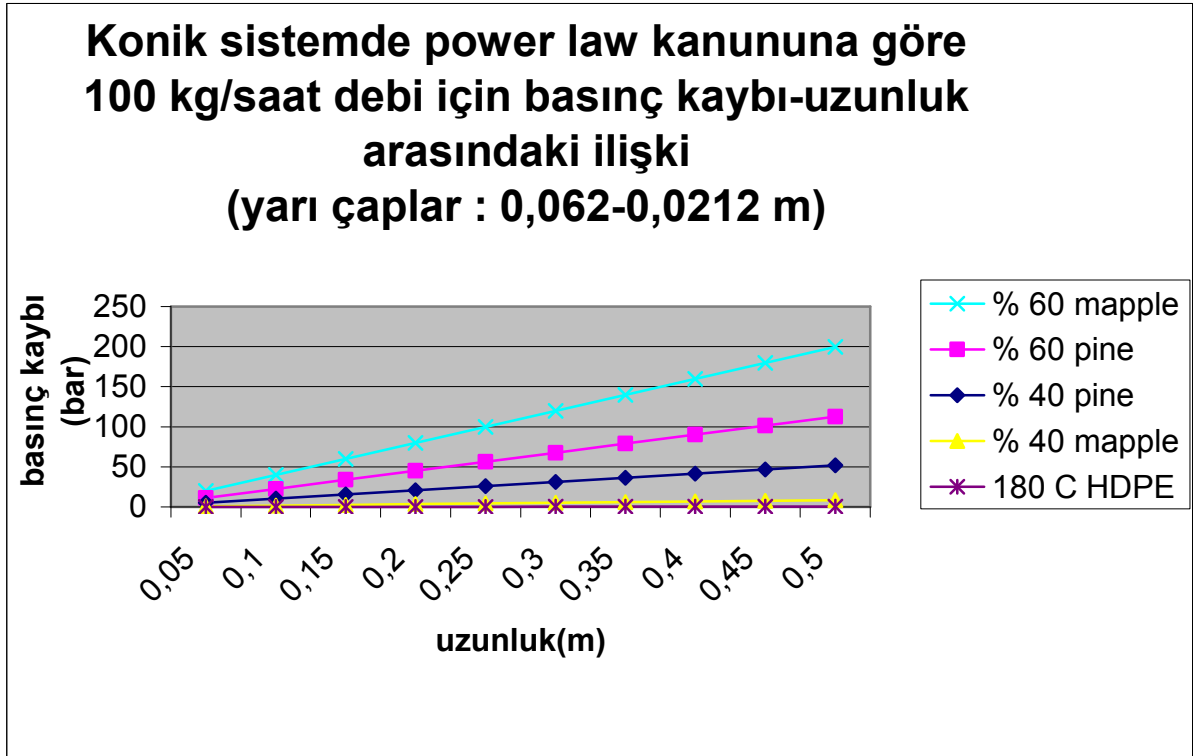
51,09481434	51,09481434	51,09481434	51,09481434	51,09481434
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
15,3284443	17,88318502	20,43792574	22,99266645	25,54740717
0,153284443	0,17883185	0,204379257	0,229926665	0,255474072
0,000447591	0,000522189	0,000596787	0,000671386	0,000745984

220 °C deki HDPE basınç ve enerji kaybı değerleri					
	38,66455396	38,66455396	38,66455396	38,66455396	38,66455396
L (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
ΔP (kpa)	1,933227698	3,866455396	5,799683094	7,732910792	9,66613849
ΔP (bar)	0,019332277	0,038664554	0,057996831	0,077329108	0,096661385
harcanan en. Kw	5,64502E-05	0,0001129	0,000169351	0,000225801	0,000282251

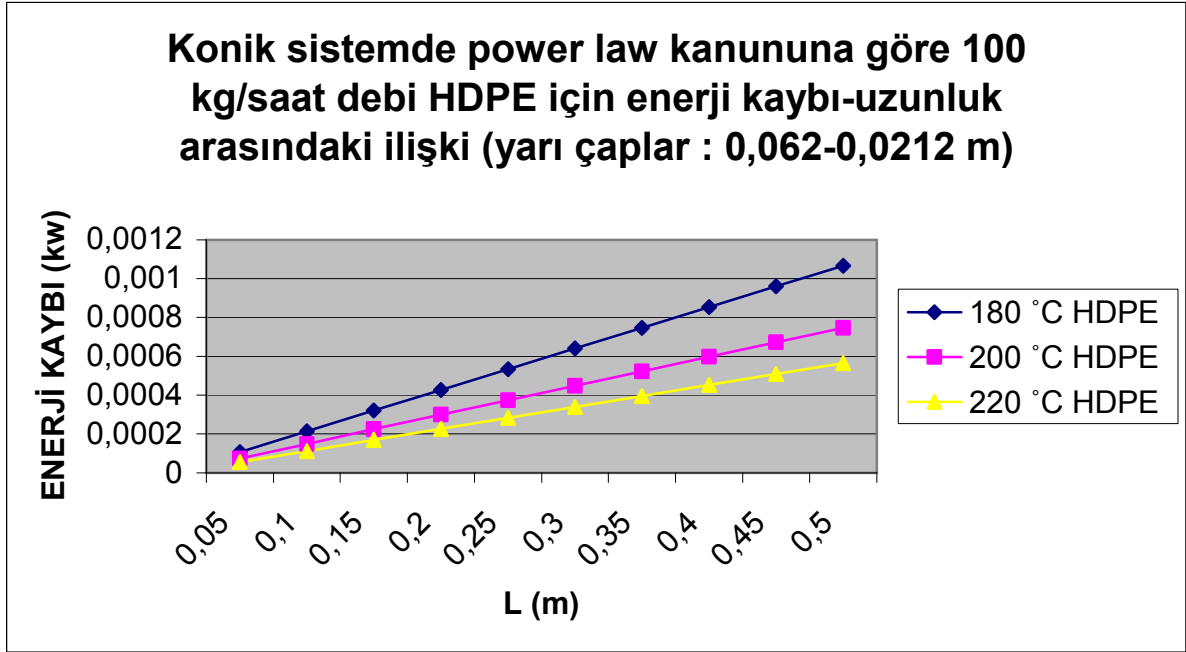
38,66455396	38,66455396	38,66455396	38,66455396	38,66455396
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
11,59936619	13,53259389	15,46582158	17,39904928	19,33227698
0,115993662	0,135325939	0,154658216	0,173990493	0,19332277
0,000338701	0,000395152	0,000451602	0,000508052	0,000564502



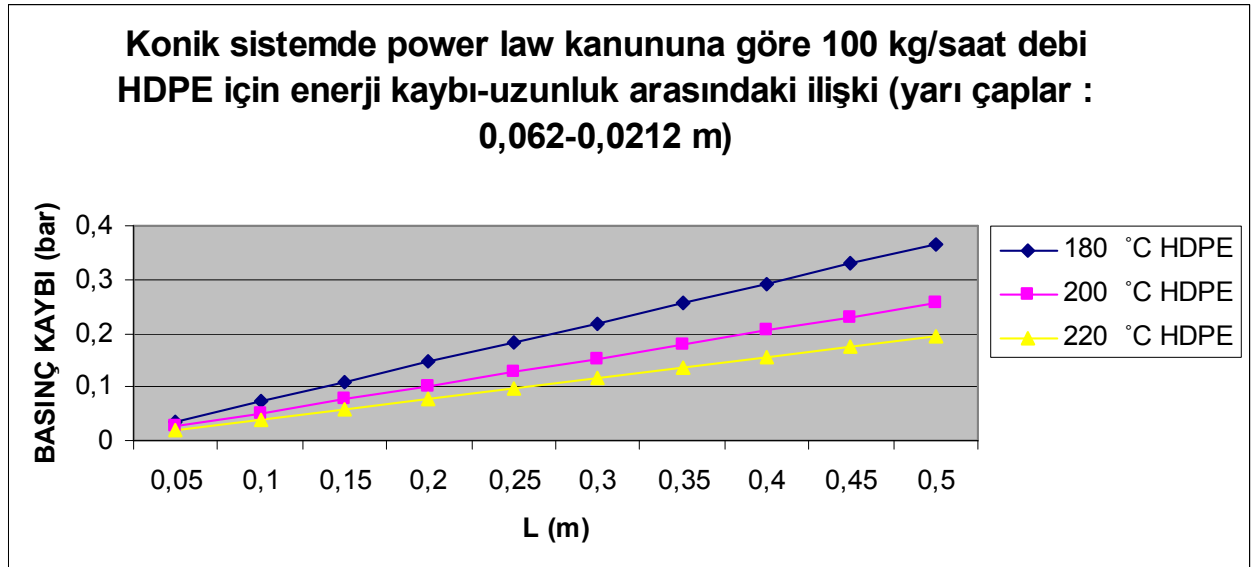
Şekil 7.3 Konik sistemde enerji kaybı- uzunluk arasındaki ilişki



Şekil 7.4 Konik sistemde basınç kaybı- uzunluk arasındaki ilişki



Şekil 7.5 Farklı sıcaklıklardaki HDPE için enerji kaybı – uzunluk ilişkisi



Şekil 7.6 Farklı sıcaklıklardaki HDPE için enerji kaybı – uzunluk ilişkisi

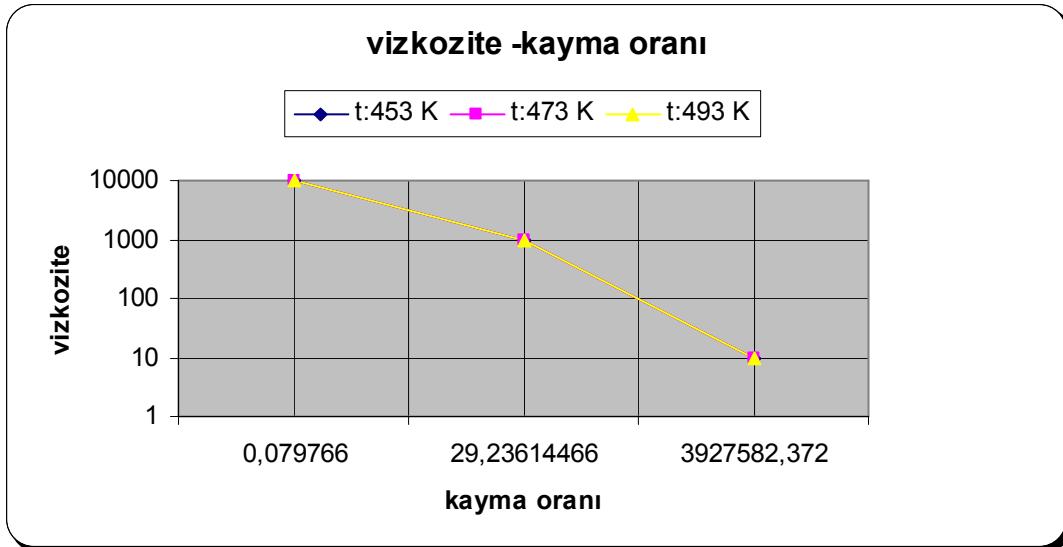
UYGULAMA 3: Dış çapı 700 mm ve iç çapı 600 mm olan ve dış çapı 63 mm ve iç çapı 55 mm olan birim boydaki annüler die kanal boyunca viskoziteleri sırayla 10,1000,10000 Pas olan sıvılar akmaktadır. Buna göre power law kanununu kullanarak kayma oranlarını bulun. Ayrıca farklı sıcaklıktaki malzeme için viskozite – kayma oranı grafiklerini çiziniz

Çözüm: Güç kanunu ifadesinden $\eta = m\gamma^{n-1}$

Bu denklemde aşağıda tablodan verilen değerler yerine konarak çözümler yapıldı.

Tablo 7.5 63/55 Annüler die için viskozite hesabı

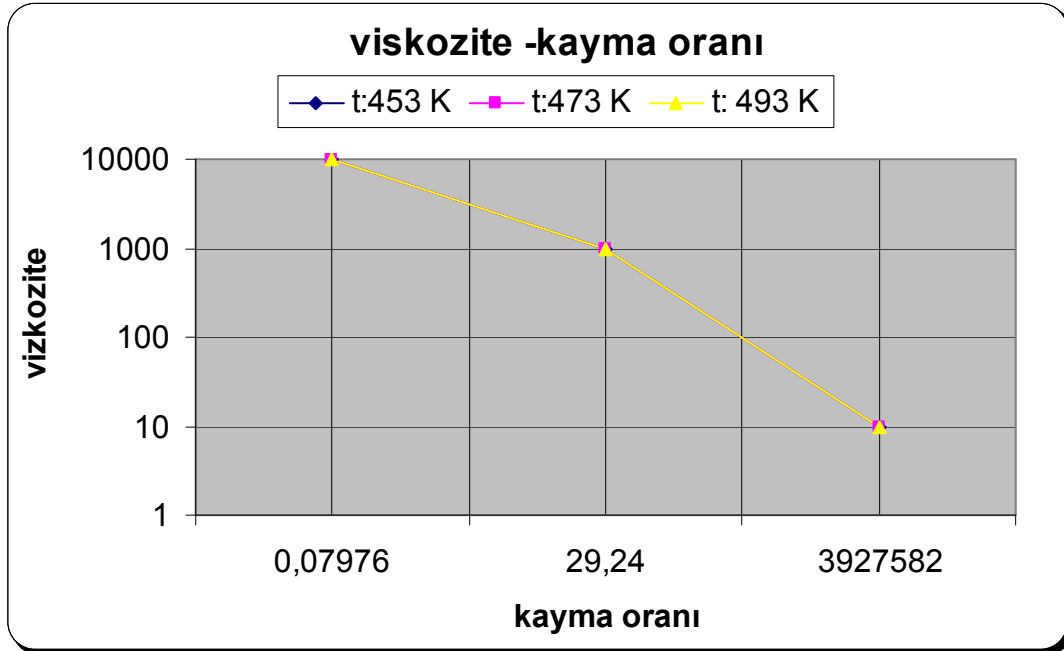
	viskozite (Pa.s)	kayma oranı (s ⁻¹)
Dd : 63 mm		
Diç : 55 mm	10000	0,33615
t:453 K	1000	63,025
n:0,56	10	2211828,63
m:6,19*10 ³ Pas ¹		
t:473 K	10000	0,156936
n:0,59	1000	43,126
m:4,68*10 ³	10	3256739,65
t:493 K	10000	0,079766
n:0,61	1000	29,23614466
m:3,73*10 ³	10	3927582,372



Şekil 7.7 63/55 Annüler boruda kayma oranı-viskozite ilişkisi

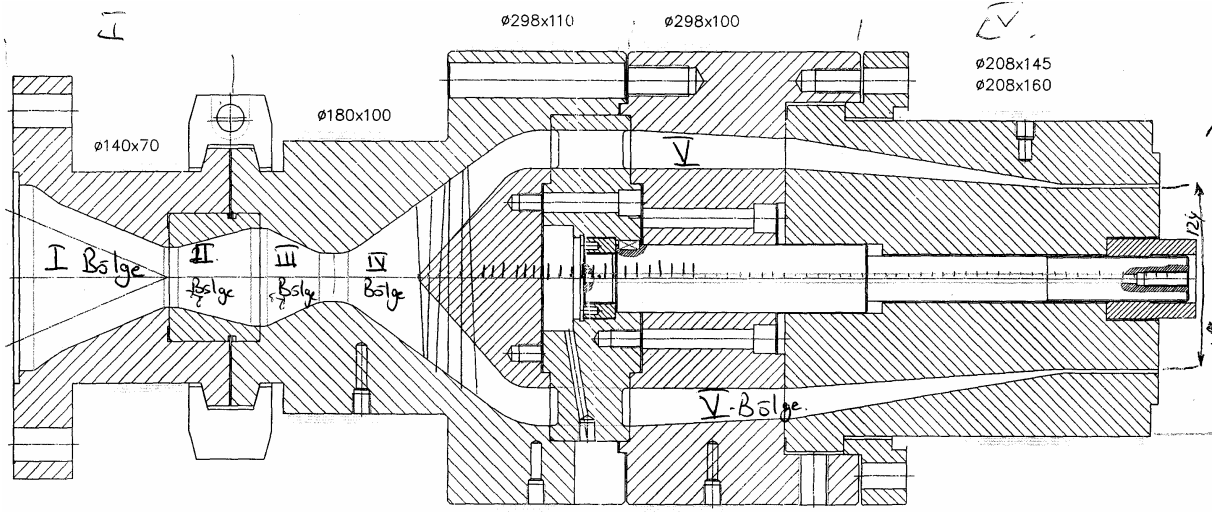
Tablo 7.6 700/600 Annüler die için viskozite hesabı

Dd:700 mm		
Di:600 mm		
	viskozite (Pa.s)	kayma oranı (s ¹)
t:453 K	10000	0,3361782
n:0,56	1000	62,9932
m:6,19*10 ³	10	2211829,017
t: 473 K	10000	0,1569
n:0,59	1000	43,1264
m: 4,68*10 ³	10	33402827,54
t:493 K	10000	0,07976
n:0,61	1000	29,24
m:3,78 *10 ³	10	3927582

**Şekil 7.8 700/600 Annüler boruda kayma oranı-viskozite ilişkisi**

Buradan da anlaşılacağı üzere farklı sıcaklıklarda polimerlerin kayma oranları da değişmekte.

UYGULAMA 4: 110'luk ekstrüder boru kafasında odun kompozitleri ve HDPE için akış analizi basınç kaybı ve enerji kaybı hesaplarının yapılması.



Şekil 7.9 110' luk ekstrüder kafası

Çözüm : Bu çözümlemede sistem çözümünde boru kafası 5 bölüme ayrılmıştır. İlk 4 bölüm konik sistem çözümlemesi yapıldı. 5. bölüm ise iç içe iki boru varmış gibi düşünülerek çözümleme yapıldı. Son bölümde kanal boyu çok küçük alınarak çap değişimi ihmal edildi. Ayrıca bu problemde 3 farklı debi değerine göre çözümleme yapıldı.

İlk 4 bölüm şekilde de görüldüğü gibi konik sitemde akış meydana gelmekte. Buna göre burada konik sitem için geçerli olan denklemler kullanılarak, gerekli çözümlemeler excelde tablo halinde gösterilmekte. Daha sonraki 5. bölüm ise iç içe iki boru varmış gibi düşünülerek çok küçük L mesafelerinde çap değişimi ihmal edilerek çözümle yapıldı.

Tablo 7.7 % 40 Mapple için 50 Kg/h için çözümler

debi 50 kg/h olursa				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4.bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,408	0,408	0,408	0,408
3n	-1,224	-1,224	-1,224	-1,224
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1
ΔP (kpa)	96,52238589	116,8604625	122,543546	96,0123039
harcanan en. Kw	0,001411157	0,0017085	0,001791587	0,0014037
basınç kaybı (kpa)		431,9386983		
harcanan enerji (KW)		0,006314944		

5. bölge	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	13,35634608	18,32556468	19,79164262	18,41832093	30,83507713
harcanan en. Kw	0,00019527	0,00026792	0,000289354	0,000269276	0,000450809

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
52,81186895	80,25780581	607,4384444	68,34925967	73,60926717	79,47704088
0,00077211	0,001173369	0,00888075	0,000999266	0,001076167	0,001161954

Tablo 7.7 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
82,66795528	85,18445947	92,46397306	92,46397306	96,44582854	108,2819628
0,001208606	0,001245397	0,001351823	0,001351823	0,001410038	0,001583082

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0,88	0,8842
115,1355218	119,2177113	123,5131096	126,502429	58,16286676	60,39532519
0,001683281	0,001742963	0,001805762	0,001849466	0,000850341	0,00088298

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,8884	0,8926	0,8968	0,901	0,9052	0,9094
63,86152958	69,2486568	77,36484999	83,56062191	88,135527	99,85382073
0,000933656	0,001012415	0,001131074	0,001221656	0,001288541	0,001459863

Tablo 7.7 devamı

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,9388	0,943	0,9472	0,9514	0,9556	0,9598
211,141523	261,4481887	339,768963	484,0884926	666,6118062	9136,466902
0,003086889	0,003822373	0,004967422	0,007077374	0,009745865	0,133575146
toplam basın kaybı (kpa)		14630,37355			
toplam enerji kaybı (Kw)		0,213896061			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	15062,31225	150,6231225	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	0,220211005		

Tablo 7.8 % 40 Mapple için 100 Kg/saat için çözümler

Debi 100 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m3/s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,408	0,408	0,408	0,408
3n	-1,224	-1,224	-1,224	-1,224
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1
ΔP (kpa)	127,9987486	154,969159	162,5055203	127,3223267
harcanan en. Kw	0,003737563	0,004525099	0,004745161	0,003717812
basınç kaybı (kpa)		572,7957547		
harcanan enerji (KW)		0,016725636		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m3/s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	17,71190764	24,30160967	26,2457819	24,42461414	40,89052763
harcanan en. Kw	0,000517188	0,000709607	0,000766377	0,000713199	0,001194003

Tablo 7.8 devamı

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
70,03404523	106,4302194	805,5267184	90,6382455	97,61356393	105,3948437
0,002044994	0,003107762	0,02352138	0,002646637	0,002850316	0,003077529

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
109,626329	112,9634759	122,61687	122,61687	127,8972256	143,5931738
0,003201089	0,003298533	0,003580413	0,003580413	0,003734599	0,004192921

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0,88	0,8842
152,6817077	158,0951167	163,7912627	167,755412	77,13002631	80,09049897
0,004458306	0,004616377	0,004782705	0,004898458	0,002252197	0,002338643

Tablo 7.8 devamı

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,8884	0,8926	0,8968	0,901	0,9052	0,9094
84,68704744	91,83093987	102,5938584	110,810098	116,8768992	132,4165786
0,002472862	0,002681463	0,002995741	0,003235655	0,003412805	0,003866564

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,9136	0,9178	0,922	0,9262	0,9304	0,9346
144,6172542	136,7297997	204,2998402	204,4640901	188,0563166	216,8194265
0,004222824	0,00399251	0,005965555	0,005970351	0,005491244	0,006331127

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,9388	0,943	0,9472	0,9514	0,9556	0,9598
279,9956764	346,707561	450,5690746	641,9518198	883,9967665	12115,90782
0,008175874	0,010123861	0,013156617	0,018744993	0,025812706	0,353784508
toplam basın kaybı (kpa)		19401,40092			
toplam enerji kaybı (Kw)		0,566520907			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	19974,19667	199,7419667	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	0,583246543		

Tablo 7.9 % 40 Mapple için 500 Kg/saat için çözümler

debi 500 kg/h olursa				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4.bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,408	0,408	0,408	0,408
3n	-1,224	-1,224	-1,224	-1,224
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1
ΔP (kpa)	246,9608143	298,9975301	313,5381874	245,6557257
harcanan en. Kw	0,036105671	0,043713439	0,045839283	0,035914867
basınç kaybı (kpa)		1105,152257		
harcanan enerji (KW)		0,16157326		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
s	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
m (kpas'n)	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	34,17335857	46,88753115	50,63861748	47,124856	78,89419316
harcanan en. Kw	0,004996145	0,006854957	0,007403366	0,006889654	0,011534331

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
135,1237026	205,3464893	1554,183431	174,8774512	188,3356321	203,3488351
0,019755085	0,030021657	0,227221618	0,025567083	0,027534669	0,0297296

Tablo 7.9 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0	0
211,5130637	217,9517558	236,5770165	236,5770165	246,7649357	277,0487018
0,03092321	0,031864547	0,03458756	0,03458756	0,036077034	0,04050452

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0	0	0	0	0,88	0,8842
294,5841211	305,0287536	316,018899	323,6673296	148,81469	154,5266267
0,043068198	0,044595204	0,046201963	0,047320164	0,021756708	0,022591793

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,8884	0,8926	0,8968	0,901	0,9052	0,9094
163,3952083	177,178636	197,9446133	213,7970279	225,5023155	255,4845765
0,023888379	0,025903517	0,028939502	0,031257125	0,032968439	0,037351845

Tablo 7.9 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,9136	0,9178	0,922	0,9262	0,9304	0,9346
279,0245627	263,8065061	394,1761575	394,4930613	362,8358995	418,3314502
0,040793391	0,038568511	0,057628554	0,057674886	0,053046609	0,061160058

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392	2,450980392
97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
0,9388	0,943	0,9472	0,9514	0,9556	0,9598
540,2237208	668,9376458	869,3280735	1238,581985	1705,583559	23376,43527
0,078980708	0,097798684	0,127095764	0,181080686	0,249356316	3,417634837
toplam basınç kaybı (kpa)		37433,06728			
toplam enerji kaybı (Kw)		5,472714436			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	38538,21954	385,3821954	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	5,634287696		

Tablo 7.10 % 60 Mapple 50 Kg/saat için çözümler

debi 50 kg/h olursa					
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge	
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167	
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05	
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045	
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	
n	0,109	0,109	0,109	0,109	
3n	-0,327	-0,327	-0,327	-0,327	
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	
m (kpas'n)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	
ΔP (kpa)	2780,170574	2659,145176	2468,404563	2249,849566	
harcanan en. Kw	0,040646094	0,038876702	0,036088075	0,032892801	
basınç kaybı (kpa)		10157,56988			
harcanan enerji (KW)		0,148503672			
5. bölge	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
m (kpas'n)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	219,5431507	265,1457306	277,6055271	265,945683	361,6806754
harcanan en. Kw	0,003209721	0,003876431	0,004058593	0,003888126	0,005287771

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
498,6084678	640,0417944	5301,215521	581,5517234	607,8555952	636,3193129
0,007289656	0,009357411	0,077503771	0,008502286	0,008886849	0,009302988

Tablo 7.10 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
651,4416568	663,2024157	696,4579703	696,4579703	714,2011168	765,2738148
0,009524077	0,009696019	0,010182216	0,010182216	0,01044162	0,011188303

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0,93	0,93157
793,8164558	810,4917867	827,7912563	839,6876449	706,3745335	722,8596185
0,011605597	0,01184939	0,012102308	0,012276233	0,010327196	0,010568208

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,93314	0,93471	0,93628	0,93785	0,93942	0,94099
750,0022352	791,0993125	850,4691528	894,630207	926,5572687	1005,74605
0,010965033	0,011565872	0,012433859	0,013079494	0,013546267	0,014704007

Tablo 7.10 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,94256	0,94413	0,9457	0,94727	0,94884	0,95041
1065,760501	1026,464891	1336,746952	1337,454672	1264,454975	1388,619065
0,015581419	0,015006917	0,01954324	0,019553587	0,018486332	0,020301611

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,95198	0,95355	0,95512	0,95669	0,95826	0,95983
1643,529923	1892,487193	2250,348898	2846,175155	3517,290421	42109,50967
0,024028407	0,027668163	0,032900101	0,041611081	0,051422786	0,615641031
toplam basınç kaybı (kpa)		85440,91597			
toplam enerji kaybı (Kw)		1,249146191			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	95598,48585	955,9848585	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	1,397649863		

Tablo 7.11 % 60 Mapple 100 Kg/saat için çözümler

debi 100 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,109	0,109	0,109	0,109
3n	-0,327	-0,327	-0,327	-0,327
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
m (kpas ⁿ)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
ΔP (kpa)	2997,9122	2867,408151	2661,728825	2426,056705
harcanan en. Kw	0,087539036	0,083728318	0,077722482	0,070840856
basınç kaybı (kpa)		10953,10588		
harcanan enerji (KW)		0,319830692		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
m (kpas ⁿ)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	236,737665	285,911817	299,3474589	286,7744214	390,0073325
harcanan en. Kw	0,00691274	0,008348625	0,008740946	0,008373813	0,011388214

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
537,6592439	690,1695609	5716,404179	627,0985755	655,462554	686,1555363
0,01569965	0,020152951	0,166919002	0,018311278	0,019139507	0,020035742

Tablo 7.11 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
702,462255	715,1441109	751,0042246	751,0042246	770,1370058	825,209693
0,020511898	0,020882208	0,021929323	0,021929323	0,022488001	0,024096123

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0,93	0,93157
855,98778	873,9691148	892,6234705	905,4515786	761,6974483	779,4736373
0,024994843	0,025519898	0,026064605	0,026439186	0,022241565	0,02276063

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,93314	0,93471	0,93628	0,93785	0,93942	0,94099
808,7420506	853,0578313	917,0774891	964,6972158	999,1247898	1084,515599
0,023615268	0,024909289	0,026778663	0,028169159	0,029174444	0,031667855

Tablo 7.11 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,94256	0,94413	0,9457	0,94727	0,94884	0,95041
1149,230353	1106,857129	1441,440332	1442,20348	1363,486483	1497,375044
0,033557526	0,032320228	0,042090058	0,042112342	0,039813805	0,043723351

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,95198	0,95355	0,95512	0,95669	0,95826	0,95983
1772,250399	2040,705883	2426,595144	3069,086228	3792,762921	45407,50628
0,051749712	0,059588612	0,070856578	0,089617318	0,110748677	1,325899183
toplam basınç kaybı (kpa)		92132,60754			
toplam enerji kaybı (Kw)		2,69027214			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	103085,7134	1030,857134	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	3,010102832		

Tablo 7.12 % 60 Mapple 500 Kg/saat için çözümler

debi 500 kg/h olursa				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4.bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m3/s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,109	0,109	0,109	0,109
3n	-0,327	-0,327	-0,327	-0,327
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
m (kpas ⁿ)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
ΔP (kpa)	3573,316151	3417,763821	3172,607456	2891,701634
harcanan en. Kw	0,522418821	0,499677071	0,46383521	0,422766779
basınç kaybı (kpa)		13055,38906		
harcanan enerji (KW)		1,908697881		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
k	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m3/s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
s	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
m (kpas ⁿ)	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	282,1758829	340,7882704	356,8026807	341,8164386	464,8633473
harcanan en. Kw	0,041254114	0,049823245	0,052164552	0,049973563	0,067963021

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
640,8548122	822,6371802	6813,58159	747,4606722	781,2686877	817,8527243
0,093692974	0,120269556	0,996145629	0,10927875	0,114221482	0,119570068

Tablo 7.12 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0	0
837,2892712	852,4052177	895,1481385	895,1481385	917,9531679	983,5962254
0,122411691	0,124621643	0,130870658	0,130870658	0,134204753	0,143801768

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0	0	0	0	0,93	0,93157
1020,281701	1041,714281	1063,949059	1079,239328	907,8937648	929,0818247
0,149165185	0,152298628	0,155549352	0,15778479	0,132734068	0,135831763

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,93314	0,93471	0,93628	0,93785	0,93942	0,94099
963,9678678	1016,789393	1093,096657	1149,856271	1190,891697	1292,671982

Tablo 7.12 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,94256	0,94413	0,9457	0,94727	0,94884	0,95041
1369,807755	1319,301631	1718,103025	1719,012648	1625,187112	1784,77356
0,200265894	0,192881899	0,251186662	0,251319649	0,237602356	0,260933894

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927	9,174311927
1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3	1022,3
0,95198	0,95355	0,95512	0,95669	0,95826	0,95983
2112,407086	2432,388544	2892,343418	3658,150958	4520,726458	54122,79104
0,308833916	0,355615205	0,422860608	0,53482167	0,660930208	7,91275205
toplam basınç kaybı (kpa)		109816,0695			
toplam enerji kaybı (Kw)		16,05510936			

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	109817,9782	1098,179782	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	16,05510936		

Tablo 7.13 % 40 Pine 50 Kg/saat için çözümler

debi 50 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,225	0,225	0,225	0,225
3n	-0,675	-0,675	-0,675	-0,675
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5
ΔP (kpa)	665,4434167	702,634818	682,4413357	583,1715005
harcanan en. Kw	0,009728783	0,010272521	0,009977292	0,008525967
basınç kaybı (kpa)		2633,691071		
harcanan enerji (KW)		0,038504563		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
k	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	66,93984021	84,94627057	90,01561967	85,26989356	125,7032088
harcanan en. Kw	0,00097866	0,001241914	0,001316028	0,001246646	0,001837781

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
188,5153685	258,3661676	2066,394861	228,9290968	242,0757851	256,4708938
0,002756095	0,003777313	0,030210693	0,003346943	0,003539148	0,003749604

Tablo 7.13 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
264,1882653	270,2227414	287,4372957	287,4372957	296,7111896	323,7402222
0,003862432	0,003950656	0,004202333	0,004202333	0,004337918	0,004733082

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0,9	0,90315
339,0552406	348,0700634	357,4738379	363,9706036	241,8797844	248,9501516
0,004956988	0,005088784	0,005226268	0,00532125	0,003536282	0,003639651

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9063	0,90945	0,9126	0,91575	0,9189	0,92205
260,2239218	277,4638884	302,7946996	321,8232022	335,7001724	370,5228217
0,003804474	0,004056522	0,004426859	0,004705055	0,004907937	0,005417044

Tablo 7.13 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9252	0,92835	0,9315	0,93465	0,9378	0,94095
397,285602	379,9259474	521,9106569	522,2793694	488,5623004	546,7985416
0,005808316	0,005554517	0,007630334	0,007635724	0,007142781	0,007994195

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9441	0,94725	0,9504	0,95355	0,9567	0,95985
669,4820727	792,9870827	976,067186	1292,970929	1666,472524	21027,32288
0,009787828	0,011593471	0,014270102	0,018903235	0,024363828	0,30741946
toplam basınç kaybı (kpa)			38473,35749		
toplam enerji kaybı (Kw)			0,562480487		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	41107,04857	411,0704857	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	0,60098505		

Tablo 7.14 % 40 Pine 100 Kg/saat için çözümler

debi 100 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,225	0,225	0,225	0,225
3n	-0,675	-0,675	-0,675	-0,675
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5
ΔP (kpa)	777,5156075	820,9706846	797,3762703	681,3876764
harcanan en. Kw	0,022703456	0,023972344	0,023283387	0,01989652
basınç kaybı (kpa)		3077,250239		
harcanan enerji (KW)		0,089855707		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	78,2136681	99,25269304	105,1758083	99,63081974	146,8738052
harcanan en. Kw	0,002283839	0,002898179	0,003071134	0,00290922	0,004288715

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
220,2646199	301,8795027	2414,411527	267,4847197	282,8455379	299,665032
0,006431727	0,008814881	0,070500817	0,007810554	0,00825909	0,008750219

Tablo 7.14 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
308,6821426	315,7329289	335,8467121	335,8467121	346,6824903	378,2636798
0,009013519	0,009219402	0,009806724	0,009806724	0,010123129	0,011045299

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0,9	0,90315
396,1580125	406,6910875	417,6786205	425,269554	282,6165273	290,8776667
0,011567814	0,01187538	0,012196216	0,012417871	0,008252403	0,008493628

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9063	0,90945	0,9126	0,91575	0,9189	0,92205
304,050135	324,1936104	353,7905687	376,0238006	392,2378927	432,925279
0,008878264	0,009466453	0,010330685	0,010979895	0,011453346	0,012641418

Tablo 7.14 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9252	0,92835	0,9315	0,93465	0,9378	0,94095
464,1953747	443,9120539	609,8094463	610,2402564	570,8446492	638,8888816
0,013554505	0,012962232	0,017806436	0,017819015	0,016668664	0,018655555

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9441	0,94725	0,9504	0,95355	0,9567	0,95985
782,2344431	926,5398348	1140,453797	1510,729616	1947,135345	24568,68805
0,022841246	0,027054963	0,033301251	0,044113305	0,056856352	0,717405691
toplam basınç kaybı (kpa)			44952,93691		
toplam enerji kaybı (Kw)			1,312625758		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	48030,18715	480,3018715	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	1,402481465		

Tablo 7.15 % 40 Pine 500 Kg/saat için çözümler

debi 500 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,225	0,225	0,225	0,225
3n	-0,675	-0,675	-0,675	-0,675
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5
ΔP (kpa)	1117,149082	1179,586156	1145,685256	979,0306583
harcanan en. Kw	0,163327196	0,172455496	0,167499184	0,143134282
basınç kaybı (kpa)		4421,451152		
harcanan enerji (KW)		0,646416158		

5.bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
k	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
s	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
m (kpas ⁿ)	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	112,3788727	142,6081404	151,118584	143,1514399	211,031052
harcanan en. Kw	0,016429791	0,02084931	0,022093537	0,020928741	0,03085274

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
316,4803581	433,7461602	3469,071996	384,3270876	406,3978007	430,564367
0,046269428	0,063413689	0,507178326	0,05618862	0,059415358	0,06294851

Tablo 7.15 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0	0
443,5203214	453,6510241	482,550887	482,550887	498,1199373	543,4963858
0,064842671	0,06632378	0,07054894	0,07054894	0,072825135	0,079459172

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0	0	0	0	0,9	0,90315
569,2073003	584,3414211	600,1285155	611,0353118	406,068754	417,9385149
0,083218107	0,085430716	0,087738789	0,089333363	0,059367252	0,061102611

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9063	0,90945	0,9126	0,91575	0,9189	0,92205
436,8649656	465,8074908	508,3329584	540,2780851	563,5747983	622,0352019
0,063869658	0,068101055	0,074318279	0,078988656	0,082394636	0,090941547

Tablo 7.15 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9252	0,92835	0,9315	0,93465	0,9378	0,94095
666,9646649	637,8212072	876,185708	876,804704	820,200353	917,9675887
0,097510234	0,09324946	0,128098351	0,128188848	0,119913292	0,134206861

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444	4,444444444
362,5	362,5	362,5	362,5	362,5	362,5
0,9441	0,94725	0,9504	0,95355	0,9567	0,95985
1123,929194	1331,269901	1638,625514	2170,644792	2797,680769	35300,75414
0,164318448	0,19463166	0,23956705	0,317348269	0,409020928	5,160970255
toplam basınç kaybı (kpa)			64589,22715		
toplam enerji kaybı (Kw)			9,44294501		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	69010,6783	690,106783	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	10,08936117		

Tablo 7.16 % 60 Pine 50 Kg/saat için çözümler

debi 50 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,239	0,239	0,239	0,239
3n	-0,717	-0,717	-0,717	-0,717
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpas ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5
ΔP (kpa)	1433,229753	1530,50952	1494,929419	1268,211632
harcanan en. Kw	0,020953819	0,022376049	0,021855868	0,018541254
basınç kaybı (kpa)		5726,880324		
harcanan enerji (KW)		0,08372699		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpas ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
1. işlem	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823
ΔP kpa	148,0289484	188,9733279	200,541975	189,711354	282,4036536
harcanan en. Kw	0,002164183	0,00276279	0,002931924	0,00277358	0,004128741

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823
427,8424307	591,0240757	4707,058893	522,0994521	552,8555327	586,5802509
0,006255056	0,008640772	0,068817201	0,007633094	0,008082748	0,008575803

Tablo 7.16 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823
604,6801634	618,8423624	659,2859038	659,2859038	681,0992405	744,770602
0,008840424	0,009047475	0,00963876	0,00963876	0,009957671	0,010888546

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0,89	0,893684
0,000180823	0,000180823	0,000180823	0,000180823	9,04115E-05	9,04115E-05
780,9076363	802,1981137	824,4219208	839,7842236	543,646627	559,8539213
0,01141687	0,011728136	0,012053048	0,012277645	0,007948114	0,008185064

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,897368	0,901052	0,904736	0,90842	0,912104	0,915788
9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05
585,6573322	625,1929534	683,4199018	727,1832489	759,1005142	839,4294262
0,00856231	0,009140321	0,009991599	0,010631419	0,01109805	0,012272458

Tablo 7.16 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,919472	0,923156	0,92684	0,930524	0,934208	0,937892
9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05
901,2324397	861,0093559	1190,288378	1191,013384	1112,567955	1247,889688
0,013176018	0,012587957	0,017402016	0,017412616	0,016265744	0,018244147

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,941576	0,94526	0,948944	0,952628	0,956312	0,959996
9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05	9,04115E-05
1533,958659	1822,93816	2252,92067	3000,7601	3886,833805	49349,95165
0,022426476	0,026651356	0,0329377	0,043871113	0,05682551	0,721496293
toplam basınç kaybı (kpa)			89287,24413		
toplam enerji kaybı (Kw)			1,305379509		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	95014,12445	950,1412445	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	1,3891065		

Tablo 7.17 % 60 Pine 100 Kg/saat için çözümler

debi 100 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,239	0,239	0,239	0,239
3n	-0,717	-0,717	-0,717	-0,717
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpa ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5
ΔP (kpa)	1690,907673	1805,677201	1763,700216	1496,221226
harcanan en. Kw	0,049374504	0,052725774	0,051500046	0,04368966
basınç kaybı (kpa)		6756,506316		
harcanan enerji (KW)		0,197289984		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpa ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	174,6428191	222,9485184	236,5970727	223,819233	333,1765222
harcanan en. Kw	0,00509957	0,006510097	0,006908635	0,006535522	0,009728754

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
504,7634875	697,2832807	5553,332939	615,9668172	652,2524808	692,0405082
0,014739094	0,020360672	0,162157322	0,017986231	0,019045772	0,020207583

Tablo 7.17 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
713,394573	730,1029694	777,8177858	777,8177858	803,5529049	878,6716313
0,020831122	0,021319007	0,022712279	0,022712279	0,023463745	0,025657212

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0,89	0,893684
921,305681	946,4239368	972,6433241	990,7675889	641,3879218	660,5090976
0,026902126	0,027635579	0,028401185	0,028930414	0,018728527	0,019286866

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,897368	0,901052	0,904736	0,90842	0,912104	0,915788
690,9516596	737,5953223	806,2907939	857,9222782	895,5778938	990,3490032
0,020175788	0,021537783	0,023543691	0,025051331	0,026150874	0,028918191

Tablo 7.17 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,919472	0,923156	0,92684	0,930524	0,934208	0,937892
1063,263474	1015,808751	1404,288285	1405,143638	1312,59464	1472,245635
0,031047293	0,029661616	0,041005218	0,041030194	0,038327763	0,042989573

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,941576	0,94526	0,948944	0,952628	0,956312	0,959996
1809,746456	2150,681085	2657,969414	3540,261612	4585,640989	58222,49482
0,052844597	0,062799888	0,077612707	0,103375639	0,133900717	1,700096849
toplam basınç kaybı (kpa)			105340,0446		
toplam enerji kaybı (Kw)			3,075929303		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	112096,5509	1120,965509	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	3,273219288		

Tablo 7.18 % 60 Pine 500 Kg/saat için çözümler

debi 500 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,239	0,239	0,239	0,239
3n	-0,717	-0,717	-0,717	-0,717
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpas ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5
ΔP (kpa)	2484,939476	2653,603524	2591,914603	2198,830397
harcanan en. Kw	0,363298151	0,387956835	0,378937915	0,321469004
basınç kaybı (kpa)		9929,288001		
harcanan enerji (KW)		1,451661906		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
s	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
m (kpas ⁿ)	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
F(s,k)	0	0	0	0	0
ΔP kpa	256,6531825	327,6427113	347,7004779	328,922304	489,6325837
harcanan en. Kw	0,037522695	0,047901364	0,05083381	0,048088441	0,071584284

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
741,7949167	1024,719905	8161,117526	905,2181172	958,5431328	1017,015184
0,108450417	0,14981405	1,193155382	0,132342889	0,140139006	0,14868762

Tablo 7.18 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0	0
1048,396885	1072,951362	1143,072536	1143,072536	1180,892586	1291,286247
0,153275625	0,156865489	0,167117205	0,167117205	0,172646496	0,188786049

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0	0	0	0	0,89	0,893684
1353,940782	1390,854296	1429,386022	1456,021244	942,5766953	970,6769668
0,197946142	0,203342898	0,208976236	0,212870306	0,137804713	0,141912973

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,897368	0,901052	0,904736	0,90842	0,912104	0,915788
1015,415024	1083,962042	1184,916158	1260,793224	1316,131506	1455,406095
0,148453676	0,158475251	0,173234742	0,184327969	0,192418426	0,212780371

Tablo 7.18 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,919472	0,923156	0,92684	0,930524	0,934208	0,937892
1562,560407	1492,821463	2063,726749	2064,983767	1928,974768	2163,59613
0,228446331	0,218250498	0,301716851	0,301900627	0,282016111	0,316317754

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418	4,184100418
818,5	818,5	818,5	818,5	818,5	818,5
0,941576	0,94526	0,948944	0,952628	0,956312	0,959996
2659,583656	3160,617469	3906,122864	5202,729857	6739,007989	85563,14346
0,38883113	0,462082274	0,571075163	0,760639105	0,985242968	12,50933157
toplam basınç kaybı (kpa)			154806,5808		
toplam enerji kaybı (Kw)			22,63272212		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	164735,8688	1647,358688	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	24,08438402		

Tablo 7.19 180 °C HDPE için 50 Kg/saat çözümler

debi 50 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4. bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,56	0,56	0,56	0,56
3n	-1,68	-1,68	-1,68	-1,68
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP (kpa)	3,719629967	4,96097099	5,570496672	4,113866601
harcanan en. Kw	5,4381E-05	7,25294E-05	8,14407E-05	6,01447E-05
basınç kaybı (kpa)		18,36496423		
harcanan enerji (KW)		0,000268496		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
n	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP kpa	0,65250524	0,955255257	1,048086509	0,961084743	1,788309616
harcanan en. Kw	9,53963E-06	1,39658E-05	1,5323E-05	1,40511E-05	2,61451E-05

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
3,420135779	5,663247721	40,9427609	4,666702563	5,10282516	5,596924728
5,00024E-05	8,27967E-05	0,000598583	6,82272E-05	7,46033E-05	8,1827E-05

Tablo 7.19 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
5,868811586	6,084761536	6,716724249	6,716724249	7,066800147	8,124622411
8,5802E-05	8,89592E-05	9,81985E-05	9,81985E-05	0,000103317	0,000118782

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
8,748251664	9,123368267	9,520929529	9,799290309	11,37294361	11,91238219
0,000127899	0,000133384	0,000139196	0,000143266	0,000166272	0,000174159

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
12,89242796	14,4601668	16,88716075	18,82559061	20,29119546	24,21456773
0,000188487	0,000211408	0,00024689	0,00027523	0,000296657	0,000354017

Tablo 7.19 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
27,42974658	25,22590013	44,71235396	44,71235396	39,47139359	48,3243917
0,000401023	0,000368803	0,000653695	0,000653695	0,000577072	0,000706503

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462	0,00001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
69,63853695	94,55748438	137,7524377	229,8636206	364,3244685	5985,359185
0,001018115	0,00138243	0,002013941	0,003360606	0,005326424	0,087505951
toplam basınç kaybı (kpa)			7390,79643		
toplam enerji kaybı (Kw)			0,108053444		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	7409,161394	74,09161394	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	0,10832194		

Tablo 7.20 180 °C HDPE için 100 Kg/saat çözümler

debi 100 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4.bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,56	0,56	0,56	0,56
3n	-1,68	-1,68	-1,68	-1,68
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP (kpa)	5,479533748	7,308202214	8,206118559	6,060299298
harcanan en. Kw	0,000160002	0,0002134	0,000239619	0,000176961
basınç kaybı (kpa)		27,05415382		
harcanan enerji (KW)		0,000789981		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
n	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP kpa	0,961231229	1,407224231	1,543977612	1,415811877	2,634429495
harcanan en. Kw	2,8068E-05	4,10909E-05	4,50841E-05	4,13417E-05	7,69253E-05

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
5,038337036	8,342753792	60,31439743	6,874703778	7,517173193	8,245050773
0,000147119	0,000243608	0,00176118	0,000200741	0,000219501	0,000240755

Tablo 7.20 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
8,645578037	8,963702432	9,894671654	9,894671654	10,41038228	11,96870202
0,000252451	0,00026174	0,000288924	0,000288924	0,000303983	0,000349486

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
12,88739489	13,43999397	14,02565716	14,43572141	16,75393221	17,54860048
0,000376312	0,000392448	0,000409549	0,000421523	0,000489215	0,000512419

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
18,9923446	21,30184257	24,87714317	27,73272073	29,89176108	35,67143566
0,000554576	0,000622014	0,000726413	0,000809795	0,000872839	0,001041606

Tablo 7.20 devamı

33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
40,40784256	37,16126935	65,86753378	65,86753378	58,14686814	71,18856916
0,001179909	0,001085109	0,001923332	0,001923332	0,001697889	0,002078706

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292	0,0000292
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
102,587278	139,2963632	202,9285542	338,621174	536,7007574	8817,268905
0,002995549	0,004067454	0,005925514	0,009887738	0,015671662	0,257464252
toplam basınç kaybı (kpa)			10887,674		
toplam enerji kaybı (Kw)			0,317920081		

toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	10914,72815	109,1472815	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	0,318710062		

Tablo 7.21 180 °C HDPE için 500 Kg/saat çözümler

debi 500 kg/h				
	1 bölge için	2. bölge için	3. bölge	4.bölge
Ro (m)	0,062	0,0212	0,0324	0,0167
R1 (m)	0,0212	0,0324	0,0167	0,05
L (m)	0,075	0,045	0,036	0,045
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,56	0,56	0,56	0,56
3n	-1,68	-1,68	-1,68	-1,68
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP (kpa)	13,50516013	18,01219697	20,22525096	14,93654683
harcanan en. Kw	0,001974454	0,002633383	0,002956932	0,002183723
basınç kaybı (kpa)		66,67915488		
harcanan enerji (KW)		0,009748492		

5. bölge için	1	2	3	4	5
Rd (m)	0,0516	0,0593	0,0638	0,0744	0,0805
Ri (m)	0,00076	0,0152	0,0212	0,0304	0,0456
R3 (m)	0,000137388	0,000208528	0,000259694	0,000411831	0,00052166
κ	0,014728682	0,256323777	0,332288401	0,408602151	0,566459627
L	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
Q (m ³ /s)	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
n	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
s	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
m (kpas ⁿ)	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
ΔP kpa	2,369103334	3,468322205	3,805372108	3,489487791	6,492959769
harcanan en. Kw	0,000346363	0,000507069	0,000556345	0,000510163	0,000949271

6	7	8	9	11	12
0,0912	0,0957	0,0995	0,0988	0,098	0,0972
0,0638	0,073	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000758551	0,000876467	0,000985075	0,00096443	0,000941192	0,00091833
0,699561404	0,762800418	0,747738693	0,753036437	0,759183673	0,765432099
0,0056	0,0056	0,053	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
12,41776246	20,56200966	148,6541799	16,94377289	18,52723833	20,32120543
0,001815477	0,003006166	0,021733241	0,00247718	0,002708682	0,00297096

Tablo 7.21 devamı

13	14	17	18	19	20
0,0968	0,0965	0,0957	0,0957	0,0953	0,09424
0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744
0,000907039	0,000898632	0,000876467	0,000876467	0,000865523	0,000836962
0,768595041	0,770984456	0,777429467	0,777429467	0,78069255	0,789473684
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
21,30836695	22,09243382	24,38695175	24,38695175	25,65800051	29,49872101
0,003115283	0,003229914	0,003565372	0,003565372	0,0037512	0,004312713

21	22	23	24	25	26
0,0937	0,0934	0,0931	0,0922	0,0904	0,0886
0,0744	0,0744	0,0744	0,0737	0,0729	0,0714
0,000822657	0,000814781	0,000806954	0,000783777	0,000738763	0,000695506
0,794023479	0,796573876	0,799140709	0,799349241	0,806415929	0,805869074
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
31,76298197	33,12494803	34,56840573	35,57907264	41,29266242	43,25124552
0,004643748	0,004842867	0,005053901	0,00520166	0,006036987	0,006323332

27	28	29	30	31	32
0,0877	0,0866	0,085	0,0839	0,083	0,0816
0,071	0,0706	0,0699	0,0694	0,0689	0,0684
0,000674526	0,000649462	0,000614125	0,00059059	0,000571787	0,000543338
0,809578107	0,815242494	0,822352941	0,827175209	0,830120482	0,838235294
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
46,80957667	52,50169234	61,31357475	68,3515882	73,67287775	87,91778148
0,00684356	0,007675747	0,008964045	0,009993002	0,010770975	0,01285358

Tablo 7.21 devamı

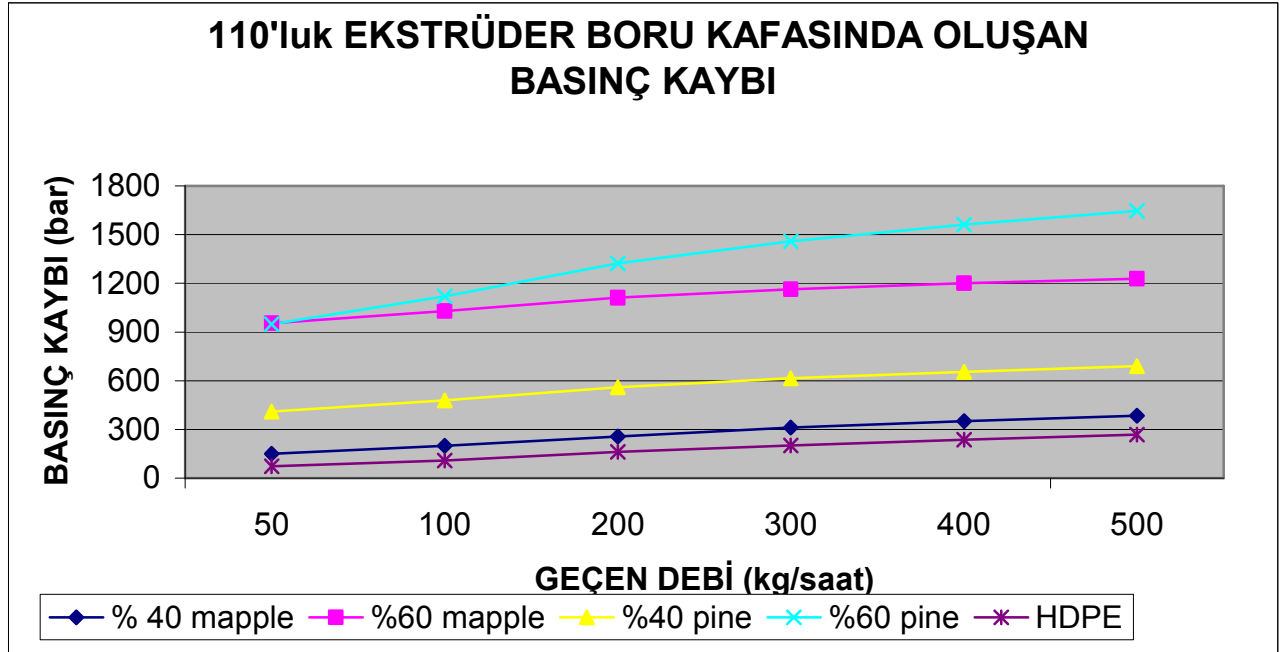
33	34	35	36	37	38
0,0805	0,08	0,077	0,0765	0,076	0,0747
0,0679	0,067	0,0665	0,066	0,065	0,0645
0,00052166	0,000512	0,000456533	0,000447697	0,000438976	0,000416833
0,843478261	0,8375	0,863636364	0,862745098	0,855263158	0,8634538
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
99,59139032	91,58970749	162,340745	162,340745	143,311968	175,4552613
0,014560261	0,013390415	0,023734217	0,023734217	0,02095221	0,025651559

39	40	41	42	43	44
0,0729	0,07144	0,0699	0,0684	0,0668	0,06536
0,064	0,0635	0,063	0,0627	0,062	0,0615
0,00038742	0,000364606	0,000341532	0,000320014	0,000298078	0,000279213
0,877914952	0,888857783	0,901287554	0,916666667	0,928143713	0,940942472
0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0513
0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462	0,0001462
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286	1,785714286
6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
252,8422453	343,3174749	500,1488712	834,5843622	1322,782193	21731,5257
0,036965536	0,050193015	0,073121765	0,122016234	0,193390757	3,177149057
toplam basınç kaybı (kpa)			26834,35991		
toplam enerji kaybı (Kw)			3,923183419		

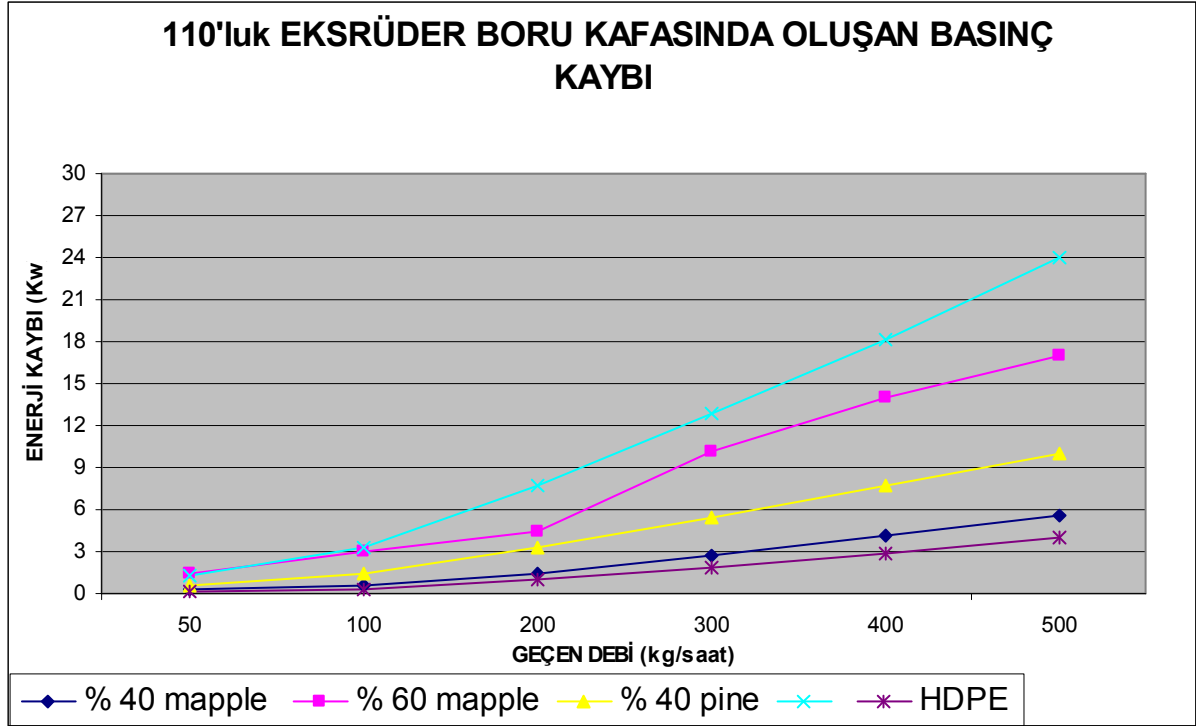
toplam kafa boyunca basınç kaybı (kpa)	26901,03906	269,0103906	bar
toplam kafa boyunca enerji kaybı (Kw)	3,932931911		

Tablo 7.22 Yukarıda yapılan çözümlerin sonuçları

Durum Analizi (180 °C için)					
50 kg/h için	% 40 mapple	% 60 mapple	% 40 pine	% 60 pine	HDPE
basınç kaybı (bar)	150	955	411	950	74
enerji kaybı (kw)	0,22	1,39	0,6	1,3	0,1
100 kg/h için	% 40 mapple	% 60 mapple	% 40 pine	% 60 pine	HDPE
basınç kaybı (bar)	199	1030	480	1120	109
enerji kaybı (kw)	0,58	3,01	1,4	3,23	0,3
500 kg/h için	% 40 mapple	% 60 mapple	% 40 pine	% 60 pine	HDPE
basınç kaybı (bar)	385	1228	690	1647	269
enerji kaybı (kw)	5,6	17	10	24	3,93



Şekil 7.10 Basınç kaybı – debi ilişkisi



Şekil 7.11 Enerji kaybı – debi ilişkisi

BÖLÜM 8

DENEY

Buraya kadar çeşitli sistemlerde oluşan basınç kaybı ve enerji kaybı denklemleri elde edildi. Daha sonra bu denklemler düz, konik sistemde çözümlene yapıldı, son olarak 110 ekstrüder kafasında denklemler uygulanarak oluşan basınç ve enerji kayıpları elde edildi. Deney Adapazarı ilinde bulunan **BERKE** Plastikte İtalyan malı AMUT EA 75 ekstrüzyon makinesinin da yapıldı.

Amaç: Yaptığımız teorik çalışmanın pratikte nasıl gerçekleştiğini görmek.

Makine hakkında bilgiler:

Marka : Amut EA 75

Model : QUADROPL

Yer : İtalyan

Yılı : 1999

Güç değerleri : 380-220 volt / 0-340 A-147 Kw



Şekil 8.1 Amut marka ekstrüderin kafa takılmış hali



Şekil 8.2 Ekstrüderin silosu



Şekil 8.3 Ekstrüderin ekranı



Şekil 8.4 Ekstrüzyon makinesinin gövdesi

8.1 Deney Yapılışı

Kafa boyunca oluşan basınç ve enerji kaybını bulmak için kafanın giriş ve çıkışına birer basınç sensörü ve çıkış debisini ölçmemiz gerekiyordu. Pratikte böyle bir kafanın girişinde basınç ölçümü almak mümkün ama kafanın die bölgesinde ölçüm almak çok zor bir olay. Çünkü ürünün son şeklini aldığı bölgede en ufak bir hava boşluğu üretilen borunun şeklinde bozulma meydana getirecekti. Bunun için bizde basınç sensörü koyma işinden vazgeçmek zorundaydık. Bizde deneyi iki aşamada gerçekleştirmek zorunda kaldık sitemde kafa takılıyken geçen debi, akım ve gerilim değerlerini ölçtük daha sonra kafayı söktük polipropileni boş akıtarak değerleri aldık.

Bizim bu deneyi iki aşamada yapmamızdaki asıl amaç yukarıda belirttiğimiz gibi kafaya ölçüm aletleri takma şansımız olmadığından kafada oluşan enerji kaybını bulabilmek için iki durumda ölçüm yaptık aradaki fark bize kafada oluşan net kayıp enerjiyi vermiş olacaktı

Deney için önceden makine çalıştırılarak 3 saat kadar makinenin ve polipropilen hammaddesinin ısınması beklendi. Makine ısıdıktan sonra makineyi % 10-20-30-40 kapasitelerde çalıştırdık. İlk çalışma esnasında bir süre makinenin rejime girmesi için bekledik. Daha sonra makinenin elektrik girişinde avometre yardımıyla giren voltu ölçtük. Makinenin üzerindeki plc ekranından geçen akım, basınç, devir ve sıcaklık değerlerini aldım. Buradaki basınç kafa girişindeki basınç değeridir. Debi ölçümünü makineden akan maddeyi belli sürelerde tartarak elde ettik. Aynı ölçümleri kafa çıkardıktan sonra yaptık.

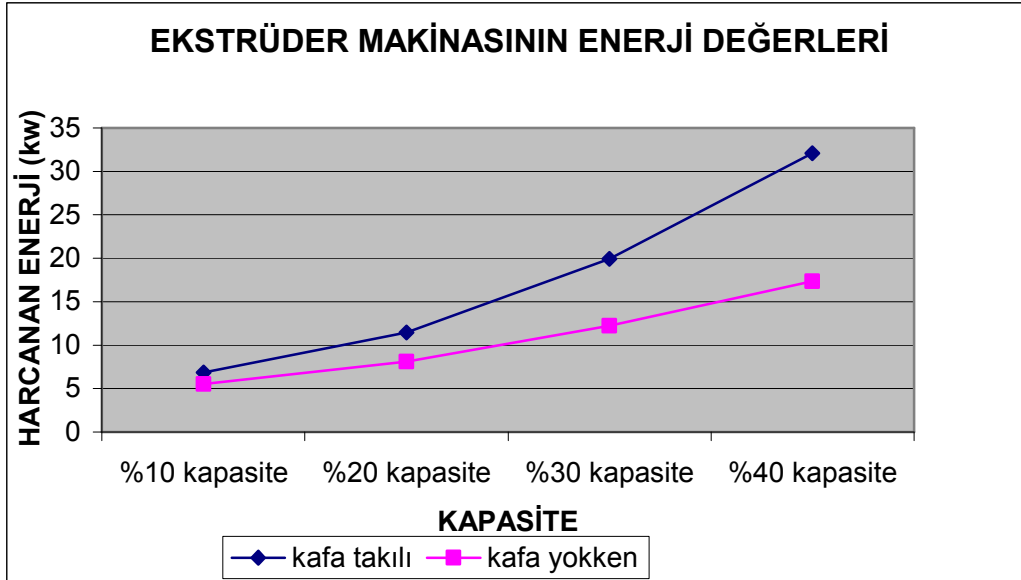


Şekil 8.5 Ekstrüder kafasının sökülmüş hali

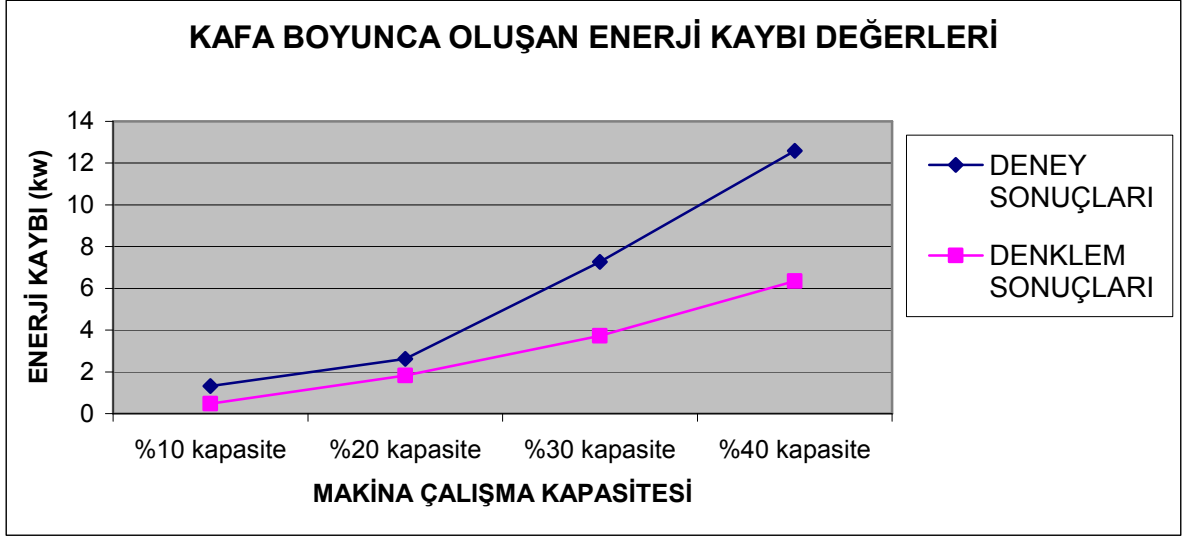
8.2 Deneyde Elde Edilen Değerler

Tablo 8.1 Deney değerleri

110 lük EKRÜDER KAFSINDA ÖLÇÜLEN SONUÇLAR					
KAFA TAKILIYKEN					
	DEVİR(rpm)	AMPER(A)	GERİLİM(V)	DEBİ(kg/sn)	ENERJİ (I*V=kw)
%10 kapasite	20	70	98	56	6,86
%20 kapasite	32	87	132	110	11,484
%30 kapasite	56	123	162	165	19,926
%40 kapasite	76	152	211	220	32,072
KAFA TAKILMAMIŞKEN					
%10 kapasite	21	68	81,5	52	5,542
%20 kapasite	35	75	108	98	8,1
%30 kapasite	58	80	153	142	12,24
%40 kapasite	60	86	202	176	17,372
DENEY SONUÇLARINA KAFADA OLUŞAN ENERJİ KAYBI (kw)					
%10 kapasite	1,318				
%20 kapasite	3,384				
%30 kapasite	7,686				
%40 kapasite	14,7				
ELDE EDİLEN DENKLEMLERE GÖRE KAFADA OLUŞAN ENERJİ KAYBI (kw)					
%10 kapasite	0,483				
%20 kapasite	1,82				
%30 kapasite	3,73				
%40 kapasite	6,35				



Şekil 8.6 Ekstrüder kafası takılı - sökükle halde harcanan enerji değerleri



Şekil 8.7 Deney ve hesaplarda çıkan enerji kaybı değerlerinin karşılaştırılması

BÖLÜM 9

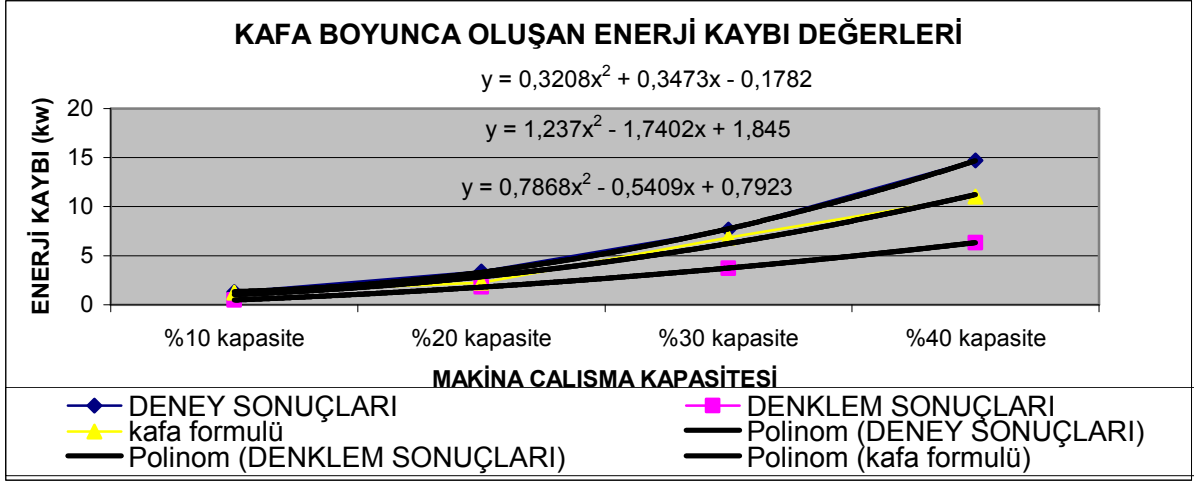
SONUÇLAR

Ergimiş plastik malzeme viskoz sıvıların ve elastik katıların kombinasyonu olan viskoelastik bir davranış sergilemektedir. Reoloji bilimi hem katıların hem de sıvıların davranışlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Bu bilimin amacı malzemenin özelliklerini tanımaktır. Bundan dolayı tez konum olan viskoz malzemelerin akışı ve modellenmesi araştırırken ilk olarak reoloji konusunu öğrenmem gerektiğini anladım. Tez konumda ağırlıklı olarak plastik malzemelerin akışı ve onların üretim aşamasındaki akış şekilleri üzerine yoğunlaştım. Daha sonra viskozite ve viskozite ölçüm aletlerinin ölçüm parametrelerini çıkardım. Plastikler newton dışı bir akış sergiledikleri için bunların viskozitesini tanımlamak için çeşitli viskozite modelleri kullanılmakta. Daha sonra bu viskozite modellerini kullanarak çeşitli formlarda güç kanunu yasasına göre akış denklemleri oluşturdum. Bu formlara plastik üretiminde ergimiş mamulün kalıba girmeden önce aktığı silindir, konik, paralel formlardır. Buralarda oluşan basınç kaybı, kayma gerilmesi, kayma oranı ve viskozite denklemleri çıkarıldı. Daha sonra bu denklemler kullanılarak çeşitli uygulamalar yapıldı. Ve son olarak ta bu denklemler kullanılarak MATLAB'TA akış programı yapıldı. Bu akış programının amacı malzemenin aktığı forma göre sistemde oluşan basınç kaybı ve enerji kaybı denklemleri oluşturuldu. Bu denklemler kullanılarak piyasada 110' luk kafa diye tabir edilen eksrüder kafasında çeşitli debilerde farklı malzemelerin akıtılması sonucu oluşan basınç ve enerji kaybı değerleri elde edildi. Çalışma sonuçlarından da anlaşılacağı üzere odun kompozitlerinde oran arttıkça basınç ve enerji kaybı artmakta. Ama polietilen odun kompozitlerine nazaran daha düşüktür. Gerçekte kafa boyunca maksimum dayanım basıncı 300-500 bar arasındadır. Mikrosan firmasında yapılan deneyde HDPE için toplam kafadaki basınç kaybı 170 kg/saat için 212 bar olarak bulunmuştur. Plastik eksüder de en büyük kayıp kafada gerçekleşmektedir.

Yukarıdaki tabloda deneyde ölçülen değerler verilmiştir. Bu değerler kafa takılı ve kafa takılmamış olduğunda ölçülen değerlerdir. Daha sonra aralarındaki enerji kaybı ifadelerini bir birinden çıkardığımızda kafada oluşan net kaybı bulmuş olduk. Yaptığımız denklemleri birde polipropilen için uyguladığımızda elde edilen enerji değerlerini de tablo halinde yukarıda yazdım. Burada gerçek şartlardaki değerle $\Delta P \times Q$ harcanan net enerjiyi vermediğini gördük. Çünkü $\Delta P \times Q$ ifadesi gelişmiş daimi akımlar için doğru sonuçlar verdiğini gördük. Akış esnasında farklı boyut ve büyüklüklerde hız vektörlerinin oluşması girdapların varlığı söz konusu olmalı ki teoriyle bu fark meydana gelsin.

$$y = 0,96162x^2 - 2,0875x + 2,0232$$

Eğer bu farkı kafalar için formüle edilirse $y = \Delta P \times Q \times (0,96162x^2 - 2,0875x + 2,0232)$ elde edilir. Bu formül sadece bu koşullarda ve bu kafa için geçerli değerler verir.



Şekil 9.1 Deneysel sonuçların formüle edilmesi

Daha sonra bu alanda çalışma yapmak isteyen arkadaşlar için yapmış olduğum bu çalışma 180 °C baz alınarak yapılmıştır. Farklı sıcaklıklar için güç ve basınç kaybı değerleri çıkarılabilir. Ayrıca deneyler en fazla % 40 kapasiteye kadar uygulanmış ve bu formül elde edilmiştir tüm kapasiteler için deney tekrarlarıyla gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Bu deney sonuçları yaklaşık bir değer verdi burada elbette kayıp fark sadece kafa sebebiyle oluşan fark değildir. Bunun ana nedenlerinden biri boş halde makine çalışırken akan plastik arttıkça kopma olmadığından ağırlık sebebiyle vidanın dönmesinde zorlanmalara neden olduğu görüldü. Buda geçen akımın yüksek olmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında kafada oluşan enerji ve basınç kaybını sadece sürtünmelere bağlı değildir kafanın yapısı, zamanla deforme olması, kafa sıcaklığı gibi bir çok etken vardır. Ayrıca kafa çok eski olduğundan kafada sürtünmeler çok daha fazla oluşmakta. Buda basınç ve enerji kaybını arttırmakta.

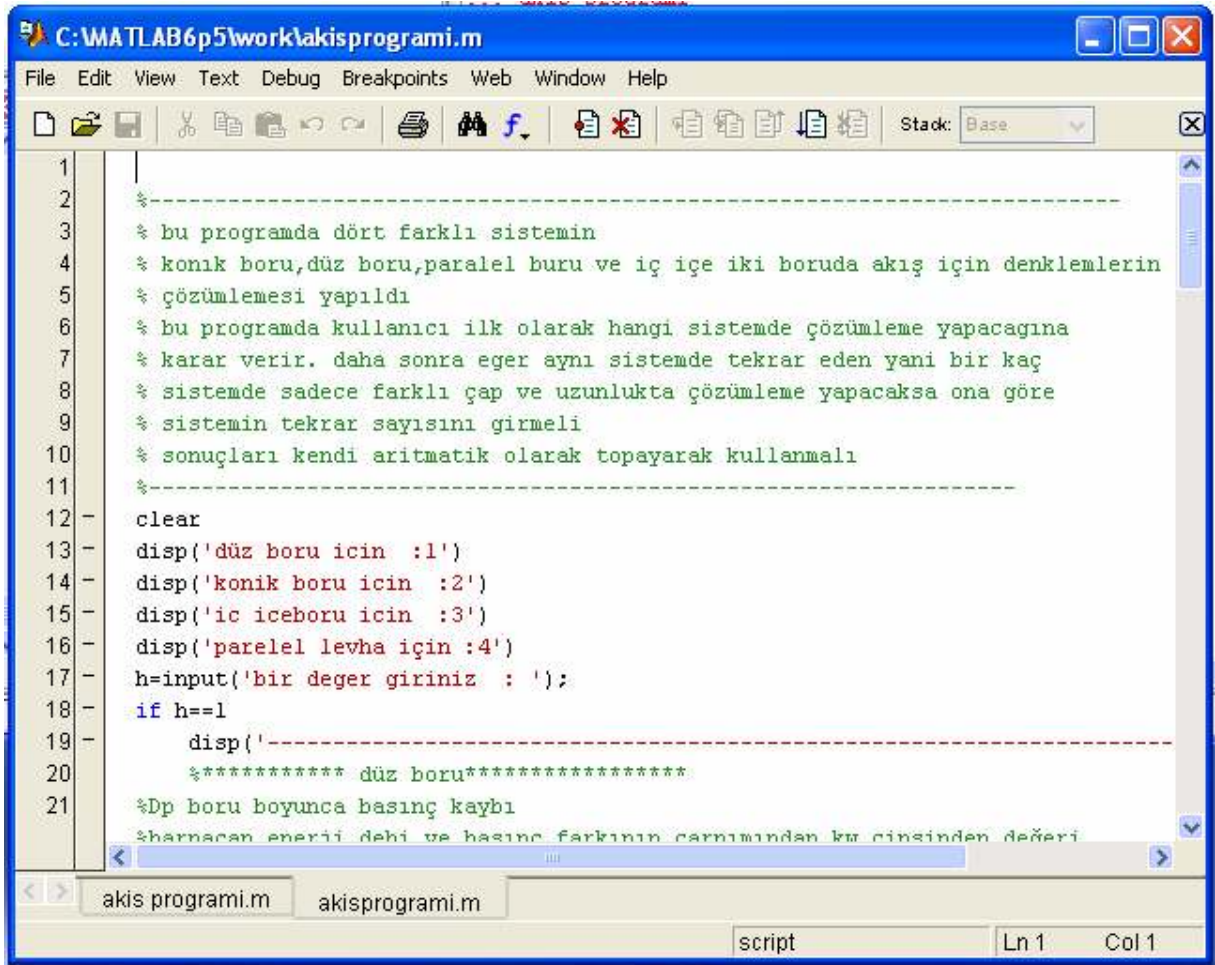
Buda çok büyük oranlarda enerji kaybı demektir. Enerji kaynaklarının azaldığı günümüzde uygun kafa tasarımının önemi de artmakta. Çünkü piyasada artık plastik sektörü çok büyük gelişmeler kaydetmiştir. Önemli olan enerji maliyetleridir. Çünkü ekstruder makinesi üretim yapmadan sadece iç sürtünmelerden dolayı vidanın dönmesinden dolayı oluşan kayıplar toplam kaybın %10 luk bir dilimini kapsamakta. Kaybın büyük kısmı akış esnasında kafada oluşmakta. Bu nedenle kafa dizaynı giderek önemli olmaya başlamıştır.

EK 1: PROGRAMLAMA

Çeşitli geometriler için oluşturulan denklemler, daha sonra MATLAB' TA küçük bir program hazırlanarak kullanıcıların hizmetine sunuldu. Bu küçük paket programa 4 farklı sistem için hazırlandı. Bunlar düz, konik, iç içe boru ve paralel iki levha arasında akış çeşitleri olarak düşünüldü.

Programın Açıklanması

Bu programa hazırlanırken elde edilen denklemleri MATLAB programlama diline uygun şekilde aktarılmasıyla oluştu. Programa 4 farklı sistem için çözümler üretmekte.



```

1 |
2 | %-----
3 | % bu programda dört farklı sistemin
4 | % konik boru,düz boru,paralel buru ve iç içe iki boruda akış için denklemlerin
5 | % çözümlenmesi yapıldı
6 | % bu programda kullanıcı ilk olarak hangi sistemde çözümlenme yapacağına
7 | % karar verir. daha sonra eğer aynı sistemde tekrar eden yani bir kaç
8 | % sistemde sadece farklı çap ve uzunlukta çözümlenme yapacaksa ona göre
9 | % sistemin tekrar sayısını girmeli
10 | % sonuçları kendi aritmetik olarak toplayarak kullanmalı
11 | %-----
12 | clear
13 | disp('düz boru için :1')
14 | disp('konik boru için :2')
15 | disp('ic iceboru için :3')
16 | disp('parelel levha için :4')
17 | h=input('bir deger giriniz : ');
18 | if h==1
19 |     disp('-----
20 |         %***** düz boru*****
21 | %Dp boru boyunca basınç kaybı
        %sharjadan enerji dehi ve basınç farkının çarımından kw çinsinden değeri

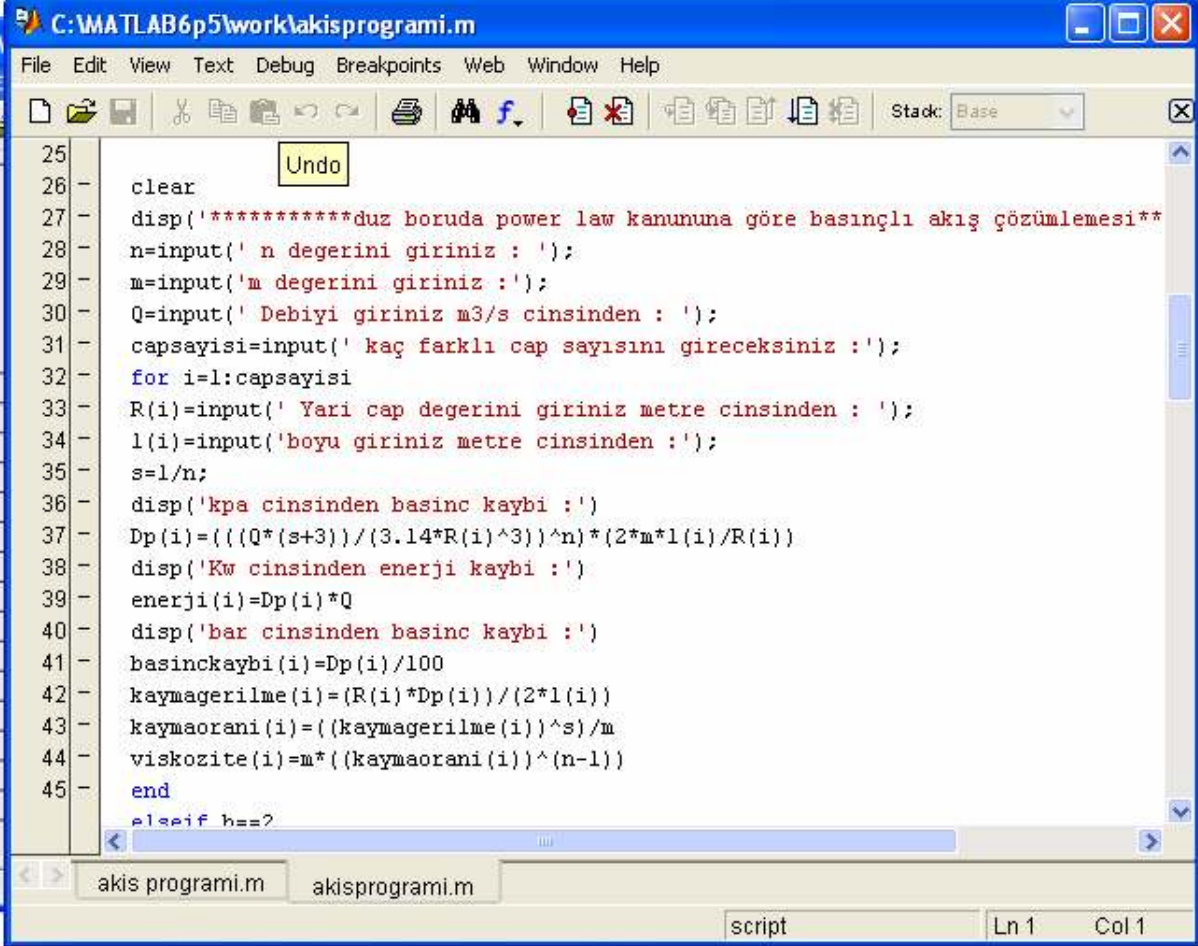
```

Programdan görünüş

Bu programda kullanıcı elindeki sisteme göre karşısına çıkan 4 farklı sistemden hangisine uyduğuna karar vermeli. Buna göre seçtiği sistemde karşısına çıkan yerlere uygun değerleri yazmalıdır.

Eğer sisteminiz düz boru şeklindeyse 1 nolu seçenikle bu kısma geçersiniz. Bu kısımda ilk başta sistemden geçen malzeme bilgileri istenecektir. Program power law kanununa göre

denklemler hazırlandığı için malzeme sabitleri olan “ n,m” değerleri istenecektir. Daha sonra sitemden geçen debi m^3/s cinsinden girilecektir. Buraya kadar girilen değerler aynı malzeme için değişmeyecek. Bu programda düz boru için farklı çaplarda tekrar eden sistemler için kolaylık olsun diye bize kaç farklı çap için düz boru çözümlemesi yapılacağını soracak. Burada girilen değer kadar farklı düz boru için çözümler tekrar edecek. Daha sonra program akışına göre sistemin yarı çap değeri (R) ve uzunluk (L) metre cinsinden girilir, ve sonuçlar elde edilir. Burada çoklu sistemlerde çözümler sıraya göre elde edilir.



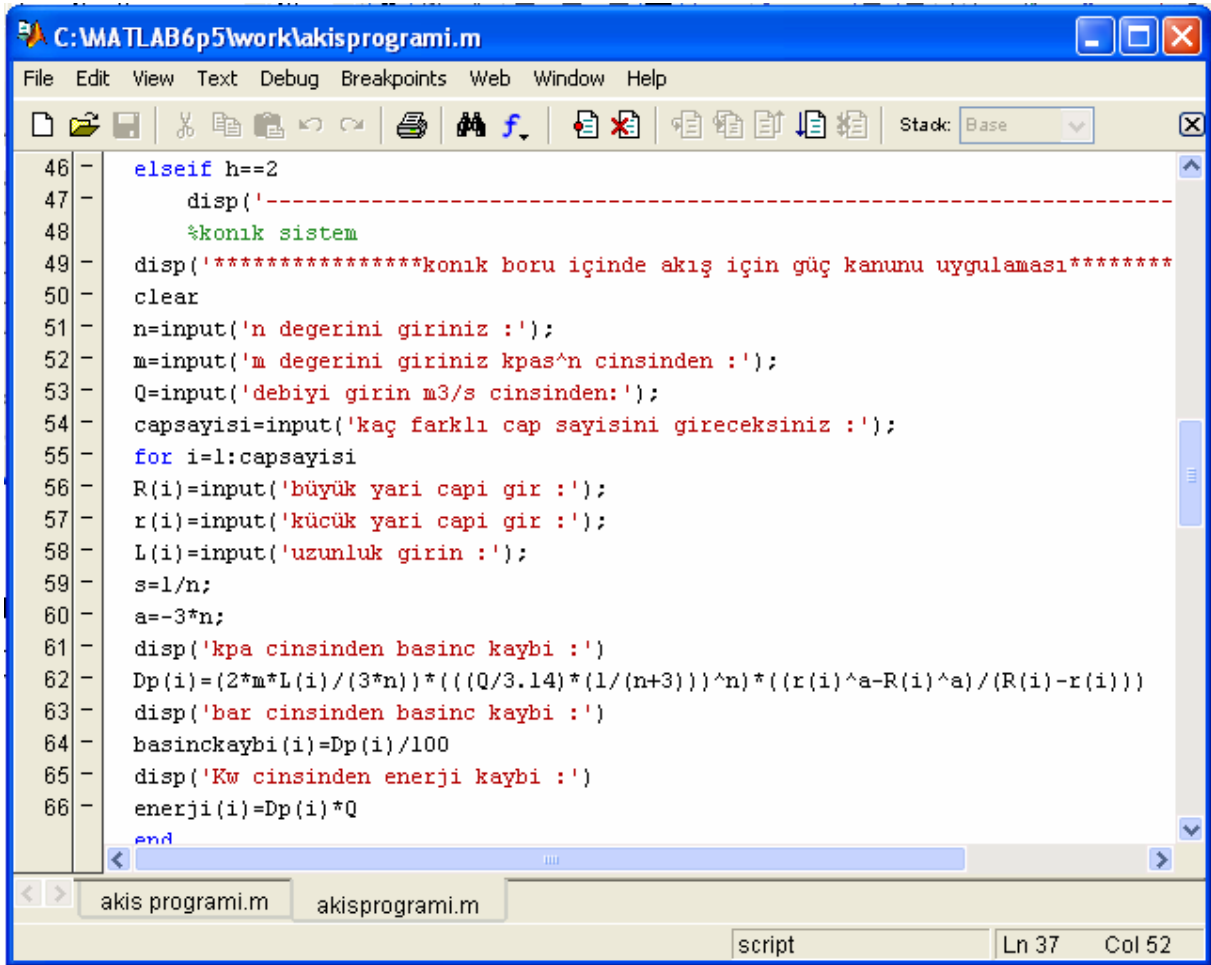
```

25 -
26 - clear
27 - disp('*****düz boruda power law kanununa göre basınçlı akış çözümlemesi**')
28 - n=input(' n degerini giriniz : ');
29 - m=input('m degerini giriniz : ');
30 - Q=input(' Debiyi giriniz m3/s cinsinden : ');
31 - capsayisi=input(' kaç farklı çap sayısını gireceksiniz : ');
32 - for i=1:capsayisi
33 - R(i)=input(' Yari çap degerini giriniz metre cinsinden : ');
34 - l(i)=input('boyu giriniz metre cinsinden : ');
35 - s=1/n;
36 - disp('kpa cinsinden basınc kaybi :')
37 - Dp(i)=(((Q*(s+3))/(3.14*R(i)^3))^n)*(2*m*l(i)/R(i))
38 - disp('Kw cinsinden enerji kaybi :')
39 - enerji(i)=Dp(i)*Q
40 - disp('bar cinsinden basınc kaybi :')
41 - basinckaybi(i)=Dp(i)/100
42 - kaymagerilme(i)=(R(i)*Dp(i))/(2*l(i))
43 - kaymaorani(i)=(kaymagerilme(i))^s/m
44 - viskozite(i)=m*{(kaymaorani(i))^(n-1)}
45 - end
elseif h==?

```

Düz boru için programlama

Sitem konikse 2'yi seçerek bu sitemde çözümleme yapılır. Bunda da aynı düz boruda olduğu gibi malzeme sabitleri ve debi değerlerini sırayla girildikten sonra. Aynı şekilde kaç farklı konik sistem tekrar edecekse ona göre sistem sayısı seçilir. Bu diğer iki sistem içinde aynı işlemler aynı mantıkla tekrar eder. Aşağıda bu sitemler için program akış şeması şekilde verilmiştir.



```

C:\MATLAB6p5\work\akisprogrami.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
46 - elseif h==2
47 -     disp('-----')
48 -     %konik sistem
49 -     disp('*****konik boru içinde akış için güç kanunu uygulaması*****')
50 -     clear
51 -     n=input('n degerini giriniz :');
52 -     m=input('m degerini giriniz kpa*s^n cinsinden :');
53 -     Q=input('debiyi girin m3/s cinsinden:');
54 -     capsayisi=input('kaç farklı cap sayisini gireceksiniz :');
55 -     for i=1:capsayisi
56 -         R(i)=input('büyük yari capi gir :');
57 -         r(i)=input('küçük yari capi gir :');
58 -         L(i)=input('uzunluk girin :');
59 -         s=1/n;
60 -         a=-3*n;
61 -         disp('kpa cinsinden basinc kaybi :')
62 -         Dp(i)=(2*m*L(i)/(3*n))*(((Q/3.14)*(1/(n+3)))^n)*((r(i)^a-R(i)^a)/(R(i)-r(i)))
63 -         disp('bar cinsinden basinc kaybi :')
64 -         basinc kaybi(i)=Dp(i)/100
65 -         disp('Kw cinsinden enerji kaybi :')
66 -         enerji(i)=Dp(i)*Q
        end
    akis programi.m    akisprogrami.m
    script    Ln 37    Col 52

```

Konik sistemde programlama

```

C:\MATLAB6p5\work\akisprogrami.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
67 - end
68 - elseif h==3
69 -     disp('-----')
70 -     %anüler die iç içe iki boruda power law kanunu çözümlemesi
71 -     clear
72 -     disp('*****ic ice iki boruda power law kanunu cözümlemesi*****')
73 -     %elde edilen basınç kaybı kpa cinsindedir
74 -     %elde edilen enerji kaybı Kw cinsinden
75 -     n=input('n degerini giriniz :');
76 -     m=input('m degerini giriniz kpa*s^n cinsinden :');
77 -     Q=input('debiyi girin m3/s cinsinden :');
78 -     capsayisi=input('kaç farklı cap sayisini gireceksiniz :');
79 -     for i=1:capsayisi
80 -         R(i)=input('Dış yari capi metre cinsinden gir :');
81 -         r(i)=input('İç yari capi metre cinsinden gir :');
82 -         L(i)=input('uzunluk girin metre cinsinden :');
83 -         s=1/n;
84 -         k(i)=r(i)/R(i);
85 -         disp('kpa cinsinden basinc kaybi :')
86 -         Dp(i)=(((2*Q*(s+2))/((3.14*R(i)^3)*(1-k(i))^(s+3)))^n)*(2*m*L(i)/R(i))
87 -         disp('bar cinsinden basinc kaybi :')
             basincKaybi(i)=Dp(i)/100

```

akis programi.m akisprogrami.m script Ln 37 Col 52

İç içe sistemde programlama

```

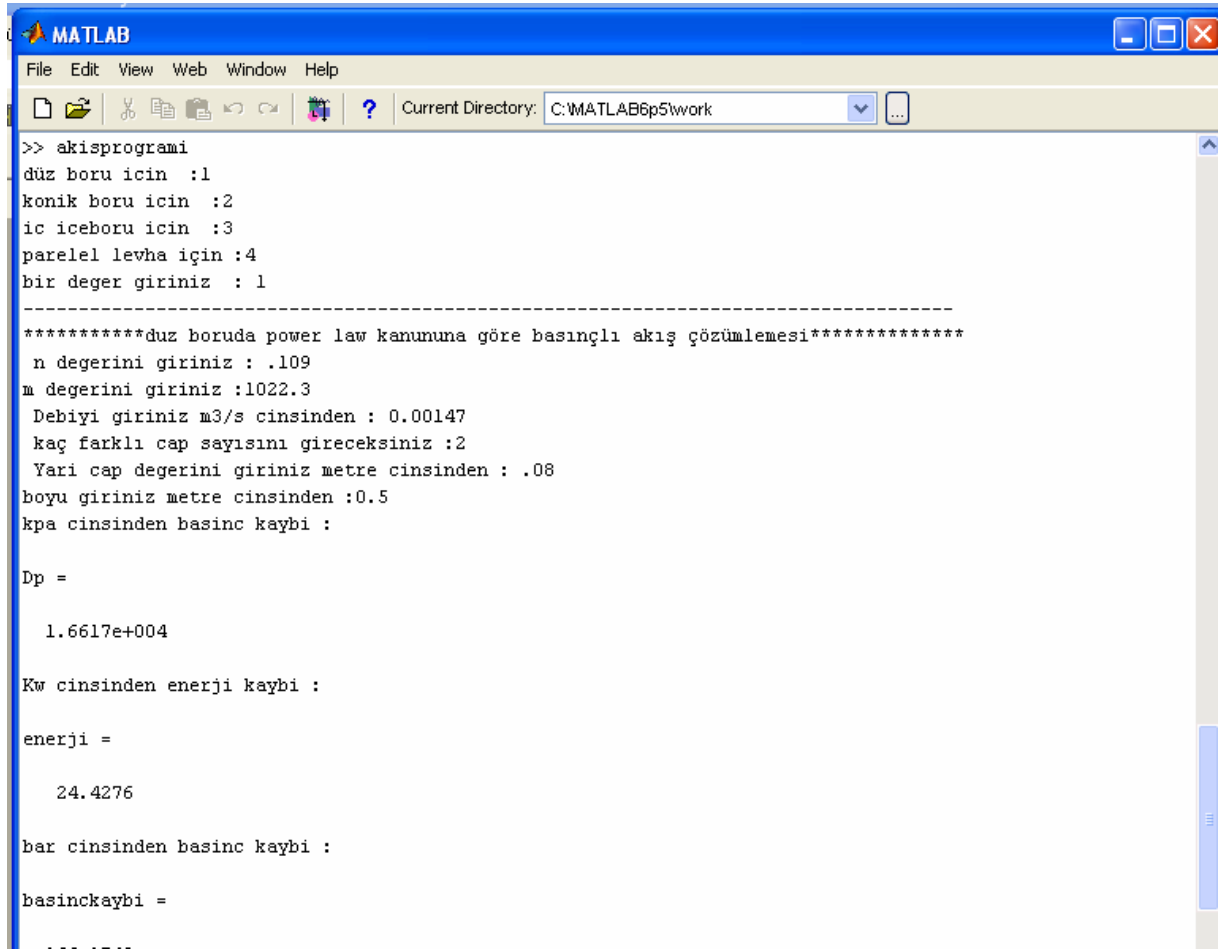
C:\MATLAB6p5\work\akisprogrami.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
91 - end
92 - elseif h==4
93 -     %paralel iki levha arasında basınçlı akış
94 -     %güç kanunu kullanarak yapılan bu çözümlemede
95 -     %kuvvet dengesi sağlanarak elde edilen denklemlerde
96 -     disp('paralel iki levha arasında basınçlı akış için power law çözümülemesi')
97 -     n=input('n degerini giriniz :');
98 -     m=input('m degerini giriniz kpas^n cinsinden :');
99 -     Q=input('debiyi girin m3/s cinsinden :');
100 -     yukseklikSayisi=input('kaç farklı paralel sistem ard arda çözümleme yapacaksınız');
101 -     for i=1:yukseklksayisi
102 -         H(i)=input('levhalar arındaki mesafeyi metre cinsinden gir :');
103 -         W(i)=input('genişlik metre cinsinden gir :');
104 -         L(i)=input('uzunluk girin metre cinsinden :');
105 -         s=1/n;
106 -         disp('basınç kaybı kpa cinsinden')
107 -         Dp(i)=(((Q*2*(s+2))/(W(i)*H(i)^2))^n)*(2*m*L(i)/H(i))
108 -         disp('bar cinsinden basınç kaybı')
109 -         basıncKaybi=Dp(i)/100
110 -         disp('enerji kaybı Kw cinsinden')
111 -         enerjikaybi=Q*Dp(i)
112 -         kaymaceilimi(i)=H(i)*Dm(i)/(2*L(i))

```

Paralel levha arasındaki akış sisteminde programlama

Programın Çalıştırılması

Program MATLAB'TA work klasörünün altına kayıt edildikten sonra MATLAB programı çalıştırıldıktan sonra komut satırına akisprogrami yazılarak çalıştırılır.



```
>> akisprogrami
düz boru için :1
konik boru için :2
ic iceboru için :3
parelel levha için :4
bir deger giriniz : 1
-----
*****düz boruda power law kanununa göre basınçlı akış çözümlenmesi*****
n degerini giriniz : .109
m degerini giriniz :1022.3
Debiyi giriniz m3/s cinsinden : 0.00147
kaç farklı çap sayısını gireceksiniz :2
Yari çap degerini giriniz metre cinsinden : .08
boyu giriniz metre cinsinden :0.5
kpa cinsinden basinc kaybi :

Dp =

    1.6617e+004

Kw cinsinden enerji kaybi :

enerji =

    24.4276

bar cinsinden basinc kaybi :

basinckaybi =

    ....
```

Programın çalıştırılması

EK 2

MAKALELER

Çoklu Eksrüderde Polipropilenin (PP) Reolojik Özellikleri

Helson M. da Costa, Vale'ria D. Ramos, Marisa C.G. Rocha

Özet

Farklı sıcaklıklarda PP'nin çoklu eksrüderdeki reolojik değişimi incelendi. Deneylerde paralel plakalı reometreler kullanıldı. Sistemde oluşan bozulmalar MFI cihazı ile denetlendi.

Giriş

PP özelliklerinin çok geniş olması bunun bir çok alanda kullanma olanağı sağlamıştır. 3 çeşit değişik reolojik özelliklere sahip Pp vardır.

1. homopolimer PP
2. Copolimer PP
3. Randım copolimer PP

Deney:

Malzeme ve Metot:

Polimerlerin fiziksel özellikleri aşağıda verildi(tablo 1). Eksrüder çapı 30mm ve L/D oranı 32 olan Eksrüder makinesi kullanıldı. Deneyler 50 rpm devirde yapıldı.bu eksrüderde 5 farklı sıcaklık ölçme bölgesi var. Kontrol bölgeleri vida boyuna ve besleme şekline göre farklılık gösterir. En son bölge Die kısmındadır.

Table 1
Physical characteristics of polypropylene

Properties	Values
Density (g/cm ³) (ASTM D792)	0.905
Tensile strength (MPa) (ASTM D638, 50 mm/min)	34
Hardness (Shore D) (ASTM D2240, 1 s)	70
Melt flow index (g/10 min) (ASTM D1238, 230 °C/2.16 kg)	1.8

Table 2
Extruder temperature profile

Barrel zone 1 (°C)	Barrel zone 2 (°C)	Barrel zone 3 (°C)	Barrel zone 4 (°C)	Die zone (°C)
195	215	225	225	240
195	215	225	225	270

Eriyik Akış İndeksi (MFI)

MFI 230°C ASTM D1238 göre Tinius Olsen Eksrüder plastomeri kullanılarak ölçüldü. Burada ölçülen değerlerle görünür viskozite aşağıdaki hesaplanır.

$$\eta_a \cong \frac{4.86 * \rho F_p}{MFI}$$

burada η_a görünür viskozite, ρ polimer yoğunluğu (g/cm^3), F_p ağırlık uzunluğa bağlı olarak (2160 gram), MFI eriyik akış indeksi birimi g/10 dak şeklindedir.

Reolojik Analiz

Reolojik analizler için universal gerilim reometresi kullanıldı. Çalışma prensibi paralel plakalı çapı 25 mm olan 200 °C sıcaklıktaki SR5 reometresi kullanıldı.

Dinamik mode çalışması

Dinamik model viskoziteyi, saklama modülünü (G'), ve kayıp modülünü frekansın fonksiyonu olarak hesaplanır. 10^{-1} ve 10^2 rad/s frekansında ve % 5 gerilimde 2 mm çap seçildi. Bu deneyler sinüsoidal gerilim deformasyonu γ , uygulanan düşük frekanslarda ω , ve gerilme genliği;

$$\gamma_{xy}(t) = \gamma_o \sin(\omega t)$$

saklama ve kayıp modülüne göre gerilme değeri;

$$\tau_{xy}(t) = G' \gamma_o \sin(\omega t) + G'' \gamma_o \cos(\omega t)$$

kompleks viskozite ise saklama ve kayıp modülüne göre;

$$\eta^* = (G' + G'')^{1/2} / \omega$$

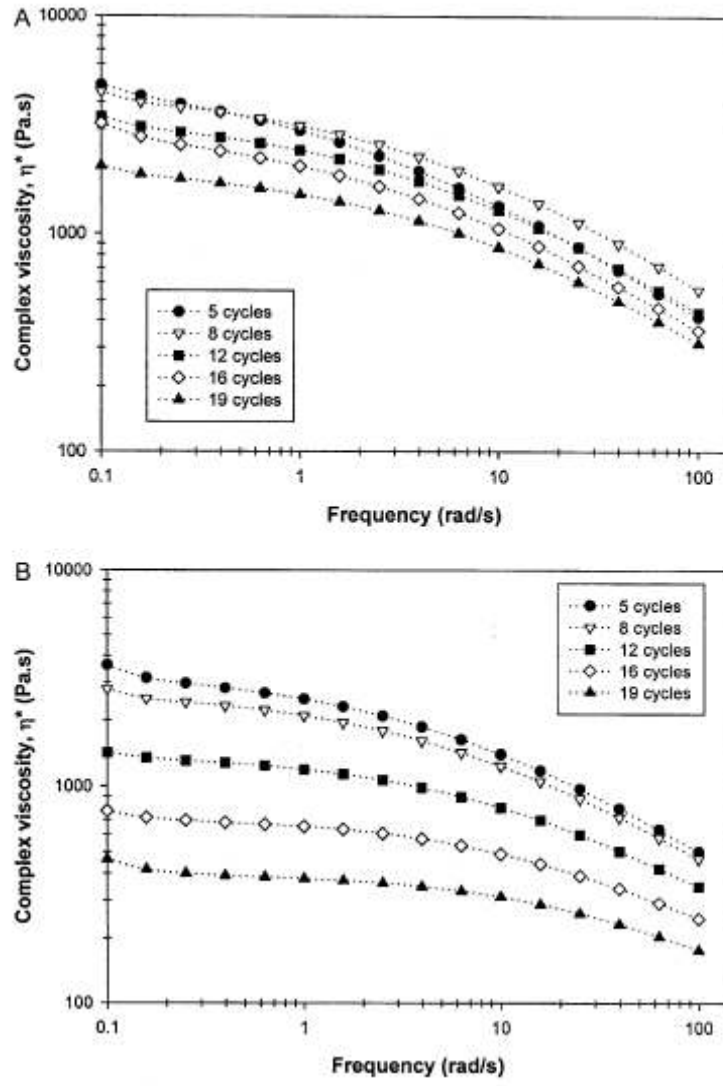
şeklinde hesaplanır.

Reolojik Özellikler ve Dinamik Modül

Çok küçük kayma oranlarında viskozite kayma oranından bağımsızdır. Aynı newtonian gibi davranır. Kayma oranı 1-10000 rad/s arasındadır. Viskoziteyle kayma oranı arasında ilişki power law denkleminde temsil edilir.

$$\eta(\dot{\gamma}) = m * \dot{\gamma}^{n-1}$$

burada n power law indeksidir PP için yaklaşık 0,35 civarındadır, m ise sabittir. Şekil 2 de farklı sıcaklıklardaki PP için farklı frekanslarda dinamik viskozite değişimini gösterir.



Şekil 2.

Sonuç

PP çok yönlü bir termoplastiktir. PP atıklarının geri dönüşümlü olması ayrı bir avantajdır. Bir çok mekanik özellikleri çoklu ekstrüzyon esnasında kayıp oluşur. Örneğin yüksek sıcaklıklara da reolojik özellikler özellikle viskozite ve elastikliği değişir.

Çift Vidalı Eksrüder içinde PP Eriyik Akışının Sıcaklık Profilinin Ölçülmesinde Die Geometrisinin Etkisi

N. Sombatsompop *, M. Panaploy
Polymer Testing 21 (2002) 17–25

Özet

Bu araştırmanın amacı Die çapının PP sıcaklık profili üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlarda akış çiftlerini ve eksrüder kafasındaki basınç düşmesiyle birleştirildi. Sıcaklık profilleri kanal boyunca üniform olmadığı görüldü, ve die boyutundan etkilendiği görüldü. Farklı sıcaklıklarda basınç düşümüne neden olduğu görüldü.

Giriş

Polimer prosesleri genelde geniş kesitli bir kanaldan dar kesitli akmasıyla gerçekleşmekte. Die bölgesinde akış esnasında genelde kaymalı ve uzamalı akış oluşur, yüksek enerji dağılımı ve basınç düşümleri meydana gelir. Bu basınç düşesi 3 temel parametreye bağlıdır; atalet, viskoz ve elastiklidir.

Son ikisi tam olarak bir birinden ayrılmaz. Bu parametrelerin sıcaklıkla ilgili olduğu bilinir. Polimer eriyikler yüksek deformasyon oranlarında viskoz ısınmanın neticesinde sıcaklıklar yükselir. Bu yüzden eriyik sıcaklığı ölçmek çok önemlidir. Çünkü sıcaklık ürün kalitesini etkileyen parametrelerdendir. Sıcaklık ölçümünde infrared termometre kullanılır.

Tablo 2. Die meydana gelen sıcaklık yükselmesini karşın basınç değişimini veriyor.

Table 2
The values of (ΔP and (ΔT_{\max} for various dies

Die number	(ΔT_{\max} (°C)	(ΔP (10^5 N m^{-2}))
1	18.3	9.0
2	15.5	2.7
3	13.4	0.2
4	17.8	8.9
5	15.0	2.6

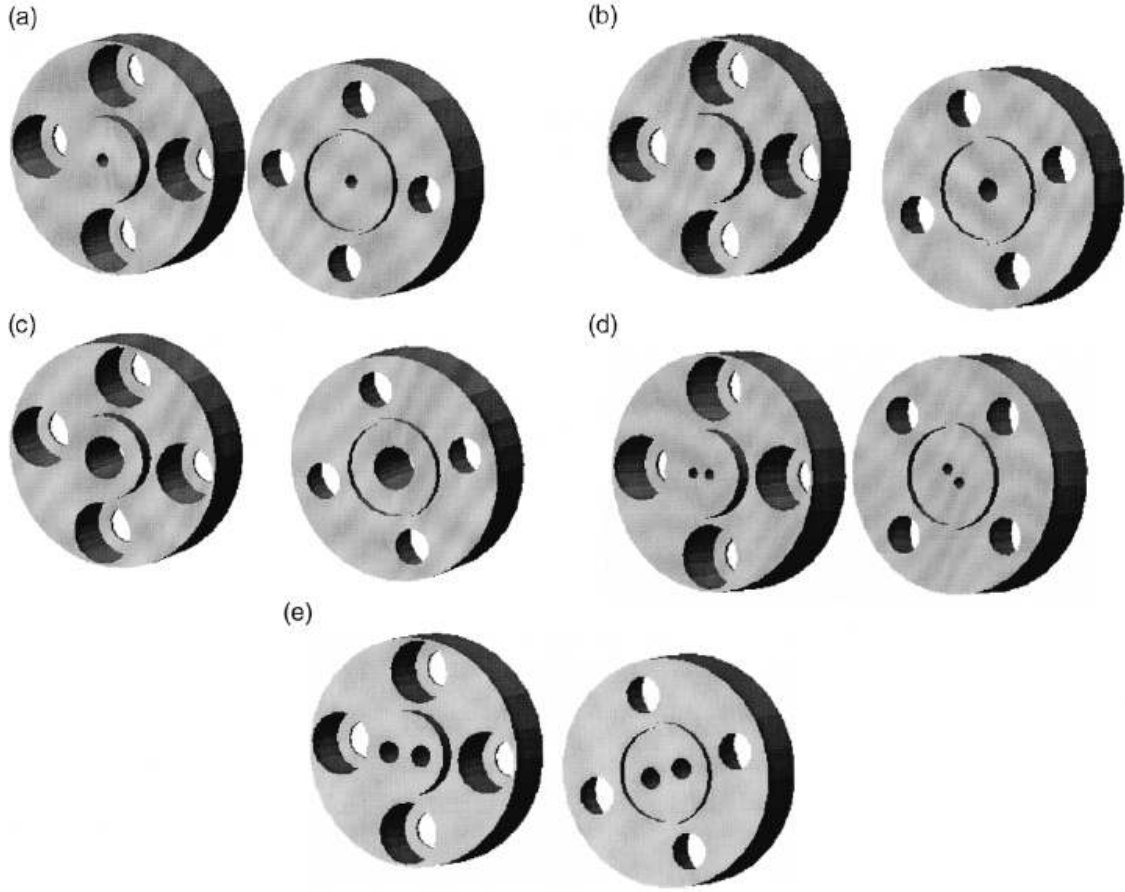


Fig. 1. Circular dies used: (a) 3 mm/1 strand; (b) 5 mm/1 strand; (c) 10 mm/1 strand; (d) 3 mm/2 strands; and (e) 5 mm/2 strands

Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan die ve onun çapları verildi

Tablo 2 Deneysel sonuçlarla teorik sonuçların karşılaştırması
Comparison of experimental and theoretical maximum temperature rise

Die number	Maximum temperature rise (ΔT_{max} , °C)	
	Experimental	Theoretical
1	18.3	5.2
2	15.5	7.3
3	13.4	14.5
4	17.8	5.3
5	15.0	7.8

Sonuç

Bu araştırma PP eriğinin die çıkışında akışının sıcaklıkla değişimi incelendi, aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

1. Maksimum sıcaklık yükselmesi die çapının küçülmesiyle oluşur. Buda basınç düşmesinin artmasına neden olur.
2. Deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasında farklılıklar olduğu görüldü.

3. Eriyik sıcaklık profilleri kanal çapı boyunca üniform olmadığı görüldü. En büyük sıcaklığın merkezde en düşük sıcaklığın ise duvarlarda olduğu görüldü.

Profiller için Eksrüder Die Bilgisayar destekli Dizaynı
O.S. Carnaino, J.M. Nobrega, F.T. Pinho
Journal of Materials Processing Technology 114 (2001) 75-86

Özet

Asıl amaç bilgisayar destekli Die dizayn etmektir. Bu yöntem sırasıyla kabul edilebilir max. gerilim için akış noksanlığı, basınç düşmesi ve sıcaklık yükselmesi bilmek gerekir. Eksrüder die 'yin performansı, akış kanalının reolojik dizaynı, eksrüzyon boyunca çalışma koşullarına bağlıdır. Uygun dizayn yüksek hız ve kalitede ihtiyaç duyulan profili en iyi şekilde verir. Bu ihtiyaç ise çok az seviyede iç gerilme, reolojik bozulmalardan kaçınarak (keskin yüzey, eriyik kırılması) ve eriğin termal bozulmasından kaçınarak olur.yukarıda belirtilen özellikte bir dizayn elde etmek için aşağıdakileri bilmek gerekir.

1. Die çıkışında keskin yüzey yaratacak akış oranını bilmeliyiz.
2. Hangi seviyede eriyik kırılması oluşur bilmeliyiz.
3. Die son kısmında akış dengesi gerekir.
4. Basınç düşmesini ve sıcaklık değişimini bilmeliyiz. Çünkü bunlar viskozite değişimine neden olur.

KAYNAKLAR

- Akkaya, A.R, (1995)” Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, İTÜ
- Öksüz, Selcen, (2000) “ Değişik Polietilen Eriyik Akış Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İÜ
- Kuyulu Abdulkadir ” Polimerin İşlenmesi” Ders Notları
- Makine Metal Teknolojisi Dergisi, (Aralık 1998), “ Plastik Enjeksiyon Makinaları” Sayı.84, sy.67-72
- Mold Flow Help Guide (1998)
- Gol’man, A. Ya, (1994), An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers, Leningrad, Russia
- Plastik Teknolojisi. Seminer Notları. TMMOB. İstanbul, 14-16 Ekim 1998.
- Plastik Teknolojisi, Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul, 1995
- Akyüz, Ö.Faruk, (1998), Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş İstanbul,
- Yurci, M., E., Tamer, M., Nikbay, N., (4-5 Aralık1999), Plastik Sektöründe Teknik Sorunlar ve Plastik Araştırma Muayene ve Eğitim Merkezi (PAMEM) Modeli, Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferansı, Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 241, İstanbul
- Mackley, M.R. (1988), Rheological Measurement, Cambridge University
- Tadmor, Zehev ve Gogos, Costas G. (1979), Principles of Polymer Processing, Wiley, New York
- Gültaş, Abdulmecit, Uluer Onuralp ve Özdemir, Ahmet, (2005), “Enjeksiyon kalıplarındaki akışın analizi, ergimiş plastik akışının matematiksel modellenmesi için temel denklemlerin türetilmesi”, G.U. Journal of Science, 18(4): 707-721
- Gültaş, Abdulmecit, Uluer Onuralp ve Özdemir, Ahmet, (2006), “ Ergimiş termoplastiklerin yoğunluk ve viskozite değişimlerinin belirlenmesi” TECHNOLOGY, Volume 9, Issue 2, 127-135
- T.Q. Li ve M.P. Wolcott (3 Mayıs 2003), “ Rheology of HDPE-wood composites. Steady state shear and extensional flow”, <http://www.sciencedirect.com>
- Stephen L. Rosen , (1993), Fundamental Principles of Polymeric Materials,
- N.G.McCrum, C.P. Buckley ve C.B. Bucknall, (1997), Principles of Polymer Engineering, Oxford University
- Donald, G. Bird ve Dimitis, I. Collias ,(1995), Polymer Processing, Butterworth-Heinemann
- Peker.Sümer ve Helvacı Ş. Şerife, Akışkanlar Mekaniği

Mackley, M.R, Rutgers, R.P.G. ve Gilbert D.G., (1998) “Surface instabilities during the extrusion of linear low density polyethylene ”, J. Non-Newtonian Fluid Mech., 76 (1998) 281–297

Sombatsompop, N. ve Intawong, N.T., (2001), “Flow properties and entrance corrections of polymer melts by a mobile barrel capillary rheometer”, Polymer Testing 20 (2001) 97–103

Wong, A.C.Y ve Jiang, L., (2001), “Study on the melt entry flow characteristics in axisymmetric dies with abrupt contraction by a visualization technique”, Polymer Testing 20 (2001) 861–867

N. Sombatsompop , N.-T. Intawong, (2001), “Flow properties and entrance corrections of polymer melts by a mobile barrel capillary rheometer ”, Polymer Testing 20, 97–103

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	10/09/1981	
Doğum yeri	Ardahan	
Lise	1996-2000	Silivri Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi
Lisans	2000-2004	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar:

2005-2006	Elsa Mühendislik Makine San.
2006- 2007	As mühendislik
2007-	Hidro – Mak Aş. devam ediyor