

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Kılcal Reometrenin Otomatik Kontrol Sisteminin
Tasarlanması ve Hesaplama Programının Yazılması**

Makine ve Elektrik Mühendisi Ali Erdem ÖNDER

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı-Proses Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Teke (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İçindekiler

Şekiller.....	iv
Semboller.....	vi
Kodlar.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	11
2. Ergiyik Polimer Reolojisinin Temel Kavramları.....	12
2.1. Kayma Viskozitesi.....	12
2.1.1. Akışkan Türleri.....	13
2.1.2. Zamana Bağlı Akış Davranışı.....	14
2.2. Kayma Hızına Bağımlı Viskozite Kanunları.....	15
2.2.1. Üs Kanunu.....	15
3. Kılcal Reometre.....	17
3.1. Kontrollü Kayma Hızı Kılcal Reometresi.....	17
3.2. Kılcal Reometrenin Kullanım Alanları.....	17
3.2.1. Malzeme Sınıflandırması.....	17
3.2.2. Isıl Kararlılık.....	18
3.2.3. Ergiyik Yoğunluğu.....	18
3.2.4. Proses Kontrol Optimizasyonu.....	18
3.2.5. Isıl İletkenlik Ölçümü.....	18
3.2.6. Ergiyik Kırılması.....	18
4. Kayma Viskozitesi İçin Denklemler.....	19
4.1. Silindirin İçindeki Hız Profili.....	20
4.2. Kullanılan Düzeltmeler.....	21
4.2.1. Rabinowitsch Düzeltmesi.....	21

4.2.2.	Bagley Düzeltmesi.....	21
4.2.2.1.	Bagley Düzeltmesindeki Hatalar	23
5.	Kontrol Sistemi.....	24
5.1.	Basınç Ölçümü.....	24
5.2.	Sıcaklık Ölçümü	24
6.	Otomatik Ölçüm Sistemi	25
6.1.	MATLAB Hakkında Temel Bilgiler.....	25
6.2.	Simulink İle Otomatik Hesaplama Programının Yazılması.....	26
6.3.	Simulink İle Otomatik Veri Toplama ve Hesaplama Programının Yazılması	39
6.4.	Benzetim Programlarının Çıktıları.....	46
7.	Sonuçlar	59

Şekiller

Şekil 2-1 Basit Kayma Deformasyonu	12
Şekil 2-2 Çekme gerilmesi ile ve çekme gerilmesi olmadan akışkanların akış davranışları....	13
Şekil 2-3 Tikotropik ve Reopektik Akışkanların Akış Özellikleri	15
Şekil 2-4 Bir Polimer Eriği için Viskozitenin Kayma Hızına Göre Değişimi	16
Şekil 3-1 Bir Kılcal Ekstrüzyon Reometrenin Şematik Çizimi.....	17
Şekil 3-2 Ergiyik Kırılması Bulunan Bir Akışkanın Fotoğrafı.....	19
Şekil 3-3 Basınç Dalgalanmaları Ergiyik Kırılmasının Göstergesidir	19
Şekil 4-1 Kılcal Reometredeki Basınç Değişimi.....	22
Şekil 4-2 Bagley Çizimi	22
Şekil 4-3 Bagley Düzeltmesindeki Problemler	23
Şekil 4-4 Orifice Kalıp Metodu.....	24
Şekil 6-1 Otomatik Hesaplama Programı.....	27
Şekil 6-2 Deney Verileri Giriş Ekranı	28
Şekil 6-3 Hesaplama Bloğu	29
Şekil 6-4 Sonuç Bloğu.....	30
Şekil 6-5 1.Sistem Bloğu.....	30
Şekil 6-6 Görünen Kayma Hızının Hesabı.....	31
Şekil 6-7 Kayma Hesabı.....	31
Şekil 6-8 Yapılan Matrisyel İşlemin Matematiksel Gösterimi.....	32
Şekil 6-9 Ortalama Kayma Gerilmesi Hesabı	32
Şekil 6-10 Görünen Kayma Viskozitesi Hesabı.....	33
Şekil 6-11 Eğim, Düzeltilmiş Kayma Hızı ve Düzeltilmiş Kayma Gerilmesi Hesaplama Bloğu	34
Şekil 6-12 Yapılan Matrisyel İşlemin Matematiksel Gösterimi.....	35
Şekil 6-13 Düzeltilmiş Kayma Gerilmesi ve Düzeltilmiş Kayma Hızı Bloğu.....	38
Şekil 6-14 Subsystem Bloğu	39
Şekil 6-15 Otomatik Veri Toplama Programı	39

Şekil 6-16 Birinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	47
Şekil 6-17 İkinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	48
Şekil 6-18 Üçüncü Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması	49
Şekil 6-19 Dördüncü Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	50
Şekil 6-20 Beşinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	51
Şekil 6-21 Altıncı Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	52
Şekil 6-22 Hesaplama Programı $\ln(\text{Kayma Hızı})-\ln(\text{Kayma Gerilmesi})$ Eğrisi	53
Şekil 6-23 Birinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	54
Şekil 6-24 İkinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	54
Şekil 6-25 Üçüncü Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması	55
Şekil 6-26 Dördüncü Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	55
Şekil 6-27 Beşinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	56
Şekil 6-28 Altıncı Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	56
Şekil 6-29 Yedinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması	57
Şekil 6-30 Sekizinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması.....	57
Şekil 6-31 Hesaplama Programı $\ln(\text{Kayma Hızı})-\ln(\text{Kayma Gerilmesi})$ Eğrisi	58
Şekil 6-32 Hesaplama Programı Kayma Viskozitesi-Kayma Hızı Eğrisi	58

Semboller

L: Kalıp Boyu

D: Kalıp Çapı

r: Kalıp Yarıçapı

R: Silindir Yarıçapı

Q: Hacimsel Debi

F: Uygulanan Kuvvet

A: Alan

V: Sabit Piston Basma Hızı

x: Üst Yüzeyin Yer Değiřtirmesi

h: Kalınlık

n: Üs kanunu Üssü

γ : Kayma Miktarı

$\dot{\gamma}$: Kayma Hızı

τ : Kayma Gerilmesi

η : Kayma (Newtonien) Viskozitesi

ΔP_c : Kılcal Kalıp Boyunca Oluşan Basıncı Azalması

Kodlar

Kod 6.1: Matlab Kodu Bloğuna Yazılan Kod	31
Kod 6.2: Plot1 Dosyasına Yazılan Kod.....	32
Kod 6.3: Eğim Hesaplama Matlab Bloğuna Yazılan Kod.....	36
Kod 6.4: Otomatik Veri Toplama Programının Matlab Kodu.....	40
Kod 6.5: Hesapla Programının Matlab Kodu.....	46

ÖNSÖZ

Bu tez süresince bana yardımcı olan tez hocam Prof. Dr. İsmail Teke'ye ve projeyi uygulamamda bana yardımcı olan Dizayn Teknoloji AŞ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Özellikle tezim sırasında bana yardımcı olan araştırma & geliştirme departmanı şefi sayın Dr. Zafer Gemici'ye ve projenin her aşamasında tüm içtenliğiyle yardımlarını esirgemeyen İsmunur Gökgöz'e teşekkürlerimi sunar bu çalışmanın gelecek nesillere ve ülke ekonomisine faydalı olmasını tüm kalbimle dilerim. Yüksek lisansım süresince eğitimime maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a minnetimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla;

Ali Erdem Önder

ÖZET

Plastiklerin endüstriyel üretim koşulları altındaki akış davranışlarının tespitinde reoloji önemlidir.

Plastiklerin reolojik özelliklerinin tespitinde döner ve kılcal olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılan reometreler kullanılır. Genellikle döner reometreler plastiklerin düşük kayma oranlarındaki akış ve elastiklik özelliklerini belirlemek için, kılcal reometreler ise plastiklerin döner reometrelerin ölçtüğü kayma oranlarından daha yüksek kayma oranlarındaki akış davranışını belirlemek için kullanılırlar.

Bu çalışmada, plastiklerin akış özelliklerini tespit edebilmek için Dizayn Grup firmasının desteği ile tasarlanıp, imal edilmiş olan kayma oranı kontrollü kılcal reometrenin otomatik kontrol sistemi tasarlanmış, görünen kayma hızı, kayma miktarı, ortalama kayma gerilmesi, görünen kayma viskozitesi, düzeltilmiş kayma hızı, düzeltilmiş kayma viskozitesi ve üst kuralı çarpanının hesaplanması için simulink ile bir hesaplama programı yazılmıştır. Daha sonra bu program verilerin bilgisayar tarafından otomatik olarak toplanabilmesine olanak tanımadığı için bir başka program daha yazılmıştır. Bu son program simulink ile yazılan veri toplama yazılımından ve verilerin işlenip gerekli hesaplamaların yapılmasını sağlayan matlab kodlarından olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır.

Sistem bir silindir, piston, ısıtma ve sıcaklık kontrol aygıtları, basınç sensörü, hız sensörü ve kalıptan(die) oluşmaktadır. Bu reometrede ihtiyaç duyulan sabit piston hızı bir basma-çekme test cihazından sağlanmış, test cihazı başka testlerde de kullanıldığı için üzerinde bir değişiklik yapılması istenmemiş ve bu nedenle silindir boyunca oluşan basınç ve basma hızı değerleri reometreye yerleştirilen sensörle yazılan program tarafından otomatik olarak bilgisayara aktarılmıştır. Benzer işlemler kalıp boyları değiştirilerek tekrarlanmış ve elde edilen bütün bu veriler hesaplama programı kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar rakamlarla ve grafiklerle ekranda gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Sabancı ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında Malvern ve Dynisco firmalarının reometre sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve üç reometreden elde edilen sonuçların birbirinden maksimum %1 saptığı gözlenmiştir. Verilerin yakın olması yurt dışından çok yüksek fiyatlarla ithal edilen reometrelerden yaklaşık onbeş kat daha ucuz olarak ülkemizde üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kılcal reometre, veri toplama, MATLAB, programlama, LabView.

Ali Erdem Önder

Makine ve Elektrik Müh.

ABSTRACT

Rheology is necessary to know the behavior of materials to comprehend the flow and deformation properties of plastics during industrial manufacturing processes.

Two types of rheometers, which are rotational and capillary, are used in flow behavior determination of materials. Rotational rheometers are generally used to determine the flow and elastic properties of plastics in low shear rates. Other than that, capillary rheometers are preferred to determine the flow properties at higher shear rates than rotational ones.

In this study automatic control system of a shear rate controlled capillary rheometer, which is designed to determine the flow properties of materials with the cooperation of Dizayn Group, is designed and to see the apparent shear rate, yield stress, average shear stress, apparent shear viscosity, corrected shear rate, corrected shear viscosity and power law index directly a calculation program is written via simulink. Then because of the incapability of this program in automatic data acquisition an another program is written via matlab codes. This second program consists of two parts which are a preliminary data acquisition program in simulink codes and a data processing calculation program in matlab codes to calculate the mentioned results.

System simply consist of a barrel, piston, heating and temperature control devices, pressure sensor, speed sensor and die. Required constant piston speed in this rheometer is generated by a tensile-testing machine. Since the testing machine is used also in other tests, it wouldn't be possible to make revisions on the device. Because of this, the pressure inside the barrel and the piston speed values are acquired automatically by the program via sensors which are placed to the barrel. Afterwards data acquisition procedure is repeated with different die lengths. Finally with the collected data, the necessary calculations are made and the results and the graphs are displayed on the screen via another program.

Consequently, the results were compared with other rheometers which are produced by the manufacturers Malvern and Dynisco Instruments in Sabancı and Middle East Technical University and it is seen that there is maximum %1 difference between the results. As a result of this comparison it shows that it is succeeded to make the production of rheometers possible in our country with one fifteenth of the imported products which are very expensive.

Keywords: Capillary Rheometer, Data Acquisition, MATLAB, Programming, LabView

Ali Erdem Önder

Mechanical and Electrical Engineer

1. GİRİŞ

Günümüzde polimerler ekstrüzyon, enjeksiyon ve plastik şişirme gibi bir çok endüstriyel prosesle şekillendirilmektedir. Örneğin, ekstrüzyonda polimerler ergitilerek bir kalıp içerisinden geçirilir. Bu sebeple proses boyunca nasıl bir akış sergilediğini anlamamız gerekir. Bu gibi durumlarda polimerlerin reolojik davranışları önemlidir.

Reoloji, temelleri Isaac Newton ve Robert Hooke tarafından atılan elastisite ve viskozite kanunlarına dayanarak deformasyonu ve malzemelerin akışlarını inceleyen bir bilim dalıdır.

Malzemelerin akış davranışlarını nitelemek için reometre diye adlandırılan ve genel olarak döner ve kılcal olmak üzere iki grupta sınıflandırılan aletler kullanılır.

Kılcal reometrelerde kuvvet uygulama mekanizmaları ve kalıplar çok pahalı ekipmanlardır. Bir kalıbın fiyatı giriş açısı, L/D oranı ve kalıbın malzemesine göre değişerek 400 ile 600 £ arasında satılabilir. Basınç transdüserleri ve lazer mikrometre gibi ekipmanlar da reometrenin fiyatını artırır. Bu nedenle kılcal reometreler, ergiyik akışkan indeksi aleti kadar ucuz değildir.

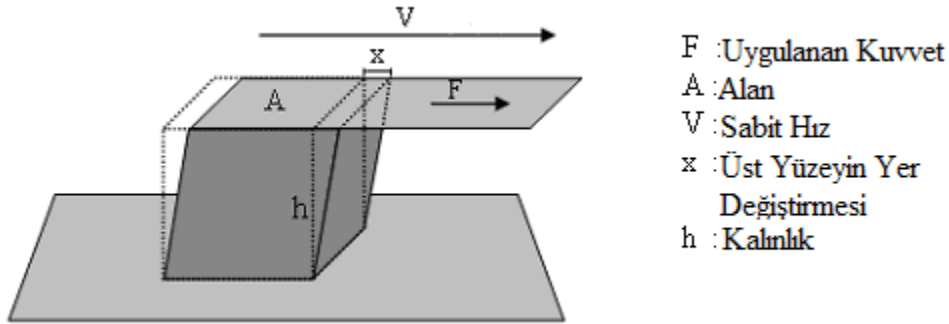
2. Ergiyik Polimer Reolojisinin Temel Kavramları

2.1. Kayma Viskozitesi

Akışa karşı direnç anlamına gelen viskozite kayma ve uzama viskoziteleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Kayma viskozitesi akışkanın kaymaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanırken, uzama viskozitesi akışkanın uzamaya karşı gösterdiği direnci ifade eder. Kılcal sistemlerde polimer akışlarında kayma deformasyonları olduğu için kayma viskozitesi detaylı olarak incelenecektir.

Newtonien ve non-newtonien akışların en önemli farkı kayma viskoziteleridir. Çünkü newtonien akışkanlarda bütün kayma hızlarında sabit bir viskozite değeri varken non-newtonien akışkanlarda yoktur. Newtonien bir akışkan paralel iki levha arasına yerleştirilip üst levhaya kuvvet uygulandığında şekil 2.1'deki gibi bir deformasyon görülür.



Şekil 2-1 Basit Kayma Deformasyonu

Denklem 2.1 kayma miktarı denklemiyle oluşan deformasyon miktarı ölçülebilir.

$$\gamma = \frac{x}{h} \quad (2.1)$$

Kayma miktarı boyutsuzdur ve genellikle yüzde ile ifade edilir. 2.2 denklemi ile hesaplanan kayma hızı, kayma miktarının zamana göre değişim hızı olarak ifade edilir.

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{V}{h} \quad (2.2)$$

Kayma gerilmesi denklem 2.3'ten hesap edilebilir.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Kayma viskozitesi ise denklem 2.4 yardımıyla bulunabilir.

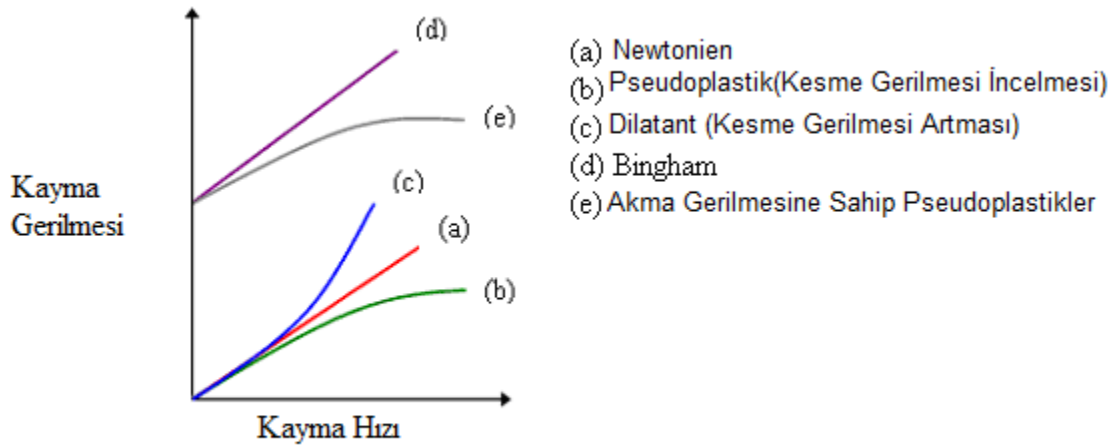
$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.4)$$

Buradaki η newtonien viskozitesi olarak adlandırılır.

Her ne kadar su veya düşük moleküler ağırlıklı sıvılar gibi birçok akışkan Newton kanunları ile iyi bir şekilde tanımlansa da polimer çözeltileri ve ergiyikleri, kan, mayonez, diş macunu ve mürekkep Newton kanunları ile nitelendirilemezler. Bunlara non-newtonien akışlar denir.

2.1.1. Akışkan Türleri

Birçok akışkan çeşitli koşullar altında farklı tepkiler verebilir. Örneğin birçok sıvının viskozitesi artan kayma hızı ile düşerken bazıları şekil 2.2’ de görüldüğü gibi farklı karakter gösterebilir. Akış davranışlarına göre akışkanlar: Newtonien, Pseudoplastik(kayma gerilmesi incelmesi), Dilatant, Bingham, Thixotropik veya Rheopektik olarak sınıflandırılabilirler.



Şekil 2-2 Çekme gerilmesi ile ve çekme gerilmesi olmadan akışkanların akış davranışları. Akışkanlar akış davranışlarına göre sınıflandırılabilirler.

Newtonien Akışkanlar: Daha önceden bahsedildiği gibi, bu akışkanların viskozitesi artan kayma hızı ile değişmez.

Pseudoplastik(Kayma Gerilmesi İncelen): Ara sıra pseudoplastik olarak da adlandırılan kayma gerilmesi incelen akışkanların viskozitesi, artan kayma hızı ile birlikte azalmaktadır.

Bilindiği gibi plastik molekülleri uzun ve iç içe geçmiş moleküllerden oluştuğu için bir polimerin viskozitesi de bu iç içe geçmişliğe bağlıdır. Polimer yüksek kayma hızlarına maruz bırakıldığında, iç içe geçmişliği azalır ve viskozite düşer. Kayma hızı azaldığında ise viskozite tekrar artar. Kayma gerilmesi incelen akışkanlara örnek olarak krem, şampuan, polimer eriyikleri ve solüsyonları verilebilir.

Dilatant(Kayma Gerilmesi Artması): Bu akışkanlar artan kayma hızı ile birlikte viskozitede artış gösterirler. Bu tip akış davranışları genellikle çok yüksek konsantrasyonlu süspansiyonlarda görülür. Bu çözücü düşük kayma hızlarında asılı parçacıklar arasında bir yağlayıcı olarak davranır fakat yüksek kayma hızlarında sıkıştırılması durumunda daha yoğun parçacık paketlerinin oluşmasına sebep olur. Kayma gerilmesi artan sistemlere örnek olarak ıslak kum ve yoğun nişasta süspansiyonları gösterilebilir.

Bingham Plastikleri: Bingham Plastiklerin belli bir akma gerilimi vardır ve uygulanan gerilim belli bir minimum akma gerilmesi değerine ulaşmadan akmazlar. Bu akma gerilmesi değerinin altında akışkan neredeyse katı gibi bir özellik gösterirken bu değer üzerinde sıvı gibi özellik göstermektedir. Diş macunu, domates salçası, ketçap ve el kremi bazı bingham plastik örneklerindedir.

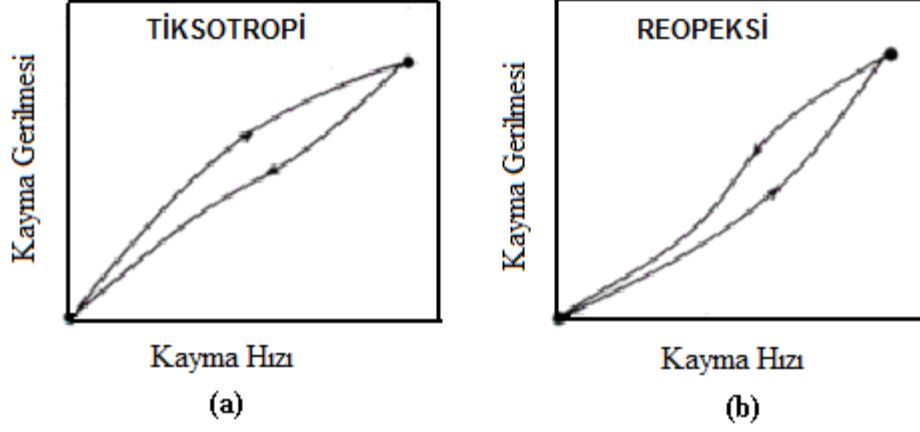
Akma Gerilmesine Sahip PseudoPlastikler: Bu akışkanlar nonlineer kayma hızı- kayma gerilmesi karakteristiğine sahip olmakla birlikte belli bir akma gerilmesine sahiptirler.

2.1.2. Zamana Bağlı Akış Davranışı

Yukarıda bahsedilen akışkanlar zamana bağlı değildi. Fakat bazı non-newtonien akışkanlar, tiksotropik ve reopektik, zamana bağlı karakteristik gösterirler.

Tiksotropik Akışkanlar: Yoğurt, mayonez, salata sosu veya margarin gibi bazı malzemeler kuvvet uygulama süresi arttıkça daha fazla akışkan hale gelirler. Tiksotropik davranış döngü testi ile gözlemlenebilir. Bu yöntemde kayma hızı sıfırdan maksimum değere kadar sürekli olarak arttırılmaktadır ve bu maksimum değere gelindiğinde tekrar sıfıra kadar sürekli olarak azaltılmaktadır. İlk test sırasında akışkan yapısında oluşan bozulmadan dolayı akış eğrisinde şekil 2.3(a)'da görüldüğü gibi bir histerezis karakteristiği gözlenir.

Reopektik Akışkanlar: Yukarıda anlatılan pozitif tiksotropik davranıştan farklı olarak reopeksi olarak adlandırılan negatif tiksotropi veya anti-tiksotropide vardır. Bu akışkanlar şekil2.3(a)'da gösterildiği gibi sabit sıcaklık ve sabit kayma hızlarında zamanla geri dönüşü olan bir kayma gerilmesi artışı gösterirler. Bazı kil süspansiyonları reopektik davranış gösterir.



Şekil 2-3 Tiksotropik ve Reopektik Akışkanların Akış Özellikleri

2.2. Kayma Hızına Bağımlı Viskozite Kanunları

Viskozite modelleri akış analizi için çok önemlidir. Viskozitenin kayma hızına bağımlılığını uydurmak için kullanılırlar. Bazı kurallar aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Üs Kanunu

Üs kanunu, kayma gerilmesinin logaritması ile kayma hızının logaritması arasındaki lineer bağıntı ile ifade edilir. Kayma gerilmesinin incelenmesi davranışını tanımlayan en basit modeldir. Üs kanunu modeli akış karakteristiği için denklem 2.5'te görüldüğü gibi iki parametreye ihtiyaç duyar.

$$\eta = k \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.5)$$

Ve bu modelin logaritmik hali denklem 2.6'da verilmiştir.

$$\log \eta = \log k + (n-1) \log \dot{\gamma} \quad (2.6)$$

Eğer $\log(\eta) - \log(\dot{\gamma})$ grafiği çizilirse, eğrinin eğimi $(n-1)$ 'e eşit olur ve kesişim noktası da $\log k$ 'ya eşit olur. Burada k ve n reolojik parametrelerdir. n üs kanunu üssü olarak adlandırılır ve newtonien davranıştan sapma derecesini ifade eder ve k ise akışkanın tutarlılık indeksidir.

Üs kanunu modeline göre eğer $n=1$ ise newtonien akışkanın akış eğrisi, eğer $n<1$ ise kayma gerilmesi azalan akışkanın akış eğrisi ve eğer $n>1$ ise kayma gerilmesi artan akışkanın akış eğrisi elde edilir. Genellikle üs kanunu üssünün değeri 08(polikarbonat) ile 0.2 (lastik bileşenleri) arasında değişir ve polietilen'in çeşitli türleri için $0.3 < n < 0.6$ arasındadır.

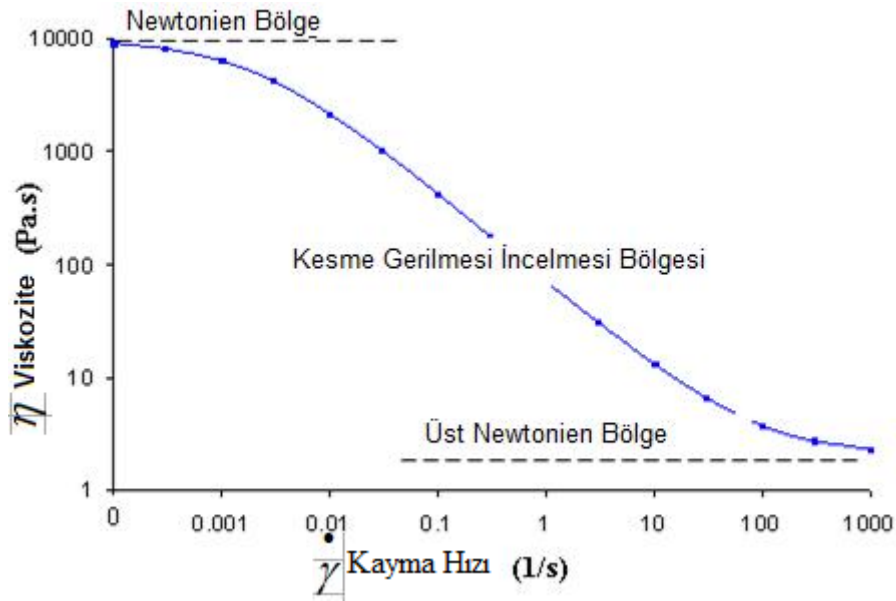
Örneğin kayma gerilmesi azalan akışkanlar için ($n < 1$) modelin varsayımı;

$$\dot{\gamma} \rightarrow 0 \text{ için } \eta \rightarrow \infty \text{ ve } \dot{\gamma} \rightarrow \infty \text{ için } \eta \rightarrow 0$$

Alınır.

Bu kayma hızı sıfıra ve sonsuza yaklaştığında η 'nin değerinin sabit bir sonlu değere yaklaştığı anlamına gelir. η değerleri sırasıyla sıfır kayma viskozitesi η_0 , ve sonsuz kayma viskozitesidir η_∞ ve $n < 1$ olduğunda $\eta_0 > \eta_\infty$ 'dir.

Şekil 2.4 Kayma gerilmesi azalan bir akışkanın tipik akış eğrisini göstermektedir.



Şekil 2-4 Bir Polimer Ergiyiği için Viskozitenin Kayma Hızına Göre Değişimi

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi çizimde 3 bölge vardır;

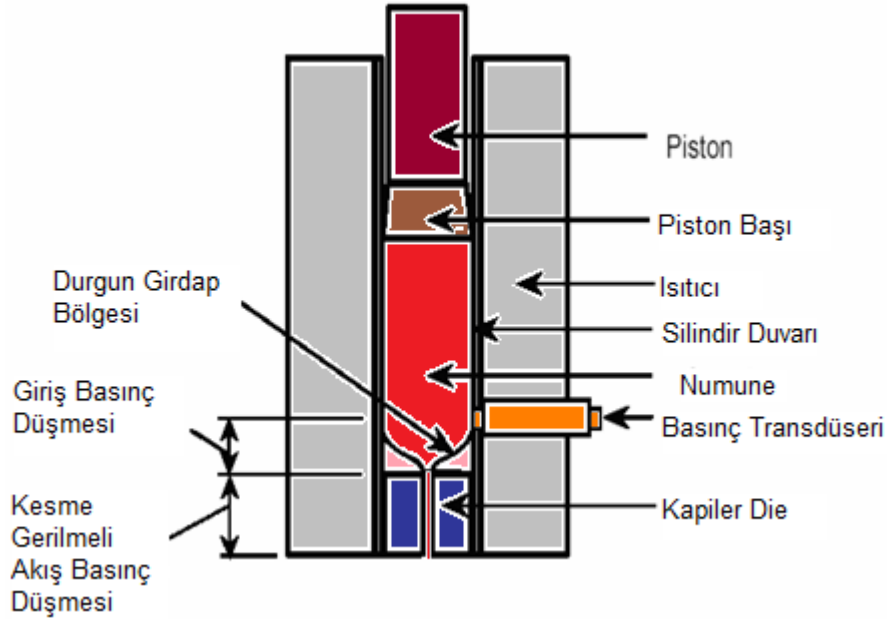
- Düşük kayma hızlarındaki ilk bölge newtonien bölge olarak adlandırılır ve bu bölgede viskozite sıfır kayma hızı viskozitesi olarak adlandırılır.
- Orta kayma hızlarındaki ikinci bölge üs kanunu bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede viskozite kayma hızı logaritmik grafiğinde düz bir çizgi elde edilir.
- Yüksek kayma hızlarındaki eğrinin son kısmı üst newtonien bölge olarak adlandırılır ve sabit sonsuz kayma hızı viskozitesi ile karakterize edilir.

Üs kanunu kayma hızları 2 veya 3 dekattan büyük olan polietilen gibi polimerik malzemelerin viskoz davranışlarını tanımlamak için sıklıkla kullanılır. Eğer düşük kayma hızlarındaki davranışlarında tam olarak tutturulması istenirse Bird-Carreau veya Cross yasaları düşük kayma hızlarında üs kanunu' a göre daha iyi sonuç verirler.

3. Kılcal Reometre

3.1. Kontrollü Kayma Hızı Kılcal Reometresi

Piyasada birçok ticari kılcal reometre olmasına karşın bu tezde kayma hızı kontrollü kılcal reometre incelenecektir. Bir piston-silindir kılcal reometre (ekstrüzyon reometre) şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu reometreler genellikle polimerlerin ve diğer viskoz maddelerin ergiyik viskozitelerini ölçmek için kullanılırlar. Bu reometrede bir piston silindirin içinde sabit hızla hareket eder. Silindirin altında bir kalıp, yarık veya kılcal delik vardır. Silindirin etrafındaki ısıtıcılar sayesinde (genellikle 20 ile 350 °C arasında) ergiyik sıcaklığı ayarlanabilir. İhtiyaç duyulan kuvvet sabit hız motoruyla kontrol edilen piston tarafından sağlanır. Basınç transdüserleri kılcal kalıpların hemen üstüne veya malzemenin kalıptan çıkıştaki basınç düşüşünü görmek için yarık tipi kalıpların üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3-1 Bir Kılcal Ekstrüzyon Reometrenin Şematik Çizimi

Genellikle kılcal reometrelerde kullanılan yarık ve kılcal tip olmak üzere iki tip kalıp vardır.

3.2. Kılcal Reometrenin Kullanım Alanları

Kılcal reometreler aşağıda kısaca açıklanan bazı endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

3.2.1. Malzeme Sınıflandırması

Kılcal reometrenin ana amacı malzeme sınıflandırması için olabildiğince geniş ölçüde kayma hızlarıyla viskozite-kayma hızı eğrisini oluşturmaktır. Bu bilgi:

- Proses şartlarına uygun malzeme seçimi

- Katkıların malzeme özelliklerine etkisi
- Proses ekipmanı dizaynı

için kullanılır.

3.2.2. Isıl Kararlılık

Isıl kararlılık malzemenin belli bir sıcaklıkta bozulmaya başlamadan ne kadar tutulabileceğini belirler. Bu bilgi proses tasarımcıları için kritik önem taşır ve stabilazör katkı maddelerinin etkinliğini test etmekte kullanılabilir. Kılcal reometreler aynı zamanda bir malzemenin ısı kararlılığını belirlemek için kullanılabilir.

3.2.3. Ergiyik Yoğunluğu

Bir malzemenin ergiyik yoğunluğu da kılcal reometre ile belirlenebilir. Bu ölçüm için örnek madde kılcal reometrenin içine doldurulur ve daha sonra bir miktar malzeme çalışma sıcaklığındaki sistemde hava kalmadığından emin olmak için kalıptan dışarı alınır. Pistonun ilk konumu not edilir ve örnek silindirden basılmaya başlanır. Tüm ekstrüde edilen örnek toplanır ve piston durdurulur. Pistonun son konumu, ne kadar ilerlediğinin bilinmesi için not edilir. Hareket ettiği mesafe pistonun kesit alanıyla çarpılarak ekstrüde edilen malzemenin hacmi bulunur. Daha sonra ekstrüde edilen miktarın ağırlığı tartılıp hacme bölünüp yoğunluğu bulunur.

3.2.4. Proses Kontrol Optimizasyonu

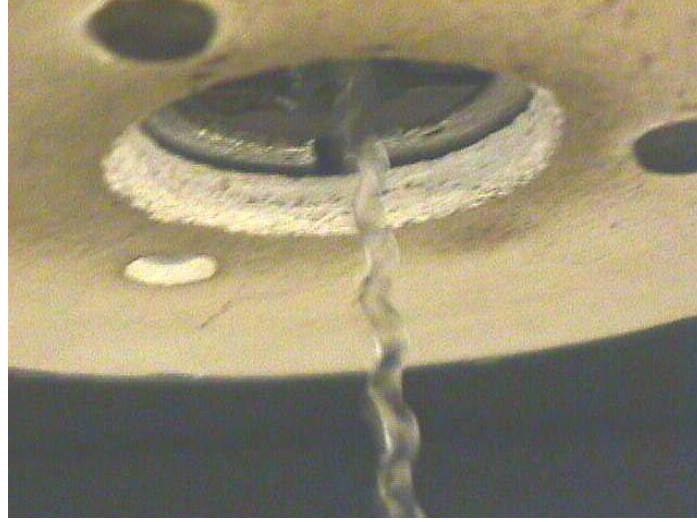
Daha önceden bahsedildiği gibi reolojik bilgi üretim makinaları tasarlamak için önemli bir araçtır. Yeni bir malzeme prosese alınacağı zaman kılcal reometre bu malzeme ve bu malzemenin kalitesini öğrenmek için önemli bir araçtır. Kılcal reometre uygulamalarında reoten veya ergiyik gerilme test aparatı adı verilen aletler uzama viskozitesini ölçmek için kullanılır.

3.2.5. Isıl İletkenlik Ölçümü

Polimerlerin ısı iletkenliği kalıplarda soğuma özelliklerinin belirlenmesi için çok önemlidir. Bu şekilde prosesin döngü süresi hesaplanabilir.

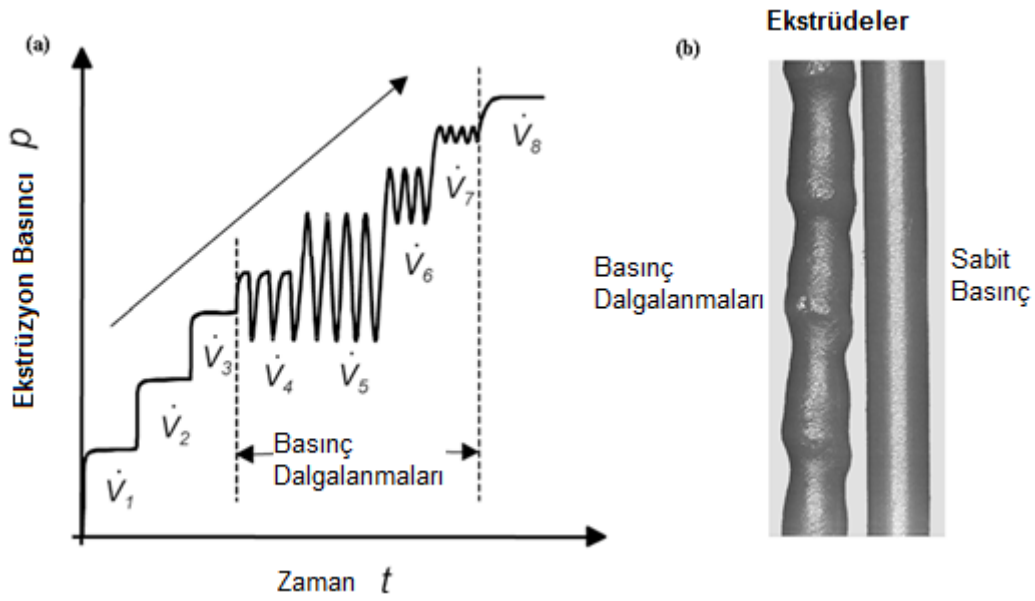
3.2.6. Ergiyik Kırılması

Ekstrüde bozulmaları veya ergiyik kırılma sorunu şekil 3.2 de gösterildiği gibi film ve boru ekstrüzyonu prosesleri gibi yüzey kalitesi önemli olan işlemlerde en önde gelen problemlerden biridir.



Şekil 3-2 Ergiyik Kırılması Bulunan Bir Akışkanın Fotoğrafi

Kılcal reometreye ergiyik kırılmasının ölçülebilmesi başka bir avantajdır. Bu sorunun varlığı şekil 3.3'te gösterildiği gibi basınç dalgalanmalarıyla gözlenebilir.



Şekil 3-3 Basınç Dalgalanmaları Ergiyik Kırılmasının Göstergesidir

4. Kayma Viskozitesi İçin Denklemler

Kılcal reometreye viskoziteyi ölçebilmek için aşağıdaki bazı kabuller yapılmıştır:

- Tam gelişmiş, kararlı, izotermal ve laminar akıştır.
- Yerçekimi kuvveti ihmal edilebilir.
- Akışkan hızı duvarda sıfırdır.
- Viskozite basınçtan bağımsız olarak akışkan sıkışamazdır.
- Giriş ve çıkış etkileri ihmal edilmiştir.

- Ergiyik sıkışamazdır.

4.1. Silindirin İçindeki Hız Profili

Basınç altında bir akışkanın kanal boyunca akışında hız merkezde en yüksektir. Kayma hızı ve kayma gerilmesi duvarda maksimum akışın merkezinde ise sıfırdır. Kılcal akıştaki parabolik hız dağılımı denklem 4.1 ve denklem 4.2 kullanılarak elde edilebilir.

$$v_x = v_x(r), v_\theta = 0 \text{ ve } v_r = 0 \quad (4.1)$$

$$v_x(r) = 2v_{ort} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (4.2)$$

Burada v_{ort} akışkanın ortalama hızıdır ve R kılcal borunun yarıçapıdır.

Ortalama hız denklem 4.3 ile hesaplanabilir.

$$v_{ort} = \frac{Q}{\pi R^2} \quad (4.3)$$

Bu şekilde kayma hızı hız profilinin türevi alınarak denklem 4.4 ile hesaplanabilir.

$$\dot{\gamma}_a = \left. \frac{dv}{dr} \right|_{r=R} = \frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{8v_{ort}}{D} \quad (4.4)$$

Burada $\dot{\gamma}_a$ kılcal duvardaki görünen veya newtonien kayma hızıdır.

Diğer taraftan duvar kayma gerilmesi (τ_w) denklem 4.5'teki gibi kalıp boyunca güç dengesi alınarak kolaylıkla hesaplanabilir.

$$\Delta P \pi R^2 = \tau_w 2\pi RL \text{ ve}$$

$$\tau_w = \frac{\Delta P_c \cdot R}{2L} = \frac{\Delta P_c D}{4L} \quad (4.5)$$

Burada L kalıbın boyu ve ΔP_c kılcal kanal boyunca basınç düşüştür. Bu şekilde kılcal duvardaki kayma hızı ve kayma gerilmesi bilinir. Bu sayede viskozite denklem 4.6'da olduğu gibi Q ve ΔP değerleriyle hesaplanabilir.

$$\eta_{ap} = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_a} = \frac{\pi.R^4.\Delta P}{8.Q.L} \quad (4.6)$$

Burada η_{ap} görünen viskozitedir.

4.2. Kullanılan Düzeltmeler

Eğer kılcal reometre farklı polimerlerin karşılaştırılması için kullanılacaksa çeşitli düzeltme işlemlerinin yapılmasına gerek yoktur. Eğer viskozitenin mutlak değerinin bilinmesi isteniyorsa çeşitli düzeltme faktörlerinin uygulanması önemlidir. En önemli düzeltmeler Rabinowitsch ve Bagley düzeltmeleridir.

4.2.1. Rabinowitsch Düzeltmesi

Kararlı basit kayma akışı kontrol edilebilir. Çünkü hız profili sadece plakaların hareketine ve geometrisine bağlıdır. Fakat bir kılcal kalıp içerisindeki tam gelişmiş akış tamamen kontrol edilebilir değildir. Çünkü hız profili malzeme özelliklerinden etkilenebilir. Bu nedenle görünür viskoziteyi hesaplamak için kullanılan denklemler polimer ergiyikleri için uygun değildir. Polimer ergiyiğinin kayma hızı değerlerinin hesaplanması için kayma gerilimi-kayma hızı eğrisinin eğimi kullanılarak Rabinowitsch tarafından bir düzeltme geliştirilmiştir.

Denklem 4.7'deki n $\tau_w - \dot{\gamma}_a$ logaritmik eğrisinin eğimi kullanılarak hesaplanmış olan üs kanunu indeksidir.

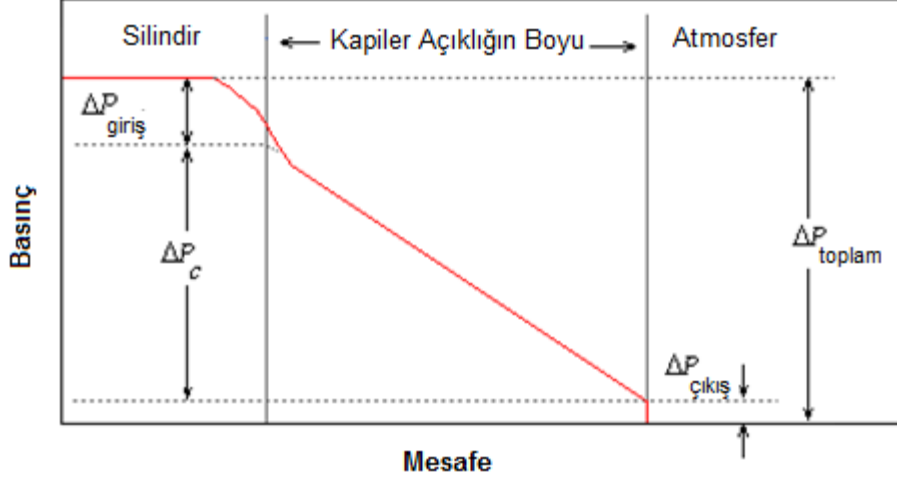
$$n = \frac{d \log(\tau_w)}{d \log(\dot{\gamma}_a)} \quad (4.7)$$

Bu şekilde gerçek duvar kayma hızı aşağıdaki denklem 4.8 ile elde edilir.

$$\dot{\gamma}_w = \dot{\gamma}_a \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \quad (4.8)$$

4.2.2. Bagley Düzeltmesi

Kılcal reometrede akış eğrisi; kılcal geometrisi, hacimsel akış debisi ve kalıptaki basınç düşüşü gibi bazı parametreler tarafından belirlenir. Hacimsel debi, Q, doğrudan piston hızı kullanılarak bulunabilir. Fakat basınç düşüşünün hesaplanması giriş ve çıkış etkilerinden dolayı kolay değildir. Şekil 4.1 basıncın test boyunca nasıl değiştiğini göstermektedir.



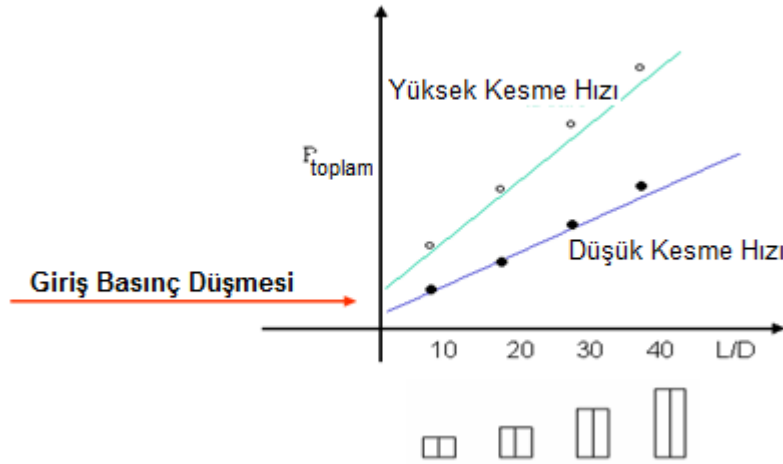
Şekil 4-1 Kılcal Reometredeki Basınç Değişimi

Burada ΔP_{total} basınç transdüseri ile ölçülen toplam basınç düşüştür. ΔP_{exit} kılcal çıkıştaki ΔP_c kılcal boyunca oluşan, ve ΔP_{entry} kılcal girişindeki basınç düşüşleridir.

Bagley düzeltmesi basınç farklarını ortadan kaldırmak için kullanılır. Bu yöntem aynı çaptaki ve farklı boydaki kalıplar kullanılarak birçok ölçüm yapılmasına ihtiyaç duyar. Bu sayede giriş ve çıkış etkileri her kalıp için aynı kalır. Bu nedenle ölçülen toplam basınç düşüşü, ΔP_{total} , kalıp boyunun bir fonksiyonu olarak elde edilebilir.

Bu düzeltmenin uygulanabilmesi için:

- Şekil 4.2’de gösterildiği gibi her kayma hızı için kalıbın L/D oranına karşı ölçülen basınç değerleri eğrisi çizdirilir.



Şekil 4-2 Bagley Çizimi

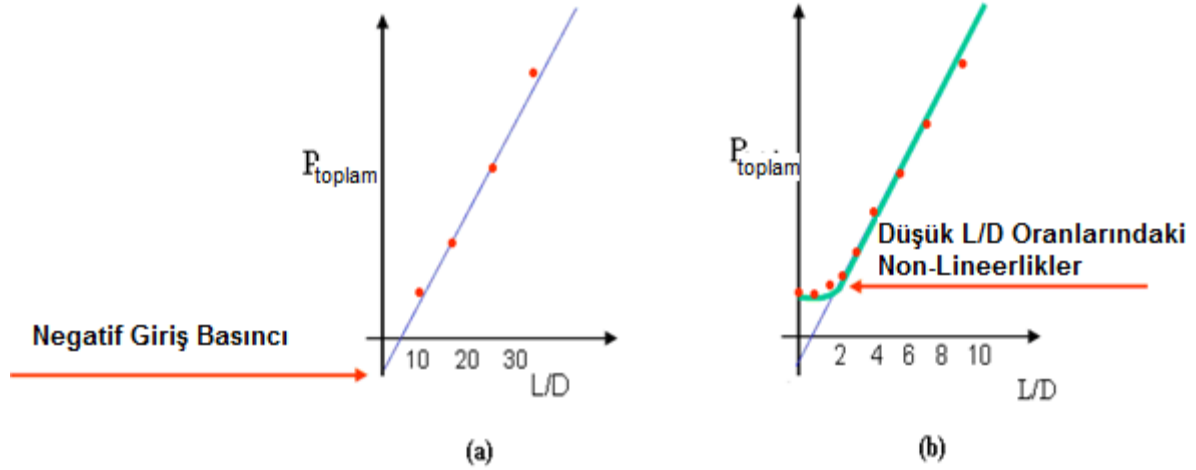
- Giriş ve çıkış bölgelerindeki basınç düşüşü, ΔP_e , $L/D=0$ 'a ekstrapolasyon yapılarak bulunur.
- ΔP_e değeri toplam basınç düşüş değerinden çıkartılarak kalıptaki basınç düşüşü elde edilir.

Sonunda kayma gerilmesi Denklem 4.5 ve non-newtonien kayma viskozitesi Denklem 4.10 ile hesaplanır.

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}} \quad (4.10)$$

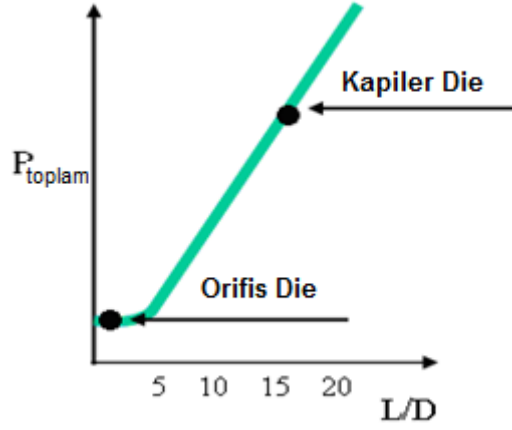
4.2.2.1. Bagley Düzeltmesindeki Hatalar

Bazen Bagley düzeltmesi kayma viskozitesinin belirlenmesinde kullanılamaz. Çünkü lineer ekstrapolasyon şekil 4.3'te görüldüğü gibi fiziksel olarak imkansız sonuçlar verebilir. Bu durumlar şekil 4.3 (a)'da görüldüğü gibi yüksek L/D oranlarında duvar kaymasından, viskoz ısınmadan, sıkışabilirlikten veya düşük L/D oranlarında (şekil 4.3 (b)'de görüldüğü gibi) oluşabilir.



Şekil 4-3 Bagley Düzeltmesindeki Problemler

Birçok uygulamada, bu non-lineerlikleri (şekil 4.4) önlemek için orifis kalıp kullanılabilir. Bu sayede basınç düşüşü problemsiz olarak hesaplanabilir.



Şekil 4-4 Orifice Kalıp Metodu

5. Kontrol Sistemi

İşletim kontrol sistemi, basınç ve sıcaklık kontrol sistemi olmak üzere iki ayrı sisteme ayrılabilir.

5.1. Basınç Ölçümü

Daha önceden bahsedildiği gibi kayma gerilmesi değerlerini hesaplamak için kalıp boyunca olan basınç düşüşü bilinmelidir. Bu sebeple basınç veya kuvvet transdüserleri kullanılmalıdır. Basınç transdüserleri veya transmitterleri yüksek hassasiyetli ölçümlerde kullanılırken kuvvet transdüserleri genellikle kalite kontrol laboratuvarlarında kullanılır. Bu transdüserler korozif veya çok yüksek sıcak örneklerle temas etmezler. Fakat piston sürtünmesi malzeme silindir içinde akarken de belirgin olduğundan çekme cihazındaki kuvvet ve basınç değeri kullanılamaz. Bu nedenle bir basınç transdüseri kılcal reometre için seçilmiş ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 400 °C sıcaklığa kadar kullanılabilen
- Basınç aralığı 0-2000 bar arasında olan
- Hassasiyeti $\pm 0.5\%$ -50 bar $\pm 0.2\%$ 'e kadar
- Tekrarlanabilirlik: 50 bara kadar $\pm 0.1\%$

Çalışma sıcaklığının yüksek seçilmesinin nedeni araştırma ve geliştirme amacıyla daha başka malzemelerin testine olanak sağlanabilmesidir.

5.2. Sıcaklık Ölçümü

Sıcaklık kontrolü, viskozite sıcaklığa çok bağlı olduğu için dikkatlice kontrol edilmelidir. Bu kılcal reometrede sistem silindir etrafına yerleştirilmiş iki elektrikli ısıtıcıyla ısıtılmakta ve sıcaklık RTD ile ölçülmektedir.

6. Otomatik Ölçüm Sistemi

6.1. MATLAB Hakkında Temel Bilgiler

MATLAB bir çok bilimsel alanda kullanılan, bilimsel işlemler yapmaya, programlar oluşturmaya ve benzetim yapmaya olanak tanıyan çok gelişmiş bir programdır. Bu programın içerisinde bloklarla program yazmaya olanak tanıyan ve bu sayede görsellik ve kullanım kolaylığı sağlayan simulink programı da bulunmaktadır. Matlab’da program yazabilmek, bilgisayara bir şeyler yaptırabilmek, çok karmaşık matematiksel işlemleri yaptırabilmek veya herhangi bir sistemi simule edebilmek mümkündür.

Matlab’da program genellikle iki şekilde yazılır. Bunlardan ilki “.m file” yazımı olarak bilinen ve standart program yazımına benzeyen kodlar ile programın belli bir akış şemasına uygun olarak yazılmasıdır. Bu yazım şekli bilgi, beceri, deneyim ve iyi bir planlama gerektirir. Çünkü programın yazımı sırasında unutulmuş en ufak bir virgül bile programı çalışmaz hale getirebilmektedir. Yazılan kodların yüzlerce satır olduğu düşünülürse durumun zorluğu daha iyi kavranabilir.

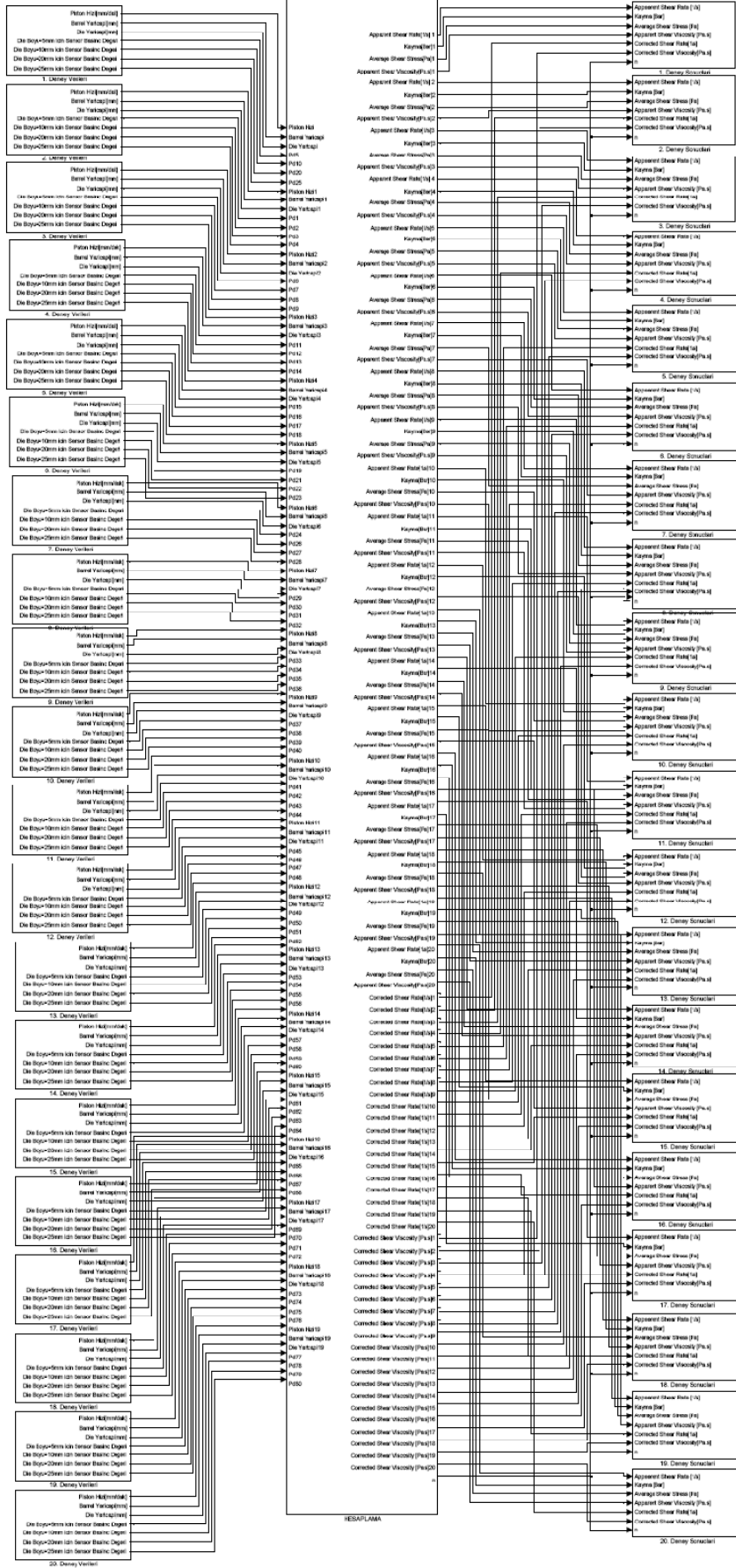
Diğer yazım şekli ise simulink yardımıyla işlem blokları kullanarak programı oluşturmaktır. Simulink bloklar ile işlem yapılmasına ve programın yazılmasına olanak tanıyan bir ortam olmakla birlikte “.m file” ile yazılan programların simulink bloklarına adapte edilmesi mümkündür. Fakat simulink’in tüm “.m file” kodlarını kabul etmediği ve sadece çok sınırlı sayıda kodu çalıştırabildiği unutulmamalı ve kod yazarken bu durumun işleri çok daha zorlaştırdığı akıldan çıkartılmamalıdır. Her ne kadar simulink ile kod yazımı basit ve görsel olarak kullanımı kolay gibi görünse de ileri düzey matematiksel işlemlerindeki yetersizliği ve kodlar uzadıkça tam bir örümcek ağı gibi karmaşıklaşmasından dolayı ileri düzey kodlarda kodlar ile program yazılacaktır.

Bu tezde ikisinin de karşılaştırmasının yapılması ve programlama mantıklarının gösterilmesi için her ikisinde de kodlar yazılmıştır. En son olarak gerekli olan program iki parçaya ayrılarak ikisinin kombinasyonu oluşturulmuştur.

Simulink blokları ve matlab kodları ile ilgili açıklamalar ve ayrıntılar bir tezde anlatılamayacak kadar çok olduğundan bu konuda eksikliği bulunan kişilerin konu ile ilgili kitapları ve internet sitelerini araştırmaları yazılan kodu anlamaları açısından hayati önem taşımaktadır.

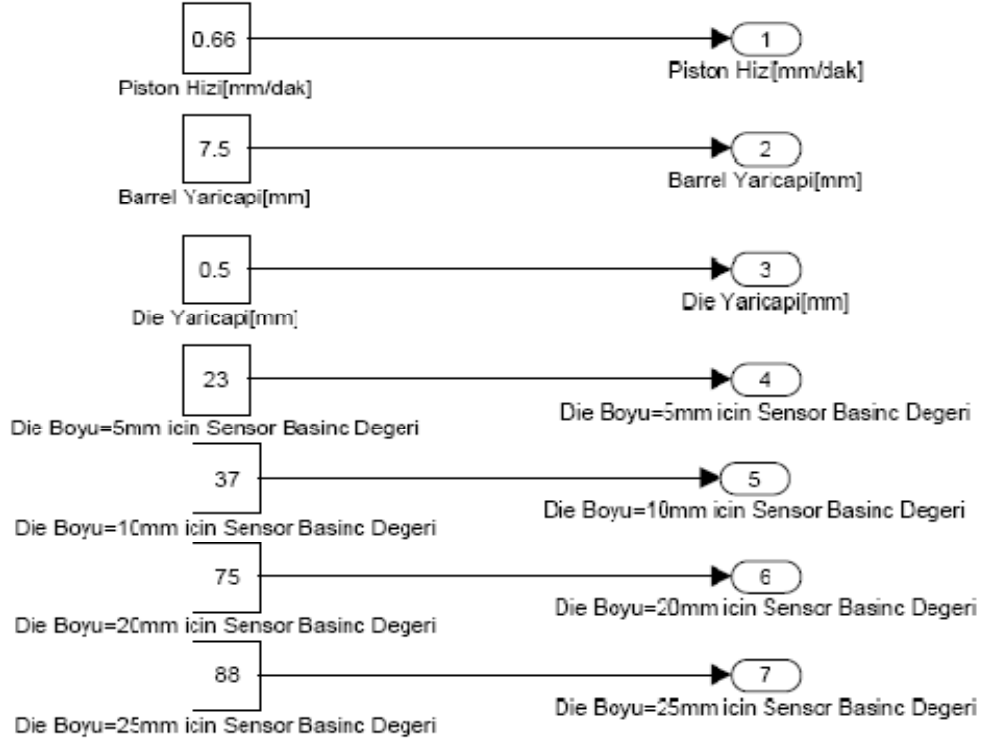
6.2. Simulink İle Otomatik Hesaplama Programının Yazılması

Programda yapılan yirmi deneyden alınan veriler her bir deneye ait bloklara yazılmakta ve program çalıştırılarak sonuç bloklarından her deneyin ortak sonuçları elde edilmektedir. Her bloğun içi ayrı ayrı açılacak ve yaptıkları işlemler anlatılarak programlama mantığı anlatılmaya çalışılacaktır. Program çok geniş yer tuttuğu için bağlantılar seçilemiyorsa tezde bulunan cd'ye bakınız.



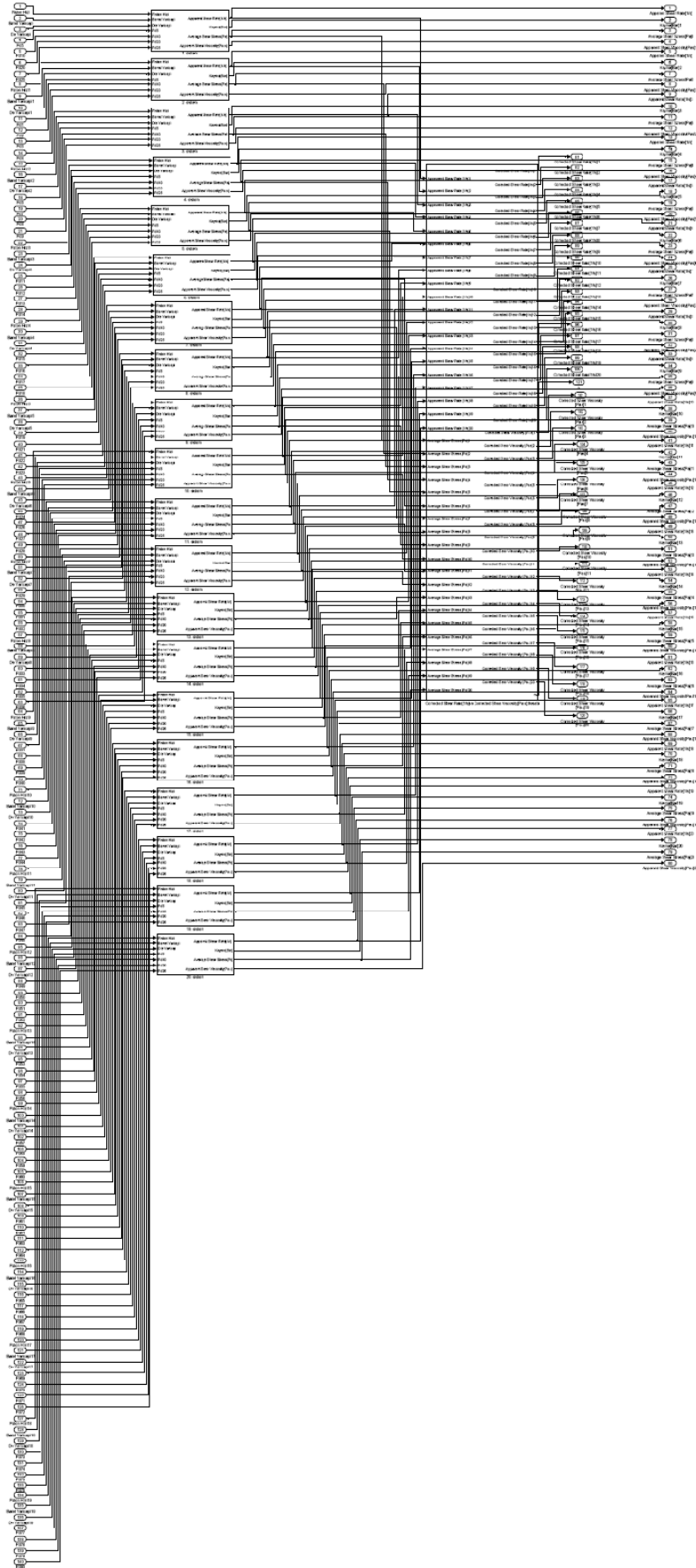
Şekil 6-1 Otomatik Hesaplama Programı

Şekil 6.1’de otomatik hesaplama programının genel görünüşü gösterilmiştir. Bu programda her deneye ait olan veriler o deneye ait kutucuğa çift tıklanarak açılan ekrana girilir ve hesaplamalar başlatılarak elde edilen sonuçlar sol taraftaki sonuç kutucuklarına tıklanarak elde edilebilir.

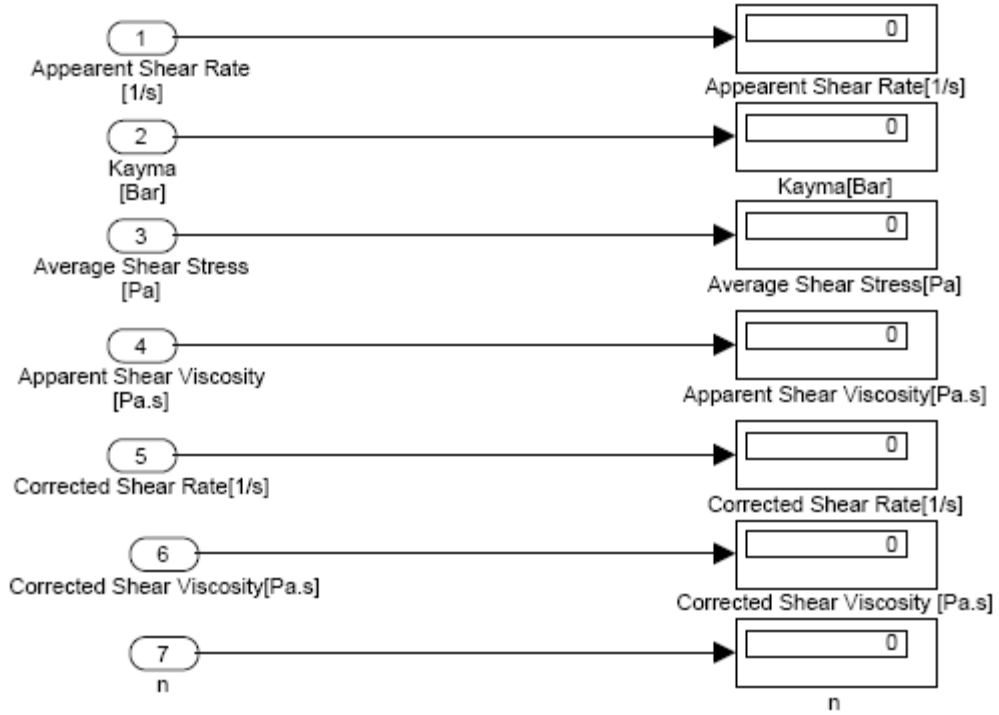


Şekil 6-2 Deney Verileri Giriş Ekranı

Şekil 6.2’de gösterildiği gibi deneye ait veriler olan piston hızı, silindir yarıçapı, kalıp yarıçapı ve çeşitli kalıp boyları için ölçülen basınç değerleri kutucuklar açılarak teker teker girilir. Daha sonra bu veriler şekil 6.3’te gösterilen hesaplama bloğuna otomatik olarak program tarafından taşınır ve daha sonra sonuçlar şekil 6.4’teki sonuç bloklarından okunabilir. Eğer yazılanlar görülemiyorsa cd’den bloklara bakılabilir.

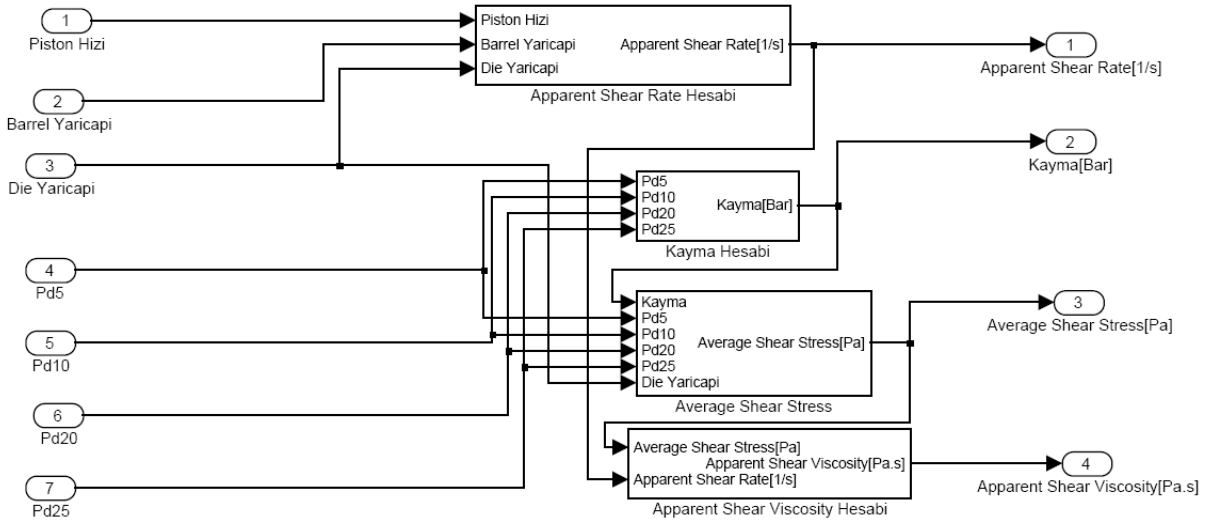


Şekil 6-3 Hesaplama Bloğu



Şekil 6-4 Sonuç Bloğu

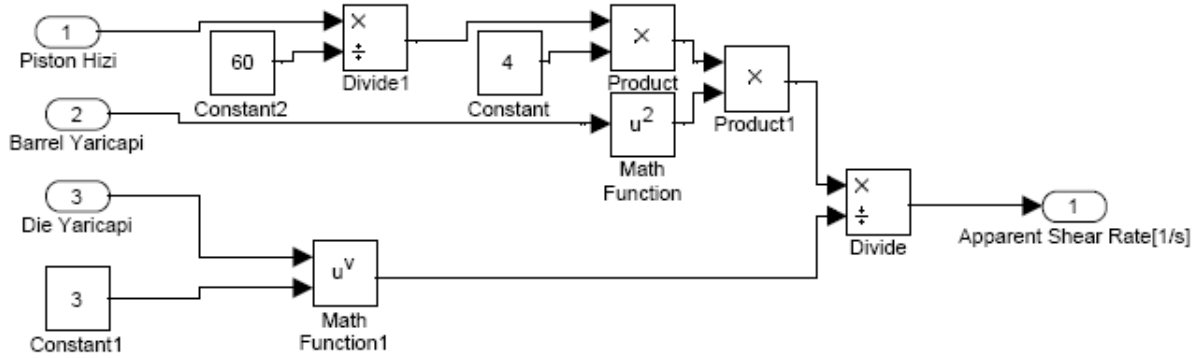
Programın çalışması için yukarıda anlatıldığı gibi sadece veri bloklarına gerekli deneysel verilerin girilmesi ve hesapların başlatılması yeterlidir. Fakat aşağıda programın işleyişinin ve Simulink ile nasıl program yazıldığının anlaşılması için programın ana kısmını oluşturan hesaplama bloğunun içi açılacak ve yapılan tüm işlemler teker teker açıklanacaktır. Programın tam ekran resimleri sayfaya sığmayacağı için istenildiği takdirde cd'den bakılabilir.



Şekil 6-5 1.Sistem Bloğu

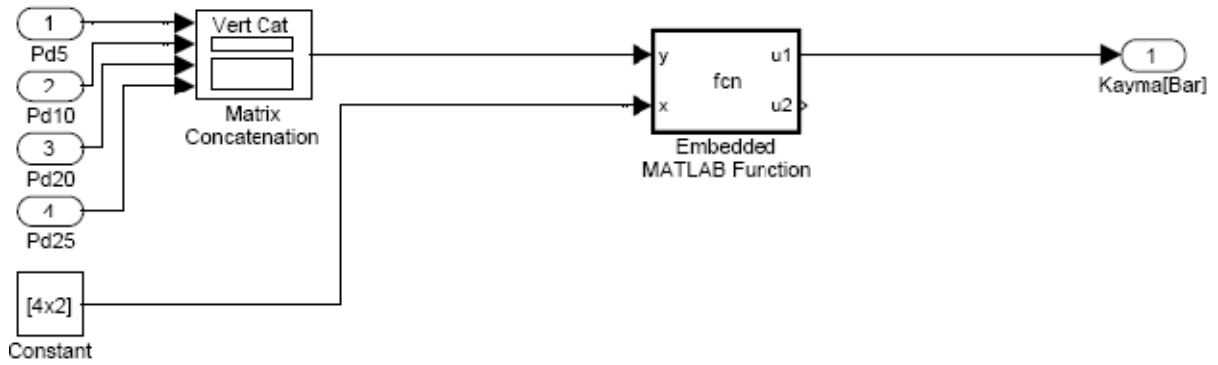
Şekil 6.5'te gösterilen Sistem bloğunda yapılan deneyler sonucunda hesaplanması gereken görünen kayma hızı, kayma miktarı, ortalama kayma gerilmesi ve görünen kayma viskozitesi bu hesaplanmalar için gereken bloklar ile teker teker hesaplanır.

Görünen kayma hızının hesabı şekil 6.6'daki gibi işlemsel bloklar ile $\frac{4vR^2}{60r^3}$ fonksiyonu yazılarak hesaplanır.



Şekil 6-6 Görünen Kayma Hızının Hesabı

Kayma Hesabı ise yukarıda gösterilen hesaplamalardan farklı olarak matrisyel işlem gerektirdiğinden simulink blokları yeterli olamamıştır. Bu sebeple Matlab'ın bazı izin verilen kodlarının simulink ile birleştirilmesine olanak tanıyan Embedded Matlab Function Bloğu kullanılmıştır. Burada u1 kaymayı u2 ise eğimi vermektedir. Yapılan işlem basit bir matris işlemidir. İşlem yapıldıktan sonra deney eğrisi ekrana çizdirilmiştir. Matrislerin aşağıda matematiksel formda gösterilmiştir.



Şekil 6-7 Kayma Hesabı

```
function [u1,u2]= fcn(y,x)
% This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
% See the help menu for details.
u=pinv(x)*y;
u1=u(1,1);
u2=u(2,1);
t=0:0.1:25;
f= u1 + t* u2;
figure(1);
plot(x(:,2),y,'r--', t, f,'b-' )
plot1
```

Kod 6.1: Matlab Kodu Bloğuna Yazılan Kod

grid on;

title('1. Deney Icin Olculen Basinc- L/D Egrisi');

xlabel('L/D');

ylabel('Olculen Basinc (Bar)');

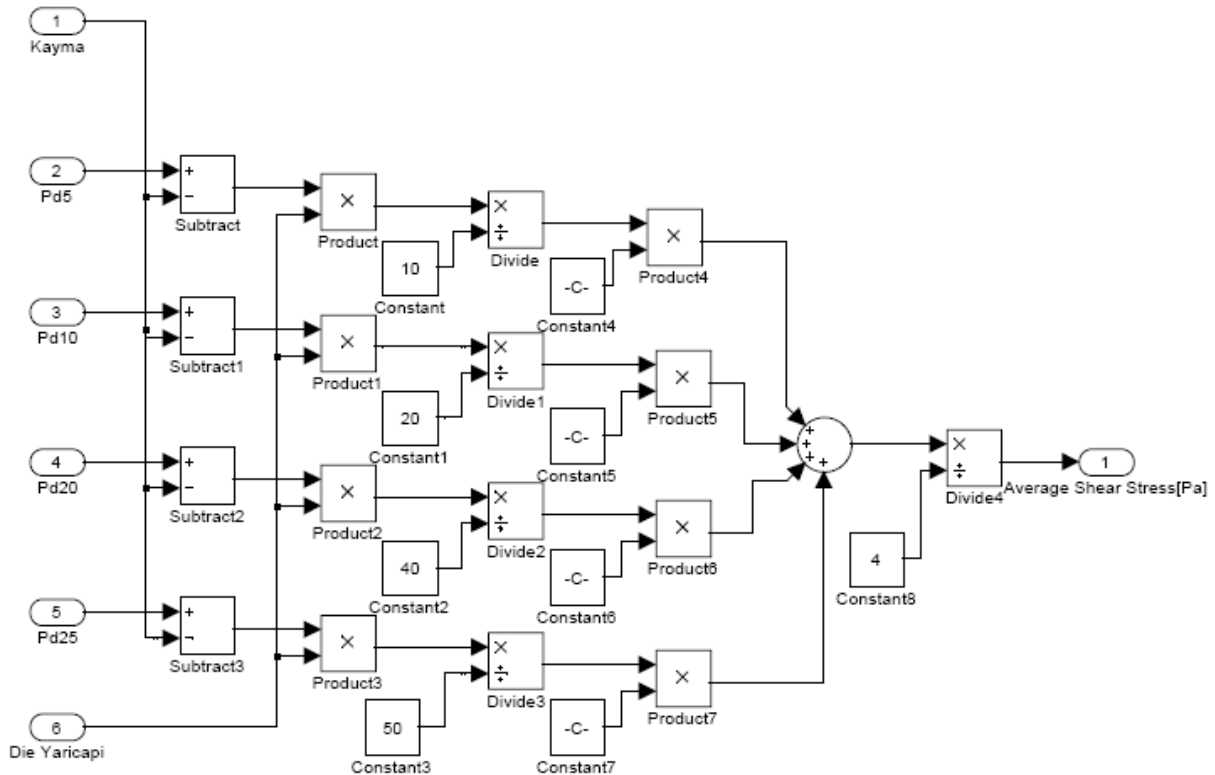
legend({'Gercek Degerler','Uydurulan Egri'},'Position',[0.149 0.8012 0.2714 0.1]);

Kod 6.2: Plot1 Dosyasına Yazılan Kod

$$\begin{bmatrix} Kayma \\ Eğim \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 10 \\ 1 & 20 \\ 1 & 25 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} P_5 \\ P_{10} \\ P_{20} \\ P_{25} \end{bmatrix}$$

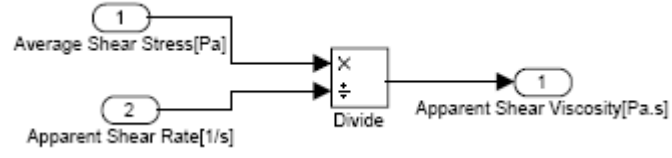
Şekil 6-8 Yapılan Matrisyel İşlemin Matematiksel Gösterimi

Ortalama kayma gerilmesi hesabında ise $\tau_w = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_c \cdot r}{n}$ işlemi yapılmıştır. Burada ΔP_c kalıp içindeki basınç düşmesidir ve sensörden okunan basınç değerinden kayma değeri çıkartılarak bulunur.



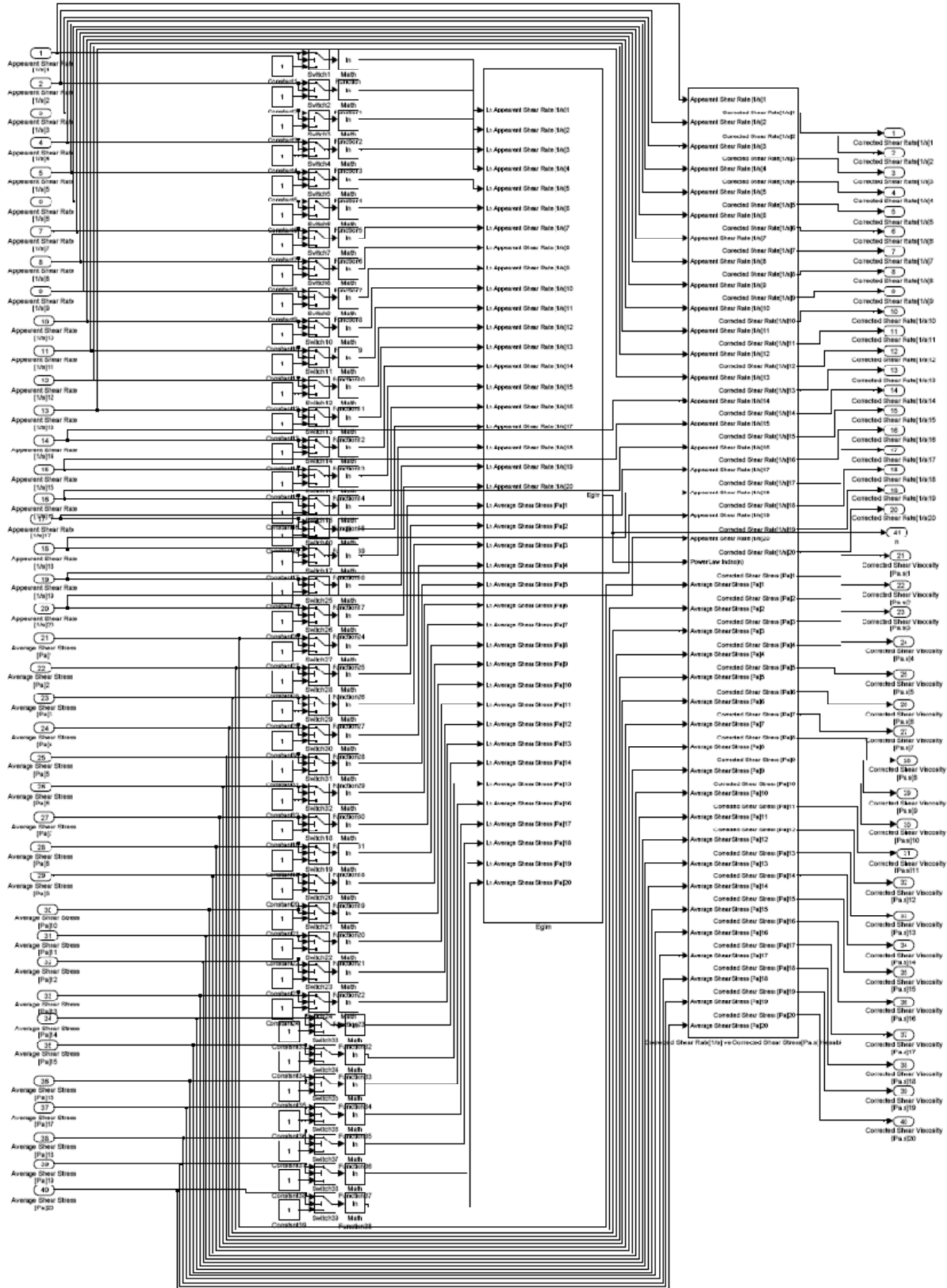
Şekil 6-9 Ortalama Kayma Gerilmesi Hesabı

Görünen kayma viskozitesi hesabı ise görünür kayma gerilmesi görünür kayma hızına bölünerek bulunur.



Şekil 6-10 Görünen Kayma Viskozitesi Hesabı

Düzeltilmiş kayma hızı ve düzeltilmiş kayma viskozitesini hesaplamak için gerekli olan önceden hesaplanmış görünür kayma hızı ve ortalama kayma gerilmesi değerleri ilgili bloğa yollanır ve bu blokta kaç deney yapılmışsa önce o belirlenir ve daha sonra eğer veriler varsa ilgili hesaplama bloklarına ln'leri alınarak aktarılır bu veriler.



Şekil 6-11 Eğim, Düzeltilmiş Kayma Hızı ve Düzeltilmiş Kayma Gerilmesi Hesaplama Bloğu

Eğim bloğunun içinde \ln ortalama kayma gerilmesi bir dikey matris haline getirilir ve \ln ortalama kayma hızı verileriyle birlikte üs kanunu değerini hesaplamak için matlab fonksiyon

bloğuna girer. Bu blokta şekil 6.14'deki gibi kodlarla şekil 6.13'teki işlem yapılır ve eğri çizdirilir.

$$\begin{bmatrix} \text{Kayma} \\ \text{Eğim} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \ln \text{ görünen kesme hızı1} \\ 1 & \ln \text{ görünen kesme hızı2} \\ . & . \\ . & . \\ 1 & \ln \text{ görünen kesme hızı19} \\ 1 & \ln \text{ görünen kesme hızı20} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \ln \text{ görünen kesme gerilmesi1} \\ \ln \text{ görünen kesme gerilmesi2} \\ . \\ . \\ \ln \text{ görünen kesme gerilmesi19} \\ \ln \text{ görünen kesme gerilmesi20} \end{bmatrix}$$

Şekil 6-12 Yapılan Matrisyel İşlemin Matematiksel Gösterimi

```
05.11.2008 19:25 Block: Program/HESAPLAMA/Correcte.../Embedded MATLAB
Function 1 of 2
function [u1,u2]=
fcn(x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10,x11,x12,x13,x14,x15,x16,x17,x18,
x19,x20,y)
% This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
% See the help menu for details.
x=zeros(20,2);
if x1>0
x(1,1)=1;
x(1,2)=x1;
end
if x2>0
x(2,1)=1;
x(2,2)=x2;
end
if x3>0
x(3,1)=1;
x(3,2)=x3;
end
if x4>0
x(4,1)=1;
x(4,2)=x4;
end
if x5>0
x(5,1)=1;
x(5,2)=x5;
end
if x6>0
x(6,1)=1;
x(6,2)=x6;
end
if x7>0
x(7,1)=1;
x(7,2)=x7;
end
if x8>0
x(8,1)=1;
x(8,2)=x8;
end
if x9>0
x(9,1)=1;
x(9,2)=x9;
end
```

```

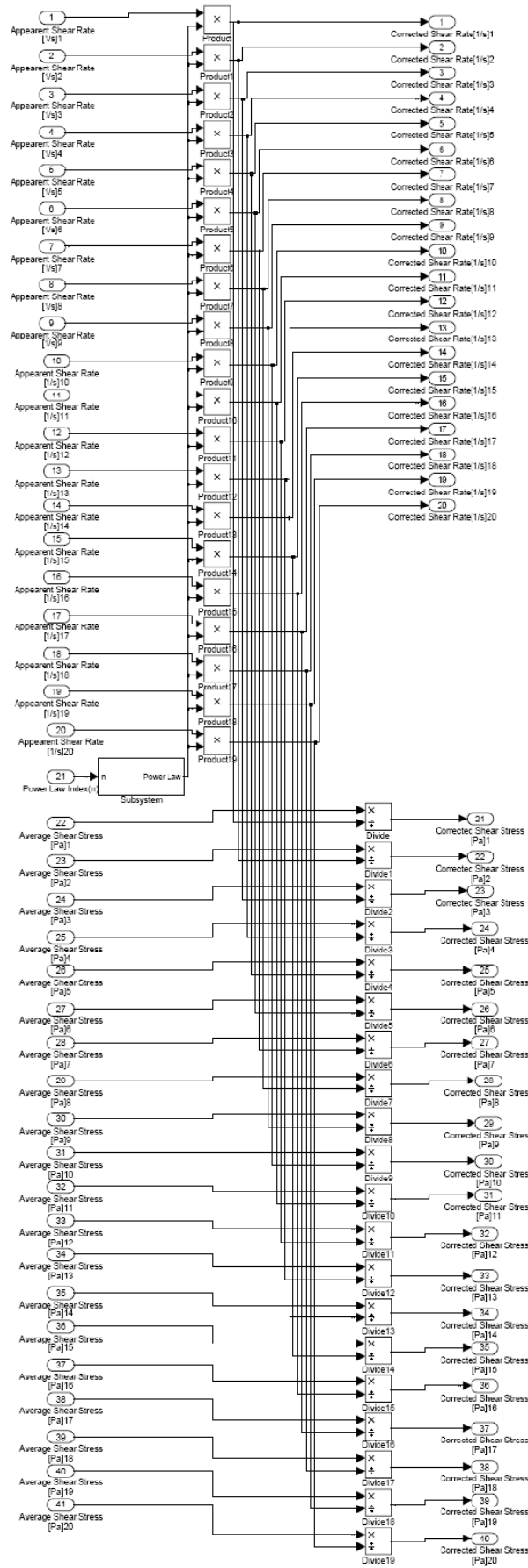
if x10>0
x(10,1)=1;
x(10,2)=x10;
end
if x11>0
x(11,1)=1;
x(11,2)=x11;
end
if x12>0
x(12,1)=1;
x(12,2)=x12;
end
if x13>0
x(13,1)=1;
x(13,2)=x13;
end
if x14>0
x(14,1)=1;
x(14,2)=x14;
end
if x15>0
x(15,1)=1;
x(15,2)=x15;
end
if x16>0
x(16,1)=1;
x(16,2)=x16;
end
if x17>0
x(17,1)=1;
x(17,2)=x17;
end
if x18>0
x(18,1)=1;
x(18,2)=x18;
end
if x19>0
x(19,1)=1;
x(19,2)=x19;
end
if x20>0
x(20,1)=1;
x(20,2)=x20;
end
u=pinv(x)*y;
u1=u(1,1);
u2=u(2,1);
t=0:0.01:8;
f= u1 + t* u2;
figure(21);
plot(t, f, 'b-' )
corrected

```

Kod 6.3: Eğim Hesaplama Matlab Bloğuna Yazılan Kod

Düzeltilmiş kayma hızı ve düzeltilmiş kayma gerilmesi hesaplama bloğunun içine ise görünen kayma hızı ve görünen kayma gerilmesi değerleri alınarak hesaplanır. Buradaki üs kanunu

denen veri şekil 6.15'teki gibi aslında gerçek üs kanunu değeri olan n 'in $\left(\frac{3n+1}{4n}\right)$ ile çarpılmasıdır.



Şekil 6-13 Düzeltilmiş Kayma Gerilmesi ve Düzeltilmiş Kayma Hızı Bloğu


```

function fcn(u1, u2, u3, u4, u5,u6)
% This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
% See the help menu for details.
if u2>0
    u=[u1 u2 u3 u4 u5 u6];
    dlmwrite('veriler.txt',u,'delimiter','\t','-append');
end

```

Kod 6.4: Otomatik Veri Toplama Programının Matlab Kodu

Bu şekilde veriler toplanarak veriler.txt dosyasına kaydedildikten sonra hesaplama programı hesapla komutu ile çalıştırılarak sonuç görülür.

```

load ('veriler.txt');
deney= size (veriler);

%orneklenmis verilerin ayiklanmasi
for I=deney(1):-1:1,
    for J=deney(1):-1:1,
        if I<deney(1)
            if I~=J
                if veriler(I,:) == veriler(J,:)
                    veriler(J,:)=[];
                    deney= size (veriler);
                end
            end
        end
    end
end
end
end

```



```

        veriler(I,:)=m(1,:);
    end
    if veriler(I,1) == veriler(J,1) && veriler(J,4) < veriler(I,4)
        m(1,:)=veriler(I,:);
        veriler(I,:)=veriler(J,:);
        veriler(J,:)=m(1,:);
    end
end
end
end
end
%kalıp sayısının belirlenmesi
sayi=1;
for J=2:deney(1),
    if veriler(1,1) == veriler(J,1) && veriler(1,2) == veriler(J,2) && veriler(1,3) == veriler(J,3)
        sayi=sayi+1;
    end
end
%hiz sayısının belirlenmesi
hiz=deney(1)/sayi;
%apparent shear rate hesabi
for I=1:hiz,
    ASR(I)=(veriler(sayi * I,1)*power(veriler(sayi * I,2),2))/(15*power(veriler(sayi * I,3),3));
end

```

```
%Kayma degerinin hesaplanmasi
```

```
for I=1:hiz,
```

```
    x(:,2,I)=veriler(((sayi*I-sayi+1):(sayi * I)),4);
```

```
    x(:,1,I)=ones;
```

```
    y(:,I)=veriler(((sayi*I-sayi+1):(sayi * I)),5);
```

```
    u(:,I)=pinv(x(:,:,I)) * y(:,I);
```

```
    K(I)=u(1,I);
```

```
End
```

```
%average shear stress hesabi
```

```
for I=1:hiz,
```

```
    top=0;
```

```
    for J=(sayi * (I-1) +1):(sayi * I),
```

```
        top=top + (25000*(veriler(J ,5) - K(I)))/(veriler(J,4));
```

```
    end
```

```
    ASS(I)= top/4;
```

```
end
```

```
%appearent shear viscosity hesabi
```

```
for I=1:hiz,
```

```
    ASV(I)=ASS(I)/ASR(I);
```

```
end
```

```
%Üs kanunu index hesabi
```

```
for I=1:hiz,
```

```
    lnASR(I)= log (ASR(I));
```

```

ny(I,1)= log (ASS(I));
end
nx(:,2)=lnASR;
nx(:,1)=ones;
nu = pinv (nx) * ny;
n=nu(2);

%Corrected Shear Rate Hesabi
pow=(3*nu(2)+1)/(4*nu(2));
for I=1:hiz,
    CSR(I) = pow * ASR(I);
end

%Corrected Shear Viscosity Hesabi
for I=1:hiz,
    CSV(I) = ASS(I) / CSR(I);
end

%Grafiklerin ve verilerin gösterilmesi
for I=1:hiz,
    t=0:0.1:25;
    f(:,I)= u(1,I) + t * u(2,I);
    figure(I);
    ax = axes('Position',[0.03703 0.1174 0.775 0.815]);
    plot(x(:,2,I),y(:,I),'r--', t, f(:,I),'b-')
    grid on;

```

```

title(ax, [num2str(I), ' . Deneý İcin Olculen Basinc- L/D Egrisi']);
xlabel(ax,'L/D');
ylabel(ax,'Olculen Basinc (Bar)');
legend({'Gercek Degerler','Uydurulan Egri'},'Position',[0.04508 0.8101 0.2714 0.1]);
annotation1 = annotation(figure(I),'textbox','Position',[0.8193 0.4479 0.1761
0.1776],'BackgroundColor',[1 1 1],'FitHeightToText','off',...
'FontSize',8,'String',{[num2str(I), ' . Deneý Sonulari'], ['Apparent Shear Rate=
',num2str(ASR(I)), ' [1/s]'],...
['Kayma= ',num2str(K(I)), ' [Bar]'],['Average Shear Stress= ',num2str(ASS(I)),
[Pa]'],['Apparent Shear Viscosity= ',num2str(ASV(I)), ' [Pa.s]'],...
['Corrected Shear Rate= ',num2str(CSR(I)), ' [1/s]'],['Corrected Shear Viscosity=
',num2str(CSV(I)), ' [Pa.s]'],...
['Üs kanunu Index(n)= ',num2str(n)]]});
end

```

%Ln(Shear Rate)-Ln(Shear Stress) Grafigi cizimi

```

ts=0:0.01:8;
s= nu(1) + ts * nu(2);
figure( hiz +1);
ax1=axes('Position',[0.06516 0.107 0.775 0.815]);
plot(ts, s,'b-')
grid on;
title(ax1,'Ln(Shear Rate)-Ln(Shear Stress) Grafigi');
xlabel(ax1,'Ln(Shear Rate)');
ylabel(ax1,'Ln(Shear Stress)');
legend({'Uydurulan Egri'},'Position',[0.099 0.7997 0.2714 0.1]);

```

```
annotation1 = annotation(figure(hiz +1),'textbox','Position',[0.8492 0.564 0.1453  
0.04613],'BackgroundColor',[1 1 1],'FitHeightToText','off',...  
    'FontSize',8,'String',{'Üs kanunu Index(n)= ',num2str(n)});
```

```
%CSV-CSR grafiği
```

```
figure (hiz +2)
```

```
loglog(CSR, CSV, 'b-')
```

```
grid on;
```

```
title('Shear Viscosity- Shear Rate Grafiği');
```

```
xlabel('Shear Rate');
```

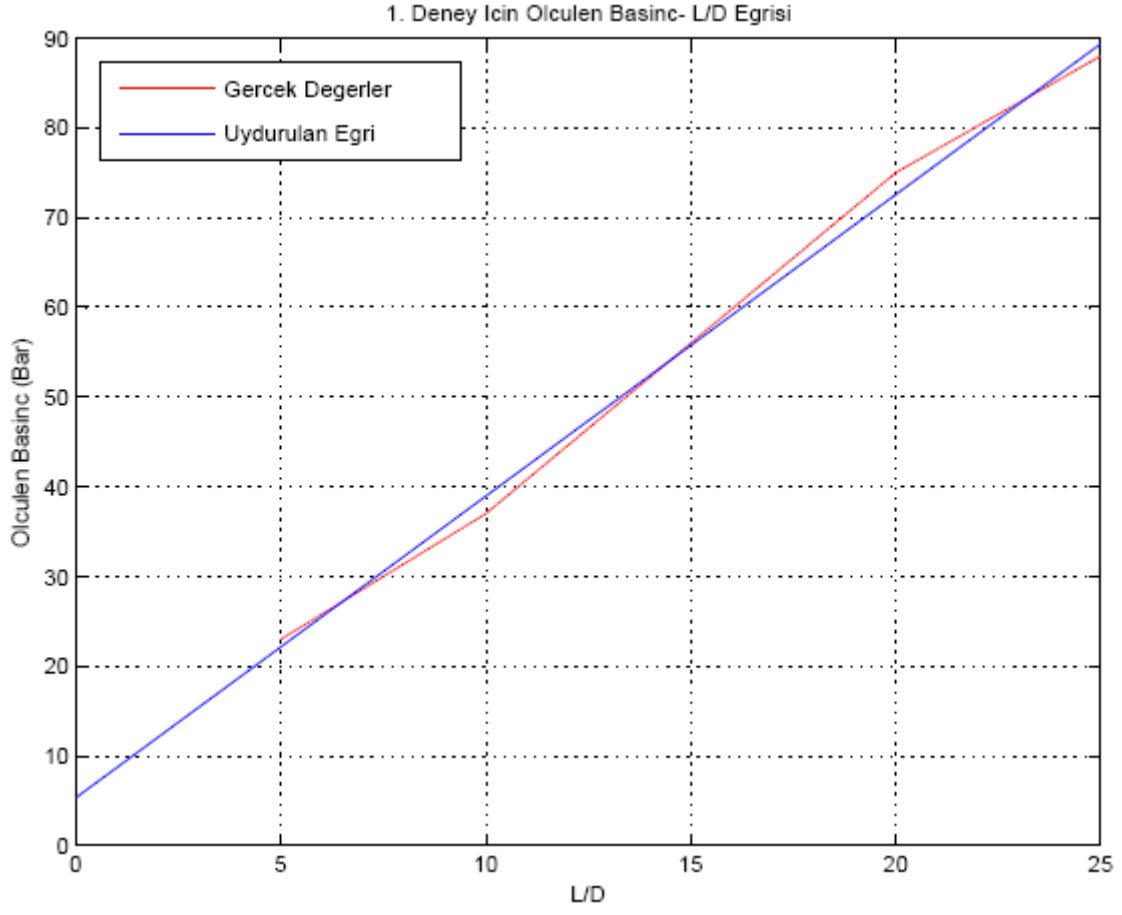
```
ylabel('Shear Viscosity');
```

Kod 6.5: Hesapla Programının Matlab Kodu

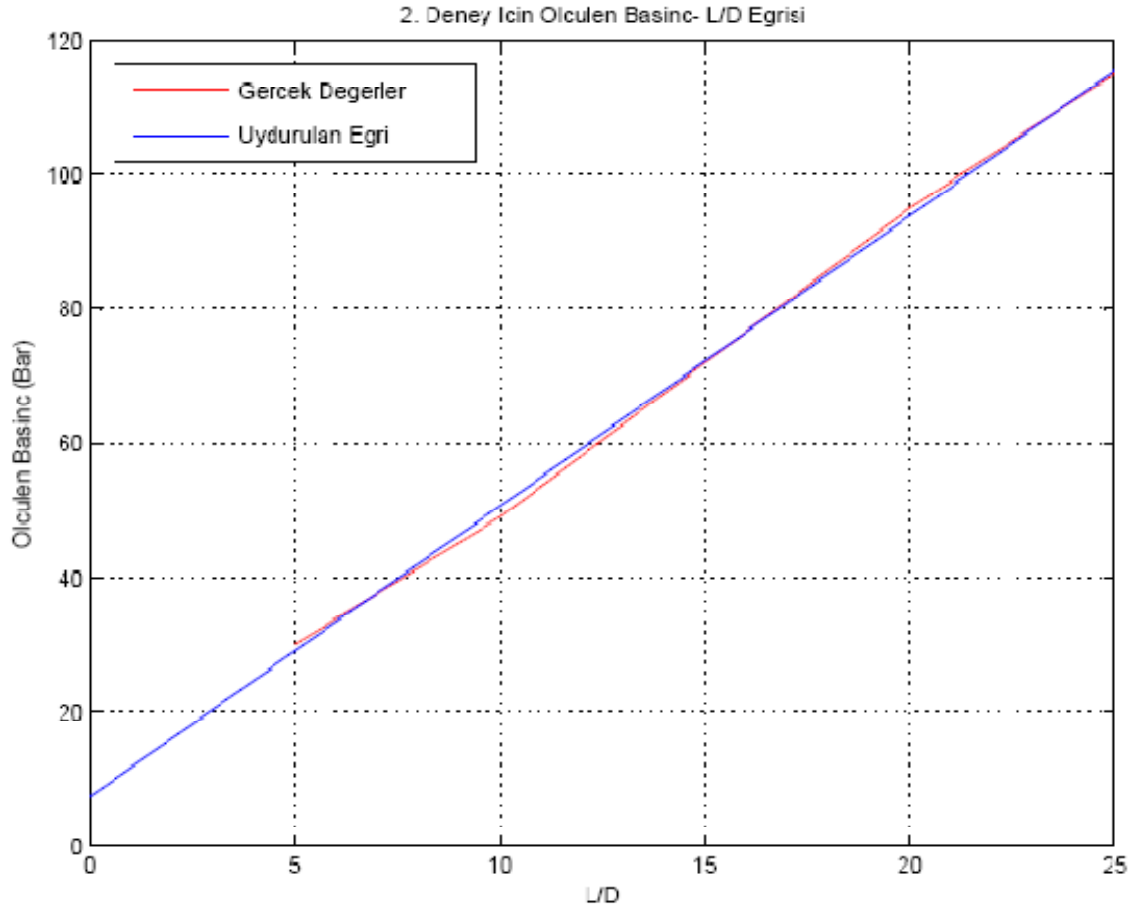
6.4. Benzetim Programlarının Çıktıları

Bu bölümde programlardan elde edilen uydurulan eğriler ile gerçek değerler karşılaştırılacaktır. Bu iki değer arasındaki farklılık eğri uydurma işleminin bir yaklaşıklık olmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Oluşturulan eğrinin denklemiyle elde edilen sonuçlar Sabancı Üniversitesi ve ODTU laboratuvarlarındaki reometrelerden elde edilen sonuçlar ile örtüşmektedir.

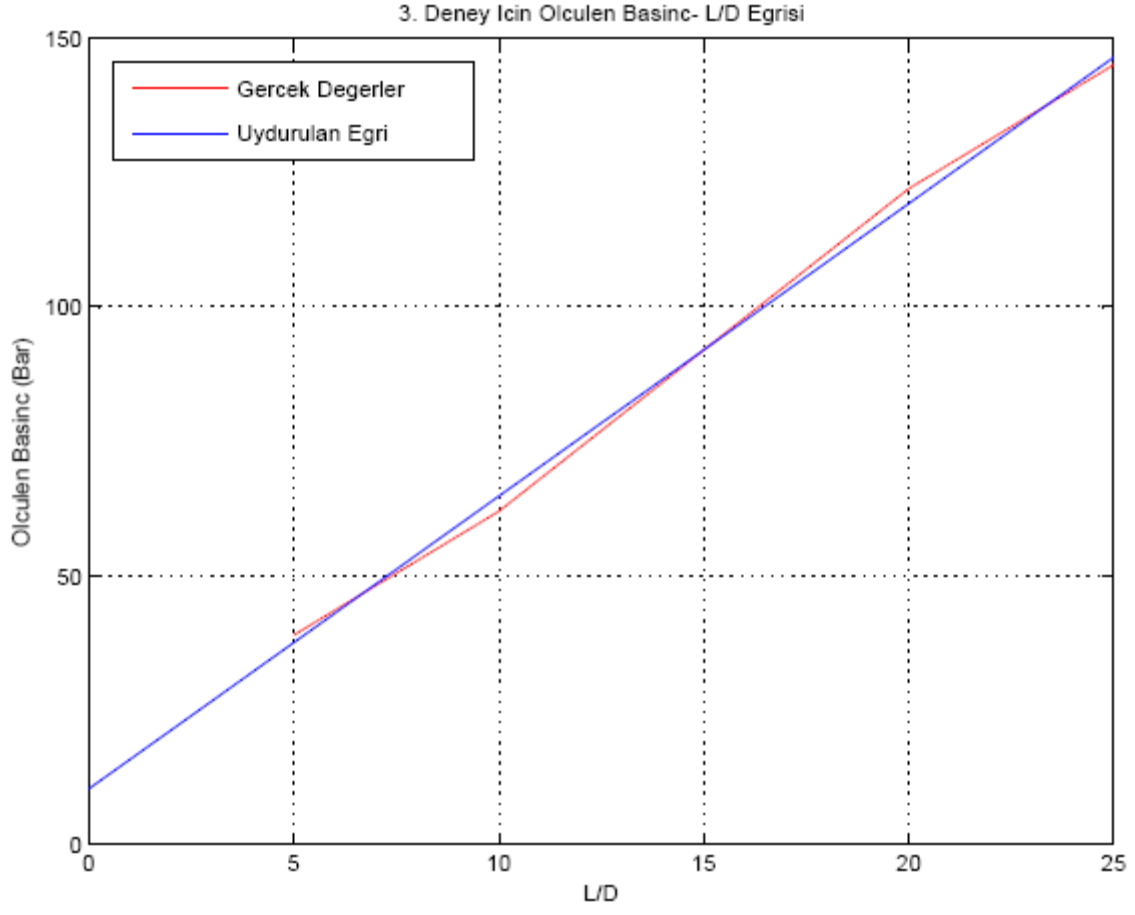
Bu deneyin ilk kısmını oluşturan hesaplama programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



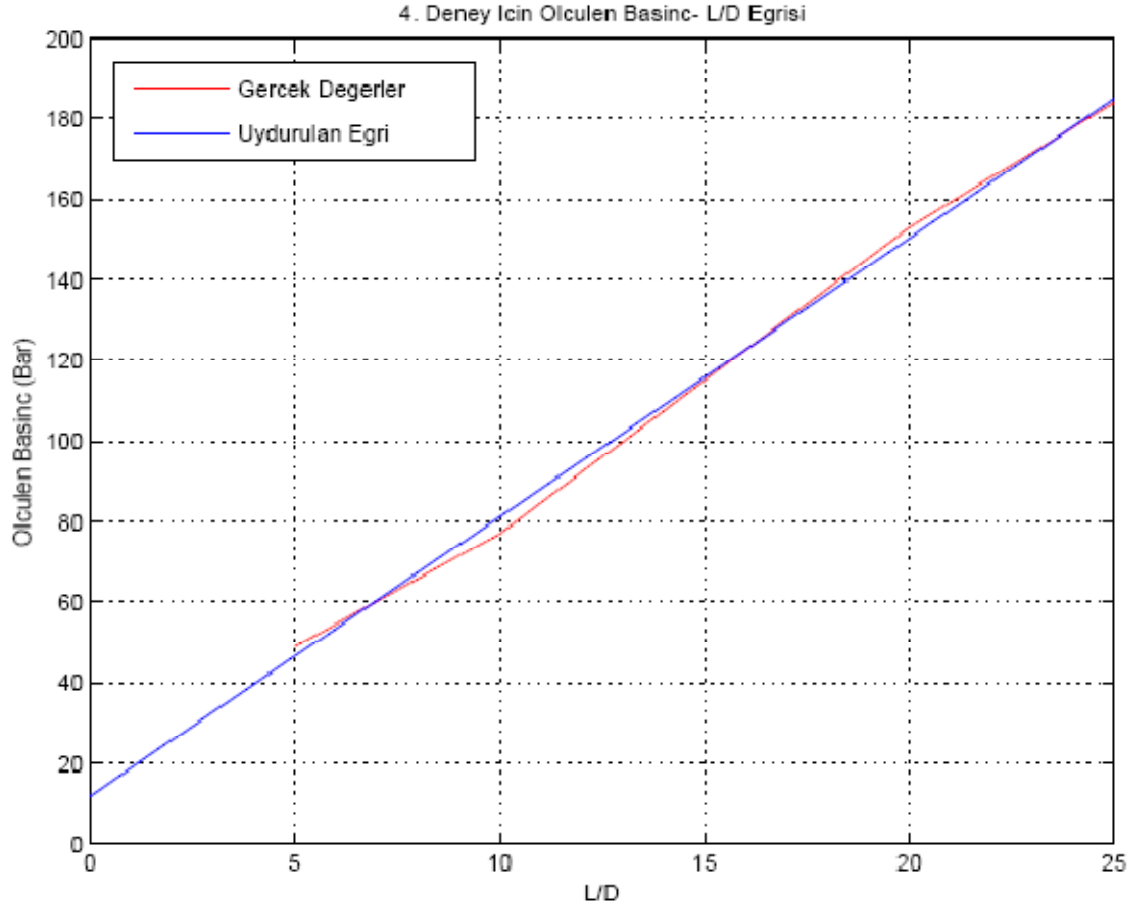
Şekil 6-16 Birinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



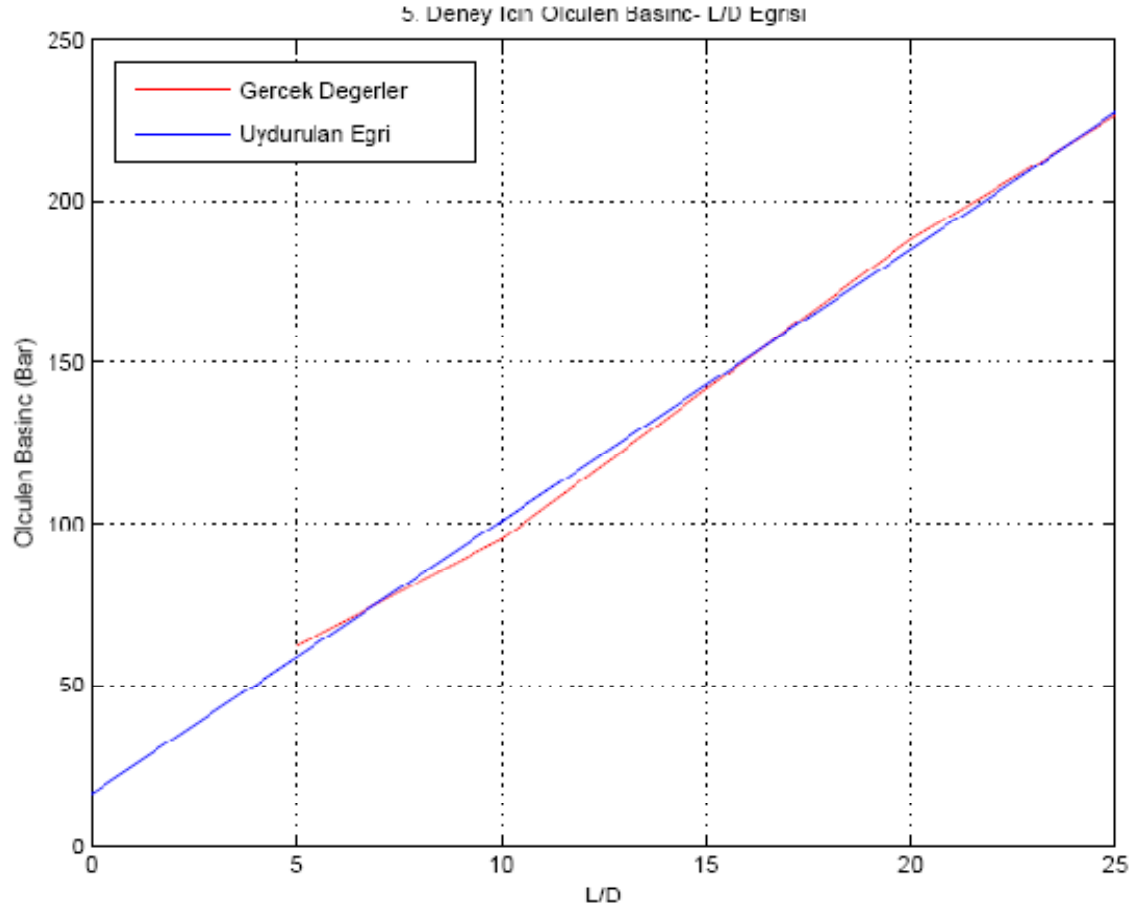
Şekil 6-17 İkinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



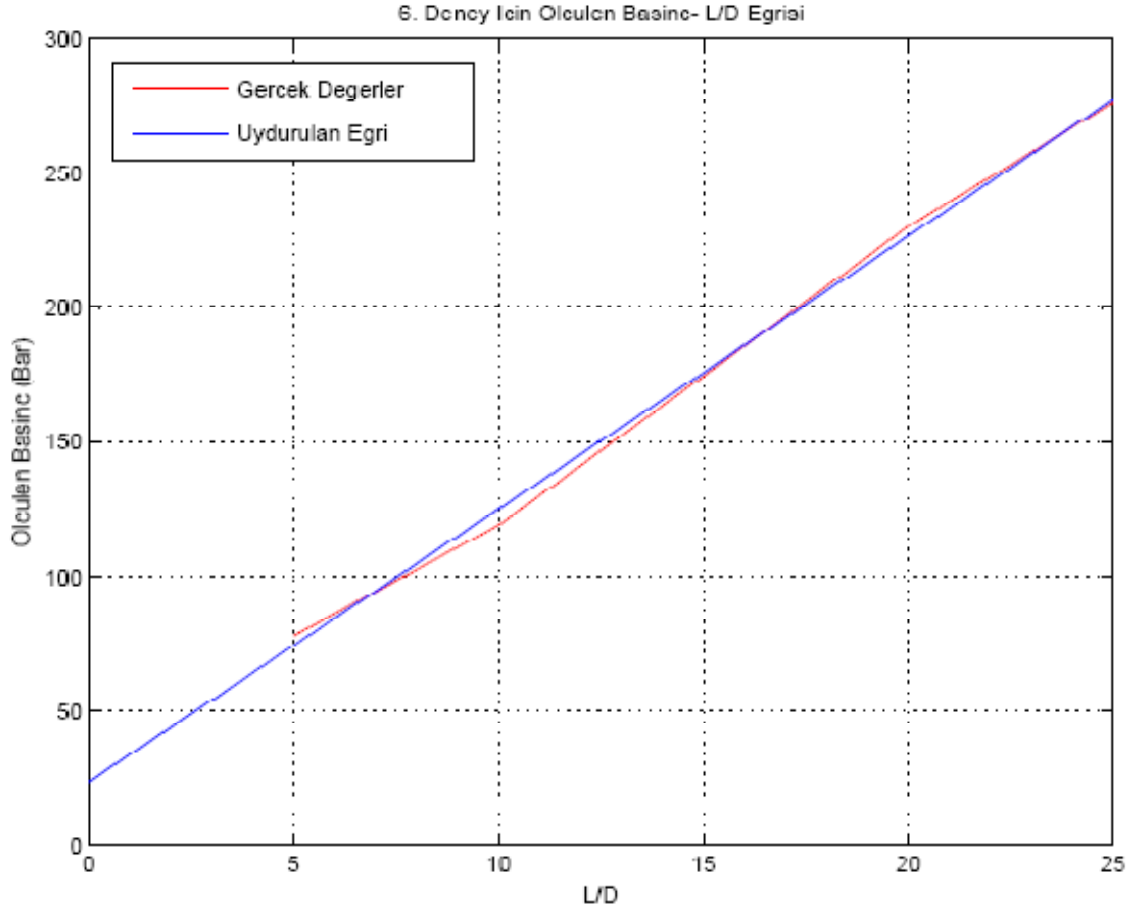
Şekil 6-18 Üçüncü Deneý İcin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



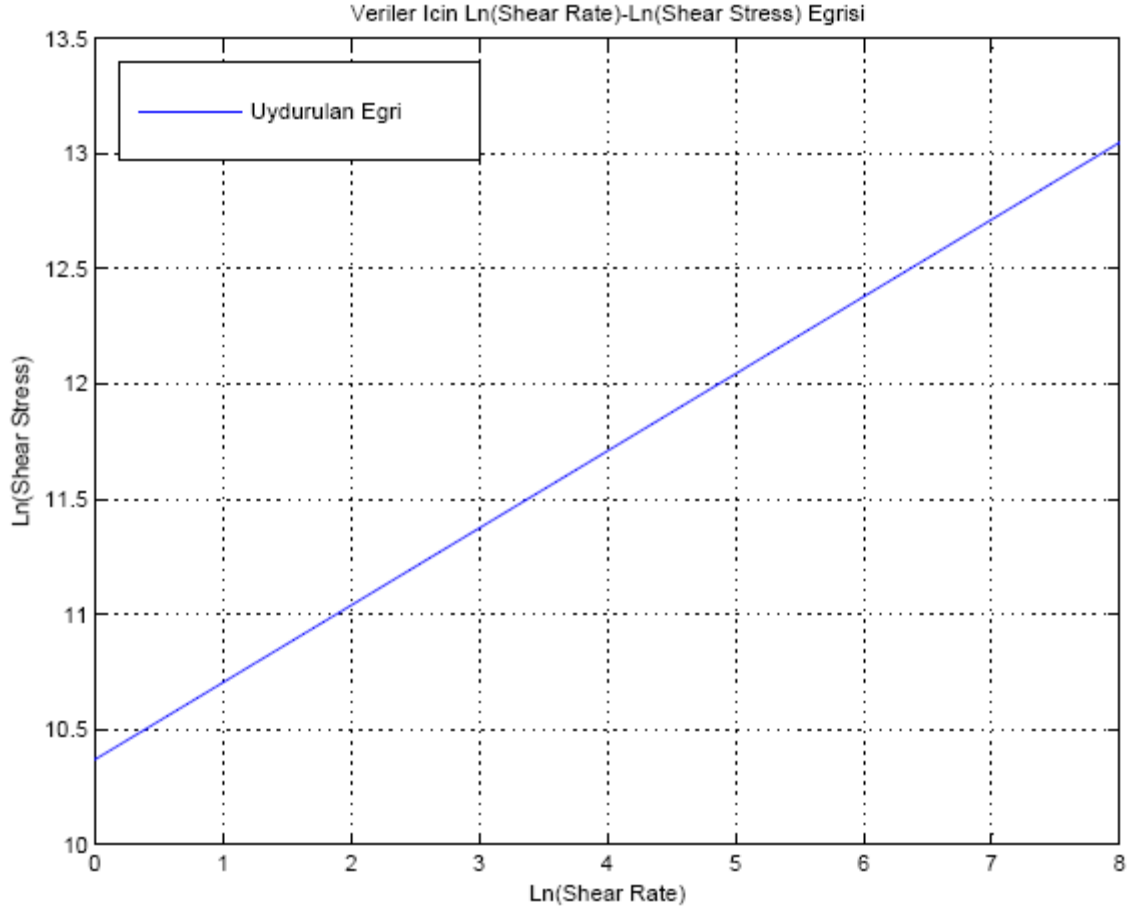
Şekil 6-19 Dördüncü Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 6-20 Beşinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması

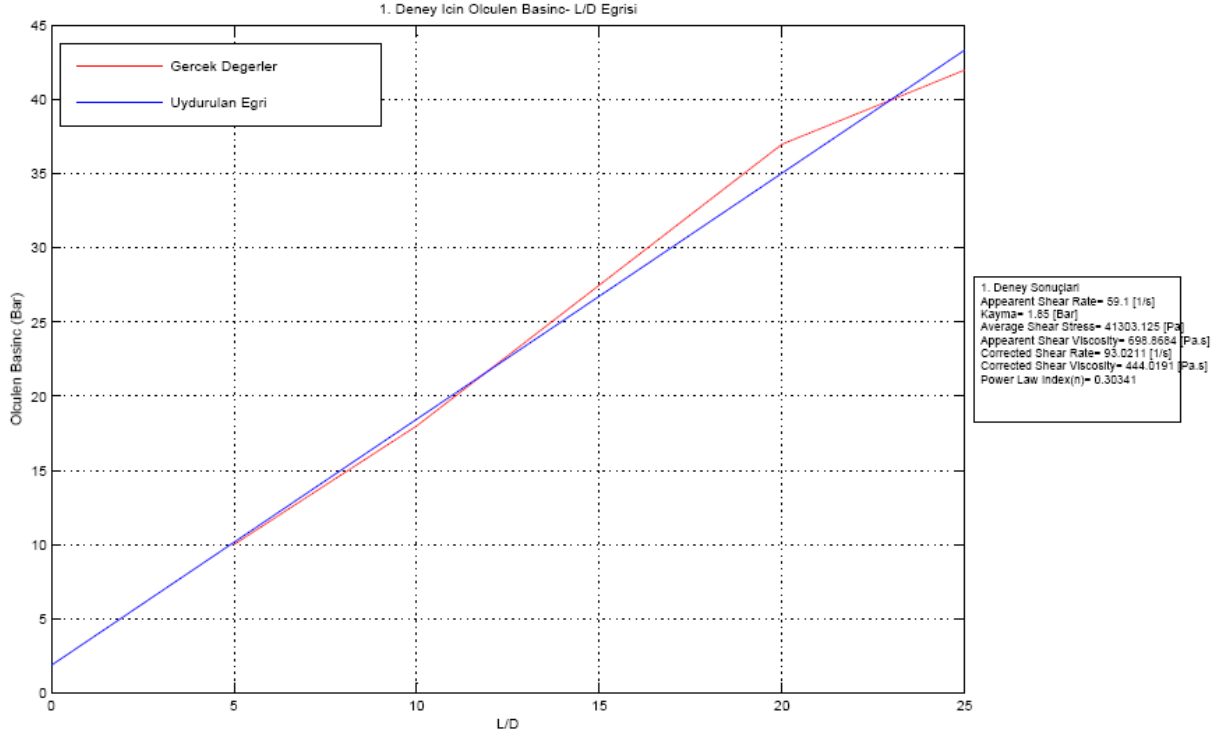


Şekil 6-21 Altıncı Dency İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması

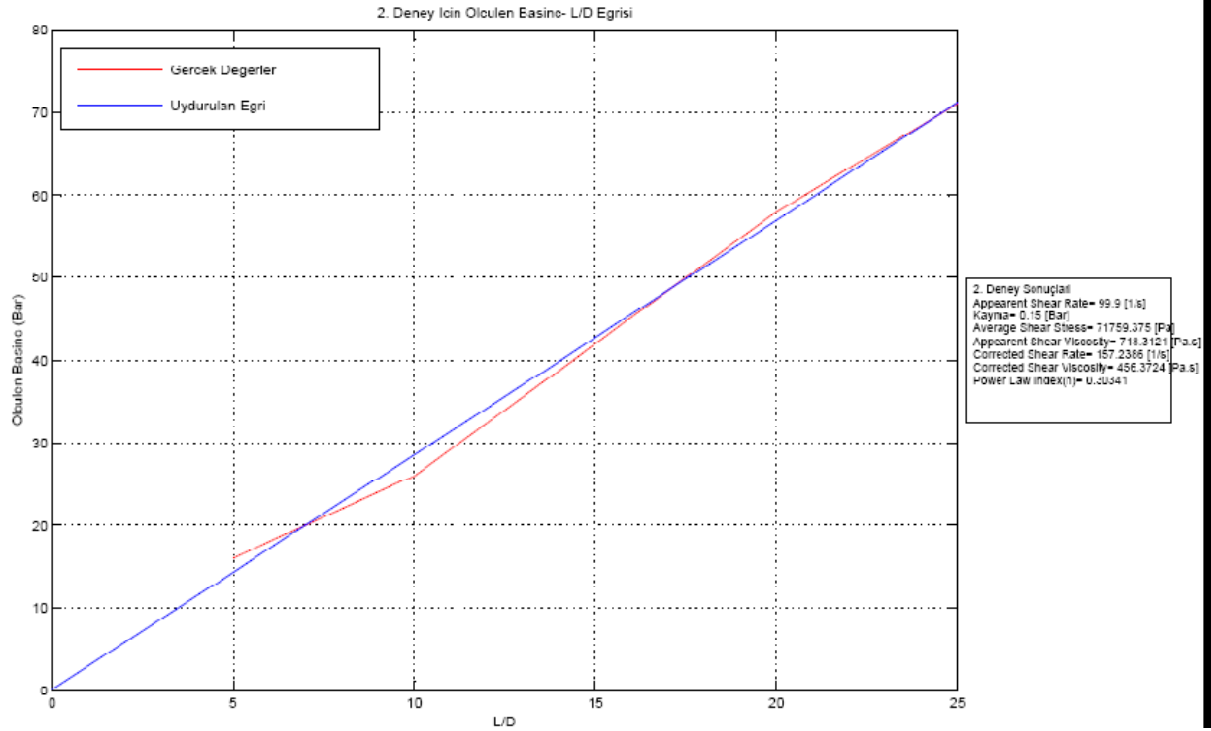


Şekil 6-22 Hesaplama Programı Ln(Kayma Hızı)-Ln(Kayma Gerilmesi) Eğrisi

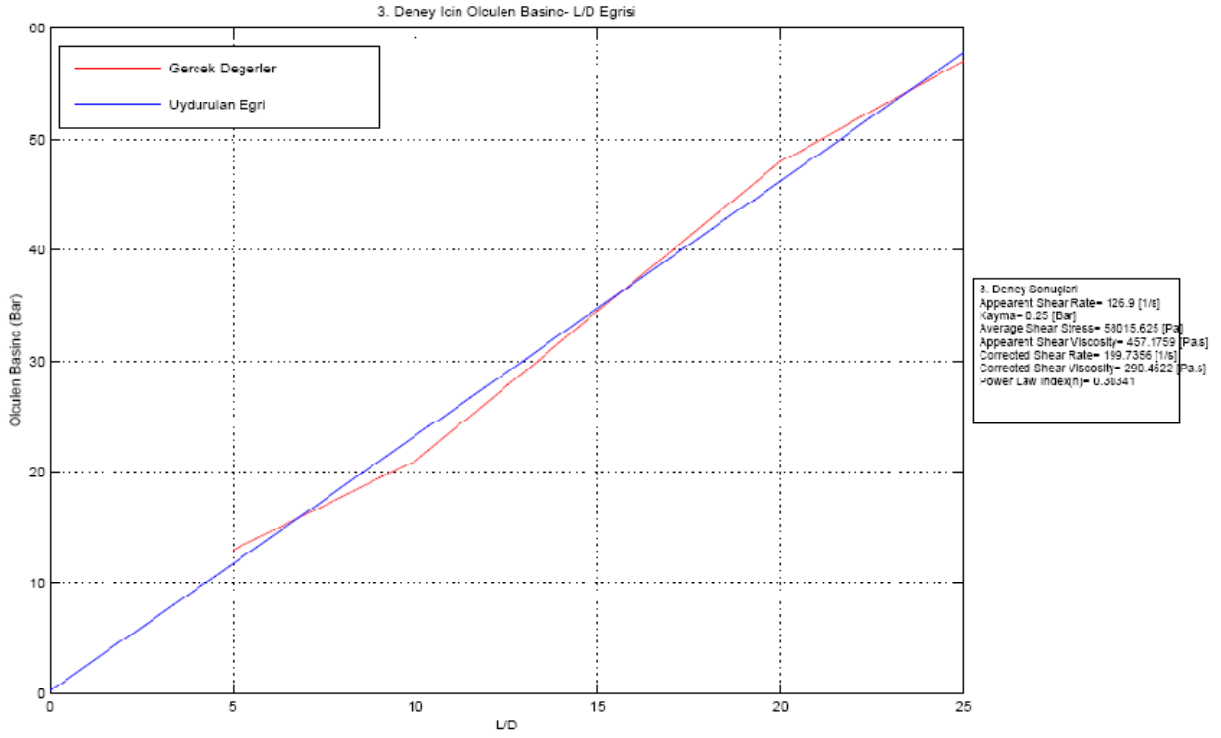
Kodlar yazılarak ortaya konan program ile elde edilen karşılaştırma eğrileri aşağıda gösterilmiştir.



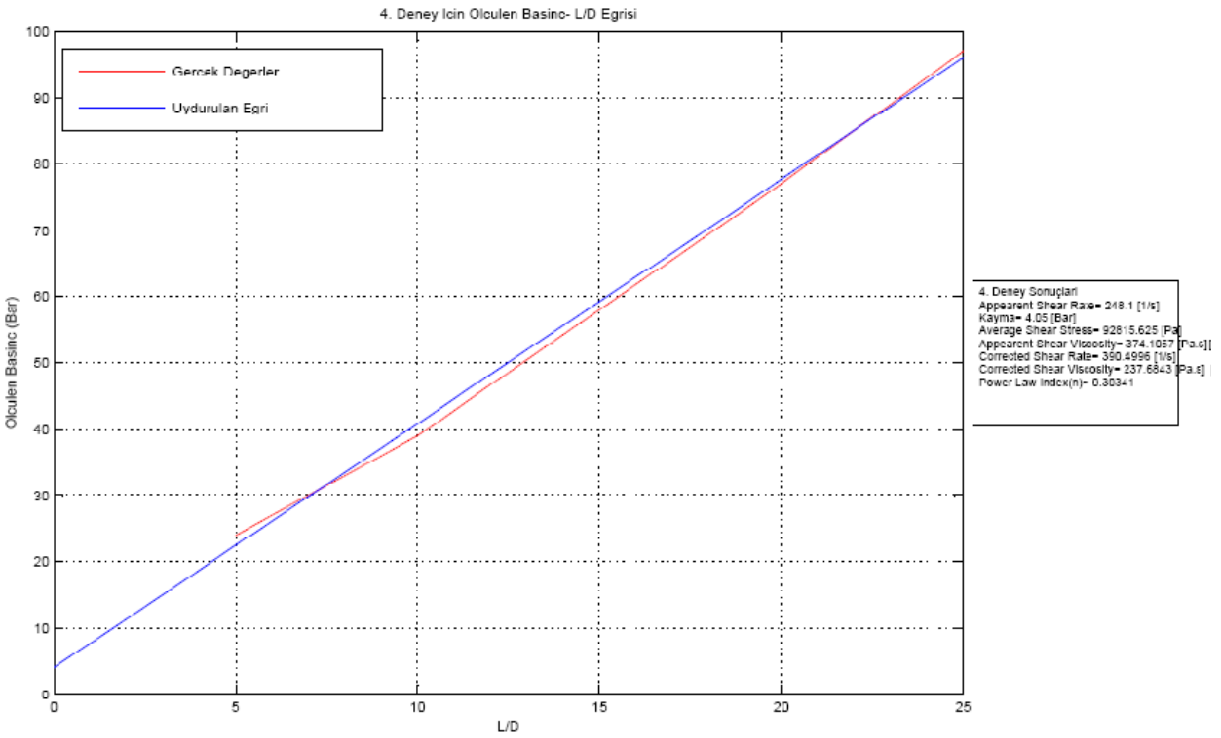
Şekil 6-23 Birinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



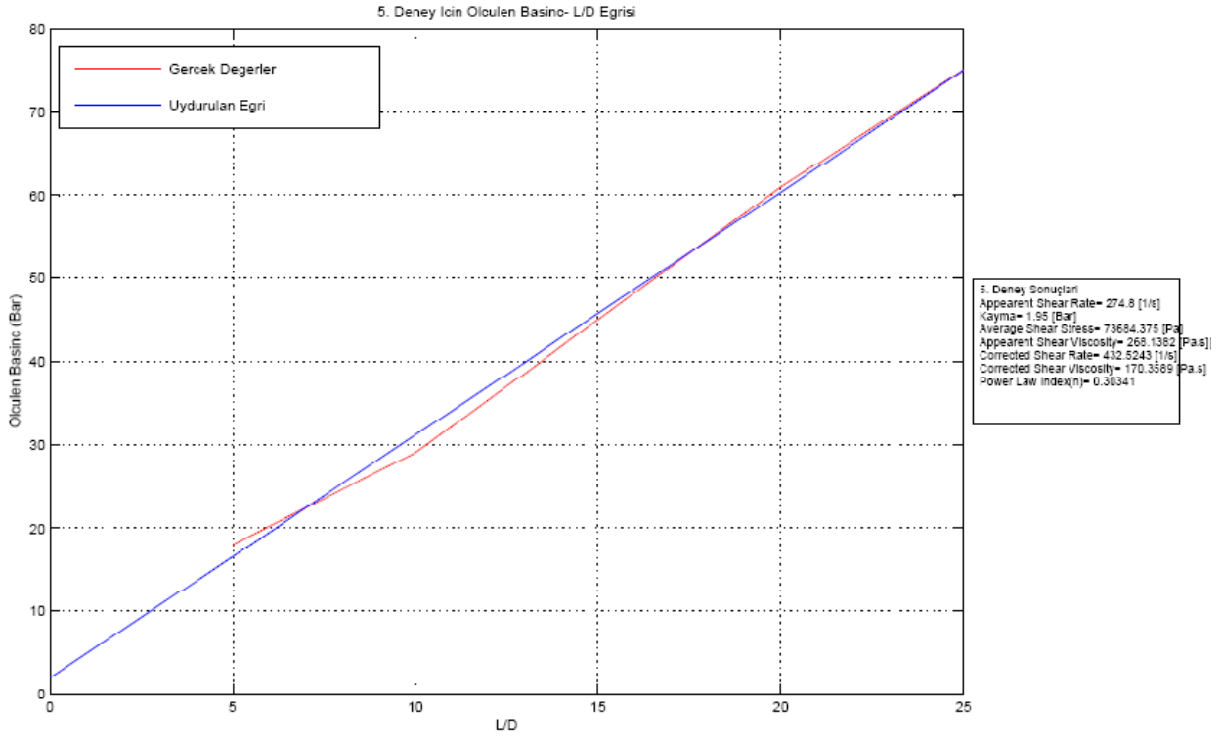
Şekil 6-24 İkinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



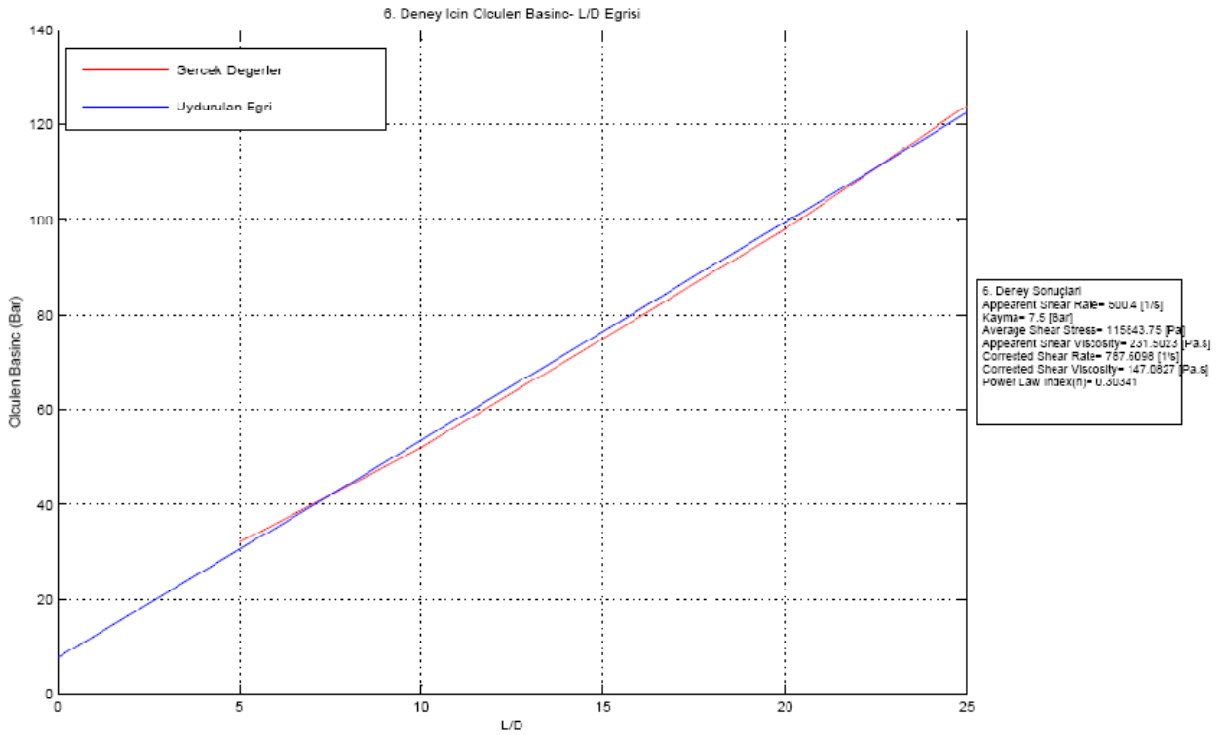
Şekil 6-25 Üçüncü Deneý İcin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



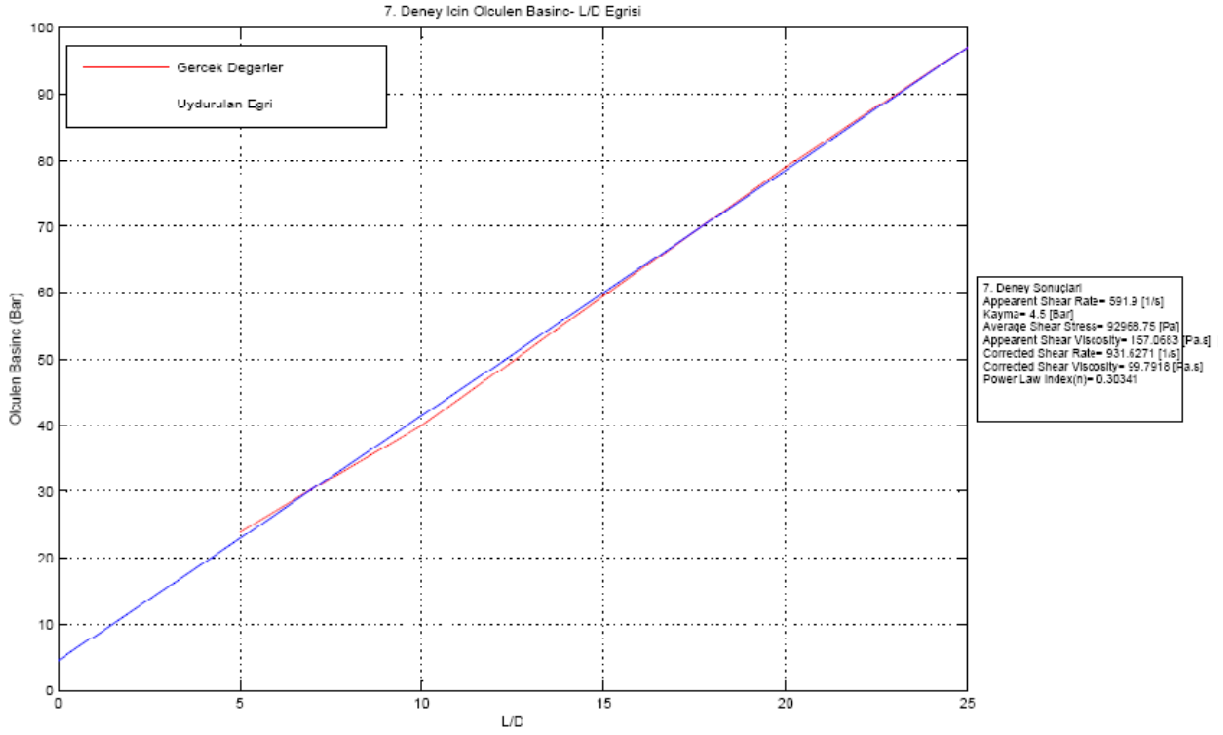
Şekil 6-26 Dördüncü Deneý İcin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



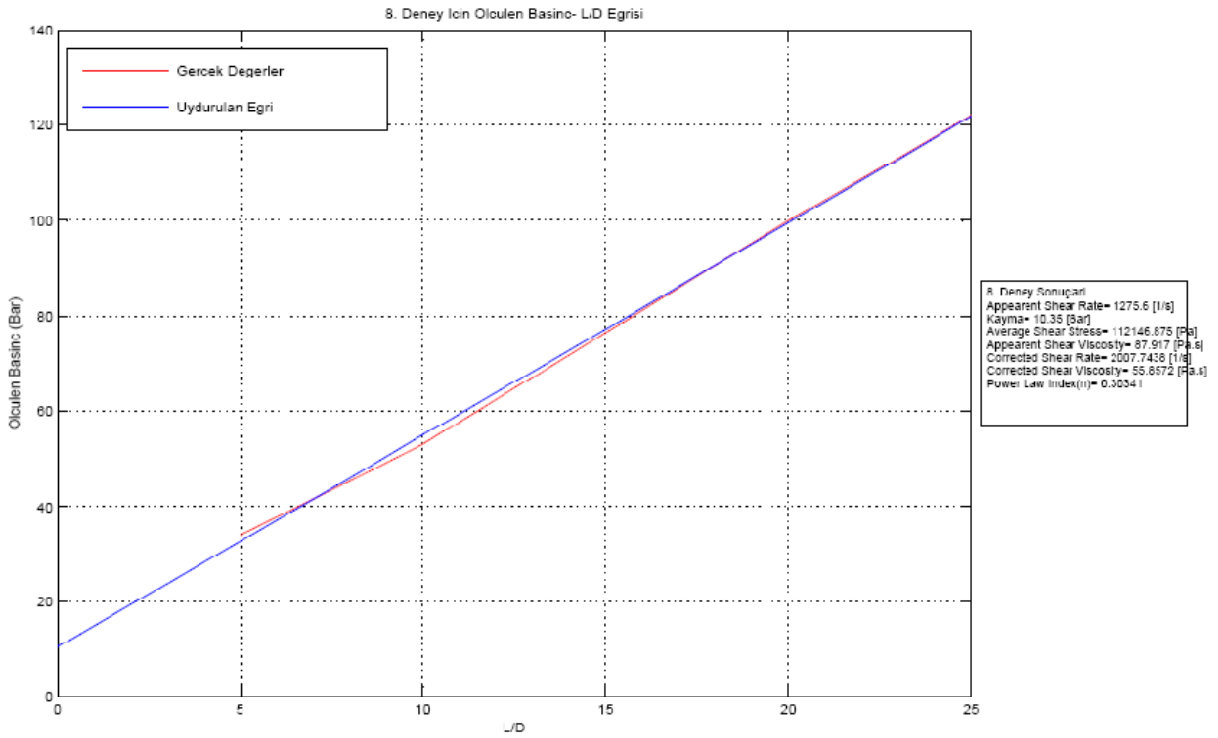
Şekil 6-27 Beşinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



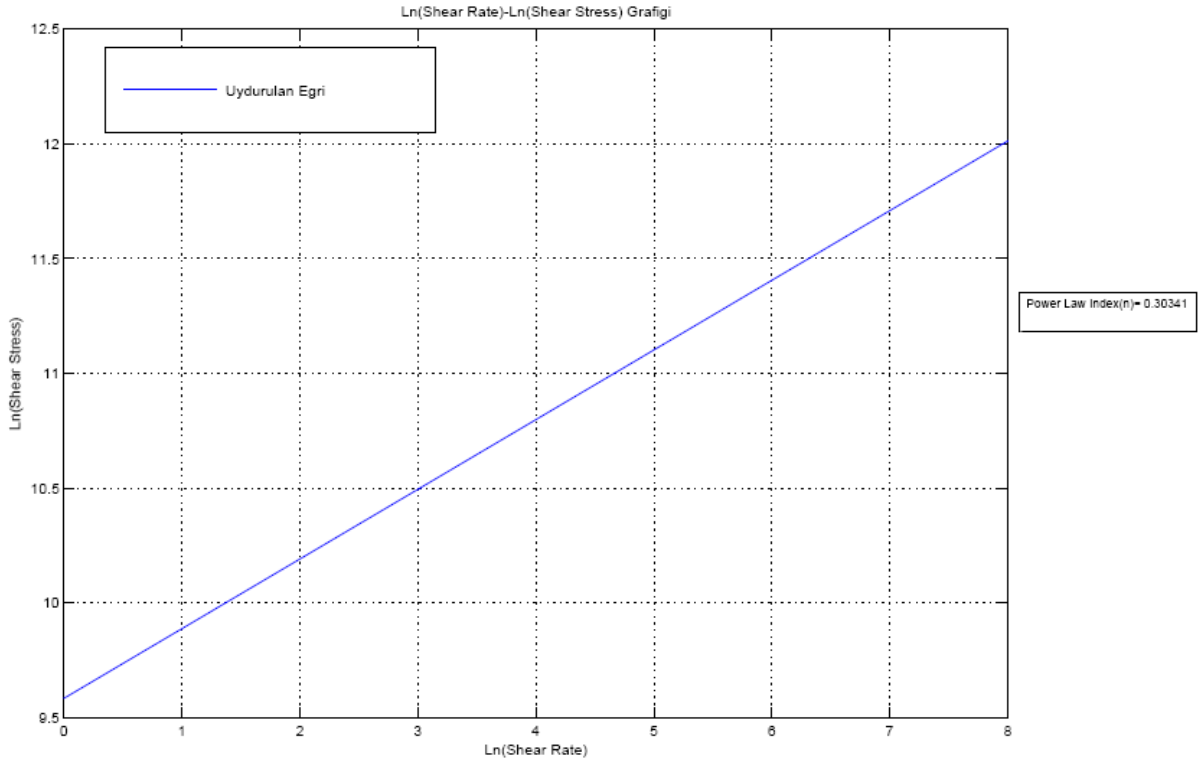
Şekil 6-28 Altıncı Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



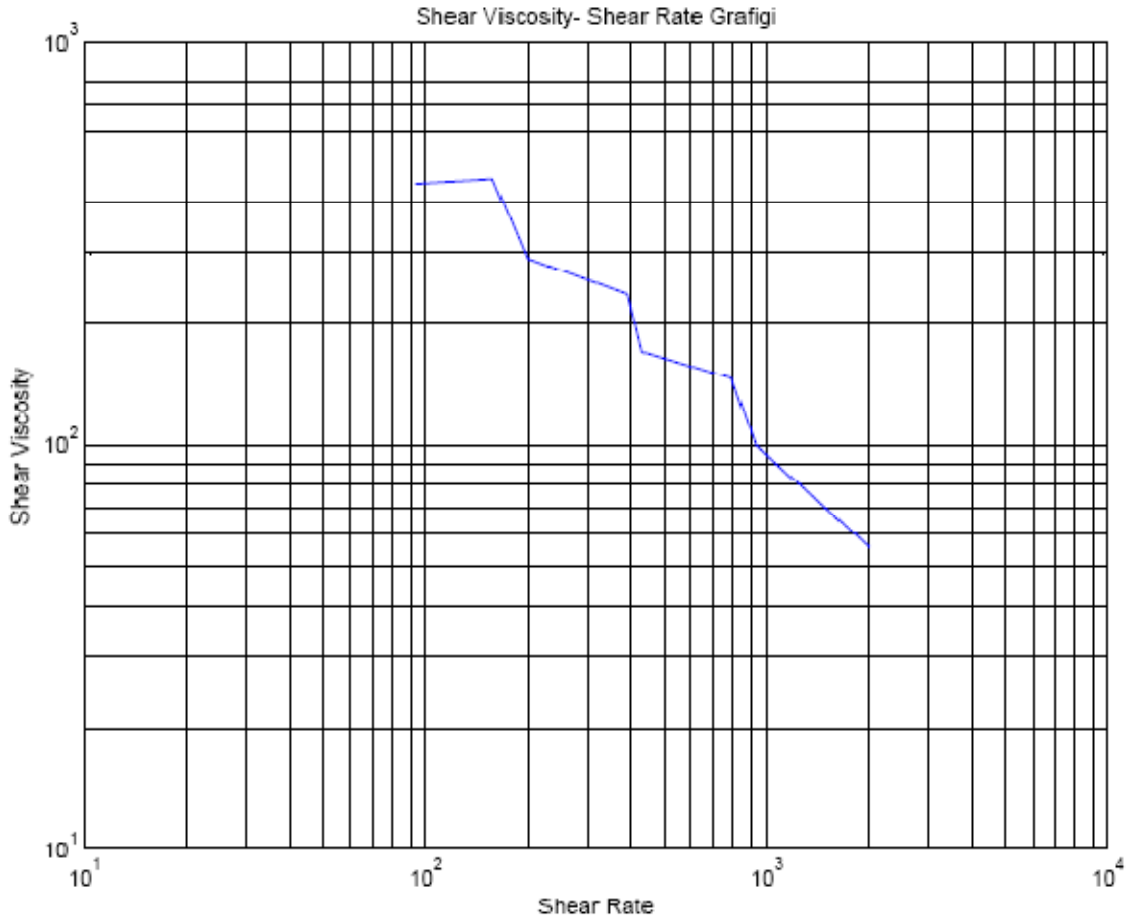
Şekil 6-29 Yedinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 6-30 Sekizinci Deney İçin Uydurulan Eğri ile Gerçek Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 6-31 Hesaplama Programı Ln(Kayma Hızı)-Ln(Kayma Gerilmesi) Eğrisi



Şekil 6-32 Hesaplama Programı Kayma Viskozitesi-Kayma Hızı Eğrisi

7. Sonuçlar

Programlama hem görsel hem de kodlar ile yapılabilir. Her iki yönteminde kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Grsel olarak yazılan programlarda yapılacak işlemler çok sınırlı olmakla birlikte program yazmak çok basittir. Fakat iler kodlama ile program yazma boyutuna geldiğinde çok iyi bir planlama ve algoritma kurma becerisi için içine girmektedir. Yazılan her kodun nasıl çalıştığı çok iyi bilinmeli ve en ufak bir virgül bile unutulmamalıdır. Kod ile program yazmanın özgürlüğü nedeniyle veya bir başka deyiŐle görsel olarak bazı işlemlerin tamamen yapılamaması nedeniyle kod yazımı oldukça avantajlıdır.

Sonuç olarak bu tezin konusu olan kılcal reometrenin otomatik hesaplama programının yazılması aşamasında ise ülkemizde üretilen, diğer rakiplerinden hiçbir eksiği olmamasına rağmen otomatik hesaplama sistemine sahip olmadığı için rekabet Őansı olmayan bir ürünün uluslar arası pazarda rekabet edebilir hale getirilmesi saėlanmıŐtır. Bu yazılım sayesinde hesaplamalar otomatik olarak yapılmış, hatta veriler otomatik olarak sistemden veri alma kartları ile alınarak saatlerce deney düzeneğinin baŐında veri toplanması zorunluluğu da ortadan kaldırılmıŐtır. Kısacası yurtdıŐına bağımlılık rakiplerinden hiçbir eksiği olmayacak Şekilde tamamen ortadan kaldırılmıŐ ve ülkemize bir katma değer saėlanmıŐtır.

Kaynaklar:

Gökgöz İsmiur, (2007) “Design And The Application Of A Capillary Rheometer To The Determination Of The Flow Characteristics Of Hdpe”, İTÜ

Ogata Katsuhiko,(2008) “Matlab for Control Engineers”, Prentice Hall

Etter Delores M., (2005) “Introduction to Matlab”, Prentice Hall

Oppenheim Alan V., “Signals and Systems”, Prentice Hall

Hanselman Duane, “Mastering Matlab 7”, Prentice Hall

Smith Scott T., “Matlab Advanced GUI Development” Dog Ear Publishing

Özgeçmiş

Doğumgünü	15.04.1984	
Doğumyeri	Şişli	
Lise	1995-2002	Bayrampaşa Anadolu Lisesi
Lisans	2002-2003	Kocaeli Üniversitesi-Makine Müh. (Yatay Geçiş)
Lisans	2003-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Lisans	2004-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007-2008	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı Isı-Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar

2005-2006	Airbus Deutschland GmbH
2008-devam ediyor	Dizayn Grup Teknoloji