

ULIBTK07-091a

POLİMERİK BİR AKIŞKANIN DÖNEN MİLE TIRMANMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yusuf İŞİKER¹, Bülent YEŞİLATA¹ ve Feridun DEMİR²

¹ Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
Telefon: (414) 3440020/1124, Faks: (414) 3440031, e-posta: yusuf47@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
Telefon: (414) 3440020/1125, Faks: (414) 3440031, e-posta: feridundemir@harran.edu.tr

ÖZET

Akışkanın dönen bir mile tırmanması, polimerik akışkanları, diğer basit akışkanlardan ayırt etmede kullanılan bir özelliktir. Bu çalışmada, özgün bir mil-tırmanma düzeneği imal edilerek, polimerik bir akışkanın tırmanma davranışı incelenmiştir. Mil devri, çapı ve mil-akışkan sıcaklık farkının tırmanma yüksekliği üzerindeki etkisi deneysel olarak belirlenmiştir. Tırmanma yüksekliği, devir artışıyla doğrusal olmayan bir şekilde artmakta, sıcaklık-farkı ile düşmektedir. Mil çapının tırmanma yüksekliği üzerindeki etkisi ise, nispeten düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Mil-tırmanma; Weissenberg etkisi; Viskoelastik; Polimerik akışkan; Normal gerilme farkı.

ABSTRACT

The climbing of a fluid onto a rotating rod is a property that is used to distinguish polymeric fluids from other basic fluids. In this study, an original set-up is manufactured, to investigate rod-climbing behavior of a polymeric fluid. The effects of rotation rate and diameter of rod along with temperature difference of rod-to-fluid on climbing-height are examined. Climbing-height is found to increase nonlinearly with rotation rate and to decrease with temperature difference. Rod-diameter on the other hand has weak effect on rising behavior.

Keywords: Rod-climbing; Weissenberg effect; Viscoelastic; Polymeric fluid; Normal stress difference.

1. GİRİŞ

Polimerik akışkanların en belirgin özellikleri arasında yüksek viskozite ve elastisiteye sahip olmaları gösterilebilir. Bu özelliklerinden dolayı polimerik akışkanlar aynı zamanda viskoelastik akışkanlar (bir kısım literatürde ise kompleks akışkanlar) olarak adlandırılırlar (Yeşilata 2000). Polimerik akışkanlar; eriyikler yada solüsyonlar olarak iki farklı sınıflandırmaya tabii tutulabilirler. Polimerik eriyikler; katı halde bulunan polimerlerin yüksek sıcaklıklarda ergitilmeleri sonucu elde edilirler. Dolayısıyla oda sıcaklığında katı haldedirler. Polimerik solüsyonlar ise; katı polimerik partiküllerin bir çözücü sayesinde kimyasal ve mekanik yolla eritilmesinden oluşurlar. Oda sıcaklığında sıvı haldedirler (Yeşilata 1999).

Her iki polimerik akışkan türünü; klasik akışkanlardan ayıran en önemli özelliklerden biri; dönen bir mil üzerinde tırmanma etkisi göstermeleridir. Bu tırmanma olayı; polimerik akışkanın elastik olmasından dolayı sahip olduğu 'normal gerilme' etkisiyledir ve Weissenberg etkisi olarak bilinmektedir (Joseph 2007, Bonn vd. 2004). Mile-tırmanma gerçekte, basit kayma gerilmeli akış içerisindeki normal gerilme değerlerinin farklılığını açıklayan birçok ikinci derece etkilerden sadece biridir (Bird vd. 1987, Tanner 1985, Luo 1999). Normal gerilme değerlerindeki farklılıklar, mil çevresinde bir çember (hoop) gibi davranır ve akışkanı merkezkaç kuvvetine karşı içeriye, yer çekim kuvvetine karşı ise yukarıya gidecek şekilde bir kuvvet uygular (Bird vd. 1987, Tanner 1985, Luo 1999, Barnes vd. 1989, Melzner 2002).

Yarıçapı R ve dönme frekansı Ω olan bir milin döndürülmesiyle, bir akışkanın serbest yüzeyinin şekli $h(r)$, yüzey gerilim kuvvetlerinin ihmal edilmesi durumunda, normal ve merkezkaç kuvvetlerin dengesinden yararlanılarak,

$$h(r) = \frac{1}{\rho g} (2\alpha + \beta) \frac{\Omega^2 R^4}{r^4} \quad (1)$$

şeklinde bulunur (Barnes vd. 1989, Melzner 2002). Denklemden, ρ ve g akışkan yoğunluğu ile yerçekimi ivmesini; terimi ise akışkanın normal gerilme farklarıyla ilişkili katsayıları temsil etmektedirler.

Denklemden anlaşılacağı üzere, dönme olduğu sürece akışkanın mile tırmanması gerçekleşir. Bu ifade negatif olduğu zaman, akışkan mile tırmanmaktan ziyade, merkezkaç kuvvet etkisiyle, milden aşağıya (akışkan kabına) doğru bir dalış yapar (Yeşilata 1999, Massoudi vd. 2004). Mil üzerinde tırmanma yüksekliği için, (1) denkleminde $r=R$ şartı uygulanarak elde edilen,

$$h(R) = h_R = \frac{\Omega^2}{\rho g} (2\alpha + \beta) \quad (2)$$

denklemini kullanılabilir. Tırmanma yüksekliğinin deneysel olarak belirlenmesindeki kolaylık nedeniyle, akışkanın normal gerilme farklarına ait katsayıların tahmini mümkün olabilmektedir. Viskoelastik akışkanlarda normal gerilme değerlerinin belirlenmesi, polimerik malzeme üretimi ve reolojik uygulamalar açısından önemli olduğundan, mil-tırmanma etkisinin modellenmesine yönelik çok sayıda nümerik (Luo 1999) ve deneysel (Melzner 2002, Massoudi vd. 2004) çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada; özgün olarak imal edilmiş bir 'akışkan-dönel mil' deney düzeneği (Işiker 2007) ile gerçekleştirilen tırmanma deneylerinin sonuçları sunulmaktadır. İmal edilen deney düzeneğinin bu amaçla kullanılan benzerlerinden en önemli farkı; istenildiğinde dönen mile takılabilecek bir rezistans yardımıyla, milin ısıtılarak, farklı mil-akışkan sıcaklık farklarında tırmanma deneylerine olanak sağlamasıdır. Deneyler polimerik ve polimerik olmayan iki farklı akışkan kullanılarak yapılmıştır. Mil çapı ve dönme hızı ile mil-akışkan sıcaklık farkının, polimerik akışkanın tırmanma yüksekliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Mil Tırmanma Aparatı

İmalatı yapılan özgün mil-tırmanma aparatı Şekil 1(a) 'da gösterilmiştir. Aparat; 3 fazlı, 220V nominal gerilimle çalışan, düşey yerleştirilmiş bir AC motora bağlı bir mandren ve mandrene bağlı milin daldırıldığı bir akışkan haznesinden oluşmaktadır. Kullanılan motorun gücü, maksimum devri ve çektiği akım maksimum değerleri sırasıyla; 0.75kW, 2800 dev/dak ve 5.05 A' dir.

Deney düzeneği üzerinde, bir motor hız kontrol ünitesi bulunmaktadır. Ayrıca motor devrini 0-2800 dev/dak değerleri arasında ayarlayabilen bir elektronik kontrol ünitesi mevcuttur. Hız değerlerinin değiştirilebilmesi için kontrol ünitesine bir potansiyometre yerleştirilmiştir.. Ayarlanan devir değerini görebilmek için kontrol ünitesi üzerine, dijital bir gösterge yerleştirilmiştir. Motor ile mil arasındaki bağlantı elemanı olarak, matkap

tezgahlarında kullanılan mandren mekanizması yerleştirilmiştir. Bu sayede farklı çaplardaki miller için de akışkan deneylerini yapmak mümkün olmaktadır. Farklı mil yüzeyi sıcaklıklarında deneyler için; mil yüzeyini saracak şekilde halka biçimli bir rezistans kullanılmaktadır. Bu düzenlemeyle; sıcaklık parametresinin tırmanma miktarı üzerindeki etkisi incelenebilmektedir. Kullanılan rezistans, kontrol ünitesinde bulunan PTC sensörlü bir termostat ile kontrol edilebilecek özelliktedir. Ayrıca deney cihazında dönen milden dolayı oluşabilecek titreşimleri sönmölemek amacıyla, cihazın tabanına kauçuk esaslı ayaklar yaptırılmıştır.

2.2. Polimerik Akışkan

Deneylerde kullanılan polimerik akışkan (polyacrylamide), anyonik bir polimerin su içerisinde çözülmesiyle elde edilmiş, konsantre bir çözeltidir. Bu konsantre polimer çözeltisi; akışkana hem viskoz hem de elastik bir yapı kazandırmaktadır. Polimerik akışkan yapımı için, % 0.5 oranında kristal halinde polimer suyun içine katılarak, manyetik bir karıştırıcıda Şekil 1(b)' de gösterildiği gibi uzun süre karıştırılmıştır. Kristal halde bulunan polimer suda yavaşça çözüldüğünden; istenilen homojenliğe yaklaşık olarak 24 saat içerisinde ulaşılmıştır. Homojen haldeki polimerik akışkanın yoğunluk, vizkozite ve yüzey gerilmesi değerleri laboratuvar ortamında ölçülmüş ve sırasıyla $\rho=1004 \text{ kg/m}^3$, $\mu=2.71 \text{ Pas}$ (spindle devri:10 rpm) ve $\Gamma=0.0742 \text{ N/m}$, değerleri elde edilmiştir.

2.3. Deneysel parametreler ve ölçümler

Polimerik akışkanın tırmanma yükseklikleri mil devrinin (Ω) bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Diğer değişken parametreler; mil çapı ($d=2R$) ile mil-akışkan sıcaklık farkı ($\Delta T=T_s - T_f$) olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan millerin uzunluğu $L=150 \text{ mm}$ olup, çapları sırasıyla $d=10\text{mm}$ ve $d=15 \text{ mm}$ ' dir. Millerin polimerik akışkanın içerisine daldırılma mesafesi 40 mm 'dir. Uygulanan sıcaklık farklarının değerleri $\Delta T=0^\circ\text{C}$, $\Delta T=10^\circ\text{C}$, $\Delta T=20^\circ\text{C}$ ve $\Delta T=30^\circ\text{C}$ 'dir. Sıcaklık farkının oluşması için, miller halka rezistans ile ısıtılırken, akışkan sıcaklığı sabit tutulmuştur.

Tırmanma yüksekliklerinin farklı mil devirlerinde belirlenmesinde; akış gözlemeleme (resimleme) tekniği kullanılmıştır. Akışkan kabının içerisine daldırılmış mil istenen devire ayarlandıktan sonra, mil üzerinde meydana gelen tırmanma miktarları Canon 350D dijital fotoğraf makinesiyle resimlenmektedir. Tırmanma yüksekliği, akışkan kabına monte edilmiş hassas bir ölçek sayesinde belirlenmektedir. Bu işlem, çekilen fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra

uygulanmaktadır. Tırmanma yüksekliği ölçümündeki deneysel belirsizlik miktarı $\pm 0.5 \text{ mm}$ ' dir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Öncelikle deneyler sırasında elde edilen ve akışkan tırmanması mekanizmasının niteliğini gösteren akış resimleri üzerinde durulacaktır. Polimerik akışkan için farklı iki dönme hızına ait resimler Şekil 2'de sunulmuştur. Polimerik akışkan, düşük mil devirlerinde, mil üzerinde yukarıya doğru bir serbest yüzey oluşturarak tırmanmaktadır. Bu durumda; mil devri sabit kaldığı sürece, serbest yüzey şekli de sabit kalmaktadır. Şekil 2(a)'da gösterilen bu kararlı tırmanma bölgesinin aksine, yüksek mil hızlarında, mil üzerine tırmanan akışkan çevreye doğru bir saçılma oluşmaktadır (Şeki 2(a)). Tırmanmanın kararsız olduğu bu bölgede, tırmanma yüksekliği mil sabit devirde kalmasına karşın, değişken olduğundan ölçüm alınmamıştır.

Tırmanma özelliğinin sadece viskozite etkisinden kaynaklanmadığını göstermek üzere, yüksek viskoziteli (SAE 30) motor yağı kullanılarak, akışa ait gözlemler yapılmıştır. Düşük ve yüksek mil devirlerinde yapılan deneylere ait resimler, Şekil 3'te gösterilmiştir. Her iki hız bölgesinde de Newtonyan olan motor yağının sadece merkezkaç kuvvet etkisinde kaldığı ve akışkan yüzeyinden aşağıya doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir. Kararlı ve kararsız bölgeye ait sırasıyla Şekil 3(a) ve (b)' verilen farklı görüntüler arasında sergilenmeye çalışılan temel fark; yüksek devirlerde mil etrafında bir girdap bölgesinin oluşmasıdır.

Ölçülen tırmanma yüksekliklerinin, izotermal ($\Delta T=0^\circ\text{C}$) ve izotermal olmayan ($\Delta T \neq 0^\circ\text{C}$) koşullardaki değişimleri, mil devrinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4'de gösterilmiştir. Her iki durumda da $h(R)-\Omega$ ilişkisi doğrusal değildir. Şekil 4(a)'da gösterilen izotermal durum için; $h(R)$ değerleri, düşük devirlerde çap değişiminden önemli seviyede etkilenmemektedir. İzotermal olmayan koşulda ise, tam tersi bir durum söz konusudur. Şekil 4(b)'de görüleceği üzere, çap değişiminin etkisi yüksek devirlere kaymış olup, çapın artmasıyla, tırmanma yüksekliği düşmüştür.

Mil-akışkan sıcaklıkları arasındaki farkın (ΔT), $h(R)$ üzerindeki etkisi, her iki mil çapı ($d=10\text{mm}$ ve $d=15 \text{ mm}$) için sırasıyla Şekil 5(a) ve (b)'de gösterilmiştir. Küçük mil çaplarında, ΔT etkisi önemli seviyededir. Mile tırmanan akışkanın sıcaklığındaki artış, elastik özelliğinin bir ölçüsü olan normal gerilme farklarını azalttığından, aynı devirde daha az tırmanma yüksekliği elde edilmektedir. Mil çapının artması, bu trendi değiştirmemekle birlikte, sıcaklık artışının etkisi

daha düşük seviyede kalmaktadır. Dikkati çeken diğer bir nokta ise, ΔT arttıkça, kararsız tırmanma bölgesinin daha yüksek devirlerde oluşmasıdır. Polimerik akışkan kararsızlıklarının sıcaklık farkı uygulanarak geciktirilmesi, farklı akış geometrileri için daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Yesilata vd. 2000)

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, özgün bir mil-tırmanma düzeneği imal edilerek, polimerik bir akışkanın tırmanma davranışı incelenmiştir. Mil devri, çapı ve mil-akışkan sıcaklık farkının tırmanma yüksekliği üzerindeki etkisi deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmanın genel çerçevesi ile ilgili kısa değerlendirmeler özetle aşağıda belirtilmiştir:

- Tırmanma yüksekliği, devir artışıyla doğrusal olmayan bir şekilde artmakta, sıcaklık-farkı ile düşmektedir.
- Mil çapının tırmanma yüksekliği üzerindeki etkisi ise, nispeten düşüktür.
- Deneylerde elde edilen sonuçların genelleştirilmesi, modellenmesi ve reolojik parametrelerin tahmini için kullanılan akışkan sayısı, mil çapları ve uygulanan sıcaklık farklarının genişletilmesi gereklidir.
- Daha hassas sonuçların alınması açısından, tırmanma yüksekliğinin belirlenmesinde, optik esaslı (lazer sinyali) tekniklerin geliştirilmesi gereklidir.

Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu (HÜBAK Proje No: 671) tarafından kısmen desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

Yeşilata, B., Polimerik Malzemelerin Üretiminde Akış Fazındaki Kararsızlıkların Ürün Kalitesine Etkileri, Politeknik Dergisi, cilt 3, sayı 1, 83-90. 2000.

Yeşilata, B., Nonlinear dynamics of isothermal and non-isothermal viscoelastic flows through an axisymmetric sudden contraction, Ph.D. Thesis, Lehigh University, Bethlehem/Pennsylvania 1999.

Joseph, D.D., Rod climbing of 0.5 wt% MW 4×106 and MW 8×106 PEO solutions laden with 2.0 wt% 10-20 nm silica nanoparticles, http://www.aem.umn.edu/people/faculty/joseph/rod_climbing/rodclimbing_peo_np.html (web sayfasına en son erişim tarihi: 15 Mayıs 2007).

Daniel Bonn, Mathias Kobylo, Steffen Bohn, Jacques Meunier, Alexander Morozov, and Wim

van Saarloos, Rod-Climbing Effect in Newtonian Fluids, Physical Review Letters, Vol. 93, Num. 21. 2004.

Bird, R.B., Armstrong R.C., Hassager, O., Dynamics of Polymeric Liquids, 2nd ed., vol. 1, Wiley, New York, 1987.

Tanner, R.I., Engineering Rheology, Clarendon Press, Oxford, 1985.

Luo, X.-L., Numerical simulation of Weissenberg phenomena - the rod-climbing of viscoelastic fluids, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 180, 393-412, 1999.

Barnes, H.A., Hutton, J.F., Walters, K., An introduction to Rheology, Elsevier, Amsterdam, 1989.

Melzner, K., Odenbach, S. Investigation of the Weissenberg effect in ferrofluids under

microgravity conditions, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 252, 250-252, 2002.

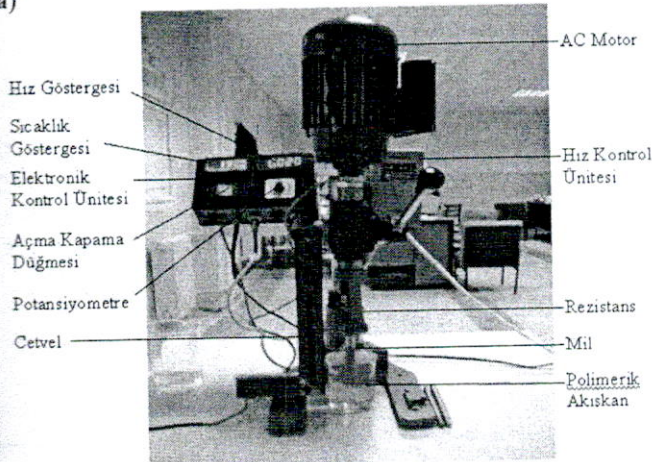
Massoudi, M., Phuoc, T.X., Flow of a generalized second grade non-Newtonian fluid with variable viscosity, *Continuum Mech. Thermodyn*, Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s001610040178-0, 2004.

Işiker Y., Polimerik akışkanların lineer olmayan dinamiklerinin modellenmesi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

Yesilata, B., Öztekin, A., Neti, S., Nonisothermal Viscoelastic Flow through an Axisymmetric Sudden Contraction, *J Non-Newtonian Fluid Mech.*, 89(1-2), 133-164, 2000.

ŞEKİLLER

(a)

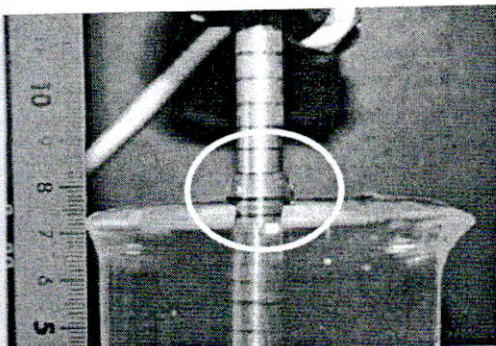


(b)

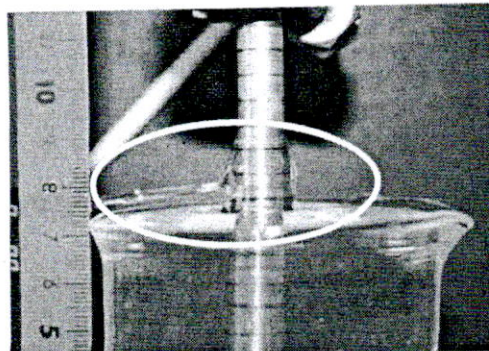


Şekil 1. a) . Mil tırmanma aparatı, b) polimerik solüsyonun manyetik karıştırıcıda homojenleştirilme aşaması

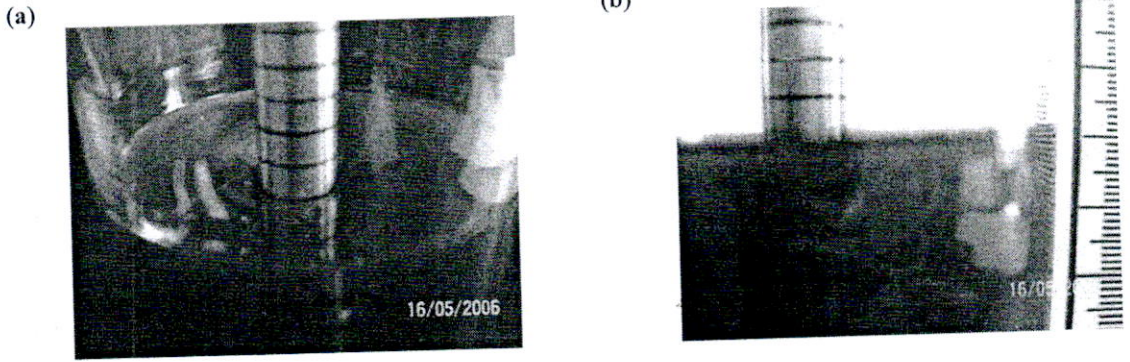
(a)



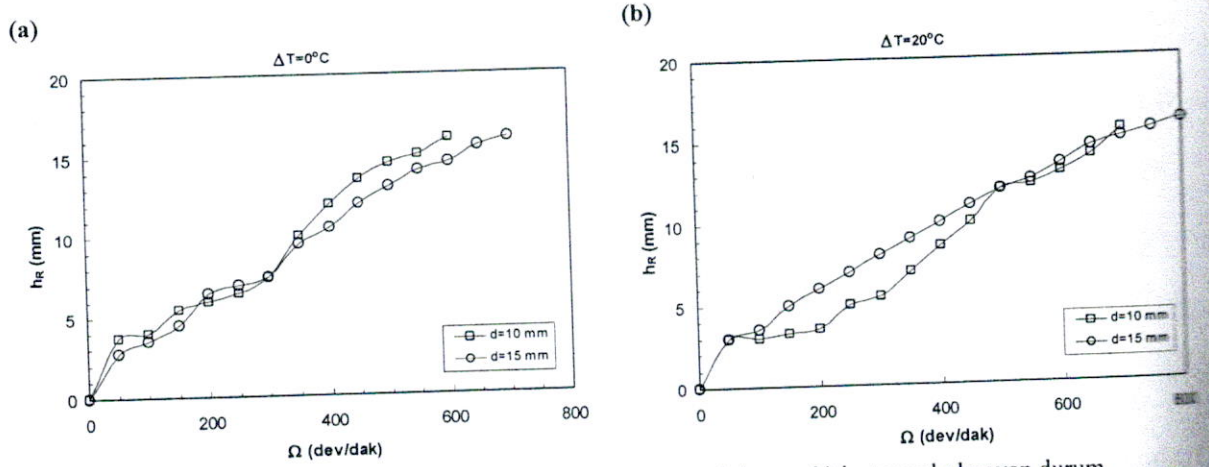
(b)



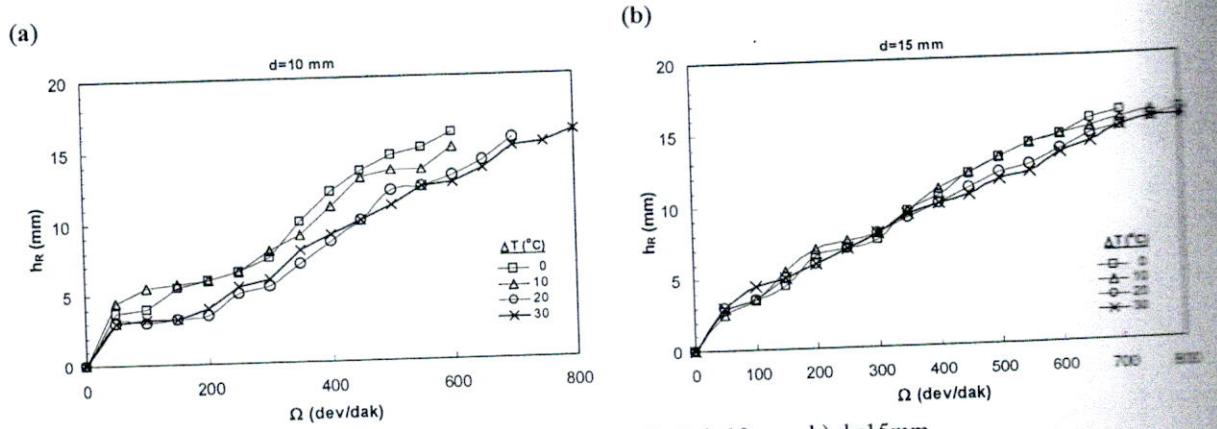
Şekil 2. Polimerik akışkanın mile tırmanma pozisyonu; a) kararlı tırmanma b) kararsız tırmanma (saçılma)



Şekil 3. Motor yağının merkezkaç kuvvet etkisiyle çökmesi; a) kararlı çökme, b) kararsız çökme (girdap)



Şekil 4. Tırmanma yüksekliğinin, mil devri ile değişimi; a) izotermal durum, b) izotermal olmayan durum.



Şekil 5. Tırmanma yüksekliğinin, mil devri ve ΔT ile değişimi; a) $d = 10$ mm, b) $d = 15$ mm.