

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**



**POLİDİMETİLSİLOKSANIN GENLEŞMİŞ PERLİT, ÜLEKSİT  
ve KOLEMANİT İLE HAZIRLANAN PASTALARININ  
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**PINAR TURAN BEYLİ**

**BALIKESİR, ARALIK 2011**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Pınar TURAN BEYLİ** tarafından hazırlanan  
“**POLİDİMETİLSİLOKSANIN GENLEŞMİŞ PERLİT, ÜLEKSİT ve KOLEMANİT İLE HAZIRLANAN PASTALARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.12.2011 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

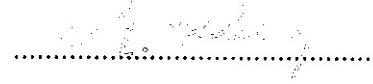
Jüri Üyeleri

İmza

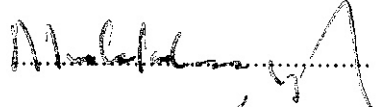
Danışman  
Prof. Dr. Mehmet DOĞAN



Üye  
Prof. Dr. Mahir ALKAN



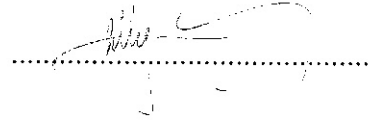
Üye  
Doç. Dr. Mustafa İMAMOĞLU



Üye  
Doç. Dr. Özkan DEMİRBAŞ



Üye  
Doç. Dr. İlkay ŞİŞMAN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Hilmi NAMLI

.....

**Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 110T020 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## ÖZET

**POLİDİMETİLSİLOKSANIN GENLEŞMİŞ PERLİT, ÜLEKSİT ve  
KOLEMANİT İLE HAZIRLANAN PASTALARININ REOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ  
DOKTORA TEZİ  
PINAR TURAN BEYLİ  
BALIKESİRÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. MEHMET DOĞAN)  
BALIKESİR, 2011**

Polidimetilsiloksan, endüstride birçok kullanım alanı olan polimerik bir maddedir. Otomotiv sanayinde, evde, kozmetikde ve birçok yerde kullanıma sahiptir. Sanayide polidimetilsilokсандan oluşturulan pastaların büyük kısmında amorf silika kullanılmaktadır. Ancak, amorf silika kayacı ülkemiz madencilik sektörü ve terminolojisi için yaygın olarak bilinen ve kullanılan bir endüstriyel hammadde değildir. Bu nedenle ülkemizdeki sanayi kuruluşlarının silika yerine ülkemizde bol miktarda bulunan, ucuz ve kolay elde edebilecekleri alternatif materyaller kullanmaları ekonomik açıdan yararlı olacaktır. Bu malzemelerden bazıları ülkemizde oldukça bol bulunan ve ucuza mal edilebilen kolemanit, üleksit gibi bor mineralleri ve genleşmiş perlittir. Kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit, bir çok kullanım alanı olan ve dünyada sanayi açısından oldukça önemli bileşiklerdir. Bu bileşiklerin kullanım alanı çeşitliliğini ve endüstriyel önemini daha da arttırmak için polidimetilsiloksanla oluşturulan pastaların reolojik özellikleri yüksek basınçlı kapiler reometre kullanılarak belirlenmiştir. Dolgu maddeleri ve polidimetilsiloksan ile hazırlanmış pastalar XRD, DTA/TG, BET, FTIR-ATR, AFM, SEM ve TEM kullanılarak karakterize edilmiştir. Reolojik ölçüm sonuçlarından, kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarının tümünün non-Newtonian, pseudoplastik ve kesme incilmesi davranışı sergiledikleri, pastaların kesme gerilimi ve viskozitelerinin artan katı:sıvı oranı ve tane boyutu ile artarken, artan sıcaklık ile azaldığı, deneysel verilerin kolemanit ve üleksit pastaları için Power-Law modeli, genleşmiş perlit pastaları için ise Hershel-Bulkley modeli ile oldukça iyi bir uyum içerisinde oldukları, pastaların oldukça homojen oldukları ve çok yüksek kesme gerilimi değerleri hariç duvar kayma hızlarının çok düşük ve ihmal edilebilir olduğu bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Bor mineralleri, genleşmiş perlit, polidimetilsiloksan, reometre, kesme incilmesi

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EXPANDED PERLITE, COLEMANITE and ULEXITE POLYDIMETHYLSILOXANE PASTES**

**Ph. D. THESIS**

**PINAR TURAN BEYLİ**

**BALIKESİR UNIVERSITY, INSTITUTE OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

**(SUPERVISOR: Prof. Dr. MEHMET DOĞAN)**

**BALIKESİR, 2011**

Polydimethylsiloxane is a polymeric substance having many use areas in the industry. It has a variety of use areas such as automotive industry, at home, cosmetics. Amorphous silica is used in the majority of the pastes produced from polydimethylsiloxane in the industry. However, the amorphous silica rock is not an widely known industrial raw material for mining sector and terminology of our country. Therefore, it will be economically beneficial the using of alternative materials, which are abundant in our country and can get cheap and easy, of the industrial enterprises in our country instead of silica. Some of these materials are colemanite, ulexite and expanded perlite, which are both quite abundant and cheaper in our country. Colemanite, ulexite and expanded perlite have a lot of use areas and they are very important compounds in terms of industry in world. The fact that boron minerals and expanded perlite determine the rheological properties will cause to be wined of new application areas. Therefore, in this study, the rheological properties of pastes of polydimethylsiloxane with colemanite, ulexite and expanded perlite were determined using high pressure capillary rheometer. Pastes prepared were characterized using XRD, DTA/TG, BET, FTIR-ATR, AFM, SEM and TEM. From the rheological measurements, we found that, all pastes exhibited non-Newtonian, pseudo-plastic, shear thinning behavior under all experimental conditions; the shear stresses and viscosities of pastes increased with increase in solid/liquid ratio and with decrease in particle size and temperature; the experimental data were properly described by the Power-Law model for colemanite and ulexite pastes, and Herschel-Bulkley model for expanded perlite pastes; pastes were very well homogenized and the wall slip velocities except for very high shear rate values are very low and it can be neglected; and pastes have very well flow properties.

**KEYWORDS:** Boron minerals, expanded perlite, polydimethylsiloxane, rheometer, shear thinning

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Reoloji.....	1
1.2 Akma ve Deformasyon.....	1
1.3 Newtonian Akışkanlığı.....	2
1.4 Non-Newtonian Akış Davranışı.....	4
1.4.1 Zamandan Bağımsız Akış Davranışı.....	4
1.4.1.1 Kesme İncelmesi veya Yalancı-plastik Akışkanlar.....	6
1.4.1.2 Kesme İncelmesi Akış Davranışı İçin Matematiksel Modeller.....	6
1.4.1.2.1 Power-Law ya da Ostwald de Waele modeli.....	6
1.4.1.3 Viskoplastik Akış Davranışı.....	7
1.4.1.3.1 Bingham Plastik Sistemler.....	8
1.4.1.3.2 Casson Akış Modeli.....	8
1.4.1.3.3 Herschel-Bulkley Akış Modeli.....	9
1.5 Kapiler Reometre.....	9
1.6 Duvar Kayma (Wall Slip) Analizi.....	11
1.6.1 Mooney Metodu.....	12
1.6.2 Jastrzebski Metodu.....	14
1.6.3 Twin Kapiler Metodu.....	15
1.6.4 Renk Yapma Metodu.....	15
1.7 Genleşmiş perlit.....	17
1.8 Bor Mineralleri.....	18
1.8.1 Kolemanit.....	18
1.8.2 Üleksit.....	19
1.9 Literatür Özeti.....	20
1.10 Çalışmanın Amacı.....	22
<b>2. MATERYAL ve METOD</b> .....	<b>24</b>
2.1 Materyaller.....	24
2.2 Pasta Hazırlanışı.....	24
2.3 Reolojik Ölçümler.....	24
2.4 Pastaların Karakterizasyonu.....	27
2.4.1 FTIR Analizi.....	27
2.4.2 XRD Analizi.....	27
2.4.3 DTA/TG Analizi.....	27
2.4.4 BET Analizi.....	27
2.4.5 SEM Analizi.....	27
2.4.6 TEM Analizi.....	28
2.4.7 AFM Analizi.....	28
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>29</b>
3.1 Pastaların Karakterizasyonu.....	29
3.1.1 FTIR Analizi.....	29
3.1.2 XRD Analizi.....	31

3.1.3 DTA/TG Analizi.....	312
3.1.4 BET Analizi.....	36
3.1.5 SEM Analizi.....	36
3.1.6 TEM Analizi.....	39
3.1.7 AFM Analizi.....	40
3.2 Pastaların Reolojik Özellikleri.....	41
3.2.1 Kolemanit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları.....	41
3.2.1.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	41
3.2.1.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	50
3.2.1.3 Sıcaklığın Etkisi.....	59
3.2.2 Kolemanit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları.....	68
3.2.2.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	68
3.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	78
3.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi.....	85
3.2.3 Üleksit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları.....	94
3.2.3.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	94
3.2.3.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	103
3.2.3.3 Sıcaklığın Etkisi.....	112
3.2.4 Üleksit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları.....	121
3.2.4.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	121
3.2.4.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	130
3.2.4.3 Sıcaklığın Etkisi.....	137
3.2.5 Genleşmiş perlit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları.....	146
3.2.5.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	146
3.2.5.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	155
3.2.5.3 Sıcaklığın Etkisi.....	163
3.2.6 Genleşmiş perlit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları.....	171
3.2.6.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi.....	171
3.2.6.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	180
3.2.6.3 Sıcaklığın Etkisi.....	188
<b>4. SONUÇ TARTIŞMA.....</b>	<b>196</b>
4.1 Pastaların Karakterizasyonu.....	196
4.1.1 FTIR Analizi.....	196
4.1.2 XRD Analizi.....	197
4.1.3 DTA/TG Analizi.....	198
4.1.4 SEM Analizi.....	200
4.1.5 BET Analizi.....	200
4.1.6 TEM Analizi.....	200
4.1.7 AFM Analizi.....	201
4.2 Pastaların Reolojik Karakterizasyonu.....	201
4.2.1 Pastaların Akış Davranışı.....	201
4.2.2 Pasta Akışını Etkileyen Parametreler.....	202
4.2.2.1 Tane Boyutunun Etkisi.....	202
4.2.2.2 Katı/Sıvı Oranının Etkisi.....	204
4.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi.....	205
4.3 Reolojik Modeller.....	205
4.4 Duvar Kayması Analizi.....	227
4.5 Sonuçlar.....	235
4.6 Öneriler.....	236
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>237</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Kesme ve uzama akışlarında partikül hareketleri.....	2
Şekil 1.2: Akış modeli.....	3
Şekil 1.3: Zamandan bağımsız akış davranışı tipleri.....	5
Şekil 1.4: Kesme incelmesi davranışı sergileyen bir polimer için $\eta_0$ ve $\eta_\infty$ değerlerini içeren reogram.....	7
Şekil 1.5: Kapiler reometrenin şematik gösterimi.....	10
Şekil 1.6: Kapiler kanal içerisinde duvar kaymasının şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.7: $\dot{\gamma}_{göz}$ 'nın 1/D'ye karşı eğrisi.....	14
Şekil 1.8: Duvar kayma analizi için Jastrzebski grafiği.....	15
Şekil 1.9: Ekstrusiyondan önce ve kısmi ekstrusiyondan sonra barel ve kapiler kanaldaki renklendirilmiş kesitin şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.1: Deneylerde kullanılan Kapiler reometrenin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.1: a) Kolemanit, b) kolemanit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetilsiloksanın FTIR spektrumları.....	29
Şekil 3.2: a) Üleksit, b) üleksit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetilsiloksanın FTIR spektrumları.....	30
Şekil 3.3: a) Genleşmiş perlit, b) genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetilsiloksanın FTIR spektrumları.....	30
Şekil 3.4: a) Kolemanit, b) polidimetilsiloksan ve c) kolemanit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri.....	31
Şekil 3.5: a) Üleksit, b) polidimetilsiloksan ve c) üleksit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri.....	31
Şekil 3.6: a) Genleşmiş perlit, b) polidimetilsiloksan ve c) genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri.....	32
Şekil 3.7: Kolemanitin a) TG ve b) DTA; ve kolemanit-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları.....	33
Şekil 3.8: Üleksitin a) TG ve b) DTA; ve üleksit-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları.....	34
Şekil 3.9: Genleşmiş perlitin a) TG ve b) DTA; ve genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları.....	35
Şekil 3.10: Kolemanitin SEM fotoğrafı.....	36
Şekil 3.11: Kolemanit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı.....	37
Şekil 3.12: Üleksitin SEM fotoğrafı.....	37
Şekil 3.13: Üleksit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı.....	38
Şekil 3.14: Genleşmiş perlitin SEM fotoğrafı.....	37
Şekil 3.15: Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı.....	38
Şekil 3.16: a) Kolemanit, b) üleksit ve c) genleşmiş perlitin TEM fotoğrafları.....	39
Şekil 3.17: a) Kolemanitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-kolemanit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-kolemanit pastasının AFM fotoğrafları.....	40
Şekil 3.18: a) Genleşmiş perlitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-genleşmiş perlit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-genleşmiş perlit pastasının AFM fotoğrafları.....	40
Şekil 3.19: a) Üleksitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-üleksit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-üleksit pastasının AFM fotoğrafları.....	41



<b>Şekil 3.20:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	43
<b>Şekil 3.21:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	45
<b>Şekil 3.22:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	47
<b>Şekil 3.23:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	49
<b>Şekil 3.24:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	51
<b>Şekil 3.25:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramlar.....	54
<b>Şekil 3.26:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	56
<b>Şekil 3.27:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	58
<b>Şekil 3.28:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	61
<b>Şekil 3.29:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	63
<b>Şekil 3.30:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	65
<b>Şekil 3.31:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	67
<b>Şekil 3.32:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	71
<b>Şekil 3.33:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	73
<b>Şekil 3.34:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	75

<b>Şekil 3.35:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	77
<b>Şekil 3.36:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	80
<b>Şekil 3.37:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	82
<b>Şekil 3.38:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	84
<b>Şekil 3.39:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	87
<b>Şekil 3.40:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	89
<b>Şekil 3.41:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	91
<b>Şekil 3.42:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	93
<b>Şekil 3.43:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	96
<b>Şekil 3.44:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	98
<b>Şekil 3.45:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	100
<b>Şekil 3.46:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	102
<b>Şekil 3.47:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	105
<b>Şekil 3.48:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	107
<b>Şekil 3.49:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	109
<b>Şekil 3.50:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	111

<b>Şekil 3.51:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	114
<b>Şekil 3.52:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	116
<b>Şekil 3.53:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	118
<b>Şekil 3.54:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	120
<b>Şekil 3.55:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	123
<b>Şekil 3.56:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	125
<b>Şekil 3.57:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	127
<b>Şekil 3.58:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	129
<b>Şekil 3.59:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	132
<b>Şekil 3.60:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	134
<b>Şekil 3.61:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	136
<b>Şekil 3.62:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	139
<b>Şekil 3.63:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	141
<b>Şekil 3.64:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	143
<b>Şekil 3.65:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	145
<b>Şekil 3.66:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genleşmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	148

<b>Şekil 3.67:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	150
<b>Şekil 3.68:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	152
<b>Şekil 3.69:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	154
<b>Şekil 3.70:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	156
<b>Şekil 3.71:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	158
<b>Şekil 3.72:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	160
<b>Şekil 3.73:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	162
<b>Şekil 3.74:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.	164
<b>Şekil 3.75:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.	166
<b>Şekil 3.76:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları	168
<b>Şekil 3.77:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları	170
<b>Şekil 3.78:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	173
<b>Şekil 3.79:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	175
<b>Şekil 3.80:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	177
<b>Şekil 3.81:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı	

kapiler kanal kullanılarak 30 <sup>0</sup> C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	179
<b>Şekil 3.82:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 <sup>0</sup> C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	181
<b>Şekil 3.83:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 <sup>0</sup> C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	183
<b>Şekil 3.84:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 <sup>0</sup> C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	185
<b>Şekil 3.85:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 <sup>0</sup> C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	187
<b>Şekil 3.86:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	189
<b>Şekil 3.87:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	191
<b>Şekil 3.88:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	193
<b>Şekil 3.89:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.....	195
<b>Şekil 4.1:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	229
<b>Şekil 4.2:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	230
<b>Şekil 4.3:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	231
<b>Şekil 4.4:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	232
<b>Şekil 4.5:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	233
<b>Şekil 4.6:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri.....	234

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 1.1:</b> Genleşmiş perlitin kimyasal bileşimi.....	18
<b>Tablo 1.2:</b> Kolemanitin kimyasal bileşimi.....	19
<b>Tablo 1.3:</b> Üleksitin kimyasal bileşimi.....	19
<b>Tablo 2.1:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan pastalar ve çalışılan parametreler	26
<b>Tablo 3.1:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler.....	41
<b>Tablo 3.2:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	42
<b>Tablo 3.3:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	44
<b>Tablo 3.4:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	46
<b>Tablo 3.5:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	48
<b>Tablo 3.6:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	51
<b>Tablo 3.7:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	53
<b>Tablo 3.8:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	55
<b>Tablo 3.9:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)= 8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	57
<b>Tablo 3.10:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	60
<b>Tablo3.11:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	62
<b>Tablo 3.12:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	64
<b>Tablo 3.13:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	66
<b>Tablo 3.14:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastaları ve çalışılan parametreler.....	68
<b>Tablo 3.15:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	69

<b>Tablo 3.16:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	72
<b>Tablo 3.17:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	74
<b>Tablo 3.18:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	76
<b>Tablo 3.19:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	79
<b>Tablo 3.20:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	81
<b>Tablo 3.21:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	83
<b>Tablo 3.22:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	86
<b>Tablo 3.23:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	88
<b>Tablo 3.24:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	90
<b>Tablo 3.25:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	92
<b>Tablo 3.26:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan üleksit-polidimetilsiloksan (AK1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler.....	94
<b>Tablo 3.27:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	95
<b>Tablo 3.28:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	97
<b>Tablo 3.29:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	99
<b>Tablo 3.30:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	101
<b>Tablo 3.31:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	104
<b>Tablo 3.32:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	106

<b>Tablo 3.33:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	108
<b>Tablo 3.34:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	110
<b>Tablo 3.35:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	113
<b>Tablo 3.36:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	115
<b>Tablo 3.37:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	117
<b>Tablo 3.38:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	119
<b>Tablo 3.39:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastaları ve çalışılan parametreler.....	121
<b>Tablo 3.40:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	122
<b>Tablo 3.41:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	124
<b>Tablo 3.42:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	126
<b>Tablo 3.43:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	128
<b>Tablo 3.44:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	131
<b>Tablo 3.45:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	133
<b>Tablo 3.46:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	135
<b>Tablo 3.47:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	138
<b>Tablo 3.48:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	140
<b>Tablo 3.49:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50µm) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	142



<b>Tablo 3.50:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	144
<b>Tablo 3.51:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan genişmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler.....	146
<b>Tablo 3.52:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	147
<b>Tablo 3.53:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	149
<b>Tablo 3.54:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	151
<b>Tablo 3.55:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	153
<b>Tablo 3.56:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	155
<b>Tablo 3.57:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	157
<b>Tablo 3.58:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	159
<b>Tablo 3.59:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	161
<b>Tablo 3.60:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	163
<b>Tablo 3.61:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	165
<b>Tablo 3.62:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	167
<b>Tablo 3.63:</b> Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	169
<b>Tablo 3.64:</b> Reolojik karakterizasyonu yapılan genişmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK100 000)pastaları ve çalışılan parametreler.....	171
<b>Tablo 3.65:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	172
<b>Tablo 3.66:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 <sup>0</sup> C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	174

<b>Tablo 3.67:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	176
<b>Tablo 3.68:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	178
<b>Tablo 3.69:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	180
<b>Tablo 3.70:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	182
<b>Tablo 3.71:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	184
<b>Tablo 3.72:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	186
<b>Tablo 3.73:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	188
<b>Tablo 3.74:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	190
<b>Tablo 3.75:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	192
<b>Tablo 3.76:</b> Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri.....	194
<b>Tablo 4.1:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	209
<b>Tablo 4.2:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri..	210
<b>Tablo 4.3:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	211
<b>Tablo 4.4:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	212
<b>Tablo 4.5:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri..	213
<b>Tablo 4.6:</b> Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	214
<b>Tablo 4.7:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	215
<b>Tablo 4.8:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri..	216
<b>Tablo 4.9:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	217
<b>Tablo 4.10:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	218

<b>Tablo 4.11:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri..	219
<b>Tablo 4.12:</b> Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	220
<b>Tablo 4.13:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı/sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	221
<b>Tablo 4.14:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	222
<b>Tablo 4.15:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	223
<b>Tablo 4.16:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı/sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	224
<b>Tablo 4.17:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	225
<b>Tablo 4.18:</b> Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri.....	226
<b>Tablo 4.19:</b> Çalışmada incelenen pastaların elde edilen optimum koşular.....	227

## ÖNSÖZ

Akademik yaşantım boyunca bana rehberlik eden, azmini ve çalışkanlığını örnek aldığım çok değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet DOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman son derece anlayışlı olan ve karşılaştığım güçlükleri aşmamda yardımını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Mahir ALKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam süresince başarılı olamamı benden daha fazla isteyen çok sevdiğim babam Ahmet Rıdvan TURAN ve eşim Osman BEYLİ'ye ve beni her koşulda destekledikleri için tüm aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

# 1.GİRİŞ

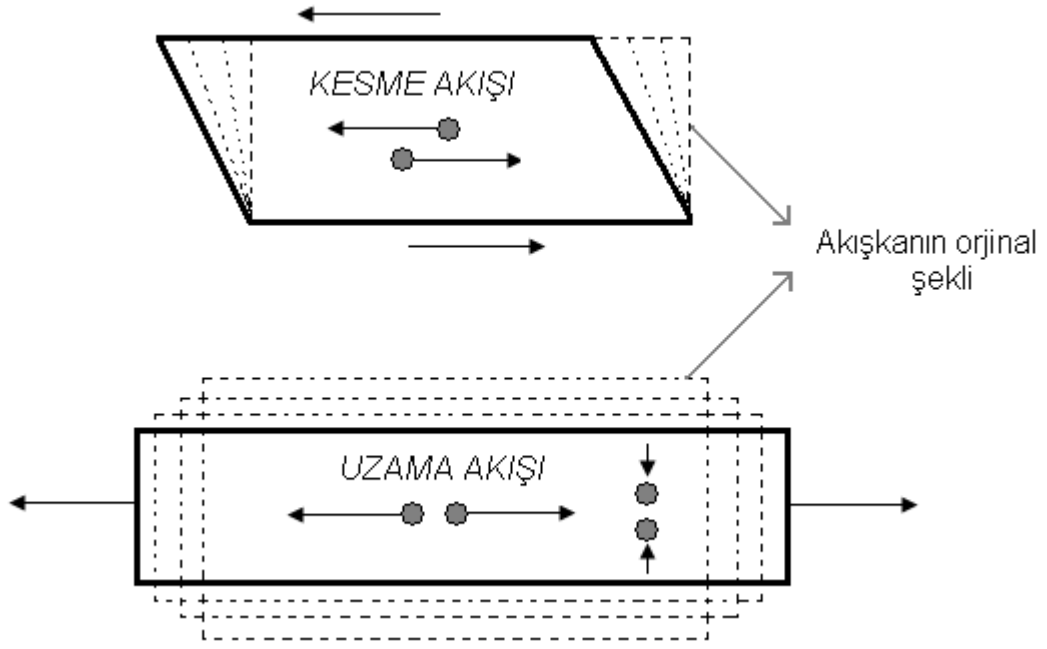
## 1.1 Reoloji

Maddeler, çeşitli gerilimler altında deforme olur. Gerilimler kaldırıldığında deformasyon için harcanan enerjinin tamamı geri döner. İdeal sıvılar ve gazlar geri dönüşümsüz olarak deforme olurlar, yani akarlar. Çevremizdeki cisimler ne ideal sıvıdır ne de ideal katıdır. Birçok kullanışlı materyal, genellikle yumuşak katı olarak adlandırılan oldukça viskoz sistemlerdir. Bu tür materyaller seramik sanayisi, gıda pastalarının şekillendirilmesi veya kozmetik formülasyonunda bulunabilmektedirler (Castro ve arkadaşları, 2010).

Pastalar, akışkan bir çözücü içerisinde katı fazın mekanik olarak dağıtılması sonucu oluşmuş karışımlardır. Ekstrüzyon ise pastanın sabit çapraz kısımlarını lineer forma şekillenmesini sağlayan bir materyal şekillendirme işlemidir (Hurysz ve arkadaşları, 2003). Pasta ekstrüzyonu ile şekillendirme işlemi yiyecekler, kimyasallar, katalizörler ve ilaçları içeren, sıklıkla kullanılan materyallerin imalatı için önemli bir yoldur. Bir pastanın reolojik özellikleri, bileşimi ve formülasyonuna bağlı olarak değişir. Pasta akışının analizi ve tasarımı için reolojik davranışın ve taşınma mekanizmasının anlaşılması gerekmektedir. Bu tür materyalleri işleyen endüstrilerden bazıları seramik endüstrisi, katalizör yapımı, ilaç endüstrisi, gübreler ve gıda endüstrisidir (Bates ve arkadaşları, 2000).

## 1.2 Akma ve Deformasyon

Akışkanın komşu partiküllerinin hareketi ile ilişkili iki temel akma çeşidi vardır; *kesme* ve *uzama* akışı olarak adlandırılırlar. Kesme akışında akışkan elementleri birbirinin üstünden ya da yanından geçerek akarlar, uzama akışında komşu elementler birbirine doğru ya da birbirinden uzağa akarlar (Şekil 1.1).

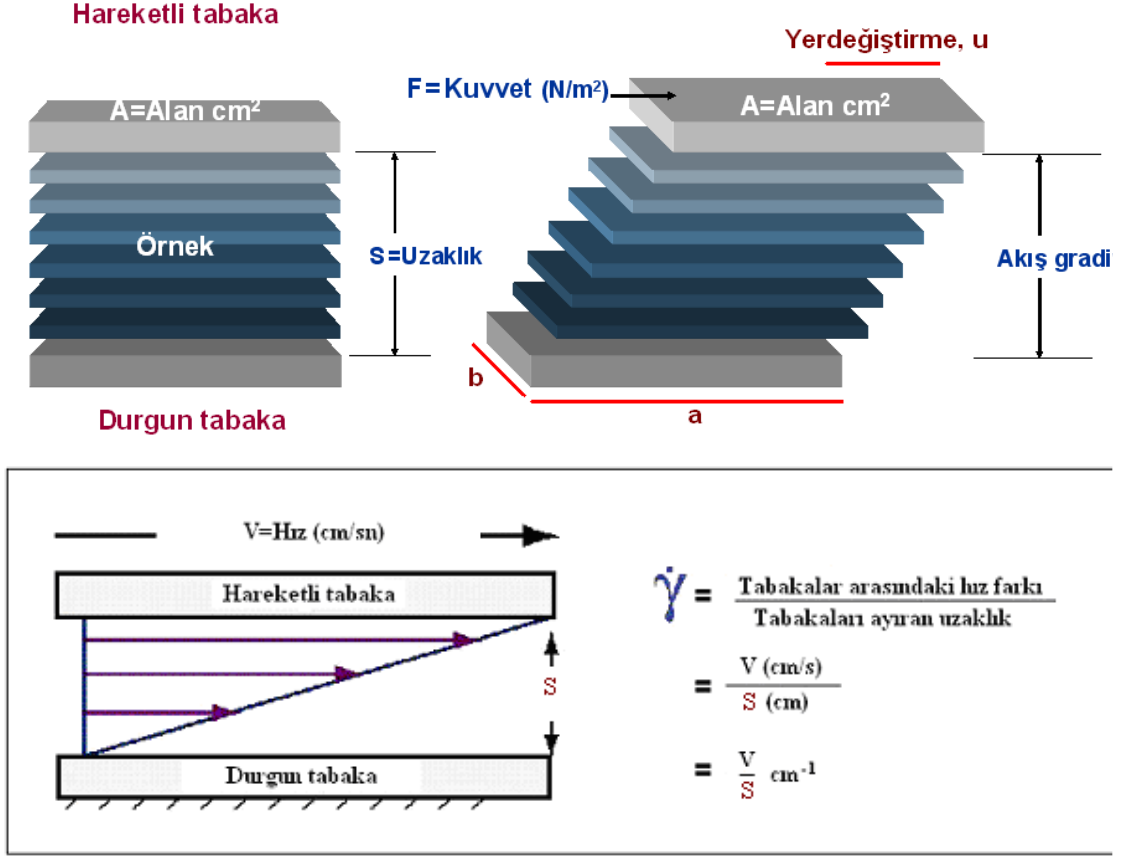


**Şekil 1.1:** Kesme ve uzama akışlarında partikül hareketleri.

Bütün akışlar viskozite tarafından mukavemete uğrar. Akışkanlara kuvvet uygulanması sonucu akması için hız kazandırılmış olur. Sabit bir hızda viskozite arttırıldığında kuvvet de artar; kuvvet sabitken viskozite artarken hız azalır (Barnes, 2000).

### 1.3 Newtonian Akışkan

Şekil 1.2'deki gibi birbirine uzaklığı  $S$  kadar olan iki ince tabaka arasına yerleştirilmiş bir akışkan düşünelim. Akışkan durağan haldeyken şekildeki gibi bir  $F$  kuvveti tarafından bir kesme uygulandığında, bu durum akışkanın başlangıçta verilen kuvvetine zıt yönde ve ona eşit miktarda bir kuvvetle dengelenir.



Şekil 1.2: Akış modeli

*Kesme gerilimi*, küpün üst kısmının alanına uygulanan kuvvet olarak tanımlanır. Kuvvet birimi N ve alan birimi  $m^2$  olduğu için kesme gerilimi birimi  $N/m^2$  (Pa ya da  $dyn/cm^2$ )'dir. Kesme gerilimi aşağıdaki formül ile verilebilir:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

Burada  $\tau$ , kesme gerilimi (Pa); F, kuvvet (N); ve A, alandır ( $m^2$ ).

*Kesme hızı*, hızın tabakalar arası uzaklığa oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki formül ile verilir:

$$\dot{\gamma} = \frac{V}{S} \quad (1.2)$$

Burada  $\dot{\gamma}$ , kesme hızı (1/s); V, hız (m/s); ve S, tabakalar arası uzaklıktır (m).

Kesme gerilimi, kesme hızı ile orantılı bir şekilde artarsa orantı sabiti *viskozite* olarak adlandırılır ve bir akışkanın, akışa karşı göstermiş olduğu direnç ya da eğilim olarak tanımlanır. Viskozitenin kesme hızına bağlı olmadığı Newtonian akışkanlar için viskozite,  $\eta$  sembolü ile ve viskozitenin kesme hızına bağlılık gösterdiği non-Newtonian akışkanlar için ise viskozite,  $\eta_a$  sembolü ile gösterilir. Akış sistemine ve kesme hızı ve kesme geriliminin seçimine bağlı olarak viskoziteyi hesaplamak için birkaç eşitlik kullanılmaktadır. Viskozite en yaygın olarak:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1.3)$$

bağıntısı ile verilir.

#### **1.4 Non-Newtonian Akış Davranışı**

Non-Newtonian bir akışkan, akış grafiği (kesme hızına-kesme gerilimi) doğrusal olmayan ya da orijinden geçmeyen materyallerdir. Kesme geriliminin kesme hızına oranı olan görünür viskozite belirli bir basınç ve sıcaklıkta sabit değilken, akış geometrisi, kesme hızı, hatta bazen akışkanın elementlerinin kinematik geçmişine bağlıdır. Bu tür materyallerin üç sınıfta toplanması uygundur;

1. Herhangi bir noktadaki kesme hızı sadece o andaki kesme gerilimi değeri tarafından belirlenebilen akışkanlar; bu tür akışkanlara “zamandan bağımsız”, “tamamıyla viskoz”, “elastik olmayan”, ya da “Newtonian akışkanlar” gibi çeşitli isimler verilir.
2. Bunlara ek olarak kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki ilişki kesme süresine ve kinematik geçmişe bağlı olan daha kompleks akışkanlar; bunlara “zamana bağlı akışkanlar” denir. Son olarak,
3. Hem ideal akışkanların hem de elastik katıların özelliklerini sergileyen ve deformasyon sonrası kısmi elastikliğin geri kazanıldığı bileşikler; bunlar “viskoelastik akışkanlar” olarak sınıflandırılmıştır (Chhabra ve arkadaşları, 2008).

##### **1.4.1 Zamandan Bağımsız Akış Davranışı**

Basit bir kesme uygulandığında, bu tür materyallerin akış davranışı aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilir,



$$\dot{\gamma} = f(\tau) \quad (1.4)$$

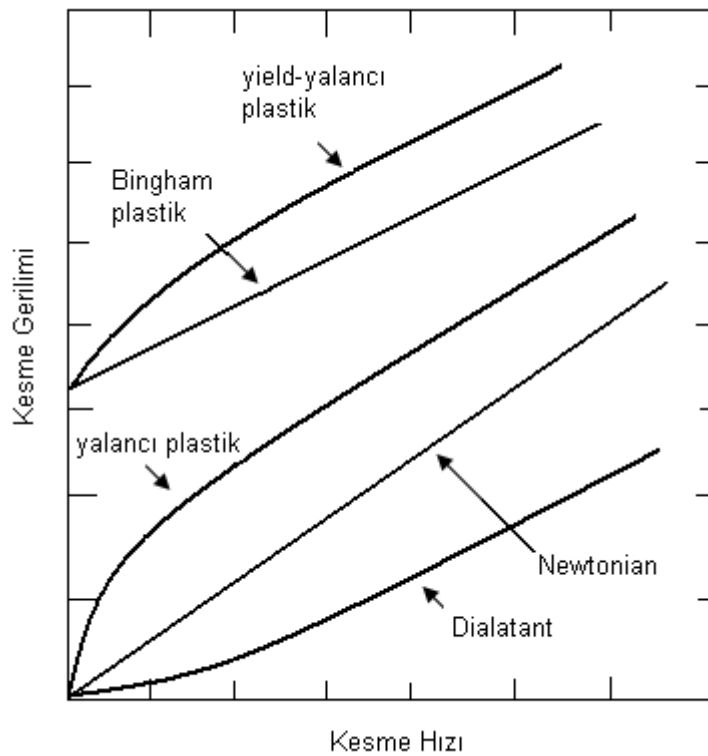
ya da tam tersi,

$$\tau = f(\dot{\gamma}) \quad (1.5)$$

Burada  $\tau$ , kesme gerilimi (Pa) ve  $\dot{\gamma}$ , kesme hızı (1/s)'dir. Eşitliğe göre, kesmeye maruz kalan bir akışkanın herhangi bir noktadaki  $\dot{\gamma}$  değeri sadece bu noktadaki geçerli kesme gerilimi tarafından belirlenebilir, ya da tam tersi. Bu tür akışkanlar üç çeşittir;

- a. Kesme incilmesi veya yalancı plastik
- b. Viskoplastik
- c. Kesme kalınlaşması veya dialatant.

Şekil 1.3'de zamandan bağımsız akış davranışı tiplerinden elde edilen reogramların şematik olarak gösterimi yer almaktadır.



**Şekil 1.3:** Zamandan bağımsız akış davranışı tipleri

### 1.4.1.1 Kesme İncelmesi veya Yalancı-plastik Akışkanlar

Zamandan bağımsız Non-Newtonian akış davranışının en yaygın tipi yalancı-plastik ya da kesme incelmesidir. Artan kesme hızı ile azalan bir görünür viskozite ile karakterize edilir. Kesme incelmesi davranışı gösteren birçok polimer çözeltisi ve eriyikleri, çok düşük ve çok yüksek kesme hızı uygulandığında Newtonian davranış gösterirler. Kesme gerilimi-kesme hızı grafikleri düz çizgilere dönüşür (Şekil 1.4). Çok düşük ve çok yüksek kesme hızlarında meydana gelen görünür viskozite değerlerine sıfır kesme viskozitesi ( $\eta_0$ ), ve sonsuz kesme viskozitesi ( $\eta_\infty$ ) adı verilir. Sonuç olarak kesme incelmesi akışkanının viskozitesi  $\eta_0$ 'dan  $\eta_\infty$ 'a artan kesme hızıyla birlikte azalır (Chhabra ve arkadaşları, 2008).

### 1.4.1.2 Kesme İncelmesi Akış Davranışı İçin Matematiksel Modeller

Bu durumda sistem bir başlangıç gerilimi değeri göstermemektedir, fakat düşük kesme hızlarında limit viskozite  $\eta_0$  değerine sahiptir. Çeşitli zorlukta birçok matematiksel modeller literatürde yalancı plastik akma davranışları için önerilmiştir. Elde edilen akma eğrilerinin uyduğu eşitliklerden bazıları, *Power-Law* ya da *Ostwald de Waele*, Cross, Ellis ve Sisko modelleridir.

#### 1.4.1.2.1 Power-Law ya da Ostwald de Waele modeli

Kesme incelmesi davranışı gösteren bir akışkanın kesme hızı-kesme gerilimi grafiğinin logaritmik formu, kesme hızının ya da kesme geriliminin belirli aralıklarında lineer bir doğruya benzer. Akış eğrisinin bu parçası için aşağıdaki Power-Law eşitliği kullanılabilir (Chhabra ve arkadaşları, 2008).

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1.6)$$

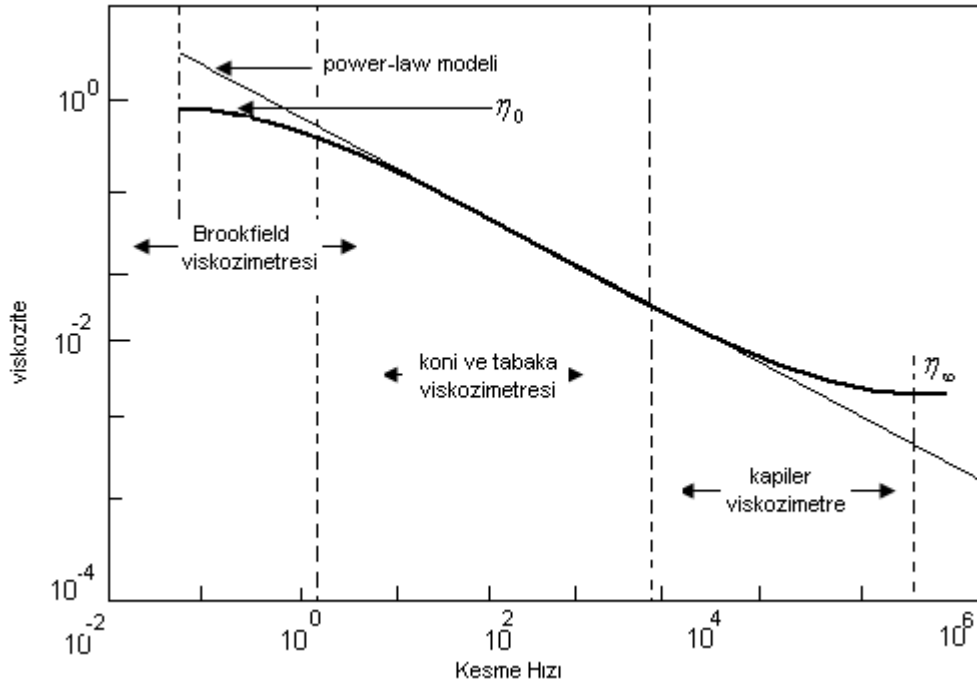
k: kıvamlılık parametresi; (k sabiti büyük olan akışkan, daha viskozdur; Pa s<sup>n</sup>).

n: Power-Law üstel sabiti (birimsiz).

Power Law indeksi n, Newtonian akışkandan sapmanın bir derecesidir ve yalancı plastik bir akışkan için 0 ile 1 arasında değişmektedir. Newtonian akışkanı için 1 iken, 0'a doğru gidildikçe Non-Newtonian özellik artar ve 0'da tamamiyle Non-Newtonian'dır. Kesme kalınlaşması için ise 1'den büyüktür. Power-Law eşitliği

genellikle kesme hızı  $1-10^3 \text{ s}^{-1}$  aralığında değişen akışkanlar için uygundur (Barnes, 2000).

Power-Law modeli, kesme incelmesi akışkanları için en basit model olsa da, bazı sınırlamaları vardır. Genellikle sadece belirli aralıktaki kesme hızları için uygulanabilir ve bu nedenle  $k$  ve  $n$  değerleri kullanılan kesme hızı aralığına bağlıdır. Sıfır ve sonsuz viskozite değerlerini tahmin etmede kullanılamaz. Sonuç olarak, kıvamlılık katsayısı  $k$ ,  $n$ 'in sayısal değerine bağlıdır, bu nedenle  $n$  değerleri değişken ise  $k$  değerleri karşılaştırılmamalıdır. Bu sınırlamaların yanı sıra, proses mühendisliği alanında en çok kullanılan model, Power-Law modelidir (Chhabra ve arkadaşları, 2008). Şekil 1.4'te kesme incelmesi davranışı sergileyen bir polimer için  $\eta_0$  ve  $\eta_\infty$  değerlerini içeren toplam eğri üzerinde Power-Law modeli kullanılarak yapılabilen analizin kesme hızı aralığı görülmektedir.



**Şekil 1.4:** Kesme incelmesi davranışı sergileyen bir polimer için  $\eta_0$  ve  $\eta_\infty$  değerlerini içeren reogram.

#### 1.4.1.3 Viskoplastik Akış Davranışı

Bu tip akış davranışı, akışkan deforme olmadan ya da akmaya başlamadan önce ulaşılması gereken bir başlangıç gerilimi ( $\tau_0$ ) değeri ile karakterize edilir.

Uygulanan gerilim, başlangıç geriliminden küçük olduğunda materyal katı malzemeler gibi davranır. Uygulanan gerilim değeri, başlangıç geriliminden büyük olduğunda ise akış grafiği orijinden geçmeyen lineer bir doğru ya da lineer olmayan bir eğri olabilir. Lineer bir doğru elde edildiğinde malzeme, Bingham Plastik davranış gösterir. Grafik lineer değilse, malzeme başlangıç gerilimli yalancı plastik davranış sergiler (Chhabra ve arkadaşları, 2008).

#### 1.4.1.3.1 Bingham Plastik Sistemler

Bu model, malzemenin akmaya başlaması için gerekli bir başlangıç gerilimine sahip bir akışkanın, akış davranışını tanımlamada kullanılan en basit modeldir. Bu modele göre,

$$\tau = \tau_{\beta} + \eta_p \dot{\gamma} \quad (1.7)$$

Sistemin sahip olduğu  $\tau_{\beta}$  değeri, doğrunun sıfır kesme hızına ekstrapolasyonundan elde edilebilir. Lineer grafiğin eğimi ise plastik viskozite değerini ( $\eta_p$ ) verir. Kil süspansiyonları gibi bazı sistemler, belli bir kil konsantrasyonunun üstünde başlangıç gerilimine ihtiyaç duyarlar. Bingham eşitliği birçok kesme incelmeleri davranış sergileyen materyalin düşük kesme hızlarındaki kesme gerilimi/kesme hızı davranışını tanımlamaktadır (Tadros, 2010).

#### 1.4.1.3.2 Casson Akış Modeli

Bu model esas olarak yazıcı mürekkeplerini karakterize etmek için geliştirilmiş olmasına rağmen çok sayıda dispersiyon sistemleri için de kullanılan yapı-esaslı iki parametrelili bir modeldir ve aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$\tau^{1/2} = \tau_{0C}^{1/2} + \mu_{\infty}^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad (1.8)$$

Bir örnek için elde edilen deneysel veriler, Casson modeli ile uyum sergilediğinde, kesme hızının kare kökü ( $\dot{\gamma}$ )<sup>1/2</sup>, kesme geriliminin kare köküne karşı ( $\tau_0$ )<sup>1/2</sup> grafik edildiğinde eğimi  $\mu_{\infty}^{1/2}$  ve ekstrapolasyonu  $\tau_{0C}^{1/2}$  olan düz bir doğru elde edilir (Rao, 1999).

### 1.4.1.3.3 Herschel-Bulkley Akış Modeli

Üç parametrelili Herschel-Bulkley modeli, lineer olmayan akış eğrilerini tanımlayan Bingham Plastik modelinin genişletilmiş şeklidir.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1.9)$$

Burada;

$\tau_0$ : başlangıç gerilimi (Pa).

K: kıvamlılık indeksi (Pa.s<sup>n</sup>)

n: akış davranışı indeksidir.

K ve n parametreleri, Power-Law modelindekilere benzerdir. Ancak başlangıç gerilimine sahip akışkanlar için Power-Law modelini kullanarak yapılan hesaplamadan farklı değerler ortaya çıkar.  $\tau_0$  parametresi, akışkanın sıfır kesme hızındaki başlangıç gerilimidir. Teoride bu gerilim Bingham Plastik başlangıç gerilimi ile özdeştir fakat bu modele göre hesaplanan değer diğerinden farklı çıkmaktadır. Bu model, n=1 iken Bingham Plastik modeline,  $\tau_0=0$  iken Power-Law modeline indirgenir (Simon, 2004).

## 1.5 Kapiler Reometre

Kapiler reometreler, polimer eriyikleri ve diğer yüksek viskoziteli akışkanların davranışını laboratuvar şartlarında çalışmak ve incelemek için en iyi teknik olarak bilinmektedir. Temelde çapı ve uzunluğu bilinen bir kanaldan akışkanın akmaya zorlanmasına dayanır. Kapiler kanalın yanında bulunan transformatör, akış hızları için basınç düşüşlerini kaydeder (Barroso ve arkadaşları, 2000). Gerçek proseslerde karşılaşılan bütün kuvvet, basınç, geometri ve sıcaklıklarda akış özelliklerini hızlı ve kolay bir biçimde ölçebilir. Kapiler reometreler yüksek basınç transformatörleri ile donatılmışlardır, yani düşük viskoziteli akışkanların karakterizasyonu için bazı sınırlamalara sahiptirler. Şekil 1.5'de kapiler reometrenin şematik bir gösterimi mevcuttur.

R yarıçaplı bir kapiler kanal için, volumetrik akma hızı  $\dot{V}$ , görünür duvar kesme hızı ( $\dot{\gamma}_a$ ) meydana getirir (Newtonian).

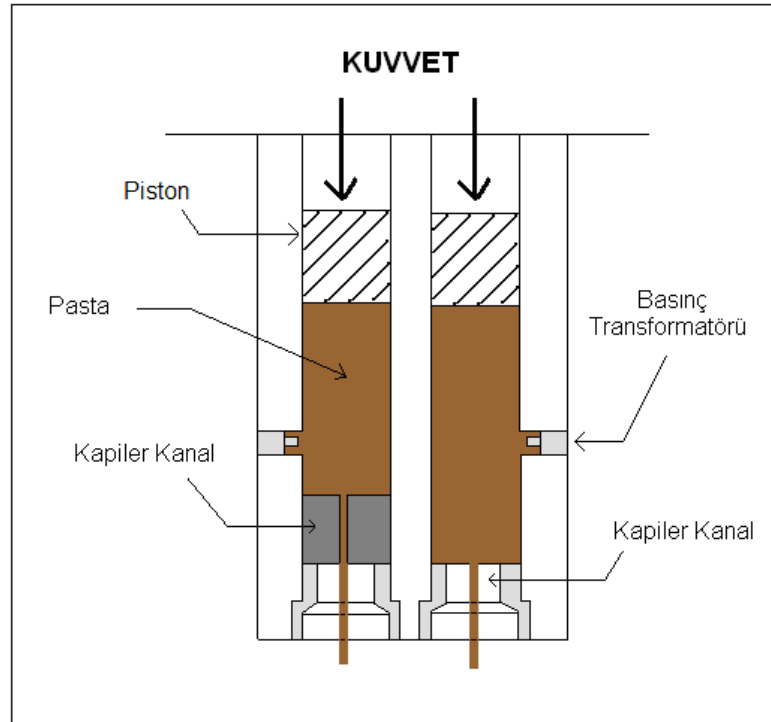
$$\dot{\gamma}_a = \frac{4\dot{V}}{\pi R^3} \quad (1.10)$$

Duvar kesme gerilimi  $\tau_w$ , ölçülen ekstrüzyon basıncı  $\Delta p$  ve uzunluğun yarıçapa oranı yardımıyla hesaplanır. Akışın gerçekleştiği kanal boyunca sabit bir basınç gradienti olduğunu farz ederek (bu durum yüksek viskoziteli materyaller için geçerli bir yaklaşımdır)  $\tau_w$ , aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$\tau_w = \frac{\Delta p_D}{2L/R} \quad (1.11)$$

Viskozite ise bu hesaplamalardan sonra aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur (Barroso ve arkadaşları, 2000):

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w} \quad (1.12)$$

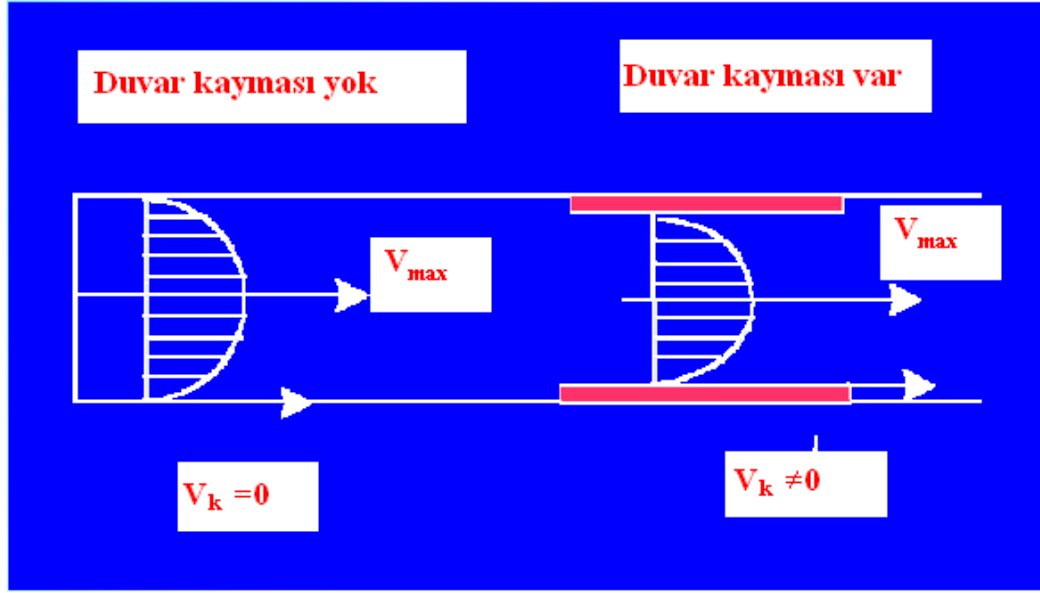


**Şekil 1.5:** Kapiler reometrenin şematik gösterimi.

## 1.6 Duvar Kayma (Wall Slip) Analizi

Pastaların ekstrüzyon prosesleri seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pastaların akış özellikleri, özellikle de duvar kayma özellikleri ekstrüzyon proseslerinde çok önemlidir. Seramik pastalarını şekillendirmek için ekstrüzyon şartlarının iyi bilinmesi gereklidir. Pastaların akış özellikleri saf akışkanların özellikleri kadar iyi bir şekilde tanımlanmamıştır. Çünkü pastalar genelde non-Newtonian akış özelliği sergilerler. Pastaların reolojik davranışını tanımlamak için çok sayıda deneysel ve teorik modeller geliştirilmiştir. Metal kapiler kanal duvarı ile temasta olan pasta tabakasının akış davranışı bulk pastanın akış davranışı ile karşılaştırıldığında çoğu zaman önemli bir ayrım yapılır. Geometrik zorlamalardan ve duvarla kuvvet etkileşimlerinden dolayı duvar tabakasındaki tanecikler pasta bulkundakinden farklı bir düzenlenmeyi benimserler. Genellikle tanecik ağının kesme gerilimini azaltan bu duvar etkisi, duvardan itibaren yaklaşık birkaç tanecik çapı mesafesine kadar genişler. Normal akışkanın viskozitesinden daha düşük viskoziteye sahip olan ince bir akışkan tabakası, kapiler kanalın duvarında oluştuğunda kayma meydana gelir. Bu olay, seramik malzemelerin ve kompozit malzemelerin proses işlemlerinde önemli problemler teşkil etmektedir (Graczyk ve arkadaşları, 2001; Barnes, 2000; Steffe, 1996).

Pasta ekstrüzyonunu modellemek ve/veya optimize etmek için pastanın akış özelliklerini bilmek gereklidir. Bir kapiler ya da ekstrüzyon kanalı içerisinde pastanın duvar kayma davranışının anlaşılması hem prosesin modellenmesi ve hem de iyi pratik sonuçlara ulaşmak için oldukça önemlidir. Ekstrüzyon süresince pastaların duvar kayma davranışı, kapiler reometre ile belirlenebilir. Kapiler kanal içerisinden pastanın akışı sırasında meydana gelen duvar kayması olayı Şekil 1.6'da gösterilmektedir. Akışkanların duvar kayma hızını belirlemek için yaygın olarak kullanılan metotlar Mooney, Jastrzebski, Twin Kapiler ve Renk Yapma metotlarıdır (Graczyk ve arkadaşları, 2001).



Şekil 1.6: Kapiler kanal içerisinde duvar kaymasının şematik gösterimi

### 1.6.1 Mooney Metodu

Mooney tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan klasik ölçüm metodu pastaları içeren bir çok akışkanlar için kullanılmaktadır. İzotermal, durgun, laminar kanal akışı altında sıkıştırılmayan akışkanların duvar kayma hızını belirlemek için kullanılan Mooney metodu, duvar kayma hızının sadece duvardaki kesme gerilimine bağlı olduğunu farz eder. Bu metotta, deneysel olarak gözlenen akış hızının ( $Q_{göz}$ ), gerçek ( $Q_{ger}$ ) ve kayma ( $Q_k$ ) olmak üzere iki farklı akış hızının bileşiminden meydana geldiği düşünülür.

$$Q_{göz} = Q_{ger} + Q_k \quad (1.13)$$

Sağ taraftaki ilk terim gerçek iç kesme akış hızıdır ( $Q_{ger}$ ) ve ikinci terim tamamen duvardaki kayma ile sağlanan ayırma katkısıdır ( $Q_k$ ). Eşitlik (1.13), (1.14a ve b) eşitliklerine dönüştürülebilir:

$$\left(\frac{8V_0}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + \left(\frac{8V_k}{D}\right) \quad (1.14a)$$

$$V_0 = V_g + V_k \quad (1.14b)$$



Burada  $V_0$ ,  $V_g$  ve  $V_k$  sırasıyla gözlenmiş, gerçek ve duvar kayması hızlarıdır. Bu eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim sadece duvardaki kesme gerilimine bağlı olan nominal Newtonian kesme hızını tanımlar. Çünkü bu hız, kapılar kanalının çapı ile zıttır. Eşitlik (1.14a ve b)'deki  $V_k$ ,

$$V_k = f(\tau_B) \quad (1.15)$$

ile verilir. Burada  $f(\tau_B)$  düzeltilmiş Bagley duvar kesme geriliminin bir fonksiyonudur.

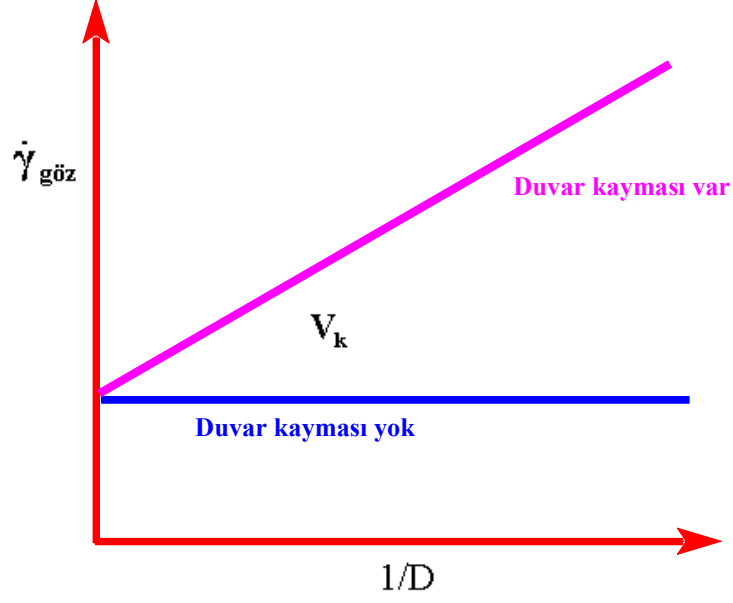
Mooney,  $f(\tau_B)$  için sadece duvar kesme gerilimine bağlı olan bir ifade önermiştir.

$$V_k = \alpha(\tau_B) \quad (1.16)$$

Burada  $\alpha$ , kayma katsayısıdır ve böylece,

$$\left(\frac{8V_0}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + (8\alpha\tau_B)\frac{1}{D} \quad (1.17)$$

Sonuç olarak belli bir duvar kesme geriliminde ( $\tau_B$ ) nominal Newtonian kesme hızının ( $(8V_0/D)$  veya  $\dot{\gamma}_{göz}$ ) kapiler kanalın çapına karşı eğrisi Şekil 1.7'de görüldüğü gibi düz bir doğru vermelidir. Eğer düz bir doğru elde edilmiyorsa bu metot bu pastaya uygulanamaz. Bu durumda Jastrzebski tarafından geliştirilen denklem uygulanabilir (Graczyk ve arkadaşları, 2001).



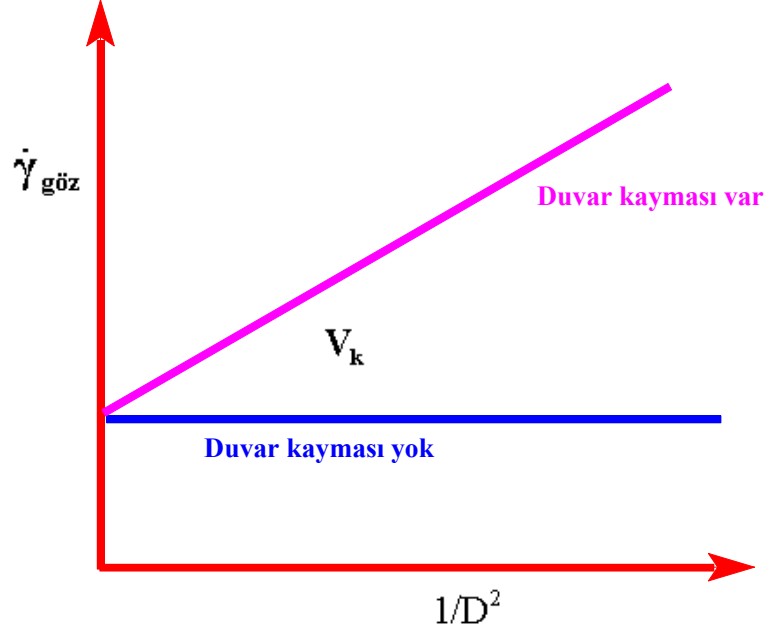
Şekil 1.7:  $\dot{\gamma}_{göz}$ 'nin  $1/D$ 'ye karşı eğrisi

### 1.6.2 Jastrzebski Metodu

Jastrzebski metodu aşağıdaki denklemlerle verilebilir:

$$\left(\frac{8V_0}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + (8\beta\tau_B)\frac{1}{D^2} \quad (1.18)$$

Bu eşitlikte uygun kayma hızının duvar kesme gerilimine ilaveten kapiler kanalın çapıyla da etkilenebileceği belirtilmektedir. Burada  $\beta = \alpha/D$  düzeltilmiş yada modifiye edilmiş kayma katsayısıdır. Belli bir duvar gerilimi için ( $\tau_B$ ) uygun kesme hızının  $1/D^2$ 'ye karşı eğrisi, eğimi  $8\beta\tau_B$  olan düz bir doğru verecektir. Buradan duvar kayma hızı hesaplanabilir (Khan ve arkadaşları, 2001). Şekil 1.8, Jastrzebski metodu için  $\dot{\gamma}_{göz}$ 'nin  $1/D^2$  ile değişimine ait eğrileri göstermektedir.



Şekil 1.8: Duvar kayma analizi için Jastrzebski grafiği

### 1.6.3 Twin Kapiler Metodu

Twin kapiler metodu, duvar kayma hızını belirlemek için Gleissle ve Windhab tarafından deneysel bir sistem olarak geliştirildi. Bu sistem farklı çaplı fakat aynı uzunluk/çap oranılı ( $L/D$ ) iki paralel kapiler kanaldan meydana gelir. Kapiler kanallar, tek kanallı barel yardımı ile pasta ile doldurulur. Giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı, iki kapiler kanal içinde aynıdır. Mooney metodu için gerekli sınır koşulu böyle ölçümlerde otomatik olarak sağlanmış olur. Her iki kapiler kanalda ekstrudat hızının ya da volumetrik akış hızının ölçülmesiyle, Mooney denklemi için gerekli tüm veriler tek bir deneyde elde edilebilir. Bu metot her iki kapiler kanaldaki giriş basınç kaybı sıfır yada ihmal edilebilir olduğunda doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu tür metotlar için Bagley tekniği gibi bir giriş basınç düzeltmesi kullanmak gereklidir (Graczyk ve arkadaşları, 2001).

### 1.6.4 Renk Yapma Metodu

Bir kapiler kanal içerisinde akan pastanın duvar kayma hızı, Şekil 1.9'da gösterildiği gibi renk yapma metodu ile de belirlenebilir. Böyle bir deneyde, pasta hazırlanırken içerisine küçük bir miktar renkli pigment katılır. Pasta sabit bir volumetrik akış hızında kapiler reometreden kısmen ekstrude edilir. Eksrusiyon

işlemi yarıda kesilerek pasta kapiler kanalın içerisinde bırakılır. Daha sonra barelin içerisindeki renksiz pasta çıkarılarak yerine renkli pasta konur. İki farklı renkli pasta arasındaki ayırma çizgisi, kapiler kanal girişindedir (Şekil 1.9a). Bu durumda ekstrüzyon işlemine devam edilir ve belli bir zaman sonra tekrar durdurulur. Renklendirilmiş kısımdaki uzunluk oranından belli bir ekstrudat hızı için kayma hızı belirlenebilir. Ekstrüzyon zamanı ( $t=t_1$ )  $L_D/v_g$ 'den daha az ise o zaman renkli ve renksiz pasta arasındaki ayırma çizgisi kapiler kanal içerisinde bulunur (Şekil 1.9b). Elde edilen akış/kayma prosesini hesaplamak için kapiler kanal duvarı üzerindeki ayırma çizgisinin yerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu şeffaf veya iki kısma parçalanabilir bir kapiler kanal kullanılarak gerçekleştirilebilir. Relatif kayma hızı aşağıdaki denklem ile verilebilir:

$$v_{g,rel} = \left( \frac{L_g}{t_1} \right) / \left( \frac{L}{t_1} \right) = \left( \frac{L_g}{L} \right) \quad (1.19)$$

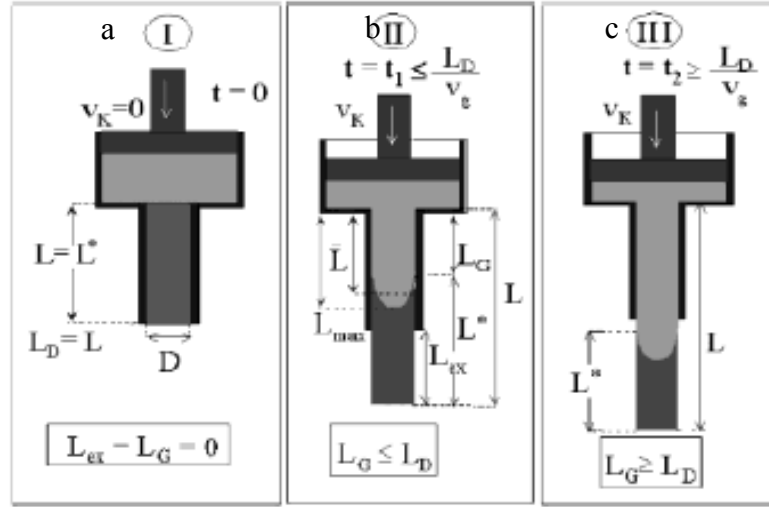
Pasta sıkıştırılmaz ise,  $L$  terimi yerine ölçümü daha kolay olan  $L_{ext}$  (ekstrudat uzunluğu) yazılabilir. Bu durumda relatif kayma hızı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$v_{g,rel} = \left( \frac{L_g}{L_{ext}} \right) = (L - L^*) / (L - L_D) \quad (1.20)$$

Ekstrüzyon zamanı ( $t=t_2$ ),  $L_D/v_g$ 'den daha büyük ise, o zaman ayırma çizgisi kapiler kanalın dışında meydana gelecektir (Şekil 1.9c). Bu durumda etkin kayma uzunluğu ( $L_{Ge}$ ) kapiler kanal uzunluğuna ( $L_D$ ) eşit olur ve relatif kayma hızı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$v_{g,rel} = L_D / L^* \quad (1.21)$$

Bu durumda özel olarak dizayn edilmiş ayrı bir kapiler kanala gerek yoktur. Prensip olarak, herhangi bir kapiler reometre, bu türden deneyler için kullanılabilir. Lineer kayma hızı, ekstrudat hızı yada kapiler reometrede belirlenen kesme gerilimi ile ilgili olabilir (Graczyk ve arkadaşları, 2001).



**Şekil 1.9:** Ekstrusiyondan önce ve kısmi ekstrusiyondan sonra barel ve kapiler kanaldaki renklendirilmiş kesitin şematik gösterimi

### 1.7 Genleşmiş perlit

Genleşmiş perlit, silika içeren volkanik bir kayadır ve 700–1200 °C üzerinde ısıtıldığında orijinal hacminin 10–30 katı büyüklüğüne genişebilir (Yılmaz ve arkadaşları, 2005). %70-75 civarında SiO<sub>2</sub> ve %12-18 civarında da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerir. %2-6 aralığında sahip olduğu kimyasal bağlı su sayesinde ısıtıldığı zaman oldukça düşük kütle yoğunluğuna sahip gözenekli bir materyale dönüşür (Erdem ve arkadaşları, 2007).

Genleşmiş perlit dünya çapında oldukça önemli bir üretim ve tüketime sahiptir. Genleşmiş perlit üretiminde önde gelen ülkelerden bazıları Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Yunanistan, Japonya, Macaristan, İtalya, Meksika ve dünya rezervinin %70'ini bulduran Türkiye'dir (Talip ve arkadaşları, 2009). Avantajlı fiziksel ve kimyasal karakteristik özellikleri nedeniyle genleşmiş perlit değişik uygulamalarda kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe hafif kum olarak, prefabrik ve diğer binalarda termal yalıtım malzemesi olarak, çiçekçilik sektöründe köklendirme ortamı ve toprak şartlandırıcısı olarak, tekstil endüstrisinde beyazlatma aracı olarak, kimya endüstrisinde adsorbent olarak, çeşitli proseslerde süzme desteği ve dolgu materyali olarak kullanılmaktadır (Bektas ve arkadaşları, 2005). Genleşmiş perlit inşaat endüstrisinde %65, tarım marketlerinde %11, süzme yardımcı ve dolgu materyali olarak %22 ve diğer endüstrilerde %2 oranında kullanıma sahiptir. Açık gözenek yapısı nedeniyle ses absorplama materyali olarak da oldukça kullanışlıdır

(Erdem ve arkadaşları, 2007). Tablo 1.1’de genişmiş perlitin kimyasal bileşimi verilmektedir.

**Tablo1.1** Genleşmiş perlitin kimyasal bileşimi

<b>Bileşen</b>	<b>% Ağırlık</b>
SiO <sub>2</sub>	71-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,5-18
Na <sub>2</sub> O	2,9-4,0
K <sub>2</sub> O	4,0-5,0
CaO	0,5-2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-1,5
MgO	0,03-0,5
TiO <sub>2</sub>	0,03-0,2
MnO <sub>2</sub>	0,0-0,1
SO <sub>3</sub>	0,0-0,1
FeO	0,0-0,1
Ba	0,0-0,1
PbO	0,0-0,5
Cr	0,0-0,1

## **1.8 Bor Mineralleri**

Dünyadaki bor cevherinin yaklaşık %60’ı Türkiye’de bulunmaktadır. Bor, doğada özellikle kalsiyum ve sodyum gibi metal boratlar olarak bulunmaktadır. Bor doğada hiçbir zaman serbest halde bulunmaz, diğer elementlerin oksitleriyle birlikte B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ün kombinasyonu şeklinde bulunur. Endüstride kullanılan bor bileşikleri bor içeren cevherlerden elde edilir. Bor bileşiklerinin üretimi son zamanlarda önemli bir şekilde artmıştır çünkü nükleer teknolojiye, zımpara ve refraktör olarak cam ve seramik sanayide, tarımda, ısıya dayanıklı polimer üretiminde katalizör olarak kullanılmaları nedeniyle artan bir talebe sahiptir (Alkan ve arkadaşları, 2004).

### **1.8.1 Kolemanit**

Kolemanit, 2CaO·3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O kimyasal formülüne sahip monoklinik kristal yapılı en yaygın bor mineralidir. Dünyadaki bilinen en büyük cevher Türkiye’dedir. Kolemanit cevheri en çok borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) üretiminde ve cam fiber yapımında kullanılmaktadır. Kolemanit cevheri, önemli ölçüde kil mineralleri, stronsiyum borat, kalsit gibi diğer mineralleri de içerir (Bulutcu ve arkadaşları, 2008). 5 mol kristal suyu ile kalsiyum içeren en önemli ticari bor mineralidir. Deterjan, cam ve seramik

endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yildiz, 2004). Tablo 1.2’de kolemanitin kimyasal bileşimi verilmektedir.

**Tablo 1.2** Kolemanitin kimyasal bileşimi

<b>Bileşen</b>	<b>% Ağırlık</b>
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,26
CaO	27,74
H <sub>2</sub> O	21,21
SiO <sub>2</sub>	0,09
Na <sub>2</sub> O	0,27
K <sub>2</sub> O	0,15
MgO	0,25
FeO+ TiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03

### 1.8.2 Üleksit

Üleksit, bor bileşiklerinin üretiminde kullanılan en önemli bor mineralidir. Bor mineralleri arasında Türkiye’de bol miktarda bulunan ve en yaygın olanıdır. Na<sub>2</sub>O·2CaO·5B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·16H<sub>2</sub>O kimyasal formülüyle kompleks bir yapıya sahip bir sodyum-kalsiyum borattır. Ticari olarak en çok kullanılan bor bileşikleri borik asit, bor oksit ve sodyum perborattır. Üleksit, bu bileşiklerin üretilmesi için kullanılan başlıca hammaddelerden biridir (Demirkıran ve arkadaşları, 2007).

Üleksit, Çin, Türkmenistan, Kaliforniya, Türkiye gibi birçok yerde keşfedilmiştir. İlk başlarda yangına dayanıklı bileşikler, yalıtım materyalleri ve cam elyafı üretiminde kullanılmıştır (Ruoyu ve arkadaşları, 1997). Bu mineral fiziksel metotlar (elek kullanarak mekaniksel ayırma, yıkama, v.b.) yardımıyla konsantre edilebilme gibi spesifik özelliklere sahiptir (Flores ve arkadaşları, 2007). Tablo 1.3’de üleksitin kimyasal bileşimi verilmektedir.

**Tablo 1.3** Üleksitin kimyasal bileşimi

<b>Bileşen</b>	<b>% Ağırlık</b>
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,17
CaO	18,80
Na <sub>2</sub> O	7,5
SiO <sub>2</sub>	0,85
MgO	0,22
K <sub>2</sub> O	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	0,85

## 1.9 Literatür Özeti

Literatürde farklı malzemelerin reolojik özelliklerini inceleyen ve bu malzemeleri karakterize eden çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Bunlar aşağıda özetlenmektedir.

Crawford ve arkadaşları (2005), polidimetilsiloksan ve iki çeşit lastik silikon bileşiği için kapiler reometre kullanarak kayma hızlarını hesaplarken klasik Money metodunu genelleştirmişlerdir. Böylece kapiler kanal geometrisinin kayma davranışına etkisini modele eklemişlerdir. Polidimetilsiloksan için 60 kPa gerilim altında herhangi bir kayma tespit edilmemiş ve 80 kPa civarında ise kayma hızında ani bir artış meydana gelmiştir. Joseph ve arkadaşları (2002), hidroksiapatit doldurulmuş polietilen kompozitinin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Hidroksiapatitin morfolojik özelliklerinin işlenebilirliği ve reoloji üzerine etkilerini araştırmışlar ve sonuç olarak HA eklenmesinin kompozitin reolojisini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Dolgu materyalinin yüzey alanını küçülttüklerinde dolgu materyalinin ıslanması için daha az miktarda polietilen gerektiği ve böylece akış prosesinin daha çok polietilen içermesinden dolayı başarılı bir proses için gerekli sıcaklık ve basınçta azalma sağladığını görmüşlerdir. Martin ve arkadaşları (2004), kapiler reometre kullanarak talk içeren endüstriyel pastaların reolojik davranışlarını incelemişlerdir. Duvar kaymasını belirlemek amacıyla kullanılan standart yaklaşımlar soyut sonuçlar vermekle birlikte, deneysel sonuçlar Jastrzebski kayma metodu kullanılarak düzeltilmiştir. Materyal aynı zamanda Benbow–Bridgwater yaklaşımı kullanılarak da karakterize edilmiş ve kapiler kanal çapı ile değişim göstermiştir. Shaojun ve arkadaşları (2007), nadir bulunan seryum elementini nano-silikondioksit/hidroksil silikon yağı karışımına ekleyerek elektoreolojik bir akışkan hazırlanmış ve infrared spektrumunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak seryum akrilik asit ve silan çiftinin reaksiyonu ile oluşan modifiye  $SiO_2$ 'nin dağılma ortamı olarak eklenmiş hidroksil silikon yağı ile büyük bir elektoreolojik etki oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Chanvriat ve arkadaşları (2007), buğday ununun %28 yaş içeriği ile birlikte ekstrüzyon gibi işlemler altında reolojik özelliklerini incelemişler ve işlem sırasında bileşenlerin moleküler değişikliklerinden etkilendiğini görmüşlerdir. Reolojik özellikler üzerine bileşenlerin nitel ve nicel etkilerini incelemek amacıyla farklı oranlarda nişasta ve gluten karışımları denemişlerdir. Karışımların kesme viskozitelerini kapiler reometre ile tespit etmişler ve viskozitenin, karışımın yapısına



bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Sandoval ve Barreiro (2007), mısır unu nişastası reolojisi üzerine sıcaklık ve kesme hızının etkilerini araştırmışlar; Nehdi ve Rahman (2004), çimento pastalarının reolojik özelliklerini değişik reolojik modeller kullanarak belirlemeye çalışmışlar; Vikan ve arkadaşları (2007), pasta reolojisi ile çimento özelliklerini karşılaştırmışlar; Noisuwan ve arkadaşları (2008), pirinç ununun termal ve reolojik özellikleri üzerine süt protein ürünlerinin etkisini incelemişler; Cyr ve arkadaşları (2000), süper yapıştırıcıların kesme azalması etkisinin çimento pastalarının reolojik davranışına etkisini incelemişler; Bates ve Bridgwater (2000), pasta ve jellerin radyal akış özelliklerini incelemişler; Das ve arkadaşları (2002), bir bal mumunun reolojik özelliklerini Benbow-Bridgwater modelini kullanarak incelemişlerdir. Rodriguez-Gonzalez ve arkadaşları (2004), yüksek gliserol içerikli termoplastik nişastanın reolojik ve termal özelliklerini bir twin-screw ekstruder kullanarak incelemişler; Costa ve arkadaşları (2005), polipropilenin reolojik özelliklerini paralel tabaka geometrili bir reometre kullanarak farklı sıcaklıklarda incelemişler ve sıcaklığa bağlı olarak akış özelliklerindeki değişimleri araştırmışlar; Cheyne ve arkadaşları (2005), patates nişastası pastalarının ekstrüzyon davranışını kapilar reometre kullanarak incelemişler; Burbidge ve Bridgwater, ekstrüzyon pastalarının çeşitli kararsız durumlardaki akış özelliklerini incelemişler; Burbidge ve arkadaşları (1995), pasta ekstrüzyonundaki sıvı göçleri üzerine bir araştırma yapmışlar; Amarasinghe ve Wilson (1997), alfa alimuna esaslı seramik pastaların ekstrüzyonu süresince akış kanalında meydana gelen basınç değerlerindeki dalgalanmaların pastanın homojenitesi hakkında bilgi verdiğini göstermişler; Chandler ve arkadaşları (2000), seramik pastalarının halkalı deformasyon özelliklerini incelemişler; Özkan ve arkadaşları (1999), seramik pastalarının reolojik analizlerini yapmışlar; Pabst ve arkadaşları (1998), sıcaklığa dayalı olarak termoplastik seramik pastaların reolojik karakterizasyonu için kapilar vizkozimetri metodunu kullanmışlar; Bohm ve Blackburn (1994), alumina esaslı pastaların ekstrüzyonu üzerine karıştırma prosesinin etkisini araştırmışlar; Graczyk ve arkadaşları (2001), alüminyum oksit ve silikon yağından meydana gelen pastanın ekstrüzyonu süresince meydana gelen duvar kaymasının özelliklerini araştırmışlardır.

Yukarıdaki literatür özetinden de görüldüğü gibi kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit dolgu maddelerinin polidimetilsiloksan ile oluşturulmuş pastalarının reolojik özellikleri ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

### **1.10 Çalışmanın Amacı**

Günümüz endüstrisinde ürünlerin hammadde giderlerinin düşürülebilmesi ve enerji ekonomisi yaratacak alternatif hammaddelerin kullanımı önem kazanmıştır. Geleneksel eski teknolojilerinin uygulanışından bu yana önemli gelişmeler olmuş, modern teknolojinin gerisinde kalmamak, daha yüksek kalite ve çeşitliliğe ulaşabilmek için çalışmalar yapılmış ve üretimde yeniden yapılanma programları eski teknolojilerin bırakılmasına neden olmuştur. Başta kalite ve verimliliğin artırılması olmak üzere, çok çeşitli gereksinimlerin karşılanması amacı ile üretilen yeni teknolojiler endüstrisinde yeni malzemelerin arayışına, bu arayışta seramik malzeme yapılacak çeşitli hammaddelerin gereksinimini doğurmuştur. Polidimetilsiloksan, endüstride birçok kullanım alanı olan polimerik bir maddedir. Otomotiv sanayinde, evde, kozmetikte ve birçok yerde kullanıma sahiptir. Sanayide polidimetilsilokсандan oluşturulan pastaların büyük kısmında amorf silika kullanılmaktadır. Ancak, amorf silika kayacı ülkemiz madencilik sektörü ve terminolojisi için yaygın olarak bilinen ve kullanılan bir endüstriyel hammadde değildir. Bu nedenle ülkemizdeki sanayi kuruluşlarının silika yerine ülkemizde bol miktarda bulunan, ucuz ve kolay elde edebilecekleri alternatif materyaller kullanmaları ekonomik açıdan yararlı olacaktır. Bu malzemelerden bazıları ülkemizde oldukça bol bulunan ve ucuza mal edilebilen kolemanit, üleksit gibi bor mineralleri ve genişmiş perlittir. Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit, bir çok kullanım alanı olan ve dünyada sanayi açısından oldukça önemli bileşiklerdir. Kullanım alanı çeşitliliğini ve endüstriyel önemini daha da arttırmak için bu bileşiklerin reolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeni endüstriyel uygulama alanlarının kazandırılmasına yol açacaktır.

Bu çalışmanın amacı, bor mineralleri olan kolemanit ve üleksit ile birlikte genişmiş perlitin kullanım alanı çeşitliliğinin ve endüstriyel öneminin daha da artması için reolojik özelliklerinin belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla polidimetilsiloksan ile kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit kullanılarak hazırlanan

pastaların reolojik özellikleri yüksek basınçlı kapiler reometre kullanılarak incelenmiştir. Hazırlanan pastalar XRD, DTA/TG, BET, FTIR-ATR, AFM, SEM ve TEM kullanılarak karakterize edilmiştir. Katı tozların oranları değiştirilerek farklı yoğunluklarda pastalar elde edilip, dolgu materyali miktarının viskoziteye etkileri; uygun orandaki pastalara sıcaklığın ve tane boyutu değişiminin nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Farklı çap ve uzunluktaki kapiler kanallar yardımıyla duvar kayması analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, yüksek miktarda katı içeren süspansiyonların viskozite modelleri pastalara uygulanmıştır.

## **2. MATERYAL ve METOD**

### **2.1 Materyaller**

Polidimetilsiloksan, Wacker-Chemie GmbH.'den; kolemanit ile üleksit, Bigadiç Bor madenlerinden; ve genişmiş perlit, Etibank Menderes (Cumaovası) Genleşmiş perlit İşletmesi'nden temin edilmiştir. Model pastalar ortalama 0–50 µm tanecik boyutlu katı partiküller ve iki farklı viskoziteye sahip polidimetilsiloksan (AK 1 000 000 ve AK 100 000) kullanılarak hazırlandı. Reolojik ölçümler, Yüksek Basıncılı Kapiler Reometre (Rosand RH10, Malvern) kullanılarak gerçekleştirildi. Pastaların hazırlanmasında ise IKA marka yoğurma makinesi (kneader) kullanıldı.

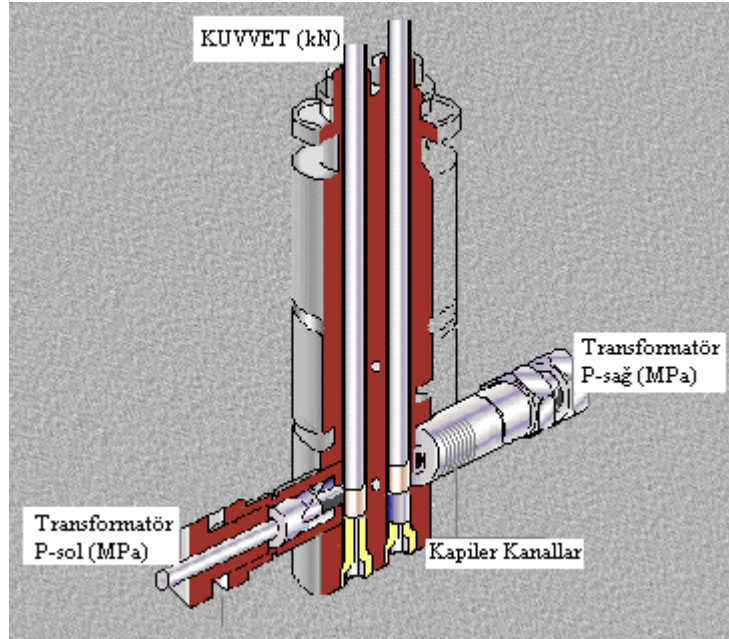
### **2.2 Pasta Hazırlanışı**

Katı tozlar yoğurma makinesinde (IKA) karıştırıldı ve daha sonra sıvı faz ilave edildi. Polidimetilsiloksan temelli pastalar daha iyi bir homojenizasyon için 4 saat boyunca kesikli reaktör tipinde karıştırıldı. Tüm pastalar aynı prosedür izlenerek hazırlandı. İlk olarak en iyi katı oranını belirlemek amacıyla 0-50 µm tane boyutuna sahip genişmiş perlit, kolemanit ve üleksit ile farklı katı oranlarında pastalar hazırlandı. Deneysel sonuçlara bakılarak çalışılacak en iyi katı oranı belirlendi ve bu oranla partikül boyutu etkisi incelendi. 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında 2 pasta daha hazırlandı ve en iyi deneysel sonuçların elde edildiği tane boyutlu pasta seçilerek, son olarak bu pastaya sıcaklığın etkisi 30, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda kapiler kanallar için incelendi.

### **2.3 Reolojik Ölçümler**

Pastaların reolojik özellikleri Twin-Bore Kapiler Reometre (RH10, Malvern Instruments, Malvern, Worcester, UK) kullanılarak araştırılmıştır. Cihazın şematik gösterimi Şekil 2.1'deki gibidir. Kapiler kanallar içi boş olan silindirlerin en alt kısmına yerleştirilir. Basınç transformatörleri kapiler kanalların yukarısında bulunur. Çalışılacak olan materyal silindirlere doldurulur ve sıkıştırılır. Çalışmada kullanılacak deneysel verileri elde etmek amacıyla sabit kesme hızı basamaklarında

viskozite ve kesme gerilimi değerlerini belirleyen test tipi program seçilmiştir. Kapiler kanallardaki basınç dūřuřleri bir bilgisayar programı tarafından izlenir. Aynı çapta fakat farklı uzunlukta iki kanal, girişteki basınç kayıplarını ölçmek için seçilir. Kapiler kanalın giriş ve çıkışında meydana gelen basınç dūřuřlerinin viskozite ölümünde ihmal edilmesi kesme geriliminin hesaplanmasında belirgin hatalara neden olur. Bu nedenle Bagley dūzeltmesi reometreden elde edilen bütün verilere uygulanmıştır. Dūzeltmenin anlamı, aynı materyali kullanarak aynı sıcaklık ve kesme hızında uzunluğu sıfır olan bir kanal ile ayrı bir test uygulamaktır. Böylece doğru ölüm alınmış olur. Çalışmada kullanılan kapiler kanalların uzunluklarının çaplarına oranı sırasıyla 32mm/2mm, 32mm/1mm, 16mm/1mm ve 8mm/0,5mm'dir. Deneyleerde kullanılan pastalar ve özellikleri aşağıda verilmektedir.



**şekil 2.1:** Deneyleerde kullanılan Kapiler reometrenin şematik gösterimi

**Tablo 2.1:** Reolojik karakterizasyonu yapılan pastalar ve çalışılan parametreler.

Parametreler		Katı:sıvı oranı (g:g)					
Sıcaklık (°C)	Tane boyutu (µm)	Genleşmiş perlit: polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastası	Genleşmiş perlit: polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastası	Kolemanit: polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastası	Kolemanit: polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastası	Üleksit: polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastası	Üleksit: polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastası
30	0-50	50:50	65:35	70:30	75:25	65:35	70:30
30	0-50	55:45	67,5:32,5	75:25	77,5:22,5	70:30	77,5:22,5
30	0-50	60:40	70:30	80:20	80:20	75:25	80:20
30	0-50	65:35	-	-	-	-	-
30	50-100	55:45	67,5:32,5	75:25	77,5:22,5	65:35	77,5:22,5
30	100-200	55:45	67,5:32,5	75:25	77,5:22,5	65:35	77,5:22,5
50	0-50	55:45	67,5:32,5	75:25	77,5:22,5	65:35	77,5:22,5
75	0-50	55:45	67,5:32,5	75:25	77,5:22,5	65:35	77,5:22,5

## **2.4. Pastaların Karakterizasyonu**

### **2.4.1 FTIR Analizi**

Tozların ve pastaların kimyasal yapılarını karakterize etmek ve pasta oluşumu sonucu yapıda ne tür değişmelerin olduğunu tespit etmek amacıyla FTIR (Perkin Elmer Spectrum 100) spektroskopi tekniği kullanılmıştır. IR spektrumları 4000-650  $\text{cm}^{-1}$  spektral aralıkta kaydedilmiştir.

### **2.4.2 XRD Analizi**

Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit dolgu maddeleri ve bu maddeler ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarının X-ışını kırınımı ölçümleri 40 kV'ta çalışan bir monokromatör ve X-ışını kaynağı olarak bakır katot 1,54 Å ekipmanlı bir Analytical Philips X'Pert-Pro X-ray difraktometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### **2.4.3 DTA/TG Analizi**

Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit dolgu maddeleri ve bu maddeler ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarındaki termal işlem boyunca gerçekleşen reaksiyonları gözlemlemek için bir eşzamanlı DTA/TG sistemi (Perkin-Elmer Diamond DTA/TG) kullanıldı. Toz haline getirilmiş örnekler azot atmosferinde 1200  $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmıştır.

### **2.4.4 BET Analizi**

Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin BET yüzey alanı analizi Quantachrome Surface Area and Pore Size Analyzer Nova2200e yüzey alanı tayin cihazı ile 200  $^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat degas işlemi sonrası gerçekleştirilmiştir.

### **2.4.5 SEM Analizi**

Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit dolgu maddeleri ve bu maddeler ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarının SEM fotoğrafları Balıkesir üniversitesi BÜTAM laboratuvarlarında SCM 5000 Benchtop SEM (Neoscope) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

#### **2.4.6 TEM Analizi**

Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit örneklerinin TEM fotoğrafları FEI Tecnai G<sup>2</sup> transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak çekilmiştir. Organik çözücüde dolgu maddeleri 10 dakika ultrasonik banyoya tutularak dağıtıldıktan sonra süspansiyondan küçük miktarlarda alınarak karbon kaplı bakır gridler üzerine damlatılmış, etüvde kurutulduktan sonra cihazda 200 kV altında en az 4 imaj ve ikiden fazla ölçekte incelenmiştir.

#### **2.4.7 AFM Analizi**

Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit dolgu maddeleri ve bu maddeler ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarının AFM analizi Sakarya üniversitesi Metalurji ve Mazeme Mühendisliği laboratuvarlarında Quesant Universal SPM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



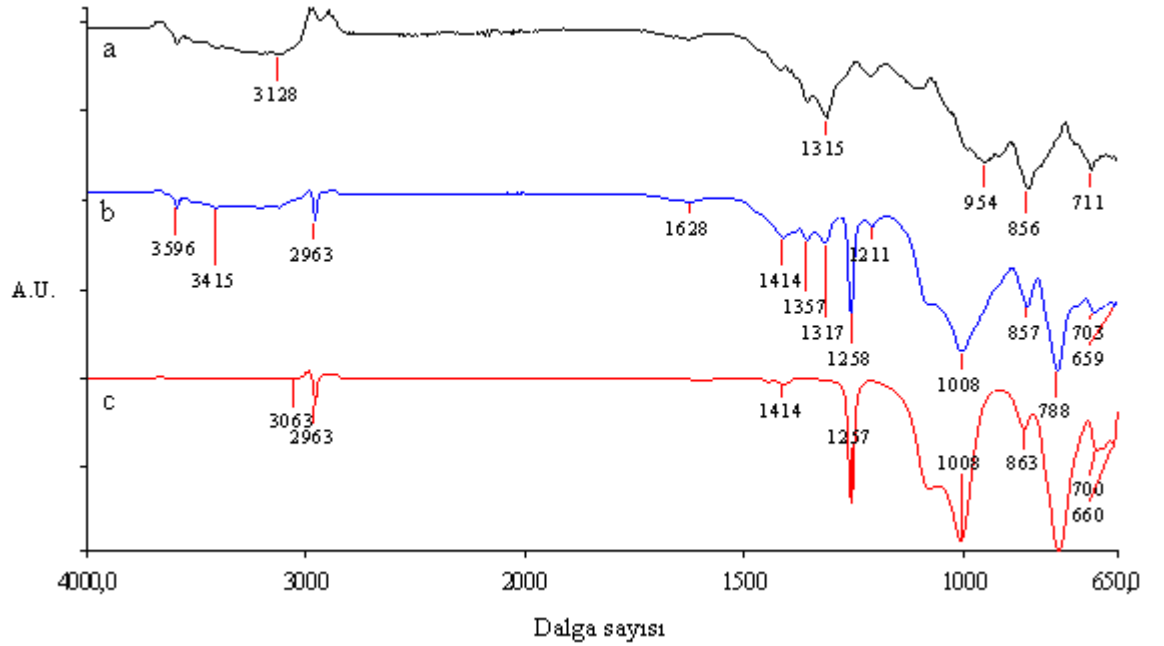
### 3. BULGULAR

#### 3.1 Pastaların Karakterizasyonu

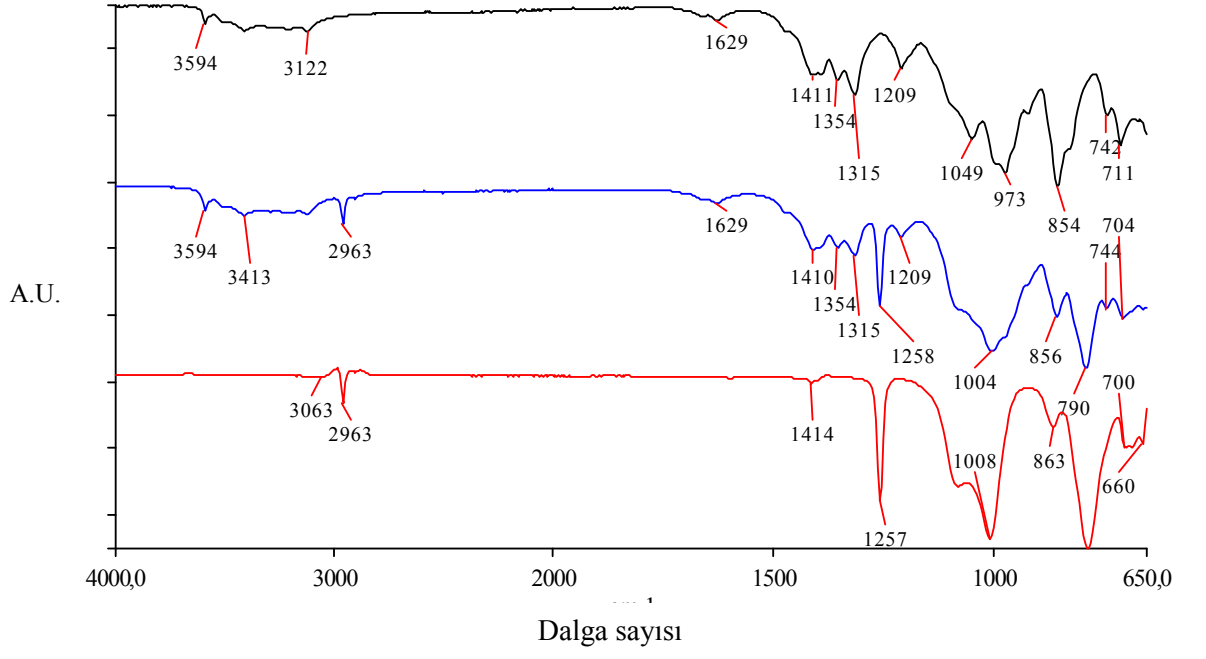
Çalışmada kullanılan kolemanit, üleksit, genleşmiş perlit tozları ile bunlardan hazırlanmış polidimetilsiloksan pastalarının karakterizasyonu FTIR, XRD, DTA/TG, BET, SEM, TEM ve AFM cihazları kullanılarak yapıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

##### 3.1.1 FTIR Analizi

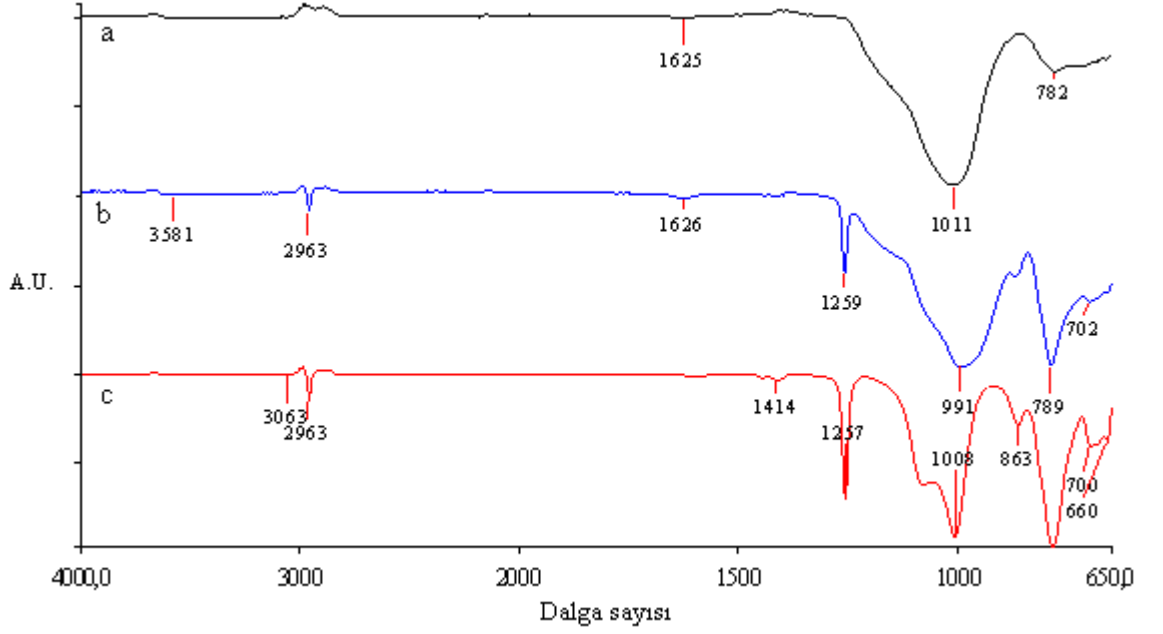
Çalışmada kullanılan tüm maddelerin ve pastalarının FTIR spektrumları 4000-650  $\text{cm}^{-1}$  aralığında analiz edilmiş ve Şekil 3.1-3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1: a) Kolemanit, b) kolemanit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetilsiloksanın FTIR spektrumları



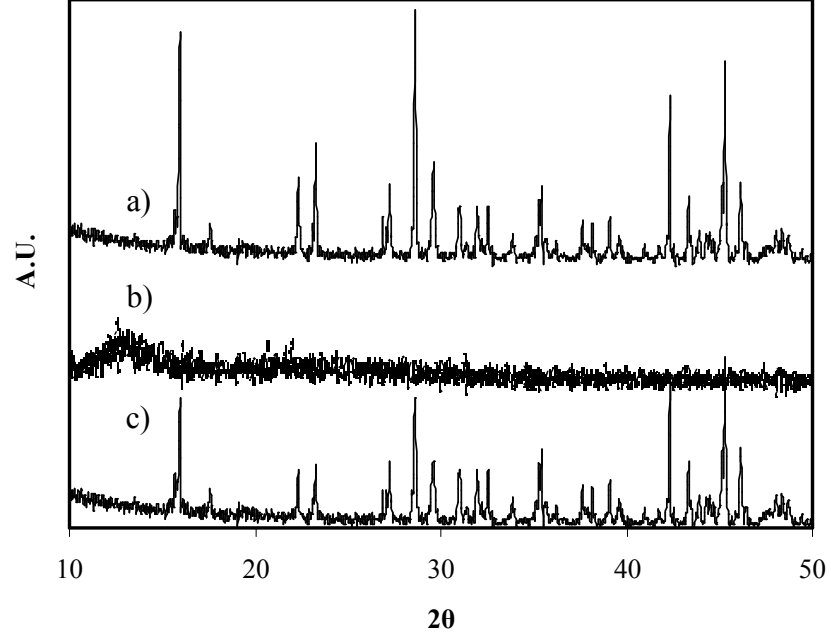
Şekil 3.2: a) Üleksit, b) üleksit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetil siloksanın FTIR spektrumları



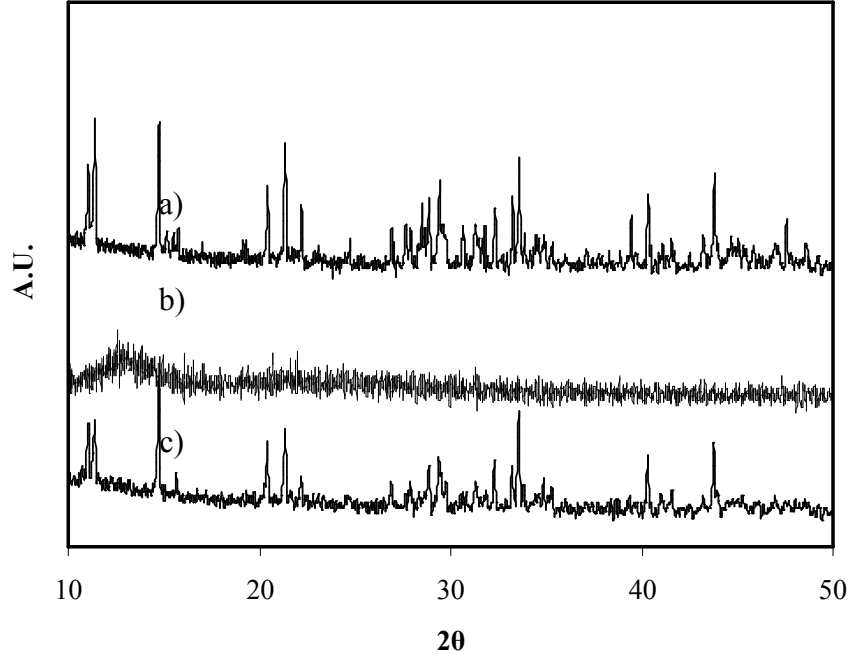
Şekil 3.3: a) Genleşmiş perlit, b) genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastası ve c) polidimetilsiloksanın FTIR spektrumları

### 3.1.2 XRD Analizi

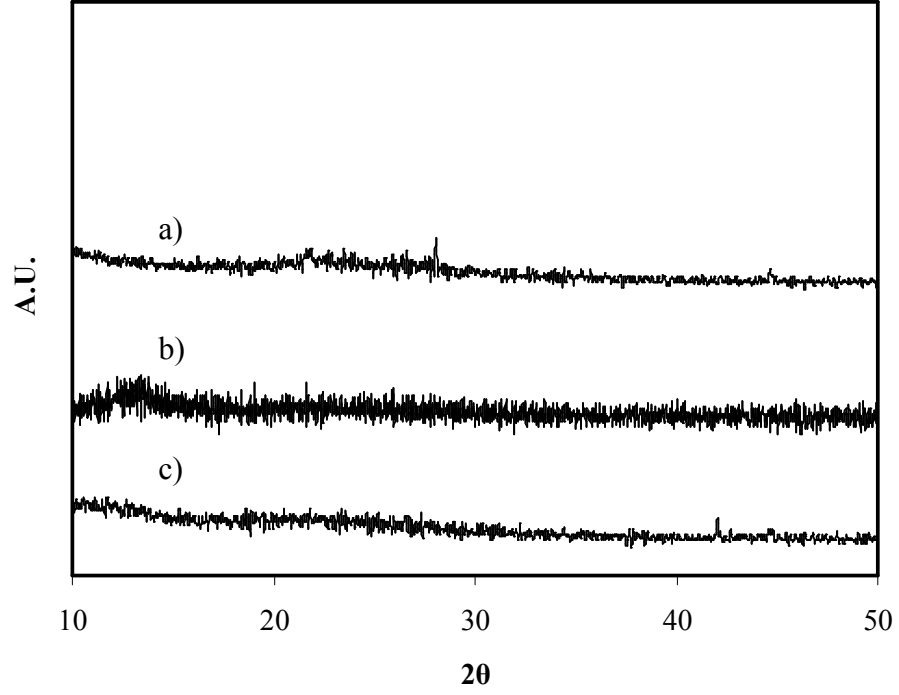
Çalışmada kullanılan tüm dolgu maddelerinin ve bunların pastalarının XRD spektrumları Şekil 3.4-3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4: a) Kolemanit, b) polidimetilsiloksan ve c) kolemanit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri



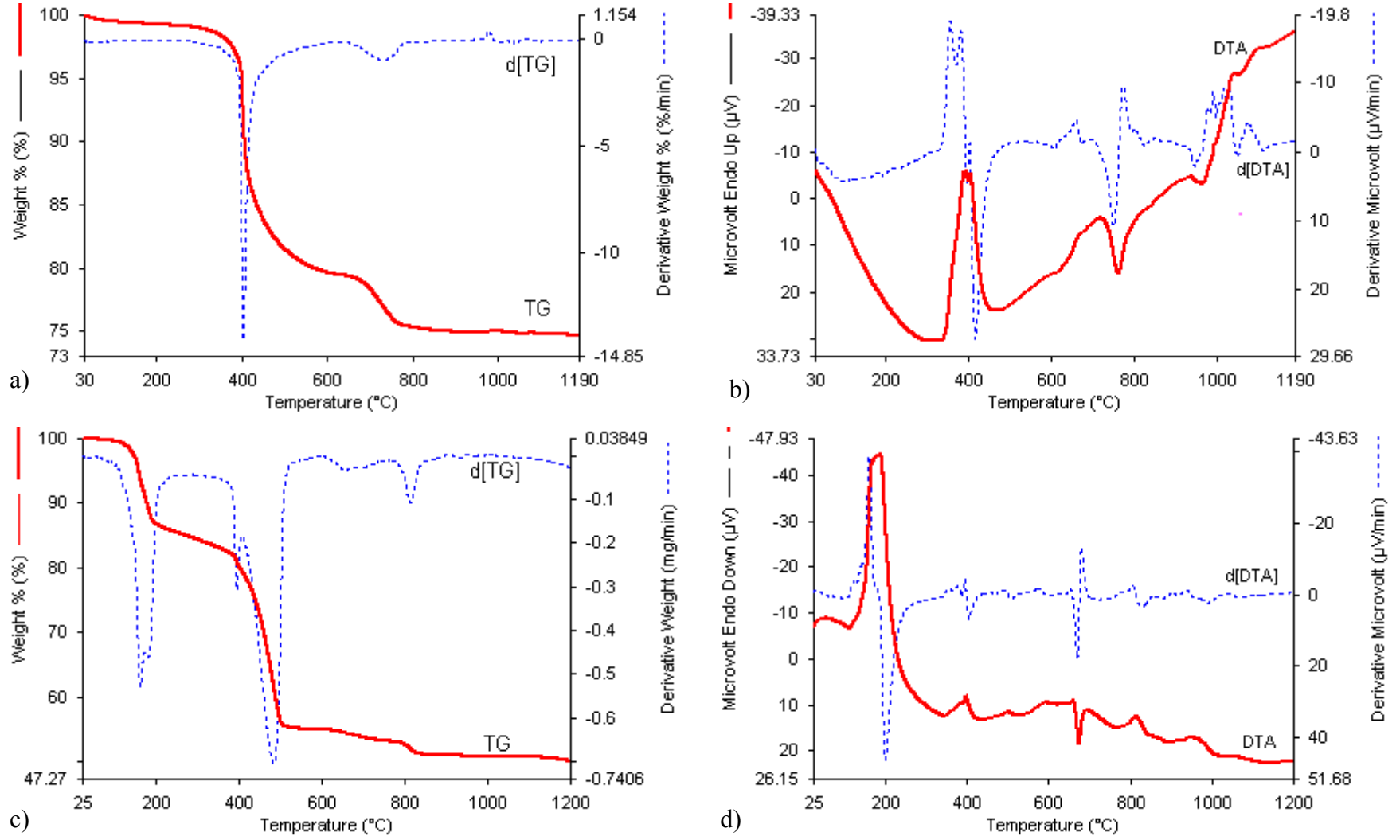
Şekil 3.5: a) Üleksit, b) polidimetilsiloksan ve c) üleksit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri



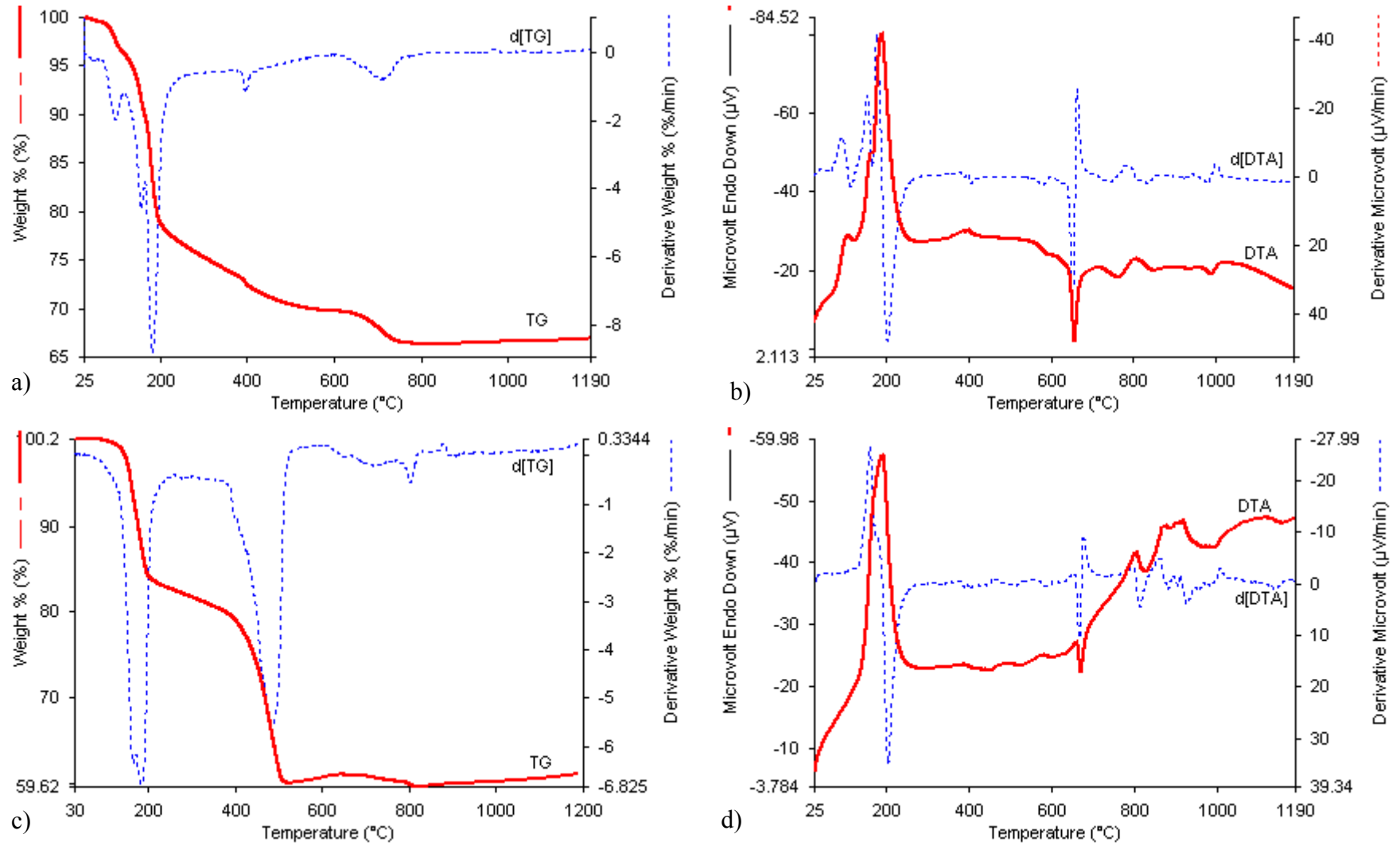
**Şekil 3.6:** a) Genleşmiş perlit, b) polidimetilsiloksan ve c) genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastalarının XRD analizleri

### 3.1.3 DTA/TG Analizi

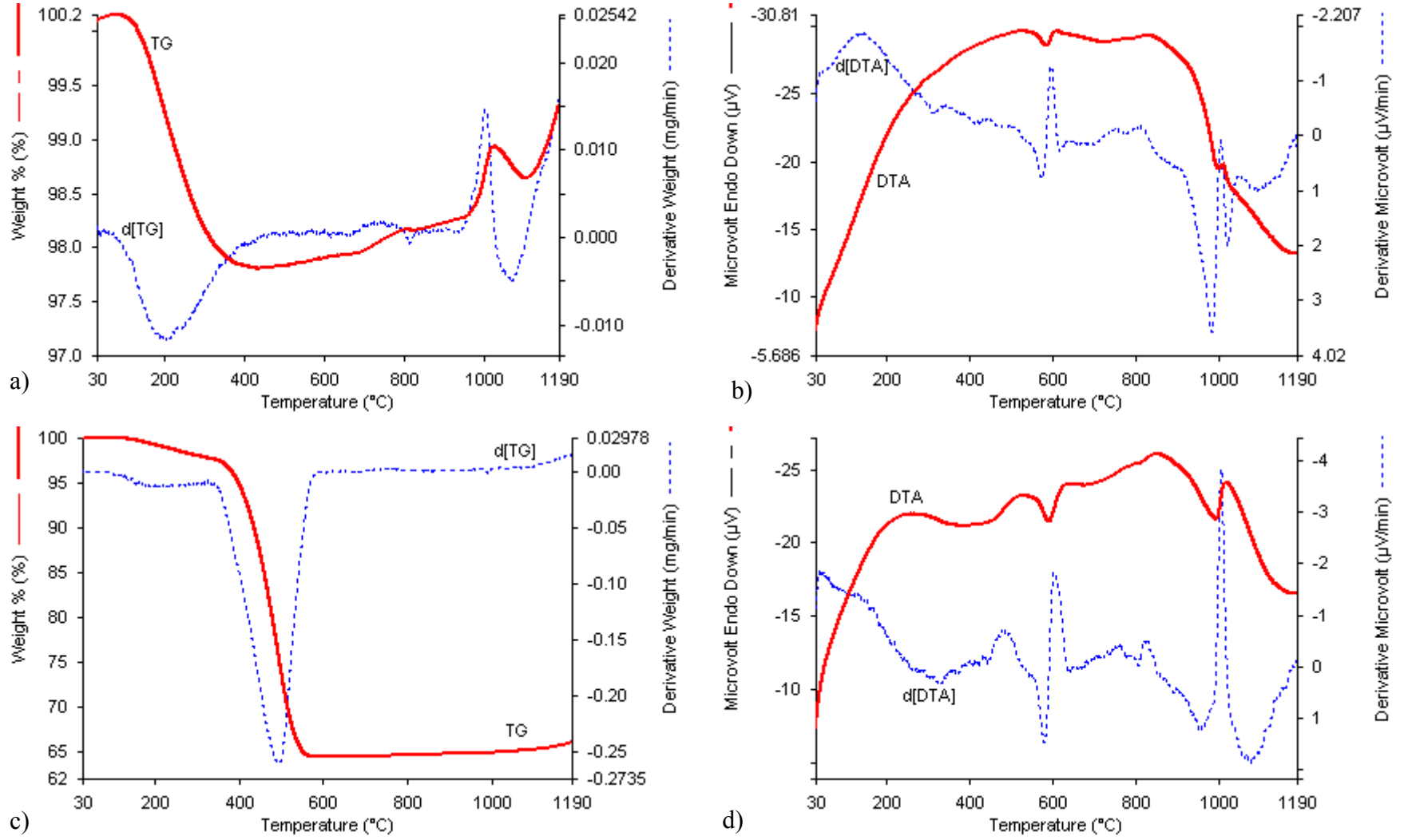
Çalışmada kullanılan dolgu maddelerinin ve pastaların TG/DTA termogramları azot atmosferinde 30–1200 °C sıcaklık aralığında ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar kolemanit ve pastası için Şekil 3.7’de, üleksit ve pastası için Şekil 3.8’de ve genleşmiş perlit ve pastası için Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.7: Kolanitin a) TG ve b) DTA; ve kolanitin-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları



Şekil 3.8: Üleksitin a) TG ve b) DTA; ve üleksit-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları



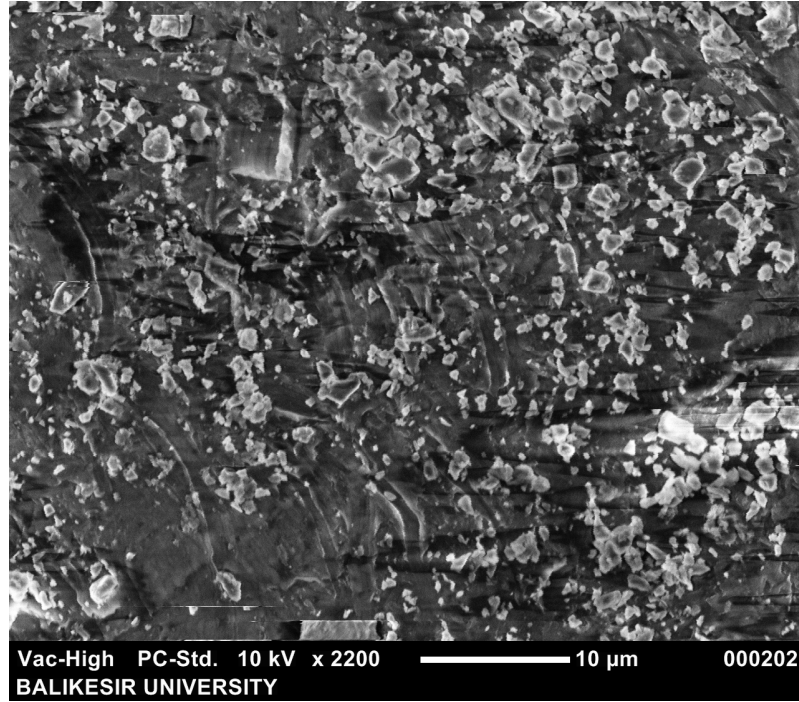
**Şekil 3.9:** Genleşmiş perlitin a) TG ve b) DTA; ve genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastasının c) TG ve d) DTA termogramları

### 3.1.4 BET Analizi

Genleşmiş perlit, kolemanit ve üleksit tozlarının yüzey alanı ölçümleri Quantachrome Surface Area and Pore Size Analyzer NOVA 2200e cihazı ile 200 °C'de 24 saat degas işleminden sonra yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar genleşmiş perlitin yüzey alanının 2,20 m<sup>2</sup>/g, kolemanitin 14,66 m<sup>2</sup>/g ve üleksitin ise 9,66 m<sup>2</sup>/g olduğunu göstermektedir.

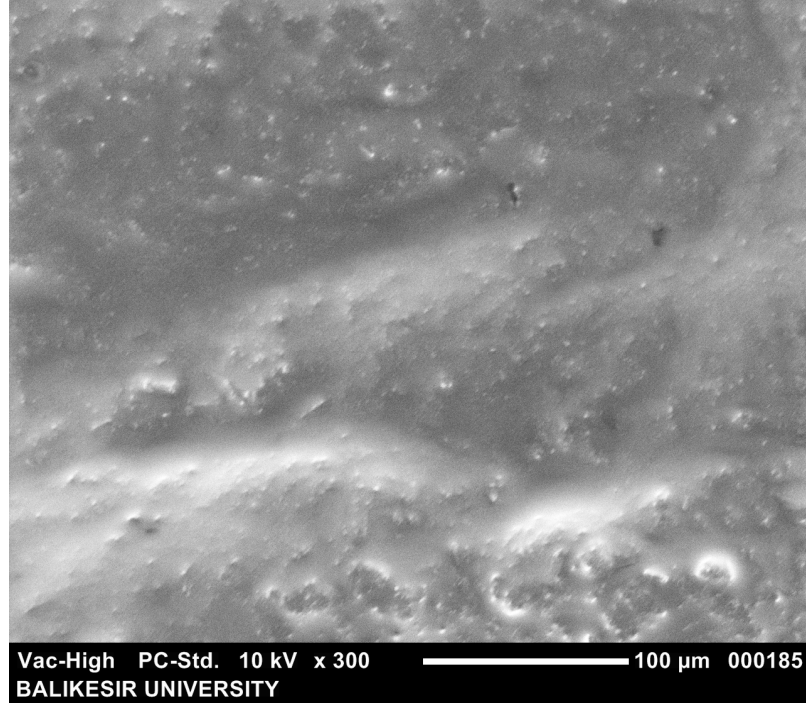
### 3.1.5 SEM Analizi

0-50 µm tane boyutu aralığında elenmiş kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit tozları ile bunlardan hazırlanmış polidimetilsiloksan pastalarının SEM fotoğrafları Şekil 3.10-3.15'de verilmektedir. Fotoğraflardan dolgu maddelerinin tanecik boyutu dağılımı arasındaki farklılıklar ve hazırlanmış pastalarda yüzeyin polidimetilsiloksan ile kaplanmış olduğu açıkça görülmektedir.

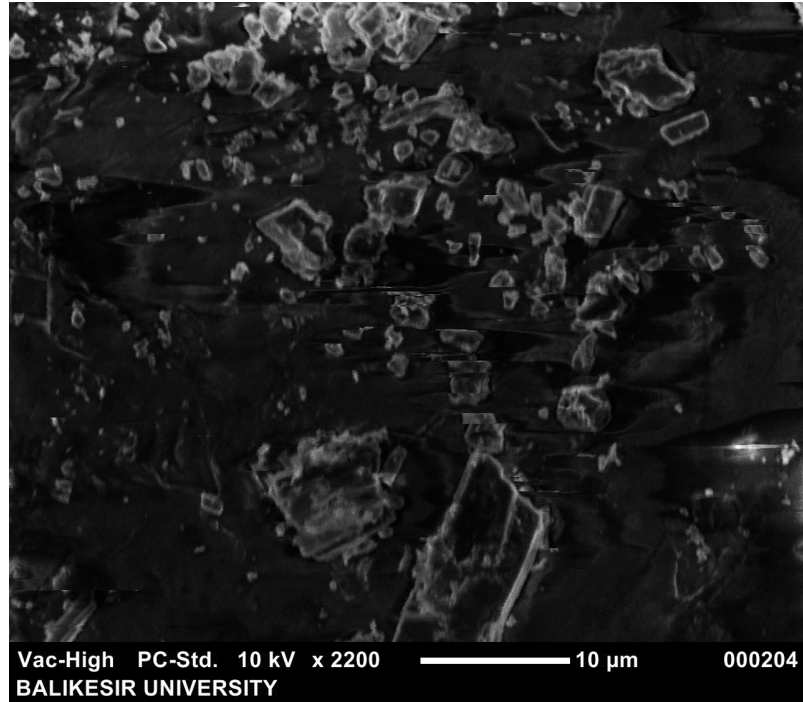


Şekil 3.10: Kolemanitin SEM fotoğrafı

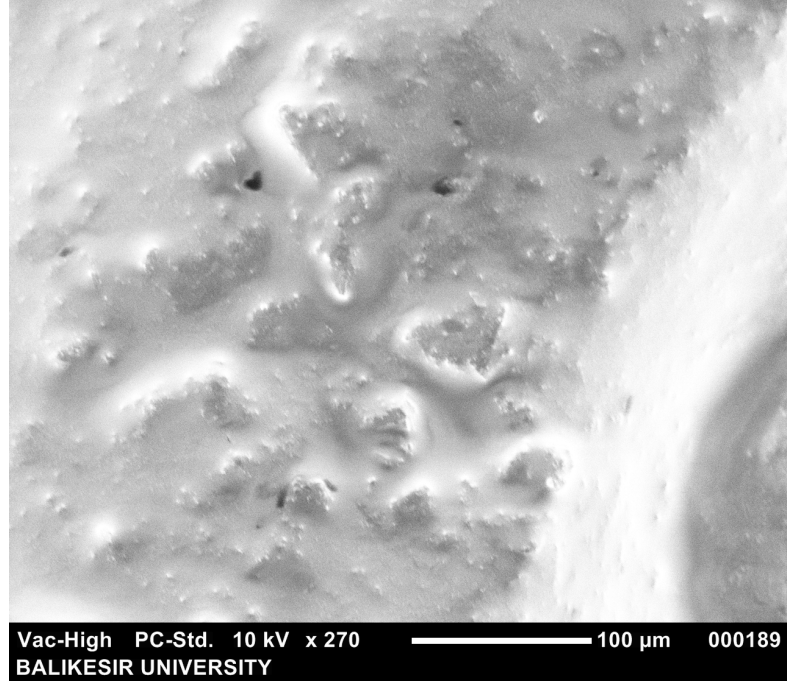




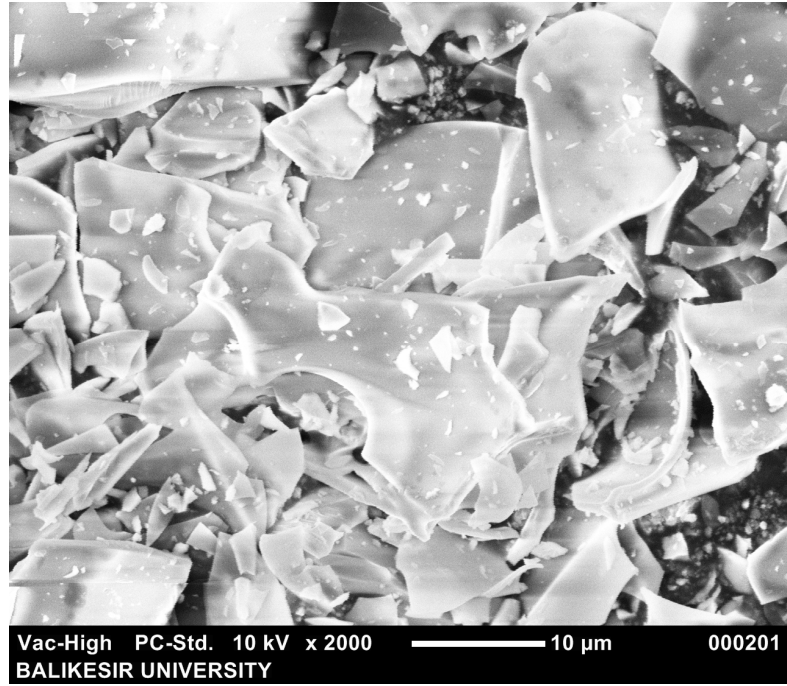
Şekil 3.11: Kolemanit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı



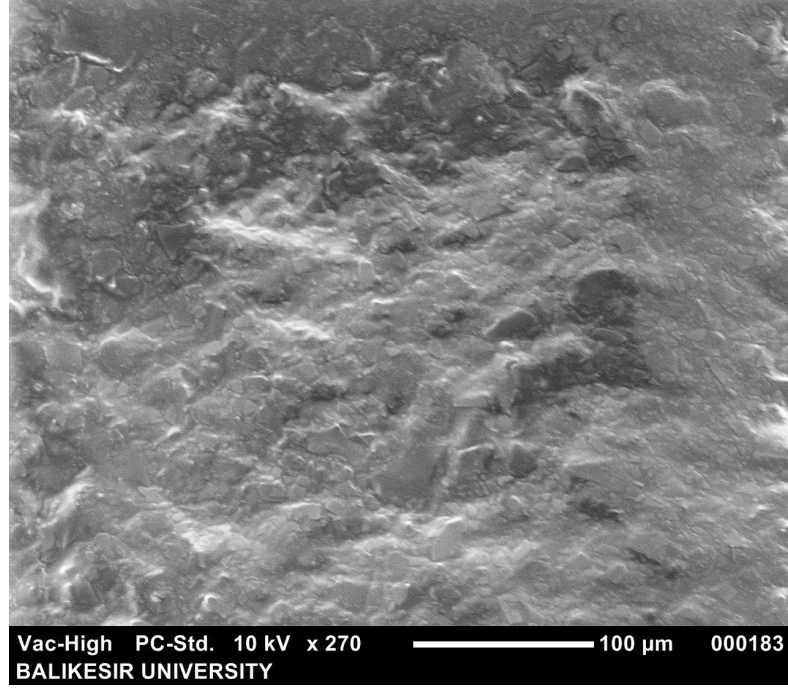
Şekil 3.12: Üleksitin SEM fotoğrafı



Şekil 3.13: Üleksit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı



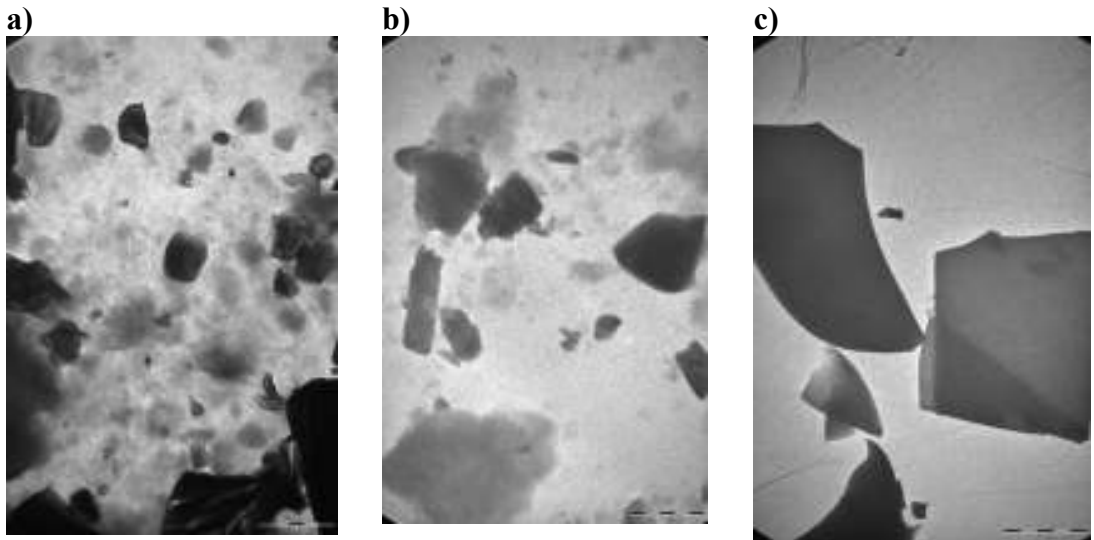
Şekil 3.14: Genleşmiş perlitin SEM fotoğrafı



Şekil 3.15: Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan pastasının SEM fotoğrafı

### 3.1.6 TEM Analizi

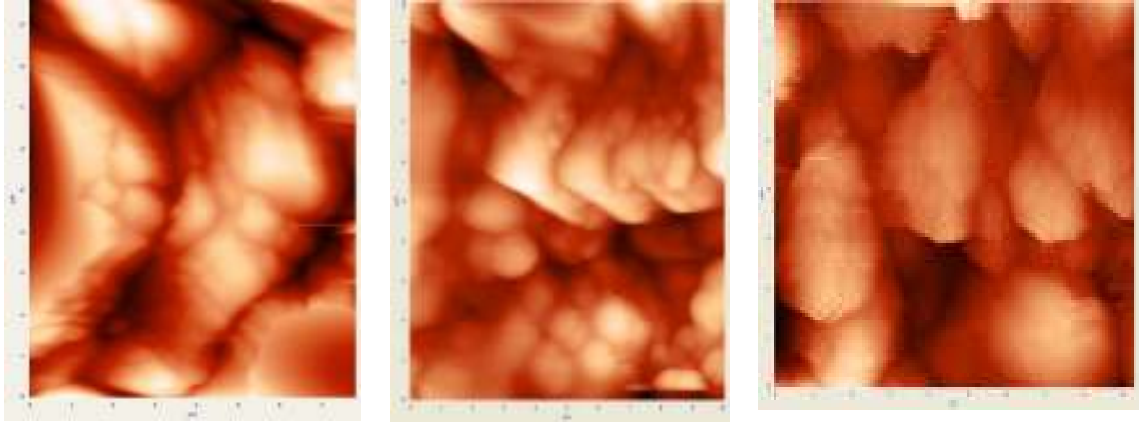
0-50  $\mu\text{m}$  tane boyutu aralığında elenmiş kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit dolgu maddelerinin TEM fotoğrafları Şekil 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3.16: a) Kolemanit, b) üleksit ve c) genleşmiş perlitin TEM fotoğrafları

### 3.1.7 AFM Analizi

0-50  $\mu\text{m}$  tane boyutu aralığında elenmiş kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit dolgu maddelerinin ve pastalarının AFM sonuçları Şekil 3.17-1.19'da verilmektedir.

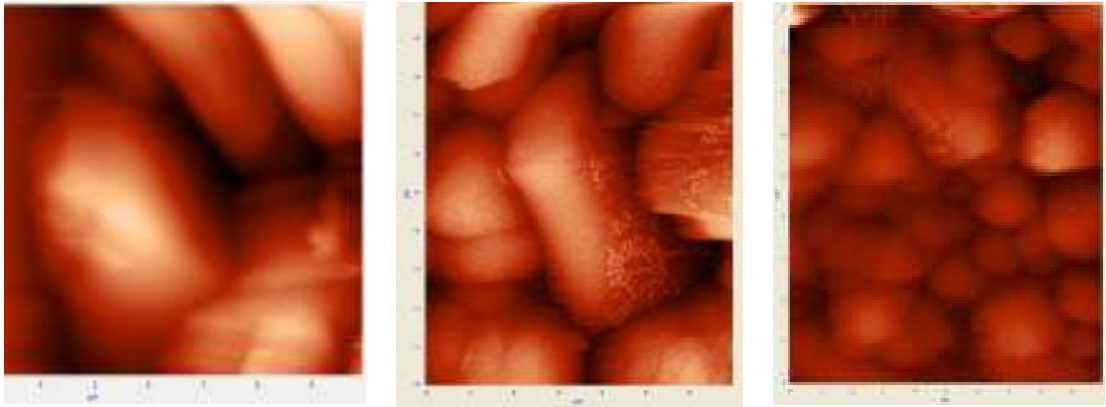


a)

b)

c)

**Şekil 3.17:** a) Kolemanitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-kolemanit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-kolemanit pastasının AFM fotoğrafları.

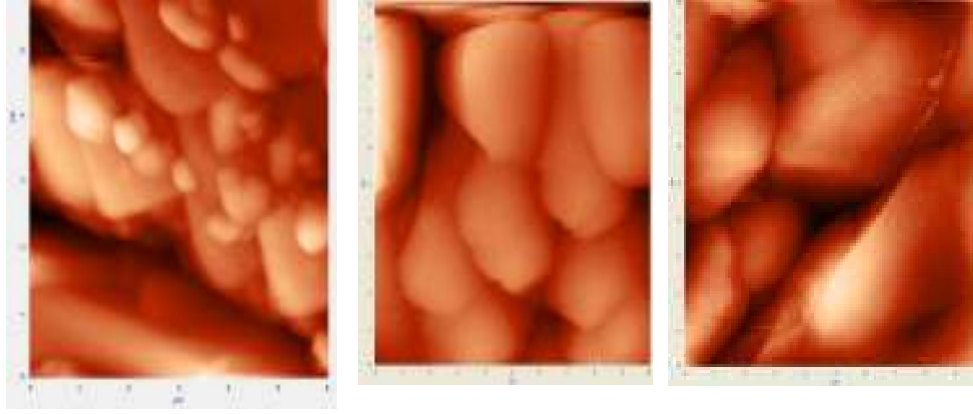


a)

b)

c)

**Şekil 3.18:** a) Genleşmiş perlitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-genleşmiş perlit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-genleşmiş perlit pastasının AFM fotoğrafları.



**Şekil 3.19:** a) Üleksitin, b) polidimetilsiloksan (AK 100 000)-üleksit pastasının, c) polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)-üleksit pastasının AFM fotoğrafları.

### 3.2 Pastaların Reolojik Özellikleri

#### 3.2.1 Kolemanit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.1’de verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.1:** Reolojik karakterizasyonu yapılan kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
70:30	0-50	30
75:25	0-50	30
80:20	0-50	30
75:25	50-100	30
75:25	100-200	30
75:25	0-50	50
75:25	0-50	75

L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

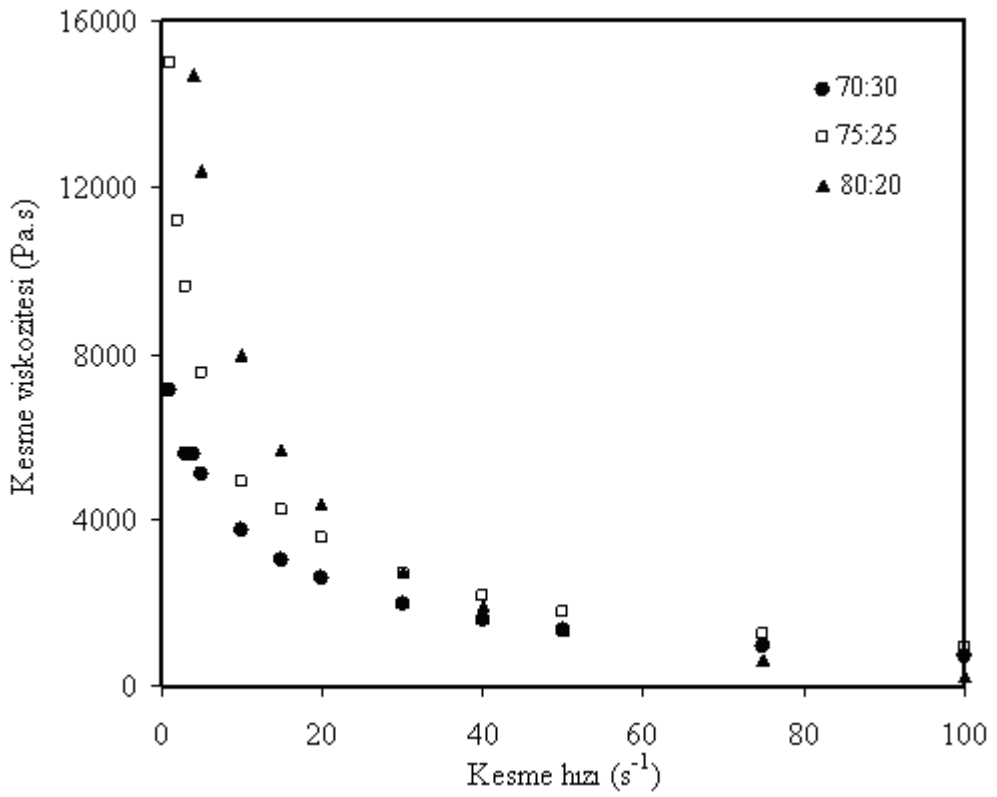
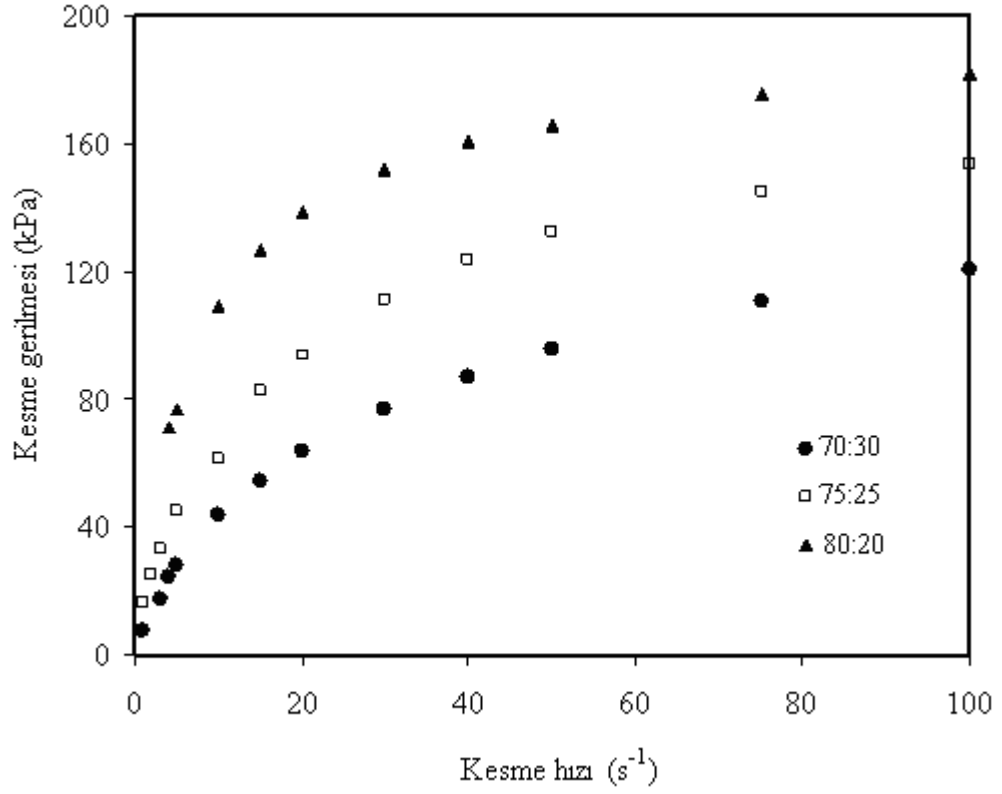
##### 3.2.1.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK1 000 000) ve kolemanit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 70:30, 75:25 ve 80:20 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ ’de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede

dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.2-3.5’de verilerek Şekil 3.20-3.23’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.2:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	32/2	1	7135	7,2
			3	5556	17,8
			4	5582	24,2
			5	5078	28,0
			10	3755	43,5
			15	3014	54,4
			20	2592	64,0
			30	1976	77,1
			40	1604	87,0
			50	1344	95,4
			75	960	110,4
			100	724	120,8
75:25	30	32/2	1	15003	16,3
			2	11202	25,2
			3	9604	33,1
			5	7530	44,7
			10	4890	61,0
			15	4248	82,3
			20	3553	93,8
			30	2691	111,5
			40	2158	123,5
			50	1787	132,8
			75	1229	145,3
			100	917	154,0
80:20	30	32/2	4	14703	71,2
			5	12403	77,1
			10	7959	109,5
			15	5669	127,1
			20	4349	139,0
			30	2756	151,7
			40	1908	160,5
			50	1356	165,6
			75	639	175,7
			100	257	181,9

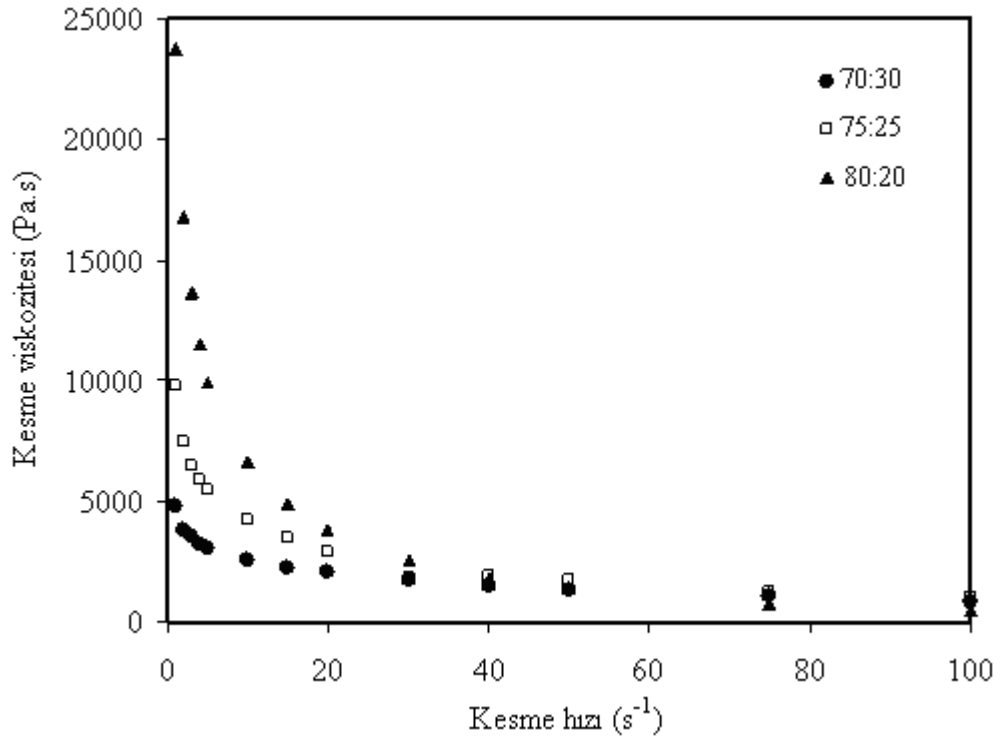
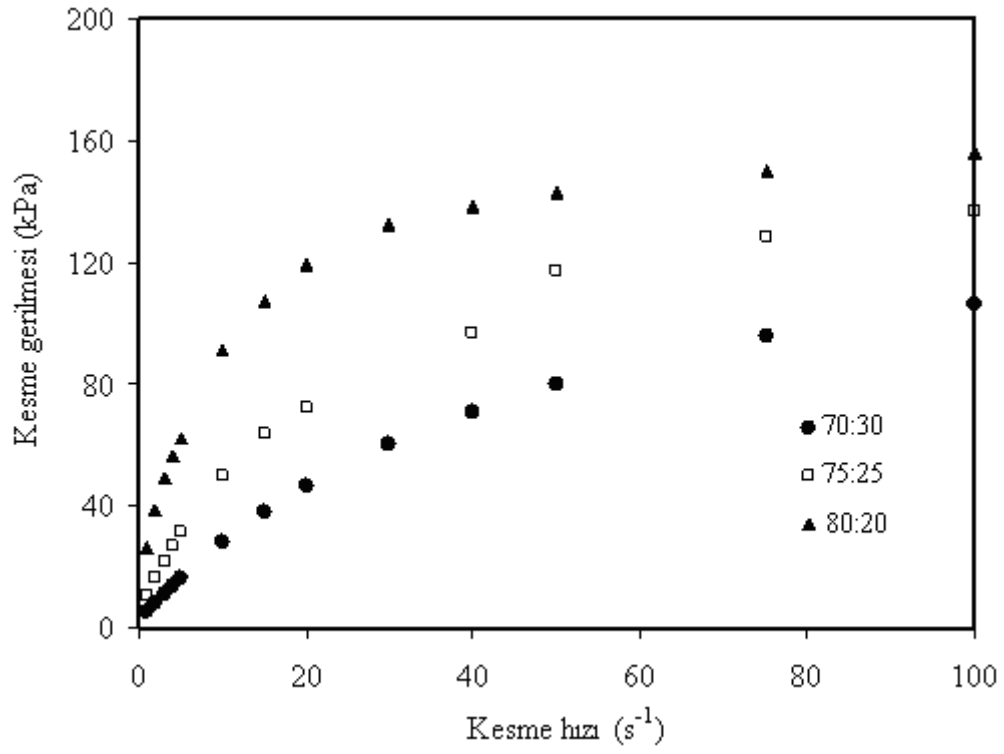


**Şekil 3.20:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.3:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	32/1	1	4768	4,9
			2	3846	8,1
			3	3523	11,3
			4	3269	14,1
			5	3036	16,4
			10	2547	28,3
			15	2243	38,0
			20	2035	46,5
			30	1723	60,2
			40	1502	70,9
			50	1336	79,8
			75	1048	96,1
		100	855	106,4	
75:25	30	32/1	1	9769	10,5
			2	7434	16,4
			3	6458	21,7
			4	5919	26,9
			5	5504	31,6
			10	4214	50,1
			15	3477	63,5
			20	2909	72,1
			30	1793	68,6
			40	1866	97,4
			50	1765	117,3
			75	1240	128,4
		100	963	137,1	
80:20	30	32/1	1	23756	26,2
			2	16838	39,0
			3	13645	48,9
			4	11506	56,5
			5	9926	62,4
			10	6640	91,1
			15	4873	107,4
			20	3830	119,3
			30	2552	132,3
			40	1824	138,6
			50	1377	143,2
			75	767	150,3
		100	465	155,9	

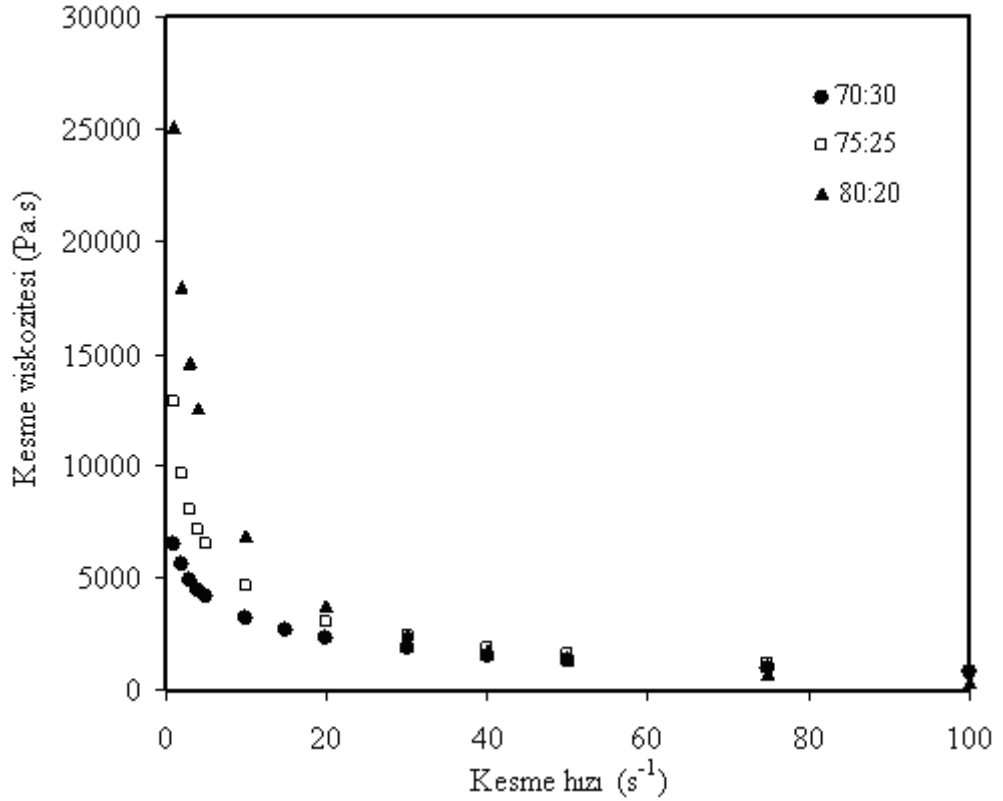
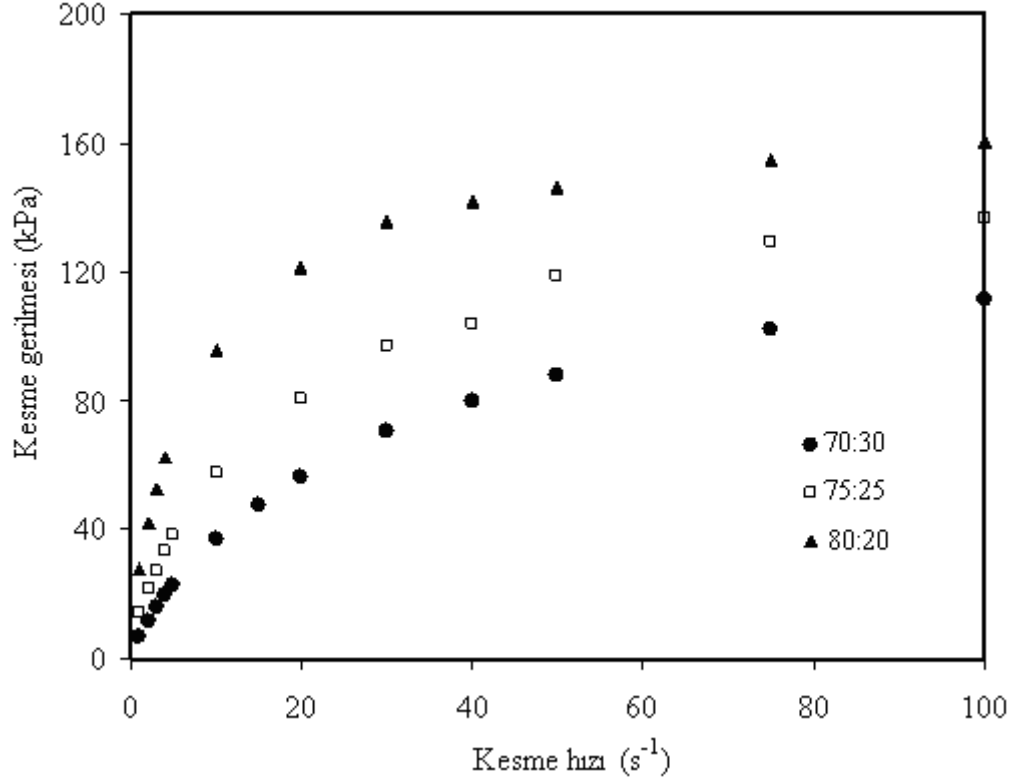




**Şekil 3.21:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.4:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

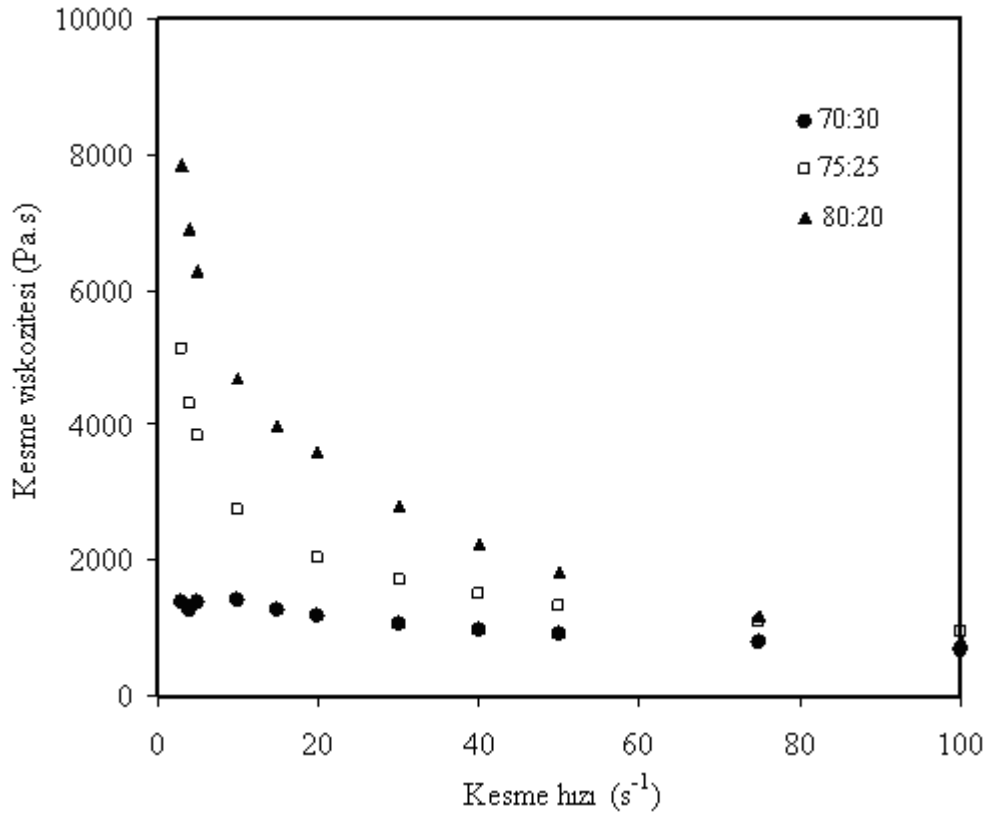
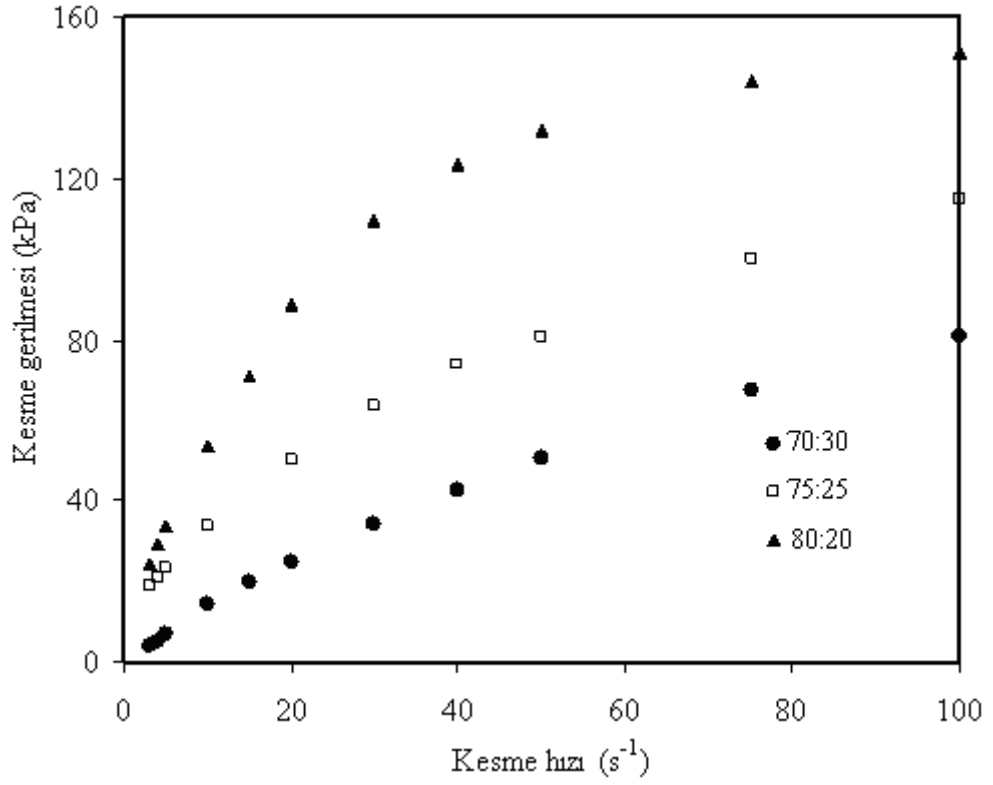
Katı-sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	16/1	1	6495	6,7
			2	5594	11,9
			3	4874	15,8
			4	4482	19,6
			5	4170	23,1
			10	3200	36,9
			15	2691	47,8
			20	2333	56,6
			30	1867	70,4
			40	1547	80,0
			50	1325	87,7
			75	976	102,0
100	767	111,4			
75:25	30	16/1	1	12831	14,0
			2	9647	21,7
			3	7999	27,5
			4	7134	33,2
			5	6458	38,1
			10	4661	57,7
			20	3055	80,2
			30	2372	97,4
			40	1843	104,3
			50	1632	118,9
			75	1115	129,4
			100	842	136,9
80:20	30	16/1	1	25134	27,8
			2	17963	41,8
			3	14577	52,7
			4	12570	62,3
			10	6876	96,1
			20	3778	121,6
			30	2492	135,5
			40	1750	141,7
			50	1292	146,0
			75	683	154,5
			100	375	160,2



**Şekil 3.22:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.5:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	8/0,5	3	1374	4,0
			4	1255	4,9
			5	1372	6,8
			10	1409	14,3
			15	1267	19,6
			20	1185	24,8
			30	1066	34,2
			40	978	42,6
			50	915	50,6
			75	789	67,4
75:25	30	8/0,5	100	689	80,5
			3	5137	18,8
			4	4314	21,0
			5	3844	23,4
			10	2750	33,6
			20	2050	50,1
			30	1721	63,2
			40	1509	73,9
			50	1315	80,5
			75	1088	100,0
80:20	30	8/0,5	100	936	114,8
			3	7858	24,5
			4	6902	29,2
			5	6292	33,8
			10	4695	53,4
			15	3981	70,9
			20	3607	88,7
			30	2797	109,7
			40	2235	123,4
			50	1815	131,8
75	1177	144,2			
			100	823	150,9



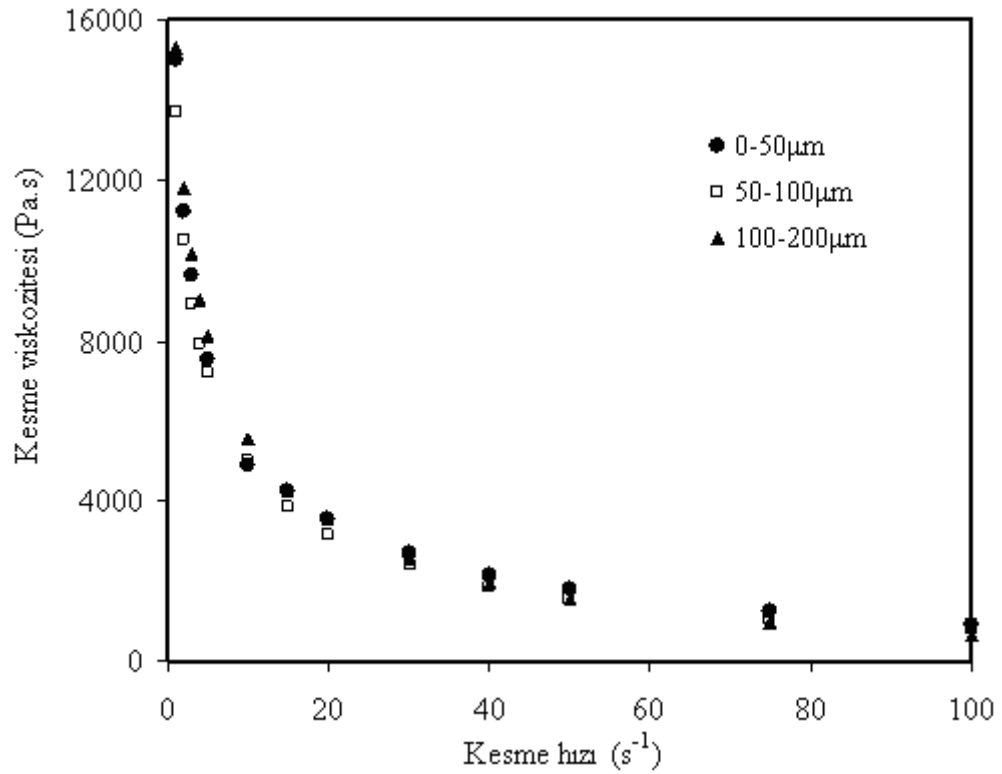
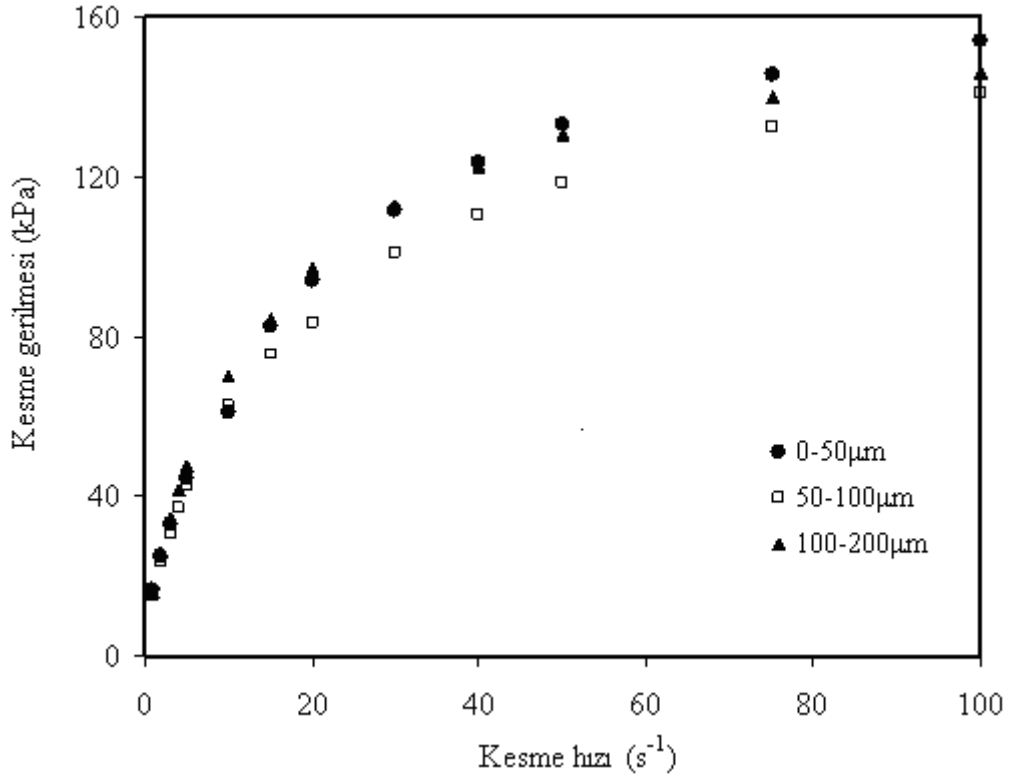
**Şekil 3.23:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### **3.2.1.2 Tane Boyutunun Etkisi**

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 75:25 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.6-3.9'da verilerek Şekil 3.24-3.27'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.6:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	0–50	30	32/2	1	15003	16,3
				2	11202	25,2
				3	9604	33,1
				5	7530	44,7
				10	4890	61,0
				15	4248	82,3
				20	3553	93,8
				30	2691	111,5
				40	2158	123,5
				50	1787	132,8
				75	1229	145,3
100	917	154,0				
75:25	50–100	30	32/2	1	13713	14,8
				2	10515	23,5
				3	8934	30,6
				4	7915	36,9
				5	7190	42,5
				10	4986	62,5
				15	3850	75,4
				20	3118	83,6
				30	2376	100,9
				40	1862	110,3
				50	1530	118,7
75	1054	132,7				
100	774	141,2				
75:25	100–200	30	32/2	1	15317	16,2
				2	11829	26,0
				3	10182	34,5
				4	9015	41,7
				5	8100	47,7
				10	5542	69,9
				15	4247	84,5
				20	3519	96,9
				30	2526	112,4
				40	1938	122,6
				50	1542	130,4
75	970	140,1				
100	658	146,2				

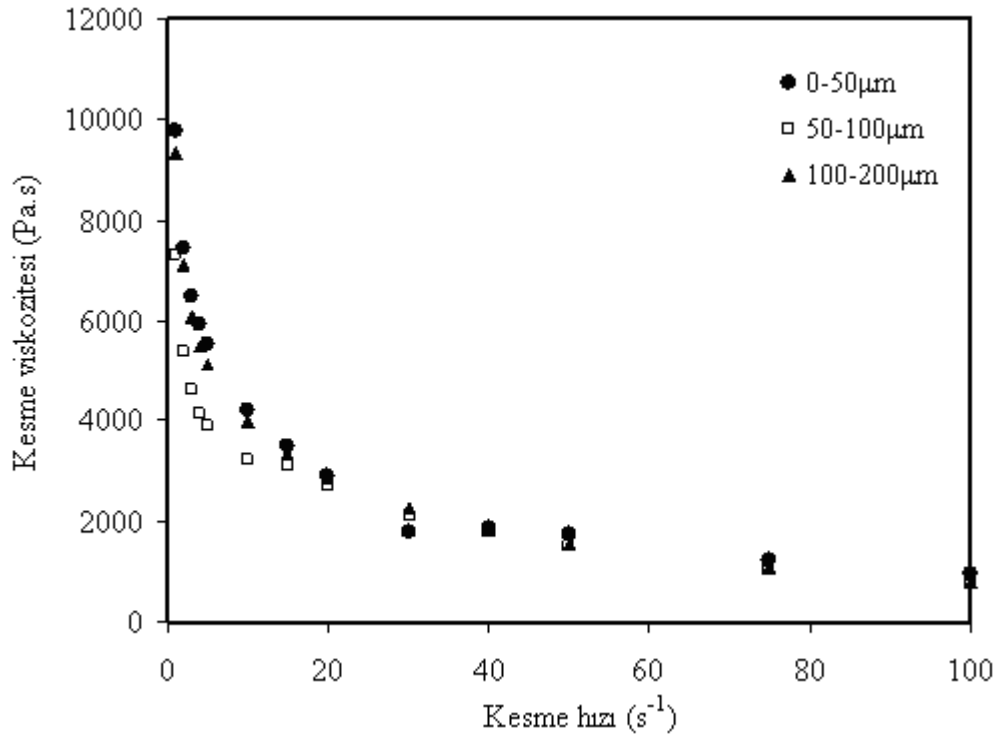
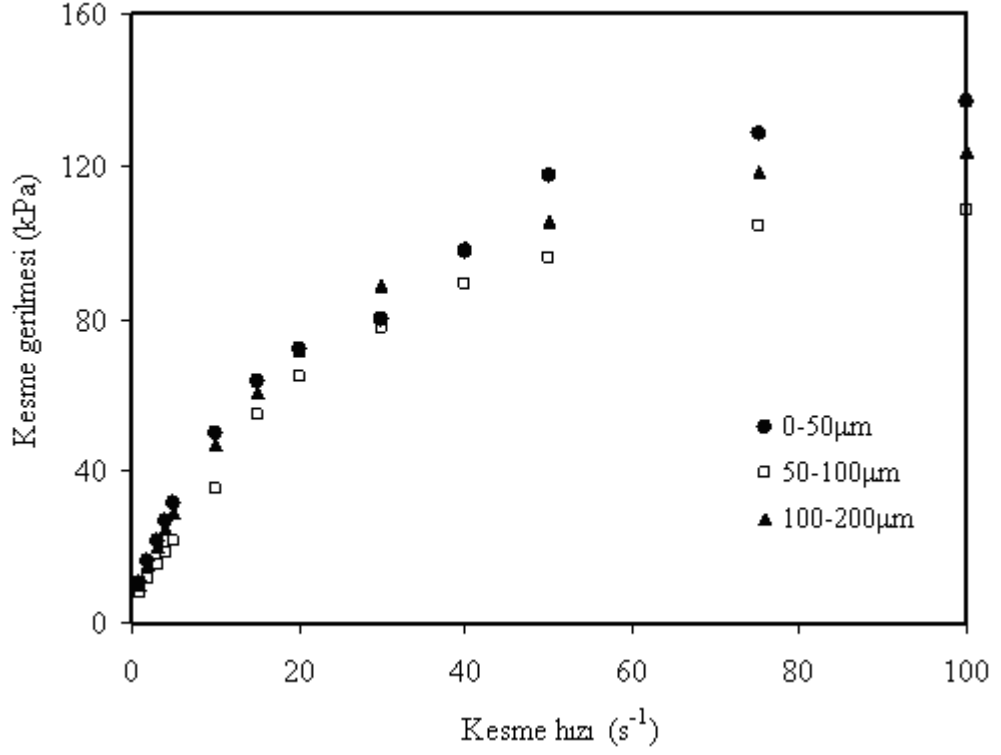


**Şekil 3.24:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.7:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

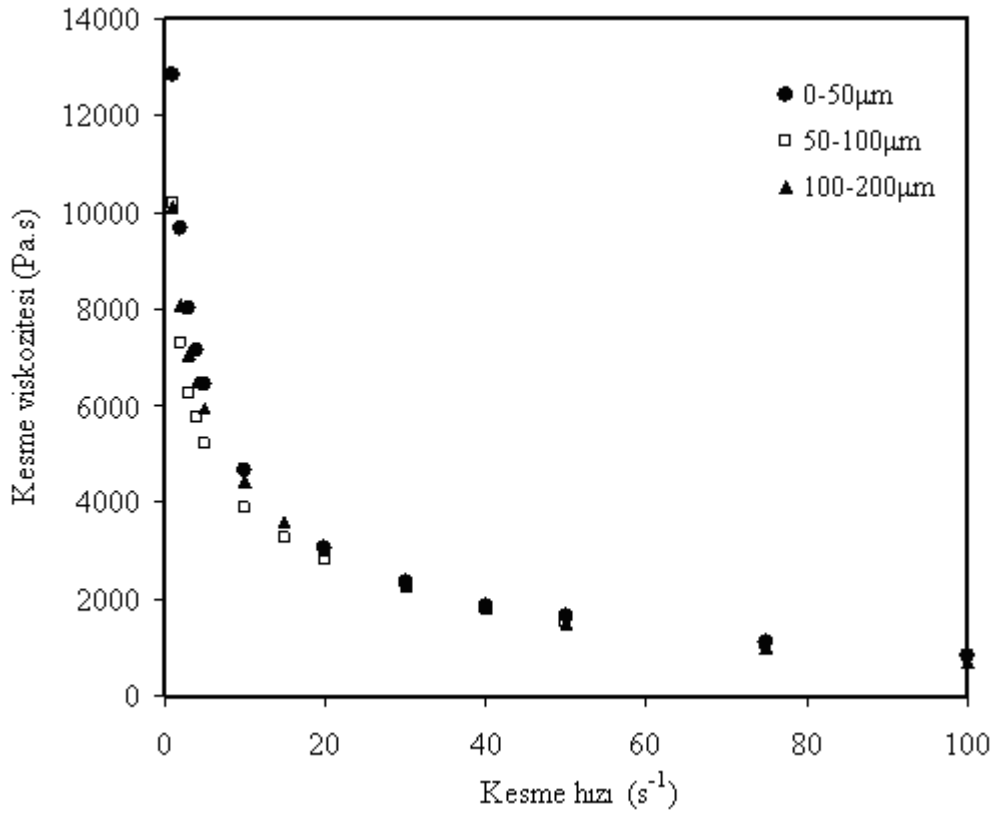
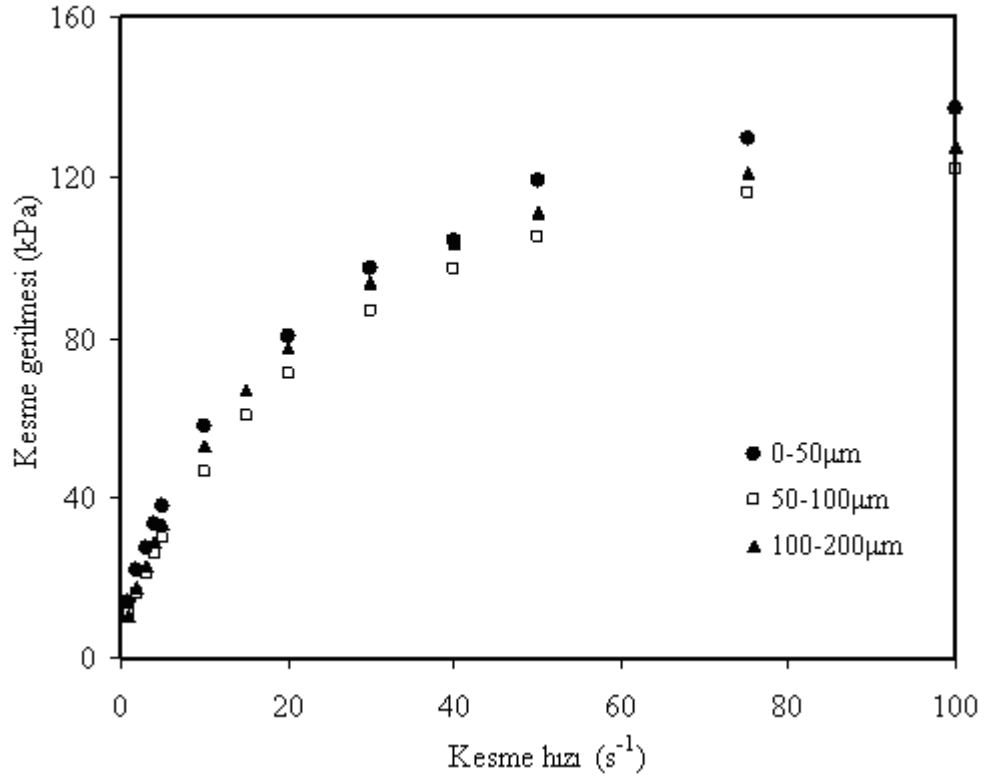
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	0–50	30	32/1	1	9769	10,5
				2	7434	16,4
				3	6458	21,7
				4	5919	26,9
				5	5504	31,6
				10	4214	50,1
				15	3477	63,5
				20	2909	72,1
				30	1793	68,6
				40	1866	97,4
				50	1765	117,3
			75	1240	128,4	
			100	963	137,1	
75:25	50–100	30	32/1	1	7309	7,7
				2	5373	11,5
				3	4606	15,0
				4	4151	18,3
				5	3884	21,6
				10	3236	35,2
				15	3099	54,6
				20	2700	64,5
				30	2113	77,7
				40	1782	89,2
				50	1513	96,3
			75	1056	104,3	
			100	803	108,7	
75:25	100–200	30	32/1	1	9336	9,8
				2	7112	15,3
				3	6088	20,0
				4	5496	24,4
				5	5118	28,8
				10	3969	46,7
				15	3323	60,5
				20	2872	71,4
				30	2283	88,5
				40	1844	98,4
				50	1535	105,3
			75	1087	118,4	
			100	811	123,6	



**Şekil 3.25:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.8:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

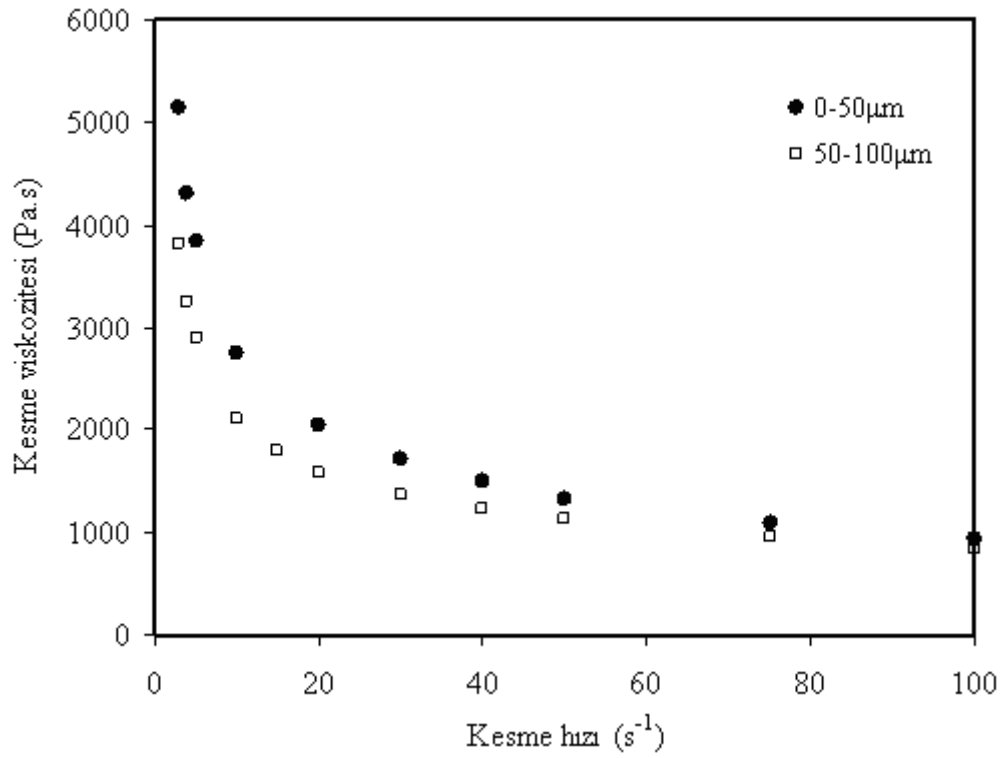
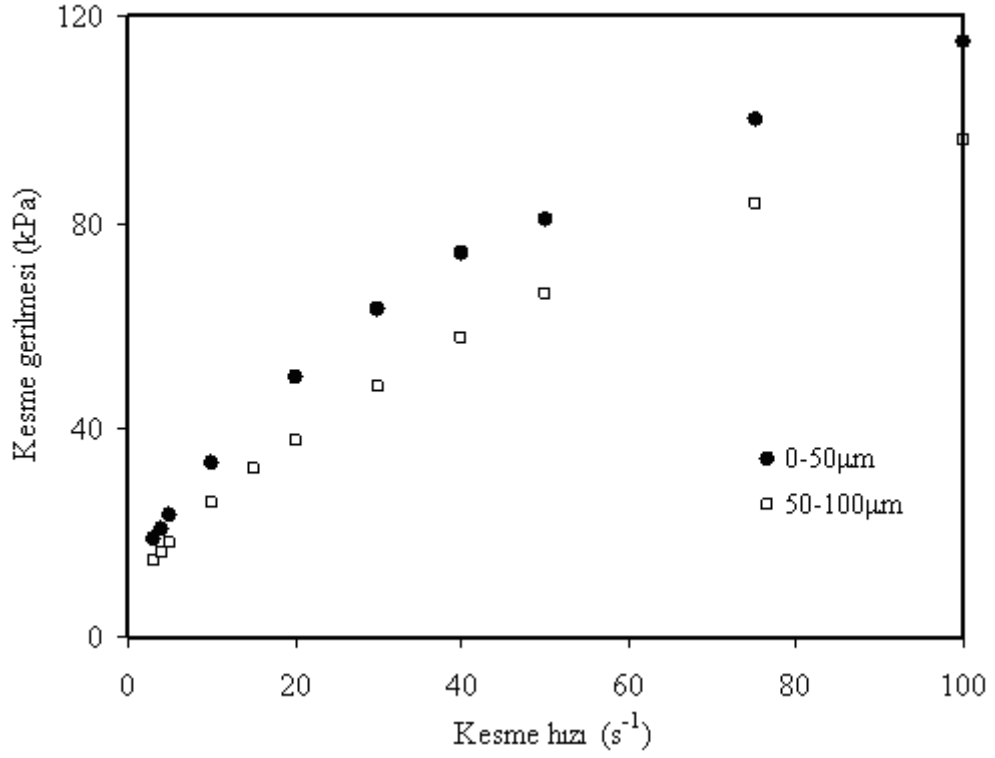
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	0-50	30	16/1	1	12831	14,0
				2	9647	21,7
				3	7999	27,5
				4	7134	33,2
				5	6458	38,1
				10	4661	57,7
				20	3055	80,2
				30	2372	97,4
				40	1843	104,3
				50	1632	118,9
				75	1115	129,4
100	842	136,9				
75:25	50-100	30	16/1	1	10193	10,9
				2	7330	16,1
				3	6231	20,9
				4	5722	25,9
				5	5217	29,9
				10	3881	46,4
				15	3273	60,4
				20	2812	70,8
				30	2212	86,6
				40	1815	97,4
				50	1529	105,1
75	1069	115,9				
100	812	122,2				
75:25	100-200	30	16/1	1	10111	10,4
				2	8091	17,2
				3	7048	23,0
				4	6476	28,7
				5	5963	33,6
				10	4427	52,7
				15	3579	66,7
				20	3015	77,4
				30	2303	93,9
				40	1821	103,9
				50	1494	111,3
75	983	121,1				
100	712	127,8				



**Şekil 3.26:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.9:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)= 8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	0-50	30	8/0,5	3	5137	18,8
				4	4314	21,0
				5	3844	23,4
				10	2750	33,6
				20	2050	50,1
				30	1721	63,2
				40	1509	73,9
				50	1315	80,5
				75	1088	100,0
				100	936	114,8
75:25	50-100	30	8/0,5	3	3822	14,5
				4	3247	16,3
				5	2907	18,1
				10	2113	25,8
				15	1790	32,4
				20	1587	38,0
				30	1356	48,2
				40	1226	57,7
				50	1133	66,3
				75	964	83,8
100	832	95,9				



**Şekil 3.27:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

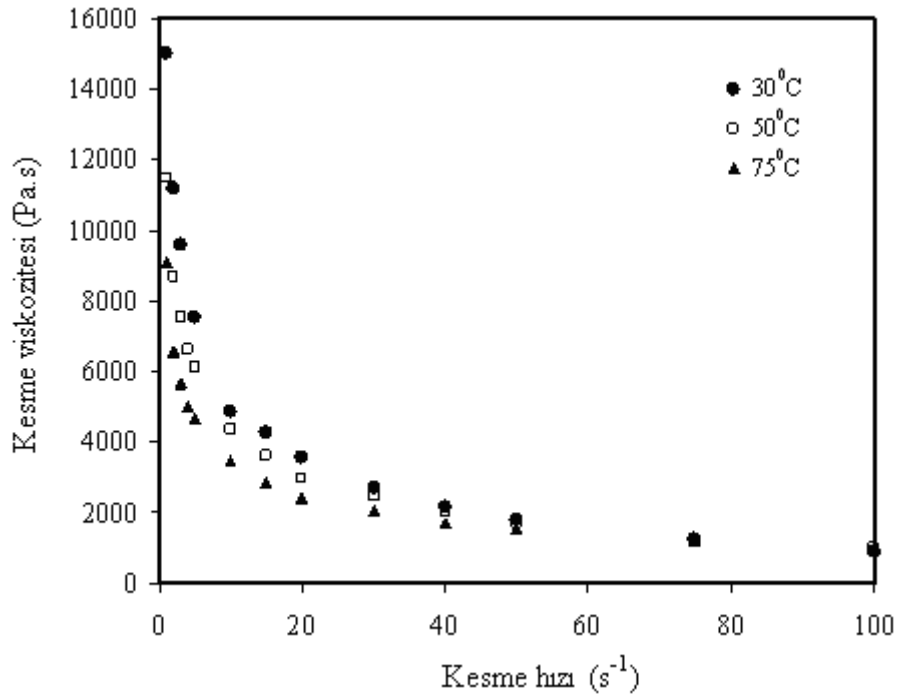
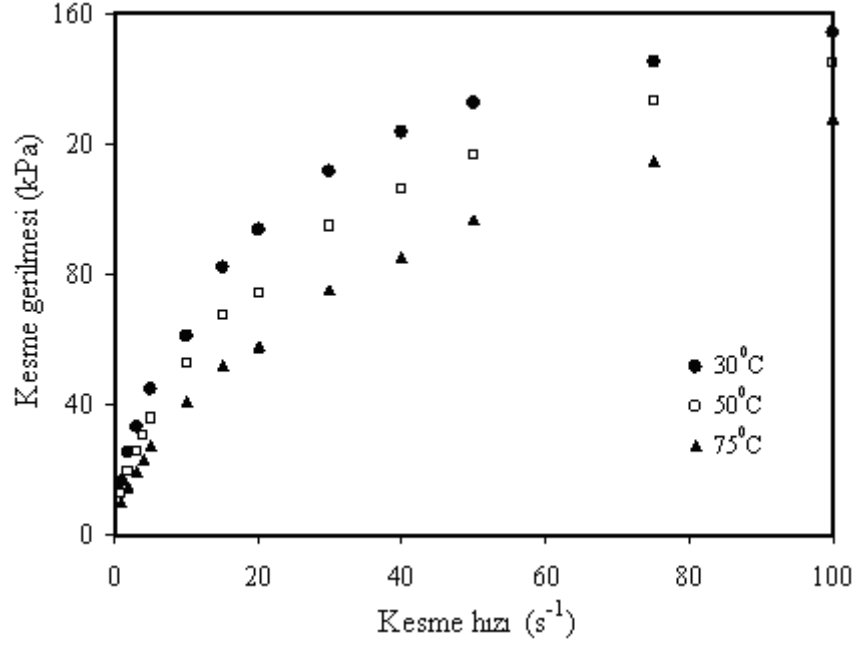
### 3.2.1.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanit (0–50 µm) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 75:25 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.10-3.13’de verilerek, Şekil 3.28-3.31’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.10:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	32/2	1	15003	16,3
			2	11202	25,2
			3	9604	33,1
			5	7530	44,7
			10	4890	61,0
			15	4248	82,3
			20	3553	93,8
			30	2691	111,5
			40	2158	123,5
			50	1787	132,8
			75	1229	145,3
100	917	154,0			
75:25	50	32/2	1	11467	12,5
			2	8666	19,4
			3	7511	25,6
			4	6642	30,6
			5	6118	35,6
			10	4365	52,7
			15	3625	67,4
			20	2951	74,2
			30	2437	94,6
			40	2003	106,4
			50	1719	117,0
75	1258	133,1			
100	987	144,6			
75:25	75	32/2	1	9069	10,2
			2	6563	15,0
			3	5665	19,6
			4	5036	23,4
			5	4666	27,3
			10	3466	41,3
			15	2879	52,2
			20	2392	58,1
			30	2037	75,3
			40	1716	85,5
			50	1532	96,8
75	1200	114,9			
100	984	128,1			

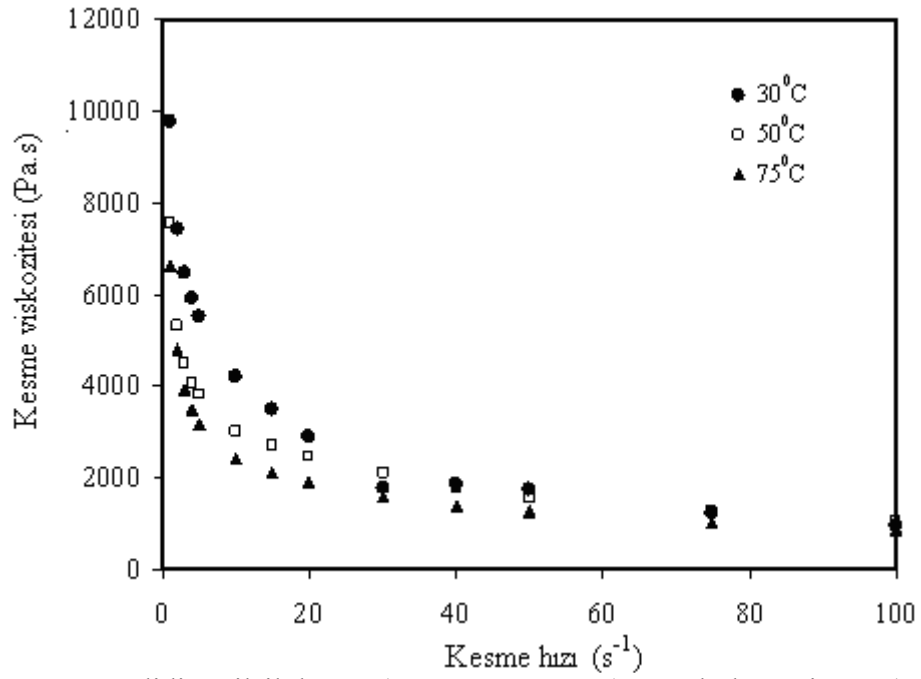
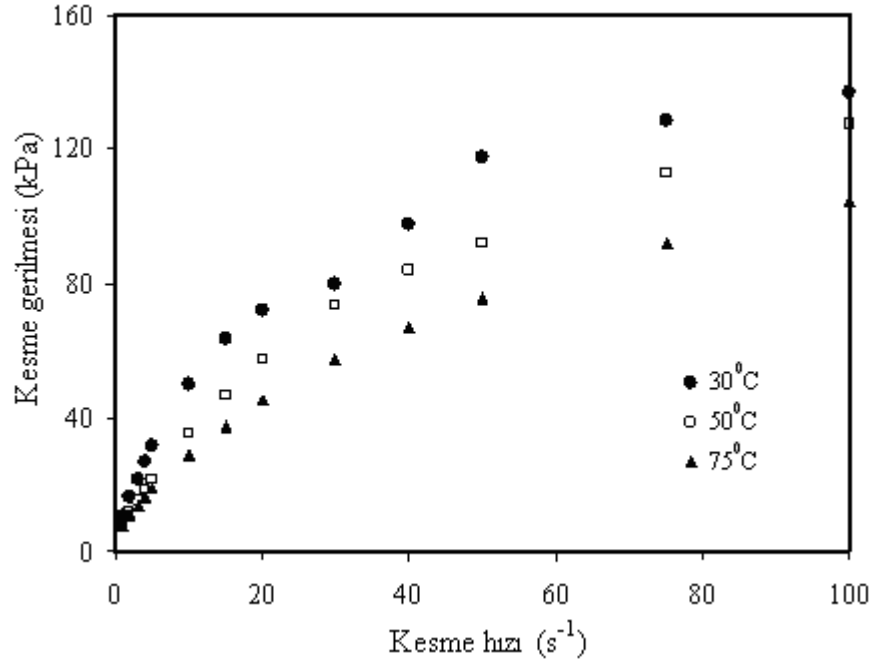




**Şekil 3.28:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo3.11:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

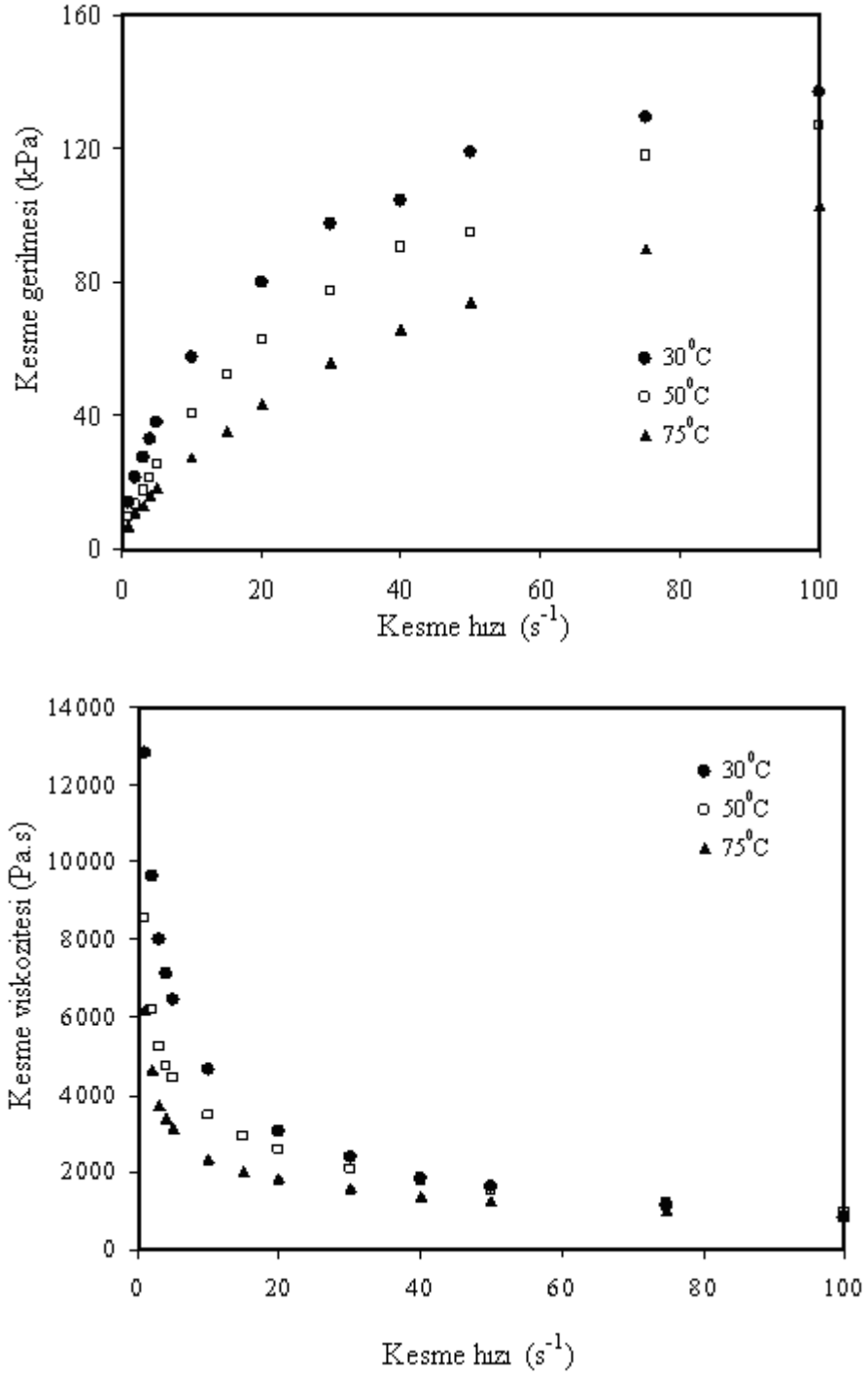
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	32/1	1	9769	10,5
			2	7434	16,4
			3	6458	21,7
			4	5919	26,9
			5	5504	31,6
			10	4214	50,1
			15	3477	63,5
			20	2909	72,1
			30	1793	68,6
			40	1866	97,4
			50	1765	117,3
			75	1240	128,4
100	963	137,1			
75:25	50	32/1	1	7562	8,4
			2	5324	12,0
			3	4474	15,2
			4	4041	18,4
			5	3815	21,8
			10	3035	35,0
			15	2692	46,9
			20	2448	57,1
			30	2087	73,6
			40	1775	83,9
			50	1551	92,0
			75	1259	112,8
100	1061	127,4			
75:25	75	32/1	1	6623	7,7
			2	4790	11,2
			3	3953	13,9
			4	3486	16,3
			5	3199	18,8
			10	2432	28,6
			15	2095	37,1
			20	1909	45,1
			30	1606	57,1
			40	1401	66,4
			50	1270	75,4
			75	1030	91,9
100	874	104,2			



**Şekil 3.29:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.12:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

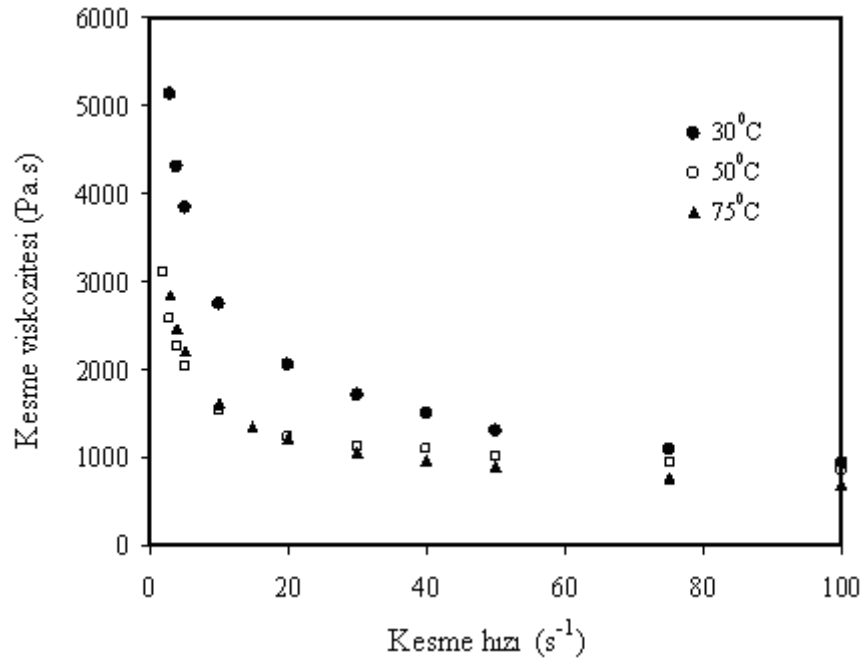
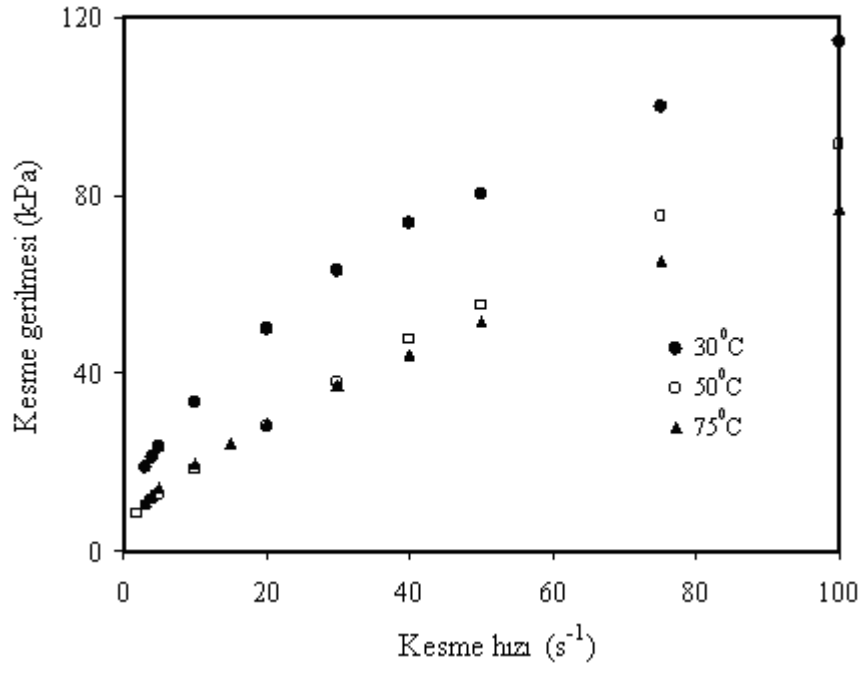
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	16/1	1	12831	14,0
			2	9647	21,7
			3	7999	27,5
			4	7134	33,2
			5	6458	38,1
			10	4661	57,7
			20	3055	80,2
			30	2372	97,4
			40	1843	104,3
			50	1632	118,9
			75	1115	129,4
100	842	136,9			
75:25	50	16/1	1	8544	9,3
			2	6193	13,7
			3	5254	17,7
			4	4745	21,5
			5	4458	25,4
			10	3462	40,5
			15	2955	52,6
			20	2614	62,8
			30	2111	77,5
			40	1823	90,5
			50	1517	95,2
75	1224	117,8			
100	974	127,0			
75:25	75	16/1	1	6187	7,1
			2	4664	10,8
			3	3740	13,0
			4	3386	15,8
			5	3137	18,3
			10	2359	27,6
			15	2026	35,6
			20	1849	43,4
			30	1580	55,8
			40	1397	65,9
			50	1253	74,0
75	1016	90,2			
100	869	103,2			



**Şekil 3.30:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.13:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	8/0,5	3	5137	18,8
			4	4314	21,0
			5	3844	23,4
			10	2750	33,6
			20	2050	50,1
			30	1721	63,2
			40	1509	73,9
			50	1315	80,5
			75	1088	100,0
			100	936	114,8
75:25	50	8/0,5	2	3114	8,6
			3	2569	10,2
			4	2277	11,7
			5	2039	12,8
			10	1547	18,3
			20	1231	27,9
			30	1143	38,0
			40	1093	47,8
			50	1027	55,5
			75	946	75,4
100	873	91,7			
75:25	75	8/0,5	3	2847	11,2
			4	2462	12,7
			5	2215	14,1
			10	1616	19,8
			15	1342	24,3
			20	1208	28,7
			30	1062	37,3
			40	958	44,4
			50	898	51,6
			75	770	65,5
100	686	77,0			



**Şekil 3.31:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.2 Kolemanit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.14'de verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.14:** Reolojik karakterizasyonu yapılan kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastaları ve çalışılan parametreler

Katı/sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
75:25	0-50	30
77,5:22,5	0-50	30
80:20	0-50	30
77,5:22,5	50-100	30
77,5:22,5	100-200	30
77,5:22,5	0-50	50
77,5:22,5	0-50	75

L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

#### 3.2.2.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 75:25, 77,5:22,5 ve 80:20 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.15-3.18'de veriler Şekil 3.32-3.35'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

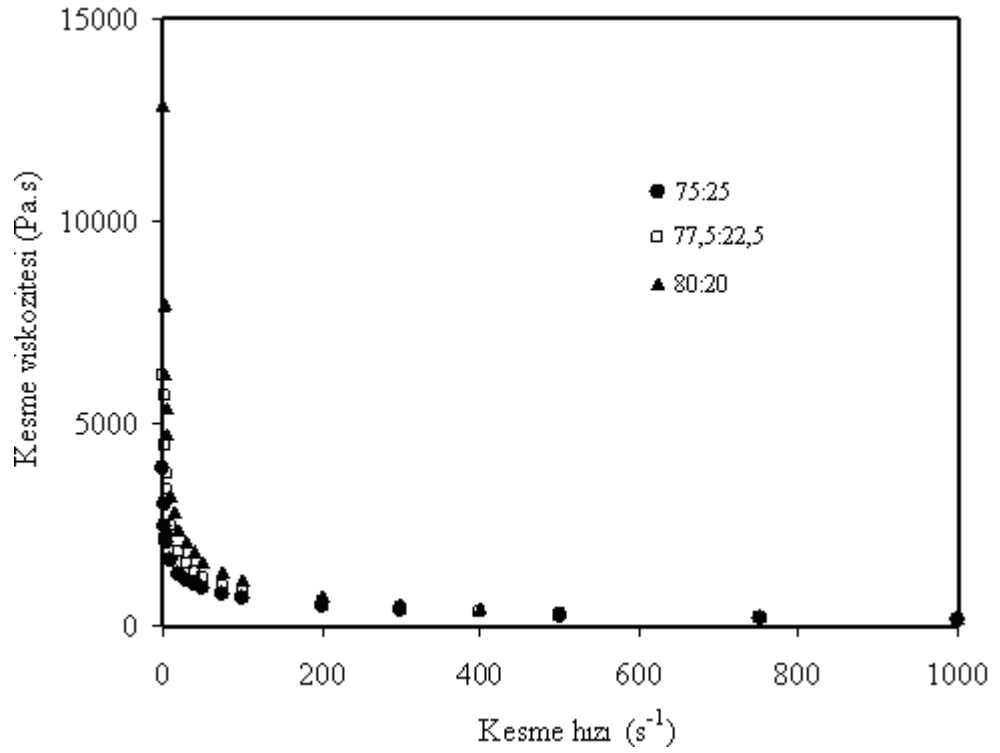
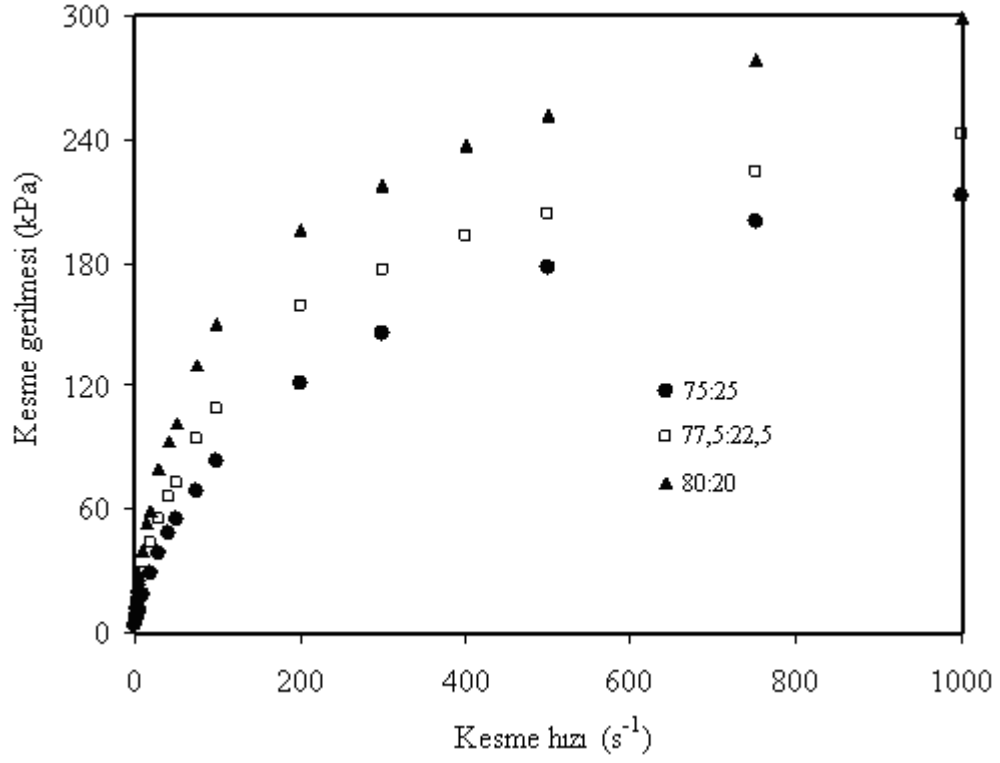


**Tablo 3.15:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	32/2	1	3897	4,1
			2	2987	6,5
			3	2450	8,0
			4	2227	9,8
			5	2065	11,4
			10	1616	18,2
			20	1294	29,6
			30	1124	39,0
			40	1031	48,2
			50	932	55,1
			75	769	68,9
			100	687	83,4
			200	484	121,2
			300	382	146,0
			500	271	177,3
750	199	199,8			
1000	156	212,8			
77,5:22,5	30	32/2	1	6157	6,8
			2	5683	12,7
			3	4430	15,0
			4	3732	17,0
			5	3361	19,3
			10	2464	28,9
			20	1835	43,9
			30	1510	55,0
			40	1343	66,1
			50	1160	72,5
			75	987	93,7
			100	840	108,5
			200	592	159,0
			300	428	176,9
			400	345	193,5
500	286	203,7			
750	203	223,9			
1000	161	242,7			

**Tablo 3.15'in devamı**

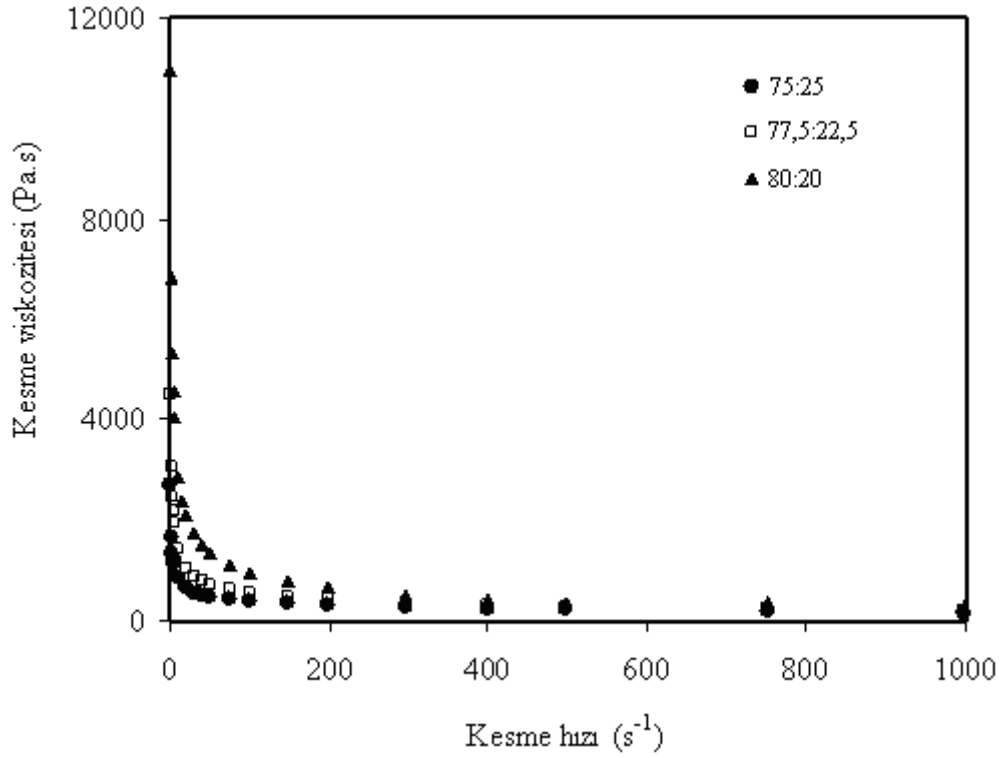
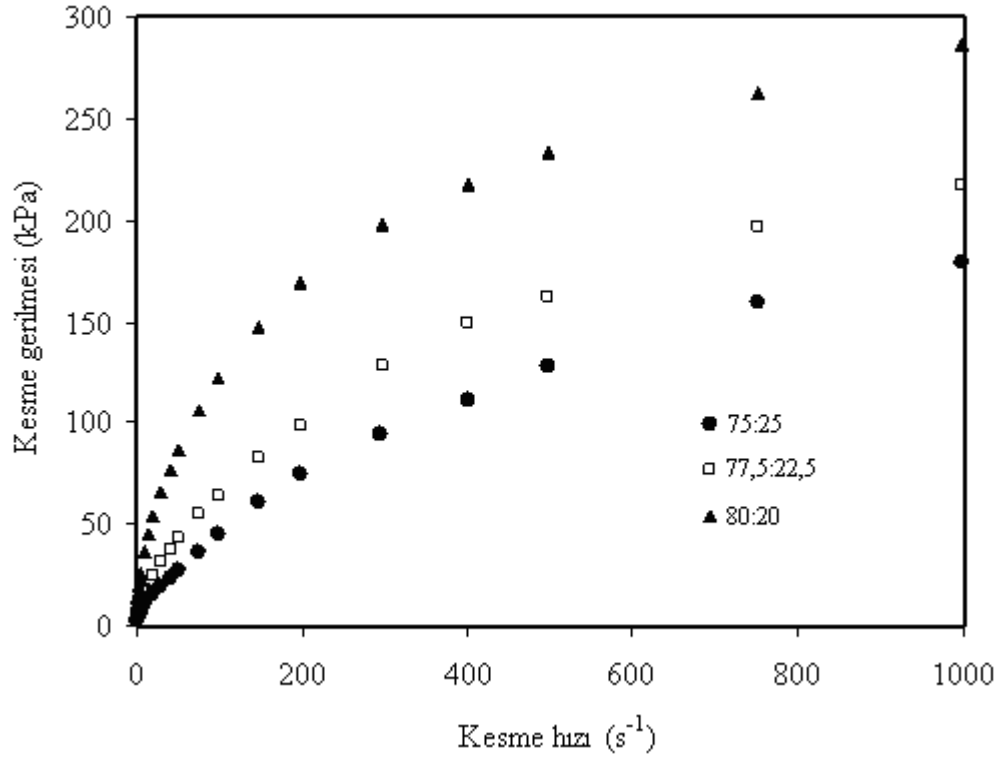
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( <sup>0</sup> C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
80:20	30	32/2	1	12857	14,9
			2	7939	18,7
			3	6215	22,2
			4	5362	25,8
			5	4717	28,5
			10	3225	39,7
			15	2832	53,0
			20	2353	58,9
			30	2087	79,3
			40	1822	93,3
			50	1577	102,2
			75	1322	129,8
			100	1128	150,2
			200	717	196,5
			300	521	217,9
			400	420	237,2
			500	352	251,5
750	255	278,7			
1000	202	298,8			



**Şekil 3.32:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.16:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

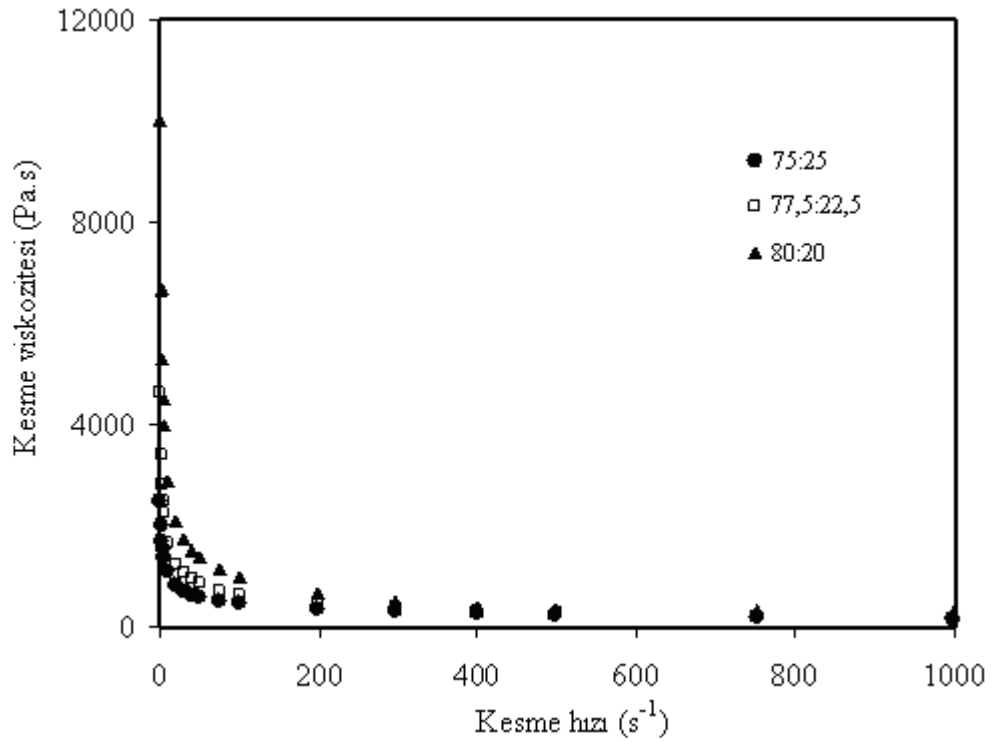
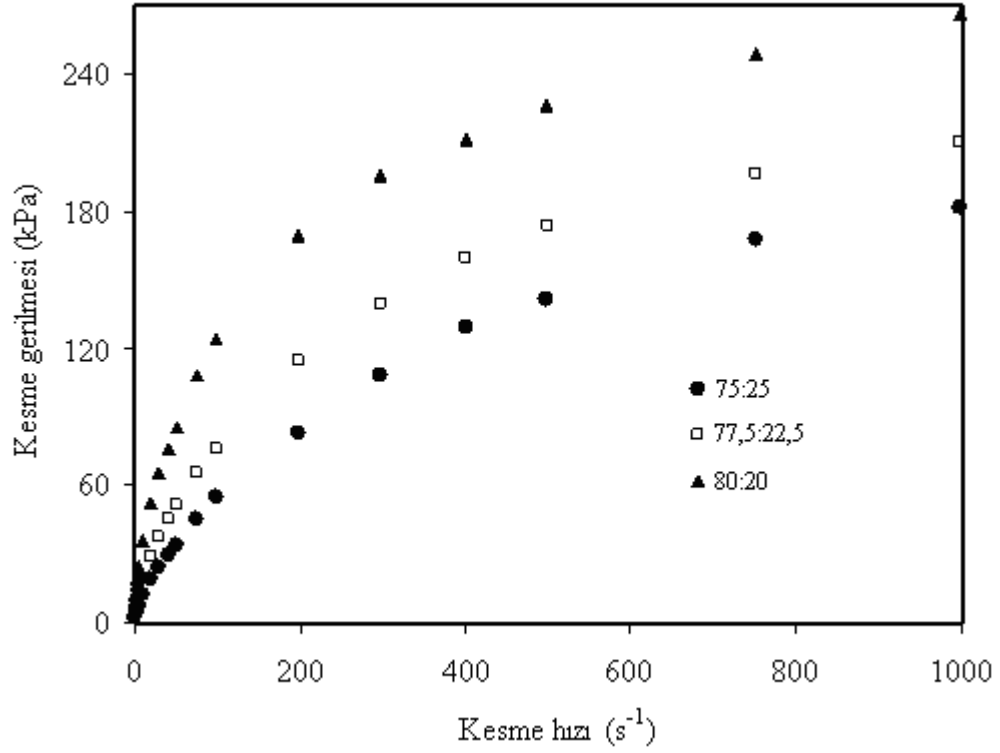
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme Viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	32/1	1	2717	3,3
			2	1660	4,0
			3	1356	4,8
			4	1213	5,7
			5	1163	6,9
			10	883	10,3
			20	668	15,5
			30	569	19,7
			40	520	23,9
			50	484	27,8
			100	401	45,6
			198	332	74,3
			296	282	94,1
			400	247	110,8
			498	229	127,8
751	189	158,9			
77,5:22,5	30	32/1	1	4480	5,5
			2	3058	7,5
			3	2478	9,1
			4	2173	10,6
			5	1946	11,8
			10	1430	17,3
			20	1035	24,9
			30	869	31,3
			40	783	37,5
			50	717	42,9
			75	618	55,3
			100	536	63,9
			198	419	98,3
			296	364	127,5
			400	317	150,0
499	276	162,5			
751	223	196,8			
997	186	217,3			
80:20	30	32/1	1	10985	13,8
			2	6827	17,2
			3	5323	20,1
			4	4568	23,0
			5	4069	25,6
			10	2866	36,2
			20	2125	53,7
			30	1746	66,3
			40	1515	76,7
			50	1362	86,2
			75	1112	105,8
			100	961	121,9
			198	673	169,3
			296	524	197,3
			400	428	217,8
498	367	233,2			
751	350	262,9			
997	287	286,1			



**Şekil 3.33:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.17:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	16/1	1	2499	2,8
			2	2001	4,5
			3	1690	5,7
			4	1548	7,0
			5	1394	7,9
			10	1091	12,4
			20	833	19,1
			30	702	24,2
			40	637	29,4
			50	588	34,0
			75	522	45,4
			100	473	55,1
			198	359	83,4
			400	274	129,7
77,5:22,5	30	16/1	498	239	141,3
			751	187	167,6
			997	152	181,9
			1	4620	5,2
			2	3403	7,8
			3	2788	9,6
			4	2495	11,5
			5	2240	13,0
			10	1673	19,6
			20	1228	29,1
			30	1054	37,7
			40	944	45,3
			50	861	51,8
			75	718	65,4
100	621	75,8			
198	467	114,5			
400	318	160,3			
499	275	173,5			
751	205	197,0			
997	164	210,4			
80:20	30	16/1	1	10035	12,1
			2	6676	16,2
			3	5283	19,3
			4	4493	22,0
			5	3986	24,5
			10	2888	35,7
			20	2089	52,1
			30	1735	65,3
			40	1515	76,3
			50	1362	86,0
			100	975	124,2
			198	668	169,7
			400	407	211,4
			498	348	225,9
751	331	248,7			
997	267	266,6			

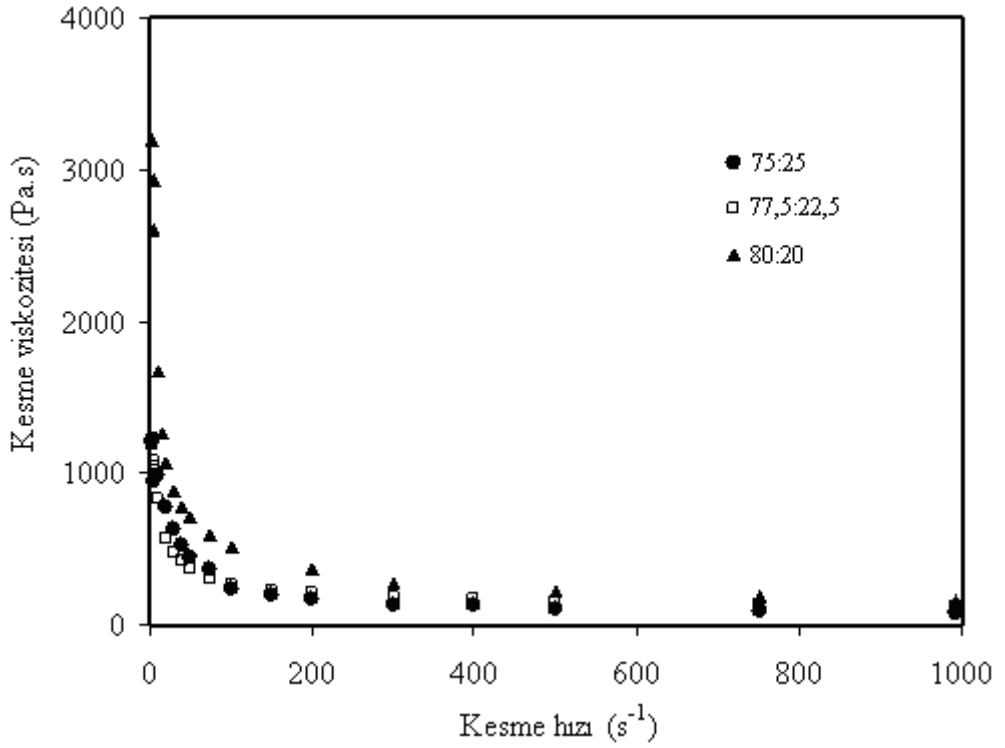
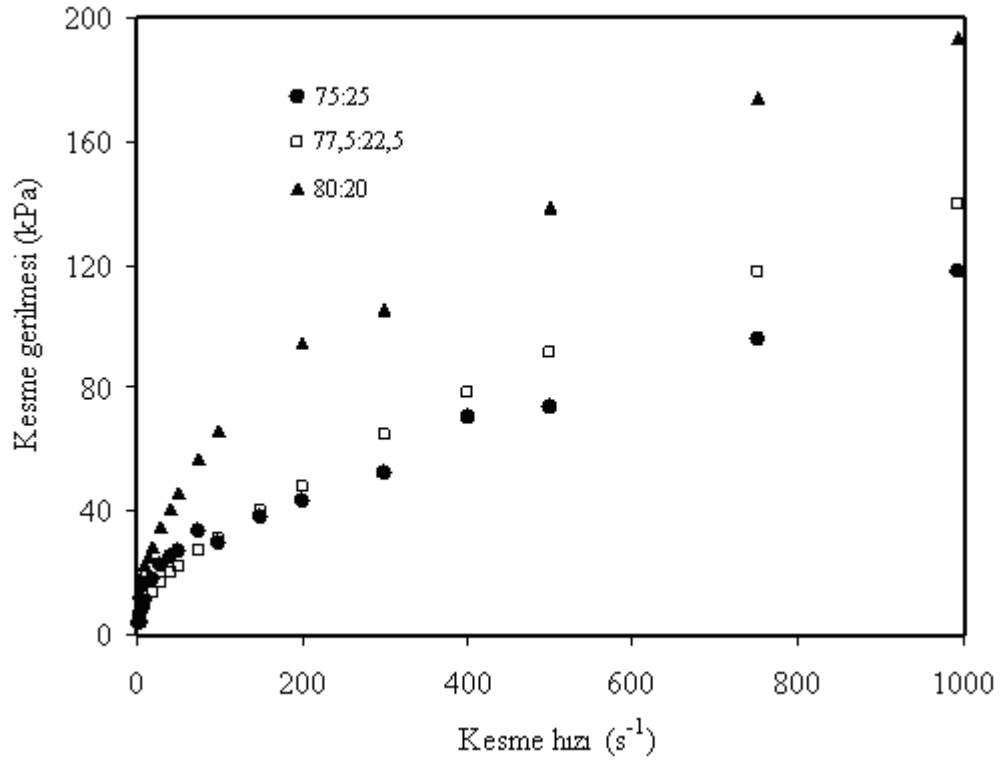


**Şekil 3.34:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.18:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
75:25	30	8/0,5	3	1216	4,0
			4	945	4,2
			5	1225	6,8
			10	986	11,2
			20	774	18,0
			30	631	22,4
			40	530	25,4
			50	451	27,3
			75	362	33,4
			100	240	29,9
			150	198	38,0
			200	166	43,2
			300	131	52,4
			400	130	70,6
			500	106	73,6
750	90	96,0			
993	81	117,9			
77,5:22,5	30	8/0,5	3	1187	4,4
			4	1076	5,3
			5	1033	6,3
			10	825	10,0
			20	561	13,4
			30	470	16,8
			40	417	19,8
			50	371	21,9
			75	307	27,1
			100	268	31,3
			150	230	40,1
			200	206	47,8
			300	188	64,8
			400	170	78,1
			500	159	91,0
750	137	117,5			
992	124	139,7			
80:20	30	8/0,5	3	3199	13,3
			4	2928	16,1
			5	2603	17,8
			10	1665	22,4
			15	1261	25,2
			20	1066	28,2
			30	886	34,8
			40	778	40,5
			50	711	46,0
			75	595	57,2
			100	519	66,1
			200	375	94,2
			300	282	105,7
			500	225	138,7
			750	190	174,3
993	160	193,8			





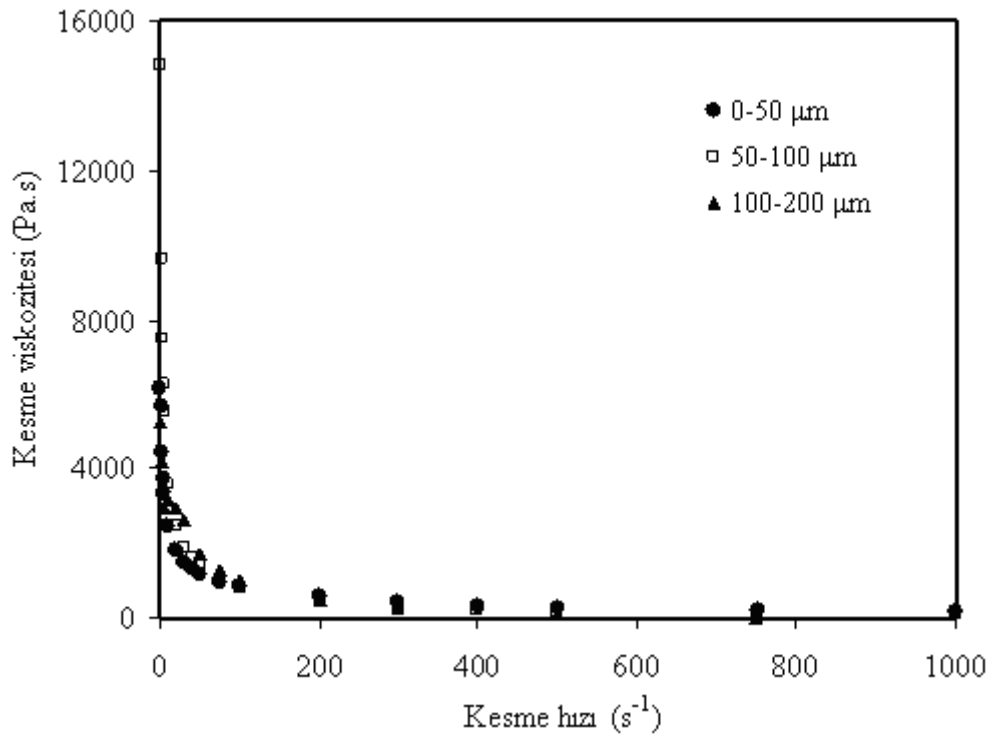
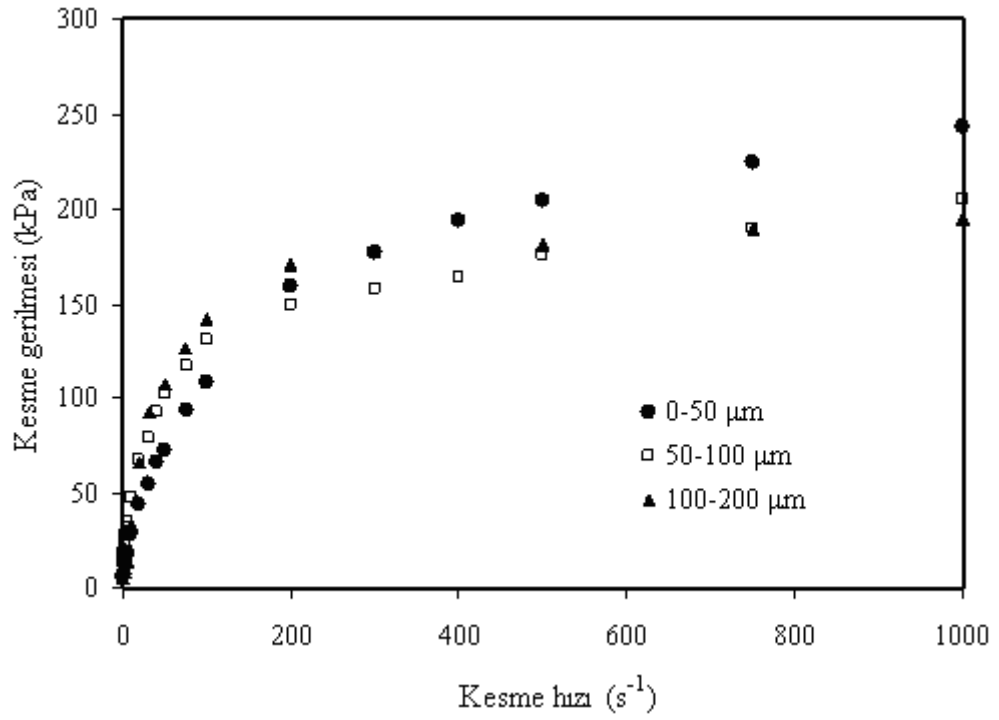
**Şekil 3.35:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### **3.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi**

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 77,5:22,5 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.19-3.21'de verilerek Şekil 3.36-3.39'da kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.19:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

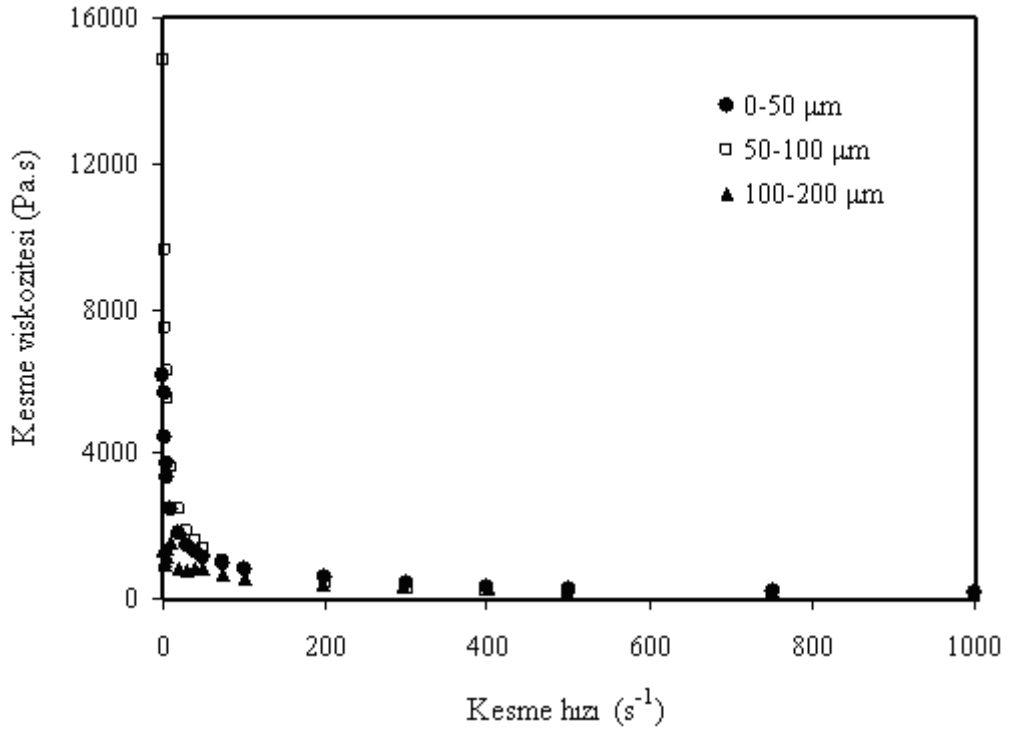
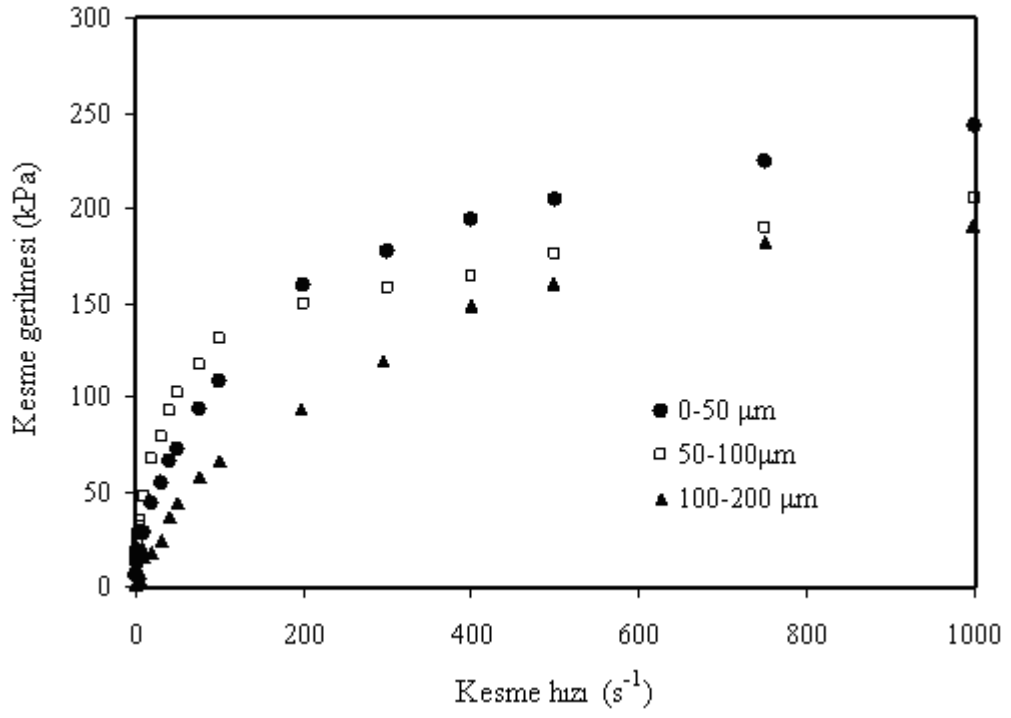
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0–50	30	32/2	1	6157	6,8
				2	5683	12,7
				3	4430	15,0
				4	3732	17,0
				5	3361	19,3
				10	2464	28,9
				20	1835	43,9
				30	1510	55,0
				40	1343	66,1
				50	1160	72,5
				75	987	93,7
				100	840	108,5
				200	592	159,0
				300	428	176,9
				400	345	193,5
500	286	203,7				
750	203	223,9				
1000	161	242,7				
77,5:22,5	50–100	30	32/2	1	14838	17,5
				2	9635	23,4
				3	7493	27,8
				4	6255	31,3
				5	5509	34,9
				10	3611	47,5
				20	2459	67,3
				30	1863	79,0
				40	1601	92,5
				50	1376	101,9
				75	1022	117,1
				100	823	130,4
				200	435	149,8
				300	289	158,4
				400	215	164,7
500	176	175,5				
750	116	189,3				
1000	88	205,6				
77,5:22,5	100–200	30	32/2	1	5230	5,0
				2	4179	8,2
				3	3444	10,3
				4	3336	13,5
				5	2948	15,1
				10	3169	33,9
				20	2930	65,9
				30	2645	92,9
				50	1711	107,7
				75	1265	126,7
				100	998	142,5
				200	483	171,0
				300	270	177,8
				500	95	181,1
				750	9	189,8



**Şekil 3.36:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.20:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

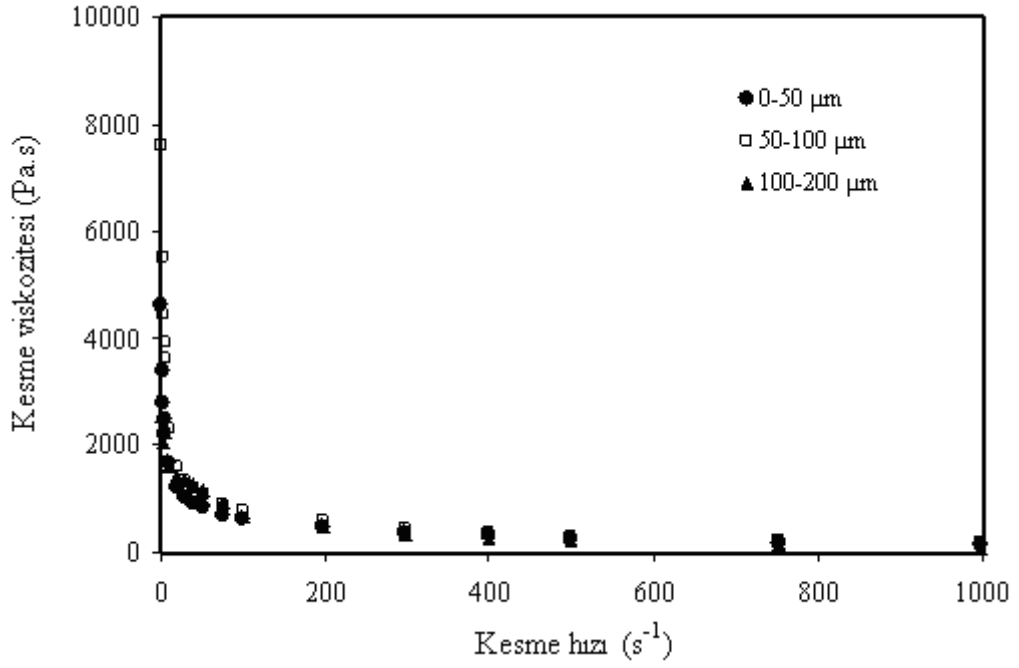
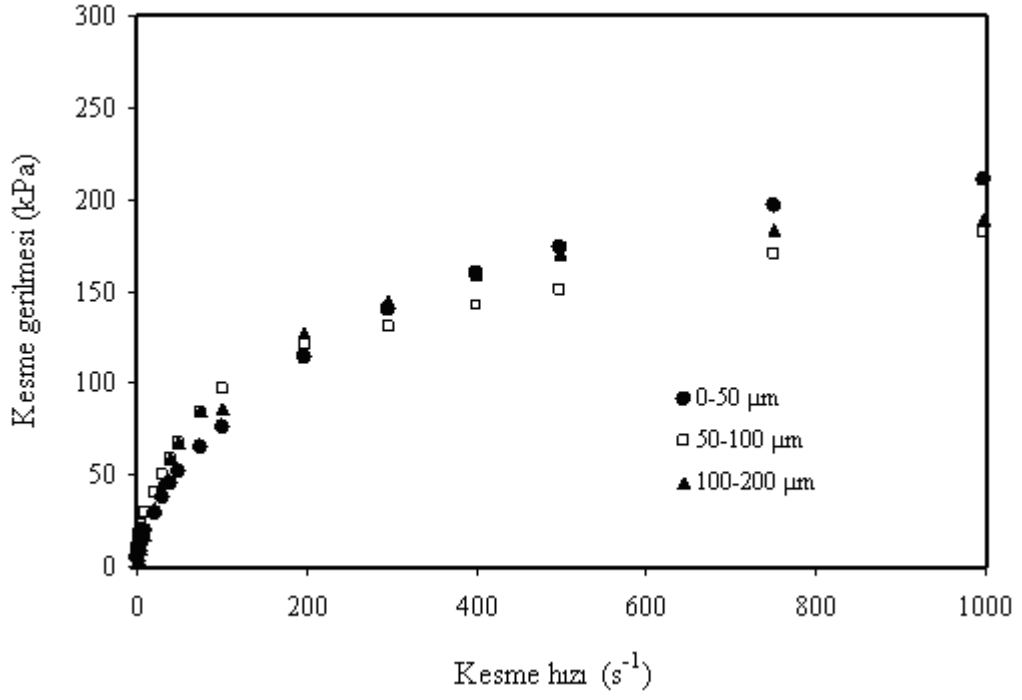
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0–50	30	32/1	1	4480	5,5
				2	3058	7,5
				3	2478	9,1
				4	2173	10,6
				5	1946	11,8
				10	1430	17,3
				20	1035	24,9
				30	869	31,3
				40	783	37,5
				50	717	42,9
				75	618	55,3
				100	536	63,9
				198	419	98,3
				296	364	127,5
				400	317	150,0
499	276	162,5				
751	223	196,8				
997	186	217,3				
77,5:22,5	50–100	30	32/1	1	7341	8,0
				2	5652	12,6
				3	5289	18,1
				4	4508	20,8
				5	4192	24,4
				10	3021	36,5
				20	2011	50,7
				50	1114	75,4
				75	856	90,3
				100	698	101,3
				198	393	122,8
				296	282	140,6
				400	207	147,3
				499	170	157,9
				751	114	176,2
997	86	191,0				
77,5:22,5	100–200	30	32/1	1	1302	1,3
				2	961	1,9
				3	1057	3,1
				4	1145	4,6
				5	1362	6,9
				10	1539	15,8
				20	849	18,0
				30	747	24,2
				40	850	37,1
				50	803	44,4
				75	687	58,3
				100	575	66,4
				198	390	93,7
				400	284	148,0
				498	240	159,8
751	171	181,8				
997	129	190,5				



**Şekil 3.37:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.21:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0-50	30	16/1	1	4620	5,2
				2	3403	7,8
				3	2788	9,6
				4	2495	11,5
				5	2240	13,0
				10	1673	19,6
				20	1228	29,1
				30	1054	37,7
				40	944	45,3
				50	861	51,8
				100	621	75,8
				198	467	114,5
				296	378	139,9
				400	318	160,3
				499	275	173,5
751	205	197,0				
997	164	210,4				
77,5:22,5	50-100	30	16/1	1	7623	10,0
				2	5504	14,3
				3	4458	17,3
				4	3926	20,2
				5	3631	23,3
				10	2301	29,3
				20	1591	40,1
				30	1328	49,9
				40	1179	58,8
				50	1077	67,0
				100	787	97,0
				198	613	121,1
				296	440	130,1
				400	355	142,0
				498	304	151,5
751	227	170,6				
997	183	182,1				
77,5:22,5	50-100	30	16/1	1	2537	2,5
				2	2052	4,1
				3	2287	6,9
				4	2337	9,5
				5	2237	11,5
				10	1590	16,9
				20	1436	31,6
				30	1334	45,2
				40	1282	59,1
				50	1144	67,1
				100	689	86,4
				198	468	126,7
				296	335	145,1
				400	256	159,5
				498	208	170,8
751	131	183,3				
997	90	188,7				



**Şekil 3.38:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

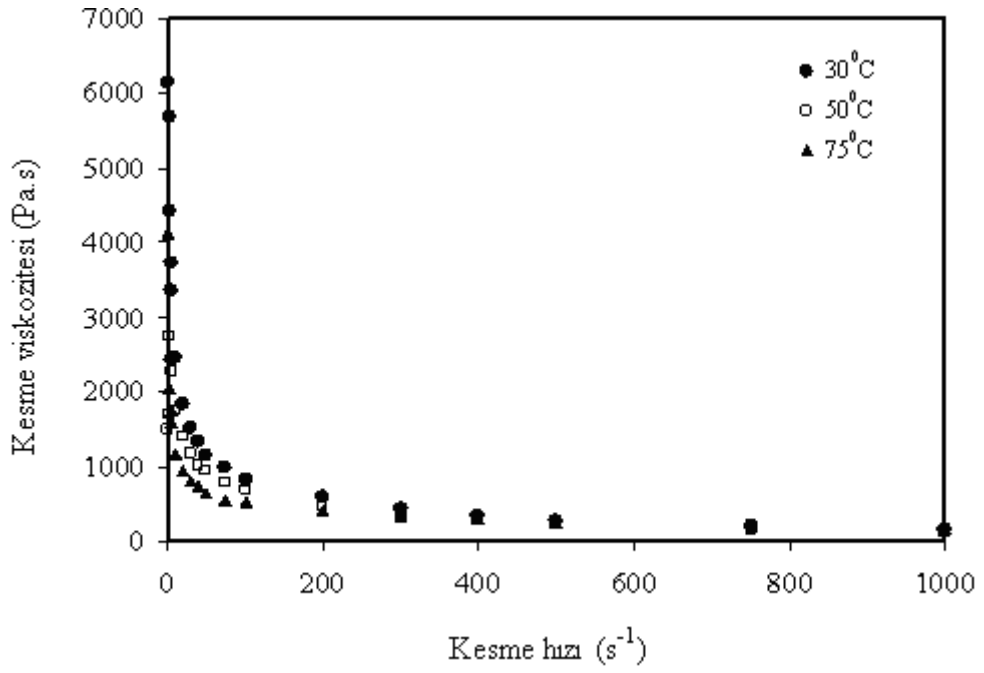
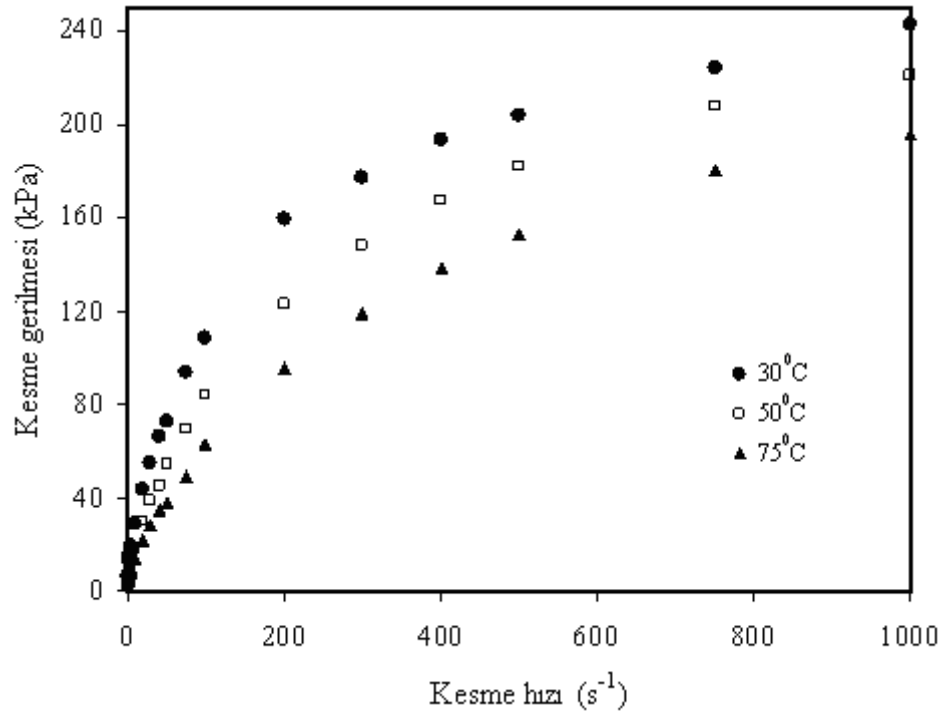


### 3.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanit (0–50  $\mu\text{m}$ ) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 77,5:22,5 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.22-3.25’de verilerek, Şekil 3.39-3.42’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.22:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

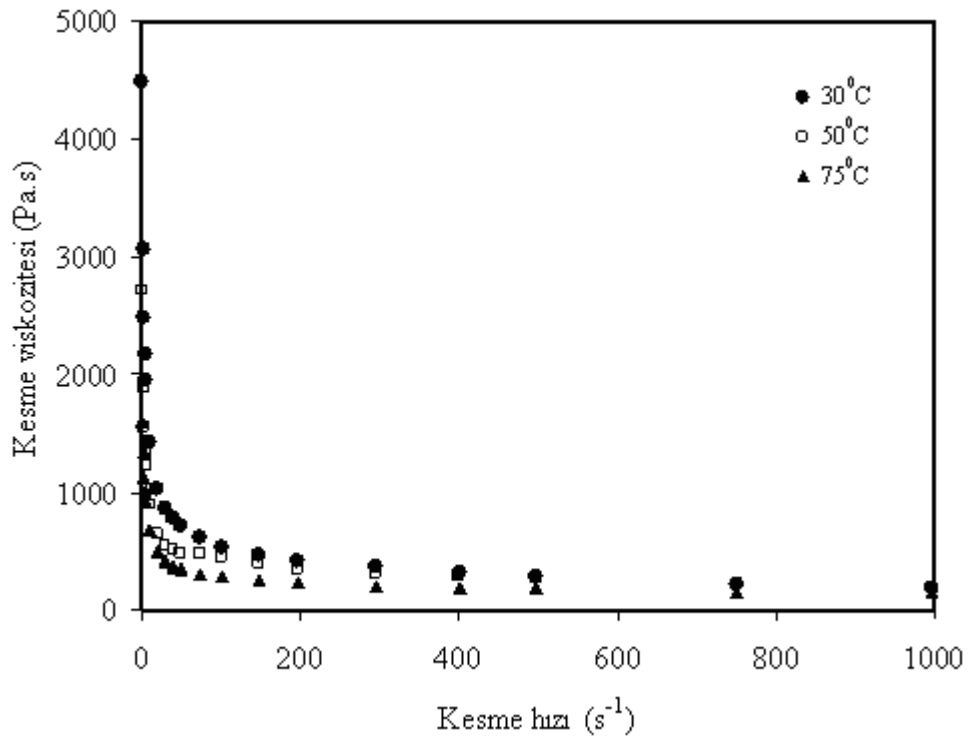
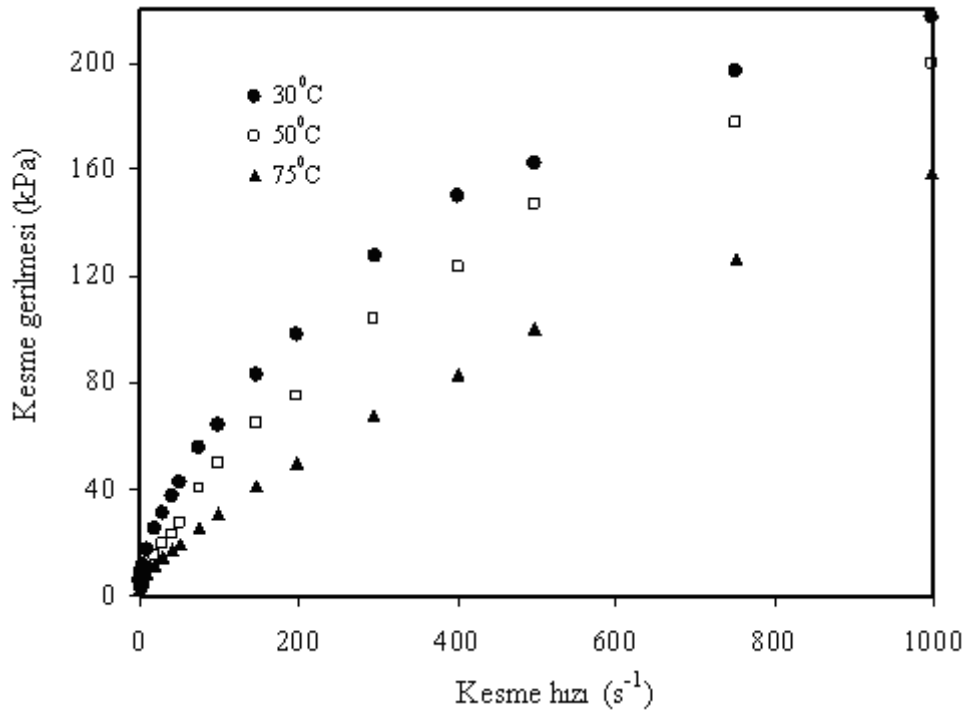
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	32/2	1	6157	6,8
			2	5683	12,7
			3	4430	15,0
			4	3732	17,0
			5	3361	19,3
			10	2464	28,9
			20	1835	43,9
			30	1510	55,0
			40	1343	66,1
			50	1160	72,5
			75	987	93,7
			100	840	108,5
			200	592	159,0
			300	428	176,9
400	345	193,5			
500	286	203,7			
750	203	223,9			
1000	161	242,7			
77,5:22,5	50	32/2	1	1493	1,5
			2	1705	3,4
			3	2736	8,2
			4	2450	9,9
			5	2286	11,7
			10	1747	18,3
			20	1396	30,1
			30	1176	38,9
			40	1005	45,2
			50	945	54,3
			100	692	84,2
			200	468	122,6
			300	356	147,7
			400	289	167,6
500	241	182,0			
750	167	207,6			
1000	123	220,9			
77,5:22,5	75	32/2	1	4132	5,0
			2	2510	6,0
			3	2048	7,3
			4	1743	8,3
			5	1579	9,4
			10	1178	14,0
			20	933	22,0
			30	812	28,7
			40	736	34,6
			50	645	38,1
			75	564	49,6
			100	536	63,1
			200	406	95,3
			300	339	119,1
400	295	138,2			
500	262	153,3			
750	206	180,5			
1000	168	195,8			



**Şekil 3.39:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.23:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)= 32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

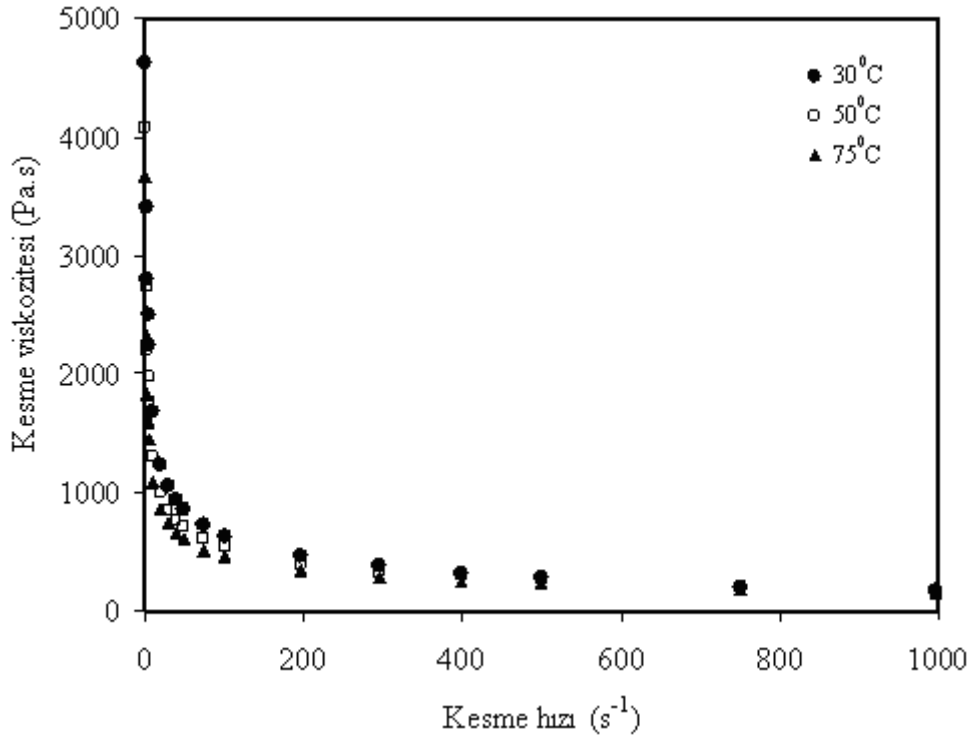
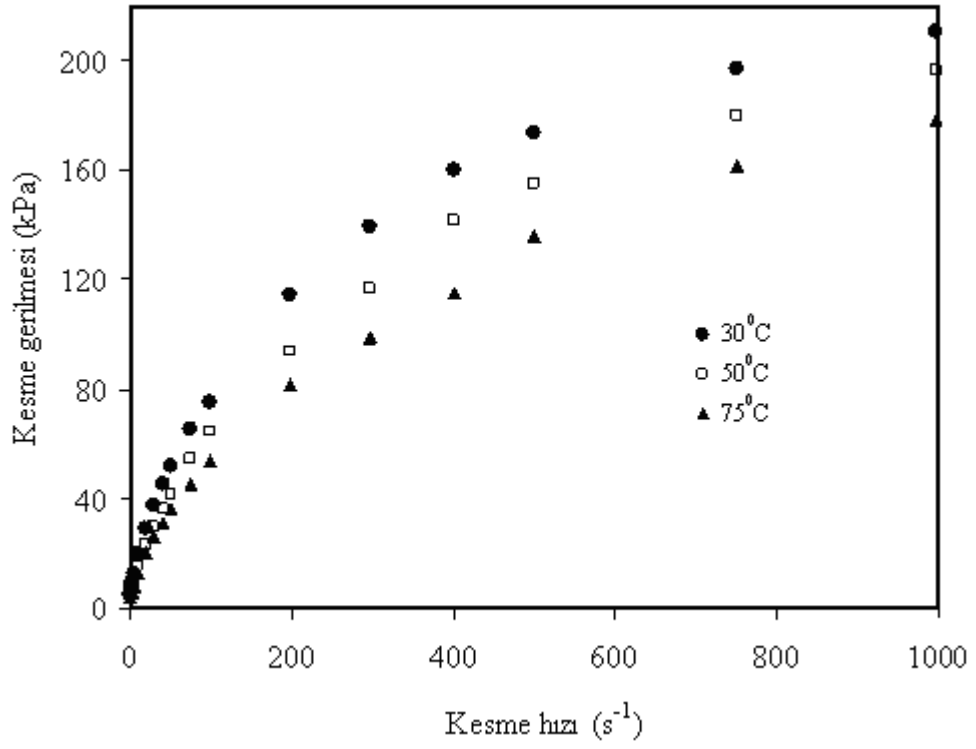
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	32/1	1	4480	5,5
			2	3058	7,5
			3	2478	9,1
			4	2173	10,6
			5	1946	11,8
			10	1430	17,3
			20	1035	24,9
			30	869	31,3
			40	783	37,5
			50	717	42,9
			75	618	55,3
			100	536	63,9
			198	419	98,3
			296	364	127,5
			400	317	150,0
499	276	162,5			
751	223	196,8			
997	186	217,3			
77,5:22,5	50	32/1	1	2719	3,5
			2	1890	4,7
			3	1550	5,7
			4	1343	6,6
			5	1226	7,4
			10	886	10,5
			20	654	15,3
			30	552	19,2
			40	505	23,2
			50	475	27,2
			75	475	40,4
			100	444	50,0
			198	341	74,9
			400	280	123,2
			499	270	147,4
751	218	177,5			
997	185	199,5			
77,5:22,5	75	32/1	1	1604	2,0
			2	1345	3,3
			3	1125	4,1
			4	1012	4,9
			5	933	5,6
			10	675	8,0
			20	489	11,4
			30	418	14,5
			40	369	17,0
			50	342	19,6
			75	300	25,6
			100	277	31,3
			198	225	49,7
			400	187	82,6
			499	182	100,0
751	154	126,6			
997	146	158,9			



**Şekil 3.40:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.24:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	16/1	1	4620	5,2
			2	3403	7,8
			3	2788	9,6
			4	2495	11,5
			5	2240	13,0
			10	1673	19,6
			20	1228	29,1
			30	1054	37,7
			40	944	45,3
			50	861	51,8
			75	718	65,4
			100	621	75,8
			198	467	114,5
			400	318	160,3
499	275	173,5			
751	205	197,0			
997	164	210,4			
77,5:22,5	50	16/1	1	4081	4,8
			2	2725	6,4
			3	2199	7,8
			4	1981	9,3
			5	1753	10,3
			10	1305	15,4
			20	997	23,6
			30	844	30,1
			40	764	36,3
			50	706	42,0
			75	613	54,8
			100	542	64,7
			198	397	93,9
			296	329	116,9
400	294	141,5			
499	259	155,1			
751	199	180,2			
997	163	196,4			
77,5:22,5	75	16/1	1	3665	4,4
			2	2321	5,5
			3	1826	6,5
			4	1595	7,6
			5	1455	8,6
			10	1088	12,9
			20	857	20,3
			30	739	26,3
			40	664	31,5
			50	608	36,0
			75	517	45,9
			100	458	54,2
			198	349	81,7
			400	243	115,0
499	231	136,1			
751	182	161,8			
997	152	178,7			

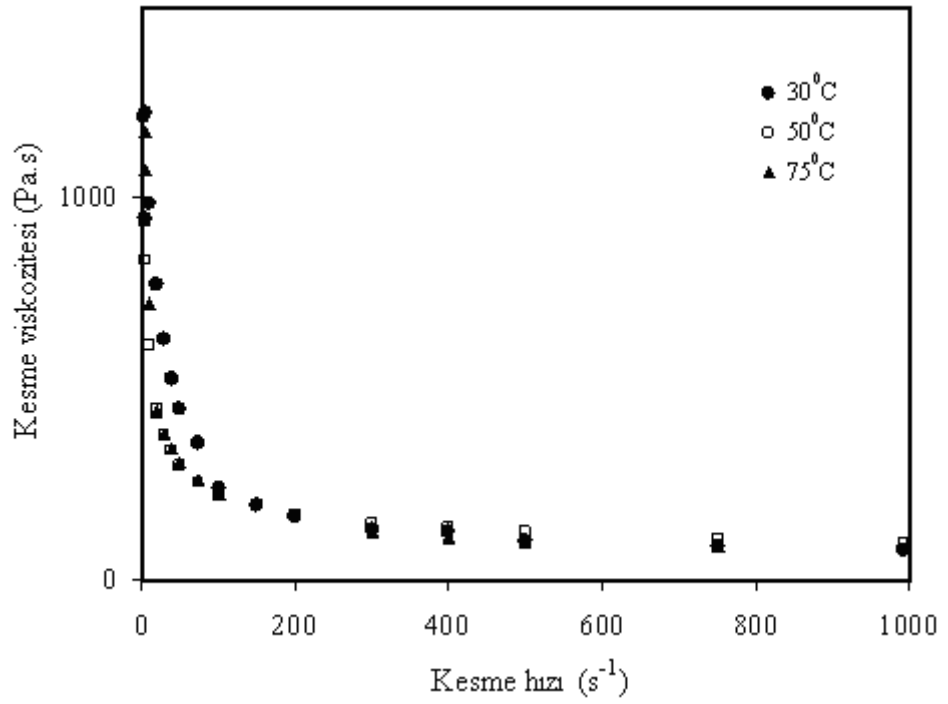
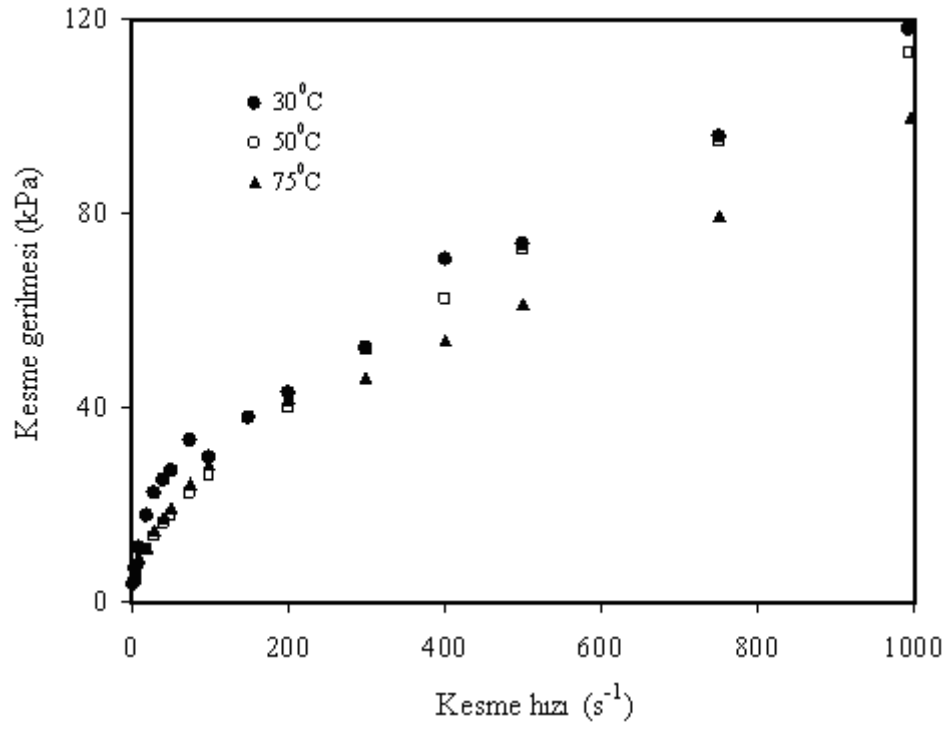


**Şekil 3.41:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.25:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	8/0,5	3	1216	4,0
			4	945	4,2
			5	1225	6,8
			10	986	11,2
			20	774	18,0
			30	631	22,4
			40	530	25,4
			50	451	27,3
			75	362	33,4
			100	240	29,9
			150	198	38,0
			200	166	43,2
			300	131	52,4
			400	130	70,6
77,5:22,5	50	8/0,5	500	106	73,6
			750	90	96,0
			993	81	117,9
			4	939	4,8
			5	840	5,3
			10	619	7,7
			20	451	11,0
			30	379	13,7
			40	339	16,2
			50	300	17,9
			75	255	22,6
			100	223	26,2
			200	173	40,0
			300	150	52,0
400	137	62,6			
500	127	72,5			
750	111	94,7			
992	101	112,9			
77,5:22,5	75	8/0,5	3	1240	5,0
			4	1176	6,3
			5	1074	7,1
			10	723	9,4
			20	445	11,4
			30	383	14,6
			40	345	17,4
			50	312	19,6
			75	263	24,6
			100	229	28,5
			200	171	41,8
			300	127	46,2
			400	112	54,1
			500	102	61,2
750	89	79,8			
994	84	99,8			





**Şekil 3.42:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve kolemanitten (0-50µm) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.3 Üleksit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.26'da verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.26:** Reolojik karakterizasyonu yapılan üleksit-polidimetilsiloksan (AK1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
65:35	0-50	30
70:30	0-50	30
75:25	0-50	30
65:35	50-100	30
65:35	100-200	30
65:35	0-50	50
65:35	0-50	75

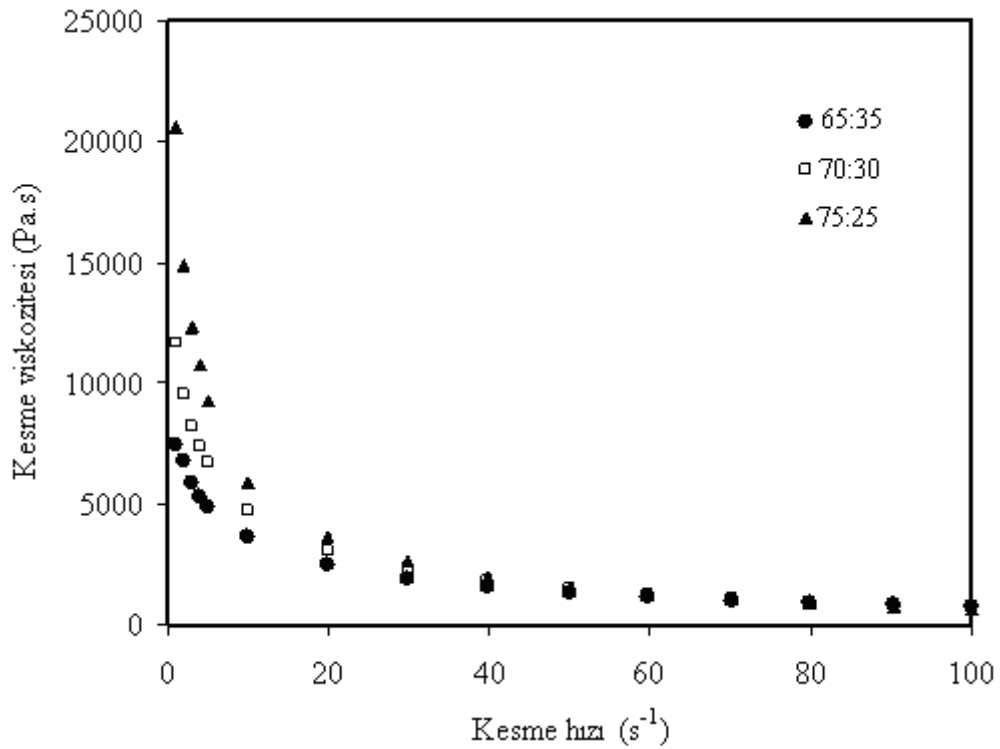
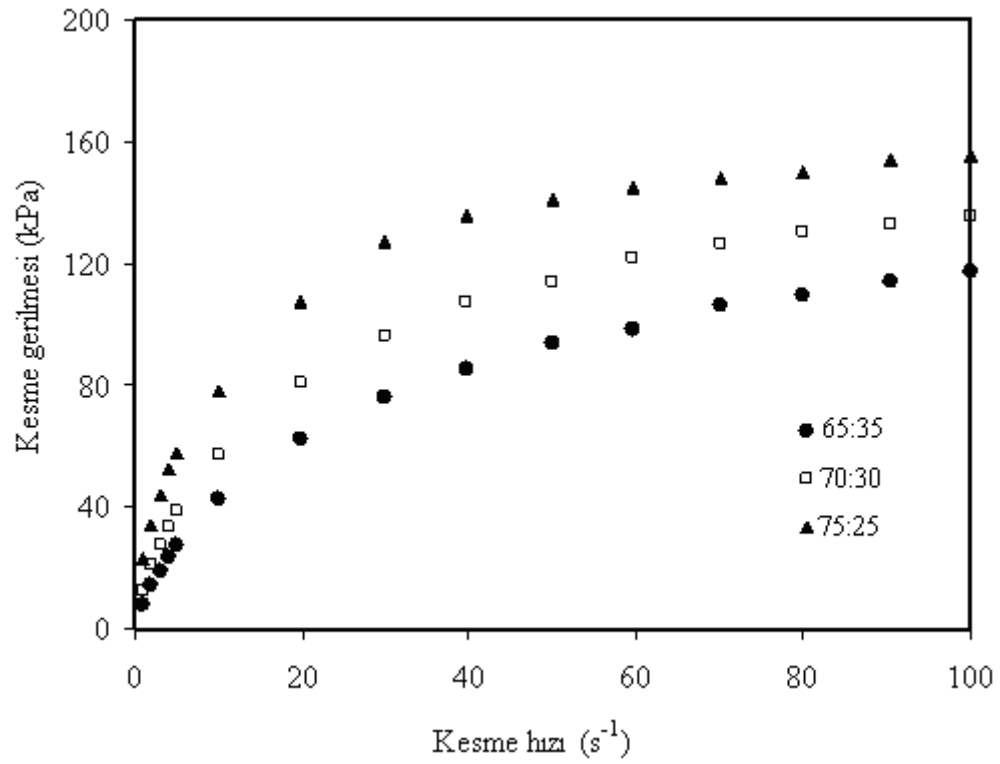
L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

#### 3.2.3.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 65:35, 70:30 ve 75:25 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.27-3.30'da verilerek Şekil 3.43-3.46'da kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.27:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

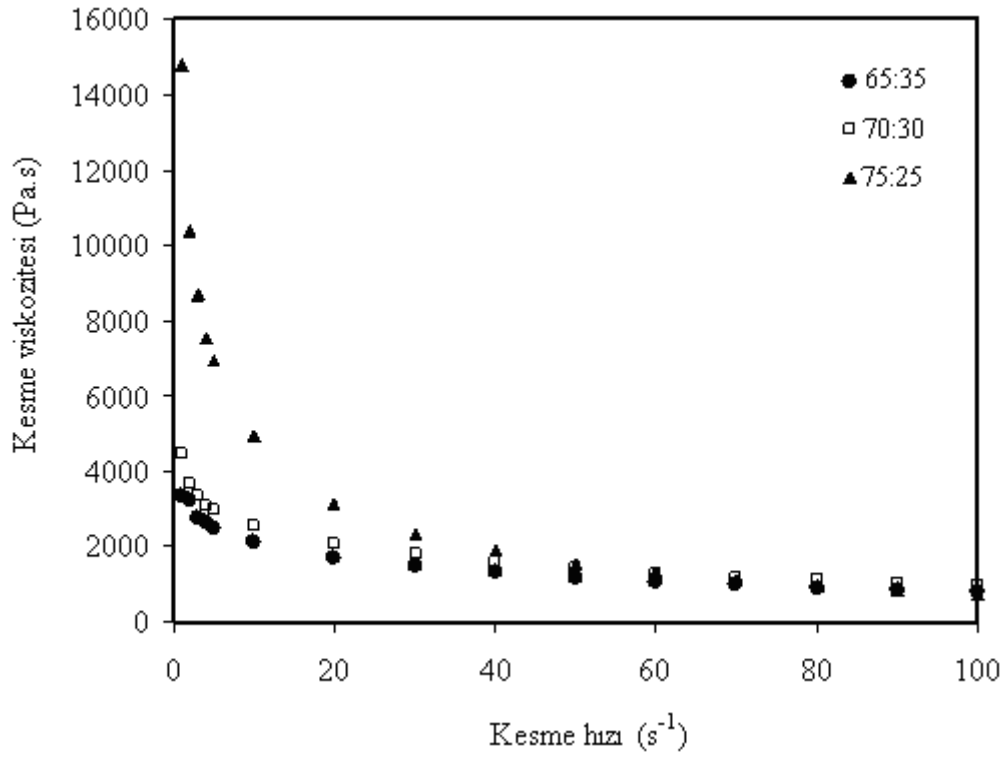
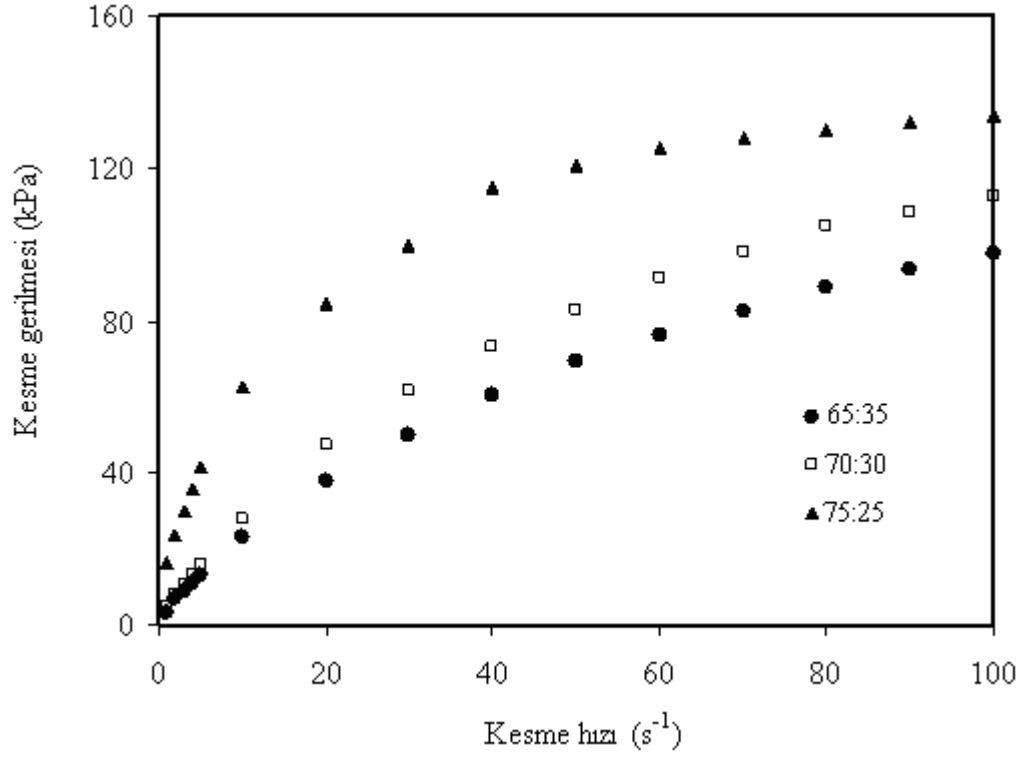
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/2	1	7469	8
			2	6757	14
			3	5884	19
			4	5330	24
			5	4899	27
			10	3648	43
			20	2497	62
			30	1938	76
			40	1575	85
			50	1329	94
			60	1136	99
			70	1008	106
			80	892	110
70:30	30	32/2	90	797	114
			100	725	118
			1	11635	12
			2	9526	21
			3	8236	28
			4	7329	33
			5	6675	39
			10	4685	57
			20	3069	81
			30	2308	96
			40	1843	108
			50	1489	114
			60	1282	122
70	1086	127			
80	950	130			
90	826	133			
75:25	30	32/2	100	738	136
			1	20591	23
			2	14892	34
			3	12295	44
			4	10734	52
			5	9289	58
			10	5848	78
			20	3675	108
			30	2682	127
			40	2003	135
			50	1554	141
			60	1271	145
			70	1042	148
80	881	150			
90	753	154			
100	652	155			



**Şekil 3.43:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}$ C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.28:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

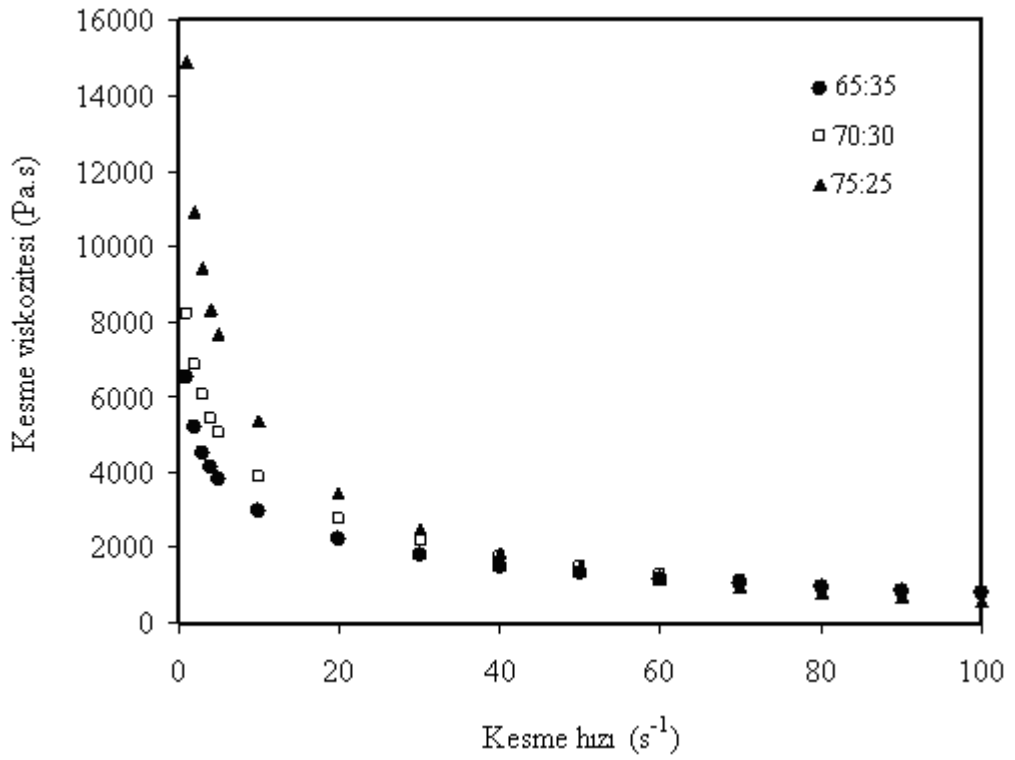
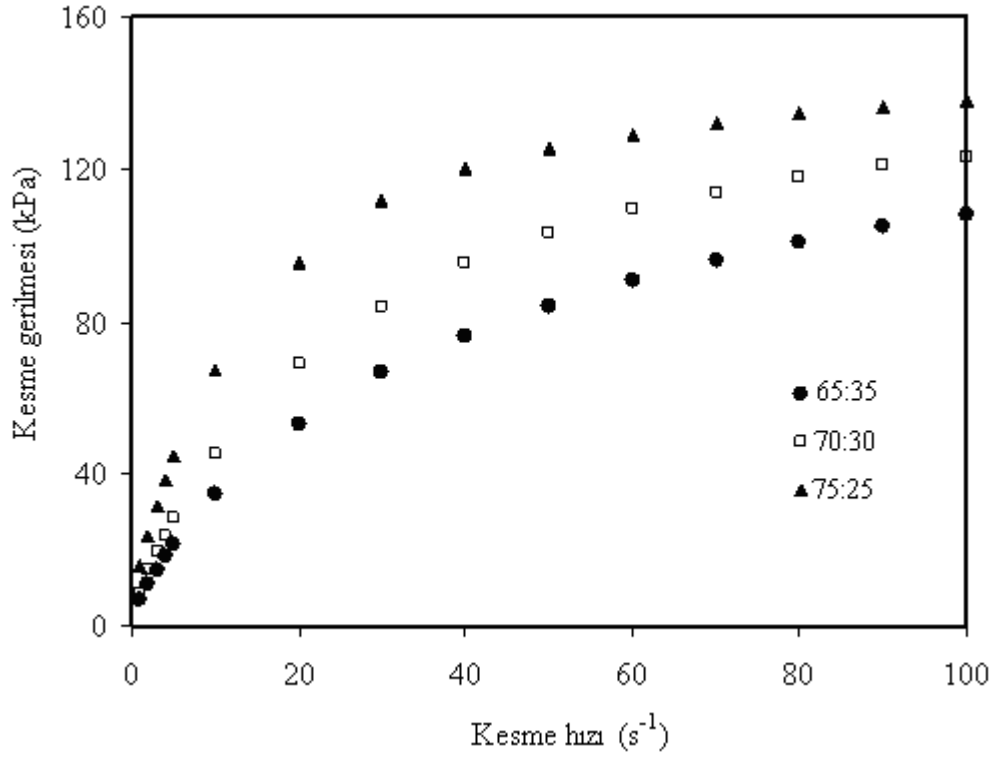
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/1	1	3339	3
			2	3215	7
			3	2781	9
			4	2659	11
			5	2465	13
			10	2102	23
			20	1678	38
			30	1464	50
			40	1309	60
			50	1189	69
			60	1075	76
			70	992	82
			80	924	88
90	862	93			
100	806	98			
70:30	30	32/1	1	4471	5
			2	3677	8
			3	3351	11
			4	3084	13
			5	2958	16
			10	2539	28
			20	2090	47
			30	1790	61
			40	1572	73
			50	1415	83
			60	1288	91
			70	1180	98
			80	1095	105
90	1002	109			
100	933	113			
75:25	30	32/1	1	14783	16
			2	10408	24
			3	8669	30
			4	7529	35
			5	6918	41
			10	4915	62
			20	3114	85
			30	2324	100
			40	1925	115
			50	1562	121
			60	1303	125
			70	1107	128
			80	956	130
90	839	132			
100	746	134			



**Şekil 3.44:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.29:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	16/1	1	6538	7
			2	5207	11
			3	4489	15
			4	4125	18
			5	3798	21
			10	2979	34
			20	2203	53
			30	1794	66
			40	1508	76
			50	1314	84
			60	1162	91
			70	1042	96
			80	946	101
90	864	105			
100	794	108			
70:30	30	16/1	1	8190	8
			2	6822	14
			3	6040	20
			4	5426	24
			5	5057	28
			10	3885	45
			20	2762	69
			30	2157	84
			40	1769	95
			50	1486	103
			60	1272	109
			70	1106	114
			80	975	118
90	867	121			
100	777	123			
75:25	30	16/1	1	14888	16
			2	10905	24
			3	9413	32
			4	8306	38
			5	7661	45
			10	5350	67
			20	3452	95
			30	2488	112
			40	1877	120
			50	1467	125
			60	1186	129
			70	979	132
			80	821	135
90	696	136			
100	595	138			

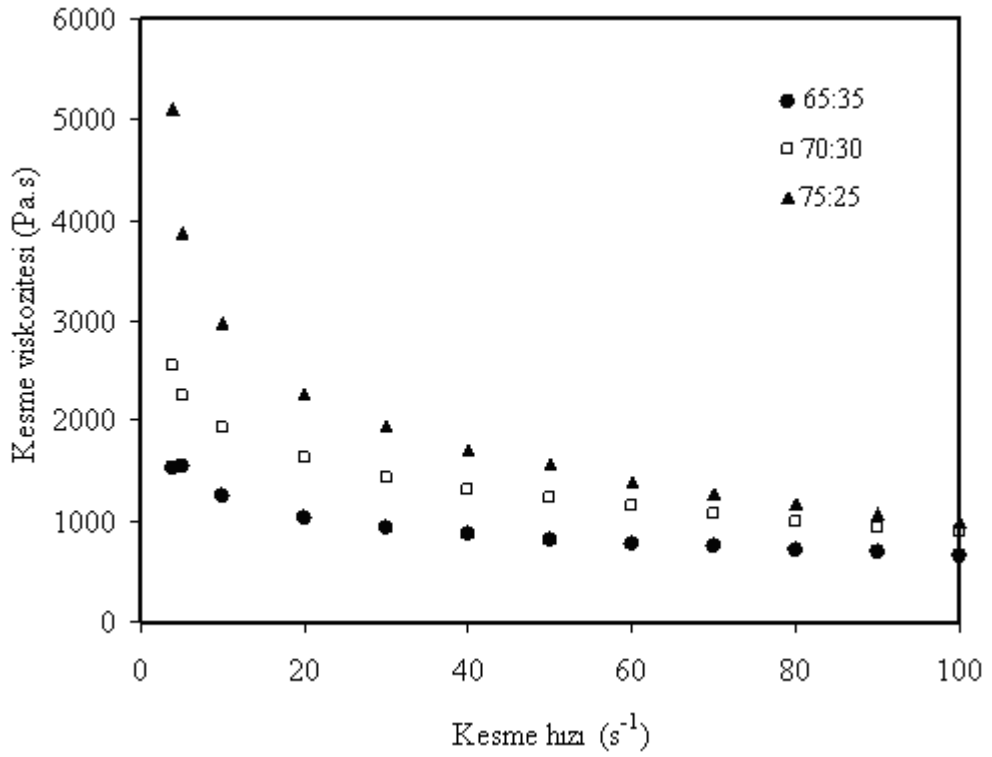
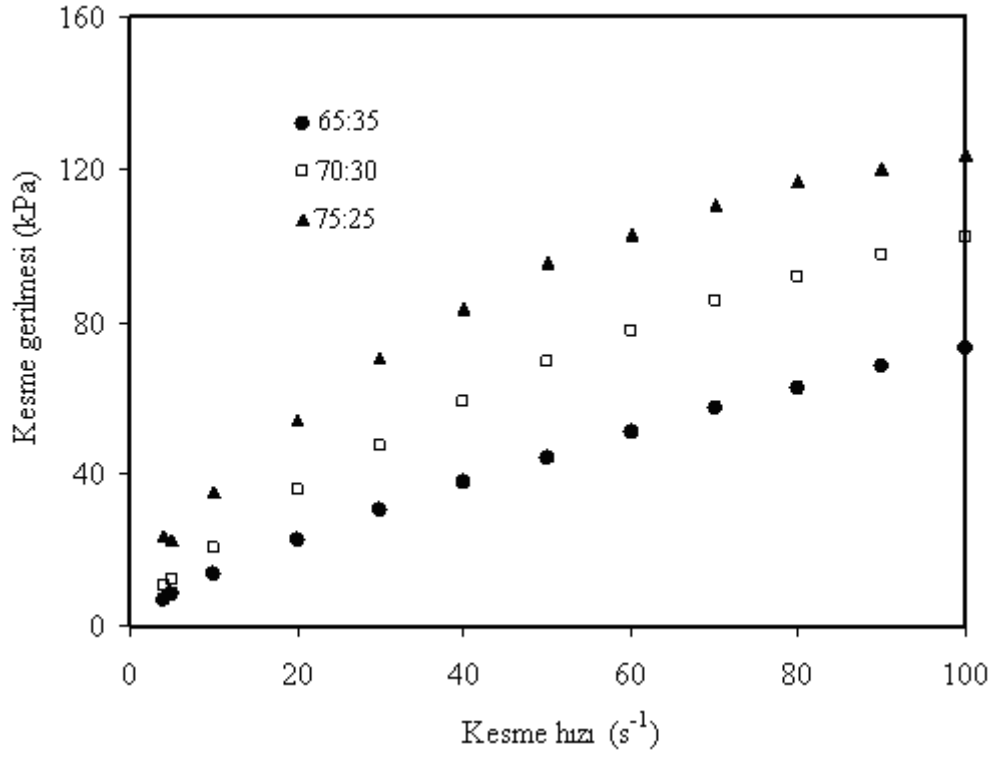


**Şekil 3.45:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.30:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	8/0,5	4	1520	7
			5	1542	8
			10	1248	14
			20	1029	22
			30	927	30
			40	865	38
			50	807	44
			60	776	51
			70	749	57
			80	715	63
			90	690	68
100	663	73			
70:30	30	8/0,5	4	2535	11
			5	2248	12
			10	1922	21
			20	1632	36
			30	1425	47
			40	1318	59
			50	1225	69
			60	1144	78
			70	1069	85
			80	1000	92
			90	943	98
100	887	102			
75:25	30	8/0,5	4	5107	24
			5	3875	22
			10	2990	35
			20	2261	54
			30	1940	70
			40	1715	83
			50	1560	95
			60	1399	103
			70	1279	110
			80	1180	117
			90	1076	120
100	994	124			



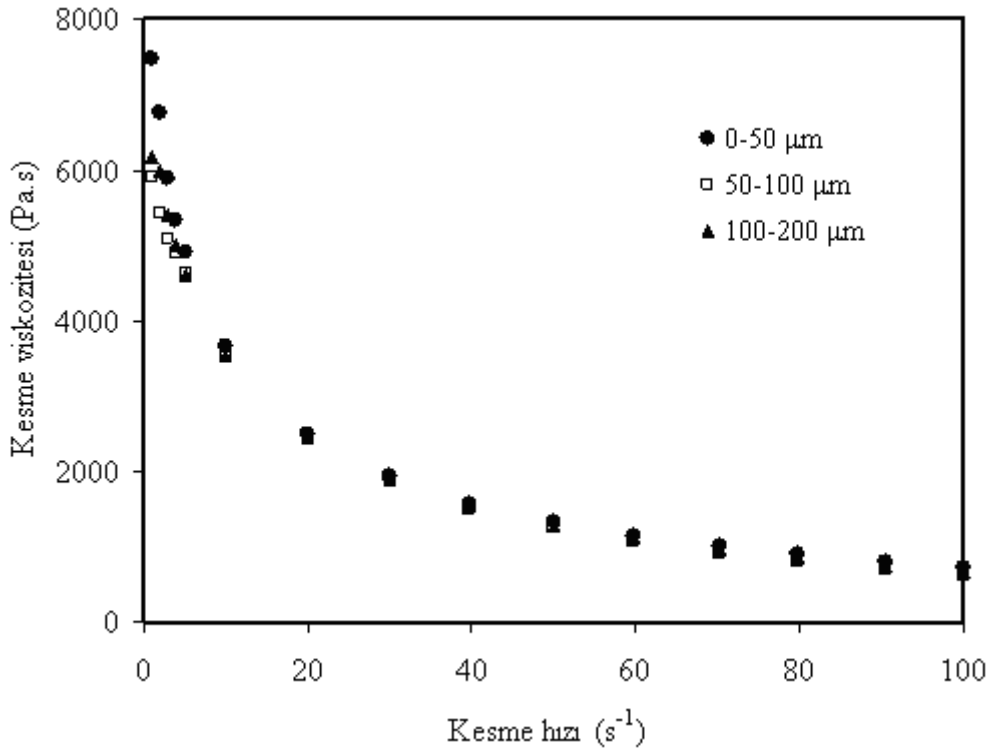
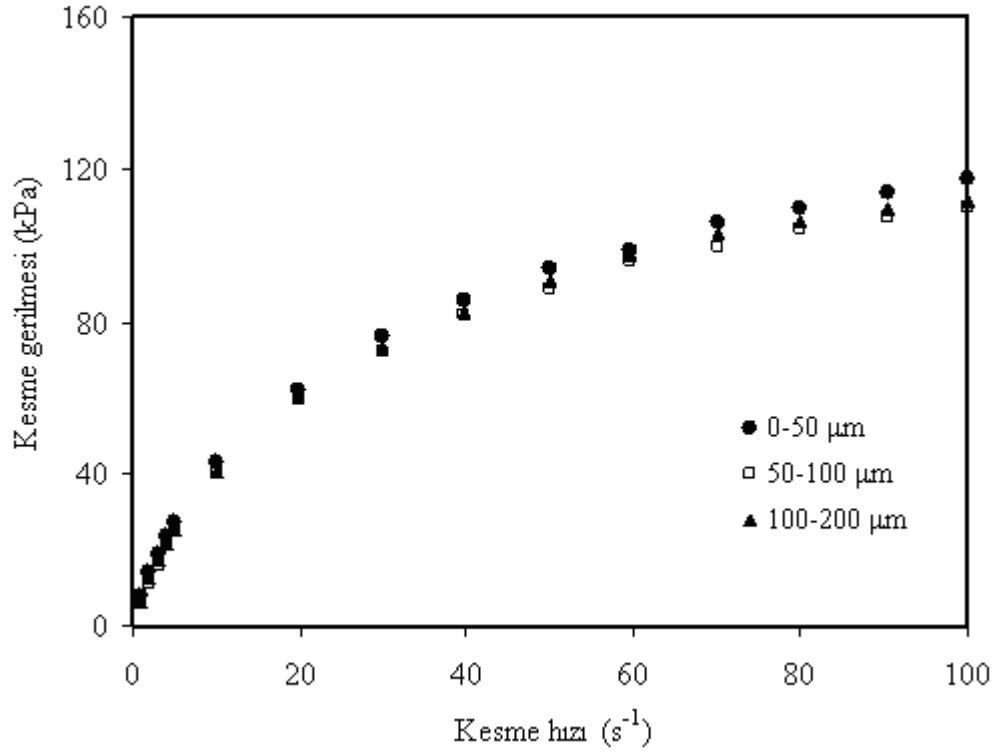
**Şekil 3.46:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}$ C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### **3.2.3.2 Tane Boyutunun Etkisi**

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 65:35 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.31-3.34'de verilerek Şekil 3.47-3.50'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.31:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

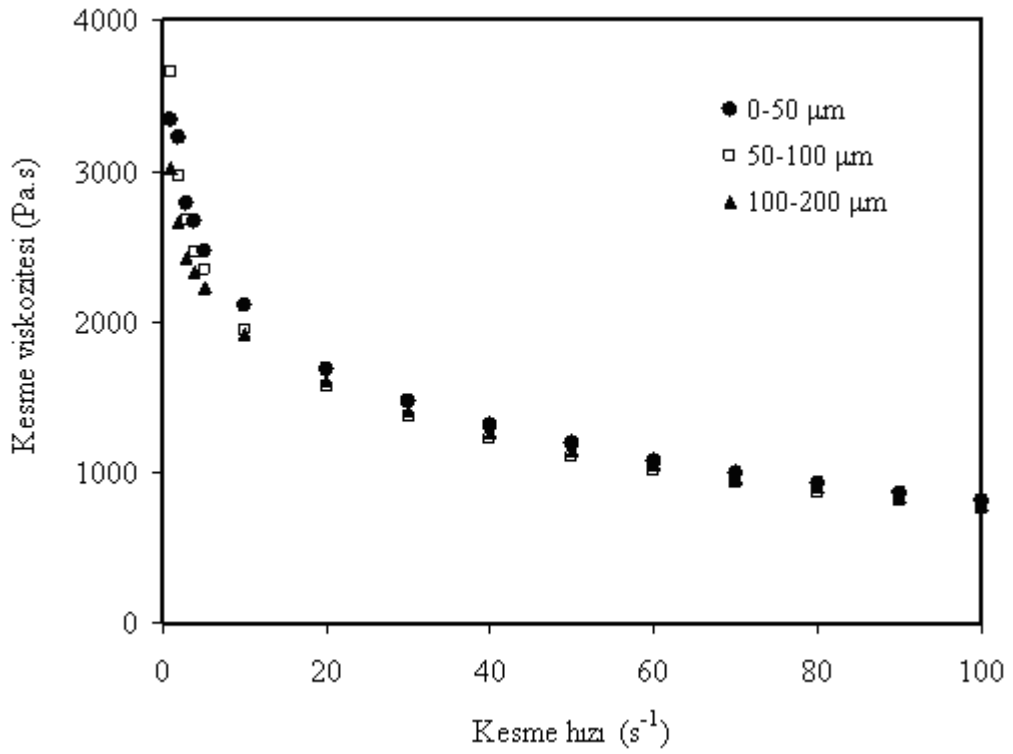
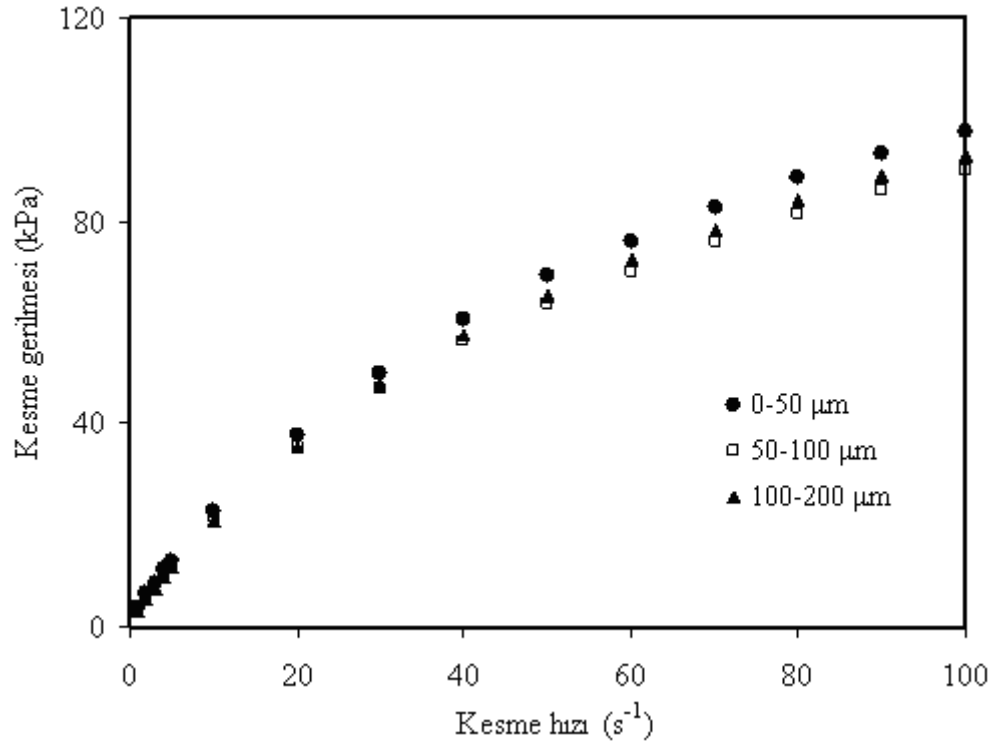
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	0–50	30	32/2	1	7469	8
				2	6757	14
				3	5884	19
				4	5330	24
				5	4899	27
				10	3648	43
				20	2497	62
				30	1938	76
				40	1575	85
				50	1329	94
				60	1136	99
				70	1008	106
				80	892	110
90	797	114				
100	725	118				
65:35	50–100	30	32/2	1	5896	6
				2	5434	11
				3	5085	16
				4	4900	21
				5	4625	25
				10	3550	40
				20	2423	59
				30	1850	72
				40	1494	82
				50	1234	89
				60	1069	96
				70	905	100
				80	797	104
90	695	108				
100	620	110				
65:35	100–200	30	32/2	1	6185	6
				2	5983	12
				3	5402	17
				4	4995	21
				5	4598	25
				10	3511	40
				20	2441	60
				30	1871	73
				40	1523	83
				50	1273	91
				60	1106	98
				70	958	103
				80	839	106
90	735	110				
100	657	112				



**Şekil 3.47:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}C$  de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları.

**Tablo 3.32:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	0–50	30	32/1	1	3339	3
				2	3215	7
				3	2781	9
				4	2659	11
				5	2465	13
				10	2102	23
				20	1678	38
				30	1464	50
				40	1309	60
				50	1189	69
				60	1075	76
70	992	82				
80	924	88				
90	862	93				
100	806	98				
65:35	50–100	30	32/1	1	3661	4
				2	2961	6
				3	2679	9
				4	2467	11
				5	2351	13
				10	1944	21
				20	1566	35
				30	1364	47
				40	1221	56
				50	1102	64
				60	1002	70
70	926	76				
80	863	81				
90	810	86				
100	757	90				
65:35	100–200	30	32/1	1	3021	3
				2	2663	5
				3	2428	8
				4	2326	10
				5	2219	12
				10	1923	21
				20	1597	35
				30	1409	47
				40	1263	57
				50	1140	65
				60	1040	72
70	960	78				
80	895	84				
90	836	89				
100	783	93				

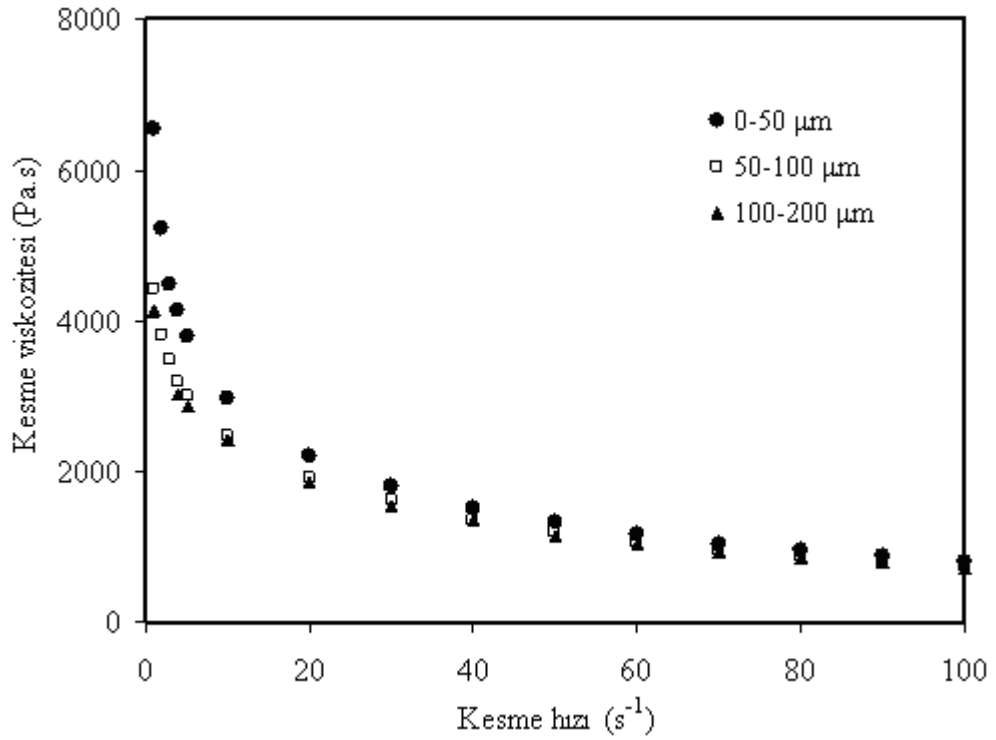
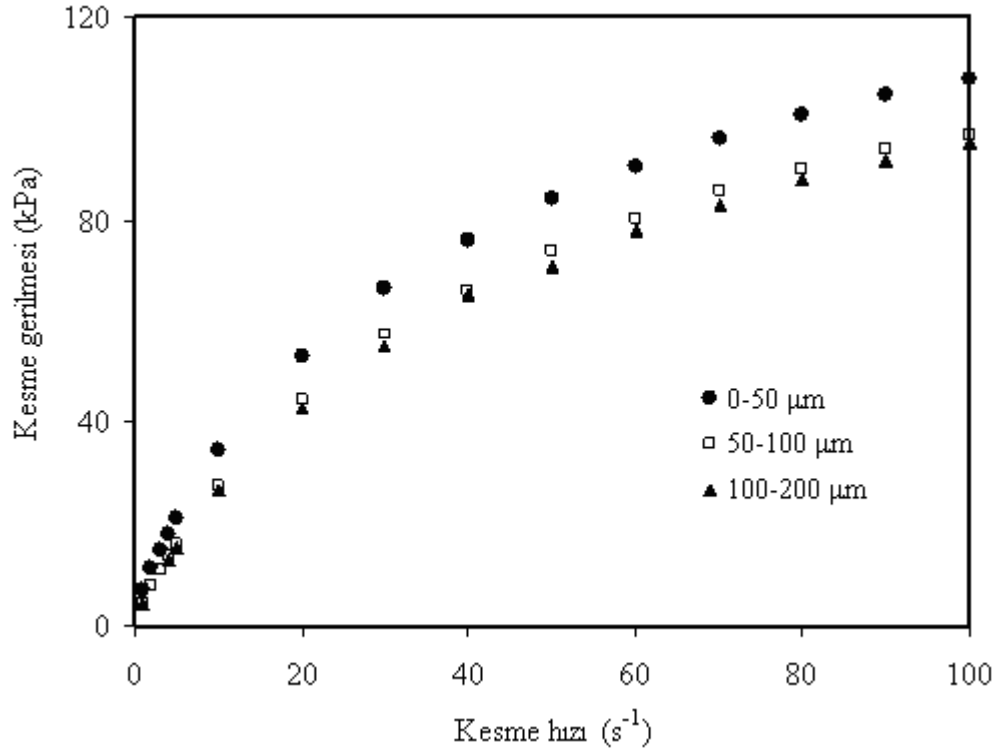


**Şekil 3.48:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}C$ 'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.33:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	0–50	30	16/1	1	6538	7
				2	5207	11
				3	4489	15
				4	4125	18
				5	3798	21
				10	2979	34
				20	2203	53
				30	1794	66
				40	1508	76
				50	1314	84
				60	1162	91
				70	1042	96
				80	946	101
90	864	105				
100	794	108				
65:35	50–100	30	16/1	1	4430	5
				2	3812	8
				3	3473	11
				4	3175	14
				5	3006	16
				10	2466	28
				20	1913	44
				30	1604	57
				40	1359	66
				50	1197	74
				60	1065	80
				70	959	86
				80	873	90
90	798	94				
100	733	97				
65:35	100–200	30	16/1	1	4120	4
				4	3009	13
				5	2871	15
				10	2414	27
				20	1847	43
				30	1542	55
				40	1344	65
				50	1149	71
				60	1034	78
				70	933	83
				80	856	88
				90	782	92
				100	722	95

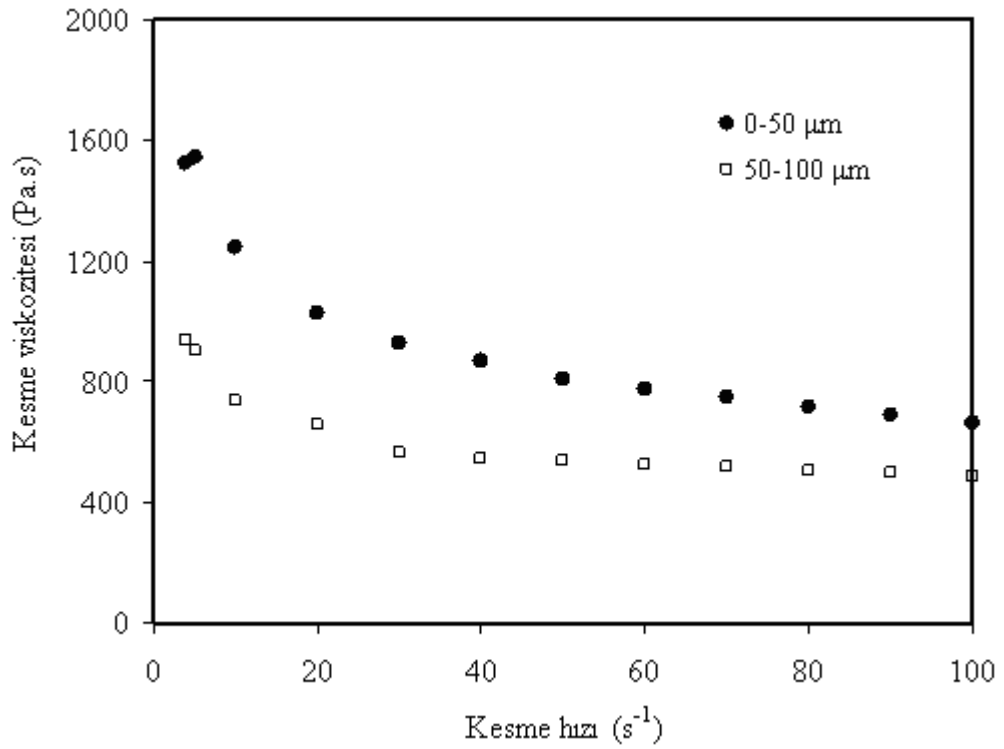
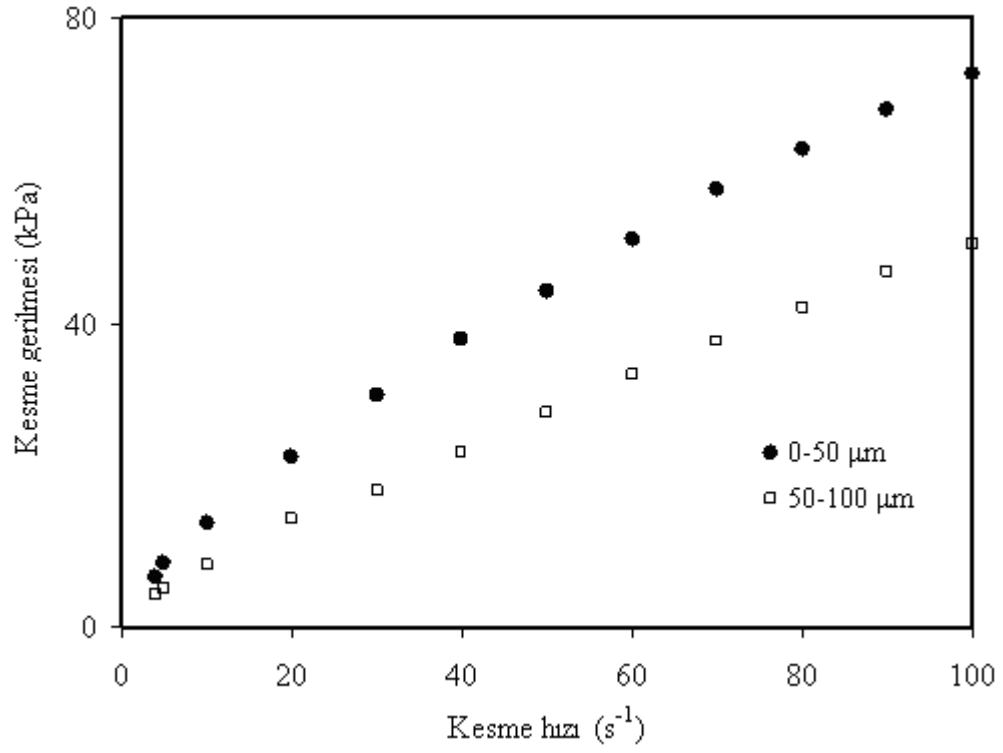




**Şekil 3.49:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}C$ 'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.34:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	0-50	30	8/0,5	4	1520	7
				5	1542	8
				10	1248	14
				20	1029	22
				30	927	30
				40	865	38
				50	807	44
				60	776	51
				70	749	57
				80	715	63
				90	690	68
			100	663	73	
65:35	50-100	30	8/0,5	4	941	4
				5	903	5
				10	734	8
				20	654	14
				30	561	18
				40	542	23
				50	536	28
				60	526	33
				70	514	38
				80	505	42
				90	498	47
			100	485	50	



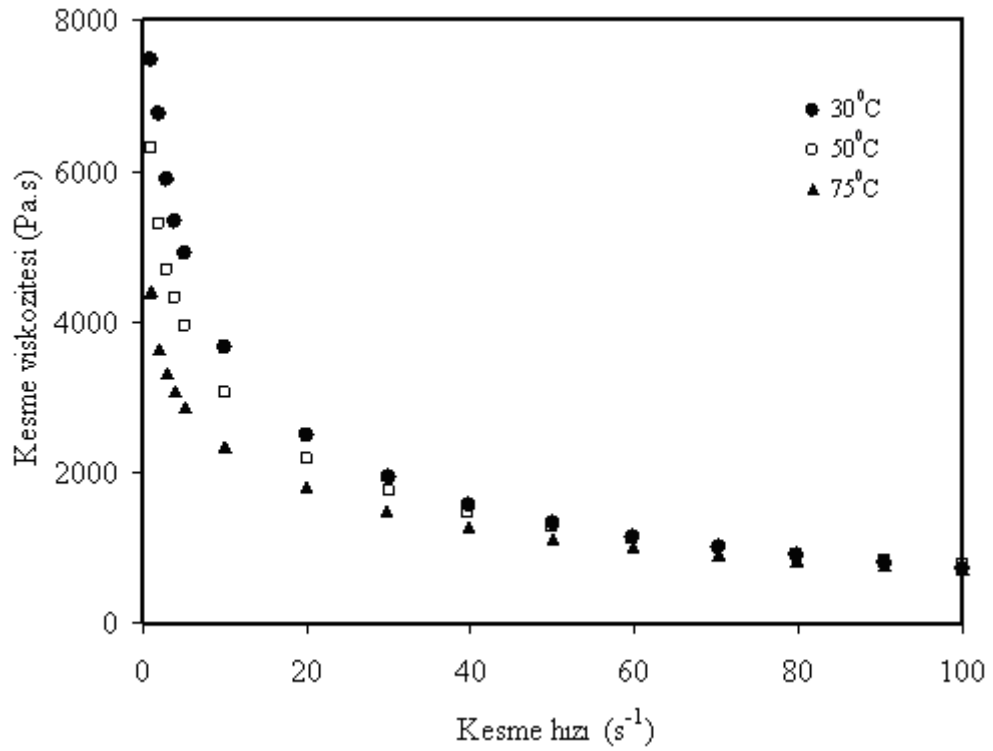
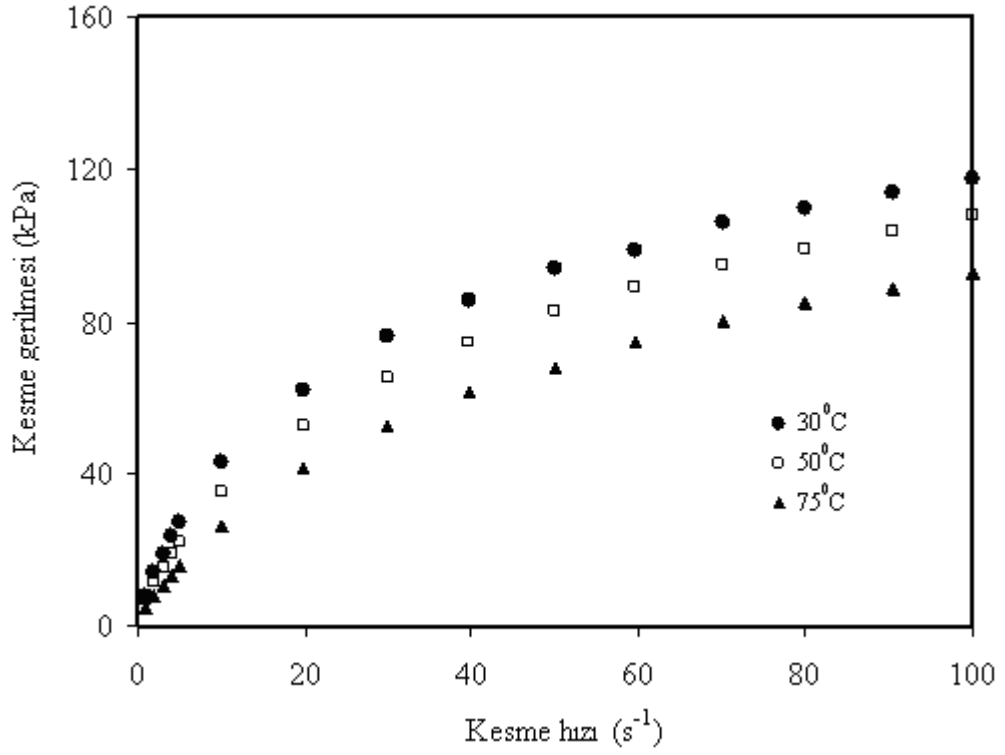
**Şekil 3.50:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.3.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksit (0–50 µm) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 65:35 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.35-3.38’de verilerek, Şekil 3.51-3.54’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.35:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

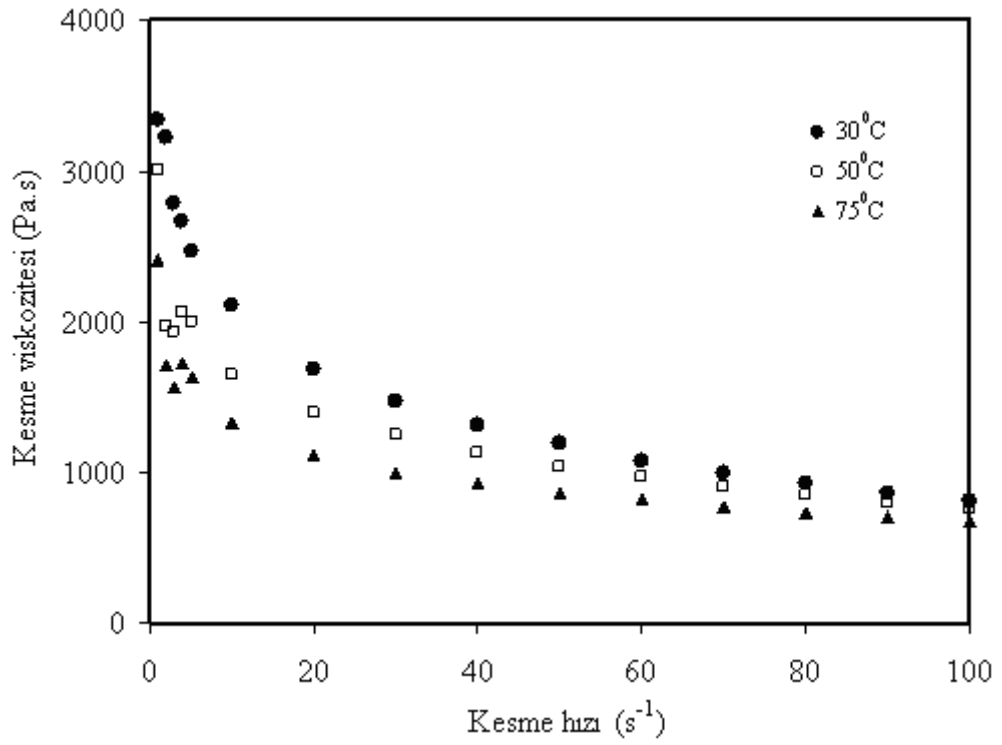
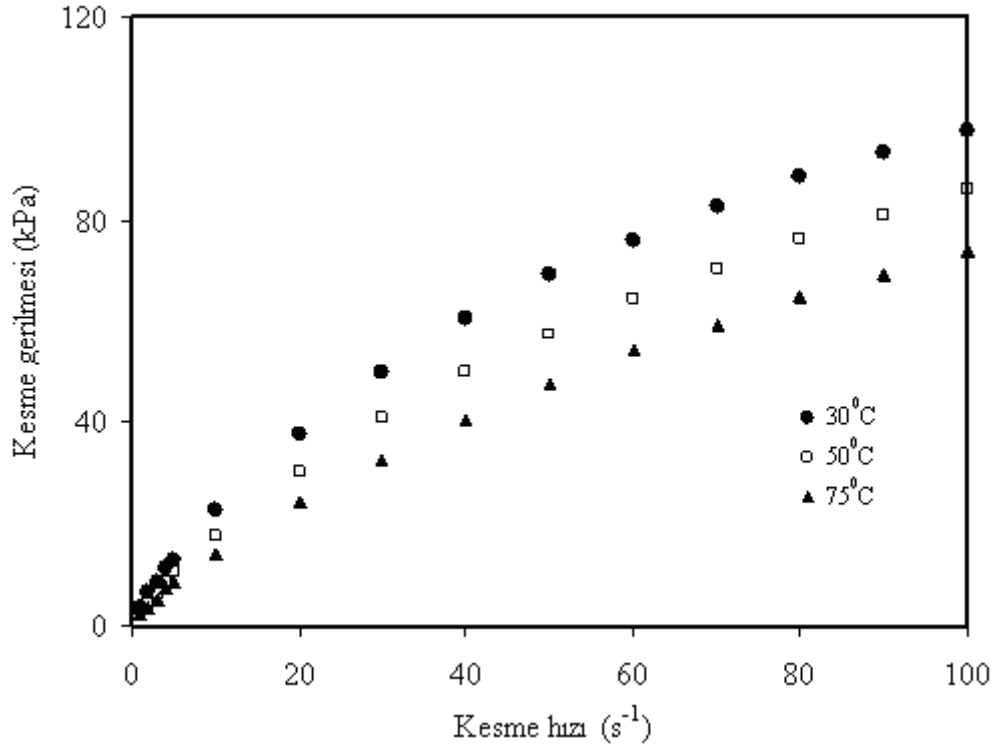
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/2	1	7469	8
			2	6757	14
			3	5884	19
			4	5330	24
			5	4899	27
			10	3648	43
			20	2497	62
			30	1938	76
			40	1575	85
			50	1329	94
			60	1136	99
			70	1008	106
			80	892	110
90	797	114			
100	725	118			
65:35	50	32/2	1	6301	7
			2	5305	11
			3	4681	15
			4	4318	19
			5	3945	22
			10	3042	35
			20	2180	53
			30	1736	65
			40	1454	74
			50	1258	83
			60	1118	89
			70	995	95
			80	900	99
90	819	104			
100	759	108			
65:35	75	32/2	1	4400	5
			2	3635	8
			3	3309	11
			4	3074	13
			5	2871	16
			10	2331	26
			20	1792	42
			30	1480	53
			40	1273	62
			50	1100	68
			60	996	74
			70	902	80
			80	830	85
90	759	89			
100	714	93			



**Şekil 3.51:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.36:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/1	1	3339	3
			2	3215	7
			3	2781	9
			4	2659	11
			5	2465	13
			10	2102	23
			20	1678	38
			30	1464	50
			40	1309	60
			50	1189	69
			60	1075	76
			70	992	82
			80	924	88
90	862	93			
100	806	98			
65:35	50	32/1	1	3001	3
			2	1973	4
			3	1932	6
			4	2062	9
			5	2002	11
			10	1639	18
			20	1390	30
			30	1239	41
			40	1127	50
			50	1031	57
			60	961	64
			70	899	71
			80	849	76
90	801	81			
100	761	86			
65:35	75	32/1	1	2411	3
			2	1705	4
			3	1558	5
			4	1716	7
			5	1633	9
			10	1330	14
			20	1114	24
			30	998	33
			40	925	41
			50	867	48
			60	821	54
			70	771	59
			80	735	65
90	698	69			
100	670	74			

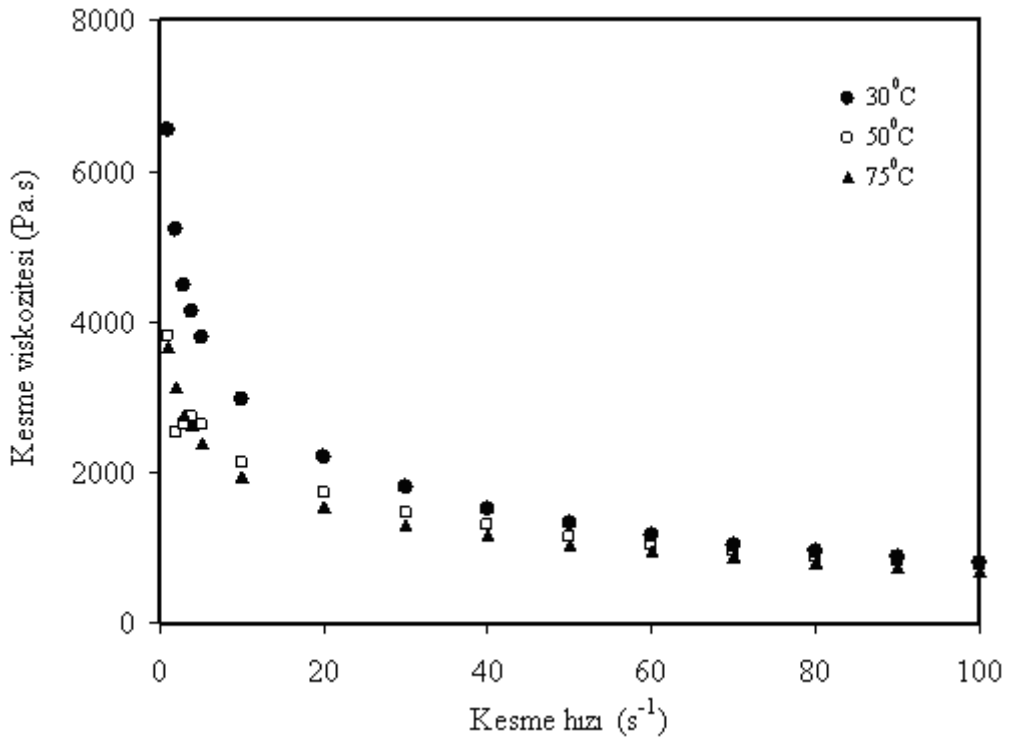
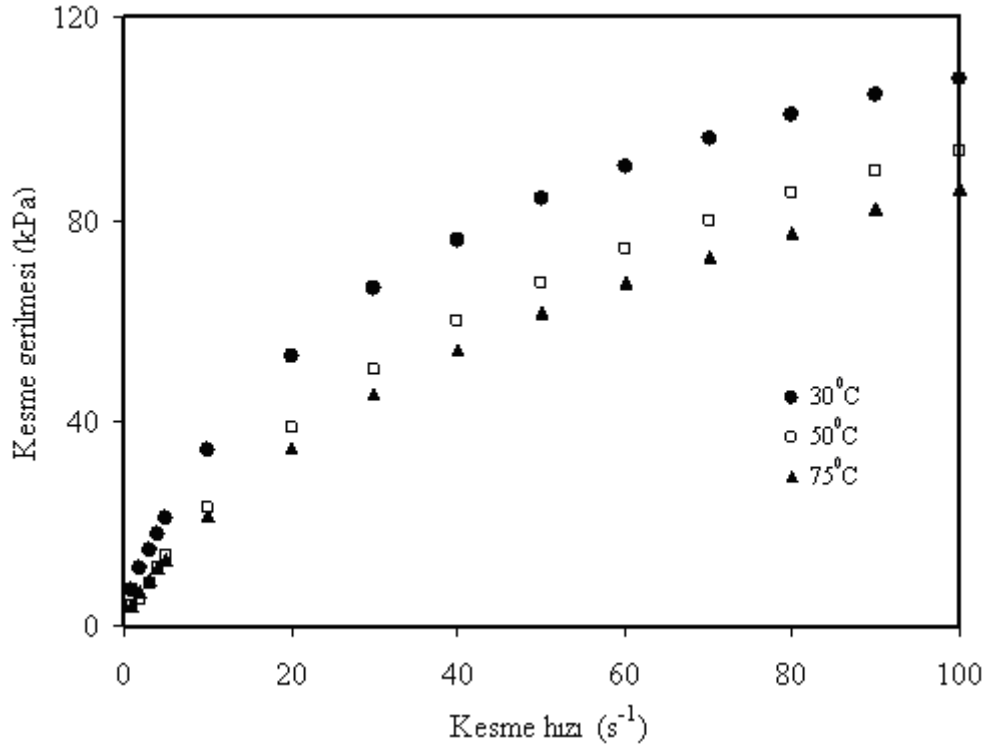


**Şekil 3.52:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.37:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

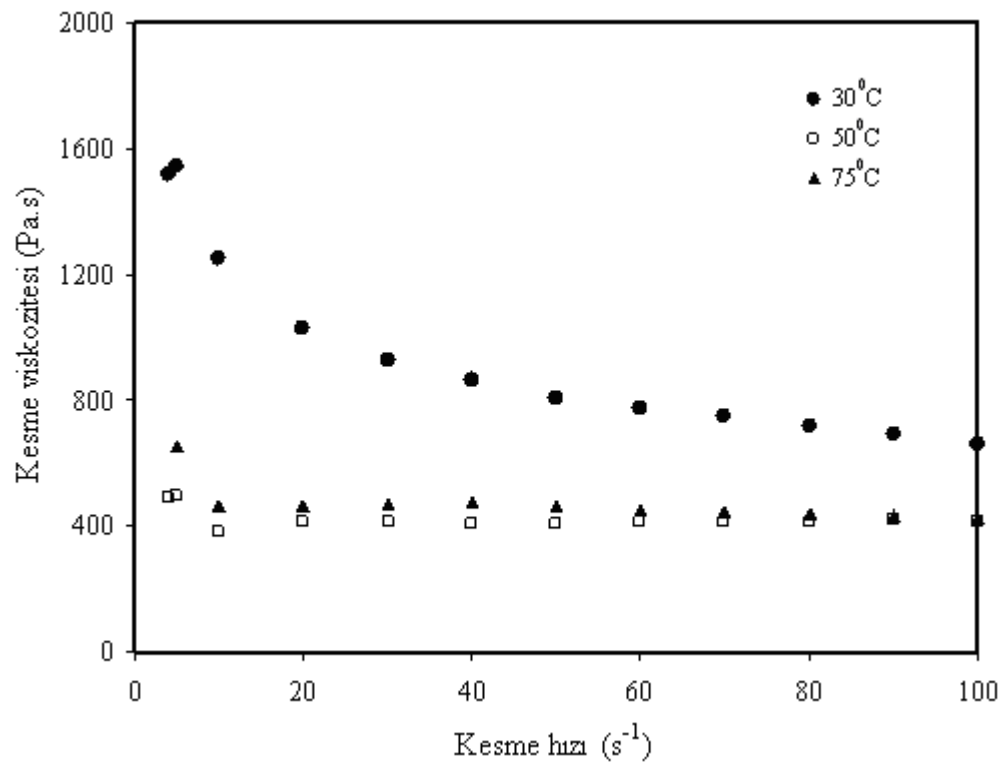
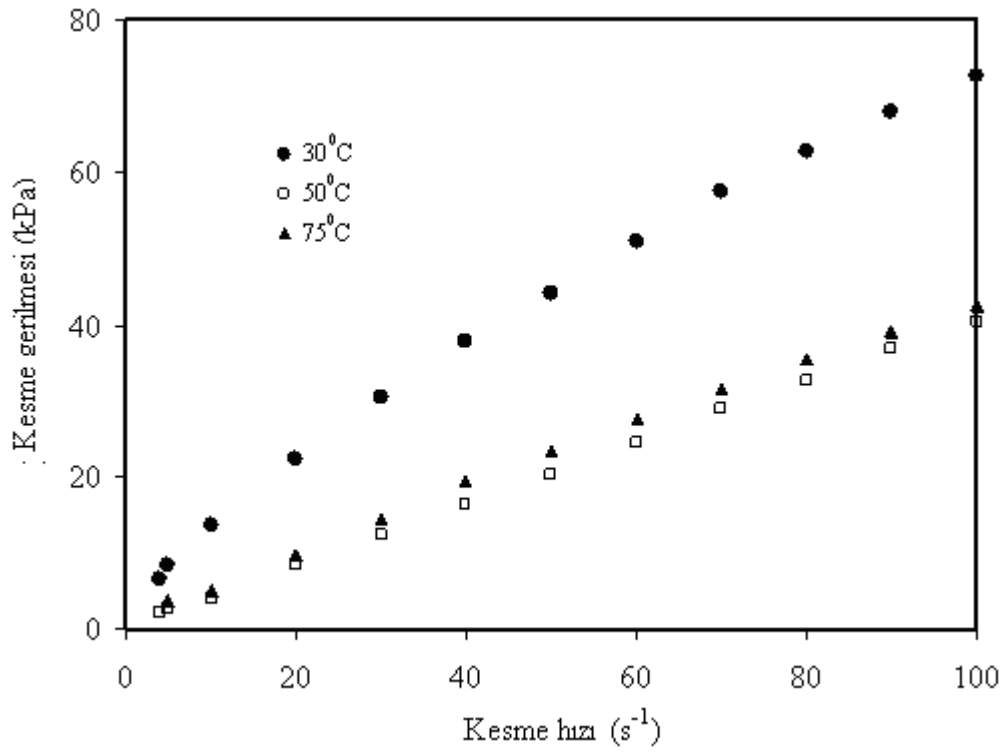
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	16/1	1	6538	7
			2	5207	11
			3	4489	15
			4	4125	18
			5	3798	21
			10	2979	34
			20	2203	53
			30	1794	66
			40	1508	76
			50	1314	84
			60	1162	91
			70	1042	96
			80	946	101
90	864	105			
100	794	108			
65:35	50	16/1	1	3810	4
			2	2505	5
			3	2614	8
			4	2721	12
			5	2617	14
			10	2129	23
			20	1731	39
			30	1469	50
			40	1292	60
			50	1151	68
			60	1040	74
			70	950	80
			80	880	85
90	816	90			
100	762	94			
65:35	75	16/1	1	3668	4
			2	3116	7
			3	2759	9
			4	2611	11
			5	2372	13
			10	1946	22
			20	1539	35
			30	1308	46
			40	1158	54
			50	1039	62
			60	944	68
			70	861	73
			80	801	78
90	749	82			
100	702	86			



**Şekil 3.53:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.38:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	8/0,5	4	1520	7
			5	1542	8
			10	1248	14
			20	1029	22
			30	927	30
			40	865	38
			50	807	44
			60	776	51
			70	749	57
			80	715	63
			90	690	68
65:35	50	8/0,5	100	663	73
			4	488	2
			5	493	3
			10	383	4
			20	411	8
			30	411	12
			40	404	16
			50	406	20
			60	410	24
			70	416	29
			80	414	33
90	416	37			
65:35	75	8/0,5	100	412	40
			5	653	4
			10	467	5
			20	466	10
			30	467	14
			40	473	19
			50	462	23
			60	453	27
			70	446	31
			80	440	35
			90	435	39
100	426	42			



**Şekil 3.54:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.4 Üleksit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.39'da verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.39:** Reolojik karakterizasyonu yapılan üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastaları ve çalışılan parametreler

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
70:30	0-50	30
77,5:22,5	0-50	30
80:20	0-50	30
77,5:22,5	50-100	30
77,5:22,5	100-200	30
77,5:22,5	0-50	50
77,5:22,5	0-50	75

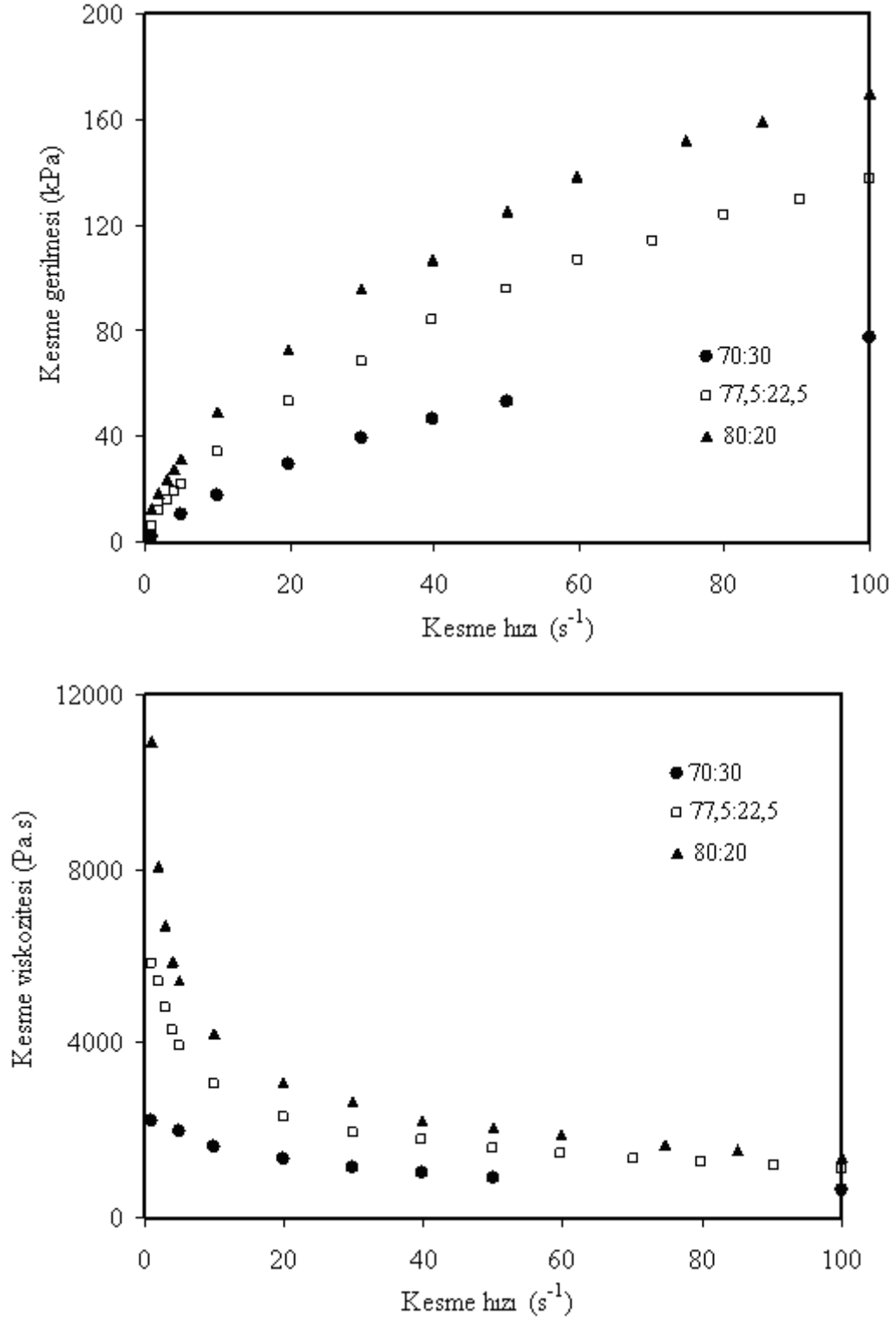
L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

#### 3.2.4.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK100 000) ve üleksit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 70:30, 77,5:22,5 ve 80:20 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.40-3.43'de verilerek Şekil 3.55-3.58'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.40:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	32/2	1	2218	2
			5	1978	10
			10	1630	17
			20	1342	30
			30	1160	39
			40	1021	47
			50	903	53
			100	628	78
			200	425	113
			300	317	133
			500	208	157
750	142	174			
1000	107	187			
77,5:22,5	30	32/2	1	5831	6
			2	5397	12
			3	4794	16
			4	4306	19
			5	3923	22
			10	3054	34
			20	2323	53
			30	1956	68
			40	1784	84
			50	1606	96
			60	1486	107
70	1347	114			
80	1274	124			
90	1173	130			
100	1118	137			
80:20	30	32/2	1	10936	13
			2	8055	19
			3	6717	23
			4	5890	27
			5	5430	32
			10	4199	50
			20	3086	73
			30	2675	95
			40	2238	107
			50	2079	125
			60	1922	138
75	1682	152			
85	1545	160			
100	1398	170			

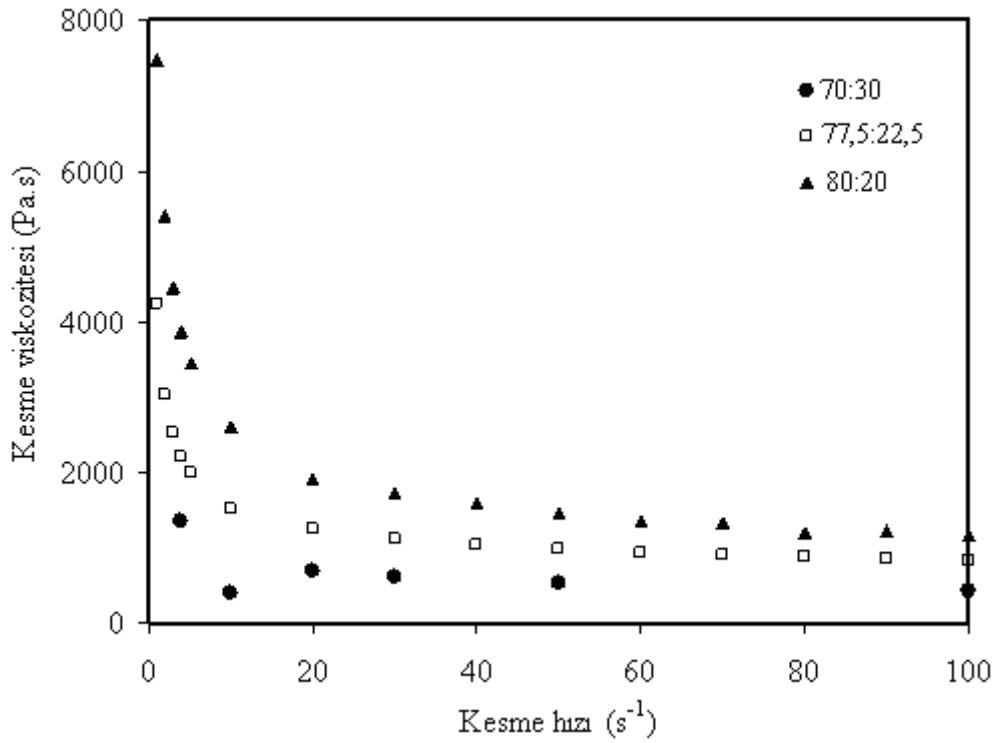
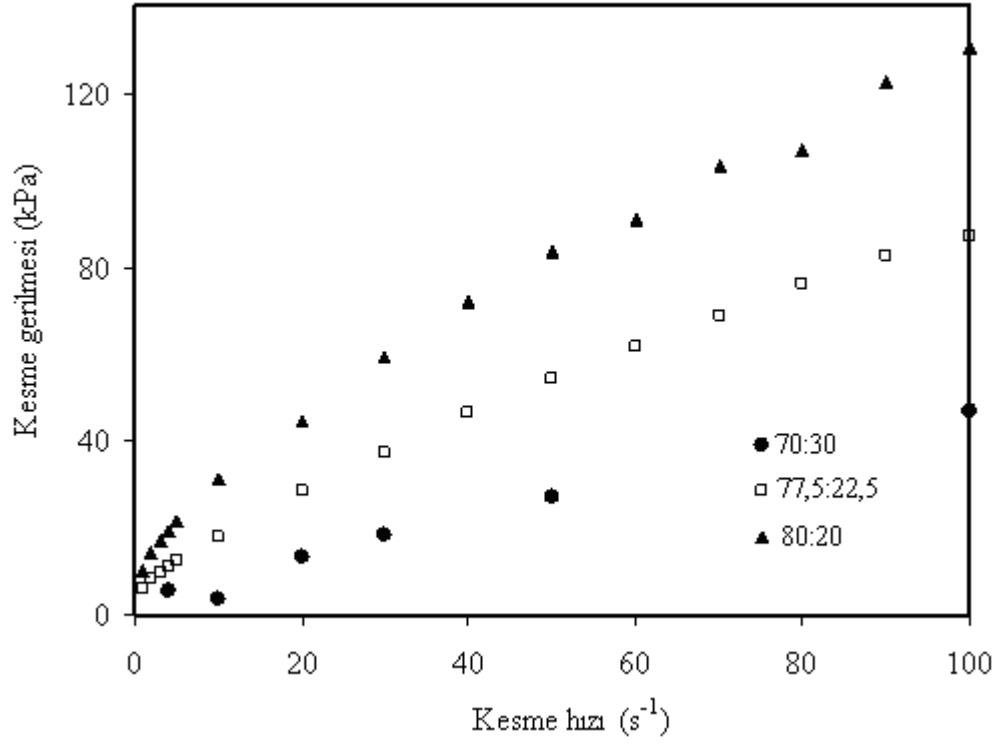


**Şekil 3.55:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.41:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	32/1	4	1349	5
			10	389	4
			20	691	13
			30	616	18
			50	536	27
			100	436	47
			148	377	62
			198	330	76
			296	265	97
			498	184	127
			751	126	150
			997	90	165
			77,5:22,5	30	32/1
2	3019	8			
3	2509	10			
4	2204	11			
5	1981	12			
10	1497	18			
20	1239	28			
30	1104	37			
40	1040	46			
50	981	54			
60	939	62			
70	908	69			
80	882	76			
90	852	83			
100	815	87			
80:20	30	32/1	1	7470	10
			2	5401	14
			3	4451	17
			4	3855	19
			5	3453	21
			10	2596	31
			20	1907	45
			30	1711	59
			40	1577	72
			50	1467	83
			60	1343	91
			70	1313	103
			80	1195	107
90	1220	122			
100	1172	130			

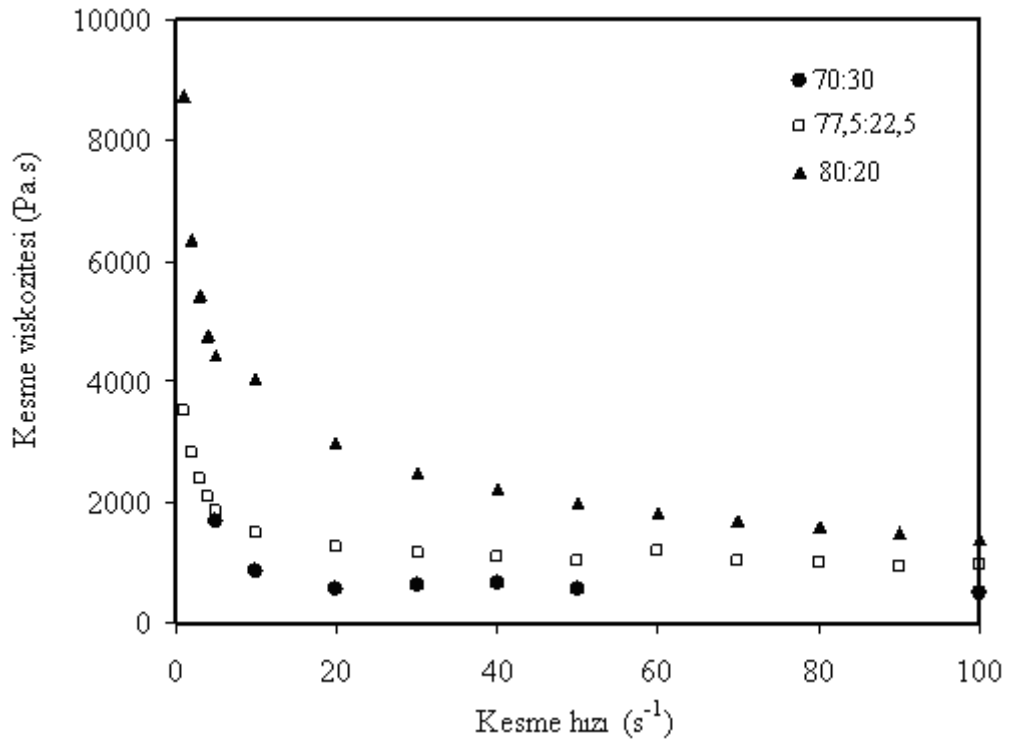
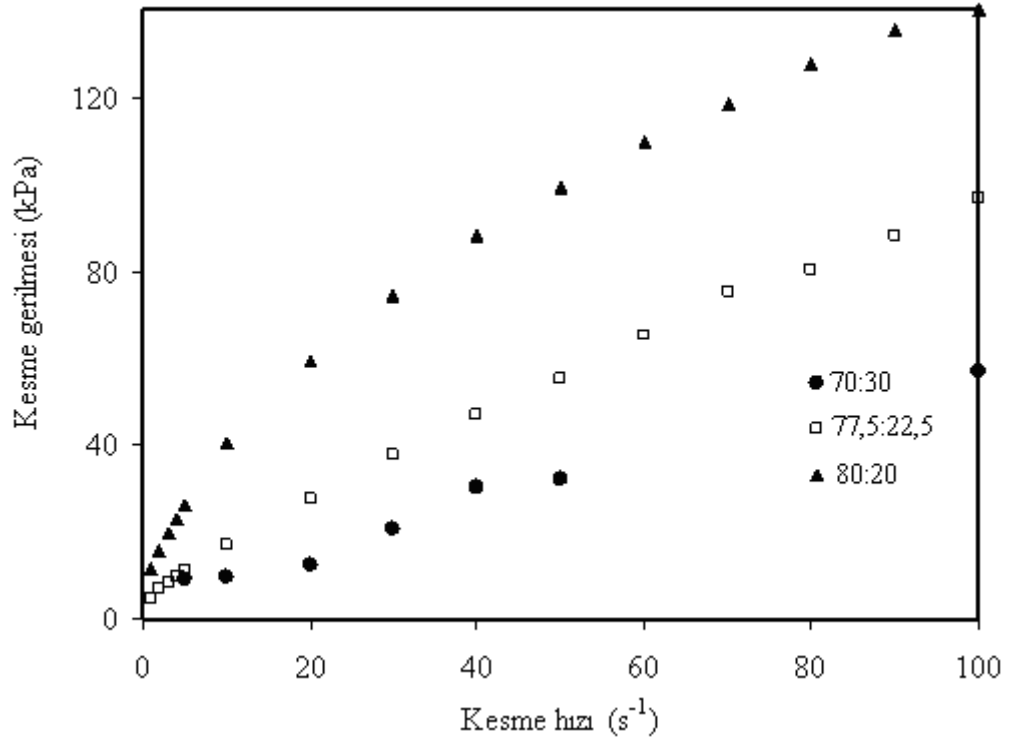




**Şekil 3.56:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.42:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

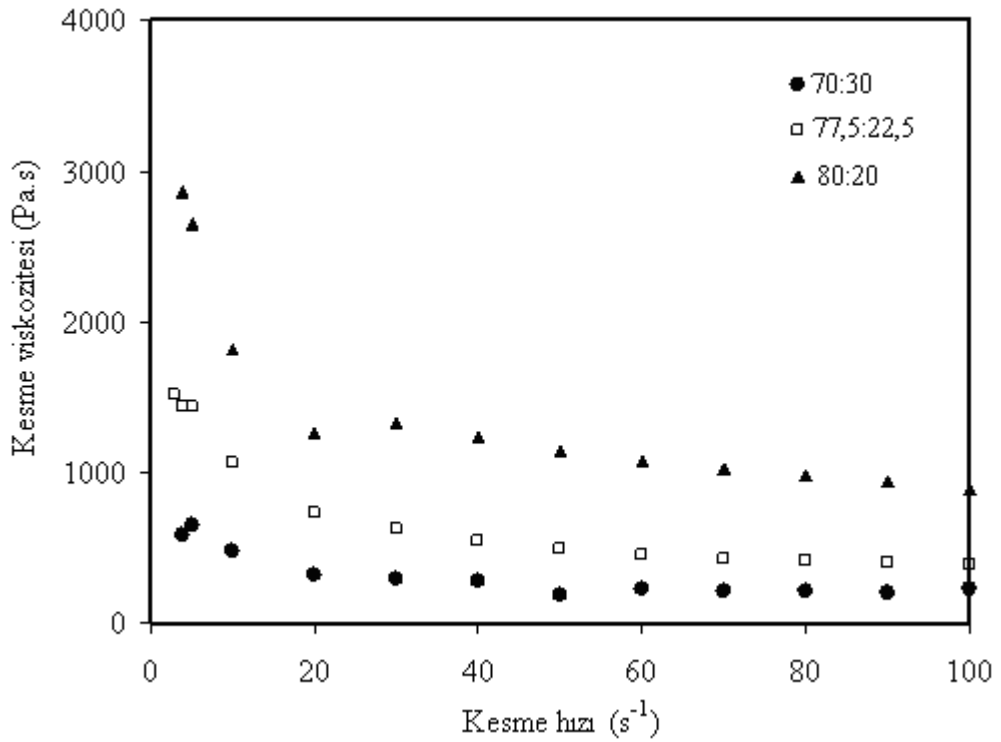
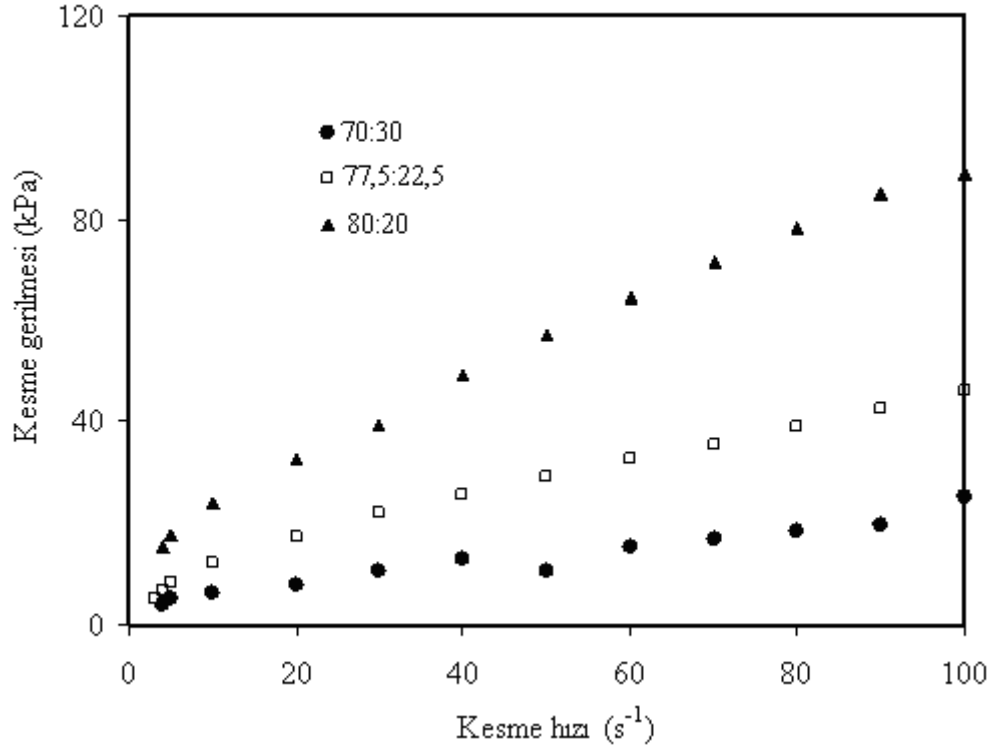
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	16/1	5	1685	9
			10	855	9
			20	562	13
			30	616	21
			40	671	30
			50	569	32
			100	493	57
			148	434	74
			198	390	90
			296	321	112
			498	235	140
			751	172	155
			997	139	168
77,5:22,5	30	16/1	1	3518	4
			2	2811	7
			3	2375	8
			4	2087	10
			5	1866	11
			10	1485	17
			20	1245	27
			30	1161	38
			40	1089	47
			50	1028	55
			60	1185	65
			70	1015	75
			80	1002	80
90	931	88			
100	970	97			
80:20	30	16/1	1	8743	11
			2	6359	16
			3	5434	20
			4	4784	23
			5	4425	26
			10	4039	40
			20	2967	59
			30	2486	75
			40	2209	88
			50	1984	99
			60	1827	110
			70	1691	118
			80	1593	127
90	1503	135			
100	1402	140			



**Şekil 3.57:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.43:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
70:30	30	8/0,5	4	577	4
			5	655	5
			10	471	6
			20	321	8
			30	292	10
			40	279	13
			50	184	11
			60	225	15
			70	215	17
			80	207	18
			90	199	20
			100	232	25
77,5:22,5	30	8/0,5	3	1505	5
			4	1435	7
			5	1427	8
			10	1062	12
			20	728	17
			30	619	22
			40	537	25
			50	488	29
			60	455	33
			70	424	35
			80	407	39
			90	393	42
			100	383	46
80:20	30	8/0,5	4	2867	15
			5	2646	18
			10	1819	24
			20	1258	33
			30	1318	40
			40	1229	49
			50	1144	57
			60	1077	65
			70	1025	72
			80	978	78
			90	942	85
			100	889	89



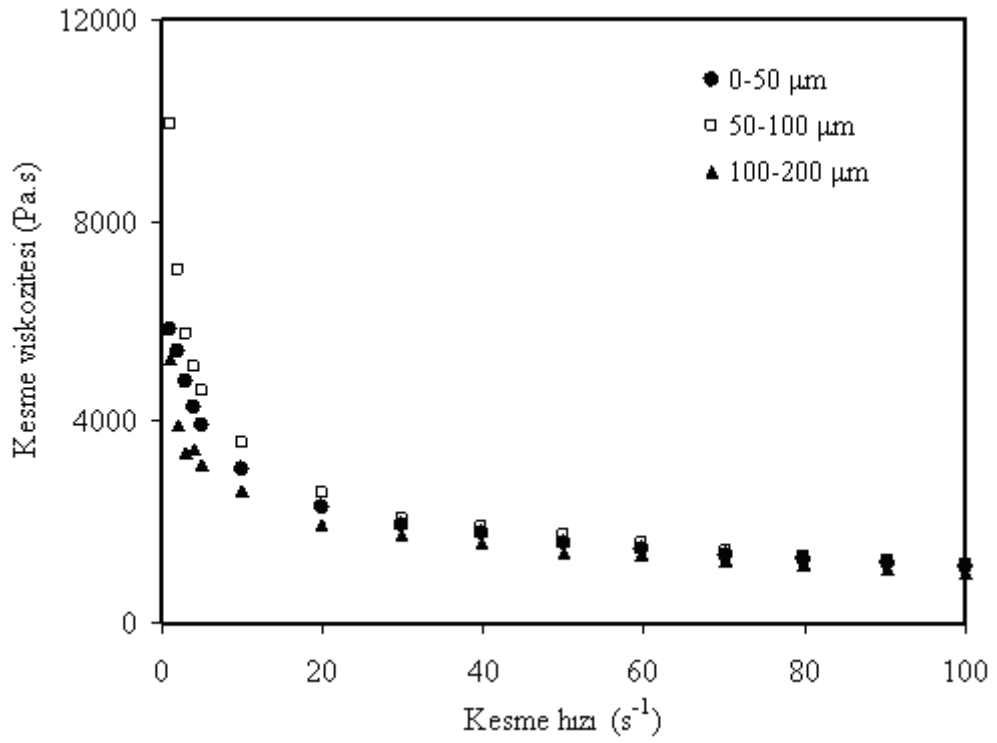
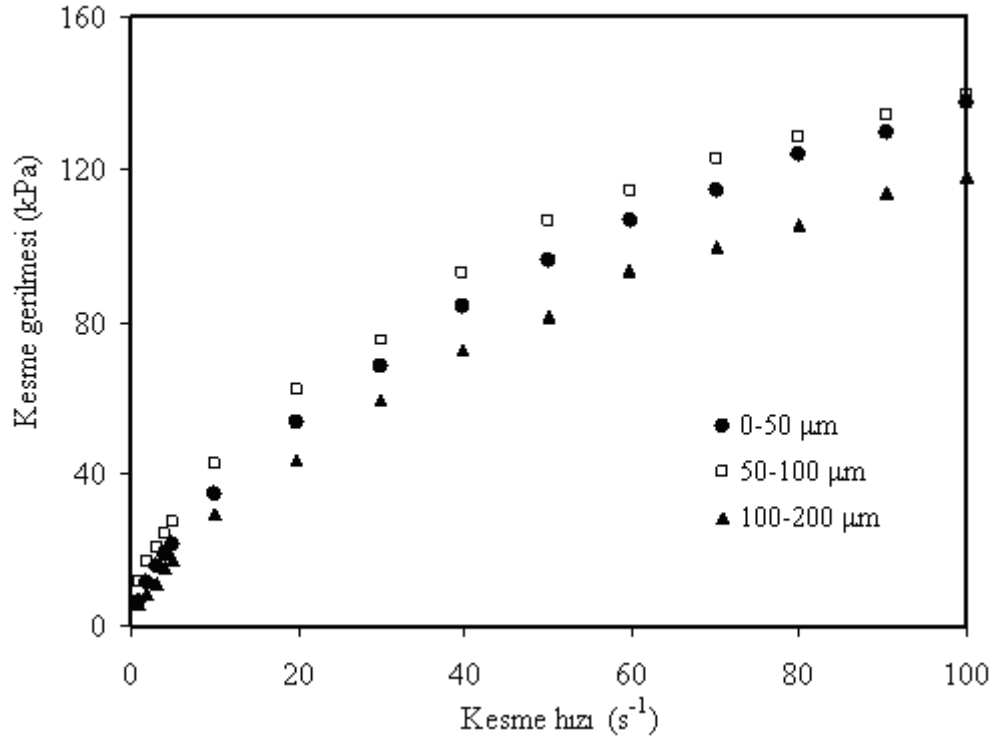
**Şekil 3.58:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### **3.2.4.2 Tane Boyutunun Etkisi**

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 77,5:22,5 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.44-3.46'da verilerek Şekil 3.59-3.61'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.44:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0–50	30	32/2	1	5831	6
				2	5397	12
				3	4794	16
				4	4306	19
				5	3923	22
				10	3054	34
				20	2323	53
				30	1956	68
				40	1784	84
				50	1606	96
				60	1486	107
				70	1347	114
				80	1274	124
90	1173	130				
100	1118	137				
77,5:22,5	50–100	30	32/2	1	9946	12
				2	7044	17
				3	5763	21
				4	5104	24
				5	4619	28
				10	3561	43
				20	2580	62
				30	2076	75
				40	1923	93
				50	1753	107
				60	1574	114
				70	1433	123
				80	1321	129
90	1217	134				
100	1142	140				
77,5:22,5	100–200	30	32/2	1	5228	6
				2	3940	9
				3	3361	11
				4	3444	15
				5	3146	17
				10	2616	29
				20	1939	44
				30	1737	59
				40	1591	73
				50	1410	81
				60	1353	93
				70	1222	100
				80	1137	106
90	1079	114				
100	1007	118				

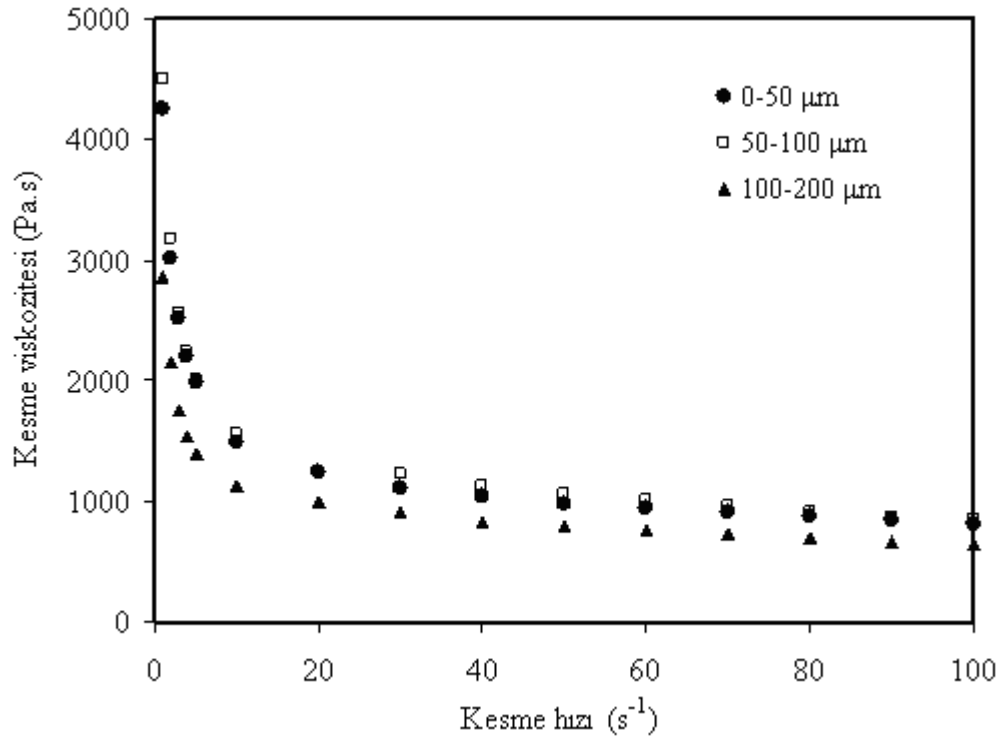
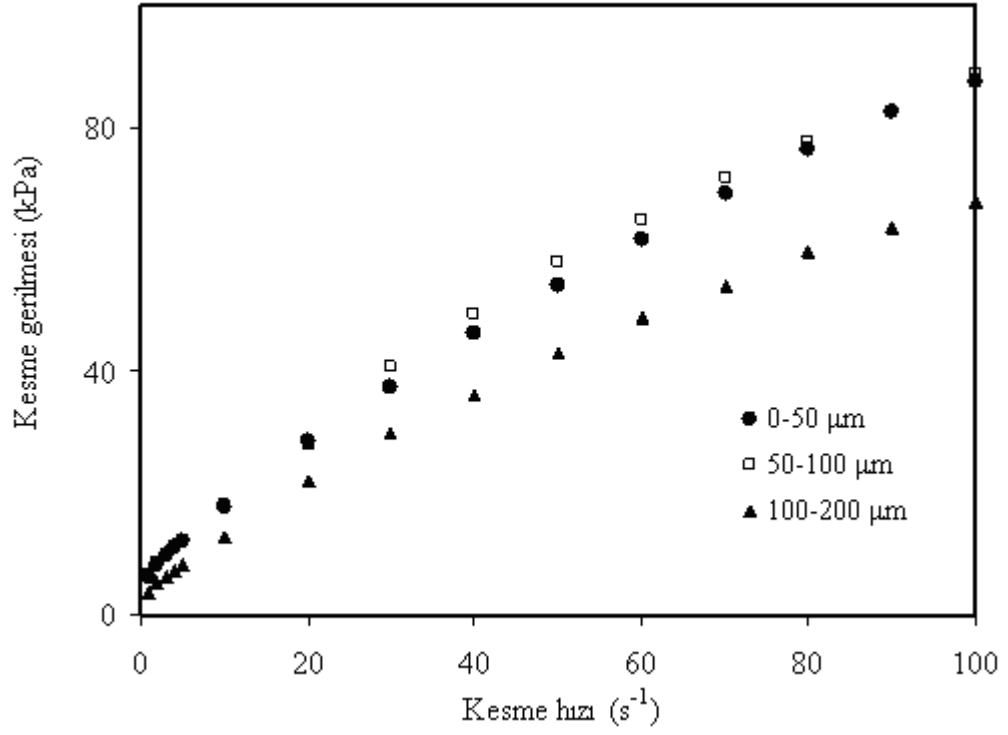


**Şekil 3.59:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.45:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

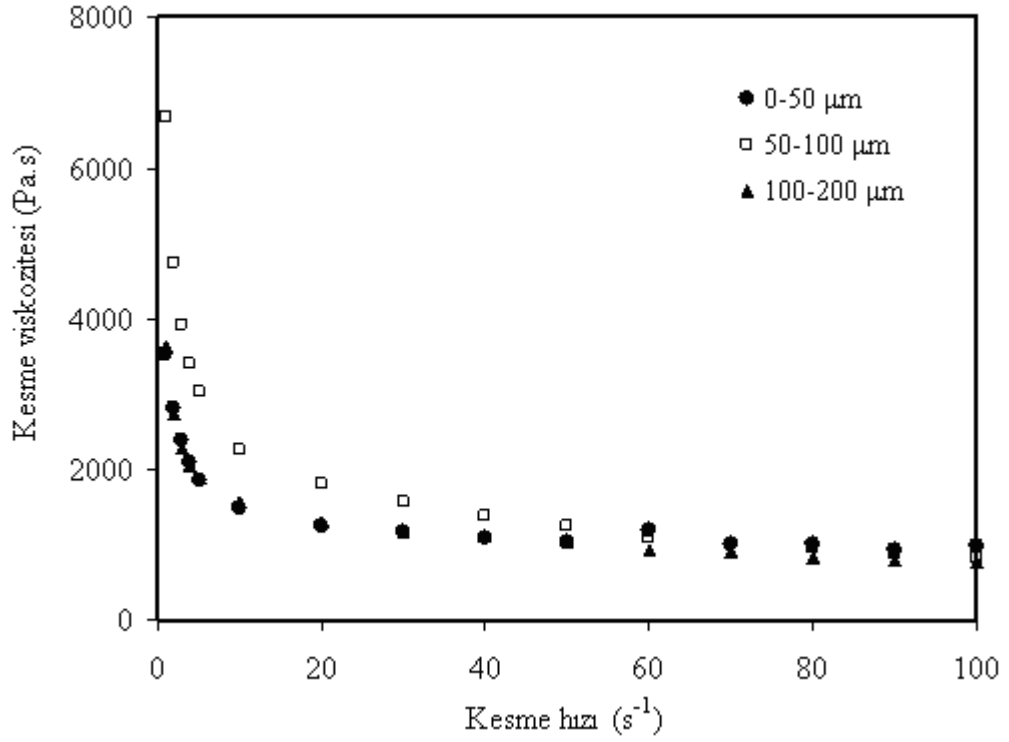
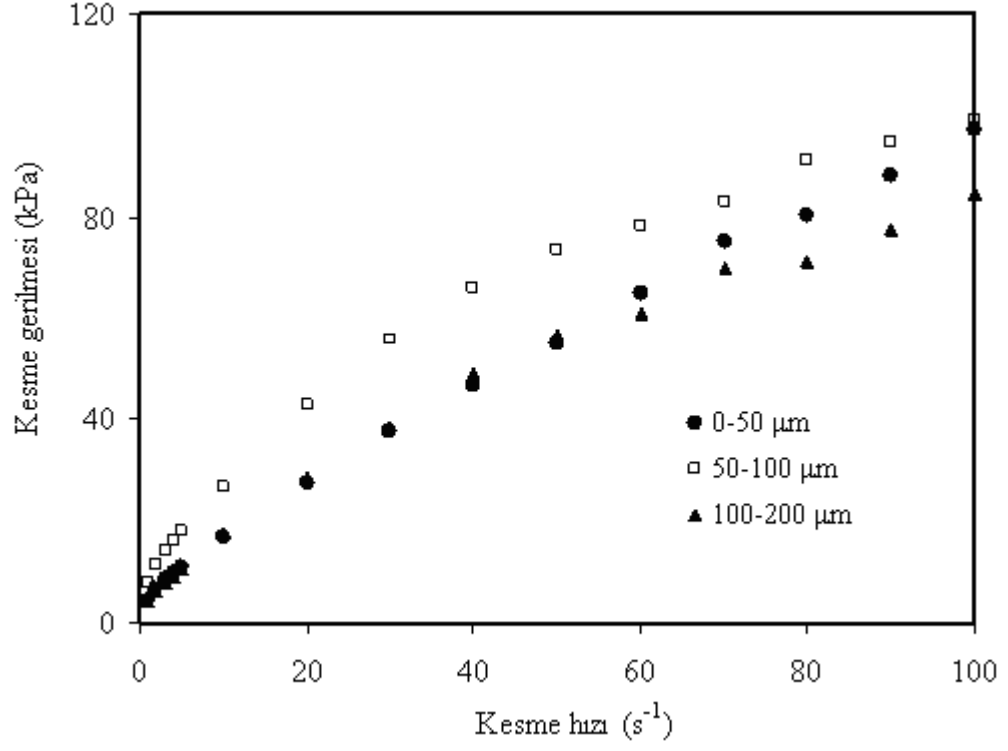
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0–50	30	32/1	1	4248	6
				2	3019	8
				3	2509	10
				4	2204	11
				5	1981	12
				10	1497	18
				20	1239	28
				30	1104	37
				40	1040	46
				50	981	54
				60	939	62
				70	908	69
				80	882	76
90	852	83				
100	815	87				
77,5:22,5	50–100	30	32/1	1	4504	6
				2	3172	8
				3	2562	10
				4	2229	11
				5	2001	12
				10	1549	18
				20	1237	28
				30	1220	41
				40	1132	50
				50	1066	58
				60	1004	65
				70	955	72
				80	910	78
90	864	83				
100	838	89				
77,5:22,5	100–200	30	32/1	1	2868	4
				2	2154	5
				3	1758	6
				4	1548	7
				5	1393	8
				10	1133	13
				20	1000	22
				30	905	30
				40	828	36
				50	795	43
				60	761	49
				70	725	54
				80	701	60
90	663	63				
100	642	68				



**Şekil 3.60:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}C$ 'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.46:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	0-50	30	16/1	1	3518	4
				2	2811	7
				3	2375	8
				4	2087	10
				5	1866	11
				10	1485	17
				20	1245	27
				30	1161	38
				40	1089	47
				50	1028	55
				60	1185	65
				70	1015	75
				80	1002	80
90	931	88				
100	970	97				
77,5:22,5	50-100	30	16/1	1	6687	8
				2	4733	11
				3	3921	14
				4	3383	16
				5	3032	18
				10	2243	27
				20	1796	43
				30	1565	56
				40	1388	66
				50	1241	74
				60	1098	78
				70	1000	83
				80	960	91
90	886	95				
100	833	99				
77,5:22,5	100-200	30	16/1	1	3640	4
				2	2728	6
				3	2267	8
				4	2034	9
				5	1883	11
				10	1568	18
				20	1291	29
				30	1157	39
				40	1109	49
				50	1027	57
				60	920	61
				70	909	70
				80	811	71
90	782	77				
100	772	85				



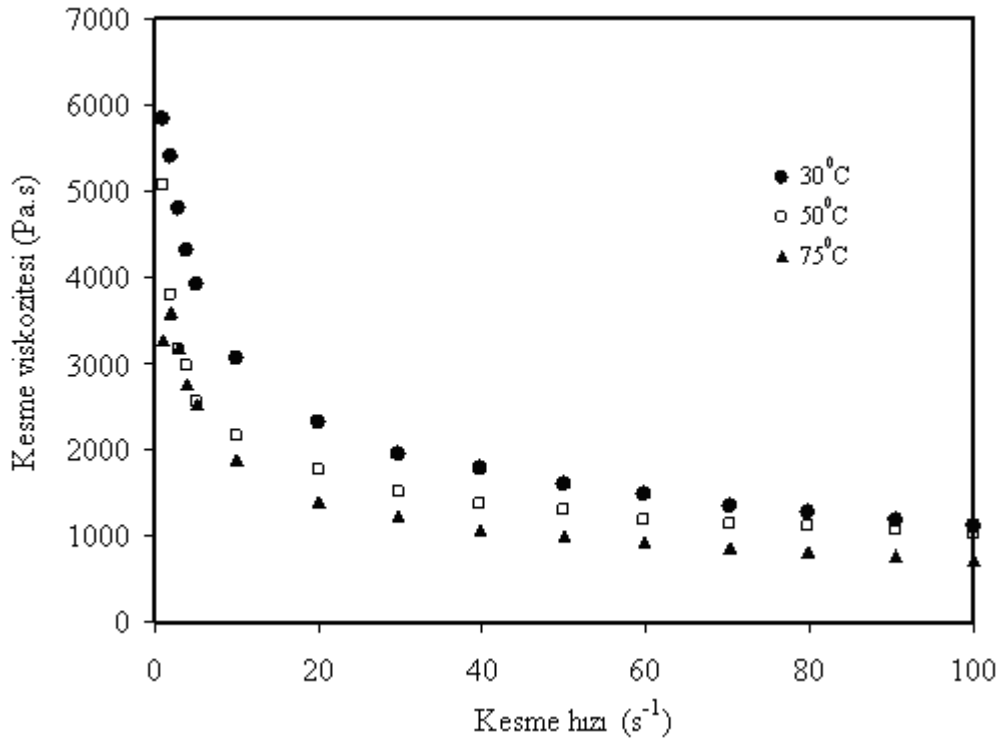
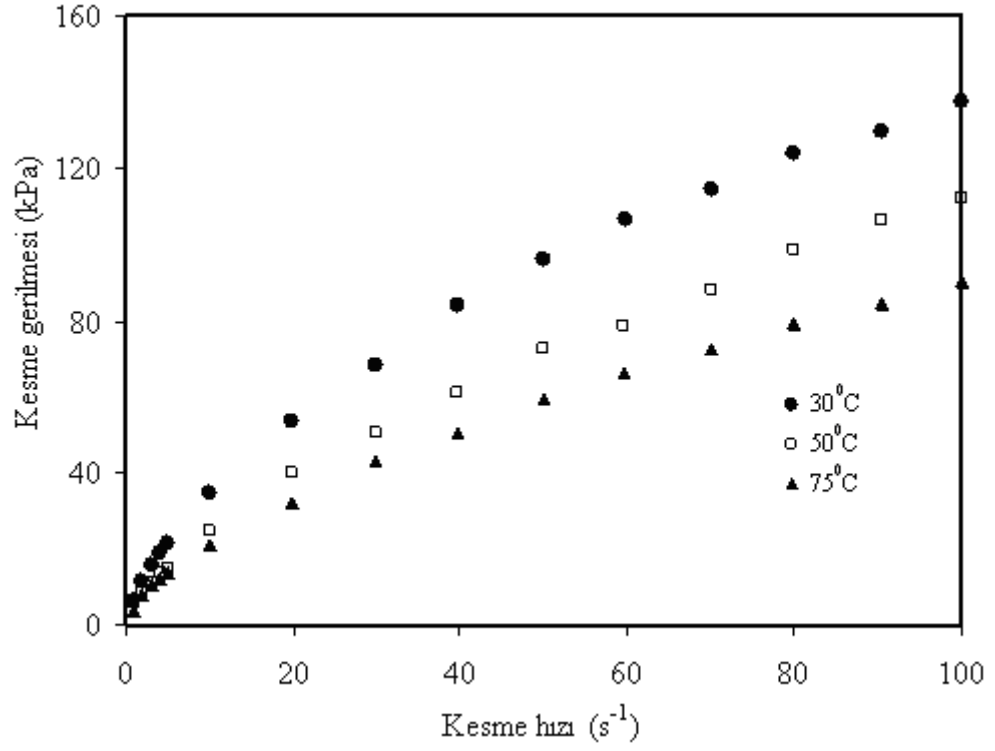
**Şekil 3.61:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.4.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksit (0–50  $\mu\text{m}$ ) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 77,5:22,5 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.47-3.50’de verilerek, Şekil 3.62-3.65’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.47:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	32/2	1	5831	6
			2	5397	12
			3	4794	16
			4	4306	19
			5	3923	22
			10	3054	34
			20	2323	53
			30	1956	68
			40	1784	84
			50	1606	96
			60	1486	107
			70	1347	114
			80	1274	124
90	1173	130			
100	1118	137			
77,5:22,5	50	32/2	1	5081	6
			2	3809	9
			3	3157	11
			4	2968	14
			5	2561	15
			10	2151	24
			20	1768	40
			30	1504	50
			40	1369	61
			50	1295	72
			60	1182	78
			70	1128	88
			80	1116	99
90	1062	106			
100	1015	112			
77,5:22,5	75	32/2	1	3257	3
			2	3593	8
			3	3173	10
			4	2761	12
			5	2518	14
			10	1887	21
			20	1389	32
			30	1231	43
			40	1074	51
			50	991	59
			60	922	66
			70	849	72
			80	811	79
90	761	84			
100	728	90			

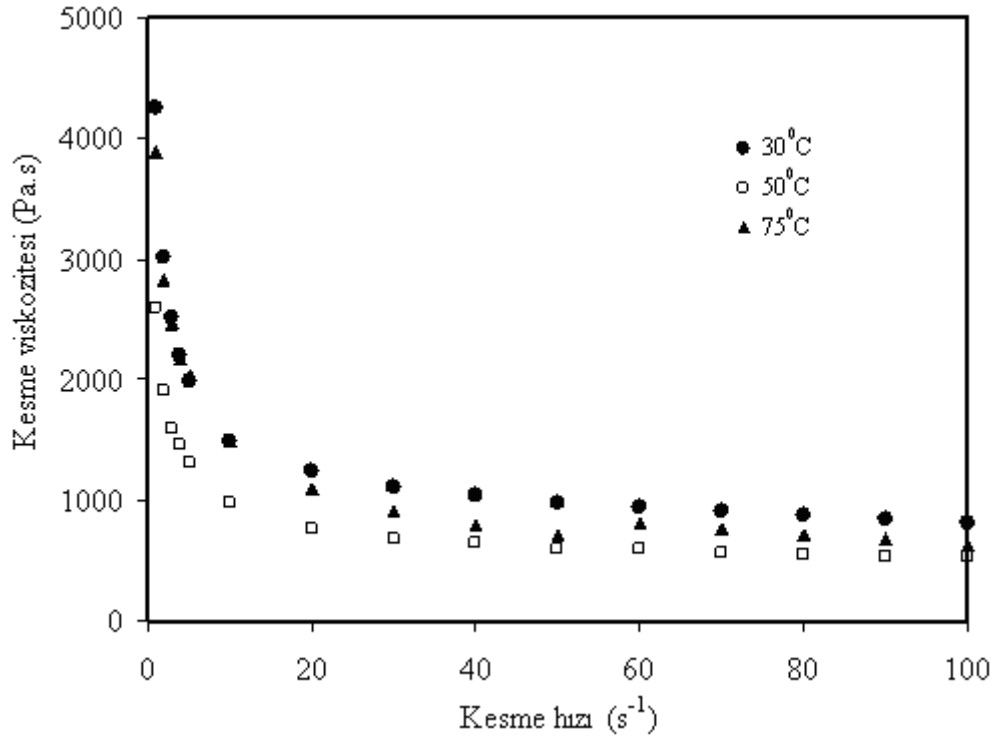
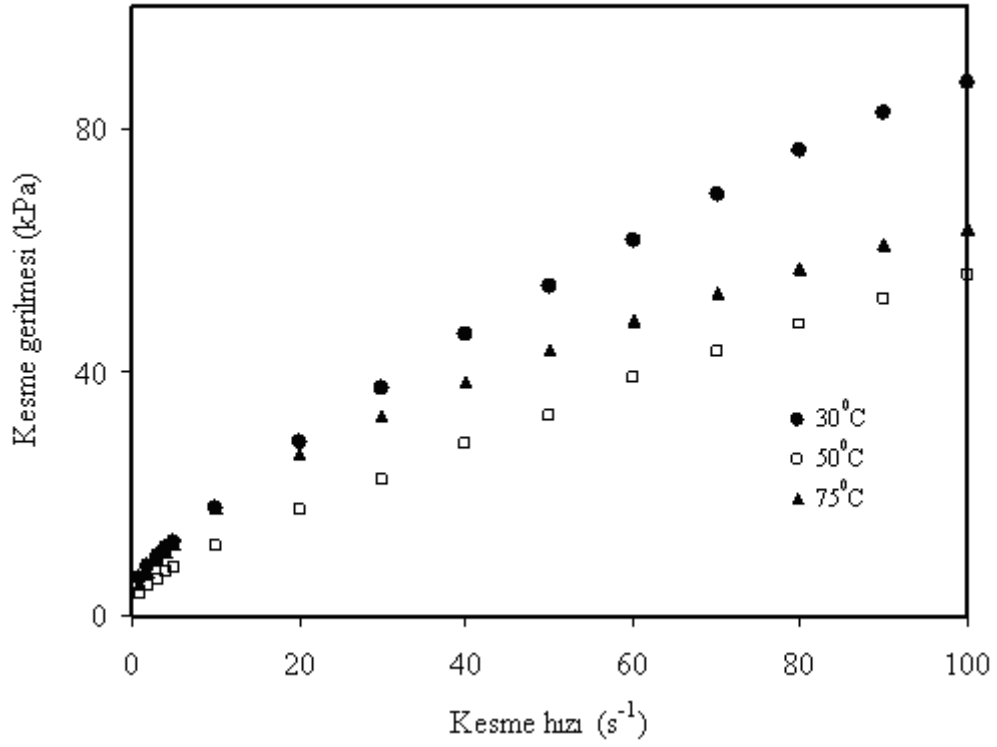


**Şekil 3.62:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.48:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	32/1	1	4248	6
			2	3019	8
			3	2509	10
			4	2204	11
			5	1981	12
			10	1497	18
			20	1239	28
			30	1104	37
			40	1040	46
			50	981	54
			60	939	62
			70	908	69
			80	882	76
90	852	83			
100	815	87			
77,5:22,5	50	32/1	1	2597	3
			2	1908	5
			3	1593	6
			4	1456	7
			5	1312	8
			10	985	12
			20	768	17
			30	671	22
			40	641	28
			50	600	33
			60	595	39
			70	569	43
			80	554	48
90	537	52			
100	522	56			
77,5:22,5	75	32/1	1	3885	5
			2	2834	7
			3	2469	9
			4	2165	10
			5	2030	12
			10	1496	18
			20	1100	26
			30	908	33
			40	792	38
			50	720	44
			60	811	49
			70	758	53
			80	713	57
90	677	61			
100	635	64			

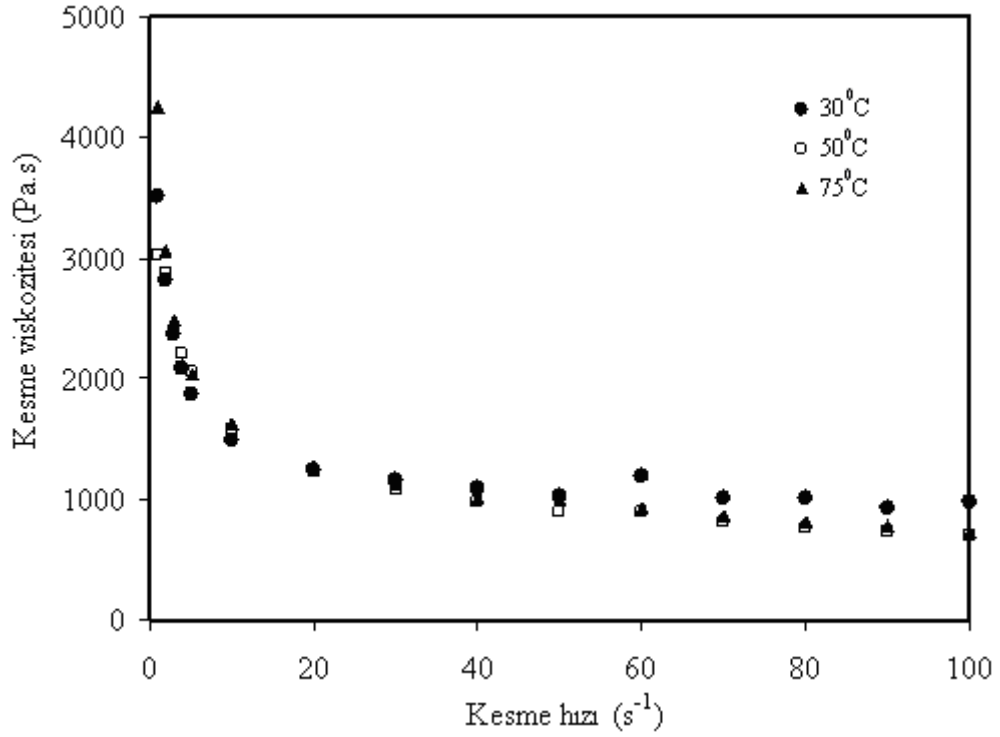
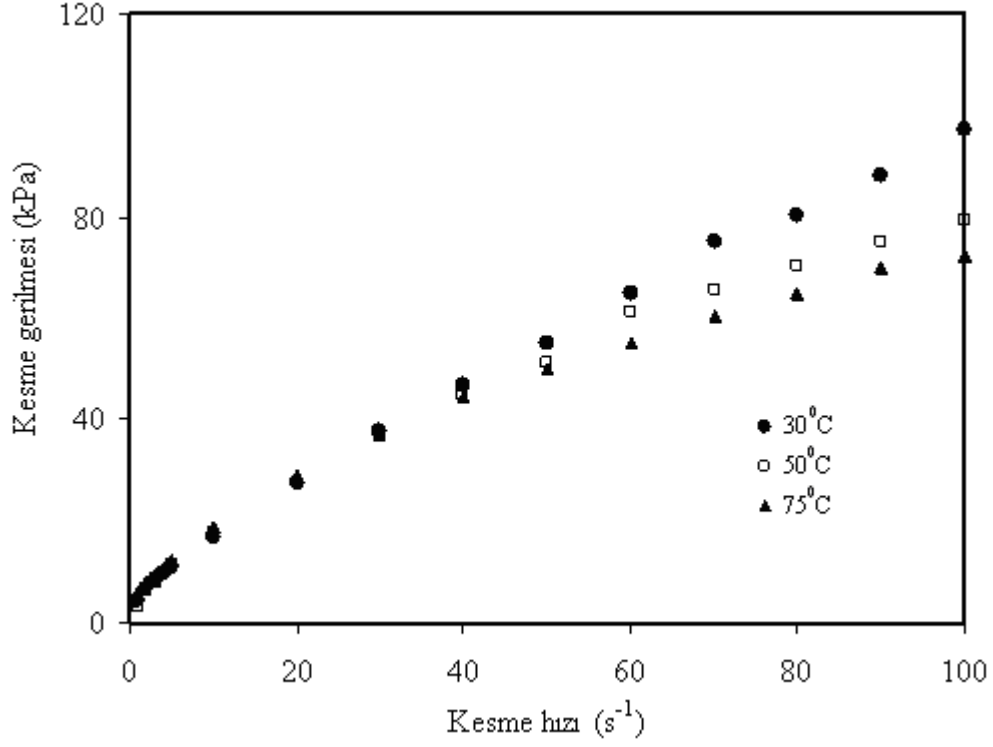




**Şekil 3.63:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.49:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

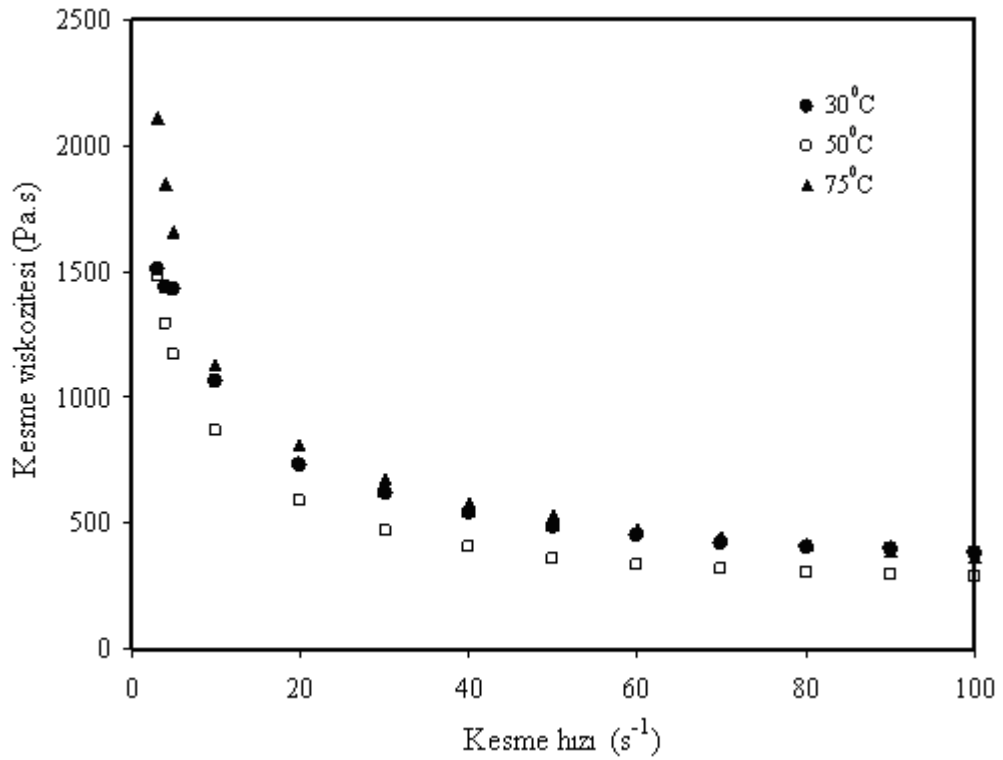
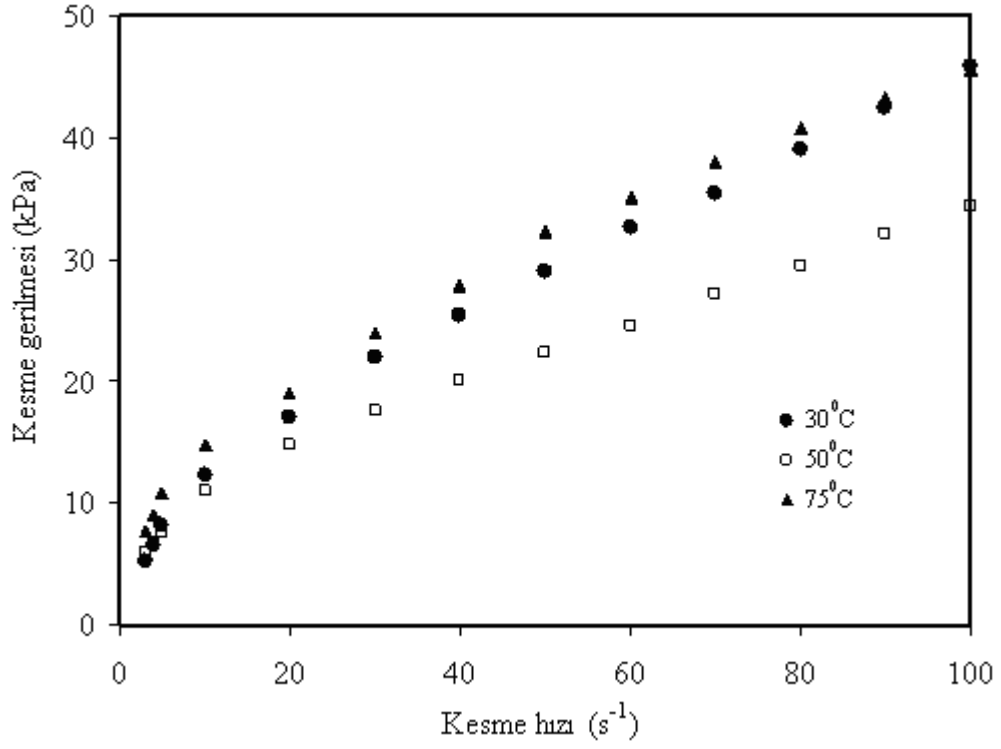
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	16/1	1	3518	4
			2	2811	7
			3	2375	8
			4	2087	10
			5	1866	11
			10	1485	17
			20	1245	27
			30	1161	38
			40	1089	47
			50	1028	55
			60	1185	65
			70	1015	75
			80	1002	80
77,5:22,5	50	16/1	90	931	88
			100	970	97
			1	3032	3
			2	2875	6
			3	2373	8
			4	2200	10
			5	2047	11
			10	1571	18
			20	1228	28
			30	1073	37
			40	985	45
			50	897	51
			60	894	61
70	816	66			
80	763	70			
90	725	75			
100	689	80			
77,5:22,5	75	16/1	1	4258	6
			2	3070	8
			3	2482	9
			4	2119	10
			5	2029	12
			10	1615	19
			20	1281	29
			30	1125	37
			40	1009	44
			50	996	50
			60	921	55
			70	865	61
			80	811	65
90	777	70			
100	723	72			



**Şekil 3.64:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.50:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
77,5:22,5	30	8/0,5	3	1505	5
			4	1435	7
			5	1427	8
			10	1062	12
			20	728	17
			30	619	22
			40	537	25
			50	488	29
			60	455	33
			70	424	35
			80	407	39
90	393	42			
100	383	46			
77,5:22,5	50	8/0,5	3	1487	6
			4	1294	7
			5	1169	8
			10	862	11
			20	589	15
			30	468	18
			40	402	20
			50	360	22
			60	333	25
			70	317	27
			80	302	30
90	292	32			
100	282	34			
77,5:22,5	75	8/0,5	3	2108	8
			4	1848	9
			5	1656	11
			10	1129	15
			20	812	19
			30	673	24
			40	581	28
			50	533	32
			60	479	35
			70	442	38
			80	412	41
90	386	43			
100	364	46			



**Şekil 3.65:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve üleksitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.5 Genleşmiş perlit-Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genleşmiş perlit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.51’de verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.51:** Reolojik karakterizasyonu yapılan genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastaları ve çalışılan parametreler

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
50:50	0-50	30
55:45	0-50	30
60:40	0-50	30
65:35	0-50	30
55:45	50-100	30
55:45	100-200	30
55:45	0-50	50
55:45	0-50	75

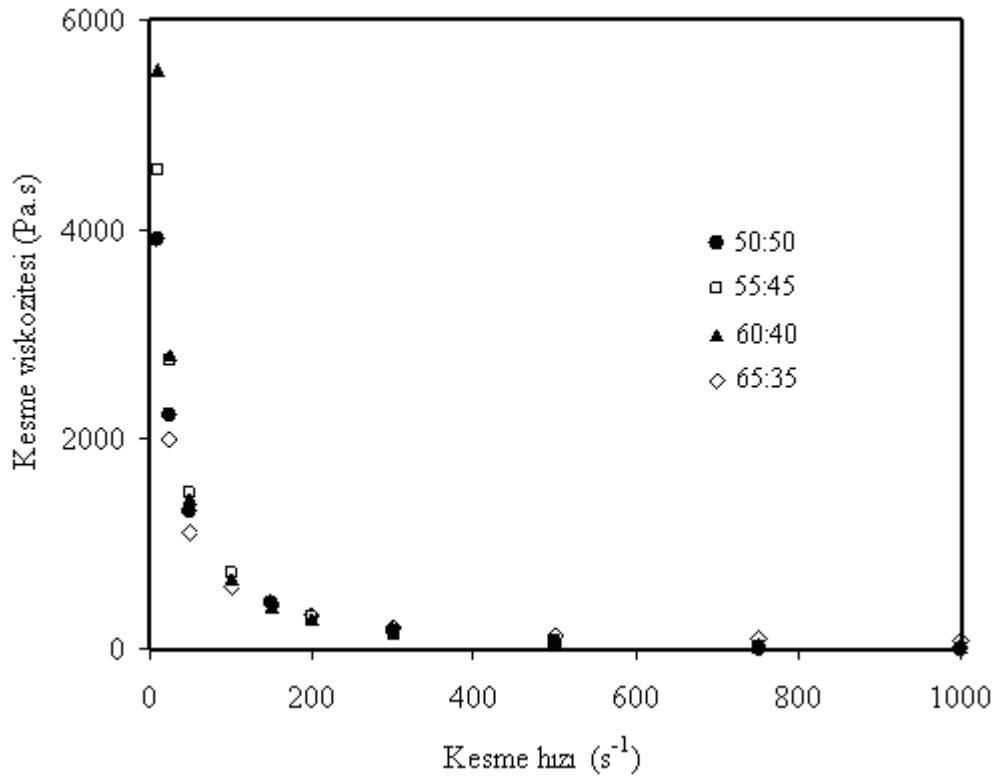
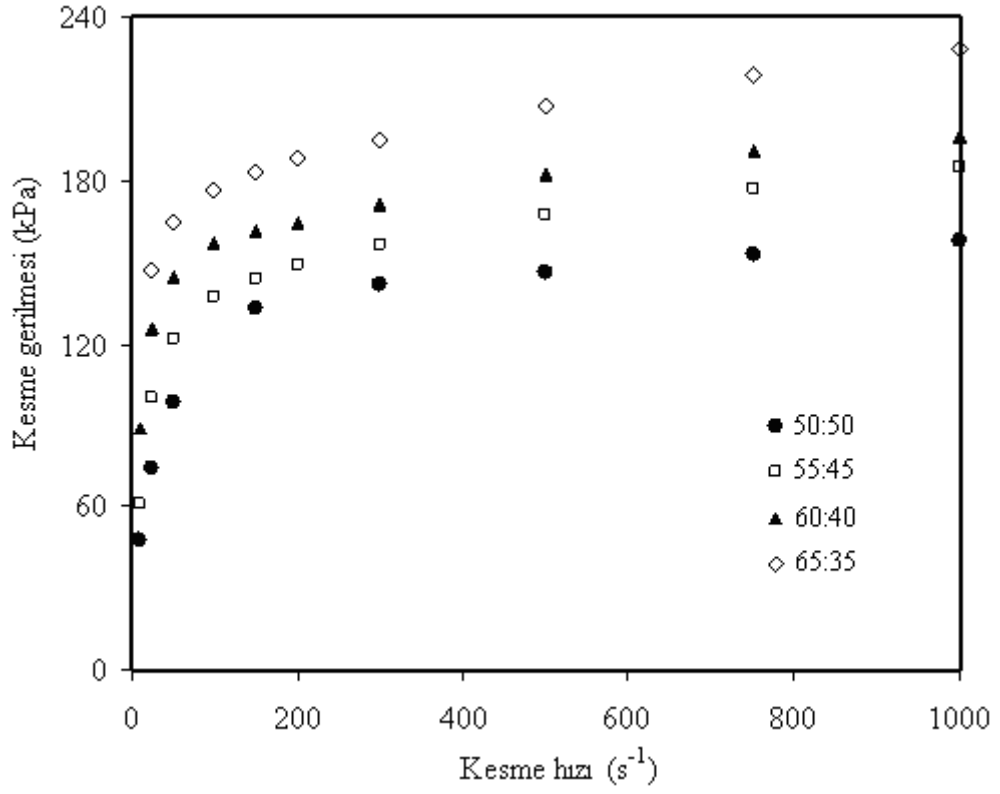
L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

#### 3.2.5.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genleşmiş perlit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 50:50, 55:45, 60:40 ve 65:35 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ ’de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.52-3.55’de verilerek Şekil 3.65-3.68’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.52.** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
50:50	30	32/2	10	3905	47,6
			25	2236	74,2
			50	1316	98,5
			150	443	132,6
			300	163	141,8
			500	54	146,2
			750	4	152,3
			1000	-	158,1
55:45	30	32/2	10	4572	61,2
			25	2739	100,1
			50	1482	122,2
			100	716	136,9
			150	445	143,8
			200	311	149,0
			300	178	156,3
			500	76	167,5
750	27	177,0			
1000	4	184,8			
60:40	30	32/2	10	5516	89,1
			25	2802	125,5
			50	1420	144,7
			100	659	156,9
			150	401	161,5
			200	277	164,4
			300	160	171,0
			500	72	181,7
750	32	190,5			
1000	13	195,9			
65:35	30	32/2	25	1998	147,0
			50	1103	164,1
			100	593	176,2
			150	411	183,0
			200	316	187,7
			300	218	194,3
			500	140	207,3
			750	99	219,0
1000	77	228,6			

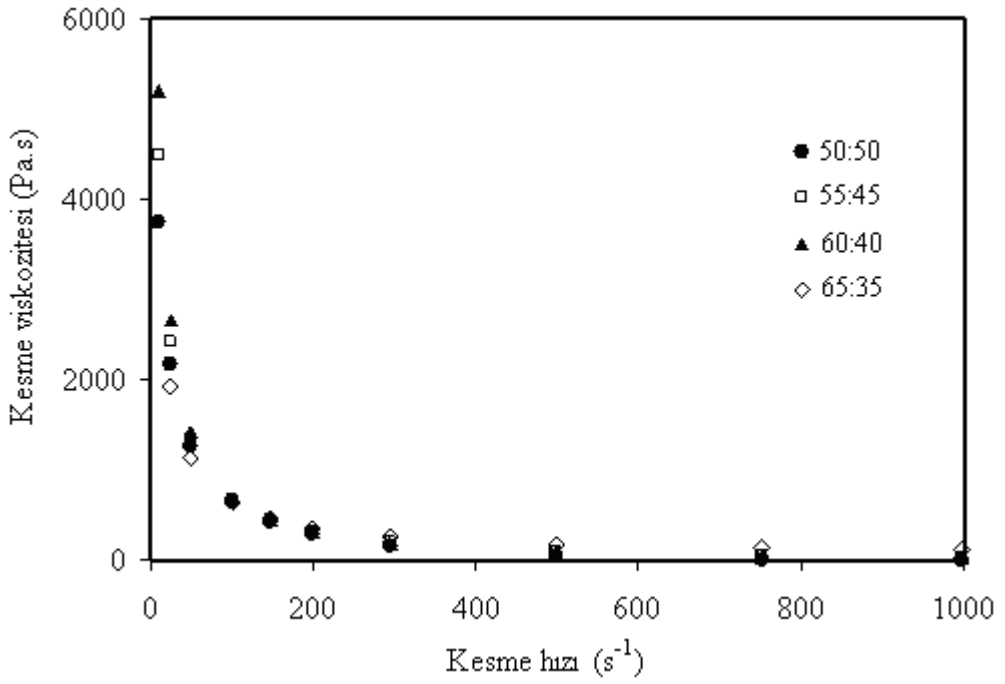
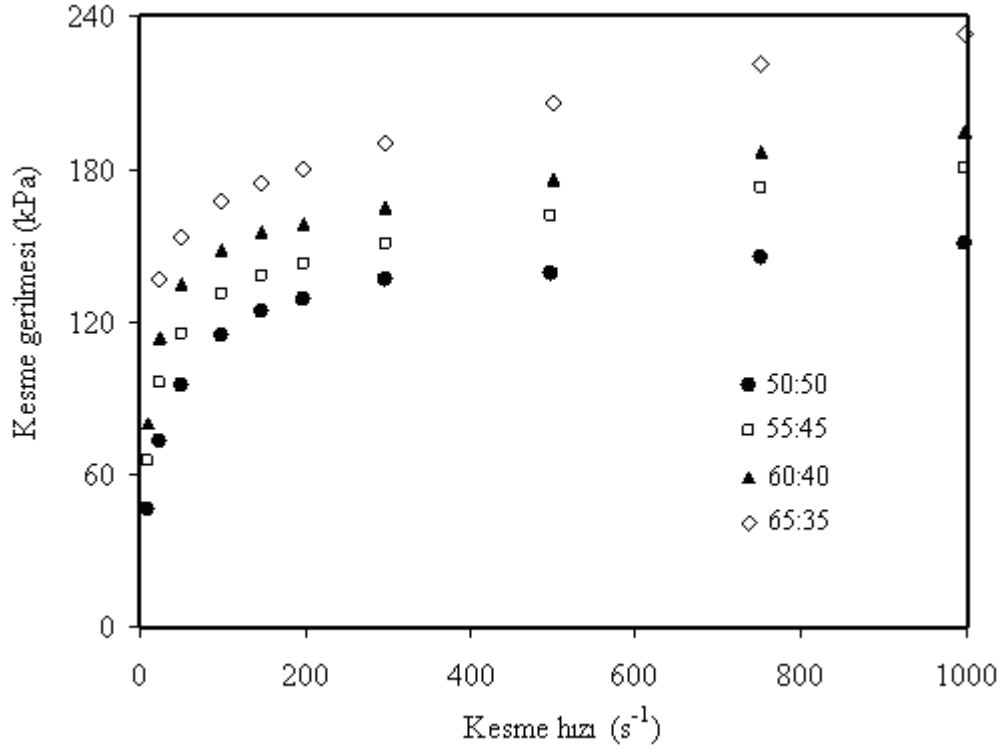


**Şekil 3.66:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.53:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

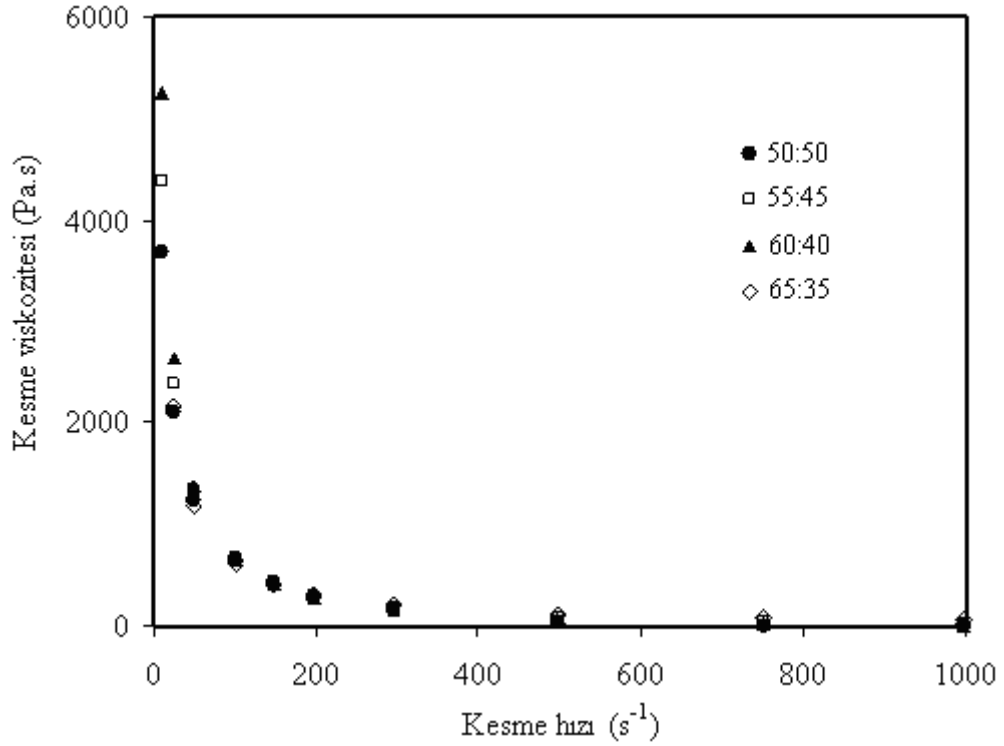
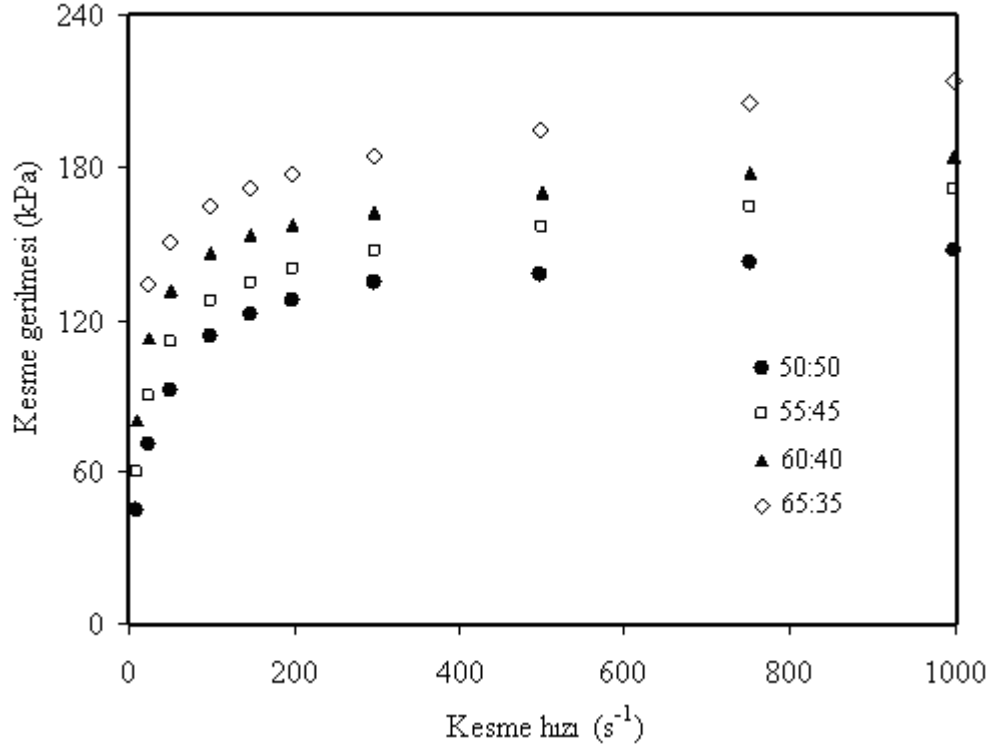
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
50:50	30	32/1	10	3741	45,9
			25	2160	73,2
			50	1260	95,1
			100	650	114,9
			148	415	123,8
			198	284	128,4
			296	157	136,8
			498	49	138,8
			751	1	145,0
			997	-	150,4
55:45	30	32/1	10	4501	65,1
			25	2410	95,8
			50	1321	115,2
			100	664	130,7
			148	434	138,1
			198	312	143,1
			296	193	150,5
			498	98	161,8
			751	53	172,3
			997	32	180,7
60:40	30	32/1	10	5198	80,0
			25	2664	113,8
			50	1420	134,7
			100	683	148,6
			148	436	155,1
			198	305	158,6
			296	182	164,4
			499	87	175,3
			751	44	186,3
			997	24	194,9
65:35	30	32/1	25	1930	136,6
			50	1126	153,0
			100	638	166,7
			148	459	174,1
			198	361	180,0
			296	259	189,8
			499	171	205,6
			751	124	220,9
997	100	232,8			



**Şekil 3.67:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.54:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

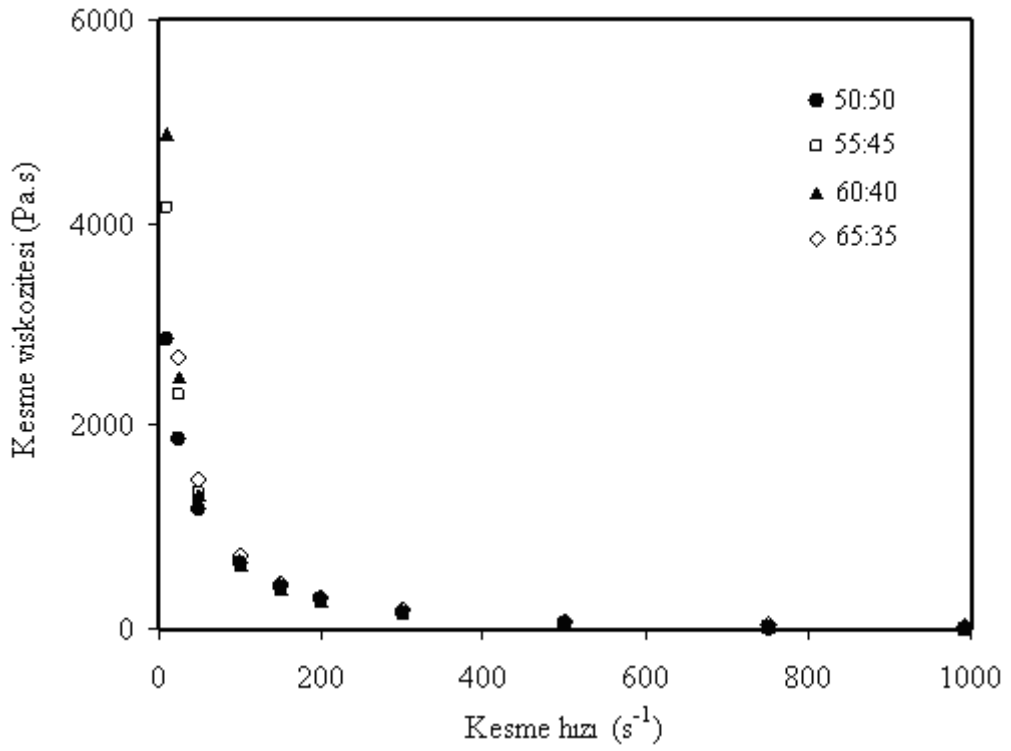
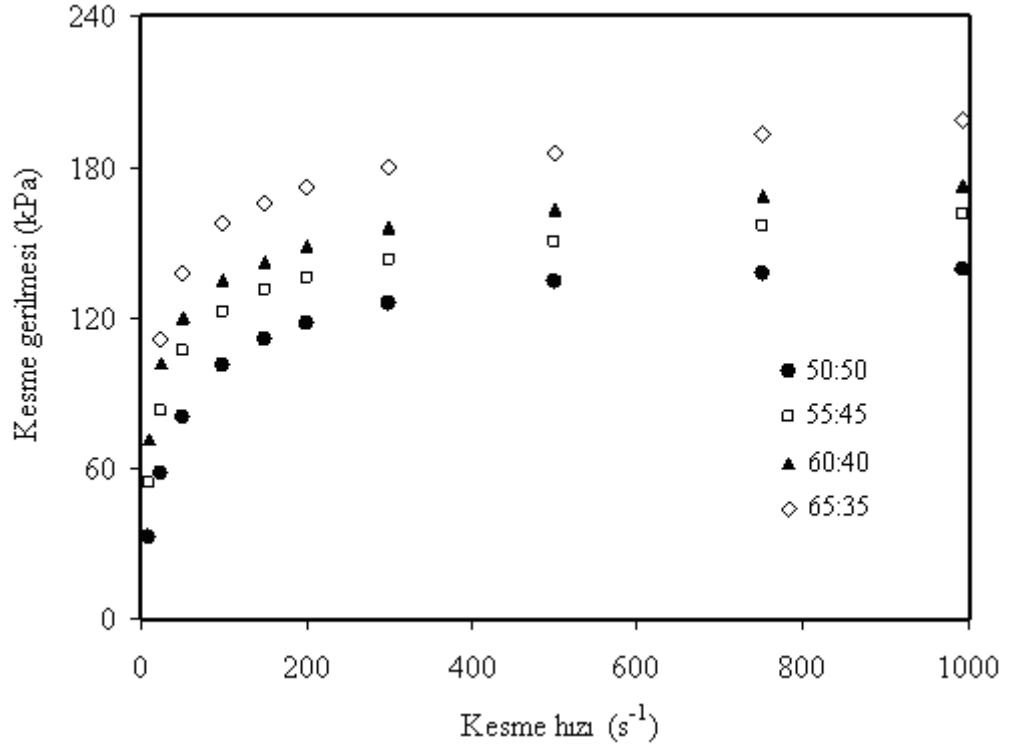
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
50:50	30	16/1	10	3680	44,9
			25	2096	70,5
			50	1232	92,3
			100	645	113,2
			148	413	122,0
			198	284	127,3
			296	156	134,8
			498	49	137,6
			751	-	142,5
			997	-	147,1
55:45	30	16/1	10	4378	59,7
			25	2382	89,7
			50	1334	111,3
			100	663	127,3
			148	427	134,8
			198	302	140,1
			296	178	147,0
			499	80	156,4
			751	35	164,8
			997	14	171,3
60:40	30	16/1	10	5256	80,0
			25	2637	112,6
			50	1371	131,7
			100	648	146,1
			148	408	153,6
			198	280	157,5
			296	157	161,9
			499	66	169,9
			751	25	177,8
			997	6	184,0
65:35	30	16/1	25	2173	133,4
			50	1171	150,6
			100	608	164,5
			148	417	171,9
			198	313	176,8
			296	211	184,3
			498	125	194,0
			751	84	205,2
997	64	213,8			



**Şekil 3.68:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}$ C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.55:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
50:50	30	8/0,5	10	2858	32,3
			25	1874	57,7
			50	1183	80,2
			100	645	100,7
			150	420	111,0
			200	298	117,8
			300	167	125,9
			500	58	134,5
			750	2	137,7
			993	-	138,9
55:45	30	8/0,5	10	4151	53,8
			25	2311	82,9
			50	1330	106,1
			100	658	122,3
			150	415	130,9
			200	288	135,8
			300	163	142,8
			500	64	150,5
			750	18	156,8
			992	-	161,7
60:40	30	8/0,5	10	4880	71,6
			25	2487	101,8
			50	1312	120,2
			100	633	135,2
			150	395	142,6
			200	277	148,5
			300	160	155,6
			500	69	162,7
			750	27	168,1
			992	8	172,5
65:35	30	8/0,5	25	2673	111,6
			50	1480	137,8
			100	729	157,2
			150	457	165,3
			200	322	171,5
			300	189	179,3
			500	84	185,4
			750	38	192,8
			992	17	198,5



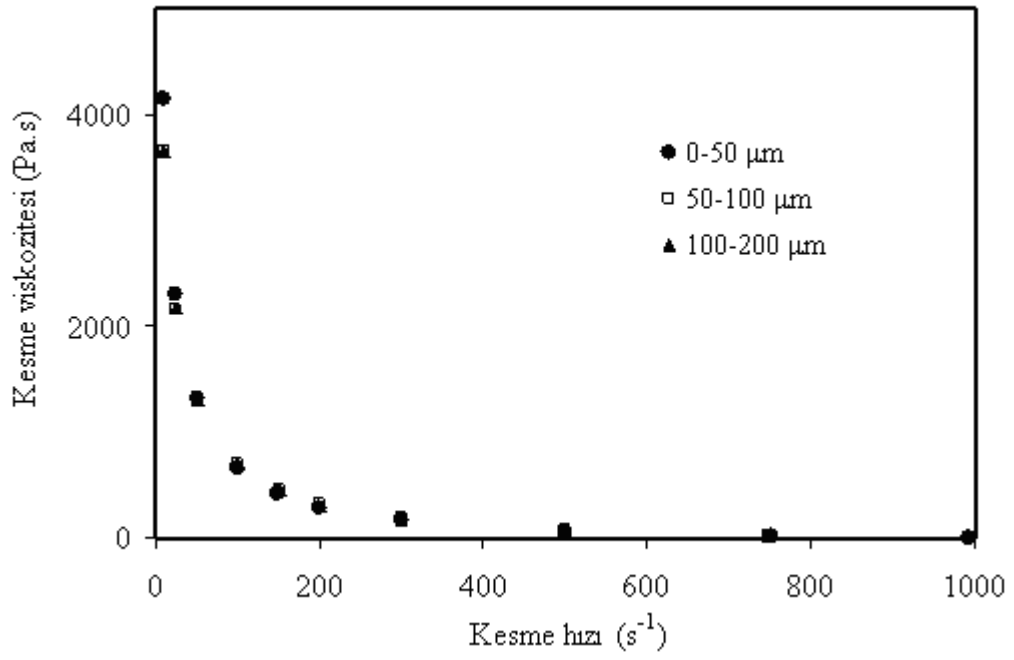
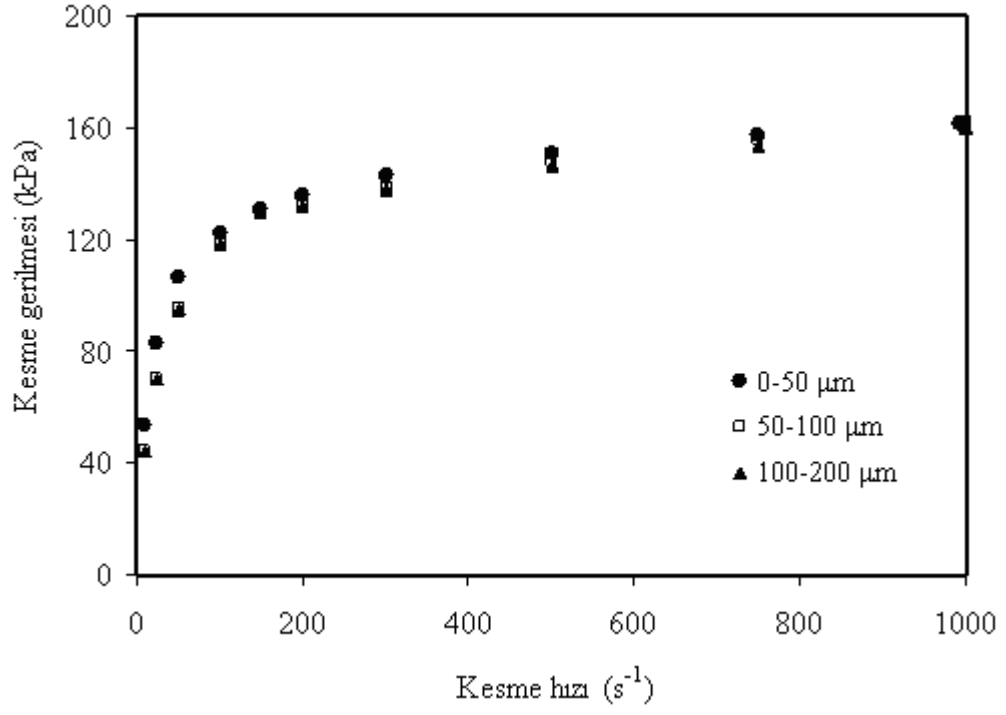
**Şekil 3.69:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}$ C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.5.2 Tane Boyutunun Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 55:45 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200  $\mu\text{m}$  tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.56-3.59'da verilerek Şekil 3.70-3.73'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.56:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $\text{s}^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	0-50	30	32/2	10	4572	61,2
				25	2739	100,1
				50	1482	122,2
				100	716	136,9
				150	445	143,8
				200	311	149,0
				300	178	156,3
				500	76	167,5
				750	27	177,0
				1000	4	184,8
55:45	50-100	30	32/2	10	3665	44,1
				25	2154	70,1
				50	1313	95,5
				100	707	118,3
				150	458	129,0
				200	318	133,1
				300	180	138,8
				500	72	147,8
				750	19	155,5
				1000	-	161,8
55:45	100-200	30	32/2	10	3666	44,0
				25	2164	70,3
				50	1304	94,9
				100	705	118,5
				150	456	129,9
				200	311	132,1
				300	173	137,8
				500	66	146,4
				750	13	153,7
				1000	-	159,7

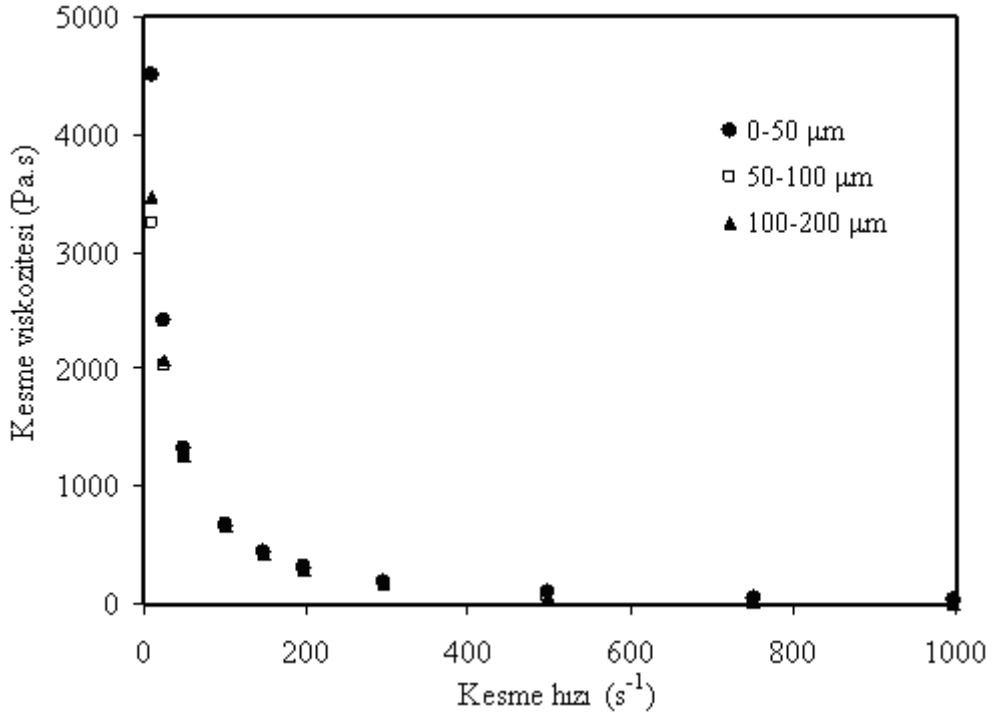
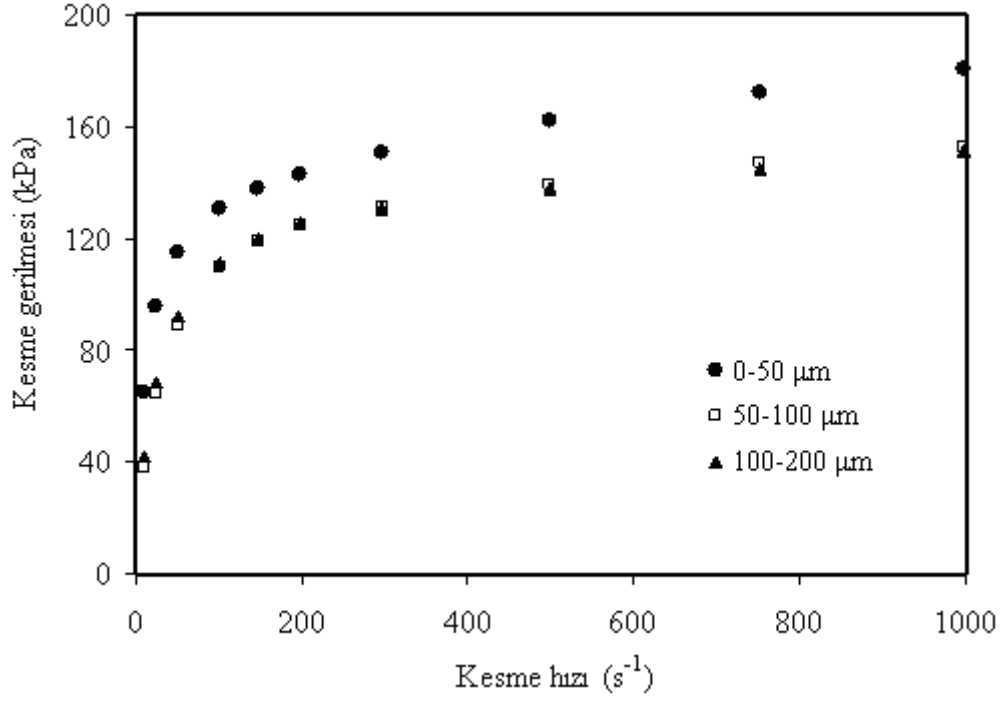


**Şekil 3.70:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.57:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

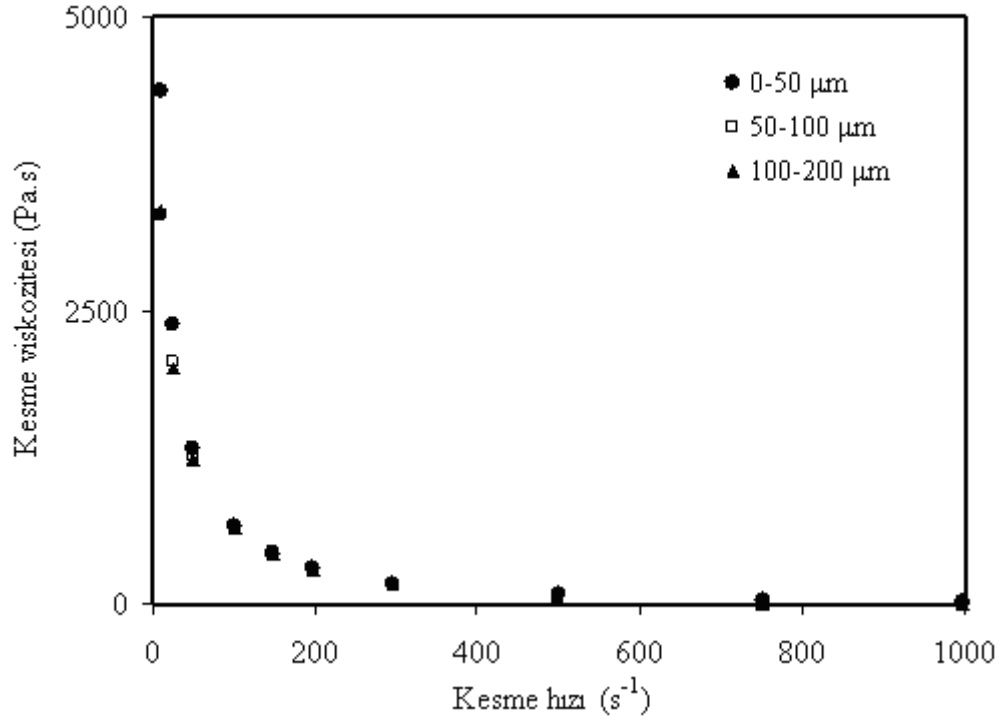
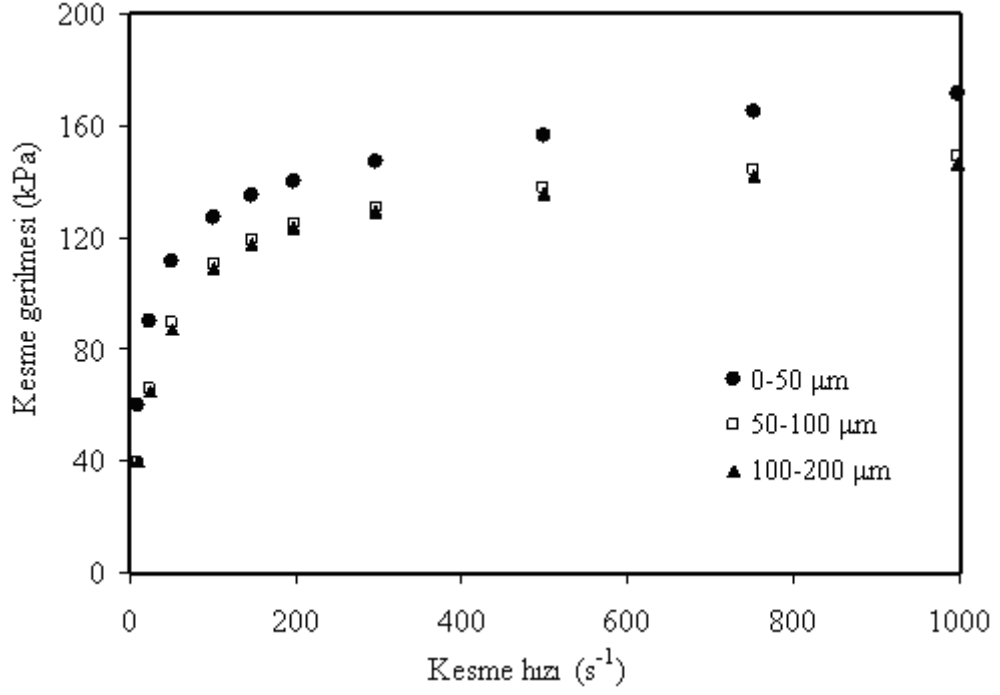
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	0–50	30	32/1	10	4501	65,1
				25	2410	95,8
				50	1321	115,2
				100	664	130,7
				148	434	138,1
				198	312	143,1
				296	193	150,5
				498	98	161,8
				751	53	172,3
997	32	180,7				
55:45	50–100	30	32/1	10	3240	37,9
				25	2021	64,5
				50	1257	88,3
				100	679	109,7
				148	446	119,4
				198	315	125,1
				296	178	131,2
				498	69	139,5
				751	15	147,3
997	-	153,2				
55:45	100–200	30	32/1	10	3474	41,8
				25	2076	68,6
				50	1256	91,9
				100	658	111,6
				148	424	119,9
				198	297	125,9
				296	165	131,0
				498	60	137,7
				751	10	145,2
997	-	151,1				



**Şekil 3.71:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.58:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

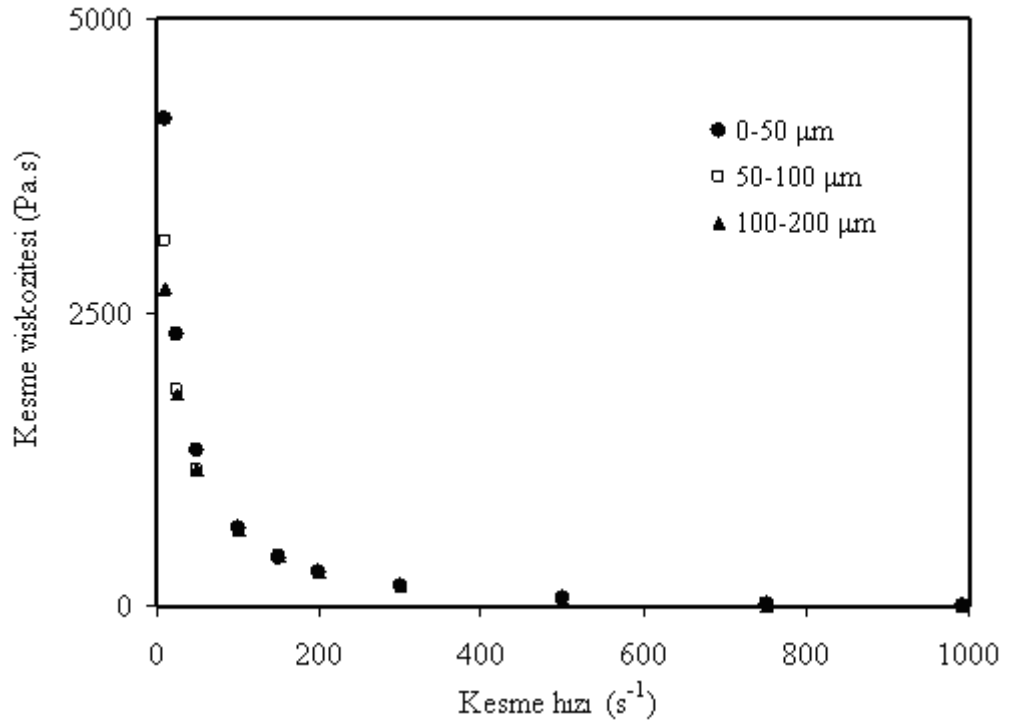
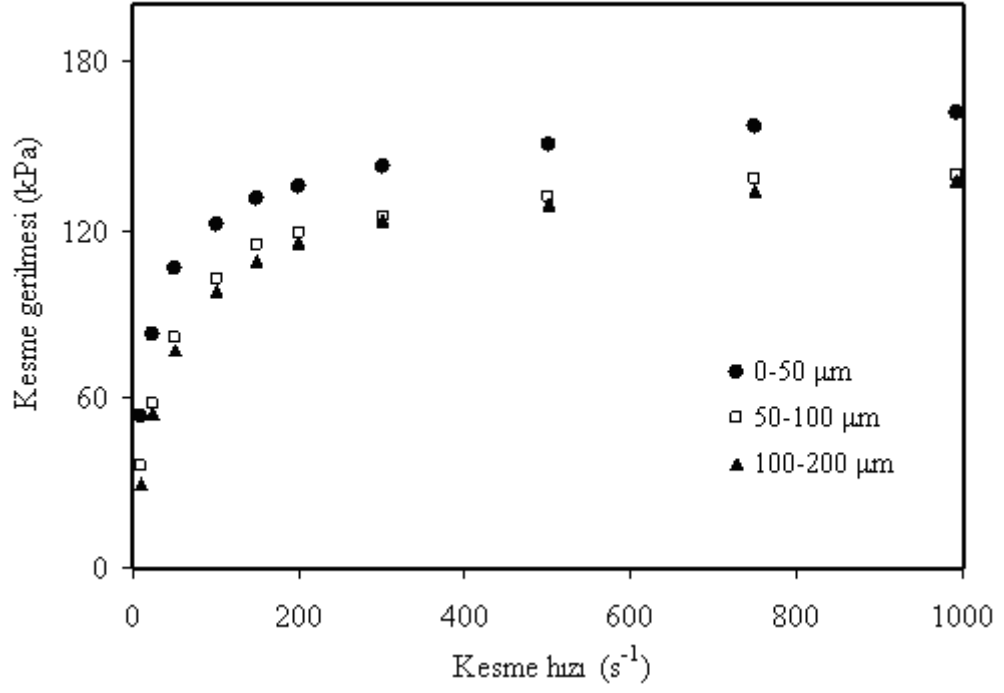
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	0-50	30	16/1	10	4378	59,7
				25	2382	89,7
				50	1334	111,3
				100	663	127,3
				148	427	134,8
				198	302	140,1
				296	178	147,0
				499	80	156,4
				751	35	164,8
				997	14	171,3
55:45	50-100	30	16/1	10	3320	39,0
				25	2052	66,0
				50	1259	89,5
				100	669	110,4
				148	434	119,6
				198	301	124,7
				296	167	131,0
				499	56	137,9
				751	4	144,0
				997	-	149,6
55:45	100-200	30	16/1	10	3350	39,7
				25	2006	65,2
				50	1217	87,5
				100	654	109,0
				148	424	118,2
				198	295	123,5
				296	164	129,6
				498	57	135,5
				751	6	141,8
				997	-	146,3



**Şekil 3.72:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.59:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $\text{s}^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	0-50	30	8/0,5	10	4151	53,8
				25	2311	82,9
				50	1330	106,1
				100	658	122,3
				150	415	130,9
				200	288	135,8
				300	163	142,8
				500	64	150,5
				750	18	156,8
				992	-	161,7
55:45	50-100	30	8/0,5	10	3114	36,2
				25	1832	58,3
				50	1164	81,5
				100	637	102,8
				150	421	114,8
				200	292	118,8
				300	163	124,7
				500	61	132,2
				750	10	138,0
				993	-	139,6
55:45	100-200	30	8/0,5	10	2704	30,1
				25	1803	54,7
				50	1164	77,6
				100	644	98,8
				150	420	109,4
				200	296	115,6
				300	164	123,3
				500	53	129,3
				750	-	134,2
				992	-	137,4



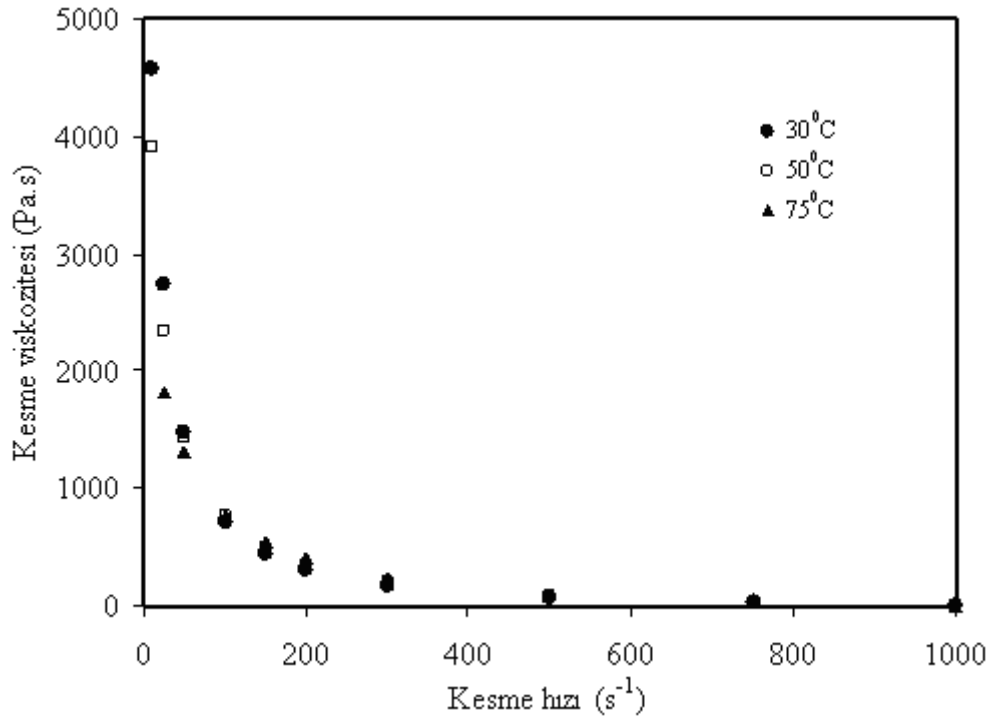
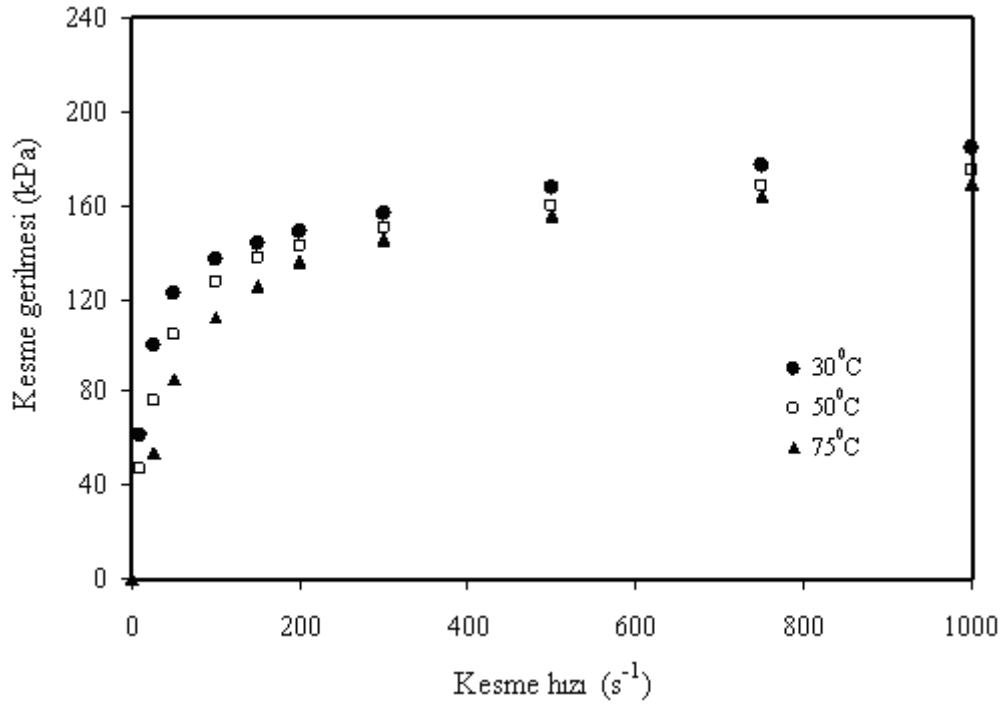
**Şekil 3.73:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.5.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlit (0–50  $\mu\text{m}$ ) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 55:45 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.60-3.63’de verilerek, Şekil 3.74-3.77’de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.60:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu\text{m}$ ) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $\text{s}^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	30	32/2	10	4572	61,2
			25	2739	100,1
			50	1482	122,2
			100	716	136,9
			150	445	143,8
			200	311	149,0
			300	178	156,3
			500	76	167,5
			750	27	177,0
			1000	4	184,8
55:45	50	32/2	10	3665	44,1
			25	2154	70,1
			50	1313	95,5
			100	707	118,3
			150	458	129,0
			200	318	133,1
			300	180	138,8
			500	72	147,8
			750	19	155,5
			1000	-	161,8
55:45	75	32/2	25	1820	53,8
			50	1309	85,0
			100	766	111,6
			150	548	125,8
			200	406	136,1
			300	239	144,8
			500	100	155,5
			750	27	164,0
			1000	8	169,2

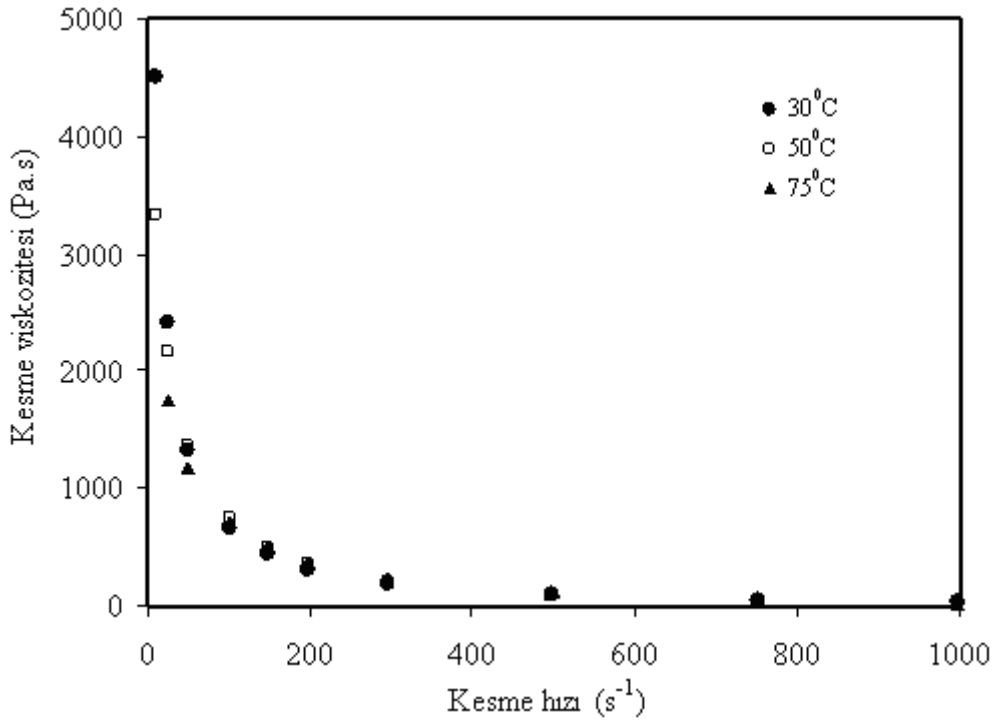
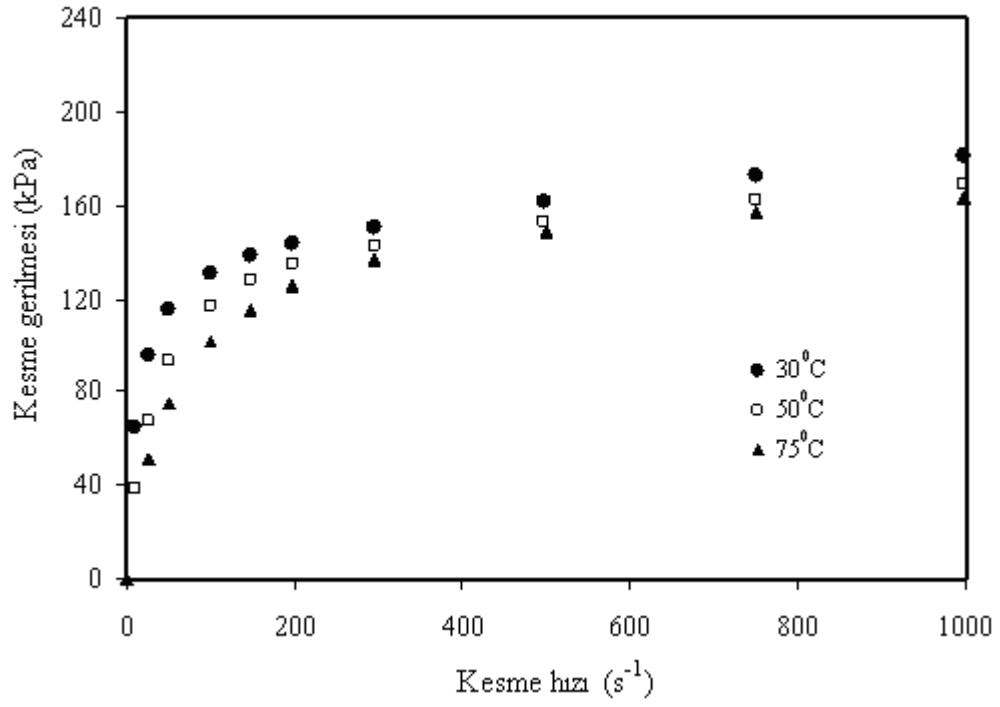


**Şekil 3.74:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları



**Tablo 3.61:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

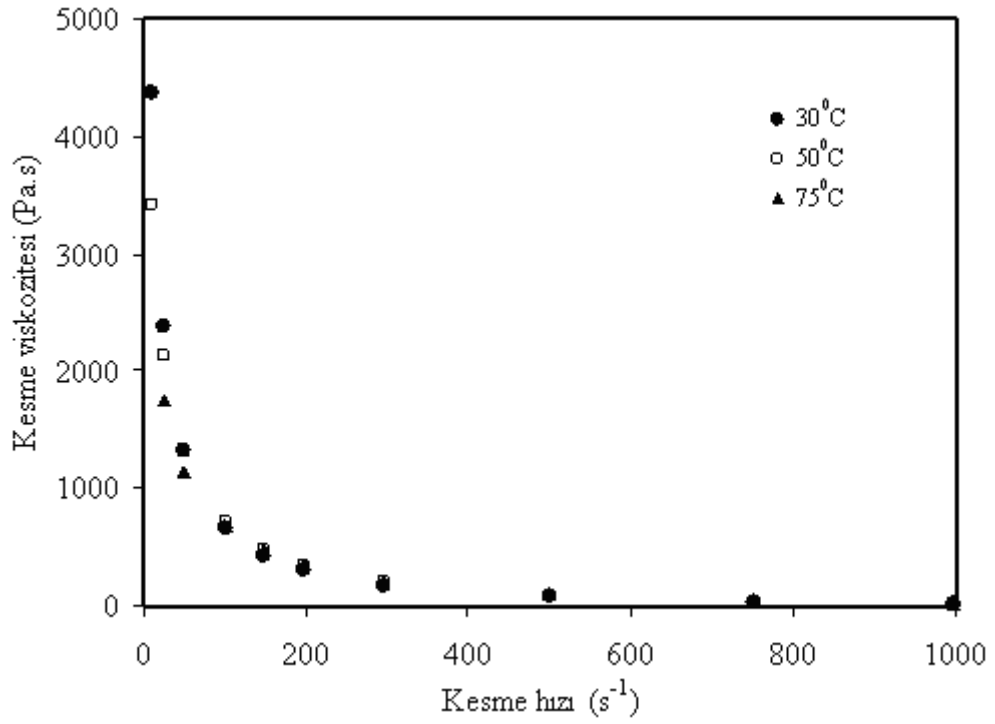
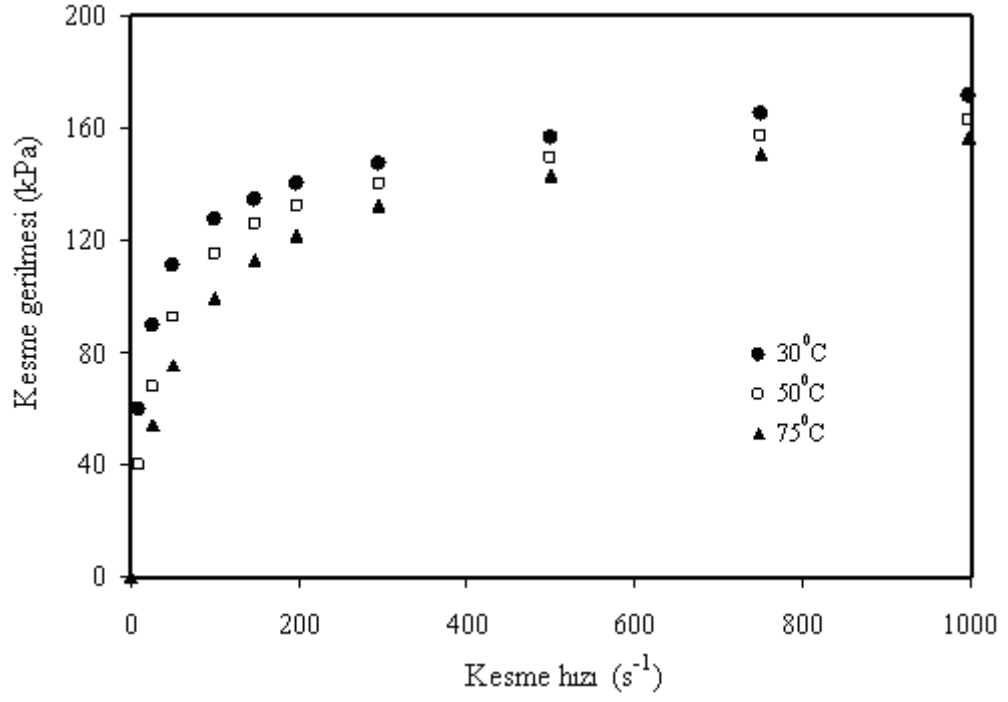
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	30	32/1	10	4501	65,1
			25	2410	95,8
			50	1321	115,2
			100	664	130,7
			148	434	138,1
			198	312	143,1
			296	193	150,5
			498	98	161,8
			751	53	172,3
			997	32	180,7
55:45	50	32/1	10	3338	38,5
			25	2158	67,7
			50	1362	93,5
			100	750	117,3
			148	500	128,4
			198	355	134,7
			296	208	142,9
			498	85	153,2
			751	25	162,5
			997	-	169,5
55:45	75	32/1	25	1745	51,6
			50	1175	74,9
			100	718	101,9
			148	506	115,6
			198	381	125,6
			296	240	136,6
			499	115	148,2
			751	51	157,0
997	20	163,4			



**Şekil 3.75:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.62:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

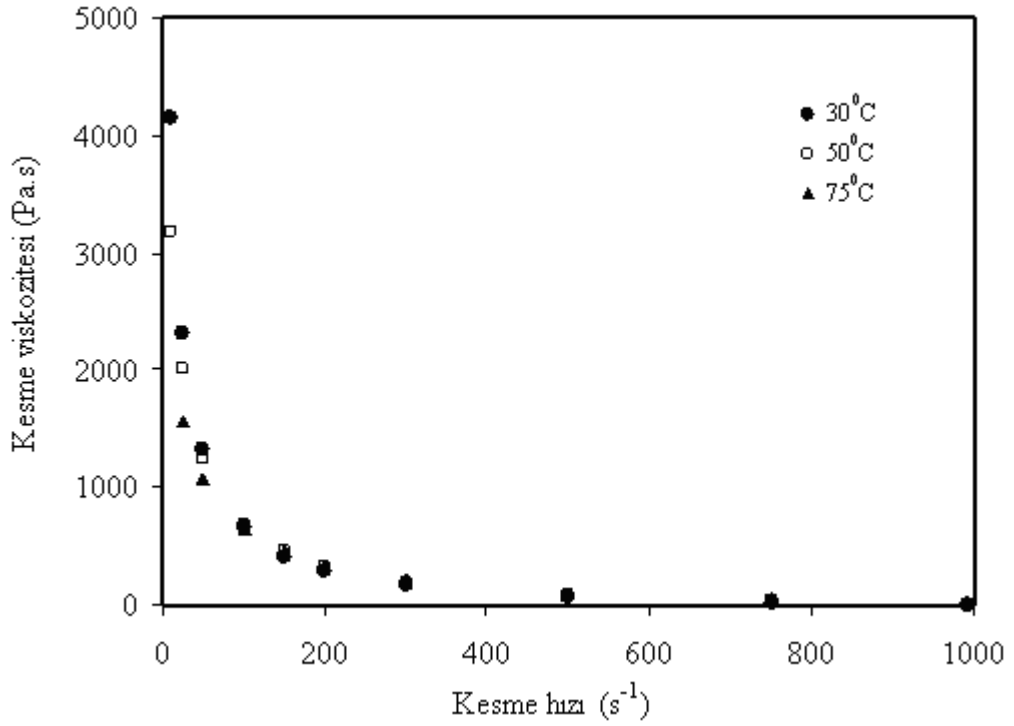
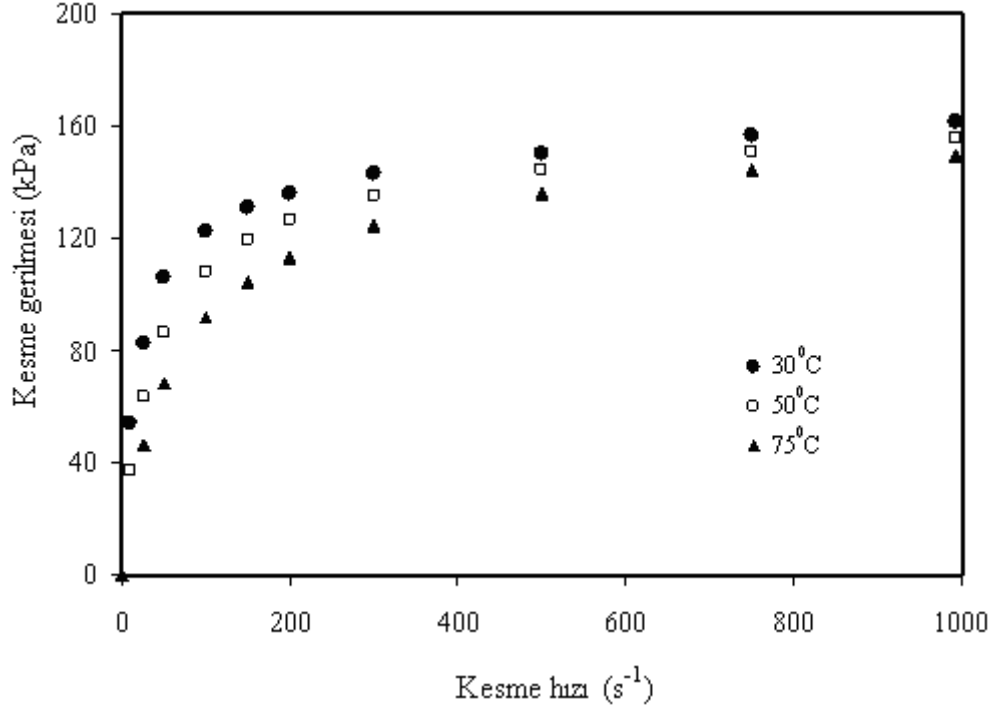
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	30	16/1	10	4378	59,7
			25	2382	89,7
			50	1334	111,3
			100	663	127,3
			148	427	134,8
			198	302	140,1
			296	178	147,0
			499	80	156,4
			751	35	164,8
			997	14	171,3
55:45	50	16/1	10	3418	40,1
			25	2119	67,7
			50	1315	92,2
			100	720	115,3
			148	479	126,1
			198	339	132,1
			296	198	140,1
			499	81	149,8
			751	24	157,5
			997	-	163,3
55:45	75	16/1	25	1759	53,8
			50	1138	75,2
			100	676	99,6
			148	478	113,1
			198	357	121,9
			296	225	132,2
			499	110	143,1
			751	52	150,9
997	24	156,8			



**Şekil 3.76:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.63:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
55:45	30	8/0,5	10	4151	53,8
			25	2311	82,9
			50	1330	106,1
			100	658	122,3
			150	415	130,9
			200	288	135,8
			300	163	142,8
			500	64	150,5
			750	18	156,8
			992	-	161,7
55:45	50	8/0,5	10	3178	36,9
			25	2007	63,5
			50	1243	86,1
			100	687	108,4
			150	453	119,4
			200	326	126,5
			300	192	135,0
			500	81	144,3
			750	26	150,8
			994	-	155,6
55:45	75	8/0,5	25	1572	46,6
			50	1065	68,0
			100	647	91,6
			150	454	104,7
			200	343	113,4
			300	219	124,6
			500	110	135,6
			750	53	144,3
			993	25	149,5



**Şekil 3.77:** Polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

### 3.2.6 Genleşmiş perlit-Polidimetilsiloksan (AK 100 000) Pastaları

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genleşmiş perlit ile hazırlanan pastalar Tablo 3.64'de verilmektedir. Bu pastaların reolojik özellikleri üzerine sırasıyla aşağıdaki parametrelerin etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.64:** Reolojik karakterizasyonu yapılan genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK100 000)pastaları ve çalışılan parametreler

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
65:35	0-50	30
67,5:32,5	0-50	30
70:30	0-50	30
67,5:32,5	50-100	30
67,5:32,5	100-200	30
67,5:32,5	0-50	50
67,5:32,5	0-50	75

L(mm)/D(mm): 8/0.5, 16/1, 32/1, 32/2.

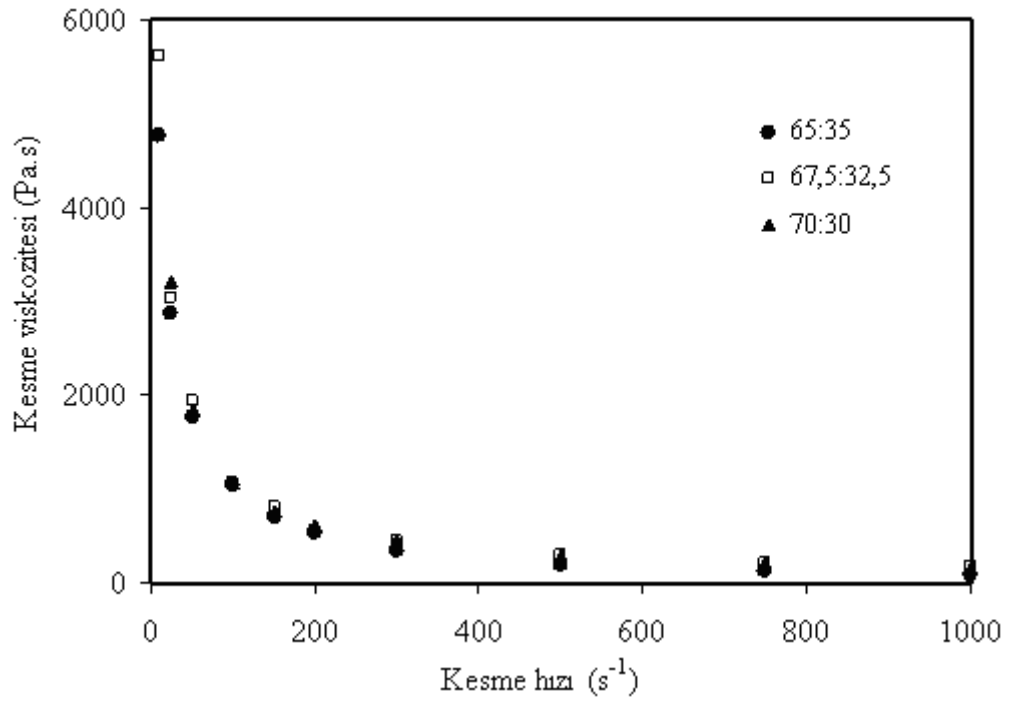
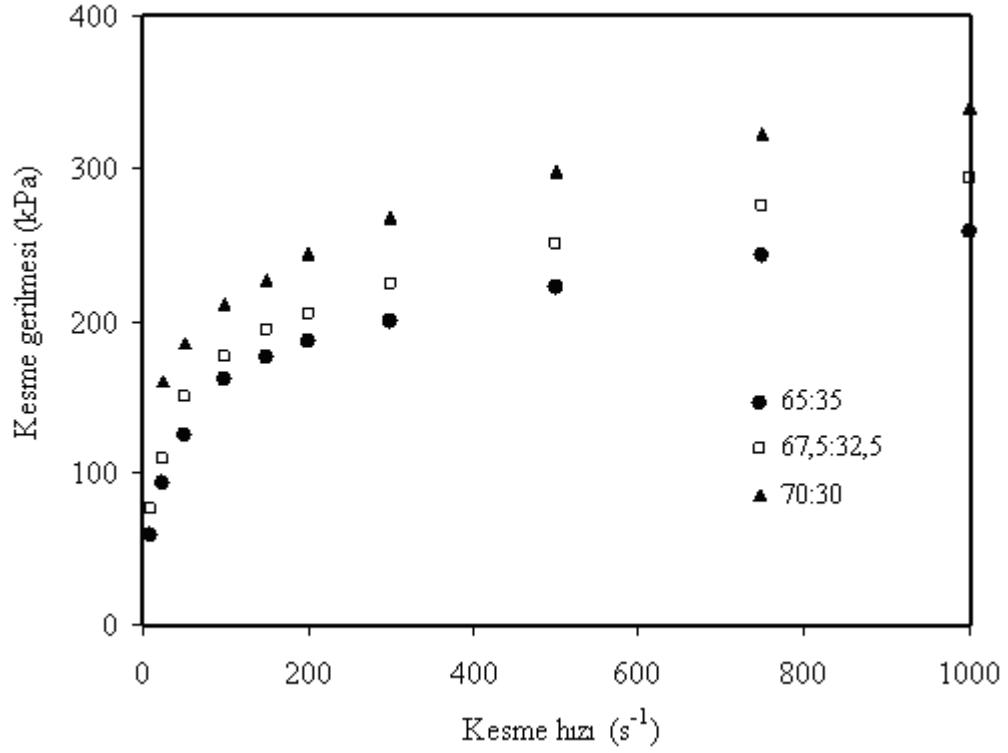
#### 3.2.6.1 Katı/sıvı Oranının Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genleşmiş perlit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikler üzerine katı oranının etkisini incelemek amacıyla 65:35, 67,5:32,5 ve 70:30 katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlanmış, tane boyutu 0-50  $\mu\text{m}$  aralığında, sıcaklık ise 30  $^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutularak yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.65-3.68'de verilerek Şekil 3.77-3.80'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.65:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/2	10	4771	58,6
			25	2872	93,5
			50	1757	124,6
			100	1039	161,5
			150	706	176,4
			200	529	186,7
			300	341	199,0
			500	194	222,0
			750	118	242,5
			1000	79	259,0
67,5:32,5	30	32/2	10	5618	75,7
			25	3037	109,0
			50	1937	149,0
			100	1057	175,8
			150	810	193,6
			200	559	205,1
			300	449	223,8
			500	291	250,8
			750	207	274,9
			1000	162	294,0
70:30	30	32/2	25	3220	159,9
			50	1851	184,4
			100	1069	211,2
			150	770	227,2
			200	622	243,8
			300	458	268,0
			500	307	297,4
			750	223	322,9
			1000	176	339,2

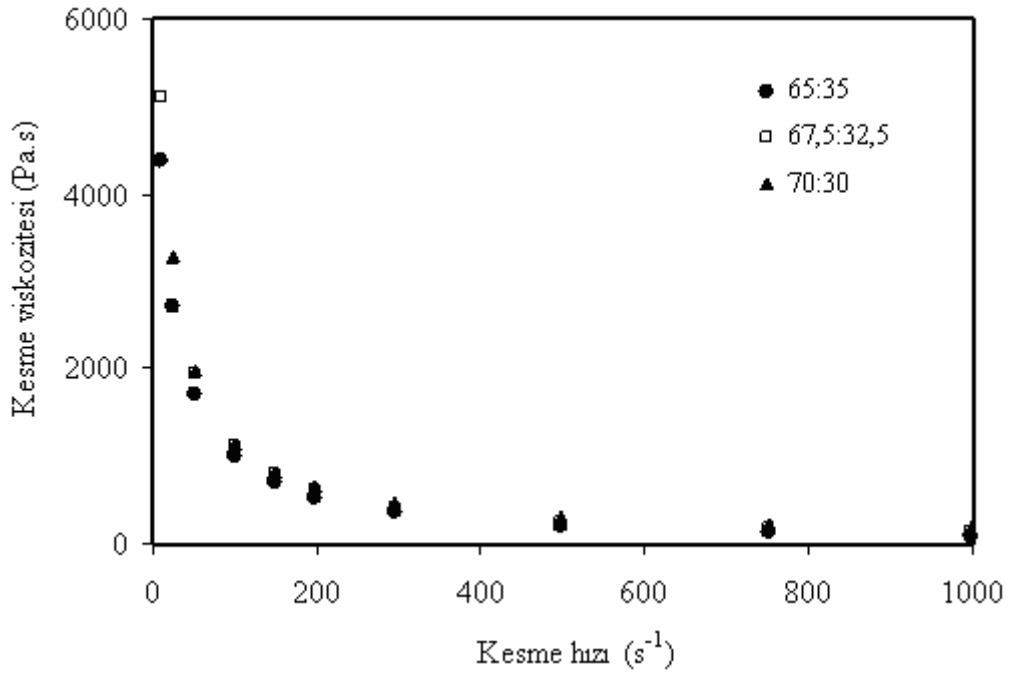
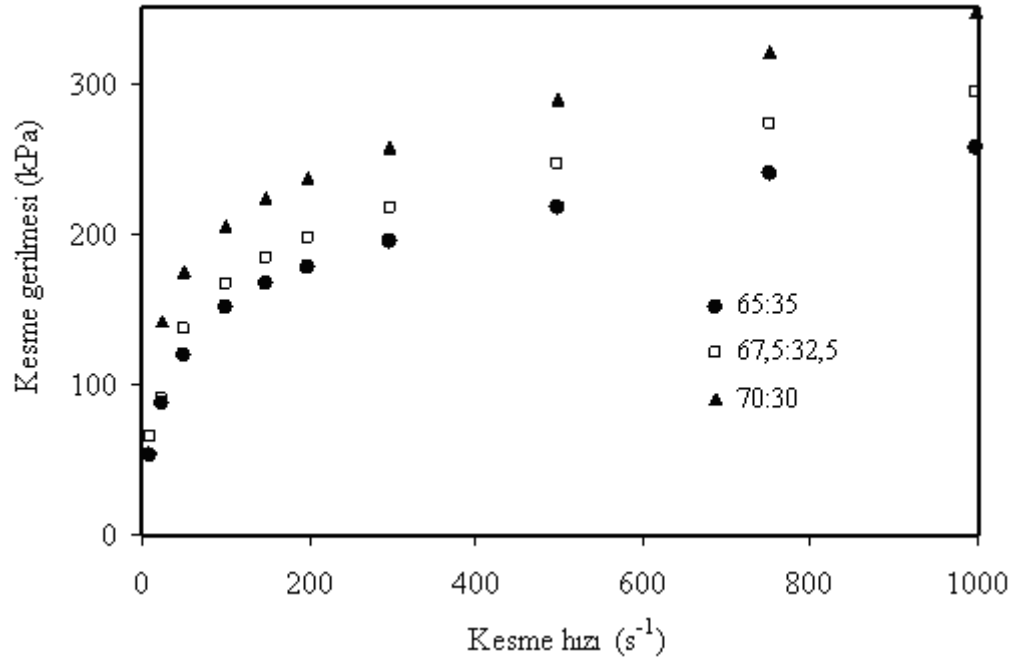




**Şekil 3.78:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.66:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

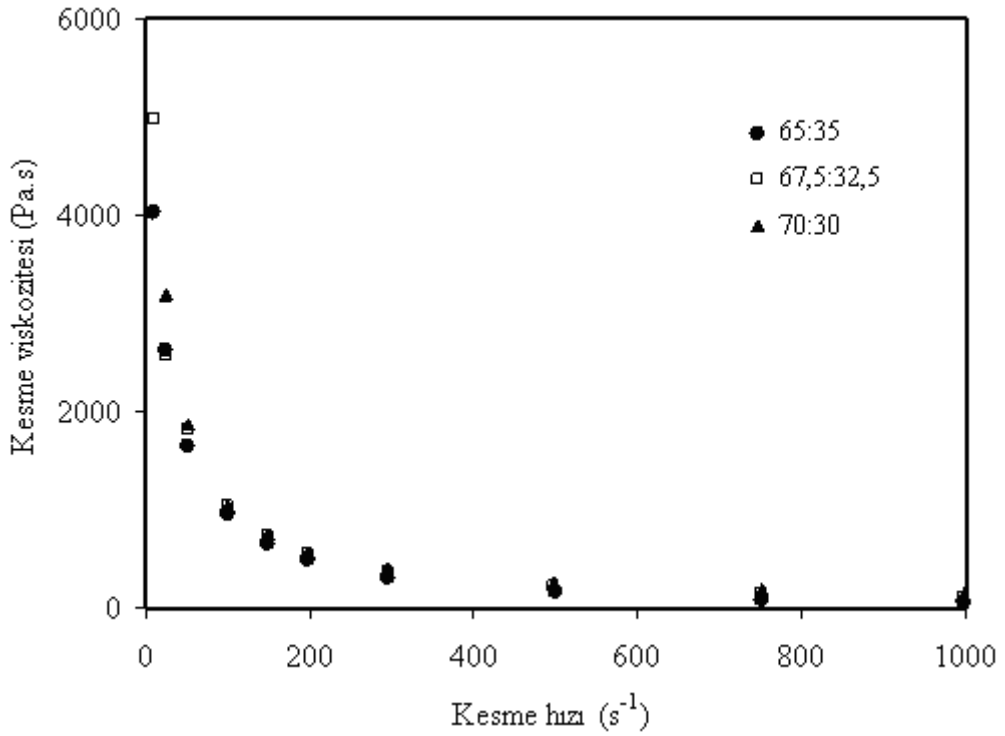
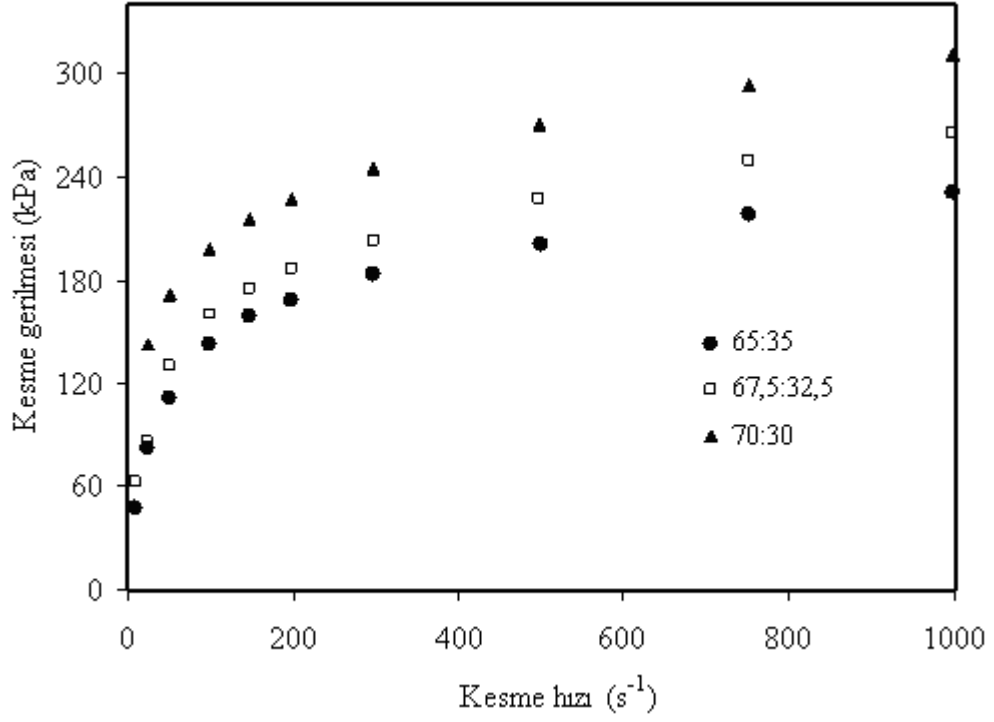
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	32/1	10	4379	53,1
			25	2710	87,9
			50	1716	119,0
			100	997	150,5
			148	705	167,1
			198	534	178,1
			296	357	194,4
			498	206	217,8
			751	128	239,5
			997	90	256,6
67,5:32,5	30	32/1	10	5118	64,4
			25	2686	89,8
			50	1933	136,6
			100	1109	167,7
			148	789	184,9
			198	610	197,9
			296	422	217,5
			498	258	246,0
			751	174	273,4
			997	131	294,9
70:30	30	32/1	25	3276	141,7
			50	1988	175,1
			100	1147	206,0
			148	832	223,6
			198	654	236,8
			296	470	257,5
			499	308	289,1
			751	224	320,5
			997	181	347,5



**Şekil 3.79:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30  $^{\circ}$ C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.67** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

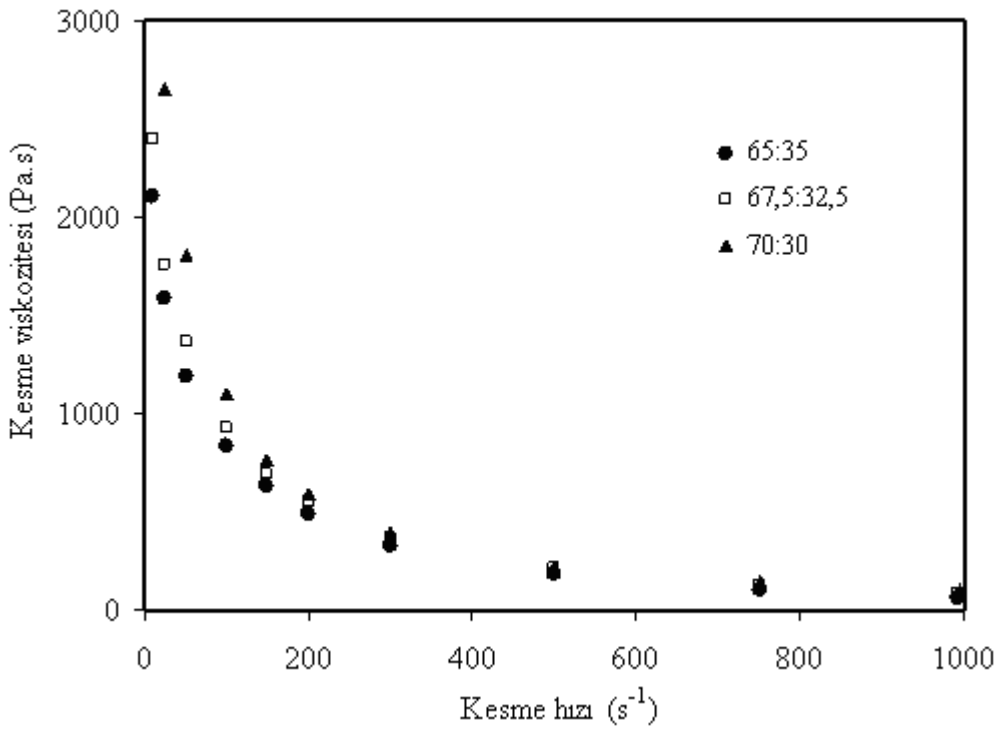
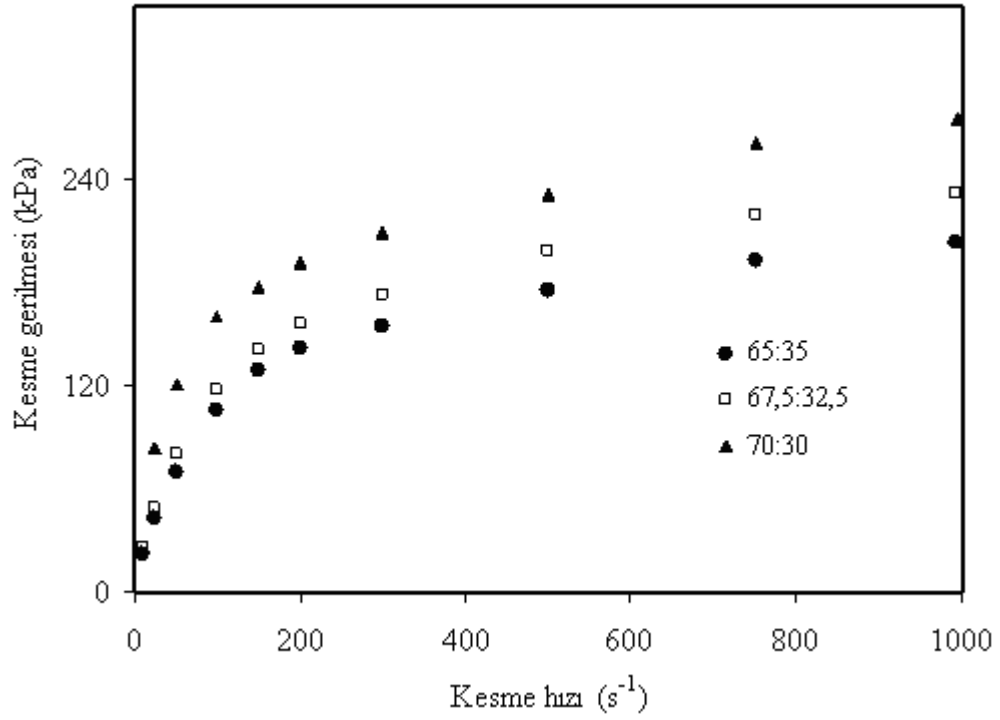
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	16/1	10	4033	47,2
			25	2619	82,5
			50	1643	111,7
			100	950	143,2
			148	660	158,9
			198	490	168,8
			296	315	183,0
			499	163	200,6
			751	88	217,9
			997	51	230,7
67,5:32,5	30	16/1	10	4983	62,7
			25	2565	86,2
			50	1817	130,0
			100	1035	160,2
			148	726	175,4
			198	554	187,2
			296	373	202,9
			498	220	227,3
			751	142	249,1
			997	103	265,6
70:30	30	16/1	25	3193	142,6
			50	1862	171,9
			100	1040	199,0
			148	745	215,5
			198	578	227,1
			296	406	244,5
			498	258	270,3
			751	181	293,4
			997	141	311,3



**Şekil 3.80:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.68:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastalarının 30  $^{\circ}$ C'de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
65:35	30	8/0,5	10	2107	21,8
			25	1582	43,3
			50	1194	69,4
			100	833	105,4
			150	635	128,8
			200	493	141,4
			300	323	154,6
			500	180	175,7
			750	100	193,2
			992	58	202,7
67,5:32,5	30	8/0,5	10	2404	25,1
			25	1756	48,5
			50	1363	79,8
			100	925	117,3
			150	693	140,1
			200	547	155,5
			300	369	173,0
			500	214	199,0
			750	127	218,9
			993	80	231,8
70:30	30	8/0,5	25	2651	83,2
			50	1811	121,1
			100	1102	160,0
			150	767	177,5
			200	589	191,2
			300	394	208,6
			500	227	230,9
			750	147	260,9
			994	101	275,5



**Şekil 3.81:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

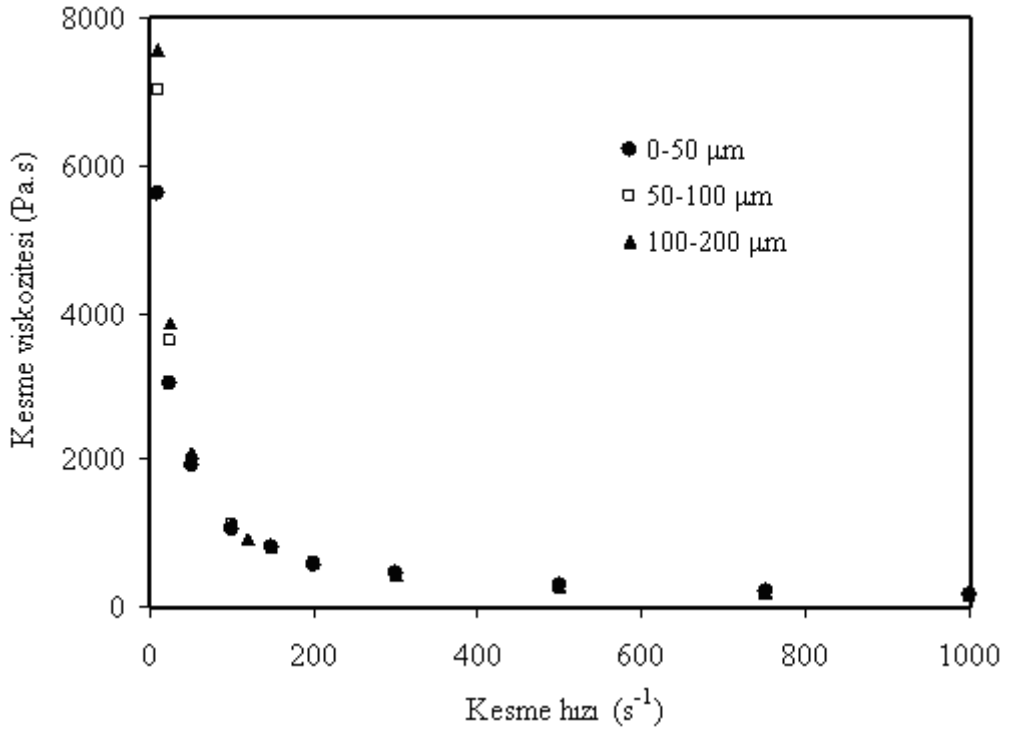
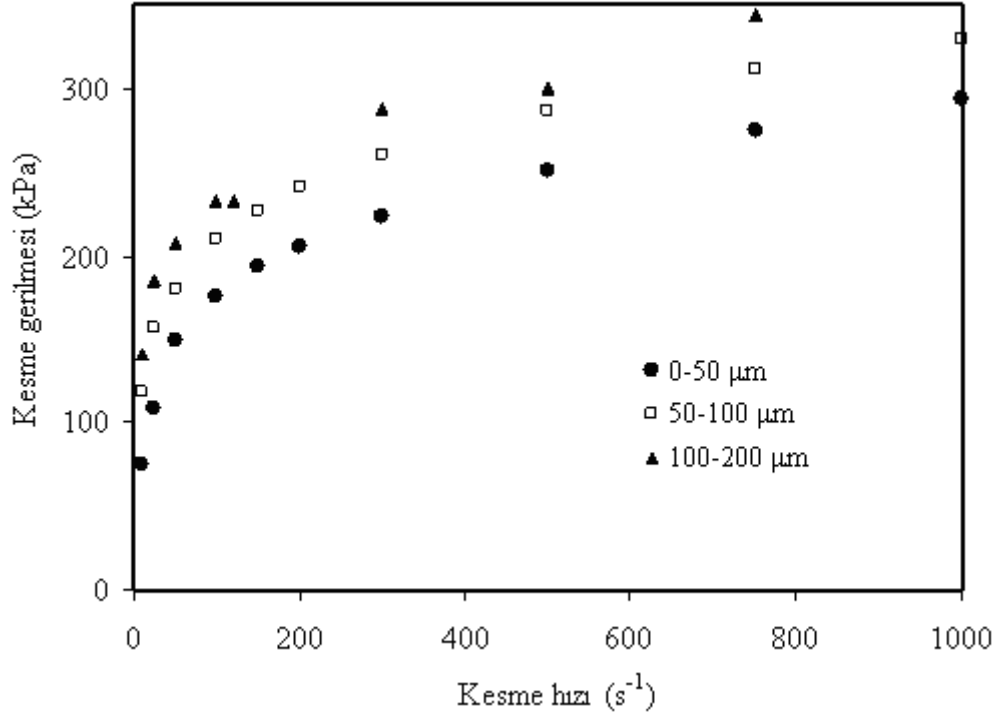
### 3.2.6.2 Tane Boyutunun Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlit tozları ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla 67,5:32,5 katı oranına sahip 0-50, 50-100 ve 100-200 µm tane boyutu aralıklarında pastalar hazırlanarak, 30 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.69-3.72'de verilerek Şekil 3.82-3.85'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir

**Tablo 3.69:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C'de L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	0-50	30	32/2	10	5618	75,7
				25	3037	109,0
				50	1937	149,0
				100	1057	175,8
				150	810	193,6
				200	559	205,1
				300	449	223,8
				500	291	250,8
				750	207	274,9
				1000	162	294,0
67,5:32,5	50-100	30	32/2	10	7016	118,0
				25	3607	156,8
				50	1975	180,6
				100	1105	210,5
				150	775	227,2
				200	605	241,5
				300	423	260,5
				500	269	287,0
				750	188	311,9
				1000	146	329,9
67,5:32,5	100-200	30	32/2	10	7577	141,4
				25	3859	184,8
				50	2078	207,8
				100	1126	233,1
				120	934	233,4
				300	437	288,1
				500	265	299,6
				750	198	343,9

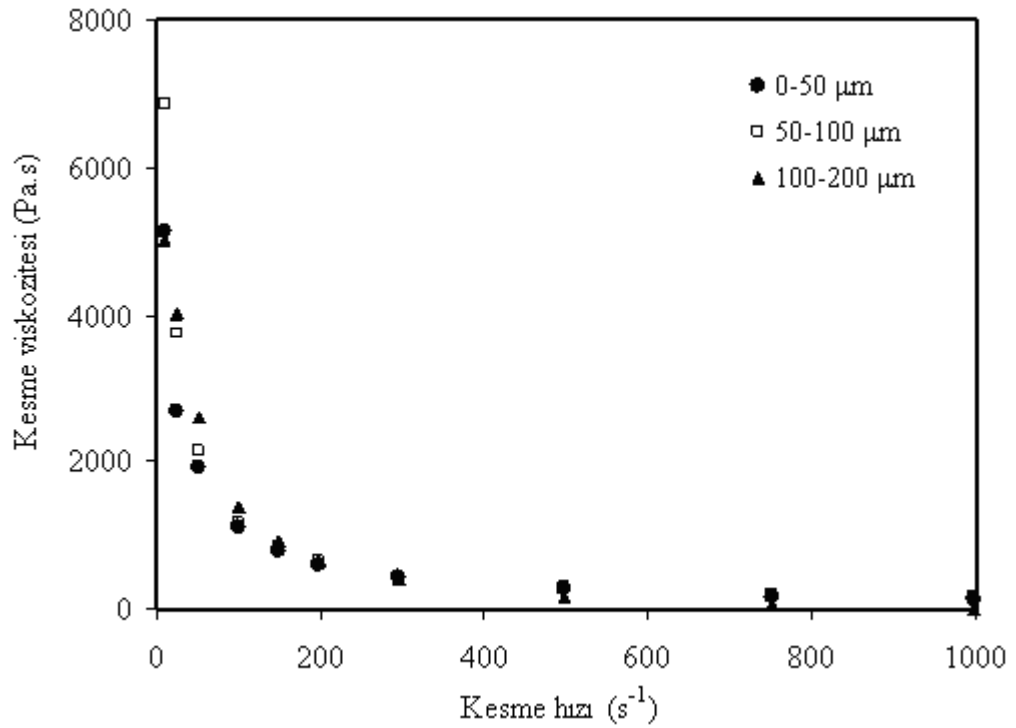
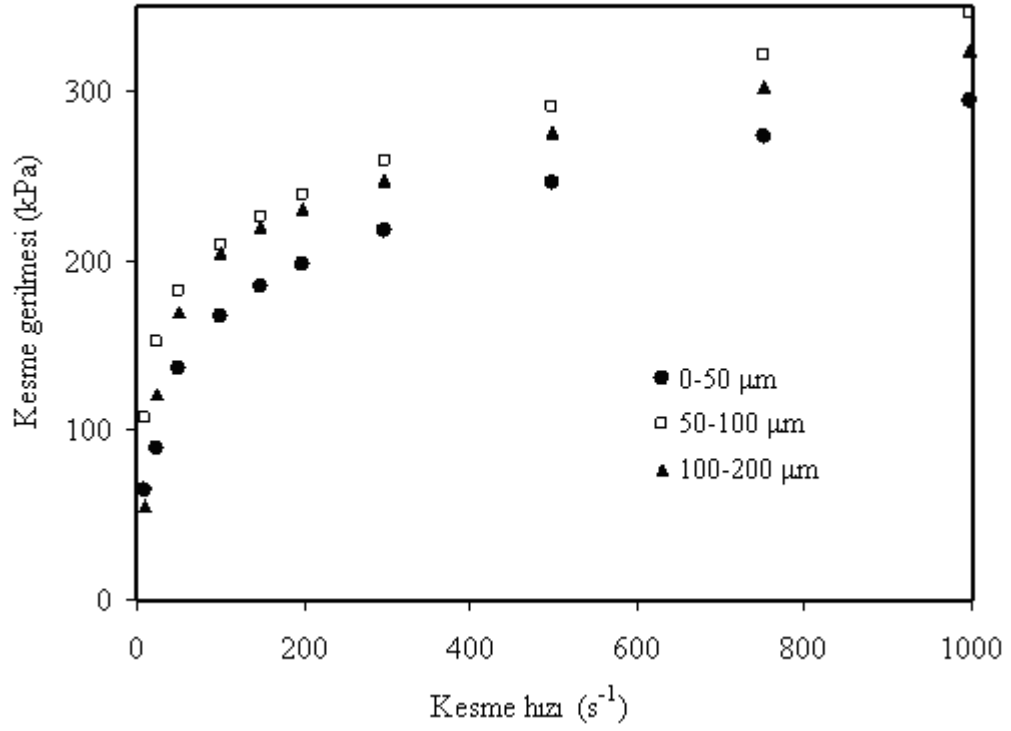




**Şekil 3.82:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların  $L(mm)/D(mm):32/2$  oranlı kapiler kanal kullanılarak  $30^{\circ}C$ 'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.70:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

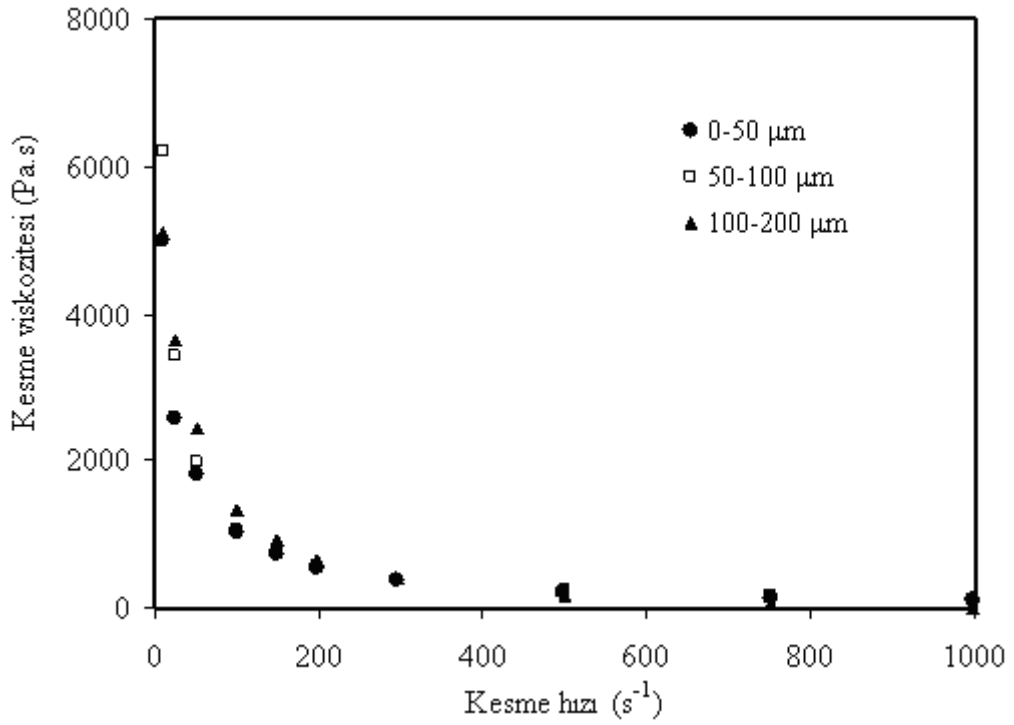
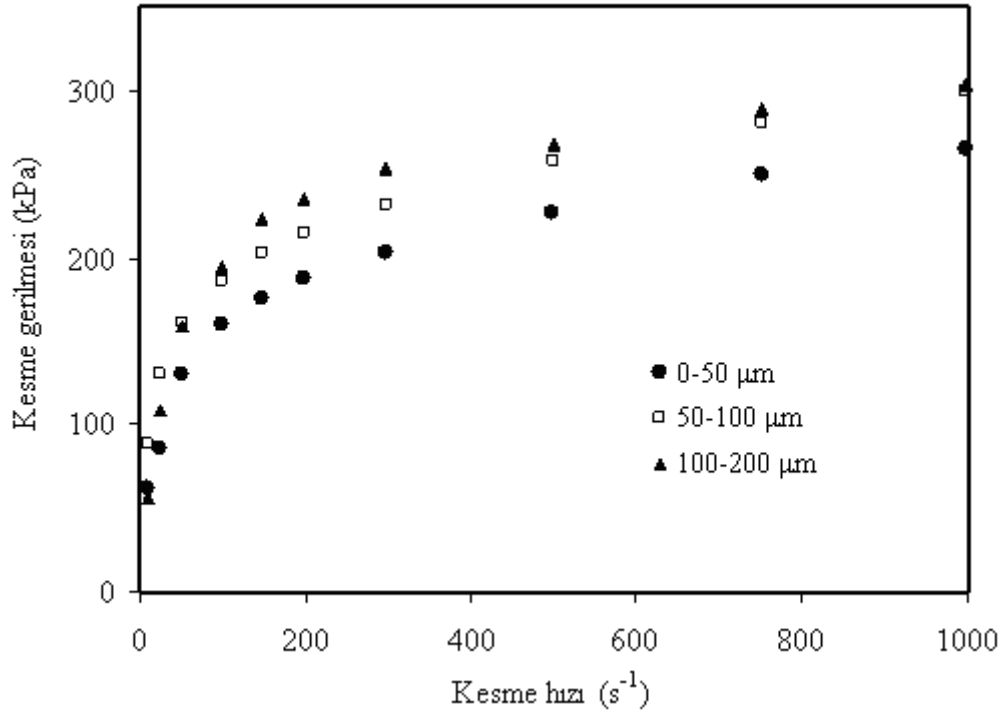
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	0–50	30	32/1	10	5118	64,4
				25	2686	89,8
				50	1933	136,6
				100	1109	167,7
				148	789	184,9
				198	610	197,9
				296	422	217,5
				498	258	246,0
				751	174	273,4
				997	131	294,9
67,5:32,5	50–100	30	32/1	10	6873	107,0
				25	3732	152,6
				50	2137	182,3
				100	1173	209,9
				148	832	226,8
				198	641	239,2
				296	447	258,8
				498	285	291,6
				752	200	321,5
				997	157	346,7
67,5:32,5	100–200	30	32/1	10	5006	55,6
				25	4020	120,8
				50	2591	169,3
				100	1390	205,0
				148	916	220,5
				198	654	230,9
				296	394	247,9
				498	174	276,0
				751	58	303,0
				997	-	324,3



**Şekil 3.83:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.71:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

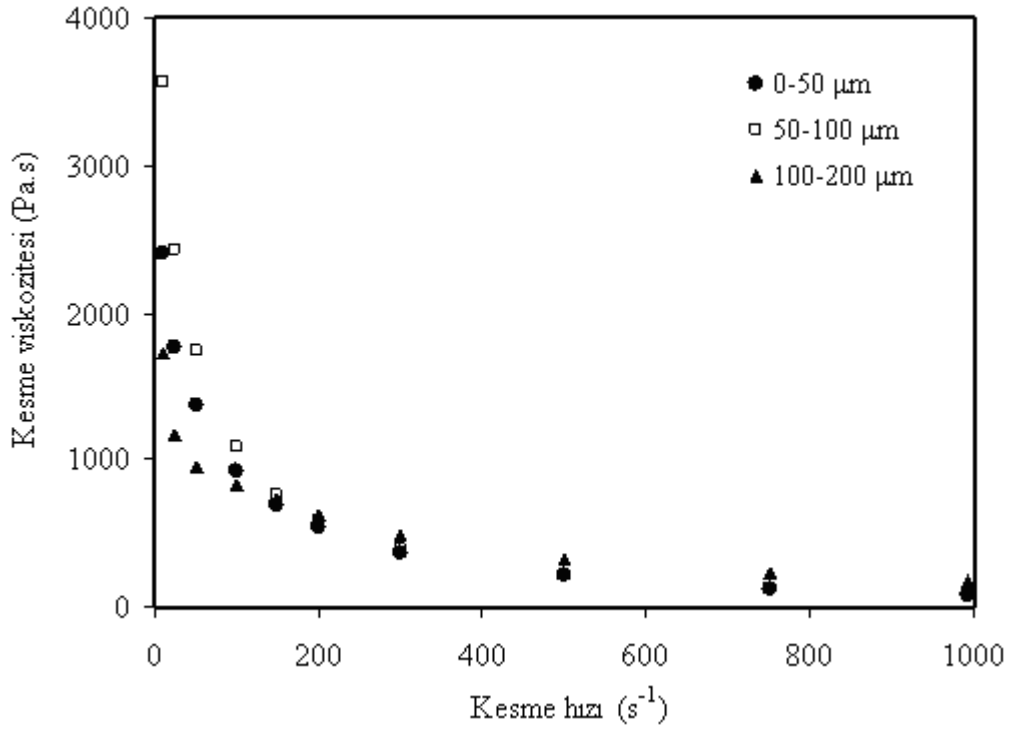
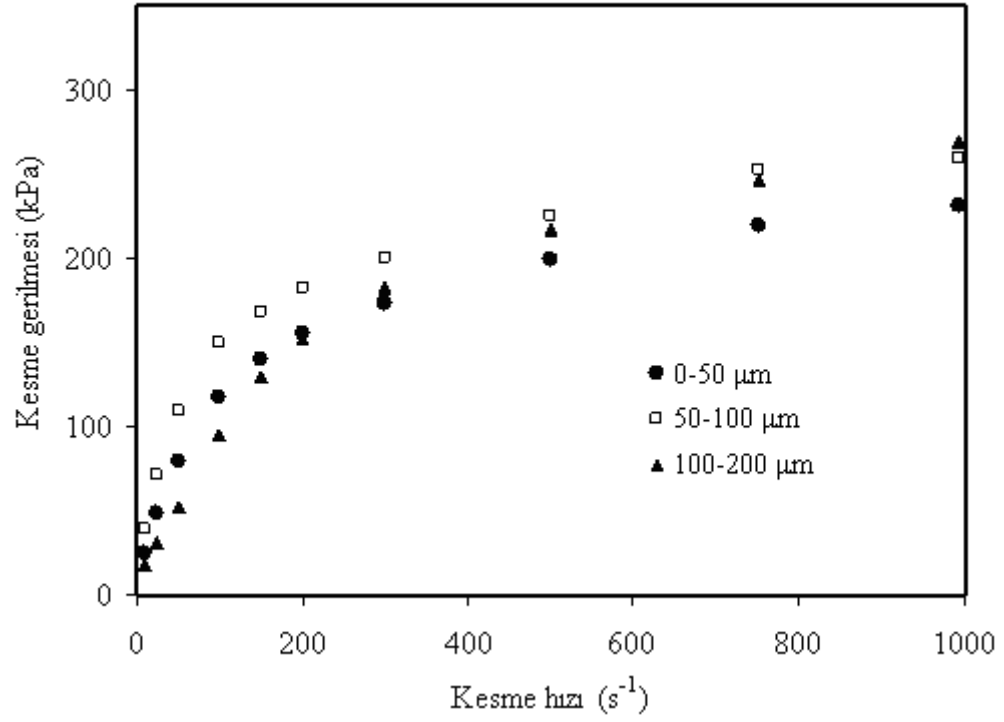
Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	0–50	30	16/1	10	4983	62,7
				25	2565	86,2
				50	1817	130,0
				100	1035	160,2
				148	726	175,4
				198	554	187,2
				296	373	202,9
				498	220	227,3
				751	142	249,1
				997	103	265,6
67,5:32,5	50–100	30	16/1	10	6202	88,9
				25	3408	130,4
				50	1979	160,8
				100	1071	186,9
				148	749	203,0
				198	571	214,6
				296	388	232,2
				499	234	258,5
				751	155	280,9
				997	116	300,0
67,5:32,5	100–200	30	16/1	10	5097	56,3
				25	3628	108,3
				50	2441	158,6
				100	1323	194,7
				148	925	222,8
				198	663	235,0
				296	394	252,7
				499	159	267,4
				751	44	288,6
				997	-	303,9



**Şekil 3.84:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak 30 °C’de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.72:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boyutlarında hazırlanan pastalarının 30 °C’de L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Tane boyutu (µm)	Sıcaklık (°C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı (s <sup>-1</sup> )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	0–50	30	8/0,5	10	2404	25,1
				25	1756	48,5
				50	1363	79,8
				100	925	117,3
				150	693	140,1
				200	547	155,5
				300	369	173,0
				500	214	199,0
				750	127	218,9
				993	80	231,8
67,5:32,5	50–100	30	8/0,5	10	3570	39,2
				25	2429	71,0
				50	1740	108,7
				100	1091	149,0
				150	766	168,0
				200	587	182,2
				300	387	200,5
				500	216	225,9
				750	127	253,2
				992	76	260,0
67,5:32,5	100–200	30	8/0,5	10	1716	17,5
				25	1172	31,1
				50	943	51,9
				100	828	95,2
				150	728	129,5
				200	622	151,3
				300	482	183,0
				500	322	217,1
				750	229	246,4
				992	181	269,9



**Şekil 3.85:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten farklı tane boylarında hazırlanmış pastaların  $L(mm)/D(mm):8/0,5$  oranlı kapiler kanal kullanılarak  $30^{\circ}C$ 'de ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

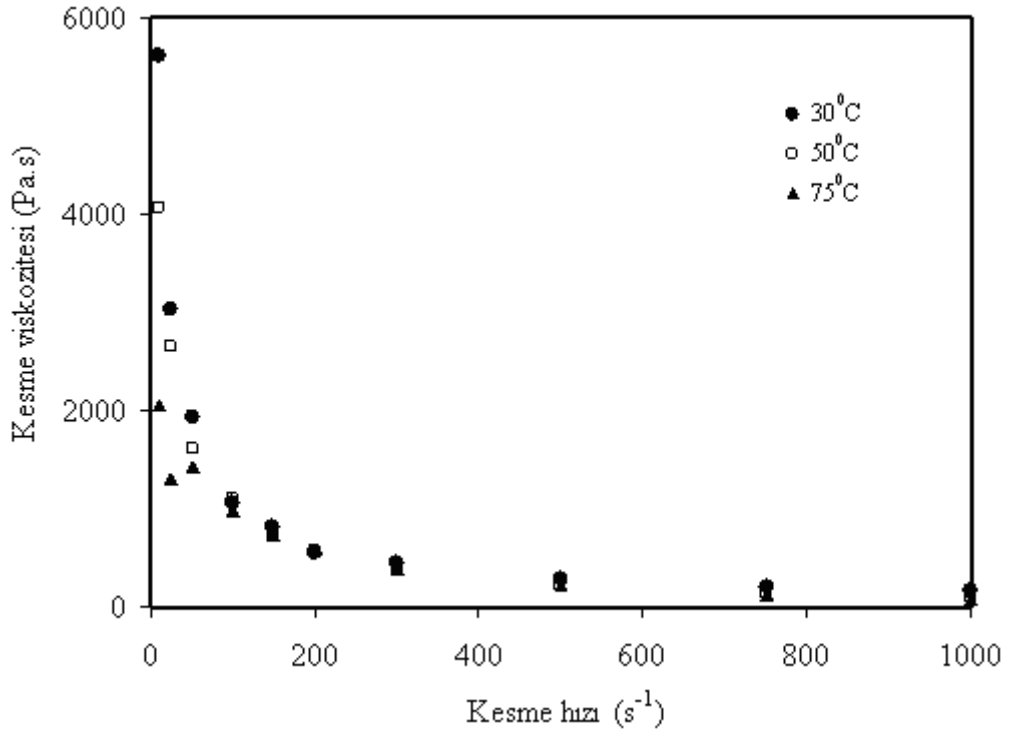
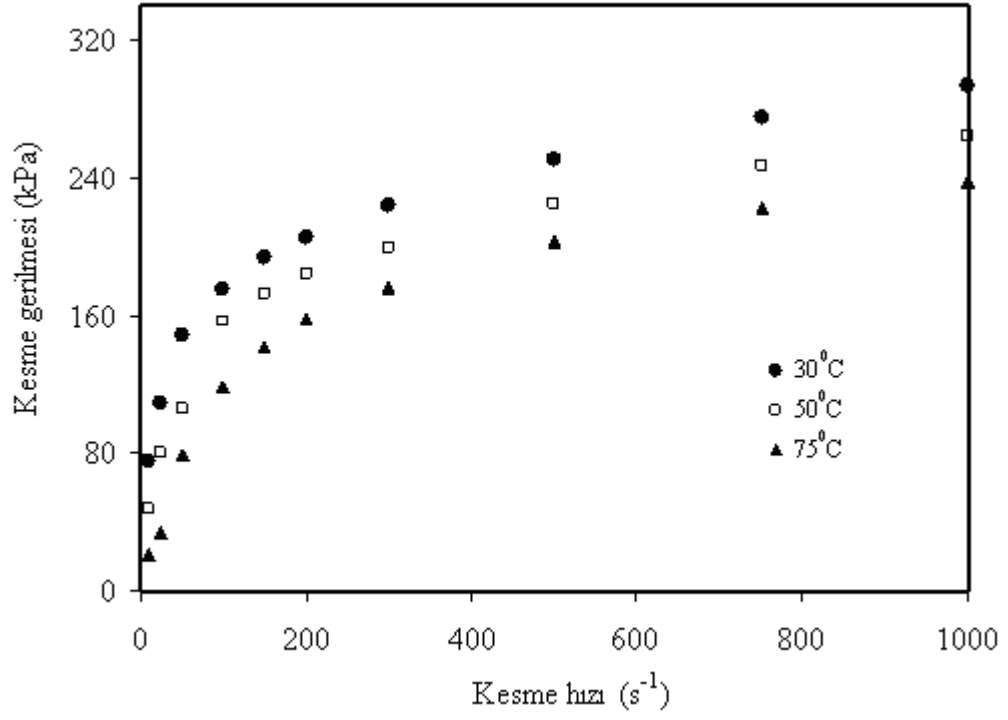
### 3.2.6.3 Sıcaklığın Etkisi

Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlit (0–50  $\mu\text{m}$ ) ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla katı:sıvı oranı 67,5:32,5 olan pasta kullanılarak 30, 50 ve 75  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yüksek basınçlı kapiler reometrede dört farklı kapiler kanal ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen reolojik veriler Tablo 3.73-3.76’da verilerek, Şekil 3.86-3.89’da kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 3.73:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu\text{m}$ ) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/2 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $\text{s}^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	30	32/2	10	5618	75,7
			25	3037	109,0
			50	1937	149,0
			100	1057	175,8
			150	810	193,6
			200	559	205,1
			300	449	223,8
			500	291	250,8
			750	207	274,9
			1000	162	294,0
67,5:32,5	50	32/2	10	4066	47,0
			25	2636	80,3
			50	1609	105,9
			100	1097	157,1
			150	757	173,2
			200	572	184,0
			300	379	200,0
			500	219	224,7
			750	136	247,1
			1000	92	264,1
67,5:32,5	75	32/2	10	2056	20,6
			25	1294	33,7
			50	1422	79,3
			100	980	118,1
			150	737	141,9
			200	582	157,8
			300	393	176,8
			500	222	202,5
			750	125	222,9
			1000	72	237,8

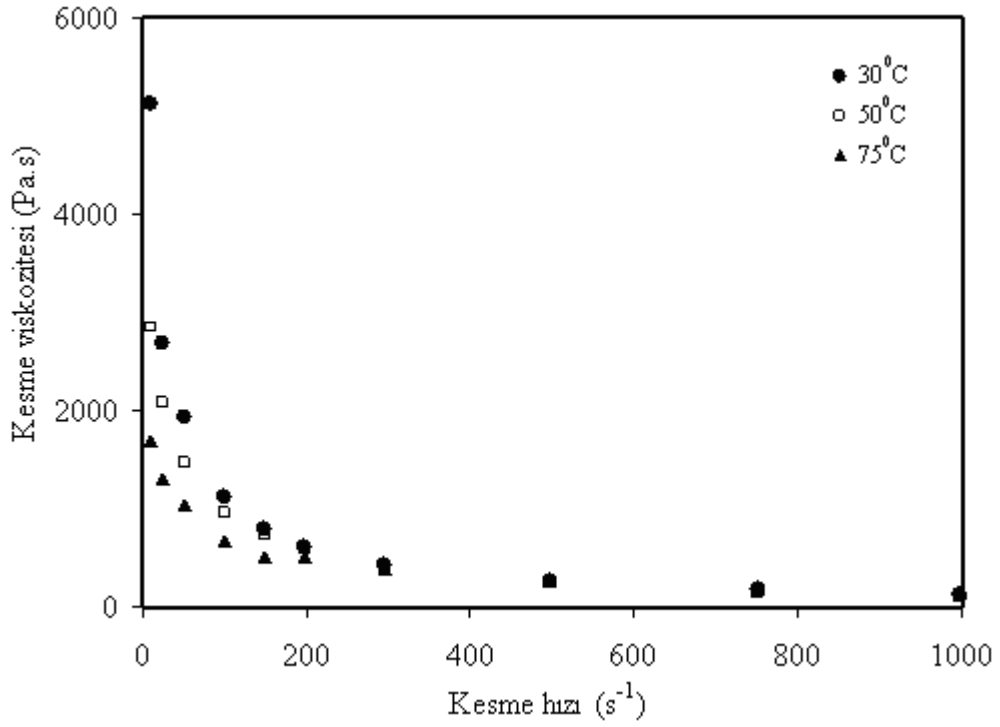
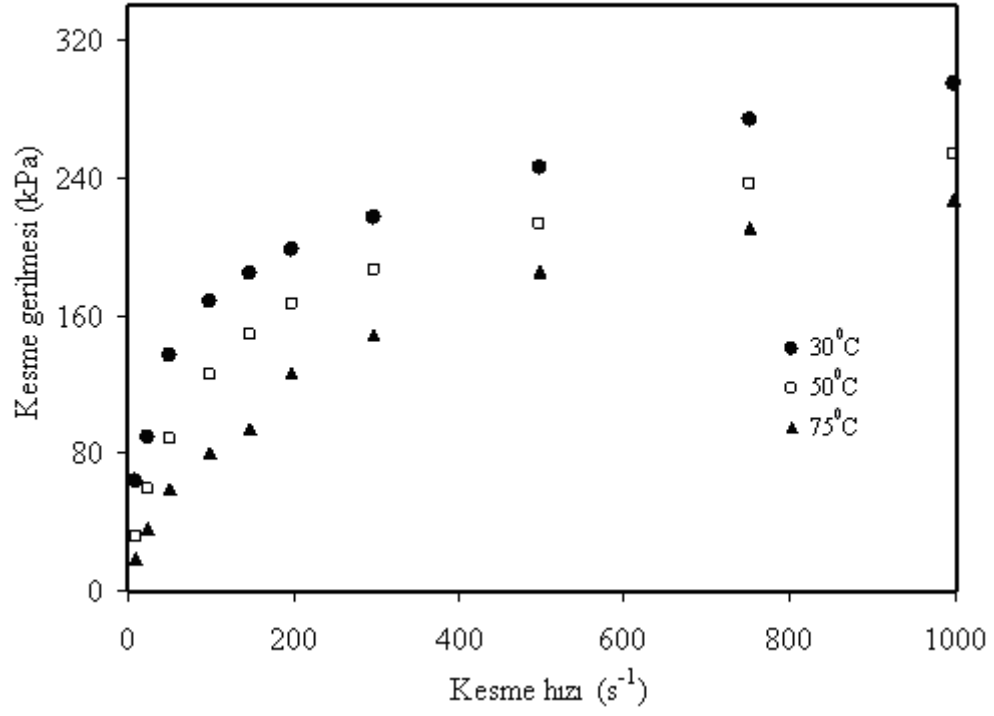




**Şekil 3.86:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/2 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.74:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=32/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

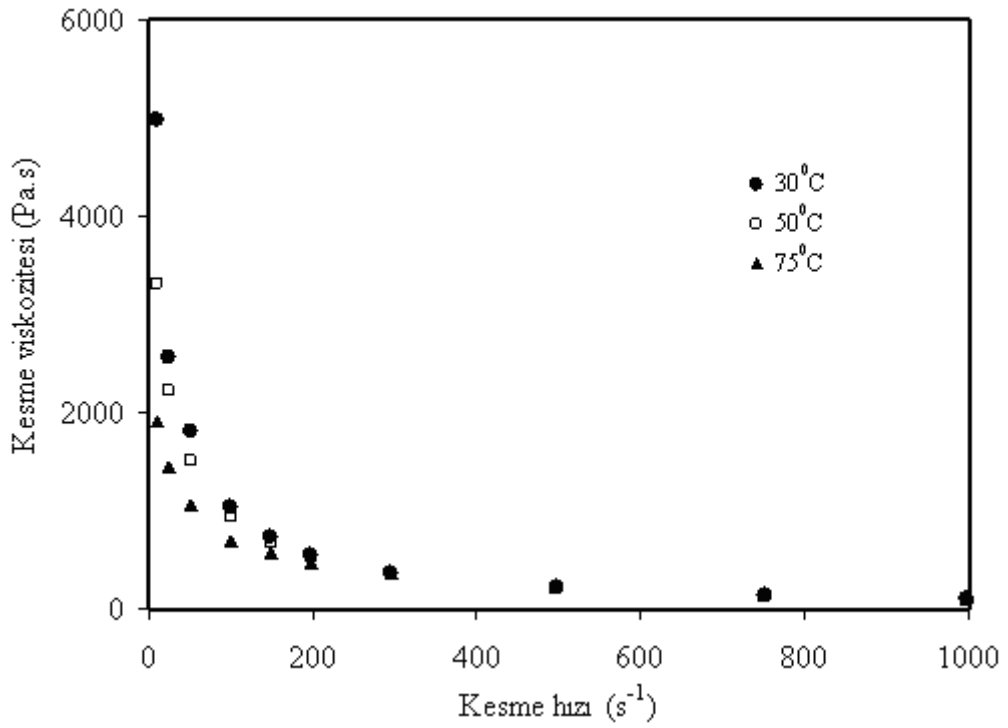
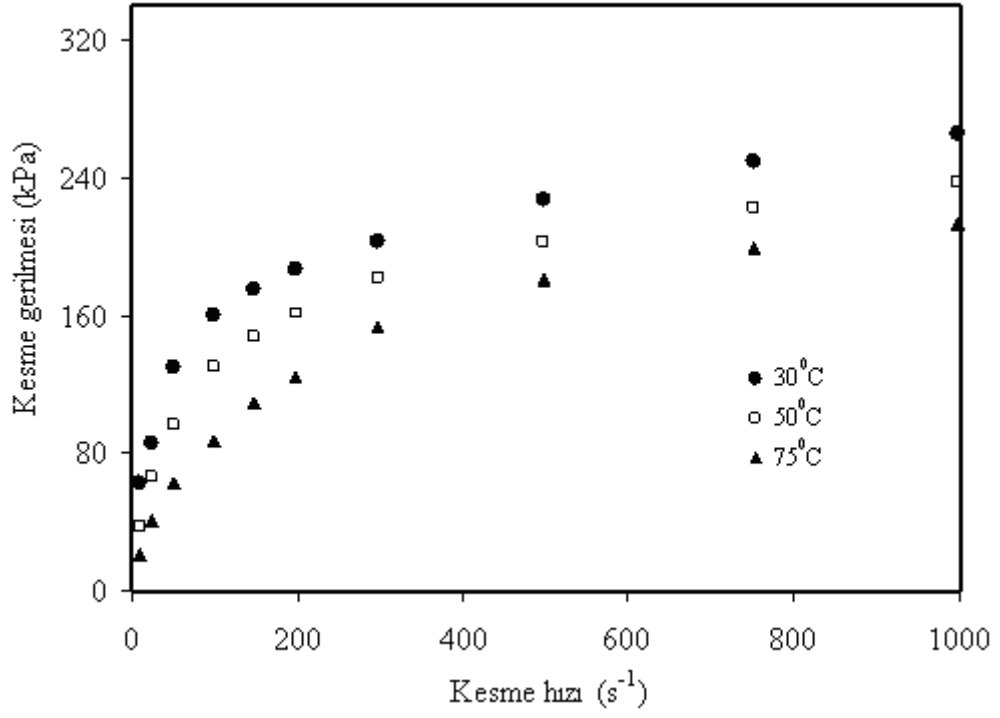
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	30	32/1	10	5118	64,4
			25	2686	89,8
			50	1933	136,6
			100	1109	167,7
			148	789	184,9
			198	610	197,9
			296	422	217,5
			498	258	246,0
			751	174	273,4
			997	131	294,9
67,5:32,5	50	32/1	10	2854	30,9
			25	2083	59,6
			50	1459	88,3
			100	961	125,2
			148	728	148,1
			198	586	166,8
			296	405	187,1
			498	239	213,4
			751	151	236,7
			997	105	254,5
67,5:32,5	75	32/1	10	1684	18,1
			25	1297	36,1
			50	1034	59,6
			100	665	80,0
			148	516	94,5
			198	507	126,7
			296	383	148,8
			498	270	185,8
			751	193	210,7
			997	151	227,2



**Şekil 3.87:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):32/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.75:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=16/1 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

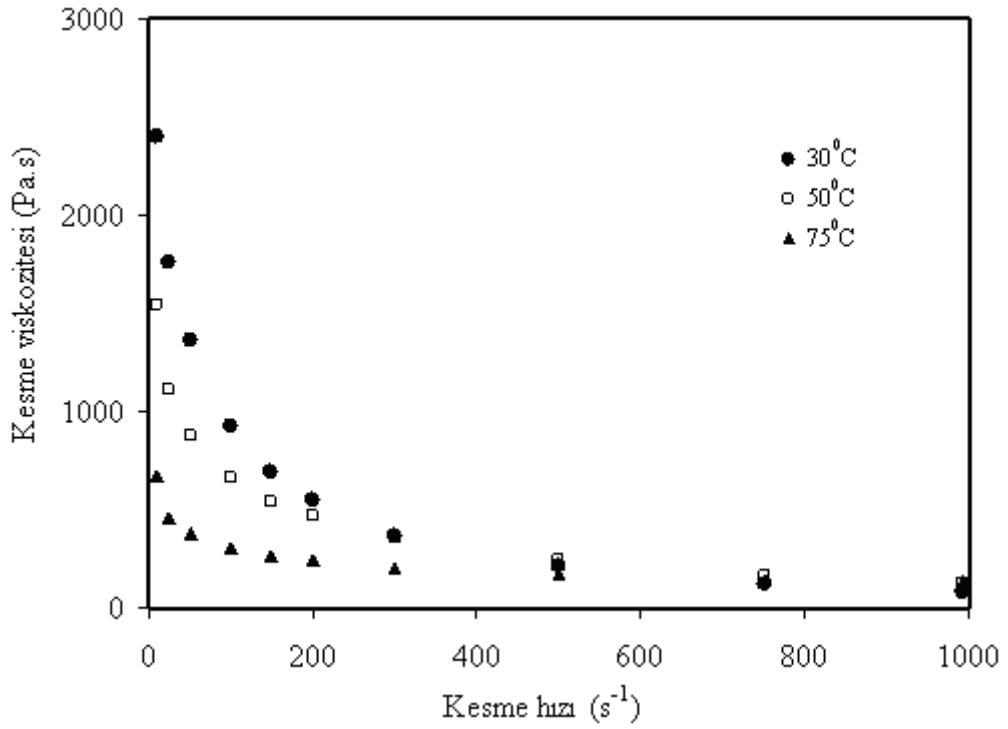
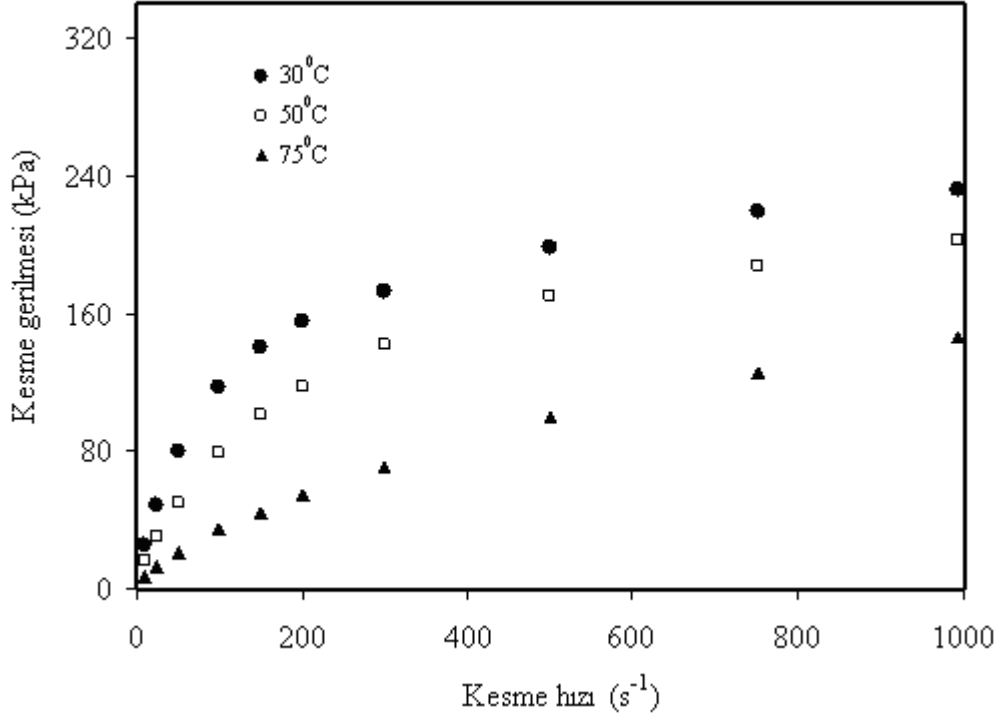
Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	30	16/1	10	4983	62,7
			25	2565	86,2
			50	1817	130,0
			100	1035	160,2
			148	726	175,4
			198	554	187,2
			296	373	202,9
			498	220	227,3
			751	142	249,1
			997	103	265,6
67,5:32,5	50	16/1	10	3308	37,2
			25	2224	66,6
			50	1507	96,0
			100	936	129,4
			148	678	147,2
			198	527	160,8
			296	366	182,5
			498	208	202,9
			751	128	223,1
			997	87	238,0
67,5:32,5	75	16/1	10	1912	20,5
			25	1446	40,6
			50	1067	62,6
			100	698	86,5
			148	575	109,3
			198	473	124,3
			296	370	153,2
			498	240	181,4
			751	161	199,7
			997	121	213,3



**Şekil 3.88:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):16/1 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

**Tablo 3.76:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanan pastalarının farklı sıcaklıklarda L(mm)/D(mm)=8/0,5 oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri

Katı:sıvı oranı (g:g)	Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)	L/D (mm/mm)	Kesme hızı ( $s^{-1}$ )	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)
67,5:32,5	30	8/0,5	10	2404	25,1
			25	1756	48,5
			50	1363	79,8
			100	925	117,3
			150	693	140,1
			200	547	155,5
			300	369	173,0
			500	214	199,0
			750	127	218,9
			993	80	231,8
67,5:32,5	50	8/0,5	10	1549	16,2
			25	1105	30,1
			50	873	49,5
			100	660	78,6
			150	544	100,7
			200	463	117,5
			300	354	141,3
			500	239	170,9
			750	163	188,0
			992	125	203,3
67,5:32,5	75	8/0,5	10	673	7,5
			25	457	12,8
			50	380	21,4
			100	306	34,5
			150	262	44,5
			200	239	54,2
			300	208	70,9
			500	175	100,0
			750	147	125,7
			993	128	145,8



**Şekil 3.89:** Polidimetilsiloksan (AK 100 000) ve genişmiş perlitten (0-50 $\mu$ m) hazırlanmış pastaların L(mm)/D(mm):8/0,5 oranlı kapiler kanal kullanılarak farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerden çizilen reogramları

## 4. SONUÇ TARTIŞMA

### 4.1 Pastaların Karakterizasyonu

Kolemanit-polidimetilsiloksan, üleksit-polidimetilsiloksan ve genişmiş perlit-polidimetilsiloksan pastalarının FTIR, XRD, DTA/TG, BET, SEM, TEM ve AFM analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilerek tartışılmıştır.

#### 4.1.1 FTIR Analizi

Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit, polidimetilsiloksan ve pastaların FTIR spektrumları Şekil 3.1-3.3'de verilmektedir. Polidimetilsiloksanın FTIR spektrumu bütün grafiklere karşılaştırma yapmak amacıyla eklenmiştir. Polidimetilsiloksanın FTIR spektrumuna bakıldığında, 3000  $\text{cm}^{-1}$  civarında görülen piklerin,  $\text{CH}_3$ 'deki C-H bağı gerilmelerinden; 1414  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikin, Si- $\text{CH}_3$  yapısındaki asimetric  $\text{CH}_3$  deformasyonundan; 1257  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikin, Si- $\text{CH}_3$  yapısındaki simetric  $\text{CH}_3$  deformasyonundan; 1008  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikin, Si-O-Si gerilmesinden; ve 800  $\text{cm}^{-1}$  civarında görülen iki pikin de Si-C gerilmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Kolemanitin FTIR spektrumunda bulunan 3100  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik, yapıdaki suyun varlığını; ve 1300  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik, B-O gerilmesini göstermektedir (Yildiz, 2004). Kolemanit ve polidimetilsiloksan pastasının piklerine baktığımızda, polidimetilsiloksanın bütün pikleri spektrumda mevcut olduğu halde kolemanitin 3100  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikinin şiddetinin azaldığı ve 900  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikinin kaybolduğu görülmektedir.

Üleksit mineralinin infrared absorpsiyon grafiğindeki 3413  $\text{cm}^{-1}$  ve civarındaki pikler O-H gerilmesini temsil etmektedir. 1629  $\text{cm}^{-1}$ 'deki, serbest  $\text{H}_2\text{O}$  pikidir. 1411  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik,  $\text{BO}_3$  içindeki asimetric B-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 1354, 1315 ve 1209  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler,  $(\text{OH})^{-1}$ 'in düzlem içi eğilmesinden; ve 1049, 973 ve 854  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler ise  $\text{BO}_4$  içindeki B-O asimetric gerilmesinden dolaydır. 742 ve 711  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler  $(\text{OH})^{-1}$ 'in düzlem dışı eğilmesinden ve  $\text{BO}_4$  içindeki B-O simetric gerilmesinden kaynaklanır (Ruoyu ve arkadaşları, 1997). Üleksit ve polidimetilsiloksan pastasının FTIR spektrumu kolemanitte olduğu gibi her iki materyalin de piklerini içermektedir fakat hem



üleksitin hem de polidimetilsiloksanın pik verdiği bazı bölgelerde kaymalar meydana gelmiştir. Aynı zamanda üleksitin  $3100\text{ cm}^{-1}$  civarındaki O-H gerilmelerinin pastada etkisinin azaldığı görülmektedir.

Genleşmiş perlitin FTIR spektrumunda bulunan  $3500\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pik, yüzeydeki Si-OH gruplarının H bağlanmalarını;  $1625\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik, H<sub>2</sub>O titreşimini;  $1190\text{ cm}^{-1}$  piki, düzlemsel olmayan asimetrik SiO<sub>4</sub> gerilme ve titreşimlerini;  $1011\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik ise, asimetrik düzlemsel gerilmeleri göstermektedir (Abalos ve arkadaşları, 2000). Genleşmiş perlit ve polidimetilsiloksan karışımı olan pastada ise her ikisinin de karakteristik piklerinin çoğu görülmektedir fakat  $991\text{ cm}^{-1}$  ve  $789\text{ cm}^{-1}$ 'deki diğerlerinden farklı iki pik, genleşmiş perlit ve polidimetilsiloksan arasında bir etkileşimin olduğunu düşünmemize neden olabilir.

#### 4.1.2 XRD Analizi

Tozların ve pastaların X-ışını kırınımı ölçümleri X-ray diffractometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kolemanit, polidimetilsiloksan ve pastanın XRD spektrumları Şekil 3.4'de; üleksit, polidimetilsiloksan ve pastanın XRD spektrumları Şekil 3.5'de; ve genleşmiş perlit, polidimetilsiloksan ve pastanın XRD spektrumları Şekil 3.6'da verilmiştir. Çalışmada kullanılan kolemanitin ve üleksitin XRD grafiğindeki karakteristik piklerden dolayı oldukça saf olduğunu söyleyebiliriz. Polidimetilsiloksan ve genleşmiş perlit için herhangi bir pik görülmediğinden dolayı amorf yapıda olduklarını görmekteyiz. Kolemanit ve polidimetilsiloksan pastasının XRD spektrumundaki piklerin kolemanitin karakteristik pikleriyle aynı fakat şiddetlerinin oldukça küçük olduğu görülmektedir.  $2\theta = 11^{\circ}$  ve  $15^{\circ}$ 'de yeni piklerin oluştuğu ve kolemanite ait bazı piklerin de kaybolduğu görülmektedir Aynı şekilde üleksitin de pastadaki piklerinin şiddeti azalmış, bazı pikler ise kaybolmuştur fakat üleksitteki bu değişim kolemanittekinden daha azdır. Sonuç olarak pastaların XRD spektrumları karıştırma sonrası tozların yapılarında önemli bir değişim olmadığını fakat polidimetilsiloksanın pastadaki oranı oldukça düşük olduğu halde tozların etkisini önemli ölçüde azalttığını söyleyebiliriz.

### 4.1.3 DTA/TG Analizi

Kolemanit ve pastasının DTA/TG termogramları, Şekil 3.7’de verilmektedir. Farklı reaksiyonların karışımı nedeniyle kolemanitin termal bozunması oldukça komplekstir. Kolemanit ( $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]\text{H}_2\text{O}$ ), bir kalsiyum borat mineralidir ve yapısında sınırsız sayıda paralel bor-oksijen zinciri içerir. Zincirdeki elementler iki tane tetrahedral  $\text{BO}_4$  ve bir  $[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]^{-2}$  halkasından meydana gelir. Zincirler  $\text{Ca}^{+2}$  iyonları ile oluşan iyonik bağlarla birbirlerine enine doğru eklenmiştir, böylece birbirine paralel tabakalar oluşur. Zincirdeki hidroksil grupları ile su moleküllerini içeren hidrojen bağları, tabakaları birbirine bağlar.

Azot atmosferi altında yapılan araştırmalardan, TG ve d[TG] analizleri kolemanitin termal bozunmasının kütesinin %17’sini yani kristal suyunu 300 ve 460  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında kaybetmesiyle başladığını göstermektedir. Bu sıcaklık aralığında gerçekleşen reaksiyona ait endotermik pik DTA termogramında görülmektedir. Kolemanitin parçalanması 600-800  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu basamakta kolemanit  $\text{B}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$ ’in amorf formlarına ekzotermik bir reaksiyon ile parçalanır (Yildiz, 2004; Atar, 2007). Bu basamaktaki kütle kaybı %3 kadardır. Pastanın TG ve d[TG] analizi, termal bozunmanın 200-300 $^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında %16’lık kütle kaybı ile başladığını göstermektedir. Bu basamakta polidimetilsiloksanın kısa zincirli kararsız kısımlarının yapıdan uzaklaştığını söyleyebiliriz. Polidimetilsiloksanın C-Si ve Si-O bağlarının kırılması ve halkalı oligomerlere parçalanması reaksiyonu sonucu ikinci basamakta kolemanitin kaybettiği kristal suya ek bir kütle kaybı meydana gelmiştir. 400  $^{\circ}\text{C}$  civarında gerçekleşen toplam kütle kaybı % 27 kadardır. Reaksiyonların pastada kolemanitten daha yüksek sıcaklıklarda sonlandığı görülmektedir.

Üleksit ve pastasının DTA/TG termogramları, Şekil 3.8’de verilmektedir. Üleksitin DTA ve TG termogramları termal bozunmanın yaklaşık 80  $^{\circ}\text{C}$  civarında başladığını göstermektedir. Yaklaşık %16’lık bir kütle kaybı gerçekleşen ilk üç basamakta üleksit, 80–350  $^{\circ}\text{C}$  aralığında yapısındaki kristal suyun tamamını kaybetmiştir. Bu durum DTA termogramına 80–250  $^{\circ}\text{C}$  aralığında oluşan çakışmış 2

adet endotermik pik olarak yansımıştır. 350–500 °C aralığında meydana gelen %2,5’lik kütle kaybı yapıdan ayrılan OH grupları nedeniyledir. NaCaB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>·8H<sub>2</sub>O yapısındaki üleksit, bu basamağa kadar 8 mol suyunun tamamını kaybetmiş olur. Sıcaklık arttıkça amorf NaCaB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>’den CaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> oluşumu sonucu meydana gelen kristallenme 650 °C’deki ekzotermik pik ile sonuçlanmıştır. Geriye kalan kütle sıcaklık arttıkça erir ve endotermik bir pike neden olur (Şener ve arkadaşları, 2000; Ruoyu ve arkadaşları, 1997, Pişkin, 2009). Üleksit-polidimetilsiloksan pastasının DTA ve TG termogramları ise üleksitin termogramlarıyla benzerlik göstermekle birlikte, termal bozunmanın yaklaşık 140 °C civarında başladığını göstermektedir ve pastadaki üleksitin kristal suyunu kaybetmesi 2 basamakta gerçekleşmektedir. DTA termogramında ise üleksitle aynı sıcaklıkta tek bir endotermik pik meydana gelmiştir. 500 °C’den sonra meydana gelen üç adet küçük ekzotermik pik ve TG eğrisinde kütle kaybının çok fazla olmamasından dolayı polidimetilsiloksanın, üleksitin kristallenmesi ve erimesine bir miktar engel olduğunu ve üleksitteki su kaybının başlaması için daha yüksek sıcaklığın gerekli olduğunu diyebiliriz.

Genleşmiş perlit ve pastasının DTA/TG termogramları Şekil 3.9’da verilmektedir. Genleşmiş perlitin TG termogramı, kütle kaybının oldukça düşük sıcaklıklarda başladığını ve 400 °C’ye kadar devam ettiğini göstermektedir. Yaklaşık %2’lik bu kütle kaybının nedeni yapıdaki suyun uzaklaşmasıdır (Abalos ve arkadaşları, 2000). Termogramda 500 °C sonrası elde edilen verilerden ve DTA termogramında bulunan 600 °C civarındaki endotermik ve 1000 °C civarındaki ekzotermik piklerden dolayı genleşmiş perlitin yapısını değiştirecek fakat kütleye azalmaya neden olmayan reaksiyonlar gerçekleştiği söylenebilir. Pastanın TG termogramından kütle kaybının 150 °C civarında başlayıp 600 °C civarında %31’lik bir azalmayla sonlandığı görülmektedir. Polidimetilsiloksan, genleşmiş perlitin yapısındaki suyun uzaklaşmasını geciktirmiştir ve genleşmiş perlit dışındaki büyük kütle kaybının nedeni polidimetilsiloksanın tutuşma sıcaklığı olan 420 °C’den daha fazla ısıtılmış olmasıdır.

Kolemanit, üleksit ve perlit pastalarının üçü için kıyaslama yapacak olursak, polidimetilsiloksanın ısıya dayanıklı yapısı nedeniyle kolemanit dışındaki dolgu

maddelerinin bozunmasını geciktirdiğini söyleyebiliriz. En iyi termal kararlılık perlit pastasında elde edilmiştir.

#### **4.1.4 SEM Analizi**

SEM fotoğrafları maddelerin bazı yüzey özellikleri hakkında bize bilgi verir. Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit ve pastalarının SEM fotoğrafları Şekil 3.10-3.15’de verilmektedir. Katı partiküllerin tanecik boyutu 0-50 µm aralığındadır. Genleşmiş perlit, üleksit ve kolemanitin SEM görüntülerine bakıldığında kolemanitin ve üleksitin büyük taneciklerinin sayısının genişmiş perlitinkinden az olduğunu görebiliriz. Genleşmiş perlitin yaprak şeklindeki büyük tanecikleri yanında kolemanitin ve üleksitin küçük taneciklerin fazla olduğu kristal yapısı açıkça görülmektedir. Katı tozlar ile elde edilen pastaların SEM görüntülerinde tanecikleri görmek mümkün değildir. Şekillerden de görüldüğü gibi polidimetilsiloksan matrisi içinde kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit tanecikleri dağılmış ve taneciklerin yüzeyi polidimetilsiloksan ile kaplanmıştır.

#### **4.1.5 BET Analizi**

Anorganik dolgulardan kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin yüzey alanı ölçümleri Quantachrome Surface Area and Pore Size Analyzer NOVA 2200e cihazı ile 200 °C’de 24 saat degas işleminden sonra yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar genişmiş perlitin yüzey alanının 2,20 m<sup>2</sup>/g, kolemanitin 14,66 m<sup>2</sup>/g ve üleksitin ise 9,66 m<sup>2</sup>/g olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar en büyük yüzey alanına sahip dolgu materyalinin kolemanit ve bunu sırayla üleksit ve genişmiş perlitin izlediğini göstermektedir.

#### **4.1.6 TEM Analizi**

Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit dolgu maddelerinin TEM fotoğrafları Şekil 3.16’da verilmektedir. Görüntülerden kolemanitin taneciklerinin diğerlerine

göre oldukça küçük ve genişmiş perlitin taneciklerinin ise oldukça büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar BET analizi ile de oldukça uyumludur.

#### **4.1.7 AFM Analizi**

AFM fotoğrafları maddelerin bazı yüzey özellikleri hakkında bize bilgi verir. Kolemanit, üleksit, genişmiş perlit ve pastalarının AFM fotoğrafları Şekil 3.17-3.19'da verilmektedir. Katı partiküllerin tanecik boyutu 0-50 µm aralığındadır. Dolgu maddelerinin AFM şekillerinden tanecikler arası boşlukların mevcut olduğu ve polidimetilsiloksanla kaplanmış taneciklerin şeklinin ve boşluklu yapısının değişmediği görülmektedir. Şekillerden polidimetilsiloksanın tüm taneciklerin yüzeyini kaplamış olduğu ve pastaların katı oranı bakımından oldukça yoğun olduğu görülmektedir.

## **4.2 Pastaların Reolojik Karakterizasyonu**

### **4.2.1 Pastaların Akış Davranışı**

Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit pastalarının kesme hızına karşı kesme gerilimi grafikleri Şekil 3.20-3.89'da ve deneysel veriler Tablo 3.2-3.76'da verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, pastaların tamamının akış eğrileri lineer olmayan bir ilişki sergilemektedir, yani non-Newtonian davranış biçimi göstermektedir. Non-Newtonian bir akışkan, uygulanan kesme hızına karşılık viskozitenin değiştiği bir akışkandır (Steffe, 1996). Kesme hızına karşı kesme viskozitesi grafiklerinden de anlaşılacağı üzere pastanın kesme viskozitesi artan kesme hızıyla azalmıştır. Yani çalışılan kesme hızı aralığında tüm pastalar yalancı plastik davranış göstermektedir. Kesme incelmesi ve yalancı plastik terimleri benzer terimlerdir (Mezger ve arkadaşları, 2006). Tüm pastaların viskozitesinin kesme hızı arttıkça oldukça hızlı bir şekilde azaldığı ve belli bir kesme hızından sonra değişim miktarının oldukça azaldığı yani grafiğin eğriden lineer bir doğru şeklinde devam ettiği görülmektedir. Aslında çoğu kesme incelmesi akışkanında olduğu gibi polidimetilsiloksan pastaları da çok düşük ve çok yüksek kesme hızlarında Newtonian davranış sergilerler ve bu noktadaki viskoziteleri sıfır ve sonsuz viskozite olarak adlandırılır. Pastaların sıfır viskozite değerlerini çalışmada kullanılan kapiler reometre ile belirlemek mümkün değildir. Yalancı plastik

akışkanların viskozite eğrilerinin tamamını elde etmek için birden çok cihazla çalışılması gerekir. Çünkü tek bir cihaz küçük kesme hızları için gerekli hassasiyetle birlikte yüksek kesme hızları için gerekli dayanıklılığı bir arada içeremez. Kapiler reometreler yüksek kesme hızları için ideal iken, düşük kesme hızlarında yetersizdir. Bu nedenle pastaların sıfır viskoziteleri tespit edilememektedir. Buna rağmen sanayide de sıklıkla tercih edilen kapiler reometre ile pastaların reolojik özellikleri iyi bir şekilde karakterize edilebilir. Elde edilen grafiklerden pastaların kesme incelmesi davranış sergilediği açıkça görüldüğü için, bu çalışmada kullanılan kapiler reometrenin çalışmanın amacına yönelik doğru bir tercih olduğu düşünülmektedir.

#### **4.2.2 Pasta Akışını Etkileyen Parametreler**

Materyallerin viskoziteleri bir takım faktörlerden oldukça etkilenmektedir. Tane boyutu, konsantrasyon, sıcaklık, hız ve tanecik-tanecik etkileşimleri akışkanların reolojik özelliklerini etkileyen en önemli parametreler arasındadır. Bu çalışmada kullanılan dolgu maddelerinin tane boyutu, pastada bulunma yüzdeleri, sıcaklık, polidimetilsiloksanın molekül ağırlığı ve kullanılan kapiler kanalların çaplarının değişmesi ile bu değişimlerin viskozite ve kesme gerilimi gibi reolojik özelliklere nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmaktadır.

##### **4.2.2.1 Tane Boyutunun Etkisi**

Bir süspansiyonun reolojisini tane boyutu, tane boyutu dağılımı ve mevcut katıların hacimsel kesri dahil olmak üzere bir çok faktör etkiler. Bu çalışmada tane boyutu ile reolojik davranışı arasındaki ilişki incelenmiştir (Lokumcu ve Ak, 2005). Kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit pastalarının reolojisinde partikül boyutunun oynadığı rolü anlamak için, katı partiküller 0-50 µm, 50-100 µm ve 100-200 µm olmak üzere 3 tane boyutuna ayrılmıştır. Kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit pastalarının farklı tane boyutlarında hazırlanmış ve dört farklı kapiler kanal için 30 °C'de ölçülmüş kesme gerilimi-kesme hızı ve kesme viskozitesi-kesme hızı grafikleri sırasıyla Şekil 3.24-3.27, 3.36-3.39; Şekil 3.47-3.50, 3.59-3.61; Şekil 3.70-3.73, 3.82-3.85'de; elde edilen deneysel veriler ise sırasıyla Tablo 3.6-3.9, 3.19-3.21; Tablo 3.31-3.34, 3.44-3.46; Tablo 3.56-3.59, 3.69-3.72'de gösterilmektedir. Pasta

sistemleri, birçok karakteristik özelliği aynı olduğundan dolayı süspansiyon gibi davranır. Durgun bir dispersiyonda elektrostatik, stearik, Van der Waals veya bu kuvvetlerin kombinasyonu görülebilir. Bir dispersiyon durgun haldeyken tanecikler sıvı faz içerisinde rastgele dağılmış durumdadırlar. Eğer dispersiyon çok küçük kesme hızına maruz kalırsa rastgele dağılım devam ederken taneciklerin akış yönüne hareket etmesine olanak sağlayacak bir kooperatif hareket olması gerekir. Bu nedenle viskozite oldukça yüksektir. Dispersiyon yüksek kesme hızlarına maruz kaldığında ise tanecikler birbiri ardına dizilip tabakalar oluşturarak hareket edebilirler. Katı fazın tane boyutunu düşürürken süspansiyondaki taneciklerin kütesini sabit tutmak sistemde tanecik sayısında artışa yol açar. Genelde daha küçük taneciklerin sayısının fazla olması sonucu tanecik-tanecik etkileşimleri ve böylece akışa karşı direnç artar. Akışa karşı direncin artması demek, viskozitenin azalan tane boyutu ile artması demektir. Şüphesiz kesme hızı artarken bu etki daha az belirgin olmaktadır ve her tanecik-tanecik etkileşimleri yüksek kesme hızlarında nispeten zayıf ve bozulmuş durumdadır. Büyük taneciklerin eşit hacimdeki sayısı az ve birbirine uzaklıkları fazladır. Bu nedenle akış yönünde daha kolay hareket ederler. Bunun sonucu olarak da viskoziteleri ve kesme gerilimleri daha küçük olur. Buna rağmen çapı oldukça küçük bir kapiler kanaldan büyük taneciklerin akışı oldukça zordur ve daha fazla kuvvet gerektirir. Böylece kesme gerilimi küçük taneciklerinki kadar olmasa da, bir miktar artar (Barnes, 2000). Polidimetilsiloksanın iki farklı viskoziteye sahip (AK 1 000 000 ve AK 100 000) pastalarını karşılaştıracak olursak, kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin her üçü için de tane boyutu değiştikçe AK 1 000 000 pastalarındaki viskozite ve gerilim değişimlerinin AK 100 000 pastalarındaki değişimlerden oldukça az olduğu görülmektedir. Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının hemen hemen hepsi ve kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının kesme hızı  $200 \text{ s}^{-1}$ 'den sonraki kısımları tane boyutu değişimine karşı aynı davranışı sergilemektedirler. Partikül boyutu değişimi özellikle büyük partiküller için değişime neden olmazken, 0-50  $\mu\text{m}$  tane boyutunun viskozitesi ve gerilimi diğerlerinden bir miktar fazladır. Burada taneciklerin sayısının ve etkileşiminin fazla olması buna neden olmaktadır. Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarında ise bunun tersi bir durum söz konusudur. Bu pastalarda 0-50  $\mu\text{m}$  tane boyutu en küçük gerilime ve viskoziteye sahiptir. Bunun nedeni ise tanecikler arası etkileşim ile birlikte tanecik çapının akış davranışında etkili olmasıdır. Böylece tane

boyu ile birlikte viskozite de artmıştır. Viskozitesi düşük bir akışkan içerisindeki tanecikler, çapı küçük kanaldan akmaya zorlanırken daha fazla kuvvet gerekmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak en yüksek tane boyutu olan 100-200 µm tane boyutlu pastaların viskozite ölçümleri en küçük çaplı kapiler kanal olan 8mm/0,5mm için mümkün olmamıştır. Taneciklerin akmaya zorlanması sonucu basınç, cihazın ölçüm alabileceği sınırdan daha yüksek bir değere ulaştığı için sonuç alınamamıştır.

#### 4.2.2.2 Katı/Sıvı Oranının Etkisi

Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit pastalarının farklı katı-sıvı oranlarında dört farklı kapiler kanal için 30 °C'de ölçülmüş kesme gerilimi-kesme hızı ve kesme viskozitesi-kesme hızı grafikleri Şekil 3.20-3.23, 3.32-3.35; Şekil 3.43-3.46, 3.55-3.58; Şekil 3.65-3.68, 3.77-3.80'de; elde edilen deneysel veriler ise sırasıyla Tablo 3.2-3.5, 3.15-3.18; Tablo 3.27-3.30, 3.40-3.43; Tablo 3.52-3.55, 3.64-3.67'de gösterilmektedir. Kullanılan pastaların katı oranı dolgu materyalinin ve polidimetilsiloksanın özelliklerine göre %50-80 arasında seçilmiştir. Kapiler reometreler, seyreltilmiş polimer çözeltileri, süspansiyonlar ve emülsiyonlar gibi Non-Newtonian sistemlerin ölçümü için kullanılmaktadır. Bu nedenle 50:50 katı:sıvı oranının altındaki konsantrasyonlar kapiler reometrede ölçüm almak için uygun değildir. Pastaların akış eğrilerinin şekil ve büyüklükleri, katı konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Grafiklerden de görülebileceği gibi viskozite değişiminde keskin bir azalma sonrasında yüksek kesme hızlarında bir düzleşme olmuştur. Buna göre pastanın kesme incilmesi gösterdiği anlaşılabilir. Her bir kesme hızında pasta konsantrasyonunun artmasıyla viskozitede bir artış eğilimi görülmektedir. Bu, katı konsantrasyonunun artışının katı tanecik fazının hacimsel kesrinde bir artışla ve etkin akış fazının hacimsel kesrinde bir azalmayla sonuçlandığını belirtir (Lu ve Zhang, 2005). Hazırlanan tüm pastaların viskoziteleri ve kesme gerilimleri bütün kapiler kanallar için artan katı miktarıyla birlikte artmıştır. Katı miktarı yüksek olduğunda pasta, tanecikler arası sürtünme nedeniyle etkili bir biçimde bir kanal içerisinden akıtılamaz ve pasta akışını sağlamak için oldukça yüksek kuvvetler uygulamamız gerekir. Deneysel sonuçlara bakıldığında tane boyutu ve sıcaklık etkilerini incelemek amacıyla seçilmiş olan katı oranları ile yüzdeleri daha fazla olan pastaların çoğundan homojen akış ve iyi deneysel veriler elde edilmesine rağmen, pastaların işlenmesi



sırasında daha az kuvvet harcanmasının avantajlı olmasından dolayı katı yüzdesi daha düşük olan pasta tercih edilmiştir.

#### 4.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi

Kolemanit, üleksit ve genleşmiş perlit pastalarının dört farklı kapiler kanal için farklı sıcaklıklarda ölçülmüş kesme gerilimi-kesme hızı ve kesme viskozitesi-kesme hızı grafikleri Şekil 3.28-3.31, 3.39-3.42; Şekil 3.51-3.54, 3.62-3.65; Şekil 3.74-3.77, 3.86-3.89'de; elde edilen deneysel veriler ise sırasıyla Tablo 3.10-3.13, 3.23-3.26; Tablo 3.35-3.38, 3.47-3.50; Tablo 3.60-3.63, 3.73-3.76'de gösterilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, yüksek sıcaklıkta viskozite azalmıştır. Yüksek sıcaklıkta kesme gerilimi (ve dolayısıyla kesme viskozitesi) daha düşük sıcaklıklarda elde edilenden daha düşüktür. Akışa karşı bir direnç olarak tanımlanan viskozite, çözeltiyi oluşturan moleküller arası bağlanmadan ya da çözünen ile çözücü arasındaki ilişkiden etkilenir. Bu her iki etki de çözelti konsantrasyonu ya da sıcaklığa bağlıdır. Genelde tüm eğriler orta ve yüksek kesme hızlarında lineer bir bölge, düşük kesme hızlarında ise lineer olmayan bir bölge içermek suretiyle pseudoplastik tipi davranış sergilemektedir. Sıcaklığı yükseltmek için dışarıdan bir enerji temin edildiğinde bu durum moleküllerin enerjisini artırır. Sıcaklıktaki artışla oluşan termal genişmeden dolayı, viskozitedeki azalma moleküller arası mesafenin artmasına bağlanabilir. Bundan başka sıcaklık yükseldikçe granüller daha da yumuşar ve onların maruz kaldığı gerilim, akış ve deformasyon için oldukça fazladır (Constenla ve arkadaşları, 1989).

#### 4.3 Reolojik Modeller

Sıvıların akış özellikleri ile ilgili bilgi elde etmek için genelde kesme hızı ( $\dot{\gamma}$ ), kesme gerilimine ( $\tau$ ) karşı grafik edilir. *Akış modeli*, kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki reolojik verileri tanımlamak için kullanılan matematiksel bir eşitlik olarak değerlendirilebilir. Bu değerlendirmelerde sıcaklık, tane boyutu, katı/sıvı oranı, kapiler kanalın boyutları gibi değişkenlerin, model parametrelerinin büyüklükleri üzerine etkilerini ölçmek çok önemlidir (Steffe, 1996). Polidimetilsiloksan pastalarının tümü kesme incilmesi davranışı gösteren non-

Newtonian materyallerdir. Viskoziteleri artan kesme hızıyla birlikte oldukça hızlı bir şekilde azalmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi kesme hızı değeri  $100 \text{ s}^{-1}$ 'den sonra viskozitelerde çok büyük değişimler görülememektedir. Deneysel veriler Power-Law, Bingham, Casson ve Herschel-Bulkley modellerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar model parametreleri tablolarına eklenmiştir (Rao ve arkadaşları, 1984; Kulkarni ve arkadaşları, 2000; Doğan ve arkadaşları, 2003; Steffe, 1996).

Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.1-4.3'de verilmektedir. Tablolara baktığımızda deneysel sonuçların Power-Law modeline diğerlerinden daha iyi uyum gösterdiği regresyon katsayılarından anlaşılmaktadır. Deneysel verileri tüm kapiler kanalar için iyi sonuç vermiş olan 75:25 katı:sıvı oranlı pasta ile tane boyutu ve sıcaklık etkileri çalışılmıştır. Tablo 4.1'den de görüldüğü gibi katı oranı arttıkça Power-Law indeksi  $n$ 'in değeri azalmakta, kıvamlılığın bir göstergesi olan  $k$  değerleri de artmaktadır. Yani katı oranının artması pastanın non-Newtonian karakterinde bir artışa neden olmuştur. Tablo 4.2'de tane boyutu değişimi verilmektedir. Tabloya göre  $n$  değeri çok fazla değişmemekle birlikte tane boyunun artmasıyla kıvamlılıkta da oldukça az bir azalma görülmektedir. Tane boyutu değişiminin bu pasta için çok fazla önemli olmadığı açıktır. Tablo 4.3'de verilmiş olan sıcaklık değişimi verilerine göre sıcaklığın artması  $n$  değerini arttırırken kıvamlılıkta oldukça fazla bir azalmaya sebep olmuştur. Sıcaklık artışı pastanın non-Newtonian karakterini azaltmış, Newtonian akış davranışına sahip olan polidimetilsiloksanın pastanın akışına etkisini arttırırken taneciklerin etkisini azaltmıştır. Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.4-4.6'da verilmektedir. Bu kolemanit pastası da diğer pasta gibi Power-Law modeline diğerlerinden daha iyi uymuştur. Bu modele göre en iyi deneysel sonuçlar tüm kapiler kanalar için 77,5:22,5 katı:sıvı oranına sahip pasta için elde edilmiştir. Tablo 4.4'de verilen katı oranı etkisi parametrelerine göre, oran arttıkça  $n$  değeri azalmakta ve kıvamlılık artmaktadır. Tablo 4.5'e göre tane boyutunun artması ile  $n$  değeri biraz azalıp sonra yeniden artmıştır. Kıvamlılık da buna bağlı olarak önce artmış sonra azalmıştır. Elde edilen bu sonucun grafik yorumlarında elde edilenle birebir aynı olduğu, 50-100  $\mu\text{m}$  tane boyutunda tanecikler uzaklaştığı halde etkileşimin azalmamış, buna da kapiler kanaldan geçmesi için gereken fazladan kuvvetin eklenmesi ile non-Newtonian özeliğın arttığı

görülmektedir. Sıcaklığın artışının etkisini veren Tablo 4.6'ya baktığımızda  $n$  değerinde önemli bir değişme olmaması fakat kıvamlilikta bir miktar azalma olmasının nedeninin sıcaklığın non-Newtonian karaktere etki etmediği, polidimetilsiloksanın viskozitesi azalsa da, partiküllerin pastanın akışında etkisini koruduğunu söyleyebiliriz.

Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.7-4.9'da verilmektedir. Tablo 4.7'de verilen katı:sıvı oranlarından 65:35 oranlı pasta diğer deneyler için seçilmiştir. Deneysel sonuçların tamamı kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasıyla benzerdir. Katı oranı arttıkça non-Newtonian karakter ve kıvamlilik artarken, tane boyutunun değişiminin reolojik özelliklere etkisi ihmal edilecek düzeyde görülmektedir. Sıcaklığın etkisini gösteren Tablo 4.9'a baktığımız da ise kolemanitte olduğu gibi sıcaklık artışı kıvamliliğin azalmasına sebep olurken Newtonian karakteri arttırmıştır. Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.10-4.12'de verilmektedir. Bu pasta ise kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasıyla aynı reolojik davranış sergilemiştir. 77,5:22,5 katı:sıvı oranına sahip pasta, tane boyutu ve sıcaklığın etkisini araştırmak için seçilmiştir. Katı oranının artışının kıvamliliği artırırken Newtonian karakteri azalttığı Tablo 4.10'da görülmektedir. Tablo 4.11'e göre ise kıvamlilik önce artmış sonra azalmış, bununla birlikte  $n$  değeri ise önce azalmış ve sonra artmıştır. Bu durum da kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasıyla aynı nedenden dolayıdır. Sıcaklık değişimi de Tablo 4.12'de verilmektedir. Tabloya göre sıcaklığın artışı reolojik özellikleri çok fazla değiştirmemiştir. Aslında çalışmada kullanılan tüm pastaların gerçekte çok küçük de olsa akmaya başlaması için gerekli bir gerilim değeri vardır. Kolemanit ve üleksit pastalarına ait deneysel sonuçlar bu gerilimin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu göstermektedir.

Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.13-4.15'de verilmektedir. Deneysel veriler genleşmiş perlit pastalarında Herschel-Bulkley modeline diğer modellerden daha iyi uymuştur. Tablo 4.13'e göre katı oranındaki artış hem kıvamliliği hem de başlangıç gerilimi değerlerini artırırken  $n$  değerini çok fazla değiştirmemiştir. Pastaların sahip olduğu başlangıç gerilimi değerleri yaklaşık 2 kPa civarındadır. Tablo 4.14'e

baktığımızda tane boyutundaki artışın n değeri ve başlangıç gerilimini arttırdığı, Tablo 4.15'den de sıcaklık artışının kıvamlılığı azalttığı görülmektedir. Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının deneysel verilerinin model parametreleri Tablo 4.16-4.18'de verilmektedir. Diğer pastada olduğu gibi Herschel-Bulkley modeli en iyi regresyonlara sahiptir. 67,5:32,5 katı:sıvı oranına sahip pasta parametrelerin incelenmesi için seçilmiştir. Katı oranının artışı kıvamlılığı ve başlangıç gerilimini arttırmakta ve n değerini etkilememektedir. Tablo 4.17'den tane boyutunun kıvamlılığı ve başlangıç gerilimini arttırdığı, Tablo 4.18'den de sıcaklığın azalttığı görülmektedir.

**Tablo 4.1:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
				Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	70:30	32/2	0,6428	8,87	0,9810	0,9523	0,9259	0,9601
			32/1	0,6871	5,37	0,9931	0,9610	0,9208	0,9731
			16/1	0,6545	7,58	0,9931	0,9710	0,9450	0,9782
			8/0,5	0,9147	1,52	0,9920	0,9850	0,9777	0,9863
0-50	30	75:25	32/2	0,5425	17,77	0,9935	0,9615	0,9235	0,9862
			32/1	0,6066	11,25	0,9932	0,9706	0,9496	0,9798
			16/1	0,5425	15,13	0,9940	0,9669	0,9394	0,9876
			8/0,5	0,5296	10,19	0,9991	0,9848	0,9773	0,9989
0-50	30	80:20	32/2	0,3445	46,52	0,9656	0,9066	0,8350	0,9353
			32/1	0,3910	31,88	0,9542	0,8340	0,7039	0,9474
			16/1	0,4214	31,88	0,9756	0,9164	0,8488	0,9412
			8/0,5	0,6241	12,58	0,9718	0,9041	0,8187	0,9596

**Tablo 4.2:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
				Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	75:25	32/2	0,5425	17,77	0,9935	0,9615	0,9235	0,9862
			32/1	0,6066	11,25	0,9932	0,9706	0,9496	0,9798
			16/1	0,5425	15,13	0,9940	0,9669	0,9394	0,9876
			8/0,5	0,5296	10,19	0,9991	0,9848	0,9773	0,9989
50-100	30	75:25	32/2	0,5278	16,82	0,9876	0,9491	0,8295	0,9792
			32/1	0,5277	10,28	0,9683	0,8714	0,7393	0,9611
			16/1	0,5991	11,12	0,9957	0,9704	0,9363	0,9898
			8/0,5	0,5426	7,66	0,9982	0,9926	0,9894	0,9996
100-200	30	75:25	32/2	0,5292	18,77	0,9843	0,9411	0,8924	0,9734
			32/1	0,5771	11,03	0,9812	0,9139	0,8316	0,9736
			16/1	0,6104	11,73	0,9894	0,9569	0,9191	0,9716

**Tablo 4.3:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	75:25	32/2	0,5425	17,77	0,9935	0,9615	0,9235	0,9862
			32/1	0,6066	11,25	0,9932	0,9706	0,9496	0,9798
			16/1	0,5425	15,13	0,9940	0,9669	0,9394	0,9876
			8/0,5	0,5296	10,19	0,9991	0,9848	0,9773	0,9989
0-50	50	75:25	32/2	0,5723	13,43	0,9956	0,9717	0,9428	0,9911
			32/1	0,6203	8,17	0,9953	0,9656	0,9245	0,9895
			16/1	0,6213	9,23	0,9967	0,9759	0,8999	0,9936
			8/0,5	0,5850	5,23	0,9917	0,9993	0,9924	0,9972
0-50	75	75:25	32/2	0,5805	10,37	0,9983	0,9810	0,9581	0,9921
			32/1	0,5844	7,50	0,9986	0,9764	0,9398	0,9960
			16/1	0,6074	6,92	0,9993	0,9920	0,9754	0,9932
			8/0,5	0,5573	5,70	0,9966	0,9961	0,9789	0,9997

**Tablo 4.4:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	75:25	32/2	0,5992	4,59	0,9897	0,9066	0,8401	0,9799
			32/1	0,6529	2,13	0,9923	0,9416	0,9081	0,9890
			16/1	0,6237	2,93	0,9980	0,9532	0,9009	0,9970
			8/0,5	0,5410	2,78	0,9708	0,9501	0,9513	0,9440
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,5348	8,32	0,9902	0,8883	0,7923	0,9791
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9996
			16/1	0,5705	5,30	0,9977	0,9279	0,8542	0,9885
			8/0,5	0,5814	2,34	0,9973	0,9893	0,9728	0,9859
0-50	30	80:20	32/2	0,4706	14,57	0,9871	0,8800	0,7793	0,9825
			32/1	0,5612	9,19	0,9960	0,9969	0,9857	0,9963
			16/1	0,4785	12,18	0,9915	0,8942	0,7961	0,9855
			8/0,5	0,4621	7,76	0,9958	0,9728	0,9364	0,9976



**Tablo 4.5:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,5348	8,32	0,9902	0,8883	0,7923	0,9791
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9996
			16/1	0,5705	5,30	0,9977	0,9279	0,8542	0,9885
			8/0,5	0,5814	2,34	0,9973	0,9893	0,9728	0,9859
50-100	30	77,5:22,5	32/2	0,3640	20,29	0,9720	0,8179	0,7064	0,9618
			32/1	0,6071	5,20	0,9905	0,9963	0,9837	0,9982
			16/1	0,4374	11,05	0,9911	0,8850	0,7929	0,9793
100-200	30	77,5:22,5	32/2	0,5588	7,50	0,9090	0,7059	0,5731	0,8870
			32/1	0,6688	3,07	0,9959	0,9966	0,9865	0,9993
			16/1	0,6374	3,83	0,9600	0,8547	0,7708	0,9544

**Tablo 4.6:** Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,5348	8,32	0,9902	0,8883	0,7923	0,9791
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9996
			16/1	0,5705	5,30	0,9977	0,9279	0,8542	0,9885
			8/0,5	0,5814	2,34	0,9973	0,9893	0,9728	0,9859
0-50	50	77,5:22,5	32/2	0,6749	3,18	0,9615	0,9073	0,8456	0,9603
			32/1	0,6131	3,07	0,9947	0,9992	0,9943	0,9988
			16/1	0,5710	4,37	0,9978	0,9500	0,8936	0,9975
			8/0,5	0,5679	2,06	0,9978	0,9905	0,9743	0,9987
0-50	75	77,5:22,5	32/2	0,5794	4,04	0,9959	0,9563	0,9027	0,9936
			32/1	0,5528	5,01	0,9991	0,9895	0,9691	0,9872
			16/1	0,5740	3,70	0,9975	0,9594	0,9162	0,9962
			8/0,5	0,4933	2,93	0,9954	0,9817	0,9634	0,9960

**Tablo 4.7:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	65:35	32/2	0,5647	10,01	0,9832	0,9464	0,9039	0,9683
			32/1	0,7187	4,00	0,9954	0,9795	0,9590	0,9771
			16/1	0,5985	7,79	0,9922	0,9602	0,9209	0,9867
			8/0,5	0,7402	2,44	0,9996	0,9963	0,9898	0,9944
0-50	30	70:30	32/2	0,5041	15,66	0,9793	0,9282	0,8689	0,9676
			32/1	0,7073	4,97	0,9950	0,9739	0,9472	0,9405
			16/1	0,5761	10,33	0,9831	0,9374	0,8825	0,9663
			8/0,5	0,7237	3,91	0,9977	0,9873	0,9720	0,9927
0-50	30	75:25	32/2	0,4060	27,72	0,9720	0,8960	0,8085	0,9651
			32/1	0,4652	18,43	0,9807	0,9166	0,8384	0,9731
			16/1	0,4688	19,14	0,9678	0,8913	0,8046	0,9573
			8/0,5	0,5620	10,01	0,9928	0,9747	0,9402	0,9909

**Tablo 4.8:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Kati:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	65:35	32/2	0,5647	10,01	0,9832	0,9464	0,9039	0,9683
			32/1	0,7187	4,00	0,9954	0,9795	0,9590	0,9771
			16/1	0,5985	7,79	0,9922	0,9602	0,9209	0,9867
			8/0,5	0,7402	2,44	0,9996	0,9963	0,9898	0,9944
50-100	30	65:35	32/2	0,6080	8,03	0,9751	0,9369	0,8934	0,9498
			32/1	0,6934	4,08	0,9971	0,9802	0,9582	0,9653
			16/1	0,6634	5,30	0,9913	0,9634	0,9293	0,9644
			8/0,5	0,7679	1,42	0,9982	0,9995	0,9979	0,9911
100-200	30	65:35	32/2	0,5965	8,54	0,9783	0,9414	0,8970	0,9552
			32/1	0,7442	3,42	0,9957	0,9794	0,9591	0,8440
			16/1	0,6687	5,04	0,9881	0,9574	0,9264	0,8474

**Tablo 4.9:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
				Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	65:35	32/2	0,5647	10,01	0,9832	0,9464	0,9039	0,9683
			32/1	0,7187	4,00	0,9954	0,9795	0,9590	0,9771
			16/1	0,5985	7,79	0,9922	0,9602	0,9209	0,9867
			8/0,5	0,7402	2,44	0,9996	0,9963	0,9898	0,9944
0-50	50	65:35	32/2	0,5932	7,90	0,9902	0,9717	0,9244	0,9756
			32/1	0,7510	2,95	0,9955	0,9759	0,9717	0,9101
			16/1	0,7152	3,97	0,9907	0,9480	0,9583	
			8/0,5	0,9291	1,84	0,9967	0,9993	0,9997	0,9649
0-50	75	65:35	32/2	0,6510	5,21	0,9930	0,9682	0,9393	0,9675
			32/1	0,7552	2,42	0,9974	0,9909	0,9808	0,9599
			16/1	0,6733	4,27	0,9962	0,9777	0,9543	0,9581
			8/0,5	0,8689	1,29	0,9937	0,9981	0,9977	0,9832

**Tablo 4.10:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	70:30	32/2	0,7765	2,62	0,9883	0,9608	0,9346	0,9709
			32/1	0,7798	1,20	0,8580	0,9531	0,9810	0,8399
			16/1	0,6552	2,42	0,9169	0,9676	0,9819	0,9202
			8/0,5	0,5061	1,95	0,9515	0,9576	0,9560	0,9581
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,6532	7,27	0,9966	0,9829	0,9636	0,9836
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9994
			16/1	0,5899	2,95	0,9968	0,9919	0,9830	0,9953
			8/0,5	0,6781	3,96	0,9955	0,9993	0,9952	0,9831
0-50	30	80:20	32/2	0,5797	12,59	0,9987	0,9791	0,9479	0,9950
			32/1	0,5612	9,19	0,9960	0,9969	0,9857	0,9992
			16/1	0,5624	10,85	0,9993	0,9857	0,9618	0,9971
			8/0,5	0,5446	6,92	0,9917	0,9987	0,9921	0,9966

**Tablo 4.11:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
				n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,6532	7,27	0,9966	0,9829	0,9636	0,9836
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9994
			16/1	0,5899	2,95	0,9968	0,9919	0,9830	0,9953
			8/0,5	0,6781	3,96	0,9955	0,9993	0,9952	0,9831
50-100	30	77,5:22,5	32/2	0,5550	11,49	0,9985	0,9791	0,9466	0,9953
			32/1	0,6071	5,20	0,9905	0,9963	0,9838	0,9965
			16/1	0,5682	7,59	0,9978	0,9803	0,9489	0,9913
100-200	30	77,5:22,5	32/2	0,6761	5,67	0,9976	0,9834	0,9632	0,9782
			32/1	0,6688	3,07	0,9959	0,9966	0,9865	0,9924
			16/1	0,6750	3,83	0,9981	0,9904	0,9739	0,9260

**Tablo 4.12:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller					
				Power-Law			Casson	Bingham	Herschel-Bulkley
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	n	k (kPa s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0-50	30	77,5:22,5	32/2	0,6532	7,27	0,9966	0,9829	0,9636	0,9836
			32/1	0,6053	5,06	0,9927	0,9990	0,9913	0,9994
			16/1	0,5899	2,95	0,9968	0,9919	0,9830	0,9953
			8/0,5	0,6781	3,96	0,9955	0,9993	0,9952	0,9831
0-50	50	77,5:22,5	32/2	0,6517	5,54	0,9990	0,9943	0,9837	0,9976
			32/1	0,6131	3,07	0,9947	0,9992	0,9943	0,9786
			16/1	0,6757	3,68	0,9984	0,9907	0,9775	0,9172
			8/0,5	0,4886	3,43	0,9974	0,9937	0,9817	0,9948
0-50	75	77,5:22,5	32/2	0,6601	5,03	0,9997	0,9876	0,9769	0,9976
			32/1	0,5528	5,01	0,9991	0,9895	0,9691	0,9963
			16/1	0,5737	5,21	0,9969	0,9900	0,9690	0,9983
			8/0,5	0,4984	4,54	0,9974	0,9918	0,9731	0,9953



**Tablo 4.13:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law	Casson	Bingham	Herschel-Bulkley			
				$R^2$	$R^2$	$R^2$	$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	$R^2$
0-50	30	50:50	32/2	0,912	0,763	0,633	1,8	75	0,105	0,971
			32/1	0,885	0,695	0,553	2	80	0,088	0,964
			16/1	0,886	0,691	0,543	2,0	80	0,085	0,963
			8/0,5	0,889	0,711	0,573	3,0	90	0,06	0,977
0-50	30	55:45	32/2	0,896	0,747	0,638	2,0	70	0,140	0,970
			32/1	0,939	0,801	0,689	2,8	65	0,145	0,983
			16/1	0,920	0,761	0,637	2,8	68	0,131	0,976
			8/0,5	0,902	0,728	0,595	3,5	75	0,109	0,971
0-50	30	60:40	32/2	0,907	0,750	0,627	2,5	100	0,095	0,970
			32/1	0,923	0,776	0,662	2,8	86	0,115	0,976
			16/1	0,909	0,735	0,601	3,0	93	0,095	0,970
			8/0,5	0,918	0,742	0,600	3,5	80	0,108	0,972
0-50	30	65:35	32/2	0,993	0,949	0,867	3,1	100	0,113	0,996
			32/1	0,994	0,969	0,899	3,5	84	0,142	0,997
			16/1	0,991	0,922	0,827	3,1	89	0,123	0,996
			8/0,5	0,929	0,792	0,666	4,5	91	0,111	0,970

**Tablo 4.14:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu m$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law	Casson	Bingham	Herschel-Bulkley			
				R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
0-50	30	55:45	32/2	0,896	0,747	0,638	1,8	75	0,105	0,971
			32/1	0,939	0,801	0,689	2,8	80	0,088	0,964
			16/1	0,920	0,761	0,637	2,9	80	0,085	0,963
			8/0,5	0,902	0,728	0,595	3,1	90	0,06	0,977
50-100	30	55:45	32/2	0,903	0,730	0,601	3,5	27	0,273	0,943
			32/1	0,898	0,730	0,607	3,7	58	0,134	0,971
			16/1	0,887	0,709	0,578	3,8	62	0,124	0,95
			8/0,5	0,896	0,712	0,571	4,7	60	0,120	0,965
100-200	30	55:45	32/2	0,896	0,719	0,587	3,2	70	0,116	0,968
			32/1	0,893	0,718	0,590	3,3	65	0,118	0,968
			16/1	0,891	0,891	0,572	3,3	70	0,103	0,967
			8/0,5	0,884	0,706	0,573	4,5	60	0,115	0,967

**Tablo 4.15:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law	Casson	Bingham	Herschel-Bulkley			
				$R^2$	$R^2$	$R^2$	$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	$R^2$
0-50	30	55:45	32/2	0,896	0,747	0,638	1,8	75	0,105	0,971
			32/1	0,939	0,801	0,689	2,8	80	0,088	0,964
			16/1	0,920	0,761	0,637	2,9	80	0,085	0,963
			8/0,5	0,902	0,728	0,595	3,1	90	0,06	0,977
0-50	50	55:45	32/2	0,902	0,733	0,606	2,7	70	0,130	0,971
			32/1	0,746	0,904	0,630	2,9	60	0,149	0,974
			16/1	0,906	0,740	0,616	3,0	60	0,143	0,972
			8/0,5	0,909	0,747	0,622	3,8	60	0,135	0,976
0-50	75	55:45	32/2	0,904	0,792	0,704	2,3	50	0,173	0,972
			32/1	0,927	0,808	0,706	2,4	50	0,170	0,977
			16/1	0,933	0,813	0,706	2,4	50	0,164	0,978
			8/0,5	0,931	0,793	0,682	4,0	40	0,187	0,983

**Tablo 4.16:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law	Casson	Bingham	Herschel-Bulkley			
				R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
0-50	30	65:35	32/2	0,955	0,837	0,743	3,1	55	0,224	0,988
			32/1	0,960	0,853	0,768	3,5	50	0,233	0,991
			16/2	0,939	0,813	0,717	3,1	60	0,193	0,987
			8/0,5	0,939	0,825	0,740	4,5	35	0,253	0,985
0-50	30	67,5:32,5	32/2	0,969	0,867	0,776	3,3	55	0,238	0,991
			32/1	0,971	0,874	0,794	3,6	48	0,261	0,992
			16/2	0,964	0,853	0,760	3,3	56	0,224	0,990
			8/0,5	0,947	0,843	0,765	4,7	36	0,267	0,989
0-50	30	70:30	32/2	0,999	0,967	0,893	3,7	80	0,209	0,999
			32/1	0,996	0,954	0,892	4,1	70	0,228	0,998
			16/2	0,996	0,939	0,861	3,8	75	0,204	0,998
			8/0,5	0,962	0,884	0,815	4,9	50	0,245	0,990

**Tablo 4.17:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastalarının reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law	Casson	Bingham	Herschel-Bulkley			
				$R^2$	$R^2$	$R^2$	$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	$R^2$
0-50	30	67,5:32,5	32/2	0,969	0,867	0,776	3,1	55	0,238	0,991
			32/1	0,971	0,874	0,794	3,5	48	0,261	0,992
			16/2	0,964	0,853	0,760	3,1	56	0,224	0,990
			8/0,5	0,947	0,843	0,765	4,5	36	0,267	0,989
50-100	30	67,5:32,5	32/2	0,992	0,939	0,847	3,4	100	0,113	0,996
			32/1	0,994	0,969	0,899	3,6	84	0,142	0,997
			16/2	0,991	0,922	0,827	3,5	89	0,123	0,996
			8/0,5	0,929	0,792	0,666	4,7	91	0,111	0,970

**Tablo 4.18:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller						
Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanallar [L (mm)/D (mm)]	Power-Law $R^2$	Casson $R^2$	Bingham $R^2$	Herschel-Bulkley			
							$\tau_0$ (kPa)	K (kPas <sup>n</sup> )	n	$R^2$
0-50	30	67,5:32,5	32/2	0,969	0,867	0,776	3,1	55	0,238	0,991
			32/1	0,971	0,874	0,794	3,5	48	0,261	0,992
			16/1	0,964	0,853	0,760	3,1	56	0,224	0,990
			8/0,5	0,947	0,843	0,765	4,5	36	0,267	0,989
0-50	50	67,5:32,5	32/2	0,954	0,839	0,749	2,6	50	0,240	0,987
			32/1	0,959	0,862	0,788	3,3	40	0,267	0,993
			16/1	0,957	0,851	0,767	2,9	45	0,241	0,992
			8/0,5	0,974	0,900	0,836	4,2	20	0,335	0,994

Tablo 4.19’da kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit dolgu maddeleriyle hazırlanmış farklı özelliklerdeki polidimetilsiloksan pastalarının en iyi akış özelliklerinin elde edildiği deneysel koşullar verilmektedir.

**Tablo 4.19:** Çalışmada incelenen pastalardan elde edilen optimum koşullar

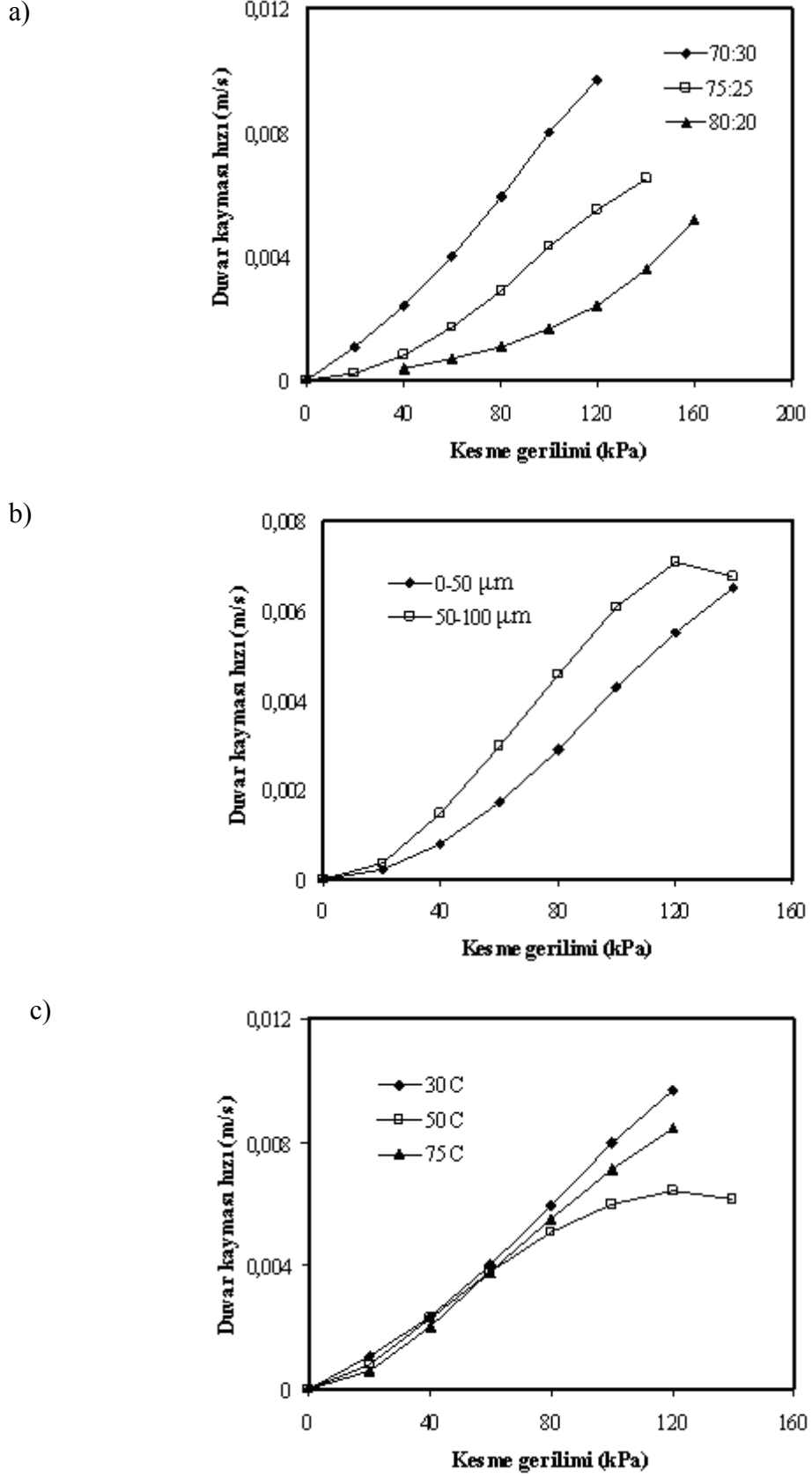
Pastalar	Optimum Katı:sıvı oranı (g:g)	Optimum tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Optimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)	75:25	0-50	30
Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 100 000)	77,5:22,5	0-50	30
Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)	65:35	0-50	30
Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000)	77,5:22,5	0-50	30
Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000)	55:45	0-50	30
Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000)	67,5:32,5	0-50	30

#### 4.4 Duvar Kayması Analizi

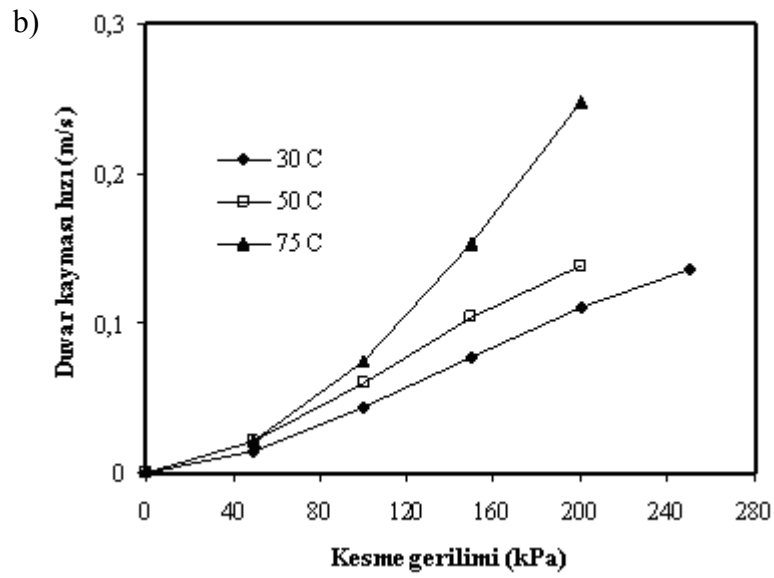
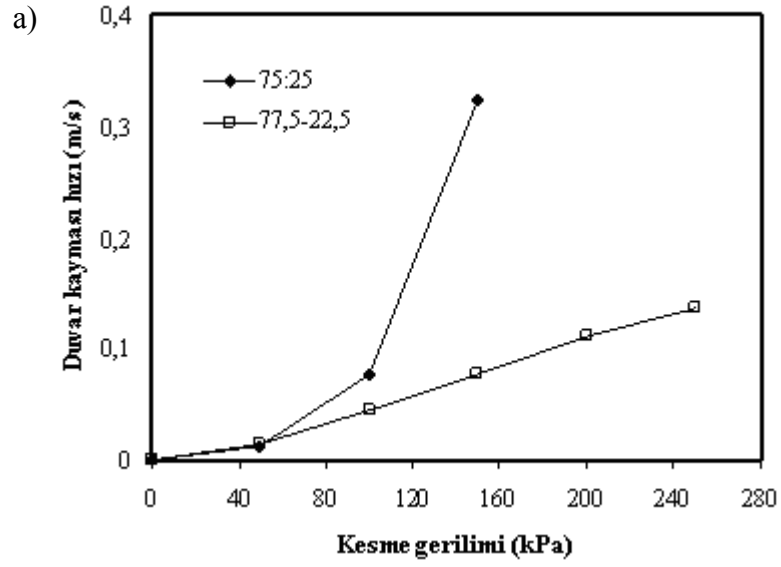
Aynı L/D oranlı farklı kapiler kanallar kullanarak elde edilen eğrilerin birbirleri ile genelde üst üste çakışmaması akış sırasında faz ayrımının veya duvar kayması olayının meydana gelebileceğini gösterir. Kalyon ve arkadaşları (1993) paralel tabakalı kapiler reometre kullanarak oldukça konsantre pasta sistemleri için duvar kayması olayının varlığını gösterdiler ve olayı karakterize etmek için Mooney yöntemini kullandılar. Duvar kayma analizi için Mooney denklemi daha önce Eşitlik [1.17] ile verilmişti. Mooney yöntemine göre duvar kayma analizinin belirlenebilmesi için kesme gerilimine karşı kesme hızı verilerinin en az aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanalla ölçülmesi gereklidir. Bu veriler kullanarak farklı kesme gerilimlerine karşılık gelen kesme hızı değerleri belirlenir. Belli kesme gerilimlerinde her bir kapiler kanalın çap ve/veya yarıçapına karşılık gelen kesme hızı grafikleri çizilerek, çizilen doğrunun eğiminden duvar kayma hızı belirlenir (Yilmazer ve Kalyon, 1989). Bu çalışmada Mooney yöntemi Reometrenin software programı içinde bulunduğu için Mooney eğrileri verilmeden doğrudan duvar kayma hızı, kesme gerilimine karşı grafik edilmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm pastalar için kapiler reometre ile aynı uzunluk/çap oranına sahip üç farklı kanal kullanılarak duvar kayması analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1-4.6'da verilmiştir. Grafiklere bakıldığında tüm pastalar için katı oranının artması duvar kaymasını azaltmaktadır. Pastalarda duvar kaymasına kapiler kanalla pasta arasında oluşan ince polidimetilsiloksan tabakası neden olmaktadır. Katı oranının artması duvarda oluşan bu tabakanın kalınlığını azaltmış ve kayma hızı da buna bağlı olarak azalmıştır. Yine tüm deneysel sonuçlar bütün pastalar için tane boyutu artışıyla duvar kayması hızının arttığını göstermektedir. Partikül boyutunun artışı birim hacimdeki tanecik sayısını azaltacak ve tanecik etkileşimleri azalacaktır. Bunun sonucunda sıvı fazın duvar yüzeyinde taneciklerden ayrı hareketi kolaylaşır ve duvar kayması hızı artar. Sıcaklığın arttırılması ise çoğunlukla duvar kayma hızında artışa neden olmuştur. Sıcaklık artınca polidimetilsiloksanın viskozitesi azalır ve yapıdaki boşluklar artar. Bu durumda taneciklerin birbirinden uzaklaşması sonucu partiküller arası etkileşim azalır ve duvar kayması hızının artmasına neden olur.

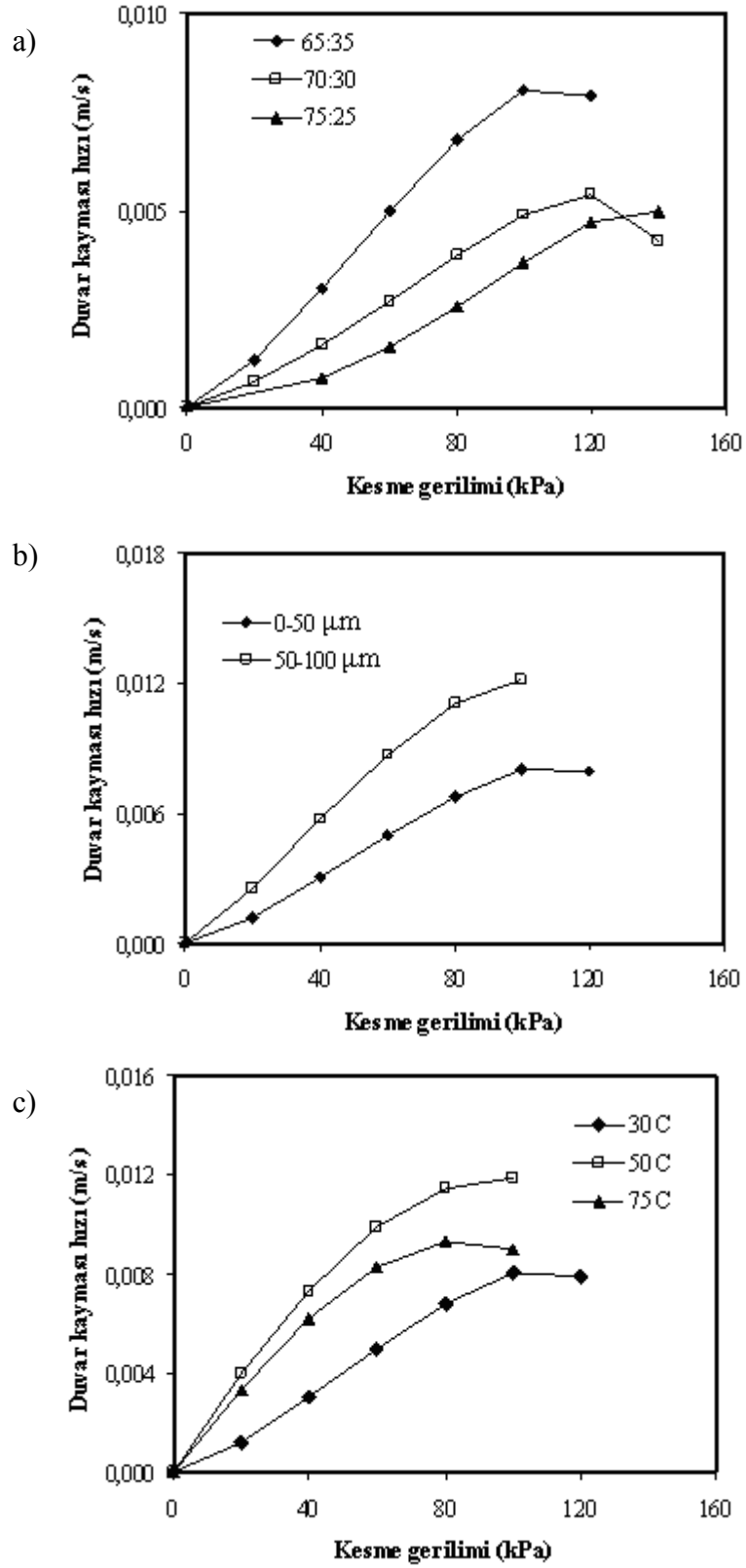




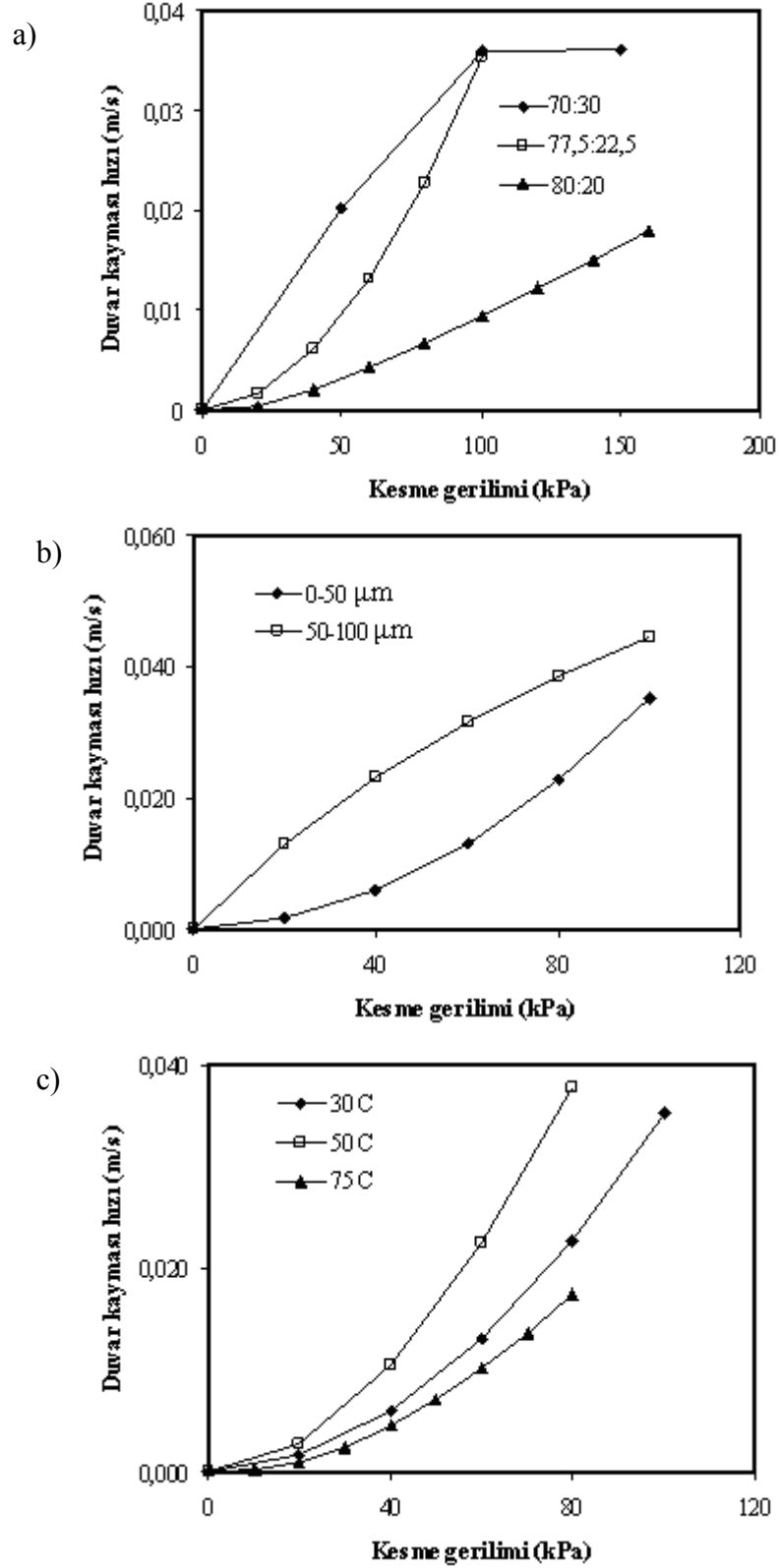
Şekil 4.1: Kolemanit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı:sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri



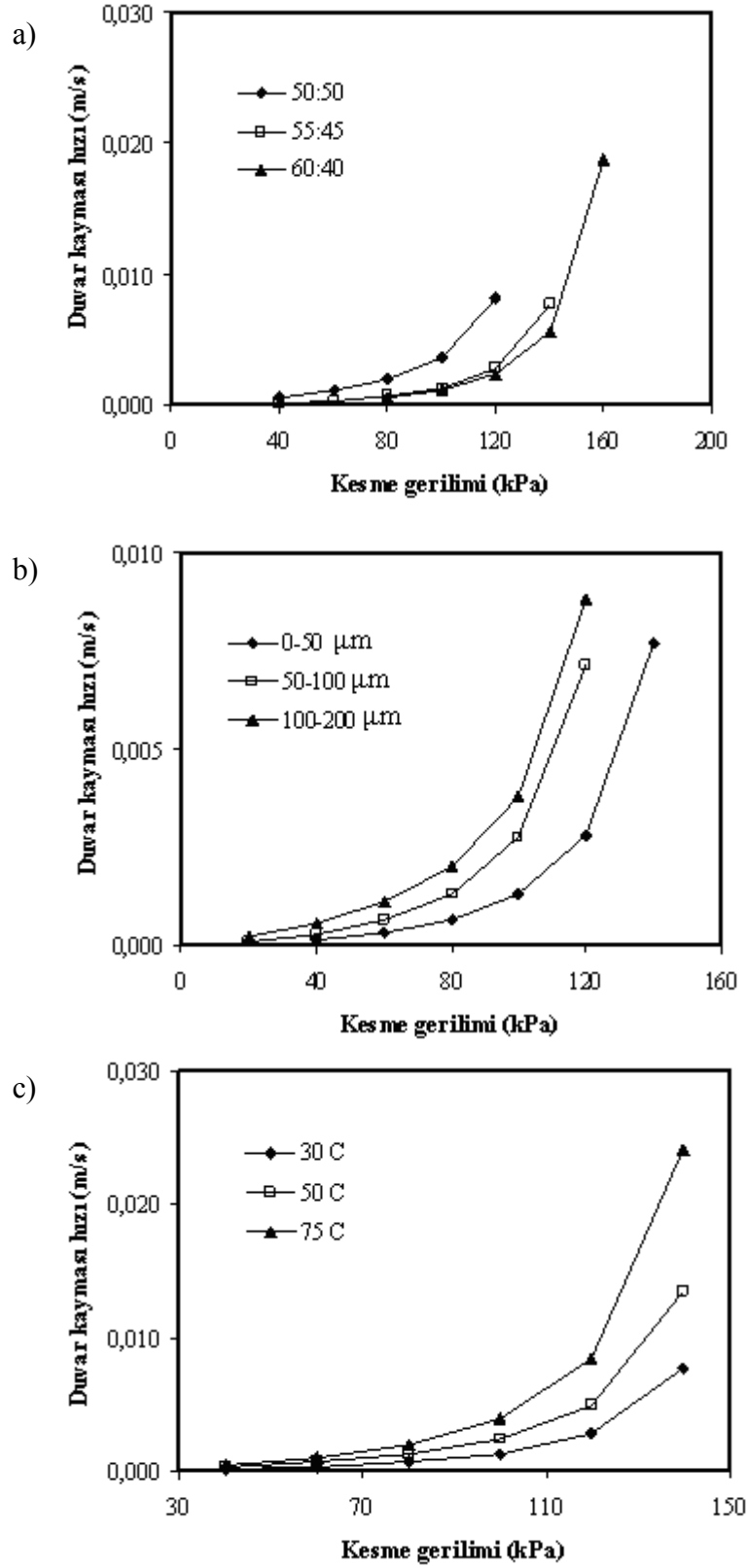
**Şekil 4.2:** Kolemanit-polidimetil siloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri



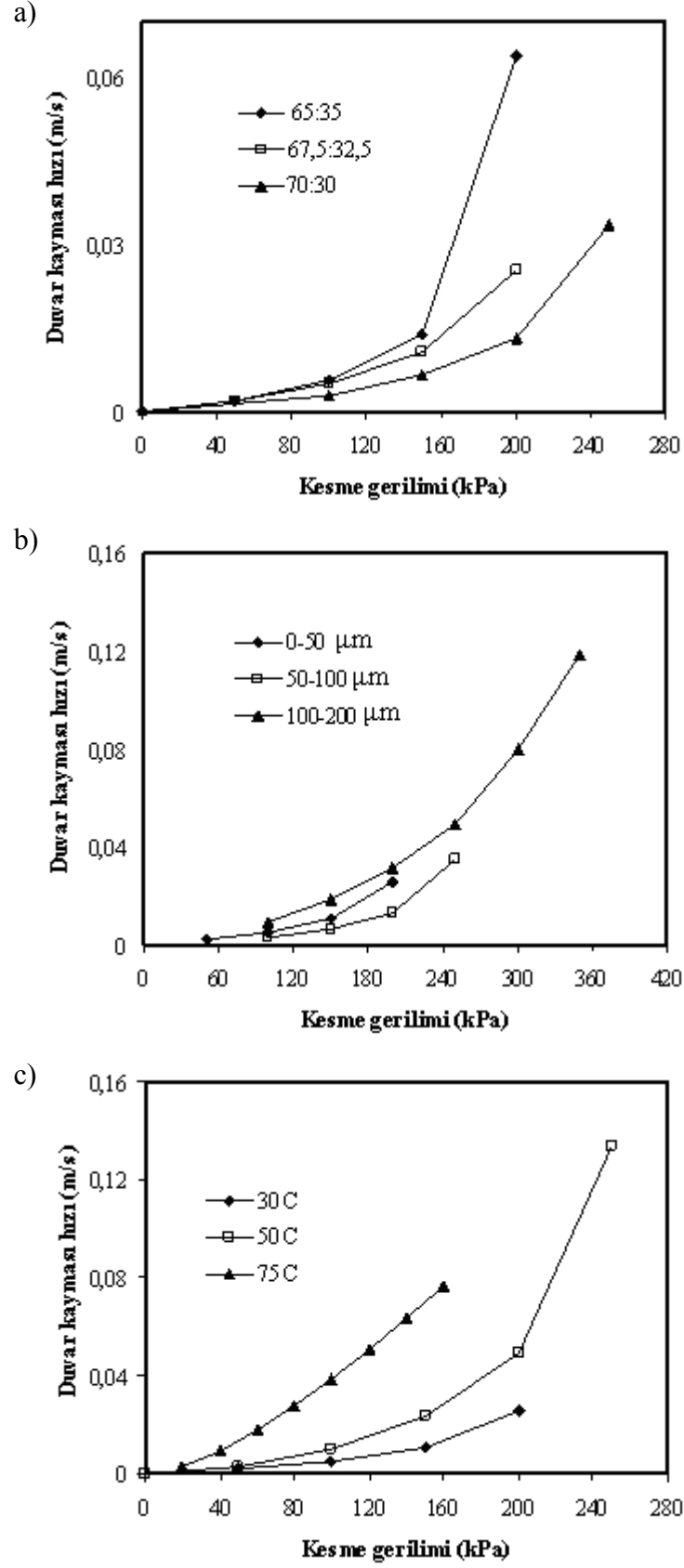
**Şekil 4.3:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri



**Şekil 4.4:** Üleksit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri



**Şekil 4.5:** Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 1 000 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri



Şekil 4.6: Genleşmiş perlit-polidimetilsiloksan (AK 100 000) pastasının a) katı-sıvı oranı, b) tane boyutu, c) sıcaklık değişimleri için kesme gerilimi-duvar kayması hızı grafikleri

## 4.5 Sonuçlar

Kolemanit, leksit, genleşmiş perlit dolgu maddeleri ile iki farklı viskoziteye sahip polidimetilsiloksandan farklı şartlar altında hazırlanan pastalar FTIR, XRD, DTA/TG, SEM, TEM, BET ve AFM ile karakterize edildikten sonra reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranı, tane boyutu ve sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Pastaların karakterizasyonu ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Dolgu maddelerinin FTIR spektrumlarındaki piklerin pastalarının spektrumlarında şiddetlerinin azalması ve çok az da olsa meydana gelen yeni pikler dolgu maddeleri ve polidimetilsiloksan arasında bir etkileşimin olduğunu göstermiştir.
2. Dolgu maddelerinin tabakalı yapısının kısmen bozulmasından dolayı bazı XRD piklerinin şiddet ve yerlerinde değişimler meydana gelmiştir.
3. DTA/TG analizi, pastaların hem dolgu maddeleri ve hem de polidimetilsiloksandan kaynaklanan endotermik ve ekzotermik piklere sahip olduğunu ve pastaların daha fazla kütle kaybına maruz kaldıklarını göstermektedir. Ayrıca dolgu maddelerinin kütlelerindeki azalma, polidimetilsiloksanla etkileşim halindeyken çok daha yüksek sıcaklıklarda başlamıştır.
4. SEM, AFM ve TEM fotoğrafları dolgu maddelerinin taneciklerinin şekil ve boyutları hakkında bilgi verirken, SEM fotoğrafları ile pastalar içindeki dolgu maddelerinin tamamının polidimetilsiloksan ile kaplandığı ve pasta içinde homojen bir dağılım oluşturdukları belirlenmiştir.

Pastaların reolojik ölüm sonuçlarından:

1. Kolemanit, leksit ve genleşmiş perlit ile hazırlanan polidimetilsiloksan pastalarının tümünün non-Newtonian, pseudoplastik ve kesme incelmesi davranışı sergiledikleri,
2. Pastaların kesme gerilimi ve viskozitelerinin artan katı:sıvı oranı ve tane boyutu ile artarken, artan sıcaklık ile azaldığı,
3. Deneysel verilerin kolemanit ve üleksit pastaları için Power-Law modeli, genleşmiş perlit pastaları için ise Hershel-Bulkley modeli ile oldukça iyi bir uyum içerisinde oldukları,

4. Pastaların oldukça homojen oldukları ve çok yüksek kesme gerilimi değerleri hariç duvar kayma hızlarının çok düşük ve ihmal edilebilir olduğu,
5. Pastaların oldukça iyi akış özellikler gösterdikleri bulunmuştur.

#### 4.6 Öneriler

Bu projenin sonuçlarından da görüldüğü gibi kolemanit, üleksit ve genişmiş perlit pastaları oldukça iyi reolojik özellikler sergilemektedir. Ayrıca polidimetilsiloksan, dolgu maddelerine ısıya karşı dayanıklılık kazandırırken, malzemelerin kolay şekillendirilmesine de olanak sağlamıştır. Bu nedenle pastaların izolasyon amaçlı elektrik devrelerinde, seramik endüstrisinde ve bunun gibi birçok endüstrinin farklı alanlarında kendisine uygulama alanı bulacağı ümit edilmektedir. Son 15-20 yılda nanoteknoloji alanındaki gelişmelere bağlı olarak sentezlenen çeşitli nanokompozit malzemelerin içerisinde yer alan dolgu maddelerinin genelde maliyet arttırıcı oksitler, pahalı killer, karbon nanofiberler, karbonnanotüpler ve metalik nantotanecikler oldukları görülmektedir. Kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin tabakalı yapıda olması ve tabakalar arası etkileşimlerin zayıf olmasından dolayı polimerlerle etkileştirildiklerinde tabakalı yapının bozularak polimer matrisi içerisinde nanoboyutta dağılacağı ve ilgili polimerlerin doğal yapılarından dolayı sahip oldukları düşük termal kararlılık, mekaniksel ve optik özelliklerini iyileştirebileceği söylenebilir. Bu şekilde kolemanit, üleksit ve genişmiş perlitin nanoteknolojik ürünlerin sentezinde de kullanılabilceği ve ülke ekonomisine katma değeri yüksek ürünler olarak katkı yapacağı söylenebilir. Yine sentezlenen nanokompozitlerin akış özellikleri ve ürün kalitesinin (kesme gerilimine bağlı olarak faz ayrımının olup olmadığı) belirlenmesinde reolojik özelliklerin ölçülmesinin büyük bir öneme sahip olacağı söylenebilir. Literatür incelendiğinde bu tür çalışmalarda reolojik ölçümlerin oldukça sınırlı bir şekilde kullanıldıkları görülmektedir.



## KAYNAKLAR

Ahmed, J. and Ramaswamy, H.S. (2006). Physico-chemical properties of commercial date pastes. *Journal of Food Engineering*, 76, 348–352.

Alkan, M. and Doğan, M. (2004). Dissolution kinetics of colemanite in oxalic acid solutions. *Chemical Engineering and Processing*, 43, 867–872.

Amarasinghe, A.D.U.S. and Wilson, D.I. (1997). Statistical analysis of pressure fluctuations in paste extrusion. In *ICHEME 1997 Jubilee Research Event*, Nottingham, UK, April 8-9, vol. 1, pp. 529-532.

Atar, N. and Olgun, A. (2007). Removal of acid blue 062 on aqueous solution using calcinated colemanite ore waste. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 171–179.

Barnes, H.A. (2000). *Handbook of Elementary Rheology*. Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics University of Wales, 5-130.

Barroso, E.G., Duarte, F.M., Couto, M. and Maia, J.M. (2010). High strain rate rheological characterization of low viscosity fluids. *Polymer Testing*, 29, 419–424.

Bates, A.J.D. and Bridgwater, J. (2000). The radial flow of pastes and gels. *Chemical Engineering Science*, 55, 3003–3012.

Bektas, F., Turanlı, L. and Monteiro, P.J.M. (2005). Use of genişmiş perlit powder to suppress the alkali–silica reaction. *Cement and Concrete Research*, 35, 2014–2017.

Böhm, H. and Blackburn, S. (1994). Agglomerate breakdown in fine alumina powder by multiple extrusion. *J. Mat. Sci.*, 29(22), 5779-5786.

Bulutcu, A.N., Ertekin, C.O. and Kuskay Celikoyan, M.B. (2008). Impurity control in the production of boric acid from colemanite in the presence of propionic acid. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 2270–2274.

Burbidge, A.S. and Bridgwater, J. (1995). The single screw extrusion of pastes. *Chemical Engineerin Science*, 50 (16), 2531-2543.

Castro, M., Giles, D.W. and Macosko, C.W. ( 2010). Comparison of methods to measure yield stress of soft Solids. *J. Rheol.*, 54(1), 81-94.

Chandler, H.W., George, S.D., Liddle, J., et al. (2000). Backlash: a feature of the cyclic deformation of ceramic pastes. *J EUR CERAM SOC*, 20(11), 1699-1705.

Chanvrier, H., Uthayakumaran, S. and Lillford, P. (2007). Rheological properties of wheat flour processed at low levels of hydration: Influence of starch and gluten. *Journal of Cereal Science*, 45, 263–274.

Cheyne, A., Barnes, J. and Wilson, D.I. (2005). Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: I. Rheological characterisation. *Journal of Food Engineering*, 66, 1–12.

Chhabra, R.P. and Richardson, J.F. (2008). *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications*. International of Chemical Engineering, 1–15.

Constenla, D.T., Lozano, J.E. and Crapiste, G.H. (1989). Thermophysical Properties of Clarified Apple Juice as a Function of Concentration and Temperature, *J. Food Sci.*, 54, 663.

Crawford, B., Watterson, J.K., Spedding, P.L., Raghunathan, S., Herron, W. and Proctor, M. (2005). Wall slippage with siloxane gum and silicon rubbers. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 129, 38–45.

Cyra, M., Legrand, C. and Mouret, M. (2000). Study of the shear thickening effect of superplasticizers on the rheological behaviour of cement pastes containing or not mineral additives. *Cement and Concrete Research*, 30, 1477-1483.

Da Costa, H.M., Ramos, V.D. and Rocha, M.C.G. (2005). Rheological properties of polypropylene during multiple extrusion. *Polymer Testing*, 24, 86–93.

Das, R.N., Madhusoodana, C.D. and Okada, K. (2002). Rheological studies on cordierite honeycomb extrusion. *Journal of the European Ceramic Society*, 22, 2893–2900.

Demirkıran, N. and Künkül, A. (2007). Dissolution kinetics of ulexite in perchloric acid solutions. *Int. J. Miner. Process.*, 83, 76–80.

Doğan, M., Yılmaz, Z. and Alkan, M. (2008). Characterization and Rheological Properties of Kaolinite-Silicon Oil Pastes. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, 8218-8227.

Erdem, T.K., Meral, C., Tokyay, M. and Erdoğan, T.Y. (2007). Use of genişmiş perlit as a pozzolanic addition in producing blended cements. *Cement & Concrete Composites*, 29, 13–21.

Flores, H.R. and Valdez, S.K. (2007). Thermal requirements to obtain calcined and frits of ulexite. *Thermochimica Acta*, 452, 49–52.

Graczyk, J., Buggisch, H. and Güner, S. (2001). Wall Slip Behavior of Alumina-Silicone Oil Pastes During Extrusion. *Chemical Engineering & Technology*, 24(5), 489–491.

Hurysz, K.M. and Cochran, J.K. (2003). The application of models for high solids content suspensions to pastes. *Journal of the European Ceramic Society*, 23, 2047–2052.

Joseph, R., McGregor, W.J., Martyn, M.T., Taner, K.E. and Coates, P.D. (2002). Effect of hydroxyapatite morphology/surface area on the rheology and processability of hydroxyapatite filled polyethylene composites. *Biomaterials*, 23, 4295–4302.

Kalyon, D.M., Yaras, P., Aral, B. and Yilmazer, U. (1993). Rheological Behavior of a Concentrated Suspension: a Solid Rocket Fuel Simulant. *J. Rheol.*, 37, 35-53.

Khan, A.U., Briscoe, B.J. and Luckham, P.F. (2001). Evaluation of slip in capillary extrusion of ceramic pastes. *Journal of the European Ceramic Society*, 21, 483–491.

Kulkarni, A.R., Soppimath, K.S. and Aminabhavi, T.M. (2000). Rheological Properties of The Dispersions Of Starch, Guar Gum, and Their Physical Mixtures in The Temperature Interval 298.15-333.15 K. *Polymer-Plastics Technology And Engineering*, 39:3, 437-456.

Lokumcu, A.F. and Ak, M.M. (2005). Effects Of Temperature, Shear Rate And Constituents On Rheological Properties Of Tahin (Sesame Paste). *J.Sci. Food Agric.*, 85, 105.

Lu, P. and Zhang, M. (2005). Rheology Of Coal-Water Paste. *Powder Technol.*, 150, 189.

MarkGraf, W., Horn, R. and Peth, S. (2006). An approach to rheometry in soil mechanics-Structural changes in bentonite, clayey and silty soils. *Soil&Tillage Research*, 91, 1-14.

Martin, P.J., Wilson, D.I. and Bonnett, P.E. (2004). Rheological study of a talc-based paste for extrusion-granulation. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 3155–3168.

- Mezger, T.G. (2006). *The Rheology Handbook*. Vincentz Network: Hannover.
- Nehdi, M. and Rahman, M.A. (2004). Estimating rheological properties of cement pastes using various rheological models for different test geometry, gap and surface friction. *Cement and Concrete Research*, 34, 1993–2007.
- Noisuwana, A., Bronlundb, J., Wilkinson, B. and Hemar, Y., (2008). Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch.. *Food Hydrocolloids*, 22, 174–183.
- Özkan, N., Oysu, C., Briscoe, B.J. and Aydin, I. (1999). Rheological analysis of ceramic pastes. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 19(16), 2883–2891.
- Pabst, W., Havrda, J. and Gregorová, E. (1998). The capillary viscometer method for the rheological characterization of thermoplastic ceramic pastes. *Ceramics-Silikáty*, 42(4), 177-185 .
- Pişkin, M.B. (2009). Investigation of sodium borohydride production process: “Ulexite mineral as a boron source. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(11), 4773-4779.
- Pişkin, S. (1983). Investigation of thermal properties of boron minerals. Ph.D Thesis, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Rao, M.A. and Tattiyakul, J. (1999). Granule Size and Rheological Behavior of Heated Tapioca Starch Dispersions. *Carbohydr. Polym.*, 38, 123.
- Rodriguez-Gonzalez, F.J., Ramsay, B.A. and Favis, B.D. (2004). Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content. *Carbohydrate Polymers*, 58, 139–147.
- Ruoyu, C., Jun, L., Shuping, X. and Shiyang, G. (1997). Thermochemistry of ulexite. *Thermochimica Acta*, 306, 1–5.

Saffour, Z., Viallier, P., Dupuis, D. (2006). Rheology of gel-like materials in textile printing. *Rheol Acta*, 45, 479–485.

Sandoval, A.J. and Barreiro, J.A. (2007). Off-line capillary rheometry of corn starch: Effects of temperature, moisture content and kesme rate. *LWT*, 40, 43–48.

Schwartzentruber, L., Cordin, J. and Roy, R. (2006). Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC). *Cement and Concrete Research*, 36, 1203–1213.

Shaojun, D., Chunsheng, Y., Guanming, Q., Ming, Z. and Shenglin, P. (2007). Research on Electrorheological Fluid Containing Rare Earth Cerium. *Journal Of Rare Earths*, 25, 49-52.

Simon, K. (2004). The Role Of Different Rheological Models In Accuracy Of Pressure Loss Prediction. *Rud.-geol.-naft. zb.*, 16, 85-89.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Freeman Press: East Lansing, MI.

Şener, S., Özbayoğlu, G. and Demirci, Ş. (2000). Changes in the structure of ulexite on heating. *Thermochimica Acta*, 362, 107-112.

Tadros, T.F. (2010). *Rheology of Dispersions: Principles and Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 41–43.

Talip, Z., Eral, M. and Hiçsönmez, Ü. (2009). Adsorption of thorium from aqueous solutions by genişmiş perlit. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 139–143.

Vikan, H., Justnes, H., Winnefeld, F. and Figi, R. (2007). Correlating cement characteristics with rheology of paste. *Cement and Concrete Research*, 37, 1502-1511.

Wilson, D.I. and Rough, S.L. (2006). Exploiting the curious characteristics of dense solid–liquid pastes. *Chemical Engineering Science*, 61, 4147–4154.

Yilmazer, U. and Kalyon, D.M. (1991). Dilatancy of Concentrated Suspensions with Newtonian Matrices. *Polymer Composites*, 12(4), 226–232.

Yildiz, Ö. (2004). The effect of heat treatment on colemanite processing: a ceramics application. *Powder Technology*, 142, 7–12.

Yilmazer, S. and Ozdeniz, M.B. (2005). The effect of moisture content on sound absorption of expanded genişmiş perlit plates. *Building and Environment*, 40, 311–318.

Zhang, L.M., Jahns, C., Hsiao, B.J. and Chu, B. (2003). Synchrotron SAXS/WAXD and rheological studies of clay suspensions in silicone fluid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 266, 339-345.