

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

**KAOLİNİT/SİLİKON YAĞI PASTALARININ REOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Zürriye GÜNDÜZ

Balıkesir, Aralık-2010

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

KAOLİNİT/SİLİKON YAĞI PASTALARININ REOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Zürriye GÜNDÜZ

Tez Danışmanları: Prof. Dr. Mahir ALKAN (1. Danışman)
Doç. Dr. Mehmet DOĞAN (2. Danışman)

Sınav Tarihi: 24.12.2010

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mahir ALKAN (Danışman-BAÜ)

Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ)

Doç. Dr. Nalan TEKİN (KOÜ)

Doç. Dr. Mehmet UĞURLU (MÜ)

Doç. Dr. Özkan DEMİRBAŞ (BAÜ)

Balıkesir, Aralık-2010

“Bu alışma TÜBİTAK tarafından 106T539 kodlu proje ile desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.”

ÖZET

KAOLİNİT/SİLİKON YAĞI PASTALARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Zürriye Gündüz
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Kimya Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanları : Prof. Dr. Mahir ALKAN
Doç. Dr. Mehmet DOĞAN)

Balıkesir-Türkiye, 2010

Kaolinit ve farklı viskoziteli silikon yağları kullanarak farklı şartlar altında hazırlanan pastalar XRD, DTA/TG, BET ve SEM ile karakterize edildikten sonra reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranı, tane boyutu, sıcaklık, L/D oranı ve katkı maddesinin etkileri, yüksek basınçlı kapiler reometre ile incelendi. Pasta durumunda XRD, kaolinitin tabakalar arası uzaklığının arttığını ve tabakalı yapısının kısmen bozulduğunu; DTA/TG analizi, kaolinit ve silikon yağlarından kaynaklanan karakteristik endotermik ve ekzotermik DTA piklerinin varlığını ve SEM fotoğrafları ise kaolinit taneciklerinin silikon yağları matrisinde disperse olduğunu gösterdi. Reolojik ölçüm sonuçlarından; 1) kaolinit-silikon yağı pastalarının non-Newtonian, pseudoplastik ve kesme incilmesi davranışı sergiledikleri, 2) pastaların kesme gerilimi ve viskozitelerinin artan katı:sıvı oranı; ve azalan sıcaklık, tane boyutu ve L/D oranı ile arttığı, 3) katkı maddesi ilavesi sonucunda pastaların reolojik özelliklerinde önemli bir değişikliğin olmadığı, 4) deneysel verilerin Herschel-Bulkley modeli ile oldukça iyi bir uyum içerisinde oldukları, 5) pastaların akması için kritik bir kesme geriliminin gerekli olduğu, 6) aktivasyon enerjisi değerinin uygulanan kesme hızına bağlı olarak değiştiği ve artan kesme hızı ile azaldığı, 7) pastaların duvar kayma hızını belirlemek için Mooney metodunun uygun olduğu, 8) pastaların oldukça homojen oldukları ve çok yüksek kesme gerilimi değerleri hariç duvar kayma hızlarının çok düşük ve ihmal edilebilir olduğu, ve 9) pastaların oldukça iyi akış özellikleri gösterdikleri bulundu.

Anahtar kelimeler: Kaolinit/silikon yağı/pasta/reoloji/reometre/reolojik model

ABSTRACT

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF KAOLINITE/SILICONE OIL PASTES

Zürriye Gündüz

Balıkesir University, Institute of Science, Department of Chemistry

**(Ph. D. Thesis / Supervisors : Prof. Dr. Mahir ALKAN
Doç. Dr. Mehmet DOĞAN)**

Balıkesir-Turkey, 2010

Pastes, which were prepared using kaolinite and different viscosity silicone oils under different conditions, were characterized by XRD, DTA/TG, BET and SEM, and then, the effects of parameters such as solid:liquid ratio, particle size, temperature, L/D ratio and additive material on the rheological properties were investigated by using high pressure capillary rheometer. In the paste case, XRD showed that the distance between layers of kaolinite increased and its layer structure partially destroyed; the characteristics endothermic and exothermic DTA peaks occurred due to both kaolinite and silicon oils; and SEM micrographs show the dispersing of kaolinite particles into silicone oil matrix. From the rheological measurements, we found that 1) all pastes exhibited non-Newtonian, pseudo-plastic, shear thinning behaviour under all experimental conditions; 2) the shear stresses and viscosities of pastes increased with increase in solid:liquid ratio and with decrease in particle size, temperature and L/D ratio; 3) the additive material didn't affect significantly the rheological properties of the pastes; 4) the experimental data were properly described by the Herschel-Bulkley model; 5) it was necessary to a yield shear stress to flow of pastes; 6) activation energy value changed depending on the applying shear rate and decreased with increase in shear rate; 7) Mooney method was suitable to determine the wall slip velocity of pastes; 8) pastes were very well homogenized and the wall slip velocities are very low except for very high shear rate values and it can be neglected; 9) pastes have very well flow properties.

Key words: Kaolinite/silicone oil/paste/rheology/rheometers/rheological model

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ÖNSÖZ.....	xxvi
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Reoloji.....	1
1.2 Pasta.....	1
1.3 Pastaların Reolojik Özelliklerini Etkileyen Parametreler.....	2
1.3.1 Basınç Gradyentinin Etkisi.....	3
1.3.2 Sıcaklığın Etkisi.....	3
1.3.3 Akış Geometrisinin Etkisi.....	3
1.3.4 Polimerin Özelliklerinin Etkisi.....	3
1.3.5 Yüzey Özelliklerinin Etkisi.....	4
1.3.6 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	4
1.4 Temel Reolojik Terimler.....	4
1.5 Akışkanların Reolojik Ölçümleri.....	7
1.6 Pastaların Reolojik Davranış Özellikleri.....	8
1.6.1 Kesme-İncelmesi Davranışı.....	8
1.6.2 Kritik Kesme Gerilimi.....	9
1.6.3 Kesme-Kalınlaşması Davranışı.....	9
1.7 Kapiler Akış Teorisi.....	10
1.8 Duvar Kayma (Wall Slip) Analizi.....	11
1.8.1 Mooney Metodu.....	12
1.8.2 Jastrzebski Metodu.....	14
1.8.3 Twin Kapiler Metodu.....	15
1.8.4 Renk Yapma Metodu.....	15
1.9 Reolojik Modeller.....	17
1.9.1 Zamana Bağlı Olmayan Akış Davranışı.....	18
1.9.1.1 Newtonian Akışkanlar.....	18
1.9.1.2 Non-Newtonin Akış Modelleri.....	19
1.9.1.2.1 Power Law Modeli.....	19
1.9.1.2.2 Bingham Plastik Modeli.....	20
1.9.1.2.3 Casson Modeli.....	22
1.9.1.2.4 Herschel-Bulkley Modeli.....	22
1.9.1.2.5 Quemada Modeli.....	23
1.9.1.2.6 Ofoli Modeli.....	24
1.9.2 Zamana Bağlı Akış Davranışı.....	24
1.9.2.1 Weltman Modeli.....	25
1.9.2.2 Tiu ve Boger Modeli.....	27
1.10 Viskozite Üzerine Sıcaklığın Etkisi.....	28

1.11 Literatür Özeti.....	29
1.12 Çalışmanın Amacı.....	34
2. MATERYAL ve METOT.....	36
2.1 Materyaller.....	36
2.2 Kneader (Homojenizatör).....	36
2.3 Pasta Hazırlanışı.....	37
2.4 Reolojik Ölçümler.....	38
2.5 Pastaların Karakterizasyonu.....	38
3. BULGULAR.....	40
3.1 Örneklerin Karakterizasyonu.....	40
3.1.1 XRD Karakterizasyonu.....	40
3.1.2 DTA/TG Analizi.....	40
3.1.3 Kaolinit Örneklerinin BET Analizi.....	49
3.1.4 Kaolinit ve Pastaların SEM Fotoğrafları.....	49
3.2 Pastaların Reolojik Özellikleri.....	55
3.2.1 Silikon Yağı AK 60 000-Kaolinit Pastaları.....	55
3.2.1.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	55
3.2.1.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	55
3.2.1.3 Sıcaklığın Etkisi.....	72
3.2.1.4 L/D Oranının Etkisi.....	72
3.2.2 Silikon Yağı AK 100 000-Kaolinit Pastaları.....	83
3.2.2.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	83
3.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	83
3.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi.....	100
3.2.2.4 L/D Oranının Etkisi.....	100
3.2.3 Silikon Yağı AK 500 000-Kaolinit Pastaları.....	111
3.2.3.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	111
3.2.3.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	111
3.2.3.3 Sıcaklığın Etkisi.....	128
3.2.3.4 L/D Oranının Etkisi.....	128
3.2.4 Silikon Yağı AK 1 000 000-Kaolinit Pastaları.....	139
3.2.4.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	139
3.2.4.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	139
3.2.4.3 Sıcaklığın Etkisi.....	156
3.2.4.4 L/D Oranının Etkisi.....	156
3.3 Pastaların Reolojik Özelliklerine Katkı Maddesinin Etkisi.....	168
3.3.1 Glikoz ve Nişastanın Etkisi.....	168
3.3.1.1 Silikon Yağı AK 60 000-Kaolinit Pastaları.....	168
3.3.1.2 Silikon Yağı AK 1 000 000-Kaolinit Pastaları.....	168
3.3.2 L/D Oranının Etkisi.....	180
3.3.2.1 Silikon Yağı AK 60 000, Kaolinit ve Katkı Maddesi Pastaları.....	180
3.3.2.2 Silikon Yağı AK 1 000 000, Kaolinit ve Katkı Maddesi Pastaları.....	180
3.4 Duvar Kayma Analizi.....	189
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	208
4.1 Karakterizasyon.....	208
4.1.1 XRD Analizi.....	208
4.1.2 DTA/TG Analizi.....	209

4.1.3 SEM Fotoğrafları.....	210
4.2 Pastaların Reolojik Karakterizasyonu.....	210
4.2.1 Pastalarının Akış Davranışı.....	210
4.2.2 Pastaların Akışını Etkileyen Parametreler.....	211
4.2.2.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi.....	211
4.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi.....	212
4.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi.....	214
4.2.2.4 L/D Oranının Etkisi.....	215
4.2.2.5 Katkı Maddesinin Etkisi.....	215
4.3 Aktivasyon Enerjisi.....	216
4.4 Reolojik Modeller.....	226
4.5 Duvar Kayma Analizi.....	235
4.6 Sonuçlar.....	236
KAYNAKLAR.....	238

SEMBOL LİSTESİ

Sembol Adı	Tanımı
L	Kapiler kanalın uzunluğu (mm)
D	Kapiler kanalın çapı (mm)
γ	Kesme büzülmesi (shear strain)
u	Yerdeğiştirme miktarı (cm)
S	Tabakaları ayıran uzaklık (cm)
F	Kuvvet (N)
v	Tabakalar arası hız farkı (cm/s)
τ	Kesme gerilimi (shear stress) (N/m ²)
A	Alan (m ²)
$\dot{\gamma}$	Kesme hızı (1/s)
η_a	Uygun (apparent) kesme viskozitesi (Pa s)
τ_o	Kritik kesme gerilimi (Pa)
V	Ortalama ekstrudat hızı (mm/s)
P	Ekstrusiyon basıncı (Pa)
N	Bagley düzeltme faktörü
Q	Akış hızı (mm ³ /s)
α	Kayma katsayısı
β	Düzeltilmiş kayma katsayısı
t	Ekstrusiyon zamanı (s)
K	Kıvamlılık indeksi (Pa s ⁿ)
n	Akış davranış indeksi
μ_∞	Bingham plastik viskozitesi (Pa s)
n_1, n_2	Ofoli modelinin sabitleri
A, B	Weltman modelinin sabitleri (Pa)
λ	Tiu ve Boger modeli için zamana bağlı yapısal bir parametre
k_1	Tiu ve Boger modelinde deneysel olarak belirlenebilen bir kesme hızı fonksiyonu

a	Tiu ve Boger modeli için bir sabit
$\eta_{\infty a}$	Frekans faktörü
E_a	Aktivasyon enerjisi (J/mol)
R	İdeal gaz sabiti (J/molK)
T	Sıcaklık (K)
g:g	Katı:Sıvı oranı (g:g)
D_o	Barelin çapı (mm)
TB	Tane Boyutu (μm)
XRD	X ışınları kırınımı
DTA	Diferansiyel termal analiz
TG	Termogravimetri
BET	Brauner-Emmet-Teller
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
θ	Kırılma açısı ($^\circ$)
d	Düzlemler arası mesafe (Å)
A.U.	% Bağlı pik şiddeti

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1.1 Akış modeli	5
Şekil 1.2 Reolojik özellikleri belirlemek için kullanılan rotasyonel ve kanal türü aletler	7
Şekil 1.3 Kesme incelmesi davranışının reogramı	9
Şekil 1.4 Kapiler kanal içerisinde duvar kaymasının şematik gösterimi	12
Şekil 1.5 Mooney metoduna göre duvar kayma analizi grafiği	14
Şekil 1.6 Jastrzebski metoduna göre duvar kayma analizi grafiği	15
Şekil 1.7 Ekstrusiyondan önce ve kısmi ekstrusiyondan sonra barel ve kapiler kanaldaki renklendirilmiş kesitin şematik gösterimi	17
Şekil 1.8 Viskozite-kesme hızı veya kesme gerilimi-kesme hızı eğrilerine bağlı olarak akışkanların özellikleri	18
Şekil 1.9 Newtonian akışkanlar için karakteristik reolojik değişim grafikleri	19
Şekil 1.10 Power Law modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri ($0 < n < 1$)	21
Şekil 1.11 Power Law modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri ($n > 1$)	21
Şekil 1.12 Herschel-Bulkley modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri	23
Şekil 1.13 Tikotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrileri	26
Şekil 1.14 Antitiktotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrileri	26
Şekil 1.15 Reolojik davranışın sınıflandırılması	28
Şekil 2.1 Kneaderın bıçak sisteminin genel görünüşü	37

Şekil 2.2	Deneyslerde kullanılan yüksek basınçlı kapiler reometre	39
Şekil 2.3	Kapiler reometrenin ölçüm hücresi: a.) kapiler kanal ve b.) orifis kanal	39
Şekil 3.1	Kaolinit, silikon yağı AK 60 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları	41
Şekil 3.2	Kaolinit, silikon yağı AK 100 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları	42
Şekil 3.3	Kaolinit, silikon yağı AK 500 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları	43
Şekil 3.4	Kaolinit, silikon yağı AK 1 000 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları	44
Şekil 3.5	Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının a) DTA ve b) TG eğrileri	45
Şekil 3.6	Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının a) DTA ve b) TG eğrileri	46
Şekil 3.7	Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının a) DTA ve b) TG eğrileri	47
Şekil 3.8	Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının a) DTA ve b) TG eğrileri	48
Şekil 3.9	Kaolinitin farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000	50
Şekil 3.10	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000	51
Şekil 3.11	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000	52
Şekil 3.12	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000	53
Şekil 3.13	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000	54
Şekil 3.14	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	58

Şekil 3.15	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	61
Şekil 3.16	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	63
Şekil 3.17	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	66
Şekil 3.18	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	69
Şekil 3.19	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	71
Şekil 3.20	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	75
Şekil 3.21	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	78
Şekil 3.22	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	80
Şekil 3.23	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	82
Şekil 3.24	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	86

Şekil 3.25	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	89
Şekil 3.26	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	91
Şekil 3.27	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	94
Şekil 3.28	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	97
Şekil 3.29	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	99
Şekil 3.30	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	103
Şekil 3.31	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	106
Şekil 3.32	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	108
Şekil 3.33	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	110
Şekil 3.34	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme	114

viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

şekil 3.35	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	117
şekil 3.36	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	119
şekil 3.37	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	122
şekil 3.38	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	125
şekil 3.39	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	127
şekil 3.40	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	131
şekil 3.41	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	134
şekil 3.42	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	136
şekil 3.43	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 μ m) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	138
şekil 3.44	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8	142

	mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	
Şekil 3.45	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	145
Şekil 3.46	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	148
Şekil 3.47	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	150
Şekil 3.48	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	153
Şekil 3.49	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	155
Şekil 3.50	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	159
Şekil 3.51	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	162
Şekil 3.52	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	165
Şekil 3.53	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	167
Şekil 3.54	Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki	171

	kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	
Şekil 3.55	Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 μ m tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	173
Şekil 3.56	Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 μ m tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	176
Şekil 3.57	Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 μ m tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	179
Şekil 3.58	Kaolinit, glikoz ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	182
Şekil 3.59	Kaolinit, nişasta ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	184
Şekil 3.60	Kaolinit, glikoz ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	186
Şekil 3.61	Kaolinit, nişasta ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi	188
Şekil 3.62	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	192
Şekil 3.63	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	192

Şekil 3.64	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	195
Şekil 3.65	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	195
Şekil 3.66	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	198
Şekil 3.67	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	198
Şekil 3.68	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	201
Şekil 3.69	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	201
Şekil 3.70	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	204
Şekil 3.71	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	204
Şekil 3.72	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	207
Şekil 3.73	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi	207
Şekil 4.1	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$	217
Şekil 4.2	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$	218
Şekil 4.3	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$	219
Şekil 4.4	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32$	220

mm/2 mm

- Şekil 4.5 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$ 221
- Şekil 4.6 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$ 222
- Şekil 4.7 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$ 223
- Şekil 4.8 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$ 224

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Adı	Sayfa No	
Çizelge 2.1	Silikon yağı AK 1 000 000'un bazı fizikokimyasal özellikleri	36
Çizelge 3.1	Kaolinit, silikon yağı AK 60 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri	41
Çizelge 3.2	Kaolinit, silikon yağı AK 100 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri	42
Çizelge 3.3	Kaolinit, silikon yağı AK 500 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri	43
Çizelge 3.4	Kaolinit, silikon yağı AK 1 000 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri	44
Çizelge 3.5	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	56
Çizelge 3.6	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	59
Çizelge 3.7	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	62
Çizelge 3.8	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm /0,5 mm)	64
Çizelge 3.9	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	67
Çizelge 3.10	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	70
Çizelge 3.11	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	73

Çizelge 3.12	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	76
Çizelge 3.13	Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm /2 mm)	79
Çizelge 3.14	0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 60 000 ile 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C’de farklı L/D oranlı kapiler kanallar kullanılarak ölçülen reolojik verileri	81
Çizelge 3.15	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	84
Çizelge 3.16	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	87
Çizelge 3.17	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	90
Çizelge 3.18	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	92
Çizelge 3.19	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	95
Çizelge 3.20	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	98
Çizelge 3.21	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	101
Çizelge 3.22	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	104
Çizelge 3.23	Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	107

Çizelge 3.24	0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 100 000 kullanarak 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri	109
Çizelge 3.25	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	112
Çizelge 3.26	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	115
Çizelge 3.27	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	118
Çizelge 3.28	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	120
Çizelge 3.29	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	123
Çizelge 3.30	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	126
Çizelge 3.31	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	129
Çizelge 3.32	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	132
Çizelge 3.33	Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	135
Çizelge 3.34	0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 500 000 kullanarak 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri	137
Çizelge 3.35	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı	140

	oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	
Çizelge 3.36	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	143
Çizelge 3.37	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	146
Çizelge 3.38	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	149
Çizelge 3.39	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	151
Çizelge 3.40	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	154
Çizelge 3.41	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)	157
Çizelge 3.42	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	160
Çizelge 3.43	Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	163
Çizelge 3.44	0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 1 000 000 kullanarak 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri	166
Çizelge 3.45	Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	169
Çizelge 3.46	Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	172
Çizelge 3.47	Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik	174

	özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=16 mm/1 mm)	
Çizelge 3.48	Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=32 mm/2 mm)	177
Çizelge 3.49	Kaolinit (0-25 µm), glikoz ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi	181
Çizelge 3.50	Kaolinit (0-25 µm), nişasta ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi	183
Çizelge 3.51	Kaolinit (0-25 µm), glikoz ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi	185
Çizelge 3.52	Kaolinit (0-25 µm), nişasta ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi	187
Çizelge 3.53	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	190
Çizelge 3.54	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	191
Çizelge 3.55	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri	193
Çizelge 3.56	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	194
Çizelge 3.57	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	196
Çizelge 3.58	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri	197
Çizelge 3.59	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 500 000	199

	pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	
Çizelge 3.60	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	200
Çizelge 3.61	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri	202
Çizelge 3.62	Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	203
Çizelge 3.63	Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri	205
Çizelge 3.64	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri	206
Çizelge 4.1	Kaolinit-silikon yağı pastaları için Arrhenius eğrilerinden hesaplanmış aktivasyon enerjisi değerleri	225
Çizelge 4.2	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri	228
Çizelge 4.3	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri	228
Çizelge 4.4	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri	229
Çizelge 4.5	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri	229
Çizelge 4.6	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri	230
Çizelge 4.7	Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri	230

Çizelge 4.8	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri	231
Çizelge 4.9	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri	231
Çizelge 4.10	Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri	232
Çizelge 4.11	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri	232
Çizelge 4.12	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri	233
Çizelge 4.13	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri	233
Çizelge 4.14	Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı maddesinin etkisi için hesaplanmış model parametreleri	234
Çizelge 4.15	Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı maddesinin etkisi için hesaplanmış model parametreleri	234

ÖNSÖZ

Öncelikle akademik çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimleriyle daima bana ışık tutan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, sürekli teşvik eden ve akademik başarısını örnek aldığım danışmanım Prof. Dr. Mahir ALKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Azmi ile daima bana örnek olan, tüm çalışmalarım boyunca her türlü yardım ve kolaylığı sağlayan, ekip çalışmasının ruhunu benimsemiş olan danışmanım Doç. Dr. Mehmet DOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmamı destekleyen TÜBİTAK'a (106T539), örnek temininde yardımcı olan KALEMADEN'e, çalıştığım örneklerin DTA/TG ölçümlerini alan Arş. Gör. Yasemin TURHAN'a, XRD ölçümlerinde yardımcı olan Doç. Dr. Halil Güler'e ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen sevgili Aileme, eşim İsmail'e ve kızım Ayşe Bilge'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2010

Zürriye GÜNDÜZ

1. GİRİŞ

1.1 Reoloji

Reoloji, deformasyon ve akış bilimi olarak tarif edilir ve günümüzde bilimsel çalışmaların önemli bir kısmını oluşturmaktadır [1-5]. Geleneksel anlamda reoloji, mühendislik ve fizikle daha fazla ilişkili olup gazlardan katılara kadar tüm malzemelere uygulanabilir ve çeşitli uygulama alanlarında farklı ürünlerin kıvamlarını belirlemek için kullanılır. Reolojik bakımdan kıvam, viskozite ve elastisite bileşenleri ile tanımlanır. Bu yüzden uygulamada reoloji viskozite ölçümlerinin, akış davranışı karakterizasyonunun ve materyal yapısının belirlenmesini sağlar [6].

Reolojik özellikler, gerilime tabii tutulmuş bir malzemenin deformasyon ve akışa göstermiş olduğu direnç ile ilgilidir. Reoloji bilgisi plastikleri, boyaları, kartuşları, deterjanları, yağları, yiyecekleri içeren birçok endüstri dalı ile uğraşan bilim adamları için çok önemlidir. Pastalardan çeşitli nesnelerin oluşumu uzun yıllardan beri bilinmektedir. Pasta prosesi son teknolojik gelişmelerde ürünlerin üretiminde büyük bir önem kazanmıştır.

1.2 Pasta

Pastalar hem plastiklerin hem de akışkanların akış davranışlarını sergiledikleri için *yumuşak katılar* olarak ta adlandırılır [7]. Bir *pasta*, ekstrüzyon için yeterli yumuşaklığa ve elastik özelliklere sahip katı ve sıvı fazdan meydana gelen herhangi bir bileşim yada karışım olarak tarif edilebilir. Pasta ekstrüzyonu gıda, kimya, seramik ve eczacılık endüstrilerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Ekstrüzyon basıncının ölçümü, pastanın reolojik özelliklerinin anlaşılmasını sağlamıştır [8]. Bir pastanın reolojisi öncelikle mevcut sıvının miktarına [9], daha sonra ise pastanın bileşimine, formulasyonuna ve tanecik

büyükliğüne bağlıdır. Bir pastanın reolojik özelliklerinin sadece pastanın bileşimi ve formülasyonu ile değil aynı zamanda tanecik büyüklüğü ile de değişebileceği belirtilmektedir. Örneğin buğday unu ve sudan yapılmış bir pasta doğal olarak seramik tozu ve diğer malzemelerden yapılmış bir pastadan biraz farklı reolojik özellikler gösterecektir. Tipik bir seramik pasta, çok ince öğütülmüş toz tanecikleri, dispersiyon reaktiflerini, yapıştırıcıları, plastik oluşturucuları ve sıvı fazları içerir. Endüstriyel pastaların reolojisi için pastaların akış ve ekstrudat özellikleri çok önemlidir. Bir katı ve sıvı fazdan yapılmış bir pasta iyi akış özelliği gösteriyorsa yukarıda sayılan diğer maddelere ihtiyaç duyulmaz. Ancak pasta iyi bir akış özelliği göstermiyorsa diğer maddelere de ihtiyaç duyulur. Örneğin sudan yapılmış alüminyum pastalarında sadece suyun ilavesi iyi ekstrüde olabilen pastaları oluşturmak için yeterli değildir. Sadece su ve alüminyum tozları içeren bir pasta pratikte iki büyük problem sergiler. İlki van der Waals çekim kuvvetlerinden dolayı tanecikler iyi bir şekilde homojenize olamayacaklardır. İkinci olarak böyle bir pasta uygulanan basınç ile ekstrüzyon süresince normal olarak suyunu salıverecek ve bir faz ayrılması gözlenecektir. Sonuçta daha kuru bir pasta elde edilir. Bu da basıncın çok yükselmesine ve pastanın ekstrüzyon özelliklerinin yanlış ölçülmesine neden olur. Bu problemi gidermek için sıvı faz olarak genelde yapıştırıcı ve kıvamlaştırıcı özelliğe sahip olan akışkanlar seçilir. Endüstriyel pastaların reolojisi için akış ve ekstrudat özellikleri çok önemlidir. Ekstrüde olabilen pastalar çok ince ya da küçük tane boyutuna sahip tozlardan ve kompleks sıvılardan meydana gelir. Böyle bir pastanın akış ve ekstrüzyon özelliklerini belirlemek için pastayı meydana getiren katı ve sıvı fazın etkilerini birlikte araştırmak gerekir. Pastanın katı bileşeninin tane boyutu 0.1-100 µm aralığında olmalıdır. Endüstride pastaların kullanıldığı alanlar oldukça geniştir. Bunlar arasında gıda endüstrisi, hayvan yemleri, tuğlalar, kiremitler, çini işleri, porselenler, gübreler, izolatörler, kozmetikler, bazı diş materyalleri, elektrotlar, ilaçlar, yakıtlar, modern yüksek performanslı seramikler sayılabilir. Modern pastalar çoğu zaman pahalı ham maddeler içerirler [10].

1.3 Pastaların Reolojik Özelliklerini Etkileyen Parametreler

Literatüre göre, reometrede bir eriyiğin veya pastanın akış özelliğini etkileyen altı ana grup parametre vardır [11].

- Akış kanalındaki basınç gradiyenti,
- Proses sıcaklığı,
- Akış kanalının geometrisi/kesiti,
- Polimerin özellikleri,
- Akış kanalının yüzey özellikleri,
- Katı:sıvı oranı (kompozit ve seramik malzemeler için).

1.3.1 Basınç Gradiyentinin Etkisi

Literatüre göre, bir ölçümün sonucu büyük oranda test ayarlarına bağlıdır. Yapışkan-kayma (stick-slip) bölgesindeki olaylar, kapiler reometrede sabit bir piston hızında meydana gelir. Sabit olmayan sınır koşullarının olayları, basınç kontrollü kapiler reometrede meydana gelmez [11].

1.3.2 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık akışkanların viskozitesini azaltarak akıcılık özelliklerini arttırdığından, polimerik eriyiklerin ve seramik malzemelerin reolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Sıcaklığın viskozite üzerine etkisi genelde Arrhenius ya da Williams, Landel ve Ferry bağıntıları ile verilir [11].

1.3.3 Akış Geometrisinin Etkisi

Yapışkan-kayma aralığında akış kanalının uzunluğu (L) ve basıncı, akış davranışı üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, uzunluk (L) ve uzunluk/çap (L/D) oranı, kritik kesme gerilimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir. Akış eğrilerindeki süreksizlikler, çap (D) değişiminden etkilenirler [11].

1.3.4 Polimerin Özelliklerinin Etkisi

Polimerin duvar yüzeyinde kaymasına etki eden çeşitli etkiler vardır. Pek çok çalışmada mol kütlesi ve mol kütlesi dağılımının, polimerlerin reolojik

özellikleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğu bulunmuştur. Yine polimerin molekül ağırlığının artmasının duvar kayma hızının daha büyük ve kritik kesme geriliminin daha küçük olmasına neden olduğu da deneysel olarak gösterilmiştir [11].

1.3.5 Yüzey Özelliklerinin Etkisi

Temas özelliklerindeki değişimler kritik kesme gerilimlerinde de değişimlere yol açtığından dolayı kapiler kanalın yüzeyi, polimer eriyiklerinin ve seramik ürünlerinin akış eğrilerini etkilemektedir [11].

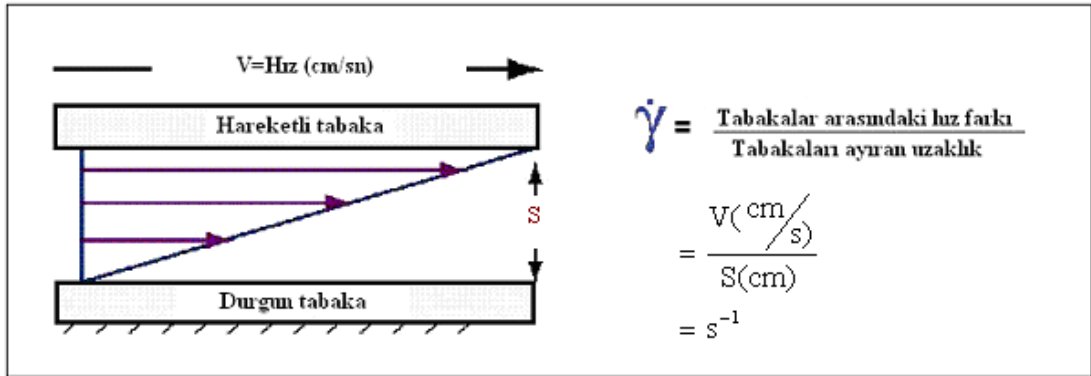
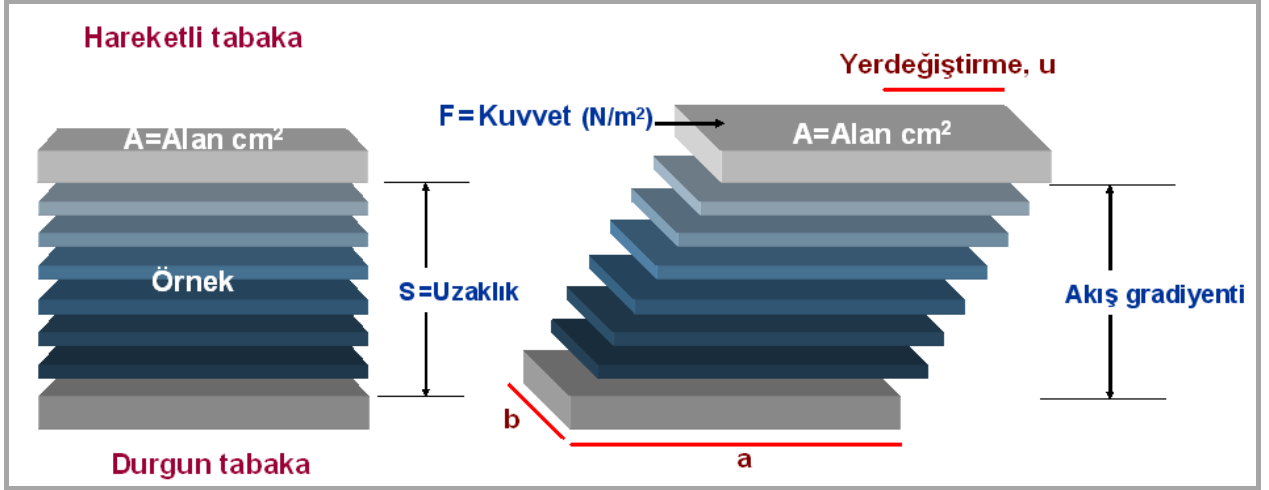
1.3.6 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Akışkanların özellikle birden fazla bileşenden meydana gelen kompozit ve pastaların reolojik özelliklerinin, katı:sıvı oranı ile değiştiği bulunmuştur. Dolgu maddesi oranının artması ile viskozitenin ve kesme geriliminin arttığı belirlenmiştir [12].

1.4 Temel Reolojik Terimler

Bir akışkan malzemenin Şekil 1.1'de gösterildiği gibi çok sayıda birbirine paralel tabakalardan meydana geldiğini ve akışkanın, üst hareketli tabakasına bir kuvvetin uygulandığını göz önüne alalım. Üzerine kuvvet uygulanan malzemeyi dikdörtgen olarak kabul edersek, bu malzeme sonunda bir paralel kenara dönüşür. Akışkan malzemenin alt durgun tabakasının bu kuvvetten etkilenmediği farz edilirse diğer tüm tabakalar bu kuvvetten az ya da çok etkilenecektir. Uygulanan kuvvetin etkisi durgun tabakadan hareketli tabakaya doğru gidildikçe daha fazla olacaktır. Bu durumda akışkanın hareketi elastik Hook deformasyon yasasına uyar ve malzeme, şekilden de görüldüğü gibi yeni bir konuma deforme olur. Bu tür deformasyon *kesme deformasyonu* olarak adlandırılır. Deformasyon miktarı ve tabakalar arası uzaklık kesme büzülmesini tanımlamak için kullanılır. *Kesme büzülmesi* basitçe iki uzunluğun oranı yani yer değiştirilmenin (u) tabakalar arası uzaklığa (S) oranı olarak tarif edilir, herhangi bir birime sahip değildir ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$\gamma = \frac{u}{S} \quad (1.1)$$



Şekil 1.1 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:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1.2)$$

Burada τ , 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:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{S} \quad (1.3)$$

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 [1] ve viskozite, kesme gerilimi uygulanan bir akışkanın akmaya karşı göstermiş olduğu direnç ya da eğilim olarak tanımlanır [13]. Viskozitenin kesme hızına bağlı olmadığı Newtonian akışkanlar için viskozite, η sembolü ile; viskozitenin kesme hızına bağlılık gösterdiği non-Newtonian akışkanlar için ise viskozite, η_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:

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

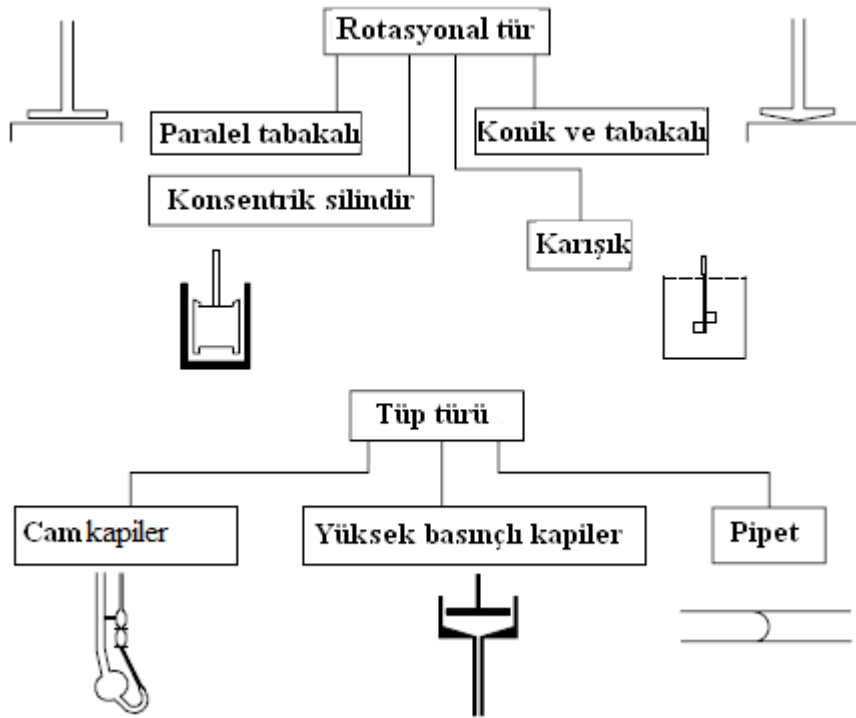
bağıntısı ile verilir. Yaygın olarak kullanılan viskozite birimi, Pa s veya mPa s'dir. Belli bir kesme hızında ölçülen viskozite *uygun (apparent) viskozite* olarak adlandırılır [1]. Örneğin 50 s^{-1} 'lik kesme hızındaki uygun viskozite

$$\eta_{a,50} = \frac{\tau_{50}}{\dot{\gamma}_{50}} \quad (1.5)$$

bağıntısı ile verilir. Burada τ_{50} , 50 s^{-1} 'lik kesme hızına karşılık gelen kesme gerilimidir. Çok düşük kesme hızlarında limit viskozite olarak tanımlanan *sıfır kesme viskozitesi* (η_0), kesme incilmesi davranışı sergileyen akışkanların davranışının incelenmesinde önemli bir parametredir [1].

1.5 Akışkanların Reolojik Ölçümleri

Akışkan ve yarı-katımsı malzemelerin temel reolojik özelliklerini ölçmek için kullanılan aletler rotasyonel plakalı ve kanal türü olmak üzere iki genel sınıfa ayrılabilir. Şekil 1.2’de gösterilen bu aletlerin çoğu ticari olarak mevcuttur ve bazıları da kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu aletler maliyetleri çok ucuz cam kapiler viskozimetrelerden, dinamik özellikleri ve normal gerilim farklarını ölçme kabiliyetine sahip çok pahalı rotasyonel aletlere kadar geniş bir aralıkta değişmektedir. Katımsı malzemeler sıkışabilirlik, gerilim ya da bükülme testlerine tabi tutulurlar. Bu tür reolojik özellikleri ölçmek için kullanılan aletlere *reometre* adı verilir. *Viskozimetre* ise sadece viskoziteyi ölçen aletler ile ilgili daha sınırlı bir terimdir.



Şekil 1.2 Reolojik özellikleri belirlemek için kullanılan rotasyonel ve kanal türü aletler

Rotasyonel reometreler kararlı kesme (sabit açılı hız) ya da dinamik mod konumunda çalıştırılabilirler. Bazı rotasyonel aletler kesme verilerinin toplanmasını

kolaylaştıran, çok düşük kesme hızında malzemelerin analizine imkan veren ve kritik kesme geriliminin belirlenmesini sağlayan kontrollü gerilim modu fonksiyonlarına sahiptir. Bu bilgiler malzemenin iç yapısının anlaşılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Kontrollü hız modu, proses mühendisliği hesaplamalarında gerekli verileri elde etmede çok faydalıdır. Rotasyonel sistemler genelde zamana bağlı davranışı incelemek için kullanılır. Çünkü kanal sistemleri, cihaz içerisinde malzemenin bir kez geçişine müsaade ederler.

Reolojik özellikleri ölçmede kullanılan her bir aletin birbirlerine karşı bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Yerçekimi fonksiyonlu cam kapiler aletler sadece Newtonian akışkanlar için uygundur. Çünkü kesme hızı akış süresince değişir. Konik ve tabakalı sistemler orta derecede kesme hızları ile sınırlandırılırlar fakat hesaplamaları oldukça basittir. Pipet (boru) yada mikser viskozimetreleri, konik ve tabakalı yada paralel tabakalı aletlere göre çok daha geniş tanecikli sistemleri incelemek için kullanılabilir. Kesme ile ilgili problemler ve yapısal olarak duyarlı malzemelerdeki degradasyon, mikser türü viskozimetre ile minimize edilir. Yüksek basınçlı kapilerler yüksek kesme hızlarında çalıştırılabilirler fakat genel olarak önemli bir son basınç düzeltmesi gerektirirler. Boru viskozimetreleri, üretim güçlüklerini ve maliyetlerini ortadan kaldırmak için yapılabilir [14].

1.6 Pastaların Reolojik Davranış Özellikleri

1.6.1 Kesme-İncelmesi Davranışı

Kesme incelmesi davranışı sergileyen akışkanlar için kesme gerilimi-kesme hızı eğrisi, orijinden başlar ve yukarı doğru içbükey (konkav)'dir. Kesme incelmesi akışkanları, pseudoplastik akışkanlar olarak da adlandırılır. Kesme incelmesinin, malzemedeki yapısal birimlerin kırılmasından veya kesme süresince meydana gelen hidrodinamik kuvvetlerden dolayı meydana geldiği düşünülür. Çoğu non-Newtonian akışkanlar kesme incelmesi davranışı sergiler [1].

Kesme incelmesi davranışı gıda ürünlerinde, polimer eriyiklerinde ve kompozit malzemelerde gözlenen yaygın bir olaydır. Bu tür malzemeler Şekil 1.3'de görüldüğü gibi akış süresince üç farklı bölgeye sahiptirler. Bunlar:

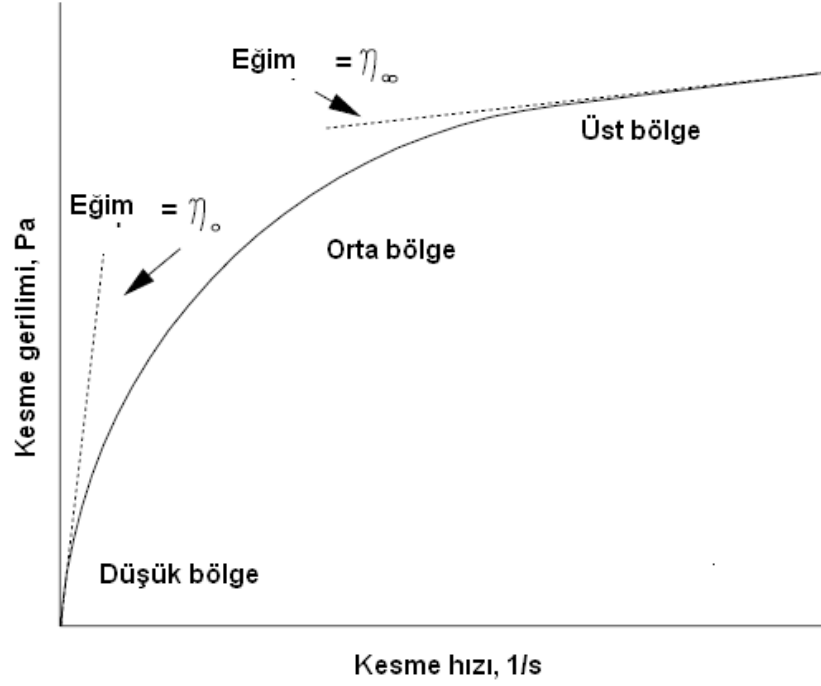
1. Sıfır kesme hızında limit viskozite olarak adlandırılan uygun viskozitenin değişen kesme hızı ile sabit olduğu *daha düşük Newtonian bölge*;
2. Uygun viskozitenin kesme hızı ile değiştii ve Power Law eşitliğinin olaylar için uygun bir model olduğu *orta bölge*; ve
3. Sonsuz kesme hızında limit viskozite olarak adlandırılan eğrinin eğiminin (η_∞) değişen kesme hızı ile sabit olduğu *üst Newtonian bölgesidir* [14].

1.6.2 Kritik Kesme Gerilimi

Viskoplastik akışkan davranışı, bir kritik kesme geriliminin varlığıyla karakterize edilir. Çoğu non-Newtonian akışkan için bir kritik kesme gerilimi değeri vardır ve bu nedenle viskoplastik malzeme olarak adlandırılır. Malzemeye uygulanan kesme gerilimi kritik kesme geriliminden daha düşük olduğunda katı gibi davranırken, kritik kesme gerilimi aşıldığında tıpkı bir sıvı gibi akar [15, 16]. Bir malzemenin akışını sağlamak için uygulanması gereken minimum gerilim değerine *kritik kesme gerilimi* adı verilir. Kesme hızı-kesme gerilimi verilerinin kritik kesme gerilimli düz bir doğru vermesi, akışkanın Bingham plastik modelle oldukça iyi bir uyum sergilediğini gösterir [1].

1.6.3 Kesme-Kalınlaşması Davranışı

Kesme kalınlaşması davranışında kesme gerilimi-kesme hızı eğrisi orijinden başlar ve eğrinin şekli, aşağıya doğru içbükeydir. *Dilatant* terimi, kesme kalınlaşmasını tanımlamak için yaygın ve yanlış bir şekilde kullanılmaktadır. Dilatant davranış, test süresince örneğin hacmindeki artışı da içerdiiğinden dolayı kesme kalınlaşması davranışını tanımlamak için kullanmak doğru değildir. Kesme kalınlaşması, uygulanan kesmenin bir sonucu olarak yapısal birimlerin büyüklüklerindeki artmadan dolayı meydana gelir [1, 17].



Şekil 1.3 Kesme incelmesi davranışının reogramı

1.7 Kapiler Akış Teorisi

Bir kapiler kanal içerisindeki bir materyalin ekstrusiyonu süresince meydana gelen kesme hızı ve kesme gerilimi aşağıdaki eşitliklerle verilir:

$$\dot{\gamma}_a = \frac{8V}{D} \quad (1.6)$$

$$\tau_a = \frac{PD}{4L} \quad (1.7)$$

Burada V, ortalama ekstrudat hızı (mm/s); D, L uzunluğundaki kapilerin çapı (mm) ve P ekstrusiyon basıncıdır (Pa). Eşitlik (1.7)'de pasta akışının tamamen kapilerin içerisinde meydana geldiği ve basınç değerlerinin kapiler ekstrusiyon süresince doğrusal olduğu farz edilir. Eğer basınç değeri doğrusal değil ise Bagley tarafından geliştirilen Bagley düzeltme metodu kullanılarak kesme gerilimi hesaplanır. Bu durumda kesme gerilimi aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$\tau_B = \frac{PD}{4(L + ND)} \quad (1.8)$$

Burada N, Bagley düzeltme faktörüdür. N değeri, ekstrüzyon basıncının kapiler kanalların uzunluğuna karşı çizilen eğrilerin ekstrapolasyon değerlerinden bulunur [10].

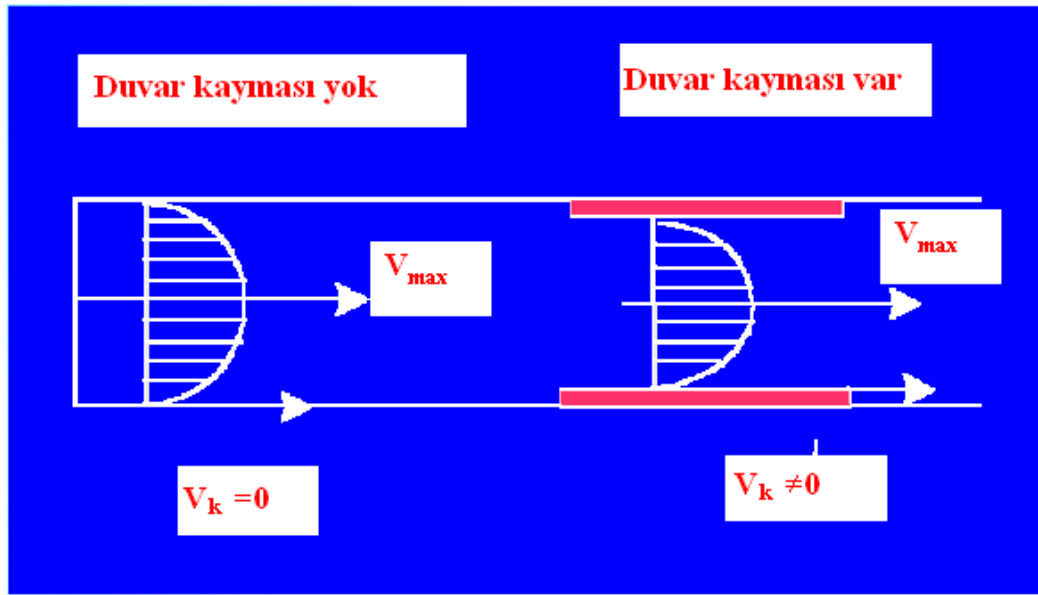
1.8 Duvar Kayma (Wall Slip) Analizi

Ekstrüzyon, kompleks şekilleri ve formları boyutsal kesinlikte sağlaması nedeniyle seramik endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılan önemli bir şekillendirme tekniğidir [18,19]. Ekstrüzyon proseslerinde pastaların akış davranışları, özellikle de duvar kayması çok önemlidir. Duvar kayması analizi, yoğun süspansiyonların viskozitelerinin ölçümünde oldukça etkin bir biçimde kullanılır [20]. Seramik pastalarını şekillendirmek için ekstrüzyon şartlarının ve pastanın reolojik özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir [21]. 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 ve kompozit malzemelerin proses işlemlerinde önemli problemler teşkil etmektedir [14, 17, 22].

Pasta ekstrüzyonunu modellemek ve/veya optimize etmek için pastanın akış özelliklerini bilmek gereklidir. Bir kapiler yada ekstrüzyon kanalı içerisinde pastanın duvar kayma davranışının anlaşılması hem prosesin modellenmesi hem de

uygulanabilir sonuçlara ulaşmak bakımından oldukça önemlidir. Ekstrusiyon süresince pastaların duvar kayma davranışı, kapiler reometre ile belirlenebilir. Kapiler kanal içerisinde pastanın akışı sırasında meydana gelen duvar kayması olayı Şekil 1.4’de gösterilmektedir. Akışkanların duvar kayma hızını belirlemek için yaygın olarak kullanılan metotlar Mooney, Jastrzebski, Twin Kapiler ve Renk Yapma metotlarıdır [22].



Şekil 1.4. Kapiler kanal içerisinde duvar kaymasının şematik gösterimi

1.8.1 Mooney Metodu

Mooney tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan bu klasik ölçüm metodu pastaları da içeren birçok akışkan için kullanılmaktadır. İzotermal, durgun, laminer 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.

$$Q_{göz} = Q_{ger} + Q_k \quad (1.9)$$

Sağ taraftaki ilk terim gerçek iç kesme akış hızıdır (Q_{ger}) ve ikinci terim tamamen duvardaki kayma ile sağlanan katkıdır (Q_k). Eşitlik (1.9), (1.10a ve b) eşitliklerine dönüştürülebilir:

$$\left(\frac{8V_o}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + \left(\frac{8V_k}{D}\right) \quad (1.10a)$$

$$V_o = V_g + V_k \quad (1.10b)$$

Burada V_o , 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, kapiler kanalın çapı ile zıttır. Eşitlik (1.10a ve b)'deki V_k ,

$$V_k = f(\tau_B) \quad (1.11)$$

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 önerdi.

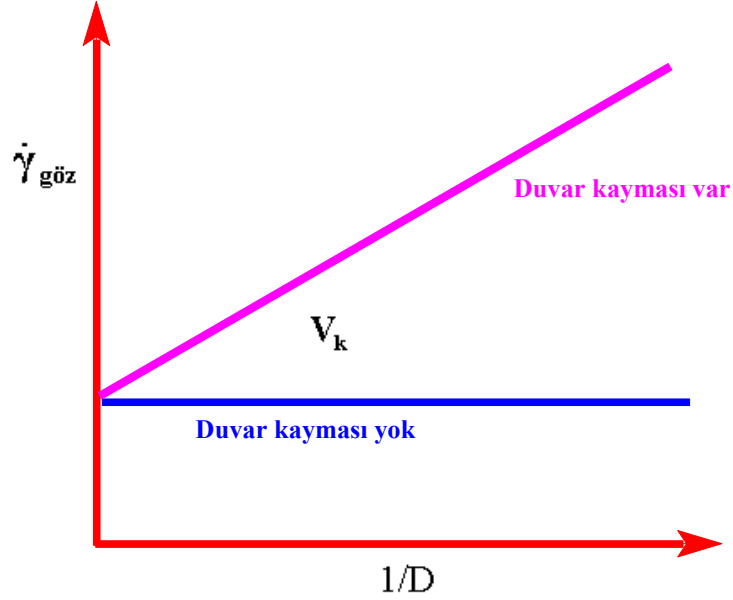
$$V_k = \alpha(\tau_B) \quad (1.12)$$

Burada α , kayma katsayısıdır ve böylece,

$$\left(\frac{8V_o}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + (8\alpha\tau_B)\frac{1}{D} \quad (1.13)$$

Sonuç olarak belli bir duvar kesme geriliminde (τ_B) nominal Newtonian kesme hızınının ($(8V_o/D)$ veya $\dot{\gamma}_{göz}$) kapiler kanalın çapının çarpmaya göre tersi değerine

(1/D) karşı eğrisi Şekil 1.5'te görüldüğü gibi düz bir doğru vermelidir. Eğer düz bir doğru elde edilemiyorsa bu metod bu pastaya uygulanamaz. Bu durumda Jastrzebski tarafından geliştirilen denklem uygulanabilir [22].



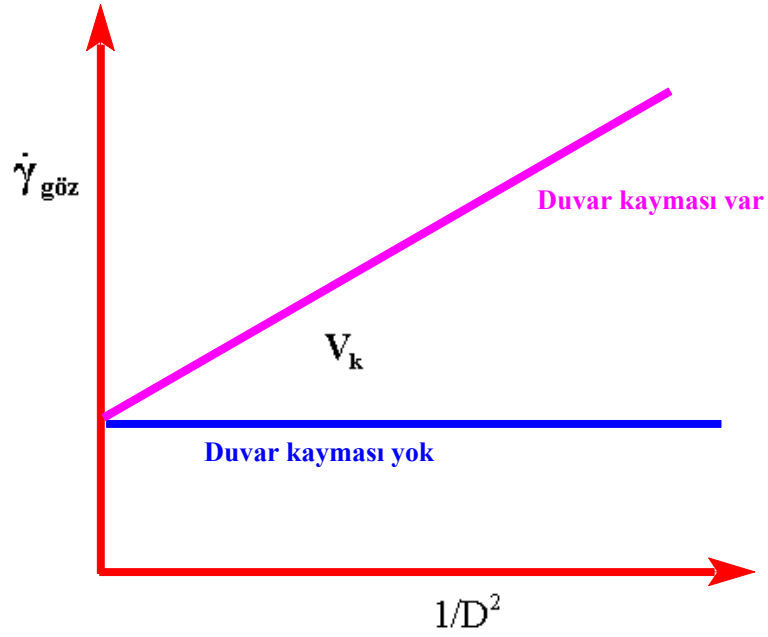
Şekil 1.5 Mooney metoduna göre duvar kayma analizi grafiği

1.8.2 Jastrzebski Metodu

Jastrzebski metodu aşağıdaki denklemle verilebilir:

$$\left(\frac{8V_o}{D}\right)_{göz} = \left(\frac{8V_g}{D}\right)_{ger} + (8\beta\tau_B)\frac{1}{D^2} \quad (1.14)$$

Bu eşitlikte uygun kayma hızının, duvar kesme gerilimine ilaveten kapiler kanalın çapıyla da etkilenebileceği belirtilmektedir. Burada $\beta = \alpha \cdot D$ düzeltilmiş yada modifiye edilmiş kayma katsayısıdır. Belli bir duvar gerilimi için (τ_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 [10]. Şekil 1.6, Jastrzebski metodu için $\dot{\gamma}_{göz}$ 'nin $1/D^2$ ile değişimine ait eğrileri göstermektedir.



Şekil 1.6 Jastrzebski metoduna göre duvar kayma analizi grafiği

1.8.3 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 oranlı (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 ya da ihmal edilebilir olduğunda doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu tür metotlar için Bagley tekniği gibi bir giriş basınç düzeltmesi kullanmak gereklidir [22].

1.8.4 Renk Yapma Metodu

Bir kapiler kanal içerisinden akan pastanın duvar kayma hızı, Şekil 1.7'de 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. Ekstrusiyon 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 1.7a). Bu durumda ekstrusiyon işlemine devam edilir ve belli bir zaman sonra tekrar durdurulur. Renklendirilmiş kısımdaki uzunluk oranından belli bir ekstrudat hızı için kayma hızı belirlenebilir. Ekstrusiyon 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 1.7b). 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:

$$v_{g,rel} = \left(\frac{L_g}{t_1} \right) / \left(\frac{L}{t_1} \right) = \left(\frac{L_g}{L} \right) \quad (1.15)$$

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

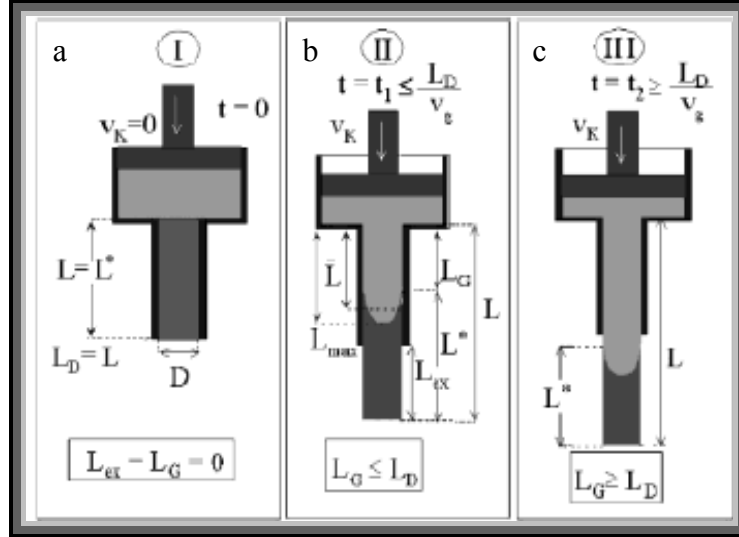
$$v_{g,rel} = \left(\frac{L_g}{L_{ext}} \right) = (L - L^*) / (L - L_D) \quad (1.16)$$

Ekstrusiyon zamanı ($t=t_2$), L_D/v_g 'den daha büyük ise, o zaman ayırma çizgisi kapiler kanalın dışında meydana gelecektir (Şekil 1.7c). Bu durumda etkin kayma uzunluğu (L_{Ge}) kapiler kanal uzunluğuna (L_D) eşit olur ve relatif kayma hızı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$v_{g,rel} = L_D / L^* \quad (1.17)$$

Bu durumda özel olarak dizayn edilmiş ayrı bir kapiler kanala gerek yoktur. Prensipten olarak, herhangi bir kapiler reometre, bu türden deneyler için kullanılabilir. Lineer

kayma hızı, ekstrudat hızı yada kapiler reometrede belirlenen kesme gerilimi ile ilgili olabilir [22].



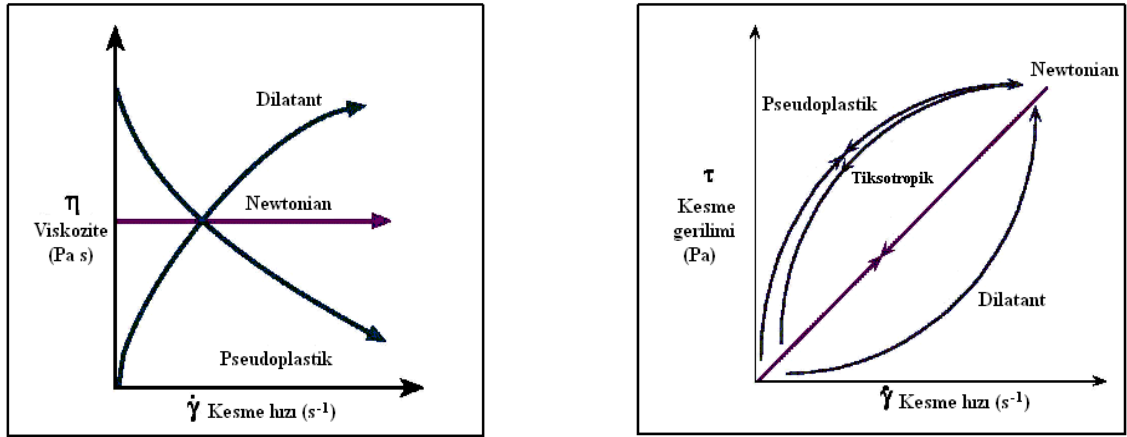
Şekil 1.7 Ekstrüzyondan önce ve kısmi ekstrüzyondan sonra barel ve kapiler kanaldaki renklendirilmiş kesitin şematik gösterimi

1.9 Reolojik Modeller

Sıvıların akış özellikleri ile ilgili bilgiler elde etmek için genelde kesme hızı ($\dot{\gamma}$), kesme gerilimine (τ) karşı grafik edilir. Kesme gerilimi ve kesme hızını içeren kavramlar sıvı akışının matematiksel modellenmesine olanak sağlar. *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.

Bir sıvıya uygulanan kuvvetin miktarı *kesme hızını* belirler. Uygulanan kesme hızına ya da kuvvete sıvının göstermiş olduğu direnç, *kesme gerilimi* olarak adlandırılır. Çoğu sıvının akış özellikleri önerilmiş modellerin herhangi birisine tam olarak uymaz, ancak bir ya da daha fazlası ile pratik amaçlar için sıvıların akış özellikleri açıklanabilir. Bu modellerde çoğu zaman akış basıncının akış hızına karşı ya da kesme geriliminin kesme hızına karşı grafikleri çizilir. Şekil 1.8, akışkanlar

için karşılaşılan viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrilerini göstermektedir. Literatürde yarı-katımsı malzemelerin reolojik özelliklerini tanımlamak için kullanılan çok sayıda model bulunmaktadır. Bu modeller akışkanların akış davranışlarını karakterize etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kritik kesme gerilimini içeren modeller *viskoplastik modeller* olarak bilinir. Akış modelleri, zamandan bağımsız ve zamana bağlı olmak üzere iki sınıfta incelenebilir [1].



Şekil 1.8 Viskozite-kesme hızı veya kesme gerilimi-kesme hızı eğrilerine bağlı olarak akışkanların özellikleri

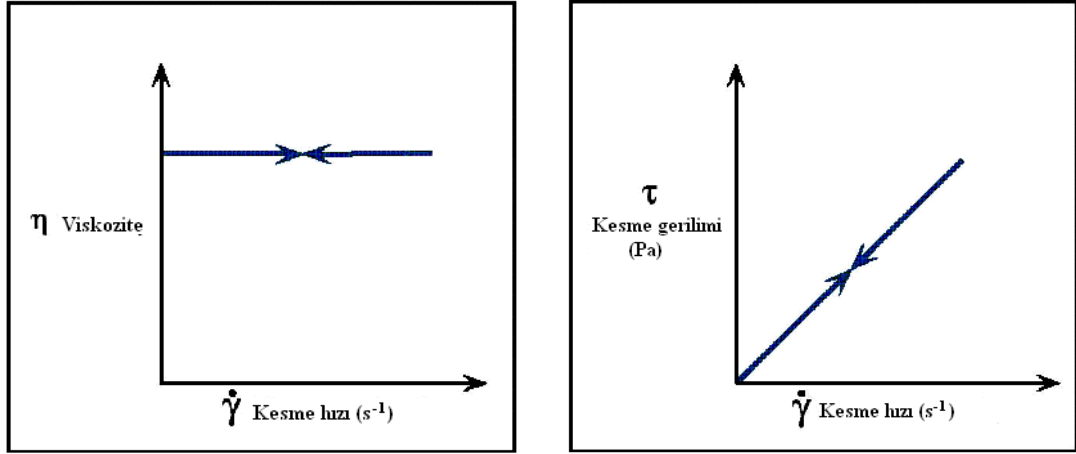
1.9.1 Zamana Bağlı Olmayan Akış Davranışı

1.9.1.1 Newtonian Akışkanlar

Newtonian akış davranışı sergileyen bir malzeme için kesme gerilimi ve kesme hızı birbiri ile orantılıdır ve tek bir parametre (η), verileri karakterize eder. Şekil 1.9, Newtonian akış özelliği gösteren akışkanlar için viskozitenin kesme hızı ile ve kesme geriliminin kesme hızı ile değişimini göstermektedir. Newtonian akışkanlar; su, şeker şurubu, çoğu ballar, filtre edilmiş meyve suları, süt gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler içeren akışkanlardır ve akış davranışı, aşağıdaki eşitlikle verilebilir [1, 23].

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1.18)$$

Kesme gerilimi-kesme hızı eğrisi doğrusal olmayan ve/veya eğrisi orijinden başlamayan yada yapısal değişimlerin bir sonucu olarak zamana bağlı reolojik davranış sergileyen tüm akışkanlar *non-Newtonian* akışkan olarak adlandırılır. Newtonian akışkanlar için akış davranışı sadece kesme hızına bağlıdır ve kesme süresine bağlı değildir [1, 14].



Şekil 1.9 Newtonian akışkanlar için karakteristik reolojik değişim grafikleri

1.9.1.2 Non-Newtonian Akış Modelleri

Non-Newtonian akışkan, kesme hızı ile kesme gerilimi arasındaki ilişkinin Newtonian olmadığı akışkandır. Pastaların da içerisinde olduğu yüksek molekül ağırlıklı sıvılar ve içerisinde küçük taneciklerin dağıldığı süspansiyonlar genellikle non-Newtonian'dır [15].

1.9.1.2.1 Power Law Modeli

Power Law modeli, kesme geriliminin kesme hızı ile üstel olarak değişimini gösteren iki parametrelili bir modeldir. Bu model aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1.19)$$

Burada kıvamlılık indeksi olan K (Pa s^n), 1 s^{-1} kesme hızındaki kesme gerilimi; akış davranışı indeksi olan üstel terim n ise birimsizdir. Deneysel verilerin bu modelle uyumlu olabilmesi için $K > 0$ ve $0 < n < 1$ olmalıdır (Şekil 1.10). n 'in 1'e eşit olduğu Newtonian akışkanın özel durumu için kıvamlılık sabiti K , akışkanın viskozitesine eşittir. $n < 1$ olduğunda akışkan kesme incelmesi ve $n > 1$ olduğunda kesme kalınlaşması davranışı sergiler (Şekil 1.11).

Yukarıdaki eşitliğin her iki tarafının logaritması alındığında:

$$\log \tau = \log K + n \log \dot{\gamma} \quad (1.20)$$

elde edilir. K ve n parametreleri sırasıyla $\log \dot{\gamma}$ 'nin $\log \tau$ 'ya karşı doğrusunun ekstrapolasyon ve eğim değerlerinden belirlenir. Power Law modeli, kesme hızı-kesme gerilimi verilerini tanımlayan iki parametre (K ve n) içerdiğinden dolayı yarı-katımsı malzemeleri karakterize etmek için de yaygın olarak kullanılmaktadır.

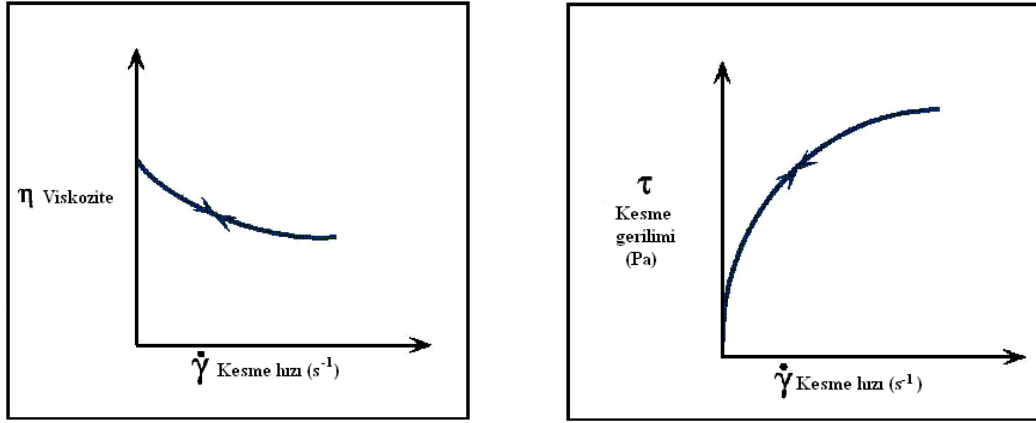
Power Law modeli, iyi bilinen ve faydalı bir model olmasının yanında, modelin deneysel doğası iki açıdan oldukça önem taşımaktadır. Birincisi birçok ticari viskozimetrenin çalıştığı 10^1 - 10^4 s^{-1} kesme hızı aralığında uygulanabilir olması ve ikincisi ise kıvamlılık ve akış davranışı indeksleri büyüklüklerinin, kullanılmış olan belirli kesme hızı aralığına bağlı olmasıdır. Böylece farklı örneklerin özellikleri karşılaştırıldığında belli bir kesme hızı aralığında K ve n 'nin değerlerini belirlemek olasıdır. Power Law modelinin dezavantajı ise, kesme incelmesi davranışı sergileyen malzemelerin düşük ve yüksek kesme hızı ve viskozite verilerini tanımlayamamasıdır [1, 17, 24-26].

1.9.1.2.2 Bingham Plastik Modeli

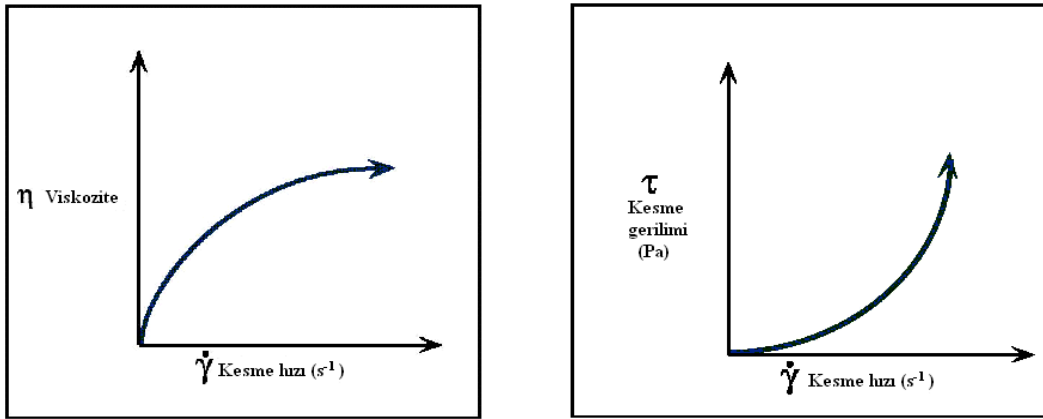
Bingham plastik modeli, kesme hızı ve kesme gerilimi arasındaki ilişkiyi gösteren iki parametrelili bir modeldir. Kritik kesme gerilimi (τ_0) sergileyen plastik materyaller için Bingham modeli aşağıdaki gibi verilir:

$$\tau = \tau_0 + \mu_\infty \dot{\gamma} \quad (1.21)$$

Burada (μ_∞), Bingham plastik viskozitesi olarak adlandırılır. Bingham plastik modeli için kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki ilişki doğrusaldır. Kesme hızının kesme gerilimine karşı eğrisinin eğim ve ekstrapolasyon değerlerinden sırasıyla Bingham plastik viskozitesi ve kritik kesme gerilimi değerleri belirlenebilir [1, 17, 24, 27].



Şekil 1.10 Power Law modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri ($0 < n < 1$)



Şekil 1.11 Power Law modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri ($n > 1$)

1.9.1.2.3 Casson 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:

$$\tau^{1/2} = \tau_{0C}^{1/2} + \mu_{\infty}^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad (1.22)$$

Bir örnek için elde edilen deneysel verilerden, kesme hızının kare kökü $(\dot{\gamma})^{1/2}$, kesme geriliminin kare köküne karşı $(\tau)^{1/2}$ grafik edildiğinde eğimi $\mu_{\infty}^{1/2}$ ve ekstrapolasyonu $\tau_{0C}^{1/2}$ olan düz bir doğru elde edilirse Casson modeli ile uyum sergilediği söylenir [1, 26, 27].

1.9.1.2.4 Herschel-Bulkley Modeli

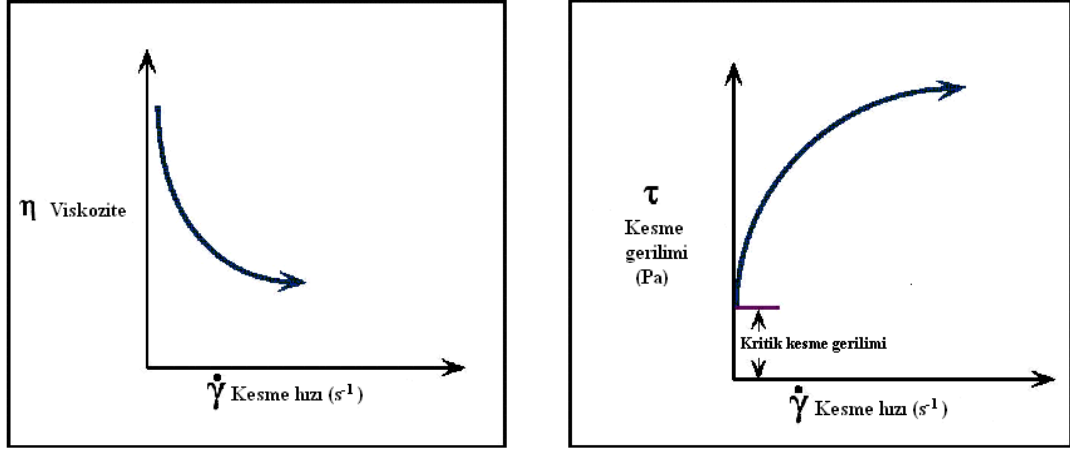
Herschel-Bulkley modeli Newtonian, Bingham Plastik ve Power Law akışkanlarını tanımlayan üç parametrelili bir modeldir ve aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\tau - \tau_0 = K_H (\dot{\gamma})^{n_H} \quad (1.23)$$

ya da

$$\tau = \tau_0 + K_H (\dot{\gamma})^{n_H} \quad (1.24)$$

Burada $\dot{\gamma}$, kesme hızı (s^{-1}); τ , kesme gerilimi (Pa); n_H , akış davranışı indeksi; K_H , kıvamlılık indeksi; ve τ_0 , kritik kesme gerilimidir. Bir örneğin kritik kesme gerilimi, bağımsız bir deneyden biliniirse K_H ve n_H 'ın değerleri, $\log(\tau - \tau_0)$ 'ın $\log \dot{\gamma}$ 'ya karşı eğrisinin ekstrapolasyon ve eğim değerlerinden belirlenebilir. Ayrıca non-lineer regresyon tekniği, τ_0 , K_H ve n_H değerlerini belirlemek için de kullanılabilir [1, 21, 24, 27].



Şekil 1.12 Herschel-Bulkley modeli için viskozite-kesme hızı ve kesme gerilimi-kesme hızı eğrileri

1.9.1.2.5 Quemada Modeli

Quemada, dispersiyon sistemleri için sıfır kesme (η_0) ve sonsuz kesme (η_∞) viskozite esaslı bir viskozite eşitliği önerdi ve aşağıdaki bağıntı ile tanımlanan kesme hızına bağlı yapısal bir parametre tanımladı:

$$\frac{\eta}{\eta_\infty} = \frac{1}{\left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{\eta_\infty}{\eta_0} \right)^{1/2} \right] \lambda \right\}^2} \quad (1.25)$$

$$\lambda = \frac{1}{\left[1 + (t_c \dot{\gamma})^{1/2} \right]} \quad (1.26)$$

Burada zaman sabiti (t_c), Brownian hareketinden dolayı taneciklerin toplanma hızı ile ilgilidir. Oldukça yüksek konsantrasyonlu dispersiyon sistemleri için η_∞ , η_0 'dan çok daha düşük olacaktır. Böylece $(\eta_\infty / \eta_0) \ll 1$ ve dispersiyon, bir kritik kesme gerilimine sahip olur. Bu durumda yukarıdaki eşitlik, kritik kesme gerilimi $\tau_{0c} = (\eta_\infty / t_c)$ olan Casson modeline indirgenir. Böylece Casson-Quemada modeli, dispersiyonların reolojik davranışını incelemek için kullanılabilir [1].

1.9.1.2.6 Ofoli Modeli

Herschel-Bulkley, Casson ve diğer modellere indirgenebilen kesme gerilimi-kesme hızı verileri için genel bir model, Ofoli ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir.

$$\tau^{n_1} = \tau_0^{n_1} + \eta_\infty (\dot{\gamma})^{n_2} \quad (1.27)$$

Burada n_1 ve n_2 , sabitler ve η_∞ , sonsuz kesme viskozitesidir [1].

1.9.2 Zamana Bağlı Akış Davranışı

Zamana bağlı kesme incelmesi davranışı sergileyen akışkanların tiksotropik akış davranışı sergilediği ifade edilmektedir. Tiksotropi, kolloid biliminde kayıtlara geçmiş en eski reolojik olaylardan biridir. Ancak tanımı konusunda hala bir karışıklık söz konusudur. Tiksotropik davranış sergileyen akışkanların çoğu, çok küçük tanecikli disperse bir fazı içeren heterojen sistemlerdir. Mikroyapıdaki değişimlerin çok karmaşık olması nedeni ile tiksotropinin çok az bir kısmı anlaşılabilmiştir ve tiksotropik davranışın özelliklerini tam anlamıyla tanımlayabilen bir reolojik model henüz geliştirilememiştir. Bununla birlikte bu kavram endüstride ve doğal sistemlerde oldukça yaygındır. Minerallerin, metallerin, gıda ürünlerinin, farmasötiklerin ve seramiklerin işlenmesi de dahil olmak üzere, kaplamalar ve boyalar, mürekkepler, betonarme ve jeller gibi pek çok endüstriyel aktivitede reolojik zaman etkileri ile karşılaşılabilir. Tiksotropi terimi, mekanik etkilerle hücre protoplazmasının sıvılaştırılabileceğini bulan Peterfi'nin bir önerisine dayanarak Freundlich tarafından önerilmiştir. İsim, Yunanca'da sallama, çalkalama anlamındaki "thixis" ve dönme, değişme anlamındaki "trepo" kelimelerinin birleşmesinden türemiştir. Günümüzde bazı teknik literatürlerde tiksotropi ile kesme incelmesi arasında bir karışıklık olsa da, bilim çevresinde tiksotropi tanımına yönelik genel bir fikir birliği mevcuttur. *Tiksotropi*, bir örneğe kesme hızı uygulandığında zamanla viskozitenin azalması anlamına gelir ve kesme hızı kaldırıldığında viskozitenin başlangıç değerine dönüşünün aynı sürede meydana geldiğini gösteren

bir terimdir. Bu tanım, IUPAC terminolojisi ile tutarlıdır [17, 28, 29]. Tikotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrileri Şekil 1.13'te gösterilmektedir.

Tikotropik materyallerin kompleks reolojik davranışları çoğunlukla tanecikler arası zayıf çekim kuvvetlerinin bir sonucu olarak açıklanır. Bu, normal olarak boşluk dolgululu tanecikli bir ağa dönüşen flokların oluşumuna neden olur. Ancak tanecikler arası bağlar akış boyunca oluşan mekanik gerilimlerle kırılacak kadar zayıftır. Sonuçta akış boyunca, gerilme hızı arttıkça boyutta bir azalma ile bu ağ ayrı floklarda kırılmaya uğrar. Bu durum ise viskozitenin azalmasına ve tikotropik davranışın ortaya çıkmasına sebep olur. Kesme hızının azalması flokların büyümesine neden olacaktır. Akışı durdurmak, parçacıklı ağın yeniden yapılanmasını sağlayacaktır [28].

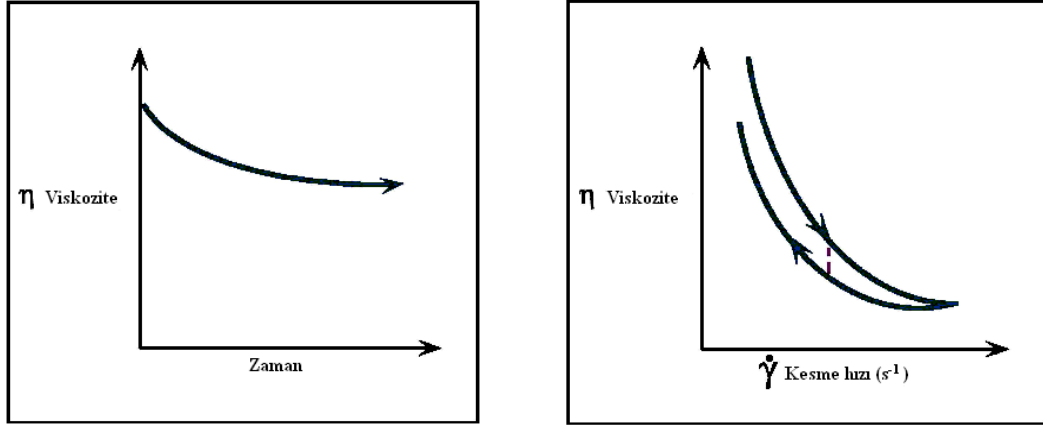
Zamana bağlı kesme kalınlaşması davranışı, antitiktotropik davranış olarak adlandırılır. Önceleri bu davranış reopektik davranış olarak da adlandırılmaktaydı, ancak reoloji topluluğu reopektik terimi yerine antitiktotropik terimini kullanılmasını tavsiye etmektedir. Şekil 1.14, antitiktotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrilerini göstermektedir. Reolojik veriler, zamana bağlı reolojik davranışı karakterize etmek için kullanılabilir. Literatürde zamana bağlı reolojik verileri karakterize etmek için en yaygın olarak kullanılan reolojik modeller aşağıda verilmektedir [1].

1.9.2.1 Weltman Modeli

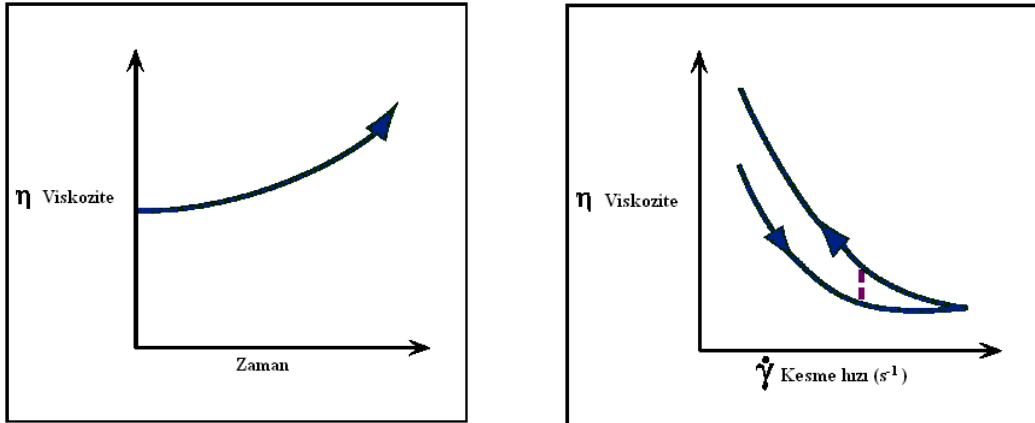
Weltman modeli, bir örneğin tikotropik ve antitiktotropik davranışını karakterize etmek için kullanılmaktadır. Weltman modeli aşağıdaki denklem ile verilmektedir:

$$\tau = A - B \log t \quad (1.28)$$

Burada τ , kesme gerilimi (Pa); t , zaman (s); A ve B ise $t=1$ s'deki gerilim değeri olan sabitlerdir. Weltman modeline göre τ 'nın $\log t$ 'ye karşı eğrisi, eğimi $-B$ ve ekstrapolasyonu A olan düz bir doğru verecektir. Tiksotropik davranışta B, negatif değer ve antitiksotropik davranışta ise B, pozitif değerler alır [1].



Şekil 1.13 Tiksotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrileri



Şekil 1.14 Antitiksotropik davranış sergileyen akışkanların viskozite-zaman ve viskozite-kesme hızı eğrileri

1.9.2.2 Tiu ve Boger Modeli

Kritik kesme gerilimi sergileyen örneklerin tiksotropik davranışını incelemek için daha ayrıntılı bir model Tiu ve Boger tarafından geliştirilmiştir. Tiu ve Boger, modifiye edilmiş Herschel-Bulkley modelinden yararlanarak zamana bağlı reolojik davranışları incelemek için kesme gerilimini,

$$\tau = \lambda \left[\tau_0 + K_H (\dot{\gamma})^{n_H} \right] \quad (1.29)$$

bağıntısı ile verdi. Bu eşitlikte τ , kesme gerilimi (Pa); $\dot{\gamma}$, kesme hızı (s^{-1}); λ , zamana bağlı yapısal bir parametre; τ_0 , kritik kesme gerilimi (Pa); K_H , kıvamlılık sabiti (Pa); ve n_H , akış davranışı indeksidir. Zamanla yapısal parametrelerin bozunmasının, ikinci derece kinetiğe uyduğu farz edilir. Bu durumda,

$$\frac{d\lambda}{dt} = -k_1 (\lambda - \lambda_e)^2 \quad (1.30)$$

yazılabilir. Burada k_1 sabiti, deneysel olarak belirlenebilen kesme hızının bir fonksiyonudur. τ_0 , K_H ve n 'in belirlenmesi olası olduğundan, k_1 ve λ_e 'in tayini, viskozite değerlerini gerektirir.

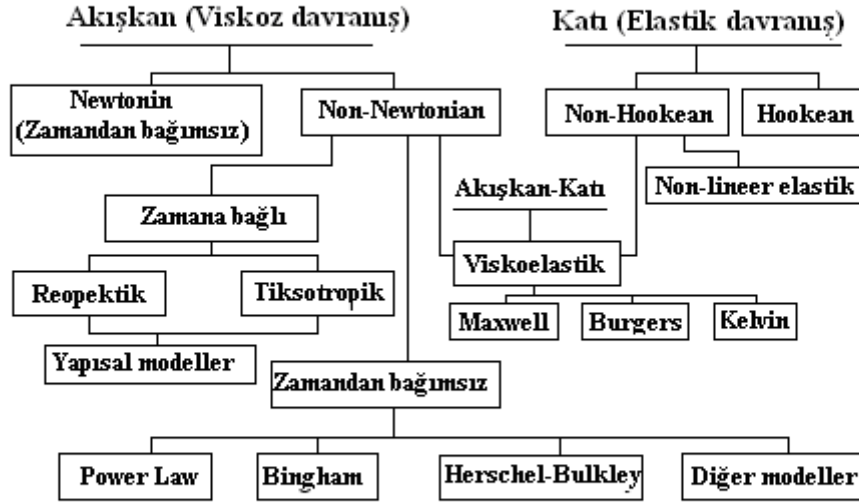
$$\lambda = \frac{\eta_a \dot{\gamma}}{\tau_0 + K_H \dot{\gamma}^{n_H}} \quad (1.31)$$

$$\frac{d\eta_a}{dt} = -a_1 (\eta_a - \eta_e)^2 \quad (1.32)$$

$$\frac{1}{\eta_a - \eta_e} = \frac{1}{\eta_a - \eta_e} + a_1 t \quad (1.33)$$

$$a_1(\dot{\gamma}) = \frac{k_1 \dot{\gamma}}{\tau_0 + K_H \dot{\gamma}^{n_H}} \quad (1.34)$$

Burada $1/(\eta_a - \eta_e)$ 'nin zamana (t) karşı eğrisi eğimi a_1 olan düz bir doğru verecektir [1, 14]. Yukarıda açıklanan akış modelleri Şekil 1.15'te toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.15 Reolojik davranışın sınıflandırılması

1.10 Viskozite Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Belli bir kesme hızında uygun viskozite üzerine sıcaklığın etkisi Arrhenius ilişkisi ile verilebilir.

$$\eta_a = \eta_{\infty A} e^{(E_a/RT)} \quad (1.35)$$

Burada η_a , belli bir kesme hızındaki viskozite; $\eta_{\infty A}$, frekans faktörü; E_a , aktivasyon enerjisi (J/mol); R, ideal gaz sabiti (J/molK) ve T, sıcaklıktır (K). E_a 'nın değeri, akış prosesi meydana gelmeden önce yenilmesi ya da aşılması gereken enerji bariyeridir.

$e^{(E_a/RT)}$ terimi, enerji bariyerini geçmek için gerekli enerjiye sahip moleküllerin kesrini veren bir Boltzmann faktörü olarak açıklanabilir. Bununla birlikte E_a , viskoz akış için aktivasyon enerjisidir. $\ln\eta_a$ 'nın $(1/T)$ 'ye karşı eğrisinden E_a ve $\ln\eta_{\infty A}$ değerleri bulunur. [1, 30].

1.11 Literatür Özeti

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

Bir disperse madde, bir bağlayıcı ve mikronaltı alumina parçacıkları kullanılarak hazırlanan sulu pastanın kapiler ekstrüzyon davranışı paralel tabaka rotasyonel reometre ile ve Jastrzebski tarafından verilen analiz metoduyla incelendiğinde, kapiler ekstrüzyon boyunca oluşan akmanın ağırlıklı olarak kapilerin duvarlarındaki kayma prosesi tarafından ilerletildiği ve deformasyon geriliminin barel çapı/kapiler çapı (D_0/D) oranından bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Çoğu önemli seramik reçeteleri için duvar kayması oluşumu, özel bir proses operasyonunun uygulanmasında önemli bir sorun olarak karşımıza çıktığı da düşünüldüğünde seramik pastası materyallerinin reolojik özelliklerini geleneksel yöntemler kullanarak karakterize etmenin oldukça zor olduğu belirtilmiştir [10]. Seramik pastaların reolojik analizleri yapıldığında deneysel sonuçların nümerik modeller ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür [31]. Bir kapiler reometre kullanarak polimer ve cam mikro kürecikler içeren belli sıcaklıktaki bir konsantrasyon süspansiyon eriyiğinin duvar kayması üzerine parçacık konsantrasyonunun etkileri deneysel olarak çalışılmış ve bu süspansiyonun akış davranışını tanımlamak için parçacık konsantrasyonuna bağlı yeni bir kayma modeli önerilmiştir [32].

Aluminyum oksit ve silikon yağı (AK 1 000 000) karıştırılarak hazırlanan pastaların ekstrüzyon davranışını tanımlamak ve pastaların kayma prosesini araştırmak için yeni bir kapiler reometre geçirgen duvar kapileri geliştirilmiş, kayma hızını resimlerle doğrulamak ve basınç düşmesinin oluşumunu takip edebilmek için kamera ve basınç sensörleri kullanılmış; sonuçta duvar kayması davranışının katı faz

konsantrasyonu, ekstrudat hızı ve kapiler kanal boyutları gibi bazı parametrelere bağlı olduğu ve duvar boyunca artan bir kayma eğilimi olduğu belirlenmiştir [18, 33-35]. Aynı pastaların ekstrüzyon kapilerindeki duvar kayması davranışları renk yapma metodu ile incelenmiş ve hem kapiler kanal içerisindeki ortalama duvar kayması hızı hem de lokal duvar kayması hız profilleri belirlenmiştir. Ayrıca pastaların duvar kayması davranışı üzerine ekstrüzyon hızı, kesme gerilimi, kapiler kanal boyutları ve geometrik şekli, akışkan fazın yapısı, katı faz konsantrasyonu, pasta hazırlama metodu ve duvar sertliği gibi bazı parametrelerin etkileri çalışılmış; ekstrüzyon koşullarında pastanın stabilitesi ve akış eğrileri tespit edilmiştir [21, 36, 37]. Yüksek basınçlı kapiler reometre kullanılarak silikon yağı ile hazırlanan alüminyum oksit pastalarının ekstrüzyon özelliklerinin belirlendiği çalışmada kesme gerilimi ve kapiler kanal girişindeki basınç kaybının katı konsantrasyonuna bağlı olduğu, akış profillerini görüntüleme tekniğinin klasik kapiler reometriyi tamamlayıcı nitelik taşıdığı ve ekstrüzyon boyunca oluşan lokal deformasyonlara bir açıklama getirdiği ve duvar boyunca artan bir kayma eğilimi olduğu sonucuna varılmıştır [35].

Parçacıklı pastaların ekstrüzyon davranışına sıvı faz reolojisinin etkisini belirlemek için yapılan deneylerde pastaların özelliklerinin doğrudan hazırlandığı sıvıya bağlı olduğu, pastaların ve sıvı fazların reolojik özelliklerinin ise sıvı tipi, sıvı miktarı ve ekstrüzyon hızından bağımsız olan faktörlerden etkilendiği tespit edilmiştir [38]. Eşmerkezli bir silindir ve vanadan oluşan bir rotasyonel reometre kullanarak çimento pastasının viskoelastik ölçümleri ve kritik kesme gerilimi üzerine duvar kaymasının etkisi incelendiğinde, kesme gerilimi kritik kesme noktasına yaklaştığında silindirin duvarlarında oluşan su açısından zengin tabakadan dolayı ölçümler boyunca kayma görülmüştür [39].

Pastaların tek vidalı ekstruder ile ekstrüzyonunda basınç oluşumunun tahmin edilmesine yönelik bir metod geliştirilmesi amaçlanmış ve bu yaklaşımın geçerliliği test edilmiştir. Ayrıca pastalar uzun süre deformasyona tabi tutulduklarında ortaya çıkan fiziksel mekanizma yüzey kesme geriliminin doğrudan ölçümünü gerekli kılmıştır [40]. Ticari olarak kullanılan serigrafi pastalarının reolojik davranışları üzerine çözücü türünün, bağlayıcı miktarının ve dolgu maddesinin yüzey

özelliklerinin etkilerini belirlemek üzere bir sistem hazırlanmış, viskozite üzerine kesme hızının etkisi ve pastanın akışkanlığı ile yazma karakteristiği arasındaki ilişki araştırılmış ve sonuçta bu pastaların serigrafi uygulaması için tam olarak uygun olmadığı ve ortamdaki dolgu maddesinin dispersiyon kalitesini belirleyen dolgu maddesinin yüzey özelliğinin pastanın reolojik özelliklerinin değişiminde önemli bir rol oynadığı ve çözücü etkisinin de göz ardı edilemeyeceği belirlenmiştir [41].

Killi ve yapışkan toprakların ve mineral süspansiyonlarının dışarıdan uygulanan gerilimlere gösterdikleri mekanik davranışın belirlenmesi için reometrinin uygun bir metot olduğu tespit edilmiştir [42]. Ekstrüzyon ve granülleşme için pudra temelli bir pastanın reolojik çalışması yapıldığında bu karakterizasyonun oldukça zor olduğu ve akış boyunca pudra tabakalarının yeniden yönlendiği görülmüştür [43]. Katı roket yakıtı benzeri bir konsantre süspansiyonun reolojik davranışı birden fazla reometre yardımıyla ve bükülen ve kapiler akışlar uygulanarak karakterize edildiğinde süspansiyonun doğasının kesme incelmeye yöneldiği, katı hacim kesri arttıkça reolojik karakterizasyonun giderek daha zor olduğu tespit edilmiştir [44].

Polimer ve seramik karışımından oluşan refrakter pastasının ekstrüzyon davranışı üzerine sıcaklığı etkisi incelenmiş ve sıcaklık arttıkça ekstrüzyon basıncında ve bağlayıcı viskozitesinde bir azalma gözlenmiştir [45]. Eğri tüplerdeki alumina, bentonit, patates nişastası, glikoz ve suyun belli oranlarda alınmasıyla hazırlanmış olan pastaların akış davranışları kompleks bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır [46]. Laponit ve karboksimetilselüloz ile hazırlanan tiksotropik bir karışımın sulu süspansiyonlarının reolojisi ve boru akışlarındaki hidrodinamik davranışları üzerine çalışılmış, sonuçta en düşük derişimde laponit süspansiyonunun inelastik, diğerlerinin ise elastik oldukları belirlenmiştir [47]. Kolloidal silika kaplamak suretiyle modifiye edilen trimetoksisilan (glisidoksiyopropil) kaplamasının materyal özellikleri ile çözeltinin reolojik özellikleri arasındaki ilişki belirlenmiş, organik bağlayıcı içeren süspansiyon sistemleri üzerine daha fazla reolojik çalışma yapılması gerektiği de bildirilmiştir [48].

Polimerik süspansiyonların akışı esnasında oluşan duvar kayması üzerine hacim kesri ve tanecik boyutunun etkisini incelemek için 37 ile 231 µm tane boyutu

aralığındaki polimetil metakrilat ile hazırlanan model süspansiyonlarının akış davranışı paralel disk reometre ile incelenmiştir. Sonuçta bu süspansiyonların Newtonian ve kesme incilmesi akış davranışına uyduğu, süspansiyon içerisindeki taneciklerin hacim kesri arttıkça duvar kayması hızının da artış gösterdiği, düşük hacim kesirlerinde ise duvar kaymasının önemsiz olduğu, tanecik boyutu artarken sterik engelin bir sonucu olarak duvar kayması hızının da arttığı görülmüştür [49]. Ekstrüzyon metoduyla yönlendirilmiş gözenekleri olan alüminanın hazırlanmasında pastanın reolojisi üzerine dispersan etkisini incelemek üzere dispersan olarak polikarboksilik asit alümina tozunun yüzeyine adsorbe edilerek viskozite ölçümleri yapılmış ve artan dispersan miktarına karşılık süspansiyonun görünür viskozitesinde azalma gözlenmiştir [50].

Bağlayıcı bir reaktif olarak boehmitin kullanıldığı alümina-alüminyumtitanat kompozitlerinin ekstrüzyon karakteristiğini belirlemek üzere yapılan çalışmada farklı kesme hızlarında reolojik ölçümler alınmış ve alümina pastalarının viskozite eğrileri kesme incilmesi akış davranışı sergilemiştir. Ayrıca boehmit bağlayıcısı ile iyi bir ekstrüzyon çalışması yapılabileceği de belirtilmiştir [51]. Nişasta, sakız ve bunların karışımlarının belli sıcaklık aralığında Brookfield reometresi kullanılarak tork, viskozite ve kesme hızı gibi bazı reolojik ölçümleri yapılmış ve deneysel bulgular Bingham, Casson ve Power-Law gibi analizlere tabi tutulmuştur. Non-newtonian akış modeli ile tanımlanabilen bu pasta pseudoplastik olarak sınıflandırılabilir. Bu reolojik sonuçlar mevcut sistemlerin tarım ve eczacılık endüstrisinde kontrollü salınım cihazlarının gelişiminde faydalı olacağını göstermektedir [52].

Çimento pastası ve betonun akış davranışı üzerine mineral katkılarının etkisini incelemek için paralel tabakalı reometre kullanılarak bazı reolojik testler uygulandı ve çok ince uçucu kül katkılı çimento pastası düşük kritik kesme gerilimi ve viskozitesinden dolayı en iyi pasta olarak belirlendi [53]. Çimento pastalarının reolojik özelliklerini nasıl ve ne kadar kil katkılarının değiştireceği kesme ve bastırma reolojik teknikleri kullanılarak araştırılmış ve yapılan testlerden elde edilen bilgi, mikro ve makro davranışlar arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu [54]; pastanın reolojisi ile çimento karakteristiğini Bingham ve Herschel-Bulkley gibi

modellerin yeterince açıklayamadığını [24]; ancak son zamanlarda geliştirilen tek boyutlu modelin konsantre çimento pastalarının anlaşılmasında önemli bir rol üstlendiğini göstermiştir [55].

Polidimetilsiloksan (PDMS) zambak ve silikon lastik bileşikleri için elde edilen kapiler reometrik veriler ışığında kayma hızlarını hesaplamaya yönelik bir kayma analizi geliştirilmiş ve bu analiz ile kayma davranışı üzerine kapiler kanal geometrisinin etkisini dahil etmek için Mooney metodu genelleştirilmiştir [56]. Hacimce oldukça dolgulu bir süspansiyonun reolojik davranışının incelendiği bir çalışmada kapiler ve paralel disk burkulma akışları uygulanmış, sonuçta süspansiyonun her iki akış durumunda da duvarlarda kuvvetli bir kayma oluşturduğu ve kayma hızının kesme gerilimi ile yaklaşık olarak lineer bir artış gösterdiği saptanmıştır [57]. Dispersiyonların en önemli özelliklerinden biri olan tiksotropik davranışın incelendiği bir çalışmada Mg-Al tabakalı çift hidroksit/kaolinit dispersiyonları ele alınmış ve deneyler sonucunda elde edilen reolojik bulgular bu dispersiyonların kompleks bir tiksotropik davranış sergilediğini göstermiştir [58]. Dolgulu silikon polimerlerin reolojisi incelendiğinde plastisin ile karıştırılmış yüksek viskoziteli silikon polimerlerinin, plastisin miktarı %10'u aştığında gerilmeye bağlı materyaller oluşturduğu, bu bağlılığın ancak çok küçük bir gerilmeye maruz bırakıldığında oluştuğu, bu gerilim değeri aşıldığında bu bağlılığın yok olduğu ve materyalin Power Law lineer viskoelastik davranış sergilediği görülmüştür [59]. Farklı silikon yağları içerisinde dağılmış olan dumanlı titanyum dioksit (titania) parçacıklarının reolojik özellikleri, titania içeriği ve yüzey özelliklerinin bir fonksiyonu olarak viskozite ölçümleri yapılarak incelenmiş ve hidrofilik titania parçacıklarının silikon yağı içerisinde dağıldığında hidrofobik süspansiyon ile kıyaslandığında daha kuvvetli kesme incelmeleri davranışı sergilediği görülmüştür [60].

1.12 Çalışmanın Amacı

Günümüz seramik endüstrisinde, ürünlerin hammadde giderlerinin düşürülebilmesi için alternatif hammaddelerin kullanımı büyük önem kazanmaktadır. Kalite ve verimliliğin artırılması için üretilen yeni teknolojiler seramik endüstrisinde yeni malzemelerin arayışını, bu arayış ise seramik malzeme yapılacak çeşitli hammaddelerin gereksinimini doğurmuştur. Kaolinit dioktahedral aluminasilikattır ve endüstride çeşitli uygulamaları olan bir kil mineralidir.

Tüm materyaller reolojik özelliklere sahiptirler ve reolojik çalışmalar, jeoloji, madencilik, seramik, gıda, kozmetik, boya, polimerler, kompozit materyaller, pastalar, elektroeoloji, surfaktantlar gibi geniş bir alanı kapsar. Reolojik özellikler materyalin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında önemli bilgiler verir. Reometri, yapısal incelemeyi dolaylı olarak yapan güçlü bir tekniktir. Malzemenin detaylı bir reolojik bilgisi, ekstrüzyon davranışının iyi tanımlanmasını kolaylaştırır. Seramik pastalarının reolojik özelliklerini çalışmak, bu tür malzemelerin işlenebilirliğinin ve endüstriyel kullanılabilirliğinin geliştirilmesinde esas teşkil etmektedir. Pasta formülasyonu ve işleme şartları ile nihai ürün özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek daha iyi bir ürün tasarımı ve kalite kontrolü sağlayacaktır. Pastaların reolojik davranışları, saf akışkanlarındaki kadar iyi tanımlanmamıştır. Bu malzemelerin akış davranışını açıklamak için çok sayıda nümerik ve teorik reolojik model önerilse de, ekstrüzyon koşullarındaki pastanın akış özelliklerini belirlemede yeterli olmamıştır. Bu nedenle pastaların reolojik özellikleri deneysel yollarla ölçülmelidir.

Bu çalışmada başta seramik endüstrisi olmak üzere ilaç, kağıt, gıda, boya ve lastik gibi geniş bir endüstri yelpazesinde kullanım alanı bulan kaolinitin kullanım alanı çeşitliliğinin ve endüstriyel öneminin daha da artması için reolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kaolinit ve farklı özelliklerdeki silikon yağları kullanılarak elde edilen pastaların reolojik özellikleri yüksek basınçlı kapilar reometre kullanılarak incelenmektedir. Pastaların reolojik özellikleri üzerine 1. tane boyutunun, 2. farklı viskoziteli silikon yağlarının, 3. katı:sıvı oranının, 4. sıcaklığın, 5. kapiler kanal uzunluğunun ve 6. katkı maddelerinin

etkileri araştırılmaktadır. Elde edilen kaolinit-silikon yağı pastalarının reolojik özellikleri Power Law, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson modeli gibi reolojik modeller kullanılarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlardan hangi pastanın daha iyi ekstrusiyon özelliği gösterdiği ve daha kaliteli bir ürün olduğu belirlenmektedir. Ayrıca silika ve alumina gibi seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan pahalı adsorbentlere kıyasla oldukça düşük maliyetle elde edilen kaolinitin bu amaçla kullanılabilirliğinin gösterilmesi de amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlardan hem katı ve hem de sıvı faz için kullanılan ham maddelerin hangilerinin daha iyi ekstrusiyon özelliği gösterdiği ve hangi pastanın daha kaliteli bir ürün olduğu belirlenmekte ve sonuçlar literatürde mevcut olan pastaların reolojik özellikleri ile karşılaştırılarak bu model pastanın avantajları ve dezavantajları tartışılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların gerek bilimsel gerekse teknolojik açıdan bu alandaki boşluğu belli ölçüde dolduracağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyaller

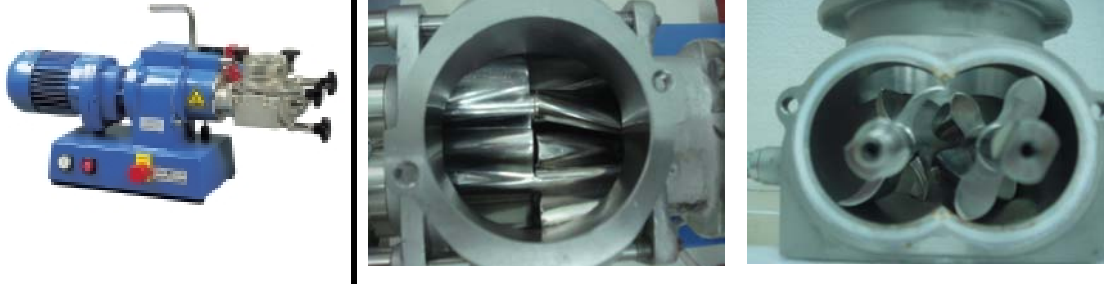
Silikon yağları (AK 1 000 000, 500 000, 100 000 ve 60 000) Wacker-Chemie GmbH'den, kaolinit örnekleri Kale Maden Firmasından (Balıkesir) temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan silikon yağlarından AK 1 000 000'un bazı fizikokimyasal özellikleri Çizelge 2.1'de verilmektedir [12].

Çizelge 2.1 Silikon yağı AK 1 000 000'un bazı fizikokimyasal özellikleri

Özellik	Tayin yöntemi	Sonuç
Yoğunluk	DIN51757	~0.97 g/cm ³
Parlama sıcaklığı	ISO 2592	>320 °C
Tutuşma sıcaklığı	DIN51794	~450 °C
Yüzey gerilimi (25 °C)	-----	0.022 N/m
Kinematik viskozite (25 °C)	DIN53018	~1 000 000 mm ² /s

2.2 Kneader (Homojenizatör)

IKA kneader zıt yönde dönen ve iki yüzü de keskin olan iki hareketli bıçaktan oluşan bir karıştırıcı alettir. Kneaderın hücre ve kapak kısmı sıcaklık kontrolünü sağlayan çift cidarlı bir yapıya sahiptir. Her bir bıçakta iki bölüm mevcuttur ve bıçaklar birbirine geçen dişlilerden oluşmaktadır. Şekil 2.1 kneader'ın şeklini ve bıçak sistemini göstermektedir.



Şekil 2.1 Kneader'ın bıçak sisteminin genel görünüşü

2.3 Pasta Hazırlanışı

Kaolinit örnekleri deneylerde kullanılmadan önce bilyalı bir değirmen ile öğütüldü. Daha sonra 0-25, 25-50 ve 50-75 μm tane boyutu aralığında örnekler elde etmek için elendi. Elde edilen farklı tane boyutlarındaki kaolinit örnekleri, pastaların hazırlanmasında kullanıldı. Pastaların hazırlanmasında sıvı faz olarak kullanılan silikon yağları sırasıyla AK 1 000 000, AK 500 000, AK 100 000 ve AK 60 000'dir. Kaolinit tanecikleri, daha iyi homojenizasyon sağlamak için kneaderda 1 saat karıştırıldı ve daha sonra bu katı fazın üzerine belli miktarda amaca uygun silikon yağı ilave edildi. Bu karışım 4 saat boyunca kneaderda kesikli reaktör tipinde karıştırıldı. Tüm pastalar aynı metot izlenerek hazırlandı. Katı:sıvı oranının etkisinin incelendiği deneylerde pastalar, AK 1 000 000, AK 500 000 ve AK 100 000 viskoziteli silikon yağları ile 70:30, 75:25 ve 80:20 oranlarında; AK 60 000 viskoziteli silikon yağı ile 75:25, 77:23 ve 80:20 oranlarında hazırlandı. Tane boyutunun etkisinin incelendiği deneylerde pastalar 0-25, 25-50 ve 50-75 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri kullanılarak hazırlandı. Katkı maddesinin etkisinin incelendiği deneylerde ise pasta hazırlanırken kaolinit ve silikon yağına (AK 1 000 000 ve AK 60 000) ilave olarak glikoz ve nişasta kullanıldı. AK 1 000 000 viskoziteli silikon yağı ile hazırlanan pasta 50:20:30 [kaolinit:katkı maddesi (glikoz ya da nişasta):silikon yağı]; AK 60 000 viskoziteli silikon yağı ile hazırlanan pasta ise 57:20:23 [kaolinit:katkı maddesi (glikoz ya da nişasta):silikon yağı] formülasyonuna sahiptir.

2.4 Reolojik Ölçümler

Ekstrusiyon sistemleri için, ekstrusiyonel akışa dayalı bir karakterizasyon tekniği seçmek çok önemlidir. Kapiler reometre, pasta karakterizasyonu için standart bir deneysel tekniktir. Bu çalışmada, reolojik ölçümler Şekil 2.2’de gösterilen Yüksek Basıncılı Kapiler Reometre kullanılarak gerçekleştirildi. Şekil 2.3, kapiler reometrenin ölçüm hücrelerini ve reolojik ölçümlerde kullanılan kapiler ve orifis kanallarının genel şekillerini göstermektedir. Burada D_0 barel çapını; D , kapiler kanal çapını; ve L kapiler kanal uzunluğunu ifade etmektedir [61-63]. Bulk deformasyonunun olduğu ve uzama akışının meydana geldiği bölüm kapiler kanal girişi olarak bilinir, ve bazen bu bölgenin köşesinde durgun bir bölge oluşur. Kapiler kanal giriş bölgesi bir miktar kapiler kanal içerisine uzayabilir, fakat genellikle bu ihmal edilebilecek miktardadır. Materyali kapiler kanal içerisinde ekstrude etmek için gerekli kuvvet ortalama ‘extrusion basıncı’, P olarak ifade edilir [12]. Barel farklı çaplardaki kapiler yada orifislere uyumludur; bir orifis ihmal edilen uzunluktaki kapiler kanaldır. Kullanılan orifis ve kapilerlerin çapları 0.5 mm, 1.0 mm ve 2.0 mm’dir. Kapilerlerin uzunlukları ise sırasıyla 8, 16 ve 32 mm’dir. Reometrenin bareli, her deney öncesinde pasta ile doldurulmuştur. Üstten pistonla uygulanan kuvvet, pastanın barelden kapiler kanal içerisine volumetrik bir hızda akmasını sağlar. Farklı boyutlardaki kapiler kanallar barelin alt kısmına yerleştirilir, bilgisayar programı kullanılarak piston yardımıyla pastanın aşağıya doğru akması sağlanır. Tüm pastalar geniş bir kesme hızı aralığında kapiler reometreden ekstrude edilmiştir. Pastaların kesme viskoziteleri ve kesme gerilimleri kesme hızının bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür.

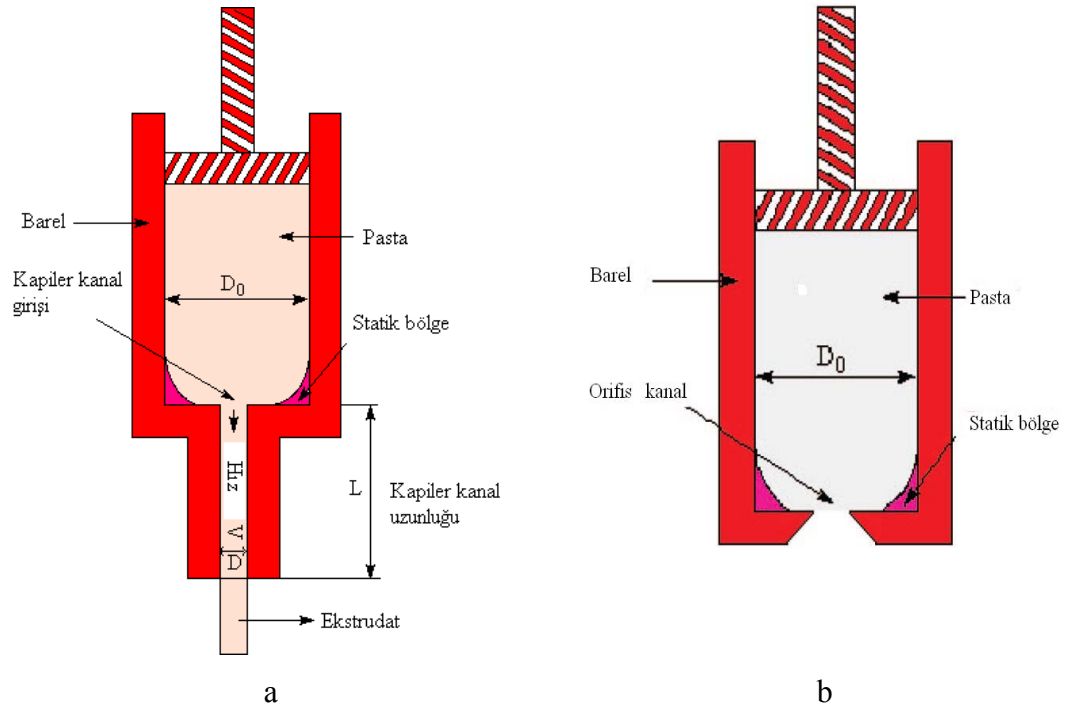
2.5 Pastaların Karakterizasyonu

Kaolinit, silikon yağları ve pastaların 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 gerçekleştirildi ($\lambda=1.54$ Å). Örneklerde termal işlem boyunca gerçekleşen reaksiyonları gözlemlemek için bir eşzamanlı DTA/TG sistemi (Perkin-Elmer Diamond DTA/TG) kullanıldı. Toz haline getirilmiş örnekler azot atmosferinde 20 °C/dak hızla ortam

sıcaklığından 1000 °C'ye kadar ısıtıldı. Örneklerin BET yüzey alanları, Nova2200e BET yüzey alanı tayin cihazı ve morfolojik özellikleri ise SEM fotoğrafları kullanılarak ölçüldü.



Şekil 2.2 Deneylerde kullanılan yüksek basınçlı kapiler reometre



Şekil 2.3 Kapiler reometrenin ölçüm hücresi: a.) kapiler kanal ve b.) orifis kanal

3. BULGULAR

3.1 Örneklerin Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan örnekler ve hazırlanan pastalar XRD, DTA/TG, BET ve SEM cihazları kullanılarak karakterize edildi. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

3.1.1 XRD Karakterizasyonu

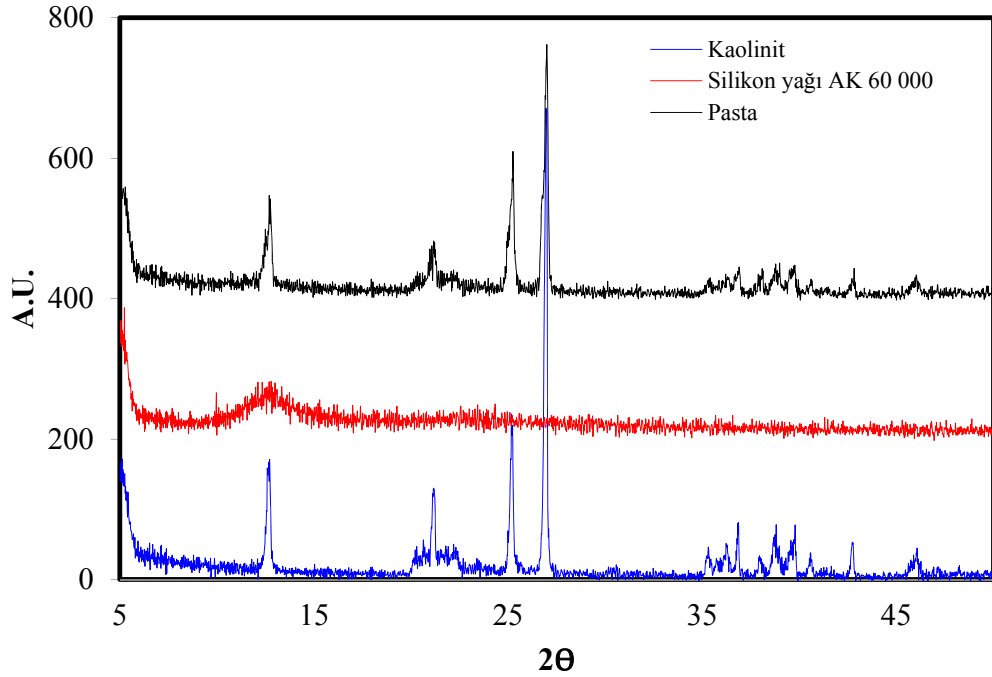
Çalışmada kullanılan kaolinit, silikon yağları (AK 60 000, AK 100 000, AK 500 000 ve AK 1 000 000) ve hazırlanan pastaların 2θ açısındaki pik değerleri sırasıyla Çizelge 3.1-3.4'te ve XRD spektrumları ise sırasıyla Şekil 3.1-3.4'te verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi pasta durumunda tabakalı yapıya sahip olan kaolinitin 2θ açısındaki piklerinin yerinde ve şiddetlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir.

3.1.2 DTA/TG Analizi

Kaolinit ve kaolinit/silikon yağı pastalarının DTA/TG termogramları inert azot atmosferinde alındı. Elde edilen termogramlar sırasıyla Şekil 3.5-3.8a ve b'de verilmektedir. Pasta durumunda kaolinitin DTA/TG termogramlarında silikon yağından kaynaklanan yeni piklerin mevcut olduğu ve kütle kaybının arttığı görülmektedir.

Çizelge 3.1 Kaolinit, silikon yağı AK 60 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri

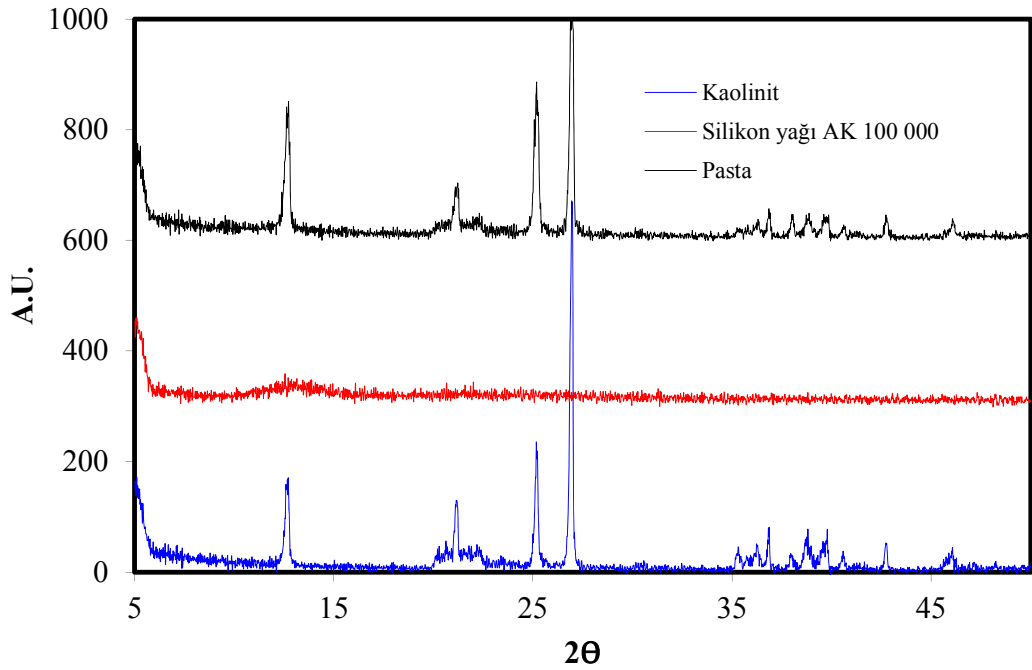
Örnek	2θ'daki pik	d-uzaklığı (Å)	% bağıl şiddet
Kaolinit	12,678	6,977	21,75
	21,210	4,185	15,41
	25,209	3,529	28,75
	26,982	3,302	100,00
Silikon yağı AK 60 000	5,206	16,960	100,00
Pasta	12,787	6,917	24,64
	21,219	4,184	14,60
	25,264	3,522	49,26
	26,734	3,312	36,77
	27,012	3,298	100,00



Şekil 3.1 Kaolinit, silikon yağı AK 60 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları

Çizelge 3.2 Kaolinit, silikon yağı AK 100 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri

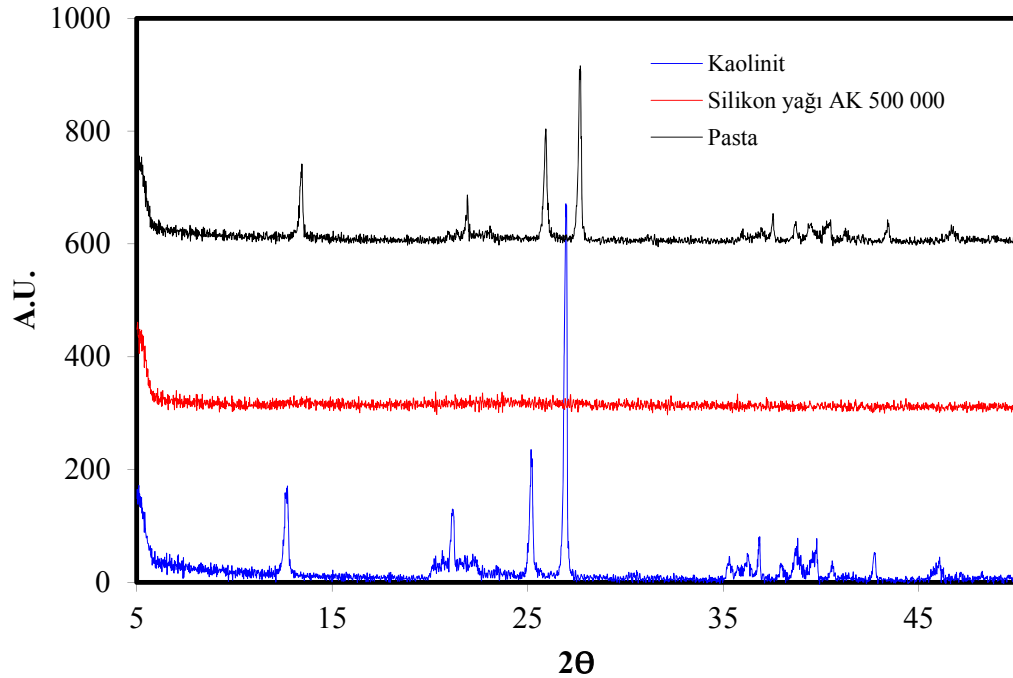
Örnek	2θ'daki pik	d-uzaklığı (Å)	% bağıl şiddet
Kaolinit	12,678	6,977	21,75
	21,210	4,185	15,41
	25,209	3,529	28,75
	26,982	3,302	100,00
Silikon yağı AK 100 000	5,374	16,431	100,00
	48,233	1,885	33,70
Pasta	12,721	6,953	53,43
	21,207	4,186	20,57
	25,228	3,527	61,14
	26,997	3,300	100,00



Şekil 3.2 Kaolinit, silikon yağı AK 100 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları

Çizelge 3.3 Kaolinit, silikon yağı AK 500 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri

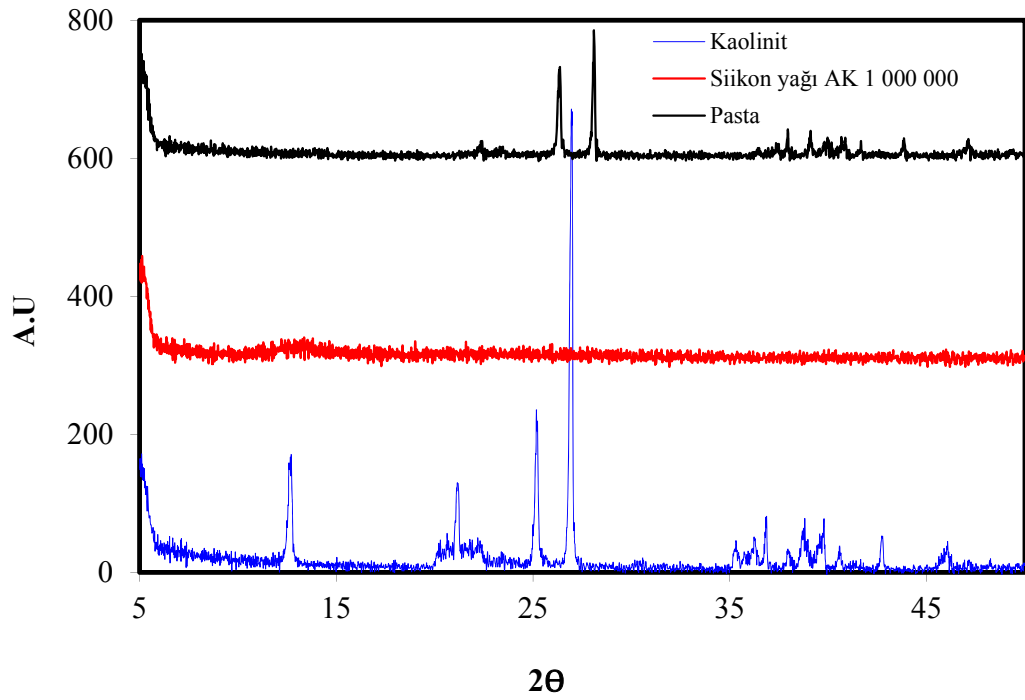
Örnek	2θ'daki pik	d-uzaklığı (Å)	% bağıl şiddet
Kaolinit	12,678	6,977	21,75
	21,210	4,185	15,41
	25,209	3,529	28,75
	26,982	3,302	100,00
Silikon yağı AK 500 000	5,353	16,496	100,00
Pasta	13,451	6,577	45,70
	21,933	4,049	22,96
	25,928	3,434	68,05
	27,672	3,221	100,00



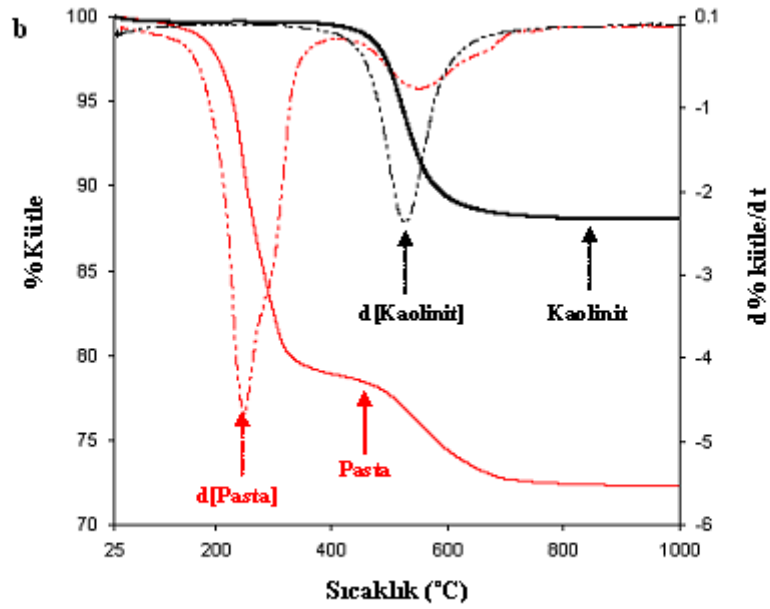
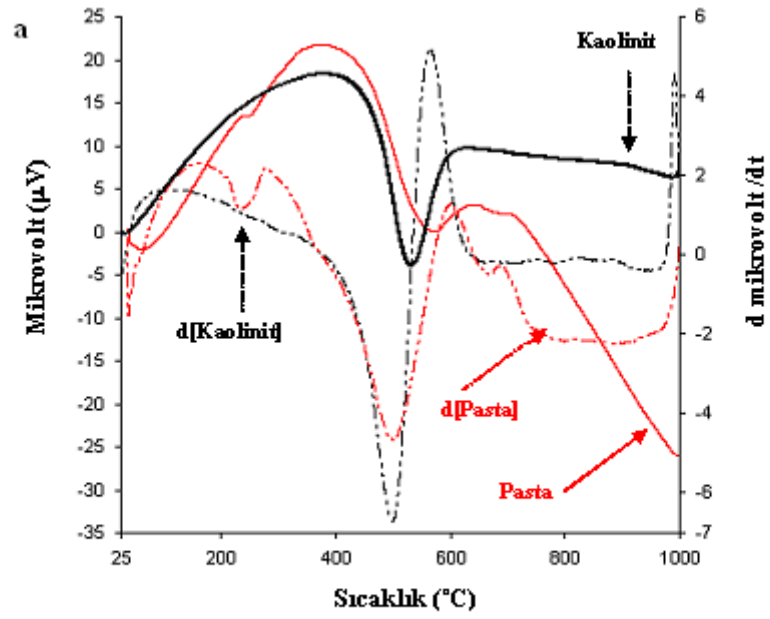
Şekil 3.3 Kaolinit, silikon yağı AK 500 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları

Çizelge 3.4 Kaolinit, silikon yağı AK 1 000 000 ve hazırlanan pastanın XRD verileri

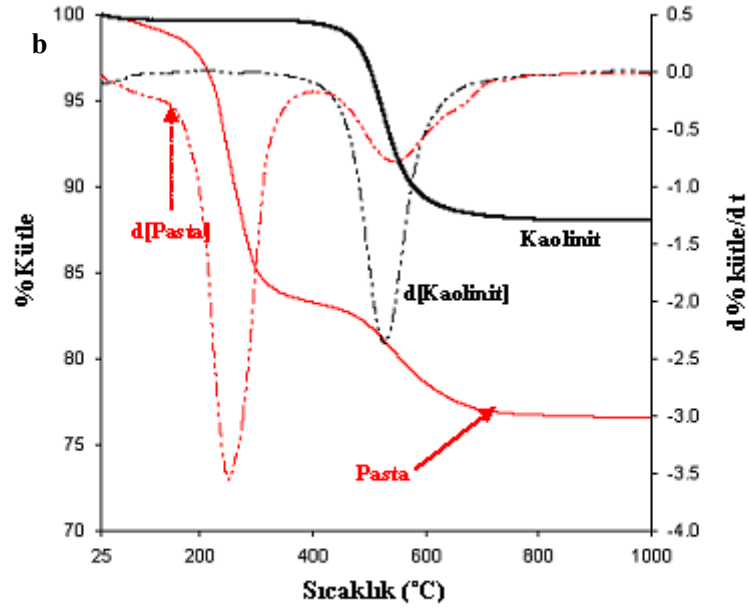
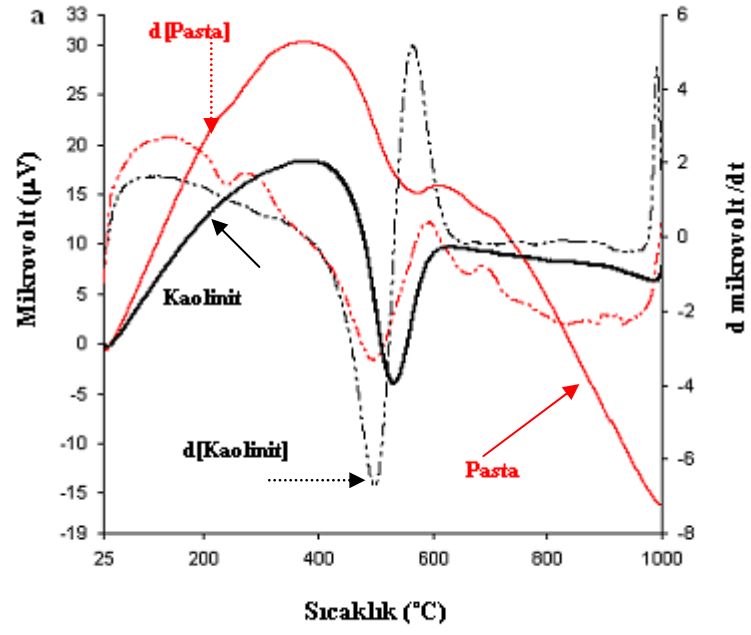
Örnek	2θ'daki pik	d-uzaklığı (Å)	% bağıl şiddet
Kaolinit	12,678	6,977	21,75
	21,210	4,185	15,41
	25,209	3,529	28,75
	26,982	3,302	100,00
Silikon yağı AK 1 000 000	5,199	16,984	100,00
	46,074	1,968	15,99
	46,331	1,958	15,58
Pasta	26,382	3,376	74,07
	28,124	3,170	100,00
	39,079	2,303	17,38



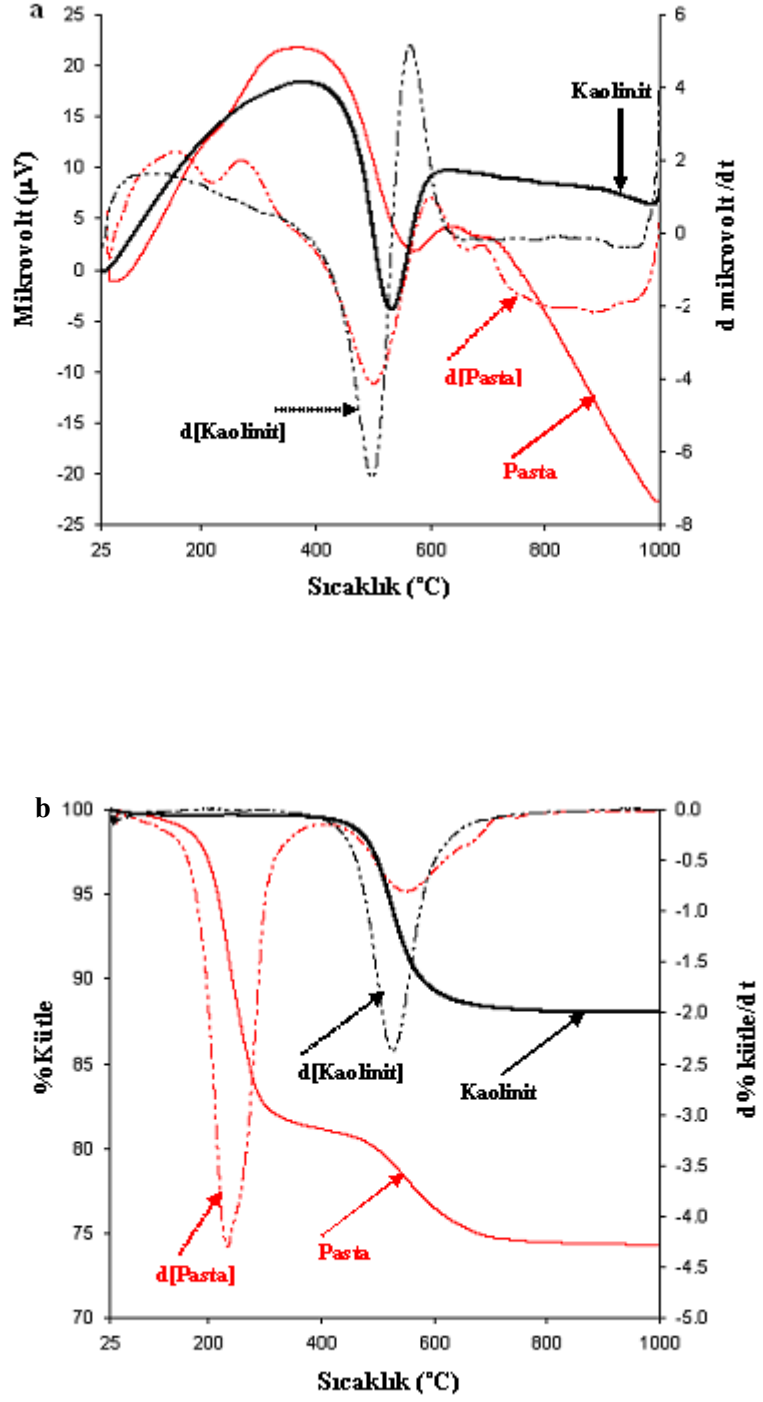
Şekil 3.4 Kaolinit, silikon yağı AK 1 000 000 ve hazırlanan pastanın XRD spektrumları



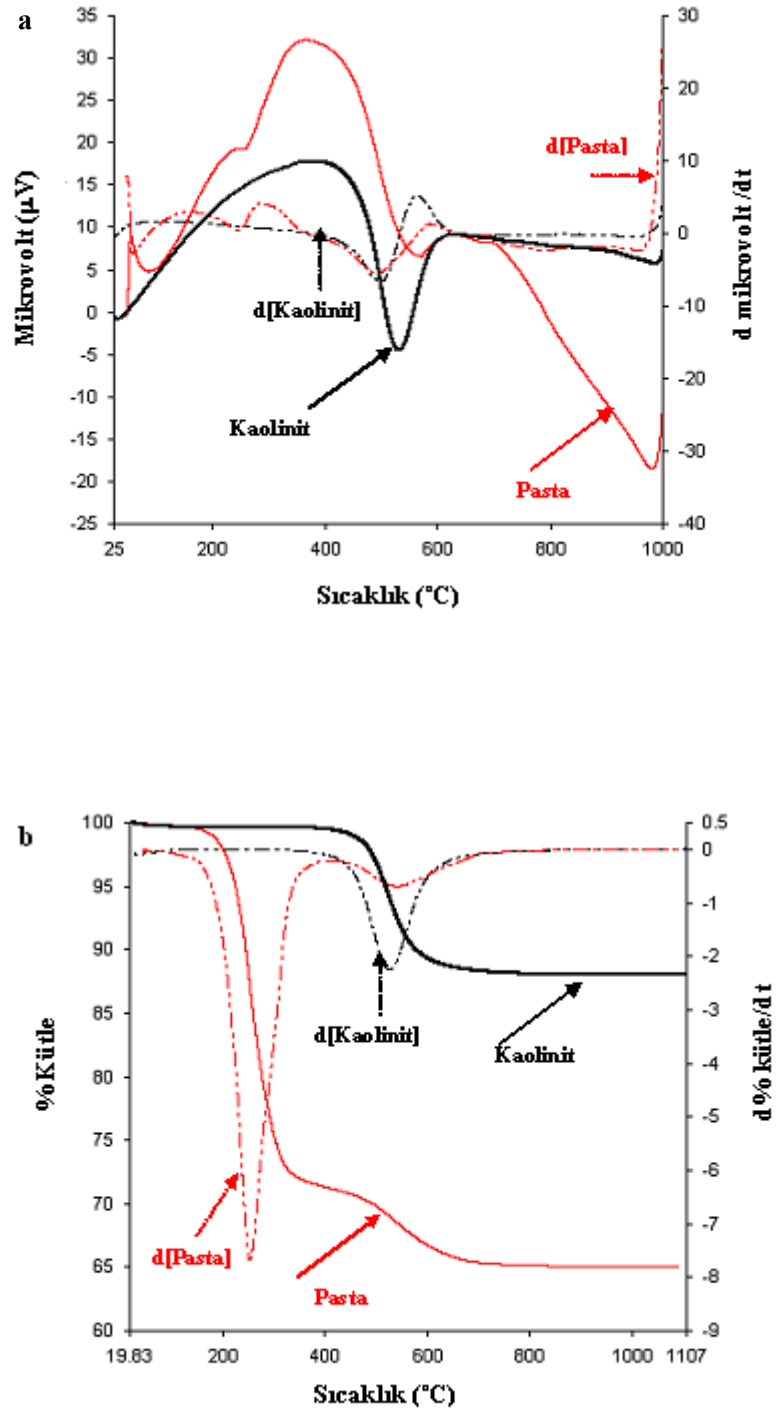
Şekil 3.5 Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının a) DTA ve b) TG termogramları



Şekil 3.6 Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının a) DTA ve b) TG termogramları



Şekil 3.7 Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının a) DTA ve b) TG termogramları



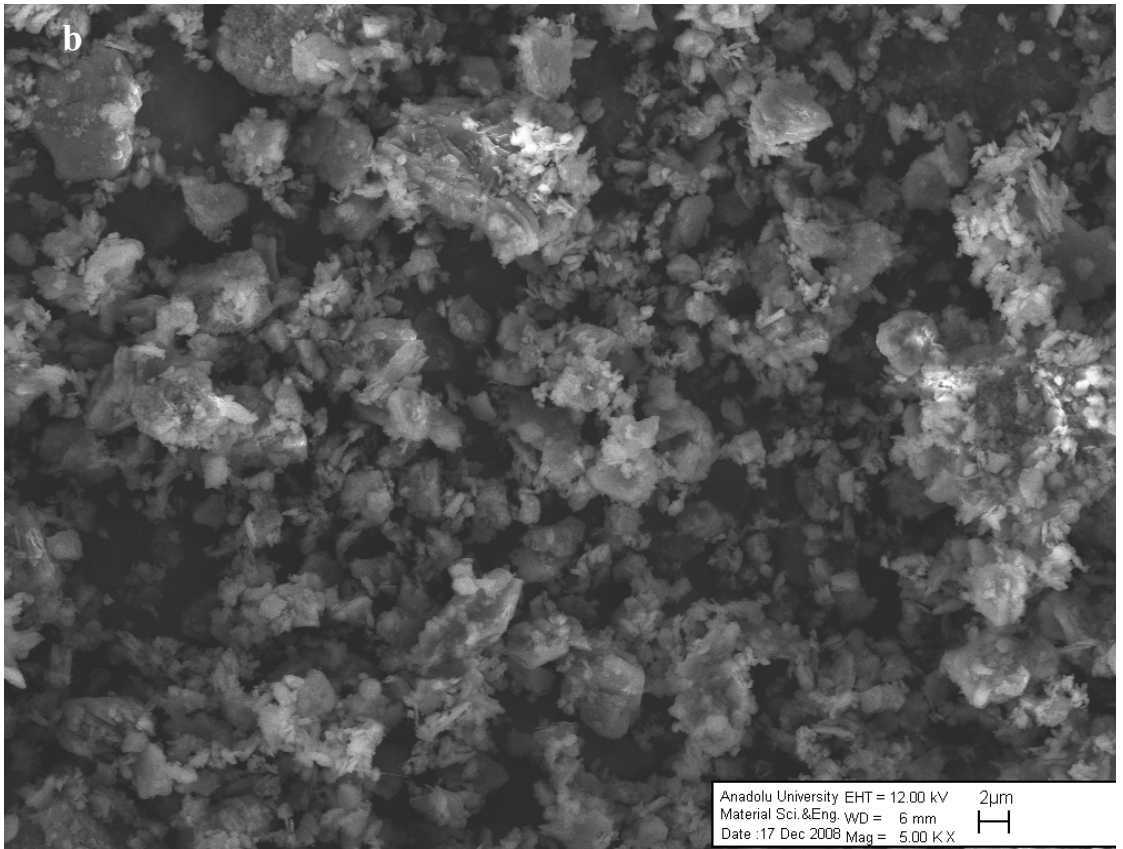
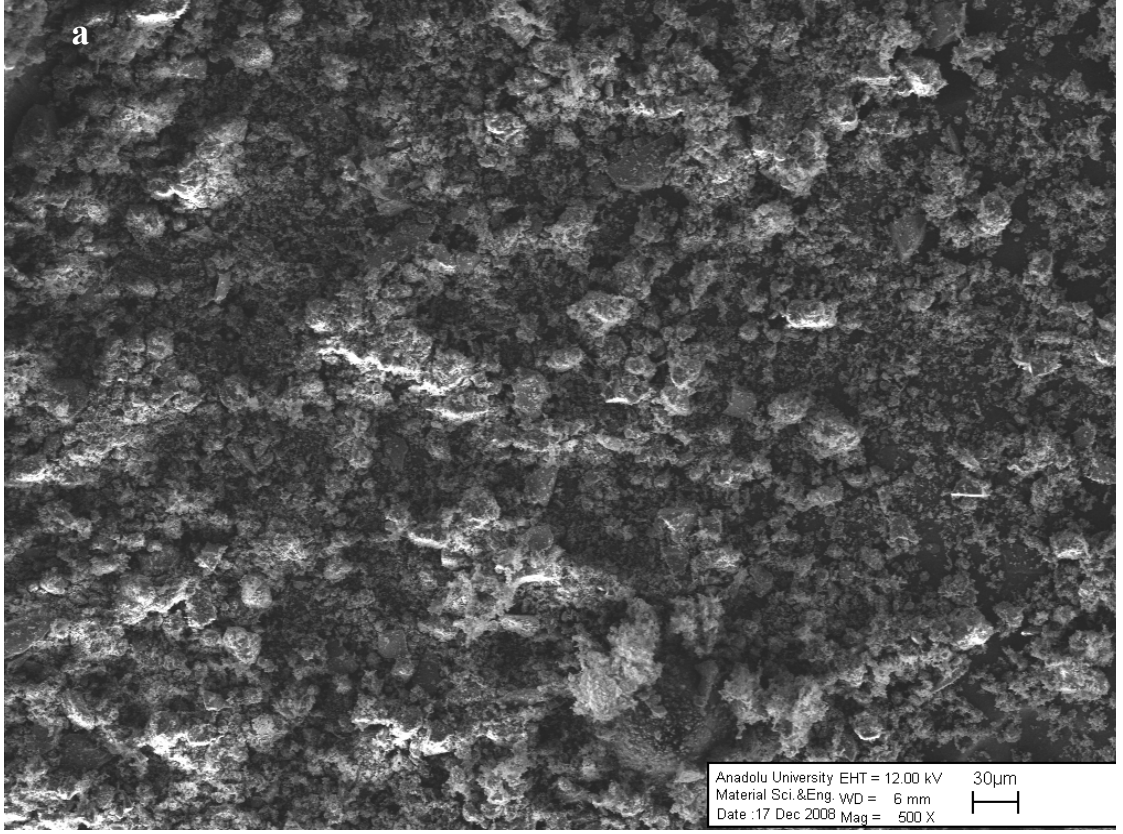
Şekil 3.8 Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının a) DTA ve b) TG termogramları

3.1.3 Kaolinit Örneklerinin BET Analizi

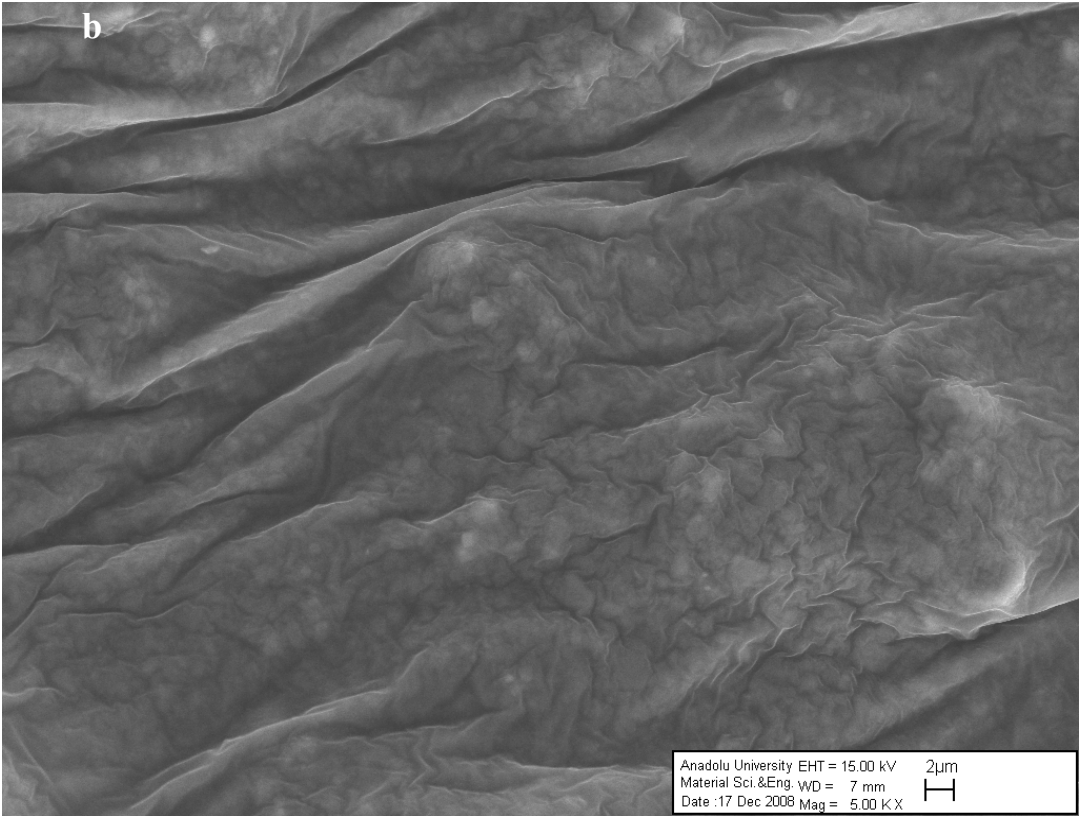
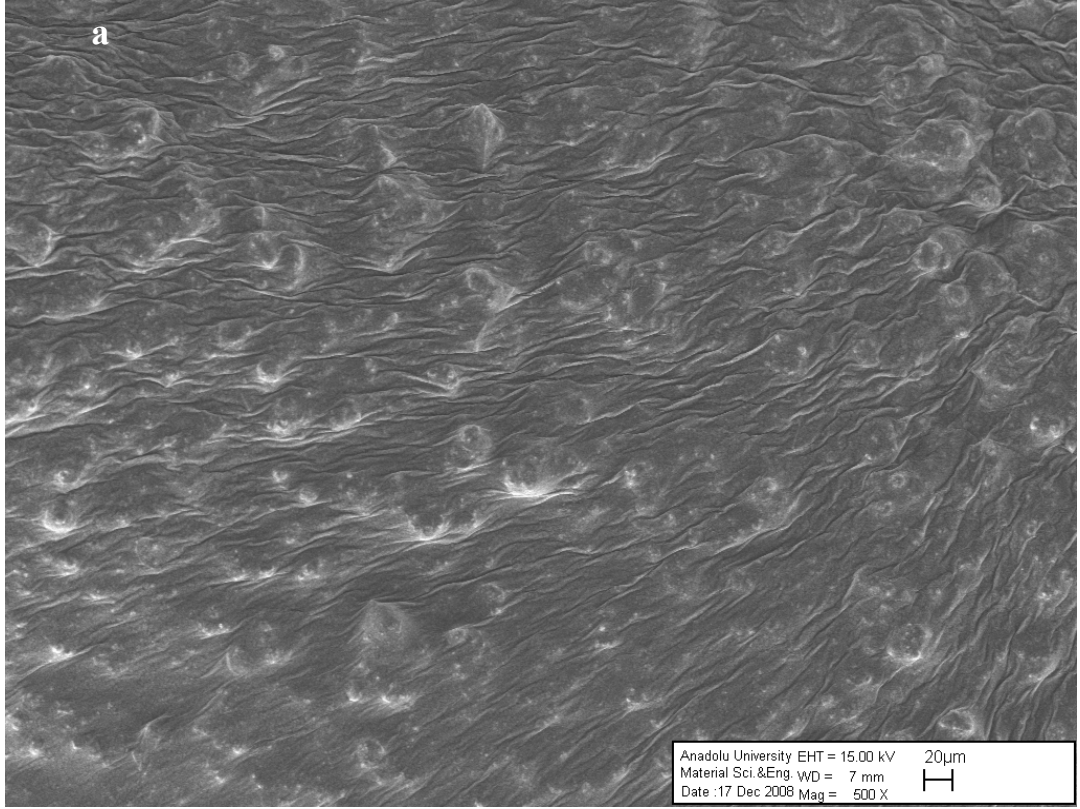
Çalışmada kullanılan 0-25, 25-50 ve 50-75 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örneklerinin BET yüzey alanları sırasıyla 10,03; 8,81 ve 6,91 m²/g olarak belirlendi. Sonuçlar kaolinitin tane boyutunun artması ile BET yüzey alanlarının azaldığını göstermektedir.

3.1.4 Kaolinit ve Pastaların SEM Fotoğrafları

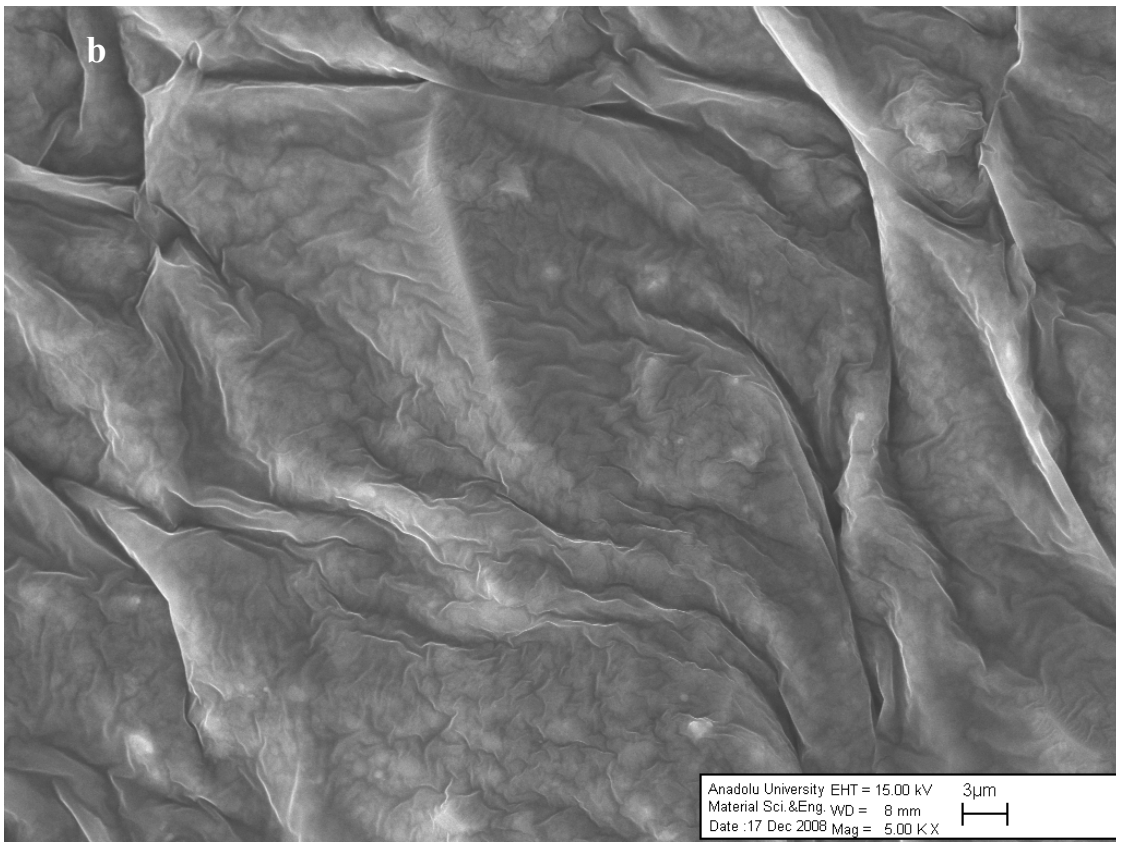
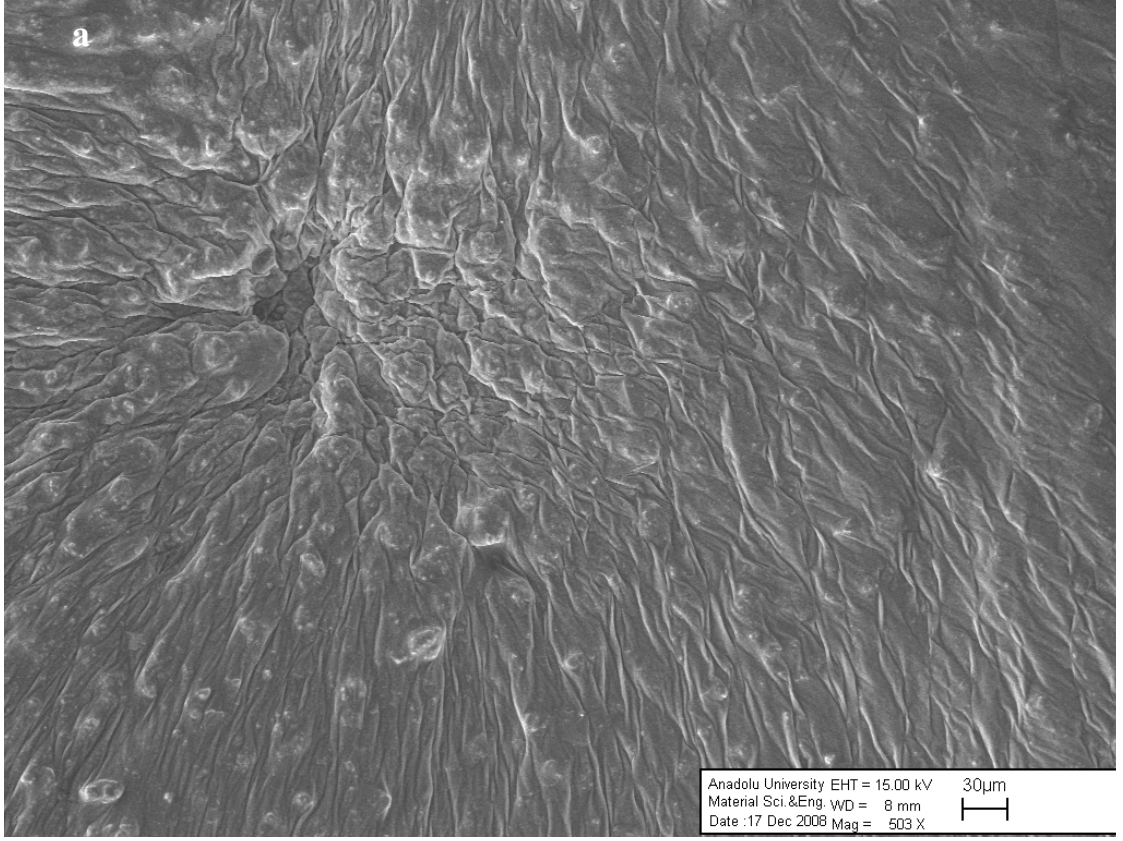
Kaolinit ve pastaların (kaolinit-silikon yağı AK 60 000, kaolinit-silikon yağı AK 100 000, kaolinit-silikon yağı AK 500 000 ve kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000) SEM fotoğrafları sırasıyla Şekil 3.9-3.13'te verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi silikon yağı matrisi içerisinde kaolinit taneciklerinin dağıldığı ve taneciklerin yüzeylerinin silikon yağı ile kaplandığı görülmektedir.



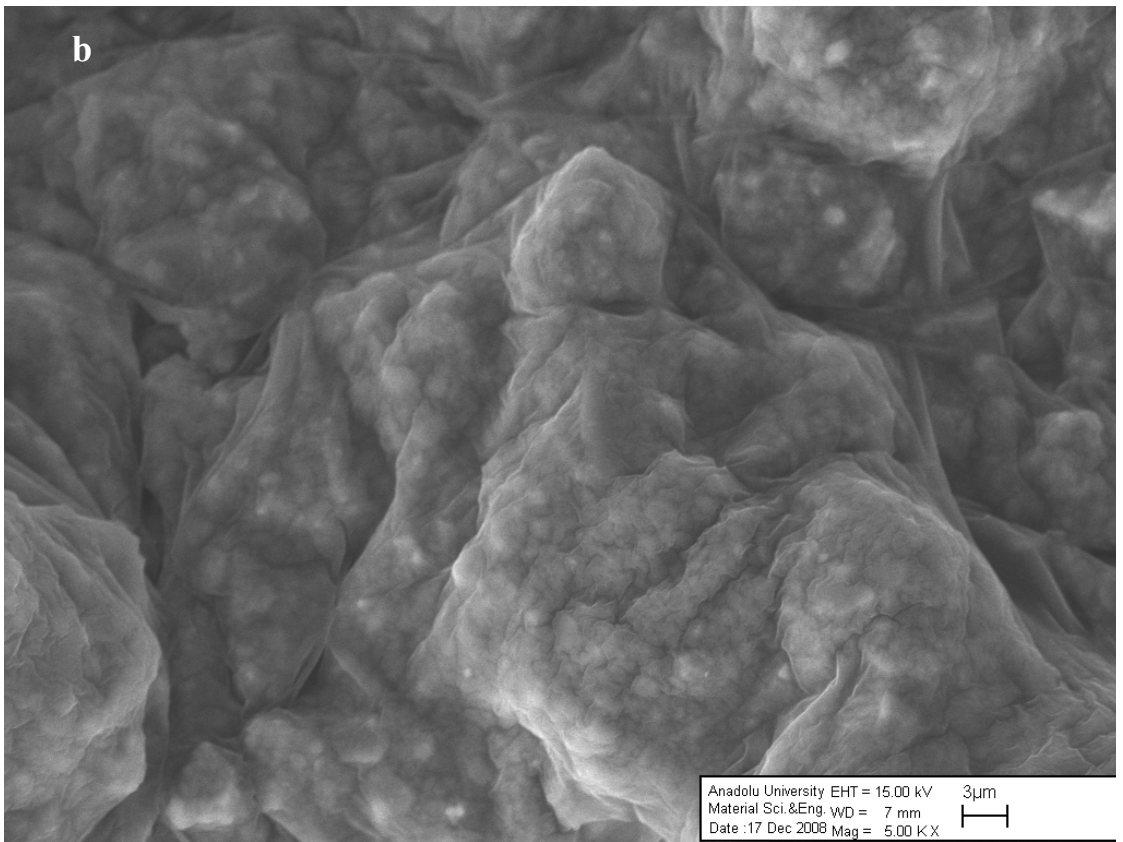
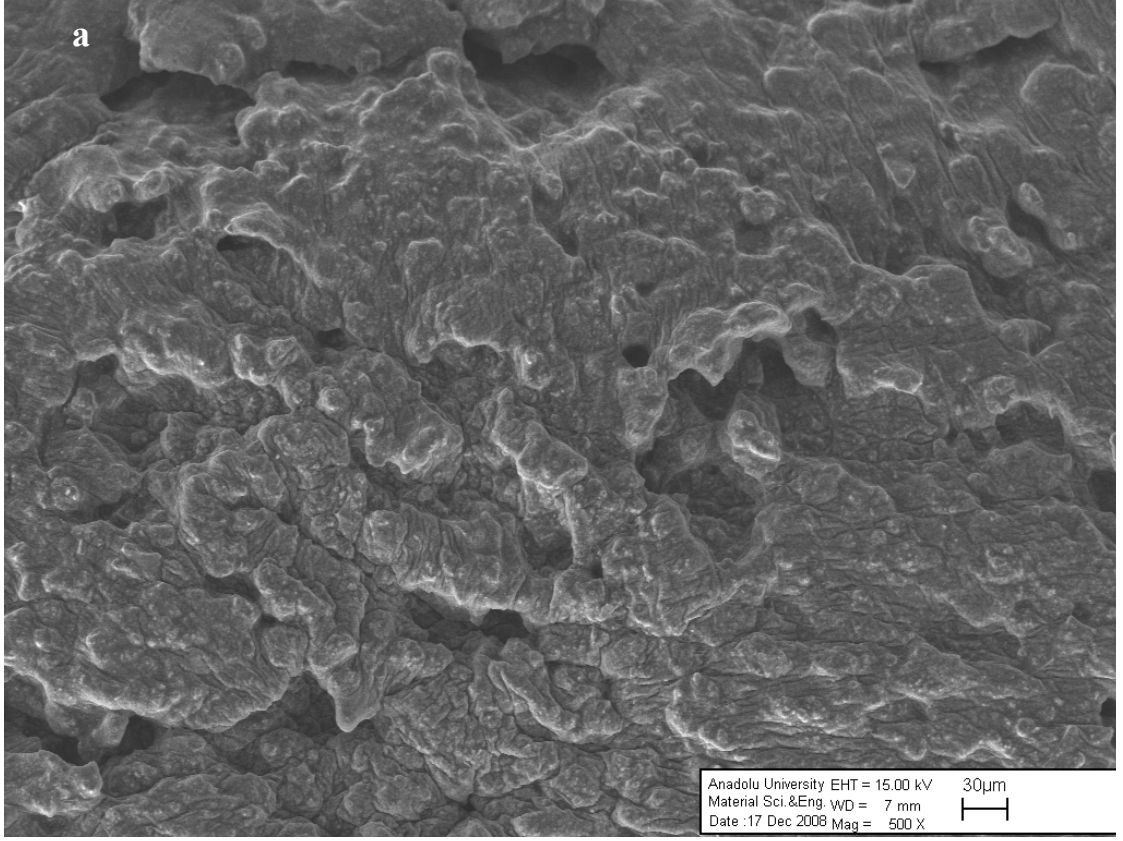
Şekil 3.9 Kaolinitin farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000



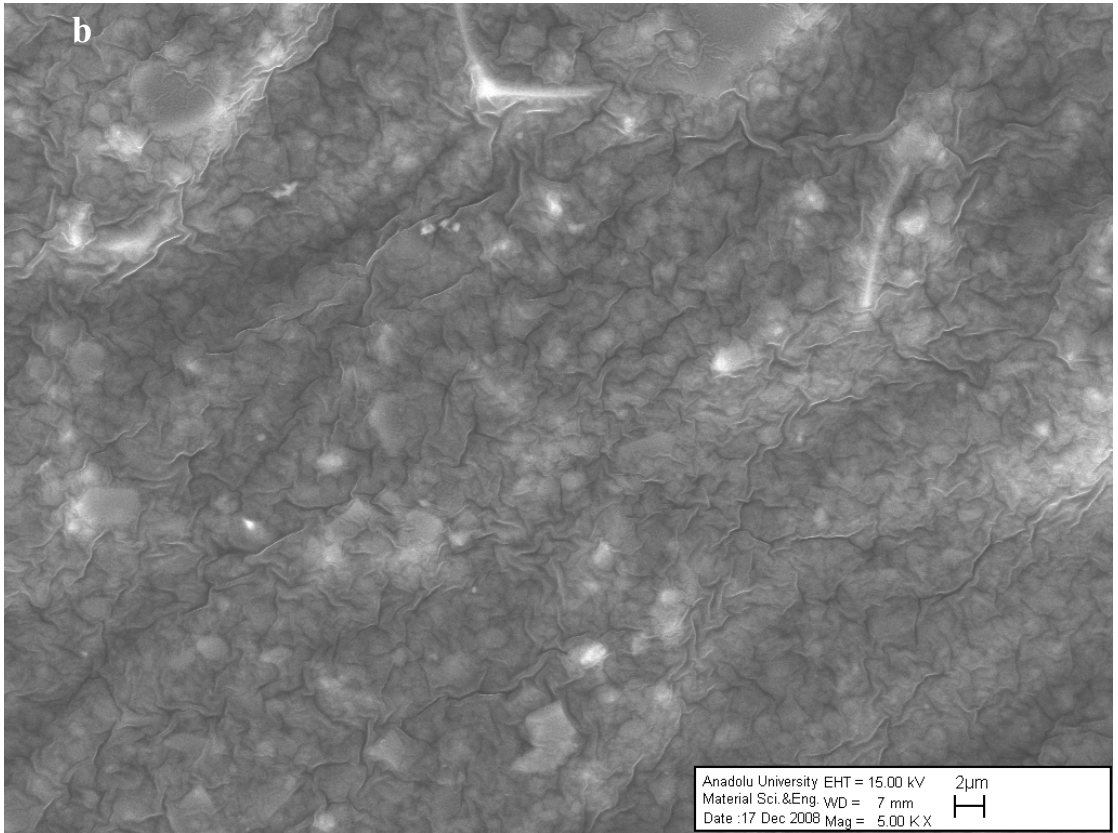
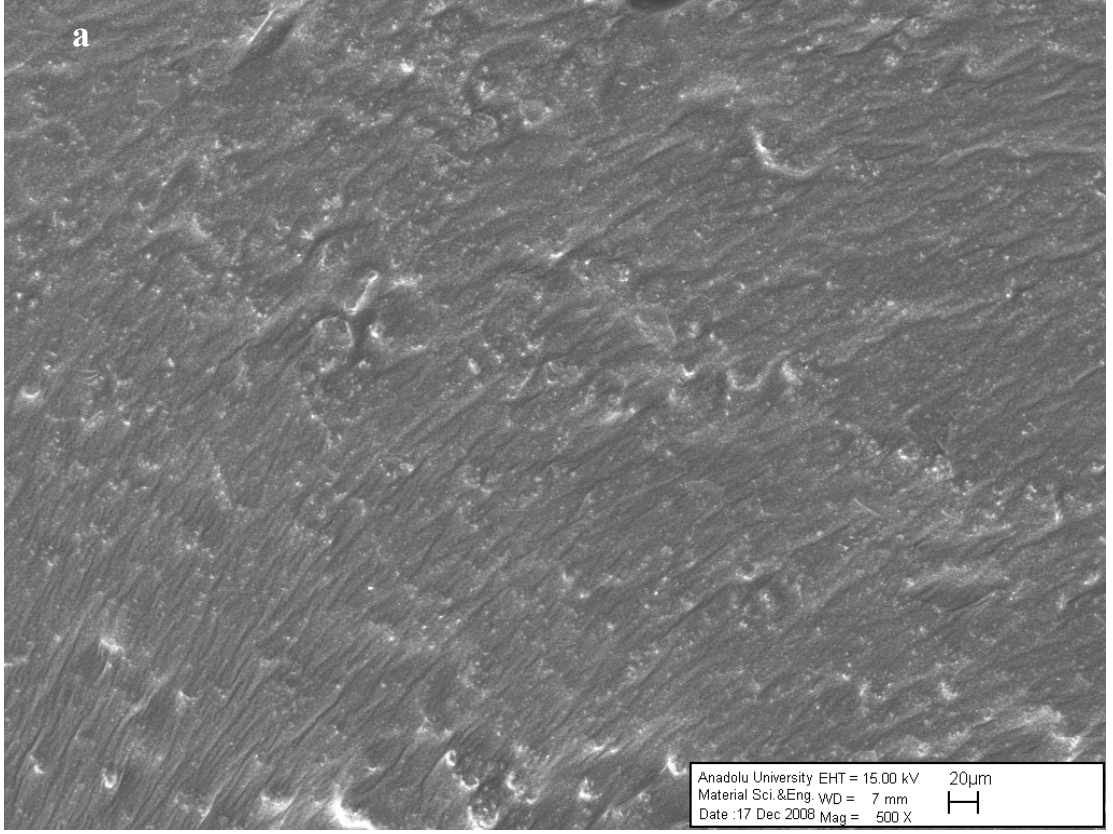
Şekil 3.10 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000



Şekil 3.11 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000



Şekil 3.12 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000



Şekil 3.13 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları: a) 500 ve b) 5000

3.2 Pastaların Reolojik Özellikleri

3.2.1 Silikon Yağı AK 60 000-Kaolinit Pastaları

Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinit örneklerinden hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine aşağıdaki parametrelerin etkileri incelendi.

3.2.1.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların 25 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak elde edilen reolojik verileri Çizelge 3.5-3.7'de verilerek sırasıyla Şekil 3.14-3.16a ve b'de kesme geriliminin, kesme hızına ve kesme viskozitesinin, kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir. Kesme viskozitesine karşı kesme hızı için çizilen tüm grafikler üzerinde noktalar arasındaki ilişkiyi daha iyi gösterebilmek için aynı grafiğin logaritmik şekli de verilmektedir. Artan katı:sıvı oranı ile kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin, kesme hızı ile arttığı görüldü.

3.2.1.2 Tane Boyutunun Etkisi

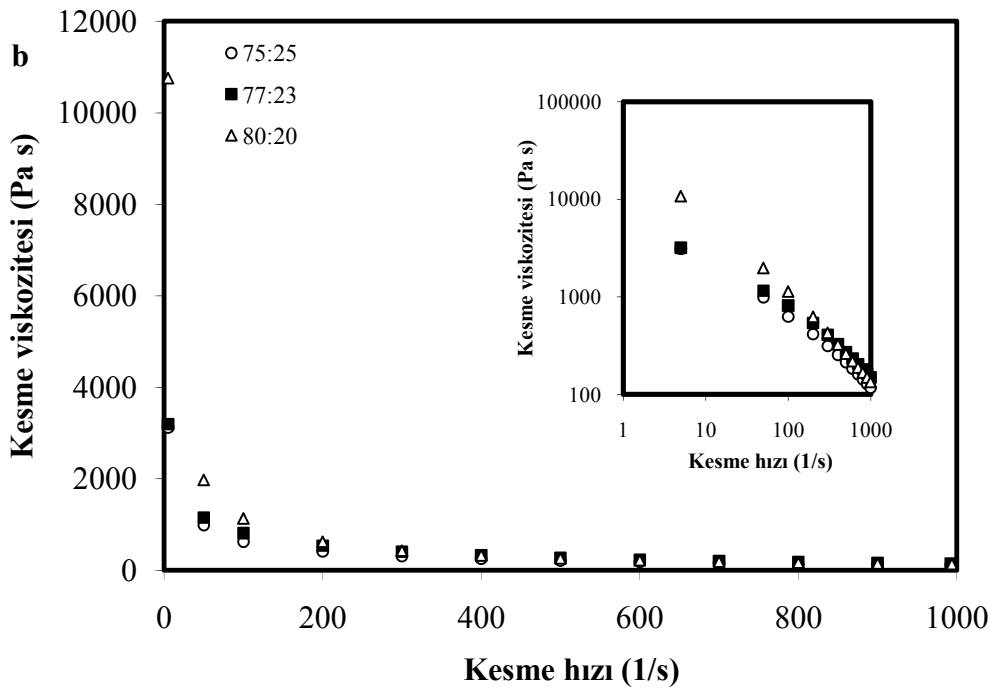
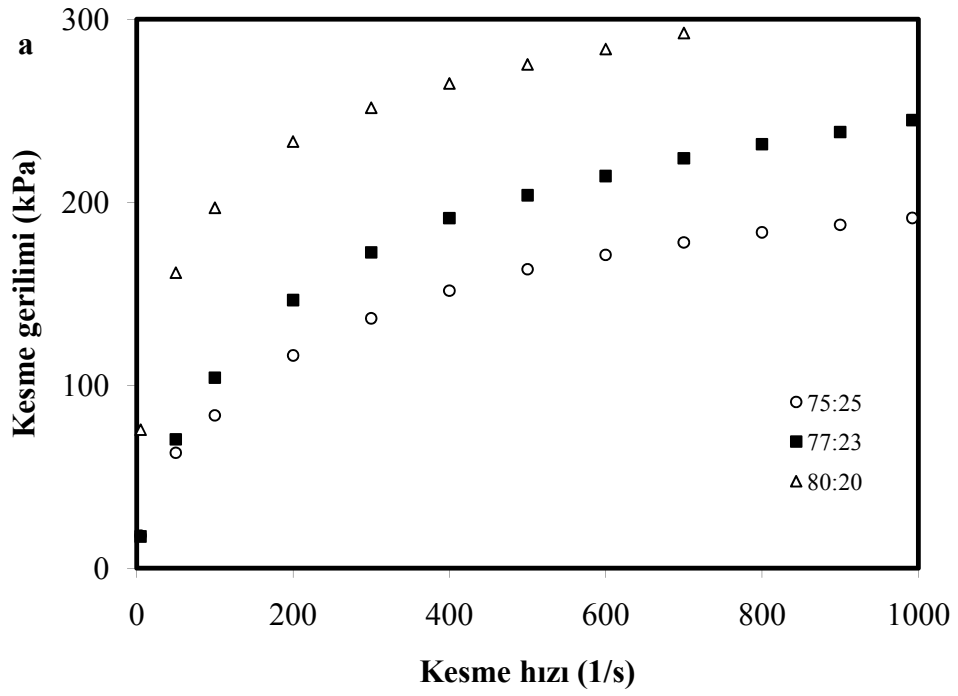
Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında elde edildi. Bu nedenle 0-25, 25-50 ve 50-75 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 60 000 ile 77:23 katı:sıvı oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri 25 °C'de aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.8-3.10'da verilerek Şekil 3.17-3.19a ve b'de sırasıyla kesme geriliminin, kesme hızına ve kesme viskozitesinin, kesme hızına karşı grafikleri çizilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tane boyutunun artması ile kesme gerilimi ve kesme viskozitesi, kesme hızı artarken azalmaktadır.

Çizelge 3.5 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75:25	5	3123	18	16	0	25	0,5	0,5
	50	991	63	16	0	25	0,5	0,5
	100	629	84	16	0	25	0,5	0,5
	200	416	116	16	0	25	0,5	0,5
	300	314	137	16	0	25	0,5	0,5
	400	255	152	16	0	25	0,5	0,5
	500	21	163	16	0	25	0,5	0,5
	600	184	171	16	0	25	0,5	0,5
	700	161	178	16	0	25	0,5	0,5
	800	143	184	16	0	25	0,5	0,5
	900	128	188	16	0	25	0,5	0,5
	992	117	192	16	0	25	0,5	0,5
77:23	5	3196	17	16	0	25	0,5	0,5
	50	1157	70	16	0	25	0,5	0,5
	100	816	104	16	0	25	0,5	0,5
	200	542	147	16	0	25	0,5	0,5
	300	409	173	16	0	25	0,5	0,5
	400	329	191	16	0	25	0,5	0,5
	500	273	204	16	0	25	0,5	0,5
	600	234	214	16	0	25	0,5	0,5
	700	205	224	16	0	25	0,5	0,5
	800	182	232	16	0	25	0,5	0,5
	900	163	238	16	0	25	0,5	0,5
	992	150	245	16	0	25	0,5	0,5

Çizelge 3.5'in devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	5	10757	76	16	0	25	0,5	0,5
	50	1976	162	16	0	25	0,5	0,5
	100	1133	197	16	0	25	0,5	0,5
	200	624	233	16	0	25	0,5	0,5
	300	428	252	16	0	25	0,5	0,5
	400	325	265	16	0	25	0,5	0,5
	500	262	275	16	0	25	0,5	0,5
	600	219	284	16	0	25	0,5	0,5
	700	188	293	16	0	25	0,5	0,5
	800	167	304	16	0	25	0,5	0,5
	900	149	311	16	0	25	0,5	0,5
	994	134	314	16	0	25	0,5	0,5



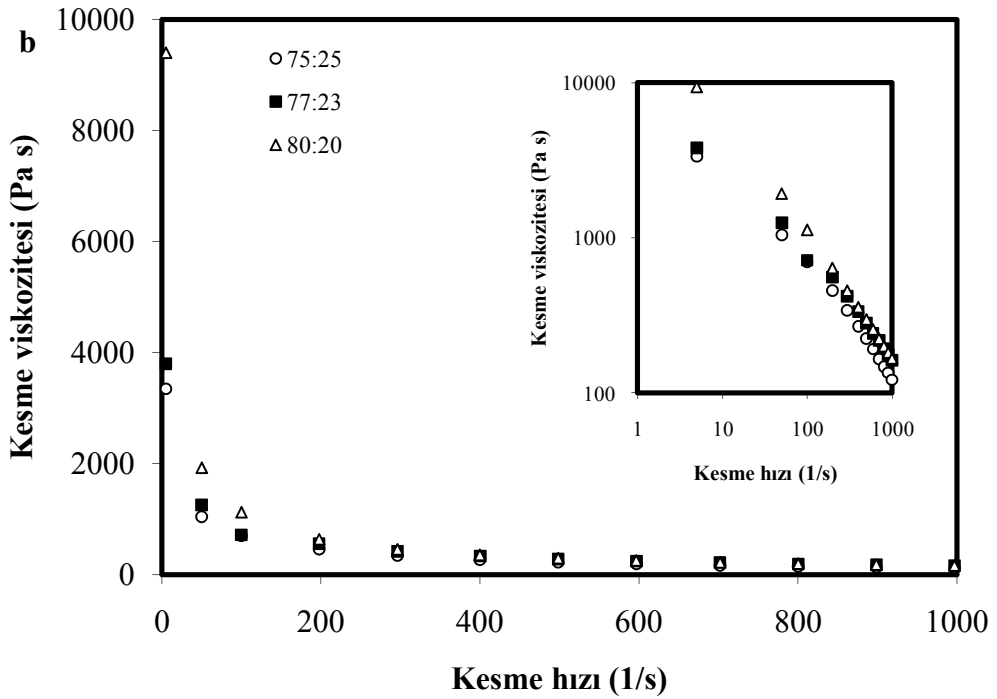
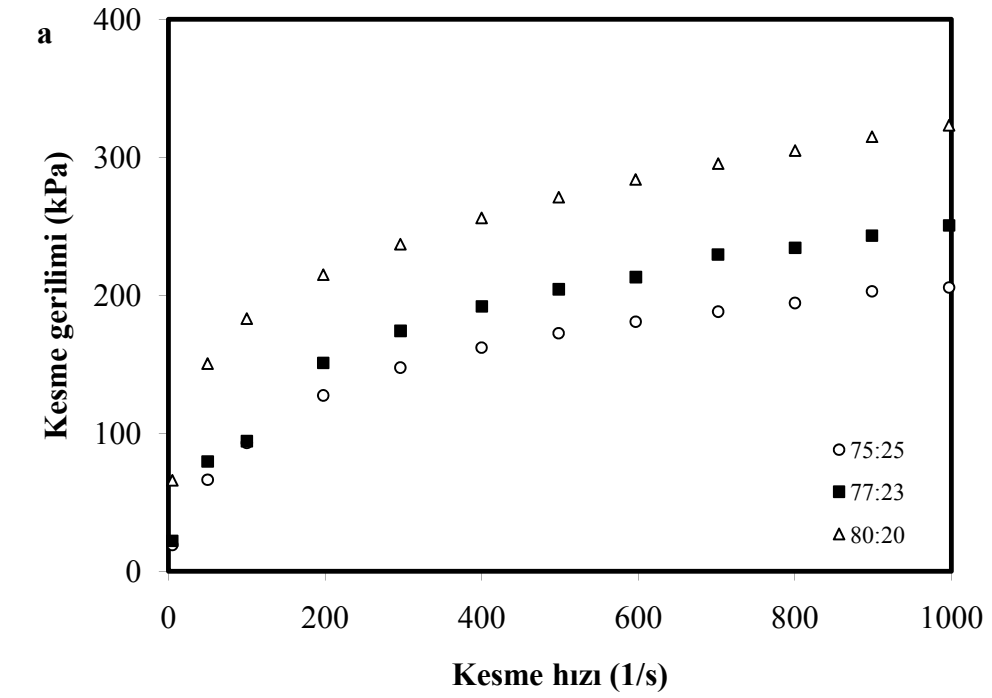
Şekil 3.14 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.6 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75:25	5	3346	19	16	0	25	1	1
	50	1042	66	16	0	25	1	1
	100	698	93	16	0	25	1	1
	198	457	127	16	0	25	1	1
	296	340	148	16	0	25	1	1
	400	268	162	16	0	25	1	1
	498	223	172	16	0	25	1	1
	597	191	181	16	0	25	1	1
	702	166	188	16	0	25	1	1
	800	148	194	16	0	25	1	1
	899	135	203	16	0	25	1	1
	997	121	206	16	0	25	1	1
77:23	5	3801	22	16	0	25	1	1
	50	1255	80	16	0	25	1	1
	100	718	94	16	0	25	1	1
	198	559	151	16	0	25	1	1
	296	419	174	16	0	25	1	1
	400	334	192	16	0	25	1	1
	499	281	204	16	0	25	1	1
	597	242	213	16	0	25	1	1
	702	218	230	16	0	25	1	1
	800	193	234	16	0	25	1	1
	899	177	243	16	0	25	1	1
	997	163	251	16	0	25	1	1

Çizelge 3.6'nın devamı

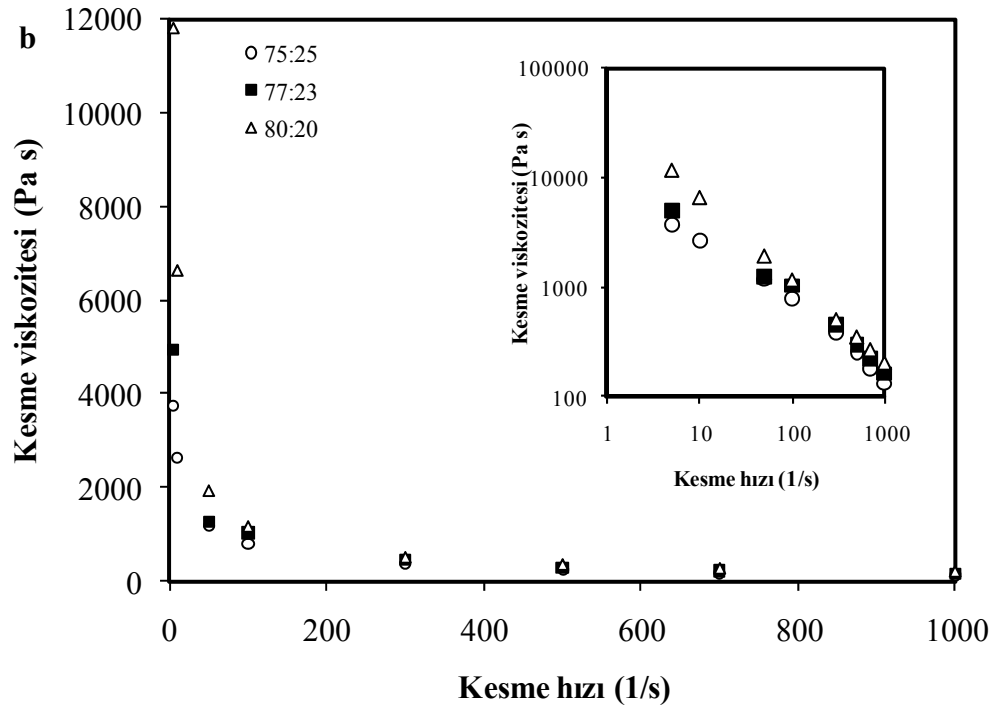
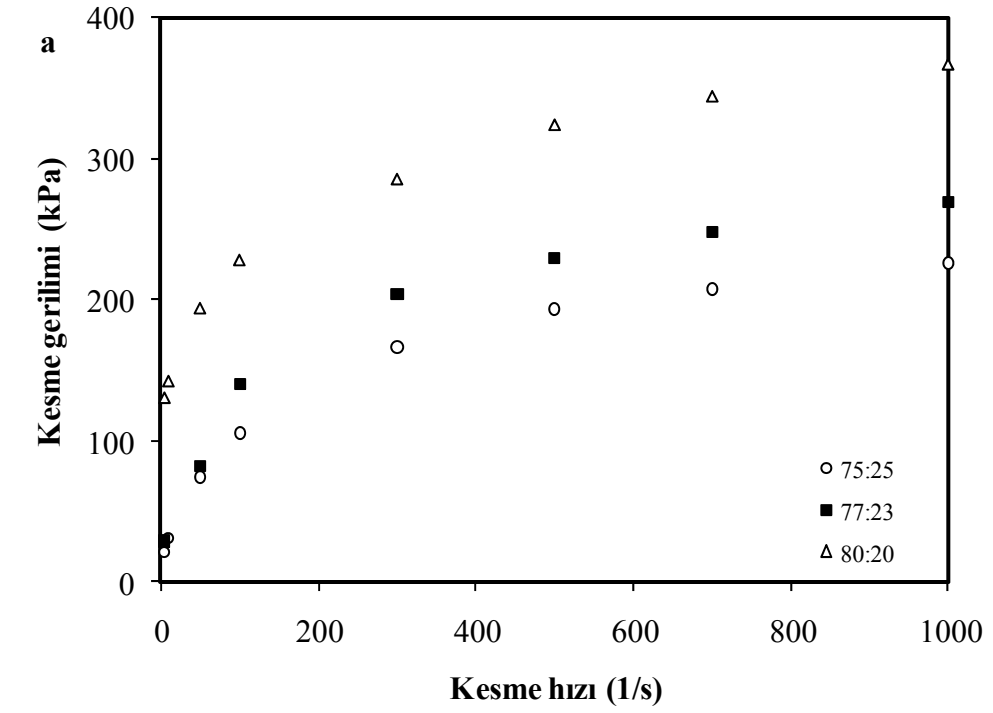
Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	5	9403	66	16	0	25	1	1
	50	1926	150	16	0	25	1	1
	100	1125	183	16	0	25	1	1
	198	638	215	16	0	25	1	1
	296	456	237	16	0	25	1	1
	400	356	256	16	0	25	1	1
	498	297	271	16	0	25	1	1
	597	256	284	16	0	25	1	1
	702	223	295	16	0	25	1	1
	800	200	305	16	0	25	1	1
	899	182	315	16	0	25	1	1
	997	166	323	16	0	25	1	1



Şekil 3.15 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.7 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75:25	5	3737	21	16	0	25	2	2
	10	2638	31	16	0	25	2	2
	50	1168	74	16	0	25	2	2
	100	793	106	16	0	25	2	2
	300	378	166	16	0	25	2	2
	500	249	193	16	0	25	2	2
	700	182	207	16	0	25	2	2
	1000	132	226	16	0	25	2	2
77:23	5	4923	29	16	0	25	2	2
	50	1253	82	16	0	25	2	2
	100	1028	140	16	0	25	2	2
	300	460	204	16	0	25	2	2
	500	296	229	16	0	25	2	2
	700	221	248	16	0	25	2	2
	1000	161	269	16	0	25	2	2
	80:20	5	11803	130	16	0	25	2
10		6627	142	16	0	25	2	2
50		1924	193	16	0	25	2	2
100		1160	228	16	0	25	2	2
300		502	285	16	0	25	2	2
500		347	324	16	0	25	2	2
700		266	344	16	0	25	2	2
1000		201	367	16	0	25	2	2



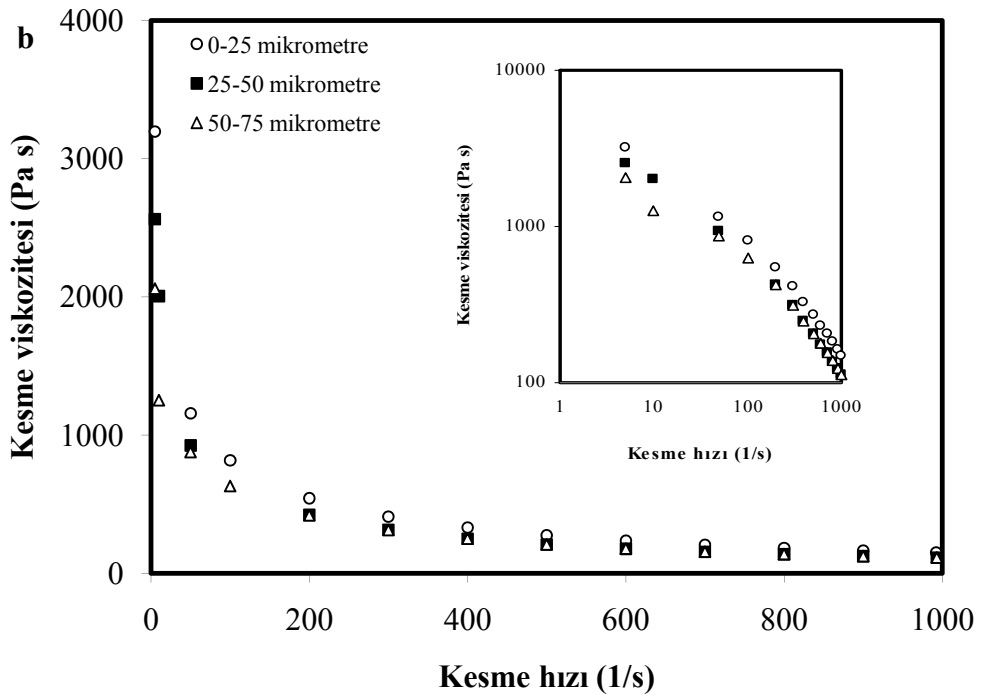
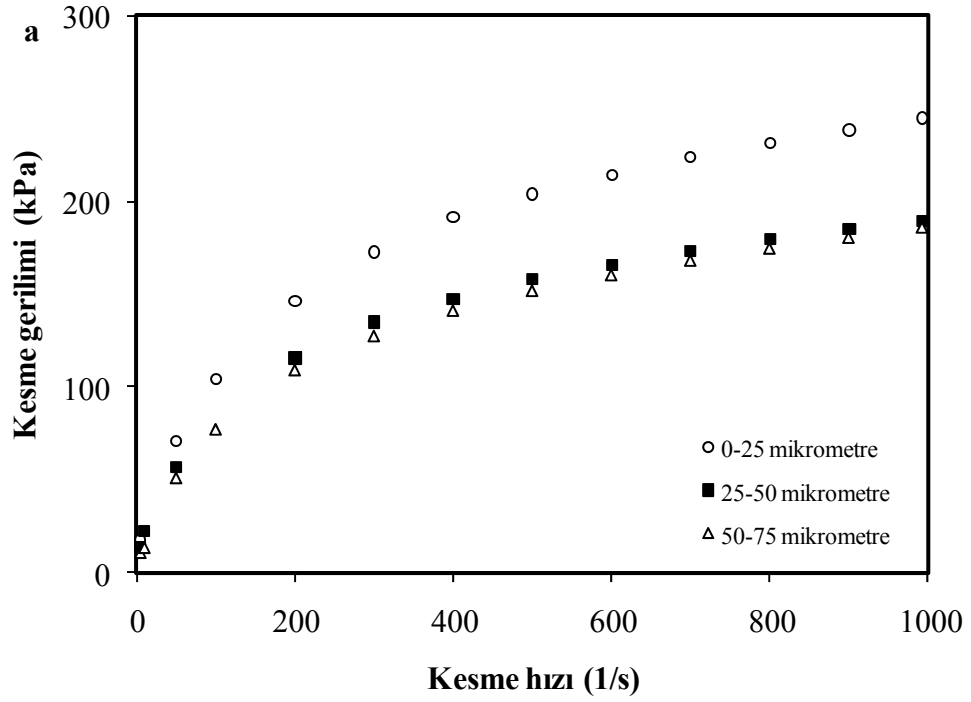
Şekil 3.16 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.8 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm /0,5 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	3196	17	16	0	25	0,5	0,5
	50	1157	70	16	0	25	0,5	0,5
	100	816	104	16	0	25	0,5	0,5
	200	542	147	16	0	25	0,5	0,5
	300	409	173	16	0	25	0,5	0,5
	400	329	191	16	0	25	0,5	0,5
	500	273	204	16	0	25	0,5	0,5
	600	234	214	16	0	25	0,5	0,5
	700	205	224	16	0	25	0,5	0,5
	800	182	232	16	0	25	0,5	0,5
	900	163	238	16	0	25	0,5	0,5
992	150	245	16	0	25	0,5	0,5	
25-50	5	2561	14	16	0	25	0,5	0,5
	10	2005	23	16	0	25	0,5	0,5
	50	924	57	16	0	25	0,5	0,5
	200	422	115	16	0	25	0,5	0,5
	300	314	135	16	0	25	0,5	0,5
	400	249	148	16	0	25	0,5	0,5
	500	207	158	16	0	25	0,5	0,5
	600	176	166	16	0	25	0,5	0,5
	700	154	174	16	0	25	0,5	0,5
	800	137	180	16	0	25	0,5	0,5
	900	122	185	16	0	25	0,5	0,5
993	112	190	16	0	25	0,5	0,5	

Çizelge 3.8'in devamı

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	2059	11	16	0	25	0,5	0,5
	10	1252	13	16	0	25	0,5	0,5
	50	876	51	16	0	25	0,5	0,5
	100	631	77	16	0	25	0,5	0,5
	200	419	109	16	0	25	0,5	0,5
	300	311	127	16	0	25	0,5	0,5
	400	249	141	16	0	25	0,5	0,5
	500	208	152	16	0	25	0,5	0,5
	600	178	160	16	0	25	0,5	0,5
	700	155	168	16	0	25	0,5	0,5
	800	138	174	16	0	25	0,5	0,5
	900	124	180	16	0	25	0,5	0,5
	993	113	186	16	0	25	0,5	0,5



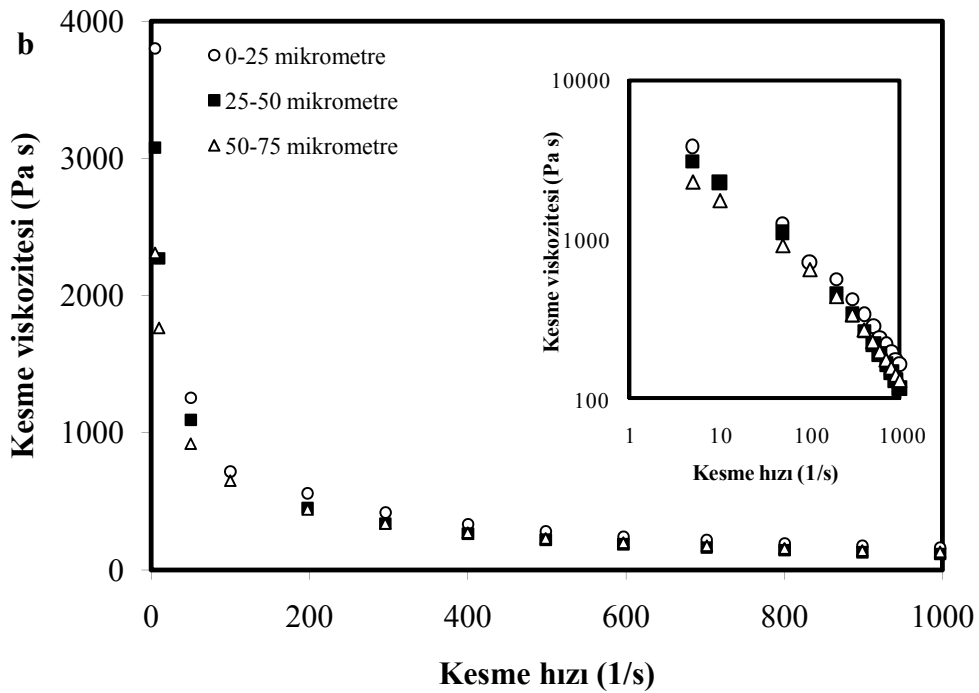
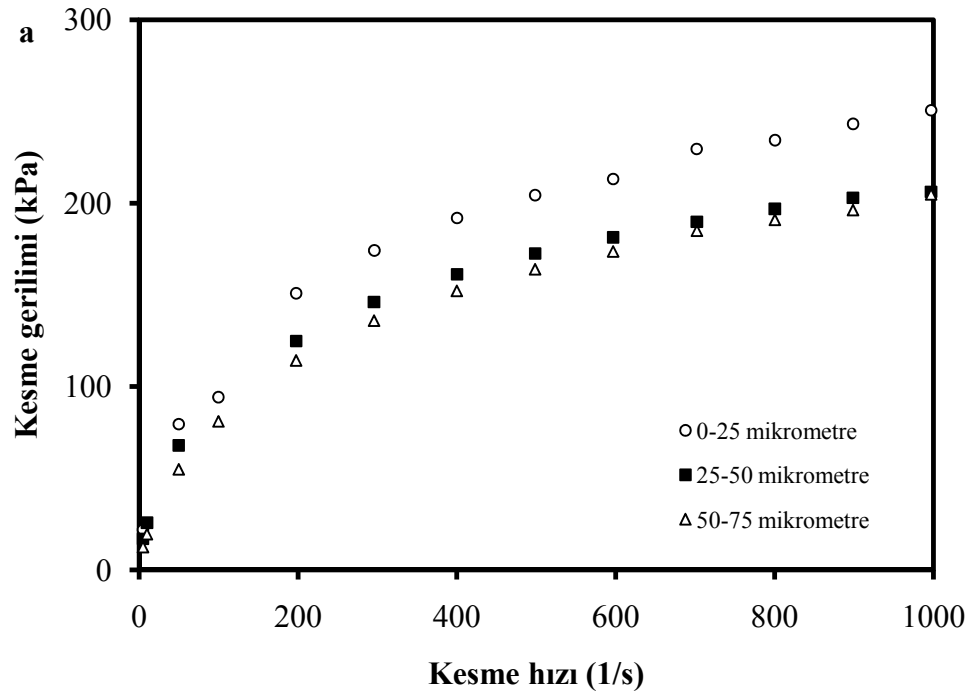
Şekil 3.17 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.9 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	3801	22	16	0	25	1	1
	50	1255	80	16	0	25	1	1
	100	718	94	16	0	25	1	1
	198	559	151	16	0	25	1	1
	296	419	174	16	0	25	1	1
	400	334	192	16	0	25	1	1
	499	281	204	16	0	25	1	1
	597	242	213	16	0	25	1	1
	702	218	230	16	0	25	1	1
	800	193	234	16	0	25	1	1
	899	177	243	16	0	25	1	1
997	163	251	16	0	25	1	1	
25-50	5	3078	17	16	0	25	1	1
	10	2272	26	16	0	25	1	1
	50	1093	68	16	0	25	1	1
	198	452	125	16	0	25	1	1
	296	338	146	16	0	25	1	1
	400	265	161	16	0	25	1	1
	498	221	173	16	0	25	1	1
	597	188	181	16	0	25	1	1
	702	163	190	16	0	25	1	1
	800	145	197	16	0	25	1	1
	899	130	203	16	0	25	1	1
997	117	206	16	0	25	1	1	

Çizelge 3.9'un devamı

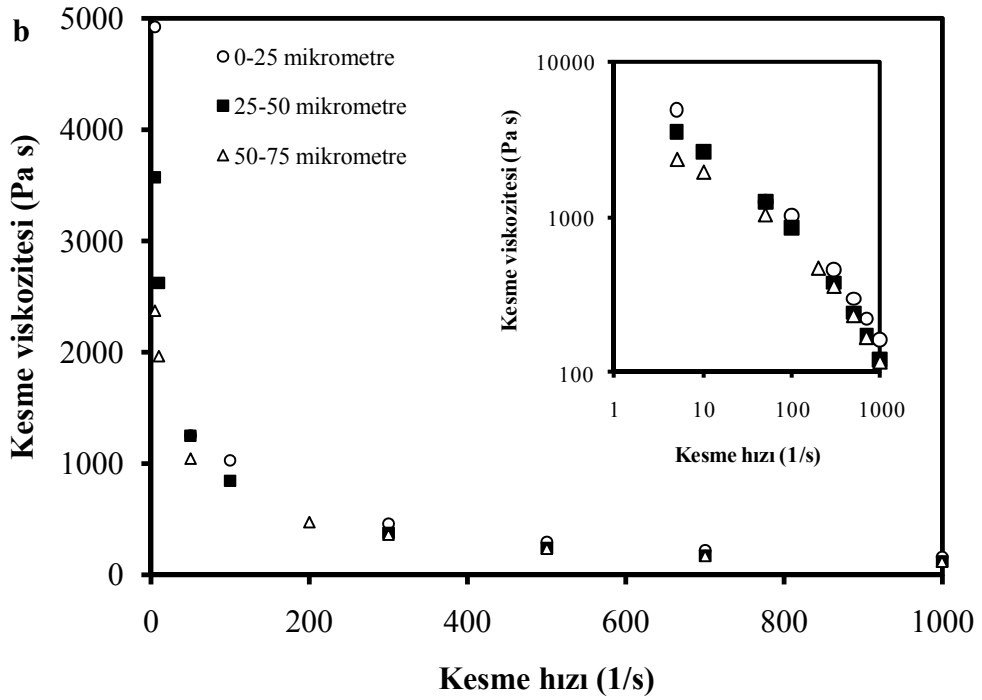
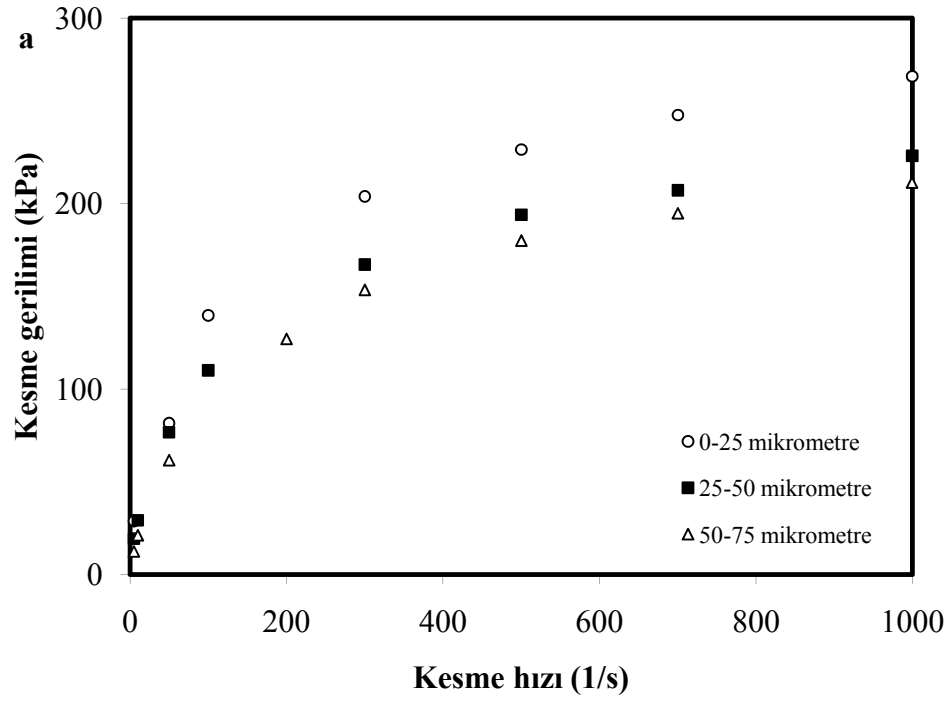
Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	2311	12	16	0	25	1	1
	10	1764	19	16	0	25	1	1
	50	920	55	16	0	25	1	1
	100	651	81	16	0	25	1	1
	198	441	114	16	0	25	1	1
	296	338	136	16	0	25	1	1
	400	272	152	16	0	25	1	1
	499	229	164	16	0	25	1	1
	597	199	174	16	0	25	1	1
	702	176	185	16	0	25	1	1
	800	157	191	16	0	25	1	1
	899	141	196	16	0	25	1	1
	997	131	205	16	0	25	1	1



Şekil 3.18 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.10 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	4923	29	16	0	25	2	2
	50	1253	82	16	0	25	2	2
	100	1028	140	16	0	25	2	2
	300	460	204	16	0	25	2	2
	500	296	229	16	0	25	2	2
	700	221	248	16	0	25	2	2
	1000	161	269	16	0	25	2	2
25-50	5	3571	19	16	0	25	2	2
	10	2623	29	16	0	25	2	2
	50	1249	77	16	0	25	2	2
	100	844	110	16	0	25	2	2
	300	377	167	16	0	25	2	2
	500	242	194	16	0	25	2	2
	700	173	207	16	0	25	2	2
1000	121	226	16	0	25	2	2	
50-75	5	2373	12	16	0	25	2	2
	10	1965	21	16	0	25	2	2
	50	1044	62	16	0	25	2	2
	200	473	127	16	0	25	2	2
	300	361	153	16	0	25	2	2
	500	234	180	16	0	25	2	2
	700	169	195	16	0	25	2	2
1000	117	211	16	0	25	2	2	



Şekil 3.19 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.1.3 Sıcaklığın Etkisi

Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri daha önce 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında elde edilmişti. Bu nedenle pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi, 77:23 katı:sıvı (g:g) oranlı ve 0-25 µm tane boyutlu pasta için 25, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.11-3.13'te verilerek Şekil 3.20-3.22a ve b'de kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi artan sıcaklıkla kesme gerilimi ve kesme viskozitesi kesme hızı ile azalmıştır.

3.2.1.4 L/D Oranının Etkisi

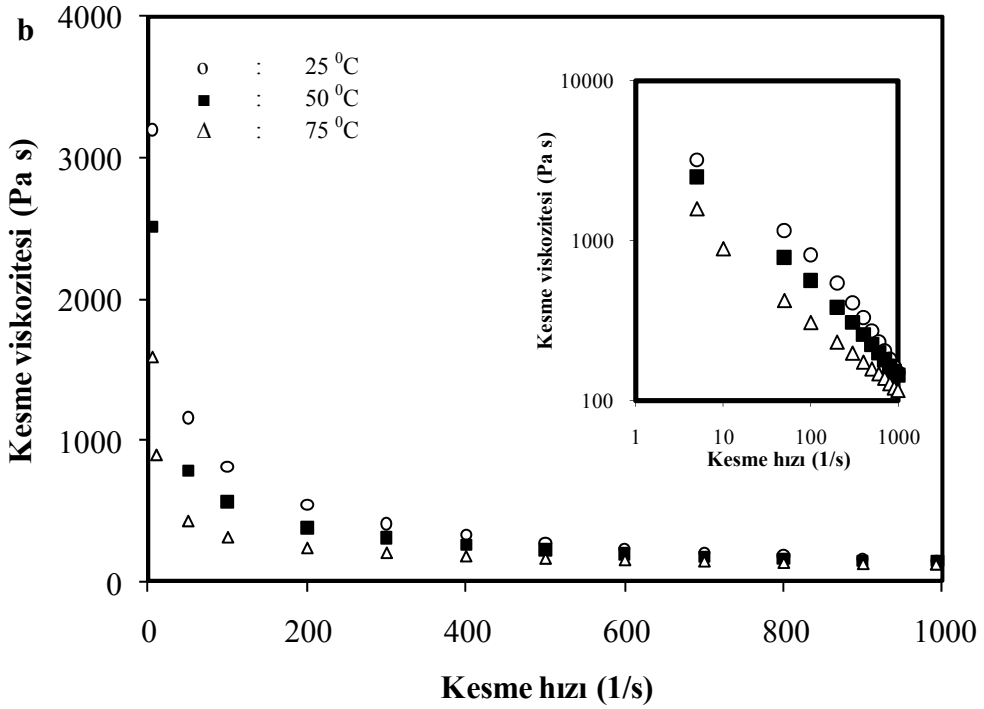
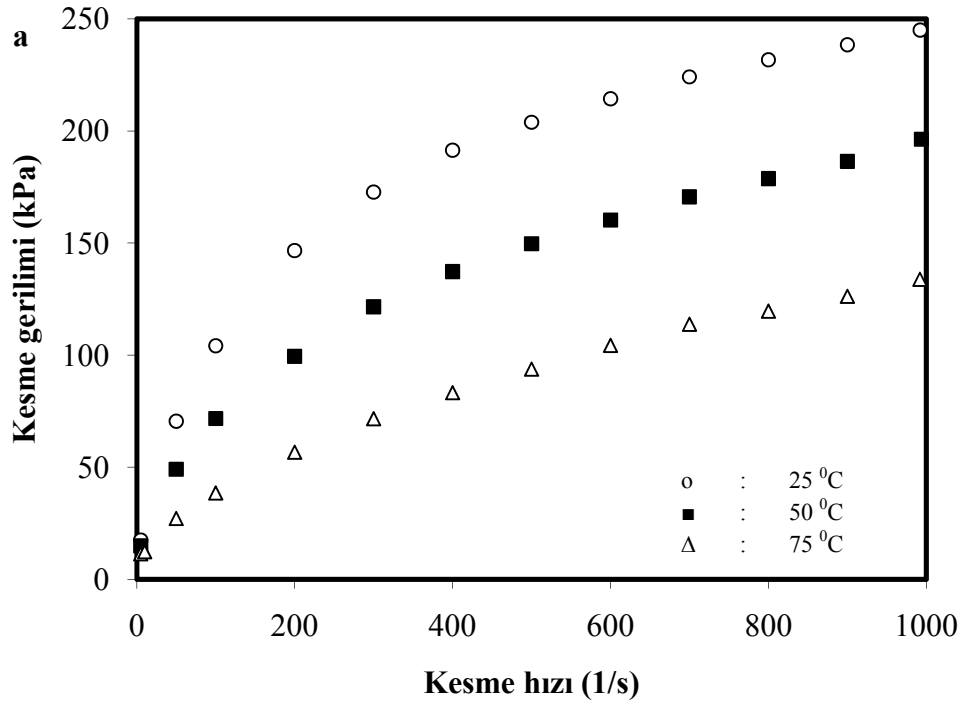
0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 60 000 ile 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de iki farklı L/D oranlı kapiler kanal kullanılarak ölçülen reolojik verileri Çizelge 3.14'te verilerek Şekil 3.23a ve b'de sırasıyla kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi artan L/D oranı ile pastanın kesme gerilimi kesme hızı ile hafif bir şekilde azalırken, kesme viskozitesinde önemli bir değişme meydana gelmemiştir.

Çizelge 3.11 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	3196	17	16	0	25	0,5	0,5
	50	1157	70	16	0	25	0,5	0,5
	100	816	104	16	0	25	0,5	0,5
	200	542	147	16	0	25	0,5	0,5
	300	409	173	16	0	25	0,5	0,5
	400	329	191	16	0	25	0,5	0,5
	500	273	204	16	0	25	0,5	0,5
	600	234	214	16	0	25	0,5	0,5
	700	205	224	16	0	25	0,5	0,5
	800	182	232	16	0	25	0,5	0,5
	900	163	238	16	0	25	0,5	0,5
	992	150	245	16	0	25	0,5	0,5
50	5	2510	15	16	0	50	0,5	0,5
	50	786	49	16	0	50	0,5	0,5
	100	564	72	16	0	50	0,5	0,5
	200	383	99	16	0	50	0,5	0,5
	300	308	122	16	0	50	0,5	0,5
	400	259	137	16	0	50	0,5	0,5
	500	224	150	16	0	50	0,5	0,5
	600	199	160	16	0	50	0,5	0,5
	700	180	171	16	0	50	0,5	0,5
	800	165	179	16	0	50	0,5	0,5
	900	152	186	16	0	50	0,5	0,5
	994	144	196	16	0	50	0,5	0,5

Çizelge 3.11'in devamı

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	5	1589	11	16	0	75	0,5	0,5
	10	894	12	16	0	75	0,5	0,5
	50	424	27	16	0	75	0,5	0,5
	100	309	38	16	0	75	0,5	0,5
	200	233	57	16	0	75	0,5	0,5
	300	199	72	16	0	75	0,5	0,5
	400	175	83	16	0	75	0,5	0,5
	500	158	94	16	0	75	0,5	0,5
	600	148	104	16	0	75	0,5	0,5
	700	139	114	16	0	75	0,5	0,5
	800	128	120	16	0	75	0,5	0,5
	900	120	126	16	0	75	0,5	0,5
	992	116	134	16	0	75	0,5	0,5



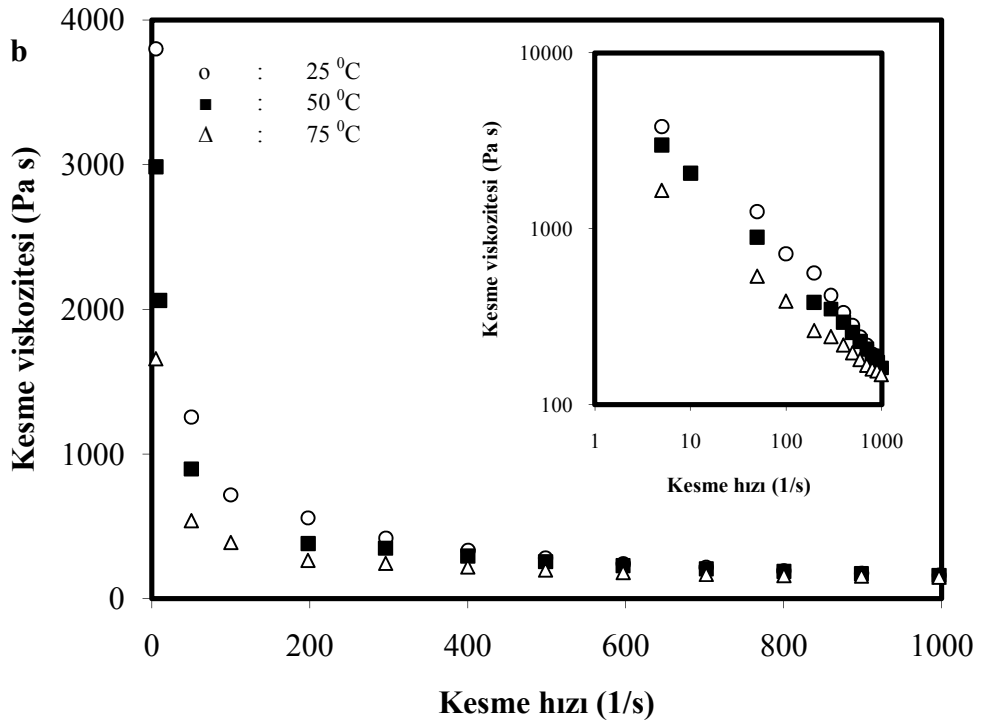
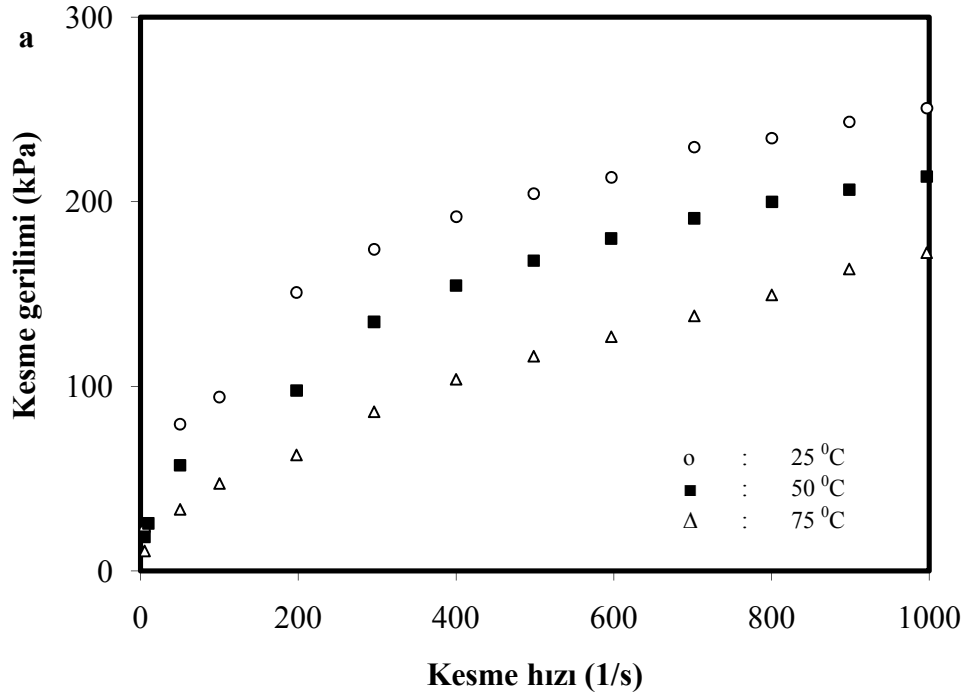
Şekil 3.20 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.12 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	3801	22	16	0	25	1	1
	50	1255	80	16	0	25	1	1
	100	718	94	16	0	25	1	1
	198	559	151	16	0	25	1	1
	296	419	174	16	0	25	1	1
	400	334	192	16	0	25	1	1
	499	281	204	16	0	25	1	1
	597	242	213	16	0	25	1	1
	702	218	230	16	0	25	1	1
	800	193	234	16	0	25	1	1
	899	177	243	16	0	25	1	1
	997	163	251	16	0	25	1	1
50	5	2985	19	16	0	50	1	1
	10	2062	26	16	0	50	1	1
	50	897	57	16	0	50	1	1
	198	381	98	16	0	50	1	1
	296	349	135	16	0	50	1	1
	400	295	155	16	0	50	1	1
	499	257	168	16	0	50	1	1
	597	229	180	16	0	50	1	1
	702	206	191	16	0	50	1	1
	801	189	200	16	0	50	1	1
	899	173	207	16	0	50	1	1
	997	161	214	16	0	50	1	1

Çizelge 3.12'nin devamı

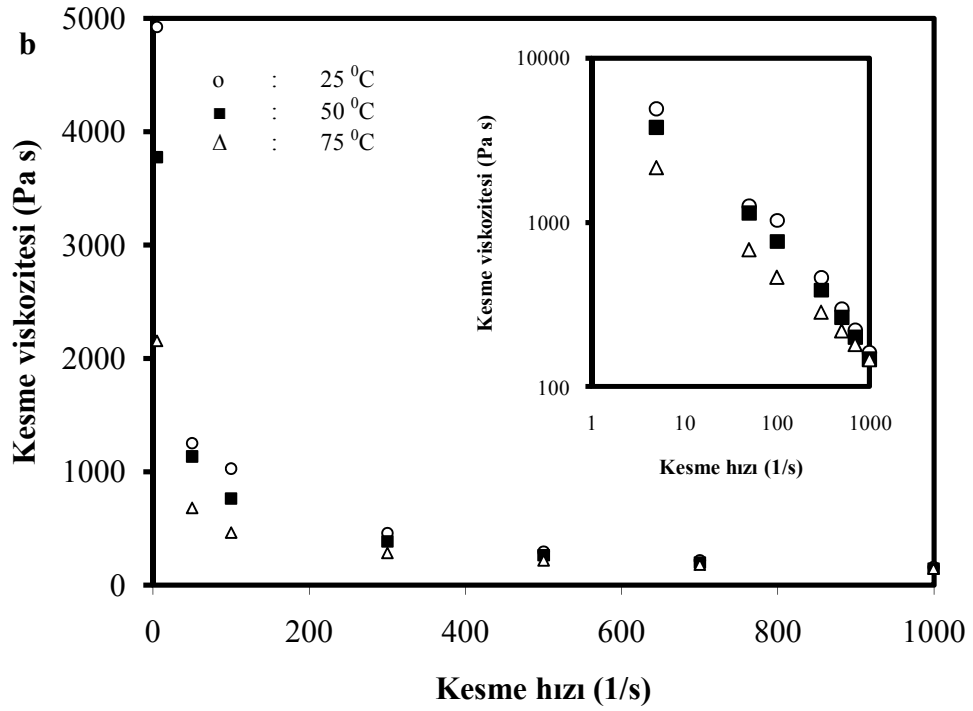
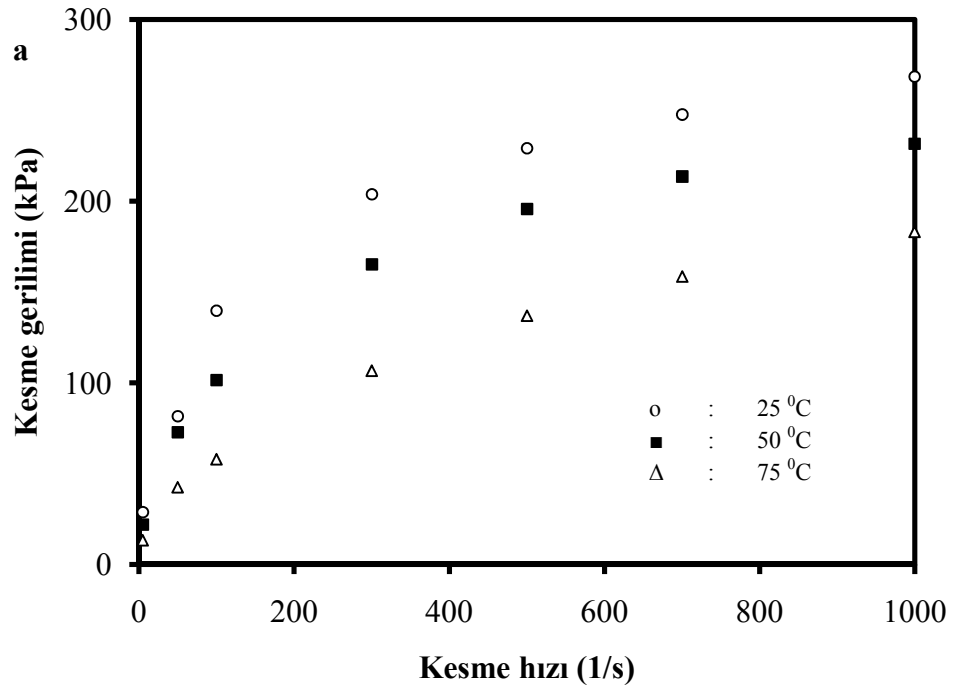
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	5	1657	11	16	0	75	1	1
	50	539	33	16	0	75	1	1
	100	389	47	16	0	75	1	1
	198	265	63	16	0	75	1	1
	296	244	86	16	0	75	1	1
	400	219	104	16	0	75	1	1
	498	198	116	16	0	75	1	1
	597	181	127	16	0	75	1	1
	702	168	138	16	0	75	1	1
	800	160	150	16	0	75	1	1
	899	156	164	16	0	75	1	1
	997	148	172	16	0	75	1	1



Şekil 3.21 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.13 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm /2 mm)

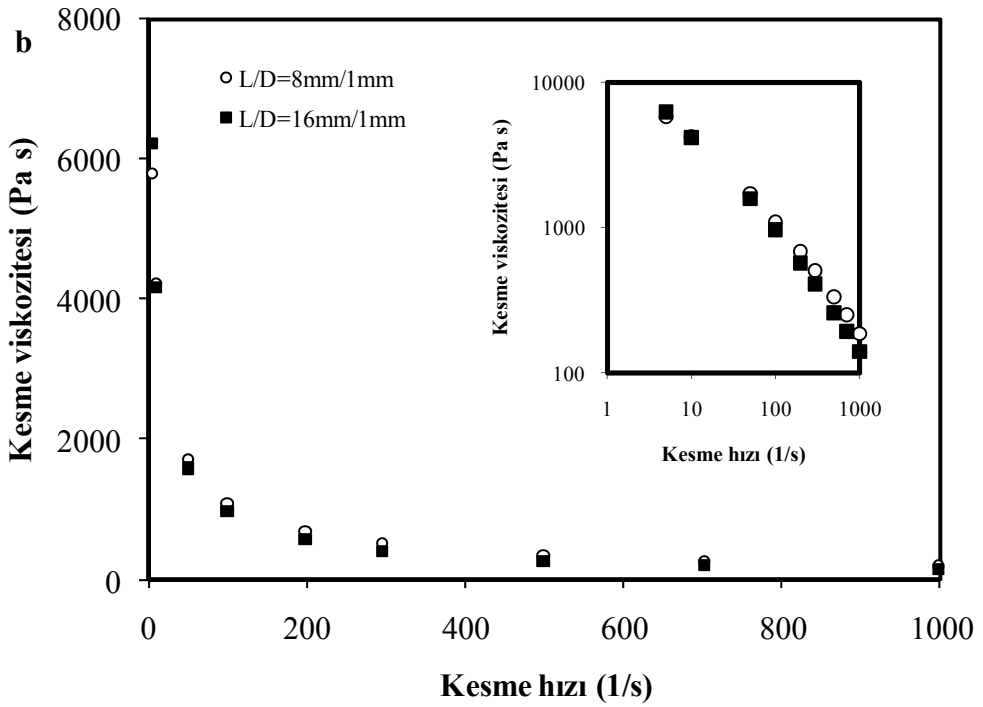
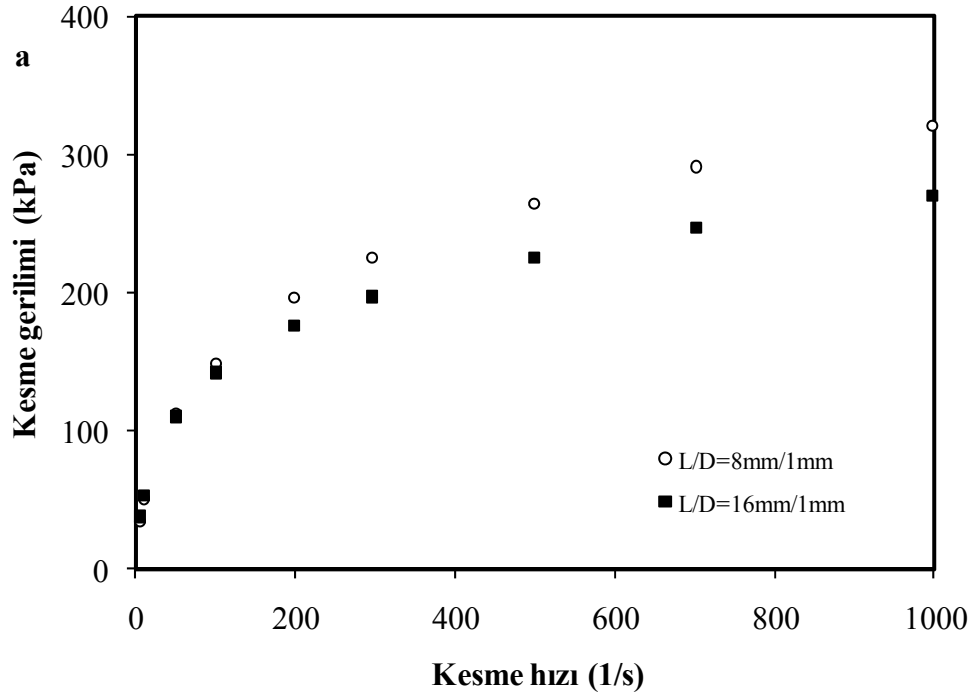
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	4923	29	16	0	25	2	2
	50	1253	82	16	0	25	2	2
	100	1028	140	16	0	25	2	2
	300	460	204	16	0	25	2	2
	500	296	229	16	0	25	2	2
	700	221	248	16	0	25	2	2
	1000	161	269	16	0	25	2	2
50	5	3776	22	16	0	50	2	2
	50	1136	73	16	0	50	2	2
	100	764	102	16	0	50	2	2
	300	387	165	16	0	50	2	2
	500	264	196	16	0	50	2	2
	700	200	214	16	0	50	2	2
	1000	147	232	16	0	50	2	2
75	5	2155	13	16	0	75	2	2
	50	681	43	16	0	75	2	2
	100	463	58	16	0	75	2	2
	300	284	107	16	0	75	2	2
	500	218	137	16	0	75	2	2
	700	180	158	16	0	75	2	2
	1000	146	183	16	0	75	2	2



Şekil 3.22 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.14 0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 60 000 ile 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C’de farklı L/D oranlı kapiler kanallar kullanılarak ölçülen reolojik verileri

L/D oranı (mm/mm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	5	5784	34	8	0	25	1	1
	10	4218	51	8	0	25	1	1
	50	1715	112	8	0	25	1	1
	100	1089	149	8	0	25	1	1
	198	685	196	8	0	25	1	1
	296	507	225	8	0	25	1	1
	499	334	264	8	0	25	1	1
	702	251	291	8	0	25	1	1
	997	186	321	8	0	25	1	1
16/1	5	6221	38	16	0	25	1	1
	10	4169	53	16	0	25	1	1
	50	1580	110	16	0	25	1	1
	100	968	142	16	0	25	1	1
	198	569	176	16	0	25	1	1
	296	408	197	16	0	25	1	1
	499	259	225	16	0	25	1	1
	702	192	247	16	0	25	1	1
	997	140	270	16	0	25	1	1



Şekil 3.23 Silikon yağı AK 60 000 ve kaolinitten (0-25 μm) 77:23 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.2 Silikon Yağı AK 100 000-Kaolinit Pastaları

Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinit örneklerinden hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine aşağıdaki parametrelerin etkileri incelendi.

3.2.2.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Silikon yağı AK 100 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların 25 °C'de yüksek basınçlı kapiler reometrede aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak elde edilen reolojik verileri Çizelge 3.15-3.17'de verilerek sırasıyla Şekil 3.24-3.26a ve b'de kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Şekillerden görüldüğü gibi artan katı:sıvı oranı ile kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile arttığı bulundu.

3.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi

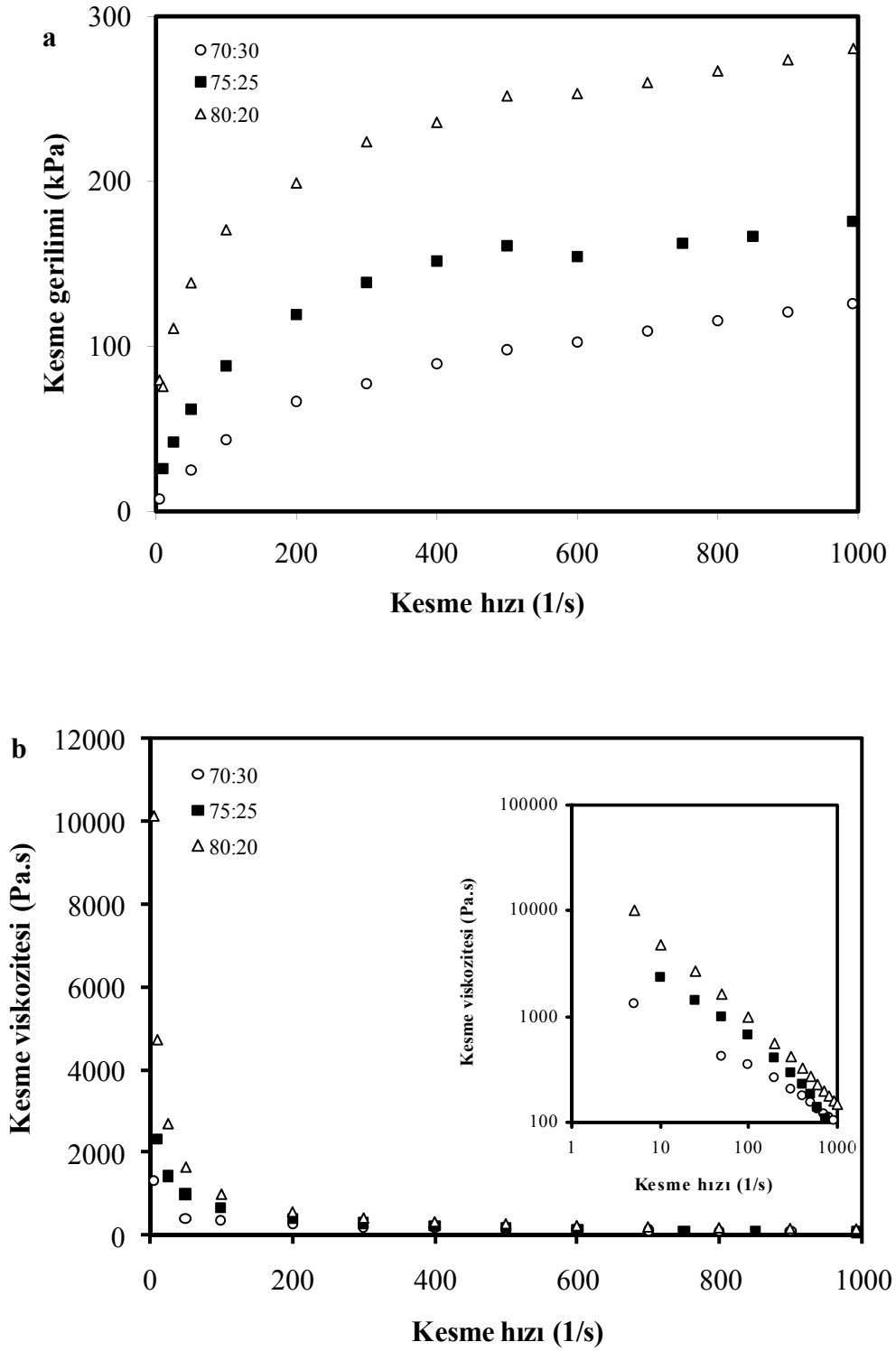
Silikon yağı AK 100 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri 80:20 katı:sıvı oranında elde edildi. Bu nedenle 0-25, 25-50 ve 50-75 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 100 000 ile 80:20 katı:sıvı oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri 50 °C'de aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.18-3.20'de verilerek Şekil 3.27-3.29a ve b'de sırasıyla kesme geriliminin, kesme hızına ve kesme viskozitesinin, kesme hızına karşı grafikleri çizildi. Şekillerden görüldüğü gibi tane boyutunun artması ile kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile azaldığı bulundu.

Çizelge 3.15 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	1318	7	16	0	25	0,5	0,5
	50	417	25	16	0	25	0,5	0,5
	100	355	43	16	0	25	0,5	0,5
	200	267	67	16	0	25	0,5	0,5
	300	205	77	16	0	25	0,5	0,5
	400	176	89	16	0	25	0,5	0,5
	500	153	98	16	0	25	0,5	0,5
	600	132	103	16	0	25	0,5	0,5
	700	120	109	16	0	25	0,5	0,5
	800	111	116	16	0	25	0,5	0,5
	900	102	121	16	0	25	0,5	0,5
992	96	126	16	0	25	0,5	0,5	
75:25	10	2320	26	16	0	25	0,5	0,5
	25	1424	42	16	0	25	0,5	0,5
	50	994	62	16	0	25	0,5	0,5
	100	660	88	16	0	25	0,5	0,5
	200	407	119	16	0	25	0,5	0,5
	300	294	139	16	0	25	0,5	0,5
	400	227	152	16	0	25	0,5	0,5
	500	182	161	16	0	25	0,5	0,5
	600	138	154	16	0	25	0,5	0,5
	750	108	163	16	0	25	0,5	0,5
	850	94	167	16	0	25	0,5	0,5
992	79	176	16	0	25	0,5	0,5	

Çizelge 3.15'in devamı

Katı:sıvı oranı	Kesme hızı (/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	5	10129	80	16	0	25	0,5	0,5
	10	4723	76	16	0	25	0,5	0,5
	25	2695	111	16	0	25	0,5	0,5
	50	1646	139	16	0	25	0,5	0,5
	100	990	171	16	0	25	0,5	0,5
	200	563	199	16	0	25	0,5	0,5
	300	416	224	16	0	25	0,5	0,5
	400	325	236	16	0	25	0,5	0,5
	500	275	252	16	0	25	0,5	0,5
	600	229	253	16	0	25	0,5	0,5
	700	200	260	16	0	25	0,5	0,5
	800	179	267	16	0	25	0,5	0,5
	900	162	274	16	0	25	0,5	0,5
	993	150	281	16	0	25	0,5	0,5



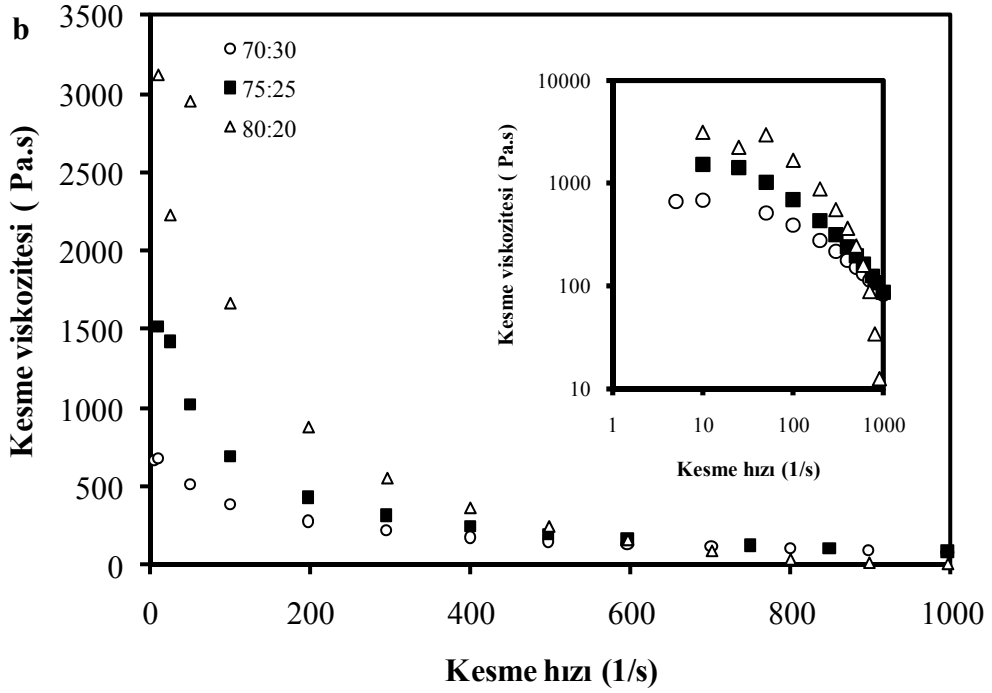
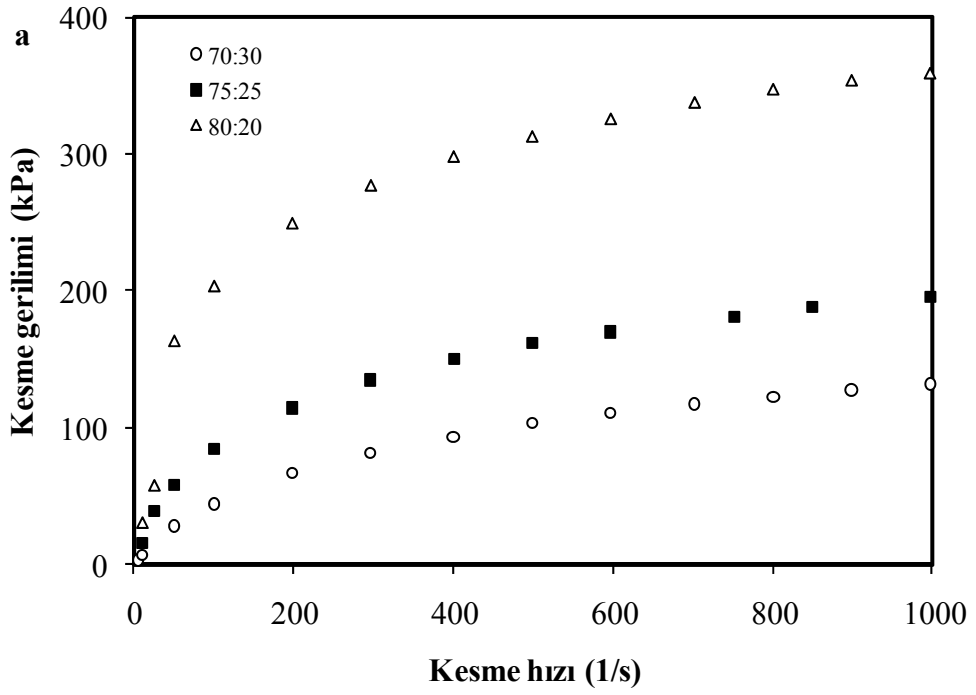
Şekil 3.24 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.16 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	664	3	16	0	25	1	1
	10	681	7	16	0	25	1	1
	50	513	28	16	0	25	1	1
	100	388	44	16	0	25	1	1
	198	278	67	16	0	25	1	1
	296	215	81	16	0	25	1	1
	400	176	94	16	0	25	1	1
	499	151	103	16	0	25	1	1
	597	131	111	16	0	25	1	1
	702	114	117	16	0	25	1	1
	801	102	123	16	0	25	1	1
	899	92	128	16	0	25	1	1
	997	83	132	16	0	25	1	1
75:25	10	1519	16	16	0	25	1	1
	25	1422	39	16	0	25	1	1
	50	1020	58	16	0	25	1	1
	100	688	84	16	0	25	1	1
	198	431	114	16	0	25	1	1
	296	314	135	16	0	25	1	1
	401	241	150	16	0	25	1	1
	498	196	161	16	0	25	1	1
	597	162	170	16	0	25	1	1
	751	125	181	16	0	25	1	1
	849	108	188	16	0	25	1	1
	997	87	195	16	0	25	1	1

Çizelge 3.16'nın devamı

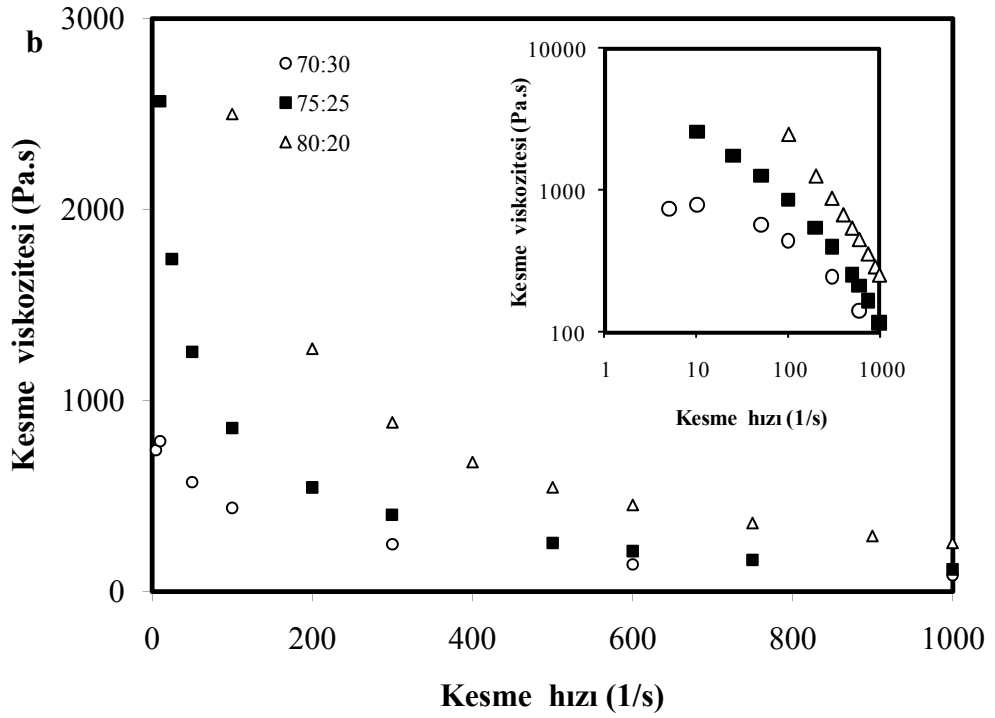
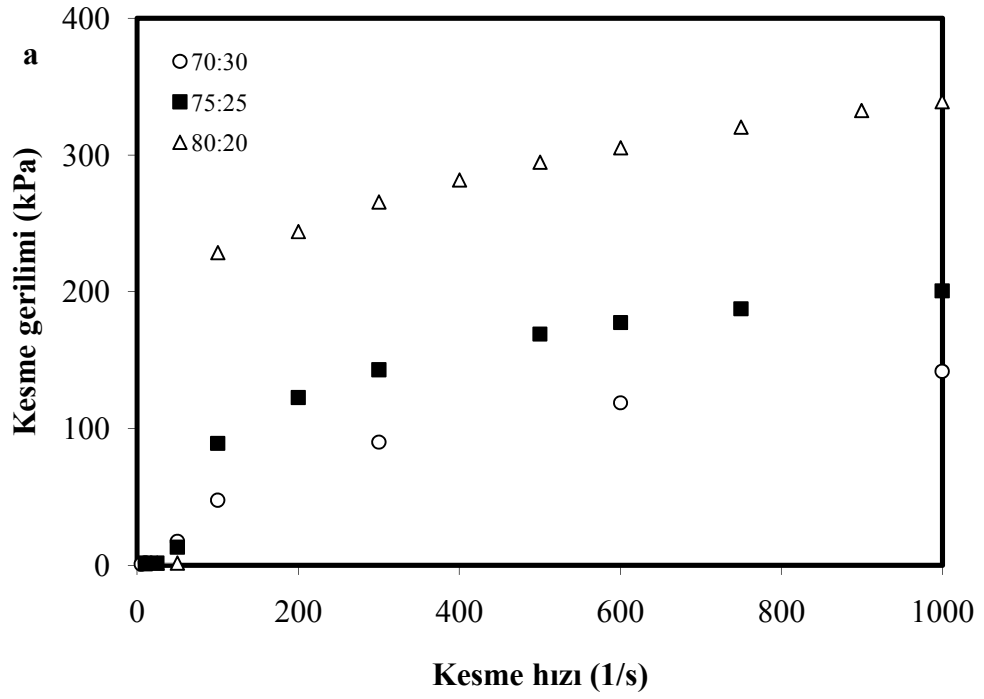
Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	10	3122	31	16	0	25	1	1
	25	2228	58	16	0	25	1	1
	50	2953	163	16	0	25	1	1
	100	1666	204	16	0	25	1	1
	198	877	249	16	0	25	1	1
	296	552	277	16	0	25	1	1
	400	362	298	16	0	25	1	1
	498	244	313	16	0	25	1	1
	597	158	326	16	0	25	1	1
	702	88	338	16	0	25	1	1
	800	34	347	16	0	25	1	1
	899	12	354	16	0	25	1	1
	997	5	359	16	0	25	1	1



Şekil 3.25 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.17 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	740	1	16	0	25	2	2
	10	787	2	16	0	25	2	2
	50	573	18	16	0	25	2	2
	100	438	48	16	0	25	2	2
	300	247	90	16	0	25	2	2
	600	142	119	16	0	25	2	2
	1000	86	142	16	0	25	2	2
75:25	10	2567	2	16	0	25	2	2
	25	1741	2	16	0	25	2	2
	50	1255	13	16	0	25	2	2
	100	856	89	16	0	25	2	2
	200	545	123	16	0	25	2	2
	300	402	143	16	0	25	2	2
	500	255	169	16	0	25	2	2
	600	212	178	16	0	25	2	2
	750	166	188	16	0	25	2	2
	1000	116	201	16	0	25	2	2
80:20	100	2499	229	16	0	25	2	2
	200	1271	244	16	0	25	2	2
	300	885	266	16	0	25	2	2
	400	677	282	16	0	25	2	2
	500	546	295	16	0	25	2	2
	600	453	305	16	0	25	2	2
	750	359	320	16	0	25	2	2
	900	291	332	16	0	25	2	2
	1000	255	339	16	0	25	2	2



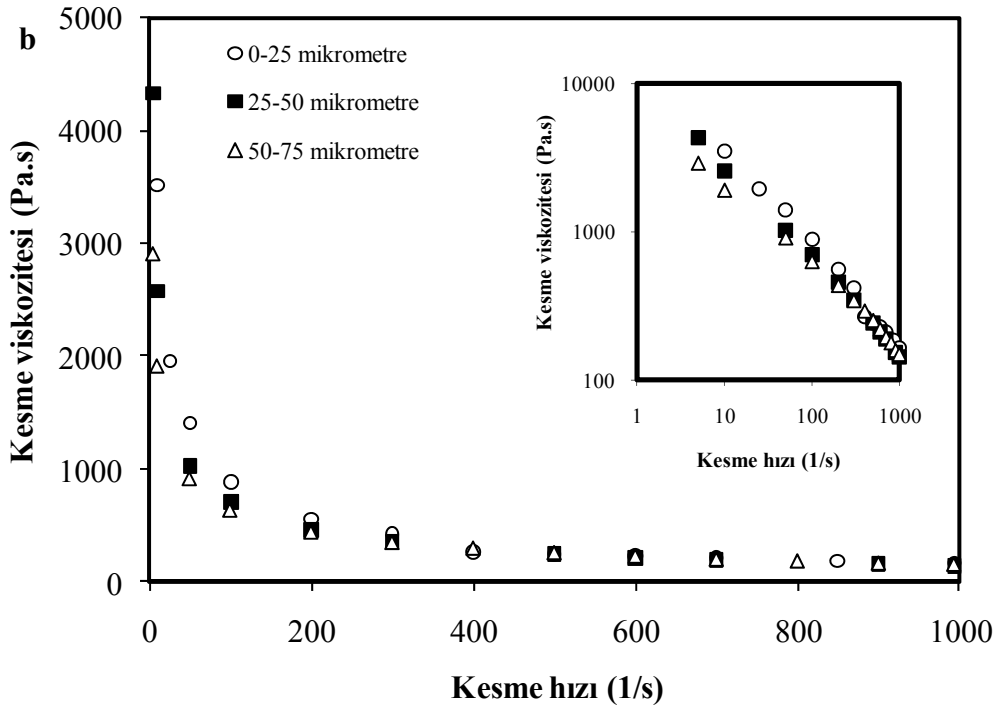
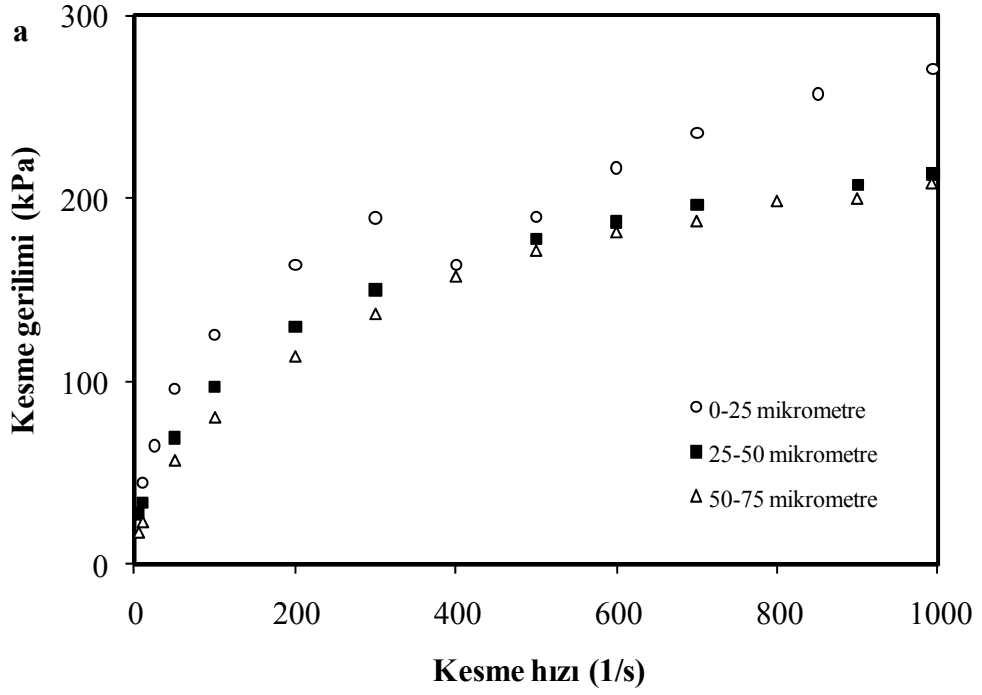
Şekil 3.26 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.18 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	10	3516	45	16	0	50	0,5	0,5
	25	1956	64	16	0	50	0,5	0,5
	50	1406	96	16	0	50	0,5	0,5
	100	888	125	16	0	50	0,5	0,5
	200	558	164	16	0	50	0,5	0,5
	300	419	189	16	0	50	0,5	0,5
	400	267	164	16	0	50	0,5	0,5
	500	243	190	16	0	50	0,5	0,5
	600	228	216	16	0	50	0,5	0,5
	700	210	236	16	0	50	0,5	0,5
	850	186	257	16	0	50	0,5	0,5
994	165	270	16	0	50	0,5	0,5	
25-50	5	4331	28	16	0	50	0,5	0,5
	10	2574	33	16	0	50	0,5	0,5
	50	1019	69	16	0	50	0,5	0,5
	100	700	97	16	0	50	0,5	0,5
	200	458	130	16	0	50	0,5	0,5
	300	348	150	16	0	50	0,5	0,5
	500	242	178	16	0	50	0,5	0,5
	600	211	187	16	0	50	0,5	0,5
	700	189	196	16	0	50	0,5	0,5
	900	154	207	16	0	50	0,5	0,5
	994	143	213	16	0	50	0,5	0,5

Çizelge 3.18'in devamı

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	2902	17	16	0	50	0,5	0,5
	10	1907	23	16	0	50	0,5	0,5
	50	908	56	16	0	50	0,5	0,5
	100	628	80	16	0	50	0,5	0,5
	200	433	114	16	0	50	0,5	0,5
	300	342	137	16	0	50	0,5	0,5
	400	291	157	16	0	50	0,5	0,5
	500	251	172	16	0	50	0,5	0,5
	600	220	182	16	0	50	0,5	0,5
	700	193	188	16	0	50	0,5	0,5
	800	178	199	16	0	50	0,5	0,5
	900	158	200	16	0	50	0,5	0,5
	993	148	209	16	0	50	0,5	0,5



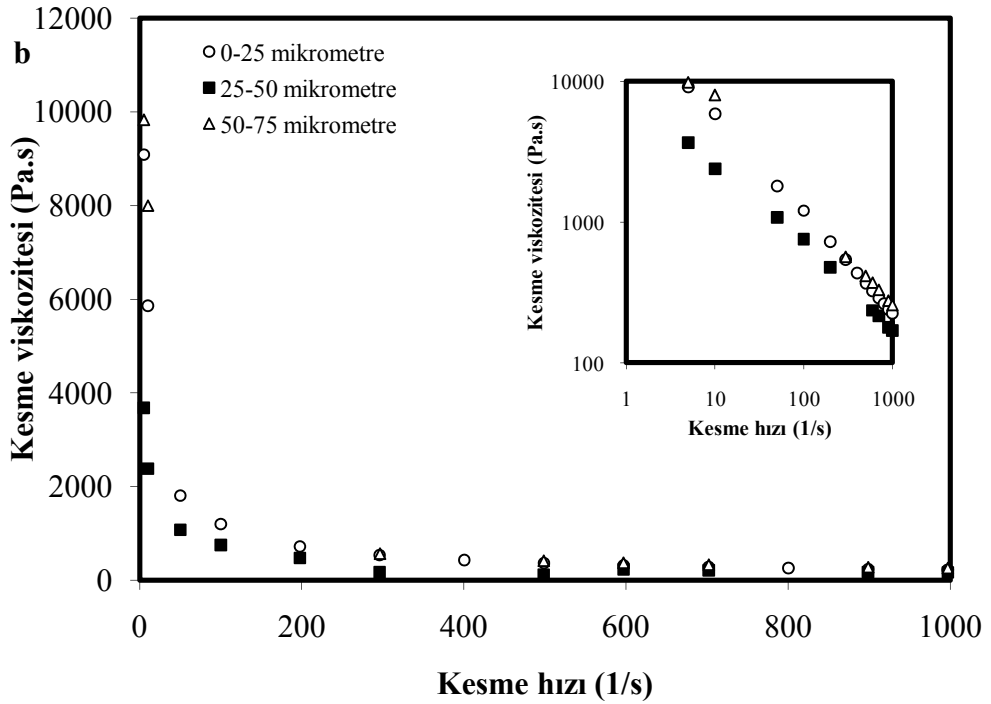
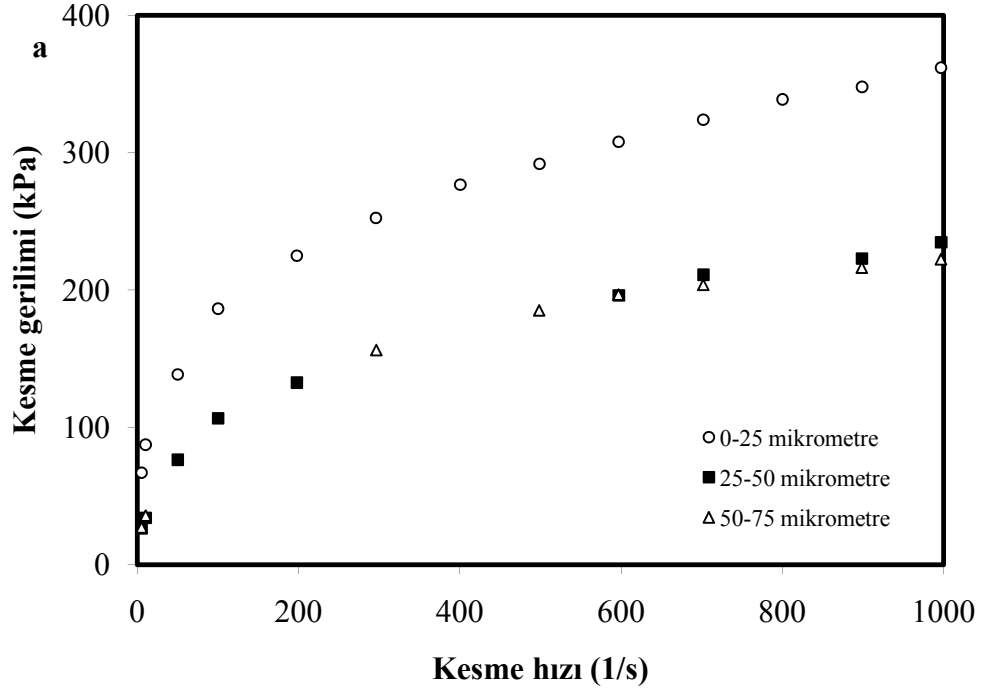
Şekil 3.27 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.19 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	9085	67	16	0	50	1	1
	10	5859	87	16	0	50	1	1
	50	1808	139	16	0	50	1	1
	100	1202	187	16	0	50	1	1
	198	725	225	16	0	50	1	1
	296	539	253	16	0	50	1	1
	400	434	277	16	0	50	1	1
	499	366	292	16	0	50	1	1
	597	322	308	16	0	50	1	1
	702	287	324	16	0	50	1	1
	800	263	339	16	0	50	1	1
	899	240	348	16	0	50	1	1
997	224	362	16	0	50	1	1	
25-50	5	3682	27	16	0	50	1	1
	10	2382	34	16	0	50	1	1
	50	1077	77	16	0	50	1	1
	100	754	107	16	0	50	1	1
	198	477	133	16	0	50	1	1
	597	235	196	16	0	50	1	1
	702	216	211	16	0	50	1	1
	899	178	223	16	0	50	1	1
	997	169	235	16	0	50	1	1

Çizelge 3.19'un devamı

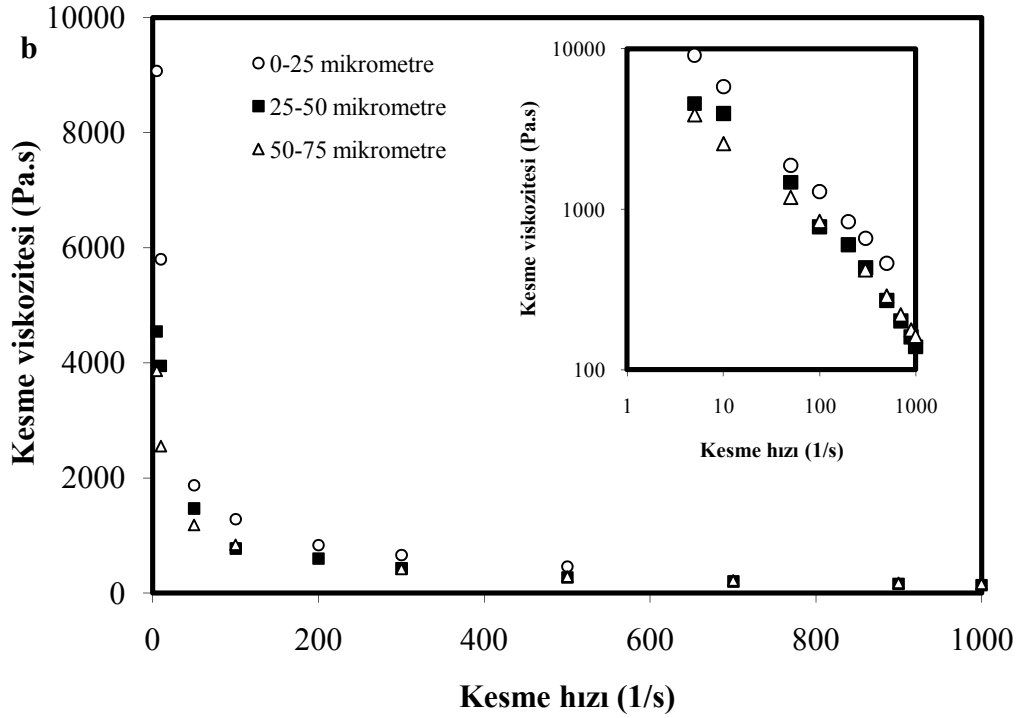
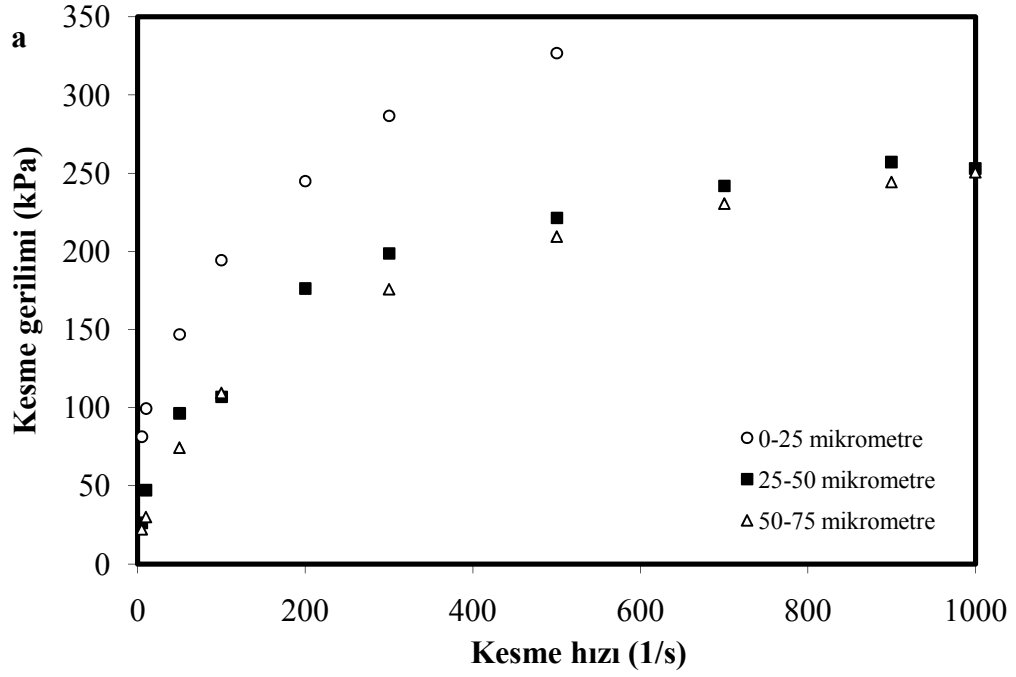
Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	9830	27	16	0	50	1	1
	10	7996	36	16	0	50	1	1
	296	567	156	16	0	50	1	1
	498	415	185	16	0	50	1	1
	597	372	197	16	0	50	1	1
	702	331	204	16	0	50	1	1
	899	277	216	16	0	50	1	1
	997	258	222	16	0	50	1	1



Şekil 3.28 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.20 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	9072	81	16	0	50	2	2
	10	5800	99	16	0	50	2	2
	50	1873	147	16	0	50	2	2
	100	1282	194	16	0	50	2	2
	200	832	245	16	0	50	2	2
	300	660	287	16	0	50	2	2
	500	460	327	16	0	50	2	2
25-50	5	4546	26	16	0	50	2	2
	10	3946	47	16	0	50	2	2
	50	1469	96	16	0	50	2	2
	100	774	107	16	0	50	2	2
	200	599	176	16	0	50	2	2
	300	431	199	16	0	50	2	2
	500	270	221	16	0	50	2	2
	700	201	242	16	0	50	2	2
	900	160	257	16	0	50	2	2
	1000	139	253	16	0	50	2	2
50-75	5	3860	22	16	0	50	2	2
	10	2552	30	16	0	50	2	2
	50	1184	74	16	0	50	2	2
	100	839	109	16	0	50	2	2
	300	419	176	16	0	50	2	2
	500	288	209	16	0	50	2	2
	700	220	230	16	0	50	2	2
	900	177	244	16	0	50	2	2
	1000	162	251	16	0	50	2	2



Şekil 3.29 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi

Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri daha önce 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında elde edilmişti. Bu nedenle pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi 80:20 katı:sıvı (g:g) oranlı ve 0-25 µm tane boyutlu pasta kullanılarak 25, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanalda incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.21-3.23'te verilerek Şekil 3.30-3.32a ve b'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizildi. Şekillerden görüldüğü gibi artan sıcaklıkla kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile azaldığı bulundu.

3.2.2.4 L/D Oranının Etkisi

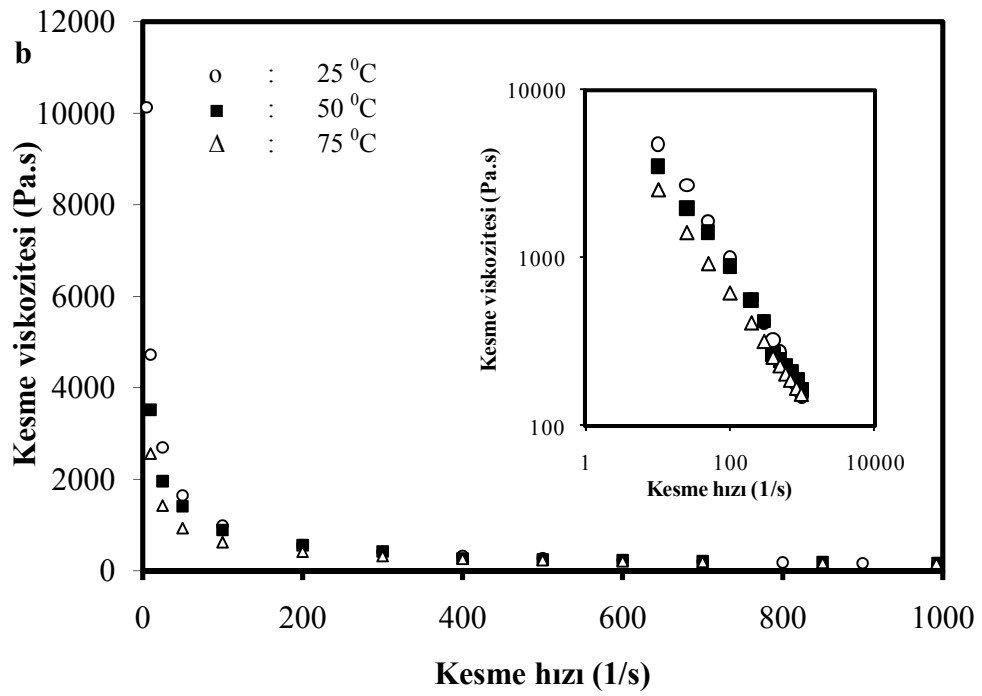
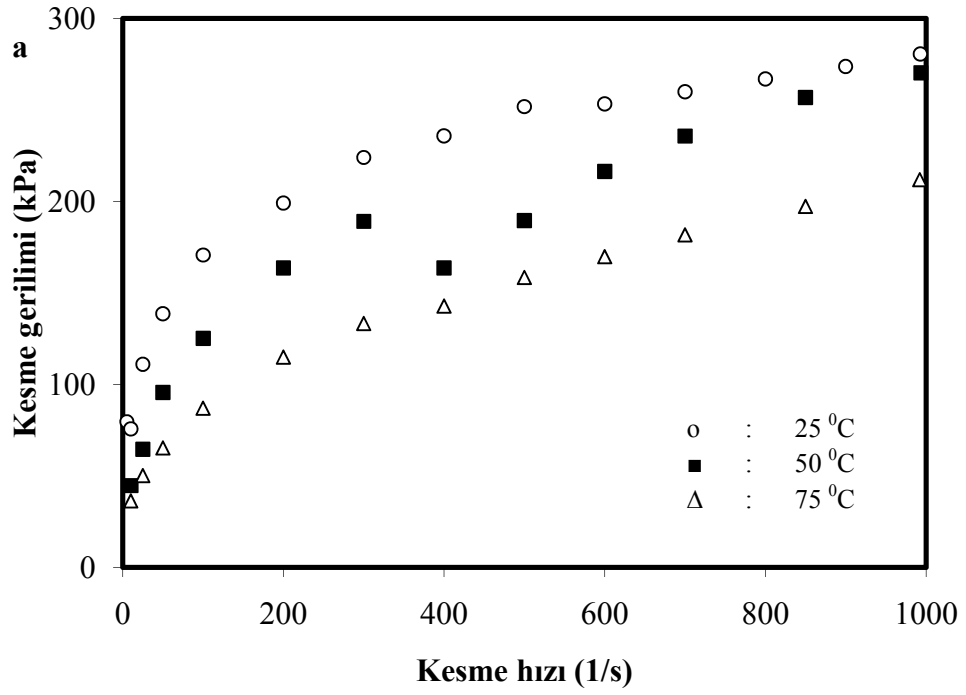
0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 100 000 ile 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de iki farklı L/D oranlı kapiler kanal kullanılarak ölçülen reolojik verileri Çizelge 3.24'te verilerek Şekil 3.33a ve b'de sırasıyla kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Artan L/D oranı ile pastanın kesme geriliminin kesme hızı ile hafif bir şekilde azaldığı, kesme viskozitesinde ise önemli bir değişimin meydana gelmediği görüldü.

Çizelge 3.21 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	10129	80	16	0	25	0,5	0,5
	10	4723	76	16	0	25	0,5	0,5
	25	2695	111	16	0	25	0,5	0,5
	50	1646	139	16	0	25	0,5	0,5
	100	990	171	16	0	25	0,5	0,5
	200	563	199	16	0	25	0,5	0,5
	300	416	224	16	0	25	0,5	0,5
	400	325	236	16	0	25	0,5	0,5
	500	275	252	16	0	25	0,5	0,5
	600	229	253	16	0	25	0,5	0,5
	700	200	260	16	0	25	0,5	0,5
	800	179	267	16	0	25	0,5	0,5
	900	162	274	16	0	25	0,5	0,5
	993	150	281	16	0	25	0,5	0,5
50	10	3516	45	16	0	50	0,5	0,5
	25	1956	64	16	0	50	0,5	0,5
	50	1406	96	16	0	50	0,5	0,5
	100	888	125	16	0	50	0,5	0,5
	200	558	164	16	0	50	0,5	0,5
	300	419	189	16	0	50	0,5	0,5
	400	267	164	16	0	50	0,5	0,5
	500	243	190	16	0	50	0,5	0,5
	600	228	216	16	0	50	0,5	0,5
	700	210	236	16	0	50	0,5	0,5
	850	186	257	16	0	50	0,5	0,5
	994	165	270	16	0	50	0,5	0,5

Çizelge 3.21'in devamı

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	2557	36	16	0	75	0,5	0,5
	25	1420	50	16	0	75	0,5	0,5
	50	927	65	16	0	75	0,5	0,5
	100	620	87	16	0	75	0,5	0,5
	200	411	115	16	0	75	0,5	0,5
	300	318	133	16	0	75	0,5	0,5
	400	256	143	16	0	75	0,5	0,5
	500	228	158	16	0	75	0,5	0,5
	600	203	170	16	0	75	0,5	0,5
	700	187	182	16	0	75	0,5	0,5
	850	167	197	16	0	75	0,5	0,5
	992	154	212	16	0	75	0,5	0,5



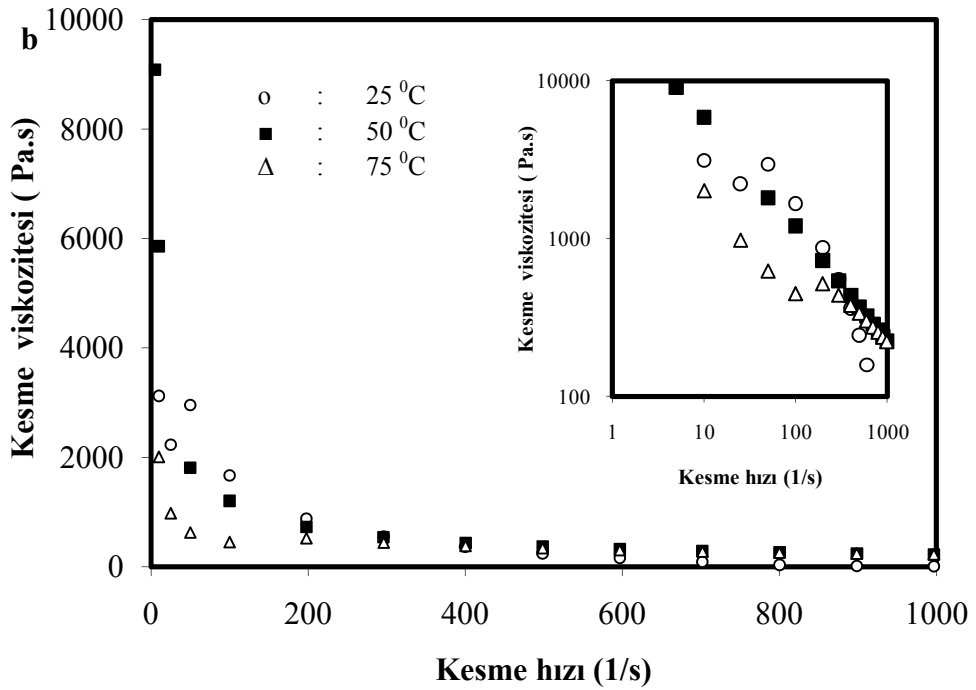
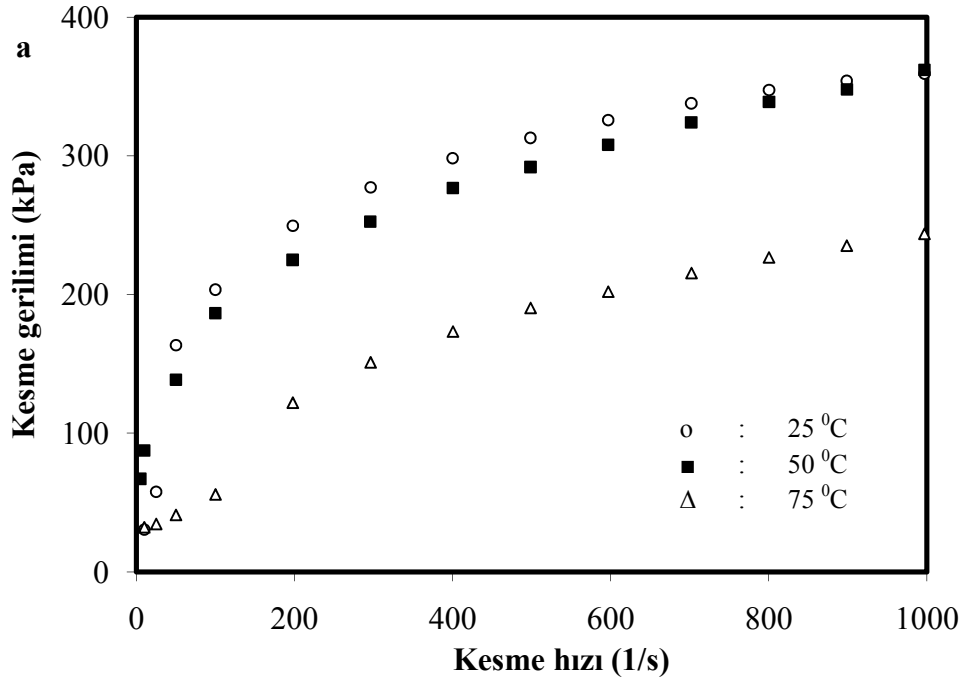
Şekil 3.30 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.22 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	10	3122	31	16	0	25	1	1
	25	2228	58	16	0	25	1	1
	50	2953	163	16	0	25	1	1
	100	1666	204	16	0	25	1	1
	198	877	249	16	0	25	1	1
	296	552	277	16	0	25	1	1
	400	362	298	16	0	25	1	1
	498	244	313	16	0	25	1	1
	597	158	326	16	0	25	1	1
	702	88	338	16	0	25	1	1
	800	34	347	16	0	25	1	1
	899	12	354	16	0	25	1	1
	997	5	359	16	0	25	1	1
50	5	9085	67	16	0	50	1	1
	10	5859	87	16	0	50	1	1
	50	1808	139	16	0	50	1	1
	100	1202	187	16	0	50	1	1
	198	725	225	16	0	50	1	1
	296	539	253	16	0	50	1	1
	400	434	277	16	0	50	1	1
	499	366	292	16	0	50	1	1
	597	322	308	16	0	50	1	1
	702	287	324	16	0	50	1	1
	800	263	339	16	0	50	1	1
	899	240	348	16	0	50	1	1
	997	224	362	16	0	50	1	1

Çizelge 3.22'nin devamı

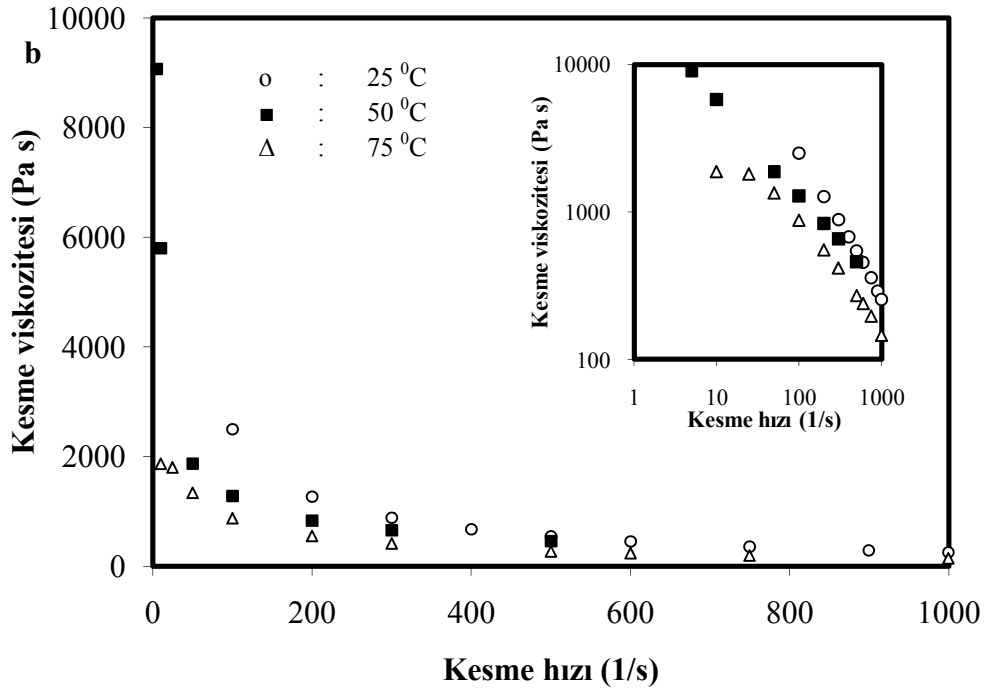
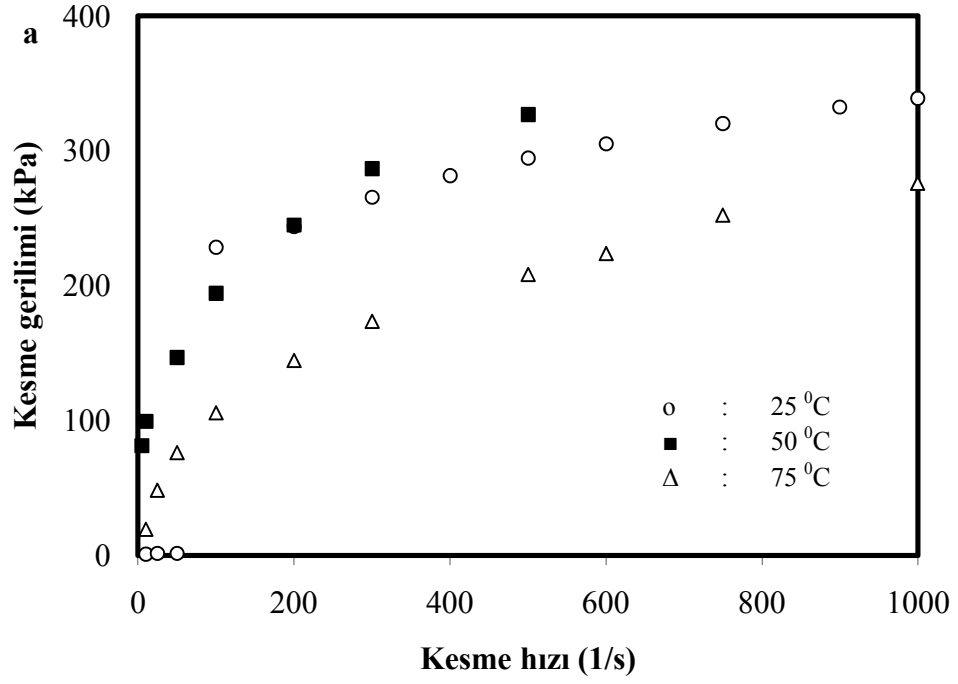
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	2005	32	16	0	75	1	1
	25	975	34	16	0	75	1	1
	50	621	41	16	0	75	1	1
	100	447	56	16	0	75	1	1
	198	516	122	16	0	75	1	1
	296	437	151	16	0	75	1	1
	400	377	173	16	0	75	1	1
	499	336	190	16	0	75	1	1
	597	300	202	16	0	75	1	1
	702	274	215	16	0	75	1	1
	800	255	227	16	0	75	1	1
	899	236	235	16	0	75	1	1
	997	222	244	16	0	75	1	1



Şekil 3.31 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.23 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

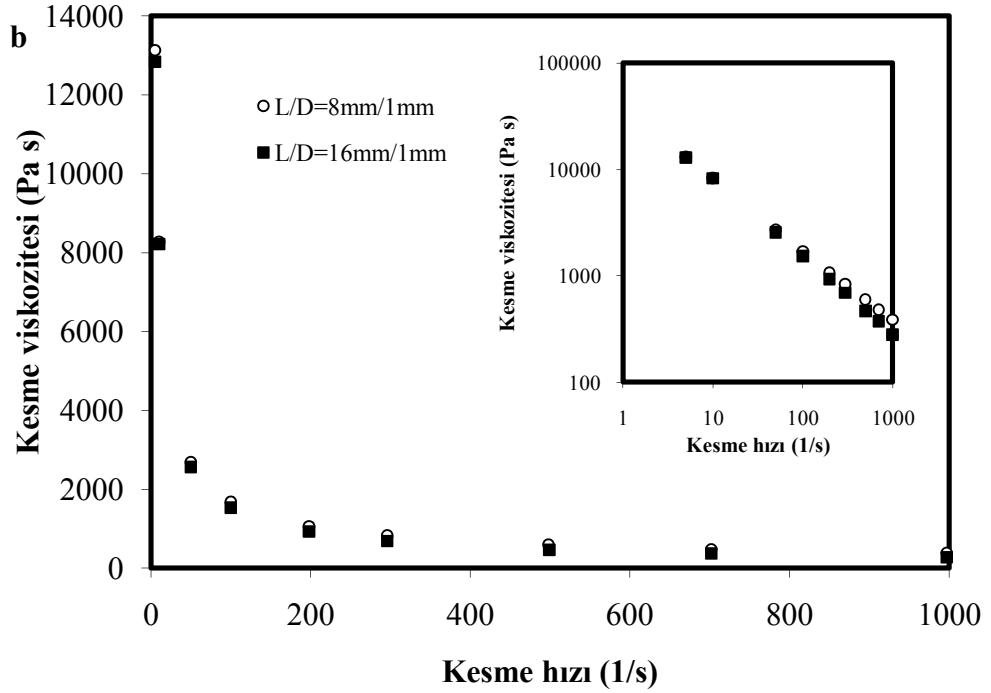
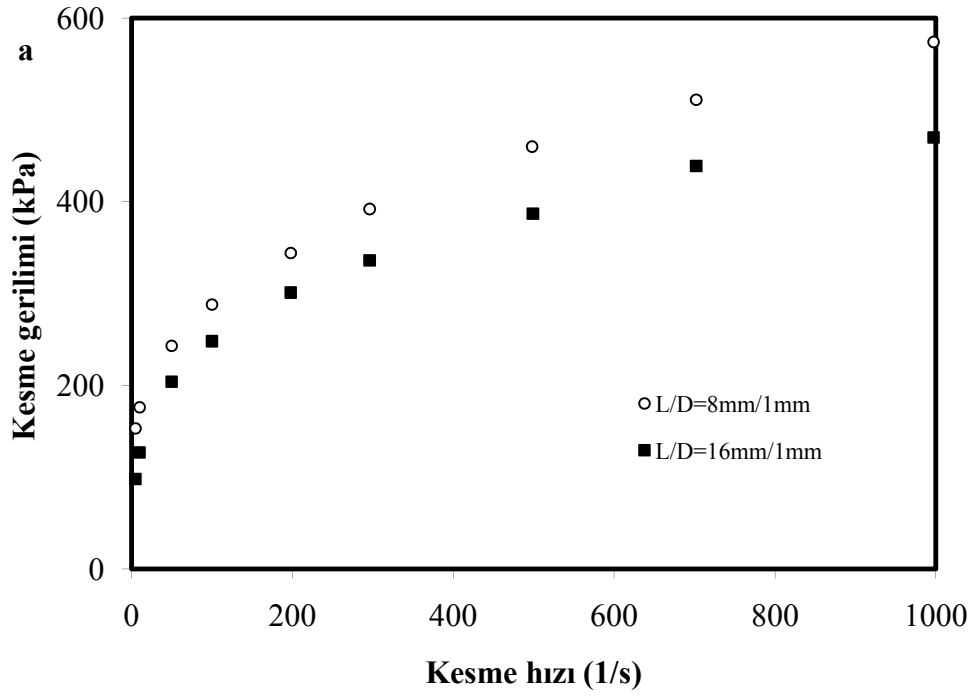
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	100	2499	229	16	0	25	2	2
	200	1271	244	16	0	25	2	2
	300	885	266	16	0	25	2	2
	400	677	282	16	0	25	2	2
	500	546	295	16	0	25	2	2
	600	453	305	16	0	25	2	2
	750	359	320	16	0	25	2	2
	900	291	332	16	0	25	2	2
	1000	255	339	16	0	25	2	2
	50	5	9072	81	16	0	50	2
10		5800	99	16	0	50	2	2
50		1873	147	16	0	50	2	2
100		1282	194	16	0	50	2	2
200		832	245	16	0	50	2	2
300		660	287	16	0	50	2	2
500		460	327	16	0	50	2	2
75		10	1870	19	16	0	75	2
	25	1803	48	16	0	75	2	2
	50	1341	76	16	0	75	2	2
	100	876	106	16	0	75	2	2
	200	553	145	16	0	75	2	2
	300	416	174	16	0	75	2	2
	500	271	208	16	0	75	2	2
	600	240	224	16	0	75	2	2
	750	197	252	16	0	75	2	2
	1000	146	276	16	0	75	2	2



Şekil 3.32 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.24 0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 100 000 kullanarak 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C’de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri

L/D oranı (mm/mm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	5	13131	153	8	0	50	1	1
	10	8277	176	8	0	50	1	1
	50	2693	243	8	0	50	1	1
	100	1683	288	8	0	50	1	1
	198	1064	344	8	0	50	1	1
	296	830	392	8	0	50	1	1
	498	597	460	8	0	50	1	1
	702	480	511	8	0	50	1	1
	997	386	574	8	0	50	1	1
16/1	5	12840	98	16	0	50	1	1
	10	8219	127	16	0	50	1	1
	50	2564	204	16	0	50	1	1
	100	1536	248	16	0	50	1	1
	198	930	301	16	0	50	1	1
	296	689	336	16	0	50	1	1
	499	465	387	16	0	50	1	1
	702	372	439	16	0	50	1	1
	997	278	470	16	0	50	1	1



Şekil 3.33 Silikon yağı AK 100 000 ve kaolinitten (0-25 μm) 80:20 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.3 Silikon Yağı AK 500 000-Kaolinit Pastaları

Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinit örneklerinden hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine aşağıdaki parametrelerin etkileri incelendi.

3.2.3.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Silikon yağı AK 500 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların 25 °C’de yüksek basınçlı kapiler reometrede aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak elde edilen reolojik verileri Çizelge 3.25-3.27’de verilerek sırasıyla Şekil 3.34-3.36a ve b’de kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi artan katı:sıvı oranı ile kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile arttığı bulundu.

3.2.3.2 Tane Boyutunun Etkisi

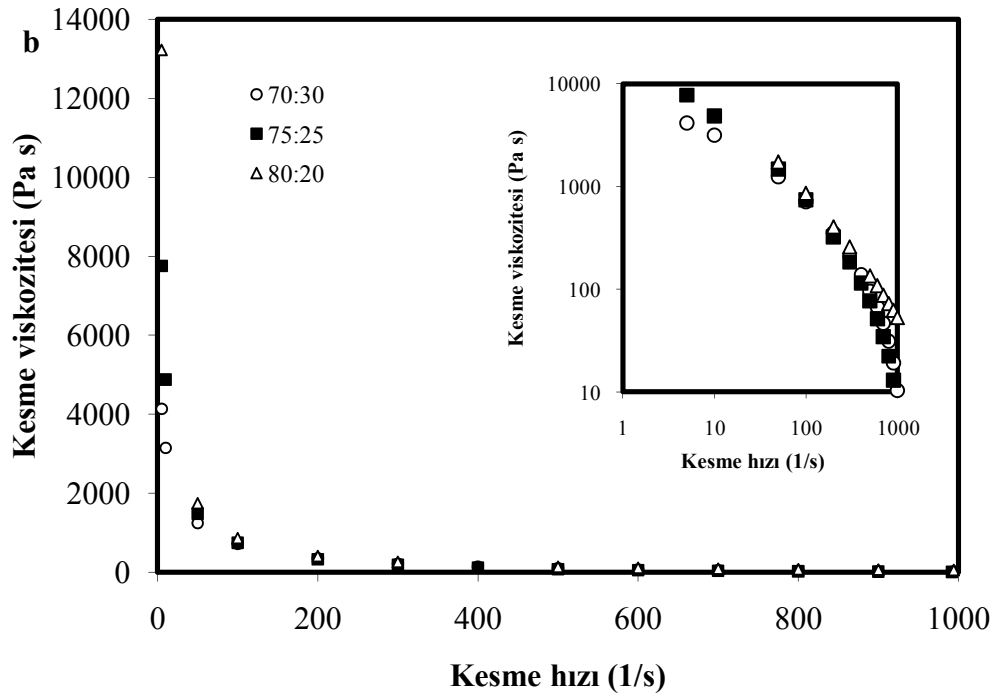
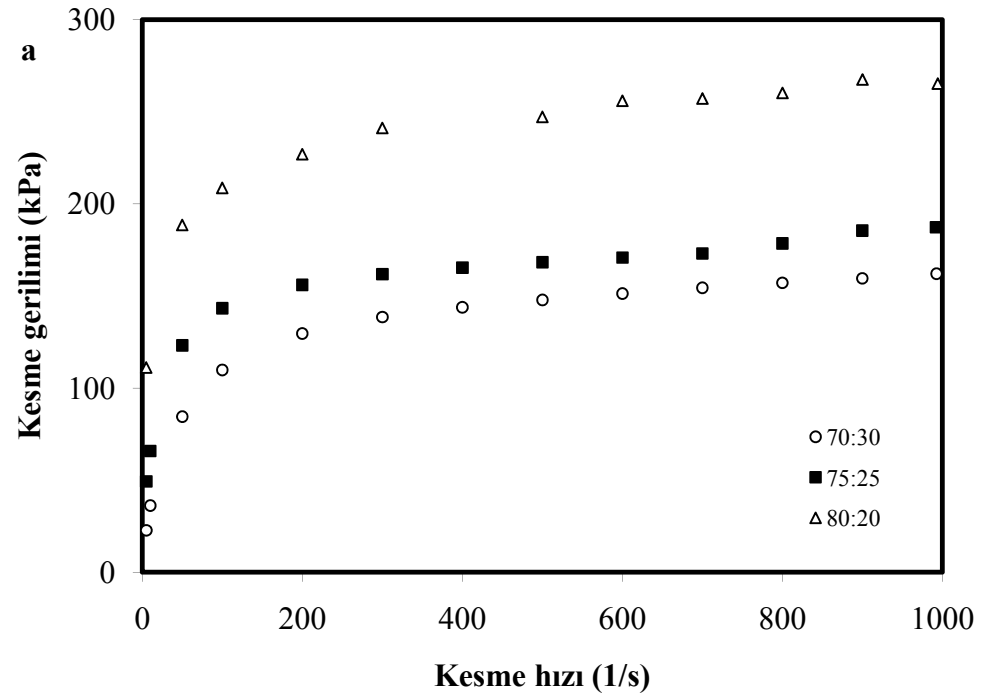
Silikon yağı AK 500 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri kullanılarak hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında elde edildi. Bu nedenle 0-25, 25-50 ve 50-75 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 500 000 ile 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri 25 °C’de aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.28-3.30’da verilerek Şekil 3.37-3.39a ve b’de sırasıyla kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tane boyutu artarken kesme gerilimi ve kesme viskozitesi kesme hızı ile azalmıştır.

Çizelge 3.25 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	4134	23	16	0	25	0,5	0,5
	10	3148	36	16	0	25	0,5	0,5
	50	1243	85	16	0	25	0,5	0,5
	100	715	110	16	0	25	0,5	0,5
	200	350	130	16	0	25	0,5	0,5
	300	211	139	16	0	25	0,5	0,5
	400	139	144	16	0	25	0,5	0,5
	500	96	148	16	0	25	0,5	0,5
	600	67	151	16	0	25	0,5	0,5
	700	46	154	16	0	25	0,5	0,5
	800	31	157	16	0	25	0,5	0,5
	900	19	160	16	0	25	0,5	0,5
	993	10	162	16	0	25	0,5	0,5
75:25	5	7755	49	16	0	25	0,5	0,5
	10	4876	66	16	0	25	0,5	0,5
	50	1480	123	16	0	25	0,5	0,5
	100	742	143	16	0	25	0,5	0,5
	200	323	156	16	0	25	0,5	0,5
	300	183	162	16	0	25	0,5	0,5
	400	116	165	16	0	25	0,5	0,5
	500	77	168	16	0	25	0,5	0,5
	600	52	171	16	0	25	0,5	0,5
	700	34	173	16	0	25	0,5	0,5
	800	22	179	16	0	25	0,5	0,5
	900	13	185	16	0	25	0,5	0,5
	992	6	187	16	0	25	0,5	0,5

Çizelge 3.25'in devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	5	13226	111	16	0	25	0,5	0,5
	50	1744	188	16	0	25	0,5	0,5
	100	861	209	16	0	25	0,5	0,5
	200	405	227	16	0	25	0,5	0,5
	300	258	241	16	0	25	0,5	0,5
	500	134	247	16	0	25	0,5	0,5
	600	108	256	16	0	25	0,5	0,5
	700	87	257	16	0	25	0,5	0,5
	800	72	260	16	0	25	0,5	0,5
	900	62	268	16	0	25	0,5	0,5
	994	53	265	16	0	25	0,5	0,5



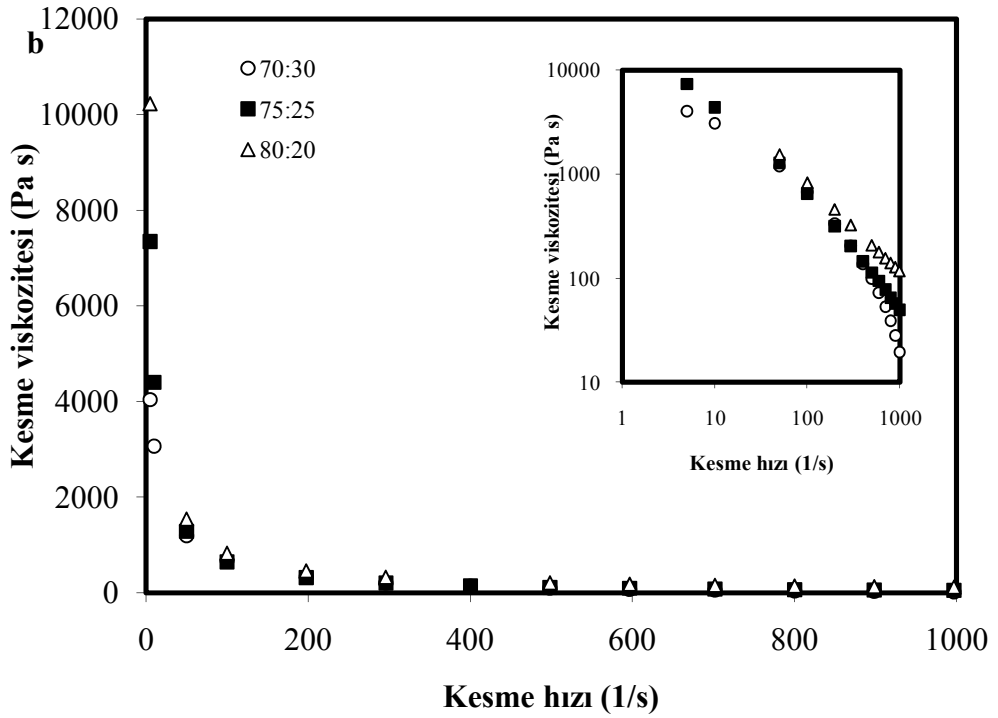
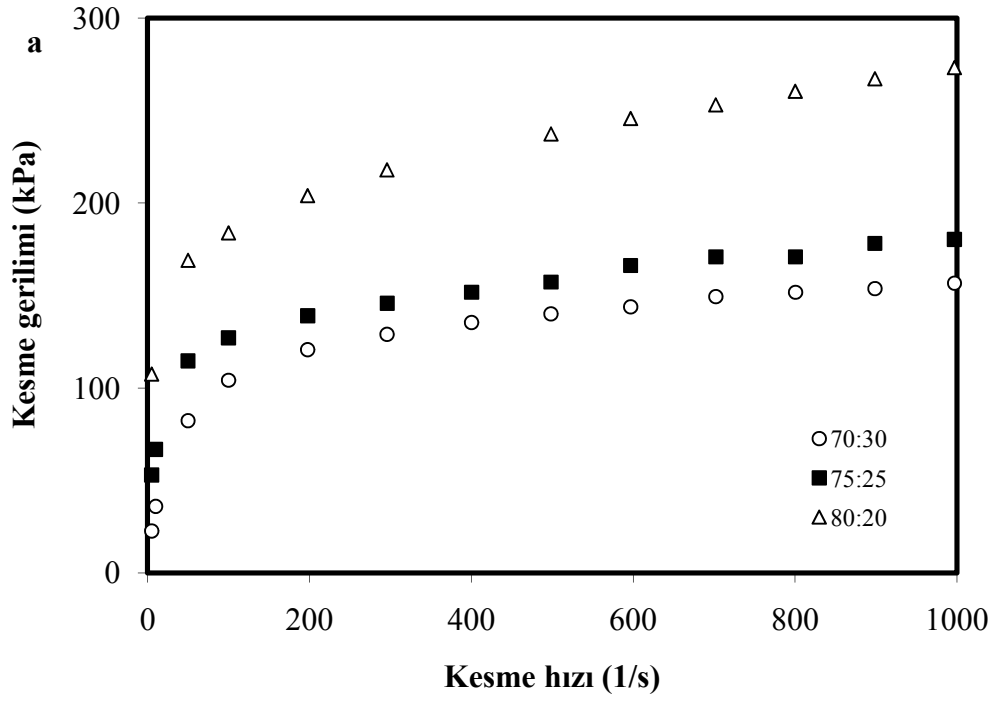
Şekil 3.34 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.26 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	4039	23	16	0	25	1	1
	10	3067	36	16	0	25	1	1
	50	1196	82	16	0	25	1	1
	100	674	104	16	0	25	1	1
	198	333	121	16	0	25	1	1
	296	205	129	16	0	25	1	1
	400	137	135	16	0	25	1	1
	499	98	140	16	0	25	1	1
	597	72	144	16	0	25	1	1
	702	53	149	16	0	25	1	1
	801	39	152	16	0	25	1	1
	899	28	154	16	0	25	1	1
	997	19	157	16	0	25	1	1
75:25	5	7343	53	16	0	25	1	1
	10	4398	67	16	0	25	1	1
	50	1285	115	16	0	25	1	1
	100	647	127	16	0	25	1	1
	198	317	139	16	0	25	1	1
	296	203	146	16	0	25	1	1
	400	145	152	16	0	25	1	1
	499	113	157	16	0	25	1	1
	597	94	166	16	0	25	1	1
	702	78	171	16	0	25	1	1
	800	65	171	16	0	25	1	1
	899	57	178	16	0	25	1	1
	997	50	180	16	0	25	1	1

Çizelge 3.26'nın devamı

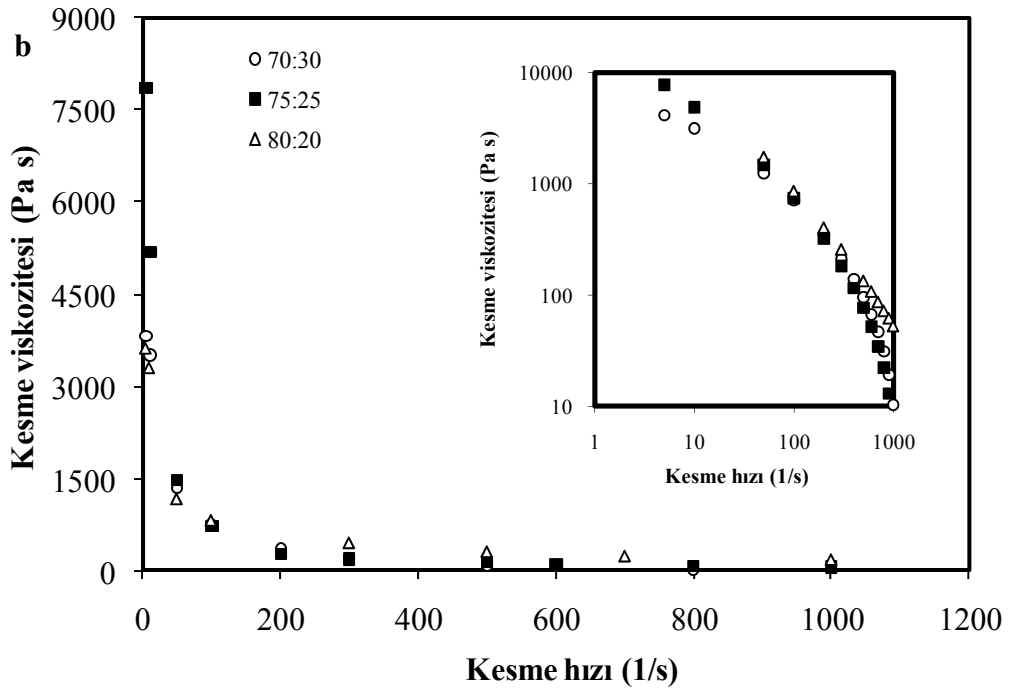
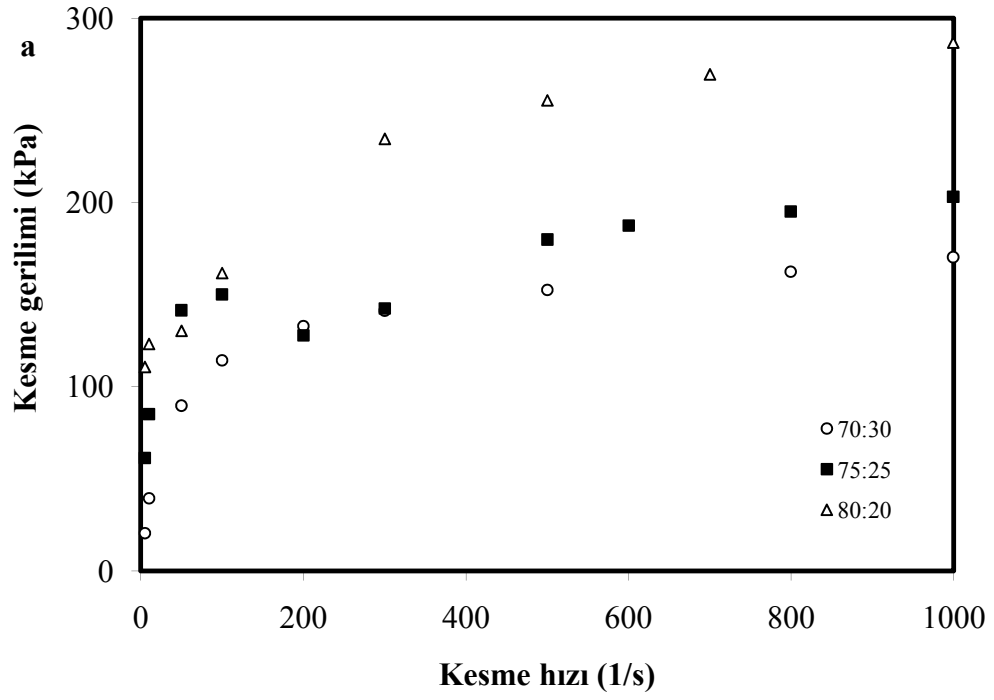
Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	5	10229	108	16	0	25	1	1
	50	1542	169	16	0	25	1	1
	100	828	184	16	0	25	1	1
	198	458	204	16	0	25	1	1
	296	325	218	16	0	25	1	1
	499	208	237	16	0	25	1	1
	597	179	246	16	0	25	1	1
	702	156	253	16	0	25	1	1
	800	140	261	16	0	25	1	1
	899	128	267	16	0	25	1	1
	997	118	273	16	0	25	1	1



Şekil 3.35 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.27 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	5	3812	20	16	0	25	2	2
	10	3509	39	16	0	25	2	2
	50	1345	90	16	0	25	2	2
	100	752	114	16	0	25	2	2
	200	353	133	16	0	25	2	2
	300	204	141	16	0	25	2	2
	500	82	153	16	0	25	2	2
	800	12	162	16	0	25	2	2
	1000	11	170	16	0	25	2	2
75:25	5	7859	61	16	0	25	2	2
	10	5180	85	16	0	25	2	2
	50	1476	141	16	0	25	2	2
	100	717	150	16	0	25	2	2
	200	274	128	16	0	25	2	2
	300	189	142	16	0	25	2	2
	500	128	180	16	0	25	2	2
	600	106	187	16	0	25	2	2
	800	76	195	16	0	25	2	2
1000	59	203	16	0	25	2	2	
80:20	5	3617	111	16	0	25	2	2
	10	3300	123	16	0	25	2	2
	50	1175	130	16	0	25	2	2
	100	827	162	16	0	25	2	2
	300	463	234	16	0	25	2	2
	500	319	255	16	0	25	2	2
	700	248	269	16	0	25	2	2
	1000	191	287	16	0	25	2	2



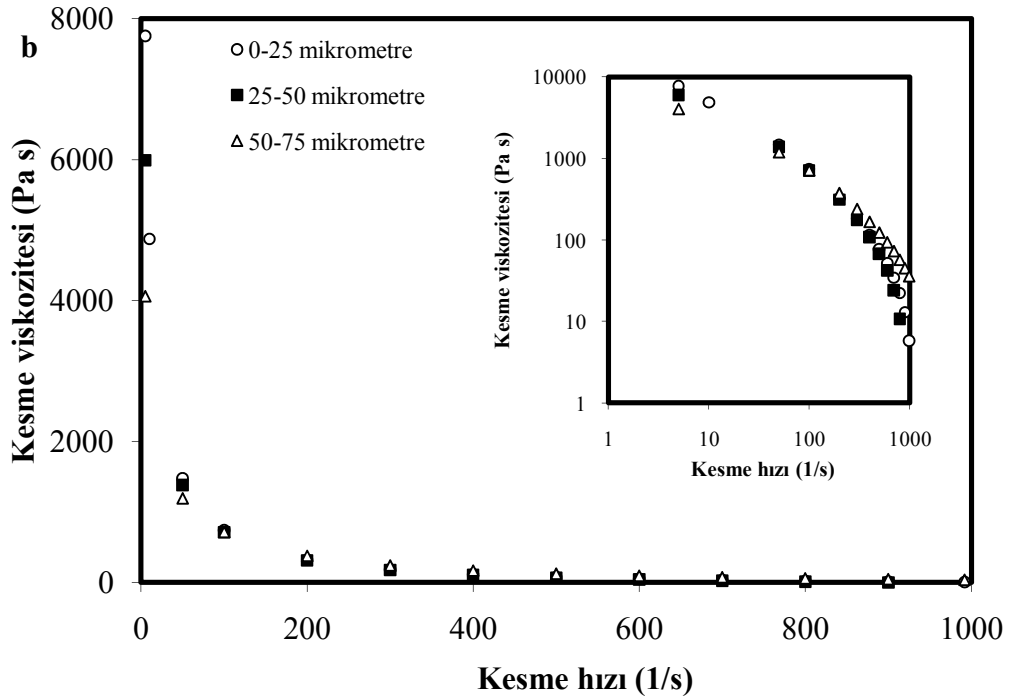
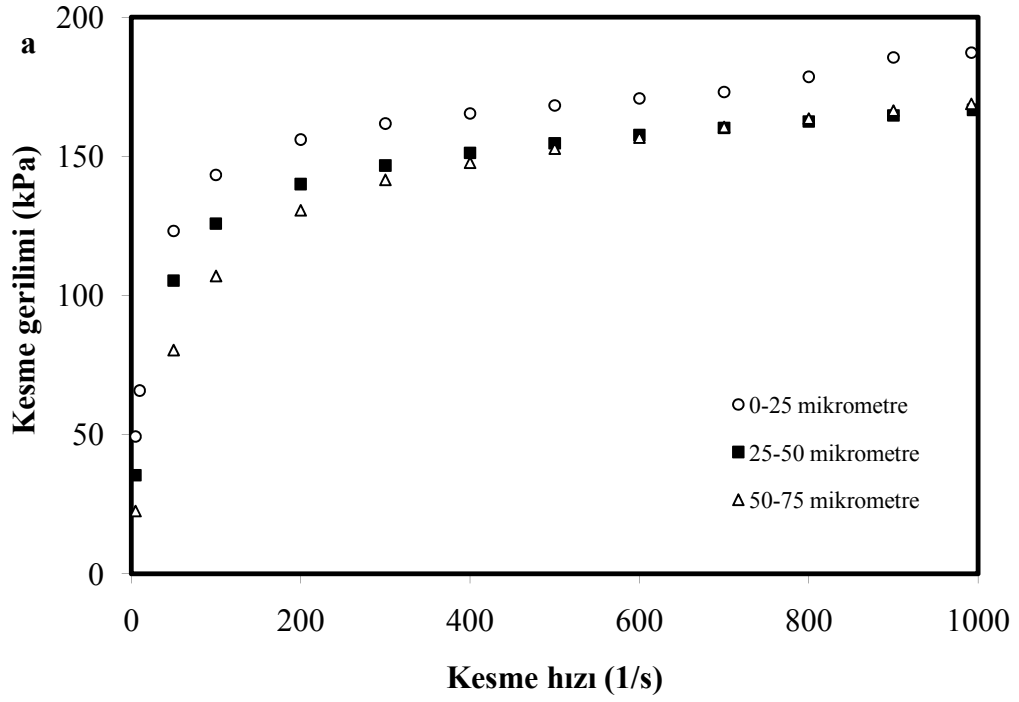
Şekil 3.36 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.28 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	7755	49	16	0	25	0,5	0,5
	10	4876	66	16	0	25	0,5	0,5
	50	1480	123	16	0	25	0,5	0,5
	100	742	143	16	0	25	0,5	0,5
	200	323	156	16	0	25	0,5	0,5
	300	183	162	16	0	25	0,5	0,5
	400	116	165	16	0	25	0,5	0,5
	500	77	168	16	0	25	0,5	0,5
	600	52	171	16	0	25	0,5	0,5
	700	34	173	16	0	25	0,5	0,5
	800	22	179	16	0	25	0,5	0,5
	900	13	185	16	0	25	0,5	0,5
	992	6	187	16	0	25	0,5	0,5
25-50	5	5991	35	16	0	25	0,5	0,5
	50	1382	105	16	0	25	0,5	0,5
	100	711	126	16	0	25	0,5	0,5
	200	313	140	16	0	25	0,5	0,5
	300	176	147	16	0	25	0,5	0,5
	400	108	151	16	0	25	0,5	0,5
	500	68	155	16	0	25	0,5	0,5
	600	42	158	16	0	25	0,5	0,5
	700	24	160	16	0	25	0,5	0,5
	800	11	163	16	0	25	0,5	0,5
	900	0	165	16	0	25	0,5	0,5
	994	0	167	16	0	25	0,5	0,5

Çizelge 3.28'in devamı

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	4060	23	16	0	25	0,5	0,5
	50	1193	80	16	0	25	0,5	0,5
	100	716	107	16	0	25	0,5	0,5
	200	376	131	16	0	25	0,5	0,5
	300	239	142	16	0	25	0,5	0,5
	400	167	148	16	0	25	0,5	0,5
	500	123	153	16	0	25	0,5	0,5
	600	94	157	16	0	25	0,5	0,5
	700	73	160	16	0	25	0,5	0,5
	800	57	164	16	0	25	0,5	0,5
	900	45	166	16	0	25	0,5	0,5
992	36	169	16	0	25	0,5	0,5	



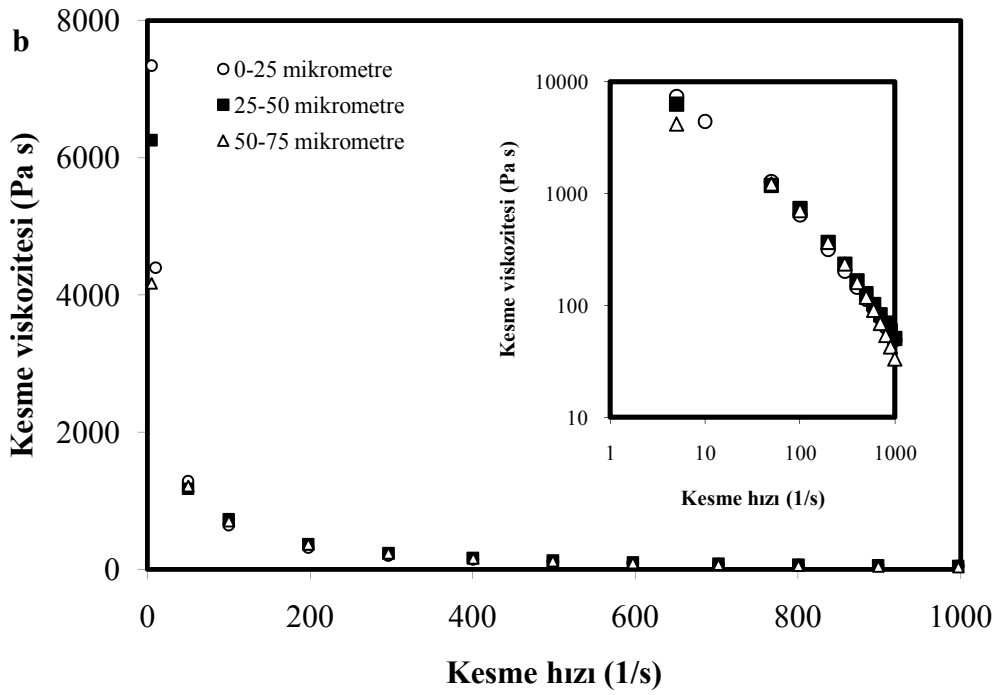
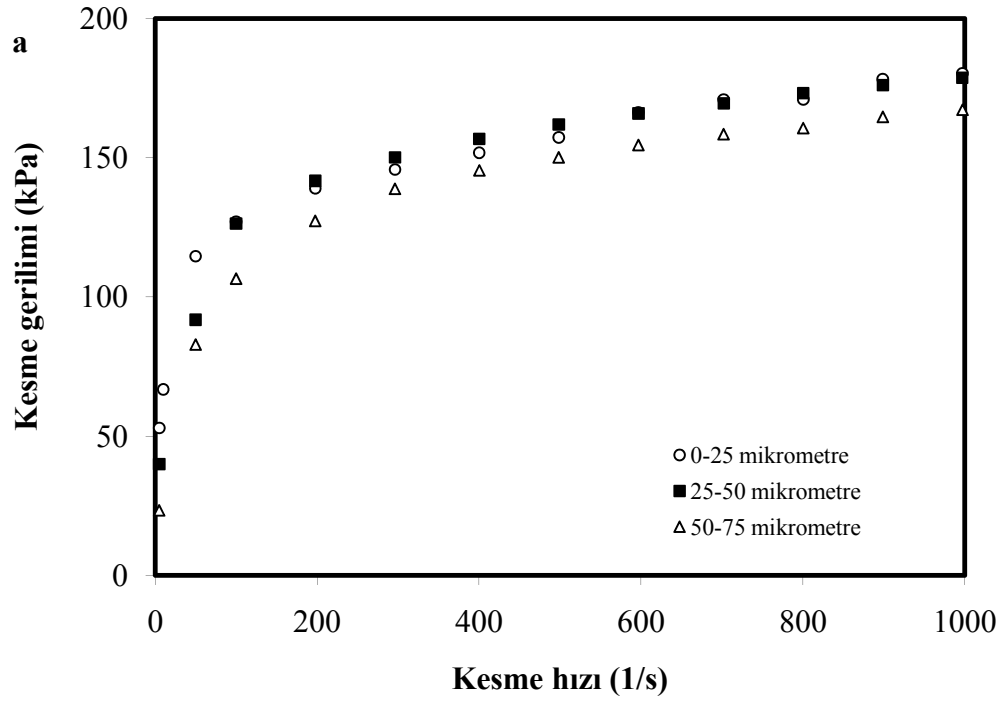
Şekil 3.37 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.29 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Tane boyutu (µm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	7343	53	16	0	25	1	1
	10	4398	67	16	0	25	1	1
	50	1285	115	16	0	25	1	1
	100	647	127	16	0	25	1	1
	198	317	139	16	0	25	1	1
	296	203	146	16	0	25	1	1
	400	145	152	16	0	25	1	1
	499	113	157	16	0	25	1	1
	597	94	166	16	0	25	1	1
	702	78	171	16	0	25	1	1
	800	65	171	16	0	25	1	1
	899	57	178	16	0	25	1	1
	997	50	180	16	0	25	1	1
25-50	5	6256	40	16	0	25	1	1
	50	1175	92	16	0	25	1	1
	100	734	126	16	0	25	1	1
	198	367	142	16	0	25	1	1
	296	236	150	16	0	25	1	1
	400	167	157	16	0	25	1	1
	499	129	162	16	0	25	1	1
	597	103	166	16	0	25	1	1
	702	83	170	16	0	25	1	1
	800	70	173	16	0	25	1	1
	899	59	176	16	0	25	1	1
997	51	179	16	0	25	1	1	

Çizelge 3.29'un devamı

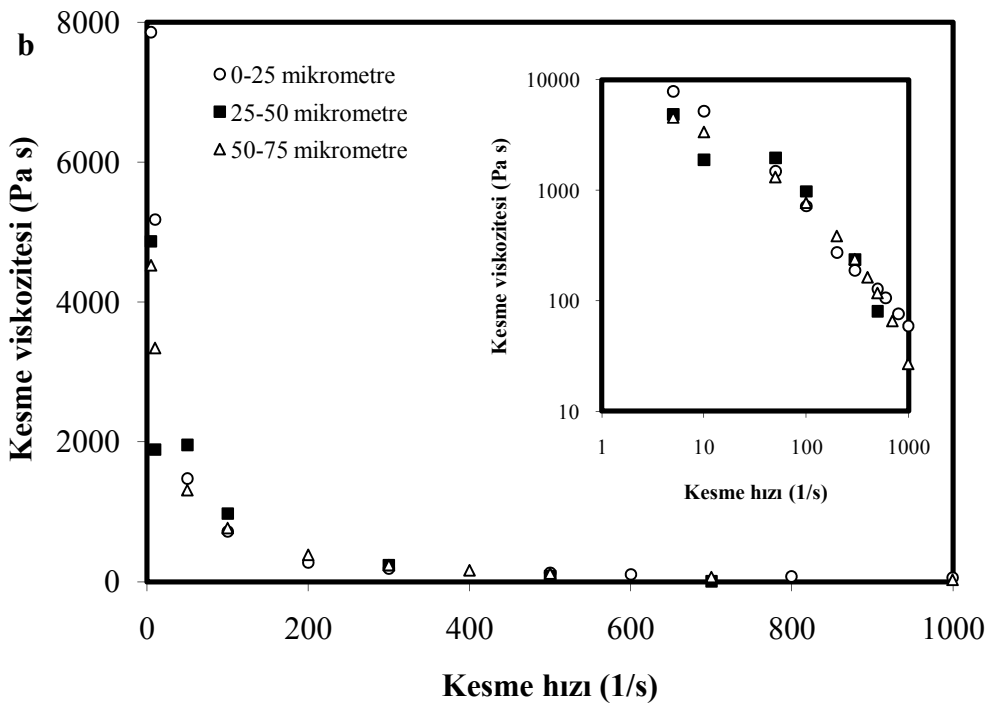
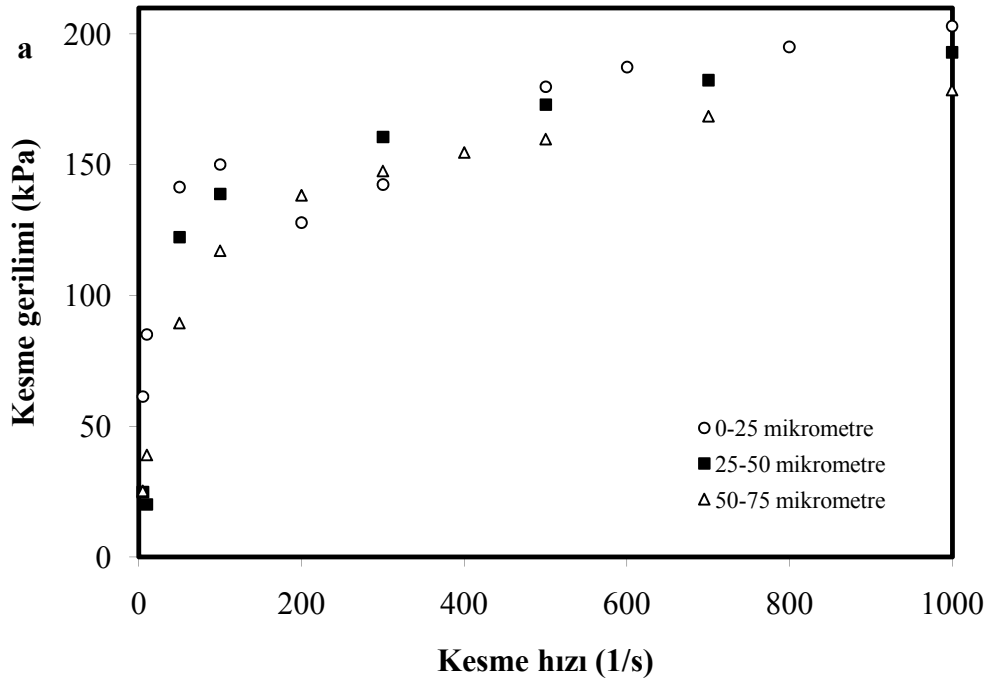
Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	4171	23	16	0	25	1	1
	50	1215	83	16	0	25	1	1
	100	702	107	16	0	25	1	1
	198	365	127	16	0	25	1	1
	296	234	139	16	0	25	1	1
	401	160	145	16	0	25	1	1
	498	118	150	16	0	25	1	1
	597	90	155	16	0	25	1	1
	702	69	158	16	0	25	1	1
	800	54	161	16	0	25	1	1
	899	42	165	16	0	25	1	1
	997	33	167	16	0	25	1	1



Şekil 3.38 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.30 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Tane boyutu (µm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	5	7859	61	16	0	25	2	2
	10	5180	85	16	0	25	2	2
	50	1476	141	16	0	25	2	2
	100	717	150	16	0	25	2	2
	200	274	128	16	0	25	2	2
	300	189	142	16	0	25	2	2
	500	128	180	16	0	25	2	2
	600	106	187	16	0	25	2	2
	800	76	195	16	0	25	2	2
	1000	59	203	16	0	25	2	2
25-50	5	4868	25	16	0	25	2	2
	10	1891	20	16	0	25	2	2
	50	1957	122	16	0	25	2	2
	100	973	139	16	0	25	2	2
	300	236	161	16	0	25	2	2
	500	80	173	16	0	25	2	2
	700	7	182	16	0	25	2	2
	1000	6	193	16	0	25	2	2
50-75	5	4523	25	16	0	25	2	2
	10	3341	39	16	0	25	2	2
	50	1309	89	16	0	25	2	2
	100	766	117	16	0	25	2	2
	200	383	138	16	0	25	2	2
	300	237	148	16	0	25	2	2
	400	162	155	16	0	25	2	2
	500	117	160	16	0	25	2	2
	700	65	169	16	0	25	2	2
	1000	27	179	16	0	25	2	2



Şekil 3.39 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.3.3 Sıcaklığın Etkisi

Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri daha önce 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında elde edilmişti. Bu nedenle pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi 75:25 katı:sıvı (g:g) oranlı ve 0-25 µm tane boyutlu pasta ile 25, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.31-3.33'te verilerek Şekil 3.40-42a ve b'de kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi artan sıcaklıkla kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile azaldığı bulunmuştur.

3.2.3.4 L/D Oranının Etkisi

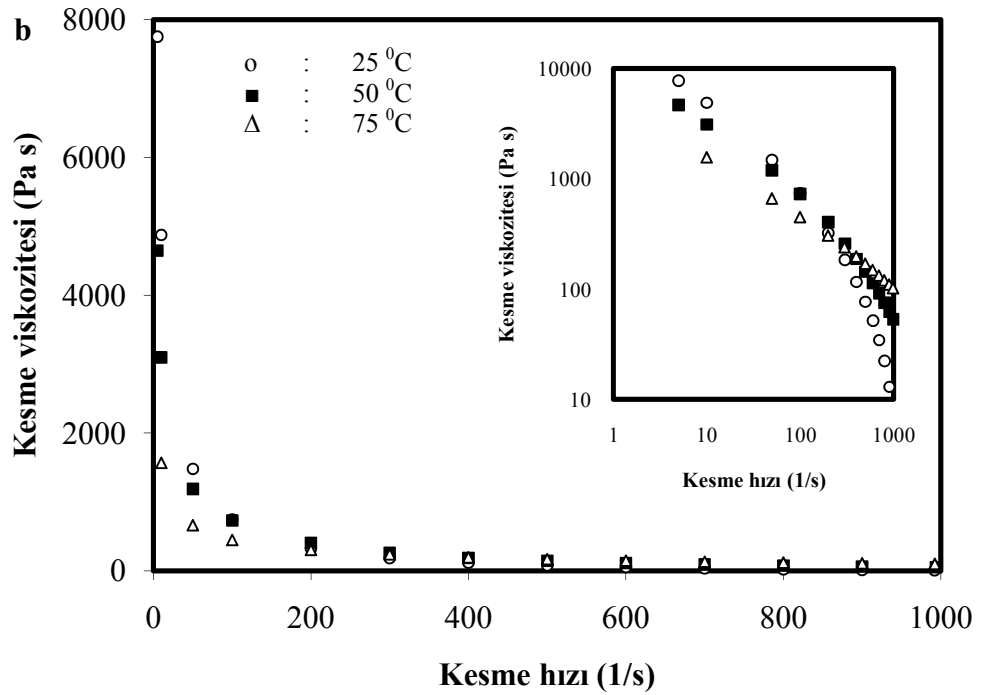
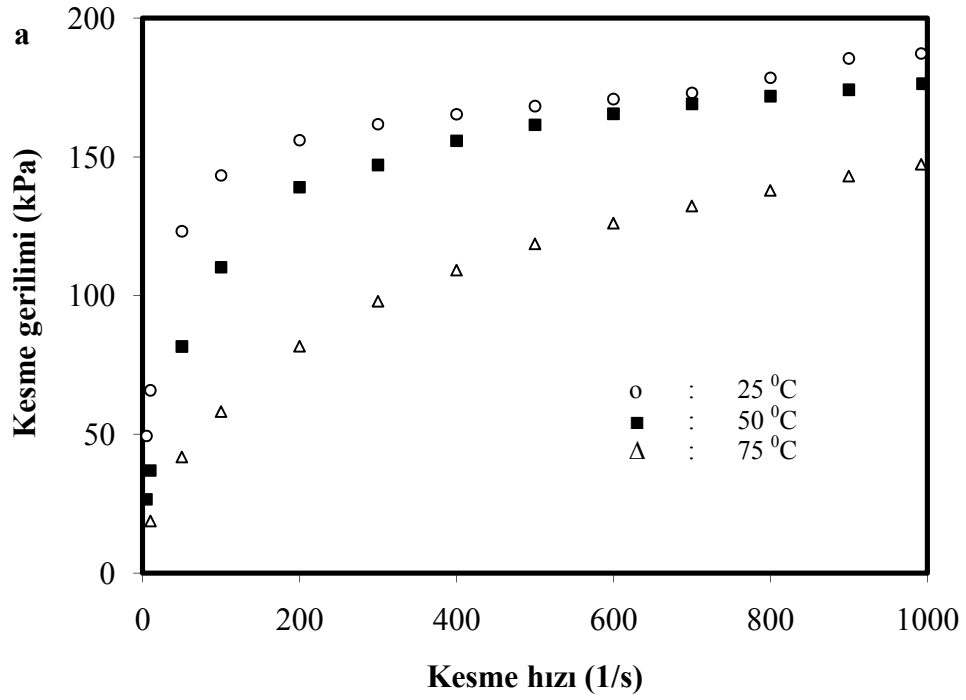
0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 500 000 ile 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de iki farklı L/D oranlı kapiler kanal kullanarak ölçülen reolojik verileri Çizelge 3.34'te verilerek Şekil 3.43a ve b'de sırasıyla kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi artan L/D oranı ile pastanın kesme geriliminin kesme hızı ile hafif bir şekilde azaldığı ve kesme viskozitesinde ise önemli bir değişimin meydana gelmediği bulundu.

Çizelge 3.31 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	7755	49	16	0	25	0,5	0,5
	10	4876	66	16	0	25	0,5	0,5
	50	1480	123	16	0	25	0,5	0,5
	100	742	143	16	0	25	0,5	0,5
	200	323	156	16	0	25	0,5	0,5
	300	183	162	16	0	25	0,5	0,5
	400	116	165	16	0	25	0,5	0,5
	500	77	168	16	0	25	0,5	0,5
	600	52	171	16	0	25	0,5	0,5
	700	34	173	16	0	25	0,5	0,5
	800	22	179	16	0	25	0,5	0,5
	900	13	185	16	0	25	0,5	0,5
992	6	187	16	0	25	0,5	0,5	
50	5	4647	27	16	0	50	0,5	0,5
	10	3098	37	16	0	50	0,5	0,5
	50	1188	82	16	0	50	0,5	0,5
	100	731	110	16	0	50	0,5	0,5
	200	406	139	16	0	50	0,5	0,5
	300	259	147	16	0	50	0,5	0,5
	400	188	156	16	0	50	0,5	0,5
	500	143	162	16	0	50	0,5	0,5
	600	113	166	16	0	50	0,5	0,5
	700	91	169	16	0	50	0,5	0,5
	800	75	172	16	0	50	0,5	0,5
	900	63	174	16	0	50	0,5	0,5
994	53	176	16	0	50	0,5	0,5	

Çizelge 3.31'in devamı

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	1568	19	16	0	75	0,5	0,5
	50	662	42	16	0	75	0,5	0,5
	100	448	58	16	0	75	0,5	0,5
	200	305	82	16	0	75	0,5	0,5
	300	239	98	16	0	75	0,5	0,5
	400	196	109	16	0	75	0,5	0,5
	500	169	119	16	0	75	0,5	0,5
	600	148	126	16	0	75	0,5	0,5
	700	132	132	16	0	75	0,5	0,5
	800	119	138	16	0	75	0,5	0,5
	900	109	143	16	0	75	0,5	0,5
	992	101	147	16	0	75	0,5	0,5



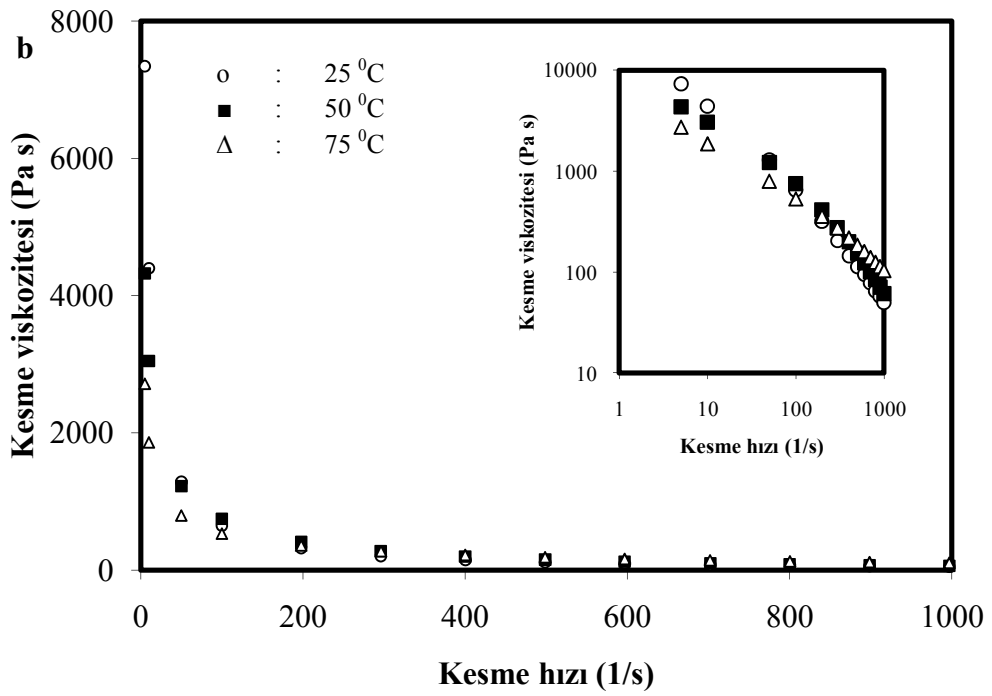
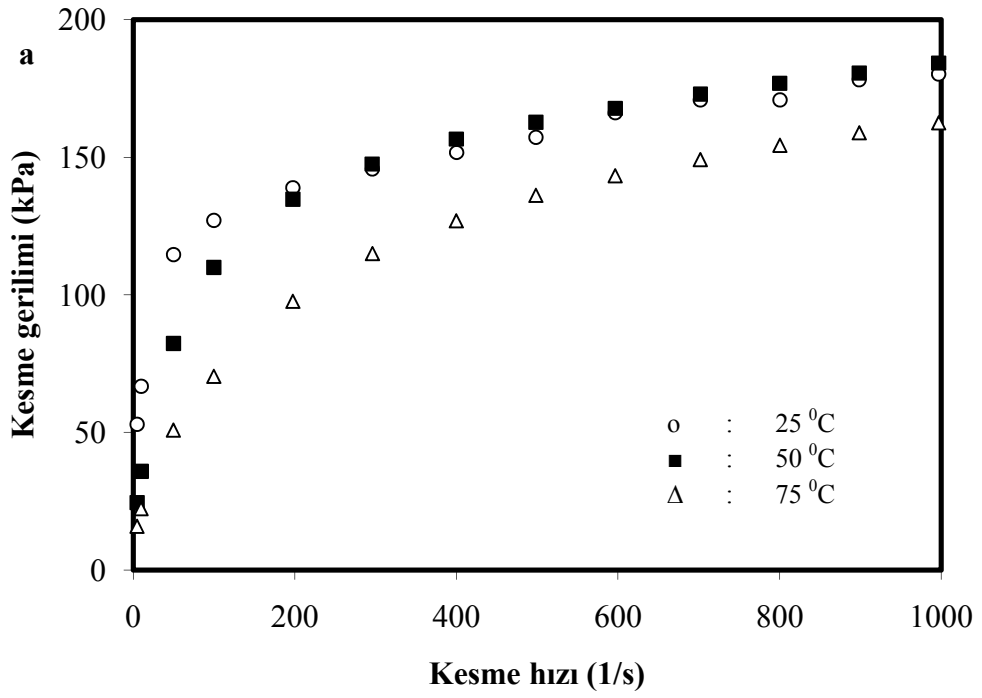
Şekil 3.40 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.32 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	7343	53	16	0	25	1	1
	10	4398	67	16	0	25	1	1
	50	1285	115	16	0	25	1	1
	100	647	127	16	0	25	1	1
	198	317	139	16	0	25	1	1
	296	203	146	16	0	25	1	1
	400	145	152	16	0	25	1	1
	499	113	157	16	0	25	1	1
	597	94	166	16	0	25	1	1
	702	78	171	16	0	25	1	1
	800	65	171	16	0	25	1	1
	899	57	178	16	0	25	1	1
	997	50	180	16	0	25	1	1
50	5	4323	24	16	0	50	1	1
	10	3047	36	16	0	50	1	1
	50	1221	82	16	0	50	1	1
	100	748	110	16	0	50	1	1
	198	412	135	16	0	50	1	1
	296	275	148	16	0	50	1	1
	400	198	157	16	0	50	1	1
	499	153	163	16	0	50	1	1
	597	123	168	16	0	50	1	1
	702	100	173	16	0	50	1	1
	800	84	177	16	0	50	1	1
	899	71	181	16	0	50	1	1
	997	61	184	16	0	50	1	1

Çizelge 3.32'nin devamı

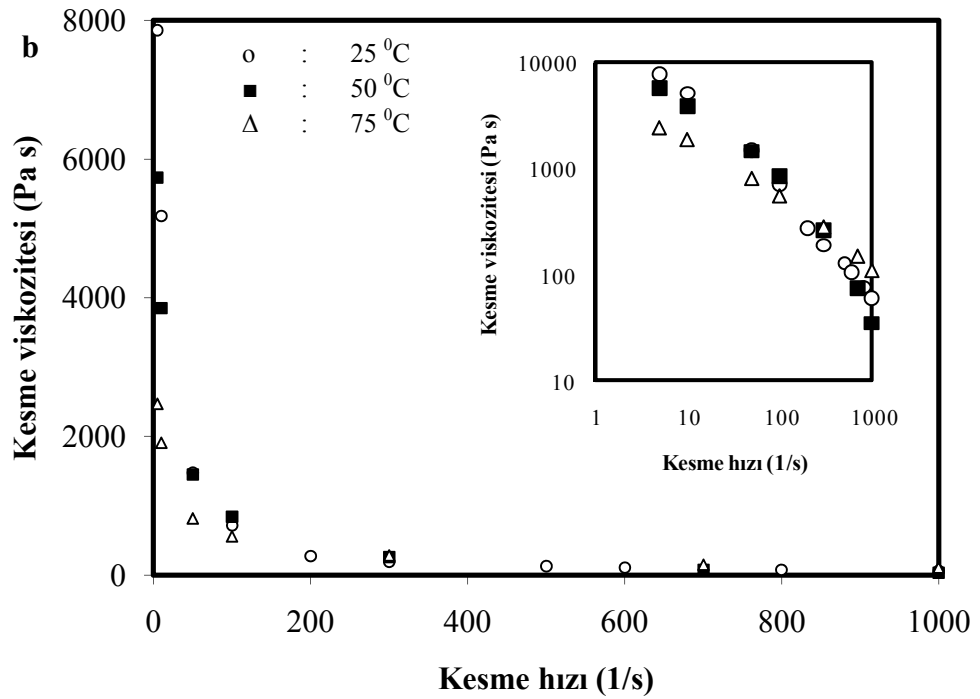
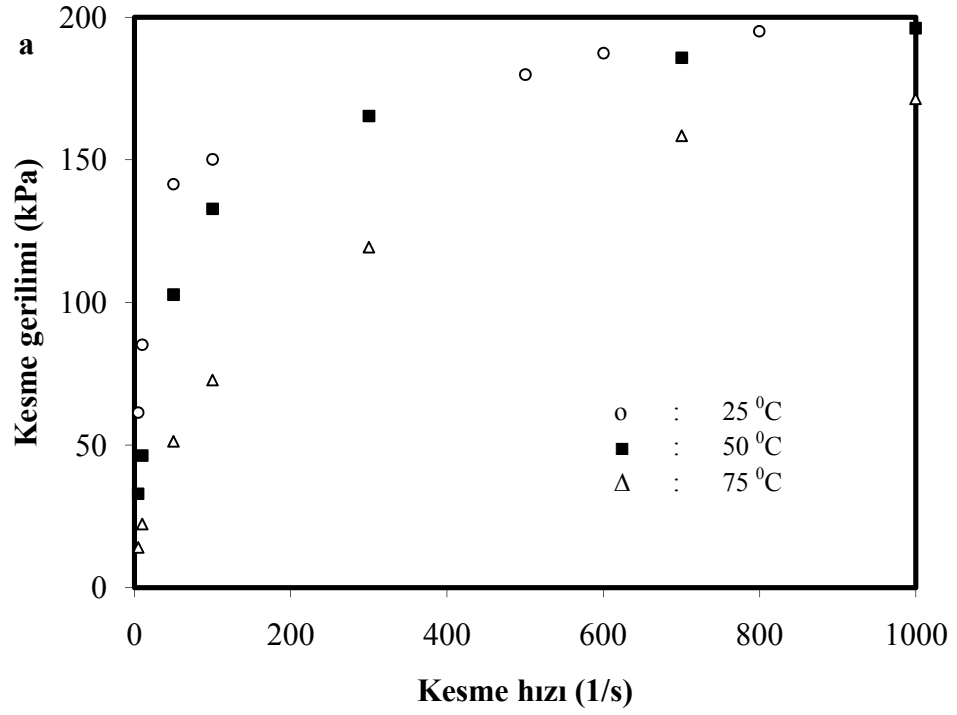
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	5	2715	16	16	0	75	1	1
	10	1860	22	16	0	75	1	1
	50	793	51	16	0	75	1	1
	100	529	70	16	0	75	1	1
	198	356	98	16	0	75	1	1
	296	272	115	16	0	75	1	1
	400	218	127	16	0	75	1	1
	499	184	136	16	0	75	1	1
	597	160	143	16	0	75	1	1
	702	139	149	16	0	75	1	1
	801	125	154	16	0	75	1	1
	899	113	159	16	0	75	1	1
	997	103	163	16	0	75	1	1



Şekil 3.41 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.33 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

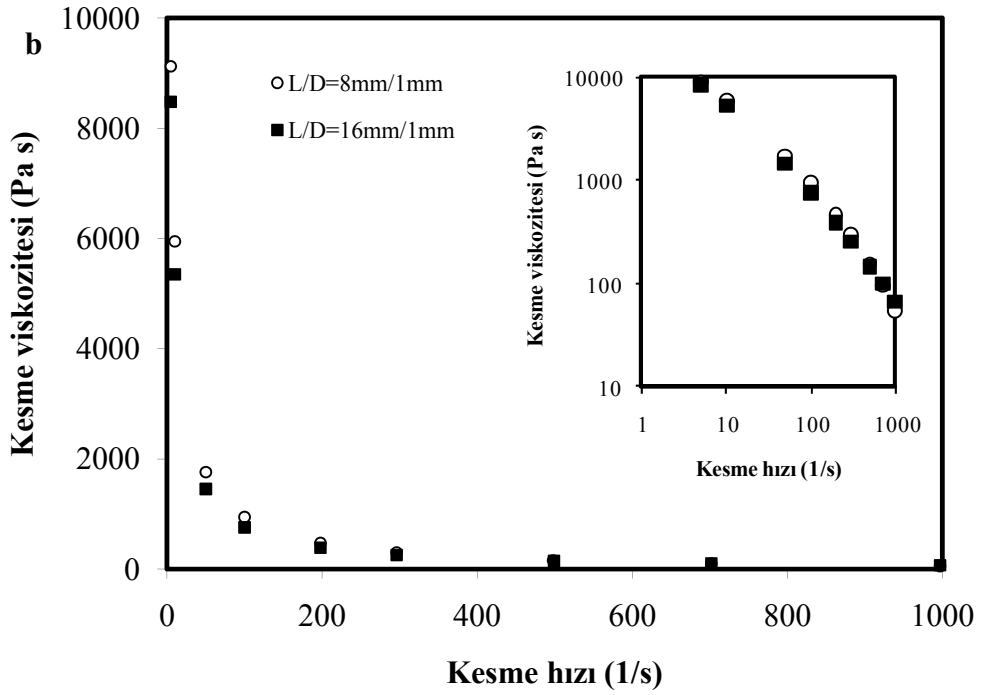
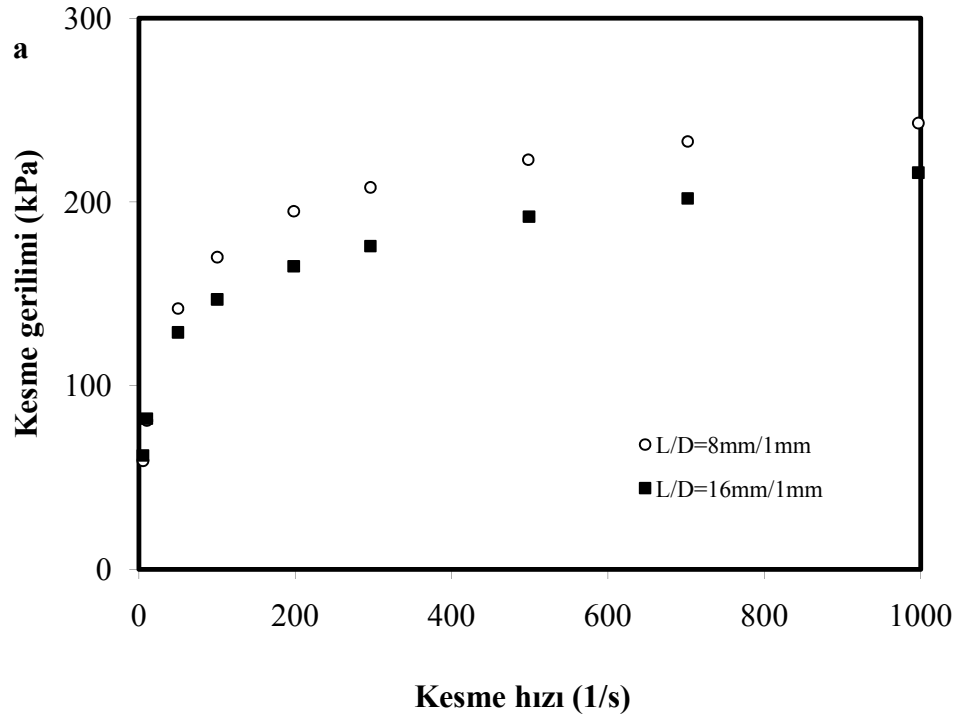
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	5	7859	61	16	0	25	2	2
	10	5180	85	16	0	25	2	2
	50	1476	141	16	0	25	2	2
	100	717	150	16	0	25	2	2
	200	274	128	16	0	25	2	2
	300	189	142	16	0	25	2	2
	500	128	180	16	0	25	2	2
	600	106	187	16	0	25	2	2
	800	76	195	16	0	25	2	2
	1000	59	203	16	0	25	2	2
50	5	5734	33	16	0	50	2	2
	10	3849	46	16	0	50	2	2
	50	1452	103	16	0	50	2	2
	100	841	133	16	0	50	2	2
	300	259	165	16	0	50	2	2
	700	75	186	16	0	50	2	2
	1000	35	196	16	0	50	2	2
	75	5	2471	14	16	0	75	2
10		1909	22	16	0	75	2	2
50		817	51	16	0	75	2	2
100		558	73	16	0	75	2	2
300		283	119	16	0	75	2	2
700		150	158	16	0	75	2	2
1000		109	171	16	0	75	2	2



Şekil 3.42 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.34 0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 500 000 kullanarak 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C’de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri

L/D oranı (mm/mm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	5	9127	59	8	0	25	1	1
	10	5948	81	8	0	25	1	1
	50	1759	142	8	0	25	1	1
	100	943	170	8	0	25	1	1
	198	473	195	8	0	25	1	1
	296	300	208	8	0	25	1	1
	498	156	223	8	0	25	1	1
	702	96	233	8	0	25	1	1
	997	54	243	8	0	25	1	1
16/1	5	8482	62	16	0	25	1	1
	10	5349	82	16	0	25	1	1
	50	1455	129	16	0	25	1	1
	100	757	147	16	0	25	1	1
	198	387	165	16	0	25	1	1
	296	256	176	16	0	25	1	1
	499	147	192	16	0	25	1	1
	702	100	202	16	0	25	1	1
	997	67	216	16	0	25	1	1



Şekil 3.43 Silikon yağı AK 500 000 ve kaolinitten (0-25 μm) 75:25 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.4 Silikon Yağı AK 1 000 000-Kaolinit Pastaları

Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinit örneklerinden hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine aşağıdaki parametrelerin etkileri incelendi.

3.2.4.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile hazırlanan pastaların 25 °C’de yüksek basınçlı kapiler reometrede aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak elde edilen reolojik verileri Çizelge 3.35-3.37’de verilerek sırasıyla Şekil 3.44-3.46a ve b’de kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Artan katı:sıvı oranı ile kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile arttığı görüldü.

3.2.4.2 Tane Boyutunun Etkisi

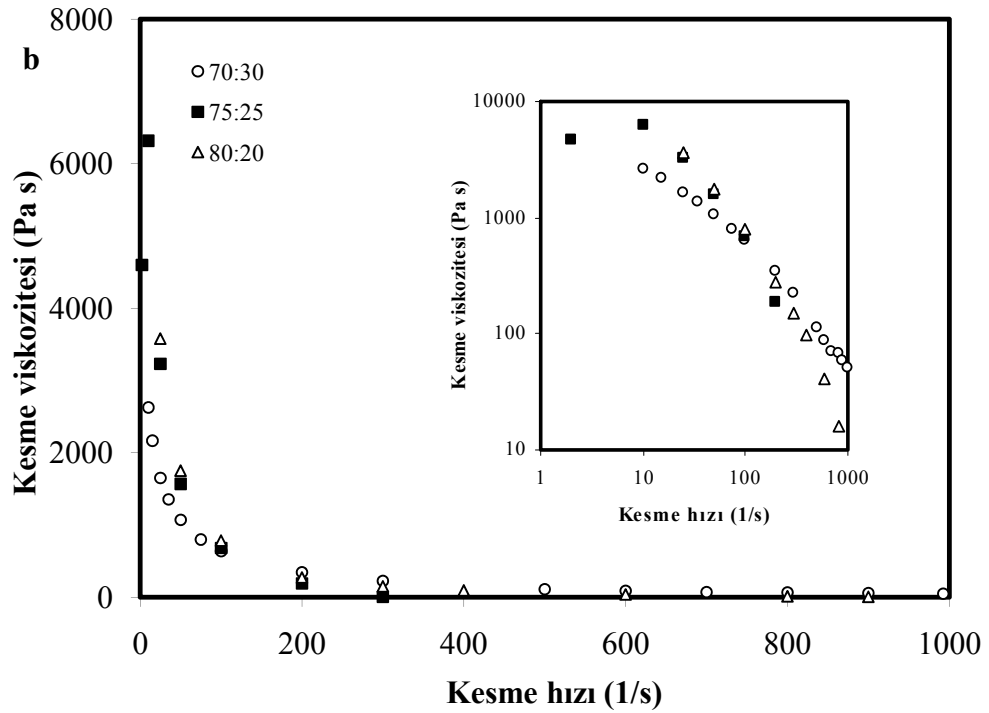
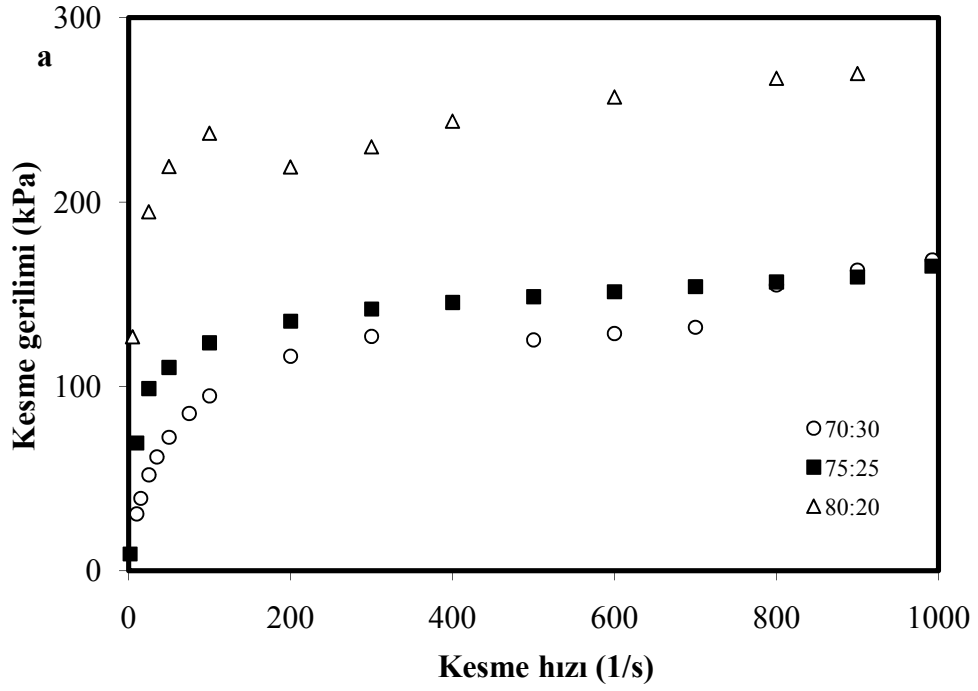
Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri kullanılarak hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında elde edildi. Bu nedenle 0-25, 25-50 ve 50-75 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri 25 °C’de aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.38-3.40’ta verilerek Şekil 3.47-49a ve b’de sırasıyla kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Şekillerden görüldüğü gibi tane boyutunun artması ile kesme gerilimi ve kesme viskozitesi kesme hızı ile azaldı.

Çizelge 3.35 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	10	2627	31	16	0	25	0,5	0,5
	15	2167	39	16	0	25	0,5	0,5
	25	1652	52	16	0	25	0,5	0,5
	35	1355	62	16	0	25	0,5	0,5
	50	1072	72	16	0	25	0,5	0,5
	75	800	85	16	0	25	0,5	0,5
	100	640	95	16	0	25	0,5	0,5
	200	345	116	16	0	25	0,5	0,5
	300	227	127	16	0	25	0,5	0,5
	500	112	125	16	0	25	0,5	0,5
	600	88	129	16	0	25	0,5	0,5
	700	71	132	16	0	25	0,5	0,5
	800	67	155	16	0	25	0,5	0,5
	900	58	163	16	0	25	0,5	0,5
992	50	169	16	0	25	0,5	0,5	

Çizelge 3.35'in devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75:25	2	4597	9	16	0	25	0,5	0,5
	10	6317	69	16	0	25	0,5	0,5
	25	3232	99	16	0	25	0,5	0,5
	50	1570	110	16	0	25	0,5	0,5
	100	682	124	16	0	25	0,5	0,5
	200	190	135	16	0	25	0,5	0,5
	300	6	142	16	0	25	0,5	0,5
	400	-----	146	16	0	25	0,5	0,5
	500	-----	149	16	0	25	0,5	0,5
	600	-----	151	16	0	25	0,5	0,5
	700	-----	154	16	0	25	0,5	0,5
	800	-----	157	16	0	25	0,5	0,5
	900	-----	159	16	0	25	0,5	0,5
	992	-----	165	16	0	25	0,5	0,5
80:20	5	14543	127	16	0	25	0,5	0,5
	25	3581	195	16	0	25	0,5	0,5
	50	1754	219	16	0	25	0,5	0,5
	100	786	237	16	0	25	0,5	0,5
	200	276	219	16	0	25	0,5	0,5
	300	153	230	16	0	25	0,5	0,5
	400	97	244	16	0	25	0,5	0,5
	600	41	257	16	0	25	0,5	0,5
	800	16	267	16	0	25	0,5	0,5
	900	8	270	16	0	25	0,5	0,5



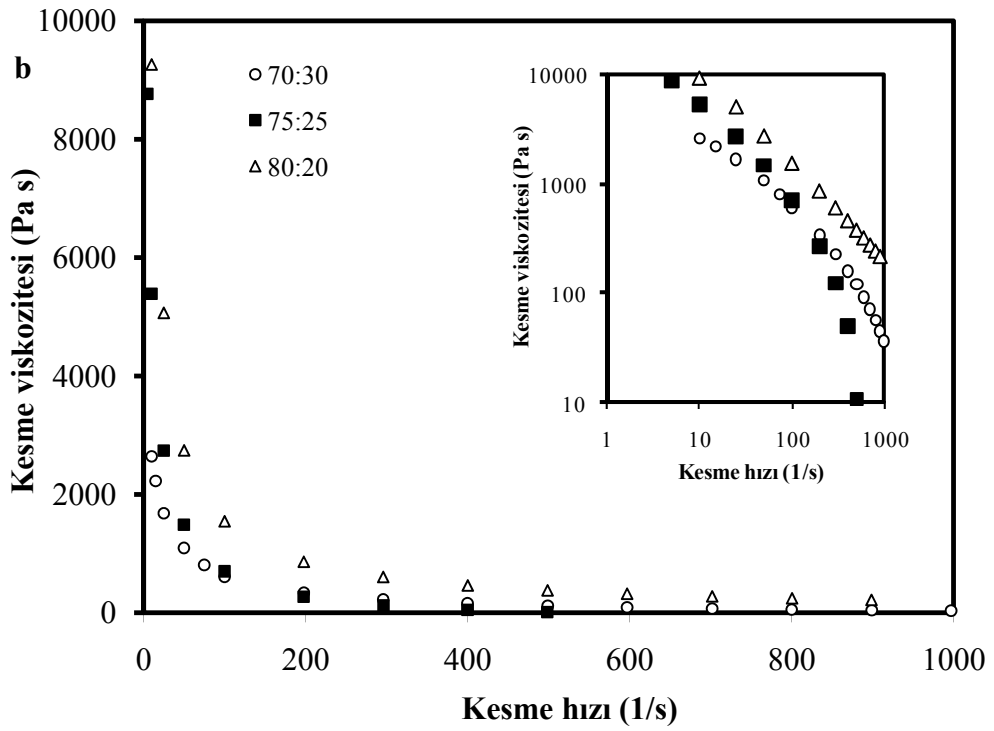
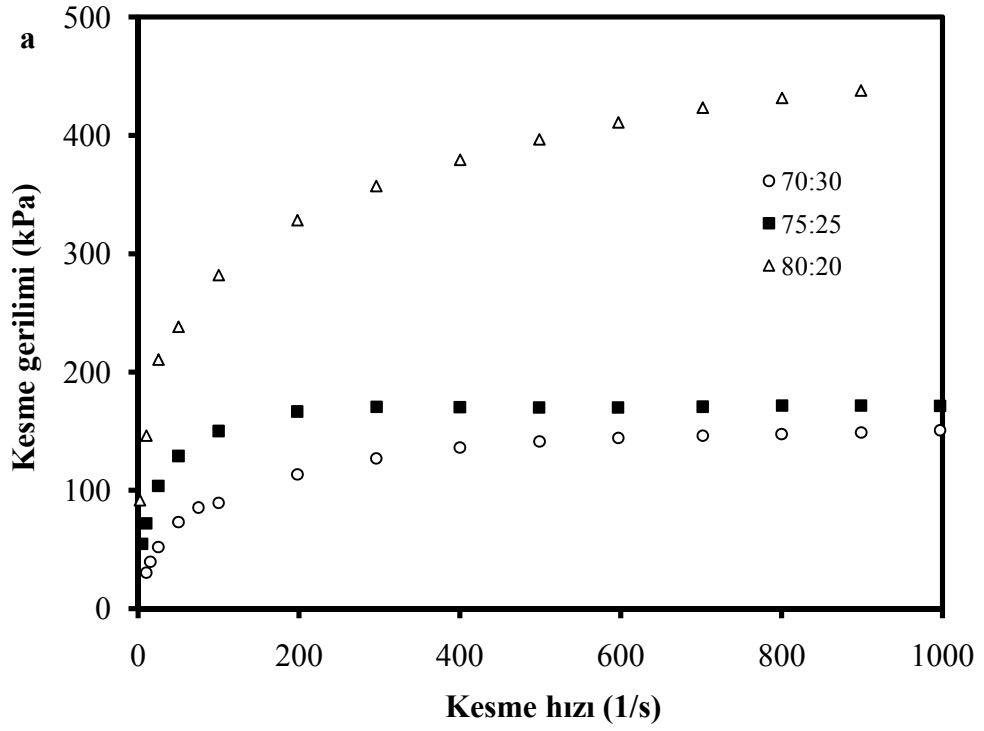
Şekil 3.44 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.36 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	10	2644	31	16	0	25	1	1
	15	2226	40	16	0	25	1	1
	25	1681	52	16	0	25	1	1
	50	1095	73	16	0	25	1	1
	75	808	85	16	0	25	1	1
	100	606	90	16	0	25	1	1
	198	338	114	16	0	25	1	1
	296	225	127	16	0	25	1	1
	400	159	136	16	0	25	1	1
	499	120	141	16	0	25	1	1
	597	92	144	16	0	25	1	1
	702	71	146	16	0	25	1	1
	800	56	148	16	0	25	1	1
	899	45	149	16	0	25	1	1
	997	36	151	16	0	25	1	1

Çizelge 3.36'nın devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75:25	5	8765	55	16	0	25	1	1
	10	5388	72	16	0	25	1	1
	25	2739	104	16	0	25	1	1
	50	1485	129	16	0	25	1	1
	100	700	150	16	0	25	1	1
	198	272	167	16	0	25	1	1
	296	123	171	16	0	25	1	1
	400	49	170	16	0	25	1	1
	499	11	170	16	0	25	1	1
	597	-----	170	16	0	25	1	1
	702	-----	171	16	0	25	1	1
	800	-----	172	16	0	25	1	1
	899	-----	172	16	0	25	1	1
	997	-----	171	16	0	25	1	1
80:20	2	31283	92	16	0	25	1	1
	10	9263	146	16	0	25	1	1
	25	5067	211	16	0	25	1	1
	50	2743	238	16	0	25	1	1
	100	1545	282	16	0	25	1	1
	198	861	328	16	0	25	1	1
	296	604	357	16	0	25	1	1
	400	461	379	16	0	25	1	1
	499	378	397	16	0	25	1	1
	597	321	411	16	0	25	1	1
	702	276	423	16	0	25	1	1
	800	243	432	16	0	25	1	1
	899	217	438	16	0	25	1	1



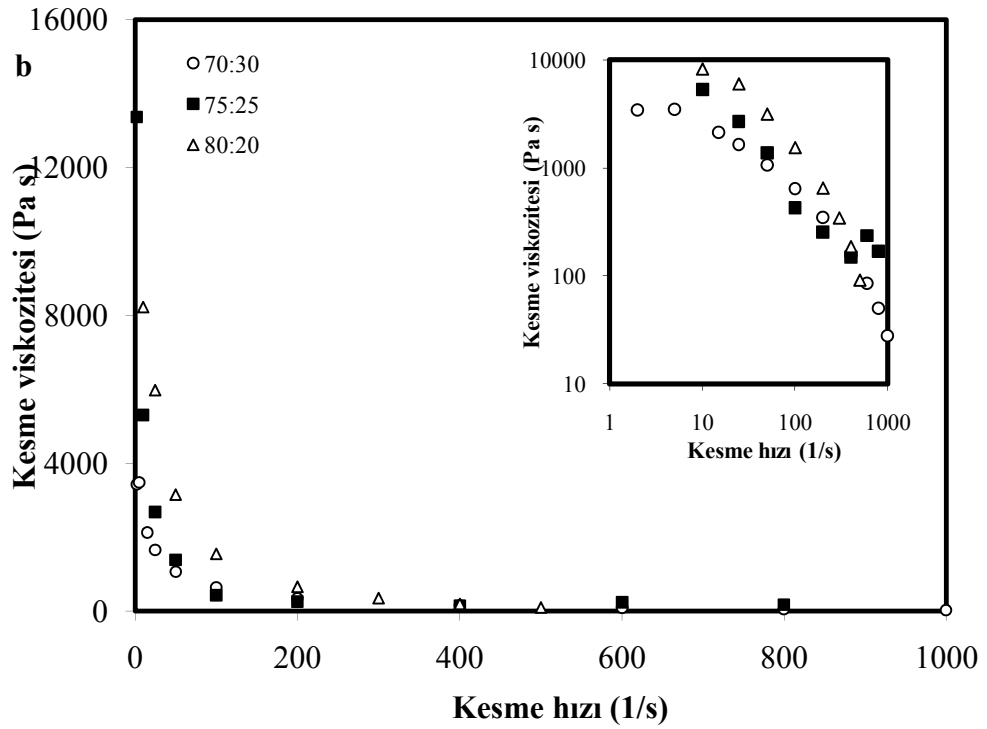
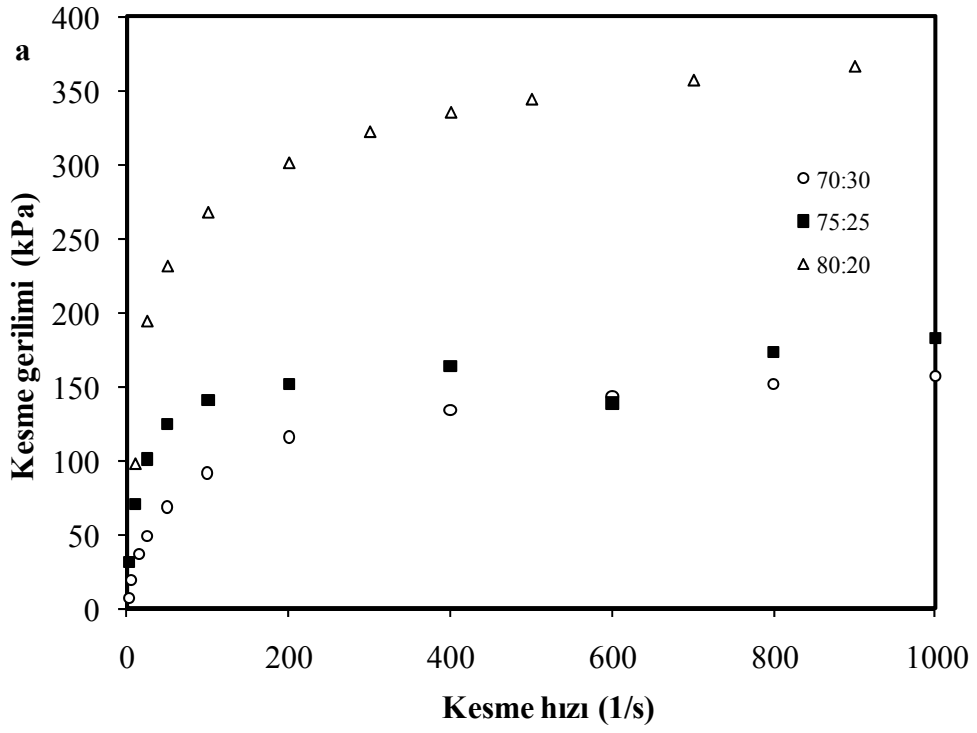
Şekil 3.45 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.37 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
70:30	2	3427	7	16	0	25	2	2
	5	3481	19	16	0	25	2	2
	15	2125	36	16	0	25	2	2
	25	1653	49	16	0	25	2	2
	50	1063	68	16	0	25	2	2
	100	640	91	16	0	25	2	2
	200	348	116	16	0	25	2	2
	400	155	134	16	0	25	2	2
	600	85	144	16	0	25	2	2
	800	50	152	16	0	25	2	2
	1000	28	157	16	0	25	2	2
75:25	2	13371	31	16	0	25	2	2
	10	5302	71	16	0	25	2	2
	25	2679	101	16	0	25	2	2
	50	1383	124	16	0	25	2	2
	100	428	141	16	0	25	2	2
	200	253	151	16	0	25	2	2
	400	149	164	16	0	25	2	2
	600	236	139	16	0	25	2	2
	800	170	173	16	0	25	2	2
		1000	11	183	16	0	25	2

Çizelge 3.37'nin devamı

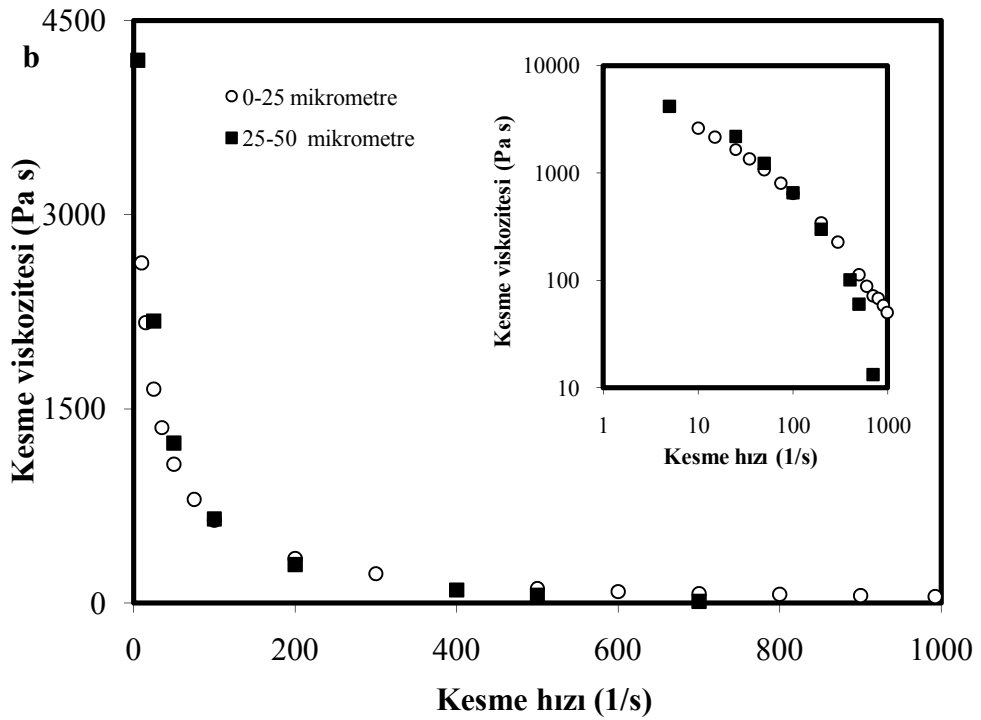
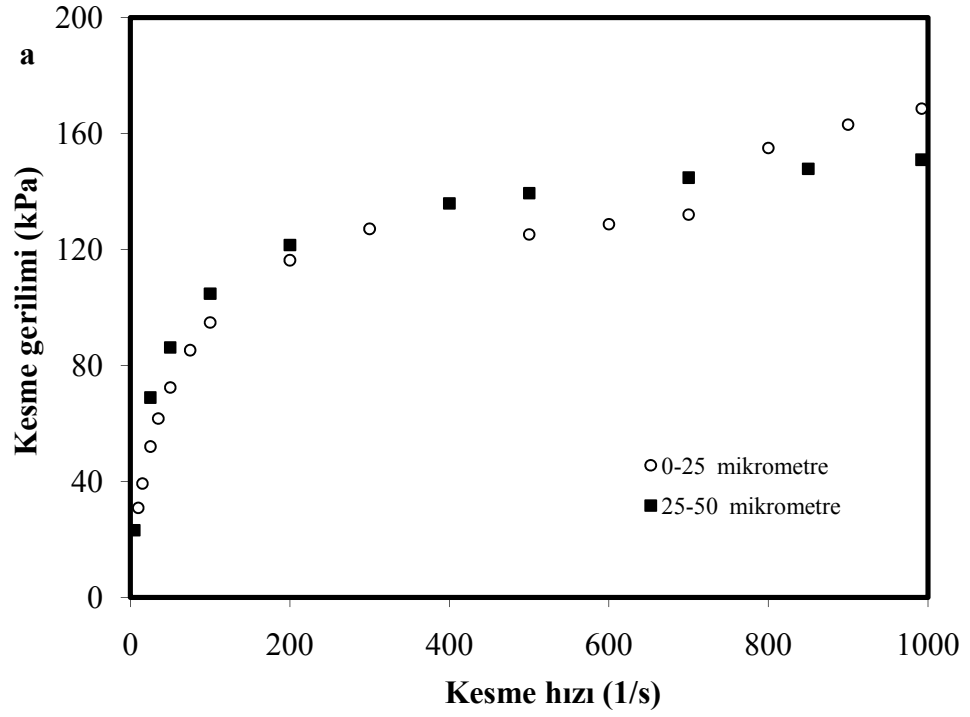
Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme Gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
80:20	10	8225	98	16	0	25	2	2
	25	5976	194	16	0	25	2	2
	50	3147	231	16	0	25	2	2
	100	1543	268	16	0	25	2	2
	200	652	301	16	0	25	2	2
	300	345	322	16	0	25	2	2
	400	187	335	16	0	25	2	2
	500	92	344	16	0	25	2	2
	700	78	357	16	0	25	2	2
	900	17	366	16	0	25	2	2



Şekil 3.46 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranının etkisi ($L/D=32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.38 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	10	2627	31	16	0	25	0,5	0,5
	15	2167	39	16	0	25	0,5	0,5
	25	1652	52	16	0	25	0,5	0,5
	35	1355	62	16	0	25	0,5	0,5
	50	1072	72	16	0	25	0,5	0,5
	75	800	85	16	0	25	0,5	0,5
	100	640	95	16	0	25	0,5	0,5
	200	345	116	16	0	25	0,5	0,5
	300	227	127	16	0	25	0,5	0,5
	500	112	125	16	0	25	0,5	0,5
	600	88	129	16	0	25	0,5	0,5
	700	71	132	16	0	25	0,5	0,5
	800	67	155	16	0	25	0,5	0,5
	900	58	163	16	0	25	0,5	0,5
992	50	169	16	0	25	0,5	0,5	
25-50	5	4194	23	16	0	25	0,5	0,5
	25	2178	69	16	0	25	0,5	0,5
	50	1236	86	16	0	25	0,5	0,5
	100	650	105	16	0	25	0,5	0,5
	200	297	122	16	0	25	0,5	0,5
	400	101	136	16	0	25	0,5	0,5
	500	60	139	16	0	25	0,5	0,5
	700	13	145	16	0	25	0,5	0,5
	850	8	148	16	0	25	0,5	0,5
	992	2	151	16	0	25	0,5	0,5



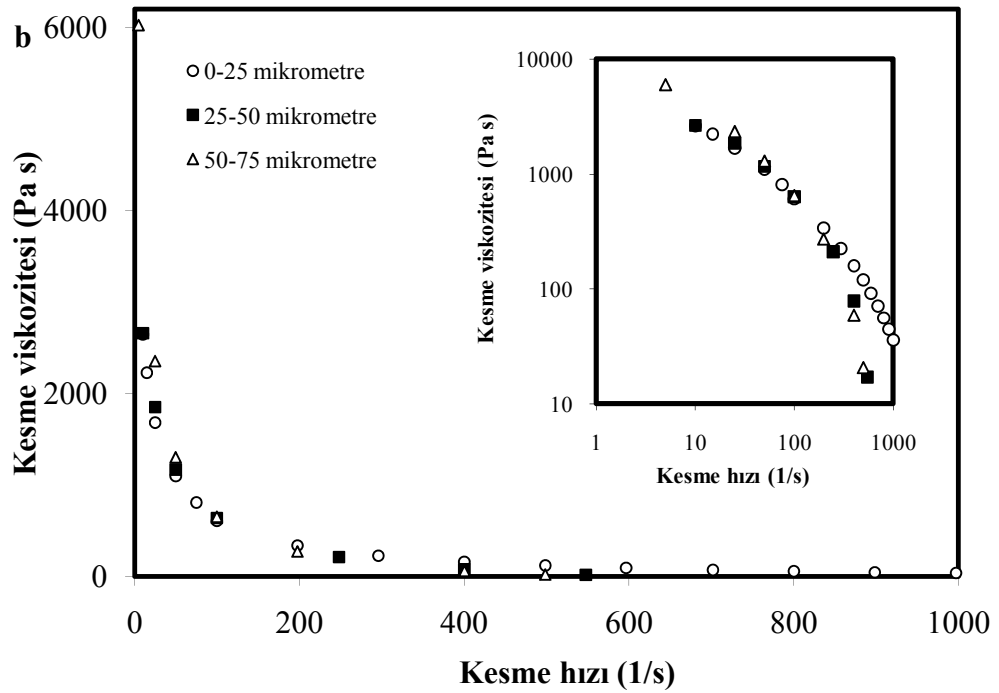
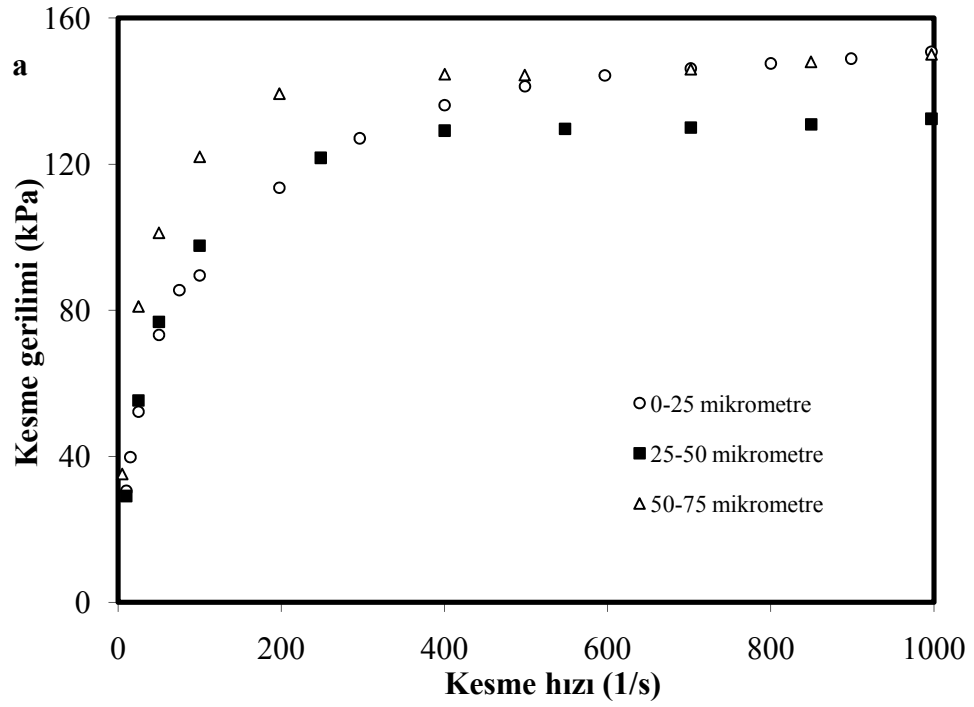
Şekil 3.47 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=8$ mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.39 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	10	2644	31	16	0	25	1	1
	15	2226	40	16	0	25	1	1
	25	1681	52	16	0	25	1	1
	50	1095	73	16	0	25	1	1
	75	808	85	16	0	25	1	1
	100	606	90	16	0	25	1	1
	198	338	114	16	0	25	1	1
	296	225	127	16	0	25	1	1
	400	159	136	16	0	25	1	1
	499	120	141	16	0	25	1	1
	597	92	144	16	0	25	1	1
	702	71	146	16	0	25	1	1
	800	56	148	16	0	25	1	1
	899	45	149	16	0	25	1	1
997	36	151	16	0	25	1	1	
25-50	10	2656	29	16	0	25	1	1
	25	1851	55	16	0	25	1	1
	50	1167	77	16	0	25	1	1
	100	637	98	16	0	25	1	1
	248	211	122	16	0	25	1	1
	400	79	129	16	0	25	1	1
	548	17	130	16	0	25	1	1
	702	-----	130	16	0	25	1	1
	850	-----	131	16	0	25	1	1
	997	-----	132	16	0	25	1	1

Çizelge 3.39'un devamı

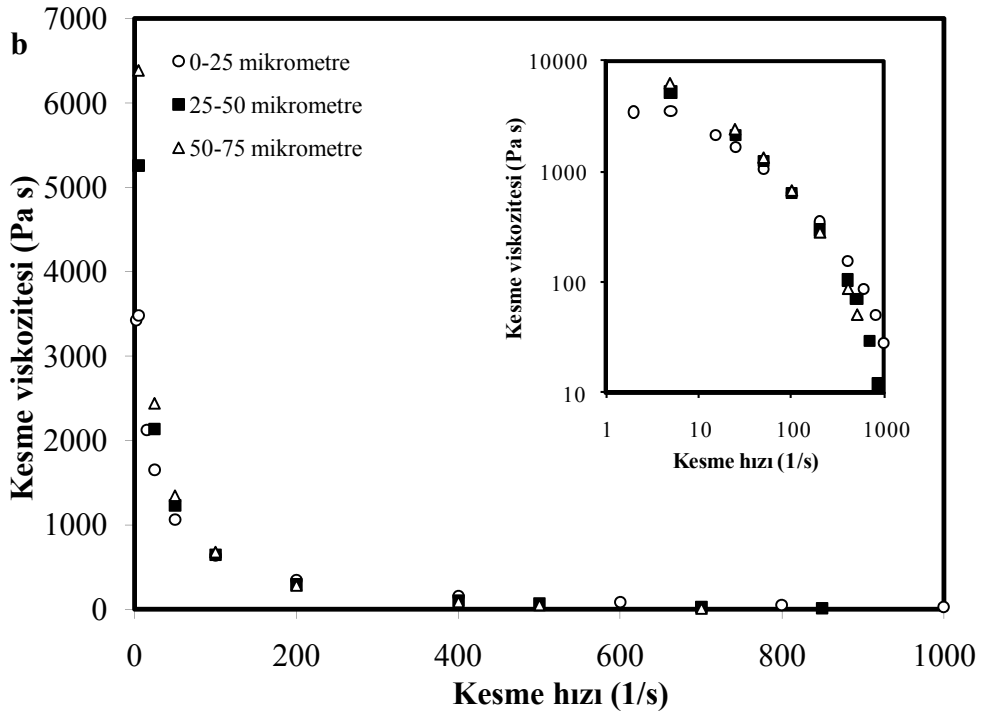
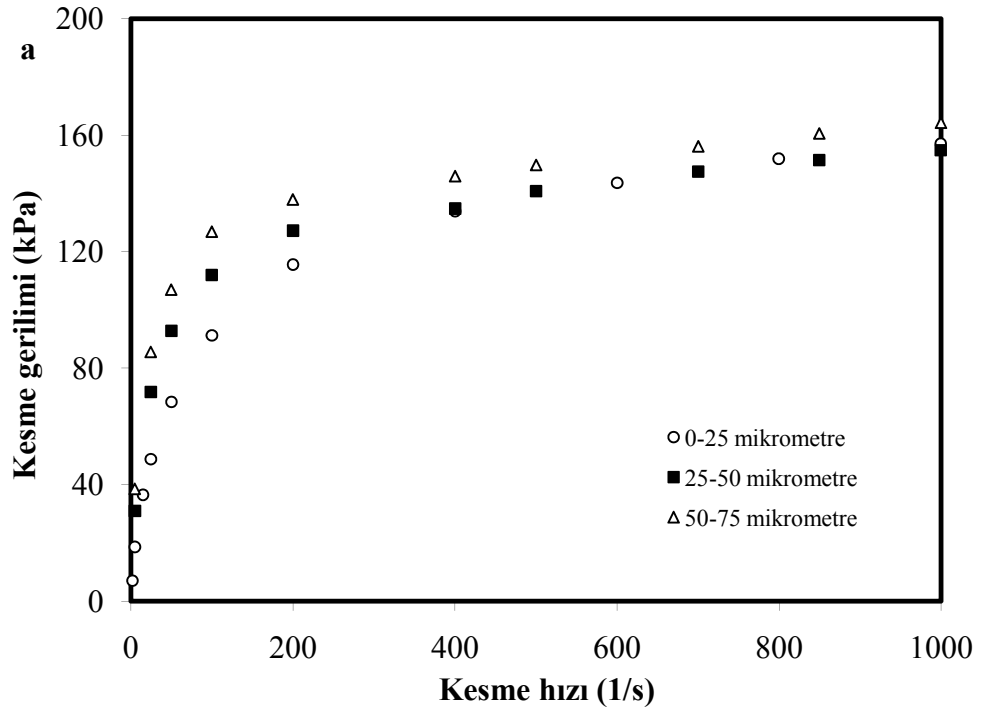
Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
50-75	5	6024	35	16	0	25	1	1
	25	2353	81	16	0	25	1	1
	50	1302	101	16	0	25	1	1
	100	652	122	16	0	25	1	1
	198	273	139	16	0	25	1	1
	400	59	145	16	0	25	1	1
	498	21	144	16	0	25	1	1
	702	-----	146	16	0	25	1	1
	849	-----	148	16	0	25	1	1
	997	-----	150	16	0	25	1	1



Şekil 3.48 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.40 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Tane boyutu (μm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
0-25	2	3427	7	16	0	25	2	2
	5	3481	19	16	0	25	2	2
	15	2125	36	16	0	25	2	2
	25	1653	49	16	0	25	2	2
	50	1063	68	16	0	25	2	2
	100	640	91	16	0	25	2	2
	200	348	116	16	0	25	2	2
	400	155	134	16	0	25	2	2
	600	85	144	16	0	25	2	2
	800	50	152	16	0	25	2	2
1000	28	157	16	0	25	2	2	
25-50	5	5258	31	16	0	25	2	2
	25	2136	72	16	0	25	2	2
	50	1232	93	16	0	25	2	2
	100	646	112	16	0	25	2	2
	200	295	127	16	0	25	2	2
	400	104	135	16	0	25	2	2
	500	70	141	16	0	25	2	2
	700	29	148	16	0	25	2	2
	850	12	151	16	0	25	2	2
	1000	0	155	16	0	25	2	2
50-75	5	6385	39	16	0	25	2	2
	25	2440	86	16	0	25	2	2
	50	1346	107	16	0	25	2	2
	100	677	127	16	0	25	2	2
	200	282	138	16	0	25	2	2
	400	87	146	16	0	25	2	2
	500	50	150	16	0	25	2	2
	700	10	156	16	0	25	2	2



Şekil 3.49 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine tane boyutunun etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.2.4.3 Sıcaklığın Etkisi

Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten hazırlanan pastaların en iyi akış özellikleri daha önce 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında elde edilmişti. Bu nedenle pastaların reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi 70:30 katı:sıvı (g:g) oranlı ve 0-25 µm tane boyutlu pasta kullanılarak 25, 50 ve 75 °C sıcaklıklarda aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanalda incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.41-3.43'te verilerek Şekil 3.50-3.52a ve b'de kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi artan sıcaklıkla kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile azaldığı bulundu.

3.2.4.4 L/D Oranının Etkisi

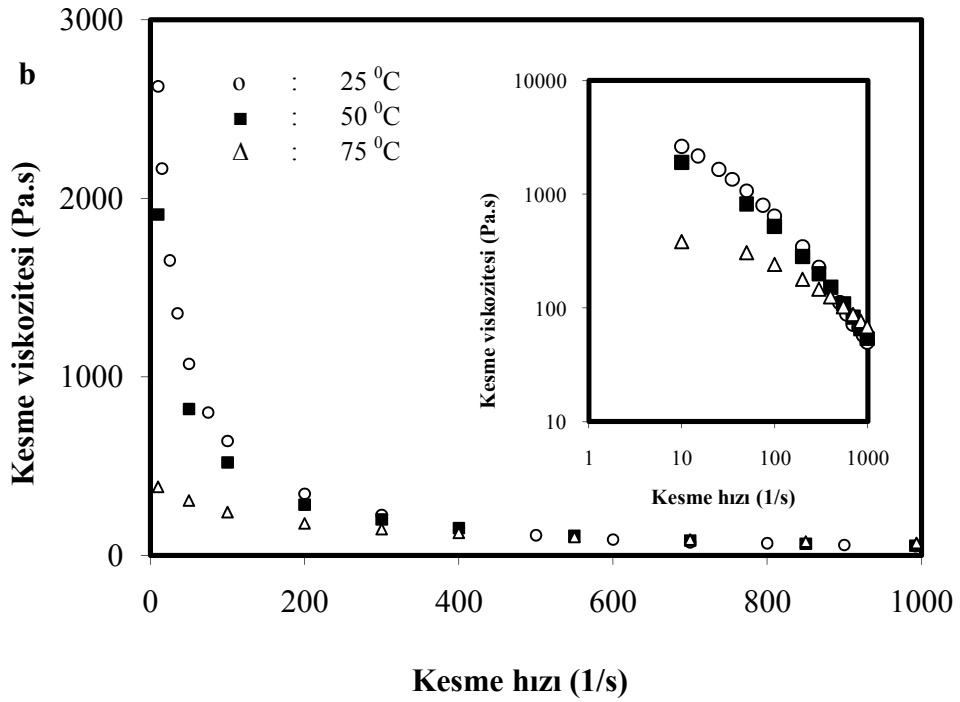
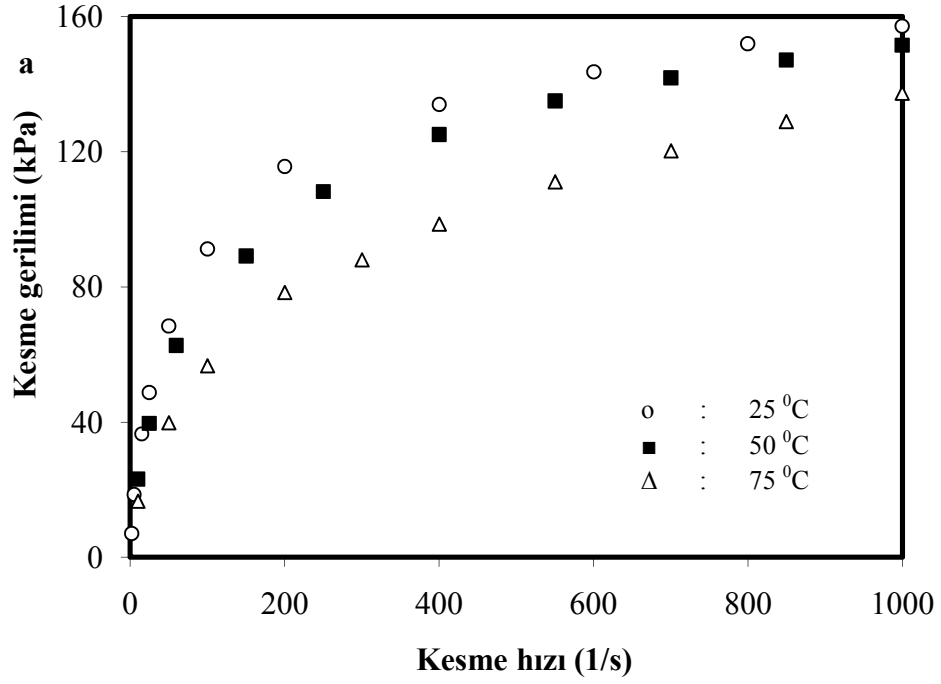
0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 1 000 000 kullanarak 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C'de iki farklı L/D oranlı kapiler kanalda ölçülen reolojik verileri Çizelge 3.44'te verilerek Şekil 3.53a ve b'de sırasıyla kesme gerilimi kesme hızına ve kesme viskozitesi kesme hızına karşı grafik edilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi artan L/D oranı ile pastanın kesme geriliminin kesme hızı ile hafif bir şekilde azaldığı, kesme viskozitesinde ise önemli bir değişimin meydana gelmediği bulundu.

Çizelge 3.41 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	10	2627	31	16	0	25	0,5	0,5
	15	2167	39	16	0	25	0,5	0,5
	25	1652	52	16	0	25	0,5	0,5
	35	1355	62	16	0	25	0,5	0,5
	50	1072	72	16	0	25	0,5	0,5
	75	800	85	16	0	25	0,5	0,5
	100	640	95	16	0	25	0,5	0,5
	200	345	116	16	0	25	0,5	0,5
	300	227	127	16	0	25	0,5	0,5
	500	112	125	16	0	25	0,5	0,5
	600	88	129	16	0	25	0,5	0,5
	700	71	132	16	0	25	0,5	0,5
	800	67	155	16	0	25	0,5	0,5
	900	58	163	16	0	25	0,5	0,5
992	50	169	16	0	25	0,5	0,5	
50	10	1910	22	16	0	50	0,5	0,5
	50	820	53	16	0	50	0,5	0,5
	100	520	73	16	0	50	0,5	0,5
	200	283	88	16	0	50	0,5	0,5
	300	200	101	16	0	50	0,5	0,5
	400	152	109	16	0	50	0,5	0,5
	550	109	117	16	0	50	0,5	0,5
	700	83	123	16	0	50	0,5	0,5
	850	65	127	16	0	50	0,5	0,5
	992	54	131	16	0	50	0,5	0,5

Çizelge 3.41'in devamı

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	383	4	16	0	75	0,5	0,5
	50	306	16	16	0	75	0,5	0,5
	100	241	27	16	0	75	0,5	0,5
	200	178	42	16	0	75	0,5	0,5
	300	146	53	16	0	75	0,5	0,5
	400	125	62	16	0	75	0,5	0,5
	550	102	72	16	0	75	0,5	0,5
	700	87	81	16	0	75	0,5	0,5
	850	76	88	16	0	75	0,5	0,5
	994	68	94	16	0	75	0,5	0,5



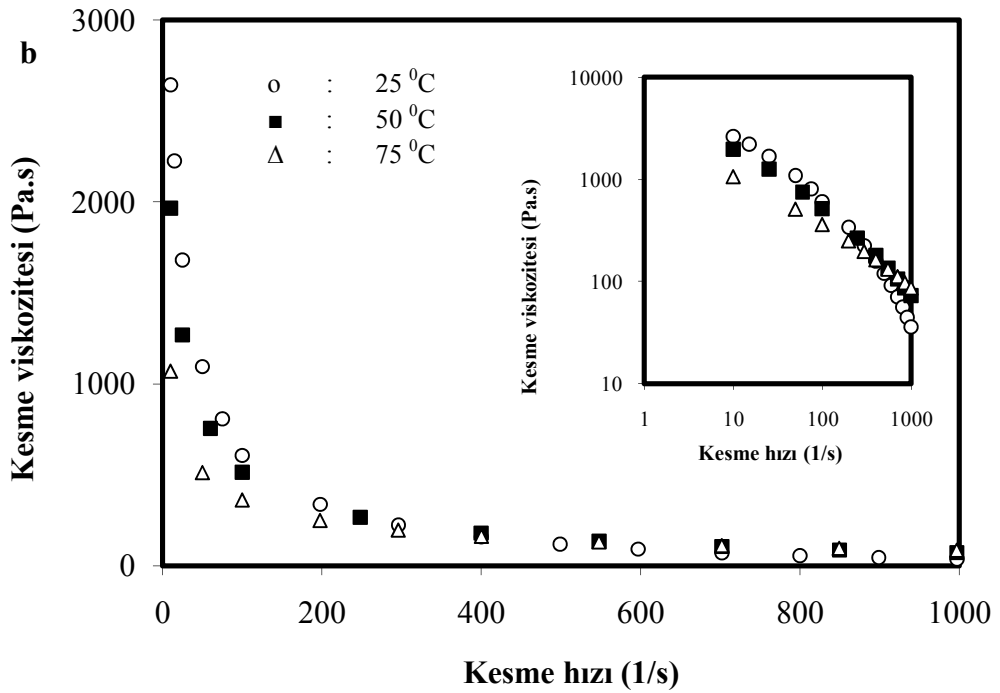
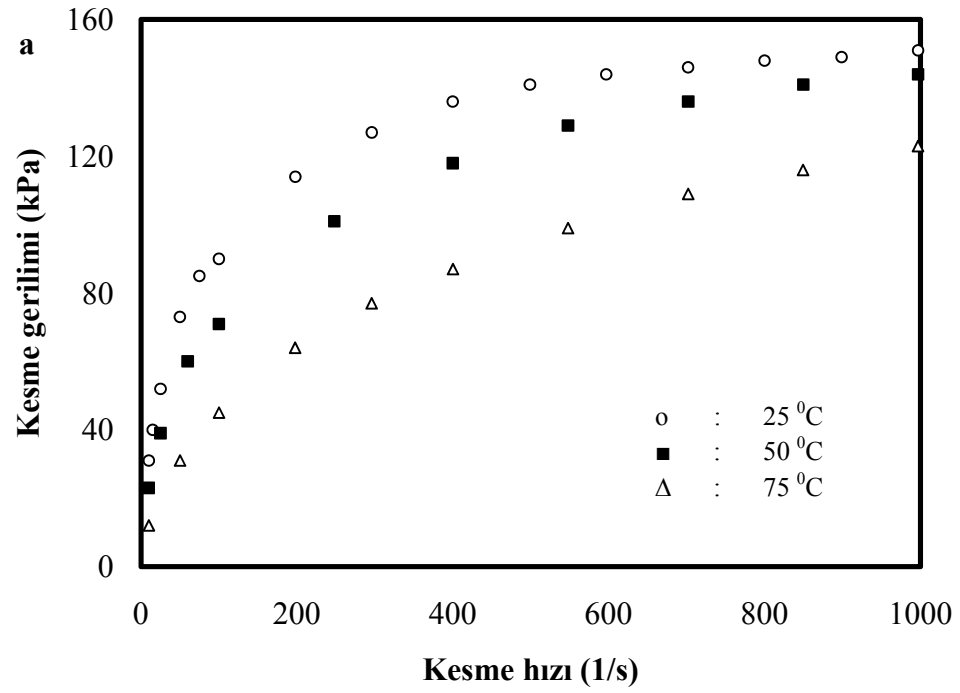
Şekil 3.50 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=8 mm/0,5 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.42 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	10	2644	31	16	0	25	1	1
	15	2226	40	16	0	25	1	1
	25	1681	52	16	0	25	1	1
	50	1095	73	16	0	25	1	1
	75	808	85	16	0	25	1	1
	100	606	90	16	0	25	1	1
	198	338	114	16	0	25	1	1
	296	225	127	16	0	25	1	1
	400	159	136	16	0	25	1	1
	499	120	141	16	0	25	1	1
	597	92	144	16	0	25	1	1
	702	71	146	16	0	25	1	1
	800	56	148	16	0	25	1	1
	899	45	149	16	0	25	1	1
997	36	151	16	0	25	1	1	
50	10	1966	23	16	0	50	1	1
	25	1269	39	16	0	50	1	1
	60	756	60	16	0	50	1	1
	100	514	71	16	0	50	1	1
	248	266	101	16	0	50	1	1
	400	179	118	16	0	50	1	1
	548	135	129	16	0	50	1	1
	702	106	136	16	0	50	1	1
	850	87	141	16	0	50	1	1
	997	73	144	16	0	50	1	1

Çizelge 3.42'nin devamı

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	1070	12	16	0	75	1	1
	50	513	31	16	0	75	1	1
	100	362	45	16	0	75	1	1
	198	250	64	16	0	75	1	1
	296	197	77	16	0	75	1	1
	400	163	87	16	0	75	1	1
	548	132	99	16	0	75	1	1
	702	111	109	16	0	75	1	1
	849	97	116	16	0	75	1	1
	997	86	123	16	0	75	1	1



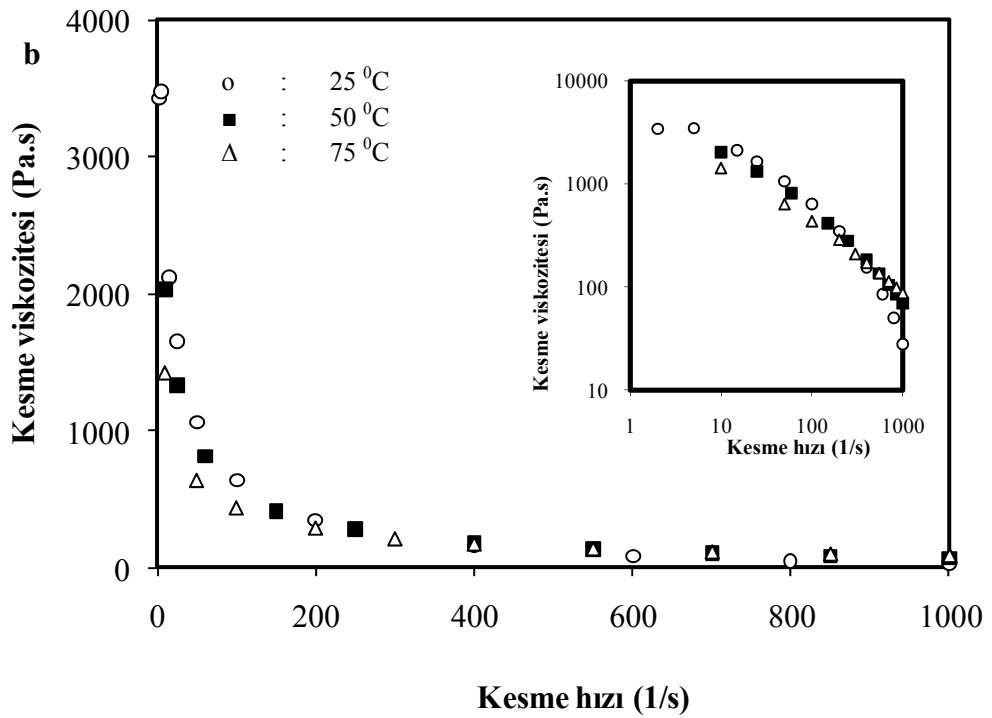
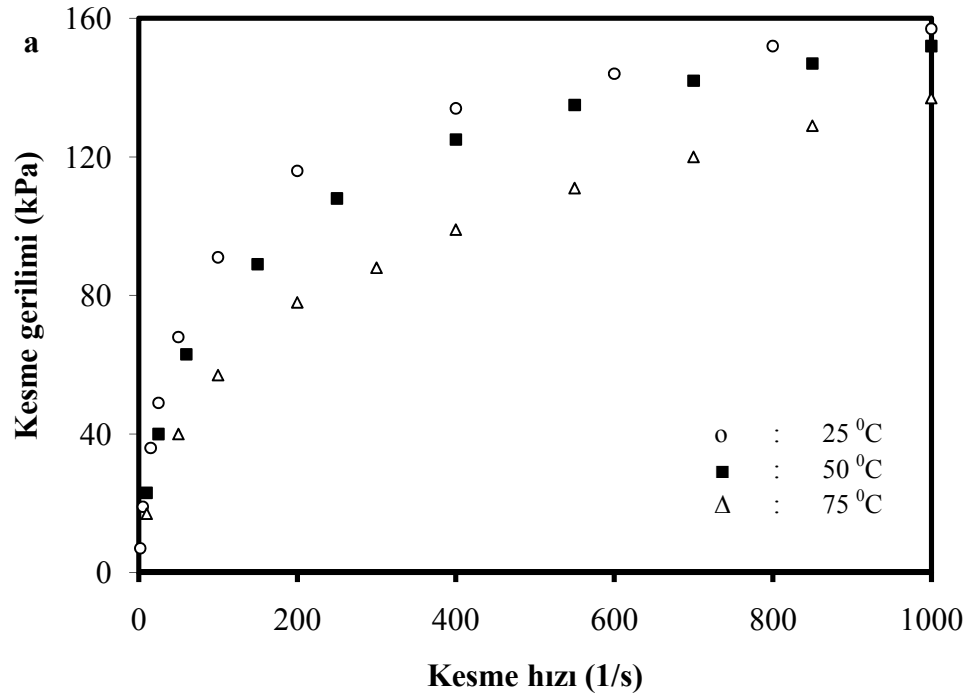
Şekil 3.51 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.43 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 µm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
25	2	3427	7	16	0	25	2	2
	5	3481	19	16	0	25	2	2
	15	2125	36	16	0	25	2	2
	25	1653	49	16	0	25	2	2
	50	1063	68	16	0	25	2	2
	100	640	91	16	0	25	2	2
	200	348	116	16	0	25	2	2
	400	155	134	16	0	25	2	2
	600	85	144	16	0	25	2	2
	800	50	152	16	0	25	2	2
	1000	28	157	16	0	25	2	2
50	10	2030	23	16	0	50	2	2
	25	1331	40	16	0	50	2	2
	60	812	63	16	0	50	2	2
	150	415	89	16	0	50	2	2
	250	281	108	16	0	50	2	2
	400	186	125	16	0	50	2	2
	550	136	135	16	0	50	2	2
	700	105	142	16	0	50	2	2
	850	84	147	16	0	50	2	2
		1000	70	152	16	0	50	2

Çizelge 3.43'ün devamı

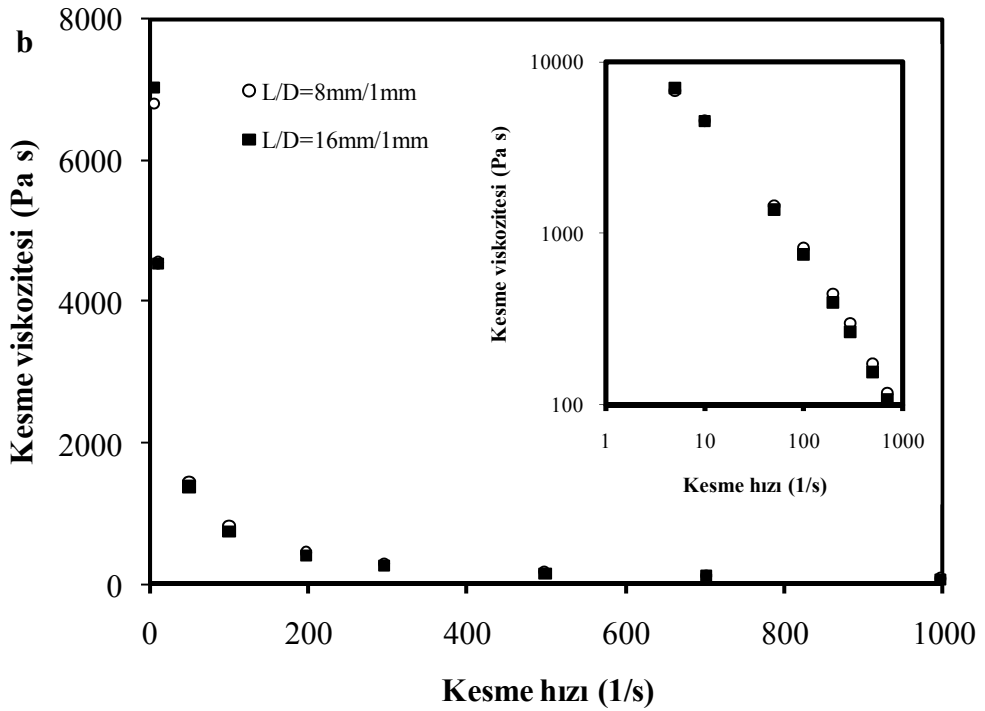
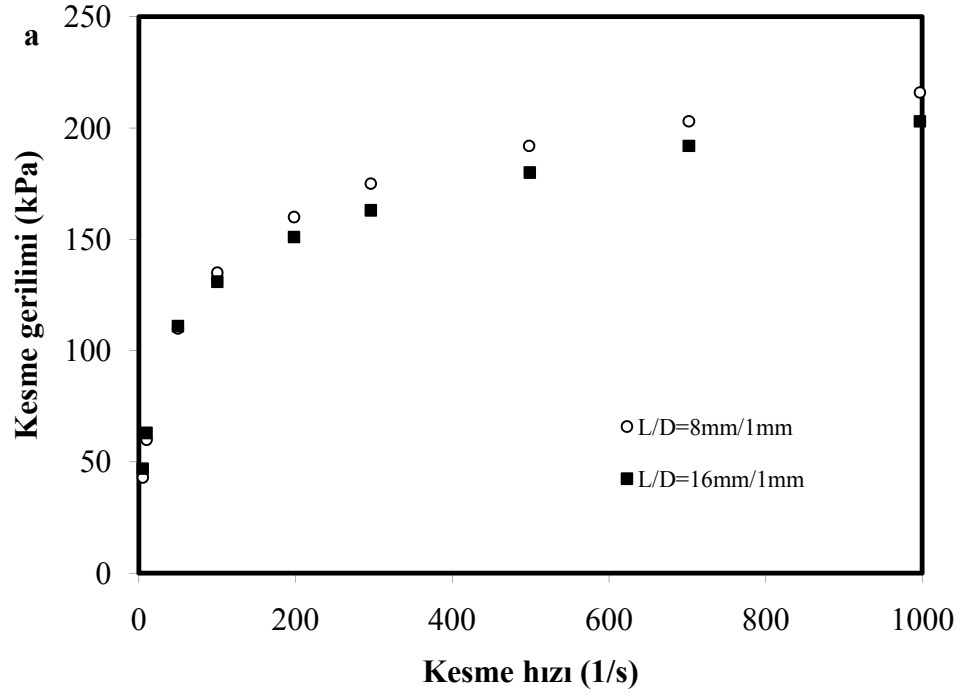
Sıcaklık (°C)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
75	10	1424	17	16	0	75	2	2
	50	637	40	16	0	75	2	2
	100	436	57	16	0	75	2	2
	200	289	78	16	0	75	2	2
	300	210	88	16	0	75	2	2
	400	172	99	16	0	75	2	2
	550	137	111	16	0	75	2	2
	700	114	120	16	0	75	2	2
	850	99	129	16	0	75	2	2
	1000	88	137	16	0	75	2	2



Şekil 3.52 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi (L/D=32 mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.44 0-25 µm tane boyutlu kaolinit örnekleri ve silikon yağı AK 1 000 000 kullanarak 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın 25 °C’de farklı L/D oranlarında ölçülen reolojik verileri

L/D oranı (mm/mm)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	5	6794	43	8	0	25	1	1
	10	4548	60	8	0	25	1	1
	50	1443	110	8	0	25	1	1
	100	819	135	8	0	25	1	1
	198	443	160	8	0	25	1	1
	296	299	175	8	0	25	1	1
	498	173	192	8	0	25	1	1
	702	117	203	8	0	25	1	1
	997	77	216	8	0	25	1	1
16/1	5	7028	47	16	0	25	1	1
	10	4527	63	16	0	25	1	1
	50	1377	111	16	0	25	1	1
	100	751	131	16	0	25	1	1
	198	396	151	16	0	25	1	1
	296	266	163	16	0	25	1	1
	499	155	180	16	0	25	1	1
	702	107	192	16	0	25	1	1
	997	71	203	16	0	25	1	1



Şekil 3.53 Silikon yağı AK 1 000 000 ve kaolinitten (0-25 μm) 70:30 katı:sıvı (g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi: a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.3 Pastaların Reolojik Özelliklerine Katkı Maddesinin Etkisi

3.3.1 Glikoz ve Nişastanın Etkisi

Silikon yağı AK 60 000-kaolinit ve silikon yağı AK 1 000 000-kaolinit pastalarının reolojik özelliklerine glikoz ve nişastanın etkisi ve L/D oranının etkisi incelendi.

3.3.1.1 Silikon Yağı AK 60 000-Kaolinit Pastaları

Silikon yağı AK 60 000, 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örneği ve katkı maddesi (glikoz ya da nişasta) ile hazırlanan kaolinit pastalarının reolojik özellikleri farklı L/D oranlı kapiler kanallar kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.45-3.46'da verilerek sırasıyla Şekil 3.54-3.55a ve b'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizildi. Şekiller incelendiğinde artan kesme hızı ile pastaların kesme gerilimi ve kesme viskozitesinin katkı maddesi ile önemli ölçüde değişmediği görüldü.

3.3.1.2 Silikon Yağı AK 1 000 000-Kaolinit Pastaları

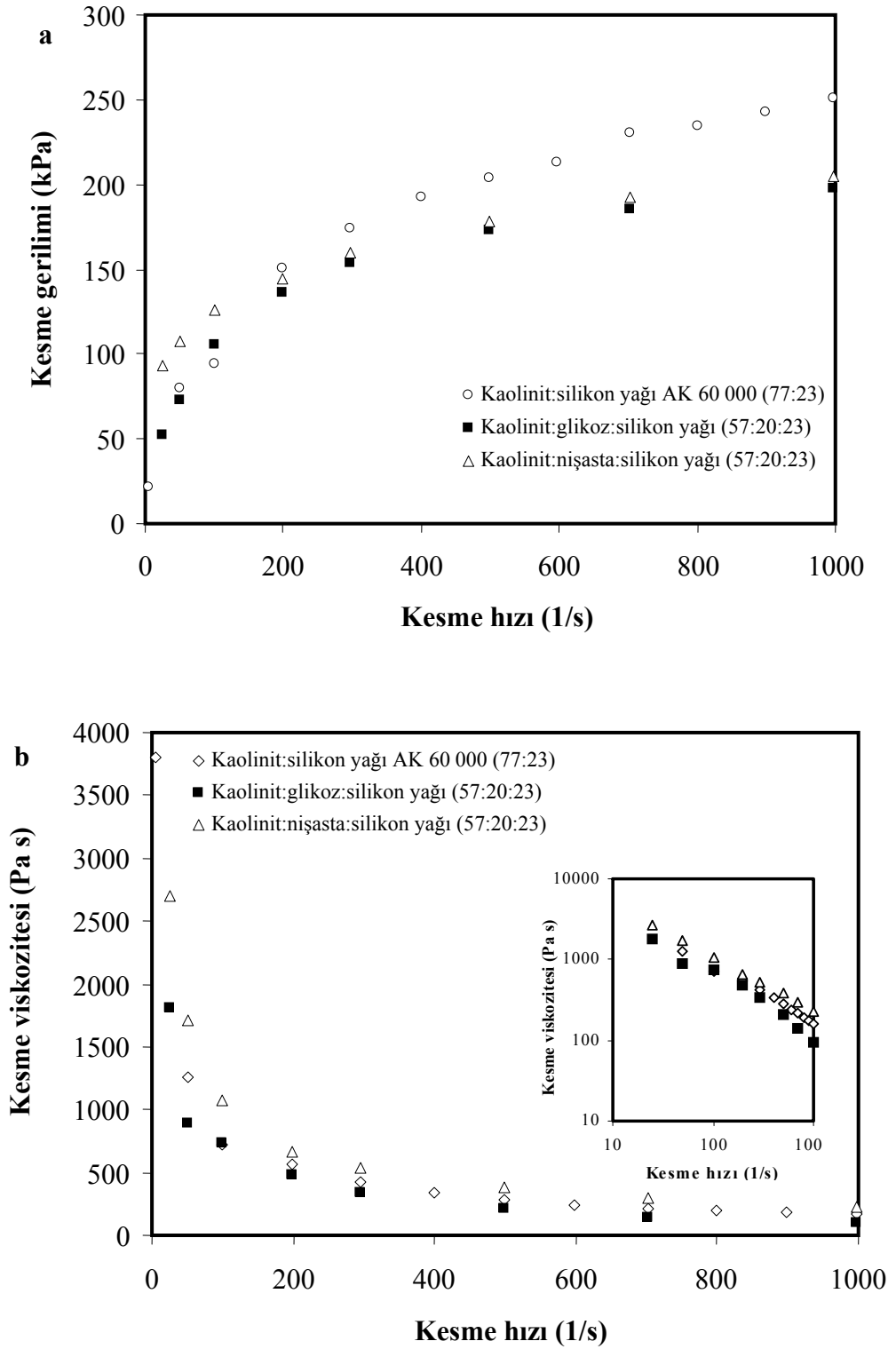
Silikon yağı AK 1 000 000, 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örneği ve katkı maddesi ile hazırlanan kaolinit pastalarının reolojik özellikleri farklı L/D oranlı kapiler kanallar kullanılarak incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.47-3.48'de verilerek sırasıyla Şekil 3.56-3.57a ve b'de kesme geriliminin kesme hızına ve kesme viskozitesinin kesme hızına karşı grafikleri çizildi. Şekiller incelendiğinde artan kesme hızı ile pastaların kesme gerilimi ve kesme viskozitesi değerlerinin katkı maddesi ilavesi ile önemli ölçüde değişmediği görüldü.

Çizelge 3.45 Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:silikon yağı 77:23	5	3801	22	16	0	25	1	1
	50	1255	80	16	0	25	1	1
	100	718	94	16	0	25	1	1
	198	559	151	16	0	25	1	1
	296	419	174	16	0	25	1	1
	400	334	192	16	0	25	1	1
	499	281	204	16	0	25	1	1
	597	242	213	16	0	25	1	1
	702	218	230	16	0	25	1	1
	800	193	234	16	0	25	1	1
	899	177	243	16	0	25	1	1
	997	163	251	16	0	25	1	1

Çizelge 3.45'in devamı

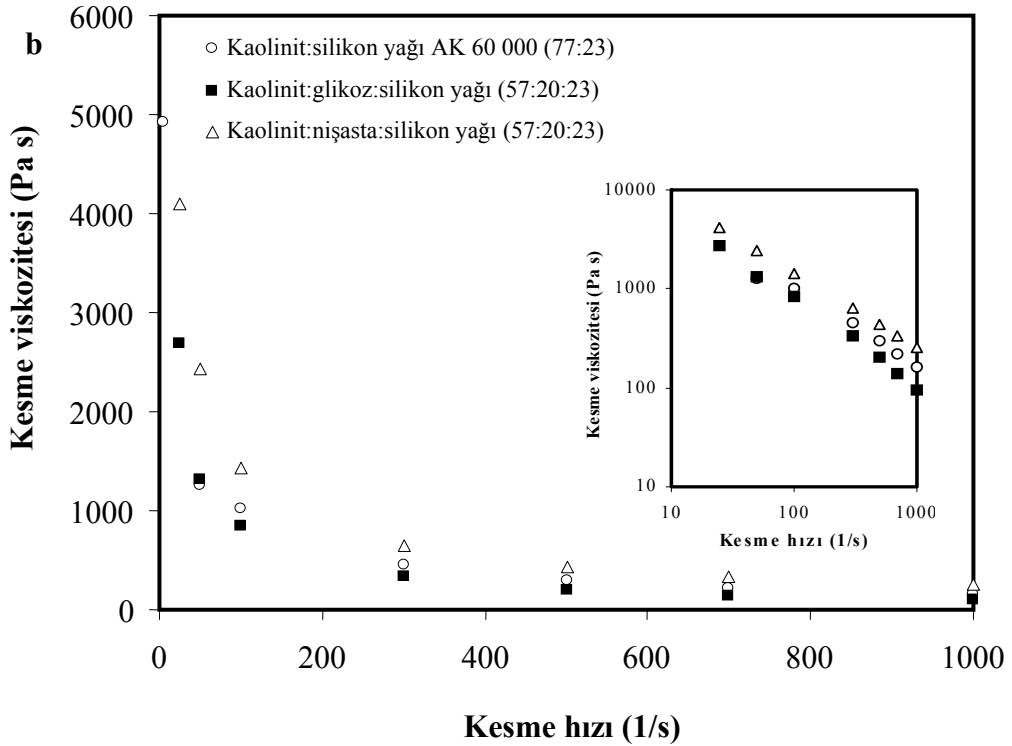
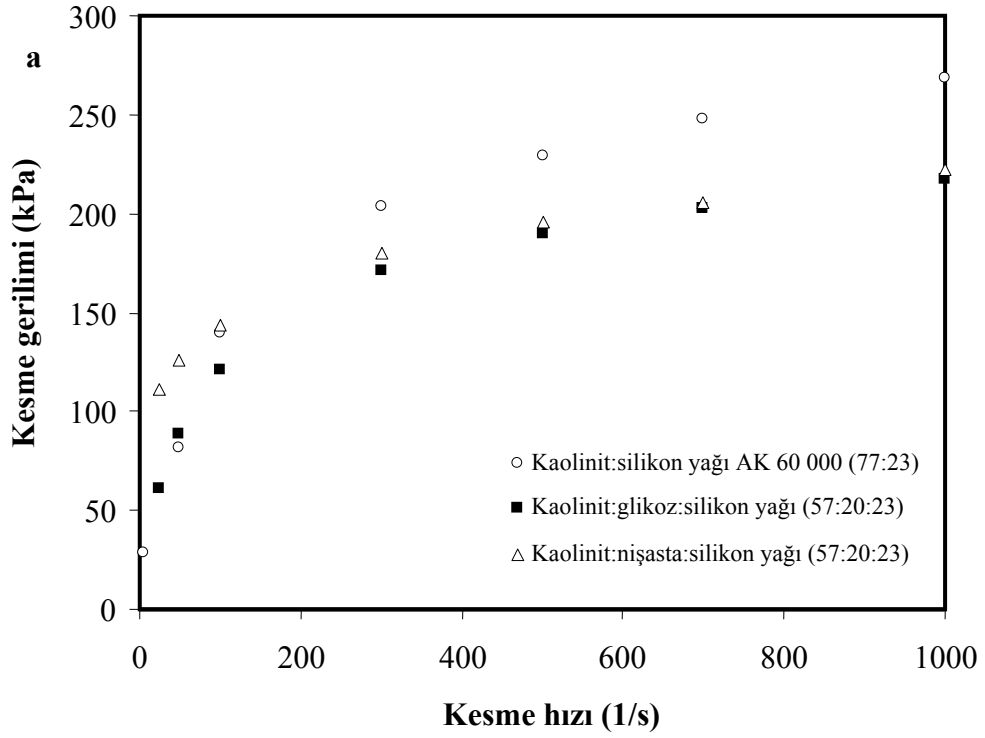
Katı:sıvı oranı (g:g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:glikoz:silikon yağı 57:20	25	1807	52	16	0	25	1	1
	50	895	55	16	0	25	1	1
	100	731	105	16	0	25	1	1
	198	482	136	16	0	25	1	1
	296	342	154	16	0	25	1	1
	499	205	173	16	0	25	1	1
	702	142	185	16	0	25	1	1
	997	95	198	16	0	25	1	1
Kaolinit:nişasta:silikon yağı 57:20:23	25	2705	93	16	0	25	1	1
	50	1707	108	16	0	25	1	1
	100	1076	126	16	0	25	1	1
	198	667	144	16	0	25	1	1
	296	535	160	16	0	25	1	1
	498	378	178	16	0	25	1	1
	702	297	192	16	0	25	1	1
	997	229	205	16	0	25	1	1



Şekil 3.54 Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=16 mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.46 Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:silikon yağı 77:23	5	4923	29	16	0	25	2	2
	50	1253	82	16	0	25	2	2
	100	1028	140	16	0	25	2	2
	300	460	204	16	0	25	2	2
	500	296	229	16	0	25	2	2
	700	221	248	16	0	25	2	2
	1000	161	269	16	0	25	2	2
Kaolinit:glikoz:silikon yağı 57:20:23	25	2682	61	16	0	25	2	2
	50	1321	89	16	0	25	2	2
	100	838	121	16	0	25	2	2
	300	336	171	16	0	25	2	2
	500	201	190	16	0	25	2	2
	700	141	203	16	0	25	2	2
	1000	94	217	16	0	25	2	2
Kaolinit:nişasta:silikon yağı 57:20:23	25	4092	121	16	0	25	2	2
	50	2428	126	16	0	25	2	2
	100	1441	144	16	0	25	2	2
	300	640	180	16	0	25	2	2
	500	433	196	16	0	25	2	2
	700	330	206	16	0	25	2	2
	1000	253	222	16	0	25	2	2



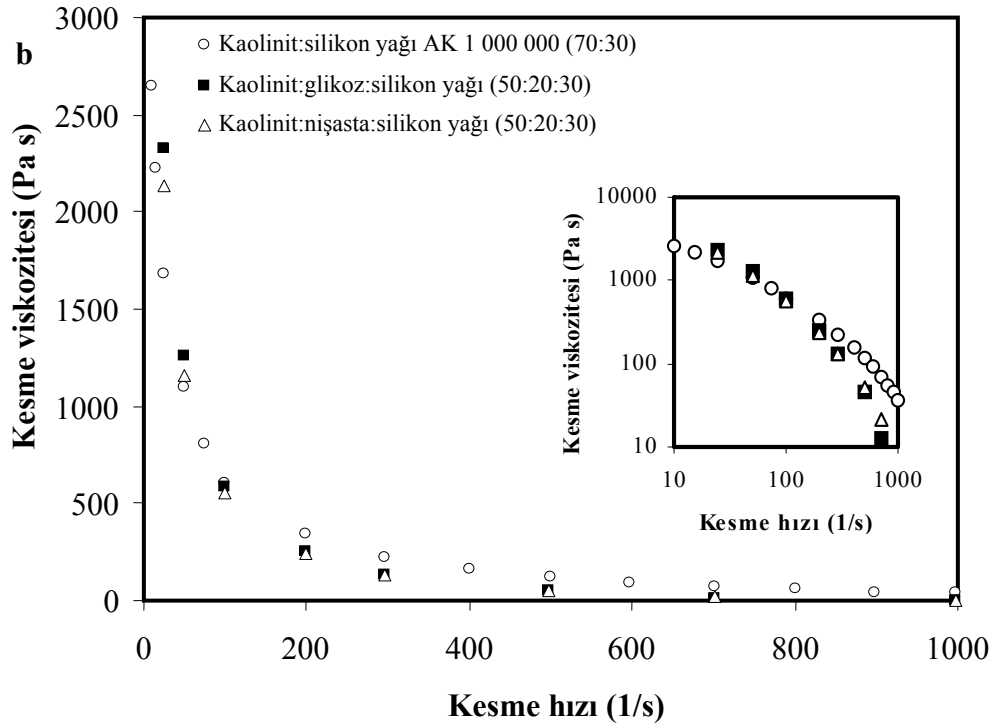
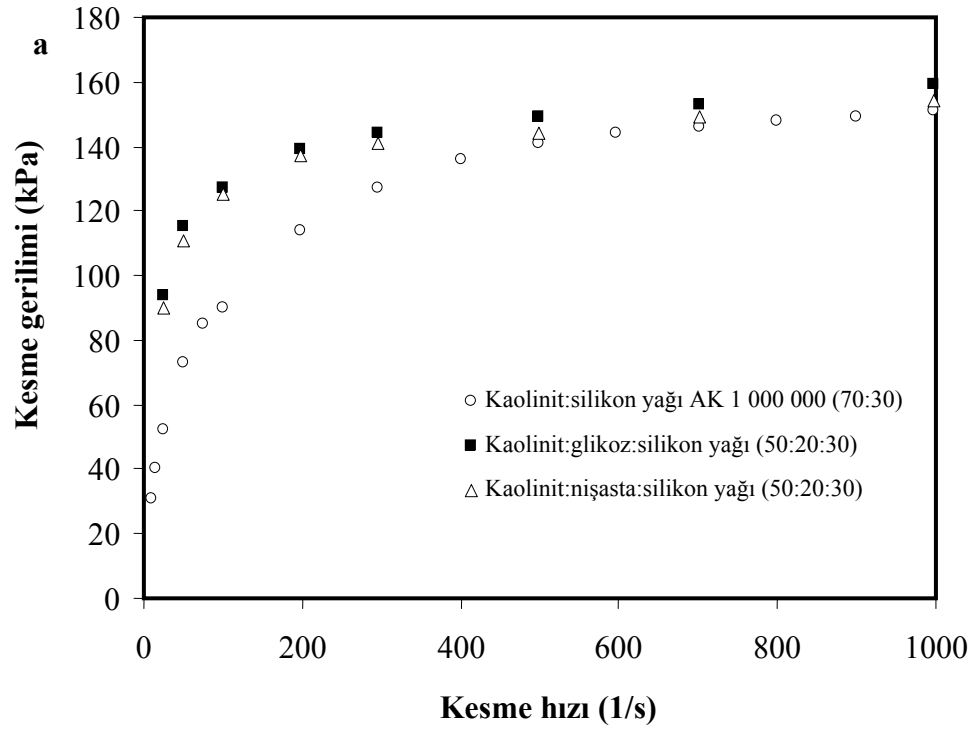
Şekil 3.55 Silikon yağı AK 60 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.47 Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=16 mm/1 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:silikon yağı 70:30	10	2644	31	16	0	25	1	1
	15	2226	40	16	0	25	1	1
	25	1681	52	16	0	25	1	1
	50	1095	73	16	0	25	1	1
	75	808	85	16	0	25	1	1
	100	606	90	16	0	25	1	1
	198	338	114	16	0	25	1	1
	296	225	127	16	0	25	1	1
	400	159	136	16	0	25	1	1
	499	120	141	16	0	25	1	1
	597	92	144	16	0	25	1	1
	702	71	146	16	0	25	1	1
	800	56	148	16	0	25	1	1
	899	45	149	16	0	25	1	1
	997	36	151	16	0	25	1	1

Çizelge 3.47'nin devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:glikoz:silikon yağı 50:20:30	25	2323	94	16	0	25	1	1
	50	1263	115	16	0	25	1	1
	100	586	127	16	0	25	1	1
	198	248	139	16	0	25	1	1
	296	135	144	16	0	25	1	1
	498	47	149	16	0	25	1	1
	702	13	153	16	0	25	1	1
	997	3	159	16	0	25	1	1
Kaolinit:nişasta:silikon yağı 50:20:30	25	2132	90	16	0	25	1	1
	50	1158	111	16	0	25	1	1
	100	553	125	16	0	25	1	1
	198	242	137	16	0	25	1	1
	296	135	141	16	0	25	1	1
	498	53	144	16	0	25	1	1
	702	22	149	16	0	25	1	1
	997	2	154	16	0	25	1	1



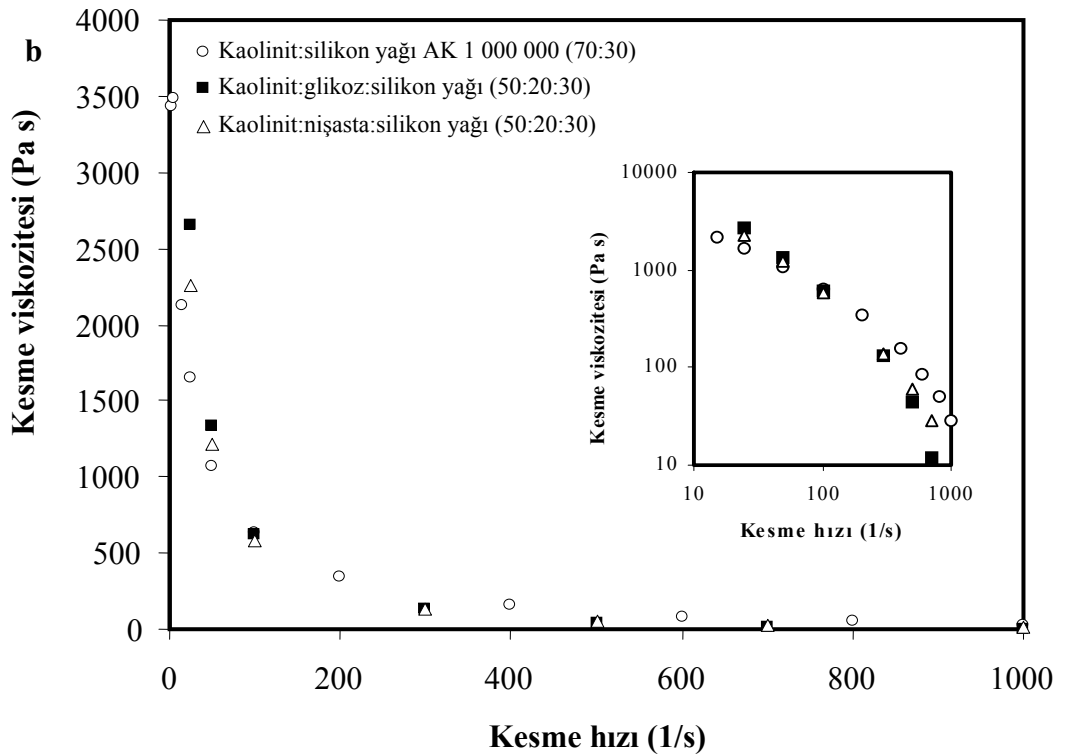
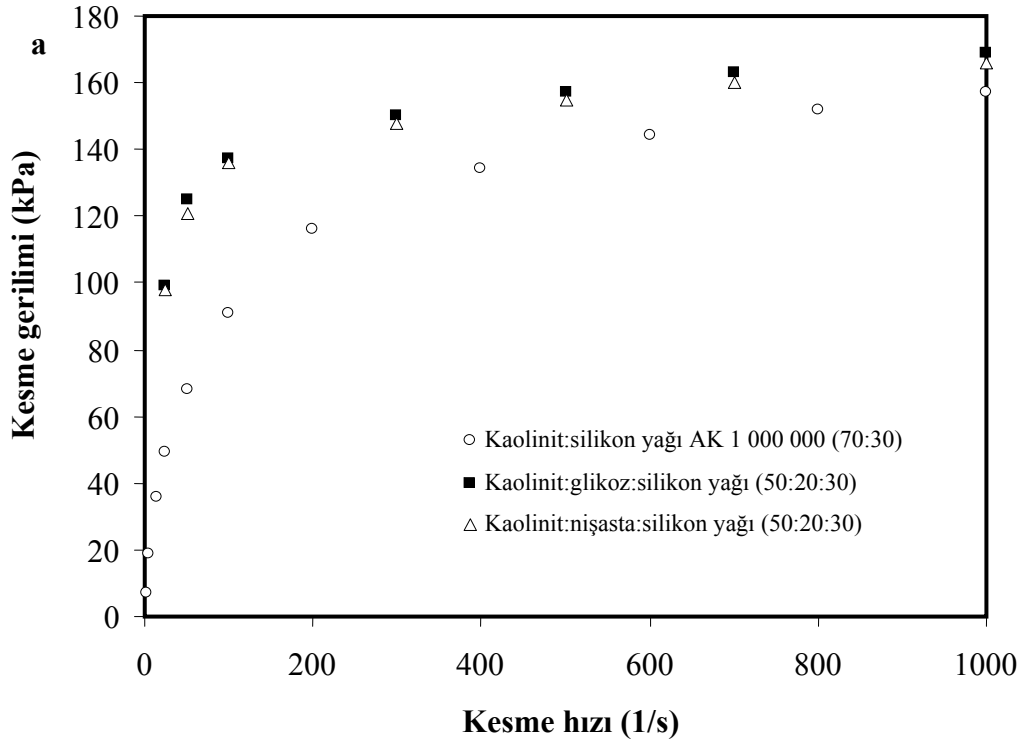
Şekil 3.56 Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=16$ mm/1 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.48 Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi (L/D=32 mm/2 mm)

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:silikon yağı 70:30	2	3427	7	16	0	25	2	2
	5	3481	19	16	0	25	2	2
	15	2125	36	16	0	25	2	2
	25	1653	49	16	0	25	2	2
	50	1063	68	16	0	25	2	2
	100	640	91	16	0	25	2	2
	200	348	116	16	0	25	2	2
	400	155	134	16	0	25	2	2
	600	85	144	16	0	25	2	2
	800	50	152	16	0	25	2	2
1000	28	157	16	0	25	2	2	

Çizelge 3.48'in devamı

Katı:sıvı oranı (g:g)	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
Kaolinit:glikoz:silikon yağı 50:20:30	25	2656	99	16	0	25	2	2
	50	1339	125	16	0	25	2	2
	100	614	137	16	0	25	2	2
	300	130	150	16	0	25	2	2
	500	45	157	16	0	25	2	2
	700	12	163	16	0	25	2	2
	1000	5	169	16	0	25	2	2
Kaolinit:nişasta:silikon yağı 50:20:30	25	2258	98	16	0	25	2	2
	50	1218	121	16	0	25	2	2
	100	583	136	16	0	25	2	2
	300	137	148	16	0	25	2	2
	500	59	155	16	0	25	2	2
	700	28	160	16	0	25	2	2
	1000	7	166	16	0	25	2	2



Şekil 3.57 Silikon yağı AK 1 000 000 ve 0-25 μm tane boyutu aralığındaki kaolinit ile hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine katkı maddesinin etkisi ($L/D=32$ mm/2 mm): a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.3.2 L/D Oranının Etkisi

3.3.2.1 Silikon Yağı AK 60 000, Kaolinit ve Katkı Maddesi Pastaları

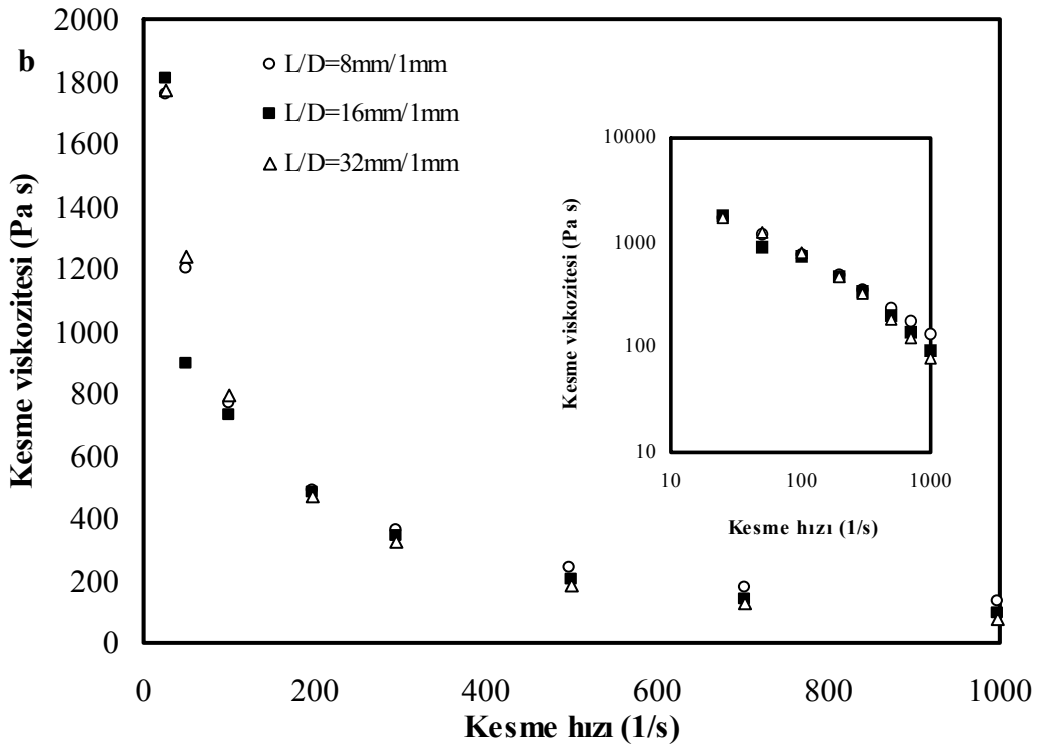
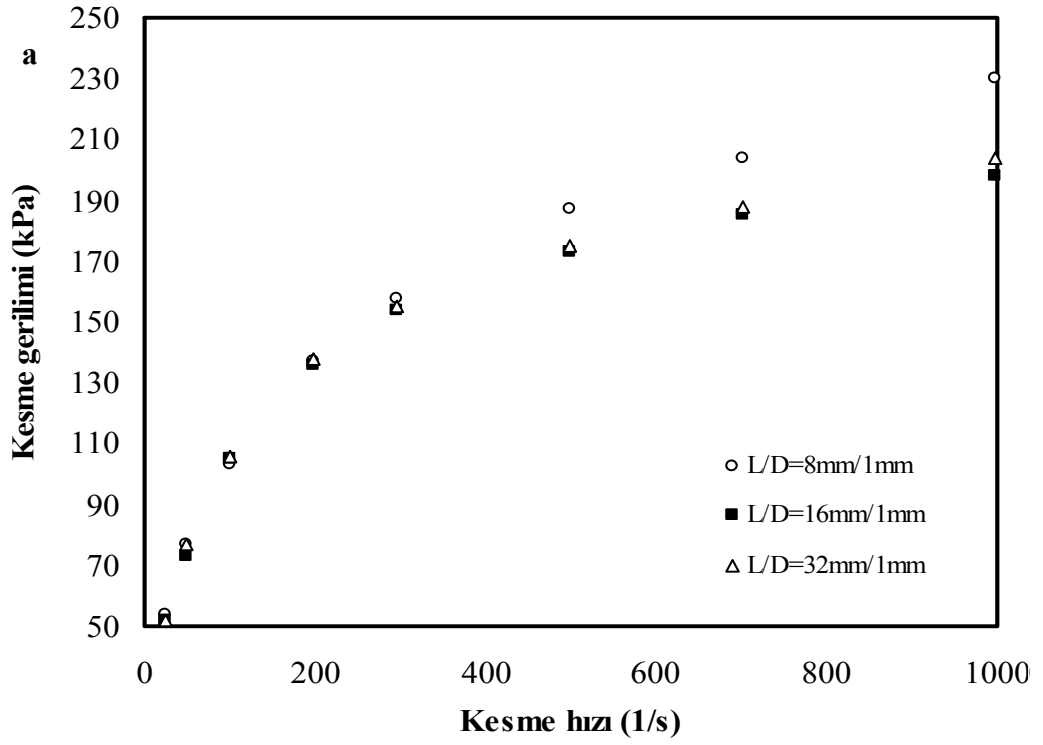
İki farklı katkı maddesi kullanılarak 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine kapiler kanalın boyutlarının etkisi, $L/D=8$, $L/D=16$ ve $L/D=32$ kapiler kanalları için incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.49-3.50'de verilerek sırasıyla Şekil 3.58-3.59a ve b'de kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Şekiller incelendiğinde kesme hızının kesme viskozitesi ile değişimine ait eğride önemli bir değişimin meydana gelmediği görüldü. Bunun yanında kesme hızının kesme gerilimi ile değişimine ait eğriler incelendiğinde L/D oranının düşmesiyle yüksek kesme hızlarında kesme gerilimi değerlerinin yükseldiği görüldü.

3.3.2.2 Silikon Yağı AK 1 000 000, Kaolinit ve Katkı Maddesi Pastaları

İki farklı katkı maddesi kullanılarak 0-25 µm tane boyutu aralığındaki kaolinit örnekleri ile farklı katı:sıvı oranlarında hazırlanan pastaların reolojik özellikleri üzerine kapiler kanalın boyutlarının etkisi, $L/D=8$, $L/D=16$ ve $L/D=32$ kapiler kanalları için incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.51-3.52'de verilerek sırasıyla Şekil 3.60-3.61a ve b'de kesme gerilimi, kesme hızına ve kesme viskozitesi, kesme hızına karşı grafiğe geçirildi. Şekiller incelendiğinde kesme hızının kesme viskozitesi ile değişimine ait eğride önemli bir değişimin meydana gelmediği görüldü. Bunun yanında kesme hızının kesme gerilimi ile değişimine ait eğriler incelendiğinde L/D oranının düşmesiyle yüksek kesme hızlarında kesme gerilimi değerlerinin yükseldiği görüldü.

Çizelge 3.49 Kaolinit (0-25 µm), glikoz ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi

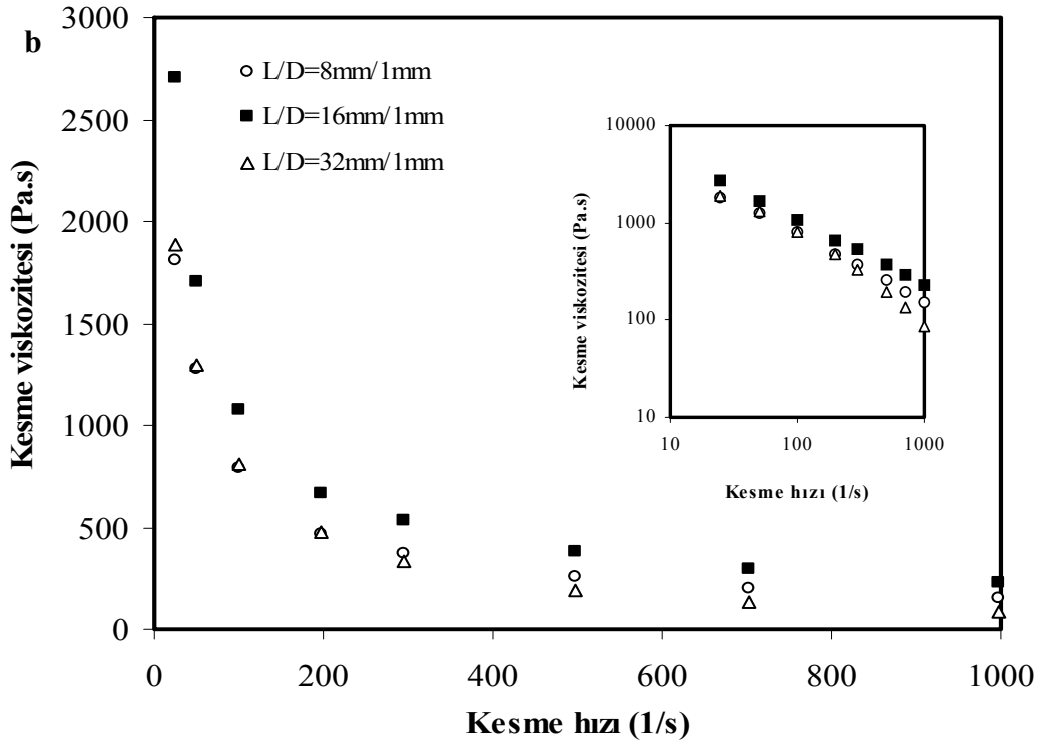
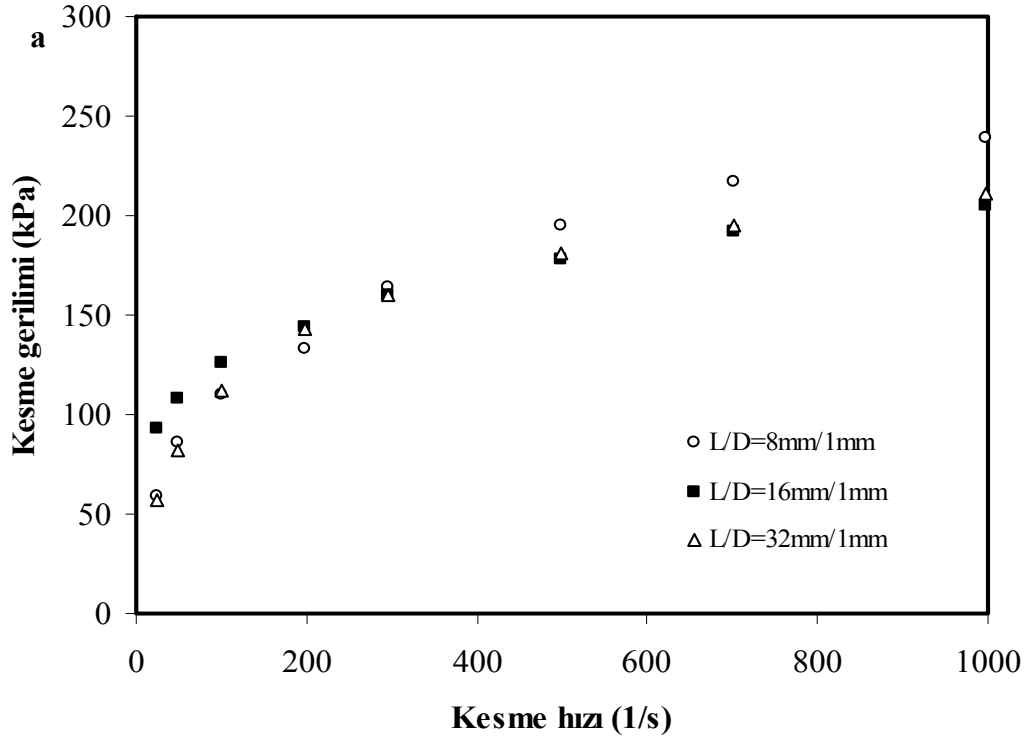
L/D (mm/mm) oranı	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	25	1758	54	8	0	25	1	1
	50	1202	77	8	0	25	1	1
	100	768	103	8	0	25	1	1
	198	487	137	8	0	25	1	1
	296	363	158	8	0	25	1	1
	498	241	187	8	0	25	1	1
	702	179	204	8	0	25	1	1
	997	135	230	8	0	25	1	1
16/1	25	1807	52	16	0	25	1	1
	50	895	73	16	0	25	1	1
	100	731	105	16	0	25	1	1
	198	482	136	16	0	25	1	1
	296	342	154	16	0	25	1	1
	499	205	173	16	0	25	1	1
	702	142	185	16	0	25	1	1
	997	95	198	16	0	25	1	1
32/1	25	1772	52	32	0	25	1	1
	50	1236	77	32	0	25	1	1
	100	795	106	32	0	25	1	1
	198	468	138	32	0	25	1	1
	296	323	155	32	0	25	1	1
	499	187	175	32	0	25	1	1
	702	125	188	32	0	25	1	1
	997	79	204	32	0	25	1	1



Şekil 3.58 Kaolinit, glikoz ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.50 Kaolinit (0-25 µm), nişasta ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi

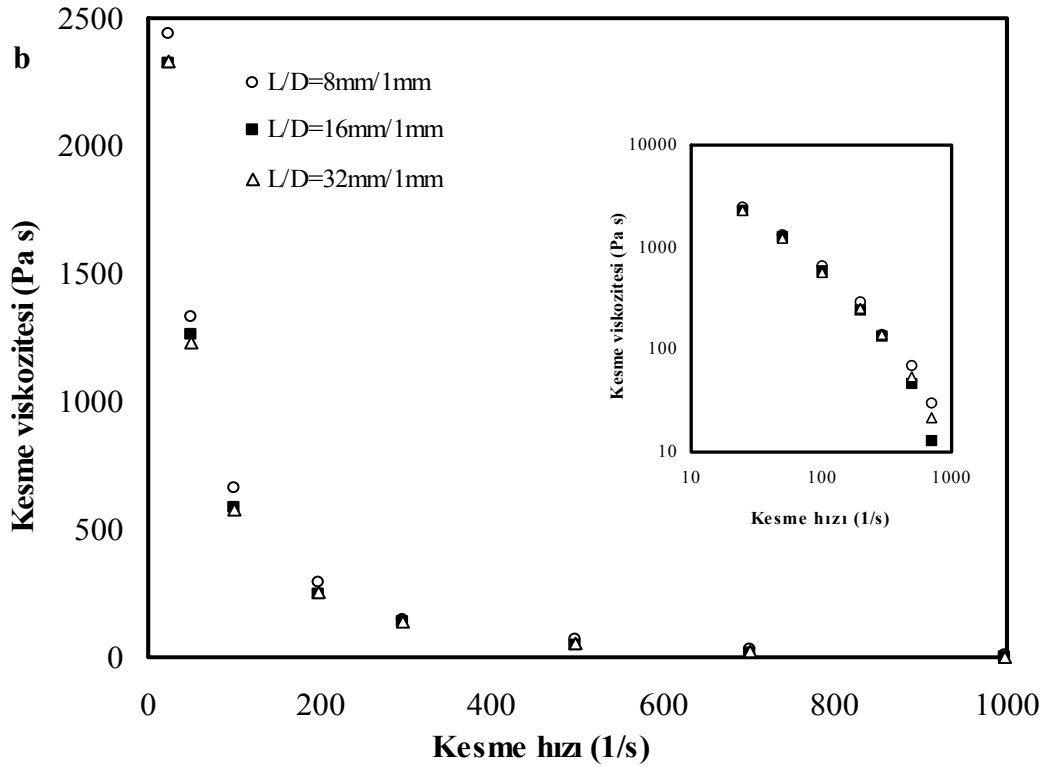
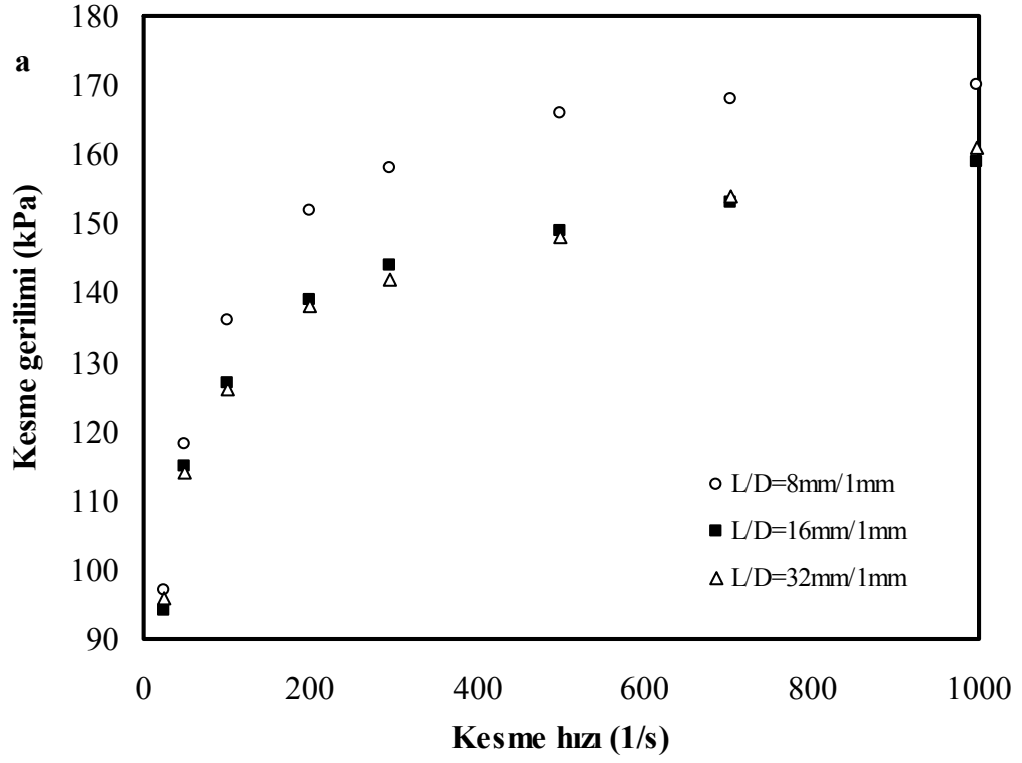
L/D (mm/mm) oranı	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	25	1812	59	8	0	25	1	1
	50	1275	86	8	0	25	1	1
	100	794	110	8	0	25	1	1
	198	467	133	8	0	25	1	1
	296	375	164	8	0	25	1	1
	498	257	195	8	0	25	1	1
	702	198	217	8	0	25	1	1
	997	150	239	8	0	25	1	1
16/1	25	2705	93	16	0	25	1	1
	50	1707	108	16	0	25	1	1
	100	1076	126	16	0	25	1	1
	198	667	144	16	0	25	1	1
	296	535	160	16	0	25	1	1
	498	378	178	16	0	25	1	1
	702	297	192	16	0	25	1	1
	997	229	205	16	0	25	1	1
32/1	25	1888	57	32	0	25	1	1
	50	1292	82	32	0	25	1	1
	100	813	112	32	0	25	1	1
	198	476	143	32	0	25	1	1
	296	330	160	32	0	25	1	1
	498	195	181	32	0	25	1	1
	702	133	195	32	0	25	1	1
	997	87	211	32	0	25	1	1



Şekil 3.59 Kaolinit, nişasta ve silikon yağı AK 60 000 ile 57:20:23 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.51 Kaolinit (0-25 µm), glikoz ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi

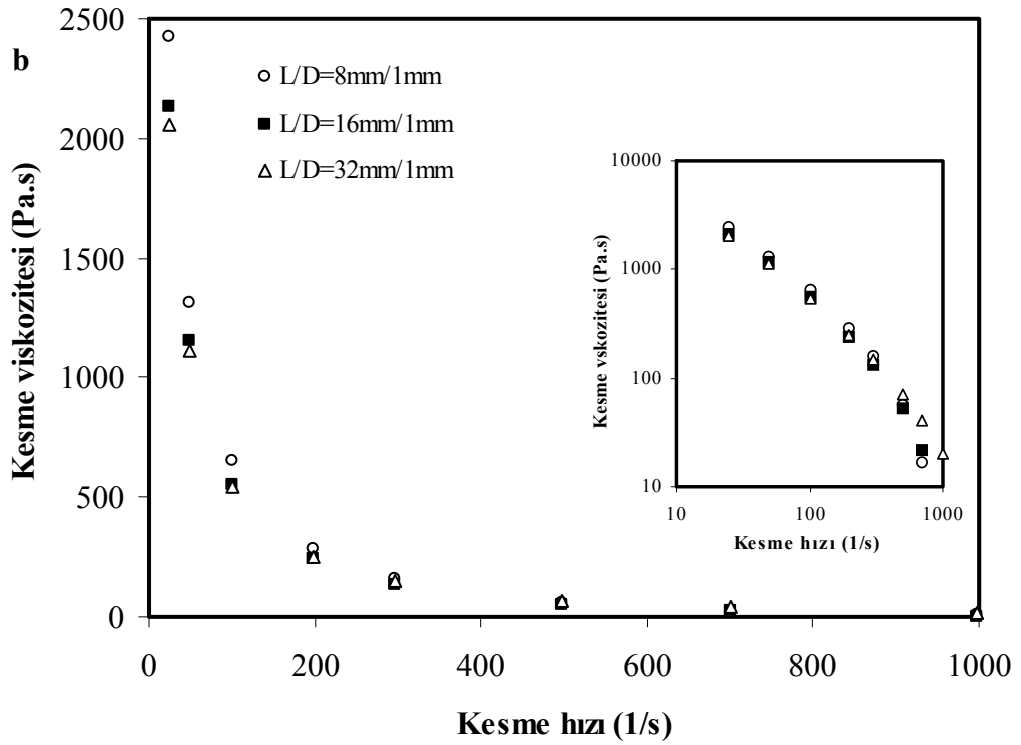
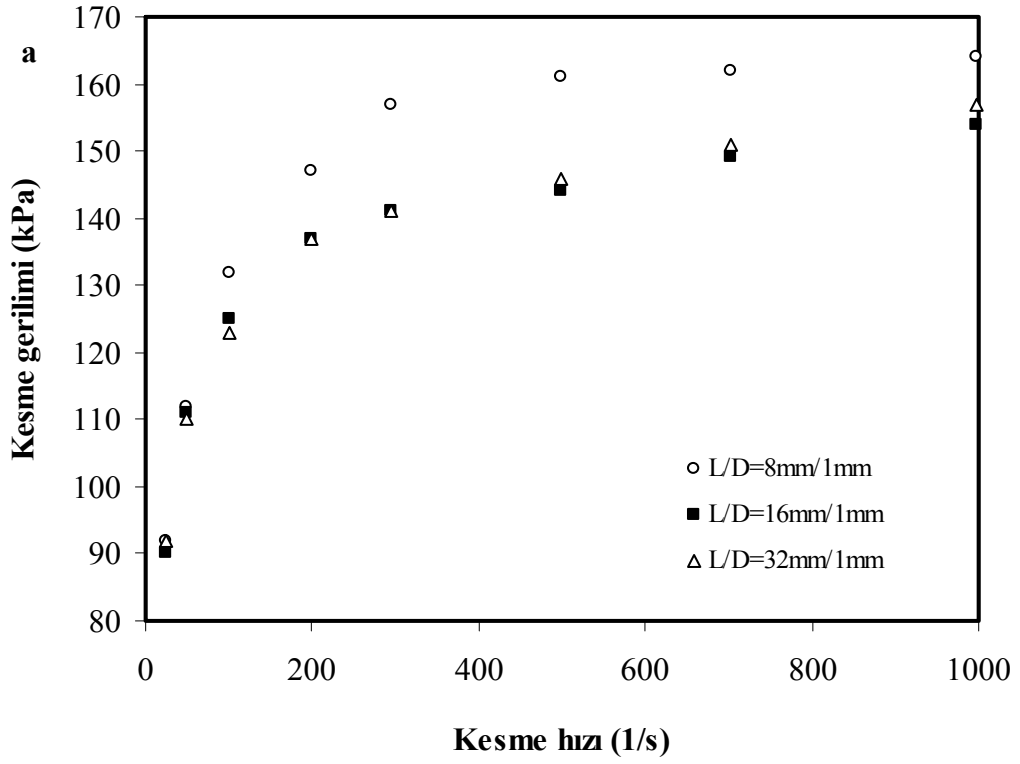
L/D (mm/mm) oranı	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	25	2438	97	8	0	25	1	1
	50	1328	118	8	0	25	1	1
	100	659	136	8	0	25	1	1
	198	295	152	8	0	25	1	1
	296	143	158	8	0	25	1	1
	498	70	166	8	0	25	1	1
	702	30	168	8	0	25	1	1
	997	5	170	8	0	25	1	1
16/1	25	2323	94	16	0	25	1	1
	50	1263	115	16	0	25	1	1
	100	586	127	16	0	25	1	1
	198	248	139	16	0	25	1	1
	296	135	144	16	0	25	1	1
	498	47	149	16	0	25	1	1
	702	13	153	16	0	25	1	1
	997	3	159	16	0	25	1	1
32/1	25	2330	96	32	0	25	1	1
	50	1234	114	32	0	25	1	1
	100	576	126	32	0	25	1	1
	198	252	138	32	0	25	1	1
	296	139	142	32	0	25	1	1
	498	55	148	32	0	25	1	1
	702	22	154	32	0	25	1	1
	997	1	161	32	0	25	1	1



Şekil 3.60 Kaolinit, glikoz ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

Çizelge 3.52 Kaolinit (0-25 µm), nişasta ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi

L/D (mm/mm)oranı	Kesme hızı (1/s)	Kesme viskozitesi (Pa.s)	Kesme gerilimi (kPa)	L/D (Sol)	L/D (Sağ)	Kapiler kanal sıcaklığı (°C)	D (Sol) (mm)	D (Sağ) (mm)
8/1	25	2422	92	8	0	25	1	1
	50	1313	112	8	0	25	1	1
	100	654	132	8	0	25	1	1
	198	287	147	8	0	25	1	1
	296	161	157	8	0	25	1	1
	498	57	161	8	0	25	1	1
	702	17	162	8	0	25	1	1
	997	5	164	8	0	25	1	1
16/1	25	2132	90	16	0	25	1	1
	50	1158	111	16	0	25	1	1
	100	553	125	16	0	25	1	1
	198	242	137	16	0	25	1	1
	296	135	141	16	0	25	1	1
	498	53	144	16	0	25	1	1
	702	22	149	16	0	25	1	1
	997	2	154	16	0	25	1	1
32/1	25	2059	92	32	0	25	1	1
	50	1111	110	32	0	25	1	1
	100	541	123	32	0	25	1	1
	198	252	137	32	0	25	1	1
	296	149	141	32	0	25	1	1
	498	70	146	32	0	25	1	1
	702	40	151	32	0	25	1	1
	997	20	157	32	0	25	1	1



Şekil 3.61 Kaolinit, nişasta ve silikon yağı AK 1 000 000 ile 50:20:30 (g:g:g) oranında hazırlanan pastanın reolojik özellikleri üzerine L/D oranının etkisi a) kesme geriliminin kesme hızı ve b) kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi

3.4 Duvar Kayma Analizi

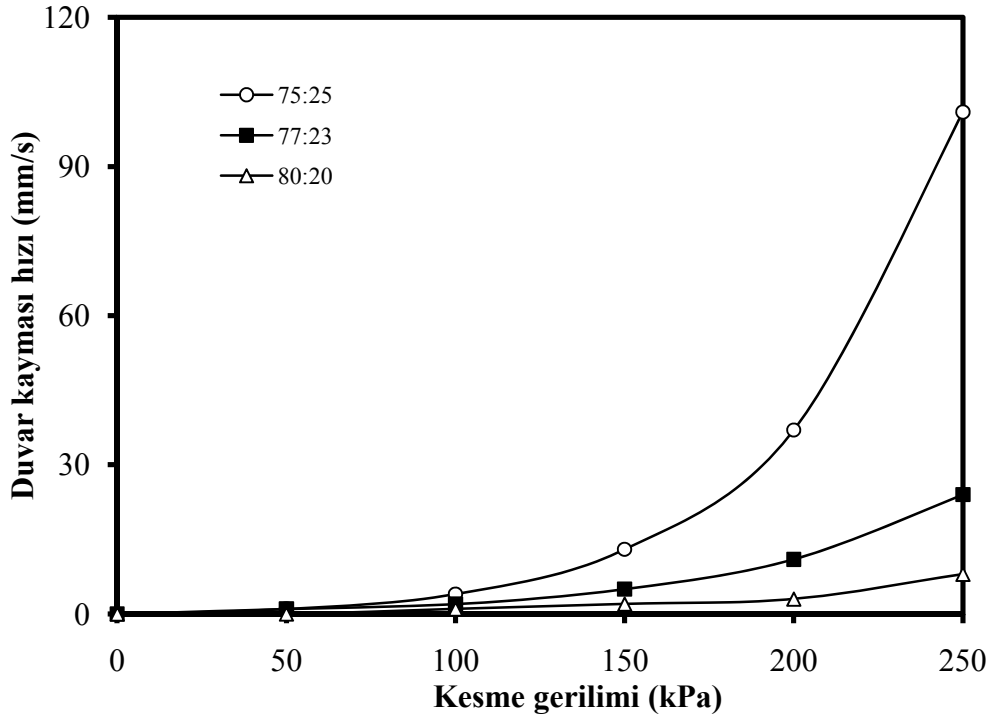
Kaolinit ve silikon yağı AK 60 000, silikon yağı AK 100 000, silikon yağı AK 500 000 ve silikon yağı AK 1 000 000'dan farklı şartlar altında hazırlanan pastaların duvar kayma analizi için ölçümler aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanalda gerçekleştirildi. Elde edilen deneysel verilerden duvar kayma hızı Mooney metodu kullanarak reometrenin software programı ile otomatik olarak hesaplandı. Farklı katı:sıvı oranlarında ve tane boyutlarında hazırlanan kaolinit-silikon yağı 60 000, kaolinit-silikon yağı 100 000, kaolinit-silikon yağı 500 000 ve kaolinit-silikon yağı 1 000 000 pastalarının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanan duvar kayma analizlerine ait veriler sırasıyla Çizelge 3.53-3.55, Çizelge 3.56-3.58, Çizelge 3.59-3.61 ve Çizelge 3.62-3.64'te verilerek Şekil 3.62-3.64, Şekil 3.65-3.67, Şekil 3.68-3.70 ve Şekil 3.71-3.73'te grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi bazı pasta örnekleri için duvar kayma hızının artan kesme gerilimi ile özellikle 200 kPa'nın üzerindeki kesme gerilimlerinde önemli hale geldiği görülmektedir. Bu sonuç, hazırlanan pastaların oldukça homojen ve yüksek basınçlı prosesler için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.53 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

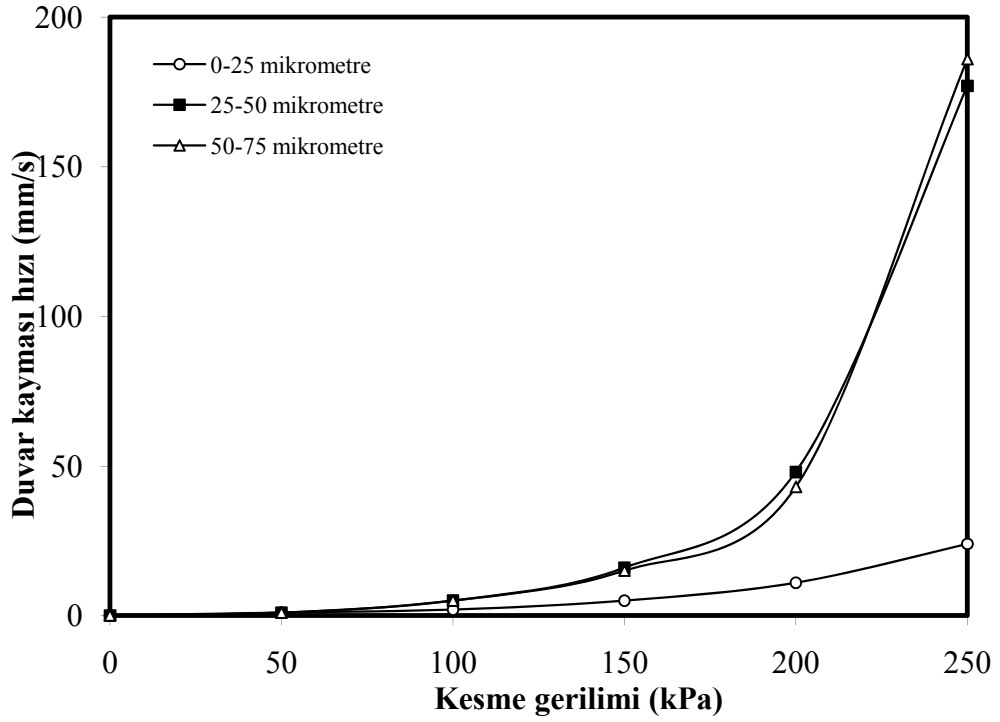
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			50	31	27	22	20	1
			100	139	115	91	78	4
			150	413	334	249	209	13
			200	1061	849	594	488	37
			250	2653	2141	1371	1115	101
0-25	25	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	25	21	14	12	1
			100	90	87	58	56	2
			150	225	225	153	153	5
			200	488	483	339	336	11
			250	1008	937	687	651	24
0-25	25	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	2	2	0	0	0
			100	11	15	1	3	1
			150	38	53	12	20	2
			200	109	144	56	73	3
			250	291	342	165	190	8

Çizelge 3.54 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	25	21	14	12	1
			100	90	87	58	56	2
			150	225	225	153	153	5
			200	488	483	339	336	11
			250	1008	937	687	651	24
25-50	25	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	37	28	24	20	1
			100	150	115	90	72	5
			150	435	327	239	185	16
			200	1173	851	584	423	48
			250	3708	2439	1542	907	177
50-75	25	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	50	41	34	30	1
			100	181	154	119	105	5
			150	487	398	307	262	15
			200	1258	906	750	574	43
			250	4217	2014	2163	1062	186



Şekil 3.62 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



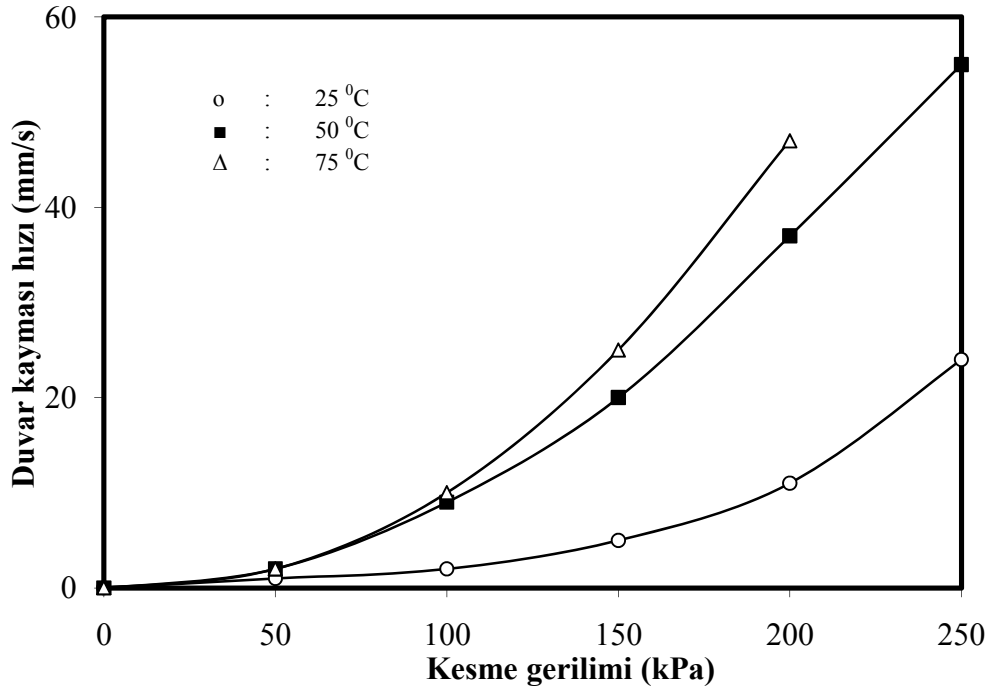
Şekil 3.63 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

Çizelge 3.55 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri

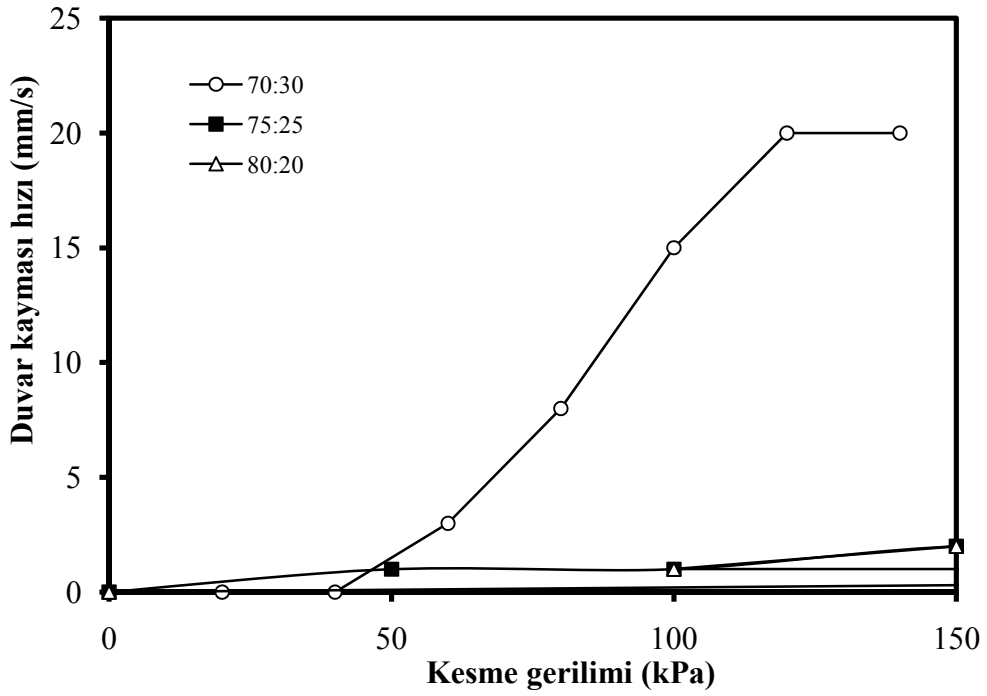
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	25	21	14	12	1
			100	90	87	58	56	2
			150	225	225	153	153	5
			200	488	483	339	336	11
			250	1008	937	687	651	24
0-25	50	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	48	22	38	17	2
			100	205	95	168	76	9
			150	514	256	413	205	20
			200	1028	572	794	455	37
			250	1810	1162	1329	921	55
0-25	75	77:23	0	0	0	0	0	0
			50	97	113	69	77	2
			100	413	394	279	270	10
			150	944	790	631	554	25
			200	1685	1274	1129	924	47

Çizelge 3.56 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	26	33	41	45	0
			40	89	85	91	89	0
			60	195	164	158	142	3
			80	348	282	249	216	8
			100	558	463	379	331	15
			120	831	751	571	531	20
			140	1178	1253	883	921	20
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			50	31	41	77	82	1
			100	132	137	183	185	1
			150	459	378	357	316	2
			200	3774	1453	689	471	2
0-25	25	80:20	0	0	0	0	0	0
			500	2	17	105	113	1
			100	16	37	174	184	1
			150	69	66	245	243	1
			200	215	108	324	270	2



Şekil 3.64 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



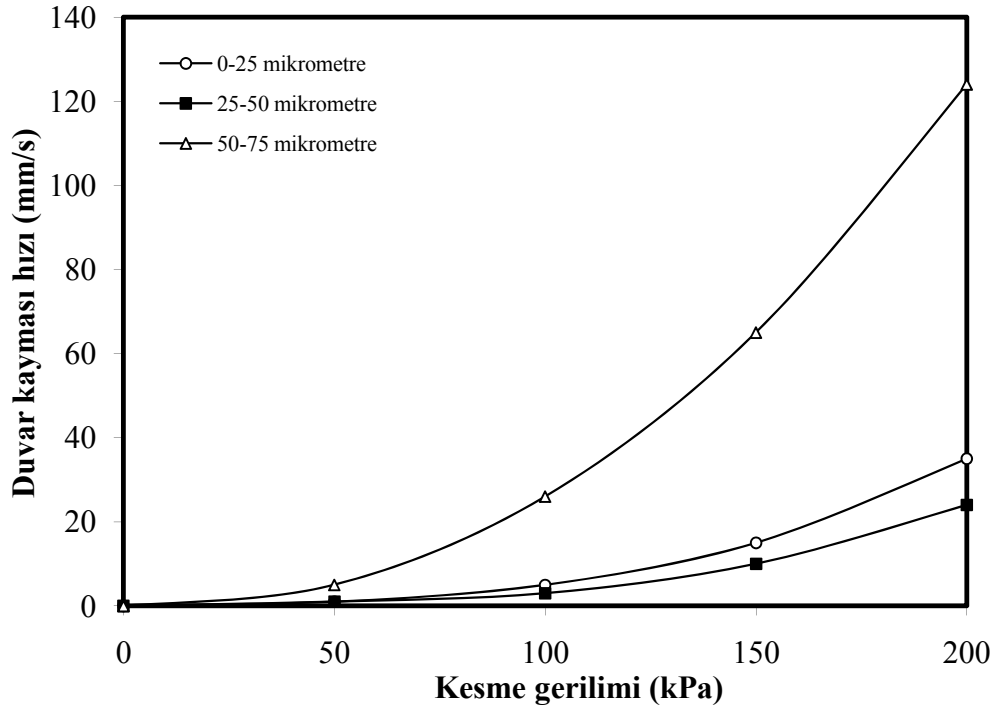
Şekil 3.65 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

Çizelge 3.57 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

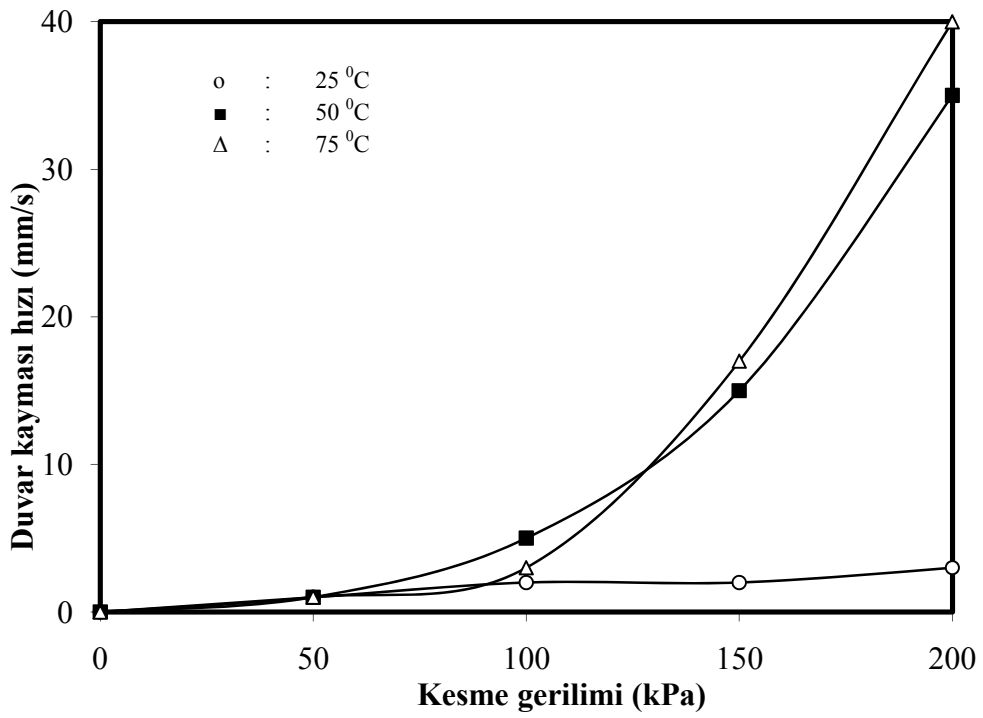
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	50	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	13	2	5	0	1
			100	63	16	8	15	5
			150	184	55	12	53	15
			200	436	139	16	133	35
25-50	50	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	21	25	14	16	1
			100	112	159	56	80	3
			150	329	460	155	220	10
			200	748	966	365	474	24
50-75	50	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	72	4	22	12	5
			100	356	3	87	90	26
			150	906	2	222	230	65
			200	1760	2	472	408	124

Çizelge 3.58 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	80:20	0	0	0	0	0	0
			500	2	17	105	113	1
			100	16	37	174	184	2
			150	69	66	245	243	2
			200	215	108	324	270	3
0-25	50	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	13	2	5	0	1
			100	63	16	8	15	5
			150	184	55	12	53	15
			200	436	139	16	133	35
0-25	75	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	24	50	30	43	1
			100	148	200	87	113	3
			150	424	395	193	178	17
			200	887	617	392	257	40



Şekil 3.66 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



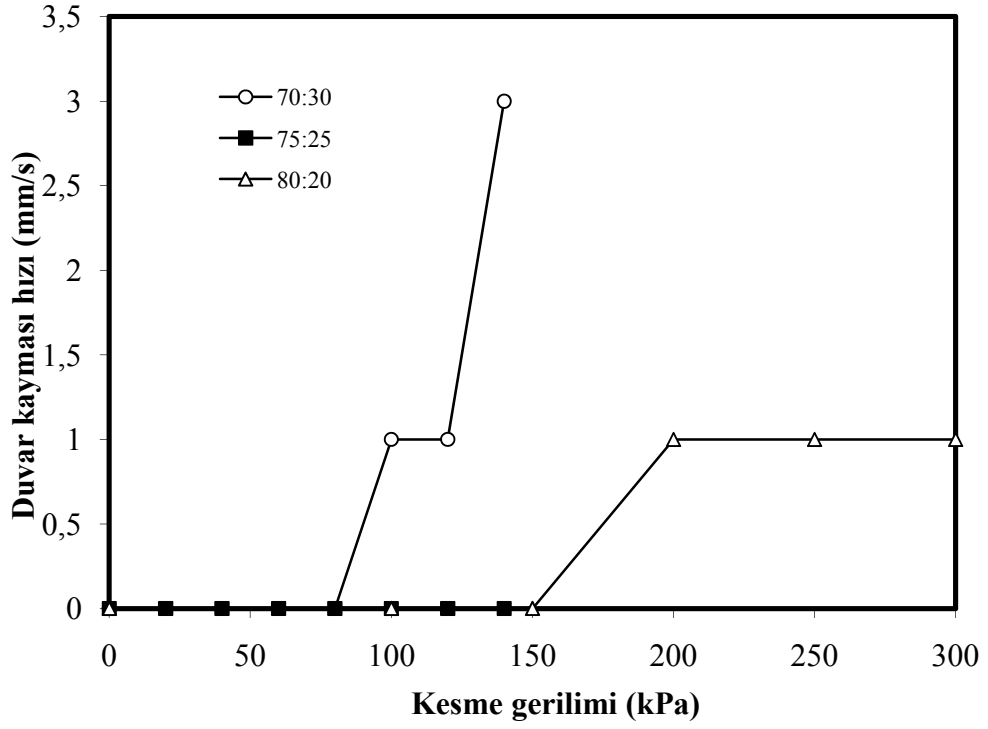
Şekil 3.67 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

Çizelge 3.59 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

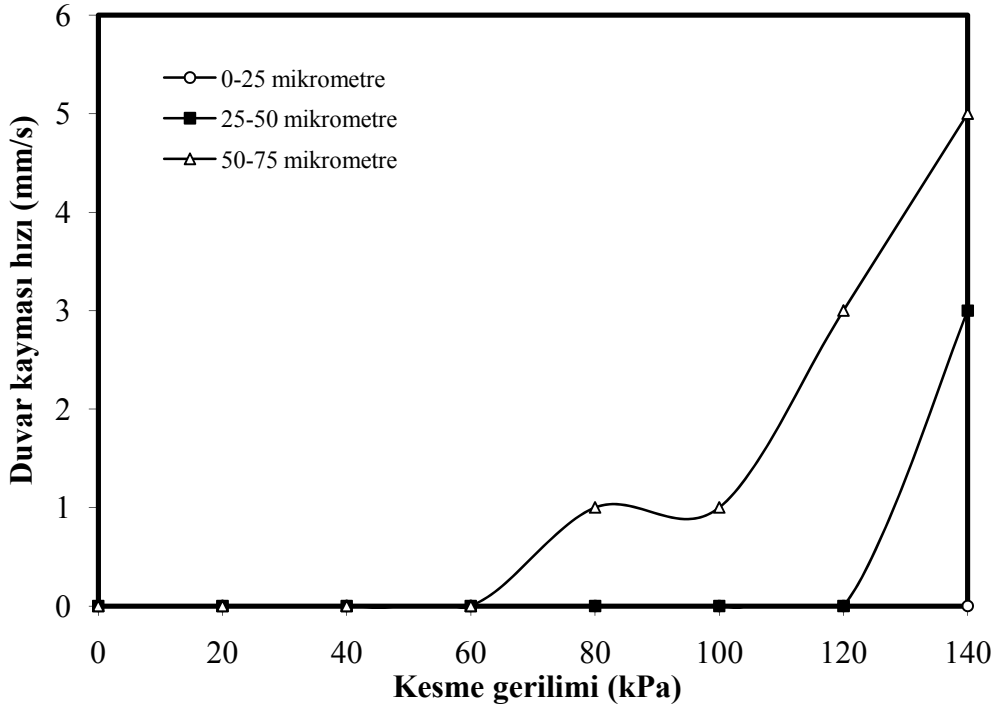
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	4	4	4	4	0
			40	12	12	12	12	0
			60	24	26	23	24	0
			80	45	51	41	44	0
			100	81	95	70	77	1
			120	147	182	120	138	1
			140	294	407	221	278	3
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	0	0	0	0	0
			40	3	2	1	1	0
			60	8	7	4	3	0
			80	15	17	10	10	0
			100	29	38	22	27	0
			120	54	83	49	63	0
			140	104	182	105	144	0
0-25	25	80:20	0	0	0	0	0	0
			100	3	3	0	0	0
			150	17	30	64	71	0
			200	76	162	238	281	1
			250	459	632	534	620	1
			300	-----	2006	955	1958	1

Çizelge 3.60 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	0	0	0	0	0
			40	3	2	1	1	0
			60	8	7	4	3	0
			80	15	17	10	10	0
			100	29	38	22	27	0
			120	54	83	49	63	0
			140	104	182	105	144	0
25-50	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	2	1	5	5	0
			40	6	5	13	12	0
			60	13	13	23	22	0
			80	26	27	37	37	0
			100	48	54	57	60	0
			120	90	104	87	94	0
			140	183	204	134	145	3
50-75	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	4	4	4	3	0
			40	12	12	10	10	0
			60	26	25	21	21	0
			80	48	48	39	39	1
			100	86	86	68	68	1
			120	153	155	117	119	3
			140	284	298	209	216	5



Şekil 3.68 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



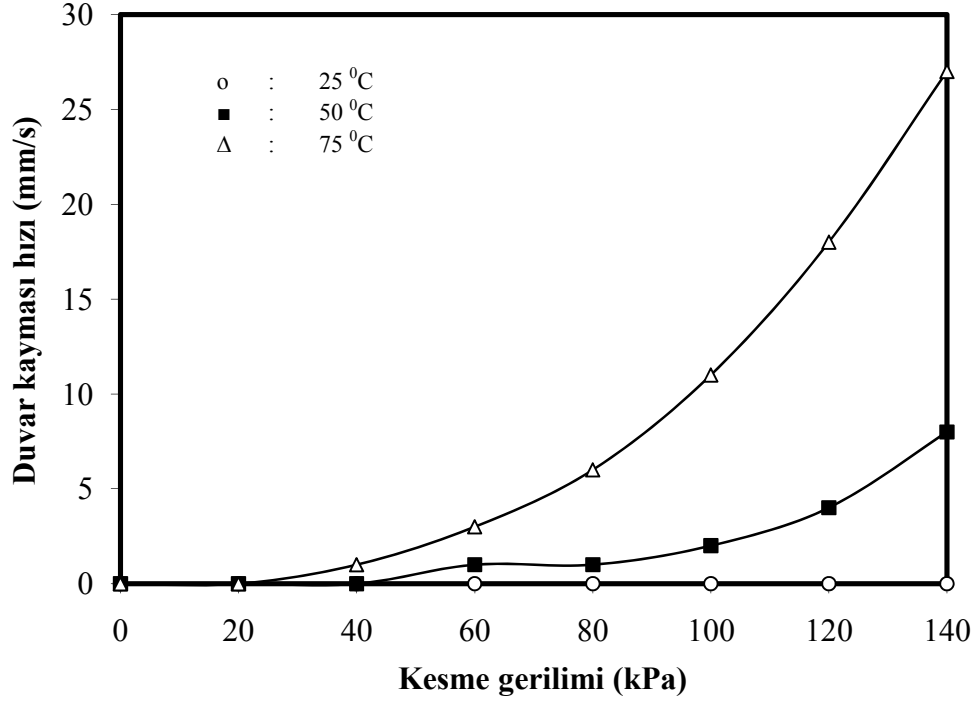
Şekil 3.69 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

Çizelge 3.61 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri

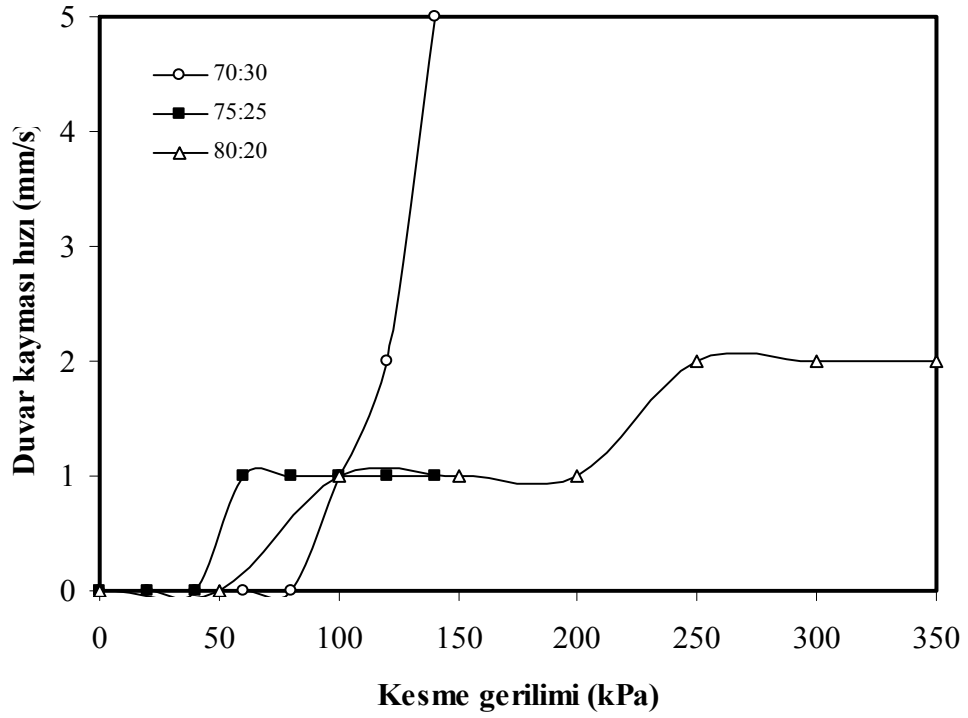
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	0	0	0	0	0
			40	3	2	1	1	0
			60	8	7	4	3	0
			80	15	17	10	10	0
			100	29	38	22	27	0
			120	54	83	49	63	0
			140	104	182	105	144	0
0-25	50	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	3	4	2	3	0
			40	11	11	7	8	0
			60	23	25	15	16	1
			80	44	46	28	29	1
			100	79	81	47	49	2
			120	138	139	79	80	4
			140	245	238	133	130	8
0-25	75	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	12	8	9	7	0
			40	43	29	29	22	1
			60	101	67	65	48	3
			80	195	129	122	89	6
			100	336	225	207	151	11
			120	537	366	330	245	18
			140	816	572	504	382	27

Çizelge 3.62 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	5	5	6	7	0
			40	15	15	18	18	0
			60	34	34	36	36	0
			80	68	65	67	66	0
			100	128	122	120	118	1
			120	246	233	220	214	2
			140	522	507	457	450	5
0-25	25	75:25	0	0	0	0	0	0
			20	4	1	1	0	0
			40	8	3	3	1	0
			60	14	7	7	4	1
			80	23	13	14	9	1
			100	36	24	27	21	1
			120	56	42	50	43	1
			140	93	80	95	89	0
0-25	25	80:20	0	0	0	0	0	0
			50	1	1	3	1	0
			100	2	3	9	9	1
			150	9	9	19	19	1
			200	39	25	37	30	1
			250	341	59	71	70	2
			300	0	128	146	210	2
			350	0	263	0	131	2



Şekil 3.70 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



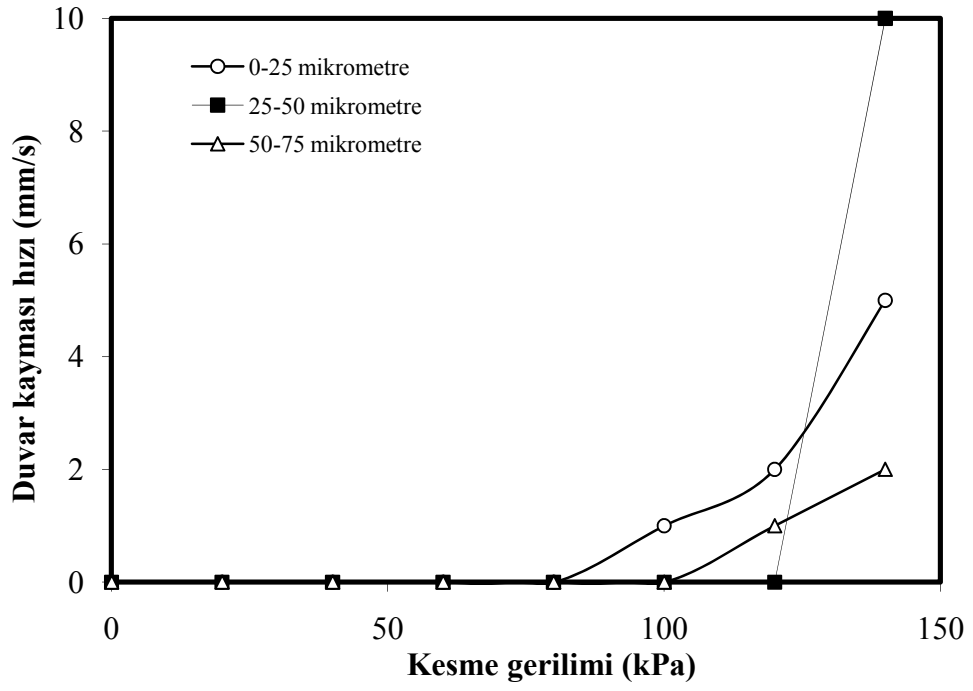
Şekil 3.71 Farklı katı:sıvı oranlı kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

Çizelge 3.63 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının duvar kayma analizi için hesaplanmış reolojik verileri

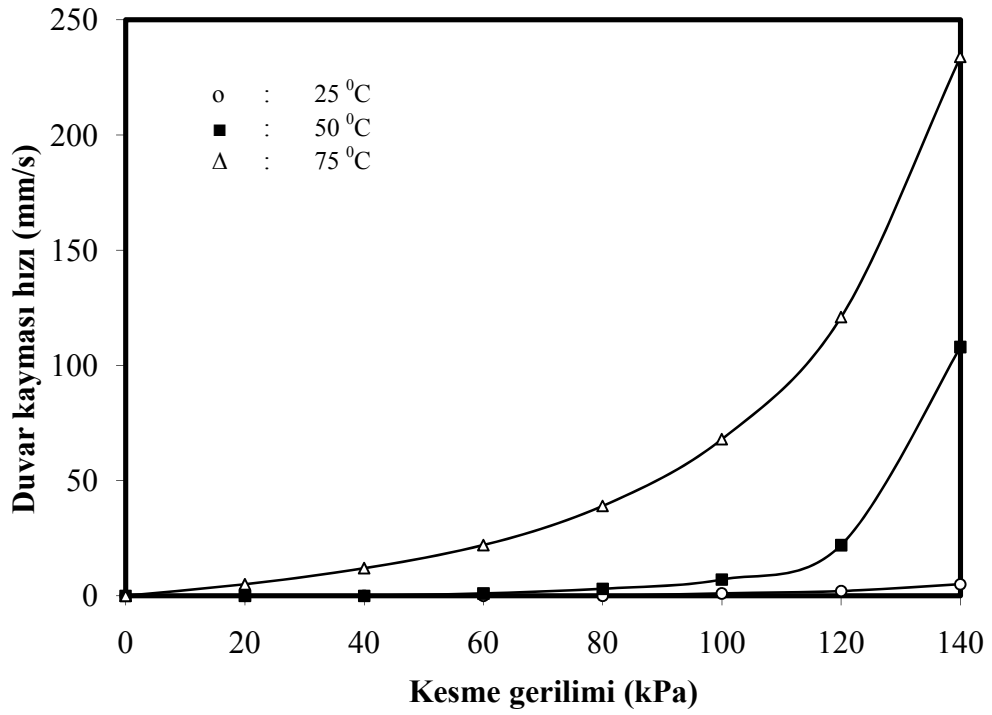
Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (µm)	T (°C)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	5	5	6	7	0
			40	15	15	18	18	0
			60	34	34	36	36	0
			80	68	65	67	66	0
			100	128	122	120	118	1
			120	246	233	220	214	2
			140	522	507	457	450	5
25-50	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	4	6	2	3	0
			40	11	15	8	10	0
			60	23	31	17	21	0
			80	43	57	35	42	0
			100	79	104	68	81	0
			120	152	218	139	171	0
			140	387	0	348	155	10
50-75	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	7	2	2	1	0
			40	9	6	5	4	0
			60	10	13	12	13	0
			80	12	26	23	30	0
			100	13	48	43	61	0
			120	15	93	84	123	1
			140	16	223	181	284	2

Çizelge 3.64 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı sıcaklıklarda ölçülen reolojik verilerinden hesaplanmış duvar kayma analizi verileri

Parametreler			Kesme gerilimi (kPa)	Uygun (apparent) kesme hızı (1/s)			Gerçek (true) kesme hızı (1/s)	Duvar kayma hızı (mm/s)
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)		Kapiler çapı D= 0,5 mm	Kapiler çapı D= 1 mm	Kapiler çapı D= 2 mm		
0-25	25	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	5	5	6	7	0
			40	15	15	18	18	0
			60	34	34	36	36	0
			80	68	65	67	66	0
			100	128	122	120	118	1
			120	246	233	220	214	2
			140	522	507	457	450	5
0-25	50	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	9	8	8	8	0
			40	28	27	25	24	0
			60	67	63	56	54	1
			80	140	127	108	102	3
			100	285	239	197	175	7
			120	616	441	355	267	22
			140	1906	826	660	120	108
0-25	75	70:30	0	0	0	0	0	0
			20	66	23	14	4	5
			40	185	78	49	8	12
			60	378	177	116	15	22
			80	690	334	227	49	39
			100	1199	570	405	91	68
			120	2077	911	682	99	121
			140	3789	1396	1108	99	234



Şekil 3.72 Farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi



Şekil 3.73 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için farklı sıcaklıklardaki duvar kayma hızının kesme gerilimi ile değişimi

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

4.1 Karakterizasyon

Hazırlanan pastaların XRD, DTA/TG ve SEM analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmaktadır.

4.1.1 XRD Analizi

XRD, killerin kristalizasyon derecesi hakkında ve bazı durumlarda organik birleşmeler hakkında önemli bilgiler verir. Bunun yanı sıra tabakalı killerdeki silikat tabakalarının periyodik düzenlenmesinden dolayı tabakalar arası uzaklıkları belirlemek için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kompozit malzeme durumunda kilin tabakalı yapısının bozulması veya tabakalar arası uzaklığın artması ile ilgili bilgiler de XRD ölçümlerinden elde edilir [12]. Silikon yağı matrisinde kaolinit taneciklerinin dispersiyonu ve tabakalı yapıya sahip olan kaolinitin yapısında meydana gelen değişimler XRD spektrumları kullanılarak incelendi. Genelde tüm pastaların XRD spektrumlarındaki piklerin şiddetlerindeki ve yerlerindeki değişimler Çizelge 3.1-3.4'te verilmektedir. Bu veriler, kaolinit ve silikon yağı arasında bazı etkileşimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Kaolinit, silikon yağı ve kaolinit-silikon yağı (AK 60 000, AK 100 000, AK 500 000 ve AK 1 000 000) pastalarının XRD spektrumları sırasıyla Şekil 3.1-3.4'te verilmektedir. Kaolinit örnekleri, $2\theta=12^\circ$ civarında 001 düzlemine ait pike ($d=7.20 \text{ \AA}$) ve $2\theta=24.9^\circ$ 'de 002 düzlemine ait pike ($d=3.58 \text{ \AA}$) sahiptir. Çalışmada kullandığımız kaolinitin bu piklere sahip olduğu XRD desenlerinden görülmektedir. Genelde difraksiyon piklerinin şiddeti dolgu maddelerinin hacimsel kesri ile ilgilidir. Dolgu maddelerinin hacimsel kesri ne kadar düşük ise difraksiyon piklerinin şiddeti de o kadar düşüktür. Pastaların XRD spektrumları, kaolinitin spektrumu ile karşılaştırıldığında bazı piklerin şiddetlerinde ve yerlerinde değişimlerin meydana geldiği görülmektedir. Özellikle Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için

kaolinitin keskin piki pasta durumunda gözlenmemektedir. Bu durum, silikon yağı zincirlerinin kaolinitin tabakaları arasına girerek kaolinitin tabakalı yapısının bozulmasından dolayı olabilir. Genelde düşük 2θ açılarında herhangi keskin bir XRD pikinin gözlenmemesi düzenli tabakalı yapının bozulduğu anlamına gelir. Böylece kaolinitin inorganik tabakalarının polimer matrisi içinde disperse olduğu söylenebilir. Yine kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için kaolinitin 2θ açısındaki bazı piklerin yer ve şiddetinde hafif değişimlerin meydana geldiği Çizelge 3.3 ve Şekil 3.3'te görülmektedir. Diğer silikon yağı pastalarının XRD spektrumlarında ise önemli değişimlerin meydana gelmediği söylenebilir. Bu, kaolinit ile silikon yağları AK 100 000 ve 60 000 arasında herhangi bir etkileşimin olmadığı veya kaolinitin tabakalı yapısının bozulmadığı anlamına gelmez. Çünkü bu pastalarda silikon yağlarının düşük viskozitelerinden dolayı iyi akış özellikleri elde etmek için oldukça yüksek miktarlarda kaolinit kullanılmıştır. Yüksek miktardaki kaolinitin tüm tabakalarının bozulması mümkün olmayabilir. Bu nedenle pasta durumunda bozunmayan kaolinit tabakalarının sistemde mevcut olmasından dolayı bu piklerin gözlendiği söylenebilir.

4.1.2 DTA/TG Analizi

Simultane DTA/TG sistemi kullanılarak kütle kaybı ve faz geçişleri ile ilgili pikler arasındaki farklar görülebilir. DTA, kil minerallerinin termal reaksiyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu reaksiyonlar adsorplanmış suyun dehidratasyonunu, kilin bir meta faza dönüşümünü izleyen dehidroksilasyonunu, meta fazın bir kristal faza tekrar kristallenmesini içerir. DTA sıcaklık piki, her bir mineral için karakteristiktir ve birçok kilin tanımlanmasında ve belirlenmesinde önemli bir rol üstlenir. Doğal kaolinit örneğinin ve kaolinit-silikon yağı pastalarının DTA termogramları inert gaz ortamında (azot atmosferinde) dakikada $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık artışı ile $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında kaydedildi. Elde edilen DTA termogramlarının diferansiyelleri de alınarak grafikleri çizildi. Bu termogramlar Şekil 3.5a-3.8a'da verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi pasta oluşumu ile kaolinitin DTA termogramlarında önemli değişimler meydana gelmektedir. Kaolinitin DTA termogramında görülen $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki endotermik pik, yapıda dehidroksilasyonun gerçekleştiğini ve metakaolin adı verilen reaktivitesi yüksek bir

fazın oluştuğunu gösterir. 1000 °C’de görülen ekzotermik pik ise metakaolin yapısının bozulup Al₂O₃ (spinel) ve SiO₂ (amorfl silika) olmak üzere iki ayrı fazın oluşumuna karşılık gelir [12, 64-66]. Kaolinit-silikon yağı pastalarının DTA termogramları incelendiğinde yeni bir endotermik pikin varlığından söz edilebilir. 220 °C civarındaki bu pik silikon yağının termal parçalanma reaksiyonundan dolayıdır [67].

Kaolinit ve kaolinit-silikon yağı pastaları için sıcaklıkla yüzde kütle kaybının ve sıcaklıkla diferansiyel kütle kaybının değişimi Şekil 3.5b-3.8b’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi kaolinitin dehidroksilasyonu (600 °C’ye kadar) yaklaşık %11.34’lük bir kütle kaybı ile sonuçlanmaktadır. Bu kayıp yapıda absorplanmış olan suyun uzaklaşmasından ve dehidroksilasyonundan kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan kaolinit-silikon yağı AK 60 000, 100 000, 500 000 ve 1 000 000 pastalarının TG termogramu incelendiğinde kütle kaybının kaolinitin kütle kaybından daha fazla olduğu görülmektedir. Kaolinit-silikon yağı AK 60 000, 100 000, 500 000 ve 1 000 000 pastalarının toplam kütle kayıplarının sırasıyla %27,75; 23,50; 25,70 ve 35.00 olduğu bulundu. Daha fazla kütle kaybı olmasının nedeni DTA termogramlarından da görüldüğü gibi silikon yağlarının yaklaşık 220 °C civarındaki termal parçalanmasının sonucu olabilir.

4.1.3 SEM Fotoğrafları

Kaolinit ve kaolinit-silikon yağları (AK 60 000, AK 100 000, AK 500 000 ve AK 1 000 000) pastalarının farklı büyütme oranlarındaki SEM fotoğrafları sırasıyla Şekil 3.9-3.13’te verildi. Pastaların SEM fotoğrafları kaolinit taneciklerinin silikon yağı matrisi içerisinde disperse olduğunu ve hemen hemen tüm kaolinit taneciklerinin yüzeyinin silikon yağları tarafından kaplandığını göstermektedir.

4.2 Pastaların Reolojik Karakterizasyonu

4.2.1 Pastaların Akış Davranışı

Çalışmada hazırlanan pastaların reolojik özelliklerini karakterize etmek için kesme gerilimi ve kesme viskozitesi değerleri kesme hızına karşı Bölüm 3’te grafiğe

geçirilmişti. Elde edilen bu eğrilerin şekilleri pastaların Newtonian ya da non-Newtonian olarak sınıflandırılmasında büyük bir önem arz etmektedir. Newtonian akışkanlar, sıfır kesim noktasından başlamak üzere kesme hızı ile kesme gerilimi arasında doğrusal bir ilişki gösterirler. Bu davranışı sergilemeyen tüm akışkanlar non-Newtonian akışkan olarak isimlendirilirler [14]. Bölüm 3'te verilen şekillerden görüldüğü gibi kesme hızına karşı kesme gerilimi akış eğrileri doğrusal bir ilişki sergilememektedir. Bu durumda kaolinit-silikon yağı pastalarının non-Newtonian akış davranış sergiledikleri söylenebilir. Yine Bölüm 3'teki grafiklerden de görüldüğü gibi non-Newtonian bir akışkan, uygulanan kesme hızı ile viskozitede değişme gösteren bir akışkandır. Şekillerden görüleceği gibi pastaların kesme viskozitesi, artan kesme hızıyla azalmaktadır. Bu sonuçlar çalışılan kesme hızı aralığında tüm pastaların non-Newtonian ve pseudoplastik akış davranış gösterdiğini de doğrulamaktadır [68]. Kesme incelmesi gösteren akışkanlarda sabit kesme hızında zamanla viskozitede bir azalma gözlenir. Kesme incelmesi gösteren materyalin viskozitesi, kesme hızının ya da kesme geriliminin derecesine bağlıdır. Kesme incelmesi ve pseudoplastik terimleri benzer terimlerdir. Pseudoplastik bir malzemede artan kesme hızıyla birlikte viskozite azalır (aynı olay kesme incelmesi olarak da adlandırılır). Pseudoplastik ya da kesme incelmesi akışkanları, yüksek kesme hızlarında daha düşük viskoziteye sahiptirler [69].

4.2.2 Pastaların Akışını Etkileyen Parametreler

Reoloji, süspansiyonların morfolojisini karakterize etmede çok kullanılır. Tane boyutu, konsantrasyon, sıcaklık, hız ve tanecik-tanecik etkileşimleri akışkanların reolojik özelliklerini etkileyen en önemli parametreler arasındadır. Bu çalışmada kaolinit-silikon yağı pastalarının reolojik özellikleri üzerine katı:sıvı oranı, tane boyutu, sıcaklık, kapiler kanal boyutlarının ve katkı maddesinin etkileri incelendi. Elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmaktadır.

4.2.2.1 Katı:Sıvı Oranının Etkisi

Dolgu maddesinin yapısındaki fonksiyonel gruplar akışkan fazla veya matrisle farklı şekillerde etkileşime maruz kaldığından ve matris içerisindeki dolgu

maddesinin oranı da akışkanın akış özelliklerini azalttığından dolgu maddesinin türü ve miktarı reolojik çalışmalarda büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada farklı viskoziteli silikon yağları ile kaolinit örneklerinden meydana gelen farklı katı:sıvı oranlarında pastalar hazırlandı. Elde edilen pastaların reolojik özellikleri aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak incelendi ve elde edilen deneysel sonuçlar kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastası için Şekil 3.14-3.16a ve b'de; kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastası için Şekil 3.24-3.26a ve b'de; kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için Şekil 3.34-3.36a ve b'de; ve kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için Şekil 3.44-3.46a ve b'de verildi. Farklı silikon yağlı ve katı içerikli pastaların akış eğrilerine bakıldığında artan katı:sıvı oranı ile pastaların hem kesme gerilimlerinin hem de kesme viskozitelerinin arttığı görülmektedir. Kesme viskozitesi-kesme hızı grafiklerinden görüleceği gibi düşük kesme hızlarında viskozitede keskin bir azalma söz konusu iken daha yüksek kesme hızlarında eğrinin şeklinde bir düzleşme meydana gelmektedir. Buna göre tüm pastaların kesme incelmesi davranışı sergilediği söylenebilir. Eğrilerin genel şekli kritik kesme gerilimli iç bükey eğrilerdir. Her bir kesme hızında pasta konsantrasyonunun artmasıyla viskozitede bir artış eğilimi görülmektedir. Bu, kaolinit konsantrasyonunun artışının katı tanecik fazının hacimsel kesrinde bir artışın ve etkin akış fazının hacimsel kesrinde bir azalmanın olduğunu belirtmektedir [70].

4.2.2.2 Tane Boyutunun Etkisi

Bir süspansiyonun reolojisini tane boyutu, tane boyutu dağılımı ve mevcut katıların hacimsel kesri dahil olmak üzere bir çok faktör etkiler. Burada tane boyutu ile reolojik davranış arasındaki ilişki incelenmiştir. Tane boyutu ve viskozite, pasta ve benzeri ürünlerin fiziksel kalitesinde önemli bir rol oynamaktadır [12, 71]. Kaolinit-silikon yağı pastalarının reolojisinde tane boyutunun oynadığı rolü anlamak için, katı tanecikler 0-25 µm, 25-50 µm ve 50-75 µm olmak üzere 3 ana gruba ayrıldı. Reolojik testlerde her bir grup için en iyi akış özelliğinin elde edildiği katı:sıvı oranı için farklı tane boyutlu kaolinit-silikon yağı pastaları hazırlandı. Şekil 3.17-3.19a ve b, Şekil 3.27-3.29a ve b, Şekil 3.37-3.39a ve b ve Şekil 3.47-3.49a ve b sırasıyla farklı tane boyutlarında hazırlanan kaolinit-silikon yağı AK 60 000, kaolinit-silikon yağı AK 100 000, kaolinit-silikon yağı AK 500 000 ve kaolinit-

silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için kesme gerilimi ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimini göstermektedir. Katı fazın tane boyutunu düşürürken süspansiyondaki taneciklerin kütesini sabit tutmak sistemdeki tanecik sayısında bir artışa yol açar. Genelde daha küçük taneciklerin sayısının fazla olması tanecik-tanecik etkileşimlerinin ve akışa direncin artmasıyla sonuçlanır. Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası hariç diğer pastalar için şekillerden görüldüğü gibi tane boyutunun azalması ile kesme hızına bağlı olarak kesme geriliminin ve kesme viskozitesinin arttığı görülmektedir. Ancak bu etki düşük kesme hızlarında daha belirgin iken yüksek kesme hızlarında daha az belirgin olmaktadır. Yine yüksek kesme hızlarında tanecik-tanecik etkileşimlerinin düşük kesme hızlarına oranla daha zayıf ve bozulmuş durumda oldukları da söylenebilir. Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası durumunda ise tane boyutunun azalması ile kesme hızına bağlı olarak pastanın kesme gerilimi ve kesme viskozitesinde önemli bir değişme meydana gelmemektedir. Bu sonuç artan tane boyutu ile tanecikler arasındaki ve taneciklerle silikon yağı AK 1 000 000 arasındaki etkileşimlerin yeterince kuvvetli olmadığını göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi hem kesme geriliminin hem de kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimi doğrusal bir ilişki sergilememektedir. Bu sonuç pastanın non-Newtonian davranışının dolgu maddesinin tane boyutuna bağlı olmadığını göstermektedir. Non-Newtonian akışkanların akış eğrileri ya orijinden başlar ya da sıfır kesme hızında malzemenin kapiler kanaldan akması için kritik bir kesme gerilimi gerektirir. Kesme gerilimi-kesme hızı eğrilerinin genel şekline bakıldığında pastaların kapiler kanaldan akması için kritik bir kesme gerilimine ihtiyaç olduğu söylenebilir. Bu durumda malzemenin viskoplastik özelliklere sahip olduğu ifade edilebilir. Yine kesme gerilimi ve kesme viskozitesi eğrisinin şeklinin iç bükey veya dış bükey olmasına bağlı olarak pastanın davranışı kesme incilmesi ve kalınlaşması olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Kesme incilmesi davranışı sergileyen malzemelerde artan kesme hızı ile kesme gerilimi artarken kesme viskozitesi azalmaktadır. Eğrilerin genel şeklinden pastaların tümünün kesme incilmesi davranışı sergiledikleri söylenebilir. Bu davranış şekline bağlı olarak pastaların kapiler kanal içerisindeki akışı sırasında polimer zincirleri akış yönünde yönlenirler. Yine kesme uygulanması sonucu materyalin yapısında bir bozulma meydana gelir ve böylece malzeme kapiler kanal içerisinde daha kolayca akar.

Çoğu akışkanlar ve yarı-akışkanlar bu gruba girer. Yapısı bakımından tüm pastalar kesme incilmesi davranışı göstermiştir ve pseudo-plastiktirler.

4.2.2.3 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın malzemelerin akış özellikleri üzerindeki etkisi genelde hem kesme gerilimini hem de kesme viskozitesini azaltıcı yönde olmaktadır. Pastaların reolojik özelliklerinin sıcaklığa bağlı olup olmadığını veya eğer bağlı ise sıcaklıkla nasıl değiştiğini belirlemek için hazırlanan pastaların akış özellikleri 25, 50 ve 75 °C’de incelendi. Pastaların akış özelliklerinin katı:sıvı oranı ve tane boyutu ile değişim gösterdiği daha önce belirtildiği için sıcaklığın etkisi en iyi akış özelliğinin elde edildiği katı:sıvı oranlı ve tane boyutlu pastalar kullanılarak incelendi. 77:23 (g:g) katı:sıvı oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında kaolinit örnekleri kullanarak hazırlanan kaolinit-silikon yağı AK 60 000; 80:20 (g:g) katı:sıvı oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında kaolinit örnekleri kullanarak hazırlanan kaolinit-silikon yağı AK 100 000; 75:25 (g:g) katı:sıvı oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında kaolinit örnekleri kullanarak hazırlanan kaolinit-silikon yağı AK 500 000; ve 70:30 (g:g) katı:sıvı oranında ve 0-25 µm tane boyutu aralığında kaolinit örnekleri kullanarak hazırlanan kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının kesme hızlarına bağlı olarak kesme gerilimi ve viskoziteleri üzerine sıcaklığın etkileri sırasıyla Şekil 3.20-3.22a ve b; Şekil 3.30-3.32a ve b; Şekil 3.40-3.42a ve b; ve Şekil 3.50-3.52a ve b’de gösterildi. Şekillerden görüldüğü gibi, artan sıcaklıkla hem kesme gerilimi hem de kesme viskozitesi azalmaktadır. Akışkan akışına karşı bir direnç olarak tanımlanan bir akışkanın viskozitesi çözeltiyi veya malzemeyi oluşturan moleküller arası bağlanmalardan ve sıcaklıktan etkilenir. Bu etkilenmelerin derecesi konsantrasyona (veya katı:sıvı oranına) ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Genelde tüm eğriler orta ve yüksek kesme hızlarında doğrusal, düşük kesme hızlarında ise doğrusal olmayan bir bölge içermek suretiyle kritik kesme gerilimli pseudoplastik türü bir davranış sergilemektedirler. Pastanın sıcaklığının yükseltilmesi için dışarıdan müdahale edilmesi moleküllerin kinetik enerjilerini artırır. Sıcaklıktaki artışla oluşan termal genişmeden dolayı, viskozitedeki azalma moleküllerin hızlı hareket etmek suretiyle etkileşimlerin azalmasına bağlanabilir [72]. Ayrıca artan sıcaklıkla kaolinit tanecikleri daha da yumuşar ve onların maruz

kaldığı gerilim, akış ve deformasyon için oldukça fazla olur. Bu olay genelde malzemenin tiksotropik davranışında bir artışın meydana gelmesi sonucunda ortaya çıkar. Malzemenin tiksotropik davranışı, artan sıcaklık ve kaolinit konsantrasyonu ile daha belirgin hale gelmektedir.

4.2.2.4 L/D Oranının Etkisi

En iyi akış özelliklerinin elde edildiği pastaların reolojik özelliklerinin L/D oranı ile değişimini incelemek için aynı çaplı fakat farklı uzunluklu iki kapiler kanal kullanıldı. Pastaların akış özellikleri üzerine tane boyutunun etkisinin incelendiği deneylerde en iyi akış özelliklerinin 0-25 µm tane boyutu aralığında ve yine sıcaklığın etkisinin incelendiği deneylerde ise kaolinit-silikon yağı 100 000 pastası hariç (50 °C) diğer tüm pastaların en iyi akış özelliklerinin 25 °C’de elde edildiği belirtilmişti. Bu nedenle 77:23, 80:20, 75:25 ve 70:30 (g:g) katı:sıvı oranlarında hazırlanan sırasıyla kaolinit-silikon yağı AK 60 000, kaolinit-silikon yağı AK 100 000, kaolinit-silikon yağı AK 500 000 ve kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının iki farklı kapiler kanalla ölçülen kesme gerilimi ve viskozitelerinin kesme hızı ile değişimleri Şekil 3.23, 3.33, 3.43 ve 3.53a ve b’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi L/D oranının artması ile kesme gerilimi hafif bir şekilde azalırken kesme viskozitesi değerlerinde önemli bir değişimin meydana gelmediği söylenebilir. Bu azalmanın artan kapiler uzunluğu ile Bagley düzeltmesi sırasındaki basınç kaybından dolayı olabileceği söylenebilir. Benzer sonuç Khan ve arkadaşları [10] tarafından seramik pastaların kapiler ekstrusiyonu için bulunmuştur.

4.2.2.5 Katkı Maddesinin Etkisi

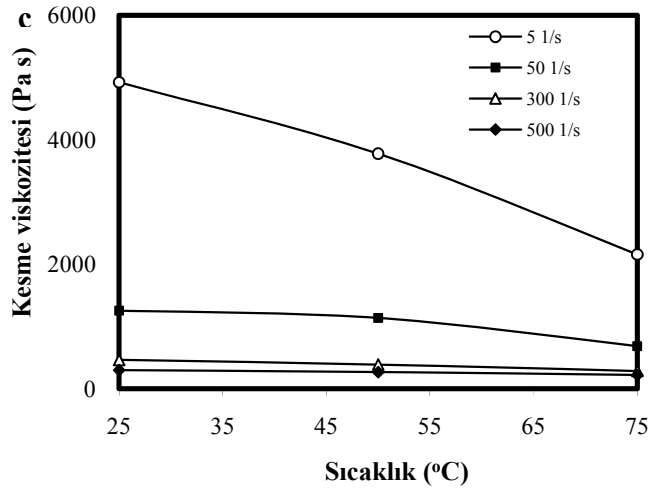
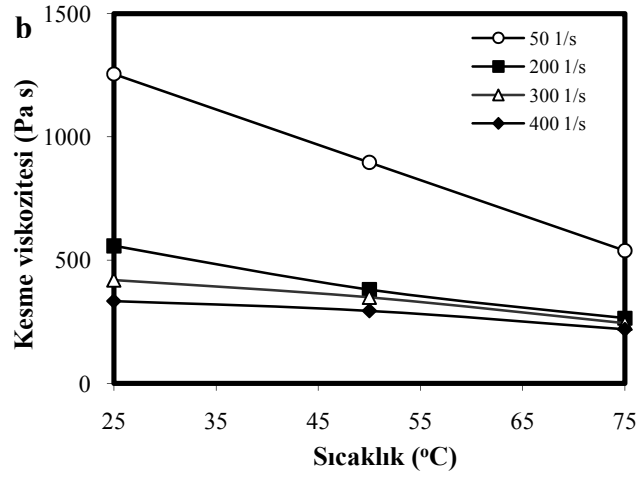
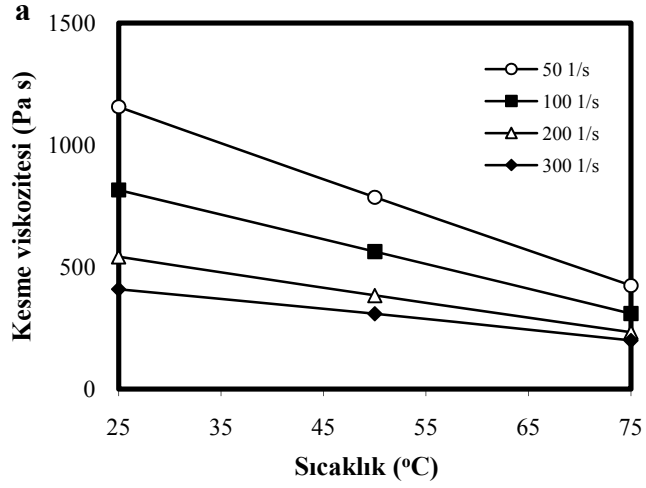
Pastaların reolojik özelliklerine katkı maddesinin etkisini incelemek amacıyla L/D=8 mm/1 mm; L/D=16 mm/1 mm L/D=32 mm/1 mm; L/D=32 mm/2 mm geometrisine sahip kapiler kanallar ile reolojik ölçümler yapıldı. Şekil 3.54-3.57a ve b’de çizilen grafikler, düşük kesme hızlarında katkı maddesi ilavesinin kesme gerilimini yükselttiğini göstermektedir. Buna karşılık kesme viskozitelerinde önemli bir değişikliğin olmadığı söylenebilir.

4.3 Aktivasyon Enerjisi

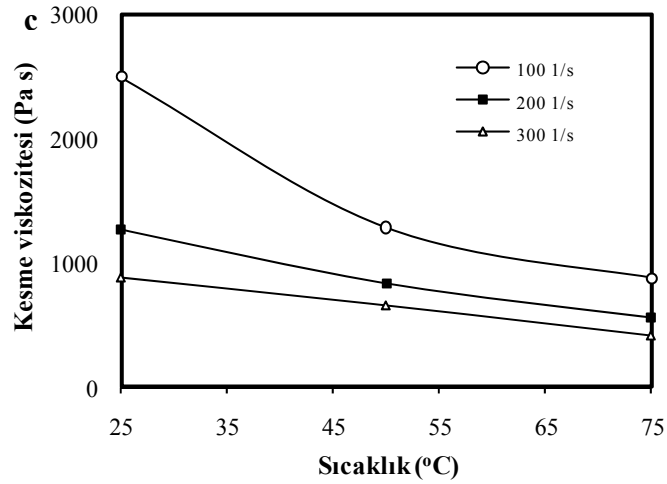
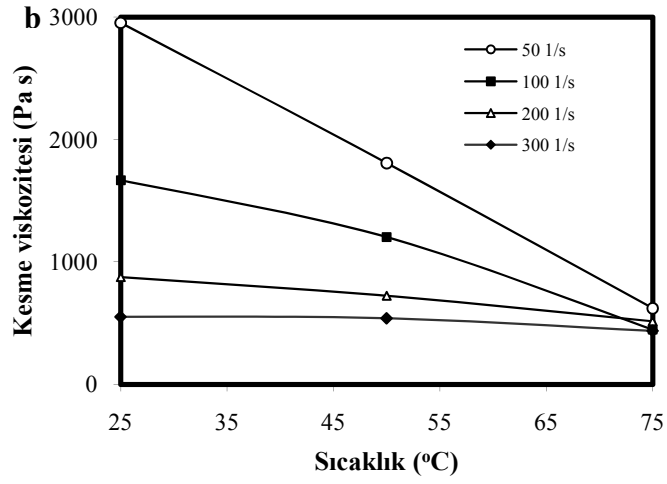
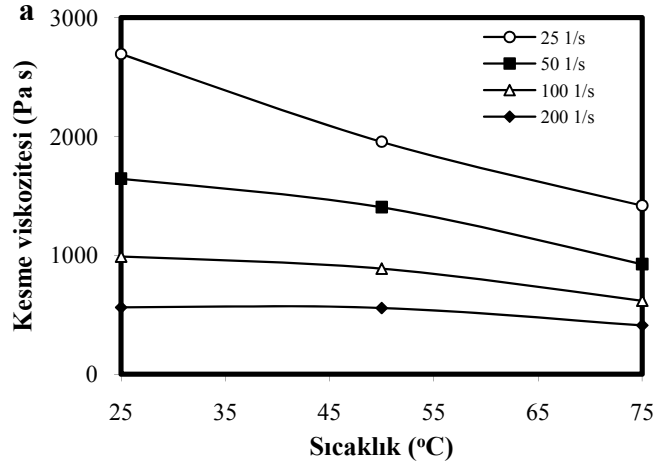
Sabit bir kesme hızında pastaların kesme viskozitesi üzerine sıcaklığın etkisi Arrhenius denklemi ile Bölüm 1’de eşitlik [1.35] ile verilmişti. Bu eşitlikte kesme viskozitesi sıcaklıkla üstel olarak azalmaktadır. [1.35] eşitliği logaritmik formda

$$\ln \eta_a = \ln \eta_{\infty A} + \frac{E_a}{RT} \quad [4.1]$$

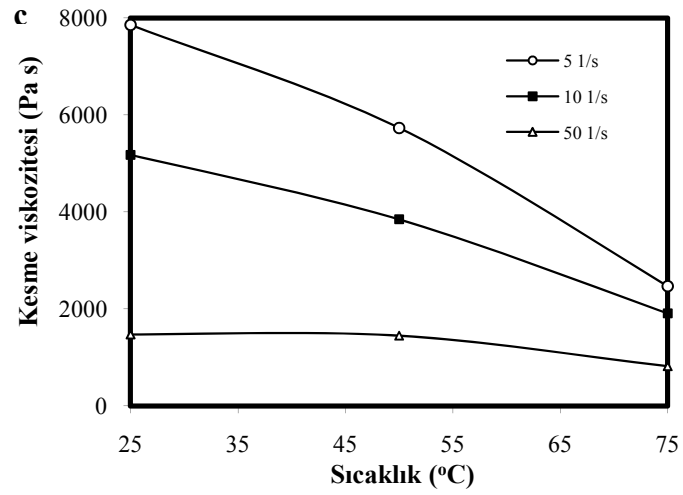
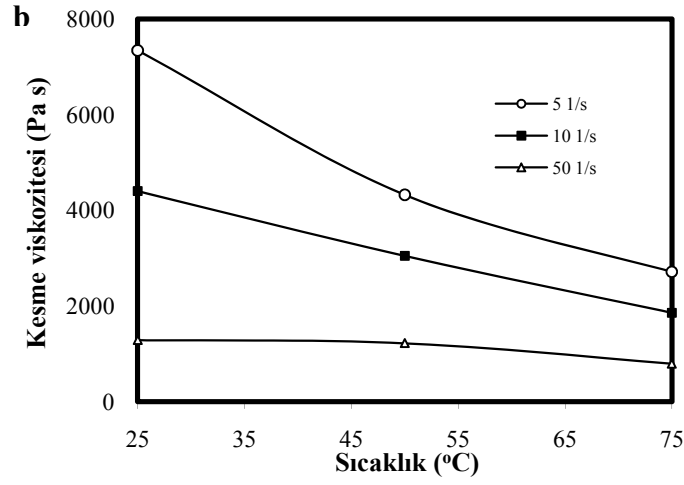
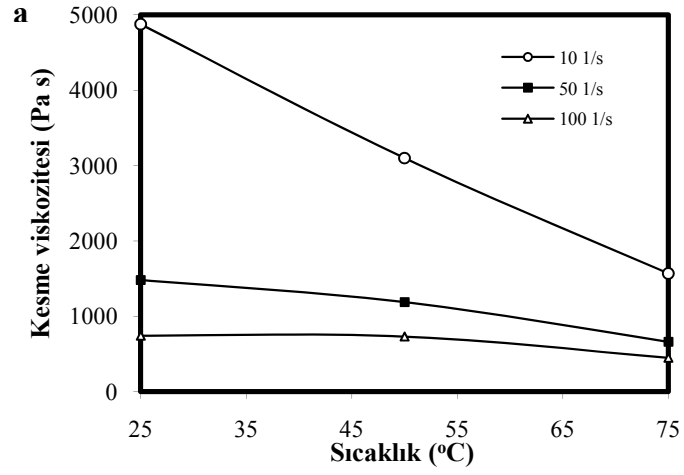
şeklinde yazılabilir. Burada η_a , viskozite (Pa s); $\eta_{\infty A}$, material sabiti (Pa s); E_a , akış aktivasyon enerjisi (J/mol); R, gaz sabiti (J/mol K); ve T, mutlak sıcaklıktır (K) [73-75]. En iyi akış özelliklerinin elde edildiği kaolinit-silikon yağları (AK 60 000, AK 100 000, AK 500 000 ve AK 1 000 000) pastaları kullanarak farklı sabit kesme hızlarında sıcaklıkla kesme viskozitesinin değişimini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 4.1-4.4’te verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi hem artan sıcaklıkla hem de artan kesme hızı ile pastaların kesme viskoziteleri azalmaktadır. Viskozite ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi gösteren Arrhenius denklemi kullanılarak akış prosesine ait aktivasyon enerjisi hesaplanabilir. Kaolinit-silikon yağları (AK 60 000, AK 100 000, AK 500 000 ve AK 1 000 000) pastaları için eşitlik [4.1]’e göre farklı kesme hızlarında çizilmiş $\ln(\eta_a)$ ’nın $1/T$ ’ye karşı eğrileri sırasıyla Şekil 4.5-4.8’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi $\ln(\eta_a)$ ile $1/T$ arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu söylenebilir. En küçük kareler metodu kullanarak bu doğruların eğimlerinden hesaplanmış aktivasyon enerjisi değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi artan kesme hızı ile akış aktivasyon enerjisi değerlerinde önemli oranlarda azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Aktivasyon enerjisindeki bu azalma artan kesme hızı ile moleküller arası etkileşimlerin azalmasından dolayı olabilir. Steffe [14] yüksek aktivasyon enerjili bir sistemde sıcaklığın artmasının viskozite üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ve artan sıcaklık ile viskozitenin hızlı bir şekilde azaldığını belirtti. Aktivasyon enerjisi molekülün hareket etmesi için gereklidir, ve sıcaklık artarken akışkan daha yüksek aktivasyon enerjisinden dolayı daha kolay bir şekilde akar [76, 77]. Yine Rha [77] artan kesme hızıyla viskozitedeki azalmanın mevcut moleküllerin düzenlenmesinin artmasıyla ilgili olduğunu belirtmiştir.



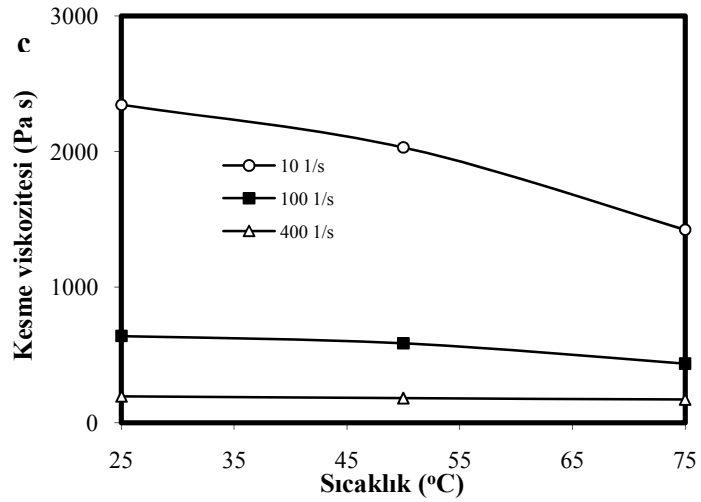
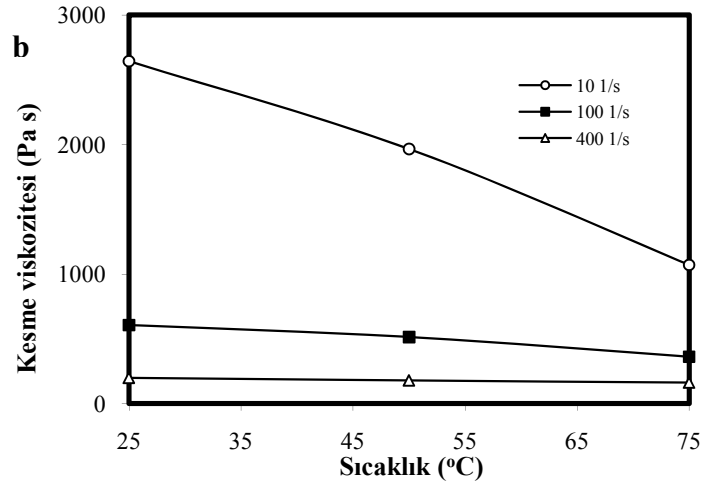
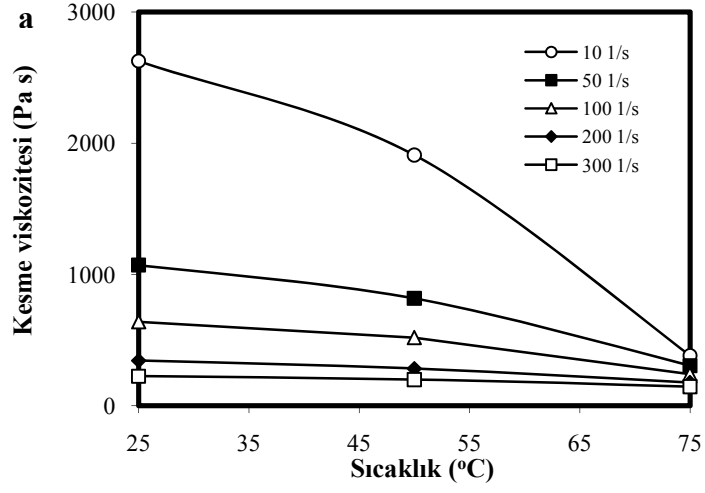
Şekil 4.1 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$



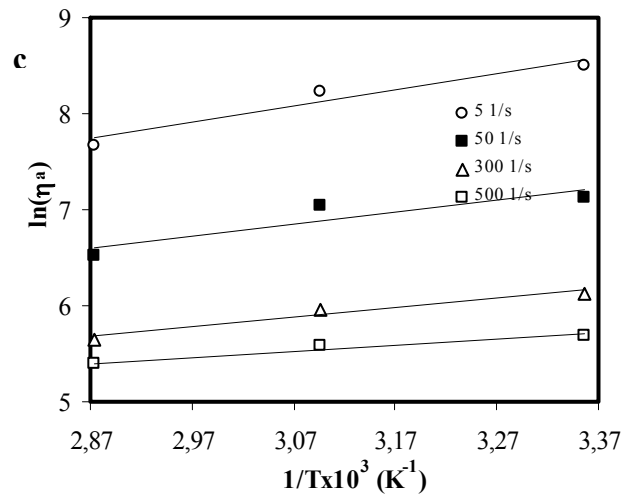
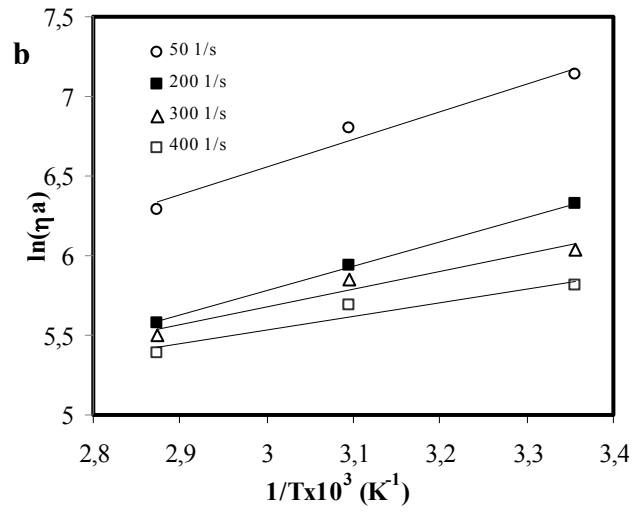
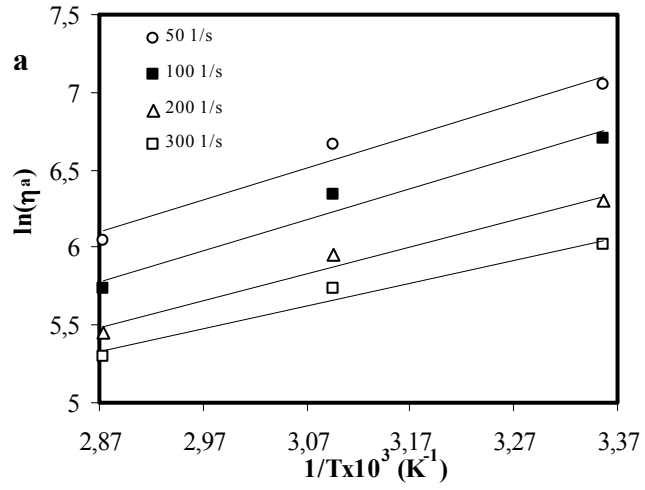
Şekil 4.2 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) L/D= 8 mm/0,5 mm; b) L/D= 16 mm/1 mm ve c) L/D= 32 mm/2 mm



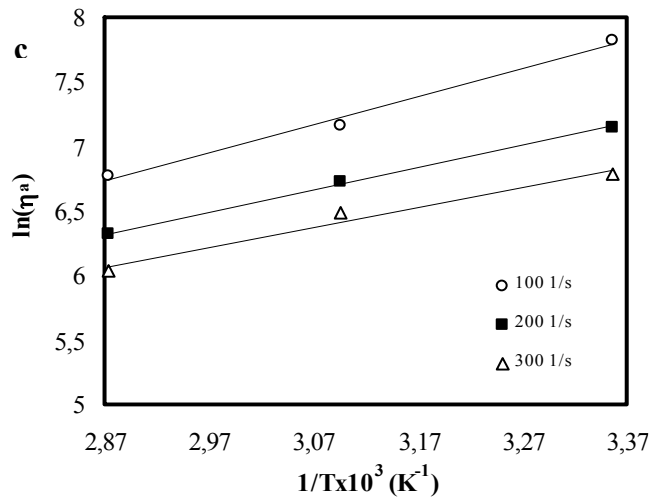
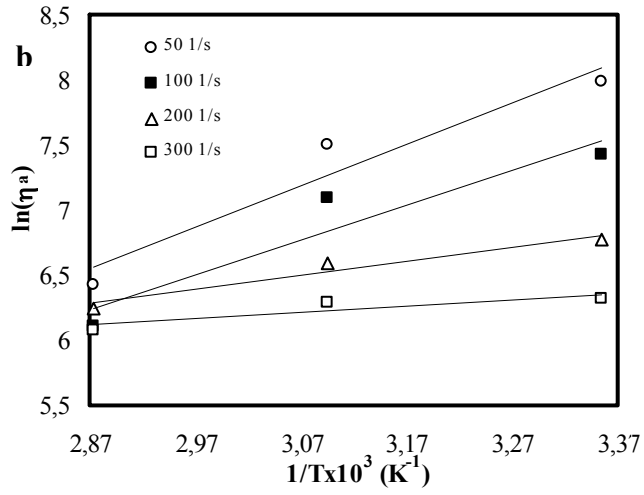
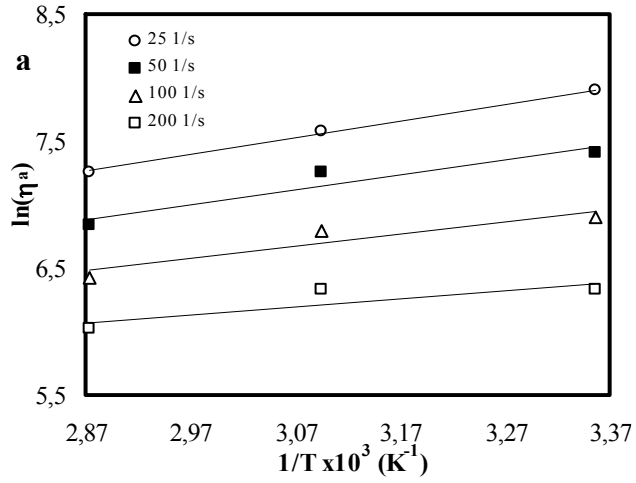
Şekil 4.3 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) $L/D= 8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D= 16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D= 32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$



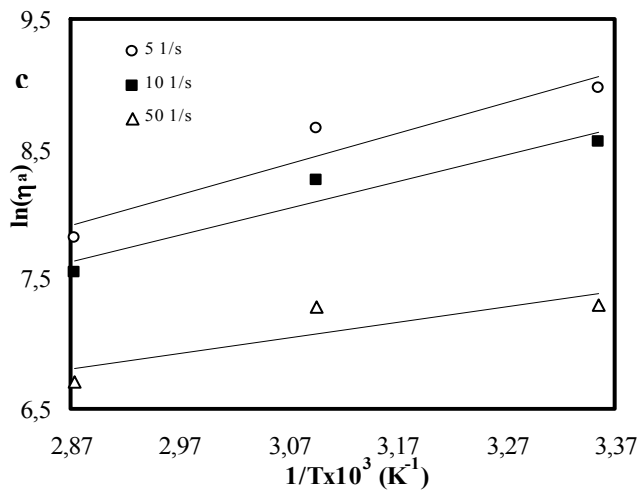
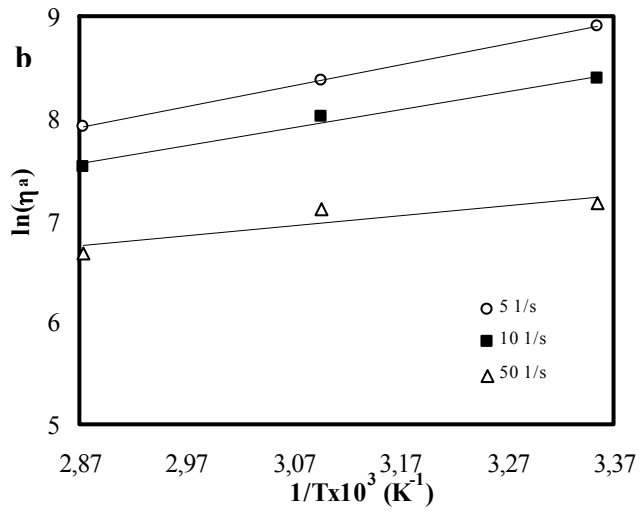
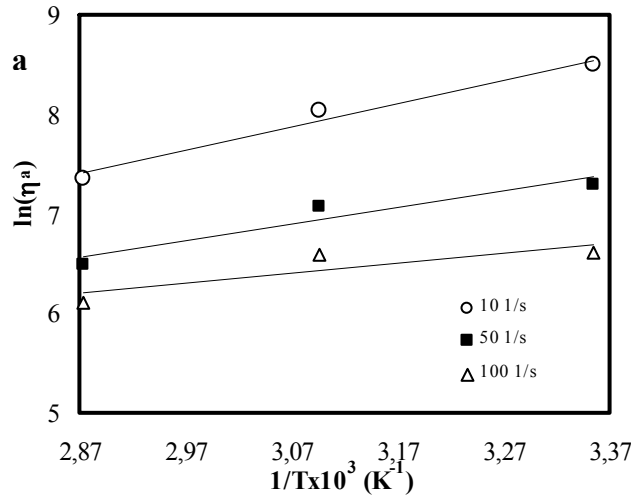
Şekil 4.4 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının farklı sabit kesme hızlarında kesme viskozitesinin sıcaklıkla değişimi: a) L/D= 8 mm/0,5 mm; b) L/D= 16 mm/1 mm ve c) L/D= 32 mm/2 mm



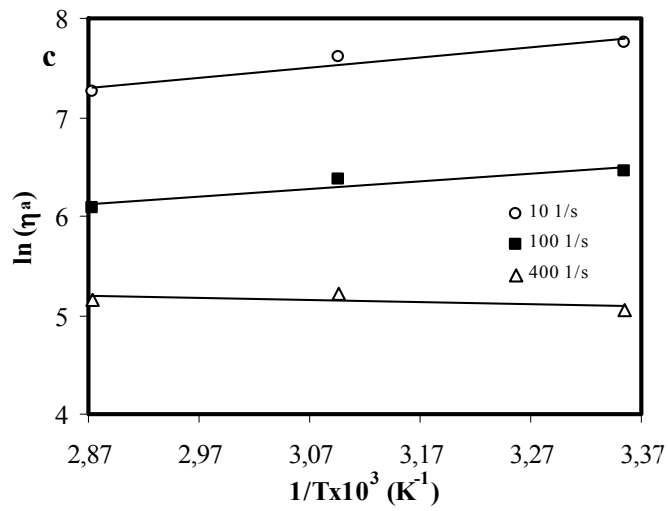
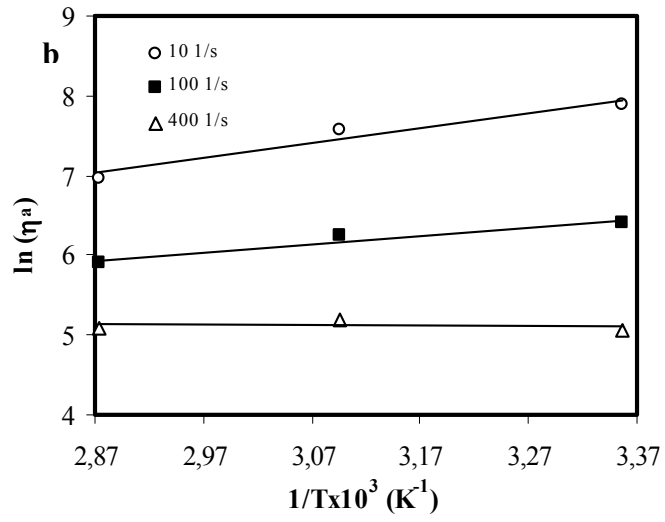
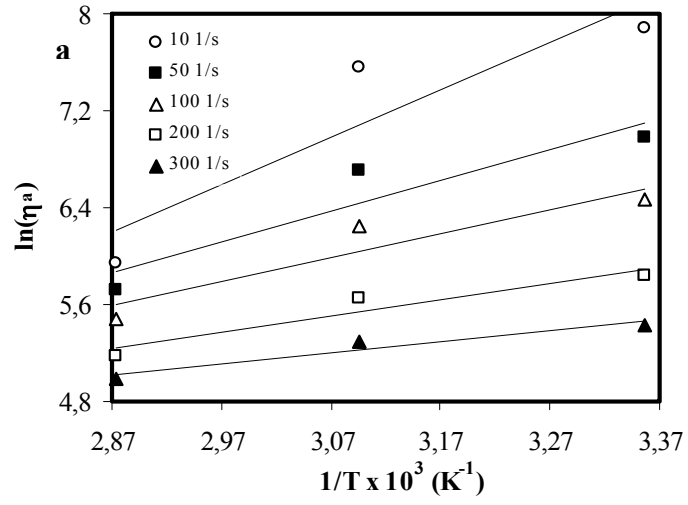
Şekil 4.5 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8$ mm/0,5 mm; b) $L/D= 16$ mm/1 mm ve c) $L/D= 32$ mm/2 mm



Şekil 4.6 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D= 8$ mm/0,5 mm; b) $L/D= 16$ mm/1 mm ve c) $L/D= 32$ mm/2 mm



Şekil 4.7 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) $L/D=8 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$; b) $L/D=16 \text{ mm}/1 \text{ mm}$ ve c) $L/D=32 \text{ mm}/2 \text{ mm}$



Şekil 4.8 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastası için Arrhenius eğrileri: a) L/D= 8 mm/0,5 mm; b) L/D= 16 mm/1 mm ve c) L/D= 32 mm/2 mm

Çizelge 4.1 Kaolinit-silikon yağı pastaları için Arrhenius eğrilerinden hesaplanmış aktivasyon enerjisi değerleri

Pastalar	Kesme hızı (1/s)	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)		
		L/D (8 mm/0,5 mm)	L/D (16 mm/1 mm)	L/D (32 mm/2 mm)
Kaolinit-silikon yağı AK 60 000	5	-----	-----	14,1
	50	17,2	14,5	10,3
	100	16,6	-----	-----
	200	14,5	12,9	-----
	300	12,4	9,2	8,3
	400	-----	7,2	-----
	500	-----	-----	5,2
Kaolinit-silikon yağı AK 100 000	25	11,0	-----	-----
	50	9,8	26,6	-----
	100	8,0	22,4	18,2
	200	5,3	9,0	14,3
	300	-----	3,9	12,9
Kaolinit-silikon yağı AK 500 000	5	-----	17,2	19,7
	10	19,4	14,8	17,0
	50	13,7	8,1	9,9
	100	8,5	-----	-----
Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000	10	32,6	15,4	8,5
	50	21,3	-----	-----
	100	16,6	8,8	6,5
	200	11,3	-----	-----
	300	7,4	-----	-----
400	-----	3,5	2,2	

4.4 Reolojik Modeller

Kesme gerilimi ve kesme hızını içeren kavramlar akışkanların matematiksel modellemesine olanak sağlar. Çoğu akışkanların özellikleri önerilmiş modellerin herhangi birisine tam olarak uymaz. Ancak bu modellerin bir ya da daha fazlası ile pratik amaçlar için akışkanların akış özellikleri açıklanabilir. Bu modellerde çoğu zaman akış basıncı akış hızına karşı ya da kesme gerilimi kesme hızına karşı grafiğe geçirilir. Bölüm 1.9’da belirtildiği gibi akışkanların reolojik özelliklerini belirlemek için literatürde önerilmiş çok sayıda model vardır. Bu modellerin bazıları çok yaygın olarak kullanılır ve kabul görür. Ancak bazıları ise oldukça sınırlı bir şekilde kullanılmaktadır [14]. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler Power Law, Bingham, Casson ve Herschel-Bulkley modelleri kullanılarak analiz edildi [14, 52, 78, 79]. Power Law, Bingham ve Casson modelleri en küçük kareler metoduna; Herschel-Bulkley metodu ise non-lineer analiz metoduna göre analiz edildi. Elde edilen reolojik model parametreleri kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastaları için Çizelge 4.2-4.4’te; kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastaları için Çizelge 4.5-4.7’de; kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastaları için Çizelge 4.8-4.10’da; kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için Çizelge 4.11-4.13’te; kaolinit:katkı maddesi:silikon yağı AK 60 000 pastaları için Çizelge 4.14’te ve kaolinit:katkı maddesi:silikon yağı AK 1 000 000 pastaları için Çizelge 4.15’te sırasıyla verilmektedir. Çizelgelerdeki regresyon katsayıları (R^2) değerlerine bakıldığında deneysel verilerin Herschel-Bulkley modeli ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Bu bize kaolinit-silikon yağı pastalarının non-Newtonian ve viskoplastik özellikli malzemeler olduklarını göstermektedir. Viskoplastik, hızla bağımlı plastisite için bir modeldir. Viskoplastik malzemeler, kuvvet veya yük uygulamasından sonra geçici bir deformasyona maruz kalırlar. Kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki eğrilerin genel şekline bakıldığında, pastaların kapiler kanaldan akması için kritik bir kesme geriliminin gerekli olduğu ve pastaların kesme incilmesi davranışı sergiledikleri söylenebilir. Çizelgelerden görüldüğü gibi genelde tüm kaolinit-silikon yağı pastaları için kritik kesme geriliminin artan katı:sıvı oranı ve azalan sıcaklıkla arttığı görülmektedir. Benzer sonuç Rao ve Tattiyakul [75] tarafından nişasta pastaları için bulunmuştur. Nişasta konsantrasyonundaki artışın dispersiyondaki katı fazın hacimsel kesrini arttırdığından dolayı kritik kesme

geriliminde artışın olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan çizelgelerden görüldüğü gibi farklı tane boyutlu kaolinit örneklerinin ve farklı silikon yağlarının kullanılması ile hazırlanan pastaların kritik kesme gerilimi değerlerinin tane boyutundaki artışa veya azalışa bağılı bir davranış sergilemediği görülmektedir. Sonuçlar pastaların katı:sıvı oranının artması ve sıcaklığın azalması ile plastik özelliklerinin arttığını da göstermektedir. Yine malzemelerin plastik özelliklerinden dolayı düşük kesme gerilimlerinde malzemenin katı bir cisim gibi; yüksek kesme gerilimlerinde ise viskoz bir akışkan gibi hareket ettikleri de söylenebilir. Bu davranışın fiziksel nedeni, akışkan sıvının kısmen katımsı yapı sergileyen bazı etkileşim türlerine sahip olan tanecikleri ya da hacimli molekülleri içermesidir. Gerilim altında bu yapılar bozulduğunda tanecikler viskoz kuvvetlerin etkisinde akışkan sıvı ile birlikte hareket ederler. Gerilim giderildiğinde ise taneciklerin tekrar bir araya gelecekleri söylenebilir.

Çizelge 4.2 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPa s^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPa s^n)	n_H	R^2
0-25	25	75	8/0,5	0,44	10,1	0,984	32,1	0,09	0,899	0,15	67,7	0,834	21	21,7	0,33	0,995
			16/1	0,44	10,9	0,981	35,1	0,09	0,892	0,16	73,5	0,829	15	21,1	0,34	0,994
			32/2	0,45	11,3	0,986	29,0	0,12	0,909	0,20	61,4	0,832	6	17,6	0,38	0,995
0-25	25	77	8/0,5	0,49	9,5	0,979	34,9	0,12	0,895	0,20	81,0	0,835	28	23,3	0,35	0,994
			16/1	0,45	12,0	0,985	37,9	0,12	0,910	0,20	82,4	0,850	11	22,7	0,35	0,994
			32/2	0,43	15,8	0,978	43,8	0,13	0,881	0,22	89,2	0,799	10	33,1	0,31	0,990
0-25	25	80	8/0,5	0,26	54,7	0,982	110,5	0,07	0,859	0,18	162,4	0,765	40	73,0	0,21	0,995
			16/1	0,29	44,8	0,990	94,9	0,08	0,898	0,21	146,8	0,828	16	55,7	0,26	0,998
			32/2	0,20	90,2	0,997	135,3	0,07	0,949	0,23	174,9	0,852	7	79,8	0,22	0,999

Çizelge 4.3 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPa s^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPa s^n)	n_H	R^2
0-25	25	77	8/0,5	0,49	9,5	0,979	34,9	0,12	0,895	0,20	81,0	0,835	28	23,3	0,35	0,994
			16/1	0,45	12,0	0,985	37,9	0,12	0,910	0,20	82,4	0,850	11	22,7	0,35	0,994
			32/2	0,43	15,8	0,978	43,8	0,13	0,881	0,22	89,2	0,799	10	33,1	0,31	0,990
25-50	25	77	8/0,5	0,49	7,4	0,986	21,4	0,11	0,915	0,17	53,3	0,837	10	21,6	0,32	0,998
			16/1	0,47	9,1	0,985	25,6	0,11	0,914	0,18	60,3	0,838	16	23,7	0,32	0,999
			32/2	0,47	10,5	0,979	28,8	0,12	0,895	0,20	62,3	0,820	11	28,7	0,303	0,998
50-75	25	77	8/0,5	0,55	4,8	0,975	17,7	0,11	0,905	0,16	49,0	0,849	19	15,2	0,37	0,995
			16/1	0,52	6,2	0,986	20,4	0,12	0,923	0,18	52,8	0,868	19	14,5	0,39	0,999
			32/2	0,54	6,1	0,981	18,8	0,14	0,902	0,20	52,3	0,813	8	25,0	0,31	0,997

Çizelge 4.4 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	77	8/0,5	0,49	9,5	0,979	34,9	0,12	0,895	0,20	81,0	0,835	28	23,3	0,35	0,994
			16/1	0,45	12,0	0,985	37,9	0,12	0,910	0,20	82,4	0,850	11	22,7	0,35	0,994
			32/2	0,43	15,8	0,978	43,8	0,13	0,881	0,22	89,2	0,799	10	33,1	0,31	0,990
0-25	50	77	8/0,5	0,48	7,3	0,996	22,5	0,10	0,946	0,16	52,4	0,906	25	7,0	0,44	0,999
			16/1	0,47	8,9	0,997	21,2	0,12	0,961	0,19	50,2	0,905	9	14,8	0,39	0,996
			32/2	0,45	11,8	0,989	32,8	0,12	0,911	0,19	69,6	0,842	8	23,4	0,34	0,996
0-25	75	77	8/0,5	0,49	4,3	0,993	9,8	0,08	0,985	0,12	24,1	0,956	21	3,4	0,53	0,999
			16/1	4,39	0,5	0,996	11,4	0,10	0,986	30,35	0,2	0,968	7	4,9	0,51	0,995
			32/2	0,50	6,0	0,999	15,4	0,11	0,967	0,16	37,5	0,929	7	9,6	0,43	0,998

Çizelge 4.5 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	70	8/0,5	0,54	3,3	0,991	11,7	0,07	0,937	0,12	31,9	0,894	24	7,1	0,42	0,996
			16/1	0,68	1,5	0,976	7,0	0,10	0,928	0,12	26,8	0,892	14	7,1	0,43	0,998
			32/2	0,70	1,5	0,976	5,7	0,11	0,927	0,14	22,0	0,890	4	5,5	0,47	0,995
0-25	25	75	8/0,5	0,41	11,7	0,968	35,3	0,07	0,873	0,14	66,5	0,771	23	28,1	0,27	0,984
			16/1	0,51	2,5	0,962	25,8	0,10	0,907	0,17	58,1	0,853	11	19,1	0,34	0,995
			32/2	0,46	9,5	0,982	29,9	0,10	0,916	0,17	61,1	0,846	7	21,3	0,33	0,995
0-25	25	80	8/0,5	0,26	48,7	0,983	88,2	0,07	0,910	0,19	126,6	0,813	46	63,3	0,22	0,995
			16/1	0,49	15,0	0,895	65,0	0,16	0,809	0,28	136,7	0,753	16	72,7	0,24	0,980
			32/2	1,46	0,1	0,815	4,0	0,39	0,724	0,31	91,6	0,658	8	79,8	0,21	0,953

Çizelge 4.6 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katr:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	80	8/0,5	0,37	10,4	0,977	51,0	0,10	0,931	0,21	87,0	0,890	35	29,6	0,32	0,994
			16/1	0,31	41,6	0,998	82,7	0,12	0,942	0,26	133,5	0,871	15	53,8	0,28	0,999
			32/2	0,31	7585,8	0,994	75,5	0,22	0,971	0,15	116,1	0,896	20	35,7	0,36	0,998
25-50	25	80	8/0,5	0,40	457,1	0,994	33,9	0,10	0,931	0,18	65,3	0,861	10	20,8	0,34	0,997
			16/1	0,38	15,1	0,840	30,1	0,09	0,807	0,19	51,8	0,812	19	22,3	0,34	0,998
			32/2	0,41	645,7	0,974	43,4	0,12	0,888	0,21	84,7	0,804	11	33,9	0,30	0,999
50-75	25	80	8/0,5	0,49	118,3	0,994	22,6	0,12	0,938	0,18	54,3	0,877	12	13,4	0,40	0,999
			16/1	0,50	5,4	0,440	6,7	0,18	0,758	0,23	27,4	0,829	23	13,4	0,40	0,998
			32/2	0,47	251,8	0,990	29,0	0,14	0,929	0,22	63,0	0,873	10	23,3	0,35	0,998

Çizelge 4.7 Kaolinit-silikon yağı AK 100 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katr:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	80	8/0,5	0,26	48,7	0,983	88,2	0,07	0,910	0,19	126,6	0,813	46	63,3	0,22	0,995
			16/1	0,49	15,0	0,895	65,0	0,16	0,809	0,28	136,7	0,753	16	72,7	0,24	0,980
			32/2	1,46	0,0	0,815	4,0	0,39	0,724	0,31	91,6	0,658	8	79,8	0,21	0,953
0-25	50	80	8/0,5	0,37	10,4	0,977	51,0	0,10	0,931	0,21	87,0	0,890	35	29,6	0,32	0,994
			16/1	0,31	41,6	0,998	82,7	0,12	0,942	0,26	133,5	0,871	15	53,8	0,28	0,999
			32/2	0,31	7585,8	0,994	75,5	0,21	0,971	0,15	116,1	0,896	20	35,7	0,36	0,998
0-25	75	80	8/0,5	0,38	496,6	0,999	35,9	0,08	0,973	0,17	62,9	0,930	30	16,9	0,36	0,999
			16/1	0,52	7,1	0,955	20,2	0,15	0,957	0,22	51,8	0,913	14	12,5	0,44	0,999
			32/2	0,54	110,7	0,968	28,4	0,16	0,933	0,25	66,6	0,899	40	19,0	0,39	0,998

Çizelge 4.8 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	70	8/0,5	0,35	17,1	0,933	44,3	0,05	0,784	0,1	75,9	0,669	20	49,8	0,17	0,983
			16/1	0,34	17,0	0,939	42,6	0,05	0,800	0,11	72,0	0,697	13	44,2	0,18	0,986
			32/2	0,37	15,9	0,915	43,1	0,06	0,755	0,12	74,8	0,641	5	49,5	0,18	0,980
0-25	25	75	8/0,5	0,23	40,8	0,927	76,1	0,03	0,758	0,10	105,5	0,634	30	72,8	0,14	0,971
			16/1	0,22	41,9	0,966	72,1	0,03	0,842	0,10	97,4	0,739	15	56,2	0,17	0,988
			32/2	0,20	51,9	0,898	82,7	0,03	0,802	0,11	106,8	0,735	5	38,8	0,24	0,986
0-25	25	80	8/0,5	0,16	94,6	0,957	146,7	0,02	0,778	0,11	180,4	0,653	32	113,9	0,13	0,982
			16/1	0,17	83,2	0,996	127,0	0,03	0,915	0,13	159,5	0,833	16	76,8	0,18	0,998
			32/2	0,19	74,8	0,938	105,9	0,05	0,956	0,18	135,6	0,866	4	70,1	0,21	0,980

Çizelge 4.9 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	75	8/0,5	0,23	40,8	0,927	76,1	0,03	0,758	0,10	105,5	0,634	30	72,8	0,14	0,971
			16/1	0,22	41,9	0,966	72,1	0,03	0,842	0,10	97,4	0,739	15	56,2	0,17	0,988
			32/2	0,20	51,9	0,898	82,7	0,03	0,802	0,11	106,8	0,735	5	38,8	0,24	0,986
25-50	25	75	8/0,5	0,26	30,1	0,892	69,3	0,03	0,689	0,08	100,8	0,575	10	18,5	0,36	0,998
			16/1	0,27	30,3	0,950	66,3	0,04	0,784	0,10	98,7	0,671	18	55,3	0,17	0,991
			32/2	0,36	19,9	0,856	40,7	0,08	0,701	0,14	78,9	0,605	16	34,6	0,30	0,999
50-75	25	75	8/0,5	0,36	16,6	0,930	49,1	0,05	0,771	0,11	84,4	0,676	12	13,6	0,40	0,999
			16/1	0,35	17,5	0,929	50,2	0,05	0,771	0,10	84,3	0,680	24	46,1	0,19	0,999
			32/2	0,36	17,5	0,946	44,3	0,07	0,792	0,13	78,6	0,654	10	24,6	0,34	0,998

Çizelge 4.10 Kaolinit-silikon yağı AK 500 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	75	8/0,5	0,23	40,8	0,927	76,1	0,03	0,758	0,10	105,5	0,634	30	72,8	0,14	0,971
			16/1	0,22	41,9	0,966	72,1	0,03	0,842	0,10	97,4	0,739	15	56,2	0,17	0,988
			32/2	0,20	51,9	0,898	82,7	0,03	0,802	0,11	106,8	0,735	5	38,8	0,24	0,986
0-25	50	75	8/0,5	0,35	17,9	0,959	44,7	0,06	0,824	0,13	78,2	0,708	25	38,5	0,28	0,996
			16/1	0,37	16,4	0,962	42,4	0,07	0,842	0,13	76,3	0,743	11	41,6	0,22	0,996
			32/2	0,34	22,6	0,946	50,5	0,07	0,797	0,14	80,2	0,696	9	52,4	0,20	0,982
0-25	75	75	8/0,5	0,45	7,1	0,994	22,7	0,07	0,942	0,12	46,7	0,888	26	11,4	0,37	0,999
			16/1	0,44	8,4	0,991	23,0	0,08	0,920	0,14	49,4	0,848	10	15,3	0,35	0,998
			32/2	0,47	7,4	0,990	19,0	0,10	0,924	0,15	40,2	0,871	4	18,1	0,33	0,999

Çizelge 4.11 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine katı:sıvı oranının etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katı:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R^2	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R^2	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R^2	τ_0 (kPa)	K_H (kPas^n)	n_H	R^2
0-25	25	70	8/0,5	0,32	18,3	0,951	42,4	0,05	0,879	0,11	63,11	0,836	4,00	29,3	0,24	0,966
			16/1	0,33	17,9	0,939	43,5	0,05	0,855	0,11	67,92	0,7572	4,00	38,7	0,20	0,994
			32/2	0,46	8,8	0,933	24,9	0,08	0,825	0,14	49,21	0,7593	4,00	31,7	0,23	0,993
0-25	25	75	8/0,5	0,34	19,4	0,736	58,2	0,04	0,601	0,09	89,45	0,5735	5,00	59,3	0,14	0,950
			16/1	0,20	50,3	0,878	87,5	0,02	0,667	0,08	113,56	0,5031	10,00	94,7	0,08	0,957
			32/2	0,24	37,6	0,859	71,1	0,03	0,645	0,10	96,58	0,5533	10,00	63,7	0,13	0,943
0-25	25	80	8/0,5	0,12	121,1	0,855	168,0	0,02	0,684	0,10	193,21	0,5923	10,00	109,2	0,13	0,926
			16/1	0,25	84,8	0,988	144,6	0,12	0,879	0,32	205,90	0,7897	15,00	94,7	0,22	0,935
			32/2	0,25	74,4	0,879	152,3	0,07	0,756	0,23	209,64	0,6513	15,00	133,7	0,14	0,971

Çizelge 4.12 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine tane boyutunun etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Kati:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R ²	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R ²	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R ²	τ_0 (kPa)	K _H (kPas^n)	n _H	R ²
0-25	25	70	8/0,5	0,32	18,3	0,951	42,4	0,05	0,879	0,11	63,1	0,836	6	35,7	0,21	0,970
			16/1	0,33	17,9	0,956	43,5	0,05	0,855	0,11	67,9	0,757	3	42,6	0,18	0,995
			32/2	0,46	8,8	0,933	24,9	0,08	0,825	0,14	49,2	0,759	2	28,9	0,25	0,992
25-50	25	70	8/0,5	0,31	20,5	0,887	50,6	0,04	0,745	0,09	76,5	0,668	9	49,7	0,15	0,980
			16/1	0,27	26,1	0,886	56,6	0,03	0,713	0,08	80,0	0,606	4	72,1	0,08	0,969
			32/2	0,27	26,7	0,907	57,6	0,03	0,754	0,09	82,0	0,667	8	47,0	0,17	0,976
50-75	25	70	8/0,5	0,19	57,4	0,787	93,4	0,02	0,721	0,10	118,4	0,661	-----	-----	-----	-----
			16/1	0,24	193,7	0,857	67,6	0,02	0,654	0,08	92,2	0,531	8	75,1	0,10	0,954
			32/2	0,24	35,0	0,886	69,7	0,03	0,716	0,09	94,3	0,625	10	67,9	0,12	0,972

Çizelge 4.13 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastasının reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Kati:sıvı oranı (g:g)	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas^n)	R ²	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R ²	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R ²	τ_0 (kPa)	K _H (kPas^n)	n _H	R ²
0-25	25	70	8/0,5	0,32	18,3	0,951	42,4	0,05	0,879	0,11	63,1	0,836	4	24,2	0,27	0,963
			16/1	0,33	17,9	0,956	43,5	0,05	0,855	0,11	67,9	0,757	3	32,3	0,22	0,993
			32/2	0,46	8,8	0,933	24,9	0,08	0,825	0,14	49,2	0,759	4	29,3	0,24	0,992
25-50	50	70	8/0,5	0,37	11,2	0,963	32,7	0,04	0,863	0,09	56,4	0,785	2	20,2	0,27	0,991
			16/1	0,39	10,9	0,981	50,0	0,03	0,849	0,11	51,5	0,845	1	20,3	0,29	0,995
			32/2	0,40	10,9	0,976	30,7	0,06	0,897	0,12	55,6	0,819	2	23,3	0,27	0,994
50-75	75	70	8/0,5	0,68	1,0	0,982	5,1	0,07	0,950	0,09	18,0	0,927	0,5	2,3	0,54	0,997
			16/1	0,50	4,3	0,993	14,7	0,06	0,944	0,10	33,6	0,899	0,1	9,3	0,37	0,999
			32/2	0,45	6,6	0,989	21,0	0,06	0,933	0,11	42,6	0,886	0,6	14,3	0,32	0,999

Çizelge 4.14 Kaolinit-silikon yağı AK 60 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı maddesinin etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katkı maddesi	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas ⁿ)	R ²	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R ²	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R ²	τ_0 (kPa)	K _H (kPas ⁿ)	n	R ²
0-25	25	Glikoz	8/1	0,39	16,65	0,991	48,90	0,08	0,942	0,169	83,32	0,882	10	23,80	0,330	0,997
			16/1	0,40	14,65	0,938	46,47	0,07	0,864	0,143	80,92	0,777	12	35,08	0,252	0,980
			32/1	0,36	18,40	0,969	53,25	0,06	0,893	0,141	86,51	0,812	14	26,55	0,301	0,988
			32/2	0,34	23,26	0,971	60,66	0,06	0,904	0,148	93,74	0,824	9	36,90	0,259	0,990
0-25	25	Nişasta	8/1	0,37	19,08	0,992	52,96	0,08	0,955	0,175	87,68	0,899	13	20,47	0,359	0,997
			16/1	0,22	46,43	0,999	86,39	0,03	0,961	0,108	111,90	0,883	15	45,16	0,219	0,999
			32/1	0,35	20,84	0,973	57,72	0,06	0,898	0,143	91,49	0,817	16	31,14	0,281	0,991
			32/2	0,17	66,39	0,989	107,8	0,02	0,974	0,104	131,02	0,905	8	48,01	0,221	0,997

Çizelge 4.15 Kaolinit-silikon yağı AK 1 000 000 pastalarının reolojik özelliklerine katkı maddesinin etkisi için hesaplanmış model parametreleri

Parametreler				Reolojik modeller												
TB (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Katkı maddesi	Kapiler kanal (L/D)	Power Law			Casson			Bingham			Herschel-Bulkley			
				n	K (kPas ⁿ)	R ²	τ_0 (kPa)	μ_{∞} (kPa s)	R ²	μ_{∞} (kPa s)	τ_0 (kPa)	R ²	τ_0 (kPa)	K _H (kPas ⁿ)	n	R ²
0-25	25	Glikoz	8/1	0,15	65,21	0,929	104,6	0,011	0,881	0,06	123,9	0,636	10	77,95	0,119	0,965
			16/1	0,13	66,67	0,938	100,6	0,009	0,816	0,05	116,3	0,689	13	67,64	0,128	0,972
			32/1	0,13	66,91	0,964	99,98	0,009	0,863	0,05	115,5	0,749	14	67,97	0,127	0,984
			32/2	0,11	78,87	0,986	106,5	0,009	0,873	0,06	121,1	0,751	9	77,34	0,114	0,971
0-25	25	Nişasta	8/1	0,15	61,07	0,913	100,2	0,012	0,757	0,06	119,6	0,599	15	79,97	0,110	0,956
			16/1	0,13	64,06	0,918	97,80	0,008	0,782	0,05	113,4	0,650	14	69,67	0,119	0,962
			32/1	0,14	63,31	0,953	96,90	0,009	0,835	0,05	112,9	0,708	17	69,06	0,121	0,978
			32/2	0,13	70,32	0,932	103,8	0,009	0,836	0,06	119,2	0,735	8	78,00	0,111	0,973

4.5 Duvar Kayma Analizi

Daha önce aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanarak hazırlanan pastalar için ölçülen reolojik verilerden çizilen kesme gerilimi ve kesme viskozitesinin kesme hızı ile değişimlerine ait Şekiller Bölüm 3'te verilmişti. Bu şekillerden görüldüğü gibi genelde katı:sıvı oranı, tane boyutu ve sıcaklık değiştiğinde kapiler akış süresince kesme gerilimi değerlerinin hafif bir şekilde değiştiği görülmektedir. Yine bu ölçümlerde aynı L/D oranlı üç farklı kapiler kanal kullanılarak elde edilen verilerden çizilen kesme gerilimine karşı kesme hızı eğrilerinin akış süresince konsantre süspansiyonlarda meydana gelen mikroyapısal değişimlerin bir sonucu olarak genelde birebir üst üste çakışmadığı da görülmektedir. Homojen olmayan akışkanlarda, yüksek kesme hızı bölgesinden düşük kesme hızı bölgesine doğru katı taneciklerin faz göçü de meydana gelir. Bu olaylar katı taneciklerin konsantrasyon değişimlerine yol açarlar. Cox ve Mason [80], seyreltik süspansiyonların kapiler kanal içerisindeki akışı sırasında faz göçünün bir sonucu olarak tanecik içermeyen bir bölgenin meydana geldiğini ve bu bölgenin kalınlığının denge değerine erişebilmesi için belli bir sürenin geçmesi gerektiğini belirttiler. Çünkü bu olaylar sırasında kapiler kanal duvar bölgesinde taneciklerin göçü ve süspansiyon bulkunda birtakım mikroyapısal düzenlemeler meydana gelmektedir. Üstelik tanecik içermeyen bu bölgelerin denge kalınlıkları, bulk fazında dolgu maddelerinin artan konsantrasyonundan dolayı azalmaktadır.

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 [44] 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 [1.13] ile verilmişti. Mooney yöntemine göre duvar kayma analizinin belirlenebilmesi için kesme gerilimine karşı kesme hızı verilerinin aynı L/D oranlı en az üç farklı kapiler kanalla ölçülmesi gerekir. Bu veriler kullanılarak 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, bu doğrunun eğiminden duvar kayma hızı belirlenir [57]. Bu çalışmada Mooney yöntemi reometrenin software programı içinde bulunduğu için Mooney eğrileri verilmeden doğrudan Bölüm 3'te duvar kayma hızı, kesme gerilimine karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekillerden ve Çizelgelerden görüldüğü gibi yüksek kesme gerilimi değerlerinde duvar kayma hızı değerlerinin özellikle 200 kPa'nın üzerinde hafif bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak elde edilen değerlere bakıldığında kaolinit-silikon yağı pastalarının oldukça iyi bir şekilde homojenize edildiği, duvar kayma prosesinin veya faz ayrımının önemli olmadığı ve oldukça iyi akış özellikleri sergiledikleri söylenebilir. Yine duvar kayma hızının belli bir kesme geriliminde sıfıra gitme eğiliminde olduğu da ifade edilebilir. Çok yüksek kesme gerilimlerinde (200 kPa'nın üzerinde) kaolinit-silikon yağı pastalarının kapiler akışı sırasında gözlenen bu tür kararsızlıkların genelde akışkan silikon yağının ara yüzeye doğru göçünün bir sonucu olduğu söylenebilir [81]. Bu faz göçü kesme gerilimi arttığında azalan viskozite ile daha belirgin hale gelmektedir. Sonuçta ara yüzeyde akışkan fazca zengin ve viskozitesi bulk fazın viskozitesinden daha düşük olan bir sıvı tabakası oluşur [82]. Literatürde benzer sonuçlar cam fiber/termoplastik eriyik [83], kaolinit/su [84], silikon tozu+SiC/termoplastik eriyikler [85], alumina tozu/termoplastik eriyik [86], (NH₄)₂SO₄ tozu/polimer [81, 82], alumina tozu/su [87], Al+(NH₄)₂SO₄ tozu/polimer [44] sistemleri için bulunmuştur.

4.6 Sonuçlar

Pastaların karakterizasyonu:

1. Kaolinitin tabakalı yapısının kısmen bozulmasından dolayı bazı XRD piklerinin şiddet ve yerlerinde değişimlerin meydana geldiğini,
2. DTA/TG analizi, pastaların hem kaolinit hem de silikon yağından kaynaklanan endotermik ve ekzotermik piklere sahip olduğunu ve pastaların daha fazla kütle kaybına maruz kaldıklarını ve
3. SEM fotoğrafları kaolinitin, silikon yağı matrisinde disperse olduğunu göstermektedir.

Pastaların reolojik ölçüm sonuçlarından:

1. Kaoilinit-silikon yağı pastalarının non-Newtonian, pseudoplastik ve kesme incelmesi davranışı sergiledikleri,
2. Pastaların kesme gerilimi ve viskozitelerinin artan katı:sıvı oranı; ve azalan sıcaklık, tane boyutu ve L/D oranı ile arttığı,
3. Deneysel verilerin Herschel-Bulkley modeli ile oldukça iyi bir uyum içerisinde oldukları,
4. Pastaların akması için kritik bir kesme geriliminin gerekli olduğu,
5. Aktivasyon enerjisi değerinin uygulanan kesme hızına bağlı olarak değiştiği ve artan kesme hızı ile azaldığı,
6. Pastaların duvar kayma hızını belirlemek için Mooney metodunun uygun olduğu,
7. Pastaların oldukça homojen oldukları ve çok yüksek kesme gerilimi değerleri hariç duvar kayma hızlarının çok düşük ve ihmal edilebilir olduğu,
8. Pastaların oldukça iyi akış özellikleri gösterdikleri bulundu.

Bu çalışmanın bir kısmı *Industrial & Engineering Chemistry Research* ve *Journal of Ceramic Processing Research* dergilerinde yayınlanmıştır.

“Characterization and rheological properties of kaolinite-silicon oil pastes”, Doğan, M., Yılmaz, Z., Alkan, M., *Ind. Eng. Chem. Res.*, (2008) 47, 8218.

“Rheological and wall slip properties of kaolinite-silicon oil pastes during extrusion”, Yılmaz, Z., Dogan, M., Alkan, M., *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 11, No. 4, pp. 0~00 (2010) (In Press).

KAYNAKLAR

- [1] Rao, M. A., *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, An Aspen Publication, Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, (1999).
- [2] Carozzo, S., *Rheological Characterisation of Gels and Foams for Food*, Dipl.Ing.- Univ. Nr.101, (2001).
- [3] Barnes, H. A., Hutton, J. F., Walters, K., *An Introduction to Rheology*, Elsevier, U.K., (1989) s. 15.
- [4] Tanner, R. I., *Engineering Rheology*, Clarendon Press, Oxford, (1988), s.4.
- [5] Macosko, C. W., *Rheology Principles, Measurements and Applications*, Wiley-VCH, (1993), s.2.
- [6] Buyland, G., *Dairy Processing Handbook*, Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden, Chapter 3, (1995), s. 38.
- [7] Cheyne, A., Barnes J., Wilson D. I., “Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: I. Rheological characterisation”, *Journal of Food Engineering*, (2005) **66**, 1.
- [8] Li, Y. Y., Bridgewater J., “Prediction of extrusion pressure using an artificial neural network”, *Powder Technology*, (2000) **108**, 65.
- [9] Benbow, J. J., Bridgewater J., *Paste Flow and Extrusion*, Clarendon Press, Oxford, (1993), s. 28.
- [10] Khan, A. U., Briscoe B.J., Luckham P.F., “Evaluation of slip in capillary extrusion of ceramic pastes”, *Journal of the European Ceramic Society*, (2001) **21**, 483.
- [11] Potente, H., Ridder, H., Cunha R. V., “Global concept for describing and investigation of wall slip effects in the extrusion process”, *Macromol. Mater. Eng.*, (2002) **287**, 836.
- [12] Doğan, M., Yılmaz, Z., Alkan, M., “Characterization and rheological properties of kaolinite-silicon oil pastes”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, (2008) **47**, 8218.
- [13] De Noni Jr., A., Garcia, D. E., Hotza, D., “A modified model for the viscosity of ceramic suspensions”, *Ceramics International*, (2002) **28**, 731.
- [14] Steffe, J. F., *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Freeman Press: East Lansing, MI, (1996), s.2.

- [15] Karmakar, S., Kushwaha, R. L., “Development and laboratory evaluation of a rheometer for soil visco-plastic parameters ”, *Journal of Thermomechanics*, (2007) **44**, 197.
- [16] Rodrigues Neto, J. B., Moreno, R., “Rheological behaviour of kaolin/talk/alumina suspensions for manufacturing cordierite foams ”, *Applied Clay Science*, (2007) **37**, 157.
- [17] Barnes H. A., *A Handbook of Elementary Rheology*, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, University of Wales, (2000), s. 1.
- [18] Graczyk, J., Gonzalez-Alvarez, A., Arellano, M., Buggisch, H., “Characterisation of wall slip in extrusion of ceramic pastes”, *Euro Ceramics VII*, (2002), s. 321.
- [19] Liu, F. J., Chou, K. S., “Determining critical ceramic powder volume concentration from viscosity measurements”, *Ceramics International*, (2000) **26**, 159.
- [20] Ekere, N. N., He, D., Cai, L., “The Influence of Wall Slip in the Measurement of Solder Paste Viscosity”, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, (2001) **24**, 468.
- [21] Graczyk, J., Buggisch, H., “Capillary rheometry methods for studying extrusion properties of ceramic pastes”, *Proc. II. Int. Conf. Polish Ceramics, Spala-Mai*, (2002), s. 321.
- [22] Graczyk, J., Buggisch, H., Güner, S., “Wall Slip Behavior of Alumina-Silicone Oil Pastes During Extrusion”, *Chemical Engineering Technology*, (2001) **24**, 489.
- [23] Gleible, W., Windhab, E., “The “Twin Capillary” a Simple Device to Separate Shear- and Slip-Flow of Fluids”, *Experiments in Fluids*, (1985) **3**, 177.
- [24] Vikan, H., Justnes, H., Winnefeld, F., Figi, R., “Correlating cement characteristics with rheology of paste”, *Cement and Concrete Research*, (2007) **37**, 1502.
- [25] Bezerril, L. M., de Vasconcelos, C. L., Dantas, T. N. C., Pereira, M. R., Fonseca, J. L. C., “Rheology of Chitosan-kaolin dispersions”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, (2006) **287**(1-3), 24.
- [26] Coussot, P., *Rheometry of pastes, suspensions and granular materials*, Wiley-Interscience, New Jersey, (2005), 161.
- [27] Goodwin, J. W., Hughes, R. W., *Rheology for Chemists*, Cambridge, (2000), 215.

- [28] Mewis, J., Wagner, N.,J., “Thixotropy”, *Advances in Colloid and Interface Science*, (2009) **147-148**, 214.
- [29] Brummer, R., “Rheology essentials of cosmetic and food emulsions”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, (2006), s. 46.
- [30] Haminiuk, C. W. I., Sierakowski, M. R., Vidal, J. R. M. B., Masson, M. L., “Influence of temperature on the rheological behaviour of whole araça pulp (*Psidium cattleianum sabine*)”, *LWT*, (2006), **39**, 426.
- [31] Özkan, N., Oysu, C., Briscoe, B. J., Aydın, I., “Rheological Analysis of Ceramic Pastes”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, (1999) **19** (16), 2883.
- [32] Lam, Y. C., Wang, Z. Y., Chen, X., Joshi, S. C., “Wall slip of concentrated suspension melts in capillary flows”, *Powder Technology*, (2007) **177**, 162.
- [33] Gonzalez-Alvarez, A., Graczyk, J., Buggish, H., “Extrusion behaviour of aluminium oxide-silicone oil pastes ”, 35.Internationales Seminar, Univ. Karlsruhe, (2000), Karlsruhe, Germany.
- [34] Graczyk, J., Mankar, R. B., Buggish, H., “Wall slip behaviour of ceramic pastes in extrusion dies”, 34.Internationales Seminar, Univ. Karlsruhe, (2001), Karlsruhe, Germany.
- [35] Graczyk, J., Mansour, S., Gleible, W., “Extrusion Properties of Aluminium Oxide Pastes”, *Industrial Ceramics*, (2000) **20**, 188
- [36] Mankar, R. B., Graczyk, J., Buggish, H., “Wall slip behaviour of aluminium oxide-silicone oil pastes in extrusion dies”, 36. Internationales Seminar, Univ. Karlsruhe, (2001), Karlsruhe, Germany.
- [37] Buggish, H., Graczyk, J., “Rheometrical methods for studying flow behaviour of pastes”, PARTEC International Congress for Particle Technology, (2001), Nuremberg-Germany.
- [38] Benbow, J. J., Blackburn, S., Mills, H., “The effects of liquid-phase rheology on the extrusion behaviour of paste”, *Journal of Materials Science*, (1998) **33**, 5827.
- [39] Saak, A. W., Jennings, H. M., Shah, S. P., “The Influence of Wall Slip on Yield Stress and Viscoelastic Measurements of Cement Paste”, *Cement and Concrete Research*, (2001) **31**, 205.
- [40] Burbidge, A. S., Bridgwater, J., “The Single Screw Extrusion of Pastes”, *Chemical Engineering Science*, (1995) **50(16)**, 2531.
- [41] Lin, H. W., Chang, C. P., Hwu, W. H., Ger, M. D., “The rheological behaviors of screen-printing pastes”, *Journal of Materials Processing Technology*,

(2008) **197**, 284.

- [42] Markgraf, W., Horn, R., Peth, S., “An approach to rheometry in soil mechanics-Structural changes in bentonite, clayey and silty soils”, *Soil&Tillage Research*, (2006) **91**, 1.
- [43] Martin, P. J., Wilson, D. I., Bonnett, P. E., “Rheological study of a talc-based paste for extrusion-granulation”, *Journal of the European Ceramic Society*, (2004) **24**, 3155.
- [44] Kalyon, D. M., Yaras, P., Aral, B., Yilmazer, U., “Rheological behavior of a concentrated suspension: A solid rocket fuel simulant”, *J. Rheol.*, (1993) **37**, 35.
- [45] Wells, L. J., Nightingale, S. A., Spinks, G. M., “The effect of temperature on the extrusion behavior of a polymer/ceramic refractory paste”, *Journal of Materials Science*, (2005) **40**, 315.
- [46] Bates, A. J. D., Bridgwater, J., “The radial flow of pastes and gels”, *Chemical Engineering Science*, (2000) **55**, 3003.
- [47] Pereira, A. S., Pinho, F. T., “Turbulent pipe flow of thixotropic fluids”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, (2002) **23**, 36.
- [48] Kang, H. U., Park, J., K., Kim, S. H., “Material and rheological properties of (glycidoxypopyl) trimethoxysilane modified colloidal silica coatings”, *Korea-Australia Rheology Journal*, (2004) **16**, 175.
- [49] Gülmüş, S. A., Yilmazer, Ü., “Effect of volume fraction and particle size on wall slip in flow of polymeric suspensions”, *Journal of Applied Polymer Science*, (2005) **98**, 439.
- [50] Isobe, T., Kameshima, Y., Nakajima, A., Hotta, Y., “Effect of dispersant on paste rheology in preparation of porous alumina with oriented pores by extrusion method”, *J. Porous Mater.*, (2006) **13**, 269.
- [51] Ananthakumar, S., Warriar, K. G. K., “Extrusion characteristics of alumina-aluminium titanate composite using boehmite as a reactive binder”, *Journal of European Ceramic Society*, (2001) **21**, 71.
- [52] Kulkarni, A. R., Soppimath, K. S., Aminabhavi, T. M., “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*, (2000) **39:3**, 437.
- [53] Ferraris, C. F., Obla, K. H., Russell, H., “The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete”, *Cement and Concrete Research*, (2001) **31**, 245.

- [54] Tregger, N. A., Pakula, M. E., Shah, S. P., “Influence of clays on the rheology of cement pastes”, *Cement and Concrete Research*, (2009).
- [55] Chandler, H. W., Macphee, D. E., “A model for the flow of cement pastes”, *Cement and Concrete Research*, (2003) **33**, 265.
- [56] Crawford, B., Watterson, J. K., Spedding, P. L., Raghunathan, S., Herron, W., Proctor, M., “Wall slippage with siloxane gum and silicon rubbers”, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, (2005) **129**, 38.
- [57] Yilmazer, Ü., Kalyon, D. M., “Slip effects in capillary and parallel disk torsional flows of highly filled suspensions”, *Journal of Rheology*, (1989) **33**, 1197.
- [58] Dai, X. N., Hou, W. G., Duan, H. D., Ni, P., “Thixotropy of Mg–Al-layered double hydroxides/kaolinite dispersion”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* (2007) **295**, 139.
- [59] Boutelier, D., Schrank, C., Cruden, A., “Power-law viscous materials for analogue experiments: New data on the rheology of highly-filled silicone polymers”, *Journal of Structural Geology* (2008) **30**, 341.
- [60] Doi, M., Kawaguchi, M., Kato, T., “Rheology of fumed hydrophilic and hydrophobic titania suspensions dispersed in silicone oils”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* (2002) **211**, 223.
- [61] Das, R. N., Madhusoodana, C. D., Okada, K., “Rheological studies on cordierite honeycomb extrusion”, *Journal of the European Ceramic Society*, (2002) **22**, 2893.
- [62] Chandler, H. W., George, S. D., Liddle, J., “Deformation and flow of stiff pastes: review of rheology of some soft solids”, *British Ceramic Transactions*, (2002) **101**, 47.
- [63] Bridgewater, J., “Particle technology” *Chemical Engineering Science*, (1995) **50**, 4081.
- [64] Alkan, M., Hopa, Ç., Yılmaz, Z., Güler, H., “The effect of alkali concentration and solid/liquid ratio on the hydrothermal synthesis of zeolite NaA from natural kaolinite”, *Microporous and Mesoporous Materials*, (2005) **86**, 176.
- [65] Alkan, M., Kalay, B., Doğan, M., Demirbaş, O., “Removal of copper ions from aqueous solutions by kaolinite and batch design”, *J. Hazard. Mater.*, (2008) **153**, 867.
- [66] Kakali, G., Perraki, T., Tsivilis, S., Badogiannis, E., “Thermal treatment of kaolin: The effect of mineralogy on the pozzolanic activity”, *Appl. Clay Sci.*,

(2001) **20(12)**, 73.

- [67] Chakrabarti, K., Kim, S. M., Oh, E. O., Whang, C. M., “Thermal analysis of poly(dimethylsiloxane)-modified silica xerogels”, *Mater. Lett.*, (2002) **57**, 192.
- [68] Razavi, S. M. A., Najafi, M. B. H., Alaei, Z., “The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature”, *Food Hydrocolloids*, (2007) **21**, 198.
- [69] Mezger, T. G., *The Rheology Handbook*, Vincentz Network: Hannover, (2006).
- [70] LU, P., Zhang, M., “Rheology of coal-water paste”, *Powder Technol.*, (2005) **150**, 189.
- [71] Lokumcu, A. F.; Ak, M. M. “Effects of temperature, shear rate and constituents on rheological properties of tahin (sesame paste)”. *J.Sci. Food Agric.* (2005) **85**, 105.
- [72] Constenla, D. T., Lozano, J. E., Crapiste, G. H. “Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature”, *J. Food Sci.*, (1989) **54**, 663.
- [73] Juszczak, L., Fortuna, T., “Rheology of Selected Polish Honeys”, *J. Food Eng.*, (2006) **75**, 43.
- [74] Kaya, A., Belibağlı, K. B., “Rheology of solid Gaziantep pekmez”, *J. Food Eng.*, (2002) **54**, 221.
- [75] Rao, M. A., Tattiyakul, J., “Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions”, *Carbohydr. Polym.*, (1999) **38**, 123.
- [76] Sengul, M., Ertugay, M. F., Sengul, M., “Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez”, *Food Control*, (2005) **16**, 73.
- [77] Rha, C., *Theories and Principles of Viscosity Theory in Determination and Control of Physical Properties of Food Materials*, Ed. Reidel, Inc. Dordrecht, The Netherlands, , s. 7-249, 1975.
- [78] Rao, M., Cooley, M. J., Vitali, A. A., “Flow Properties of Concentrated Juices at Low Temperatures”, *Food Technol.*, (1984) **38 (3)**, 113.
- [79] Doğan, M., Graczyk, J., Buggisch, H., “Kapillarrheometrische Charakterisierung der Extrusionseigenschaften Von Pasten”. *Wissenschaftliche Abschlussberichte 38; Internationales Seminar, Universität Karlsruhe, Karlsruhe-Germany*, (2003).
- [80] Cox, R. G., Mason, S. G. “Suspended Particles in Fluid Flow Through Tubes”,

Annual Review of Fluid Mechanics, (1971) **3**, 291.

- [81] Yilmazer, U., Gogos, C. G., Kalyon, D. M., “Mat Formation and Unstable Flows of Highly Filled Suspensions in Capillaries and Continuous Processors”, *Polym. Comp.*, (1989) **10**, 242.
- [82] Yilmazer, U., Kalyon, D. M., “Dilatancy of Concentrated Suspensions with Newtonian Matrices”, *Polymer Composites*, (1991) **12(4)**, 226.
- [83] Chung, B., Cohen, C. “Glass Fiber-Filled Thermoplastics 1. Wall and Processing Effects on Rheological Properties”, *Polymer Engineering and Science*, (1985) **25(16)**, 1001.
- [84] Mooney, M., “Explicit Formulas for Slip and Fluidity”, *J. Rheol.*, (1931) **2**, 210.
- [85] Tsao, I., Danforth, S. C., Metzner, A. B., “Rheological Behavior of Injection-Moldable Silicon Powder-Silicon Carbide Whisker Formulations”, *Journal of the American Ceramic Society*, (1993) **76(12)**, 2977.
- [86] Dubus, M., Burlet, H., “Rheological Behaviour of a Polymer Ceramic Blend”, *Journal of the European Ceramic Society*, (1997) **17(2-3)**, 191.
- [87] Amarasinghe A. D. U. S., Interpretation of Paste Extrusion Data, (Ph.D. Dissertation), University of Cambridge, (1998).