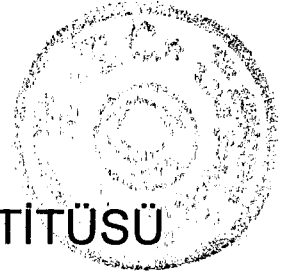


T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YENİ GELİŞTİRİLEN ANORTİT-BAZLI
VİTRİFİYE SERAMİKLERİN REOLOJİK ve
ASALTI DÖKÜM DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

9 8295

Işıl KUTBAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU

GEBZE

2000

T.C. TÜRKİYE ANABİLİM KURULU
DOKÜMAN YERİ

..15.. KUTAY.....'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..24.01.2000..... tarih ve ..2000/1.7..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Makeme.....M.ime.....Müh..... Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(Tez Danışmanı)

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet GAPOĞLU *Ahmet Gopeş*

ÜYE

: Doç. Dr. ORHAN SATTIR

ÜYE

: Prof. Dr. AHMET ATILAN *Ahmet Atılan*

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..03.03.2000..... tarih ve ..2000/1.7..... sayılı kararı.



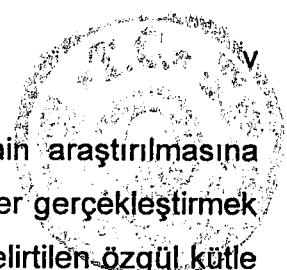
ÖZET

Döküm çamuru süspansiyonlarında büyük öneme sahip olan viskozite, yoğunluk, tiksotropi gibi reolojik özelliklerin tespit edilmesi seramik endüstrisi için önemlidir. Bu sistemlerdeki kil partikülleri arasındaki elektrostatik etkileşim ve Van der Waals kuvvetlerinin çekimi gibi etkenlerle sistemin akışkanlığı bir süre sonra azalabilmekte ve sistem pıhtılaşarak çökebilmektedir. Teknolojik bakımdan sakıncalı olan bu durumla karşılaşmamak için döküm çamuru süspansiyon sistemlerinin reolojik özellikleri bilinmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

Bu amaçla; yeni geliştirilen vitrifiye seramiklerin düşük kil içeriğinde hazırlanmış döküm çamuru süspansiyonlarına elektrolit ilavesinin reolojik özellikler üzerine etkisi ve bu süspansiyonların asfaltı döküm metodu ile şekillendirilebileceği şartların belirlenmesi bu çalışmanın konusudur.

Hazırlanan döküm çamuru süspansiyonların başlangıç hammaddeleri; kaba ve ince taneli olarak öğütülmüş, ön-pişime uğratılmış (şamot) anortit-bazlı vitrifiye seramiği, Çin kili ve topak kilinden meydana gelmiştir. Ön-pişime uğratılmış (şamot) anortit-bazlı vitrifiye seramiği; ana faz olarak anortit kristalleri ve az oranda da müllit kristallerinden ve camı fazdan ibarettir. Anortit-bazlı vitrifiye seramik döküm çamuru süspansiyonun bileşimi; ağırlıkça %50 kaba taneli şamot ($\sim 7.3 \mu\text{m}$), %38 ince taneli şamot ($\sim 1.5 \mu\text{m}$), %6 Çin kili (Süper Standart Porselen, E. E. C) ve %6 topak kilinden (Ukrayna kili, W. B. B) meydana gelmiştir.

Düşük kil içeriğinde hazırlanan süspansiyon; %12'lik kil içeriği ile normalde %30-60 kil içeren geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında müstesna bir özellik taşır. Kil içeriği; kurutma ve pişirme sırasında kil partiküllerinin farklı yönlerde değişik dizilimlerinden dolayı açığa çıkan anizotropik çekilmeyi minimize edebilmek için önemli oranda azaltılmıştır.



Elektrolit ilavesinin reolojik özellikler üzerine etkisinin araştırılmasına geçilmeden önce asfalt döküm metodu ile başarılı dökümler gerçekleştirmek amacıyla döküm çamuru konsantrasyonunun literatürde belirtilen özgül kütle değerini sağlayacak su oranının belirlenmesi üzerinde çalışılmış ve bu oranın ağırlıkça yaklaşık %52 su içeriğinde sağlandığı tespit edilmiştir. Bu orandaki su içeriğinde hazırlanmış döküm çamuru süspansiyonlarına; sodyum silikat, sodyum karbonat, farklı oranlardaki sodyum silikat+sodyum karbonat karışımları, gum arabic gibi elektrolitler ile ticari isme sahip Darvan-C ve Dolaplux SP NEW gibi elektrolitlerin ve bir bağlayıcı olan polivinil alkol ilavesinin reolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Gum Arabic elektroliti hariç üzerinde çalışma gerçekleştirilen tüm elektrolitlerin süspansiyona ilave edilmesi ile döküm çamuru süspansiyonların viskozitesini düşürdüğü, bir başka deyişle; sistemin defloküle edilmesinin mümkün olduğu elektolit ilave oranı aralıkları tespit edilmiştir. Ayrıca %1 oranında PVA bağlayıcı ilavesinde de sistemin sodyum silikat+sodyum karbonat karışımından meydana gelen elektrolit ile defloküle edilmesinin mümkün olduğu, ancak; PVA bağlayıcısının elektrolit içermeyen sulu döküm çamuru süspansiyonlarına ilavesinin sistemin viskozitesini arttırdığı da gözlemlenmiştir.

Elektrolit ilavesi ile iyi şekilde defloküle edilmiş, düşük kil içeriğindeki döküm çamuru süspansiyonlarıyla gerçekleştirilen alçı kalıba döküm deneyleri; yeni geliştirilen anortit-bazlı vitrifiye seramiklerin asfalt döküm metodu ile şekillendirilebileceğini göstermiştir. Eğer süspansiyon iyi defloküle edilmemiş ve PVA bağlayıcısı da mevcut ise bu haldeki süspansiyonlar ile döküm yapıldığında şekil verilen ürünün alçı kalıp içinde kurutma sırasında çatlayıp, kırıldığı da gözlemlenmiştir.

İyi derecede defloküle edilmiş olsalar dahi PVA bağlayıcısı içeren süspansiyonlardan yapılan döküm ürünlerinin aşırı derecede gözenekli olduğu ve bunun da bağlayıcının partiküllerin sıkıca paketlenmesine engel olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Defloküle olmuş süspansiyonlarda su oranının düşürülmesi ile bu problem ortadan kalkmıştır.

SUMMARY

The rheological and casting behaviour of slips, made with the starting materials for a novel whiteware, have been studied. The starting materials consisted of coarse and fine prefired (chamotte) material and ball and china clays. The prefired material was composed of anorthite as the major phase with mullite and glass as minor phases. The whiteware comprised 50^w% coarse prefired ($\sim 7.3 \mu\text{m}$), 38^w% fine prefired ($\sim 1.5 \mu\text{m}$), 6^w% china clay (Super Standard Porcelain, E.E.C) and 6^w% ball clay (Ukrainian Clay, W.B.B).

The whiteware was unusual in that it contained only 12 ^w% clay compared to the usual range from 30-60 ^w%. The clay content had been reduced in order to minimise the anisotropy of shrinkage during drying and firing, which arise from clay particle alignment.

The effect of deflocculants (sodium silicate, sodium carbonate, different proportionate mixtures of sodium silicate and sodium carbonate, gum arabic, and commercial products such as Darvan-C and Dolaplux SP NEW) and a binder, polyvinyl alcohol (PVA), on the rheological properties of slips made with the individual starting materials were studied. All the deflocculants studied except gum arabic reduced the yield stress and absolute viscosity of each slip. However, the PVA addition increased the absolute viscosity of slip in which it didn't contain any deflocculant. The full body slip containing PVA could be deflocculated with a mixture of sodium silicate and sodium carbonate.

Casting trials showed that it was possible to produce successful casts with all the deflocculated slips. Unless slip is well deflocculated when PVA was present casts were found to crack while on drying in the mould. The casts containing PVA were highly porous eventough they were formed from deflocculated slips. It appears that PVA prevents the particles from packing closely together. This problem was overcome by reducing the water content of deflocculated slip.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans aşamasında maddi ve manevi desteğini, güvenini her zaman yanımda hissettiğim ve Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Araştırma Laboratuvarımızın yeni cihazlarla gelişmesine imkan veren Değerli Rektörüm Sayın Prof. Dr. Ahmet AYHAN'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

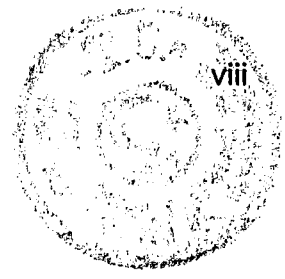
Seramik alanında ders vererek beni eğitip yetiştiren, tez konumun belirlenmesinde bana yardımcı olan, bu alanda bana ışık tutan ve yön veren, sabırla desteğini esirgemeyen Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU'na, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği anabilim dalında eğitim alıp gelişmemde yardımcı olan başta Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Orhan ŞAHİN'e ve Yrd. Doç. Dr. Enis Bülent HEKİMBAŞI'na gönülden teşekkür ederim.

Tezim için gerekli olan deneysel kısmın bir aşamasını Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirmeme izin veren Sayın Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya ve tezim için gerekli kaynakların sağlanmasında bana yardımcı olan, bana güvenip destek veren Yrd. Doç. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

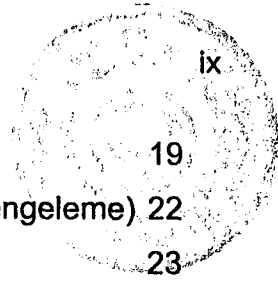
Her an sevgi ve şefkatleriyle yanımda olan, her zaman bana güvenen, her konuda desteklerini esirgemeyen, başarılarımla gurur duyup yüreklendiren çok sevdiğim Değerli KUTBAY ailesine ve benimle gurur duyan Sevgili Amcam Avukat Vehbi ÜNAL'a gönülden sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; tezimin oluşmasında, gelişmesinde yardımcı olan, her konuda desteklerini esirgemeyen, benimle birlikte heyecanlanıp benimle birlikte yüreklenen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Değerli Öğretim Üyelerine, Sevgili Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve yanımda olan can dostlarıma, enstitümüzün kıymetli personeline ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

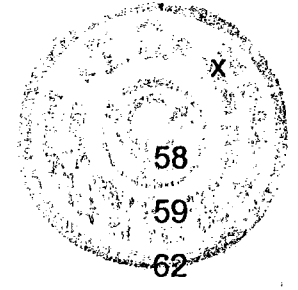
İÇİNDEKİLER DİZİNİ



	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Ticari Yarısaydam Vitrikiye Seramiklerin Karakteristiklerinin Yeni Geliştirilmiş Vitrikiye Seramiklerle Karşılaştırılması	4
1.2.1 Kemik Çini	5
1.2.2 Sert Porselen	6
1.2.3 Zarif Yarısaydam Çini	7
1.2.4 Yeni Geliştirilmiş Vitrikiye Seramiklerin Özellikleri	7
1.3 Projenin Amacı	8
2. TEORİK BİLGİ	10
2.1 Asfaltı Döküm Hakkında Genel Bilgiler	10
2.1.1 Giriş	10
2.1.2 Asfaltı Döküm Çeşitleri	10
2.1.2.1 Boşaltmalı Asfaltı Döküm	10
2.1.2.2 Kütle Döküm	13
2.1.2.3 Basınçlı Döküm	13
2.1.2.4 Vakumlu Döküm	13
2.1.2.5 Savurma (Santrifuj) Döküm	13
2.2 Yüzey Kimyası ve Reolojisi	13
2.2.1 Partiküller Arası Kuvvetler ve Reoloji	14
2.2.2 Deflokülasyonun Kimyası	16
2.2.2.1 Kil Olmayan Tozların Fiziksel Kimyası	17
2.2.2.2 Seramik Killerinin Fiziksel Kimyası	17



2.2.3 Elektrostatik Dengeler	19
2.2.4 Polimerik Dengeleme (Sterik ve Elektrosterik Dengeleme)	22
2.3 Döküm Mekanizması	23
2.4 Asaltı Döküm İçin Gerekli Olan Şartlar	25
2.5 Asaltı Dökümde Döküm Davranışı	26
2.6 Reolojik Özellikler	28
2.7 Viskozite	31
2.7.1 Giriş	31
2.7.2 Viskozitenin Kuralları	34
2.7.2.1 Temel Kural	34
2.7.2.2 Kayma Gerilimi	35
2.7.2.3 Kayma Oranı	35
2.7.2.4 Dinamik Viskozite	36
2.7.2.5 Kinematik Viskozite	37
2.7.3 Akışkanlık ve Viskozite Eğrileri	37
2.7.4 Viskozite Parametreleri	39
2.7.5 Maddeler	40
2.7.5.1 Newtonyan Sıvılar	40
2.7.5.2 Newtonyan-olmayan Sıvılar	40
2.7.5.2.1 Psöydoplastiklik	41
2.7.5.2.2 Dilatan Davranış	44
2.7.5.2.3 Plastiklik	44
2.7.5.2.4 Tiksotropi	45
2.7.5.3 Reopeksi	49
3. MATERYAL VE METOD	50
3.1 Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri	50
3.1.1 Ön Pişim Uygulanarak Hazırlanmış Anortit-bazlı Vitrikiye Seramik Tozu (Şamot)	50
3.1.1.1 Anortit-bazlı Vitrikiye Seramik Tozuna Uygulanan Tane Boyutu Küçültme İşlemi	52
3.1.1.2 Tane Boyutu Ölçümü	53
3.1.2 Kullanılan Killer ve Özellikleri	54
3.2 Kullanılan Elektrolit Malzemeleri	56
3.2.1 Elektrolit Çözeltisinin Hazırlanması	58



3.3 Döküm Çamuru Konsantrasyonunun Belirlenmesi	58
3.4 Döküm Çamuru Süspansiyonunun Hazırlanması	59
3.5 Reolojik Ölçümler	62
3.6 Asfaltı Döküm Çalışmalar	62
4. DENEYSEL BULGULAR	64
4.1 Tane Boyutu Ölçümü	64
4.2 Döküm Çamuru Süspansiyonunun Özgül Ağırlığının Belirlenmesi	64
4.3 Viskozite Ölçüm Sonuçları	67
4.4 Asfaltı Döküm Metodu İle Dökümün Gerçekleştirilmesi	85
5. İRDELEME	87
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPa	Mega Pascal
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
PVA	Polivinil Alkol
%	Yüzde
~	Yaklaşık
M	Yüzey Katyonu
σ	Partikülde Birim Alan Başına Düşen Elektriksel Yük Miktarı, Suyun Yüzey Gerilimi
d	Pozitif ve Negatif Katmanlar Arasındaki Etkin Uzaklık
D	Partikülü Çevreleyen Ortam Sıvının Dielektrik Sabiti, Kayma Oranı
ξ	Zeta Potansiyel
U_R	İtme Kuvvetlerinin Potansiyel Enerjisi
h	Partiküllerin Yüzeyleri Arasındaki Mesafe
κ^{-1}	Çifte Katmanı Kalınlığı
ϵ_r	Ortam Sıvısının Dielektrik Sabiti
a	Kürenin Yarıçapı
U_T	Toplam Potansiyel Enerji
U_A	Çekim Kuvvetlerinin Potansiyel Enerjisi
P	Kılcal Emme Basıncı, Filtrasyonu Etkileyen Toplam Basınç
S	Kalıbın Özgül Yüzey Alanı
γ	Temas Açısı, Gerinim
ξ_c	Kalıpta Döküm Çamurunun Oluşturduğu Döküm Katman Kalınlığı
t	Zaman
ξ_s	Filtrasyon Sırasındaki Süspansiyon-Hava Arayüzeyinin Pozisyonu
ξ_s^0	t=0 Zamanında Süspansiyon-Hava Arayüzeyinin Pozisyonu
ξ_m	Kalıp İçindeki Filtrasyon-Hava Arayüzeyinin Pozisyonu

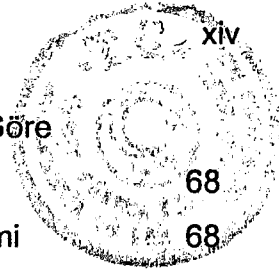
η	Dinamik Viskozite
n	Kütle Denge Faktörü
ϵ_m	Döküm Kalıbının Boşluk Oranı
ϵ_c	Döküm Katmanının Boşluk Oranı
α_m	Döküm Kalıbının Özgöl Hidrolik Direnci
α_c	Döküm Katmanının Özgöl Hidrolik Direnci
τ	Kayma Gerilimi
G	Young Modülü
y	Katı Maddenin Yüksekliği, Mesafe
ΔL	Kayma Geriliminin Bir Sonucu Olarak Maddede Gelen Şekil Değişimi
F	Kuvvet
A	Alan
V	Akma Hızı
ν	Kinematik Viskozite
ρ	Yoğunluk
T	Sıcaklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

2.1	Asaltı Döküm Prosesindeki Kritik İşlem Aşamaları ve Kontrol Edilmesi Gereken Parametreler	11
2.2	Asaltı Döküm İle Dökümün Gerçekleştirilmesi	12
2.3	Helmholtz Çift Tabakası	18
2.4	Farklı Yüklerdeki Katyonların Zeta Potansiyelleri	18
2.5	a) Deflokülasyon b) Flokülasyon	19
2.6	Elektriksel Çift Katmanlı İki Partikülün Etkileşimlerinin Potansiyel Enerjisi	21
2.7	Akışkanlık Eğri Tipleri	28
2.8	Bir Katı Maddenin Şekil Değişimi	32
2.9	Akma Modellerinin Değişik Tipleri	33
2.10	İki Paralel Düzlem Arasındaki Akış	35
2.11	Newtonyan Davranış Gösteren Bir Sıvının Akışkanlık Eğrisi	38
2.12	Newtonyan Davranış Gösteren Bir Sıvının Viskozite Eğrisi	38
2.13	Değişik Tipteki Yoğun Olan Akışkanlık Davranışları	40
2.14	Seyreltilmiş Süspansiyonların Statik Halde ve Bir Tüp Boyunca Akmaları Durumundaki Davranışı	41
2.15	Psöydoplastik Bir Sıvının Kayma Oranına Bağımlılığı	43
2.16	Tiksotropik Davranış Gösteren Seyreltilmiş Süspansiyonlarda Partikül Etkileşimi	46
2.17	Tiksotropiyi Tanımlayan Diyagramlar	47
3.1	Ön-pişim Uygulanarak Hazırlanan Anortit-bazlı Vitrikiye Seramik Tozunun (Şamot) Üretim Akım Şeması	51
3.2	Döküm Çamuru Süspansiyonunun Hazırlanması	61
4.1	İnce Taneli Şamotun Tane Boyut Dağılımı	65
4.2	Su Miktarına Göre Süspansiyonun Özgül Ağırlık Değerinin Değişimi	66



4.3	Süspansiyonun Viskozitesinin Su İçeriğine Göre Değişimi	
4.4	Süspansiyonun pH Değerinin Su İçeriğine Değişimi	68
4.5	Bağlayıcı İlavesinin Sulu Süspansiyonun Viskozite Üzerine Etkisi	69
4.6	Sodyum Silikat Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	69
4.7	Sodyum Silikat Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	71
4.8	Sodyum Silikat İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	71
4.9	Na_2CO_3 Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	72
4.10	Na_2CO_3 Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	72
4.11	Na_2CO_3 İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	74
4.12	$\%4\text{Na}_2\text{CO}_3+\%6\text{Na}_2\text{SiO}_2$ Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	74
4.13	$\%4\text{Na}_2\text{CO}_3+\%6\text{Na}_2\text{SiO}_2$ Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	75
4.14	$\%4\text{Na}_2\text{CO}_3+\%6\text{Na}_2\text{SiO}_2$ İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	75
4.15	$\%5\text{Na}_2\text{CO}_3+\%5\text{Na}_2\text{SiO}_2$ Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	77
4.16	$\%5\text{Na}_2\text{CO}_3+\%5\text{Na}_2\text{SiO}_2$ Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	77
4.17	$\%5\text{Na}_2\text{CO}_3+\%5\text{Na}_2\text{SiO}_2$ İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	78
4.18	DARVAN C Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	78

4.19	DARVAN C Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	79
4.20	DARVAN C İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	79
4.21	Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	81
4.22	Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	81
4.23	Dolaplux SP NEW İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	82
4.24	Gum Arabic Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	82
4.25	Gum Arabic İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	83
4.26	Gum Arabic+Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi	83
4.27	Gum Arabic+Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH İlavesi Üzerine Etkisi	84
4.28	Gum Arabic+Dolaplux SP NEW İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi	84
4.29	Asaltı Döküm Metodu İle Elde Edilen Numunelerin Görüntüsü	86

TABLolar DİZİNİ



Tablo

3.1	Standart Porselen Çin Kili Kimyasal Analizi	54
3.2	Standart Porselen Çin Kilinin Mineral İçeriği	55
3.3	Ukrayna Topak Kili Kimyasal Analizi	55
3.4	Ukrayna Topak Kilinin Mineral İçeriği	55
3.5	Asaltı Döküm İçin Hazırlanan Elektrolit Çözeltileri	57
3.6	Dolaplux SP NEW Elektrolitinin Özellikleri	58
3.7	Asaltı Döküm Çamuru Süspansiyonunu Oluşturan Hammaddeler ve Miktarları	60
4.1	Döküm Çamuru Süspansiyonlarının Ölçülen Özgöl Ağırlık Değerleri	66





1. GİRİŞ

1. 1. Genel Bilgiler

"Vitrifiye Seramik" ısıtıl işleminden sonra ince dokulu yapıya sahip olacak şekilde gelişmiş, beyaz renkli seramik ürüne verilen isimdir. Vitrifiye seramikler, vitray çinileri (örneğin; elektriksel porselen, evye-sağlık porseleni), pekişmiş çinileri, sert porselenleri; kemik çinisi türlerini içeren seramiklerdir. Vitrifiye seramiklerin çoğu killerin; feldspat ve flint veya kuvars karışımlarından yapılır. Ancak; kemik çini kompozisyonunun yarısı kadar miktarda kalsine edilmiş hayvan kemiği içerir [Rado,1988].

Vitrifiye seramiklerin çoğu kompozisyon ana bileşeni olarak killeri içerirler ve bu da yaygın olarak bir problem oluşturur. Çünkü tabakasal yapıya sahip kil tanecikleri şekillendirme işlemi sırasında belirli yönde yönlenirler. Bu yönlenme; kurutma ve pişirme işlemleri sırasında anizotropik çekilmeye neden olur. Asaltı döküm veya plastik şekillendirme yöntemleri ile şekillendirilmiş ürünlerde meydana geldiği gibi, kil parçacıklarının büyük boyut ölçeğinde gelişen tercihli yönlenmeleri ürün şeklinin; hem kurutma, hem de pişirme işlemleri esnasında şekil deformasyonuna uğramasına neden olur [Messer, 1983]. Püskürtmeli kurutma tekniği ile hazırlanmış, preslenebilir nitelikteki seramik tozlarının preslenerek şekillendirilen ürünlerinde meydana geldiği gibi, kil parçacıklarının küçük boyut ölçeğinde gelişen yönlenmesi ise; mikroyapıda porozite (boşluk) boyutunun büyümesine ve dolayısıyla seramiğin kırılma tokluğu ve mukavemet değerinin de düşmesine neden olur [Reed,1988].

Bu çalışma; daha önce İngiltere'nin Sheffield Üniversitesinde, anizotropik çekilmeden kaynaklanan problemleri azaltmak üzere tasarlanmış, düşük kil içeriğinde bir vitrifiye seramiğinin geliştirilmesi üzerine gerçekleştirilen araştırma çalışmalarının [Mois,1994, Ngah,1998] devamı niteliğindedir. Üzerinde çalışılan



belirli vitrifiye seramik malzemesi yarısaydam özellikte ve beyaz renkli olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı; düşük kil içerikli vitrifiye seramik malzemesinin asaltı döküm metodu için hazırlanan çamur süspansiyonunun reolojisini ve döküm davranışlarını araştırmaktır.

Vitrifiye seramik formülasyonuna, düşük demir içerikli maddelerden hazırlanarak ön pişirmeden geçmiş (şamot olarak da adlandırılan) bir bileşenin katılımı; kompozisyondaki kil içeriğinin azaltılmasına ve dolayısıyla demir içeriğinin düşük düzeyde tutulmasına imkan tanır. Kil içeriğinin azaltılması aynı zamanda, bu seramiğin daha hızlı döküm zamanına sahip olmasını sağlar. Yeni geliştirilen vitrifiye seramiğinin çok büyük yüzde oranlarındaki içeriği olan şamot malzemesi; iyi şekilde partikül paketlenmesinin sağlandığı bir karışımı üretmek için kaba ve ince taneli öğütülmüş bileşenler şeklinde kullanılır.

Kuvars, alüminyum hidroksit, kalsiyum karbonattan ibaret şamot malzemesi; kalsinasyon ısıl işleminden sonra yüksek derecede beyazlık ve yarısaydamlık özelliği taşır. Şamot malzemesinin mikroyapısı; ana faz olarak anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), ve müllit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) kristalleri ile az miktarda gelişen cam fazlarından meydana gelmiştir. Şamot malzemesi ve diğer bileşenlerin katılması ile hazırlanmış sonuç karışımı olan seramik harman karışımı; iğnesel şekilde gelişen ve bir sürünme engelleyici faz olarak davranan müllit kristallerinden dolayı sinterleme sıcaklığındaki pişimi sırasında açığa çıkan deformasyona karşı dirençlidir. Bu konudaki öncü çalışmaları gerçekleştiren Çapoğlu ve Messer [1994] şamot malzeme formülasyonunda bir ana bileşen olarak ortalama $2,4 \mu\text{m}$ tane boyutuna sahip ince taneli kuvars kullanmışlardır. Mois [1994] daha kaba taneli ve dolayısıyla daha ucuz kuvarsın kullanımının mümkün olduğunu bulmuştur. Araştırmacı, standart porselen kuvarası (ortalama tane boyutu $\sim 10 \mu\text{m}$) kullanmış ve bunun anortit, müllit, cam fazlarını oluşturmak üzere kompozisyonun diğer bileşenleri ile tamamıyla reaksiyona girdiğini tespit etmiştir. Ayrıca mikroyapıda gelişen anortit kristallerinin boyutu da kuvars tane boyutu değişiminden etkilenmemiştir. Ngah, [1998] şamot malzemesinin



kullanımı ile oluşturulan döküm çamuru süspansiyonunun reolojik davranışlarını çalışmıştır. Süspansiyonun defloküle edilmesi için kullandığı elektrolit türleri süspansiyonun belirli derecede defloküle edilmesini sağlamıştır. Ancak bu şekilde hazırlanmış döküm çamurları kullanılarak gerçekleştirilen döküm deneyleri başarılı sonuçlar vermemiştir. Ayrıca PVA (polivinil alkol) bağlayıcı ilavesinin de sonuçları pozitif yönde etkilemediği de tespit edilmiştir.

Yeterince beyaz bir malzemeyi elde etmek için, yarısaydam özelliğine sahip sonuç vitrifiye seramiğindeki demir oksit içeriği ağırlıkça %0,1 civarında olmak zorundadır. Bunu başarmak için, pişim sonrası en beyaz rengi veren çin kili ~ %0,4 oranında Fe_2O_3 içerdiğinden ve yine pişim sonrası en beyaz rengi sağlayan topak kili de ~ %0,7 oranında Fe_2O_3 içerdiğinden kil içeriği ağırlıkça %10-15 değeri ile sınırlandırılmalıdır. Şamot üretiminde kullanılan alüminyum hidroksit ve kuvars ağırlıkça %0,01 demir oksit içeriğine sahiptir. Kalsiyum karbonat ise ucuz bir bileşen olan kireçtaşı şeklinde kompozisyona ilave edilir ve bu da ~ % 0,1 demir oksit içeriğine sahiptir.

Sonuç olarak üretilecek vitrifiye seramikten beklenen yarısaydamlık özelliğinin sağlanması amacıyla yapıdaki porozitelerin ışığı dağıttığı için; kaba öğütülmüş şamot parçacıklarının yüksek bir yoğunluk değerine sahip olması gerekir. Yarısaydamlığı elde etmek amacıyla vitrifiye seramik malzemesi ana faz olarak anortit kristallerini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Anortit kristalinin kırılma indeksi değeri ~ 1,58'dir. Bu değerin ~ 1,5 kırılma indeksi değerine sahip cam fazı ile uyumlu olması beklenir. Söz konusu durum; faz sınırlarında meydana gelebilecek ışığın saçılımını minimize eder. Kırılma indeksi değeri ~ 1,64 olan müllit kristal fazının son kompozisyondaki oluşum miktarı çok düşük düzeyler ile sınırlandırılmıştır.

Bu konudaki çalışmalar halen, şimdiye kadar yapılan çalışmaların ışığı altında toz presleme, asaltı döküm ve enjeksiyon kalıplama teknikleri ile şekillendirilebilecek, yarısaydam nitelikteki bir vitrifiye seramik tasarımının

başarılması yönünde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde ve İngiltere'nin, Sheffield Üniversitesinde devam etmektedir. Ürün; önemli miktarda anizotropik çekilme davranışı göstermemeli, piroplastik deformasyona karşı dirençli olmalı, yüksek mukavemet ve kırılma tokluğuna sahip olmalı ve kullanımı sırasında çizilmelere karşı dirençli olabilecek türde bir sırlamanın uygulanmasına müsade etmelidir.

1.2. Ticari Yarısaydam Vitrifiye Seramiklerin Karakteristiklerinin Yeni Geliştirilmiş Vitrifiye Seramiklerle Karşılaştırılması

Yarısaydam vitrifiye seramikler; yüksek yoğunluk değerine sahip, beyaz renkli ve belirli oranda ışığın geçmesine müsade eden özelliklere sahip seramik ürünlerdir. Ticari olarak piyasadaki mevcut yarısaydam olma özelliğine sahip vitrifiye seramiklerin üç ana çeşidini; sert porselen türü seramikler, kemik çinileri ve zarif yarısaydam çinileri oluştururlar.

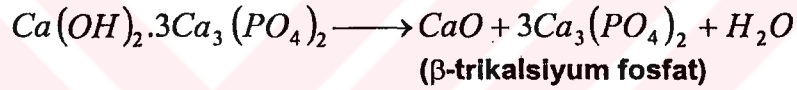
Yarısaydamlık özelliği; normalde belirli kalınlığa sahip standart bir numuneye bağlı olarak, malzemeden geçen ışık demeti şiddetinin malzemeye giren ışık demeti şiddetine olan oranı olarak ifade edilir. Tane sınırlarının ve porozitelerin mevcudiyeti; kırılma indeksi değerlerinin değişime uğradığı herhangi bir sınır, ışığı geçirilebileceği gibi aynı zamanda yansımaya da neden olacağından dolayı yarısaydamlık derecesini negatif yönde etkiler. Seramiği oluşturan mikroyapı bileşenlerinin kırılma indeksi değerleri arasındaki farkın artırılması yarısaydamlık derecesini düşürür.

Kemik çini, sert porselen türü seramiklerden veya zarif yarısaydam çinilerden çok daha fazla yarısaydamdır. Çünkü; kemik çiniyi oluşturan bileşen : fazlarının kırılma indeksi değerleri arasındaki fark çok fazla değildir.

1. 2. 1. Kemik Çini

Kemik çini; kalsine edilmiş hayvan kemiği külü (%50), çin kili (%25), ve Cornish kayacı veya feldspattan (%25) meydana gelir. Bu karışım ~ 1250°C'de 17-20 saat arasında pişirilir ve sonuç ürünü yarısaydam nitelikte bir vitrifiye seramiktir [Norton, 1970]. Kalsine edilmiş hayvan kemiği külü temelde hidroksil apatit ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) mineralini içerir ve yaklaşık 5 µm orta tane boyutuna sahip olacak şekilde öğütülür.

Piştirme işlemi sırasında hidroksil apatit minerali; β -trikalsiyum fosfat fazını ve kil ile reaksiyona girip anortit fazını oluşturmak üzere kalsiyum oksiti serbest hale getirerek parçalanır.



Kemik çini; en beyaz vitrifiye seramik özelliğine sahip olup görüntüsüne göre fiyatlandırılır ve genelde pahalıdır. Kemik çini yüksek bir ısısal genleşme katsayısı değerine ($\sim 8,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) sahiptir. Sırlama işlemi genelde 1050-1100°C arasında yapılan ısı işlemi ile gerçekleştirilir. Kemik çini her an serviste kullanabilecek niteliğe sahip değildir. Çünkü; sahip olduğu sır kolaylıkla çizilebilir ve bu yüzden ağır kullanım şartlarına sahip pahalı otellerde ve restoranlarda yanlışlıkla kullanılmaktadır. Dahası, pişimi sırasında kemik çini yumuşar; bu arada yoğunluk kazanımı ile birlikte aşırı derecede payroplastik hale gelir. Buna bağlı olarak ürün; eğer bir refrakter veya pişim işleminden geçmemiş bir kemik çini destekleyici ile desteklenmez veya ince alümina toz yatağı üzerine yerleştirilmez ise verilen şeklini koruyamaz [Norton, 1970]. Fakat kemik çini diğer yarısaydam olma özelliğine sahip vitrifiye seramik ürünlerden çok daha mukavemetlidir ve çok daha yüksek kırılma tokluğuna sahiptir. Çünkü; kemik çini

kristal faz içeriği nispeten yüksek bir malzemedir. Yapının ~ %70'i; anortit (%25) ve β -trikalsiyum fosfat (%45) fazlarını içerecek şekilde kristalindir. 100 MPa değerini aşan mukavemet değerleri rapor edilmiştir [Schilling, 1991].

1.2.2. Sert Porselen

Sert porselen; %50 kaolin, %25 kuvars ve %25 feldspat içeren bir karışımdan yapılır [Rado, 1979]. İlk kez Çinliler tarafından geliştirilmiş ve 18. yüzyılın ortalarında Almanya'da üretilmiştir.

Sert porselene yaklaşık 1000°C civarında “bisküvi pişimi” olarak adlandırılan bir ısıtma işlemi uygulanır. Daha sonra ham sirlama yapılır ve “parlatma ısıtma işlemi” olarak adlandırılan ısıtma işlemine tabi tutulur. Bu ısıtma işlemi iki aşamada tamamlanır. İlk aşamada sirlanmış ürünler oksitleyici atmosferde 1000°C'e kadar 18-24 saat arasında pişirilir. İkinci aşamada ise sıcaklık 1000°C'den 1450°C'ye artırılır ve bu aşamada ısıtma işlemi redükleyici atmosferde yaklaşık 25 saat süreyle gerçekleştirilir. Sert porselenin mikroyapısı yaklaşık %70 cam ve %30 müllit kristal fazından oluştuğu için mukavemeti çok yüksek değildir [Schilling, 1991]. Oldukça yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ısıtma işlemleri müllit kristallerin kaba boyutlara ulaşacak kadar büyümesine neden olur. Bu da tane sınırlarının sayısını azaltır ve ürünün yarısaydamlık derecesini artırır. Yüksek cam fazı içeriğinden dolayı sert porselenlerin mukavemeti yüksek değildir ve kenar kırınılaşması olarak adlandırılan olaya karşı hassastır. Literatürde sert porselene ait 50-70 MPa mukavemet değerleri rapor edilmiştir [Schilling, 1991]. Sert porselenin yapısı silisçe zengin cam fazı içerdiğinden dolayı nispeten düşük bir ısısal genleşme katsayısı değerine ($\sim 4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) sahiptir. Buna bağlı olarak da sert porselene uygulanacak sır bileşimi de silisçe zengindir ve dolayısıyla sert olduğundan kullanım sırasındaki çizilmelere karşı dirençlidir.

1. 2. 3. Zarif Yarısaydam Çini

Zarif yarısaydam çini; temel olarak %30-40 kaolin, %25-40 feldspat ve %30-49 kuvarstan meydana gelir [Rado, 1979]. Yapı çok daha düşük bir kil içeriğine sahiptir, fakat yarısaydamlık derecesini arttırıcı yönde etkili olan feldspat ve kuvars içeriği daha yüksektir. Zarif yarısaydam çini; yaklaşık 1230°C'de bisküvi pişimi ve 1150°C'de parlatma ısı işlemine tabi tutulan tamamıyla yumuşak bir porselendir. Zarif yarısaydam çini $\sim 6,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ değerinde ısısal genleşme katsayısına değerine sahiptir. Daha az oranda müllit kristali ve daha fazla oranda cam fazı içerdiğinden, zarif yarısaydam çinileri; elektrik porselen seramiklerinden daha düşük mukavemet ve kırılma tokluğu değerlerine sahip olmaları beklenir. Bu değer de yaklaşık 90 MPa'dır.

1.2.4. Yeni Geliştirilmiş Vitrifiye Seramiklerin Özellikleri

Bu çalışmanın da konusu olan yeni geliştirilmiş vitrifiye seramiği aşağıda belirtilen kompozisyon baz alınarak hazırlanır:

Kaba taneli şamot	$\sim \%50$	$\sim 7,3 \mu\text{m}$
İnce taneli şamot	$\sim \%38$	$\sim 1,5 \mu\text{m}$
Çin Kili (China clay)	$\sim \%6$	$\sim \text{mikron altı}$
Ukrayna Topak Kili (Ball clay)	$\sim \%6$	$\sim \text{mikron ve mikron altı}$

Sonuç olarak elde edilen vitrifiye seramiğin yapısının yüksek oranda kristal fazı içeriğine sahip olması beklenir ki böyle de olmalıdır. Çünkü; yüksek oranda kristal fazı içeren ve yüksek yoğunluk değerine sahip yapı; yüksek kırılma tokluğu değerini sağlar. Yeni geliştirilen vitrifiye seramiklerin ölçülmüş ısısal genleşme katsayısı değeri $\sim 4,7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu nispeten düşük olan ısısal genleşme katsayısı yüksek mukavemet değeri ile birleştiğinde yeni geliştirilen

vitrikiye seramiğine ısısal şoklara karşı direncinin yüksek olmasını sağlar. Sonuç olarak elde edilen vitrikiye seramiği aynı zamanda yoğunluk kazanması için yapılan 1300°C'deki sinterleme ısı işlemi sırasında açığa çıkabilecek piropplastik deformasyona karşı da dirençlidir. Bu yüzden de sırlama işlemi belirtilen sıcaklıkta gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla silisçe zengin, düşük genleşme katsayısına sahip bir sır bileşiminin söz konusu seramiğin yüzeyine kaplanması mümkün hale gelir. Bu şekilde sırlanan seramik ürünü de kullanım sırasında karşılaşılabilecek çizilmelere karşı direnci yüksek olur

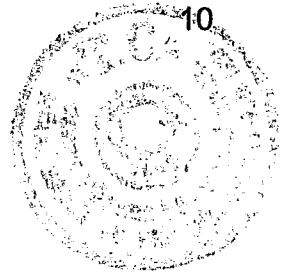
1.3. Projenin Amacı

Seramik sanayinde kil-su süspansiyonlarına eklenen elektrolit miktarı ve türü; sistemin akışkan hale getirilmesi için çok önemlidir. Seramik çamurlarında, kalıpların az ıslanması ve kalınlık almanın hızlı olması için yüksek yoğunluk, kalıbın her bir köşesine ulaşabilmek için düşük viskozite, döküm işlemi bittiğinde kalıptan çamurun kolaylıkla boşaltılabilmesi için uygun tiksotropi olması gereken özelliklerdir. Ayrıca geleneksel seramik üretimi yapan fabrikalarda, püskürtmeli kurutucularda çamurdan uzaklaştırılan su miktarının ekonomik açıdan az olması ve çamurun uygun akışkanlıkta olması istenir. Bu nedenle, seramik çamurlarına eklenecek elektrolit türü ve miktarının doğru olarak saptanması gerekmektedir.

Yeni geliştirilmiş vitrikiye seramiği çok düşük oranda kil içerdiğinden dolayı, bu sistem halihazırda üretimi yapılan vitrikiye seramik sistemlerinden farklı davranır. Hatta düşük kil içeriğinden dolayı bu vitrikiye seramik çeşidi; ekstrüzyon, döner başlıkla şekillendirme metodu (Roller-Head), ram presleme (ram-pressing) gibi plastik şekillendirme teknikleriyle şekillendirilemez. Dolayısıyla bu tür seramikler uygun ilaveler kullanılarak toz presleme, asaltı döküm ve enjeksiyon kalıplama metodları ile şekillendirilebilir hale getirilmelidirler.

Bu projenin amacı; yeni geliştirilen vitrifiye seramiklerin, düşük kil içeriklerinde hazırlanan döküm çamuru süspansiyonlarının asfalt döküm metodu ile şekillendirilmesinde önemli olan reolojik davranışlarını tespit etmektir. Bu çalışma; İngiltere, Sheffield Üniversitesinde Ngah [1998] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmanın devamı niteliğindedir. O çalışmada sodyum karbonat ve sodyum silikat elektrolit malzemeleri kullanılarak seramik süspansiyonunun asfalt döküme elverişli hale getirilmesi çalışılmıştır. Ancak sonuçlar arzu edilen düzeyde değildir.

Ngah [1998] tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bilgiler ışığı altında, bu proje kapsamında yürütülen çalışmalar; homojen yük dağılımını sağlayacak ve asfalt döküm metodu ile şekillendirilmesi sırasında şekil verilen ürüne yeterince plastiklik ve yaş mukavemet sağlayacak şekilde seçilen elektrolit türleri ve organik bağlayıcıların döküm çamuru süspansiyonların reolojik davranışları üzerine etkilerinin incelenmesi ve farklı elektrolitlerin tasarlanan yapıda, arzu edilen özellikleri sağlayacak optimum miktarlarının belirlenmesidir.



2. TEORİK BİLGİ

2. 1. Asaltı Döküm Hakkında Genel Bilgiler

2. 1. 1. Giriş

Asaltı döküm; çok geniş bir aralıkta çeşitlilik gösteren seramik bazlı malzemelerin; özel olarak formüle edilerek hazırlanmış süspansiyonları veya asaltılarının kullanılmasıyla, karmaşık şekillerin üretiminde yaygın olarak kullanılan ekonomik bir şekillendirme prosesidir. Asaltı döküm prosesindeki kritik işlem aşamaları ve kontrol edilmesi gereken işlem parametrelerini içeren proses akım şeması Şekil 2.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Uygulama alanları; el sanatları eşyaları, porselen ve çini eşyalar, potalar, pekişmiş çiniler, filtreler, boru ve ısı motoru bileşenleri gibi ürünleri kapsayacak şekilde çok geniştir.

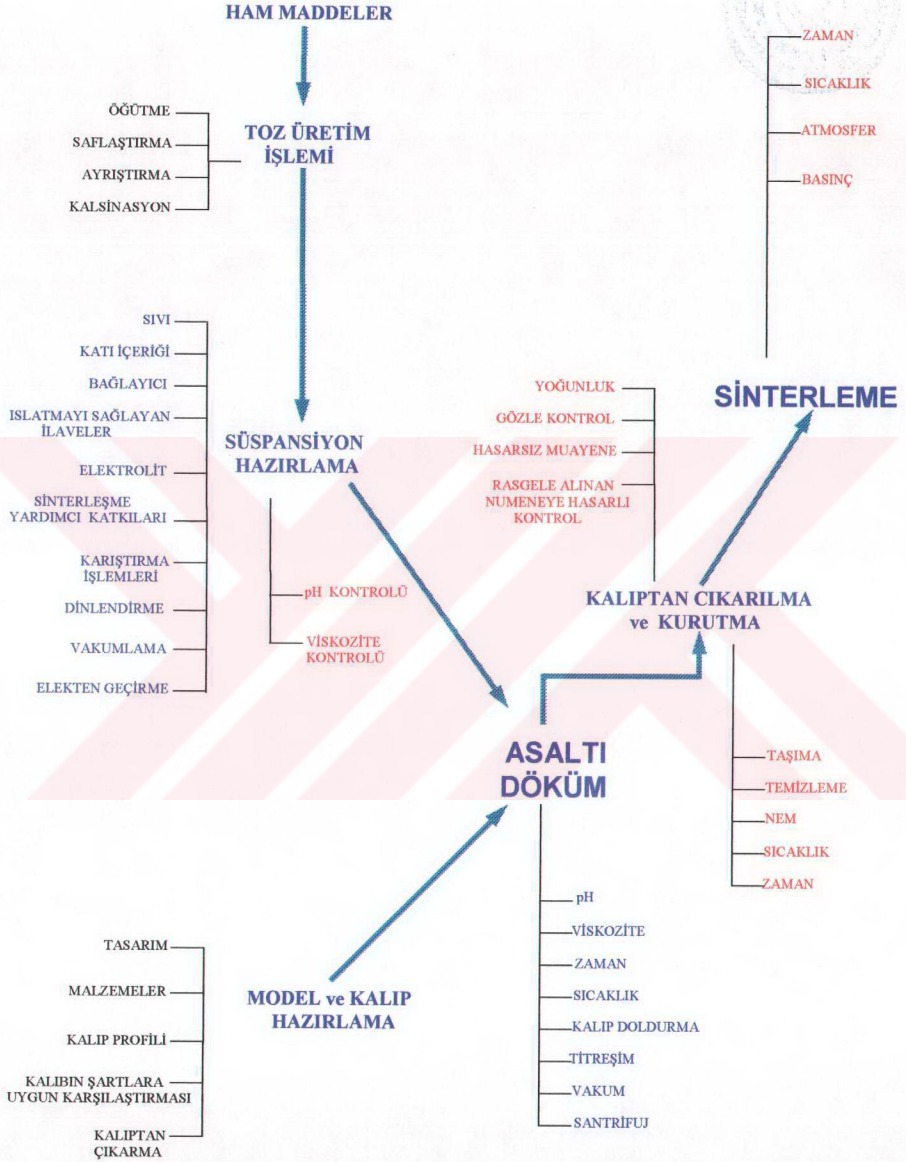
Asaltı dökümde; genellikle ince partiküllerin sudaki bir süspansiyonu şeklinde hazırlanan asaltı; belirli bir şekli içeren, su geçirimli ince gözeneklere sahip (genellikle alçı) kalıp içine pompalanır veya dökülür. Kalıbın özelliğinden kaynaklanan kılcal emiş gücü; asaltı ortamındaki sıvının filtre edilmesine ve böylece partiküllerin kalıp cidarlarında yoğun bir şekilde paketlenerek depolanmasına neden olur (Şekil 2.2). Arzu edilen döküm kalınlığına ulaştıktan sonra asaltının fazlası tekrar geri boşaltılır. Kalıp ve cidarlarında birikmiş olan seramik ürün şekli kurumaya bırakılır. Kuruyan seramik çekilme göstereceğinden alçı kalıptan kolaylıkla çıkarılır.

2. 1. 2. Asaltı Döküm Çeşitleri

Asaltı dökümün boşaltmalı, kütle, basınçlı, vakumlu, savurma döküm gibi çeşitleri vardır. Bunların herbiri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2. 1. 2. 1. Boşaltmalı Asaltı Döküm

En yaygın olarak kullanılan döküm yöntemidir. Bu yöntem; arzu edilen kalınlıkta bir döküm tabakasının sınırlı bir zaman sürecinde elde edilmesi için döküm yapılmasını içerir. Dökümden arta kalan döküm çamuru süspansiyonu sonuçta kalıptan boşaltılır. Bu türdeki bir dökümde şekil verilen ürünün iç ve dış yüzeyleri tamamıyla aynı şekle sahiptir.



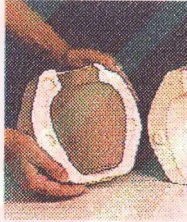
Şekil 2.1. Asfalt Döküm Prosesindeki Kritik İşlem Aşamaları ve Kontrol Edilmesi Gereken Parametreler.

AŞAMA 1 :

Döküm çamuru süspansiyonunun kalıba dökülmesi

AŞAMA 2 :

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra, fazla süspansiyonun kalıptan geri boşaltılması.

AŞAMA 3 :

Şekillendirilen üründeki suyun alçı kalıp gözenekleri tarafından emilerek, ürünün kuruyarak çekilmesi ve kalıptan çıkarılması.

AŞAMA 4 :

Şekillendirilen üründe oluşan kalıp ek yeri izlerinin temizlenmesi.

AŞAMA 5 :

Temizlenen ürünün sinterleme ısısı işlemi için fırına yerleştirilmesi.

Şekil 2.2 Asalt Döküm Yönteminin Aşamaları

2. 1. 2. 2. Kütle Döküm

Yaygın olarak kullanılan diğ r bir döküm yöntemidir. Boşaltmalı asaltı döküm yöntemine çok benzer. Bu dökümün diğ rinden farkı ise; kütle halinde bir döküm elde edilene kadar kalıp tarafından emilen su miktarını tamamlamak üzere döküm kalıbına sürekli olarak hazırlanan döküm çamuru süspansiyonu ilave edilir. Eđ r iki döküm yüzeyi kullanılıyorsa bu yüzeyler birbirinden farklı şekilde olabilir. Eđ r iki farklı yüzeyle sahip kalıp kullanılıyor ise bu durumda bu yüzeyler farklı şekillere sahip olabilirler.

2. 1. 2. 3. Basınçlı Döküm

Basınçlı döküm yönteminde gözeneklere sahip plastik türü veya alçı kalıplar kullanılır. Bu yöntem hem boşaltmalı döküm, hem de kütle döküm tipinde kullanılabilir. Döküm hızını arttırmak için hazırlanan döküm çamuru süspansiyonu basınçla sıkıştırılır. Bu yöntemin diğ r yöntemlere göre avantajı, döküm hızının yüksek olmasıdır. Ancak ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

2. 1. 2. 4. Vakumlu Döküm

Bu yöntem diğ rlerine oranla çok daha az yaygınlıkta kullanılan bir döküm yöntemidir. Vakumlu döküm yönteminde; hem boşaltmalı döküm, hem de kütle döküm tipinde kullanıldığında, döküm hızını arttırmak için kalıbın dış kısmına vakum uygulanır.

2. 1. 2. 5. Savurma (Santrifüj) Döküm

Savurma döküm yöntemi nispeten yeni geliştirilmiş bir metottur. Bu metotta kalıbın merkez eksenini etrafında hızlıca döndürülmesi; döküm kalınlığının arttırılması yönünde etkili olan büyük kuvvetleri meydana getirir. Bu metotta kullanılan kalıpların gözeneklere sahip olması gerekliliği yoktur. Kalıplar farklı metal ve plastik malzemelerinden imal edilebilirler [Schilling, 1991].

2. 2. Yüzey Kimyası ve Reolojisi

Asaltı döküm yönteminde partiküllerin yüzey kimyası, işleme etki eden önemli bir faktördür. Partikül yüzey kimyası; partiküller arası çekim ve itme

kuvvetlerini düzenler ve dolayısıyla bu kuvvetlerin belirli oranda dengede olması döküm çamuru süspansiyonunun reolojisi, döküm hızı ve mikroyapı gelişimi üzerine önemli etkileri vardır [Schilling, 1991].

2. 2. 1. Partiküller Arası Kuvvetler ve Reoloji

Seramik üretiminde yaygın olan bir akım; sinterlenme oranlarını arttırmak ve toz harman karışımlarında homojen bir karışım elde edilmesi ve boyut ölçeğinin giderek düşürülmesi için çok daha ince tane boyutlarında ($\leq 1 \mu\text{m}$) seramik tozlarının geliştirilmesidir.

Seramik partikülleri genellikle kolaylıkla polarize olabilen ve dolayısıyla topakların oluşmasına, partiküller arası güçlü çekim kuvvetlerinin doğmasına neden olan atomları içerirler. Oluşan topaklar; kompozisyon homojenliğinin sağlanmasında etkin olan boyut ölçeğinin düşürülmesi amacını olumsuz yönde etkiler ve dolayısıyla partiküllerin paketlenme yoğunluk derecesinde yönlerle bağlı olan değişimler meydana getirirler. Bu tür değişimler; sinterleme ısı işlemi sırasında büyük boyutlu gözeneklerin gelişmesine neden olabilirler. Bu da seramik ürünün kırılma tokluğu ve mukavemet değerini düşürür. Topakların oluşumu; söz konusu seramik tozlarının, partikül yüzeyine adsorplanarak parçacıklar arasında itme kuvvetleri meydana getiren iyonların veya polimerlerin çözündürüldüğü bir sıvı içerisinde karıştırılması ile ortadan kaldırılabılır.

Asaltı dökümde partiküllerin sıvı içindeki dağılımını etkilemek için en yaygın olarak kullanılan metot; iyonların partikül yüzeyine adsorplanmasıdır. Bu metot; birbirine zıt yüklerle yüklenmiş yüzeylerin varlığından dolayı her bir partikülü çevreleyen çözünmüş iyonların "**çifte difüze katmanının**" kendi kendine hemen oluşmasını sağlar. Bu olay; "**elektrostatik dengeleme**" olarak adlandırılır. Polimer moleküllerin adsorpsiyonu; ya nötr (sterik dengeleme) veya elektrik yükü ile yüklenmiş (elektrostatik dengeleme) polimerler süspansiyonda çözündüğü zaman meydana gelebilir. Bir itme kuvveti; her zaman mevcut olan ve partiküllerin topaklanmasına neden olan Van der Waals çekim kuvvetlerini engellemek için gereklidir. Tamamı ile defloküle olmuş bir asaltıda uzun mesafe aralığında bütün partiküller birbirlerini iterler. Kısa mesafe aralığında ise; partiküllerin topaklaşmayı

oluşturmak üzere bir araya gelebilmeleri için aşmaları gereken bir enerji engeli vardır. Akış sırasında ise; partiküller kolaylıkla birbirlerini geçer şekilde hareket ederler ve dolayısıyla herhangi bir akma gerilimi yoktur. Asaltı; çok yüksek katı konsantrasyonları içermesi durumu hariç bir Newtonyan sıvı gibi davranır. Kayma gerinim oranı; $\dot{\gamma}$, ile sabit olan bir viskozite; η , tanımlanabilir.

Floküle olmuş bir asaltıda ise, partiküller birbirlerine değer durumdadırlar. Tabaka şeklindeki kil taneciklerin kenarları; diğer kil tabakaların kenarları ile veya geniş düzlem yüzeyleri ile "**kartlardan oluşmuş ev**" yapısını oluşturmak üzere bağ kurabilirler. Bu durum; partiküllerin çok açık şekilde (boşluk miktarı fazla) ve zayıfça paketlenmiş yapısını temsil eder. Bir asaltının akışkan hale getirilebilmesi için bu yapının bozulması gerekir. Bu da; kritik bir değerden, τ_c , daha büyük bir kayma geriliminin uygulanmasını gerektirir. Yapının sürekli olarak bu şekilde bozulup tekrar oluşumunu içeren akışkanlık davranışı "**Bingham sıvısı**" olarak tanımlanır.

Asaltılar için çok geniş bir aralıktaki değişik reolojik özellikler ve dökümle üretilmiş tabakalar için değişik mikroyapılar; yukarıdaki dengeleme tekniklerin kullanılması ile verilen herhangi bir seramik toz sisteminden üretilir. Genel olarak; düşük partikül konsantrasyonlarındaki Newtonyan tipinde (viskozitenin kayma oranından bağımsız olması) reolojik davranış sergileyen derişik süspansiyonlar; partiküller arası itme kuvvetinin oluşumu ile sonuçlanır. Yüksek katı konsantrasyonlarında ise; süspansiyonlar dilatan hale (viskozitenin kayma oranına bağlı olarak artması) gelirler. Çünkü görünür hacim; birbirleriyle çok yakın şekilde dizilmiş olan partiküllerin birbirlerini geçip akmasına izin verecek şekilde kaymaya bağlı olarak artmalıdır. Derişik asaltılar genelde yavaş döküm hızı ile sonuçlanırlar. Çünkü; yüksek yoğunlukta paketlenmiş döküm parçaları, düşük geçirgenliğe sahiptir. Buna karşın, floküle olmuş asaltılarda ise partiküller arası çekim kuvvetleri meydana gelir ve asaltılar hacimce %10-20 katı konsantrasyonların üzerinde aşırı derecede viskoz hale gelir [Schilling, 1991].

Genel olarak floküle olmuş asaltılar psöydoplastik (viskozitenin kayma oranının artması ile azalması), tiksotropik (zaman-bağımlı gelişen yapısal

büyüme) reolojik davranış sergilerler. Döküm hızı oranları genellikle yüksektir. Çünkü, döküm katmanları tipik olarak gözenekli ve geçirgendirler.

2. 2. Deflokülasyonun Kimyası

Döküm çamuru süspansiyonları; parçacıkların çoğunun tane boyutunun 1 μm 'den daha büyük olmasına rağmen sıvı içinde güçlükle dağıtılabilen (liyofobik) nitelikteki kolloidlerdir. Bu 1 μm 'lik tane boyutu; normalde kolloidler için olan tane boyutunun üst sınırı olduğu düşünülür. Kolloidler en iyi şekilde, özelliklerin katı parçacıkları ile onları çevreleyen sıvı arasındaki arayüzey ile kontrol edildiği sistemler olarak tanımlanırlar. Bu tanıma göre döküm çamuru süspansiyonları birer kolloidtirler.

Bir sıvı içinde asaltı durumunda tutulan tozlar eğer karşılıklı olarak birbirlerini iten elektriksel yükü yüklü çift tabakalar oluşturarak, ya da adsorbe edilen moleküllerin sterik engellemesi nedeniyle parçacıkların fiziksel olarak birbirine yaklaşması engellenerek uygun bir şekilde defloküle edilmemişler ise kendiliğinden topaklaşırlar.

Defloküle olmuş döküm çamuru süspansiyonları, diğer kararlı hale getirilmiş veya jelleşmiş liyofobik kolloidlerdeki gibi kutupsal bir sıvı içinde dağıtılmış her bir parçacık etrafında bir elektriksel çift katmanı meydana gelir. Bu parçacıklar arasında itici bir kuvvetin doğmasına neden olur. Bu itici kuvvet; parçacıkların birbirine değmesi durumunda maksimum düzeyde iken, parçacıklar arasındaki mesafe arttıkça azalır.

Aynı zamanda parçacıklar arasında London-Van der Waals kuvvetlerinden doğan bir çekim kuvveti de vardır. Bir kolloidin kararlılığı, elektriksel çift tabakasından dolayı meydana gelen itici kuvvetin; London-Van der Waals kuvvetlerinin hakim kuvvet haline gelmesini sağlayacak şekilde parçacıkların birbirine yaklaşmasını engelleyecek kadar yeterince büyük olması ile başılır. Elektriksel çift katmanı; asaltı döküm için optimum şartları verecek şekilde uygun elektrolitlerin (potansiyeli belirleyen iyonlar ve karşı gelen dengeleyen iyonlar) ilavesi ile değişime uğratılabilir. Bunlar aynı zamanda aglomerasyonu engelleyecek yeterli bir itici kuvveti korur iken

maksimum parçacık paketlenmesine izin verecek şekilde elektriksel çift tabakasının kalınlığını baskı altında tutarlar.

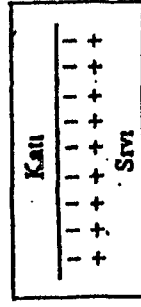
2. 2. 2. 1. Kil Olmayan Tozların Fiziksel Kimyası

Seramik döküm çamuru süspansiyonlarında yaygın olarak kullanılan kil olmayan malzemeler silisçe, feldispatlar ve değişik refrakter nitelikteki oksitlerdir. Çok ender de olsa özel döküm çamuru formülasyonları talkı içerebilir.

Kil olmayan değişik tozlar su içinde dağıtıldıkları zaman bunun birkaç etkisi olabilir. Genelde oksitler hidrate olmuş bir yüzey geliştirirler (MgO ve CaO durumlarında oksit tamamıyla hidroksit hidrate olabilir). Bu yüzeyler pH'a bağlı olarak nötr, pozitif veya negatif olabilir. Her bir oksit; hidrate olmuş yüzeyinin nötr olduğu bazı özel pH değerine sahiptir. Feldispatlar ise genelde suya alkali iyonları salarlar ve negatif bir yüzey geliştirirler. Talk ise tamamıyla nötrdür ve suda hemen ıslatılmazken diğer yaygın tüm kil olmayan seramik tozları suyu kuvvetlice adsorbe ederler.

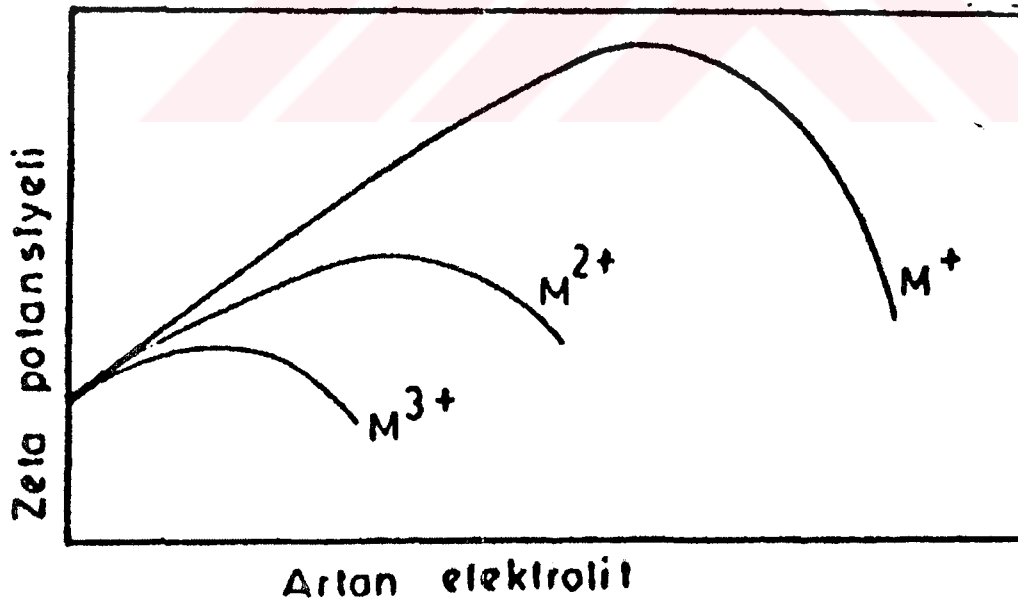
2. 2. 2. 2. Seramik Killerinin Fiziksel Kimyası

Katyonlar (Si^{+4} , Al^{+3} , Mg^{+2} ve diğerleri) ve anyonlardan (O^{-2} ve OH^{-1}) oluşup kil mineralleri köşe, kenar ve yüzeylerinde kırık bağlar mevcuttur. Öğütme sırasında yüzey alanları artarken kırık bağların sayısı da artmaktadır. Kil-su süspansiyonları üzerine yapılan çalışmalar, sudaki OH^{-} iyonlarının kil parçacığının serbest yüzeyi tarafından adsorbe edildiğini, böylece kil taneciklerinin negatif yüklü hale geldiğini ve bu yükün süspansiyon içerisindeki katyonların çekme eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bunun sonucu olarak partikülün hemen yakınında ve partikülü çevreleyen su ortamında pozitif yük bakımından zenginlik olmakta ve böylece yüzey yükü karşıt yüklerle dengelenerek elektriksel nötrlük ve dolayısıyla deflokülasyon sağlanmaktadır. Kil taneciklerinin süspansiyon içerisindeki davranışları Helmholtz çift tabaka teorisi ile açıklanabilmektedir [Grimshaw, 1971] (Şekil 2. 3).



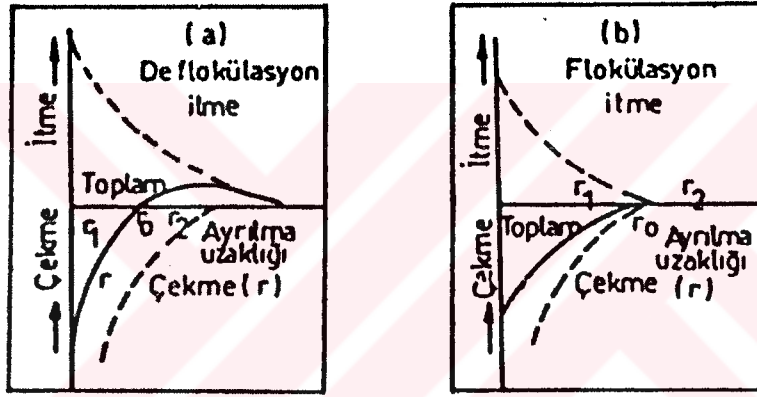
Şekil 2.3. Helmholtz Çift Tabakası [Grimshaw, 1971]

Zeta potansiyeli kil-su sistemlerinin kararlılığını belirleyen en önemli faktördür. H^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} gibi katyonlar ve diğer çok yüklü katyonlar. Helmholtz çift tabakada kuvvetle adsorbe olurlar. Bu yüzden tabakalar arası mesafe etkin değeri küçük, buna bağlı olarak zeta potansiyeli küçüktür. Na^+ , Li^+ ve K^+ gibi tek değerli alkali iyonların difüz tabakada kalma oranı daha büyüktür ve bu yüzden tabakalar arası mesafe büyük, dolayısıyla da zeta potansiyeli büyüktür. Buna göre Na^+ , Li^+ ve K^+ gibi tek değerli katyonlar deflokülasyona, Ca^{+2} , Mg^{+2} gibi çift değerli katyonlar flokülasyona sebep olurlar [Worrall, 1986] (Şekil 2. 4).



Şekil 2. 4 Farklı Yüklerdeki Katyonların Zeta Potansiyelleri [Grimshaw, 1971].

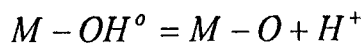
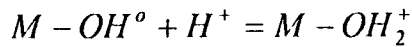
Kil taneciklerinin elektriksel olarak yüklü olması sonucu taneciklerin birbirlerini itme ve çekmeleri yanında, yüzeye yakın atomların çekirdek ve elektronlarının titreşmesi sonucunda oluşan geçici dipoller, Van der Waals tipi çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Partiküller arasındaki bu elektrostatik etkileşim ve Van der Waals kuvvetlerinin çekimi gibi etkenlerle sistemin akışkanlığı bir süre sonra azaltmakta ve sistemde flokülasyon gözlenmektedir. Ayrıca, statik elektrik alanına sahip olan küçük kil partikülleri de elektriksel iletkenlikleri olmayan floklar halinde bulunmaktadır. Teknolojik bakımdan sakıncalı bu durumu önlemek için ortalama uygun bir elektrolitin ilave edilmesi gerekmektedir [Norton, 1974; Singer and Singer, 1979] (Şekil 2. 5).



Şekil 2. 5 a) Deflokülasyon b) Flokülasyon [Güvenç, 1997].

2. 2. 3. Elektrostatik Dengeleme

Elektrostatik dengeleme; partiküller, çözeltideki karşıt iyonlarca dengelenmiş yüzey yükleri taşıyan bir sulu ortamda asılı kalmasıyla oluşur. Örneğin; oksitler aşağıdaki yüzey hidroksil reaksiyonları ile belirlenen yüzey yüklerini taşırlar.



Burada M, yüzey katyonudur (örneğin; Al, Si).

Net pozitif yüzey yükleri düşük pH değerlerinde ve net negatif yüzey yükleri de yüksek pH değerlerinde oluşur. İzoelektrik nokta; net yüzey yükünün sıfır olduğu pH değeridir. Aynı zamanda verilen bir pH değerinde net yüzey yükü de, değerlik durumuna ve hidroksillere bağlı olan yüzey katyonlarının nüfuz yoğunluğuna bağlıdır.

İki partikül arasında oluşan yüzey kuvvetleri hakkındaki teoriler çok iyi düzeyde geliştirilmiştir. Çifte katman teorisi; iki partikül arasında, partiküllerin kendi elektriksel çifte katmanlarının birbirini örtmesinden dolayı açığa çıkan elektrostatik itme kuvvetini tanımlar.

Elektriksel potansiyel, zeta potansiyeli (elektrokinetik potansiyel),

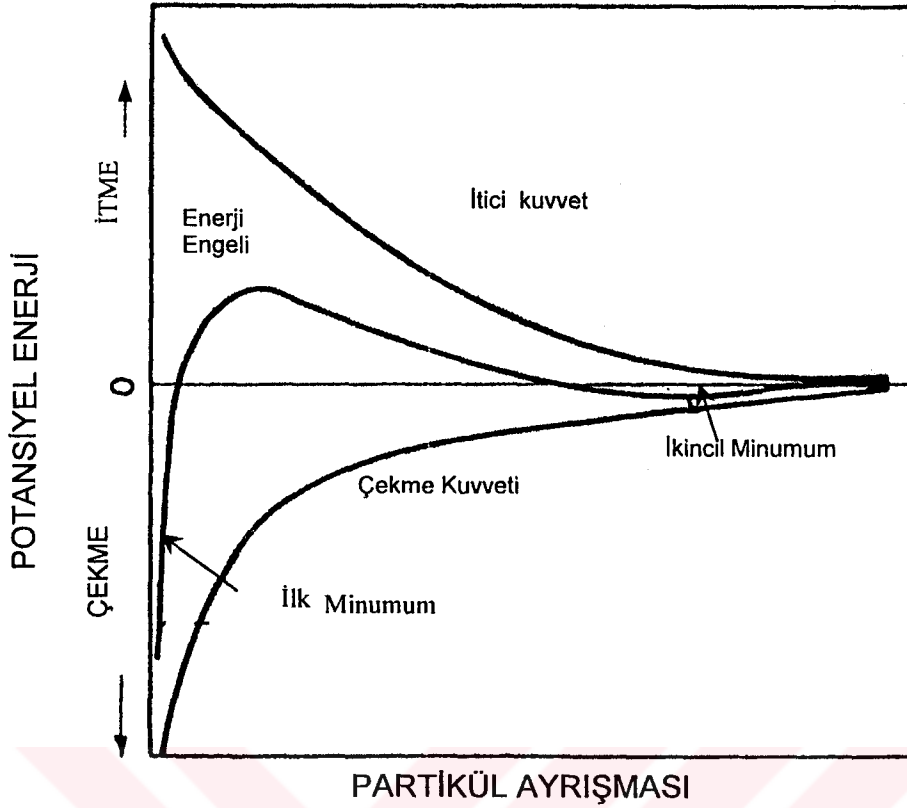
$$\xi = 4\sigma\pi.d/D$$

formülü ile elde edilir.

Bu eşitlikteki, σ , partikülde birim alan başına düşen elektriksel yük miktarı, d ; pozitif ve negatif katmanlar arasındaki etkin uzaklık, D ; partikülü çevreleyen ortam sıvısının (su) dielektrik sabitini temsil eder.

Zeta potansiyeli, net yüzey yüküne veya çifte katmanın kalınlığına bağlıdır. İzoelektrik noktada zeta potansiyeli sıfırdır ve asitlik derecesi daha yüksek ortamda maksimum değere ve baziklik derecesi daha yüksek ortamda da minimum değerine ulaşır.

Reolojik davranışları yorumlamak için kullanılan önemli bir araç; küresel partiküller arasındaki ayrışmanın bir fonksiyonu olan U_A ve U_R değerlerinin grafik gösterimi olan çift katmanların etkileşim diyagramıdır. Şekil 2.6'da görülen bu diyagram; verilen bir partikül-akışkan sistemi için kritik bir zeta potansiyel değeri ve U_R 'nin U_A 'yı aşarak topaklaşmaya karşı bir enerji engeli oluşturan çifte katmanının bir kalınlık aralığının var olduğunu gösterir.



Şekil 2.6. Elektriksel Çifte Katmanlı İki Partikülün Etkileşiminin Potansiyel Enerjisi [Reed, 1988]

İtme kuvveti; iki adet elektriksel çifte katmanının birbiriyle etkileşmesiyle doğar. İtme kuvvetinin şekli; partiküllerin şekli ve boyutuna, partiküllerin yüzeyleri arasındaki mesafeye; h , çifte katmanın kalınlığına; κ^{-1} ve ortam sıvısının dielektrik sabitine; ϵ_r bağlıdır. a , yarıçapına sahip 2 adet küresel şekilli partiküller için itme kuvvetinin potansiyel enerjisi;

$$U_R = \frac{\epsilon_r a^2 \psi_o^2}{4(h+a)} \exp\left(-\frac{h}{\kappa^{-1}}\right)$$

$\kappa a \ll 1$ olduğu zaman, yani; küçük boyutlu partiküllerin nispeten kalın çifte katmanına sahip olması durumudur. Daha yüksek bir değerdeki yüzey potansiyeli ve çifte katman kalınlığı itme kuvvetini artırır. $\kappa a \gg 1$ olduğu durumlar için;

$$U_R = \frac{\epsilon_r a \psi_o^2}{4} \ln \left(1 + \exp \left(- \left(\frac{h}{\kappa^{-1}} \right) \right) \right)$$

formülasyonu kullanılır.

Toplam potansiyel enerjisi U_T : çekim kuvvetlerin potansiyel enerjileri; U_A ile itme kuvvetlerinin potansiyel enerjilerinin; U_R aritmetik toplamıdır.

$$U_T = U_A + U_R$$

U_A , U_R ve U_T değerinin küresel şekilli partiküllerin ayrışması üzerine bağımlılığı Şekil 2. 6'da gösterilmiştir. Her bir sistem için bazı kritik zeta potansiyel ve çifte katman kalınlık aralığı vardır. Bu katman kalınlığı için; itme kuvveti, potansiyel enerjisi flokülasyona engel olacak bir enerji engeli oluşturacak şekilde çekme kuvvetlerin potansiyel enerjisini aşar.

2. 2. 4. Polimerik Dengeleme (Sterik ve Elektrosterik Dengeleme)

Partiküller arası itme kuvvetlerini üretmek için iyonik olmayan yüzey aktif maddelerin veya polimerlerin absorpsiyonu kullanılabilir. Partiküller birbirine çok yaklaştığı zaman katmanlar üst üste çakışır ve partikülleri birbirlerinden uzaklaştıran ozmatik basınç (sterik engel) meydana gelir.

Polimer molekülleri elektrik yükü ile yüklendiğinde, itme kuvveti, aynı zamanda moleküller üzerindeki elektrik yüklerinden de kaynaklanabilir. Bu olay "elektrosterik itme" olarak adlandırılır. Tipik olarak kullanılan dağıtıcılar; polietilen oksitler, poliakrilik asitler, polimetakrilik asitler, polivinil alkol, polivinil bütiraller, poliakrilamidler, alginatlar ve selüloz kökenli polimerleri içerirler. Elektrosterik itme kuvvetinin önemli bir yönü, polielektrolitlerin (elektrik yükü ile yüklü makromoleküller) çözülme davranışı ve bunun sonuçta süspansiyon viskozitesi üzerine olan etkileri ile ilgili

olmasıdır. Solvent (çözücü) durumuna bağlı olarak (pH ve iyonik mukavemet) çözünen (COO^-) bu süspansiyon moleküllerin bir kısmı değişecektir.

2. 3. Döküm Mekanizması

Döküm; filtre presleme tekniğinde olduğu gibi sistemdeki suyu giderme işlemidir, fakat çok daha karmaşıktır. Çünkü; döküm kalıbı suyun uzaklaştırılmasındaki "emme kuvvetini" sağlar ve bir döküm kalıbı suyun akışına karşı filtre bezinden çok daha yüksek bir dirence sahiptir.

Döküm katmanı ile kalıp yüzeyi sınırındaki basınç; yaklaşık olarak kılcal emme basıncına; P_e 'ye eşittir.

$$P = S \cdot \sigma \cdot \cos \gamma$$

Bu eşitlikteki, S ; kalıbın özgül yüzey alanı, σ ; suyun yüzey gerilimi, γ ; temas açısı (döküm kalıbı tamamen su ile ıslatıldığından $\cos \gamma = 1$) dır.

Alçı kalıp içindeki su için kılcal emme gücü 0,03 ve 0,1 MPa arasında değişir. Asfaltı döküm metodu; döküm katmanı ve döküm kalıbının hidrolik direncinden kaynaklanan, döküm oranı (hızı) üzerindeki sınırlamalar nedeniyle genellikle ince kalınlığa sahip olan ürünlerin (maksimum kalınlık yaklaşık 15 mm) üretimini sınırlıdır.

Proses parametrelerinin döküm oranı üzerine etkileri, bir filtrasyon kinetiği modelinin kullanılması ile açıklanabilir. Bu modelde; homojen bir kesit alanına sahip basınçla sıkıştırılmaz nitelikte bir kek baz alınmıştır.

$$\xi_c = (\xi_s^o - \xi_s) / n = - \epsilon_m \xi_m / n$$

$$= \left[\frac{2Pt}{n \cdot \eta \cdot \epsilon_m (n \alpha_m + \alpha_c)} \right]^{1/2}$$

$$n = \frac{1 - c - \epsilon_c}{c}$$

Bu eşitlikteki, t ; zamanı, P ; filtrasyonu etkileyen toplam basıncı, ξ_c ; kalıpta döküm çamurunun oluşturduğu döküm katman kalınlığını, ξ_s ; filtrasyon sırasındaki süspansiyon-hava ara yüzeyinin pozisyonunu, ξ_s^0 ; $t = 0$ zamanında süspansiyon-hava ara yüzeyinin pozisyonunu, ξ_m ; kalıp içindeki filtrasyon-hava ara yüzeyinin pozisyonunu, η ; viskozite değerini, n ; kütle denge faktörünü, ϵ_m ve ϵ_c ; sırasıyla döküm kalıbının (m) ve döküm katmanının (c) boşluk oranını, α_m ve α_c ; sırasıyla döküm kalıbının (m) ve döküm katmanının (c) özgül hidrolik direncini (geçirgenliğin tersi) temsil eder.

Yukarıdaki eşitlikler; döküm hızı oranındaki artışın ϵ_m , ϵ_c ve α_c nin değerlerindeki azalmanın ve bunun yanında P , c değerlerinin artmasının bir sonucu olduğunu ortaya koyarlar. Alçı kalıplar tipik olarak büyük gözeneklere (poroziteye) sahiptirler ve bu yüzden de düşük α_m değerlerine sahip olurlar. Toplam akış direnci; genellikle tipik döküm katmanlarının yüksek paketlenme yoğunluk değerinden kaynaklanan çok daha büyük değerlerdeki α_c tarafından kontrol edilirler.

Deneyssel olarak döküm katmanının kalınlığı; ξ_c , düz bir doğru verecek şekilde $t^{1/2}$ bir fonksiyonu olarak grafikleştirilir. Bu doğru; yukarıdaki eşitliklerdeki mikroyapı ile ilişkili parametrelerin sürekliliğine işaret eder.

Doğrusallıktan ve dolayısıyla homojenlikten olacak olası sapmalar; ya süspansiyonun tortu olarak taban katmanına çökmesine neden olan yüksek değerlerde oluşan akışkanlığın (ki buda oluşan topaklar nedeniyledir) varlığından dolayı veya zamana bağlı olarak gelişen süspansiyonun flokülasyonu, α_c değerindeki değişiklikler nedeniyle meydana gelir. Aynı zamanda; bir döküm katmanının en üst yüzeyinde en düşük değere sahip olup döküm katmanının en alt tabakasına doğru maksimum değerine ulaşan etkin gerilim değerinin bölgesel olarak değişmesi nedeniyle, paketlenme yoğunluğu; verilen bir döküm katmanı kesiti boyunca değişebilir. Floküle olmuş asaltılar için bu durum; kalıp döküm katmanı ara yüzeyinde bölgesel olarak sıkıca paketlenme durumu ile sonuçlanabilir.



2. 4. Asaltı Döküm İçin Gerekli Olan Şartlar

İyi döküm elde edilebilmesi için döküm çamuru süspansiyonunun şu özelliklere sahip olmalıdır [Messer, 1992].

1. Döküm çamuru süspansiyonu kalıplarının en ince detaylarını dolduracak şekilde dökülebilir nitelikte, diğer bir deyişle; düşük viskozitede olmalıdır.
2. Döküm işlemi sırasında döküm çamurundaki kaba taneli partiküller dibe çökmemelidir. Diğer bir deyişle; döküm çamurunun yoğunluğu ve akma gerilimi sedimantasyonu engelleyebilecek şekilde yeterince yüksek olmalıdır.
3. Döküm çamuru süspansiyonu yüksek bir döküm hızına sahip olmalıdır. Fakat işlem kontrolünü güçleştirecek şekilde de çok yüksek olmamalıdır. Bu da, döküm hızını maksimum düzeye çıkarmak üzere; hacimce %60'a kadar varan bir katı konsantrasyonlarını gerektirir.
4. Boşaltmalı döküm tekniğinde; oluşan döküm katmanı ile döküm çamuru süspansiyonu arasında kesin bir sınır olmalıdır.
5. Boşaltmalı döküm tekniğinde; döküm işlemi bittikten sonra arta kalan döküm çamuru süspansiyonun herhangi bir istenmeyen duruma neden olmaması için iyi bir şekilde kalıptan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu da, döküm katmanı ile döküm çamuru süspansiyonu arasında akışkanlık davranışında belirgin bir değişimin olmasını gerektirir. Söz konusu akışkanlık davranışı; döküm katmanının ve döküm çamuru süspansiyonunun döküm sırasında sürekli değişen sıvı içeriğinden etkilenir.
6. Bir döküm çamuru süspansiyonu; kurutma işlemi homojen olmadığından dolayı kurutma işlemi sırasında olası çarpılma ve kırılma eğilimlerini azaltmak için düşük oranda kuruma çekilmeleri oluşturacak bir döküm katmanı üretmelidir.
7. Döküm çamuru süspansiyonu verilen şekli koruyabilen ve yüksek bir yaş mukavemete sahip döküm üretmelidir.

8. Döküm çamuru süspansiyonu hava kabarcıkları içermemelidir. Çünkü; bu hava kabarcıklarının patlaması ile yüzeyde farklı boyutlarda kraterlerin (pin holes) ve döküm yapısı içinde boşlukların oluşmasına neden olur.
9. Döküm çamuru süspansiyonu, yukarıda verilen birinci madde ile uyumlu olacak şekilde; kalıpların kurutulması için gerekli olan enerji miktarını ve zamanı azaltmak için mümkün olduğunca yüksek oranda katı içeriğine (veya az miktarda su) sahip olmalıdır.

2. 5. Asaltı Dökümde Döküm Davranışı

Tamamen defloküle olmuş döküm çamuru süspansiyonu yüzyüze paketlenmiş tabaka şekilli kil katmanları ile yüksek yoğunlukta bir döküm katmanı üretir. Kalıp yüzeyinde; kil tabakaları kendilerinin geniş düzlem yüzeyleri kalıp yüzeyine paralel konumda olacak şekilde düzölme eğilimindedirler. Bu şekildeki döküm katmanı düşük bir geçirgenliğe sahiptir ve bu nedenle döküm hızı yavaştır. Ancak; elde edilen döküm şeklini korur niteliktedir ve döküm çamuru süspansiyonu düşük viskozite değerine (herhangi bir akma gerilimi yok) sahiptir. Dolayısıyla; döküm işleminden sonra arta kalan döküm çamuru süspansiyonunun kalıptan geri boşaltması sırasında çamur süspansiyonu döküm katmanına herhangi bir zarar vermeden kolaylıkla kalıptan boşaltılır. Defloküle olmuş döküm çamuru süspansiyonu; kaba taneli partiküllerin çökmesini engelleyecek partikül-partikül dizilim yapısına sahip değildir. Fakat bu olumsuz durum; döküm hızına arttırıcı etki yapan katı içeriğinin artırılmasıyla kısmen ortadan kaldırılabilir. Döküm çamuru süspansiyonundaki partikül boyut dağılımı; döküm katmanının paketlenme yoğunluğunu ve dolayısıyla kuruma çekilmesini etkileyen önemli bir rol oynar.

Aşırı derecede floküle olmuş döküm çamuru süspansiyonları; kil partiküllerinin "kartonlardan oluşmuş ev" yapısının oluşturduğu açık (geçirimli) yapıya sahip döküm katmanları oluştururlar. Dolayısıyla döküm katmanı çok daha gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahiptir. Döküm katmanının kalınlığı zamana bağlı olarak hızla artar. Kaba taneli partiküllerin

çökmesi döküm çamuru süspansiyonundaki floküle olmuş kil yapısı nedeniyle engellenir. Fakat benzer olarak; küçük boyutlu hava kabarcıkları sistemden uzaklaşmak için killerin oluşturduğu bağ yapısını bozamaz ve bu yüzden döküm katmanı içerisinde gözenekler oluştururlar. Döküm bittikten sonra arta kalan döküm çamuru süspansiyonu; döküm katmanı ile döküm çamuru süspansiyonu benzer yapıda olduklarından kalıptan boşalma sırasında verilen döküm katmanı şekline zarar verir ve şeklin bozulmasında dolayısıyla döküm işlerinin hatalı olmasına neden olur.

En ideal sonuçların elde edilmesi bir tür ödün verme işlemi ile sağlanır. Genelde vitrifiye seramik döküm çamuru süspansiyonları kısmi olarak defloküle edilmiştir ve çalışma aralığındaki viskozite değeri; döküm çamuru süspansiyonunun katı içerikleri için mümkün olan en düşük değerinden daha yüksektir.

Döküm işlemi sırasında ortamdan az miktarda suyun uzaklaştırılması; döküm çamuru süspansiyonunun mutlak viskozite değerinde ve döküm katmanının mutlak akma mukavemeti değerinde bir artışa neden olur. Kısmi defloküle olmuş döküm çamuru süspansiyonu topaklar (aglomeralar) içerir. Bu topaklar; kontrollü bir tane boyutunda ve katı içeriğinde olmalıdırlar. Dökümden sonraki kalıp ek yeri izlerinin giderilmesi işlemi, taşıma, kurutma ve yüzey bitirme işlemleri sırasında şekil bozulmalarının ve kırılmalarının önlenmesi için verilen şekli koruma, yoğunluk ve plastiklik arasında bir dengeye sahip bir döküm arzu edilir.

Farklı miktarlardaki katı içeriklerinde, farklı partikül boyut dağılımında ve farklı miktarda elektrolit içeriklerinde hazırlanmış döküm çamuru süspansiyonlarının (defloküle olmuş) reolojik davranışları üzerine etkilerini net bir şekilde gösterimi; döküm katmanının yaş haldeki yoğunluk değeri ve döküm katman kalınlığının artış oranıdır

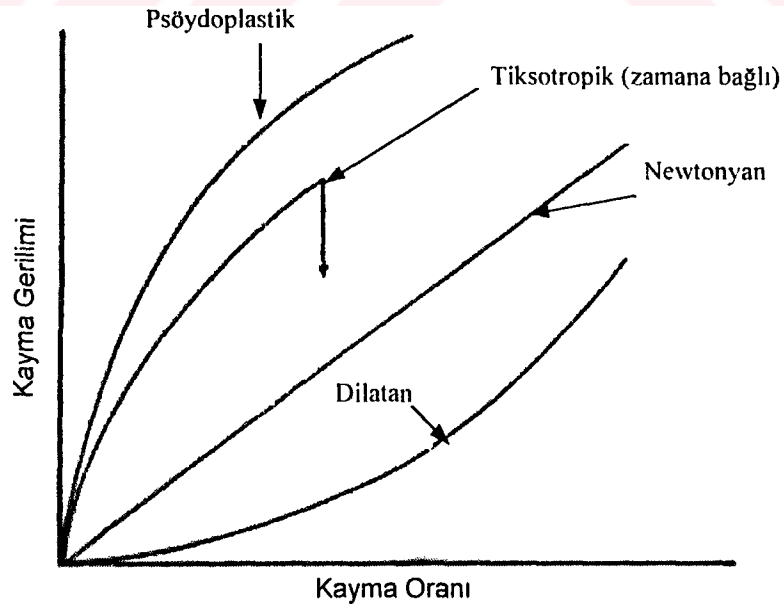
Basnett [1987] tabakamsı yapıya sahip partiküllerin döküm çamuru süspansiyonunun özellikleri ve döküm karakteristikleri üzerine olan etkisinin önemini ifade etmiştir. Partiküllerin; döküm çamuru süspansiyonu akışını da içeren herhangi bir işlem ile, özellikle de süspansiyon ve döküm katmanı

arasındaki ara yüzeyde tercihli olarak yönelerek dizilme kabiliyeti; akışkanlık oranı ve akış yönünün yanında döküm çamurunun reolojik özelliklerine de bağlıdır.

2. 6. Reolojik Özellikler

Reoloji; maddelerin; elastiklik, viskozite ve plastiklik özelliğine neden olacak türde, şeklindeki ve akışkanlığındaki değişikliklerin çalışılması olarak tanımlanır. Reolojik özelliklerin ölçülmesi; asfaltı döküm sistemlerinin çalışılmasındaki en faydalı metotlardır. Reolojik özellikler; kayma oranı değiştirme kabiliyetine sahip herhangi bir viskometre cihazı kullanılarak ölçülebilir. Döküm çamuru süspansiyonlarının karıştırılması ve dökümü sırasında kayma oranları genelde düşük olduğundan ölçüm için nispeten düşük düzeydeki kayma oranları yeterlidir. Döküm çamuru süspansiyonunun mutlak viskozite değeri; potansiyel belirleyen iyonun ve karşıt gelen iyonun optimum konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılabilir.

Viskozite ölçümlerinde elde edilebilecek akışkanlık eğri tipleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Bu eğrilerden herhangi biri için viskozite değeri;



Şekil 2. 7 Akışkanlık Eğri Tipleri

akışkanlık eğrisinin belirlenen herhangi bir noktasında, eğrinin eğiminin alınması ile belirlenir. **“Mutlak Viskozite Değeri”**; akışkanlık eğrisi üzerinde belirlenen herhangi bir noktayı başlangıç noktasına birleştiren doğrunun eğimidir. Newtonyan tipte akışkanlık gösteren bir sistemin viskozitesi sabittir. Ve kayma oranından bağımsızdır. Bir psöydoplastik sistem ise kayma oranının artmasına bağlı olarak viskozitesinde bir düşüşün meydana geldiği sistemdir. Bir plastik sistem ise bir akma gerilimi değerine sahiptir ve bu gerilim değerinin altında herhangi bir akışkanlığı meydana gelmez. Akma geriliminin üzerinde ise plastik sistem; ya sabit bir viskozite değerine, ya da kayma oranının artmasına bağlı olarak azalan viskozite davranışına sahiptir. Dilatan davranış ise psöydoplastik davranışın tamamen zıttıdır. Dilatan sistemlerde viskozite artan kayma oranına bağlı olarak artar.

Tiksotropi; zamana bağlı bir etkidir. Tiksotropik bir sistemde mutlak viskozite değeri; eğer sistem sabit bir kayma oranı altında tutulursa azalacaktır. Eğer kayma işlemi ortadan kaldırılır ve sistemin kendi halinde belirli bir süre bırakılmasına izin verilirse orijinal akma eğrisi tekrar elde edilir. Tiksotropi genelde kayma sırasında; bazı yapısal düzenlemelerin bozuma uğramasının ve kayma oranının azaltılması veya sistemin kendi haline bırakılması durumunda aynı yapısal düzenlemelerin tekrar oluşmasının bir sonucudur.

Derişik hale getirilmiş kararlı süspansiyonlar; köşeli yapıya sahip partiküllerde yüksek genişlik/kalınlık oranına sahip partikülleri içeren süspansiyonlar veya çok yüksek kayma oranları hariç, genelde Newtonyan davranış gösterirler. Asfaltı döküm sistemlerinde yüksek katı içeriğindeki süspansiyonlar deflokülasyon ile elde edilebilir. Döküm çamuru süspansiyonuna kayma işlemi uygulandığı zaman akışkanlık; sadece eğer partiküller arasında nispi bir hareket varsa meydana gelir. Birbirini geçerek hareket eden parçacıklar için partiküller arasındaki ayrışma mesafesi geçici olarak düşürülmelidir. Partiküller arasındaki ayrışma mesafesinin düşürülmesi; elektriksel çifte katmanının itici kuvvetlerini aşacak bir enerjiyi gerektirir. Kayma oranının arttırılması ile beraber partiküller aralarında daha

az ayrışma mesafesi kalacak şekilde zorlanırlar ve bu durumda gerekli olan enerji artacaktır. Kayma oranındaki bir artıştan sonuçlanan akışkanlığa karşı dirençteki bu artış dilatan davranışa neden olur. Dilatan davranış iyi şekilde defloküle olmuş yüksek katı içeriğindeki bir döküm çamuru süspansiyonu için gerekli bir şarttır. Ancak ince-cidarlı ürünlerin üretiminde kullanılan boşaltmalı döküm tekniği için hazırlanan çok akışkan süspansiyonlarda eğer yüksek kayma oranları kullanılmaz ise farkedilmez.

Plastiklik veya psöydoplastiklik ; döküm çamuru süspansiyonu iyi şekilde defloküle edilmediği ve zayıf bağ ile bağlı topaklar (aglomeralar) mevcut olduğu zaman meydana gelir. Topaklar kayma altında ufalanıp ayrışırlar ve kayma işlemi ortadan kaldırıldığında hemen tekrar topaklar yeniden oluşmaya başlarlar. Eğer topaklar kayma etkisi altında iken yavaş yavaş ufalanıp ayrışıyorlar ise kayma işlemi ortadan kaldırıldığında topaklar yeniden yavaş yavaş oluşmaya başlarlar. Böyle bir sistem “tikotropik” olarak adlandırılır.

Hem kil içeren ve hem de kil içermeyen seramik sistemlerin asaltı dökümü üzerine literatürde mevcut çalışmaların çoğu; seramik sistemlerinde plastikliğin geliştirilmesinin gerekliliğini tartışır. Bu durum; el ile şekil verilen, gözenek içermeyen kalıplarda veya gözenekli kalıplarda preslenerek şekillendirilen bazı kil ürünleri için arzu edilir. Bu durumlarda, dilatan davranış gösteren bir döküm çamuru süspansiyonun kullanılması ile şekillendirme güçleştirilmekte ve şekil verilen ürünler kalıptan çıkarıldıktan sonra verilen şekli koruma kabiliyetine sahip olamayacaklardır.

Viskozite ölçümleri; optimum pH değerlerin ve karşıt-iyon konsantrasyonunun belirlenmesi için kullanılabilir. Elektriksel yükün sıfır olduğu (zpc) noktada döküm çamuru süspansiyonu; itme kuvvetlerin olmaması nedeniyle floküle olacaktır ve yüksek bir viskozite değeri sergileyecektir. pH değerinin asit veya baz ilavesi yapılarak zpc noktasındaki değerinden değiştirilmesi ile beraber zeta potansiyel artacak ve viskozite düşecektir. Zeta potansiyeldeki artış; potansiyel belirleyen iyonun partikül yüzeylerine

adsorpsiyonu maksimum düzeye ulaştığı zaman sınırlı olacaktır. Potansiyel-belirleyen iyonun daha fazla ilavesi; sadece sıvı faz içindeki elektriksel yükü arttıracak ve yüzey ile sıvı arasındaki potansiyel farkını azaltacaktır. Yüzey potansiyelindeki azalma; zeta potansiyelinde karşılık gelen azalmaya ve dolayısıyla buda zeta potansiyelin bir maksimumdan geçmesine neden olacaktır. Sonuç olarak, zeta potansiyel değerindeki maksimuma karşılık gelecek şekilde döküm çamuru süspansiyonunun viskozitesi bir minimuma ulaşacaktır.

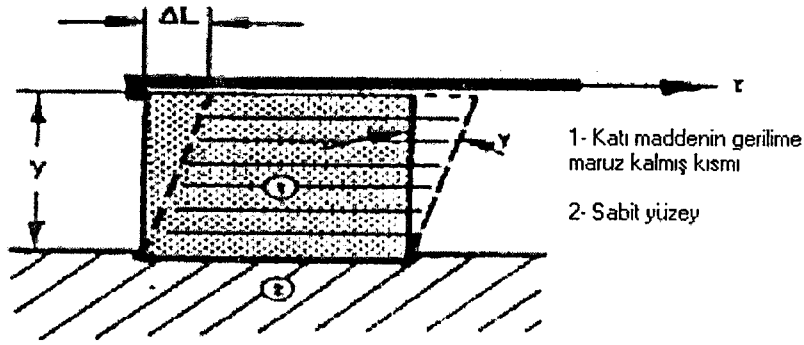
2. 7. Viskozite

2. 7. 1. Giriş

İdeal katılar elastik olarak şekil değişimine uğrarlar. Gerilimler ortadan kaldırıldığı zaman şekil değişiminin enerjisi tamamıyla geri kazanılır. Sıvılar ve gazlar gibi ideal akışkanlar geri kazanımsız türde şekil değiştirirler yani, akarlar. Şekil değişim enerjisi; akışkanlar içine ısı şeklinde yayınrlar ve sadece gerilimlerin ortadan kaldırılması ile geri kazanılamazlar. Normalde kullanılan gerçek maddeler; ne ideal katı, ne de ideal akışkandırılar. Gerçek katılar; yeteri derecede büyüklükteki kuvvetlerin etkisi altında geri kazanımsız olarak şekil değiştirebilir ve sürtünürler.

Viskozite; bir akışkanın iç sürtünmesinin ölçümüdür. Bu sürtünme; akışkanın bir katmanının diğer bir katmanı ile ilişkili olarak hareket etmeye zorlandığı zaman mutlak hale gelir. Sürtünme ne kadar büyük ise, "**kayma**" olarak adlandırılan bu harekete neden olmak için gerekli kuvvet miktarı da o derece yüksektir. Kayma işlemi; akışkan her ne zaman fiziksel olarak hareket ettirildiği veya dökerek boşaltma, yayma, püskürtme, karıştırma gibi işlemler ile dağıtıldığı zaman meydana gelir. Aşırı derecede viskoz olan akışkanlar, dolayısıyla hareket etmeleri için daha az viskoz olan malzemelerden çok daha fazla kuvvetlere ihtiyaç duyarlar.

İdeal katılar; gerinim ile reaksiyona giren kayma gerilimlerine maruz kalırlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Bir Katı Maddenin Şekil Değişimi [Schramm,1994]

$$\tau = G \cdot \frac{dL}{dy} = G \cdot \tan \gamma \approx G \cdot \gamma \quad [1]$$

τ = Kayma gerilmesi = kuvvet / alan [N/m^2]

G = Young modülüsü = ilişkilendirme faktörü [N/m^2]

γ = Gerinim

y = Katı maddenin yüksekliği [cm]

ΔL = Kayma geriliminin bir sonucu olarak maddede meydana gelen şekil değişimi [cm]

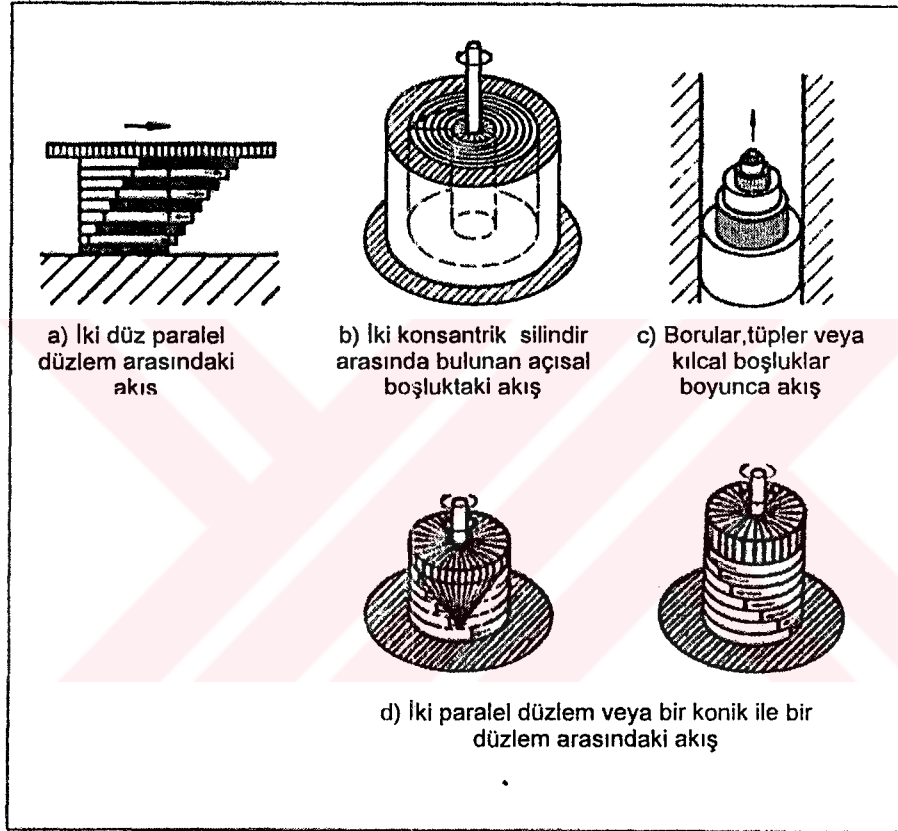
Bu eşitlikteki Young modülüsün anlamı; temelde içerilen katıların fiziksel-kimyasal doğası ile ilişki kuran ilişkilendirme faktörüdür. Young modülüs; katının şekil değişimine karşı gösterdiği direnci tanımlar.

Bir akışkanın hacim elemanlarının geri dönüşümü olmaksızın türde gerçekleşen herhangi bir pozisyon değişimine karşı direnci “viskozite” olarak adlandırılır. Bir akışkan içinde akmayı sürekli kılmak için sürekli olarak enerji ilave edilmelidir.

Katılar ve akışkanlar gerilimler ile şekil değiştirdiklerinde çok farklı türde reaksiyon verirken, sıvı ve gazlar arasında reolojik olarak temel farklılık olmaz. Gazlar sadece daha düşük viskoziteye sahip akışkandırılar. Örneğin; 20°C'deki hidrojen gazı; suyun viskozitesinin yüzde biri olan bir viskoziteye

sahiptir. Bir sıvı ve bir gaz arasında belirlenen eşdeğer bir fark da bunların viskozitelerinin tersinir olarak sıcaklığa bağımlı olmasıdır.

Viskometre; özel olarak, visko-elastik davranış gösteren sıvıları da kapsar şekilde sıvıların akma davranışının ölçülmesiyle ilgilidir. Sıvılarda kayma ile başlatılan akma dört model durumunda (Şekil 2.9) meydana gelebilir.



Şekil 2.9 Akma Modellerinin Değişik Tipleri

1-) İki Düz Paralel Düzlem Arasındaki Akış: Düzlemin biri hareketli iken diğeri sabittir. Üst taraftaki düzlem genişliği boyunca çok ince kalınlıklar seviyesine kadar çektiği veya düzlemin bir bel bir periyotla dönen silindir şekline dönüştürüldüğü zaman şartlar benzer kalır. Bu türdeki akma; kaplama işlemlerinde bulunur.

2-) İki Konsantrik Silindir Arasında Bulunan Açısal Boşluktaki

Akış: İki silindirden biri dönerken diğerrinin sabit olduğu varsayılır. Bu akma; birbiri içinde oturan konsantrik katmanların yer değışimi olarak anlaşılabilir. Bu tipteki akmaya; örneğin, merkez eksenli algılayıcı silindir sistemine sahip döngüsel hareketli viskometrelerde karşılaşılabılır.

3-) Borular, Tüpler Veya Kılcal Boşluklar Boyunca Akış: Tüplerin giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı, sıvının; çap boyunca bir parabolik akış hızı dağılımı ile akmasına zorlar. Bu durum; birbiri üzerinde kayan tüp benzeri sıvı tabakaların teleskopik şekil değışimlerini temsil eder. Kapiler akışın bir değışimi, yarık kılcal boşluklarda veya dikdörtgen kesitli kanallardaki akışdır. Kanal genişliği; kanal derinliğine oranlı bir genişlikte olmalıdır.

4-) İki Paralel Düzlem Veya Bir Konik İle Bir Düzlem Arasındaki Akış: Biri sabit iken diğeri döner. Bu model; birbiri üzerine bitişik madeni paraların, birbirine göre göreceli olarak küçük bir açıyla yer değıştirebilmesine neden olacak dönmeyi temsil eder. Bu tipteki akma; düzlem/düzlem veya konik/düzlem algılayıcı sistemlerine sahip döngüsel viskometrelerde karşılaşıılır.

2. 7. 2. Viskozitenin Kuralları

2. 7. 2. 1. Temel Kural

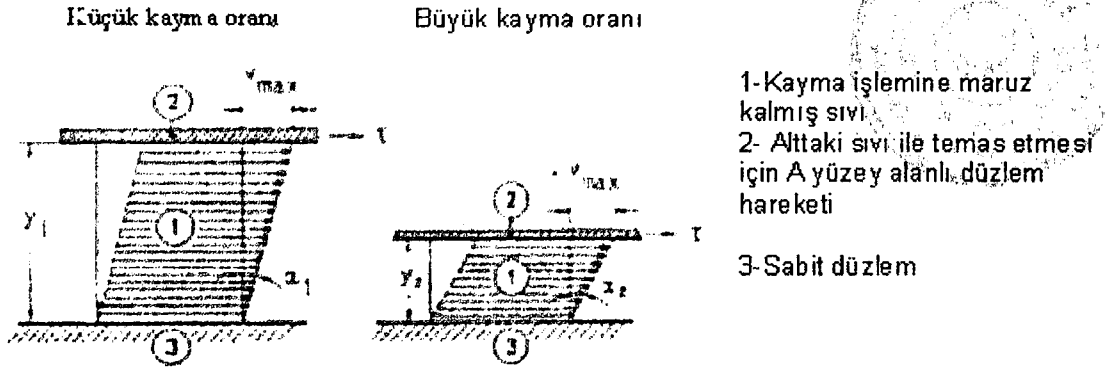
Sıvıların viskozitesinin ölçülmesi; ilk önce akmada içrrilen parametrelerin tanımlanmasını gerekli kılar. Daha sonra, akışkanlık özelliklerinin objektif olarak, yeniden aynı şekilde tekrarlanabilir nitelikte ölçülmesine izin verecek uygun test şartlarının belirlenmesi gerekir.

Isaac Newton; ideal bir sıvının akışkanlık davranışını tanımlayan viskometrenin temel kuralını bulan ilk kişidir.

$$\tau = \eta.D$$

[2]

Paralel düzlemler modeli; hem kayma gerilmesinin ve hem de kayma oranının tanımlanmasına yardım eder.



Şekil 2.10. İki Paralel Düzlem Arasındaki Akış

2. 7. 2. 2. Kayma Gerilimi

Bir F kuvvetinin üst kısımda kalan düzlem ile, hemen altındaki sıvı arasında kalan arayüzey olan bir A alanına uygulanması; sıvı katmanları içerisinde bir akmaya neden olur. Belirli bir kuvvet için sürekliliği sağlanabilen akışkanlığın hızı; sıvının dahili direnci yani sıvının viskozitesi ile kontrol edilecektir.

$$\tau = \frac{F \text{ (kuvvet)}}{A \text{ (alan)}} = \frac{N \text{ (Newton)}}{m^2} = Pa \text{ (Pascal)} \quad [3]$$

Pascal birimi; daha önceleri özellikle bilimsel literatürde gerilimler için kullanılan dyne / cm^2 biriminin yerini almıştır.

$$1 \text{ Pa} \cong 10 \text{ dyn/cm}^2$$

2. 7. 2. 3. Kayma Oranı

Kayma gerilmesi; τ sıvının özel bir normda akmasına neden olur. Maksimum akma hızı $V_{\max}$ üst kısımdaki sınırdaki bulunacaktır. Akma hızı üst düzlem ile durağan olan alt kısımdaki düzlem arasında kalan y mesafesince düşecektir ve alt kısımda sabit düzlem ile kontak noktasındaki sınırdaki hız $V_{\min} = 0$ olacaktır. Laminer akış; çok aşırı derecede ince olan sıvı tabakalarının

birbiri üzerinde kaymasıdır. Kayma işlemi ile birlikte bir laminar sıvı tabakası, iki düzlem arasındaki sıvı içinde kendine bitişik diğer bir tabakaya oranla, toplam yer değiştirme miktarından payına düşen miktar kadar yer değiştirir.

Genel anlamda kayma oranı; D , bir diferansiyel eşitlik halinde tanımlanır;

$$D = \frac{dv}{dy} \quad [4]$$

$$D = \frac{m/s}{m} = \frac{1}{s} = [s^{-1}]$$

İki düzlem arasındaki boşluk boyunca oluşan bir lineer hızdaki bir düşüş durumunda yukarıdaki eşitlikteki diferansiyel aşağıda gösterildiği gibi yaklaşık hale getirilebilir.

$$D \approx \frac{V_{\max}}{y} [s^{-1}] \quad [5]$$

2. 7. 2. 4. Dinamik Viskozite

[2] nolu eşitliğin dinamik viskozite; η için çözülmesi aşağıdaki eşitliği sağlar:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad [6]$$

$$\eta = \frac{N}{m^2} . s = [Pa.s]$$

Dinamik viskozite; η 'nin birimi "**Paskal-saniye**" (Pa.s) dir. Bu birimin sıklıkla kullanılan diğer bir şekli de "**mili Paskal.saniye**" (mPa.s) dir.

$$1 \text{ Pa.s} = 1000 \text{ mPa.s}$$

Dinamik viskozite; η için daha önceleri yaygın olarak kullanılan diğer bir birim olan "**santi-Pois**" (cP) nin burada belirtilmesi önemlidir. Bu birim aşağıdaki bağıntı ile mPa.s birimine dönüştürülebilir.

$$1 \text{ mPa.s} = 1 \text{ cP}$$

2. 7. 2. 5. Kinematik Viskozite

Newtonyan davranış gösteren sıvılar; Ubbelohde veya Cannon Fenske gibi kapiler viskometreler kullanılarak test edildiği zaman viskozite; kinematik viskozite, ν birimiyle tanımlanır. Yerçekimi kuvveti; sıvı numunenin kapiler içerisinde hareket etmesindeki etkin kuvvettir. Numunenin yoğunluk değeri diğer bir ilave parametredir.

Kinematik viskozite, ν , ve dinamik viskozite, η , birbirleriyle aşağıdaki eşitlik uyarınca ilişkilidirler.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [7]$$

ν = Kinematik viskozite, mm²/s biriminde

Kinematik viskozitenin daha önceleri kullanılan birimleri;

"**Stokes**" (St) veya "**santi Stokes**" (cSt). 1 St = 100 cSt.

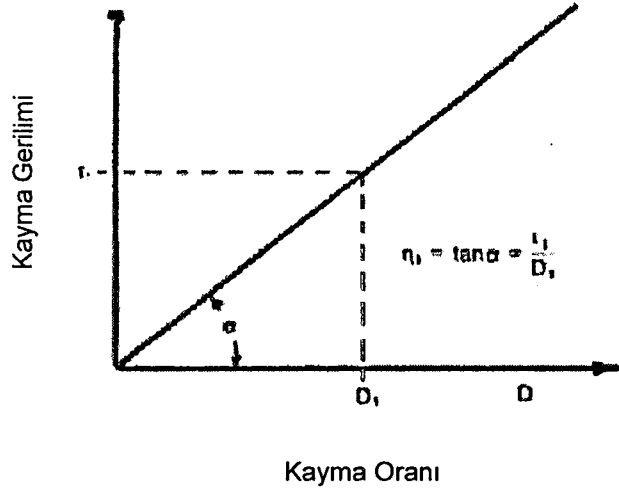
$$1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} = 1 \text{ cSt}$$

ρ = yoğunluk (kg/m³)

2. 7. 3. Akışkanlık ve Viskozite Eğrileri

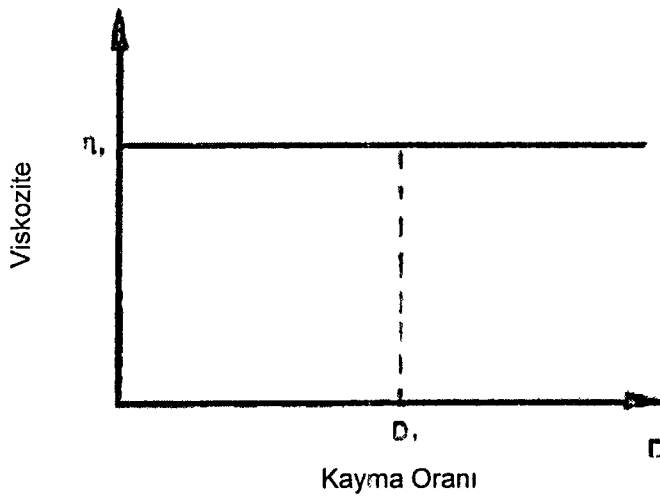
Bir sıvının akışkanlık davranışını tanımlayan kayma oranı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki; aşağıdaki şekilde, D absiste ve τ ordinatta yer alan bir diyagramda grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu diyagram "**Akışkanlık**

Eğrisi" olarak adlandırılır. Bir akışkanlık eğrisinin en basit hali Şekil 2.11'de gösterildiği gibidir. [2] nolu eşitlikteki viskozitenin sabit ve D 'den bağımsız olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2.11. Newtonyan Davranış Gösteren Bir Sıvının Akışkanlık Eğrisi

Çok yaygın olan diğer bir diyagramda; Şekil 2.12 de gösterildiği gibi η 'nin D 'ye karşı grafik haline getirilmesidir. Bu diyagram "**Viskozite Eğrisi**" olarak adlandırılır.



Şekil 2.12. Newtonyan Davranış Gösteren Bir Sıvının Viskozite Eğrisi

Şekil 2. 12'deki viskozite eğrisi, Şekil 2. 11'de gösterilen akışkanlık eğrisine karşılık gelir. Viskozite ölçümleri her zaman ilk önce akışkanlık eğrisi verir. Daha sonra sonuçlar; bu eğriye karşılık gelen viskozite eğrisinin elde edilmesi için matematiksel olarak yeniden düzenlenir. Farklı tipteki akışkanlık eğrileri bunlara karşılık gelen farklı tipteki viskozite eğrilerine sahiptir.

2. 7. 4. Viskozite Parametreleri

Bir sıvının kayma nedeniyle oluşan akışkanlığa karşı direnci olan fiziksel özelliğini tanımlayan viskozite; 5 bağımsız parametreye bağımlı olabilir.

$$\eta = S, T, P, D, t \text{ 'nin fonksiyonudur.}$$

"S" Bu parametre; viskozite üzerine esas etken olan maddenin fiziksel-kimyasal doğasını temsil eder. Yani sıvının; su, yağ, bal vs olması gibi.

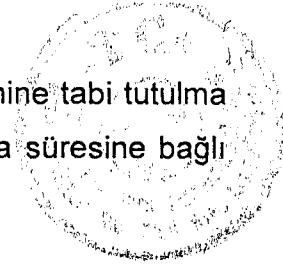
"T" Bu parametre; maddenin sıcaklığı ile ilişkilidir. Birçok kişinin deneyimi viskozitenin sıcaklık değişiminden aşırı derecede etkilendiğini göstermiştir. Örneğin; bazı mineral yağların viskozitesi; sıcaklıktaki sadece 1°C bir artış ile %10 oranında düşer.

"P" Basıncı temsil eden bu parametrenin etkisine bir önceki parametre kadar sıklıkla karşılaşılmaz. Basınç akışkanları sıkıştırır ve dolayısıyla moleküller arası direnci artırır. Sıvılar, gazlar gibi çok yüksek basınçların etkisi altında sıkıştırılabilirler. Ancak bu sıkıştırma çok daha az oranlarda gerçekleşir. Basıncın artırılması viskoziteyi artırma eğilimi gösterir.

"D" Kayma oranını temsil eden bu parametre; birçok sıvılarda viskoziteyi etkileyen karar verici bir faktördür. Kayma oranının artırılması; viskoziteyi ya azaltır, ya da artırır.

"t" Zaman parametresi; genellikle seyreltilmiş süspansiyonlar gibi bazı maddelerin viskozitesinin daha önce geçirdikleri kayma işlemlerine

başka bir deyişle; maddenin sürekli olarak kayma işlemine tabi tutulma süresi veya test edilmeden önce kendi haline bırakılma süresine bağlı olması olayını temsil eder.



2. 7. 5. Maddeler

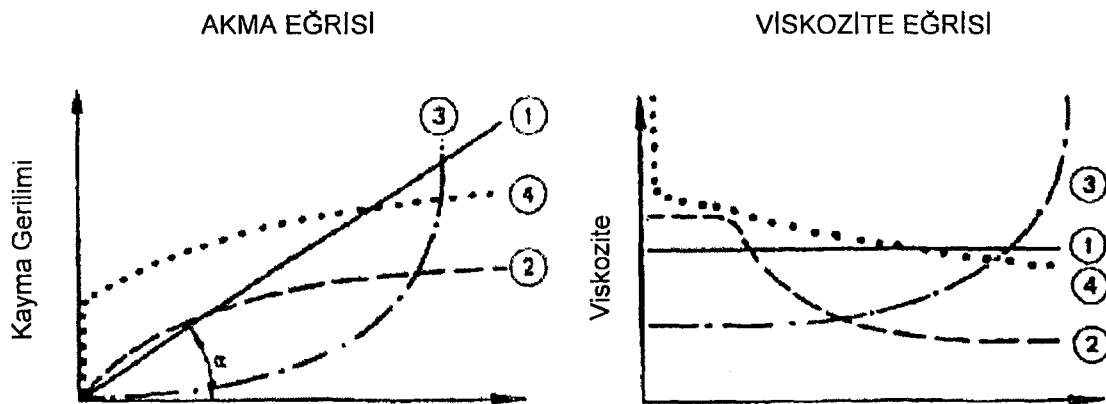
2. 7. 5. 1. Newtonyan Sıvılar

Newton; [2] nolu eşitliğin ideal bir sıvı için grafiksel eşdeğerinin, akışkanlık eğrisinin başlangıç noktasından başlayan bir doğru olacağını ve α açısında bir eğime sahip olacağını kabul etmiştir. Bu doğru üzerindeki herhangi bir nokta; τ ve D değer çiftlerini tanımlar. Bu değer çiftlerinden birinin diğerine bölünmesi viskozitenin, η , bir değerini verir [6 nolu eşitlik]. Bu değer aynı zamanda α açısındaki doğrunun tanjantı olarak da tanımlanabilir.

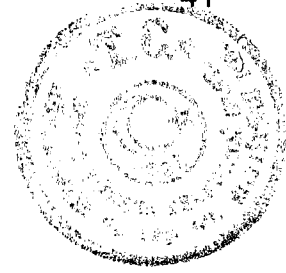
İdeal bir sıvının akışkanlık eğrisi bir doğru olduğundan bu çizgiye ait tüm τ ve D değer çiftlerinin oranları bir sabittir. Bunun manası; viskozitenin, η , kayma oranı değişiminden etkilenmeyeceğidir. Bu ifadenin geçerli olduğu sıvılar Newtonyan sıvılar olarak adlandırılırlar (Şekil 2. 13'teki [1] nolu eğriler).

2. 7. 5. 2. Newtonyan Olmayan Sıvılar

Bu basit ideal akışkanlık davranışını göstermeyen bütün diğer sıvılar “Newtonyan olmayan sıvılar” olarak adlandırılır.



Şekil 2. 13. Değişik Tipteki Akışkanlık Davranışları

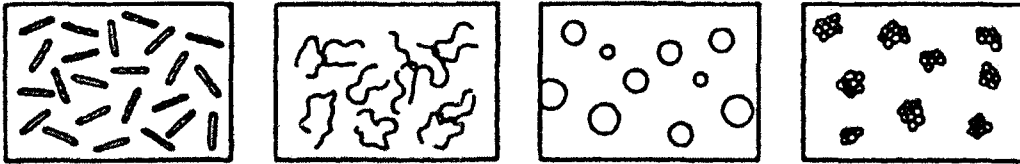


2.7.5.2.1. Psöydoplastiklik

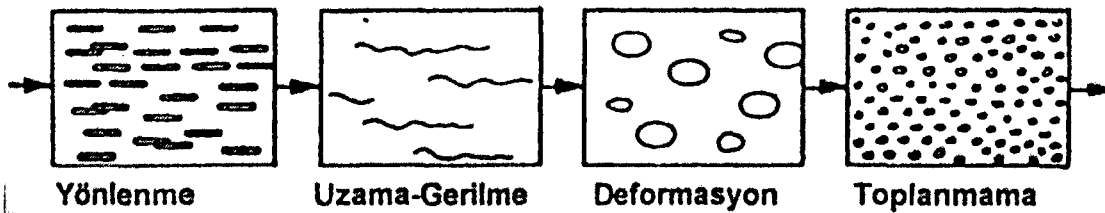
Birçok sıvıda kayma oranları düşükten yüksek düzeylere kadar artırıldığı takdirde sıvının viskozitelerinde ani düşüşler gözlenir. Diğer bir ifadeyle;

- İlaç endüstrisinde; ürünlerin daha hızlı biçimde kılcal boşluklarda veya boru hatlarında pompalanması,
- Boyaların püskürtmeli bir tabancadan daha hızlı bir biçimde püskürtülmesi veya duvara fırçalanması,
- Bir karıştırma işleminin çok daha yoğun bir şekilde yapılması halinde adı geçen malzemelerin viskoziteleri azalacaktır. Teknik olarak bu; verilen bir kuvvet veya basınçta çok daha fazla malzeme akışkan hale getirilebileceği veya verilen bir akışkanlık oranını korumak için gerekli olan enerji miktarının azaltılabileceği anlamına gelebilir. Kayma oranlarının artırılması nedeniyle incelme (açılma) gösteren malzemeler "**psöydoplastik**" olarak adlandırılırlar (Şekil 2. 13'teki 2 nolu eğriler). Yüksek teknolojik ve ticari öneme sahip emülsiyonlar, süspansiyonlar veya derişik süspansiyonlar gibi maddeler bu gruba dahildirler. Burada psöydoplastik malzemelerin kaymaya bağlı incelmenin (açılma) bazı nedenlerini vurgulamak faydalı olacaktır.

Hareketsiz - Durgun Sıvı (a)



Akışkan Sıvılar (b)



Şekil 2. 14. Seyreltilmiş Süspansiyonların Statik Halde (a) ve Bir Tüp Boyunca Akmaları (b) Durumunda Davranışları

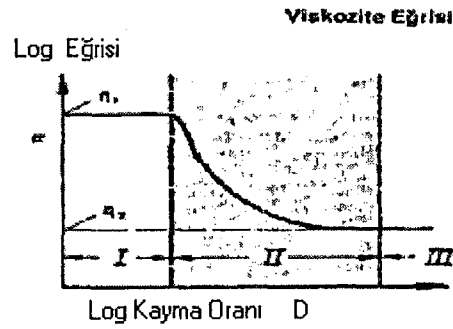
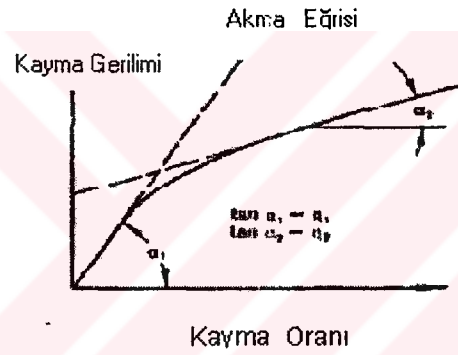
Homojen olarak kabul edilen bir çok sıvı ürünler; gerçekte bir kaç farklı maddelerden meydana gelmiştir. Bu maddeler; Şekil 2.14'de görüldüğü gibi düzensiz şekillere sahip partiküller veya bir sıvı damlacıklarının diğer bir sıvı içinde dağıtıldığı karışımlar olabilir. Diğer yanda ise; uzun bağlanmış ve döngüsel molekül zincirli bazı polimer çözeltileri de vardır. Bütün bu malzemeler statik durumda; düzensiz dahili bir yapıyı ve buna bağlı olarak da akışkanlığa karşı belirli bir boyuttaki direnci yani, yüksek bir viskoziteyi koruyacaklardır.

Kayma oranlarının artırılması ile birlikte sıvı içerisinde asaltı durumundaki kibrit çöpü benzeri partiküller uzunluğu boyunca akış yönüne doğru yönlenecektir. Bir ergiyik veya çözelti içerisindeki zincir tipi moleküller; itici kuvvet yönüne paralel gerilir, açısal değişime uğrar ve yeniden düzenlenirler. Partikül veya moleküler yönlennmeler; partikül veya moleküllerin birbirlerini çok daha kolay bir şekilde kayarak geçmesine müsaade eder ve buda viskozitenin düştüğüne işaret eder. Kayma işlemi aynı zamanda, düzensiz şekilli topakların veya agregat haline getirilmiş temel dolgu partiküllerin bozuma uğrayıp ufalanmasına neden olur ve bu aynı zamanda böylesi dolgu partikülleri içeren malzemelerin verilen bir kayma geriliminde çok daha hızlı bir şekilde akmasına yardım eder.

Birçok sıvı malzemeler için kayma ile incelme (açılma) etkisi sıklıkla belirli bir zaman aralığı içinde tersinirdir. Yani sıvılar; kayma işlemi yavaşlatıldığı veya hatta bitirildiği zaman orijinal yüksek viskozite değerlerini yeniden kazanırlar. Zincir tipi moleküller kendilerinin düzen almamış doğal durumlarına, şekil değişimine uğramış damlacıklar küresel şekline dönerler ve Brownian hareket nedeniyle agregalar yeniden oluşmaya başlar.

Psöydoplastik sıvıların kayma ile incelmesi; çok düşük ve çok yüksek kayma oranları aralığı boyunca homojen değildir. Düşük kayma oranı aralığında, moleküllerin Brownian hareketi bütün molekülleri veya partikülleri kaymanın oluşturduğu düzenlenmenin başlangıç etkisine rağmen gelişigüzel bir düzende tutar. Çok düşük kayma oranlarında ise psöydoplastik sıvılar; kayma oranından bağımsız tanımlanmış bir viskoziteye, η_1 , sahip Newtonyan

sıvılara benzer olarak davranır. Daha sonra ise, kayma oranı ile başlatılan moleküler veya partikül düzenlenmesi Brownian hareketinin gelişigüzellik etkisini çok fazla aştığı zaman kayma oranı değişimini takip eder yani viskozite ani şekilde düşer. Sonuçta, viskozite sonlu bir değer, η_2 , düzeyine yaklaşır. Hatta daha yüksek kayma oranlarına çıkılması daha fazla kayma incelmesine neden olmaz. Çünkü kusursuz düzenlenmenin bir optimumuna halihazırda ulaşılmıştır. İlk ve ikincil Newtonyan aralıkları olarak adlandırılan düşük ve yüksek kayma oranı aralıklarında, Newtonyan olmayan sıvıların dahi viskozitesi aşağı yukarı kayma oranından bağımsızdır. $D=0.001\text{s}^{-1}$ veya $D=0.1\text{ s}^{-1}$ değerleri için η_1 değerinde sadece çok küçük bir değişim vardır. Benzer olarak; $D=100.000\text{ s}^{-1}$ değerinde η_2 viskozite değerinin 10 kat daha yüksek olan bir kayma oranındaki viskozite değeri ile aynı olması beklenir.



- I- İlk Newtonyan aralığı; viskozite henüz kayma oranına bağlı değildir.
- II- Viskozite moleküler veya partikül yönelmelerinin bir sonucu olarak aniden düşer.
- III- İkinci Newtonyan aralığının viskozite kayma oranının daha fazla artırılmasından bağımsız olarak sabitleşir.

Şekil 2. 15. Psöydoplastik Bir Sıvının Kayma Oranına Bağımlılığı.

2. 7. 5. 2. 2. Dilatan Davranış

Kayma oranına bağlı bir viskozite ile karakterize edilen diğer bir tip malzeme daha vardır. Buda dilatan davranış gösteren maddelerin viskozitesi; her ne zaman kayma oranında bir artış olursa artar. (Şekil 2. 13' teki 3 nolu eğriler)

Dilatan akış davranışı, örneğin; katı partiküllerin plastiklik kazandıran maddeler gibi sıvılar ile karıştırıldığı aşırı derecede konsantre edilmiş süspansiyonlarda bulunur. Partiküller yoğun bir şekilde paketlenmişlerdir ve ilave edilen plastiklik kazandıran maddenin miktarı, sadece partiküller arasındaki boşlukları doldurmaya yetecek kadardır. Statik durumda iken veya düşük kaplama hızlarında, plastiklik kazandıran madde partikül yüzeylerini kaygan hale getirmesi dolayısıyla kuvvetler uygulandığı zaman partiküllerin kolay pozisyon değiştirmesine izin verir. Böyle bir süspansiyon; düşük kayma oranlarındaki bir sıvı gibi davranır. Yüksek kayma oranlarında ise; partiküller diğerlerini sıkıştıracağından genel bir hacim artışına neden olacaktır. Bu aşamada; toplam hacimden plastiklik kazandıran maddenin payına düşen miktar azalacaktır. Dolayısıyla; plastiklik kazandıran madde bütün boşlukları doldurmaya ve partikül yüzeylerini tamamıyla kaygan halde tutmaya daha fazla yeterli değildir. Yapı çok daha viskoz hale gelir.

Sıvılarda dilatan davranışa çok ender karşılaşılır. Bu türdeki akışkanlık davranışı büyük bir olasılıkla üretim şartlarını komplike hale getireceğinden, dilatan davranışı azaltmak için reçetenin yeniden formüle edilmesi sıklıkla tavsiye edilen çözüm şeklidir.

2. 7. 5. 2. 3. Plastiklik

Plastiklik; ilave olarak bir akma noktası özelliklerine sahip psöydoplastik sıvıları tanımlar. Plastik sıvılar; ordinat ile başlangıç noktasında değil fakat akma noktası, τ_0 , düzeyinde kesişen akışkanlık eğrilerine sahiptirler. (Şekil 2. 13' teki 4 nolu eğriler)

Plastik sıvılar; kabul edilebilir nedenlerden dolayı hem katılara, hem de sıvılara ait olacak şekilde sınıflandırılabilirler. Plastik sıvılar çoğunlukla; statik halde iken bağlayıcı kuvvetlerin (kutupsal kuvvetler, Van der Waals kuvvetler vs.) moleküller arası/partiküller arası bir ağ yapısı inşa edebilen seyreltilmiş süspansiyonlardır (dispersiyon). Bu kuvvetler hacim elemanlarının pozisyon değişimlerine sınırlama getirirler ve maddeye sonsuz yükseklikte viskozite değerindeki bir katı karakteri verirler. Dışardan etki eden kuvvetler eğer ağ yapısını oluşturan kuvvetlerden daha küçük ise bu katı maddenin şeklini elastik olarak değiştireceklerdir. Dış kuvvetler sadece çok büyük olduğu zaman ağ yapısını oluşturan kuvvetlerin üstesinden gelebilirler ve ağ yapısı çöker. Bu aşamada hacim elemanları geri dönüşümsüz olarak pozisyon değiştirebilirler. Bu durumda; katı akan bir sıvıya dönüşür.

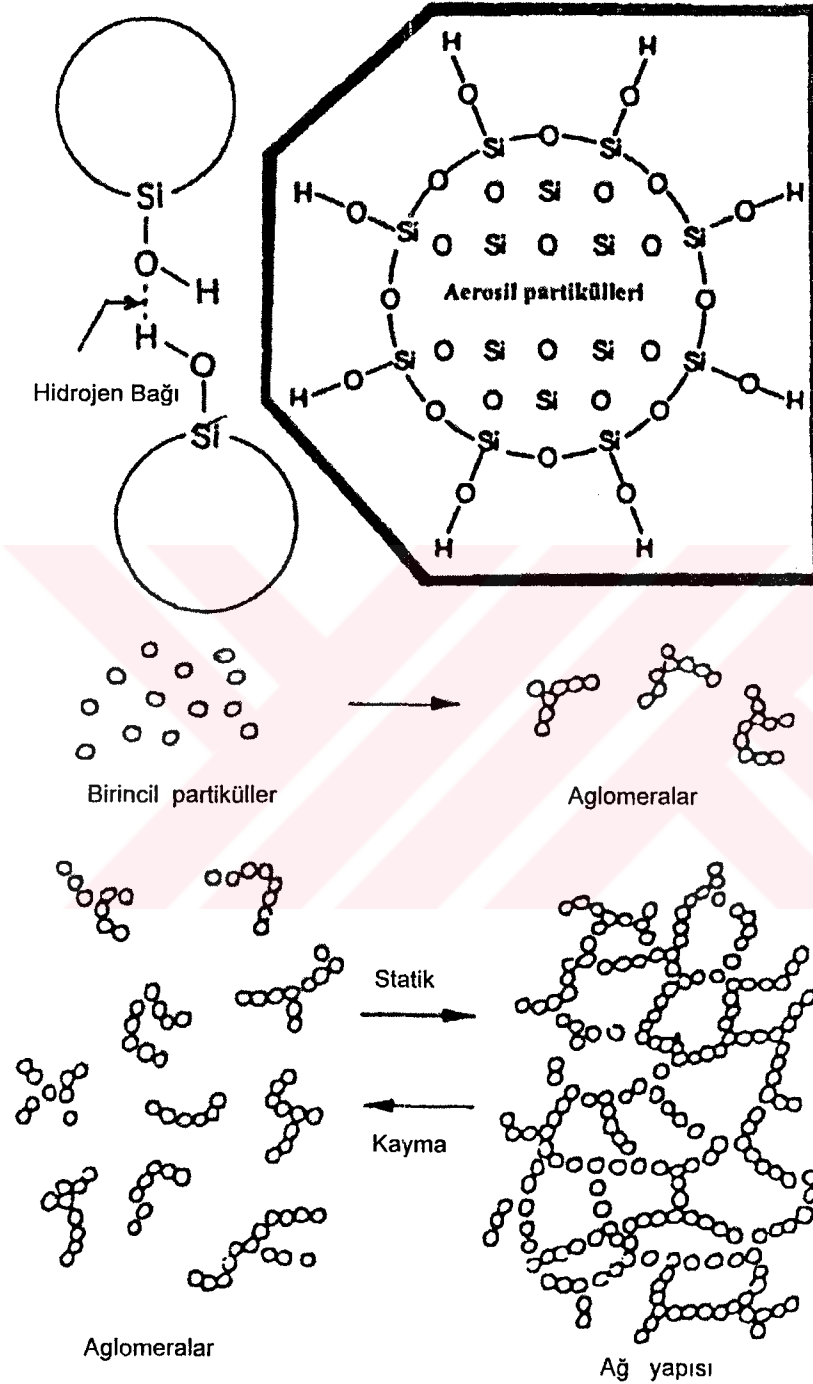
2. 7. 5. 2. 4. Tiksotropi

Bu terim, çok büyük endüstriyel öneme sahip reolojik bir olayı tanımlar. Genelde çok karmaşık olan moleküller veya partikül etkileşimini içeren bu olayın anlaşılması için burada basitleştirilmiş açıklamalara yer vermek faydalı olacaktır. Psöydoplastik sıvılarda artan kaymanın etkisi altında incelme (açılma) temelde partikül/moleküller düzenlenmelere veya akışkanlık yönünde yönelmelere bağlıdır. Bu düzenlenmeler oluşur oluşmaz tekrar olduğu hızda kaybolacaktır.

Bir akışkanlık eğrisinin homojen olarak artan kayma oranına bağlı olarak grafikleştirilmesi çıkış eğrisi ile; homojen olarak azalan kayma oranına bağlı olarak grafik haline getirilmiş iniş eğrisinin tamamen çıkış eğrisi üzerine monte edilebilecek şekle sahip olduğu görülecektir.

Bu durum; düzenlenme için sadece bu potansiyeli gösteren değil fakat ilave olarak partikül/molekül etkileşimi gösteren bir çok seyreltilmiş süspansiyonlar için tipik bir davranıştır. Bu genellikle bir jel olarak, adlandırılan üç boyutlu ağ yapısı oluşturan bağlara neden olur. Partiküller veya moleküller içindeki kuvvetlerle karşılaştırıldığında bu bağlar genellikle

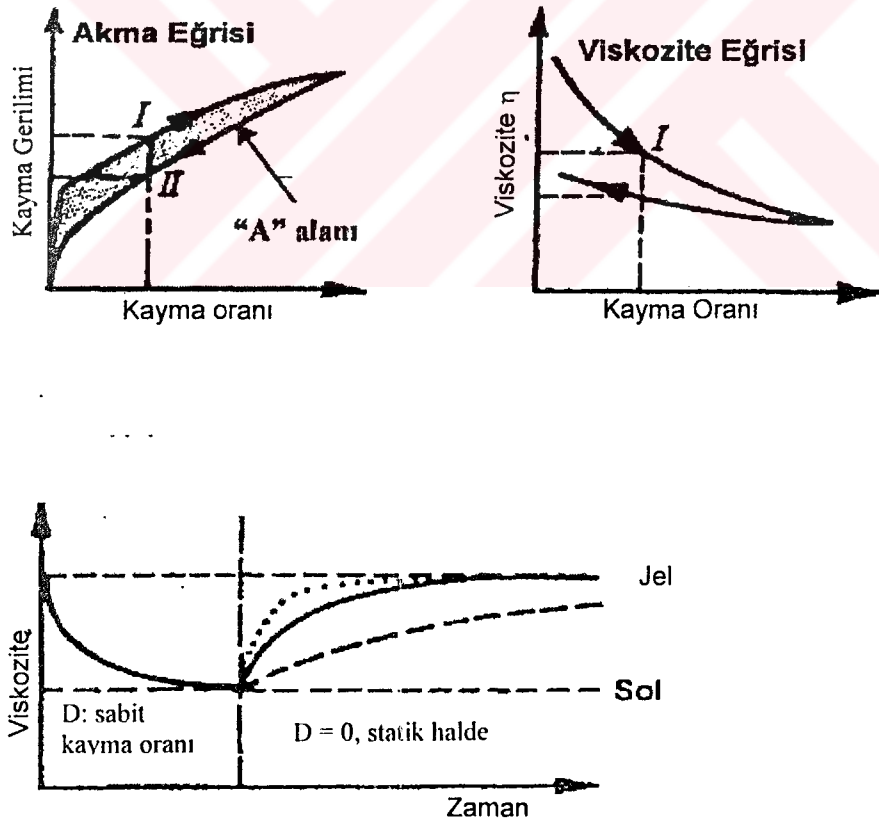
hidrojen ve iyonik bağlardır, nispeten zayıf bağlardır. Seyreltilmiş süspansiyonlar uzun tutulmuş bir zaman süresince kaymaya tabi tutuldukları zaman kolaylıkla koparlar (Şekil 2.16).



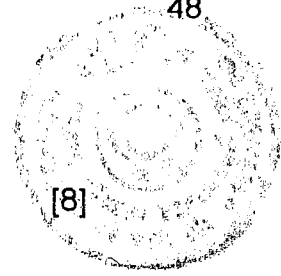
Şekil 2.16. Tiksotropik Davranış Gösteren Seyreltilmiş Süspansiyonlarda Partikül Etkileşimi.

Ağ yapısı bozulduğu zaman viskozite; verilen sabit bir kayma oranı için mümkün olan en düşük düzeye asitativ olarak ulaşana kadar ani olarak düşer. Bu minimum viskozite düzeyi seyreltilmiş süspansiyonların çözelti durumlarını tanımlar. Tiksotropik bir sıvı; madde uzun tutulmuş bir zaman süresince statik halde kalmasına izin verildiği zaman yapısını tekrardan oluşturma potansiyeli ile tanımlanır. Bir jelin bir sol'e ve bir sol'un bir jel'e dönüşümü sonsuz sayıda tekrarlanabilir.

Şekil 2. 17 tiksotropiyi grafiksel halde tanımlar. Akışkanlık eğrisinde çıkış eğrisi daha fazla direk olarak iniş eğrisinin hemen altında değildir. Bu iki eğri arasında; tiksotropi olarak adlandırılan bu özelliğin boyutunu tanımlayan ve bir A alanını çevreleyen bir histeris ile karşılaşılır. Numunenin hacmi ile ilişkili olan enerji boyutuna sahip bu alan, tiksotropik yapıyı bozmak için bir enerji gerektiğine işaret eder.



Şekil 2. 17 Tiksotropikliği Tanımlayan Diyagramlar



$$A = \frac{N}{m^2} \cdot \frac{1}{s} = \frac{N \cdot m}{s} \cdot \frac{1}{m^3}$$

$$A = \frac{\text{iş}}{\text{kayma zamanı}} \cdot \frac{1}{\text{hacim}} = \frac{\text{enerji}}{\text{hacim}}$$

Tiksotropik akışkanlık eğrilerine karşılık gelen viskozite eğrileri; daha önce vurgulanan, kayma oranının artırılması ile tiksotropik yapının ve moleküler düzenlemenin birlikte değişime uğramalarının etkisinin bir sonucu olarak viskozite düşer şeklindeki ifadeleri doğrular. Deneyin ikinci aşamasında kayma oranı sürekli olarak düşürüldüğü zaman viskozite başlangıçtaki düşüşten çok daha az miktarda artar. Şimdi aynı kayma oranı için iki farklı I ve II noktaları vardır. Bu iki viskozite değerine; II noktasındakinden çok daha kısa olan I nolu noktada geçirmiş olduğu kayma işlemi neden olmuştur.

Viskozite-zaman eğrisi dönüşümün iki fazını ortaya çıkarır. Bir jel; sabit bir kayma oranına tabi tutulduğu zaman hızlıca bir sol'e dönüşür. İkinci fazda ise sol tekrar bir jel'e dönüşür. Bu dönüşümün oranı; temelde tiksotropik sıvının doğasına ve sıcaklığına bağlı olarak çok fazla değişebilir. Tiksotropik bir yapının bozuma uğraması saniyeler veya dakikalar sürebilir. Fakat bir çok durumlarda tamamı ile geri dönüşüm dakikalar, saatler veya hatta aylarca sürebilir. Böyle tümünden bir sol-jel dönüşümü çok zaman gerektirirken, kısmi geri kazanım oranı ise; statik hale bırakıldıktan hemen sonraki ilk saniyelerde veya dakikalarda oldukça yüksek olabilir. Viskozitenin %30-50 si bu kısa süre içinde geri kazanılabilir.

Tiksotropi; boya, gıda, kozmetik, ecza ve diğer endüstriyel öneme sahip ürünlerde çok önemli bir özelliktir.



2. 7. 5. 2. 5. Reopeksi

Reopektif sıvılar; kaymanın süresine bağlı olarak viskozitedeki artış ile karakterize edilirler. Bu sıvılar statik halde bırakıldıklarında orijinal, yani düşük viskozite değerlerini geri kazanırlar. Reopektif sıvılar; kayma zamanına bağlı viskozite artışı ile statik kalma zamanına bağlı viskozitenin azalması olayları arasında sonsuz sayıda döngü yapabilirler. Reopeksi ve tiksotropi birbirinin zıttı olan akışkanlık özellikleridir. Bu zıtlık; aynı zamanda, çıkış-eğrisinin iniş-eğrisi ile ilişkili olarak pozisyonlandığı akışkanlık eğrisinin histerisisi incelendiğinde görülebilir. Reopektif sıvılar; saat dönüş yönünün tersi yönünde bir davranış gösterir. İniş eğrisi; tekrar çıkış eğrisinin üzerine gelir. Tiksotropik sıvılar, Şekil 2.16'da gösterildiği gibi, çıkış-eğrisinin çok altında yer alan iniş-eğrisine sahiptirler. Tiksotropi bir çok sıvı için çok yaygın bir davranış iken gerçek reopeksiye çok nadiren rastlanır.



3. MATERYAL ve METOD

3. 1. Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan hammaddeler ve hazırlanış metotları aşağıda alt başlıklar halinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

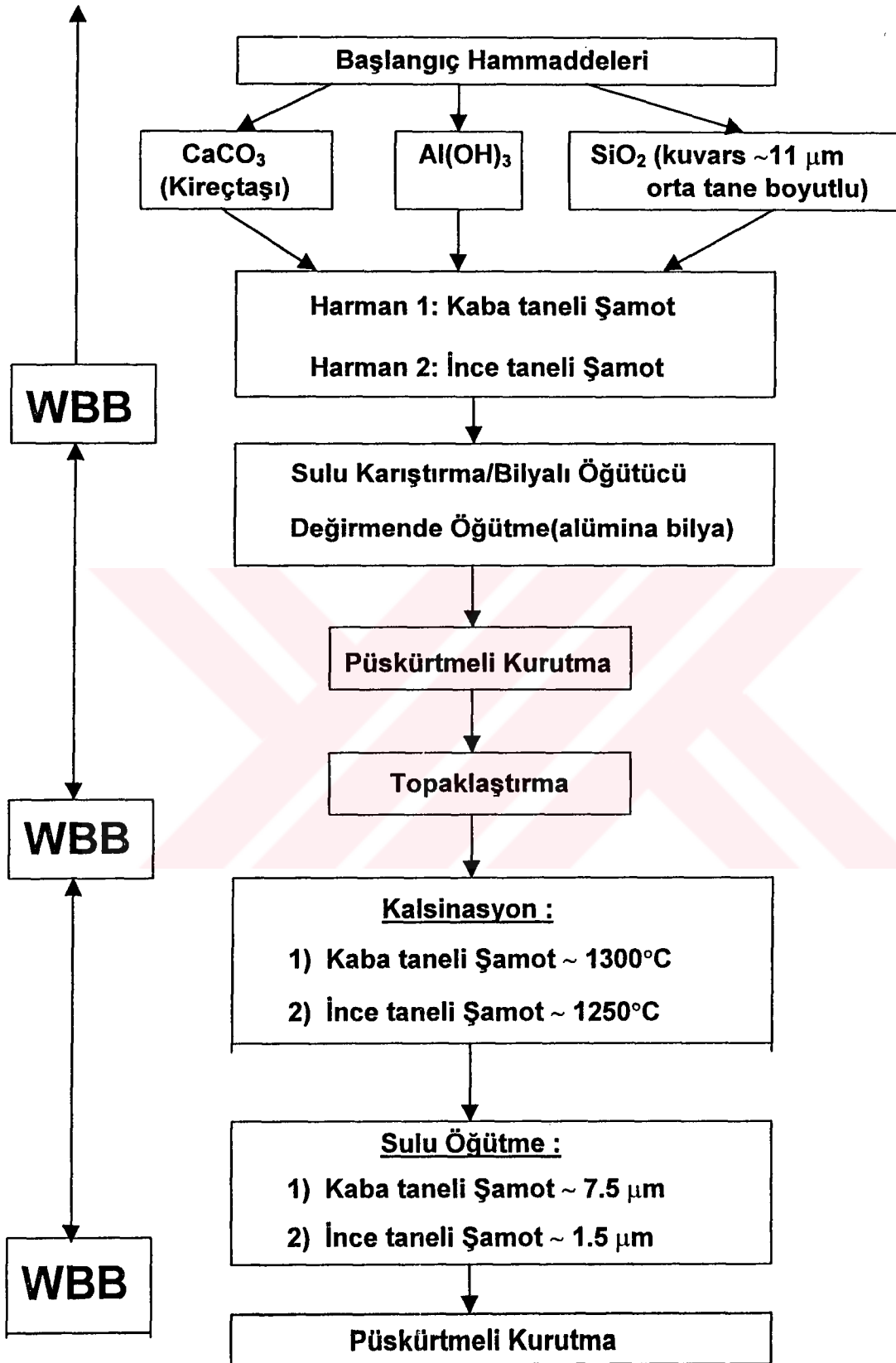
3. 1. 1. Ön Pişim Uygulanarak Hazırlanmış Anortit-Bazlı Vitrifiye Seramik Tozu (Şamot)

Ön-pişim uygulanarak hazırlanmış anortit-bazlı vitrifiye seramik toz hammaddesi Çapoğlu ve Messer [1994] tarafından İngiltere'nin Sheffield Üniversitesinde geliştirilmiştir. Bu malzeme hakkındaki teknolojik bilgi; A.B.D. ve Avrupa'da Patenti [Çapoğlu and Messer, 1998,a+b] alınarak koruma altına alınmıştır.

Bu çalışma için gerekli olan vitrifiye seramik tozu; halen bu malzemenin endüstriyel olarak üretiminin gerçekleştirilmesi için ortak olarak çalışan Sheffield Üniversitesi ve Watts Blake Bearne (W.B.B.) firmasından temin edilmiştir. Şamot üretimi olarak da adlandırılan, anortit-bazlı vitrifiye seramik tozunun doğal hammaddelerden başlayarak, bir ön-pişim işleminden geçirilmesiyle hazırlanmasında uygulanan işlem kademeleri Şekil 3.1'deki akım şemasında açıkça görülmektedir.

Şamot üretimi için; kireçtaşı, alüminyum hidroksit ve kuvars hammaddelerinin anortit kristal fazını oluşturacak şekilde uygun miktarlarda tartılarak bir harman karışımı hazırlanır. Bu karışımın homojen olması için karıştırma işlemi sulu ortamda bilyalı öğütücü değirmende yapılır. Karıştırma işlemini takiben sulu süspansiyon sıcak hava içeren püskürtmeli kurutma ünitesine beslenir. Burada hızlı bir şekilde suyunu kaybeden toz karışımı havada uçuşurken topaklar (aglomere) haline gelir. Bu topaklar püskürtmeli kurutulmuş granüller olarak adlandırılırlar. Daha sonra bu granüller anortit kristal fazını geliştirmek üzere kalsinasyon ısıl işleminden geçirilir.

Şamot Üretimi



Şekil 3.1 Ön-pişim Uygulanarak Hazırlanan Anortit-bazlı Vitriye Seramik Tozunun (Şamot) Üretim Akım Şeması.

Kalsinasyon fırınından çıkan granüller bilyalı öğütücü değirmene beslenerek sulu ortamda tane boyutu küçültme işlemi gerçekleştirilir. Öğütme işleminde amaç iki farklı tane boyut grubunda toz üretmektir. Ortalama 7.5 μm tane boyutuna sahip malzeme kaba şamot, 1.5 μm tane boyutuna sahip malzemede ince şamot olarak adlandırılır.

3.1.1.1. Anortit-Bazlı Vitrifiye Seramik Tozuna Uygulanan Tane Boyutu Küçültme İşlemi

Asaltı döküm metodu ile şekillendirme için hazırlanacak olan döküm çamuru süspansiyonlarından üretilen seramik üründe, maksimum partikül paketlenmesinin ve döküm yapısının homojenliğinin sağlanması; süspansiyonda mevcut olan tozların kaba, orta ve ince boyutlu taneler şeklinde değişik oranlarda karıştırılması ile mümkündür. Bu nedenle; hazırlanacak olan döküm çamuru süspansiyonuna katılacak hammaddeler: kaba, orta, ince tane boyutu olmak üzere üç grupta toplanmıştır.

Kaba tane olarak; İngiltere'nin Sheffield Üniversitesinden temin edilmiş, ortalama 7,3 μm tane boyutuna sahip olan ön-pişim uygulanarak hazırlanmış anortit-bazlı vitrifiye seramik tozu kullanılmıştır. İnce tane boyutlu malzeme olarak; mikron altı tane boyutuna sahip standart porselen çin kili ve Ukrayna kaynaklı topak kili kullanılmıştır. Orta tane boyutlu malzeme olarak ise; 7,3 μm tane boyutuna sahip anortit-bazlı vitrifiye seramik tozunun bir öğütme işleminden geçirilerek ortalama 1,5 μm tane boyutunda olacak şekilde elde edilen toz kullanılmıştır.

Öğütme işlemi bilyalı öğütücü değirmen kullanılarak Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için; 7,3 μm tane boyutuna sahip kaba öğütülmüş anortit-bazlı vitrifiye seramik tozu, 12-20 mm çaplarına sahip öğütücü alümina bilyalarını içeren, 5 litre kapasiteli porselen öğütme kabına, ağırlıkça %55 distile su ve % 45 seramik toz oranını sağlayacak şekilde ilave edilmiştir. Daha sonra porselen kap içeriği ile birlikte 60

devir/dakika dönme hızına sahip değirmene yerleştirilerek iki hafta süreyle öğütme işlemine devam edilmiştir. Bu işlemde kullanılan değirmen; 1600VS-A model tipinde Pascal Engineering Ltd. İngiltere yapımı farklı kapasitede porselen öğütücü kaplarına sahip bir cihazdır.

Öğütme işlemini takiben balçık kıvamına gelen distile su ve seramik toz karışımı cam beher içerisine dökülerek su içindeki seramik tozlarının tamamen dibe çökmesi için karışım 24 saat süreyle kendi haline bırakılmıştır. Yüzeyde biriken su bir şırınga yardımıyla cam beherden alındıktan sonra dibe çöken seramik tozları 110°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur.

Kurutulan bu seramik tozları döküm çamuru süspansiyonlarına katılmadan önce oluşan topaklanmaları gidermek üzere agat havanda öğütüldükten sonra paslanmaz çelik eleklerden geçirilmiştir.

3.1.1.2. Tane Boyutu Ölçümü

Öğütme işlemini takiben tane boyut küçültme işleminin hedefine ulaşmış olmasının kontrol edilmesi için öğütülmüş tozdan bir miktar numune alınarak tane boyutu ölçülmüştür. Bu tane boyut ölçüm işlemi; İngiltere, Sheffield Üniversitesi Mühendislik Malzemeleri Bölümü Laboratuvarlarında mevcut olan Coulter marka lazerli ölçüm yapan tane boyut tayin cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Öğütülmüş tozun ölçüme hazırlanması için önce bir kaç damla Calgon elektoliti kullanılarak distile su içerisinde homojen dağılımı sağlanmıştır. Ölçüm sonuçlarında olası hataları minimum düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için öğütülmüş toz, su karışımının içerebileceği olası topaklanmaları da gidermek üzere karışım ultrasonik banyoda 15 dakika süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra ölçüm için hazırlanan karışımdan pipet vasıtası ile bir miktar süspansiyon alınmış ve ölçüm cihazının besleme ünitesine ilave edilmiştir.

Cihaz tamamı ile bilgisayar kontrollü olarak çalışmaktadır. Ölçüm için gerekli olan toz miktarı cihazın monitöründe görülmekte ve ilave edilen toz miktarı cihaz tarafından sürekli kontrol edilmektedir. Yeterli miktarda toz ilavesi yapıldığında cihaz otomatik olarak ölçme işlemine başlamaktadır. Ölçme işlemi 90 saniyede tamamlanır. Bunu takiben cihaz sahip olduğu matematiksel modüller yardımı ile parçacık boyut dağılım hesabını yapabilmekte ve analiz sonuçlarını grafik veya istatistiksel döküm şeklinde vermektedir.

3.1.2. Kullanılan Killer ve Özellikleri

Bu çalışmada hazırlanan döküm çamuru süspansiyonlarında iki çeşit kil kullanılmıştır. Bu killer sırasıyla; English China Clay (E.C.C.) tarafından üretilen standart porselen çin kili (china clay) ve Watts Blake Bearne (W.B.B.) tarafından sağlanan Ukrayna kaynaklı topak kili (ball clay) dir. Bu killerin kimyasal analizleri ve mineral içerikleri sırasıyla Tablo: 3.1, 3.2 ve 3.3, 3.4 verilmiştir.

Tablo 3.1. Standart Porselen Çin Kili Kimyasal Analizi [Ngah, 1998]

Kimyasal Analiz	
Madde	Bulunma Oranı (%)
SiO ₂	48,0
Al ₂ O ₃	37,0
TiO ₂	0,02
Fe ₂ O ₃	0,65
CaO	0,07
MgO	0,3
Na ₂ O	0,1
K ₂ O	1,6
Ateş Kaybı	12,5

Tablo 3.2. Standart Porselen Çin Kili Mineral İçeriği [Ngah, 1998]

Mineral İçeriği	
Mineral	Mineral Bulunma Oranı (%)
Kaolinit	70,40
Serbest Kuvars	25,57
K-Feldspat	1,80
Diğerleri	2,23

Tablo 3.3. Ukrayna Topak Kili Kimyasal Analizi [Ngah, 1998]

Kimyasal Analiz	
Madde	Bulunma Oranı (%)
SiO ₂	49,0
Al ₂ O ₃	34,0
TiO ₂	1,3
Fe ₂ O ₃	1,6
CaO	0,3
MgO	0,3
Na ₂ O	0,2
K ₂ O	1,2
Ateş Kaybı	12,0

Tablo 3.4. Ukrayna Topak Kilinin Mineral İçeriği [Ngah, 1998]

Mineral İçeriği	
Mineral	Mineral Bulunma Oranı (%)
Kaolinit	61,92
Serbest Kuvars	21,77
K-Feldspat	13,16
Diğerleri	3,12

Bu çalışmada, genelde yüksek oranda kil içeren seramiklerde gözlemlenen, killerin neden olduğu anizotropik çekilmenin ve bundan dolayı meydana gelen boyut deformasyonlarının minimum düzeyde tutulması için

döküm çamuru süspansiyonlarının hazırlanmasında kil kaynağı olarak iki farklı türde kil kullanılmış ve toplam kil içeriği de düşük düzeyde tutulmuştur. İki farklı türde kil kullanımının nedeni; şekillendirilen seramik ürüne belirli oranda yaş mukavemet kazandırmak ve aynı zamanda kilin kalitesine bağlı olarak değişen oranlarda beraberinde getirdiği, seramik ürünlere arzu edilmeyen özellikler kazandıran empürütelerin düşük düzeyde tutulmasını sağlamaktır.

Bu amaçla; çin kiline oranla daha yüksek plastiklik özelliğine sahip olmasından dolayı hazırlanan döküm çamuru süspansiyonlarına topak kili ilave edilmiştir. Ancak Tablo: 3.1 ve 3.3'teki değerlerden de açıkça görüleceği gibi topak kili çin kiline oranla daha fazla demir oksit ve titanyum oksit empüritelerini içerir. Bu empüritelerde seramik ürünün pişimi sırasında ürünün arzu edilmeyen şekilde renklenmesine ve ürünün beyazlık derecesinin değişmesine neden olur. Bu renklenmeyi minimum düzeyde tutacak ve yaş mukavemeti de aşırı derecede negatif yönde etkilemeyecek şekilde topak kiline göre daha az demir oksit ve titanyum oksit empüriteleri içeren çin kili kullanılmıştır.

3. 2. Kullanılan Elektrolit Malzemeleri

Asaltı döküm metodu ile başarılı bir ürün elde edilmesi için döküm çamuru süspansiyonunun kalıbın, en küçük ayrıntısına kadar her bir köşesini doldurabilecek derecede akışkanlık özelliğine sahip olmasının ve yine hazırlanan döküm çamurunun; gerek kalıptaki döküm işlemi sırasında, gerekse döküm haricinde beklemesi durumunda toz partikülleri arasındaki elektrostatik etkileşim ve Van der Waals kuvvetlerinin çekim etkisi gibi etkenlerle sistemin akışkanlığının bir süre sonra azalmasının veya sistemin pıhtılaşarak çökmesinin engellenmesi için döküm çamuru süspansiyonuna uygun bir elektrolitin eklenmesi ile defloküle edilmesi gerekir. Sisteme ilave edilen bir elektrolit partiküller arasındaki etkileşimleri ve bitişme şekillerini değiştireceğinden reolojik özellikler de az veya çok değişmektedir. Bu

amaçla; döküm çamuru süspansiyonlarına eklenecek elektrolit türü ve miktarının doğru olarak saptanması gerekmektedir.

Bu amaç doğrultusunda deneylerde kullanılan değişik elektrolitler Tablo 3.5'te verilmiştir. Bu elektrolitlerden Dolaplux SP NEW ve Darvan C kodlu olanlar ticari isim ile anılan kimyasal bileşiklerdir. Bu elektrolitlerinden Dolaplux SP NEW'un özellikleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Elektrolitlerin suda çözündürülmesi ile hazırlanan değişik oranlardaki sulu çözeltileri; akışkanlık ölçümü almak üzere hazırlanmış döküm çamuru süspansiyonlarına değişik miktarlarda ilave edilmişlerdir.

Tablo : 3.5. Asaltı Döküm İçin Hazırlanan Elektrolit Çözeltileri

Elektrolit Türü	Çözeltideki Oranı (% Ağırlıkça)
Sodyum Silikat (Cam Suyu)	(2,6)
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3)	(2,46)
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3) + Sodyum Silikat ($\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ %40 seyreltilmiş cam suyu)	(5 +5)
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3) + Sodyum Silikat ($\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ %40 seyreltilmiş cam suyu)	(4 + 6)
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3) + Sodyum Silikat ($\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ %40 seyreltilmiş cam suyu) + PVA (Bağlayıcı)	(4 + 6 + 1)
Gum Arabic	(2,5)
Dolaplux SP NEW	(2,5)
Darvan C	(2,5)

Tablo : 3.6 Dolaplux SP NEW Elektrolitinin Özellikleri.

ÖZELLİKLER	DOLAPLUX SP NEW
Görünüm	Koyu gri renkli toz
Çözünürlük	Suda çözünür
Yoğunluk	600 gr./lt
PH	12
Ateş kaybı	% 54
Kimyasal içerik	Hüminat-silikat Bileşkesi

3.2.1. Elektrolit Çözeltisinin Hazırlanması

Döküm çamuru süspansiyonuna dağıtıcı olarak ilave edilecek elektrolitler deiyonize suda çözündürülmüş halde kullanılmıştır. Bunun için belirlenen % konsantrasyonlarını sağlamak üzere gerekli miktarda elektrolitler tartılarak 100 ml deiyonize su içeren cam behere yavaşça ilave edilmiştir. Çözünmeyi hızlandırmak için karışım manyetik karıştırıcı kullanılarak oda sıcaklığında 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Sadece PVA (Polivinil Alkol) bağlayıcı ilavesi yapılan elektrolit çözeltisi; elektrolit ilavesi yapılmadan önce bağlayıcının tamamen çözünmesi için ısıtma ünitesine sahip bir manyetik karıştırıcı kullanılarak 45°C'de 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra soğutulan bağlayıcı içeren çözeltiye gerekli elektrolit türü ilave edilmiştir.

3.3. Döküm Çamuru Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Asaltı döküm metodu ile başarılı bir dökümün gerçekleştirilmesi; hazırlanan döküm çamuru süspansiyonunun yüksek katı madde içeriğine sahip olmasını gerektirir. Ryan ve Radford'a [1987] göre vitrifiye seramikler için hazırlanan döküm çamuru süspansiyonunun 1,8 gr/cm³ özgül ağırlık değerine sahip olmalıdır. Bu şekilde yüksek katı içeriğinde hazırlanan döküm

çamuru süspansiyonu ile; döküm işlemi sırasında kullanılan alçı kalıbın çok fazla su emme ve tahliye etme gereksinimi ortadan kalkar. Döküm sırasında alçı kalıbın çok fazla suyu tahliye etmesi; kalıp gözeneklerinin çok kısa sürede su ile dolmasına neden olur. Gözeneklerdeki bu suyun kurutma ile uzaklaştırılması işlemi sıklıkla yapıldığında kalıp ömrünün azalmasına neden olur.

Anortit-bazlı vitrifiye seramik tozundan düşük kil içeriğinde hazırlanan döküm çamuru süspansiyonunun yukarıda belirtilen dezavantajlı durumu ortadan kaldırmak üzere; $1,8 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlık değerini sağlayacak şekilde süspansiyona katılacak katı madde miktarının dolayısıyla döküm çamuru konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla; farklı oranlarda katı/su içeren döküm çamurları hazırlanmış ve basit bir yöntemle döküm çamurunun özgül ağırlıkları ölçülmüştür. Özgül ağırlık değeri; hacmi bilinen döküm çamurunun ağırlığının tespit edilmesi ve bu ağırlığın bilinen hacim değerine oranı ile bulunur. Bunun için 68 cm^3 hacim değerine sahip bir cam beher terazide darası alındıktan sonra hazırlanan döküm çamuru ile doldurulur. Daha sonra hassas terazide bu dolu cam beherin toplam ağırlığı ölçülür. Aşağıdaki formül gereğince de döküm çamurun özgül ağırlık değeri hesaplanır.

$$\text{Ö.A.} = \frac{68 \text{ cm}^3 \text{ lük beher içindeki döküm çamurun kütlesi}}{68}$$

Burada; Ö. A : Döküm çamuru süspansiyonunun özgül ağırlığıdır.

3.4. Döküm Çamuru Süspansiyonunun Hazırlanması

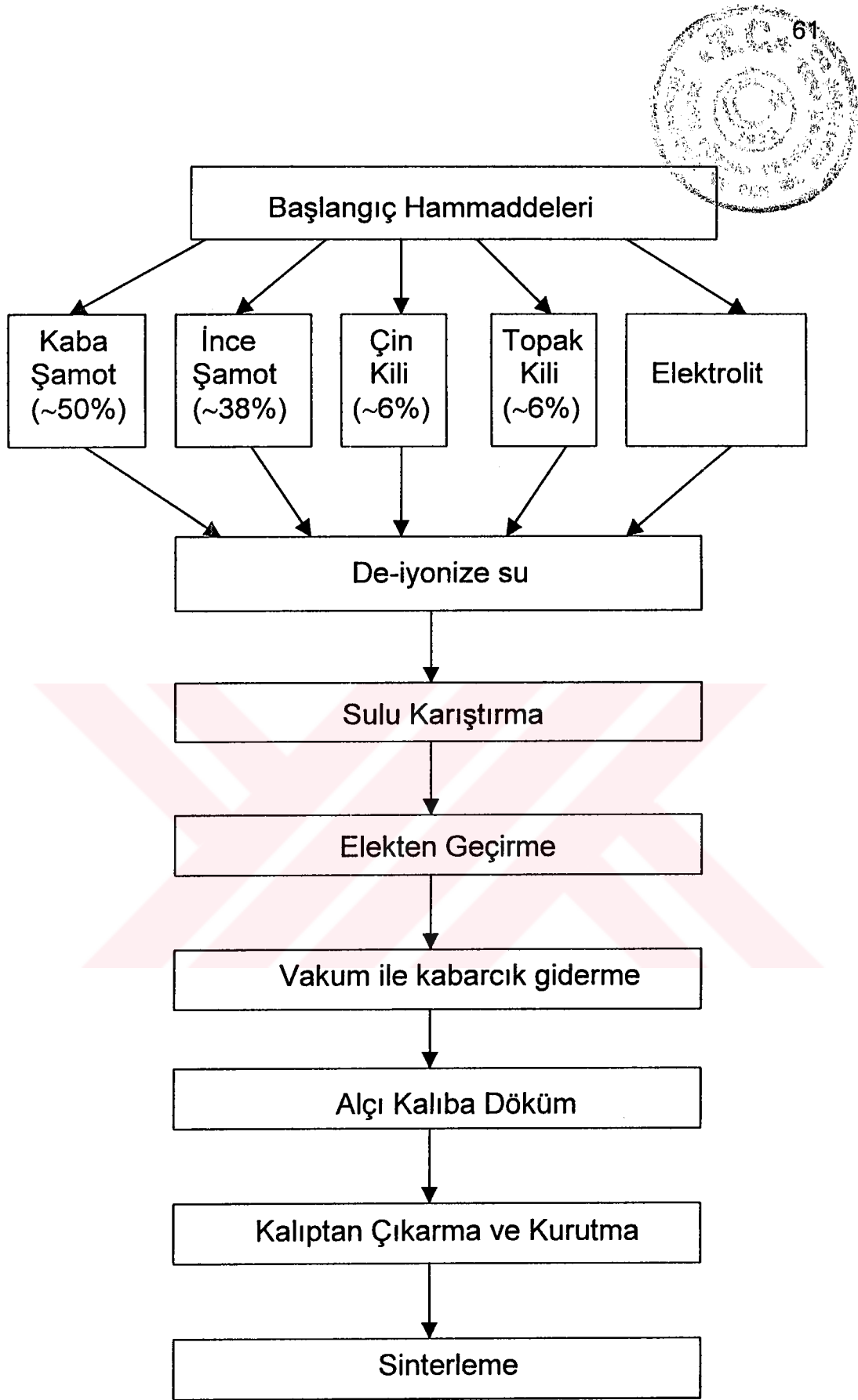
Farklı elektrolit ilavesinin döküm çamurunun akışkanlığı üzerine etkilerini ölçmek ve asaltı döküm metodu ile döküm gerçekleştirmek üzere döküm çamuru süspansiyonunun hazırlanmasında kat edilen işlem kademeleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Döküm çamuru süspansiyonunu oluşturmak için ilave edilen seramik tozu ham maddeleri ve % miktarları aşağıdaki Tablo 3.7'de listelenmiştir.

Tablo 3.7 Asfaltı Döküm Çamuru Süspansiyonunu Oluşturan Hammaddeler ve Miktarları

Hammadde	Miktarı (%)
Kaba taneli şamot	50
İnce taneli şamot	38
Çin kili (china clay)	6
Ukrayna Topak Kili (ball clay)	6

Tablo 3.7'de belirtilen oranlardaki hazırlanmış hammaddeler; 1,8 gr/cm³'lük süspansiyon özgül ağırlık değerini sağlayacak şekilde döküm çamuru süspansiyonuna ağırlıkça %52 oranında eklenmesi tespit edilen de-iyonize su içeren porselen öğütücü kabına katılmıştır. Döküm çamuru süspansiyonunda homojen bir karışım elde etmek için hammadde dağılımının iyi sağlanması gerekir. Bunun için hesaplanan oranlarda Ukrayna kaynaklı topak kili, standart porselen çin kili, ince taneli şamot; yaklaşık 12-20 mm çaplarındaki öğütücü alümina bilyalarından birkaç tane içeren 5 litre kapasiteli porselen öğütücü kabına ilave edilerek bilyalı öğütücü değirmende yaklaşık yarım saat karıştırılmıştır. Bu süre sonunda karıştırma işlemine ara verilerek kaba taneli şamot ilave edilir. 15 dakika daha karıştırma işlemine devam edilir. Bu aşamada karıştırma süresinin kısa tutulmasının nedeni kaba pişirilmiş malzemenin tane boyutu dağılımının değişmesinin istenmemesidir.

Karıştırma işleminden sonra süspansiyon; olası topaklanmaların elimine edilmesi için ASTM 60 nolu elekten geçirilmiştir. Bu işlemten sonra, döküm çamurunun içerdiği hava kabarcıklarını çamurdan uzaklaştırmak için süspansiyon vakum ortamında yaklaşık 1 saat kadar tutulmuştur. Böylece döküm çamurunda; viskozite ölçüm hatasına neden olabilecek faktörlerin etkisi minimum düzeye getirilmiştir. Viskozite ölçümüne hazır hale getirilen döküm çamuruna değişik oranlarda elektrolit ilave edilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Döküm Çamuru Süspansiyonunun Hazırlanması

3.5. Reolojik Ölçümler

Reolojik ölçümler, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında mevcut olan Brookfield RVDV-II+ model viskometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Her viskozite ölçümü için minimum 600 cm³'lük hacmi dolduracak miktarda döküm çamuru süspansiyonu bir cam beherde hazırlanır. Ölçüm için uygun olan yassı silindirik disk içeren bir ayak seçilir ve bu ayak süspansiyon içine daldırılır. Ölçüm için gerekli bilgilerin viskometre aleti kontrol ünitesine girilmesinden sonra farklı ayak dönme hızlarındaki viskozite değerleri alınır. Aynı işlemler farklı su içeriklerinde hazırlanmış olan süspansiyonlara ve 1,8 gr/cm³ özgül ağırlığına sahip olan döküm çamuru süspansiyonuna yapılan her bir elektrolit ilavesinden sonra da aynen tekrar edilmiştir. Viskozite değerleri mPas biriminde elde edilmiştir. Ayrıca ölçümü yapılan tüm süspansiyonların pH değeri de kaydedilmiştir. Bu ölçümler için WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH) pH metre (pH 526) modeli kullanılmıştır.

3.6. Asaltı Döküm Çalışmaları

Asaltı döküm prosesi; hazırlanan döküm çamuru süspansiyonunun, elde edilmesi arzu edilen şekli vermek üzere hazırlanmış alçı kalıplara tamamen doldurulacak şekilde dökülmesi işlemini içerir. Dökümü gerçekleştirebilmek için deneylerde çok fazla döküm çamuru süspansiyonunu hazırlama gereksiniminin ortadan kaldırmak için orjinal boyutlardan daha küçük boyutlarda bir kroze (pota) kalıbı hazırlanmıştır. Yaklaşık 3 mm döküm kalınlığı sağlamak için ortalama 2 dakikalık döküm süresinin yeterli olduğu tespit edilmiş ve bütün döküm deneylerinin çoğu için bu süre baz alınarak uygulanmıştır. 2 dakikalık döküm süresinden sonra kalıp içindeki fazlalık döküm çamuru süspansiyonu tekrar süspansiyon kabına geri boşaltılmış ve kalıp içeriği ile birlikte kalıp ağız kısmı aşağı gelecek şekilde birkaç saniye süresince konumlandırılarak döküm yüzeyinde kalan olası süspansiyon

artıklarının tahliye edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra kalıp ve döküm parçası; döküm parçasının kendisini kalıp cidarından sıyrarak ve serbest halde kalacak şekilde çekilene kadar kurumaya bırakılır.

Döküm parçasının davranışı kuruması için gereken süre boyunca sürekli gözlenmiştir. Kalıptan sıyrılarak serbest kalan döküm parçaları; elektrikli fırınlarda sinterleme işlemine tabi tutulmadan önce tamamen kurumaları için oda sıcaklığında 2 gün bekletilmişlerdir.

Asfaltı döküm deneyleri için hazırlanan döküm çamuru süspansiyonlarına; ilave edilen elektrolit miktarları viskometre ölçümlerinden elde edilen süspansiyonların reolojisi baz alınarak tespit edilmiştir.

Deneylerin sonunda elde edilen başarılı tecrübeler ışığında gerçek boyutta ürünler elde etmek üzere mevcut olan süt kabı ve tabak şekli içeren alçı kalıplara da döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha önce tespit edilen döküm alma süresinin çok kısa olması, yeni döküm hızının çok yüksek olmasından dolayı döküm hızını yavaşlatmak için bazen alçı kalıp iç cidarları su ile ıslatılmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde; deneysel işlemler sırasında elde edilen bulgular ait oldukları konu başlıklarına göre ayrıntılı olarak sunulmuştur.

4.1. Tane Boyutu Ölçümü

Döküm çamuru süspansiyonuna orta taneli malzeme sınıfında katılacak olan ince öğütülmüş şamot eldesi için yapılan iki hafta süreli öğütme işlemi sonucunda elde edilen partikül boyut dağılımı Şekil 4.1'de görülmektedir. Ortalama 7,3 μm tane boyutlu kaba şamot ile başlanılan öğütme işlemi; ortalama 1,5 μm tane boyutuna sahip ince şamot eldesi ile son bulmuştur. Böylece öğütme işleminden hedeflenen amaç gerçekleştirilmiştir.

4.2. Döküm Çamuru Süspansiyonunun Özgül Ağırlığının Belirlenmesi

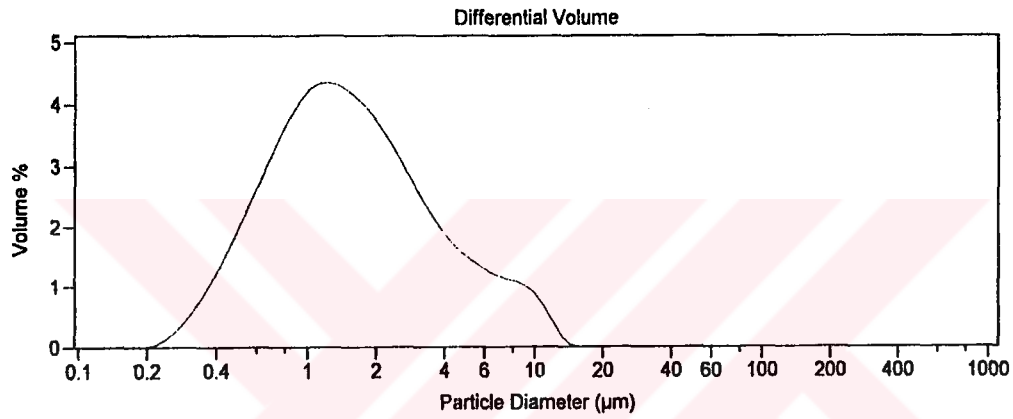
Farklı oranlarda su içeren döküm çamuru süspansiyonlarının özgül ağırlığının belirlenmesi ve 1.8 gr/cm^3 değerini sağlayacak katı/su oranının elde edilmesi için %45 ile %100 oranında su içeren değişik süspansiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu döküm çamuru süspansiyonların sahip oldukları ölçülen özgül ağırlık değerleri Tablo 4.1'de listelenmiş ve tabloda yeralan değerleri; özgül ağırlığın ilave edilen su oranına bağlı olarak grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.2). Gerekliliği daha önceki bölümlerde açıkça vurgulanan döküm çamuru süspansiyonunun 1.8 gr/cm^3 'lük özgül ağırlık değeri %52 su içeriğinde sağlanmaktadır. Bu katı hammadde su oranı; elektrolit ilave edilecek tüm döküm çamuru süspansiyonlarında bu düzeyde korunmuştur. %52'nin üzerindeki su ilave edilme oranlarında süspansiyonun özgül ağırlık değerinin düşme eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bu etki Şekil 4.2'de açıkça görülmektedir.



LS Particle Size Analyzer

9 Sep 1999

File name: isil.\$01 Group ID: isil
 Sample ID: m-17* prefired
 Operator: I. KUTBAY Run number: 6
 Comments: Prefired material was wet milled in Ball mill for a week
 Powders were added in suspension form.
 Optical model: Fraunhofer PIDS included
 LS 130
 Fluid Module
 Start time: 12:57 6 Sep 1999 Run length: 90 Seconds
 Obscuration: 4%
 PIDS Obscur: 52%
 Fluid: Water
 Software: 2.09 Firmware: 1.31 1.8



Volume Statistics (Arithmetic)

isil.\$01

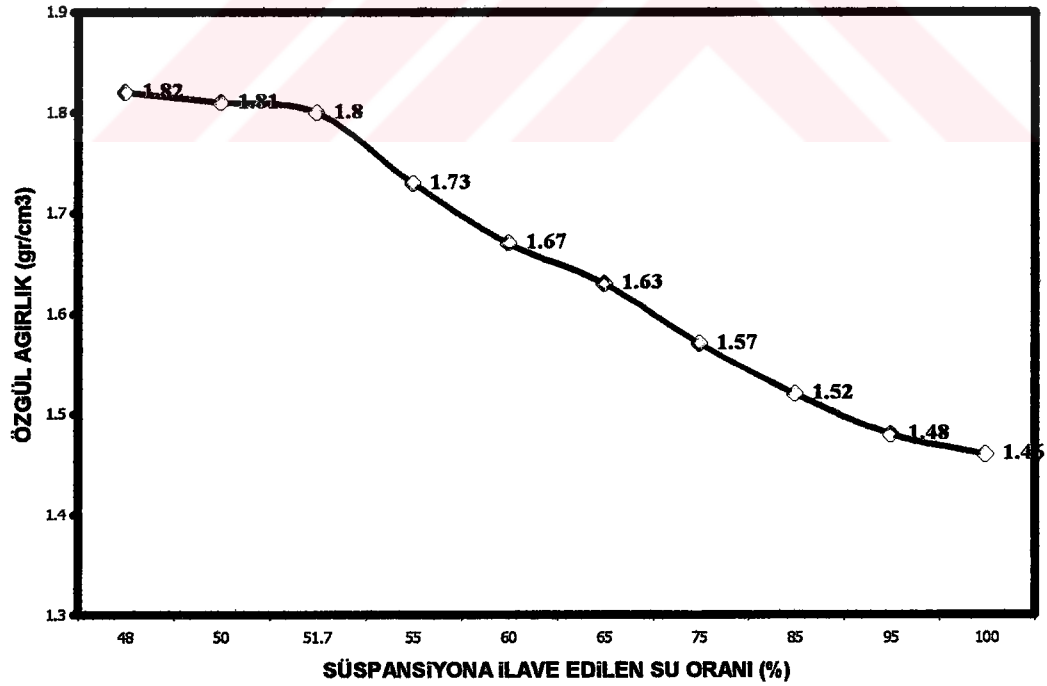
Calculations from 0.100 µm to 900 µm

Volume	100.0%	S.D.:	2.25 µm
Mean:	2.279 µm	C.V.:	98.7%
Median:	1.469 µm	Skewness:	2.16 Right skewed
D(3,2):	1.155 µm	Kurtosis:	4.89 Leptokurtic
Mode:	1.222 µm		
% <	10 25 50 75 90		
Size µm	0.558 0.860 1.469 2.724 5.254		

Şekil 4.1 İnce Taneli Şamotun Tane Boyut Dağılımı

Tablo 4.1 Döküm Çamuru Süspansiyonların Ölçülen Özgül Ağırlık Değerleri

İLAVE EDİLEN SU ORANI (%)	ÖZGÜL AĞIRLIK (g/cm ³)
48	1.82
50	1.81
52	1.80
55	1.73
60	1.67
65	1.63
75	1.57
85	1.52
95	1.48
100	1.46

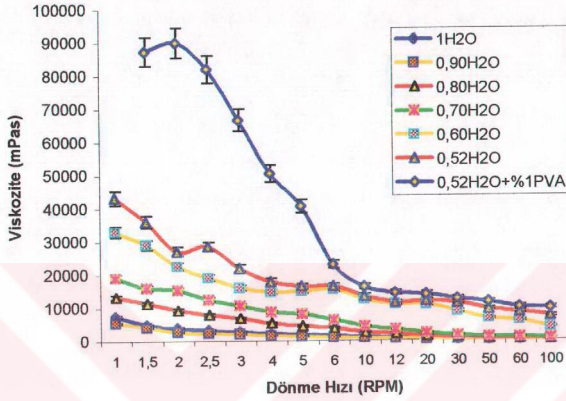


Şekil 4.2 Su Miktarına Göre Süspansiyonun Özgül Ağırlık Değerinin Değişimi

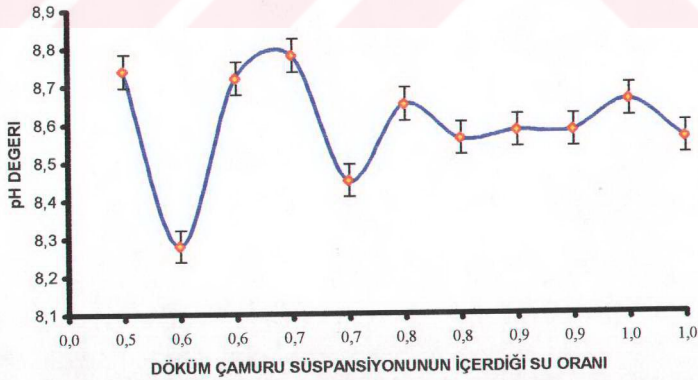
4.3. Viskozite Ölçüm Sonuçları

Viskozite ölçüm deneylerine farklı su oranlarındaki, elektrolit ilavesi içermeyen süspansiyonların viskozitelerinin ölçülmesi ile başlanmıştır. Farklı su oranlarındaki süspansiyonların dönme hızına bağlı olarak viskozite sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. Ayrıca bu grafikte bağlayıcı ilavesi yapılmış süspansiyonun viskozite ölçüm sonuçları da verilmiştir. Su oranına bağlı olarak süspansiyonun pH değerinin değişimi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Başlangıçtaki su ilavelerinde pH değeri bir artış ve yükseliş gösterirken yüksek oranlarda su ilavelerinde kararlı bir değere ulaşmaktadır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi süspansiyonun viskozitesi su oranı arttıkça düşmektedir. Ancak bununla beraber süspansiyon içindeki partiküllerin de dibe doğru çöktüğü de gözlemlenmiştir. Bu durumda homojen kalınlık dağılımına sahip bir döküm yapmak mümkün değildir. %1 oranında PVA bağlayıcı ilavesi durumunda viskozitedeki artış çok belirgindir. Bu etki Şekil 4.5'te açıkça görülmektedir. Bağlayıcı etkisi ile partiküller arası çekim kuvveti artmış ve bunun sonucunda süspansiyonun sıkışmasına ve dolayısıyla viskozitesinin artmasına neden olmuştur. Yukarıda ifade edilen sonuçlar; sadece su ve bağlayıcı ilavesi ile döküm çamuru süspansiyonun asaltı döküm ile döküm yapılabilecek düzeye getirilemeyeceğini göstermiştir.

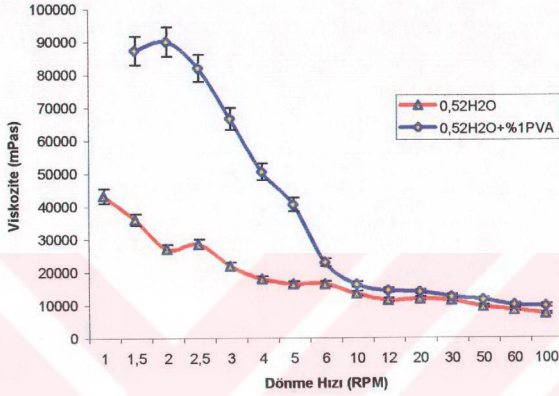
Döküm çamuru süspansiyonuna elektrolit ilavesi yapılarak viskozite ölçümlerine sodyum silikat (cam suyu) elektrolit ilavesi ile başlanmıştır. Sodyum silikatın her bir ilave oranında, farklı dönme hızlarında elde edilen viskozite değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi dönme hızı ve elektrolit ilavesi arttıkça süspansiyonun viskozitesi düşmektedir. Süspansiyonun viskozitesinin dönme hızına bağlı olarak değişim göstermesi, süspansiyonun psödüplastik davranışa sahip olduğuna işaret eder.



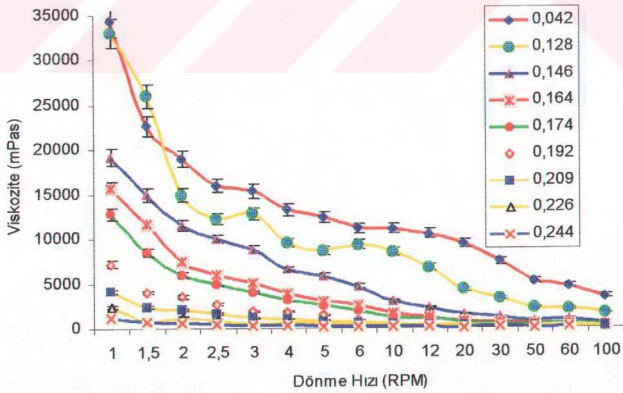
Şekil 4.3 Süspansiyonun Viskozitesinin Su İçeriğine Göre Değişimi.



Şekil 4.4 Süspansiyonun pH Değerinin Su İçeriğine Göre Değişimi.



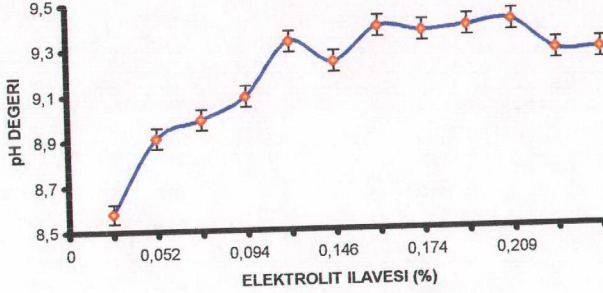
Şekil 4.5 Bağlayıcı İlavesinin Sulu Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi.



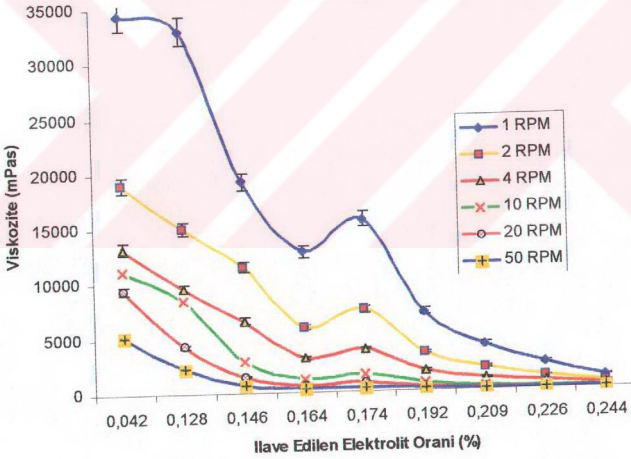
Şekil 4.6 Sodyum Silikat Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi

Nispeten yüksek oranlardaki elektrolit ilavesinde viskozitenin dönme hızına bağlı olarak değişim miktarı azalma göstermiştir. Bu da elektrolit ilavesi ile süspansiyonun bir asaltı halinde kararlı hale geldiğini ve kayma gerilim değerlerinin düşürüldüğüne işaret eder. Elektrolit ilavesine bağlı olarak süspansiyonun pH değerindeki değişim Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Elektrolitin ilk ilavelerinde süspansiyonun pH değeri 8,5 civarında iken artan elektrolit miktarına göre 9,5 civarına kadar yükselmiştir. Ölçüm sırasında elde edilen viskozite değerlerinin ilave edilen elektrolit miktarına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler Şekil 4.8'de görülmektedir. Bu şekilden viskozitenin elektrolit miktarına bağlı olarak değişimi net bir şekilde görülebilmektedir. Sodyum silikat elektrolit ilavesi ile döküm çamuru süspansiyonunun asaltı döküm metodu ile dökümü yapılabilecek derecede akışkanlığın; %0,25 civarında elektrolit ilavesi ile mümkün olduğu saptanmıştır. Bu şartlar altında alçı kalıba yapılan döküm deneyleri başarılı sonuçlar vermiştir.

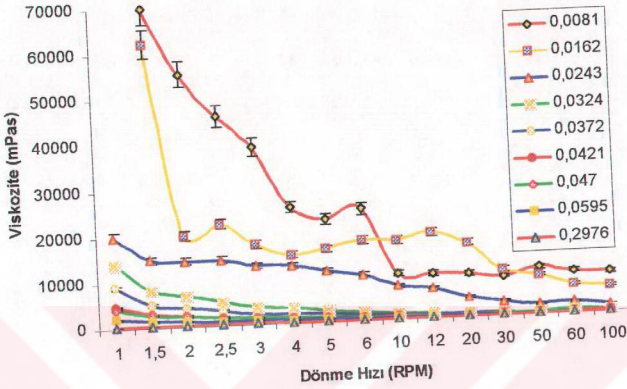
Döküm çamuru süspansiyonuna ilave edilen bir elektrolit türünde sodyum karbonattır. Sodyum karbonat elektrolit ilavesinde farklı dönme hızlarındaki viskozite değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Düşük miktardaki sodyum karbonat ilavesinde ölçülen viskozite sonuçları kararsız bir durum sergilerken daha yüksek oranlardaki ilavesi bu kararsızlığı ortadan kaldırmıştır. Bu durumun nedeni başlangıçta ilave edilen sodyum karbonat ile süspansiyona geçen sodyum iyonlarının döküm çamuru süspansiyonunu kararlı hale getirebilecek miktarda olmamasındandır. Daha yüksek oranlardaki ilavesi ile süspansiyonun viskozitesinin dönme hızına bağımlılığının azaldığı gözlemlenmiştir. Sodyum karbonat elektroliti ilavesi ile süspansiyonun pH değişimini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmektedir. Sodyum karbonat ilavesi ile pH değeri hafif bir azalma göstermektedir. %0,30 gibi yüksek oranlardaki elektrolit ilavesi pH değerini aşırı derecede yükseltmiştir. Bu da sodyum karbonat elektrolit ilavesinin aşırı derecedeki ilavesi sistemin zeta potansiyel değerini etkileyebileceğine işaret eder. Çünkü; literatürden bilinmektedir ki, düşük pH değeri süspansiyonun maksimum zeta potansiyel değerine karşılık gelir.



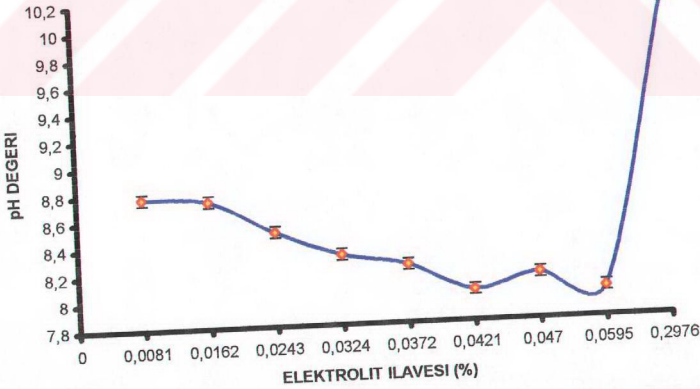
Şekil 4.7 Sodyum Silikat ilavesinin Süspansiyon pH Değeri Üzerine Etkisi



Şekil 4.8 Sodyum Silikat ilave Oranının Süspansiyonunun Viskozite Üzerine Etkisi



Şekil 4.9 Sodyum Karbonat Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi

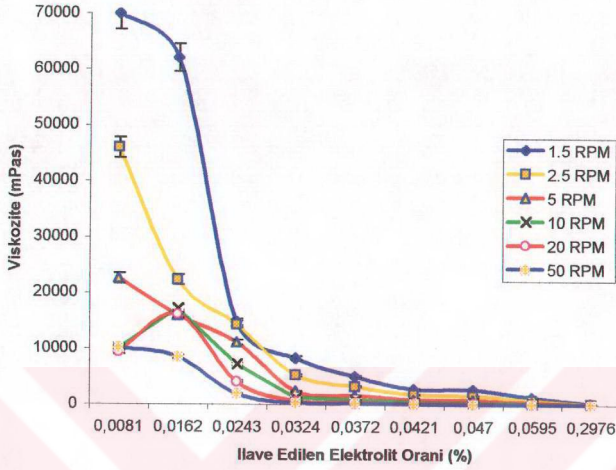


Şekil 4.10 Sodyum Karbonat Elektroliti İlavesinin Süspansiyonunun pH Değeri Üzerine Etkisi

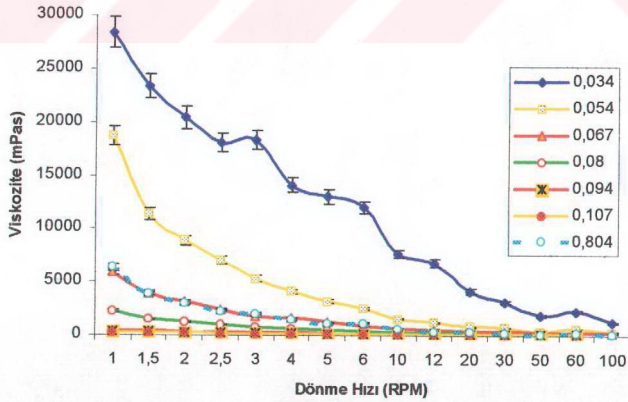


Elektrolit miktarının çok fazla oranda ilavesi; süspansiyonun zeta potansiyel değerini düşürebilir. Buna bağlı olarak; pH değerinde bir artış gözlemlenir. Sodyum karbonatın yüksek miktardaki ilavesinin böyle bir etkiye sahip olabileceği düşünülmüştür. Şekil 4.11'de süspansiyonun viskozitesinin elektrolit miktarına bağımlılığı net bir şekilde ortaya koyulmaktadır. Bu şekilden de görüldüğü gibi %0,04 civarında veya daha yüksek miktarlarda sodyum karbonat ilavesinin döküm çamuru akışkanlığının kararlı hale getirilmesi için yeterlidir.

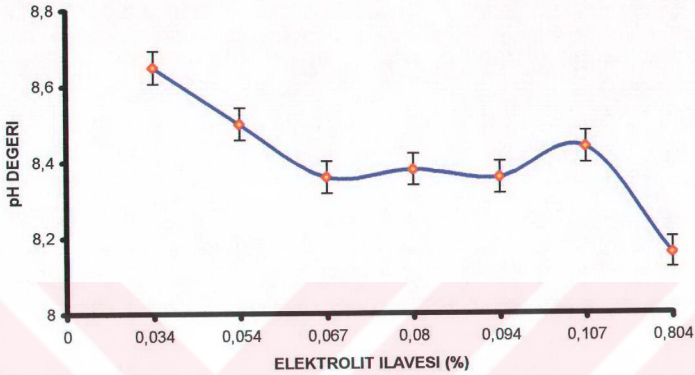
Sodyum silikat ve sodyum karbonatın ayrı ayrı elektrolit olarak ilavesinden sonra bunların farklı oranlardaki karışımlarının elektrolit olarak kullanımının etkisi de çalışılmıştır. İlk olarak %4 sodyum karbonat+%6 sodyum silikat içeren karışımın ilavesinin etkisi çalışılmış ve bu elektrolit ilavesine bağlı olarak faklı dönme hızlarında elde edilen viskozite değerleri Şekil 4.12'de grafik halinde gösterilmiştir. Düşük miktardaki bu karışım elektrolit ilavesinde süspansiyonun viskozitesinin dönme hızına bağlı olarak lineer bir şekilde azalma gösterdiği fakat nispeten daha yüksek oranlardaki ilavesinde bu bağımlılık; aşırı derecede azalmıştır. Şekil 4.12'de kesikli mavi renkte çizgiyle verilen eğri yüksek miktarda elektrolit ilavesinin etkisini vermektedir. Bu eğri çok daha düşük oranlarda elektrolit ilavesinde elde edilen viskozite eğrisi ile çakışmaktadır. Buda; bu karışım elektrolitinin süspansiyona ilavesinde bir üst sınırın olduğunu göstermektedir. Benzer etki sistemin pH değerinin ölçülmesinde de kendini göstermiştir (Şekil 4.13). Başlangıç ilavelerinde süspansiyonun pH değeri az oranda bir azalma göstererek daha fazla elektrolit ilavesinde kararlı bir hal almıştır. Fakat çok daha yüksek oranda elektrolit ilavesinde pH değeri ani düşüş göstermiştir. Bu etki Şekil 4.14'de çok daha net bir şekilde görülmektedir. %0,1 oranına kadar bu karışım elektrolitinin ilavesi; sistemi kararlı hale getirmekte yeterlidir. Ancak, daha fazla oranlardaki ilavesinde sistem tekrar kararsız hale gelmektedir.



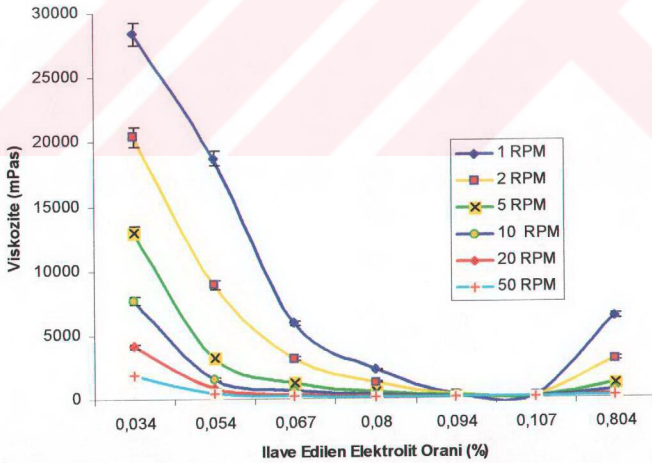
Şekil 4.11 Sodyum Karbonat İlave Oranının Süspansiyon viskozitesi Üzerine Etkisi



Şekil 4.12 %4Na₂CO₃+%6Cam Suyu Elektroliti ilavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



Şekil 4.13 %4Na₂CO₃+%6Cam Suyu Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH Değeri Üzerine Etkisi

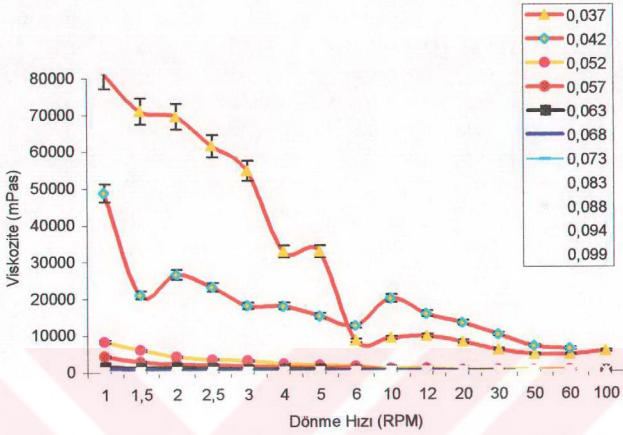


Şekil 4.14 %4Na₂CO₃+%6Cam Suyu İlave Oranının Süspansiyon Viskozitesi Üzerine Etkisi

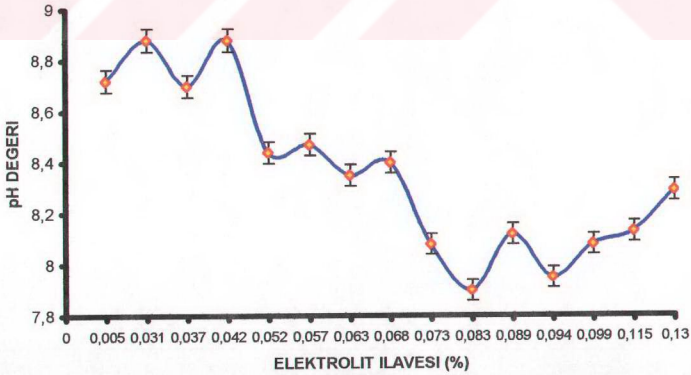
Bu karışım elektroliti ayrıca %1PVA bağlayıcı içeren süspansiyona da ilave edilmiş ve ölçülen viskozite sonuçlarının PVA içermeyen süspansiyonla aynı etkiyi gösterdiği saptanmıştır. Sadece asaltı metoduyla yapılan dökümde yapının daha gözenekli olduğu saptanmıştır.

İkinci olarak %5 sodyum karbonat+%5 sodyum silikat içeren karışımın etkisi çalışılmış ve bu elektrolit ilavesine bağlı olarak farklı dönme hızlarında elde edilen viskozite değerleri Şekil 4.15'de verilmiştir. Bu karışım elektrolitinin yüksek miktardaki ilavesinde süspansiyonun viskozitesinin dönme hızına bağımlılığı az iken nispeten daha düşük oranlardaki ilavelerde bu bağımlılık aşırı derecede artmıştır. Ayrıca düşük oranlarda elektrolit ilavelerinde sistem kararsız hal gösterirken yüksek oranlarda kararlılık derecesi artmıştır. Sistemin pH değerinin ölçülmesindeki etki Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Başlangıç ilavelerinde süspansiyonun pH değeri hafif bir azalma gösterecek ve ilave oranı arttıkça bu azalma bir miktar yükselme gösterecektir. pH değişimi bu sistemde kararlılık göstermektedir. Elektrolit ilavesinin viskozite üzerine etkisi Şekil 4.17'de çok daha net bir şekilde görülmektedir. %0,0625 oranına kadar bu karışım elektrolitinin ilavesi sistemi kararlı hale getirmekte yeterli olduğu tespit edilmiştir. Sistem akışkanlığı döküm için yeterli bir hale gelmektedir.

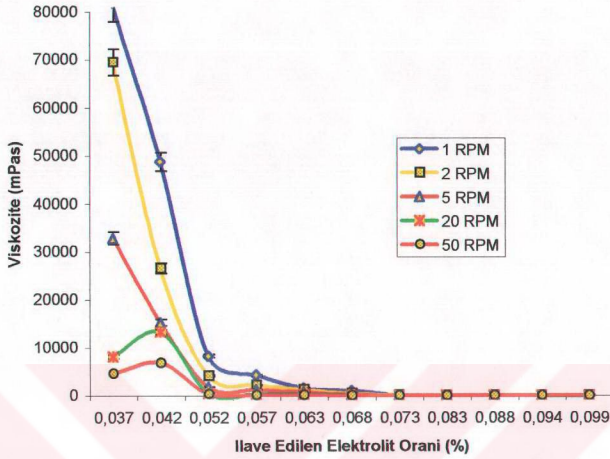
Ticari bir elektrolit türü olan Darvan C'nin döküm çamuru süspansiyonuna katılmasıyla elde edilen farklı dönme hızlarındaki viskozite sonuçları Şekil 4.18'de verilmektedir. Bu grafikte kesikli çizgi ile gösterilen eğrilerin temsil ettiği düşük oranlardaki elektrolit ilavesinde süspansiyonun viskozitesi bir azalma göstermiştir. Fakat daha fazla oranda ilavesinde sistem kararsız hale gelmiştir. Süspansiyona elektrolit ilavesi ile pH değerindeki değişim de Şekil 4.19'da verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi başlangıç ilavelerinden sonra süspansiyonun pH değeri fazla bir değişim göstermemektedir. Darvan C sisteminin kararsızlık durumu, Şekil 4.20'de viskozite sonuçlarının elektrolit miktarına bağlı olarak gösterimiyle çok daha net bir şekilde verilmektedir.



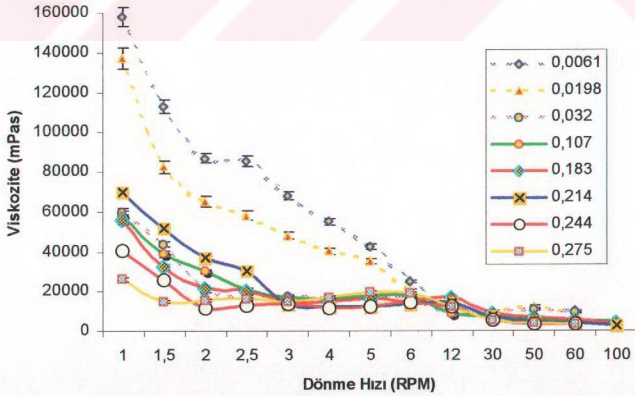
Şekil 4.15 %5Na₂CO₃+%5Cam Suyu Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



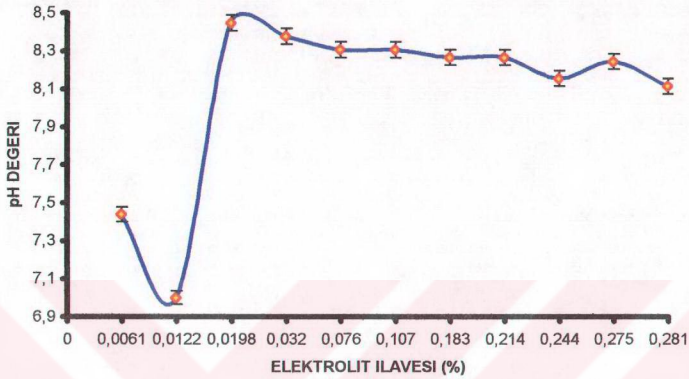
Şekil 4.16 %5Na₂CO₃+%5Cam Suyu Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH Değeri Üzerine Etkisi



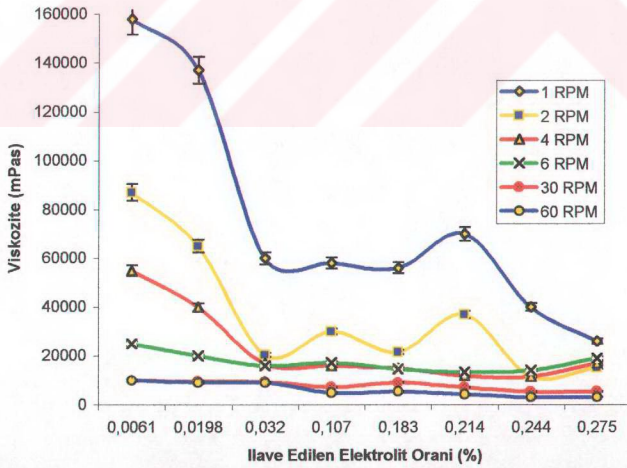
Şekil 4.17 %5Na₂CO₃+%5Cam Suyu İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi



Şekil 4.18 DARVAN C Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



Şekil 4.19 DARVAN C Elektroliti İlavesinin Süspansiyonunun pH Değeri Üzerine Etkisi

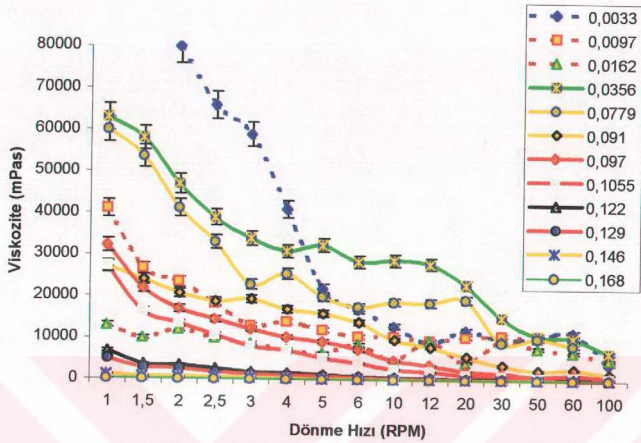


Şekil 4.20 DARVAN C İlave Oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi

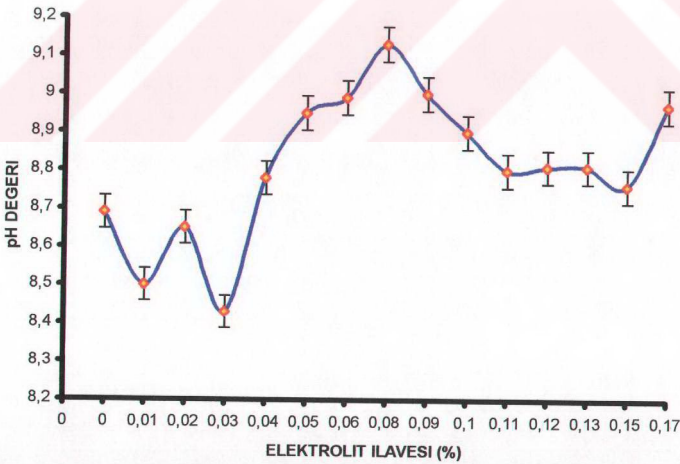
Dolaplux SP NEW ticari elektrolitin süspansiyona ilave edilmesi durumunda farklı dönme hızlarındaki viskozite değerleri Şekil 4.21'de verilmiştir. Bu elektrolit ilavesinde de süspansiyonun ilavesinin dönme hızına bağımlı olduğu gözlenmiştir. Elektrolit ilavesine bağlı olarak süspansiyonun pH değerindeki değişim Şekil 4.22'de verilmektedir. Elektrolit ilavesine bağlı olarak pH değeri bir maksimuma ulaştıktan sonra tekrar azalmaktadır. Şekil 4.23'te Dolaplux SP NEW elektrolitin ilavesine bağlı olarak viskozitedeki değişimi gösterilmektedir. Bu elektrolit ilavesi ile sistemin kararlı hale gelebilmesi ~%0,15 oranında mümkündür.

Gum Arabic olarak adlandırılan elektrolitin dökümün çamuru süspansiyonuna katılması; süspansiyonun akışkan hale getirilmesinde faydalı olmadığı saptanmıştır. Bu elektrolitin süspansiyona ilave edilmesinde farklı dönme hızlarında elde edilmiş viskozite sonuçlarının gösterildiği Şekil 4.24 incelendiğinde başlangıç ilavelerinde süspansiyonun viskozitesi düşerken, artan elektrolit ilavelerinde viskozite tekrar artmaktadır. Bu etki Şekil 4.25'de çok daha net bir şekilde görülmektedir.

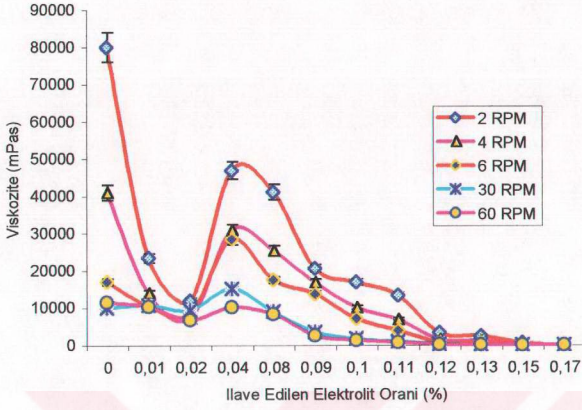
Gum Arabic ilavesi ile viskozitesi arzu edilen düzeye düşürülemeyen süspansiyonun bir başka elektrolit ilavesi ile kontrol edilip edilemeyeceğini görmek için yüksek oranda Gum Arabic elektroliti katılmış süspansiyona Dolaplux SP NEW ilavesi yapılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen dönme hızına bağlı olarak değişim gösteren viskozite sonuçları Şekil 4.26'da verilmiştir. Dolaplux SP NEW elektrolitinin ilavesi ile viskozite arzu edilen düzeylere düşürülmüştür. Başlangıçtaki ilave oranında süspansiyonun viskozitesi dönme hızına bağımlı iken yüksek oranlardaki ilavelerde bu bağımlılık giderek azalmıştır. Şekil 4.28 elektrolit ilavesine bağlı olarak süspansiyonun viskozitesindeki düşüşü net bir şekilde ortaya koyar. Bu elektrolitin süspansiyona ilavesine bağlı olarak pH değerindeki artışı gösteren eğri Şekil 4.27'de verilmiştir.



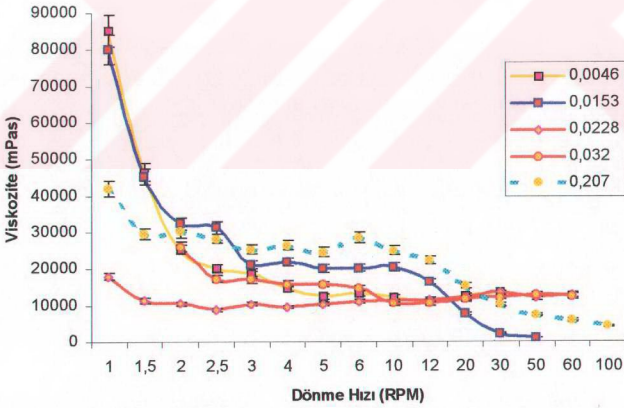
Şekil 4.21 Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun Viskozitenin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



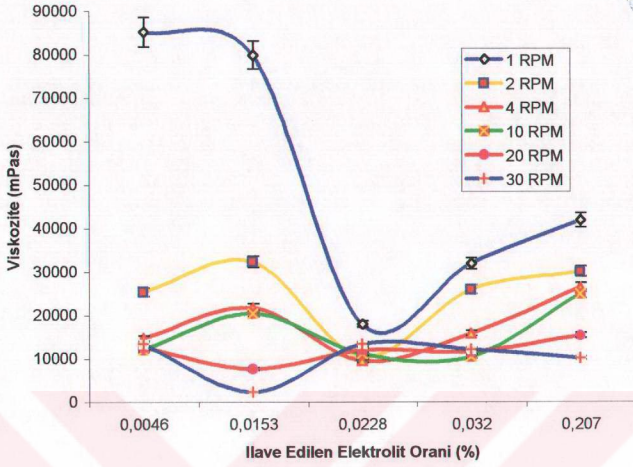
Şekil 4.22 Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinin Süspansiyonun pH Değeri Üzerine Etkisi



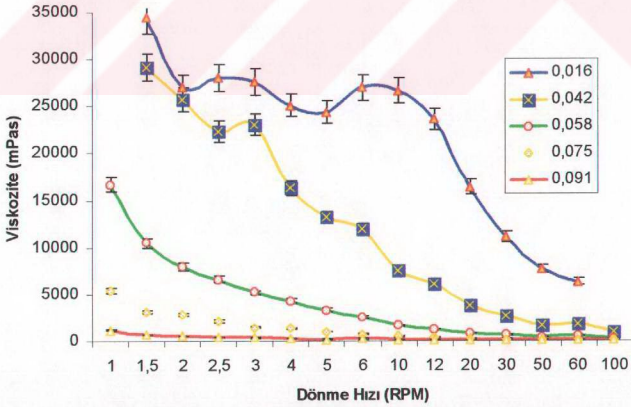
Şekil 4.23 Dolaplux SP NEW İlave Oranın Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi



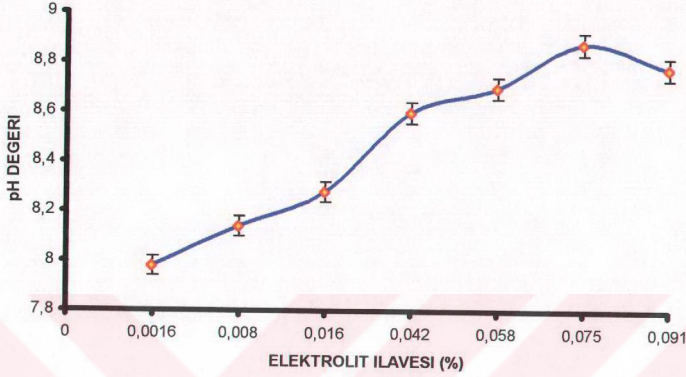
Şekil 4.24 Gum Arabic Elektroliti İlavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



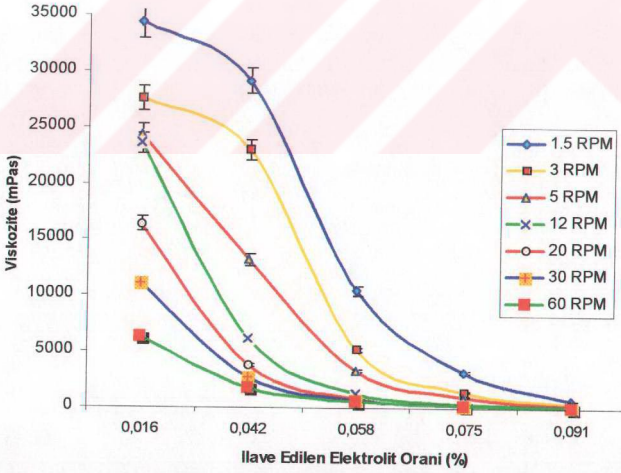
Şekil 4.25 Gum Arabic ilave oranının Süspansiyonun Viskozitesi Üzerine Etkisi



Şekil 4.26 Gum Arabic+Dolaplux SP NEW Elektroliti ilavesinde Süspansiyonun Viskozitesinin Dönme Hızına Bağlı Değişimi



Şekil 4.27 Gum Arabic+Dolaplux SP NEW Elektroliti İlavesinin Süspansiyonunun pH Değeri Üzerine Etkisi

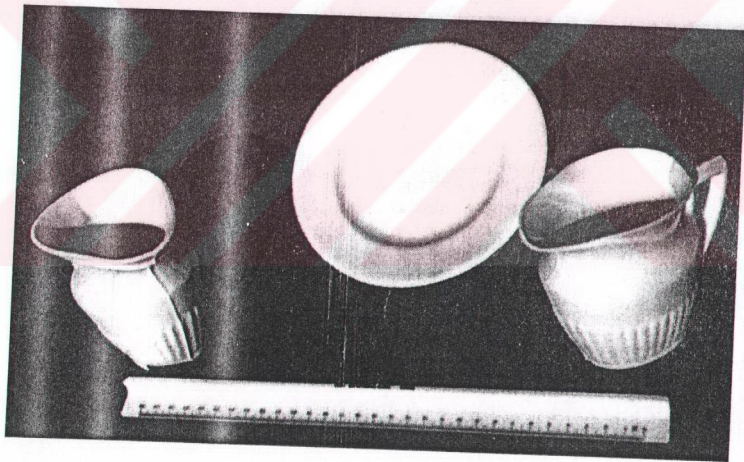


Şekil 4.28 Gum Arabic+Dolaplux SP NEW İlave Oranının Süspansiyonunun Viskozitesi Üzerine Etkisi

4.4. Asaltı Döküm Metodu ile Dökümün Gerçekleştirilmesi

Elektrolit ilavesi yapılarak asaltı döküm metodu ile döküm yapılabilecek kıvamda akışkan hale getirilen tüm döküm çamuru süspansiyonları ile gerçek boyutta alçı kalıba döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gum Arabic ve Darvan C elektrolitleri hariç diğer tüm elektrolit tipleri ile yapılan döküm deneyleri başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak Gum Arabic ve Darvan.C elektrolitleri ilave edilen süspansiyonlar yeterince akışkan olmadığı için ya alçı kalıba dökülememiş ya da dökülse bile yüksek hızdaki döküm oranından dolayı kalıp şekli kontrolü mümkün olamamıştır. Bazen de şekil verilse dahi kuruma sırasında şekil verilen ürün kalıp içinde iken çatlamış ve kırılmıştır.

Fakat uygun elektrolit ilavesi yapılarak akışkan hale getirilmiş döküm çamuru süspansiyonları ile anortit-bazlı vitrifiye seramiklerinden üretilmiş ürünlerden bazılarının fotoğraflı gösterimleri Şekil 4.29 da yer almaktadır. Asaltı döküm metodu ile dökümlerin başarılı olarak gerçekleştirebileceği görülmüştür.



Şekil 4.29 Asaltı Döküm Metodu İle Elde Edilen Numunelerin Görüntüsü

5. İRDELEME

Yeni geliştirilen vitrifiye seramiklerin düşük-kil içeriğinde döküm çamurunun hazırlanması ve uygun elektrolit türleri kullanılarak asaltı döküm metodu ile şekillendirilebilirliği üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada önemli bulgular tespit edilmiştir.

Asaltı döküm metodu ile şekillendirilebilirliğin temel şartlarından biri olan **"Döküm çamuru süspansiyonu, kalıpların kurutulması için gerekli olan enerji miktarını ve zamanı azaltmak için mümkün olduğunca yüksek oranda katı içeriğine (veya az miktarda su) sahip olmalıdır"** ve literatürde belirtilen vitrifiye seramikler için geçerli olan döküm çamuru konsantrasyonunun 1.8gr/cm^3 özgül kütle değerini sağlaması gereğince bu oranı sağlayacak su içeriğinin belirlenmesi bu çalışmada elde edilen tüm başarılı sonuçların temelini oluşturmaktadır. Çünkü daha önce bu oran belirlenmeden farklı su oranlarında (yüksek orandaki su içeriğinde) döküm çamuruna elektrolit ilavesi yapılarak İngiltere'de gerçekleştirilen çalışmalar; akışkanlık davranışlarının kontrol edilmesi yönünde pek tatminkar sonuçlar alınamadığı görülmüştür. Bu çalışmada; akışkanlığın kontrol edilebilmesi için süspansiyona katılacak su miktarının ağırlıkça yaklaşık olarak katı miktarının %52 oranında olması gerekliliği tespit edilmiştir.

%52'lik su oranı korunarak yapılan elektrolit ilavelerinde Na-bazlı elektrolitlerin döküm çamuru süspansiyonunun viskozitesinin döküm yapılacak düzeylere çekilmesinde etkin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sodyum silikat (cam suyu), sodyum karbonat karışımı elektrolit tipinin çok daha etkin olduğu da gözlemlenmiştir. Ayrıca ticari bir ürün olan Dolaplux SP NEW adlı elektrolitinde süspansiyonun viskozitesinin düşürülmesinde etkin olduğu görülmüştür. Burada önemli bir noktada ilave edilecek elektrolit miktarının dikkatlice kontrol edilmesinin gerektiğidir. Eğer gereğinden fazla elektrolit ilavesi yapılırsa bu

partiküller arası çekim kuvvetlerini arttırmakta ve partiküllerin biraraya gelerek aglomere olmasına ve süspansiyonun pıhtılaşarak viskozitesinin tekrar artmaya başlamasına neden olmaktadır.

Bir başka elektrolit türü doğal bir madde olan Gum Arabic ve ticari bir ürün olan Darvan C ilavesinin her ne seviyede yapılsa da süspansiyonun viskozitesini arzu edilen seviyelere çekilmesinde başarılı olunamamıştır. Bu çalışma; Gum Arabic ve Darvan C olarak adlandırılan ve seramik endüstrisinde kullanılan elektrolit tiplerinin anortit-bazlı vitrifiye seramiklerde kullanılamıyacağını göstermiştir.

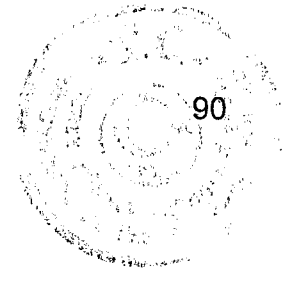
Viskozite ölçümlerinde genel olarak gözlemlenen anortit-bazlı vitrifiye seramik çamuru süspansiyonların psödoplastik davranışa sahip olmalarıdır. Yani süspansiyonların viskozitesi dönme hızına, kayma oranına bağlı olarak düşmektedir. Buda bu seramiğin Newtonyan olmayan akışkanlık gösteren maddeler sınıfına ait olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen enteresan bir sonuçta; süspansiyona bir elektrolit ilave edilmiş ve viskozitesi arzu edilen düzeye çekilememiş ve süspansiyonun dengesi bozulmuş iken bir başka elektrolit ilavesi ile süspansiyonun viskozitesinin arzu edilen düzeylere çekilebileceğinin gösterilmesidir. Bu endüstriyel açıdan çok önemlidir. Çünkü herhangi bir nedenden dolayı kontrolü kaybedilerek bu şekle düşebilecek döküm çamuru süspansiyonların ziyan olması engellenecek ve bu nedenden dolayı oluşabilecek ekonomik kayıplar ortadan kaldırılacaktır.

Gerçek boyutta yapılan alçı kalıba döküm deneyleri; elektrolit ilavesi yapılarak akışkan hale getirilmiş döküm çamuru süspansiyonları ile anortit-bazlı vitrifiye seramiklerin nispeten ucuz bir üretim tekniği olan asaltı döküm metodu ile üretilebileceğini göstermiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, sürekli

irtibat halinde bulunulan İngiltere'nin Sheffield Üniversitesindeki ekipte takdirle karşılanmıştır. Orada başarısız bir araştırma yeni kurulma aşamasında olan Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, sadece bilimsel açıdan değil, aynı zamanda yanında teknolojik gelişmeye yaptığı katkı açısından da büyük önem taşımaktadır.



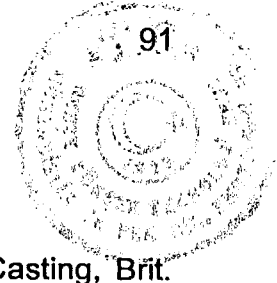


6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yeni geliştirilen vitrifiye seramiklerin düşük kil içeriğinde döküm çamurunun hazırlanması ve uygun elektrolit çeşitleri kullanılması ile asaltı döküm ile şekillendirilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmayla elde edilen bilgiler ışığında yeni çalışmalar yapmak veya çalışmayı değişik yönlerde devam etmek mümkündür.

Burada kullanılan farklı elektrolit türlerinin döküm çamuru süspansiyonunun asaltıya alınabilecek elektrolit aralığı tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılacak bir çalışmada; söz konusu elektrolitlerin ilavesi ile süspansiyonun zeta potansiyeli değerinde meydana gelecek değişimleri zeta potansiyel ölçümleri ile açığa çıkarılabileceğidir. Ayrıca asaltı döküm metodu ile döküm yapılmasına imkan tanıyacak düzeyde elektrolit ilaveleri yapılarak hazırlanacak döküm çamuru süspansiyonları ile alçı kalıplara döküm gerçekleştirilerek, farklı döküm zamanlarında elde edilen döküm kalınlığının ölçülmesi ile döküm hızı oranının kinetiği ortaya çıkarılabilir. Buna ilave olarak farklı sıcaklık ve zamanlarda sinterleme ısı işlemi yapılarak pişim sırasındaki çekilme miktarları, yoğunluk kazanımı mekanizması tespit edilebilir.

Yine çalışmada denenen %1'lik PVA bağlayıcı ilavesinin döküm çamuru süspansiyonunun viskozite akışkanlık davranışını olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir. Ancak bu bağlayıcının ilave edilmesinin nedeni olan şekil verilen ürünün yaş mukavemeti üzerine olumlu veya olumsuz herhangi bir etkisinin olup olmadığı üzerinde araştırmalar gerçekleştirilebilir. Asaltı döküm metodu ile çubuk şeklinde numunelerin hazırlanması ve kurutma işlemini takiben numunelerin üç-nokta eğme deneyine tabi tutularak yaş mukavemet (green-strength) değerleri tespit edilebilir.



KAYNAKLAR

Basnett, D., The Influence of Particle Orientation on Slip Casting, Brit. Ceram. Soc. Trans. J., 86 (1), 9-12, 1987.

Çapoğlu, A. and Messer, P. F., (a) The United States Patent, Whiteware Ceramic Compositions, Patent No ve Tarihi: 5, 716.894, 10.02.1998.

Çapoğlu, A. and Messer, P. F., Private Communication, 1994.

Çapoğlu, A. and Messer, P. F., (b) European Patent, Whiteware Ceramic Compositions, Patent No ve Tarihi: EP 0739323 B1, 29.04.1998.

Güvenç, A., Yeşilova, N., Kaytakoğlu, S., VIII. Ulusal Kil Sempozyumu, Kil-su Süspansiyonlarının Viskozitesinin Farklı Kil ve Deflokülantlara Bağımlılığı, DPÜ, Kütahya, 24-27 Eylül 1997.

Grimshaw, R. W., The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials: Ernest Ben Limited, London, 942 p, 1971.

Messer, P. F., Uniformity in Processing, Brit. Ceram. Soc. Trans. J., 82 (5), 152-162, 1983.

Messer, P. F., Manufacture of Whitewares by Casting-Lecture 4-notes for Short Course on Whiteware, The University of Sheffield, unpublished, 1992.

Mois, A. R. A., The Effect of Quartz Grain Size on the Constitution and Microstructure of A Prefired Body, M. Sc. Dissertation, The University of Sheffield, 1994.

Ngah, D. S., Rheology and Casting Behaviour of Slips of A novel Whiteware, M. Sc. Thesis, The University of Sheffield, 1998.



Norton, F. H., Fine Ceramic-Technology and Application, Mc Graw-Hill, pp 336, 1970.

Norton, F. H., Elements of Ceramic: Philippines Addison Wesley Publishers, Cambridge, 311 p, 1974.

Rado, P., An Introduction to The Technology of Pottery, 2 ED. Edition, Pergamon Press, Oxford, 1988.

Rado, P., Bone China, Ceramic Monographs, Interceram. 1979.

Rayn, W. and Radford, C., Whitewares: Production, Testing and Quality Control, Pergamon Press, Vol. 215-218, 1987.

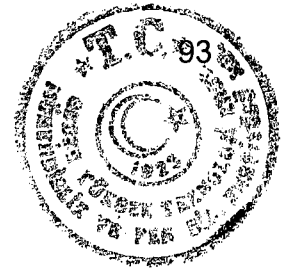
Reed, J. S., John Wiley and sons, Introduction to The Principles of Ceramic processing, New York, pp 383, 1988.

Schilling, C. H., Davies, J. R., Davidson, G. M., Lampman, S. R., Woods, M. S. and Zorc, T. B., Slip Casting in Ceramic and Glass, in Engineered Materials Handbook Vol.4 ED. S. J. Schneider, Jr., ASM International, pp 153-159, 1991.

Schramm, G., A Practical Approach to Rheology and Rheometry, HAAKE, Federal Republic of Germany, pp 21, 1994.

Singer, F. and Singer, S. S., Industrial Ceramics: Chapman and Hall Publishers, London, 1455 p, 1979

Worrall, W. E., Clay and Ceramics Raw Materials: Elsevier Applied Science Publishers, London, 289 p, 1989.



ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Konya'nın Beyşehir ilçesinde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Beyşehir'de sırasıyla; Cumhuriyet İlkokulu'nu 1986 yılında, Alaaddin Ortaokulu'nu 1989 yılında, Beyşehir Lisesi'ni 1992 yılında tamamladım.

1992 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne kaydoldum ve bu bölümden 1996 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldum.

1996 yılında yüksek lisans öğrenimime Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde başladım ve aynı yıl içinde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Seramik Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandım. Halen bu görevimi sürdürmekteyim.