

101317 1

**SAĞLIK GEREÇLERİ DÖKÜM  
ÇAMURLARININ REOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ  
VE GELİŞTİRİLMESİ,**

**EMEL ÖZEL**  
Yüksek Lisans Tezi

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı  
HAZİRAN-1997

..EMEL...ÖZEL.....'ın Yüksek Lisans tezi..tezi olarak hazırladığı  
..Sağlık genetikleri..döküm..somutlaştırma..reel..klinik..tezi başlıklı tez  
..4..07..1997.....tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim  
Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. ERSAN PÜTÜN

Üye : Doç. Dr. NURAN AY

Üye : Yrd. Doç. Dr. FERHAT KARA

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
04.07.1997 tarih ve 11/4..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Ersan PÜTÜN**  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

# SAĞLIK GEREÇLERİ DÖKÜM ÇAMURLARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

EMEL ÖZEL

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ersan PÜTÜN

1997, 101

Döküm ile şekillendirme işleminin başarısı, döküm çamurunun reolojik özelliklerinin belirlenmesi ve kontrolüyle gerçekleşebilir. Reolojik özellikler çamurdaki katı miktarı, çamurun kimyasal ve minerolojik bileşimi, tane boyut dağılımı ve şekli, elektrolit cinsi, derişimi ve sıcaklık gibi pek çok parametreye bağlıdır. Kil ve kaolen gibi seramik hammaddelerinin elektrolitlerle akışkan duruma gelmesi birbirinden farklıdır. Buna bağlı olarak döküm çamurlarının reolojik özellikleri de değişmektedir.

Bu çalışmada, yerli hammaddeler kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarının reolojisine, döküm hızına ve döküm ürününün özelliklerine, elektrolit cinsinin ve kimyasal katkı maddelerinin etkisi araştırılarak, döküm sonucu elde edilen ürünün özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Baryum karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) ve Sodyumhegzameta fosfat ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ) kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarının viskozite değerleri ölçülmüştür. Döküm ürününün özelliklerine elektrolit cinsinin ve miktarının etkisini belirlemek amacıyla döküm hızı, kuruma ve pişme küçülmesi ile kuru kırılma mukavemetleri saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda % 0,47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  elektrolit ilavesiyle hazırlanan döküm çamurların, % 0,5  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  içeren döküm çamurlarına göre daha iyi akışkanlık sağlamıştır.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ilavesiyle daha düşük viskoziteli, daha iyi döküm özelliğine sahip çamurlar elde edilmiştir. Döküm çamurlarının vizkozitesinin, sıcaklığa ve su kalitesine bağlı olarak değiştiği de belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler :** Sağlık gereçleri döküm çamurları, viskozite, çamur döküm.

**ABSTRACT****Master Of Science Thesis****TNE INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF RHEOLOGICAL  
PROPERTIES OF SANITARYWARE SLIP****Emel ÖZEL****Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Ceramic Engineering****Supervisor : Prof. Dr. Ersan PÜTÜN  
1997, Page 101**

The success of forming a part by casting method depends on the determination and control of rheological properties of slip. Rheological properties are a function of following parameters; solid content of the slip, its chemical and mineralogical composition, distribution and shape of the particles, type of electrolyte used and its concentration and temperature. Ceramic raw materials such as clay and kaolen have different viscosity in an electrolyte and the properties of slip depend on viscosity.

In this study, The effect of electrolyte type and the addition of different chemical additives on the rheological properties of casting slip prepared using local raw materials, the casting speed and properties of final product were investigated with the aim of developing the properties of the product. The viscosity values of casting slurries prepared using Sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Barium carbonate ( $\text{BaCO}_3$ ) and Sodium hexameta phosphate ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ) were measured. In addition, the speed of casting, drying and firing shrinkages and fracture strength of dry products were measured to determine the type and content of electrolyte on the final product.

The studies showed that the casting slip prepared with the addition of 0.47 %  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  electrolyte have lower viscosity than the slip containing 0.5 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . With the addition of  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ , a slip having a lower viscosity and better casting properties were obtained. It is also determined that the viscosity of casting slip change with temperature and the quality of water used.

**Keywords:** Sanitaryware silip, viscosity, casting slip.

ÇalıŐmalarımı yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ersan PÜTÜN'e, her zaman yakın ilgilerini ve yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Nuran AY, Y. Doç. Dr. Ferhat KARA ve Y. Doç. Dr. Servet TURAN'a en içten teşekkürü borç bilirim.

ÇalıŐmalarım süresince maddi ve manevi hiç bir fedakarlığı esirgemeyen eşim İlhan ÖZEL ve aileme de minnet borçluyum.

Emel ÖZEL

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
2.SERAMİK HAMMADDELERİ .....	3
2.1. Kil ve Kaolen Grubu .....	4
2.1.1.Kil minerallerinin sınıflandırılması .....	7
2.1.2.Kil minerallerinin özellikleri .....	8
2.2. Kuvars .....	16
2.3. Feldispat.....	20
3.SERAMİK ÇAMURLARI .....	23
3.1. Akçini .....	23
3.1.1.Yumuşak akçini.....	24
3.1.2 Karışık akçini .....	24
3.1.3 Sert akçini .....	24
3.2 Porselen .....	24
3.2.1.Sert porselen .....	25
3.2.2 Yumuşak porselen .....	26
3.2.3.Kemik porselen .....	26

## İÇİNDEKİLER (DEVAM)

3.2.4.Diş porseleni .....	27
3.2.5.Elektro porselen .....	27
3.2.6.Sağlık gereçleri porseleni .....	27
3.2.7.Laboratuvar porseleni .....	28
3.2.8.Firit porseleni .....	28
3.3. Vitriifiye Seramikler .....	28
<b>4. SERAMİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>31</b>
4.1. Plastik Şekillendirme.....	31
4.1.1.Presleme ile şekillendirme.....	31
4.1.1.1 Yaş presleme ile şekillendirme.....	31
4.1.1.2.Kuru presleme ile şekillendirme.....	31
4.1.1.3.İzostatik presleme.....	32
4.1.2.Enjeksiyon yöntemi .....	32
4.1.3.Ekstrüzyon yöntemi .....	33
4.2. Döküm yöntemi ile şekillendirme.....	33
4.2.1.Basınçlı döküm yöntemi .....	36
4.2.2.Vakum döküm yöntemi .....	36
4.2.3.Döküm çamurunun defülokulasyonu .....	36
4.2.4.Döküm çamurunun hazırlanması .....	48
<b>5.REOLOJİK ÖZELLİKLER.....</b>	<b>50</b>
5.1. Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler .....	52
5.1.1.Newtonumsu Akış .....	52
5.1.2.Doğal viskoz akış .....	54
5.2. Zamana Bağlı Reolojik Özellikler .....	56
5.2.1.Tiksotropi .....	56
5.2.2.Reopeksi .....	57

<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	58
6.1. Kullanılan Malzemeler .....	58
6.2. Kullanılan Cihazlar .....	59
6.3. Yapılan Deneyler .....	59
6.3.1. Öğütme ve çamur hazırlama .....	59
6.3.2. Döküm hızının belirlenmesi.....	59
6.3.3. Pişme deneyleri .....	60
6.3.4. Dökümçamuruna uygulanan deneyler .....	61
6.3.4.1. Elektrolit deneyleri .....	61
6.3.4.2. Litre ağırlığı tayini .....	62
6.3.4.3. Vizkozite deneyleri .....	63
6.3.4.4. Sıcaklığın etkisi .....	63
6.3.4.5. Su kalitesinin etkisi .....	63
6.3.5. Fiziksel deneyler .....	64
6.3.5.1. Boyut ölçümü .....	64
6.3.5.2. Mukavemet ölçümü .....	64
6.4. Deney sonuçları .....	66
6.4.1. Elektrolit deney sonuçları .....	66
6.4.1.1. Sodyum silikat deney sonuçları .....	68
6.4.1.2. Sodyum karbonatın etkisi .....	71
6.4.1.3. Baryumkarbonat ve sodyum hegzametafosfat'ın etkisi .....	80
6.4.1.4. Su kalitesinin etkisi.....	83
6.4.1.5. Sıcaklığın etkisi .....	86
6.4.2. Fiziksel deney sonuçları .....	86
<b>7. SONUÇLARININ TARTIŞILMASI</b> .....	90
<b>8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	92
<b>9. KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	93



2.1.	Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> birimindeki silikanın c yönünden görünümü	6
2.2.	Gibsit yapısının c yönünden görünüşü	6
2.3.	Kaolenin c eksenini yönünden görünüşü	6
2.4.	Bazı doğal Amerikan killerin boyut dağılımı (Norton, 1957)	9
2.5.	Kil plakalarının yüklenmesi (Reed,1989)	10
2.6.	Kil iyon değişim kapasitesi (Norton, 1957)	12
2.7.	Kilin kuruması (Vlack, 1964)	13
2.8.	Temel silika formlarının termal genişmesi (Rado, 1988)	20
4.1.	Stern modeline göre elektriksel çift tabakanın şematik gösterimi (Shaw, 1980)	37
4.2.	Çok değerlikli zıt yüklü iyonların ve aynı yüklü iyonların adsorpsiyonu ile yüzey şarjının değişimi (Shaw, 1980)	38
4.3.	Yüksek katyon konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın değişiminin şematik gösterimi.	40
4.4.	Farklı elektrolitlerin deflokülasyon üzerine etkisi	42
4.5.	Beyaz ürünler için deflokülant miktarına bağlı olarak viskozite ve döküm davranışları	43
4.6.	Beyaz ürünler için deflokülant miktarına bağlı olarak viskozite ve döküm davranışları	43
4.7.	Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanması	49
5.1.	Gerilime bağlı olarak akış	53
5.2.	Doğal vizkoz akışta çeşitli akış formları	55
5.3.	Zamandan bağımsız sistemlerde kayma hızına bağlı olarak kayma geriliminin değişimi	56
6.1.	Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanma aşaması ve özelliklerinin belirlenmesi	60
6.2.	Hazırlanan döküm çamurunun bileşiminin üçgen diyagramda gösterimi	61
6.3.	20°C’de Sodyum silikat çözeltisinin özgül ağırlığı ile bileşimi arasındaki ilişki	62

6.4.	Döküm çamurunun viskozitesine sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ilavesinin etkisi	67
6.5.	20°C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozitenin değişimi	69
6.6.	30° C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozitenin değişimi	70
6.7.	40°C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozitenin değişimi	70
6.8.	40° C de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozite değişimi	72
6.9.	30°C’de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozite değişimi	73
6.10.	40°C de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında vizkozite değişimi	73
6.11.	30°C’de % 0.47 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ve % 0.5 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ile hazırlanan çamurlarda vizkozite değişimi	79
6.12.	30°C’de Farklı oranlarda $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ve $\text{Na}_2\text{CO}_3$ karışımlarının viskozite değişimleri.	79
6.13.	30°C’de % $\text{BaCO}_3$ miktarına bağlı olarak viskozite değişimi	82
6.14.	30°C’de % $\text{Na}_6\text{P}_4\text{CO}_{13}$ miktarına bağlı olarak viskozite değişimi	82
6.15.	20 rpm dönme hızında ve 30°C sıcaklıkta $\text{BaCO}_3$ ve $\text{Na}_6\text{P}_4\text{CO}_{13}$ için viskozite değişimi	83
6.16.	Sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında distile su ve şebeke suyu için akış eğrisi	85
6.17.	Farklı su ile hazırlanan çamurların viskozite değişimi	85
6.18.	% 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) içeren döküm çamurlarında sıcaklık ile viskozite değişimi	87
6.19 .	% 0.5 sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) içeren döküm çamurlarında sıcaklık ile viskozite değişimi	87
6.20.	Hazırlanan döküm çamurunun tane boyut dağılımı	89
6.21.	Döküm süresine bağlı olarak döküm kalınlığının değişimi	89

2.1.	Kuvarsın ısıl değişimi (Tanışan ve Mete, 1988)	18
2.2.	SiO <sub>2</sub> Dönüşümleri (Arcasoy, 1983)	19
2.3.	Porselen ve seramikte hammadde olarak kullanılan feldispatta aranan özellikler (Yersel, 1991)	22
4.1.	Döküm çamurlarının dağıtılmasında kullanılan elektrolitler (Singer,1963)	41
6.1.	Hammaddelerin kimyasal bileşimleri	58
6.2.	şebeke suyu analizi	65
6.3.	Sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) için 20 rpm dönme hızında ve 30 °C'de elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri	66
6.4.	Sodyum karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) için 20 rpm dönme hızında 30°C'de elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri	67
6.5.	20°C'de % 0,47 sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri	68
6.6.	30°C'de % 0,47 sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri	68
6.7.	40°C'de % 0,47 sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri	69
6.8.	20°C'de % 0.5 sodyum karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	71
6.9.	30°C'de % 0.5 sodyum karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	71
6.10.	40°C'de % 0.5 sodyum karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	72
6.11.	20°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	74
6.12.	30°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	75
6.13.	40°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	75
6.14.	20°C'de % 0.1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	75

	x
6.15. 30°C'de % 0.1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	76
6.16. 40°C'de % 0.1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	76
6.17. 20°C'de % 0.15 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.27 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	76
6.18. 30°C'de % 0.15 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.27 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	77
6.19. 40°C'de % 0.15 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.27 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	77
6.20. 20°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.4 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	77
6.21. 30°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.4 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	78
6.22. 40°C'de % 0.05 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +% 0.4 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri	78
6.23. 30°C'de % 0.47 sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) ve değişik oranlarda baryum karbonat (BaCO <sub>3</sub> ) içeren döküm çamurlarında viskozite değişimleri	80
6.24. 30°C'de % 0.47 sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) ve değişik oranlarda Sodyum hegzametafosfat (Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> CO <sub>13</sub> ) içeren döküm çamurlarında viskozite değişimleri	81
6.25. 30°C'de % 0.47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + % 0.01 BaCO <sub>3</sub> + % 0.01Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> CO <sub>13</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değişim değerleri	81
6.26. 30°C'de Sodyum silikat ve distile su kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri	84
6.27. 30°C'de % 0.4 Sodyum silikat ve distile su için viskozite değişim değerleri	84
6.28. Numune kodları ve % elektrolit ve % katkı miktarları	88
6.29. Farklı döküm çamurlarının döküm kalınlıkları	88
6.30. Farklı döküm çamurlarının fiziksel özellikleri	88

## 1. GİRİŞ

Seramikler çeşitli yöntemler ile şekillendirilmektedir. Şekillendirmede dökümle şekillendirme, plastik çamurla şekillendirme, toz presleme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Şekillendirme yöntemi seçilirken parçanın büyüklüğü, şekli, sayısı gibi özelliklere dikkat edilir.

Seramik endüstrisinde, döküm yöntemi, genellikle karmaşık şekilli ve diğer yöntemler ile üretilemeyen büyük parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Bu yöntem simetrik olmayan tabaklar, bazı özel ateş tuğlaları, sofrta takımları ve sağlık gereçlerinin (lavabo, klozet, küvet ) şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Döküm ile şekillendirme işleminin başarısı çamurun reolojik özelliklerinin belirlenmesiyle ve kontrolüyle gerçekleşebilir. Çamurun reolojik özelliklerin anlaşılması büyük önem taşır. Döküm çamurunun hazırlanmasında, süspansiyonların kimyasal bileşimine bağlı olarak partikül-partikül etkileşimlerinin farklı olmasından dolayı çamur özelliklerini tespit edebilmek oldukça zordur. Reolojik özellikler, çamurdaki katı miktarı, kimyasal ve minerolojik bileşim, tane şekli ve boyut dağılımı, elektrolit cinsi ve derişimi, sıcaklık gibi pek çok parametreye bağlıdır.

Uygun bir döküm çamurunun hazırlanması için bazı parametrelerin dengelenmesi gerekir. Çamurun katı konsantrasyonu yüksek olması istenirken aynı zamanda çamurun dökülebilir ve kalıptan çıkarılabilir nitelikte olması gerekir. Bu sebeple elektrolitler, çamurun reolojik özelliklerini geliştirmek ve çamura istenilen akışkanlığı sağlamak üzere ilave edilirler.

Döküm kalınlığı ve döküm hızı viskozite ile kontrol edilebilir. Bu nedenle döküm çamurunun vizkozitesinin sabit bir değerde tutulması istenir. Döküm çamurunun vizkozitesine, karışımı oluşturan hammaddelerin türü, tane boyutu ve tane şekli, ortamın pH değeri, sıcaklığı ve vizkozitesi, karıştırma şekli ve süresi yanında kullanılan suyun saflığının da büyük etkisi vardır.

Seramiklerin döküm yöntemi ile şekillendirilmesinde, istenilen özelliklere sahip döküm çamurunun viskozite ve tiksotropi gibi reolojik özellikleri kontrol edilerek, döküm hızının artırılması, kuru mukavemet, su emme, kuru küçülme gibi fiziksel özelliklerin geliştirilmesi mümkündür. Döküm hızının artırılması, kısa sürede daha fazla sayıda ürün üretilmesiyle ekonomik kazanç sağlayacaktır.

Bu çalışmada, döküm çamurlarının reolojik özelliklerinin üzerine elektrolit cinsinin ve kimyasal katkı maddelerinin etkisi araştırılmış, daha sonra bunların döküm hızına ve döküm ürününün özelliklerine etkisi belirlenmiştir.

Döküm çamurunun hazırlanmasında elektrolit olarak Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Sodyum fosfat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), reolojik özellikleri geliştirmek üzere ise Baryum karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) ve Sodyum hegzametafosfat ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ) kullanılmıştır.

## 2.SERAMİK HAMMADDELERİ

Seramik hammaddeleri özlü ve özsüz olmak üzere iki gruba ayrılır:

**1) Özlü Seramik Hammaddeleri:** Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurdukları zaman verilen şekli koruyabilen hammaddeler özlü seramik hammaddeleridir [1]. Feldispatların asidik ortam da bozunması sonucu oluşan kaolen, kaolenlerin doğal olaylarla taşınıp başka yerlerde yataklanması sonucu oluşan killer ve bazik ortamda feldispatların bozunması ile oluşan montmorillonit ile bu minerallerin doğal etkilerle taşınması sonucu oluşan bentonit mineralleri özlü seramik hammaddeleridir [2].

Özlü porselen hammaddeleri kendi aralarında özlülük derecelerine göre sıralanırlar. Bu sıralamaya etken, oluşum koşullarına göre içerdikleri tane irilikleri ve yoğrulmaları için alabildikleri su miktarıdır. En özlü hammadde montmorillonitik bir grupsal yapı gösteren bentonit, daha özlü olarak çeşitli yapılara sahip killer ve kaolenler sıralanabilir [1].

**2) Özsüz Seramik Hammaddeleri:** Su ile karıştırıldıklarında kolayca şekil verilemeyen, şekil verilebilse bile bir dış etken ile şeklini kaybedip dağılan maddeler özsüz seramik hammaddeleridir. Kuvars, feldispatlar, talk, magnezit, dolomit bu grubu oluşturmaktadır.

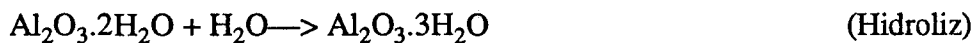
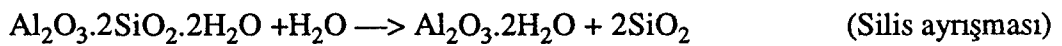
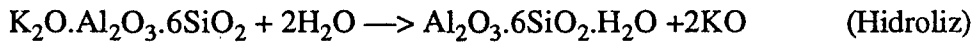
Özsüz hammaddeler genelde çamurun kuru direnç, kuru küçülme ve pişme küçülmesini azaltırlar, su emmeyi arttıırırlar.Bazı özsüz hammaddeler ise , örneğin feldispat, kalsiyum karbonat ve pegmatit gibi maddeler, büyük ölçüde pişme sıcaklığının ve katkı oranlarının etkisi ile, çamur içersinde eritici özellik göstererek erken sinterleşmeyi sağlarlar.

## 2.1.Kil ve Kaolen Grubu

Kilin ana kayası jeolojik devirlerde oluşmuş bulunan feldispatlardır. Feldispatların asidik ortamda bozunması sonucu oluşan kaolenin rüzgar, su vs. gibi doğal şartların etkisi ile bulunduğu ortamdan taşınıp arazi içersindeki çukurlara dolup, buralarda zamanla çökmesi ile kil yatakları oluşur [3,4]. Killerin oluşumu hipojenik ve epijenik etkenler sonucu gerçekleşir:

a) Hipojenik etkenler: Bunlar yer altında ısı ve kimyasal reaktiflerin etkisi ile oluşan ayrışmalardır. Başlıca kimyasal reaktifler karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) gazları olup, ısının yardımı ile ana kayalara etki yaparak dönüşümü sağlarlar.

b) Epijenik etkenler: Yeryüzünde suların, havanın, kar, yağmur, buzul gibi koşulların oluşturduğu değişimlerdir. Kayaçlarda meydana gelen ayrışma reaksiyonları oldukça karmaşıktır. Ayrışma reaksiyonları şu şekilde gösterilebilir [5,6].



Kil yatağının oluşumu sırasında kilin bünyesinde bulunabilen ateşe dayanıklılığı azaltıcı etki gösteren bir takım bileşenler taşınmaya bağlı olarak bünyeden ayrılır. Fakat kilin depolandığı havzaya karbonatlar, kireç taşları, kumlarda gelebilir. Bu arada jibs kil yatağına kolayca girer ve böylece karışık yataklanma görülür. Bünyeye katılan yabancı maddeler (metal oksitler, karbonatlar, sülfatlar, kömür, humus gibi) kilin saflığını, kalitesini ve beyazlığını, döküm özelliklerini bozucu etki yapar [7]. Kil minerallerinin bileşimini genellikle alüminyum silikatlar meydana getirmekle beraber bir kısım kil



minerallerinde aliminyum yerine magnezyum veya kısmen demir yer almaktadır.

Bazı killer, bir cins kil mineralinden, bazılarıda birkaç cins kil mineralinin karışımından meydana gelmektedir [8].

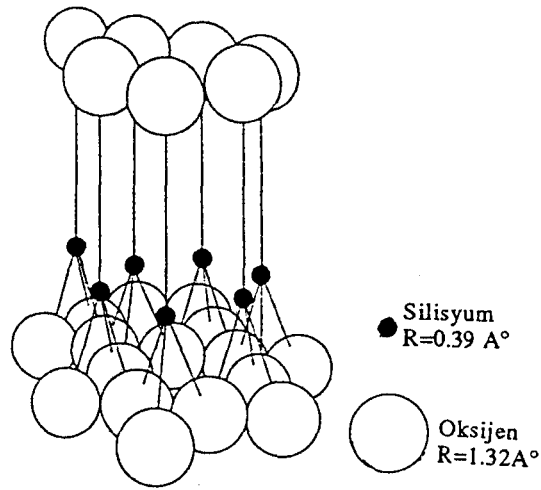
Kaolin genellikle kilden daha az plastik, sertleşme sıcaklığı 800 °C, erime sıcaklığı 1850°C, yoğunluğu 2,2-2,6 g/cm<sup>3</sup> olan ve sülfirik asitte tamamen çözünebilen beyaz renkli bir maddedir [9]. Kaolinin teorik bileşimi genel olarak % 46,54 SiO<sub>2</sub>, % 39,50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %13,96 H<sub>2</sub>O biçimindedir [10].

Kaolinin minerolojik yapısı iki tabakalıdır. Dört oksijen tarafından oluşturulan tetrahedrin merkezinde silisyum iyonu bulunur. Şekil 2.1' de silisyum tabakası görülmektedir [11]. Diğer tabaka oktahedrin köşelerini oluşturan hidroksil iyonları ve alümina iyonlarından oluşur. Bu tabaka da gipsit tabakasıdır. Şekil 2.2' de gipsit yapısı görülmektedir. Bu iki tabakanın birleşmesi sonucu kaolinit tabakası oluşur. Şekil 2.3' de kaolen yapısı görülmektedir. Her bir alüminyum iyonunun bazıları oksijen, bazıları hidroksil iyonu olan altı iyon tarafından çevrilmiştir.

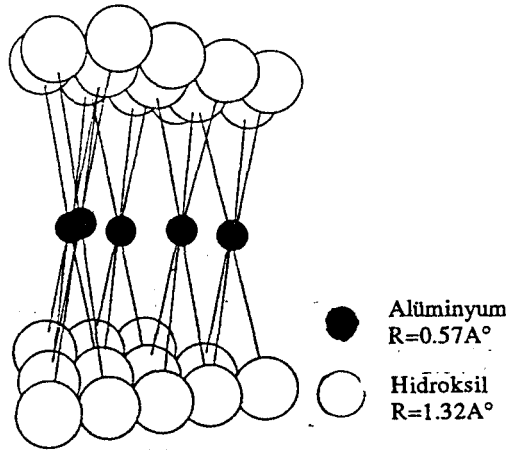
Halloysit kaolin grubuna dahildir. Aynı yapıda olup ideal formülü (Al<sub>2</sub>(OH<sub>4</sub>)Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) şeklindedir.

Kil mineralinin diğer bir grubu ise montmorillonittir. Kimyasal formülü (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.4SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O) olan montmorillonit üç tabakalı mineral yapısındadır. Montmorillonitte, iki silika tabakasının ortasında alümina tabakası yer alır [11].

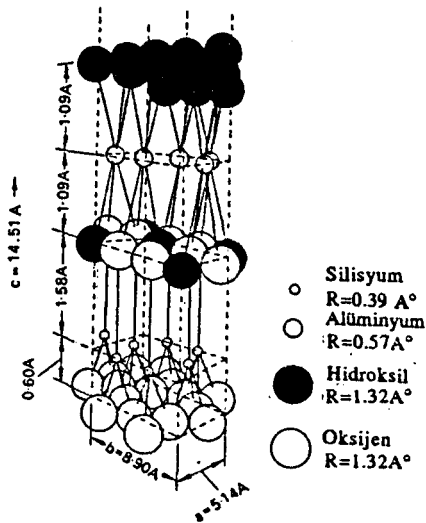
Montmorillonitin sulandırılması güç olup, diğer kil minerallerinin de kolaylıkla sulanmasına engel olurlar ve çok kuvvetli tiksotropi özelliği gösterirler [1]. Genellikle bentonit formunda sahip olan bu mineral emaye sırt ve çamurlarda plastiklik için kullanılır.



Şekil 2.1  $\text{Si}_2\text{O}_5$  birimindeki silikanın c yönünden görünümü (Rado, 1988)



Şekil 2.2 Gibsit yapısının c yönünden görünüşü (Rado, 1988)



Şekil 2.3 Kaolenin c eksenini yönünden görünüşü (Rado, 1988)

### 2.1.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması

Kil minerallerinin sınıflandırılması çeşitli şekillerde yapılmıştır. Grim'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması şöyledir:

I. Amorf olanlar: Allafon grubu

II. Kristal yapıda olanlar:

A. Tabakalı olanlar

1. Eş boyutlu

Kaolinit grubu: Kaolinit, dikit, nakrit

2. Bir yönde uzamış şekilliler

Halloysit grubu

B. Üç tabakalı olanlar

1. Genişleyen kristal yapıda olanlar

a) Eş boyutlu montmorillonit grubu

Montmorillonit, savkonit, vermikülit

b) Biryönde uzamış montmorillonit grubu

Nontronit, saponit, hektorit

2. Genişleyen kristal yapıda olanlar

İllit grubu

C. Düzenli, karışık tabakalı olanlar

Klorit grubu

D. Zincir yapılı olanlar

Attapulgit, sepiolit, poligorskit şeklindedir.

Bates ise kil minerallerini,

1. Kaolinit grubu: Kaolinit, dikit, nakrit, halloysit

2. Montmorillonit grubu

3. İllit grubu
4. Klorit grubu
5. Karışık tabaka
6. Attapulgit grup şeklinde sınıflandırmıştır [8].

Killer endüstride kullanımına göre;

#### I.İnce seramik killer

1. Kaolenler
  - Kalıntılı kaolenler
  - Sedimanter kaolenler
2. Plastik ince seramik killer(ball clay)
3. Gre kili

#### II. Refrakter killer

1. Sert sedimenter killer, şiferton
2. Refrakter plastik killer, rindeton
3. Yüksek alüminalı killer

#### III. Bentonitler

1. Şişen bentonitler, Na-Bentonitler
2. Şişmeyen bentonitler, Ca- Bentonit

#### IV. Kaba seramik killer

### 2.1.2.Kil minerallerinin özellikleri

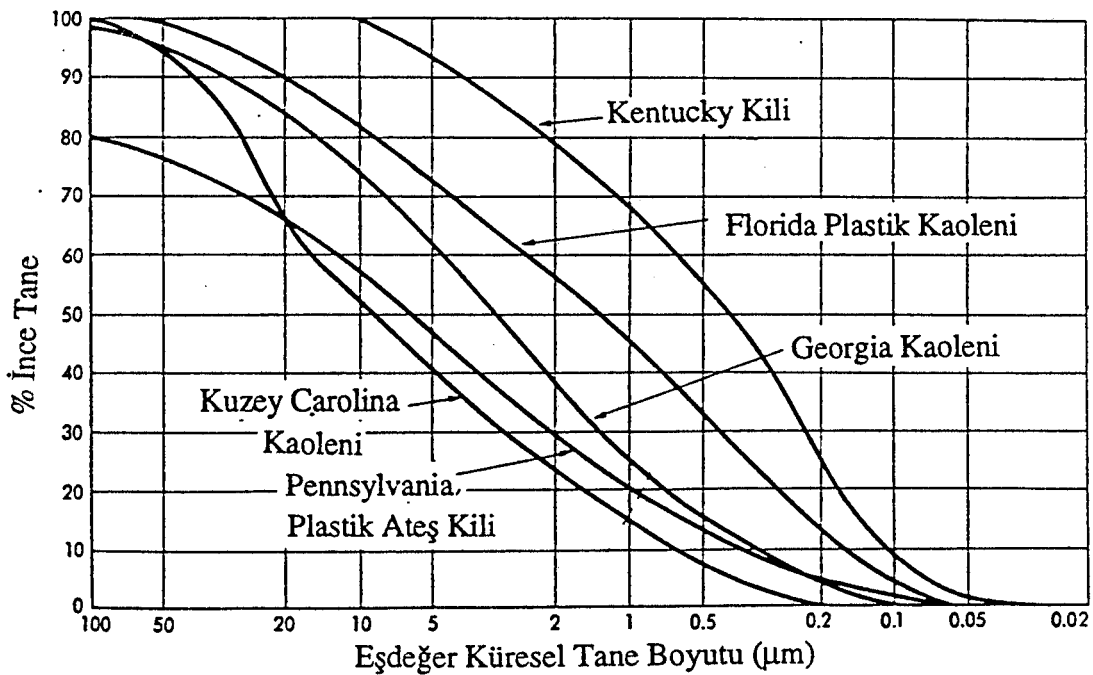
Kil su ile karışma, plastik olma, şekillenebilme, pişme ve renk giderme gibi endüstriyel önemi de bulunan bazı özelliklere sahiptir. Bu özellikler iyon değişimi, su ile karışım, organik maddelerle reaksiyonlar ve ısı etkisi ile değişimin incelenmesi ile tespit edilmektedir.

Killerin rengi genelde beyaz olmasına rağmen mineral içerikleri ve minerallerin kimyasal bileşimlerine bağlı olarak gri, yeşil, pembe ve kahverenginin çeşitli tonlarında da bulunabilir [12,13].

Bazik ortamda feldispat minerallerinin bozunması ile oluşan montmorillonit

minerallerinin doğal şartlar ile taşınıp çukurlarda toplanması ile oluşan bentonit killeri ni ıslatmak için çok fazla suya ihtiyaç vardır. Kil minerallerini meydana getiren zerreler ince altıgen plakalar şeklinde olup sulandırılmış kilin çökmesi, plakaların yüzmesi ve negatif elektrik yükü olması nedeni ile birbirlerini itme özelliklerinden dolayı çok yavaş olur. Killer bu özellikleri ile sulu seramik çamurlarında süspansiyon malzeme görevi de görürler ve kendileri yavaş çökerken ağır malzemeleride taşıyarak karışımın çökmesini geciktirirler [3,14].

Kilin tane boyutu kuru mukavemet, plastisite, temel iyon değişim kapasitesi v.s gibi özellikleri etkilemesi açısından çok önemlidir. Hegzagonal şekilli tabakalı kristaller olan nakrit, dikit ve kaolin , genelde  $0,1\mu$  ile  $2\mu$  arasında değişen çok küçük tane boyutlarında bulunurlar. Tüp şeklindeki halloysit taneleri ise sert ve kolaylıkla kırılmayan minerallerdir. İnce kristal tabakalardan oluşan montmorillonit ise ince taneli kil minerallerinden olup bunların yarıçapları  $0,01-2\mu$  arasında değişir. Çok ince taneli illit,  $0,05\mu$  yarıçapında olup, plastikliği oldukça düşüktür. Ancak illitin plastikliğinin tane boyutundan ziyade içerdiği alkalilerle ilgili olduğu düşünülmektedir [15-16]. Bazı Amerikan killerinin boyut dağılımı Şekil 2.4'de görülmektedir.

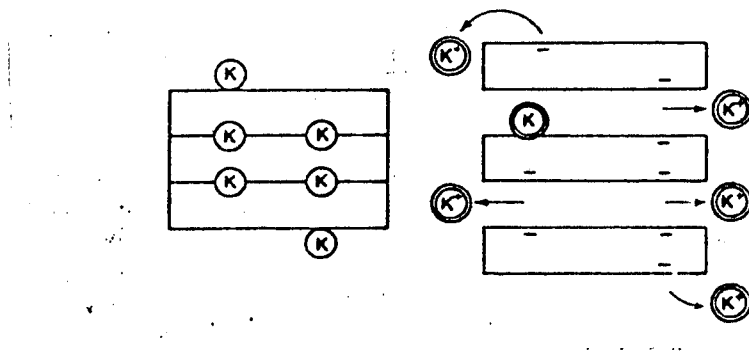


Şekil 2.4 Bazı doğal Amerikan killerin boyut dağılımı (Norton, 1957)

Kil minerallerinin bünyesinde bulunan bazı iyonların çözeltilerde bulunan iyonlarla yer değiştirmesi sonucu iyon değişimi oluşur. İyon değişimi genellikle sulu ortamda oluşmasına rağmen susuz ortamda da oluşabilir. Kil minerallerinin değişebilir katyonları  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$  ve  $Na^+$  ve değişebilir anyonları ise  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_3^-$  'dir [8,18].

Kil mineralinde, yer değiştirebilen  $Na^+$  ve  $K^+$  gibi iyonlar birbiri üzerine stoklanmış kil plakalarının oluşturduğu "aggregate" lerde plaka ara yüzeylerine adsorbe olurlar. Eğer kil aggregate'ler su içinde dağıtılsa, alkaliler serbest kalarak suya geçer. Böylelikle kil tanelerinin taban yüzeyleri negatif olarak yüklenir. Bu tür şarjlanma davranışından dolayı kil plakalarının taban yüzeyleri daima pH'dan bağımsız olarak negatif olarak yüklenir. Kenarlar ise pH'a bağlı olarak negatif ya da pozitif yükle yüklenir [19]. Kilin plakalarının yüklenmesi Şekil 2.5'de görülmektedir.

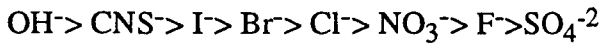
Kolloidal dispersiyonlar sahip oldukları yüksek yüzey enerjisinden dolayı termodinamik olarak kararsız olan ve sıvı katı faz ayrışımı olduğunda kolaylıkla tekrar eski haline dönemeyen sistemlerdir.



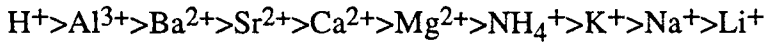
Şekil 2.5 Kil plakalarının yüklenmesi (Reed,1989)

Kolloidal olarak dağıtılmış negatif yüklü kil taneciklerinin zıt yüklü bir iyonu adsorplaması ile  $\zeta$  potansiyeli düşer ve killerin tanecik özelliğine bağlı olarak, yüzey-yüzey, kenar-yüzey, kenar-kenar olmak üzere tanecikler birbirlerine bağlanır. Bu etkileşimler kil-su sisteminin reolojik özelliklerini etkiler [20].

Eğer kolloidal sistemde anyonlar gereğinden fazla ise, kil partikülleri bunları adsorbe etme eğiliminde olacaktır. Negatif iyonları adsorbe etme kapasitesi olan partiküller, anyonları tercihli olarak Hofmeister serisine göre seçerler. Kil partiküllerinin yüzeyine anyonların adsorbsiyonu, anyonun cinsine bağlı olarak  $\zeta$  potansiyelini düşürerek flokülasyona neden olur.



Kil partikülleri, yüzeylerinin negatif yüklü olması dolayısıyla çevresinde bulunan pozitif yüklü iyonları çekme ve adsorplama kapasitesine sahiptir. Genelde, yüksek şarjlı katyonlar daha kolay adsorbe olur fakat hidrojen iyonu en tercihlisidir.



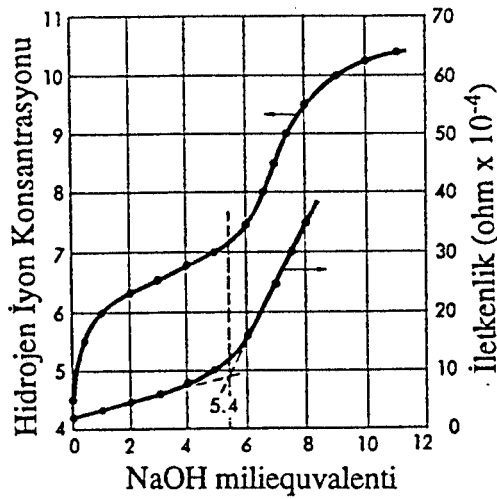
Kolloid süspansiyonların kararlılığını arttırması açısından istenen katyonlar, kile daha az adsorbe olma eğiliminde olan katyonlardır.  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonlarını adsorbe eden partiküllerin hidrosferi çok daha büyüktür. Bu halde kilin  $\zeta$  potansiyeli daha fazladır ve sonuçta partiküller arası itme kuvveti fazladır ve maksimum şekilde partiküller ayrılır, başka bir deyişle deflokülasyon olur.  $\zeta$  potansiyeli deflokülasyon olma derecesini belirleyen bir faktördür [19].

Kil minerallerinin iyon değiştirme kapasitesi tayinleri  $\text{pH} = 7$  olan ortamda yapılır. İyon değiştirme miktarı milliequivalent (meq) / 100 gr ölçüsü ile ifade edilir. Kilin iyon değişim kapasitesi Şekil 2.6'da görülmektedir. Hidrojen-kil çamuru NaOH ile titre edilir ve çamurun  $\text{pH}'1$  (hidrojen konsantrasyonu) ölçülerek Şekil 2.6'daki eğriler oluşturulur. Bu eğrilerdeki büküm noktası iyon değişim kapasitesini gösterir. Diğer yöntem ise hidrojen-kil çamurunun elektrik iletkenliğinin ölçülmesidir. Şekil 2.6'da teğetlerin kesişim noktası temel iyon değişim kapasitesini gösterir [17].

Kil düşük sıcaklıkta ( $T \leq T_{\text{oda}}$ ) bünyesinde bir miktar su tutabilir. Gözenek suyu,

tabakalar arası su ve tabakalar arasındaki boşlukları dolduran su  $100-110^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldığında bünyeden tamamen uzaklaşır.

Gözenek suyu (absorbe su ve serbest su), kil kütlelerini meydana getiren kil mineral taneciklerinin etrafını saran ve taneler arasını dolduran sudur. Bu su genellikle kilin oluşumundan sonra yapıya girer. Bu nedenle bünyeyi kolay terk eder.  $50^{\circ}\text{C}$  ve  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda su bünyeden uzaklaşır. Absorbe su kil mineralinin veya cidarın çevresini kuşatan ve su moleküllerinin yüzey gerilim kuvvetleri ile kil yüzeyine veya cidarına bağlanması nedeni ile serbest hareket etmeyen sudur. Düzgün kristal yapıya sahip kil mineralleri çok az absorbe su alır, hatalı kristal yapıya sahip kil mineralleri ise daha çok absorbe su alırlar. Bu tür killer plastik özelliğe sahiptir ve seramik sanayinde aranan hammaddelerdir. Düzgün kristal yapıya sahip killer öğütülüp yüzey alanı artırılarak plastik özellik kazandırılabilir.



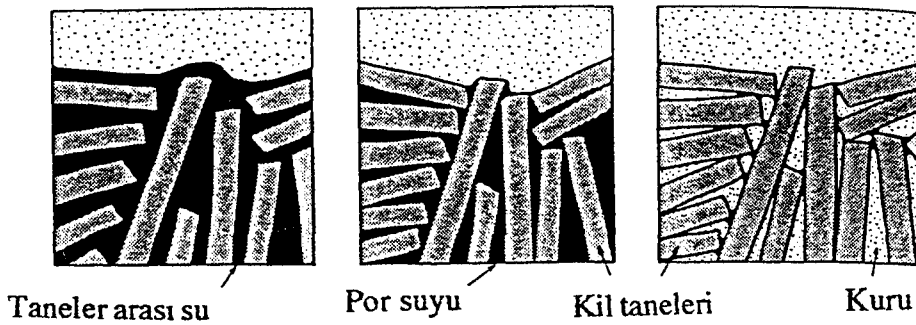
Şekil 2.6 Kil iyon değişim kapasitesi (Norton, 1957)

Tabakalar arası su, vermikülit ve montmorillonitin kristal yapı ünitelerinin tabakaları arasında, ara tabaka olarak bulunan sudur. Ortamın rutubetine ve sıcaklığına göre tabakalar arası su artıp azalabilir suyun artması ile kilde şişme meydana gelir ve bu su  $110^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ortamdaki ayrılır. Sepiolit ve attapulgit minerallerinde tabakaların arasındaki boşlukları dolduran serbest su, hacimde bir değişiklik yapmaz, su miktarının artması ile kilin özgül ağırlığı artarken, su miktarının azalması ile de kilin özgül ağırlığı



azalır. Bu su  $100^{\circ}\text{C}$ 'den yüksek sıcaklıklarda bünyeden atılır. Tabakalar arası su, sulu halloysitte oda sıcaklığında, montmorillonit ve vermikülitte ise  $100^{\circ}\text{C}$ 'de bünyeden uzaklaşır ve tekrar bünyeye alınmaz. Sepiolit ve attapulgit, düşük sıcaklıklarda tabaka içi suyunu kaybeder ve tekrar bünyelerine alabilir.

Killer  $400-700^{\circ}\text{C}$  arasında ısıtıldıklarında kimyasal formüllerinde gösterilen kristal sularını da kaybederler ve kristal yapılarında bazı değişiklikler meydana gelir. Kristal suyunun kaybı ve yapısal değişiklikler sebebiyle meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar DTA analizlerinde kil minerallerinin tanınmasına yardımcı olur.  $900^{\circ}\text{C}$  ve daha yüksek sıcaklıklarda kil mineralleri kristal yapısını tamamen kaybeder ve amorf yapıya geçer. Isı karşısında su kaybı ile birlikte killerde yoğunluk azalması ve hacim küçülmesi meydana gelir. Erime ve pişme durumlarında killerde meydana gelen renk değişimleri de endüstriyel açıdan önemlidir. Seramik çamurları şekillendirildikten sonra kuruma sürecinde hazırlandıkları su oranına, pişme sürecinde pişirildikleri sıcaklığa bağlı olarak ayrı oranlarda küçülme gösterirler. Kuruma esnasında meydana gelen küçülmeye kuruma küçülmesi, pişme esnasında oluşan küçülmeye ise pişme küçülmesi denilir. Şekil 2.7'de bir kilin kurutulması esnasındaki su kaybı görülmektedir [21].



Şekil 2.7 Kilin kuruması (Vlack, 1964)

Kil-su karışımlarında, killere ilave edilen su miktarına göre farklı fiziksel özellikler gösterir. Bu özellikler, plastiklik, akıcılık, kolloid ve tiksotropik olarak tarif edilmiştir. Maddelerin, basınç altında çatlamadan ve kırılmadan kalıcı şekil değişikliği meydana getirmesine plastiklik özelliği denir. Maddeler basınç kalktıktan sonra kazandıkları yeni şekli muhafaza ederler. Belli bir miktar su ile killere bu özelliğe sahiptir. Seramik sanayiinde plastik özelliği, kilin belirli miktarda su ile karıştırıldıktan sonra çatlamadan, kırılmadan ve yapışmadan şekillenebilmesi ve bu şeklini muhafaza edebilmesidir. Plastik özellik kazanabilmesi için killere ilave edilen suya plastiklik suyu denir [22]. Killerin plastiklikleri ve bünyelerine su alabilmeleri, minerolojik bileşenlerin oranına bağlıdır. Tabakalı kafes yapısına sahip mineraller ve bünye suyu killerin plastikliğini belirlemektedir. Buna göre killere plastik ve amorf olarak iki grupta toplanabilirler. Amorf killere nemli iken şekillerini koruyamazlar. Plastiklik için en basit ölçüt, kilin yayvanlaşabilme özelliğidir. Yüksek plastikliğe sahip olanlar, bir defter sayfası üzerine elle yayılabilir. Kum karışımı kili amorflaştırır. Kilin kum içeriği dişler arasında kolaylıkla hissedilebilir. Saf killere ise bir bıçakla kesildiğinde düzgün, parlak yüzeyler verir. Plastik killerin doğal su içeriği yaklaşık % 20 kadardır. Basınç nedeniyle su içeriğinde gözenek hacmi gibi derinlere doğru inildikçe azalmaktadır [9].

Plastik kilin 105°C'de kurutulunca oluşan ağırlık kaybına ise plastiklik suyu oranı denilir. Killi maddelerin plastiklik suyu miktarı, ihtiva ettiği kil minerali ve kil olmayan maddelerin miktarına, kil mineralleri cinslerine, kil minerallerinin tane boyutuna ve kristallenme derecesine, iyon değiştirme kapasitesine, değişebilir iyonların cinsine, tuz ve organik madde miktarına göre değişir. Plastik haldeki killerin üzerlerine basınç tatbik edildiğinde veya titreşime maruz bırakıldığında içerdikleri suyun bir kısmını serbest su olarak terk edebilirler ve üzerlerindeki bu etki kalktığında çıkan bu suyu tekrar bünyelerine alırlar [8].

Killerin plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerinin ince levhacıklar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisindeki levhacıklar üst üste dizilmiş paketler şeklinde olup, su ile çamur oluşturulurken su bu levhalar arasına yerleşir. Çamura, basınç

uygulandığında levhalar birbiri üzerinde kayarak verilen şekli alır. Kil levhalar sağlam şekilde bağlanır ve ayrılmaları çok güçtür. Kil plastikliği çamur oluşturmak için gerekli su miktarı ile tayin edilir ve ne kadar az su ile çamur oluşturulursa kil o kadar plastiktir denilir. Plastiklik özelliği irili, ufaklı tanelerin yanyana gelmesinde bağlı olup aşırı öğütülmüş kil (tüm tanelerin küçültülüp hemen hemen aynı boya getirildiği durumda) plastikliğini kaybeder. Kil plastikliği bentonit, dekstrin, hümin asidi gibi kolloid çözelti vermeye yatkın katkı maddeleri ile artırılabilir [7].

Plastiklik sınırının üzerinde su ilave edilen killer kendi ağırlıkları ile akabilir hale gelirler. pH=7 olan suya bir miktar kil ilave edildiğinde kil mineral taneleri su içinde yüzebilen küçük taneler halinde dağılırlar. Killerin süspansiyon meydana getirmesi kil minerallerinin cinsine, büyüklüğüne, değişebilir katyon içeriğine ve değişebilir katyonların cinsine göre değişir. Kaolen grubu kil minerallerine göre montmorillonit grubu kil minerallerinin süspansiyon meydana getirme eğilimi daha fazladır ve bu grup içinde de sodyum montmorillonit en yüksek süspansiyon meydana getirme özelliğine sahiptir. Killerin kolloid özelliklerinden seramik sanayiinde döküm yolu ile şekillendirmede, boyalarda dolgu malzemesi olarak ve petrol sondajında sıvı kaybını önlemek amacıyla büyük ölçüde faydalanılır [23,24].

Organik maddeler ile öğütülmüş kil taneleri hidrofobik ve yağ emme özelliğine sahiptir. Bunlar organik bileşikler ile polimerize olabilirler. İyonlaşmayan ve polar özelliğe sahip organik bileşikler de kil mineralleri tarafından absorbe edilebilirler. Polar moleküller hidrojen bağları ile kil minerallerine tutunur. Organik moleküllerin yüksek polariteye sahip olması halinde kil minerallerinden bazıları (montmorillonit) bir molekül tabakasından fazla organik madde absorbe edebilir [8]. Kil mineralleri bazı organik sıvıların renklerinin giderilmesinde, özellikle katı ve sıvı yağların ağartılmasında kullanılır [25]. Biyoloji ve organik kimyada da aktif yüzeyleri sayesinde kimyasal reaksiyonları etkilediklerinden bazı organik bileşiklerin sentezinde katalizör olarak faydalanılır [26].

Killerde aranılan bir diğer teknolojik özellikte ateşe dayanıklılığıdır. Bu bünyeye katılan organik, metal oksit ve diğer anorganiklerin miktarına bağlı olarak değişir. Kil

bünyesinde metal oksitler, karbonatlar, sülfatlar ve feldispatlar arttıkça ısıya dayanım azalır, düşük sıcaklıklarda erir, kaynar ve kabarır.  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  miktarı arttıkça ise ısıya dayanım özelliği artar. Bu tip killerin pişme rengi daha beyaz olup şiferton killer olarak bilinirler. İçinde bol miktarda  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  bulunan ince taneli olan killere çömlekçi kili (kaba seramik killeri) denilir. Bu killer de düşük sıcaklıkta sinterlenir [3].

Türkiye’de bulunan kaolen yataklarının başlıcaları, İstanbul-Arnavutköy, Uşak-Karaçayır, Eskişehir-Mihallıççık olarak sayılabilir [27].

## 2.2. Kuvars

Kuvars yeryüzünün bilinen kısmının % 25’ni oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok raslanan silisyumun bir bileşimidir [28]. Kimyasal formülü  $SiO_2$  olup, mol ağırlığı 60, sertlik derecesi Mohs’a göre 7’dir. Kuvarsın kristal yüzeyleri cam cilalı, kırılan yüzeyleri ise yağ cilalıdır. Camsı ve yağimsi parlaklık gösteren kuvars genellikle renksiz ve beyazdır ancak içerdiği yabancı maddelere bağlı olarak değişik renkler gösterir. İçerdikleri renkler kuvars türlerinin tanınmasında kullanılır. Saydam veya yarı saydamdırlar. Saf kuvars % 46,7 Si ve % 53,3 O içerir [1,29].

Bir seramik yapının kil gibi plastik ve dolgu özelliği olan hammaddeler yanında kuvars gibi plastik olmayan ve yapıyı yüksek sıcaklıklarda ayakta tutacak hammaddeye de gereksinimi vardır. Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliği düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir [7].

Kuvars iri taneli ve kirptokristalin olmak üzere iki grup altında incelenebilir. İri taneli kuvarslar renklerine göre çeşitli adlar alırlar; [30,31]

**Kaya kristali:** Renksiz, saydam, su berraklığındadır. Hidrotermal kökenlidir.

**Ametist:** Saydam olup içerdiği  $Fe_2O_3$ ’den dolayı rengi mordur. Bazalt gibi bazik kayalar içindeki boşluklarda agat ve zeolitlerle birlikte bulunur.

**Mavi kuvars:** Opal parlaklığındadır. Açık mavi, dumanlı mavi renktedir ve

metamorfik kayalar içinde rastlanılır.

**Pembe kuvars:** Pegmatitler içinde rastlanılır, saydamdır ve içerdiği mangandan dolayı açık pembe olan rengi güneş ışığında solar.

**Dumanlı kuvars:** Rengi çok açık griden koyu dumanlı kahverengiye kadar değişir, marion adını alır.

Kriptokristalin kuvarsın lifsi türlerine kalsedon adı verilir. Kalsedon genellikle amorf, su içeren opal ile beraber bulunur. Kahverengi veya gri renktedirler.

**Agat:** Çeşitli renk ve boşluklar bulunduran kalsedondur.

**Diyatomit (Kizelgur):** Gözenekli bir yapıya sahip olup kuvarsın amorf bir türüdür. Silikatlı kabukları olan canlıların fosilleşmesi sonucu teşekkül etmiştir. Daha çok fırınlarda izolasyon tuğlası üretiminde kullanılır.

**Kuvars Kumu:** Geniş yataklar halinde doğada bol miktarda bulunur ve genellikle demir bileşikleri içerir.

**Kuvarsit:** Oldukça temiz kuvars taşıdır. Büyük kayalar halinde bulunur, seramikte en çok kullanılan kuvars türüdür.

**Sileks:** Çok küçük kristalli kuvarsit taşıdır. Değirmen içlerinin kaplanmasında kullanılır.

**Filint Taşı:** Çakmak taşı olarak bilinir. Değirmenlerde öğütücü bilya olarak kullanılır.

Seramik hammaddesi olarak kullanılan kuvarsın ısıl davranışının üretim aşamalarında önemle takip edilmesi gerekmektedir. Çünkü saf kuvars ısıtılmaya başlandığında çeşitli modifikasyonları oluşur. Silisyum dioksitin oda sıcaklığında değişmez formu beta kuvarstır. Beta kuvarsın 573°C'ye kadar ısıtılması ile, bu sıcaklıkta alfa kuvars oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşümlü olup, hacimce % 2'lik büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile alfa kuvars 870°C'de alfa tridimite dönüşür,

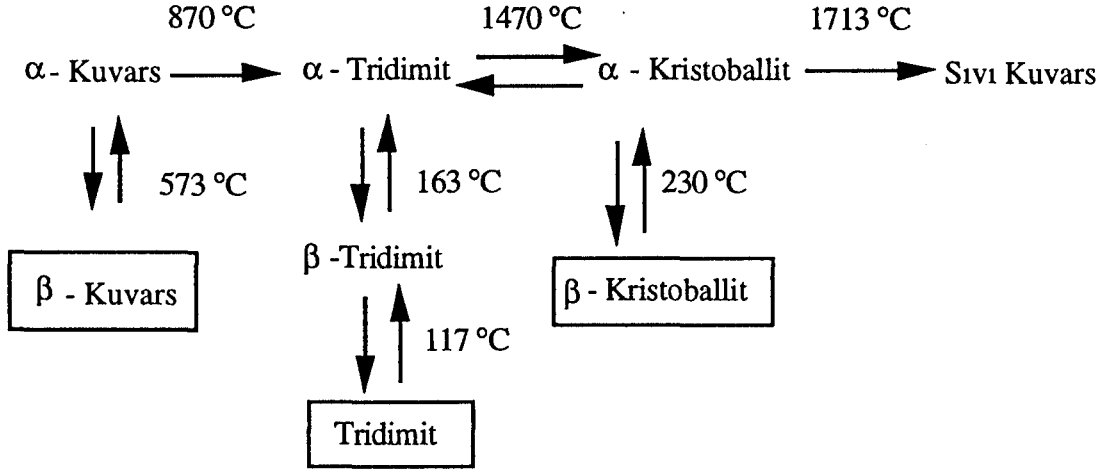
hacim % 12 artar. 1470°C de ise alfa kristoballite dönüşür ve hacmi % 5 artar. Dönüşümler dizisi, 1713°C de kristoballitin ergiyerek kuvars camı haline gelmesi ile son bulur. Çizelge 2.1’de kuvars ısıtıldığında kristal şeklindeki ve yoğunluktaki değişiklik görülmektedir.

Çizelge 2.1 Kuvarsın ısl değişimi (Tanışan ve Mete, 1988)

Faz	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
β - Kuvars	573	2.65
α- Kuvars	573-870	2.6
α- Tridimit	870-1470	2.32
α - Kristoballit	1470-1670	2.21

Silisyum dioksitin yüksek sıcaklıktaki formlarından olan tridimit ve kristoballit, soğuma sırasında birden düşük sıcaklık formlarına dönüşürler. Bu formlardan olan beta tridimit 163°C’de, gama tridimit 117°C de ve beta kristoballit de 230°C de oluşur. Silisyum dioksitin dönüşümleri sonucu ortaya çıkan formlarının hepsi farklı özgül ağırlıklara sahiptirler. Çizelge 2.2’ de silisyum dioksitin dönüşümleri ayrıntılı görülmektedir.

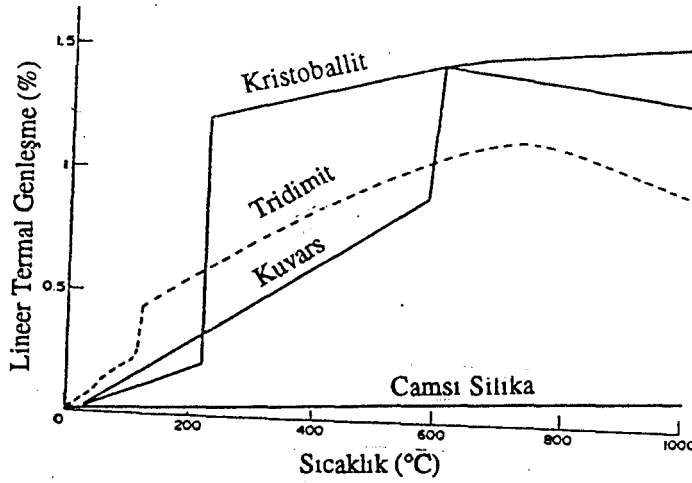
Kuvarsın dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişiklikleri olacağından ani sıcaklık değişimlerinden sakınmak bu noktalardan yavaş geçmek gerekir. Aksi taktirde çatlamlar meydana gelebilir. Ayrıca sırlarda kuvars camı haline gelen kuvarsın ısıl uzama katsayısı küçük olduğundan sır çatlamlarını önler. Silikanın lineer termal genişmesi Şekil 2.8’de görülmektedir [9,11,32,33]. Bisküvi fazla kuvars içerdiğinde, soğuma sırasında bisküvideki çekme sırlanmadan fazla olacağından böyle mamüller bombeli olur. Maseye ilave edilen mermer, feldispat ve dolomit kuvarsın bu etkisini önler.

Çizelge 2.2 SiO<sub>2</sub> Dönüşümleri (Arcasoy, 1983)

Kuvars katkısı çamurlarda şu etkileri gösterir :

- Çamurun bağlayıcı özelliği ve kuru direnci katkı oranı arttıkça azalır.
- Pişmiş çamurda gözeneklilik ve su emme artar.
- Kuru ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma ortaya çıkar. Katkı oranının çok artması ile birlikte küçülme yerine büyüme görülür [1].

Kuvars, kayaların yapısında az veya çok miktarda bulunmasına rağmen ekonomik olarak işletilebilen kuvars yatakları oldukça sınırlıdır. Dünyada kuvars yataklarının büyük bir kısmı Brezilya'da bulunmaktadır. Yurdumuzda bu güne kadar kuvars aramaları daha çok Batı Anadolu'da İzmir, Menderes masifi ve Çanakkale'de yapılmıştır. İzmir Yamanlar dağının güneyinde altı tane kuvars filonu mevcuttur. Çanakkale (Sarıkaya), Bandırma, Ankara (Mamak), Antalya (Gazipaşa), Hatay, Diyarbakır (Ergani), Gümüşhane (Torul)'de kuvars yatakları vardır [34].



Şekil 2.8 Temel silika formlarının termal genişmesi (Rado, 1988)

### 2.3. Feldispat

Kristalin kayalardaki en yaygın mineral feldispattır. Sertliği 6,0-6,5 Mohs'dur. Feldispatlar, potasyum, sodyum, kalsiyum ve baryum alüminyum silikatlarıdır. Kimyasal yönden katyon türlerine bağlı olarak, K-Feldispatlar (ortoklas,  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ), Na-Feldispatlar (albit,  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ), Ca-Feldispatlar ve Ba-Feldispatlar olarak ayrılırlar.

Na-Feldispat 1120 °C'de, K-Feldispat ise 1170 °C'de tamamen erir. Eridikten sonra bünyelerinde % 90 camşı faz, % 10 serbest silis içerirler. K-Feldispat grubundan olan ortoklas, mikrolin, sanidin, anortoz aynı kimyasal yapıya sahiptir ancak ortoklas ve sanidin monoklinik, mikrolin ve anortoz triklinik sistemde kristalleşmiştir [33,35] .

Ortoklas ısıtıldığı zaman 1160°C civarında bozunmaya başlar ve 1290°C de erimesi tamamlanır. Saf ortoklas eriyince tetragonal yapıdaki leucite ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ ) ve cama dönüşür. Albit 1120°C de erir ve (% 65 ortoklas, %35 albit içeren bir karışım 1070°C de erir) ortoklastaki çok az albit miktarı ergime miktarını düşürür [11].

Plajioklaslar, Na-Ca feldispat olup saf albit  $NaAlSi_3O_8$  ile saf anortit  $CaAl_2Si_2O_8$  arasında sürekli bir katı eriyik serisi yaparlar. Plajioklas bileşiminde Na ile Ca her oranda



yer değiştirmesiyle yapıda meydana gelen elektrik yük fazlalığını yok etmek için (Si) yerini (Al) alır [8].

Feldispatların içersinde demirli bileşiklerde bulunur. Bunlar ötektik sıcaklığı düşürür ve üründe lekelenmelere neden olur. Bunun için feldispatlar zenginleştirildikten sonra kullanılmalıdır. Akkoyuncu[36] yapmış olduğu çalışmada, zenginleştirilmiş feldispatların ürünün kalitesini etkilediğini belirtmiştir.

Feldispatın seramik çamurunda kullanılmasının nedeni  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  bileşiklerini çamura kazandırmaktır. Seramik yapıdaki cam faz bu oksitlerin yardımı ile sağlanmaktadır. Bunların eriticilik özelliklerinden yararlanılarak pişme esnasında kuvars ile birlikte camsı faz oluşturulur [5]. Feldispat çamurlarda belli bir pişme sıcaklığına çıkıldığı zaman, çamurları pekiştirerek, eriticilik özelliği gösterdiği gibi sırlarda da bir eritici olarak kullanılmaktadır [1].

### **Feldispatların seramik ürünlerdeki etkileri;**

- a) Karışımında feldispat arttıkça sistemin erime noktasını ve dayanımını düşürür.  
Fayanstaki feldispat  $1165^\circ$  de erimesine rağmen  $1040^\circ C$  de sertleştirici rol oynar.
- b) Kuvarsın ısıl uzama katsayısını düşürme gibi olumsuz etkilerini azaltmak için karışıma feldispat ilave edilir. İlave edilen feldispat çatlamaları önler.
- c)  $1200^\circ C$ 'ye kadar maddenin plastikliğini düşürür.
- d)  $1200^\circ C$ 'nin üzerinde eriyerek karışım maddesinin dayanımını artırır, poroziteyi düşürür.
- e) Fazla feldispat içeren masse üzerinde pembe benekler meydana gelir.
- f) Plajjoklasların pişme dereceleri  $1200^\circ C$ , erime dereceleri ise  $1220^\circ C$ 'dir ve birbirlerine çok yakındır. K- feldispatların yumuşama dereceleri ile erime dereceleri birbirinden uzaktır. Bu nedenle K- feldispatlar seramik bünyeler için daha kıymetlidir [2]

Porselen ve seramikte hammadde olarak kullanılacak olan feldispatlarda aranan özellikler Çizelge 2.3’de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Porselen ve seramikte hammadde olarak kullanılan feldispatta aranan özellikler (Yersel, 1991)

	<b><u>PORSELEN</u></b>	<b><u>SERAMİK</u></b>
$K_2O$	% 6’dan fazla	% 8’dan fazla
$Na_2O + K_2O$	% 8’dan fazla	% 10’dan fazla
$Fe_2O_3$	% 0,25’dan az	% 1,5’dan az
$TiO_2 + CaO + MgO$	% 2’dan az	% 1,5’dan az
Nem	Önemli değil	% 3,3’dan az olmalıdır.

Feldispatların ince öğütülmesi (ortalama 74  $\mu m$ ), pişme renklerinin beyaz olması gerekir. Düşük erime sıcaklığına sahip plajioklaslar daha çok sırlarda kullanılırlar.

### 3.SERAMİK ÇAMURLARI

Seramik,organik olmayan malzemelerden çeşitli yöntemler ile şekillendirildikten sonra sırlanarak veya sırlanmadan , dayanıklılık kazanıncaya kadar pişirilmesi ile elde edilen ürünlere verilen genel addır [8].

İlk ve en ilkel seramik, balçık tuğla veya kerpiç tuğladır. Bu aşamada basit kaba bir seramiktir. Bunu daha sonra üretim aşamalarına göre, sırasıyla çanak çömlek, fayans, taş eşya, porselen ve ileri teknoloji seramikleri takip eder [37].

Seramik çamurlarının hazırlanmasında çeşitli özelliklerdeki hammaddeler farklı oranlarda karıştırılır. Seramikten üretilen ürünlerin herbirinin, uygulandıkları alanlara göre farklı özellikleri taşımaları istenir.

Seramik endüstrisinde seramik çamurları kullanım yerlerine, üretim teknolojilerine ve bileşimlerine göre sınıflandırılabilir. Bunlar akçini, vitrikiye ve porselen çamurlarıdır. Bunun dışında özel seramik çamurları da mevcuttur.

Seramik çamurları genel olarak içerdikleri mineraller açısından birbirlerine benzerler ve genel yapılarında en fazla kil, kuvarz, feldispat mineralleri kullanılır. Çamurların minerolojik bileşimlerinde yapılacak değişiklikler ile seramik ürünlerin özellikleri de değişir.

#### 3.1.Akçini

Akçini olarak tanımlanan seramik türü, homojen dağılmış ince tanelerden oluşan, kırığı beyaz ve su emme özelliği gösteren bir seramik üründür. Bu ürünlerin üzerine kaplanan sıranın erime noktası düşüktür.

Günümüzde akçini çamurları içerdikleri minerallerin oran ve türlerine göre çeşitli adlar altında üretilirler. Kullanma amacı ve yerleride farklı olan bu çamurların genel sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

### 3.1.1.Yumuşak akçini

Yumuşak akçini çamurun üretilmesinde, demir içermeyen plastik kil ve kaolin, kuvars,  $\text{CaCO}_3$  hammaddelerinden yararlanır. Akçini kırığında düşük sıcaklıklarda istenen pekişmeyi sağlayan  $\text{CaCO}_3$  (kalker), çamur bünyesinde tebeşir, mermer, kalker taşı formlarından oluşan türleri ile yer alır. Yumuşak akçininin pişirme sıcaklığı ( 960-1200°C) arasında olup, istenen en iyi pekişme yaklaşık 1160°C dolayında gerçekleşir.

### 3.1.2.Karışık akçini

Karışık akçini çamurunun pişmiş kırığı tam beyaz olmayıp, feldispatın eritici özelliği nedeni ile kirli beyaz veya sarımtıraktır. Karışık akçinide kil ve kaolin, kuvars,  $\text{CaCO}_3$  ve feldispat kullanılmaktadır ve pişirme sıcaklığı 1060-1100°C dolayındadır.

### 3.1.3.Sert akçini

Sert akçini veya feldispatlı akçini, adını bünyesinde kalkerin yerine kullanılan feldispattan alır. Feldispatın görevi, çamurda eritici etkiyi sağlayarak, çamurun gözenekliliğinin azalmasına yardımcı olmaktadır. Çamurun gözenekliliğinin azalmasına diğer bir etkende pişirim sıcaklığının 1180-1230°C gibi daha yüksek sıcaklıklarda olmasıdır.

## 3.2. Porselen

Porselen kil, kaolen, kuvars ve plastik, beyaz pişen killerden üretilmiş, geçirgen, vitrifiye edilmiş ürüne verilen bir isimdir.

Teknik bir malzeme olarak porselen yüksek mekanik ve elektrik mukavemete ve yüksek kimyasal dayanıma sahiptir. Porselen genelde iki büyük gurup altında

incelenebilir; Sert porselen ve yumuşak porselen. Her iki gurup porselende, kuvars-kaolen-feldispat üçlü sisteminde yer alır [38]. Sert veya yumuşak porselen tanımı ürünün mekanik direncini belirtmeyip pişme sıcaklığı ve bileşimindeki farklılıklardan dolayı isimlendirilmektedir.

Porselen, sert ve yumuşak porselenin yanı sıra elektro porselen, steatit porselen, frit porselen, kemik porselen, sağlık gereçleri porseleni, laboratuvar porseleni, diş porselenleri olarakta gruplandırılmaktadır.

### 3.2.1. Sert porselen

% 50 kaolen, % 25 feldispat, % 25 kuvars içeren sert porselen yumuşak porselene göre daha fazla kaolen ve daha az feldispat içerip yüksek sıcaklıklarda (1400-1450 °C) sinterlenmiştir [11,39].

Sert porselen taşıdığı yüksek mekanik mukavemet, iyi dielektrik özelliği ve yüksek kimyasal dayanım özelliklerinden dolayı izolatör yapımında, kimya endüstrisinde; laboratuvar kapları, termokupl tüpleri, mutfak gereçleri, yüksek voltaj izolatörlerinde kullanılan yalıtım parçalarının yapımında kullanılmaktadır [38].

Özellikle elektronik amaçlar için kullanılan çamurlardaki  $Al_2O_3$  oranı kalsine kaolen veya çok ince öğütülmüş korund ile yükseltilmektedir. Bu tür çamurların sıcaklık değişikliklerine dirençleride yüksek olmaktadır. Yüksek gerilim izalatörlerinin çamurlarının yapısında % 10-30 oranında korundun yer alması ile yüksek mekanik direncede erişilmektedir. Bu mekanik dirence ulaşmak için korundun çamurda 60 mikronun altındaki boyutlarda bulunması gerekmektedir. Elektro-porselen üretiminde eskiden kullanılan, kil cevheri yönünden zayıf, kuvarsça zengin çamurlar ile de yüksek mekanik dirençler elde edilebilmektedir. Bu çamurların sakıncası pişme aralıklarının dar olmasıdır. Kil cevheri yönünden zengin ve korund içeren çamurların pişme aralıkları daha geniştir [1].

### 3.2.2. Yumuşak porselen

% 35-42 kaolen, % 30-35 feldispat, % 23-30 kuvars bileşimli, sert porselene göre daha fazla feldispat ve daha az kaolen içeren düşük sıcaklıklarda (1250-1280°C) sinterlenen ürünlerdir.

Yumuşak porselen sert porselenlerin tersine düşük mekanik ve dielektrik mukavemet gösterir. Bu porselenler dekoratif amaçlı ve ev eşyası üretimlerinde kullanılır.

### 3.2.3. Kemik porselen

İlk kez Spode tarafından 1794 yılında İngiltere’de üretilen ve “fosfat porseleni” olarak da tanımlanan bu porselenin esas yapısını kemik külü oluşturmaktadır (Arcasoy 1983). Kemikler (genellikle sığır kemiği) su buharı ile yağlarından arındırılırlar, yıkanılırlar ve 800-1000°C de kalsine edilirler [3].

Kemik külü yaklaşık olarak % 85 oranında kalsiyum fosfat,  $-Ca_3(PO_4)_2-$ , az da olsa  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ , ve  $SiO_2$  içermektedir. Kemik bünyesindeki kalsiyum fosfat kaolen ve korniş taşındaki alimüno silikatlar ile birleşerek kemik porselenini meydana getirmektedir.

Kemik porseleni çamurunun yapısında % 20-45 kaolen, % 7-30 pegmatit veya korniş taşı adı verilen  $CaF_2$  içeren bir tür feldispat, % 30-60 kemik külü bulunmaktadır [1,40].

Kemik porseleni saydam oluşu ve beyazlığı nedeniyle tercih edilmektedir. Kemik porseleninin mekanik özellikleri sert porselene göre daha iyi olmasına rağmen termal genleşme katsayısının yüksek olmasından dolayı ateşe konulan kapların yapımında kullanılmamaktadır [11].

Kemik porseleninin şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük güçlük plastisitesinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Çamura özlülük kazandırmak için bir

miktar bentonit ve organik maddeler ilave edilmekte böylece sulandırmak şartı ile çamur plastiklik özelliği kazanmaktadır. Ayrıca bu porselenin pişme aralığının dar ve pişme küçülmesinin büyük olması da önemli problemler getirmektedir [1].

#### 3.2.4. Diş porseleni

Genel olarak % 70-90 feldispat, % 15-25 kuvars, % 5-10 kalk veya kaolen içeren diş porseleni çamuru ham olarak veya sırcalı olarak hazırlanmaktadır. Şekillendirme, rutubetli çamurun bronz kalıplara basılması ile yapılmakta, dişin doğal rengini anımsatan bir porselen elde etmek için renk vericiler katılmaktadır.  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $TiO_2$  ve  $SnO_2$  gibi renklendiriciler porselen çamuru ile birlikte öğütülmektedir.

Diş porseleni çamuru az veya hiç özlü madde içermediğinden, pişirim kısa sürede (20-30 dakikada) gerçekleşmektedir [1].

#### 3.2.5. Elektro porselen

Bileşiminde % 40-50 kaolen, % 20-28 feldispat, % 22-40 kuvars bulunan 1300-1350°C sıcaklık aralığında pişirilen elektro porselen, elektrik ızalasyonunu sağlamak amacı ile kullanılan :

- Yüksek gerilim elektrik hatlarını direklerde taşıyan gerilim izolatörleri
- PTT hatlarında alçak gerilim izolatörleri
- Elektrik sigortası porseleni
- Elektrik anahtar ve şalter porselenleri
- Elektrik ızalasyon boru ve boncuk porselenleridir [3]

#### 3.2.6. Sağlık gereçleri porseleni

Hacimce oldukça büyük olan sağlık gereçleri porselenleri (lavabo, klozet, küvet

vs.) hijyenik olması şartı ile masselerinin en fazla % 1'e kadar su emebilecek derecede vitrifiye olacak şekilde üretilmektedirler.

Bünyelerinde % 25-40 kaolen, % 30-36 feldispat, % 25-45 kuvars mevcut olup 1230-1280°C aralığında pişirilmektedir [3].

### 3.2.7. Laboratuvar porseleni

% 60-65 kaolen, % 15-30 feldispat ve % 10-15 kuvars içeren laboratuvar porseleni ısıl şoklara ve asitlere dayanıklı laboratuvar kaplarıdır. Bu tip porselen çamuru 1230-1280°C de pişirilir [3].

### 3.2.8. Firit porseleni

Düşük derecelerde şeffaflığı fazla porselenler elde etmek için feldispat yerine firit kullanılarak üretilirler. Düşük sıcaklıkta pişirildiği için diğer porselenlere göre mekanik özelliği daha düşüktür. Fakat diğer porselenlere göre ince ve şeffaflığı iyi porselenlerdir [3].

## 3.3. Vitrifiye Seramikler

Vitrifiye seramik, su emmesi %1den daha küçük olan bir akçini çamuru olarak tanımlanır. Özellikleri ve teknolojisi ile feldispatlı akçini ile porselen arasında yer alır ve bu neden ile çoğunlukla yarı porselen veya sıhhi tesisat porseleni adını alır.

1920 yıllarından başlayarak Amerika'da üretilen bu çamurun Vitreous china adını alması, türetilen iki kelimedenden ileri gelmektedir: Vitreous-camsı, China-porselen anlamına gelmektedir. Gerçekte porselen camsı olup, yarı saydamdır fakat vitreous china saydam değildir.

Vitrifiye seramik çamurlarında genellikle otel kap kacağı türünde eşyalar ve sağlık



gereçleri üretilir. Eskiden akçiniden üretilen sağlık gereçleri, günümüzde yalnızca vitrifiye seramik ve porselen türü gözeneksiz çamurlardan üretilir.

Özellikle sağlık gereçlerinde kullanılan çamurların minerolojik bileşimleri, içerdikleri yüksek feldispat oranından dolayı sert akçini çamurlarından ayrılır. Üretimde bazı bünyelerde nefelinli siyanit, kalker, talk gibi mineraller hammadde olarak kullanılsa da bileşimde geleneksel olarak kil, kuvars ve feldispat kullanılır [41].

Genel olarak sağlık gereçlerinin üretiminde kullanılan minerallerin minerolojik bileşimleri aşağıdaki gibi verilebilir [1]:

%40-50 Kil cevheri

%20-30 Kuvars

%20-30 Feldispat

Vitrifiye seramik bünyelerin fiziksel özellikleri üzerine kuvars, feldispat ve kaolin miktarlarının etkili olması çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Taçyıldız ve Şan [42] vitrifiye seramik bünye üzerinde yaptıkları çalışma sonucu en uygun karışımın; %30 Sındırgı kaolini, %30 potasyum feldispat, %10 kuvars, %20 söğüt kili ve % 10 İstanbul kili ile oluşabileceğini ifade etmektedirler.

Çamurda kullanılan kil, yüksek plastiklik ve kuru direnç gösteren en az 2-3 kil türü ve yüksek aliminyum içeren çeşitli kaolinlerden sağlanır. Feldispat mineralide , potasyumlu ve sodyumlu feldispatlardan ortaklaşa olarak sağlanır.

Günümüzde modern sağlık gereçleri, tam ve yarı otomatik çalışan sistemlerde dökülüp, boşaltılıp kurutulmakta ve sonradan sırlanmaktadır.

Vitrifiye seramik çamurlarından üretilen ürünlerde aranan bazı özelliklerin başında sağlık kurallarına uygun olma zorunluluğu gelir. Çizilme, basınç, darbe, asit ve bazlara karşı direnç de diğer aranan özelliklerdendir.

Sağlık gereçleri yalnızca döküm yolu ile şekillendirilebildikleri için, çamur hazırlamada elektrolitler kullanılarak döküm çamuru elde edilir. Çamur hazırlamada

feldispat, kuvars ve suda açılmıyorsa kaolin, sertlik sıralarına göre bilyalı değirmenlerde öğütülür. Reçetede kullanılan kilin küçük bir kısmı (yaklaşık %5'i) sert hammaddeleri daha iyi askıda tutmak ve gerekiyorsa elektrolitin etkisini arttırmak amacı ile değirmene konabilir. Killer açıcıda açıldıktan sonra değirmende öğütülen maddeler ile karıştırılır.

## **4. SERAMİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Seramik ürünlerin şekillendirilmesinde birden fazla şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır. İstenilen ürün için uygun yöntemin seçimi, büyük ölçüde ürünün şekli ve boyutuna, boyutsal toleransına, ürün sayısına ve seçilen yöntemin ilk yatırım maliyetine bağlıdır.

Genelde seramiklerin şekillendirilmesinde presle şekillendirme, plastik şekillendirme ve dökümle şekillendirme yöntemleri kullanılmaktadır.

### **4.1. Plastik Şekillendirme**

#### **4.1.1. Presleme ile şekillendirme**

Presleme yöntemi ile şekillendirmede tozlar ve granül malzemeler sert kalıp veya esnek kalıp içerisinde aynı anda sıkıştırılır ve şekillendirilir. Genelde iki gruba ayrılır.

##### **4.1.1.1. Yaş presleme ile şekillendirme**

Bu yöntemde özel alçıdan imal edilmiş içine hava hortumları döşenmiş kalıplar kullanılmaktadır. Vakum presten çıkmış sucuklarda, üretilecek parçanın formuna yakın dilimler harfler vasıtasıyla kesilerek hazırlanır ve alçı kalıp üzerine yerleştirilerek hidrolik presleme yolu ile hamura şekil verilir. Kalıptan alınan ürünler rötuşlanıp, kurutularak bisküi fırınına verilmektedir.

##### **4.1.1.2. Kuru presleme ile şekillendirme**

Seramik tozların sertleştirilmiş metal kalıplar içerisinde sıkıştırılarak preslenmesi

kuru presleme olarak adlandırılır. Bu yöntem genellikle kalınlığı 0,5 mm'den fazla olan ve düzgün yüzeyli parçaların şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Kuru preslemede kullanılan basınç 20-100 MPa arasında değişir [4].

#### **4.1.1.3. İzostatik presleme**

İzostatik presleme ile, kuru presleme ile kolayca preslenemeyen kompleks şekilli ve yüksek miktarlardaki parçaların üretimi yapılmaktadır. Bu sistemde 3,8 MN'luk hidrolik presler kullanılmaktadır. Pistonlar yatay istikamette çalışmaktadır ve kalıplar metal olup üzerleri poliüretan ile kaplıdır. Ayrıca Poli vinil klorür(PVC) ve silikonize kauçuktan üretilen kalıplar da mevcuttur.

Kalıp parçası ile membran arasında hidrolik yağ bulunmaktadır. Hidrolik yağın basıncı, esnek membran sayesinde tabağın her tarafında eşit basınç uygulanmakta ve ürün pişme esnasında deforme olmamaktadır. Preslenmiş parçanın yüzey düzgünlüğü iyi değildir ve ön işlem gerekmektedir.

#### **4.1.2. Enjeksiyon yöntemi**

Enjeksiyon yöntemi ince et kalınlığına ve kompleks şekle sahip parçaların seri olarak şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile şekillendirme ikiye ayrılır:

- Dalgıç tipi şekillendirme
- Vida tipi şekillendirme

Her iki yöntemin prensibide aynıdır, sadece makinaları farklıdır. Dalgıç tipi şekillendirmede malzeme ısıtılıp bir silindir vasıtası ile sıkıştırılıp bir yolluktan geçirilir ve kalıp içersine batırılır.

### 4.1.3. Ekstrüzyon yöntemi

Bu yöntem uzunlukları boyunca uniform bir kesit alanına sahip parçaların üretiminde kullanılır. Endüstride kullanılan ekstrüzyon basınçları porselen gövdeler için yaklaşık 4MPa'a ve bazı işlemler için 15 MPa'a çıkılabilmektedir. Bu yöntemle boş fırın tüpleri ve grafit elektrotlar üretilmektedir.

### 4.2.Döküm yöntemi ile şekillendirme

Döküm yolu ile şekillendirme, en çok kullanılan bir şekillendirme yöntemidir. Diğer şekillendirme yöntemleri ile üretilmeyen her türlü parça dökümle şekillendirilerek üretilebilir. Örneğin, tornada şekillendirilemeyen yuvarlak olmayan parçalar, pres kalıplarının yapılması zor ve pahalı olan parçalar, bazı özel ateş tuğlaları, çaydanlık, kase gibi sofraya eşyaları, karışık parça ve şekillerden oluşan lavabo, klozet, küvet gibi sağlık gereçleri döküm yöntemi ile şekillendirilir [1,7].

Döküm yöntemi ile şekillendirmede kullanılan kalıplar gözenekli yapıda ve su emme yeteneğine sahip alçı kalıplardır. Bununla birlikte poroz yapıda başka malzemeler de kullanılmaktadır. Genellikle alçı kalıplar, %40-50 porozite içerir ve por boyutu 1-5µm arasında değişir. Alçı kalıbın içine doldurulan sulu çamurun suyu, oluşan kapilari kuvvetle kalıp tarafından emilir. Emilen su ile birlikte hammadde tanecikleri kalıbın yüzeyine doğru hareket eder. Suyun çekilmesiyle birlikte toz partiküller yüzey gerilim kuvvetleriyle sımsıkı şekilde birbirine yapışır. Sulu çamurun, istenilen et kalınlığına ulaşıncaya kadar kalıp içinde belli bir süre bekletilmesi gerekmektedir.

Boş dökümde kalıpta şekillendirme için gerekli kalınlık sağlandığında, kalıp içindeki çamur geri boşaltılır. Böylelikle kalınlık alma işlemi durdurulur. Dolu dökümde ise daha önceden hazırlanmış kalıplar içine yeterli miktarda çamur konularak şekillendirme yapılır. Kalıp içinde henüz yaş ve belli bir yumuşaklığa sahip olan çamurun kalıp tarafından sürekli suyu emildiğinden, şekillendirilen parça bir süre sonra kalıptan alınacak

kadar sertleşir. ]

Çamur dökümde kalıp yüzeyinde partiküllerle oluşan tabakanın sağlamlaşması filtrasyon prosesi ile meydana gelir. Döküm kalınlığı L, zamanın fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi verilebilir:

$$L = \left[ (2 J \Delta P t / \eta R_c) + (R_m^1 / R_c)^2 \right]^{0.5} - (R_m^1 / R_c) \quad (4.1)$$

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \quad (4.2)$$

Burada J, döküm hacminin uzaklaştırılan sıvı hacmine oranı,  $\Delta P$  kalıp emmesi,  $\eta$  sıvının viskozitesi,  $R_c$  döküm içinde sıvının taşınım direnci,  $R_m^1$  kalıbın sıvı taşıma direnci,  $\gamma$  suyun yüzey gerilimi,  $r$  ise kapiler çapıdır. Eşitliğin sağ kısmı döküm sırasında sabittir. Genelde  $R_m^1/R_c$  küçüktür buna göre eşitlik basitleştirilirse,

$$L = [2 J \Delta P t / \eta R_c]^{0.5} \quad (4.3)$$

yada

$$L^2 = k_p t \quad \text{ve} \quad (4.4)$$

$$K_p = \frac{2J\Delta P}{\eta R_c} \quad (4.5)$$

olarak parabolik denklem şeklinde ifade edilebilir.  $k_p$  ise parabolik denklem sabitidir. Kalıp içerisinde kapiler emme ile sıvının taşınımı kalıp içindeki artık sıvıya ve sıvı taşınım derinliğine bağlıdır. Kalıpta birkaç kez döküm alındıktan sonra sıvı taşınım hızı sınırlanır ve kalıp suyu çekemez hale gelir.

Döküm yolu ile şekillendirmede en önemli aşamayı, şekillendirmede kullanılacak olan döküm çamurunun hazırlanması oluşturur. Başarılı bir döküm çamurunun hazırlanabilmesi için, çamuru oluşturacak hammaddelerin kimyasal, fiziksel, minerolojik

ve reolojik özellikleri bilinmelidir. Kimyasal olarak bileşimi, fiziksel olarak tane yapısı ve tane büyüklüğü, minerolojik olarak içerdiği mineraller ve kristal yapısı, reolojik olarak akışkan olabilme yeteneği ve bunu sağlayan etkenler bilinmelidir. Bu etkenler;

- Çamura katılacak olan suyun oranı, fiziksel ve kimyasal yapısı
- Çamurda kullanılacak hammaddelerin minerolojik bileşimi
- En uygun elektrolit seçimi, kullanılacak elektrolitin katkı oranı
- Döküm çamurunu oluşturan sert ve suda dağılmayan maddelerin öğütülme süresi,

tüm çamurun tane büyüklüğü

- Döküm çamurunun litre ağırlığı ve vizkozitesidir [1,43]

İyi bir döküm çamurundan beklenen özellikler ise;

- Alçı kalıp içersine kolaylıkla yayılabilmesi için düşük vizkoziteli ve akıcı olmalıdır.
- Katı maddeler çökmemeli
- Dökümden sonra kalıptan kolaylıkla çıkarılabilmeli
- Optimum bir et kalınlığına ulaşabilmeli
- Kururken çekme az olmalı
- Döküm sonrası mukavemeti yüksek olmalıdır [7].

Döküm çamurunda istenen akışkanlığı, fazla su kullanmaksızın elde etmek gerekir.

Genel olarak döküm çamurundaki maksimum su miktarı ağırlıkça %40 dır [1,44] Fazla sulu döküm çamuru kalıpları ıslatır, kalıptan çıkma süresini uzatır ve parçanın kalıp içersinde çatlamasına neden olur. Bu nedenlerle döküm çamurunda akıcılığı, su miktarını arttırarak elde etmek olanaksızdır. Bunun yerine elektrolit denilen ve taneciklerin elektrik yüklerine etki eden kimyasal maddeler kullanılır. Elektrolitler sulu süspansiyonlarda deflokülasyon amaçlı kullanıldıkları gibi flokülasyon içinde kullanılmaktadırlar. Deflokülant olarak kullanılan elektrolitler ile taneciklerin birbirlerini itmeleri sağlanarak, su içersinde dağıtılmaları sağlanabilmektedir.

Özellikle sağlık gereçleri endüstrisinde dökümün elle yapılması yöntemi giderek terk edilmektedir. Batarya şeklinde dizilen 25-50 kalıptan oluşan bloklara , bir baştan döküm çamuru verilmekte ve belli bir süre sonra çamurun fazlası geri boşaltılmaktadır [1,45].

#### 4.2.1. Basıncılı döküm yöntemi

Son yıllarda sıhhi tesisat sanayiinde basıncılı döküm yönteminin yaygın olarak kullanılması çalışmaları sürdürülmektedir. Basıncılı dökümde kalıp filtre gibi davranır ve döküm süresi dış basınç uygulamasıyla kontrol edilir. Sentetik malzemelerden üretilen kalıplar binlerce defa kullanılabilir ve döküm işleminden sonra kurutulmalarına gerek yoktur. Bu makinalar tek tek kullanılabildiği gibi otomatik bir hat içersinde de kullanılmaktadır.

#### 4.2.2. Vakum döküm yöntemi

Vakum döküm yöntemi ile şekillendirmede poroz yapıdaki kalıba vakum uygulanarak çamur içersindeki suyun kalıp tarafından emilmesi hızlandırılır ve buna bağlı olarak döküm hızı artırılabilir. Vakum döküm yöntemi kompleks şekillere sahip oldukça yüksek poroziteli refrakter yalıtım malzemelerinin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Döküm çamuru, kısmen defülöküle edilmiş seramik tozları ve ince uzun refrakter fiberlerinden oluşur. İstenilen et kalınlığına ulaşıldığında vakum uzaklaştırılır ve parça kurutulur.

#### 4.2.3. Döküm çamurunun defülökulasyonu

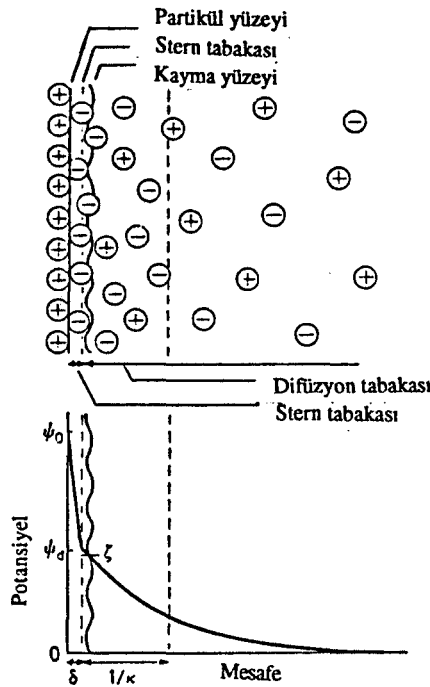
Kil içeren bünyelerden iyi bir döküm çamuru hazırlamak genelde oldukça zordur. Killer birbirlerinden farklı değildir fakat diğer mineraller ile birlikte özellikle su içersinde davranışları değişir. Bu nedenle çok çeşitli kimyasallar ilave edilmektedir. Hazırlanan çamurun sabit bir vizkoziteye ve uniform özelliklerde ürün üretebilme özelliklerine sahip



olması gerekir.

Kil veya kil bünyelerinin deflakülasyonunda temel faktör tabiki kimyasal ilavesiyle etkileşime müsait koloidal kil partiküllerinin varlığıdır. Çamur akışkanlığı bu partiküllerin arasındaki itme kuvvetlerine bağlıdır.

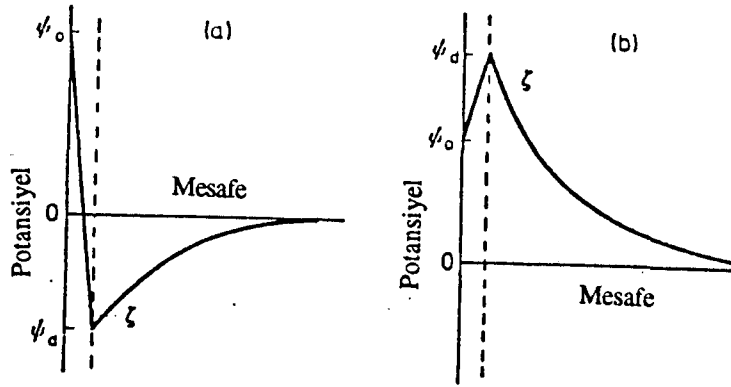
Koloidal partiküller su içersinde dağıtıldıklarında yüzeylerinde elektriksel yüklenme olur. Bu yüklenme, iyon çözünmesi, sulu ortam ile kimyasal reaksiyon ve spesifik iyon adsorpsiyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Yüzey şarjı, polar ortamdaki yüzeye yakın olan iyonların dağılımını etkiler. Zıt yüke sahip iyonlar yüzeye doğru çekilirken aynı yüke sahip iyonlar yüzeyden itilir. Bu durum elektriksel çift tabakanın oluşumuna sebep olur. Elektriksel çift tabaka genelde iki tabakadan oluşur. Bunlar adsorplanmış iyonları içeren iç tabaka ve iyonların elektriksel kuvvetler ve termal hareketlerin etkisi ile yayıldığı difüz tabakadır. Stern modeline göre çift tabaka, bir düzlem (Stern düzlemi) tarafından ayrılmış iki kısımdan oluşmuştur. Stern düzlemi yüzeyden hidrate olmuş iyon çapı kadar mesafededir. Adsorbe olmuş iyonlar ise Stern tabakası içindedir. Zıt yüklü spesifik iyon adsorpsiyonu söz konusu olduğunda şematik yüzey ve şarj dağılımı şekildeki gibidir [46].



Şekil 4.1. Stern modeline göre elektriksel çift tabakanın şematik gösterimi (Shaw, 1980).

$\psi_0$ , yüzey potansiyeli,  $\psi_d$ , Stern potansiyelidir. Kayma yüzeyindeki potansiyel ise elektrokinetik ya da  $\zeta$  potansiyeli olarak adlandırılır. Çok değerlikli yüzey aktif zıt yüklü iyonların yüzeye adsorpsiyonu yüzey şarjının ters yönde değişmesine neden olabilir. Şekil 4.2'de çok değerlikli zıt yüklü iyonların ve aynı yüklü iyonların adsorpsiyonu ile yüzey şarjının değişimi görülmektedir.

Sıvı bir ortam içinde dağıtılmış partiküller arasında her zaman etkileşimler olmaktadır ve süspansiyonun kararlılığı bu etkileşimler sırasında partiküller arasında mevcut itici yada çekici kuvvetler tarafından belirlenir.



Şekil 4.2. Çok değerlikli zıt yüklü iyonların ve aynı yüklü iyonların adsorpsiyonu ile yüzey şarjının değişimi (Shaw,1980)

Van der Waals çekici kuvvetleri flokülasyona neden olur. Çekici kuvvetler; devamlı dipollere sahip moleküllerin yönlenmesiyle ve dipol moleküllerin dipol olmayan moleküllerin etrafındaki elektron bulutlarını saptırmasıyla ortaya çıkabilir. İtici kuvvetler ise iki partikül birbirine yaklaştığında elektriksel çift tabaka etkileşiminden dolayı birbirlerini itmesiyle oluşur.

$$\text{Çekme enerjisi, } E_i = -Aa/12d \quad (4.6)$$

$$\text{İtme enerjisi, } E_\zeta = 2\pi\epsilon a\psi_\zeta^2 \exp(-kd) \quad (4.7)$$

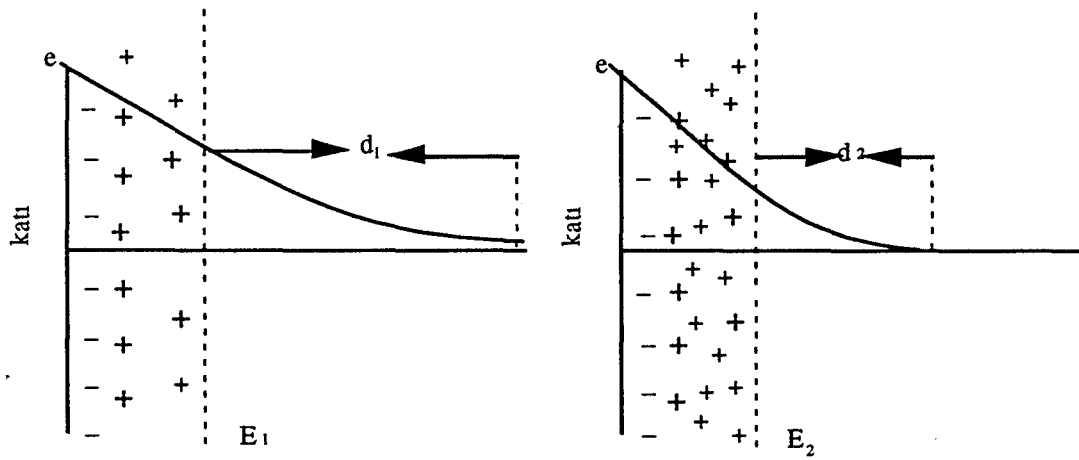
A, Hamaker sabiti ( $10^{-19}$ - $10^{-20}$  J), a partikül yarı çapı, d partiküller arası mesafedir.  $\epsilon$  geçirgenlik,  $\psi_\zeta$  stern potansiyeli,  $1/\kappa$  ise yaklaşık olarak bir partikül etrafındaki şarj bulutunun boyutuna eşittir ve aynı zamanda difüz tabakanın kalınlığı olarak da adlandırılır.

Deryagin-Landau ve Verwey-Overbeek birbirinden bağımsız olarak iki partikülün bir araya gelmesi sonucu meydana gelen enerji değişikliklerini ifade eden kantitatif bir teori geliştirmişlerdir. DLVO teorisine göre, partiküllerin birbirine yaklaşması ile elektriksel çift tabakadan dolayı oluşan itici enerji ve van der Waals çekici enerjinin partiküller arası mesafe ile değişimi, bu enerji toplamının partiküller arası mesafe ile değişiminin hesaplanması ile ilgilidir. DLVO teorisine göre itici ve çekici kuvvetler arasında denge sağlandığında sistem stabilize edilebilir. Süspansiyonların kararlılığında en önemli parametreler  $\kappa$  ve  $\psi_\zeta$  dir.

Genel olarak çamurlarda, belli bir elektrolit katkısı ile başlayan akışkanlık, katkının artmasıyla birlikte hızlanır. Çamurun akma süresi kısalmır. Elektrolit katkısının daha da artması ile öyle bir noktaya erişilirki, artık çamurun akma süresi uzamaya başlar ve elektrolit daha da arttırılırsa çamur iyice koyulaşır ve akmaz olur.

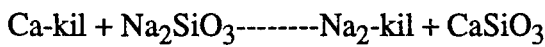
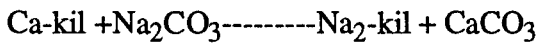
Yüksek elektrolit yada katyon konsantrasyonlarında,  $\zeta$  potansiyeli azalır. çünkü eğer zıt yüklü iyonların miktarı fazla ise difüz tabakaya yığılırlar ve negatif yüzeyin etkisini yok ederler. Difüz tabakasının kalınlığı ( $1/\kappa$ ) azalır ve bazı sınırlı durumlarda katyonlar yüzey tabakasını istila edip yüzey şarjını azaltır. Böylelikle daha düşük derecede dispersiyona ve sistemin flokülasyonuna sebep olurlar. Şekil 4.3'de yüksek katyon konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın değişimi görülmektedir.

Yaygın olarak kullanılan elektrolitler, sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), ve Sodyum silikat( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3.3\text{SiO}_2$ )'dır [1,47,48]. Bunların dışında döküm çamurlarının deflakülasyonunda kullanılan elektrolitler Çizelge 4.1'de verilmektedir [47].



Şekil 4.3. Yüksek katyon konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın değişiminin şematik gösterimi.

Sodyum silikat ile deflakülasyon, silikat iyonları ile çok değerlikli toplayıcı(Floccing) iyonların reaksiyonu sonucu meydana gelir. Sodyum silikat serbest alkali ve silisilik asit vermek üzere hidrolize olur. Silisilik asit ise koruyucu kolloid olarak adlandırılır ve killerin flokülasyon eğilimini azaltır. Çözünmeyen kalsiyum veya magnezyum silikatlar oluşur. Sodyum iyonları kil sistemlerinin yapısında bulunan iki değerlikli katyonlar ile yerdeğiştirir, itici kuvvetlerin artmasıyla deflakülasyon meydana gelir [48].



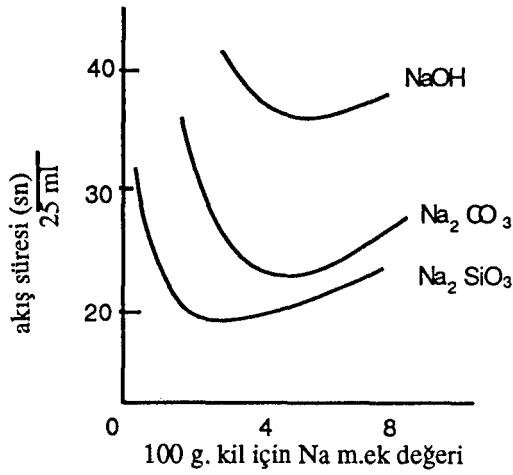
Soda külü veya sodyum karbonat, bünyede kil minerallerinin yüzeyindeki difüz çift tabaka yükleri üzerine etkilidir. Sodyum karbonat, sodyum hidroksit ve karbonik asit vermek üzere hidrolize olur. Sodyum karbonatın killer ile etkileşimi sonucu suda çözünürlüğü çok az olan veya hiç olmayan karbonatlar meydana gelir [47].

$\text{CaCO}_3$  ve  $\text{CaSiO}_3$  suda çözünmediğinden bu reaksiyonlar tek yönlüdür. Sodyum iyonları en küçük kil taneciklerine yapışarak bir elektrik alanı meydana getirirler. Bu elektrik alanı etrafındaki  $\text{OH}^-$  iyonlarını ve su moleküllerini üzerine çeker ve her kil parçacığının etrafında bir su mantosu oluşur. Bu parçacıklar bir birini iter ve aynı zamanda Van der Waals kuvvetiyle de çekerler. Kimyasal ve fiziksel kuvvetler arasındaki denge bozulduğu takdirde akışkanlık özelliğide bozulur [7].

Çizelge 4.1. Döküm çamurlarının dağıtılmasında kullanılan elektrolitler (Singer,1963)

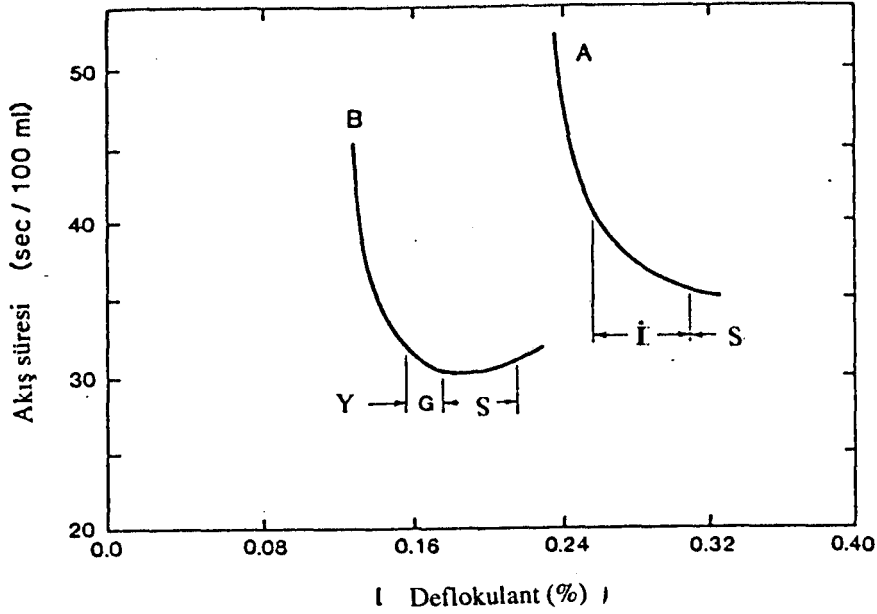
İsim	Formül	Molekül Ağırlığı	Su İçinde Çöz. (gr/100 ml)	Düşünceler
Sodyum hidroksit	$\text{NaOH}$	40.01	0 °C de 42 100 °C de 347	Zayıf
Sodyum silikat	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 1.6\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$	158.09 -302.23	156-43	Çok iyi
Sodyum silikat	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3.3\text{SiO}_2$	260.10	-	En iyi
Sodyum karbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	106.00	0 °C de 7.1 100 °C de 45.5	Az etkili
Sodyum fosfat (prifosfat)	$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$	266.03	0 °C de 3.16 100 °C de 40.26	Çok etkili
Sodyum fosfat (tetra fosfat) (hegzameta fosfat)	$\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$	469.90	-	-
Sodyum alüminat	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	163.94	-	Silikat ya da karbonat yerine kullanılabilir
Sodyum okzalit	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	134.01	20 °C de 3.7 100 °C de 6.33	Çok iyi
Lidyum hidroksit	$\text{LiOH}$	23.95	0°C de 12-7 100 °C de 14.9	Az etkili

Her kil, kaolin veya çamurun elektrolitlerle akışkan duruma gelmesi farklıdır. Elektrolitin türü, katkı oranı, etki süresi akışkanlıkta büyük rol oynar. Sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) deflokülasyon etkisi Şekil 4.4’de verilmektedir.

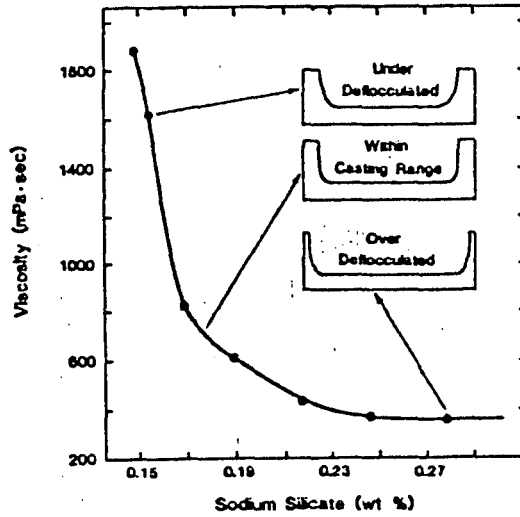


Şekil 4.4 Farklı elektrolitlerin deflokülasyon üzerine etkisi (Singer, 1963)

Hammaddelerin ayrı ayrı hangi tür elektrolit ile, hangi oranlarda akışkanlık yaptığı “uygun elektrolit deneyleri” ile belirlenir. Elektrolit ilavesine bağlı olarak çamurun viskozitesi değişirken, viskoziteyle birlikte ürün kalitesi de değişir. Sistemin deflokülasyon derecesi ürünün kalitesini direk olarak etkiler. Fazla defloküle edilmiş sistemlerde döküm, sert, düzgün olmayan yüzeylere ve çatlaklara sahiptir. Az defloküle edilen sistemlerde ise döküm yumuşaktır ve iğne deliği şeklinde yüzey hatalarına sahiptir. Beyaz ürünler için deflokülant miktarının viskozite ve döküm davranışı üzerine etkileri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Beyaz ürünler için deflokülan miktarına bağlı olarak viskozite ve döküm davranışları (Reed, 1989)



Şekil 4.6. Beyaz ürünler için deflokülan miktarına bağlı olarak viskozite ve döküm davranışları (Reed, 1989)

Rajala [49] tarafından yapılan çalışmada iyi bir döküm kilinin viskozitesinin tamamen defloküle edildiği zaman yaklaşık olarak 500 cp olduğu, bu viskoziteye sahip

döküm çamurlarında düşük döküm hızı ve uygun döküm özellikleri sağlanamadığından minimum vizkozite noktasının optimum döküm noktası olarak alınamayacağı belirtilmiştir. Çalışmada deflokulant olarak molekül ağırlığı 242,2 g/mol olan sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3$ ) ve % 12 oranında  $\text{Na}_2\text{O}$  içeren Sodyum polielektrolit kullanılmış ve daha az deflokülasyonlarda 700 cp'lik vizkozite değerlerinde optimum döküm hızlarına ulaşılabildiği belirtilmiştir .

Sodyum silikat ve sodyum poliakrelat kullanılarak hazırlanan çamurlarda bu iki farklı deflokulantın reolojiye olan etkisi incelendiğinde, sodyum poliakrelat ile hazırlanan çamurların daha düşük vizkoziteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber poliakrelat kullanılan sistemde bünye daha fazla plastik özelliği göstermiş ve bünyede kuruma sonrası önemli derecede çatlaklar görülmüştür [50].

Yapılan başka bir çalışmada, sodyum silikat ve sodyum poliakrelat kullanılarak hazırlanan sağık gereçleri döküm çamurlarında, aynı özelliklere sahip döküm çamurunun hazırlanmasında sodyum poliakrelata göre 2 veya 3 kat fazla sodyum silikatın gerektiği belirtilerek, deflokulant miktarının artması ile döküm hızının ve plastikliğin azaldığı belirtilmiştir [51].

Köseoğlu ve Güler [52] tarafından yapılan bir diğer çalışmada döküm çamuru üretiminde, bir döküm çamurunun vizkozitesine  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ve  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  etkileri incelenmiştir.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ilavesinde çamurun akış süresinin arttığı,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ilavesinde tiksotropik özellik kazandığı görülmüştür.  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  ilavesinde jelleşmenin görüldüğünü belirterek, karışımda bulunan illit ve klorit yapısındaki tabakalar arasına iyon çapı büyük olan potasyumun girmesi ve tabakaları açarak taneciğin görünür büyüklüğünü arttırarak viskozitenin artmasına neden olduğunu açıklamıştır .

Kimyasal ilavelerin döküm çamurlarının reolojik özelliklerine ve döküm parçalarının fiziksel özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada katkı maddesi olarak polyalkilenpolyamin, elektrolit olarak ise sodyum silikat kullanılmıştır. Döküm hızında artan polyalkilenpolyamin miktarı ile birlikte önemli derecede artış gözlenmiştir. Numunelerin kuru ve pişme küçülmelerinin kimyasal ilavesinden bağımsız

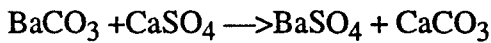


olduğu belirtilmiştir. Ağırlıkça % 0,2 oranında polyalkilenpolyamin ilavesi, sağlık gereçleri döküm çamurlarının döküm hızında en iyi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir [53].

Akışkanlığı olumsuz yönde etkileyen etmenlerden biri de kil ve kaolinlerin bünyesinde bulunan yada kullanılan su içersinde bulunan floküle edici iyonlardır. Bunlar sülfat, kalsiyum, magnezyum, demir ve alüminyum iyonlarıdır.

Sular, bünyesindeki tuz, sülfat, anyon ve katyonlara göre sertlik derecelerine sahiptir. Sertliği fazla olan sular akıcılığı olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle seramik sanayiinde kullanılan suların sertliğinin az olmasına dikkat edilmelidir [3].

Sülfat iyonları baryum iyonlarının ilavesiyle çöktürülebilirler ve zararsız hale getirebilir. Baryum sülfat 18°C'de 100 ml su içinde 0,23 mg çözünürlüğe sahiptir. Eğer baryum, karbonatları halinde ilave edilirse, karbonat iyonları da aynı zamanda uzaklaştırılır. Bununla birlikte Ca, Fe ve Mg iyonlarında uzaklaşır.



Baryum karbonat çok yavaş çözünür. Böylece istenmeyen çözünmüş durumdaki tuzlarla reaksiyona girer. Baryum iyonlarının çok az miktarda fazla ilavesi fülakülasyon etkisi yapar. Genellikle ağırlıkça %0,02 ve 0,1 oranında baryum karbonat, deflakülasyondan önce killere ilave edilmelidir [7,47].

Schelker et al [54] tarafından yapılan çalışmada mineroloik bileşimi %30 kil, %20 Kaolen,%35 feldispat ve %15 silikadan oluşan döküm çamurları hazırlanmıştır. Çözünür sülfatların etkisini araştırmak üzere 330 ppm çözünür sülfatlar içeren döküm çamuru ile Baryum hidroksit ilavesiyle sülfatların bir kısmı uzaklaştırılarak 60 ppm'lik çözünür sülfatlar içeren döküm çamuru hazırlanmış her iki süspansiyon için defülökülant miktarı belirlenerek vizkozite değişimleri ölçülmüştür. Artan çözünür sülfat içeriği ile birlikte defülökülant miktarının arttığı, 330 ppm çözünür sülfatlar içeren döküm çamuru için ağırlıkça % 0.30 defülökülant gerekirken 60 ppm çözünür sülfatlar içeren döküm çamuru

için % 0.13 olduğu belirtilerek artan deflokulant miktarı ile döküm hızının da azaldığı belirtilmiştir.

Seramik endüstrisi sağlık gereçleri üretiminde, ürün veriminin ve kalitesinin arttırılması, ürün maliyetinin kontrolü, artan rekabet ortamıyla daha da önem kazanmaktadır. Basınçlı döküm uygulamalarında optimum performans özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada farklı özgül ağırlığına sahip döküm çamurları hazırlanmış, artan özgül ağırlığına bağlı olarak sodyum silikat oranında arttığı belirtilmiştir. Ayrıca  $\text{CaSO}_4$  ilavesi yapılarak bunun vizkoziteye olan etkisi incelenmiş,  $\text{CaSO}_4$  ilavesinin artmasıyla vizkozite değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Özgül ağırlığı 1.83 olan döküm çamurlarında döküm hızı yüksek olmasına rağmen % 0.04 oranında  $\text{CaSO}_4$  içeren özgül ağırlığı 1.78 olan çamurların da döküm hızının önemli derecede geliştirildiği belirtilmiştir [55].

Döküm çamurlarına sülfatların ve organiklerin etkisinin incelendiği bir çalışmada 250-700 ppm'lik  $\text{SO}_4$  çözeltileriyle çalışılmış, çamur içerisinde sülfat derişiminin artmasıyla gerekli deflokulant miktarının arttığı, düşük sülfat derişimlerinde en iyi kalitede döküm alınabileceği belirtilmiştir. Ayrıca döküm çamuruna organiklerin ilavesiyle deflokulant miktarının azaldığı, dökümde alıkonulan su miktarının azaltılarak döküm kalitesinin de etkilediği ifade edilmiştir [56].

Balcı ve Güler [57] tarafından yapılan bir çalışmada, sıhhi tesisat gereçleri üretiminde kullanılan bir döküm çamurunun vizkozitesine  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ve  $\text{FeCl}_3$  tuzlarının etkisi incelenmiştir. İki ve üç değerlikli katyonlarla sülfat ve klorür iyonlarının düşük derişimlerde viskoziteye etkisinin az olduğu ve belirli miktarda sülfat içeren çamurların hiç sülfat içermeyenden daha iyi özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Sülfat iyonu deflokulant vizkozite eğrisinin az eğimli olmasını sağlar ve döküm kontrolünü kolaylaştırır. Fakat yüksek derişimlerde sülfat ve klorür iyonları döküm çamurunun çökmesine neden olurlar.

Döküm çamurlarına sodyum karbonat ve kalsiyum hidroksit ilavelerinin etkisi incelenmiş, sodyum karbonat içeren döküm çamuruna göre kalsiyumhidroksit içeren çamurlarında döküm hızının artırıldığı belirtilmiştir [58].

Mögel et al [59] tarafından yapılan bir çalışmada tek değerlikli klor anyonları ve çok değerlikli fosfat anyonları kullanılmış, bu anyonların reolojik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Fosfat anyonlarının klor anyonlarına göre viskoziteye olan etkisinin daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Cerume ve Dinger [60] tarafından yapılan çalışmada yüksek katı içerikli seramik çamurlarının bilgisayar programları ile modellenmesi gerçekleştirilmiş, böylece çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kontrolü, çamur reolojisi, döküm hızı, plastikliği, yaş mukavemeti gibi ölçülebilen niceliklerinin kontrolünün sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Moore [61] tarafından yapılan çalışmada seramik çamurların matematiksel modeli geliştirilerek reolojik özellikler üzerine deflokulant miktarının etkisinin belirlenebileceği gösterilmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada beyaz ürün döküm çamurlarının reolojik davranışları üzerine katı konsantrasyonunun ve sıcaklığın etkisi araştırılmış, katı konsantrasyonuna bağlı olarak viskozitenin ve akma noktasının arttığı, sıcaklık ile viskozitenin azaldığı, akma noktasının önemli derecede değişmediği ifade edilmiştir [62].

Porselen çamurlarının reolojik özellikleri üzerine porselen bileşimi ve elektrolit konsantrasyonunun etkisi incelenerek matematiksel model geliştirilmiş, porselen çamurlarının kaymaya bağlı olarak pseudoplastik davranış gösterdiği belirtilmiştir [63].

Farris et al [64] tarafından yapılan çalışmada tek tip partikül boyut dağılımına sahip süspansiyonların viskozite değerlerinden yola çıkarak çok çeşitli boyut dağılımına sahip süspansiyonların viskozite değerlerinin belirlenebileceği, gösterilmiştir.

Kil- su sistemlerinin viskozite ve tiksotropi gibi reolojik özelliklerinin saptanması seramik ve daha pek çok endüstri dalı için önemlidir. Bu sistemlerdeki kil partükülleri arasındaki elektrostatik etkileşim ve van der Waals kuvvetlerinin çekimi gibi etkenlerle

sistemin akışkanlığı bir süre sonra azalabilir ve sistem pıhtılaşarak çökebilir. Teknolojik açıdan sakıncalı olan bu durumla karşılaşmamak için kil-su sistemlerinin reolojik özellikleri bilinmeli ve kontrol altında tutulmalıdır [65].

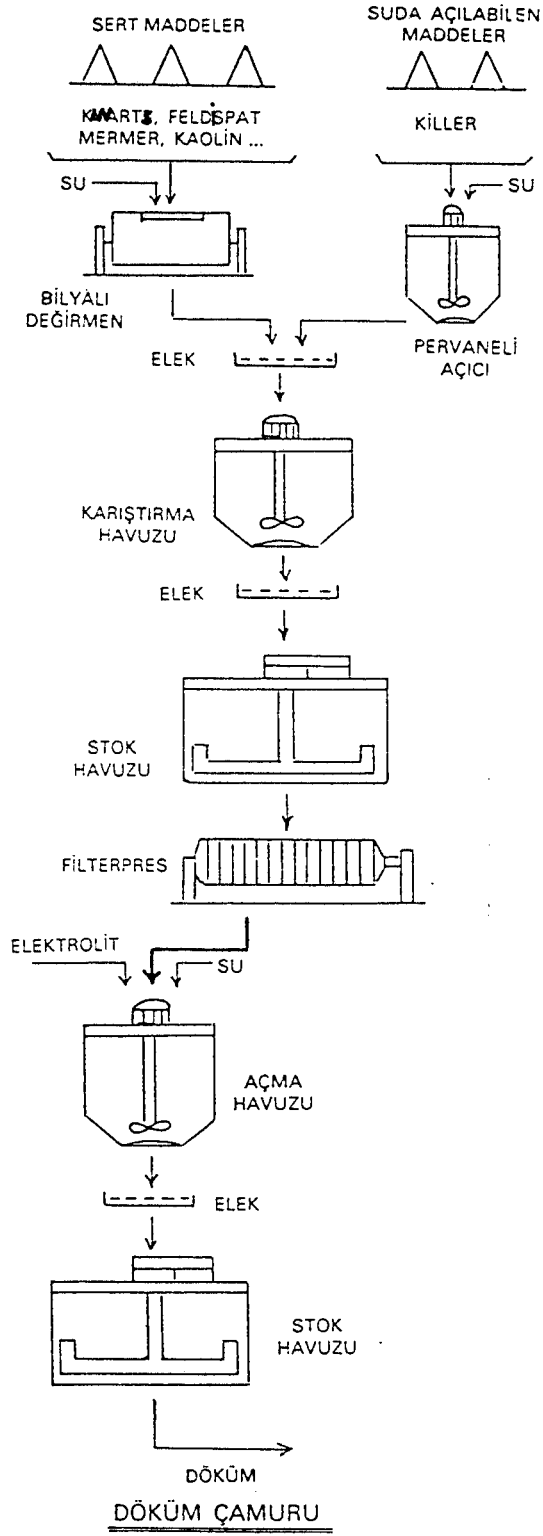
#### 4.2.4. Döküm çamurunun hazırlanması

Döküm çamurunun hazırlanmasında, sert maddeler, kuvars, feldispat ve kaolin sıra ile bilyalı değirmenlerde bol su ile öğütülürler. Havuzlara boşaltılan çamur, buradan filtre preslere basılarak uzaklaştırılırlar. Uzaklaşan su ile birlikte, kaolinden gelebilen ve dökümde kullanılan elektrolitlerle uyuşmayan bazı zararlı suda çözünebilir tuzlar atılır. Filtre preslerden alınan çamur peletleri pervaneli açma havuzlarında gerekli su ve elektrolit katkısıyla döküm çamuruna dönüştürülür. Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanma aşamaları Şekil 4.2’de görülmektedir.

Kil ve kaolinlerin içinde bulunan suda çözülebilen madensel tuzlar veya sülfatlar akıcılığı olumsuz yönde etkiler. Kil ve kaolenler kullanılmadan önce suda dağıtılır. Böylece suda çözünen tuz ve sülfatlar bünyeden uzaklaştırılır [3].

Diğer şekillendirme yöntemlerinde olduğu gibi, döküm çamuru ile şekillendirmede bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar çamurun yapısından gelebildiği gibi çalışma şartlarına da bağlıdır. Çamurun litre ağırlığının düşük olması yani döküm çamurunun çok sulu olması, istenen tiksotropide olmaması, çamurun çok veya az öğütülmesi hatalara neden olur.

Döküm sırasında çamur kalıba çok yüksekte döküldüğünde çamurda hava kabarcıkları ortaya çıkar. Ayrıca kalıbın içine hızla çarpan çamurun kalıba çarptığı yerde döküm lekesi oluşur [1].



Şekil 4.7 Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanması

## 5.REOLOJİK ÖZELLİKLER

Reoloji, bir malzemenin akış ve deformasyon özellikleri ile ilgilenen bir bilimdir. Uygulanan gerilme altında bünyenin deformasyonu olarak tanımlanır [4,46,66]. Reoloji ıslak karıştırma, öğütme, çamur döküm, sırlama ve dekorasyon içeren seramik süreçlerde oldukça önemlidir [67,68]. Seramik süreçlerin dışında kauçuk, plastik, gıda, boya, tekstil, kağıt ve petrol sondajı gibi pekçok endüstride ürünün uygunluğu, reolojik özelliklerin kontrolüyle değerlendirilmektedir. Biyoloji ve tıp (özellikle hematoloji) alanlarında da reolojik davranışlar önemlidir [69].

Kolloidal süspansiyonların reolojik davranışları temelde aşağıdaki faktörlere bağlıdır [46]:

- dağıtıcı ortamın vizkozitesi
- partikül konsantrasyonu
- partikül boyutu ve şekli
- partikül-partikül ve partikül- dağıtıcı ortam etkileşimleri

Hammaddelerin partikül boyutu, tiksotropi, döküm hızı ve elde edilen döküm parçasının mukavemet, kuru pişme küçülmesi ve su emme miktarını etkiler. Yılmaz ve Özgen [43]'in yapmış olduğu çalışmalarda farklı sürelerde öğütülmüş ve farklı tane boyutuna sahip, feldispat ve kuvars kullanılarak döküm çamurları hazırlanmış, tane boyutunun, döküm çamurunun reolojik özelliklerine ve ürünün fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Öğütme süresinin artmasıyla, tiksotropinin ve döküm hızının azaldığı, buna karşın elde edilen ürünlerin mukavemetlerinin daha düşük poroziteli yapı elde edildiğinden arttığı belirtilmiştir. Ayrıca tanelerin yüzey alanının artmasına bağlı olarak taneleri ıslatmak için daha fazla su kullanıldığından kuru ve pişme küçülmesinin de arttığı belirtilmiştir.

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan hammaddeler kullanılarak yapılan bir çalışmada bu hammaddelerin öğütme süresinin reolojik ve fiziksel özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Kaolinit partikül boyutunun azalması ile elektrolit miktarı artmış, tiksotropi,

döküm hızı ve su absorpsiyonunun azaldığı görülmüştür [70].

Nijerya killerinin reolojik özellikleri üzerine kimyasal bileşim, partikül boyut dağılımının etkisi araştırılmış, görünür vizkozite ve plastikliğin, ince partiküllere ve kaolinit partiküllerinin şekil faktörüne bağlı olarak değiştiği, öğütmeye bağlı olarak daha düzgün şekilli partiküller elde edileceğinden görünür viskozitenin azaldığı belirtilmiştir [71].

Farklı partikül boyut dağılımına sahip döküm çamurlarında partikül paketleme daha yoğundur. Böylece düşük vizkozitelerde döküm parçasının daha yoğun olması sağlanabilir. Hsien Li ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kaba, orta ve ince tane boyutuna sahip dolgu maddeleri kullanılarak kuru büzülmelerin % 53 oranında ve poroziteninde % 22 oranında azaldığı ve parçanın döküm kalıbından çıkışının hızlandığı belirtilmiştir. Aynı çalışmanın devamında kalsiyum hidroksit ilavesiyle sülfat iyonlarının istenmeyen özelliklerinin (sülfatlar genellikle akışkanlık özelliğini azalttığı gibi sıvı hatalarına ve fırın bacasından SO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olur) giderilmesi araştırılmış ve kalsiyum hidroksitin döküm çamurlarına ilavesiyle döküm hızının % 65 oranında arttığı belirlenmiştir [72].

Döküm çamurlarının reolojik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada SiC tozlarından ağırlıkça % 63-66 oranında katı içeren solüsyonlar hazırlanarak, çamur sıcaklığının (2, 12 ve 22°C) vizkoziteye olan etkisi araştırılmış, çamur sıcaklığı azaldıkça su moleküllerinin hareketinin azalmasına bağlı olarak çamur vizkozitesinin artmasına neden olduğu görülmüştür [73].

Yapılan bir çalışmada hacim konsantrasyonu 0,475 den daha yüksek olan silisyum nitrid çamurlarının reolojik özellikleri incelenmiş, pH'ın 8 den büyük olduğu değerlerde anyonik polielektrolitler ile çamurların stabilize edilebileceği belirtilmiştir. Düşük hacim partikül konsantrasyonlarında akış eğrileri lineer ve çamur Newtonumsu, yüksek partikül hacim konsantrasyonlarında akış pseudoplastik davranış göstermiştir [74].

Reolojik modeller genel olarak iki kısma ayrılır:

a) Zamandan bağımsız reolojik özellikler

-Newtonumsu akış

-Doğal vizkoz akış

b) Zamana bağlı reolojik özellikler

-Tiksotropi

-Reopeksi

### 5.1. Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler

Zamandan bağımsız reolojik özellikler Newtonumsu akış ve Doğal vizkoz akış sistemleri olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

#### 5.1.1. Newtonumsu Akış

Süspansiyonların akış şartları altında reolojik davranışı, kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki ilişki ile tanımlanabilir. Kayma ve kayma hızı arasındaki oran Newtonumsu malzemeler için sabittir. Orantı sabiti  $\eta$ , vizkozite katsayısı veya kısaca vizkozite olarak adlandırılır [69,75].

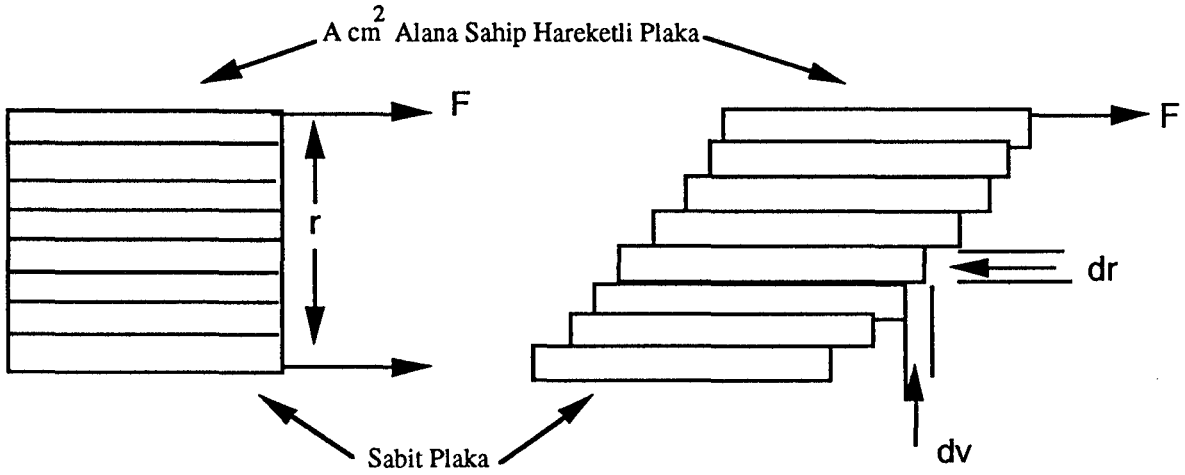
İdealde, vizkoz bünyelerin gerilim altındaki akışlarında, akış hızı uygulanan gerilime bağlıdır. İdeal vizkoz bünyelerde de kayma geriliminin kayma hızına oranı vizkozite katsayısıdır. İdeal vizkoz bünyeler Newtonumsu akış özelliği gösterirler ve (5.1) eşitliği ile ifade edilir bu sistemde viskozite katsayısı  $\eta$  sabittir. Şekil 5.1 de uygulanan gerilime bağlı olarak akış görülmüştür.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} \quad (5.1)$$

$$\frac{dv}{dr} = \dot{\gamma} \quad (5.2)$$



Burada  $\tau$ , kayma gerilimi,  $\frac{dv}{dr}$  hız gradienti,  $\dot{\gamma}$  ise kayma hızıdır.



$F$ = Uygulanan kuvvet, dyn

$r$ = Sıvı tabakasının kalınlığı, cm

$\tau$ = Kayma gerilimi, dyn/ cm

$\dot{\gamma}$ = Kayma hızı,  $s^{-1}$

$\eta$  = Viskozite katsayısı, dyn s/  $cm^2$

Şekil 5.1. Gerilime bağlı olarak akış

Büyük moleküllerden oluşan çözeltiler ve sıvılarda ve birbirini çekmeyen anizometrik partiküller içeren süspansiyonlarda laminer akış, molekülleri yada partikülleri yönlendirir. Yönlenme sonucu kaymaya karşı direnç azalır ki görünen viskozite artan kayma oranı ile azalır. Bu davranış pseudo plastik olarak adlandırılır. Bu durum genelde (5.3) nolu eşitlikle ifade edilir:

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n \quad (5.3)$$

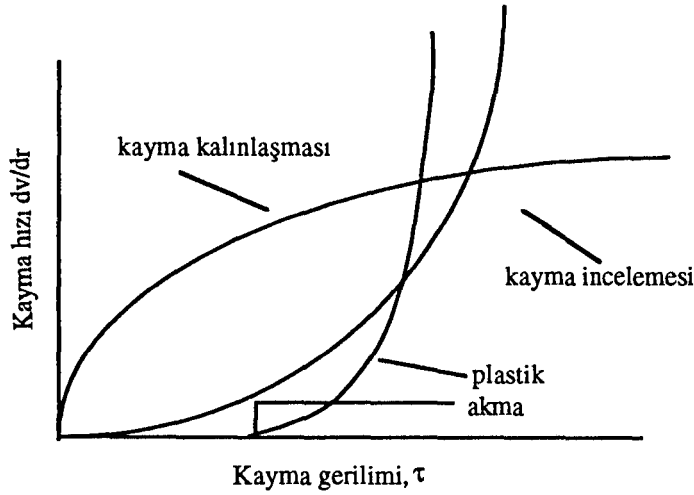
$k$ =sabit,  $n$  deformasyon üssü olup Newton sıvısı davranışından sapmayı ifade eder. $n=1$  olduğunda sistem Newtonumsu akış özelliği gösterir.

### 5.1.2. Doğal viskoz akış

Doğal viskoz akış, sistemde hız farkından dolayı anizometrik partiküllerin yönlendirilmesinden kaynaklanır. Doğal viskoz akış tipinde reolojik davranışlar kayma gerilimi ve kayma hızına bağlı olarak değişir.

Eşitlik (5.3)'e göre  $n < 1$  olduğu durumlarda kayma incelmeleri görülür ve pseudoplastik bir malzeme artan kayma oranı ile inceler. Malzemelerin viskozitesi kayma hızının artmasıyla azalır. Eğer koloidal bir sistemde partikül agregasyonu meydana gelirse, kayma hızının artması bu agregatları kırma eğiliminde olacaktır. Bu durumda partiküller tarafından tutulmuş çözücü azalacaktır ve sistemin görünen viskozitesi azalacaktır. Genelde kayma incelmeleri asimmetrik partiküller içeren sistemlerde yaygındır. Asimmetrik partiküller tesadüfi olarak dağıtıldıklarında akış özelliklerini düşük hızlarda daha fazla etkilerler. Artan hız ile partiküller yönlendirilir ve akışa karşı direnç azalır [46,69, 76].

$n > 1$  ise bu durumda artan kayma oranı ile birlikte viskozite de artar. Kayma kalınlaşması olarak ifade edilen bu olaya dilatant da denir. Bu durum genelde yüksek konsantrasyonlarda katı içeren defloküle edilmiş sistemlerde gözlenir. Sistemde ancak partiküller arası boşlukları dolduracak kadar yeterli sıvı vardır. Artan kayma oranı ile yoğun paketleme, partiküllerin birbirleri üzerinde kaymalarına imkan vermek için kırılmak zorundadır. Bu durumda bir genişleme olur ve boşlukları doldurmak için sistemde mevcut sıvı yetersiz olur [46,69]. Doğal viskoz akışlarda çeşitli akış formları Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2. Doğal viskoz akışta çeşitli akış formları (Shaw, 1989)

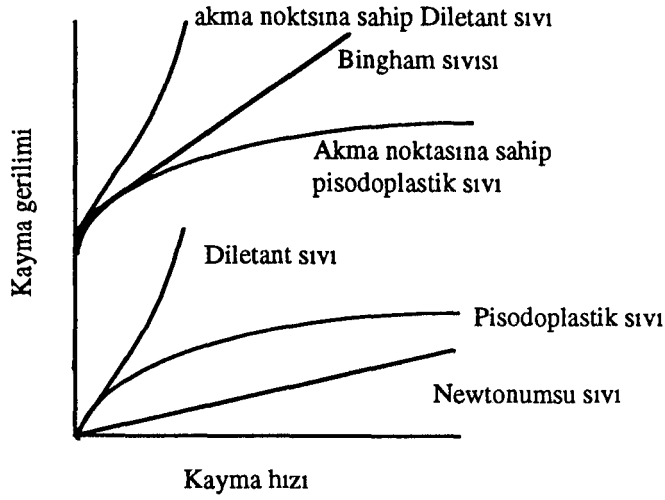
Aralarında çekme kuvveti olan molekül yada partikülleri içeren süspansiyonlarda akış belli bir gerilme üzerinde olur. Bu gerilime akma gerilmesi denir. Bu tür sistemlere ise Bingham plastik sistemler adı verilir [46,77]. Bingham plastik malzemeler için akış davranışı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir:

$$\tau - \tau_y = \eta_p \dot{\gamma} \quad (5.4)$$

$$\eta_p = (\tau - \tau_y) / \dot{\gamma} \quad (5.5)$$

$$\eta_a = \eta_p + \tau_y / \dot{\gamma} \quad (5.5)$$

$\eta_p$ , plastik vizkozite,  $\eta_a$  görünür viskozitedir. Kaymaya karşı toplam direnç görünür vizkozite  $\eta_a$  ile ifade edilir ve eğer akma gerilmesi yüksek ise  $\eta_a$  yüksektir. Artan kayma oranı ile  $\eta_a$  azalır. Bingham plastik ve pseudo plastik sistemin her ikisinde de görünen vizkozite artan kayma oranı ile azalır [46]. Şekil 5.3'de zamandan bağımsız sistemler için kayma hızı ve kayma gerilimine bağlı olarak akış özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.3 Zamandan bağımsız sistemlerde kayma hızına bağlı olarak kayma geriliminin değişimi (Reed, 1989)

## 5.2.Zamana Bağlı Reolojik Özellikler

Zamana bağlı reolojik özellikler genel olarak tiksotropi ve reopeksi olarak iki kısımda incelenir.

### 5.2.1.Tiksotropi

Akışkan çamurların hareketsiz durdukları zaman akışkanlıklarını kaybedip pıhtılaşmasına ve çamur karıştırıldığı zaman tekrar eski akışkanlığına dönmesi olayına Tiksotropi denir.

Tiksotropi sabit bir kayma oranında vizkozitenin zamana bağlı olarak azalmasıdır. Bu tür davranış pseudoplastik ve Bingham malzemelerde yaygın olarak görülür. Bunun nedeni ise molekül yada partiküllerin yönlenmesi ve aralarındaki bağın zamana bağlı olarak değişmesidir.Seramik çamurlarında tiksotropik davranış genelde geri dönüşümlüdür [46].

Tiksotropi genellikle döküm çamurlarında ve anizometrik şekil yapısına sahip partikül içeren süspansiyonlarda daha fazla görülür. Tiksotropik çamurlarda döküm tabakasının geçirgenliği yüksektir. Buna bağlı olarak tiksotropi, yüksek döküm hızlarına ve düşük yoğunlukta döküme neden olur [78].

Döküm çamurlarının hazırlanmasında kullanılan elektrolit türü ve oranı, kullanılan hammadde özellikleri ile de birleşerek, döküm çamurunun az veya çok tiksotrop olmasına neden olur. Çok tiksotrop döküm çamurları, uygulamada kalıptan akmamakla geri boşaltma işlemi sırasında büyük sorunlar çıkarır. Küçük kalıplarda kuvvetli sallama ile zor da olsa tiksotropi bozulabilir ve kalıpta kalan fazla çamur boşaltılabilir. Fakat büyük boyutlu, ağır kalıplarda bu işlem olanaksızdır. Tiksotrop olmayan döküm çamurları da alçı kalıp içinde çok zor kalınlık alırlar. Bu nedenlerle döküm çamurlarında tiksotropinin varlığı az da olsa gereklidir.

### 5.2.2. Reopeksi

Reopeksi tiksotropik davranışın tam tersidir. Akışkanın vizkozitesi sabit kayma hızında artan zamana bağlı olarak artar. Bazı süspansiyonların tiksotropik jelleşmesi, 0,03 mikrondan daha büyük partiküllerin varlığında çok daha yavaş olarak gelişir. Eğer süspansiyon çok yavaş olarak sarsılırsa yada ritmik hareketler uygulanırsa jel oluşumu daha hızlı olur.

Reopektik davranış, tiksotropi görülen bütün süspansiyonlarda görülmeyebilir, ancak partikül şekli yönlenmiş ise titreşim sonucunda reopeksi gelişebilir. Bu durum yavaş kuvvet uygulandığında plaka şeklindeki kil partiküllerinin paralel şekilde yönlendiğinde görülür.

Seramik süspansiyonlarında reopeksinin önemi, çamur döküm problemlerinin çözümünde tahmin edilenin daha üzerindedir. Bazı kil süspansiyonları normal koşullar altında tiksotropik davranışlar gösterirler, fakat bu süspansiyonlarda, alçı kalıplara döküldüklerinde suyun atılmasıyla birlikte reopeksi görülür. Sonuçta istenmeyen düşük yoğunlukta bünyeler oluşur [19].

## 6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1.Kullanılan Malzemeler

Sağlık gereçleri döküm çamurlarının hazırlanmasında kil, kaolen, Na-feldispat, K-feldispat ve kuvars hammaddeleri kullanılmıştır. Hammaddelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1 Hammaddelerin kimyasal bileşimleri

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	KK
Akas Kili	55,50	28,50	1,60	0,90	0,60	0,63	0,37	1,97	9,50
Döküm Kili	56,02	28,76	1,52	1,10	0,52	0,62	0,40	2,20	8,93
Kaolen	47,00	36,6	0,70	0,16	0,23	0,61	0,45	2,80	11,00
K-Feldispat	69,92	18,83	0,52	0,10	0,55	1,50	2,89	4,68	1,67
Na-Feldispat	67,51	19,02	0,08	0,20	0,63	0,55	10,80	0,87	-
Kuvars	99,50	-	-	-	-	-	-	-	-

Döküm çamurlarının hazırlanmasında elektrolit olarak Sodyum Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), Sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Sodyum fosfat (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O), Sodyum hegzameta fosfat (Na<sub>6</sub>P<sub>4</sub>O<sub>13</sub>) ve çamurdaki çözünür haldeki sülfatları uzaklaştırmak için Baryum karbonat (BaCO<sub>3</sub>) kullanılmıştır.

Döküm çamurunun yaş mukavemetini arttırmak için organik bağlayıcılardan Karboksi metil selüloz (CMC) kullanılmıştır.

## 6.2.Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmalarda 250°C'ye kadar çıkabilen NÜVE ES-500 etüv, 1340°C'ye çıkabilen Nabertherm NR/HR tipi yüksek sıcaklık fırını, Brokfield DV-II tipi vizkozimetre, Malvern 2600 Powder Module Droplet and Particle Sizer cihazı, Netzsch 401kuru mukavemet cihazı ve NÜVE HP 121 tipi ısıtıcı kullanılmıştır.

Çamur 1 kg'lık değirmenlerde hazırlanmıştır.

## 6.3.Yapılan Deneyler

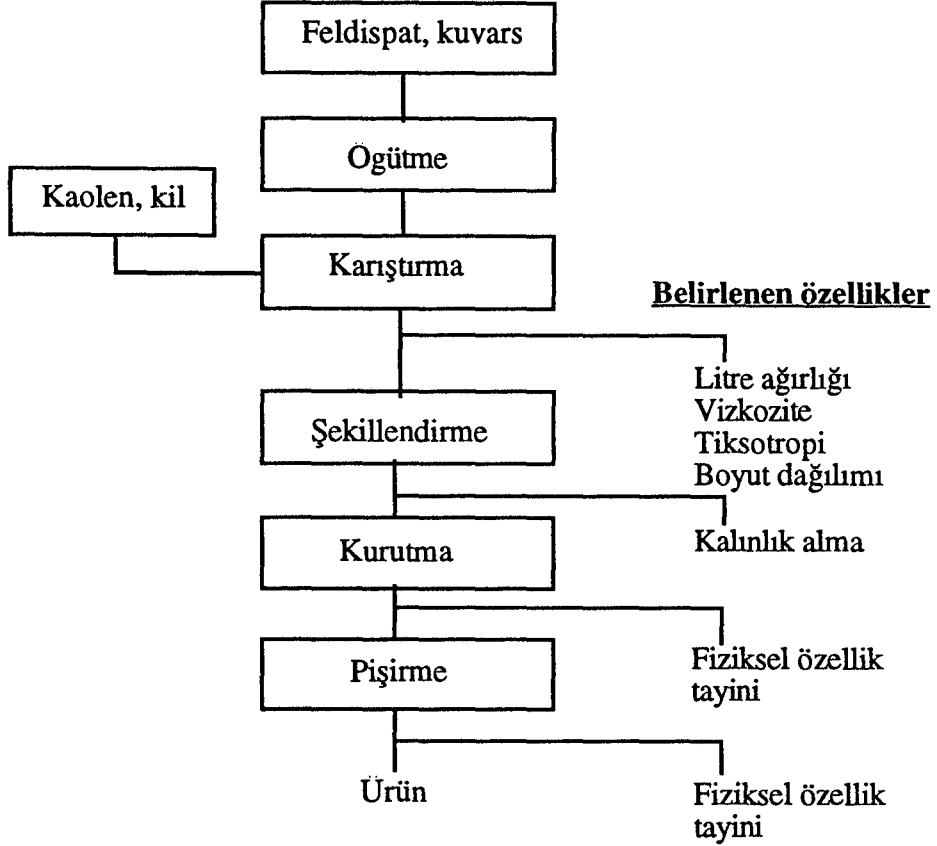
### 6.3.1.Öğütme ve çamur hazırlama

Çizelge 6.1'de görülen hammaddeler önce porselen havanda ufalandıktan sonra özsüz hammaddeler olan Na-feldispat, K-feldispat, kuvars 1 kg'lık porselen değirmenlerde 8 saat süre ile öğütülmüştür. Özsüz hammaddelerin askıda kalabilmesi ve daha iyi öğütülebilmesi amacıyla kilin bir kısmı ve elektrolitin çok az bir kısmı değirmene ilave edilmiştir. Değirmene giren kuru maddenin ağırlıkça %45'i kadar su ve elektrolitin %30'u kullanılmış, geri kalan kısmı ise killerin açılmasında kullanılarak daha sonra öğütülmüş hammaddelere ilave edilmiştir.Hazırlanan çamurlar 100 mesh'lik elekden süzülerek, viskoziteleri ölçülmüştür. Döküm çamurunun hazırlanma aşaması ve hazırlanan döküm çamurunun özelliklerini belirlemede kullanılan işlemler Şekil 6.1'de görülmektedir. Rasyonel bileşimi %30-40 Kuvars, %40-50 Kaolen, %20-30 Feldispat olan döküm çamurunun üçgen diyagramdayeri Şekil 6.2'de görülmektedir.

### 6.3.2.Döküm hızının belirlenmesi

Döküm hızını belirlemek amacıyla 50x50mm boyutlarında alçı kalıplarda döküm işlemi yapılmış, 5, 10 ve 15 dk'lık süre sonunda döküm çamuru geriye boşaltılmıştır.

Belirlenen sürelerde elde edilen döküm ürünlerinin et kalınlıkları ölçülmüştür.



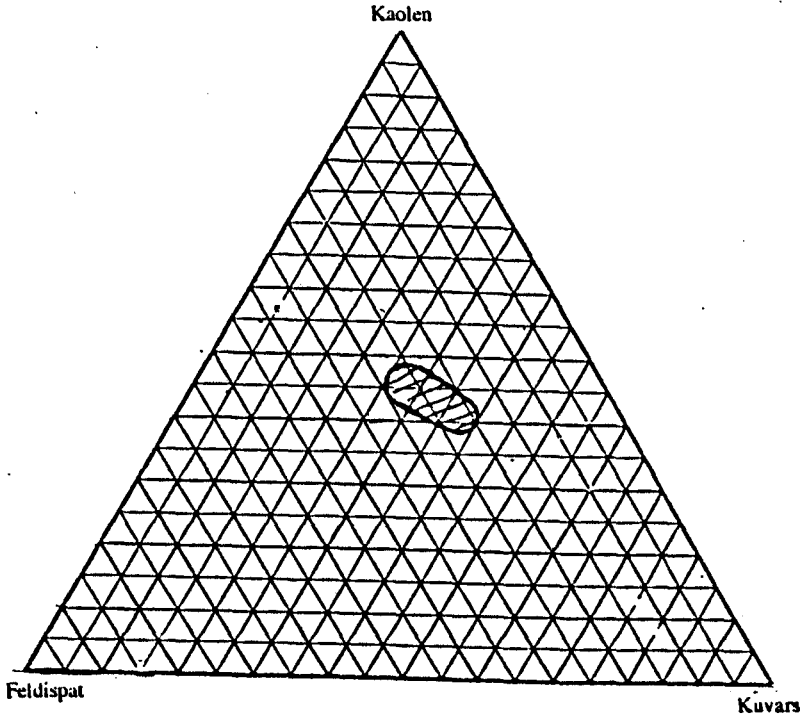
Şekil 6.1.Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanma aşaması ve özelliklerinin belirlenmesi

### 6.3.3.Pişme deneyleri

Farklı elektrolit kullanılarak hazırlanan döküm çamurları, elektrolit cinsinin ürünün fiziksel özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla 15x2x1.5 cm kalınlığındaki alçı kalıplarda şekillendirilmiştir. Şekillendirilen parçalar 2-3 gün oda içerisinde bekletildikten sonra



etüvde 24 saat süre ile 100°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kuru numuneler fırında 1250°C'de 2.5 saat süre ile pişirilmiştir.



Şekil 6.2. Deneyde kullanılan döküm çamurunun bileşiminin üçgen diyagramda gösterimi

### 6.3.4.Döküm çamuruna uygulanan deneyler

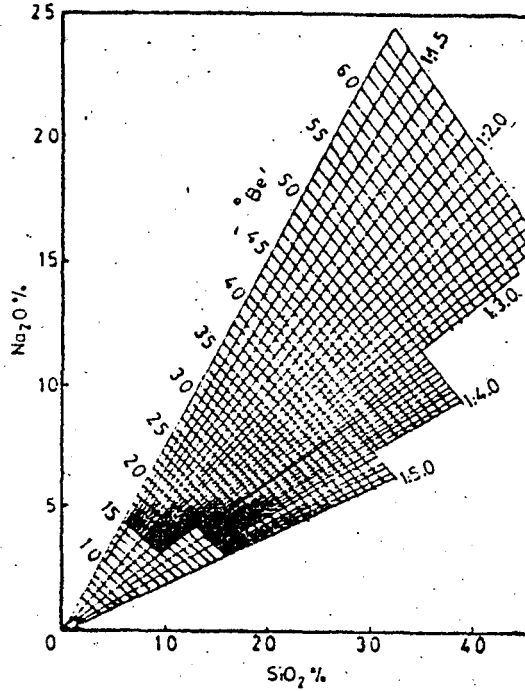
#### 6.3.4.1.Elektrolit Deneyleri

Sağlık gereçleri döküm çamurlarında kullanılan elektrolitlerin döküm çamurlarına etkisini belirlemek amacıyla dört farklı elektrolit ile çalışılmıştır. Elektrolit ilavesine bağlı olarak viskozitenin değişimini tesbit edebilmek amacıyla Brookfield viskozimetresi ile döküm çamurundan alınan örnekler ölçülmüştür. Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için uygun elektrolit miktarını belirleyerek akış eğrileri çizilmiştir.

Döküm çamurunun hazırlanmasında , Bome derecesi 38 ve modülü 2.36,  $\text{SiO}_2$  oranı % 23,  $\text{Na}_2\text{O}$  oranı % 9.74 olan Sodyum Silikat kullanılmıştır. Sodyum silikat çözeltisinin

SiO<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>O oranları Şekil 6.3.'e göre belirlenmiştir [79]. Ayrıca döküm çamurununda şebeke suyu kullanılmıştır.

Sodyum fosfat ilavesi yapılarak hazırlanan çamurlar için akışkanlık elde edilemediğinden viskozite değerleri de ölçülemediğiştir.



Şekil 6.3. 20°C'de Sodyum silikat çözeltisinin özgül ağırlığı ile bileşimi arasındaki ilişki [79].

#### 6.3.4.2. Litre ağırlığı tayini

Hazırlanan döküm çamurunun litre ağırlığını belirlemek amacıyla 500 ml'lik mezürler kullanılmıştır.

$$\text{Litre ağırlığı (g/lt)} = (M_{\text{dolu}} - M_{\text{boş}}) \times 2$$

$$M_{\text{boş}} = \text{mezürün boş ağırlığı (g)}$$

$$M_{\text{dolu}} = \text{mezürün dolu ağırlığı (g)}$$

Sağlık gereçleri döküm çamurunun litre ağırlığı 1800 g/lt olacak şekilde hammadde

ve su oranları tesbit edilmiştir. Tüm deneyler boyunca litre ağırlığı sabit tutulmuştur.

#### 6.3.4.3. Viskozite deneyleri

Sağlık gereçleri döküm çamurunun uygun akıcılığa sahip olabilmesi için süspansiyonun karıştırılması sırasında elektrolit ilavesi yapılmıştır. Elektrolitlerin viskoziteye olan etkisini belirlemek amacıyla Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılmıştır.

Sodyum Silikat kullanılarak hazırlanan ve 1800 g/lt ağırlığına sahip döküm çamurunun viskozite değerleri farklı dönme hızlarında ölçülmüştür.

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  kombinasyonları kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen çamurların viskozite değerleri ölçülmüştür.

Sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarının reolojik özelliklerini geliştirmek amacıyla  $\text{BaCO}_3$  ve Sodyum hegzametafosfat ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ) ilavesi yapılmış ve elde edilen çamurların viskozite değerlerindeki değişim incelenmiştir.

#### 6.3.4.4. Sıcaklığın etkisi

Sağlık gereçleri döküm çamurunun viskozitesine sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla üç farklı sıcaklıkta 20, 30 ve 40°C de viskozite değerleri ölçülmüştür.

#### 6.3.4.5. Su Kalitesinin Etkisi

1800 g/lt'lik sabit litre ağırlığına sahip döküm çamuru hazırlanırken su kalitesinin reolojik özelliklere etkisini belirlemek amacıyla saf su ve şebeke suyu kullanılmıştır. Döküm çamurunun hazırlanmasında kullanılan şebeke suyunun analizi Çizelge 6.2'de görülmektedir.

### 6.3.5.Fiziksel Deneyler

#### 6.3.5.1. Boyut ölçümü

Hazırlanan sağlık gereçleri döküm çamuru 8 saat öğütülmüş daha sonra boyut dağılımı analiz edilmiştir.

Döküm yolu ile şekillendirilen numuneler üzerine 10 cm'lik işaretler konulmuş, numuneler kurutulduktan ve pişirildikten sonra boyları ölçülerek boyca kuru çekme ve pişme çekmeleri hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Boyca Kuruma Küçülmesi} = \left\{ \frac{\text{Yaş Numune Boyu} - \text{Kuru Numune Boyu}}{\text{Yaş Numune Boyu}} \right\} \times 100$$

$$\% \text{ Boyca Pişme Küçülmesi} = \left\{ \frac{\text{Kuru Numune Boyu} - \text{Pişmiş Numune Boyu}}{\text{Kuru Numune Boyu}} \right\} \times 100$$

#### 6.3.5.2.Mukavemet ölçümü

Boyutları ölçülen çubukların kurutma işleminden sonra mukavemetleri ölçülmüştür. Mukavemet ölçme işlemi TS-24'deki üç noktalı eğme deneyine uygun olarak yapılmış, kuru numunelerin kırılma mukavemeti ölçülmüştür [5].

$$\sigma = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad \text{N/mm}^2$$

P= kırılma kuvveti (N)

L= ayakların açıklığı (mm)

b= çubuğun eni (mm)

h= çubuğun yüksekliği (mm)

Çizelge 6.2 Şebeke suyu analizi

PARAMETRE	BİRİM	ÖLÇÜLEN DEĞER
Debi	m <sup>3</sup> /sn	—
Su sıcaklığı	C	15
pH	—	7.5
Elektriksel iletkenlik	mhos/cm	785
Toplam çözünmüş katılar	mg/lt	529
Askıdaki katılar	mg/lt	441
Toplam katılar	mg/lt	—
Bulanıklık	NTU	2
Renk	Pt-Co	<5
Metil oranj alkalinite	mg/lt CaCO <sub>3</sub>	247.5
Fenolftalein alkalinite	mg/lt CaCO <sub>3</sub>	0
Klorür	mg/lt	49
Amonyak azotu	mg/lt	0
Nitrit azotu	mg/lt	0
Nitrat azotu	mg/lt	10
Çözünmüş oksijen	mg/lt	—
Permanganat değeri	mg/lt	0.52
Biyokimyasal oksijen değeri	mg/lt	—
Toplam sertlik	mg/lt CaCo <sub>3</sub>	332
Orta-fosfat	mg/lt	0.06
Sülfat	mg/lt	49
Serbest karbondioksit	mg/lt	—
Demir	mg/lt	0.08
Mangan	mg/lt	0.04
Sodyum	mg/lt	35.22
Potasyum	mg/lt	1.95
Kalsiyum	mg/lt	56.4
Magnezyum	mg/lt	46.5
Siyanür	mg/lt	—
SiO <sub>2</sub>	mg/lt	—
Florür	mg/lt	0.2
Bor	mg/lt	—
Çinko	mg/lt	—
Fenol	mg/lt	0.029

## 6.4.Deney sonuçları

### 6.4.1.Elektrolit miktarının etkisi

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında sodyum silikat ve sodyum karbonat için akış eğrileri, artan elektrolit miktarına bağlı olarak viskozite değişimi ile belirlenmiştir.

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri sırasıyla Çizelge 6.3'de ve Çizelge 6.4'de, akış eğrileri ise Şekil 6.4'de görülmektedir.

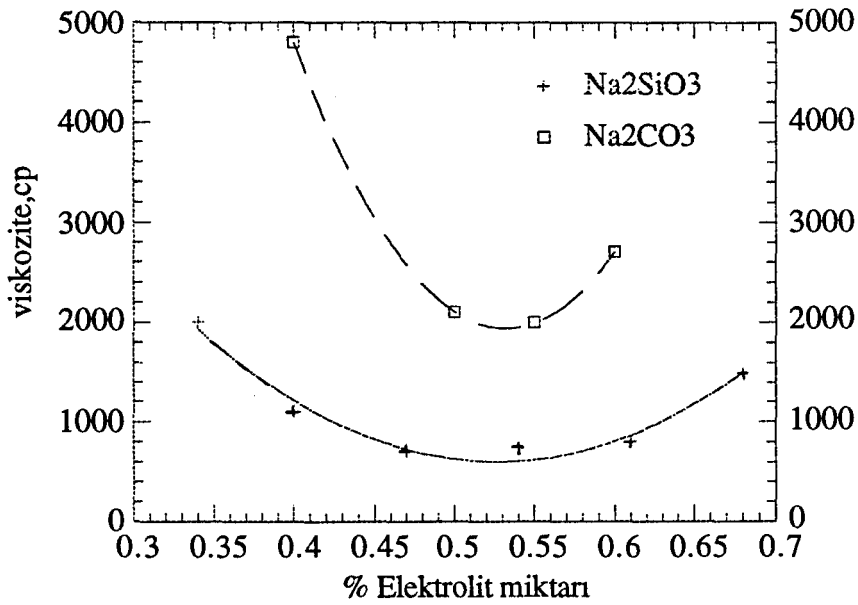
Sodyum fosfat kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında akışkanlık elde edilemediğinden viskozite değerleri ölçülememiş ve akış eğrileri çizilememiştir.

Çizelge 6.3.Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için 20 rpm dönme hızında ve 30 °C'de elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri

Elektrolit miktarı (%)	Viskozite (cp)
0,34	2000
0,40	1100
0,47	700
0,54	750
0,61	800
0,68	1500

Çizelge 6.4. Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için 20 rpm dönme hızında  $30^\circ\text{C}$ 'de elektrolit miktarı ile viskozite değışim değeri

Elektrolit miktarı %	Viskozite (cp)
0,40	4800
0,50	2100
0,55	2000
0,60	2700



Şekil 6.4. Döküm çamurunun viskozitesine sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ilavesinin etkisi

#### 6.4.1.1. Sodyum silikat deney sonuçları

Döküm çamurlarının viskozite ölçümlerinde, Brookfield viskozimetresinde S3 kodu ile belirtilen disk şeklinde dönme ucu kullanılmıştır. Viskozite değerleri Çizelge 6.5, 6.6 ve 6.7’de ve üç farklı sıcaklıkta zamana bağlı olarak viskozite değişimleri Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7’de görülmektedir.

Çizelge 6.5. 20°C’de % 0,47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri

Zaman(dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1000 cp	850 cp	750 cp
5	880 cp	695 cp	634 cp
10	830 cp	690 cp	630 cp

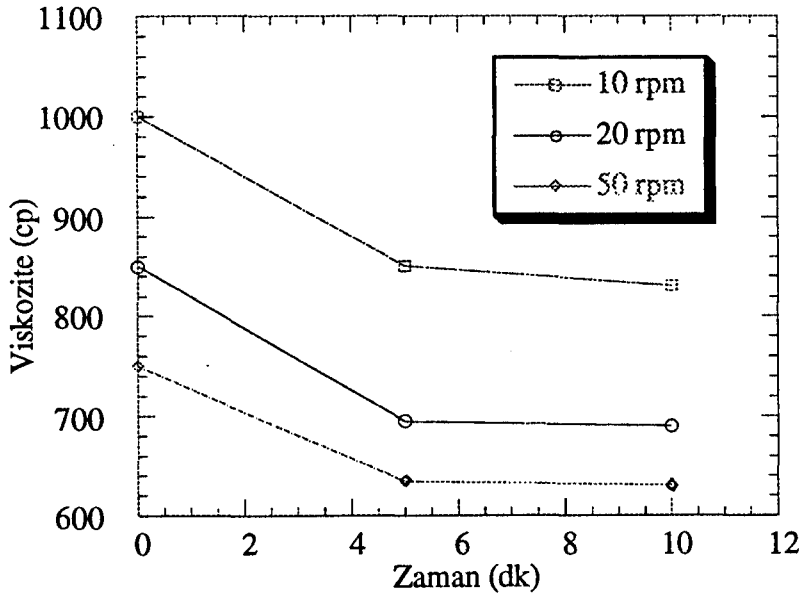
Çizelge 6.6. 30°C’de % 0,47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri

Zaman(dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	800 cp	700 cp	600 cp
5	750 cp	615 cp	580 cp
10	720 cp	613 cp	575 cp

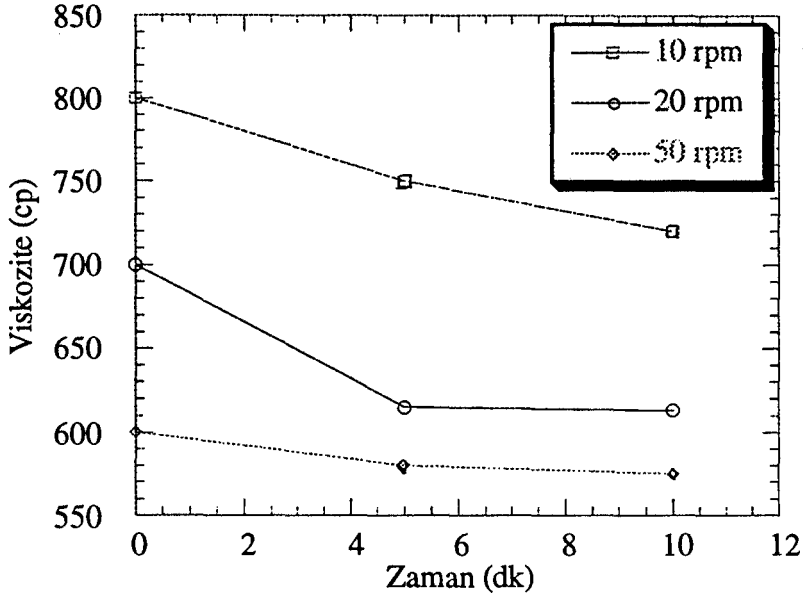


Çizelge 6.7.40°C'de % 0,47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) içeren döküm çamurunda viskozite değerleri

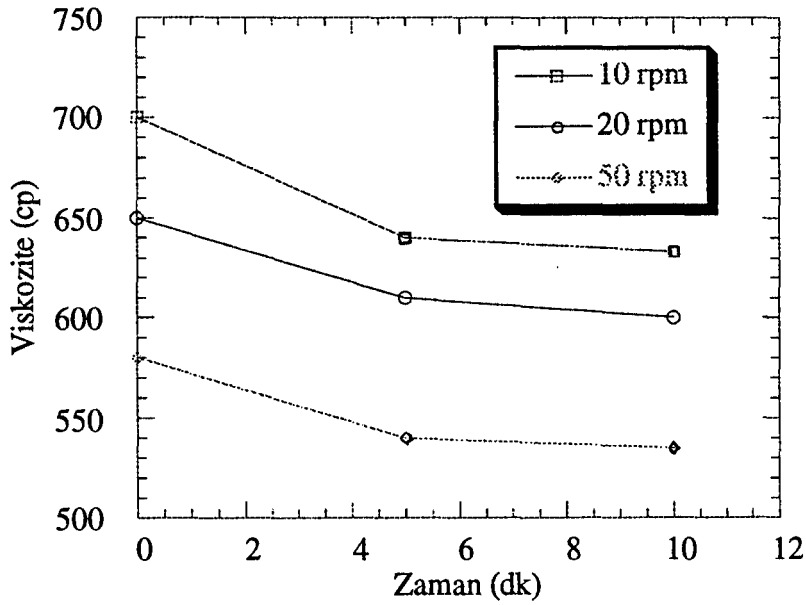
Zaman(dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	700 cp	700 cp	580 cp
5	640 cp	615 cp	540 cp
10	633 cp	613 cp	535 cp



Şekil 6.5 20°C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozitenin değişimi



Şekil 6.6. 30° C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozitenin değişimi



Şekil 6.7. 40°C de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozitenin değişimi

#### 6.4.1.2. Sodyum karbonatın etkisi

Sağlık gereçleri döküm çamurunun hazırlanmasında elektrolit olarak sodyum karbonatın etkisi incelenmiştir. Tek başına sodyum karbonat kullanıldığında döküm için yeterli akışkanlık sağlanamadığından ayrıca sodyum karbonat + sodyum silikat karışımları kullanılmış bunların reolojik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır.

Sodyum karbonat kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun değişik dönme hızı ve sıcaklıklarda viskozite değerleri ölçülmüştür. Viskozite değerleri Çizelge 6.8, 6.9 ve 6.10'da, zamana bağlı olarak viskozite değişimleri ise Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmektedir.

Çizelge 6.8. 20°C'de % 0.5 sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

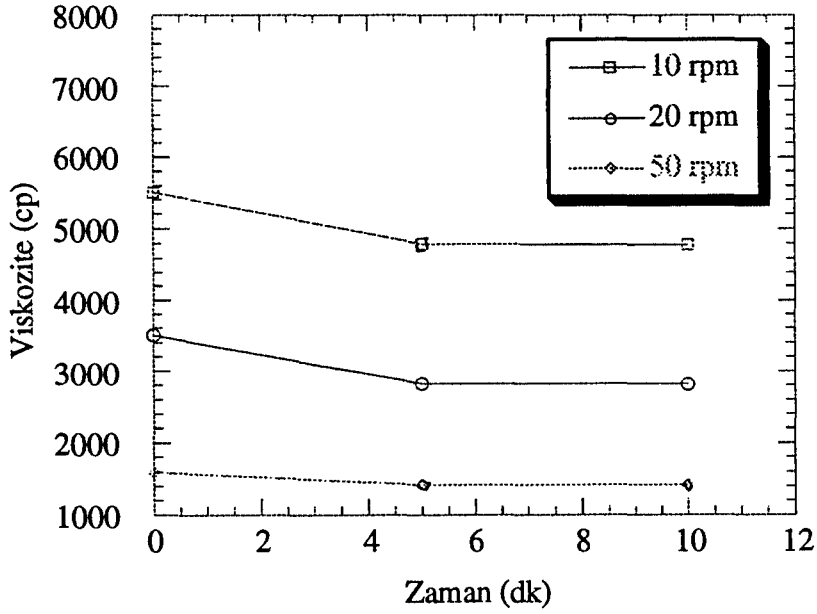
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	5500 cp	3500 cp	1600 cp
5	4790 cp	2820 cp	1420 cp
10	4780 cp	2815 cp	1418 cp

Çizelge 6.9. 30°C'de % 0.5 sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

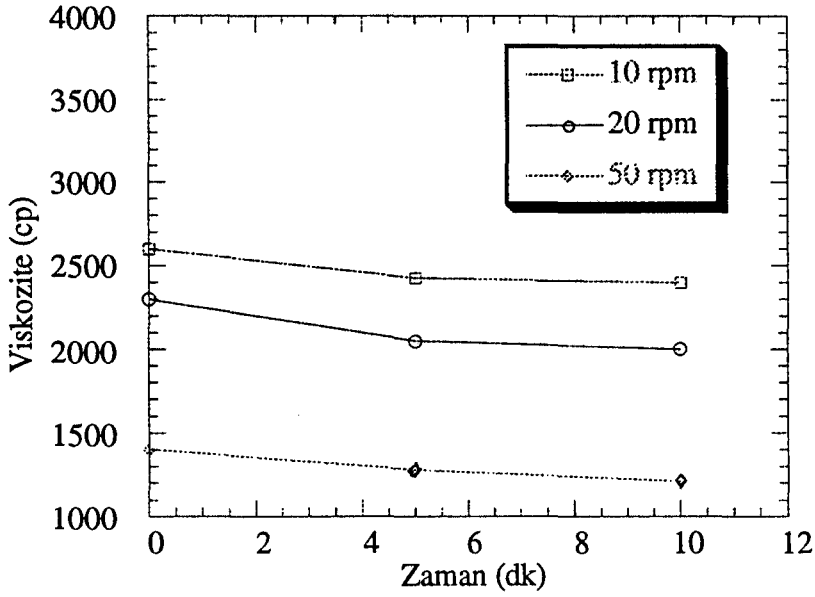
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2600 cp	2300 cp	1400 cp
5	2430 cp	2050 cp	1280 cp
10	2400 cp	2000 cp	1210 cp

Çizelge 6.10. 40°C'de % 0.5 sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

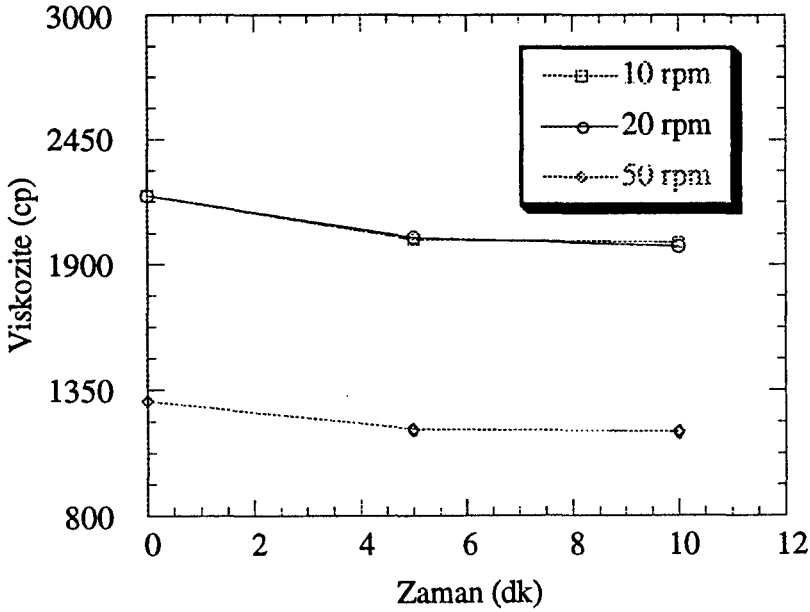
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2200 cp	2200 cp	1300 cp
5	2010 cp	2050 cp	1180 cp
10	2000 cp	1980 cp	1168 cp



Şekil 6.8. 40° C de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozite değişimi



Şekil 6.9. 30°C'de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozite değişimi



Şekil 6.10. 40°C de % 0.5 Sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) için farklı dönme hızlarında viskozite değişimi

Sodyum karbonat ve sodyum silikat karışımlarıyla yapılan döküm çamurlarının viskozite değişim değerleri 10 rpm, 20 rpm ve 30 rpm dönme hızlarında ve 20°C, 30°C ve 40°C sıcaklıklarında ölçülmüştür.

% 0.05 sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun viskozite değerleri Çizelge 6.11, 6.12 ve 6.13'de verilmektedir.

% 0.1 sodyum karbonat ve % 0.47 sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun viskozite değerleri Çizelge 6.14, 6.15 ve 6.16'da verilmektedir.

% 0.15 sodyum karbonat ve % 0.27 sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun viskozite değerleri Çizelge 6.17, 6.18 ve 6.19'da verilmektedir.

% 0.05 sodyum karbonat ve % 0.4 sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun viskozite değerleri Çizelge 6.20, 6.21 ve 6.22'de verilmektedir.

Çizelge 6.11. 20°C'de % 0.05  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + % 0.47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman(dk)	Dönme hızı(rpm)		
	10	20	50
0	2700 cp	2500 cp	1500 cp
5	2750 cp	2220 cp	1330 cp
10	2600 cp	2210 cp	1325 cp

Çizelge 6.12. 30°C'de % 0.05 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman(dk)	Dönme hızı(rpm)		
	10	20	50
0	2100 cp	1800 cp	1450 cp
5	1950 cp	1700 cp	1115 cp
10	1900 cp	1600 cp	1100 cp

Çizelge 6.13. 40°C'de % 0.05 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman(dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2400 cp	1700 cp	1300 cp
5	1850 cp	1600 cp	1100 cp
10	1800 cp	1610 cp	1090 cp

Çizelge 6.14. 20°C'de % 0.1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	3800 cp	3200 cp	1500 cp
5	3500 cp	2750 cp	1353 cp
10	3490 cp	2745 cp	1350 cp

Çizelge 6.15. 30°C'de % 0.1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2500 cp	2000 cp	1400 cp
5	2100 cp	1760 cp	1220 cp
10	2080 cp	1750 cp	1200 cp

Çizelge 6.16. 40°C'de % 0.1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2400 cp	1800 cp	1200 cp
5	2060 cp	1730 cp	1110 cp
10	2050 cp	1700 cp	1100 cp

Çizelge 6.17. 20°C'de % 0.15 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.27 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	3000 cp	2000 cp	1300 cp
5	2990 cp	1885 cp	1050 cp
10	2980 cp	1880 cp	11032 cp



Çizelge 6.18. 30°C'de % 0.15 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 0.27 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2000 cp	1500 cp	1100 cp
5	1730 cp	1235 cp	950 cp
10	1720 cp	1230 cp	940 cp

Çizelge 6.19. 40°C'de % 0.15 sodyum karbonat +% 0.27 sodyum silikat içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1800 cp	1450 cp	1100 cp
5	1710 cp	1210 cp	940 cp
10	1700 cp	1200 cp	930 cp

Çizelge 6.20. 20°C'de % 0.05 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> +% 0.4 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

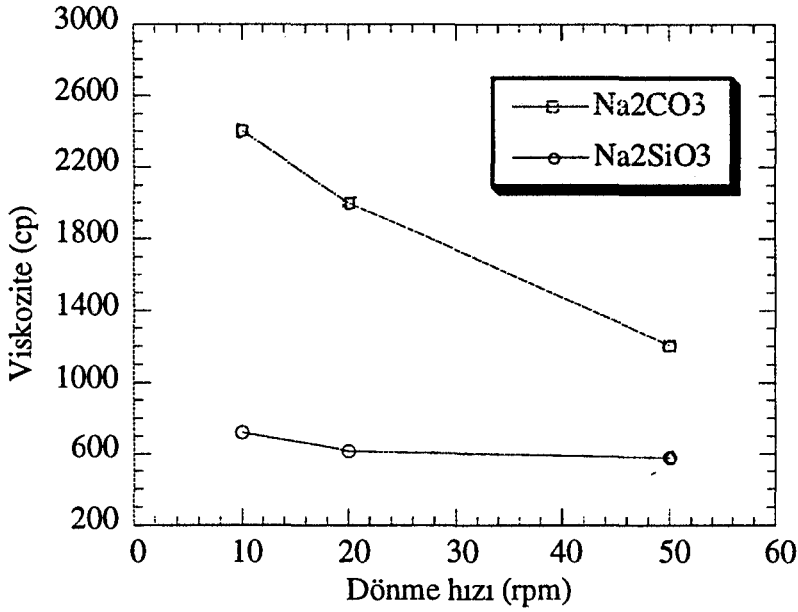
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	2030 cp	1500 cp	1100 cp
5	2000 cp	1340 cp	780 cp
10	1990 cp	1300 cp	775 cp

Çizelge 6.21. 30°C'de % 0.05 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> +% 0.4 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

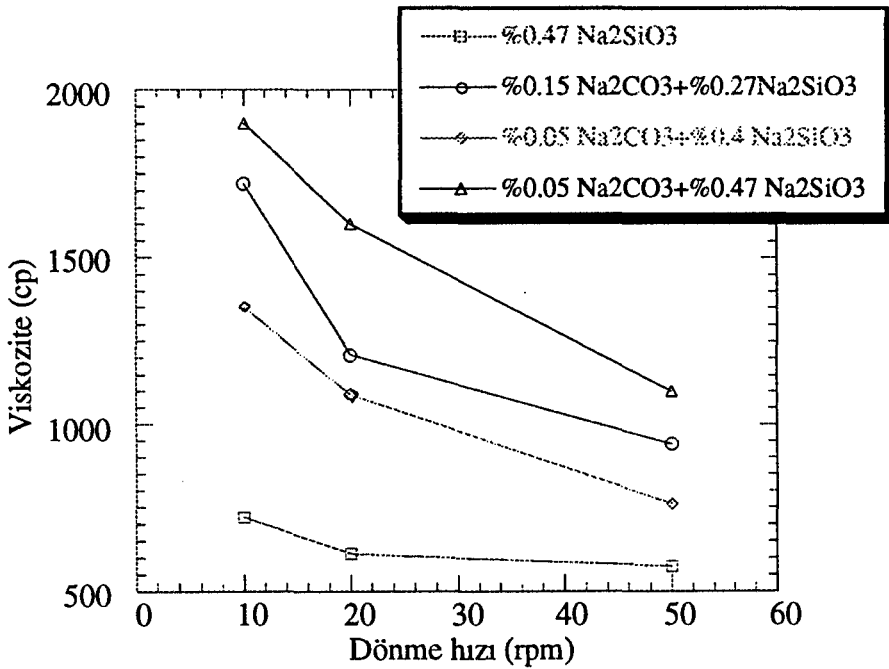
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1500 cp	1200 cp	1000 cp
5	1360 cp	1095 cp	790 cp
10	1350 cp	1090 cp	760 cp

Çizelge 6.22. 40°C'de % 0.05 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> +% 0.4 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren döküm çamurlarında viskozite değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1400 cp	1100 cp	950 cp
5	1310 cp	1070 cp	774 cp
10	1300 cp	1065 cp	740 cp



Şekil 6.11. 30°C'de % 0.47 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve % 0.5 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile hazırlanan çamurlarda viskozite değişimi



Şekil 6.12. 30°C'de Farklı oranlarda Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> karışımlarının viskozite değişimleri.

### 6.4.1.3. Baryum karbonat ve Sodyum hegzametafosfat'ın etkisi

Sodyum silikat sabit tutularak (% 0.47) hazırlanan döküm çamurlarına reolojik özellikleri geliştirmek amacıyla Baryum karbonat ( $BaCO_3$ ) ve Sodyum hegzameta fosfat ( $Na_6P_4O_{13}$ ) ilavesi yapılmış ve elde edilen çamurların viskozite değerleri ölçülmüştür. Artan  $BaCO_3$  miktarına bağlı olarak  $30^\circ C$ ' de, S3 kullanılarak 10 dk sonra viskozite değerleri, 10 rpm, 20rpm ve 50rpm'lik dönme hızlarında ölçülmüştür. %  $BaCO_3$ 'a karşılık viskozite değişimleri Çizelge 6.23 ve Şekil 6.13'de görülmektedir. Artan Sodyum hegzameta fosfat ( $Na_6P_4O_{13}$ ) miktarına bağlı olarak viskozite değişimleri, Çizelge 6.24 ve Şekil 6.14'de, Baryum karbonat ( $BaCO_3$ ) ve Sodyum metahegza fosfat ( $Na_6P_4O_{13}$ ) karıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.15'dedir.

Çizelge 6.23.  $30^\circ C$ 'de % 0.47 sodyum silikat ( $Na_2SiO_3$ ) ve değişik oranlarda baryum karbonat ( $BaCO_3$ ) içeren döküm çamurlarında viskozite değişimleri

BaCO <sub>3</sub> (%)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1200 cp	900 cp	760 cp
0,05	1080 cp	830 cp	650 cp
0,075	990 cp	800 cp	605 cp
0,10	970 cp	750 cp	580 cp
0,15	976cp	742cp	585cp

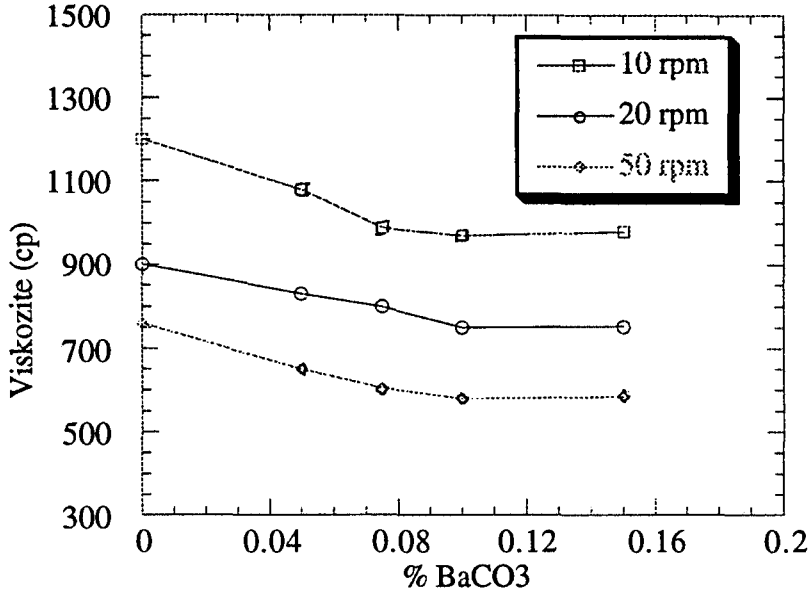
Çizelge 6.24. 30°C’de % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve değişik oranlarda Sodyum hegzametafosfat ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{CO}_{13}$ ) içeren döküm çamurlarında viskozite değişimleri

Kalgon (%)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1200 cp	900 cp	760 cp
0,05	570 cp	500 cp	435 cp
0,075	510 cp	440 cp	390 cp
0,10	500 cp	425 cp	375 cp
0,15	530 cp	460 cp	400 cp

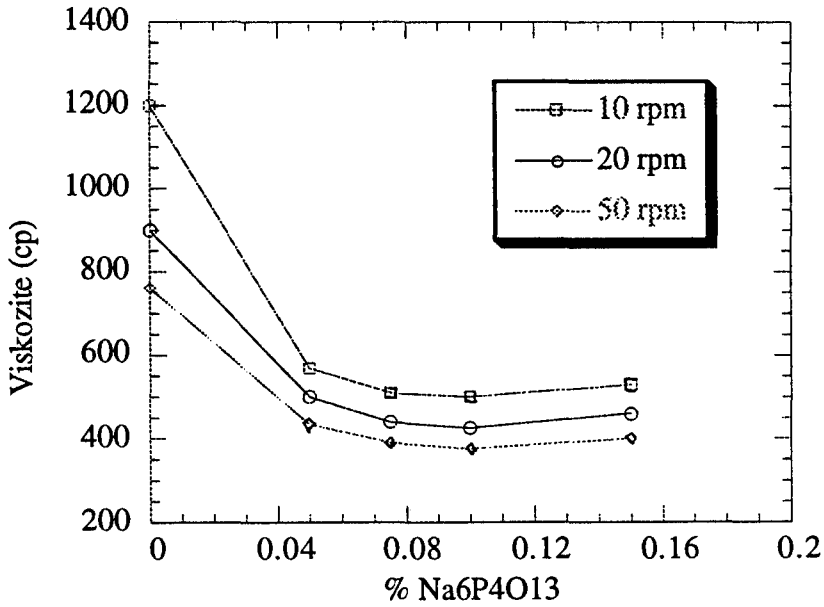
% 0.47 sodyum silikat +% 0.01  $\text{BaCO}_3$  +% 0.01  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{CO}_{13}$  kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun 30°C’de, 10 dk sonra viskozite değerleri, 10 rpm, 20rpm ve 50rpm’lik dönme hızlarında ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.25’de verilmektedir.

Çizelge 6.25. 30°C’de % 0.47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  + % 0.01  $\text{BaCO}_3$  + % 0.01 $\text{Na}_6\text{P}_4\text{CO}_{13}$  içeren döküm çamurlarında viskozite değişim değerleri

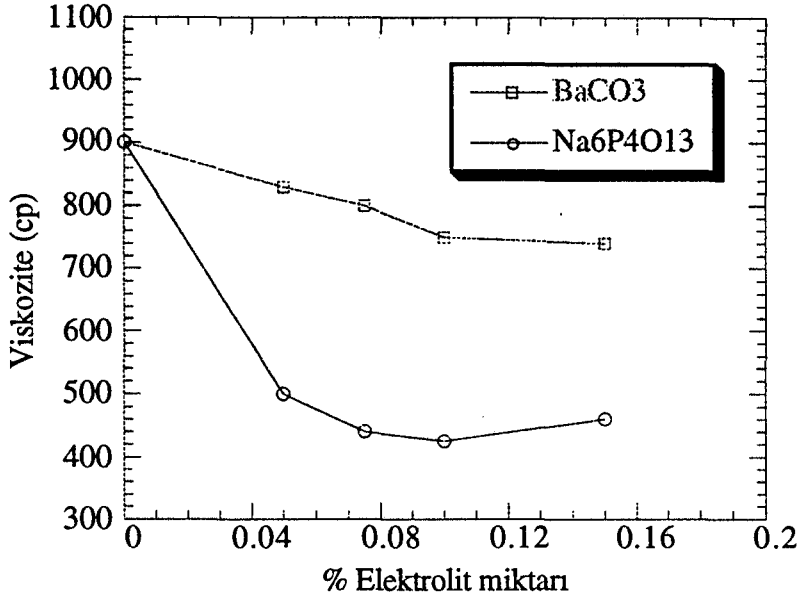
Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	1100 cp	900 cp	630 cp
5	980 cp	820 cp	580 cp
10	960 cp	765 cp	550 cp



Şekil 6.13.30°C'de % BaCO<sub>3</sub> miktarına bağlı olarak viskozite değişimi



Şekil 6.14.30°C'de % Na<sub>6</sub>P<sub>4</sub>O<sub>13</sub> miktarına bağlı olarak viskozite değişimi



Şekil 6.15. 20 rpm dönme hızında ve 30°C sıcaklıkta BaCO<sub>3</sub> ve Na<sub>6</sub>P<sub>4</sub>O<sub>13</sub> için viskozite değişimi

#### 6.4.1.4. Su kalitesinin etkisi

Sağlık gereçleri döküm çamurlarının hazırlanmasında kullanılan suyun kalitesinin etkisini belirlemek amacıyla distile su ve şebeke suyu kullanılmıştır. Distile su kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun akış eğrisi çizilmiştir. Artan elektrolit miktarına bağlı olarak viskozite değişim değerleri Çizelge 6.26'da, akış eğrisi ise Şekil 6.16'da verilmektedir. Ayrıca distile su kullanılarak hazırlanan döküm çamurunun reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla da 30°C'de S3 kullanılarak 10 rpm, 20rpm ve 50rpm dönme hızlarındaki viskozite değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.27'de verilmektedir. Şebeke suyu ve distile su kullanılarak hazırlanan çamurların viskozite değişimi Şekil 6.17'de görülmektedir.

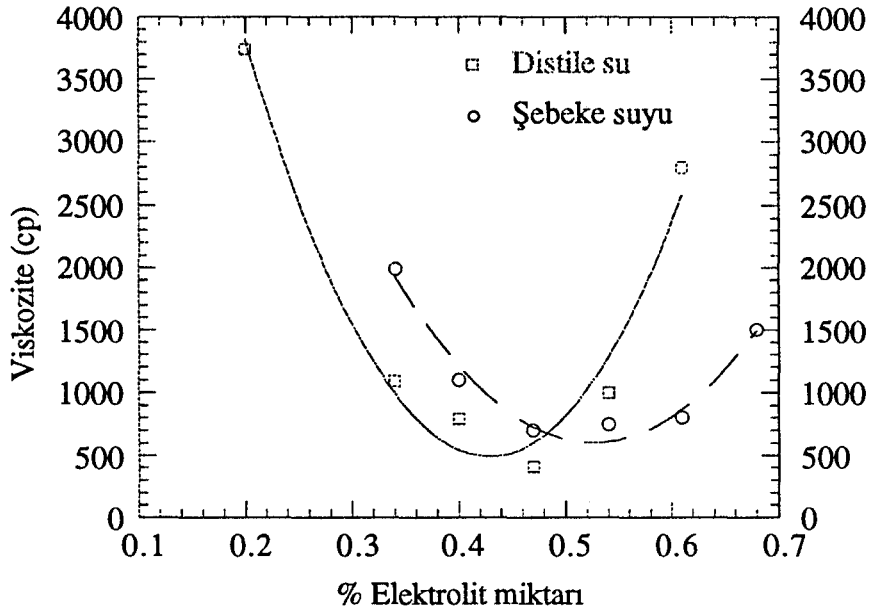
Çizelge 6.26. 30°C’de Sodyum silikat ve distile su kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında elektrolit miktarı ile viskozite değişim değerleri

Elektrolit miktarı (%)	Viskozite (cp)
0,2	3745
0,34	1090
0,4	650
0,47	450
0,54	1000
0,61	2100

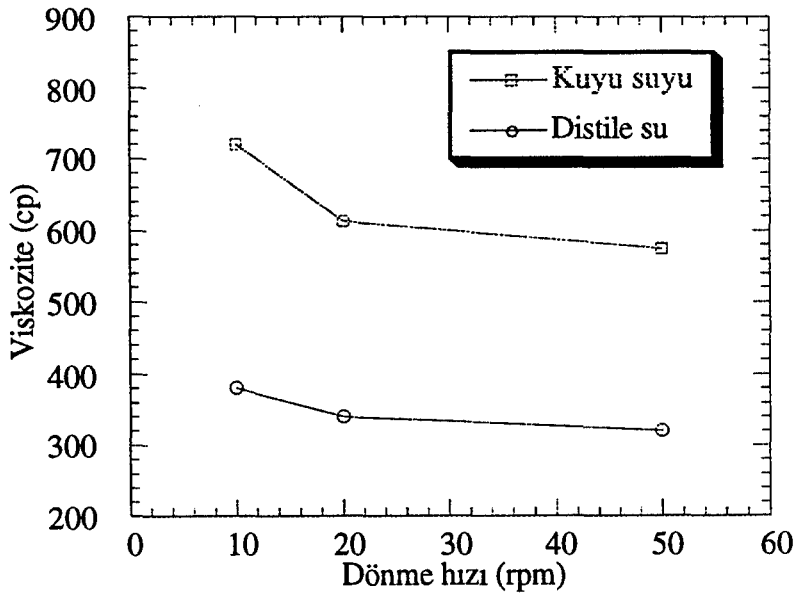
Çizelge 6.27. 30°C’de % 0.4 Sodyum silikat ve distile su için viskozite değişim değerleri

Zaman (dk)	Dönme hızı (rpm)		
	10	20	50
0	400 cp	360 cp	340 cp
5	490 cp	345 cp	326 cp
10	380 cp	340 cp	320 cp





Şekil 6.16. Sodyum silikat kullanılarak hazırlanan döküm çamurlarında distile su ve şebeke suyu için akış eğrisi



Şekil 6.17. Farklı su ile hazırlanan çamurların viskozite değişimi

#### 6.4.1.5. Sıcaklığın etkisi

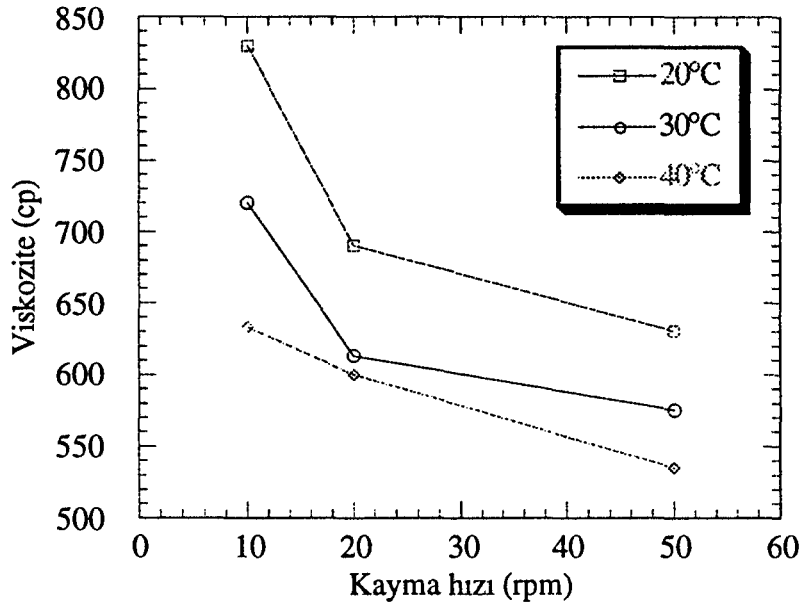
Hazırlanan döküm çamurlarının viskozitesi üzerine sıcaklığın etkisini belirlemek üzere % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve % 0.5 sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) içeren çamurlarda üç farklı sıcaklıkta (20, 30 ve 40°C) viskozite değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.18 ve 6.19'de görülmektedir.

#### 6.4.2. Fiziksel deney sonuçları

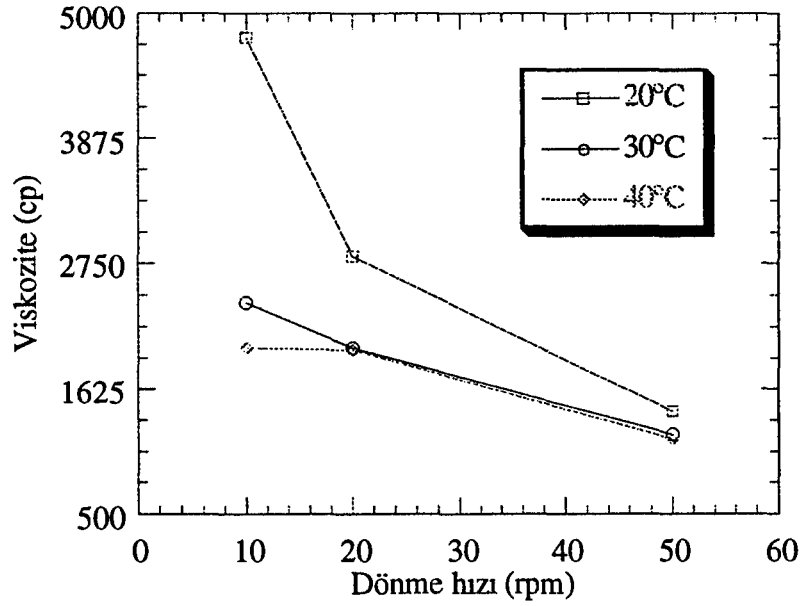
Döküm çamurunun hazırlanmasında öğütme süresi sabit tutulmuştur. Her bir karışım 8 saat süre ile öğütülmüştür. Çamurun tane boyut dağılımı Şekil 6.20'de görülmektedir.

Sağlık gereçleri döküm çamurlarının döküm hızına elektrolit cinsinin etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda farklı elektrolit kullanılarak 6 ayrı döküm çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan çamurlar Çizelge 6.28'deki gibi kodlanmıştır. Her bir döküm çamurunun döküm hızını belirlemek amacıyla döküm işlemi yapılmış, 5, 10 ve 15 dk sonraki döküm parçasının et kalınlıkları ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 29'da ve döküm süresine bağlı olarak döküm kalınlığının değişimi ise Şekil 6.21'de görülmektedir.

Hazırlanan döküm çamurlarının fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla kuru ve pişmiş numunelerin kuru ve pişme küçülmeleri, ayrıca kuru ve pişme kırılma mukavemetleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.30'da görülmektedir.



Şekil 6.18. % 0.47 sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) içeren döküm çamurlarında sıcaklık ile viskozite değişimi



Şekil 6.19. % 0.5 sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) içeren döküm çamurlarında sıcaklık ile viskozite değişimi

Çizelge 6.28. Numune kodları ve % elektrolit ve % katkı miktarları

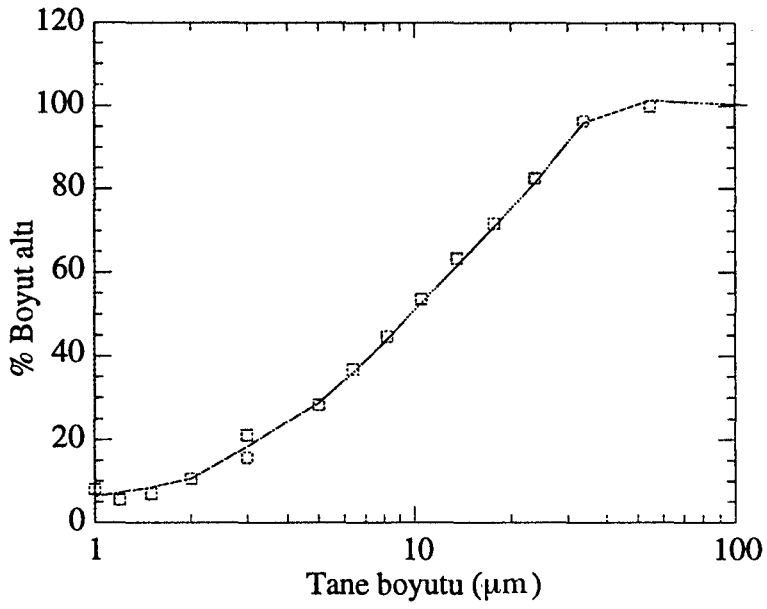
Numune kodu	% Elektrolit miktarı + % katkı maddesi
E1	% 0,47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (şebeke suyu)
E2	% 0,4 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (distile su)
E3	% 0,47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + % 0,15 BaCO <sub>3</sub>
E4	% 0,47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + % 0,15 Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub>
E5	% 0,47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + % 0,1 BaCO <sub>3</sub>
E6	% 0,47 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + % 0,1 Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub>

Çizelge 6.29. Farklı döküm çamurlarının döküm kalınlıkları

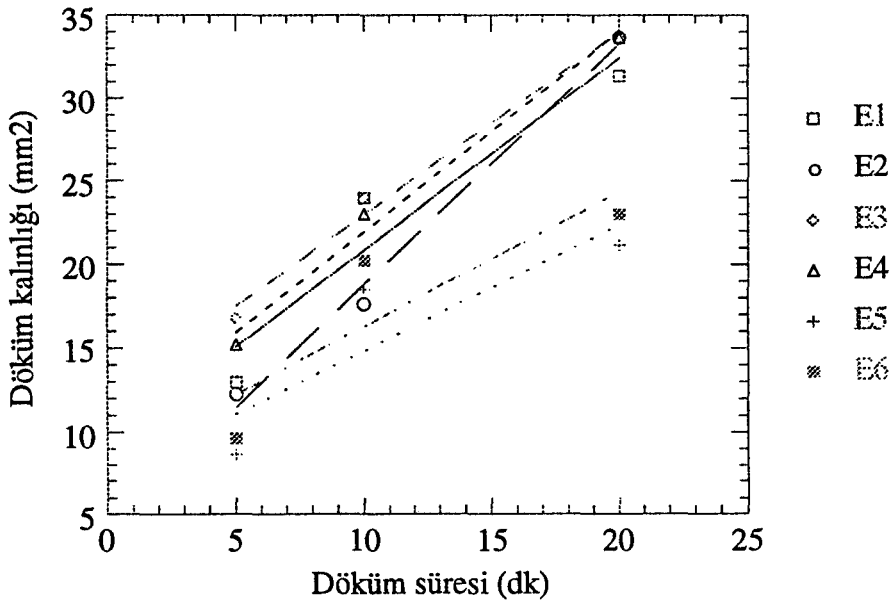
Zaman(dk)	Döküm kalınlığı (mm <sup>2</sup> )		
	5	10	20
E1	12,96	24,01	31,36
E2	12,25	17,64	33,64
E3	16,81	24,01	33,64
E4	15,21	23,04	33,64
E5	8,41	18,49	21,16
E6	9,61	20,25	23,04

Çizelge 6.30. Farklı döküm çamurlarının fiziksel özellikleri

Numune	% Boyca Kuru Çekme	% Boyca Pişme Çekmesi	% Toplam Çekme	Kuru kırılma Mukavemeti(kg/cm <sup>2</sup> )
E1	3,2	8,88	11,8	41,03
E2	2,4	8,81	11,00	37,58
E3	2,15	9,30	11,30	40,43
E4	2,5	9,43	11,70	41,40
E5	2,3	8,71	10,80	38,65
E6	2,0	8,36	10,20	42,33



Şekil 6.20. Hazırlanan döküm çamurunun tane boyut dağılımı



Şekil 6.21. Döküm süresine bağlı olarak döküm kalınlığının değişimi

## 7. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Bu çalışmada rasyonel bileşimi % 30-40 kuvars, % 40-50 kaolen, % 20-30 feldispat olan karışım 8 saat öğütülmüş, sağlık gereçleri döküm çamuru hazırlanmış ve hazırlanan çamurun litre ağırlığı 1800 g/lt olarak sabit tutulmuştur

Sağlık gereçleri döküm çamurlarının reolojik özellikleri üzerine elektrolit cinsi ve miktarının etkisi ve katkı maddelerinin etkisi belirlenmiştir. Çamur hazırlamada şebeke suyu kullanılmıştır.

Elektrolit olarak sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve sodyum fosfat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) kullanılmış,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  için akış eğrileri çizilmiştir. Şekil 6.4'den de görüldüğü gibi elektrolit miktarının artmasıyla viskozite değeri önce azalırken belli bir değerden sonra artmaya başlamıştır. Bu artışın sebebi % 0.54 elektrolit konsantrasyonundan sonra ortamda aşırı miktarda  $\text{Na}^+$  kationlarının bulunmasından kaynaklanmaktadır. Aşırı miktarda  $\text{Na}^+$  kationları, difüz tabakaya yığılarak difüz tabakanın kalınlığını azaltır.  $\zeta$  potansiyeli düşer ve çamurun fülökülasyonuna neden olur.

Minumum viskozite değerleri  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  için sırasıyla % 0.52 ve % 0.55 elektrolit miktarlarında elde edilmiştir. Reed [4] ve Rajala [49] minumum viskoziteye sahip döküm çamurlarıyla uygun döküm işleminin yapılamayacağını ve minumum vizkozitenin elde edildiği elektrolit miktarından daha az elektrolit ilavesiyle hazırlanan daha yüksek viskoziteli çamurun, optimum çamur olacağını belirtmişlerdir. Düşük viskoziteli döküm çamurları ile döküm yapıldığında ürün, sert, düzgün olmayan yüzeylere sahip ve kırılığandır. Bu nedenle optimum elektrolit miktarı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile hazırlanan çamurlarda % 0.47 ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  için % 0.5 olarak belirlenmiştir.

% 0.47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  içeren döküm çamurlarında reolojik özellikleri belirlemek amacıyla viskozite ölçümleri yapılmıştır. Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7 incelendiğinde farklı dönme hızlarında zamana bağlı olarak dönme hızı arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Dönme hızı arttıkça partiküllerin birbiri üzerinde yönelmesinden dolayı kayma oranı artar ve viskozite değeri düşer. % 0.5  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  içeren döküm çamurlarında da ise Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 'a göre viskozite değerlerinde aynı şekilde düşüş gözlenmiştir.

Değişik oranlarda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  karışımlarıyla hazırlanan çamurlarda,

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile birlikte  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  kullanıldığında Şekil 6.11 ve 6.12'ye göre viskozite değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Sadece  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılarak daha iyi akışkanlık sağlanmıştır.

Şekil 6.13 ve 6.14'e göre % 0.47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  içeren çamurlara  $\text{BaCO}_3$  ve  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ilavesi yapıldığında daha düşük viskoziteli döküm çamuru hazırlanabilmektedir. Çamur içerisinde bulunan sülfat ( $\text{SO}_4^-$ ) iyonları, baryum karbonat ilavesiyle  $\text{BaSO}_4$  halinde uzaklaştırılmıştır.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ile çamur içerisinde bulunan  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  gibi fülökülasyona neden olan iyonların çözünmeyen kompleks bileşikler oluşturduğu bilinmektedir.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ilavesiyle daha düşük viskoziteli döküm çamurları elde edilmiştir.

Döküm çamurunun hazırlanmasında su kalitesinin etkisi oldukça büyüktür. Şekil 6.16 ve 6.17'ye bakıldığında distile su kullanılarak hazırlanan çamurlarda optimum viskozite değeri % 0.4 elektrolit miktarı ile elde edilmiştir. Şekil 6.17'de farklı dönme hızlarında farklı sularla hazırlanan döküm çamurlarının viskozite değişimleri verilmiş, distile su ile hazırlanan çamurların viskozitelerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Şebeke suyu kullanılarak hazırlanan çamurlarda viskozite değerinin yüksek olması, Çizelge 6.2'den görüleceği üzere suyun sertliğinin 332 mg/ lt  $\text{CaCO}_3$  ve sülfat ( $\text{SO}_4^-$ ) değerinin 49 mg/lt olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Döküm çamurlarının viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık  $20^\circ\text{C}$ 'den  $30$  ve  $40^\circ\text{C}$  ye çıkarıldığında viskozite değerleri azalmaktadır. Sıcaklığın  $50^\circ\text{C}$ 'deki viskozite değerleri  $40^\circ\text{C}$ 'deki değerleri ile aynıdır.

Değişik elektrolit ve kimyasal içeren altı ayrı döküm çamuru ile döküm işlemleri yapılmış ve döküm özelliklerine bakılmıştır. Çizelge 6.29'da görüleceği üzere 10 dk süre sonunda E1, E2 ve E4 numunelerinde döküm kalınlığı fazla, yumuşak döküm elde edilmiştir. Döküm parçasının kalıp içersinden çıkması zor olmuştur.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  kullanılarak hazırlanan E6 numunesinde 10 dk sonra  $20,25 \text{ mm}^2$  döküm kalınlığına ulaşılmasına rağmen kalıptan kolayca çıkarılabilen iyi özelliklere sahip döküm elde edilmiştir.

Çizelge 6.30'a bakıldığında en yüksek kırılma mukavemetinin E6 kodlu numuneye ait olduğu görülmektedir.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ilavesiyle döküm çamurunun daha iyi defülöküle edilmesi sağlanmış buna bağlı olarak döküm hızı azalmıştır. Böylece partiküller daha yoğun olarak paketlenbildiğinden kuru kırılma mukavemetinin de arttığı düşünülmektedir.

## 8.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Elektrolit miktarı ve cinsi değişikçe çamurun viskozitesi de değişmektedir. Elektrolit olarak % 0.47  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  içeren döküm çamurunda % 0.5  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 'a göre daha iyi akışkanlık sağlanmıştır.

Belirli miktarda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  içeren döküm çamurlarına  $\text{BaCO}_3$  ve  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  miktarının etkisi incelendiğinde  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ 'm daha fazla etkili olduğu ve viskozitenin daha fazla düştüğü tespit edilmiştir.  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  ilavesiyle istenilen özelliklere sahip döküm yapılabildiği tespit edilmiştir.

Döküm çamurlarının hazırlanmasında kullanılan suyun kalitesi önemlidir. Distile su kullanıldığında optimum elektrolit miktarı % 0.4  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  olarak bulunmuş ve gerekli elektrolit miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Döküm çamurlarının viskozitesi artan sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında bu çalışmada kullanılan elektrolitlerin yanı sıra  $\text{LiOH}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  gibi elektrolitlerin etkisi ve ilave edilen katkı maddelerine bağlı olarak döküm parçası ile kalıp arasındaki etkileşimler incelenebilir.



## 9. KAYNAKLAR DİZİNİ

1. ARCASOY, A., *Seramik teknolojisi*, Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları, No: 2, İstanbul, 1983,
2. YERSEL, G., *Seramik hammaddeleri ders notları*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, 1991.
3. GÜNER, Y., *Seramik*, İstanbul, s.10-21, 1987.
4. REED, J.S., *Introduction to the principles of ceramic processing*; John Wiley and Sons, Inc, Singapore, 1989.
5. DOĞAN, Ş., *Seramik teknolojisi*, İstanbul, s.24-25, 1985.
6. NORTON, F. H., *Elements of ceramics*, California, s.24-25, 1974.
7. TANIŞAN H. H., METE, Z., *Seramik teknolojisi ve uygulaması*, Söğüt, s. 7-22, 1988.
8. GÖK, S., *Kil mineralleri ve killerin jeolojisi*, M.T.A., Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, Ankara, s. 1-48, 1983.
9. UZ, B., *Mineraller*, kristallografi-mineroloji, İstanbul, 1990.
10. KİPER, B., *Killerin jeolojik özellikleri*, Ankara, Şubat 1977.

**KAYNAKLAR (DEVAM)**

11. RADO, P., *An introduction to the technology of pottery*, Formerly Research Manager the Worcester Royal Porcelain Company. Ltd., Worcester, UK., s. 7-11, 1988.
12. SARIKAYA, Y., *Killerin önemi ve özellikleri*, III. Ulusal Kil Sempozyumu, bildiriler, s. 13-32, 21-27 Eylül 1987.
13. ÖNAL, M., SARIKAYA, Y., *Bentonitik bir kilin adsorplama özelliklerinin değiştirilmesi*, Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 491-492, 8-11 Eylül 1993.
14. YILMAZ, S.G., *Kılıçlı (Şile-İstanbul) killerinin jeokimyasal minorolojik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi*, Jeoloji mühendisliği anabilim dalı, Yüksek lisans tezi, s. 5-60, Ekim 1994.
15. WORALL, W.E., *Ceramic raw materials*, New-York, 1982.
16. MAXWELL, C., DİNGER, D.R., *Effect of bally clay processing on suspension rheology*, American Ceram. Soc. Bull, Vol.71, No:8, p.1225-1233, August, 1992.
17. NORTON, F.H., *Fine ceramics technology and applications*, Robert E., Krieger Publishing Company, America, p. 72-74, 1987.
18. ÇAĞATAY, N., ERLER, A., *Jeokimya temel kavramlar ve ilkeler*, Ankara, s.65-66, 1984.
19. GRIMSHAW, R.W., *The chemistry and physics of clays and allied ceramic materials*, Ernest Benn Limited, London, 1971.

**KAYNAKLAR (DEVAM)**

20. DEMİRALP, C., SARIER, N. VE GÜLER, Ç., *Ceramic technical congresses proceeding*, pp. 59, 24-28 August 1987.
21. VLACK, L.H.V., *Physical ceramics for engineers*, Addison Wesley Publishing Company, United States of America, s. 259-260, 1964.
22. LAWRENCE, W.G., *Ceramic science for the potter*, Philadelphia, p.53-69, 1972.
23. BOZDEMİR, M., ERDOĞAN, B., *Bazı Türk bentonitlerinin reolojik özellikleri ve değiştirilmesi çalışmaları*, Altıncı Ulusal kil sempozyumu, s. 501-502, 8-11 Eylül 1993.
24. ERGUVANLI, K., *Mühendislik jeolojisi*, İstanbul, 1969.
25. GÜRGEV, İ., TANIN, S., *Killerin etkinleştirilmesi*, Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 515-516, 8-11 Eylül 1993.
26. BABA, B., YÜREKLİ, A., GEMİCİ, Y., *V. Ulusal Kil Sempozyumu bildiriler kitabı*, Eskişehir, 16-20 Eylül, 1991.
27. SEYHAN, İ., *Kaolin, bentonit, kil ve tuğla-kiremit toprakları jeolojisi*, M.T.A yayımları eğitim serisi, No. 13, Ankara, 42-47, 1972.
28. PUTNIS, A., *Introduction to mineral sciences*, Cambridge University Press, . p. 141-142, 1992.

**KAYNAKLAR (DEVAM)**

29. AKTÜRK, A. ve diğeri, *Endüstriyel hammaddeler jeolojisi*, Diyarbakır, Ocak 1978.
30. ZİM, H.S., *Kayaçlar ve mineraller*, İtalya, s.76-80, 1965.
31. KNOPE, A.A., *The audubon society field guide to North American Rocks and Minerals*, Chanticleer Press, New-York, s. 501-506, 1985.
32. Materials Handbook for refractories, *Traditional and advanced ceramics*, Ceramic Industry, s. 48-103, January, 1990.
33. RÖSLER, H. J., *Lehrbuch der mineralogie*, Berlin, p.428-430.
34. SARIİZ, K., NUHOĞLU, İ., *Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 52, Eskişehir, s. 105-430, 1992.
35. BOZDOĞAN, İ., *Seramik sanayi hammaddeleri sorunları, çözüm önerileri*, Seramik teknik kongresi bildiriler kitabı, TMMOB, Kimya ve Metalurji Mühendisliği Odaları, Ankara, s. 82-88, 15-19 Nisan, 1985.
36. AKKOYUNCU, H., *Porselen hammaddelerinin zenginleştirilmesi*, Yüksek lisans tezi, maden mühendisliği ana bilim dalı cevher hazırlama bilim dalı, Eskişehir, s.3-31, 1994.
37. ÇOKAY, K., *Sofra ve süs porselenlerindeki gelişmeler*, 2000'li yıllara doğru geleneksel seramikler teknolojisindeki gelişmeler ve gelecekte beklenenler sempozyumu bildiriler kitapçığı, Türk Seramik Derneği Yayınları, N:13, Eskişehir, s. 26-36, 1995.

**KAYNAKLAR (DEVAM)**

38. BUDNICOV, P.P., *The technology of ceramics and refractories*, The M.I.T. Press Massachusetts, Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, p. 390-505, 1964.
39. OKUYAN, H., *Kemik porseleni üretim teknolojisi*, Güzel sanatlar Fakültesi seramik teknolojisi tasarımı lisans bitirme ödevi, Eskişehir, s. 1-8, 1994.
40. ÖZ, İ., ERDİNÇ, Ş.Ş., *Kemik porselen seramik teknik kongresi bildiriler kitabı*, TMMOB, Kimya ve Metalürji mühendisleri odaları, Ankara, s. 330-334, 15-19 Nisan 1995.
41. ÇİNER, N., ve diğerleri, *Seramik*, T.M.M.O.B. Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1990.
42. TAÇYILDIZ, E., SAN, O., *Vitrifiye seramik bünyelerin fiziksel özelliklerine kuvars- feldispat- kaolin miktarının etkileri*, III. seramik kongresi bildiriler kitabı, cilt I. Geleneksel seramikler, 22-25 Ekim 1996.
43. YILMAZ, S.G., ÖZGEN, S., *Hammadde tane boyutunun vitrifiye seramik malzemelerin reolojik ve fiziksel özellikleri üzerine etkileri*, Altıncı ulusal kil sempozyumu, 8-11 Eylül 1993.
44. CUBBON, R. C.P., *Preparation of whiteware bodies*, *Interceram*, 43 (4), No:1-3, 1994.
45. SCHWARTZ, M., *Handbook of structural ceramics*, p. 5., 14-17, 1992.

### KAYNAKLAR (DEVAM)

46. SHAW, D.J., *Introduction to colloid and surface chemistry*, Third edition, Butterworth and Co.(publishers)Ltd, p. 213-226,1980.
47. SINGER, F., SINGER, S.S., *Industrial ceramics*, London, s. 152-224, 1963.
48. LEACH, B., KELLY, B., KNOTTS, W., AND YARBOROUGH, M., *Kentucky-Tennessee Clay Company Sanitaryware survey, 1990-1991*, Cram. Eng. Sci, Proc.14, (1-2), ,p.190-205, 1993.
49. RAJALA, M., *Using the mooney equation for analayzing the sensitivity of casting clays*, American Ceram. Soc. Bull., Vol.71, No: 12, p. 1817-1818, December 1992
50. LEACH, B.,WHEELER AND BUSCH, T., *Polyacrylate developments in sanitaryware slurries*, Ceram. Eng. Sci. Proc., 17 (1) 111-116, 1996.
51. KOHUT, W., *Defloculant studying the sanitaryware industry*, Ceramic Bulletin, Vol.71, No.6, pp. 943-947, 1992.
52. KÖSEOĞLU, K VE GÜLER, Ç., *Killerin reolojik özelliklerine bazı parametrelerin etkisi*, III. Seramik kongresi bildiriler kitabı Cilt 1, geleneksel seramikler, 22-25 Ekim, 1996.
53. BARAN, B., ÖZGEN, S., YETİŞ, H., *Additive trials to improve the casting rate of a sanitaryware slip*, Intercceram, Vol.44, No.2, p. 83-85, 1995.
54. SCHELKER, D.H., PLANCHART, F.A., THOMAS, R.J., *Recent advances in understanding gelation in sanitaryware slips*, Ceram. Eng. Sci. Proc., 17(1), 187-193, 1996.

### KAYNAKLAR (DEVAM)

55. BOUGHER, A.K., ETHERIDGE, M.D., and LOMBARDO, C.A., *A preliminary investigation of sanitaryware slip and influencing faktors for a pressure cast. system*, Ceram. Eng. Sci., Proc., 17(1), 40-46, 1996.
56. LEESE, M.S, AND MAGUIRE, S.G., *Effects of organics in casting slips*, The American Ceram. Soc. Bull., Vol. 75, No:9, September , p.66-68, 1996.
57. BALCI, E., VE GÜLER, Ç., *Döküm çamurunun reolojik özelliklerine bazı tuzların etkisi*, III. Seramik Kongresi bildiriler kitabı, Cilt.1, geleneksel seramikler, 22-25 Ekim 1996.
58. HSIEN LI, C., MANCINI, K., ROBINSON, G.C., *Improved casting slip properties*, American Ceram. Soc. Bull., Vol. 73, No:10, p.70-74, October 1994.
59. MÖGEL, H. J., RODTEL, P., SCHAFER, R., *Influence of differant electroytes on the rheological bheaviour of kaolin suspensions*, Third Euro-Ceramics, V.2, pp. 1009-1014, 1993.
60. CRUME, G. W., AND DINGER, D. R., *Modeling the slip casting process*, Ceram. Eng. Sci. Proc. 14 (1-2) pp 57-68, 1993.
61. MOORE, F., *The rheology of ceramic slips and bodies*, Trans. Br. Ceram. Soc. 58, 470-494, 1959.
62. STENAVA, N., KASABOV, I., ZOTCHEW, W., *Rheological behaviour of whiteware casting slips*, Inter ceram, Vol. 43., No.5, 1994.
63. KASABOV, I., STENAVA, N., IONCHEV C.H.R, *Rheological and mechanical properties of porcelain mixtures*, II. Uluslararası Seramik Kongresi bildiriler kitabı Cilt 1, Geleneksel seramikler, Türk Seramik derneği yayınları, No.10, 24-28 Ekim 1995.

**KAYNAKLAR (DEVAM)**

64. FARRIS, R.J., *Prediktion of the viscosity of multimodel suspensions from unimodal viscosity data*, Transactions of the society of rheology, 12, 2, 281-301, 1968.
65. GÜNGÖR, N., DİLMAÇ, Ş., *Kil-su sistemlerinin reolojik özellikleri üzerine elektrolitin etkisi*, II. Ulusal seramik kongresi bildiriler kitabı, Cilt 1, geleneksel seramikler Türk seramik derneği yayınları, No: 10, 24-28 Ekim 1994,.
66. RICHERSON, D. W., *Modern ceramic engineering, properties, processing and use in desing*, 1992.
67. ANDREW, C., ANDERS, J.R., *Rheology of Ceramic suspensions*, Ceram. Eng. Sci. Proc, 8 (11-12).p.1193-1201,1987.
68. PAPO, A., CAUFIN, B., PRETIS, A., *A study of the rheological behaviour of ceramic powder suspensions by means of oscillatory technigues*, Interceram, Vol.42, No:1, p.24-26, 1993.
69. ÇELİK, N., *Rheological and casting behaviour of china clay suspensions*, The Universty of Sheffield, 1978.
70. ÖZGEN, S., ÖZEN, İ., *Ingestion on some Turkish ceramics raw materials for sanitaryware production*, Third Euro-Ceramics, V.2, p.905-909, 1993.
71. OAKHINAN, E.P., *Rheological properties of certan Nigerian clays*, Interceram, Vol.40, No.1, pp.9-11, 1991.



## KAYNAKLAR (DEVAM)

72. HSIEN LI, C., MANCINI, K., ROBINSON, G.C., *Improved casting slip properties with extended particle-size distribution and change in deflocculation*, Ceram. Eng. Sci. Proc. 15 (1), 1-15, 1994.
73. KORDON, A. K., PITCHUMANI, R., BERIS, A.N., KARBHORI, V. M., DHURJATI, P. S., *A rheological model for particulate ceramic slurries at low temperatures*, Stripts Metallurgica et Materialls, Vol. 29, p. 1095-1099, 1993.
74. NAGEL, A., PETZOW, G., *Rheology of aqueous silicon nitride suspensions*, journal of the European Ceramic Society, 5, pp 371-378, 1989.
75. ROSHENTAL, D., ASIMOW, R.M., *Introduction to properties of materials*, p.195-196, 1971.
76. WU, K., *Ceramic slurry control in manufacturing*, Ceram. Eng. Sci. Proc. 14 (1), 1-2,41-56, 1993.
77. AKMAN, S., *Malzeme bilgisi*, İTÜ, İnşaat fakültesi matbaası, s.76-85, 1981.
78. FRANKLIN, F.Y.W., *Ceramic fabrication processes*, Treatise on materials science and technology, Academic press, 1976.
79. KOMAÇ, O. Ş., *The investigation of the parameters effecting the CO<sub>2</sub>-Sodium Silicate Process in the use of water glass with 3.0 Ratio*, A. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt III, Sayı 1, 1986.