

13/06.1

**VİTRİFİYE MALZEMELERDE
TANE BOYUT DAĞILIMININ
ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

NECMETTİN SOBUTAY

**Yüksek Lisans Tezi
Seramik Mühendisliği**

Ana Bilim Dalı

ŞUBAT 1998

Necmettin Sobutay 'ın yüksek lisans tezi olarak hazırladığı vitrifiye malzemelerde tane boyut dağılımının ürün özelliklerine etkisi başlıklı tez 16/02/1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Nuran Ay

Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet Türan

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferhat Karan

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 'nun
19.02.1998...tarih ve3/9..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM KURULU

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

VİTRİFİYE MALZEMELERDE TANE BOYUT
DAĞILIMININ
ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

NECMETTİN SOBUTAY

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Nuran AY
1998, Sayfa 72

Seramik çamurunun hazırlanmasında, başlangıç tane boyutunun istenilen değerlere indirilmesi uzun ve önemli bir yer tutar. Tane boyutunun değişimiyle ürün özellikleri değişmektedir. Tane boyutu azaldıkça yoğunlaşma, mukavemet, plastiklik özellik ve küçülmeler artar.

Bu tezde, başlangıç tane boyutunun değişmesiyle ürün özelliklerinde ne gibi değişimlerin olduğu araştırılmıştır. Aynı zamanda başlangıç tane boyutunu küçültmek için kullanılan değirmende de öğütme süresini azaltmak için deneyler yapılmıştır. Alınan çamur numunelerinin elek bakiyesine bakılmış, bu sonuca göre et kalınlığı, kurutma ve pişme boyca küçülmeleri, sıcaklık altında deformasyonları, su emmeleri, gözeneklilikleri, yoğunlukları, mukavemetleri incelenmiştir.

Bu sonuçlardan başlangıç tane boyutu değiştikçe malzemenin özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Tane boyutu düştükçe malzeme daha da yoğunlaşmış, gözenekleri kapanmıştır. Mukavemet değişiminde bir sonuç bulunamamıştır. Fakat killerin düşük tane boyutu hızlı jelleşmeye ve yüksek plastiziteye sebep olur.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Öğütme, Değirmen, Tane Boyutu, Pişme

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**THE EFFECT OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
ON THE PROPERTIES OF SANITARY MATERIALS**

NECMETTİN SOBUTAY

Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Ceramic Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Nuran AY
1998, Page 72

For the preparation of ceramic slurry, milling of starting powder takes long time.

The purpose of this thesis is to study the effect of particle size on the final product and to control the milling process.

The effect of shortening milling time on the properties of final products was also investigated. A change on thickness, drying and firing shrinkage, deformation under temperature, water absorption, porosity, density and strength was investigated as a function of mass retained on sieve.

From the experimental work, it was concluded that finer that starting powder, better the properties of final product, but having fine starting powder in clays caused rapid gellation and high plasticity.

Key words; Ceramic, Milling, Particle Size Distribution, Firing.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

ÖNSÖZ

Seramik, Latince'de "pişirilmiş ürün" anlamına gelir. Seramikler, kullanıldığı hammaddeler, atomik yapıları, fiziksel özellikleri açısından metallere ve polimerlerden farklılıklar gösterirler. Seramikler daha yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve daha yüksek mukavemete sahiptirler. Son zamanlarda, seramikleri metaller ve polimerlerle karıştırılarak kompozit malzemeler üretilmiştir.

Seramiklerin pişme işlemini; tane boyutu dağılımı, kullanılan hammaddeler ve oranları, pişme sıcaklığı ve pişme süresi etkiler.

Tez çalışması sırasında kullanılan değirmen, açıcı, stok havuzları tamamen endüstriyel boyutlarda ve kullanımları da sadece üretim için olduğundan, deney parametreleri çok sınırlı kalmıştır.

Tez danışmanım olarak tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım sayın Doç. Dr. Nuran AY'a teşekkür ederim. Bu çalışmanın deneysel kısmı "Bartın Seramik San. ve Tic. A.Ş.'de yapıldığından ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. SERAMİK HAMMADDELERİ	1
2.1. Kil	2
2.2. Feldispat.....	3
2.3. Kuvars.....	3
2.4. Diğerleri.....	3
3. SERAMİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ	5
3.1. Alçı Kalıp İle Şekillendirme..	5
3.2. Enjeksiyon İle Şekillendirme.....	6
3.3. Ekstrüzyon İle Şekillendirme.....	6
3.4. Şerit Döküm İle Şekillendirme.....	6
3.5. Kuru Presleme İle Şekillendirme.....	6
3.6. Soğuk İsostatik Presleme İle Şekillendirme.....	7
3.7. Sıcak Preslerle Şekillendirme.....	7
4. TANE BOYUTUNU KÜÇÜLTME.....	8
4.1. Kırma...	8
4.2. Öğütme.....	8
4.2.1. Değirmenler.....	9
4.2.2. Değirmen Çeşitleri.	11
4.2.2.1. Çakıl değirmenler.....	11
4.2.2.2. Çubuklu değirmenler.....	12
4.2.2.3. Bilyalı değirmenler.....	15
4.2.2.4. Otojen değirmenler.....	19
4.2.2.5. Titreşimli değirmenler.....	20
4.2.2.6. Akışkan enerjili öğütücüler	21
4.2.2.7. Artirator değirmenler.....	21
4.2.2.8. Tröst değirmeni.....	21

4.2.3. Öğütmede kullanılan kimyasal ilaveler.....	21
4.2.4. Yaş ve kuru öğütme.....	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
5.1. Kullanılan Malzemeler.....	23
5.1.1. Silis kumu	23
5.1.2. Bej kil (Eti-3).....	23
5.1.3. Kahverengi kil (Eti-28).....	24
5.1.4. Siyah kil (K-121).....	25
5.1.5. Süzölmüş kil (Mask-1).....	26
5.1.6. Süzölmüş kil (Mask-6).....	27
5.1.7. Gri kil (K-102).....	27
5.1.8. Kaolen (K-1486).....	28
5.1.9. Kaolen (K-730).....	29
5.1.10. Albit (Sodyum feldspat EF-301).....	30
5.1.11. Elektrolitler.....	30
5.2. Kullanılan Cihazlar.....	30
5.2.1. Çamur üretiminde kullanılan cihazlar.....	30
5.2.2. Viskozimetre.....	32
5.2.3. Deformasyon çubuğu kalıbı.....	32
5.2.4. Su emme plakası kalıbı.....	33
5.2.5. Elekler ve diğerleri.....	33
5.3. Numune Hazırlama.....	34
5.4. Yapılan Deneyler.....	34
5.4.1. Öğütme deneyleri.....	34
5.4.2. Çamur hazırlama deneyleri.....	34
5.4.3. Fiziksel deneyler.....	35
5.4.3.1. Küçölme deneyleri.....	35
5.4.3.2. Su emme deneyi.....	36
5.4.3.3. Yoğunluk deneyleri.....	37
5.4.3.4. Görünür gözeneklilik deneyi.....	37
5.4.3.5. Numunelerin kapalı gözenekleri içeren katı madde hacimleri deneyi.....	38
5.4.3.6. Numunelerin açık gözeneklerinin hacimleri deneyi....	38
5.4.4. Mekanik deneyler.....	38
5.4.4.1. Sıcaklık altında deformasyon deneyi.....	38
5.4.4.2. Eğilme mukavemeti deneyleri.....	39
5.5. Deney Sonuçları.....	39
5.5.1. Öğütme deneyleri sonuçları.....	39
5.5.2. Çamur hazırlama deneyleri sonuçları.....	40
5.5.3. Fiziksel deneylerin sonuçları.....	41
5.5.3.1. Küçölme deneylerinin sonuçları.....	41

5.5.3.2. Su emme deneyleri sonuçları.....	48
5.5.3.3. Yoğunluk deneyleri sonuçları	49
5.5.3.4. Görünür gözeneklilik deneyi sonuçları	51
5.5.3.5. Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacmi deneyi sonuçları	52
5.5.4. Mekanik deneylerin sonuçları	52
5.5.4.1. Sıcaklık altında deformasyon deneyi sonuçları	52
5.5.4.2. Eğme mukavemeti deneyleri sonuçları	52
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	54
7. GENEL SONUÇLAR	59
8. KAYNAKLAR	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Tane üzerinde oluşan çatlak.....	9
Şekil 4.2. Değirmende kaskaden ve katarakt hareketleri	10
Şekil 4.3. Öğütmede etkili olan üç mekanizma	10
Şekil 4.4. Boşaltma sistemlerine göre çubuklu değirmenler	13
Şekil 4.5. Öğütme sırasında çubukların konumu	14
Şekil 4.6. Değirmen içinde öğütme elemanı	18
Şekil 5.1. Çamur üretiminin akış şeması.....	31
Şekil 5.2. Viskozimetre.....	32
Şekil 5.3. Deformasyon çubuğu kalıbının şematik görünüşü.....	32
Şekil 5.4. Su emme plakası kalıbının şematik görünüşü.....	33
Şekil 5.5. Deformasyon çubuğunun fırın içinde aldığı durum.....	39
Şekil 5.6. Kuru küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	42
Şekil 5.7. Kuru küçülme (%) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	43
Şekil 5.8. Numune no 3.1 için tane boyut dağılımı.....	44
Şekil 5.9. Numune no 3.2 için tane boyut dağılımı.....	44
Şekil 5.10. Numune no 3.3 için tane boyut dağılımı.....	45
Şekil 5.11. Pişme küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	46
Şekil 5.12. Toplam küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	47
Şekil 5.13. Su emme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	48
Şekil 5.14. Yığınsal yoğunluk ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	49
Şekil 5.15. Görünür yoğunluk ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	50
Şekil 5.16. Görünür gözeneklilik (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.	51
Şekil 5.17. Sıcaklık altında deformasyon (mm) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Mohs sertlik sıralaması.....	11
Çizelge 4.2. Değirmen çapı ve çubuk uzunluğu arası ilişki.....	12
Çizelge 4.3. Çubuklu değirmenlerin hızları.....	13
Çizelge 4.4. Çubuklu değirmenlerin güç gereksinimi.....	14
Çizelge 4.5. Uzunluk - çap oranı, öğütme tipi, besleme tane boyu ve bilya boyu arasındaki ilişki.....	16
Çizelge 4.6. Bilyalı değirmenlerde çap ve hız arasındaki ilişki	16
Çizelge 4.7. Bilyalı değirmenlerde çap, uzunluk, hız, güç ve bilya çapı arasındaki ilişki.....	17
Çizelge 4.8. Otojen değirmenin çapa bağlı olarak birim uzunluk için gücü.....	20
Çizelge 5.1. Silis kumunun kimyasal analizi.....	23
Çizelge 5.2. Bej kilin özellikleri	23
Çizelge 5.3. Kahverengi kilin özellikleri	24
Çizelge 5.4. Siyah kilin özellikleri	25
Çizelge 5.5. Mask-1 kilin özellikleri	26
Çizelge 5.6. Mask-6 kilin özellikleri	27
Çizelge 5.7. Gri kilin özellikleri	27
Çizelge 5.8. K-1486 'nın özellikleri	28
Çizelge 5.9. K-730 'un özellikleri.....	29
Çizelge 5.10. Albitin özellikleri	30
Çizelge 5.11. Sodyum silikatın özellikleri	30
Çizelge 5.12. Öğütme süresinin elek bakiyesine etkisi....	40
Çizelge 5.13. Tane boyutu ile çamurun akış özellikleri ve döküm özellikleri.....	40
Çizelge 5.14. Çeşitli çamurların özellikleri.....	41
Çizelge 5.15. Küçülmeler ve +100/-80 mesh elek bakiye değerleri.....	42
Çizelge 5.16. I ₀ , I ₁ , %KK ve +325/-80 mesh elek bakiye değerleri.....	43
Çizelge 5.17. Kuru küçülme ve malzeme içindeki iri tanelerin ilişkisi.....	44
Çizelge 5.18. +100/-80 mesh elek bakiye ve numunelerin çeşitli ağırlık değerleri	47
Çizelge 5.19. Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacimleri (cm ³) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) değerleri.....	52
Çizelge 5.20. +325/-80 mesh elek bakiye ile kuru numunelerin mekanik dayanımı ilişkisi.....	53
Çizelge 5.21. +325/-80 mesh elek bakiye ve pişmiş numunelerin mekanik dayanımı ilişkisi.	53
Çizelge 6.1. Öğütme süresinin, plastizite suyu ile ilişkisi	54
Çizelge 6.2. Kuvarsın tane boyutuyla; bağ mukavemeti, su emme, pişme küçülmesi arası ilişki.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

- A** : Açık gözeneklerin hacmi (cm³).
B : Yığınsal yoğunluk (g/cm³)
D : Deformasyon miktarı (cm).
E₁ : Elek üstünde kalan miktar
E₂ : Çamurun kuru madde miktarı
EB₁ : -180/+150 µm (+100/-80 mesh) elek bakiye (g).
EB₂ : -180/+45 µm (+325/-80 mesh) elek bakiye (g).
EK : Döküm çamurunun alçı saksıda bir saatte kazandığı et kalınlığı (mm).
KK : Boyca kurutma küçülmesi (%).
K : Kapalı gözenekler içeren katı madde hacmi (cm³).
LA. : Çamurun bir litresinin ağırlığı (g).
l₀ : Malzeme üzerinde kurutmadan önce alınan uzunluk (cm).
l₁ : l₀ uzunluğunun kurutmadan sonraki uzunluğu (cm).
l₂ : l₀ uzunluğunun pişmeden sonraki uzunluğu (cm).
%P : Görünür gözeneklilik
%PK : Boyca pişme küçülmesi
%SE : Su emme.
T : Görünür yoğunluk (g/cm³).
T₁ : Alınan sulu çamur miktarı
T₂ : T₁ ağırlığındaki çamurun 110 °C 'de kurutulduktan sonraki ağırlığı
%TK : Toplam boyca küçülme.
η₁ : Döküm çamurunun ilk viskozitesi (s).
η₂ : Döküm çamurunun bir saat sonraki viskozitesi (s).
W₁ : Numunenin kurutmadan sonraki ağırlığı (g).
W₂ : Numunenin pişmeden sonraki ağırlığı (g).
W₃ : Numunenin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g). Bu ağırlık bulunurken numuneler kaynar su içinde beş saat durdu ve aynı suyun kaynaması kesildikten sonrada aynı suda yirmi dört saat bekletildi.
W₄ : Numunenin su içindeki ağırlığı (g).
γ : Yüzey gerilimi (j / m²)
t : Sinterleme zamanı
r : Başlangıç tane boyutu
ΔV : Hacimdeki değişme
V₀ : İlk hacim
ΔL : Boydaki değişim
ρ' : Yoğunluk
Γ_{EC} : Eğilme mukavemeti (kgf/cm²)
p : Deney cihazında kırma anındaki en büyük yük (kgf)
l : Yükleme tablası yatakları arasındaki açıklık, serbest açıklık (cm)
b : Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)
h : Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)

1.GİRİŞ

Seramiğin tarihi ekmek ve giyecek kadar eskidir. İnsan hayatında ilk öncelik karnını doyurmak olduğundan, toprağı pişirip kendilerine yemek kapları yapmışlardır. Daha sonraları ise barınma amaçlı toprağın kullanımı gündeme gelmiştir. İnsanoğlunun gittikçe artan ihtiyaçları, teknolojinin gelişmesinin en önemli sebebidir. Bunun sonucunda, toprak endüstrisi hızla gelişmesine sebep olmuştur. Doğaldır ki günümüz teknolojisinde toprağın kullanılmadığı hiç bir sektör kalmamıştır.

Hammaddelerin kaynağı olan toprak, ilk çağlarda doğal yapısıyla kullanılırken, günümüzde üstün teknoloji yardımıyla işlenerek kullanılmaya başlanmıştır. Seramik endüstrisinde genel hatlarıyla üretim aşamaları kırma ile başlar, bunu takiben karıştırıcılarda yapılan işlem sonucunda hazırlanan çamur,döküm sırasında şekillendirilir. Şekillenen yarı mamul fırında pişirilerek kullanıma hazır hale getirilir.

Seramikler; geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikleri olarak ikiye ayrılır. Bu sınıflamada malzemenin kullanıldığı yer, ürünü elde etmek için kullanılan malzemenin saflığı, toz tane boyutu gibi ürün özelliğini belirleyen faktörlerdir. Kaba seramikler inşaat tuğlaları, kiremitler, fayanslar, sıhhi gereçler, yer ve duvar karoları, porselen veya cam mutfak eşyaları gibi ürünlerdir. Mühendislik seramikleri, ince seramikler veya yüksek teknoloji seramikleri olarak da adlandırılırlar.

Bu çalışmada incelenen konu ise, seramik sektörünün laboratuvar çalışmalarının en önemlilerinden biri olan tane boyut dağılımının sıhhi gereç üretimindeki etkileri incelenmiştir. Sıhhi gereç üretmede kullanılan hammaddeler farklı öğütme süreleri sonucunda değişik tane boyut dağılımları göstermektedir. Bu farklı dağılımlara aralıklarına sahip ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek tane boyut dağılımının etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. SERAMİK HAMMADDELERİ

2.1. Kil

Seramik hammaddelerinden biri kildir. Kilin anaç kayası jeolojik devirlerde oluşmuş bulunan feldispatlardır.

Killer taşınması sırasında bünyelerine metal oksitleri, kalsiyum ve magnezyum karbonatları, sülfatları, kömür, humus gibi yabancı maddeleri alırlar. Bu yabancı maddeler kilin kalitesini ve beyazlığını bozar.

Montmorillonit ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + 4H_2O$) ve halloysit ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$) minerallerinden çok bulunan killere bentonit adı verilir. Killer bünyelerinde çok su tutarlar. Bu yüzden şekillendikten sonraki kurumaları sırasında çok küçülürler. Çok ince killer daha anisometrik tanelerdir, düşük alkali içerirler, daha fazla Montmorillonit minerali içerirler, daha güçlü bağlayıcıdır, daha güçlü plastik mukavemetleri vardır. Montmorillonit, çok yüksek yüzey alanına sahip kolloidal minerallerdir. Montmorillonit içeren killer doğal olarak koagule olurlar ve elektrolitlere karşı daha az hassastır [1]. Çok fazla plastik killer üründe kurutma çatlaklarına sebep olur. Çünkü bu killer çok ince tanelidir ve malzemenin su geçirmez tabakalar oluşturmasına sebep olur. Bu sebepten dolayı kurutma sırasında malzemenin dışı kururken içi yaş kalır. Buda malzeme içinde farklı gerilmelere yol açar. Farklı gerilmeler ise çatlamaya sebep olur [2].

Genel olarak killeri kaolenit grubu, montmorillonit grubu, illit grubu ve klorit grubu olarak sınıflandırabiliriz [3].

Kaolenit grubu killer; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ bileşimli olup elektron mikroskopunda ince levhalar halinde hegzagonal şekilli görülürler. Çapları 1-1500 mikron arasındadır. Kaolin grubu kil mineralleri; kaolenit, dikit, nakrit, halloysit'tir.

Montmorillonit grubu killer; atomların iç dizilişi üç tabakalı yapı şeklindedir. Bu grupta montmorillonit, beidellit, vermikülit, natronit, hectonit gibi mineraller mevcuttur.

İllit grubu killer; elektron mikroskopunda ufak, yassı levhalar halinde görülür. Atomik iç yapısı üç tabakalıdır ve bileşiminde yüksek potasyum mevcuttur. İllit grubu kil mineralleri; illit ve glaukonittir.

Klorit grubu killer; bir tabaka mika, bir tabaka brusitten ibaret kil minerallerini oluştururlar. Kimyasal bileşimi $Mg_5Si_8O_{20}$ dur. İç yapısı zincirli tiptendir. En önemli klorit grubu minerali attapuljit'tir.

Kil minerallerini meydana getiren taneler ince altıgen plakalar şeklindedir. Plakaların yüzmesi ve negatif elektrik yüklü olmaları sebebiyle birbirlerini itme özelliklerinden dolayı kilin çökmesi çok yavaş olur. Killerin bu özelliği ile sulu seramik çamurlarında süspansiyon malzeme görevi de görürler. Bu sayede kendileri yavaş çökerken diğer kolay çöken ağır malzemeleri de taşıyarak karışımın çökmesini geciktirirler.

Kaolin kile göre daha saf bir kaolinit olup, bünyesinde daha az organik madde içerir. Bu nedenle daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve pişme renkleri daha beyazdır.

Kaolinler de killer gibi suda açılmasına rağmen killer gibi plastik olmayıp özsüzdürler. Kaolinit ihtiyacı üründen istenen özelliklere göre kil ve kaolinin çeşitli oranlarda karışımı ile elde edilir.

2.2. Feldispat

Kil ve kaolinlerin ana kayacı olan feldispat bünyesindeki alkalilerden dolayı kil ve kaolinlere göre ergime derecesi düşük olan bir seramik hammaddesidir. Feldispat seramik ürünleri oluşumunda bünyesindeki alkali oranına bağlı olarak sinterleşme ve camlaşmayı sağlar. Feldispatlar sert mineraller olup, üretim işlemi içinde öğütülmeleri gerekmektedir. Feldispatlar kimyasal olarak alkali alümina silikatlarıdır. Potasyum feldispatın kimyasal bileşimi (Ortoklaz) $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ dur. Sodyum feldispatın (Albit) kimyasal bileşimi ise $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ dur..

Potasyum feldispatın sinterleşme aralığı sodyum feldispata göre daha geniştir. Yumuşamaya başlangıç sıcaklığı $1150^\circ C$ ergime sıcaklığı $1280^\circ C$ 'dir. Aradaki $130^\circ C$ 'lik fark nedeni ile potasyum feldispat, porselen gibi deforme olma noktasına kadar pişirilip camlaşan seramik ürünlerinde tercih edilir.

2.3. Kuvars

Diğer seramik hammaddelerine göre tabiatta daha saf bulunur. Kuvars (SiO_2) sert bir mineraldir ve öğütüp kullanmak gerekir. Bu nedenle ekonomik olması dikkate alınarak kuvars kumu şekli kullanılır.

Kuvars kristalleri tabiatta kuvars, kristobalit ve tridimit şeklinde bulunur. Bu üç kristal şekli sıcaklık değişimlerinde birbirlerine ve yine kendi aralarında daha farklı olan (α - β - γ) kristal yapılarına dönüşürler.

Seramik hammaddelerinin hepsi ısı karşısında hacimce küçülürler. Oysa kuvarsda ısı karşısında bu kristal değişimleri nedeniyle hacimce büyüme olur. Kuvarsın bu özelliği yüzünden çamur, sıra ve silikat tuğlaların pişirilmesinde özel bir dikkat gerekmektedir. Eğer pişme sırasında geçiş sıcaklıkları gerekli hızda olmazsa üründe çatlama görür.

2.4. Diğerleri

Kalker; tabiatta çok fazla rastlanabilen mineraldir. Kireçtaşı, mermer, kalsit, kalkerin kristal haliyken tebeşir amorf halidir. Kalkerin kimyasal bileşimi $CaCO_3$ tür. $CaCO_3$ ün ergime noktası $2700^\circ C$ gibi oldukça yüksektir. Ancak başka bir madde ile karışımı sonucu pişme sırasında, birleştiği maddenin ergime noktasını yükselteceğine tam tersi ergime noktasını düşürür.

Magnezit; ergime noktası 2000°C gibi çok yüksek bir sıcaklıktır. Magnezit ($MgCO_3$) genellikle kalsine edildikten sonra metalürji fırınları için magnezit tuğla yapımında kullanılır.

Dolomit; kalsiyum ve magnezyum ihtiyacının beraber olduğu durumlarda ihtiyacı karşılamak için kullanılır. Dolomit kimyasal bileşimi $CaCO_3MgCO_3$ dir. Ergime noktası 1925°C-2485°C arasında değişir. Mohs sertliği 3,5-4 ve özgül ağırlığı ise 2,85 'tir.

Talk; ($3MgO.4SiO_2.H_2O$) steatit denilen elektrik malzemesi ve ısı şoklarına dayanıklı olması istenen seramiklerde kullanılır.

Boksit; bünyesinde kristal su bulunan bir Al_2O_3 'tür. Kimyasal formülü $Al_2O_3.2H_2O$ dur. Alümina elde etmek için kullanılır. Boksitten elde edilen alümina seramik sanayiinde erime noktasını yükseltmek amacı ile direk kullanıldığı gibi 2000°C'lik ark fırınlarında eritilerek çok sert olan korundun elde edilmesinde de kullanılır.

Zirkon; ($ZrSiO_4$) bazı özel seramiklerde çok ince öğütülerek (5mikron) kullanılır. Bunun yanında seramik sırlarında örtücülük sağlaması amacıyla da kullanılır. Zirkonun bazlara karşı dayanımı vardır, bu sebeple alkaliye dayanımlı camlarda da kullanılır.

Bu çok kullanılan hammaddelerin dışında baryum karbonat ($BaCO_3$) sırlarda erimeyi kolaylaştırmak için, üstübeç ($2PbCO_3.Pb(OH)_2$),mürdesenk (PbO) ve sülyen (P_2O_4) düşük sıcaklıklı ve artistik sırlarda, potaş (K_2CO_3) sır ve hamurda, asit borik ve boraks fritli fayans sırlarında, çinko oksit (ZnO) ve kalay oksit (SnO_2) sır ve sır boyalarında, üleksit, pandemit ve kolemanit sır ve hamurda düşük sıcaklık için, kalsiyum fosfatsa kemik porseleninde kullanılır.

3. SERAMİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Seramikler alçı kalıpla, enjeksiyonla, ekstrüzyonla, şerit dökümle, kuru preslemeyle, soğuk isostatik preslemeyle ve sıcak preslemeyle şekillenirler.

Seramik ürünlerin şekillendirilmesinde değişik yöntemlerden yararlanılır. Kullanılacak şekil verme işleminde; üretilen parçanın boyutları, miktarı ve fiziksel özellikleri, ürünün boyca küçülme toleransı, parasal nedenler önemli rol oynar. Diğer taraftan şekillendirme işlemine bağlı olarak seramik tozları, çeşitli katkı maddelerinin ilavesiyle hazırlanır. Bu katkı maddeleri:

- a) Bağlayıcılar: Pişmemiş ürüne mukavemet kazandırmak için.
- b) Yağlayıcılar: Presleme sırasında tozlar arasındaki sürtünmeyi azaltmak için.
- c) Sinterleşme amacıyla ilave edilen katkı maddeleri yoğunluğu arttırmak için.
- d) Deflokulanlar, plastiziteyi ve ıslatma özelliklerini kontrol etmek için kullanılırken, termoplastiklerin ilavesi belirli şekillendirme işlemleri için gerekli kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılırlar.

3.1. Alçı Kalıp İle Şekillendirme

Sistemin prensibi; hazırlanan çamur alçı kalıplara dökülüp, çamurdaki suyun gözenekli alçı kalıp tarafından emilmesidir. Kalıplardaki gözenekler sayesinde meydana gelen kapilariteden dolayı su kalıba çekilir ve bu anda da su ile beraber taneler seyahat eder ve kalıba yapışıp kalıbın şeklini alır. Bu yöntem basit bir yöntem olup esas olarak her boyut ve şekildeki parça üretimi için uygundur. Ancak pişme sırasında çekme miktarı %25-30 dur. Bu durum son ürün boyutunun tahmininde zorluk yaratır. Ayrıca birkaç aşama gerektiren yavaş bir işlemdir.

Kalıbı doldurma sırasında dökümün akış özellikleri, döküm hızı (oranı), dökülen malzemenin yoğunluğu ve akma mukavemeti, drenaj sırasında akış özellikleri, büzülme ve parçanın kalıptan çıkarılması, parçanın yüzey düzgünlüğü ve fazlalıkların kesimi sırasındaki plastikliği ve mukavemeti kontrol edilmelidir.

Oksit, karbür, nitrür vb. seramik çamurları hazırlanmasında, az miktarda (%1 den az) bağlayıcı, çamurun psödoplastik özelliğini ve dökümün mukavemetini artırır. Kısmi olarak deflokule edilmiş çamurun döküm oranı yüksektir fakat ürünün gözenekleri de yüksektir. Yeterli miktarda kolloid içeren ve minimum miktarda bağlayıcı içeren deflokule edilmiş çamurlardan elde edilmiş dökümün gözenek boyutu düşük, yaş mukavemeti yüksek olur fakat döküm kırılmandır ve sinterlemeden önce yapılacak yüzey işlemlerine karşı dayanıklı değildir. Az miktarlarda ince kil ve organik bağlayıcı içeren sistemler daha plastiktir ve yüzey işlemleri ve taşıma sırasındaki gerilmelere karşı daha dayanıklıdır.

Alçı düşük maliyeti, iyi yüzey düzgünlüğü ve detayı, yüksek gözeneklilik ve düşük gözenek boyutu, düşük boyutsal genleşme üstünlüklerine sahiptir. Bunların yanında su ile kısmi olarak doyunca düşük basma mukavemeti, düşük aşınma

dayanımından dolayı erozyon, suda çözünmesi ve düşük termal şok dayanımı gibi zayıf yanları vardır.

Ürünü kalıptan ayırmak için talk ile kalıbın çamurla temas eden kısmı kaplanır.

3.2. Enjeksiyon İle Şekillendirme

Enjeksiyonla şekillendirme sürekli üretim yöntemidir. Üretim hızı yüksek olup maliyeti düşüktür. Sistemin temel prensibi büyük bir haznedeki malzemenin daha küçük bir kesitten basınçla çıkmasıdır. Malzemenin sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, piston hızı, kalıp şekli, kalıp sıcaklığı, akış hızı, boşluk basıncı, soğuma hızı, şekillendirmede önemli yer tutar. İlave olarak termoplastik reçine ve plastisiteyi artırıcı maddeler kullanılır.

3.3. Ekstrüzyon İle Şekillendirme

Seramik tozları, yeterli plastisiteyi sağlamak amacıyla %25-30 oranında organik bağlayıcı ile karıştırılır ve rutubet kontrol edilerek istenilen boyutlarda ekstrüzyona tabi tutulur. Tüp, çubuk, tuğla, fayans gibi sabit kesite sahip ürünlerin eldesin de kullanılır.

3.4. Şerit Döküm Şekillendirmesi

Bugünkü modern teknoloji ince şerit ve plaka halinde seramiklere ihtiyaç duymaktadır. Bu ürünler için genellikle şerit döküm yöntemi uygulanmaktadır. Şerit döküm elektro seramiklerin üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Şerit döküm yöntemi inorganik seramik malzemelerin sıvı içinde dağıldığı seramik çamurunun hazırlanması ile başlar. Burada sıvı faz çözücü içinde seyreltilmiş halde organik bağlayıcılar ile plastisiteyi modifiye eden katkı maddelerini içermektedir.

Hazırlanan çamur düz bir yüzeye yayılır ve çözücünün bünyeden uçurularak uzaklaşması sağlanır. Böylece kurutulan malzeme inorganik seramiği ve geçici plastik bağlayıcı içerir. Kurutulan şerit yüzeyden sıyrılabılır. Seramik ürün kağıt veya deri gibi ele alınabilir.

Doktor bıçağı ile üretilen şeritler, çok tabakalı çip kapasitörler de, termistör, ferrit, piezoelektrikler gibi pasif elektronik parçaların üretiminde geniş ölçüde kullanılır.

3.5. Kuru Presleme İle Şekillendirme

Bu yöntemde toz veya granül olmuş seramik tozları uygun bir bağlayıcı ve yağlayıcı ile karıştırılarak metal bir kalıp içine tek eksenli yük altında kuru olarak sıkıştırılır. Granül toz püskürtmeli kurutucularla elde edilir. İşlemin kademeleri; kalıbın

doldurulması, sıkıştırılması, şekillendirilmesi ve parçanın çıkartılmasıdır. Bu işlemler boyunca kalıp duvarının düzgünlüğü, kalıbın aşındırıcılığı, termal ve akış transferi döküm için önemli yer tutarken toz boyutunun dağılımı malzeme özellikleri açısından önemlidir. Bu yöntem plaka gibi düz parçaların üretilmesinde kullanılır.

3.6. Soğuk İsostatik Presleme İle Şekillendirme

Bir boyutu uzun, karmaşık şekilli ya da büyük parçaların kuru presleme ile sıkıştırılması zordur. Bu yüzden bu parçalar isostatik presleme yöntemi ile isopres denilen aletlerle şekillendirilirler.

Kuru ve yaş adında iki ayrı yöntemi vardır. Yaş yöntemde ayrı bir üniteye esnek kalıp tozla doldurulur, havası alınır ve sızdırmayacak bir şekilde kapatılır. Daha sonra sıvı içinde üzerine basınç uygulanarak preslenir. Preslemeden sonra kalıp açılır ve parça içinden alınır. Kuru torba yöntemi ise kuru preslemeye benzer ancak farkı basınç çevresel olarak esnek bir kalıp yardımıyla yine sıvı ile iletilir. Yüksek verimlilik ve yakın boyutsal toleranslar için geliştirilmiştir.

3.7. Sıcak Preslerle Şekillendirme

Seramik ürünlerinin yoğunluğunu arttırmak için genellikle sıcak preslemeye başvurulur. Sinterleme yüksek sıcaklık ve uzun bir sürede yapılırsa bile son üründe yoğunluk ancak %80-90 oranında gerçekleşir. Sinterlemede yoğunluk difüzyon işlemine dayandığından tam bir yoğunlaşma ancak difüzyonun hızlı olduğu ergime noktasına yakın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Ancak bu uygulamada bir takım zorluklara neden olur. Örneğin refrakter ve seramik malzemelerin ergime noktaları çok yüksek olduğundan, çok yüksek sıcaklıklarda sinterleme hem teknik açıdan hem de ekonomik açıdan mümkün değildir. Diğer taraftan süper alaşımlar için de yüksek sıcaklıklarda sinterleme tane büyümesi ve mevcut fazların kararlılığı açısından pratik olarak mümkün değildir. Benzer şekilde, süper iletken seramiklerin üretiminde de faz dönüşümü nedeni ile yüksek sıcaklıklarda sinterleme yapmak mümkün değildir. Bütün bu güçlükler sinterlemenin tam bir yoğunlaşma için yeterli olmadığını gösterir.

Sıcakta presleme iki şekilde uygulanır. Birincisi kuru preslemeye benzer ancak presleme fırın içinde yapılır. Bu yöntemde tozlar tek yönde sıkıştırılır. Diğer yöntem ise sıcak isostatik preslemedir (HIP). Bu yöntemde ise daha düşük sıcaklık ve basınç uygulanır. Birinci yöntemden farkı basıncın her yönden uygulanmasıdır.

HIP işleminde yoğunlaşma büyük ölçüde atomların yayınması ile değil toz malzemenin hareketi ile gerçekleşir. Bunun sonucu olarak düşük sıcaklıklarda veya daha kısa sürede yoğunlaşma gerçekleşebilmektedir. Sıcaklık, basınç, toz boyutu ve malzemenin mekanik davranışı HIP 'de etkilidir.

Günümüzde HIP işlemi; takım çeliklerinin, nükleer yakıtın, titanyum alaşımlarının, refrakter malzemelerin, seramik kompozitlerin ve süper alaşımların üretiminde kullanılmaktadır [4].

4. TANE BOYUTUNU KÜÇÜLTME

Yeryüzünde bulunan değerli madenler her zaman kullanıma hazır değildir. Onların sanayide kullanılabilir hale getirilmesi gerekir. Sırasıyla patlatma, kazma, kırma, öğütme, cevher zenginleştirme işlemlerinden tümü veya birkaçı hammaddelere uygulanır.

İlk önce hammaddeler madencilik işlemleriyle yer yüzünden alınır. Bu işlem için hammaddenin özelliğine göre önce patlatma işlemiyle yeryüzünden koparılması gerekebilir veya sadece kazarak da yeryüzünden alınabilir. Bu sebeple patlatma tane boyutunu küçültme işleminin ilk aşamasıdır. Yer yüzünden koparılan iri taneli hammaddeleri belirli tane boyutuna indirmek için ufalama işlemi gerekir. Kırma ve öğütme işlemlerinin tümüne ufalama işlemi denir.

4.1. Kırma

Kırma cevherin sabit bir yüzey üzerinde sıkıştırılması veya sabit bir yüzeye çarptırılmasıyla şok oluşturarak gerçekleştirilir. Kırıcılar üç ana grupta toplanırlar. Çeneli kırıcılar ve Gyrotory kırıcılar birincil kırıcıları oluştururken; konik kırıcılar, merdaneli kırıcılar ikincil kırıcıları; çekiçli kırıcılar ve şoklu kırıcılar üçüncül kırıcıları oluşturur.

Çeneli kırıcılar; birbirine dar açı ile yerleştirilmiş biri sabit diğeri hareketli iki metal plakadan oluşur. Çift istinat (dayanak) kollu, tek istinat kollu, dodge çeneli kırıcısı çeşitleri vardır.

Gyrotory kırıcılar; çelikten yapılmış bir kırma kafası ve onu çevreleyen yine çelikten yapılmış iki mantodan oluşmaktadır. Kapasite önemli ise bu kırıcılar kullanılır.

Konik kırıcılar; Gyrotoryden farkı yüksekliğinin daha az olmasıdır. Cevherleri 0.5cm e kadar kırabilir.

Merdaneli kırıcılar; zıt yönde birbirine doğru dönen iki merdaneden oluşmaktadır. Merdanenin biri hareketli diğeri sabittir. Hatta sabit merdane yerine sabit bir levha kullanılan çeşitleri de vardır.

Çekiçli kırıcılarda; çekiçler bir rotora mafsalla bağlıdır ve sağa sola hareket edebilirler.

Şoklu kırıcıların çekiçli kırıcılardan iki farkı vardır. Bunlar kırıcı elemanların rotora sabit olarak bağlanmaları ve çıkışlarının eleksiz olmasıdır.

Bunların dışında işçilerin balyozla iri taneleri öğütmeden önce parçalamaları da bir tür kırma işlemidir.

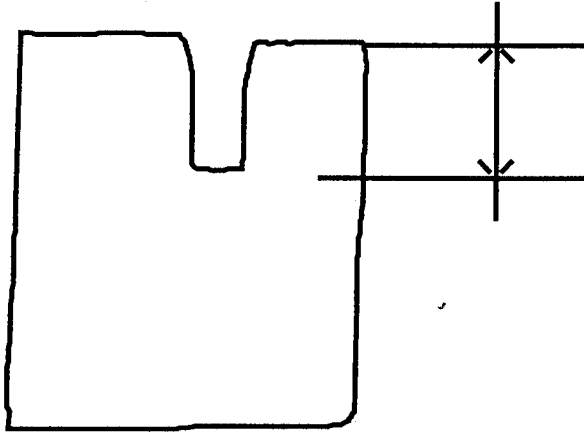
4.2. Öğütme

Kırılan hammaddeler öğütme işlemine tabi tutulurlar. Kuru ve yaş olarak yapılabilen öğütme, kırma gibi bir boyut küçültme işlemidir. İşlemin uygulandığı

parçanın ve işlem sonrası ürünün boyutları kırmaya kıyasla daha küçük olduğundan kullanılan araçların yapıları buna bağlı olarak kırıcılardan değişiktir. Öğütücü yüzeylerin birbirine temasını ancak araya giren parçalar önler; aksi halde bu yüzeyler temas halindedir. Kırıcılarda ise bu yüzeyler hiç bir zaman temas etmezler. Yapıdaki bu açık fark bir aracın kırıcı veya öğütücü (değirmen) diye adlandırılmasına yeterlidir [5].

4.2.1. Değirmenler

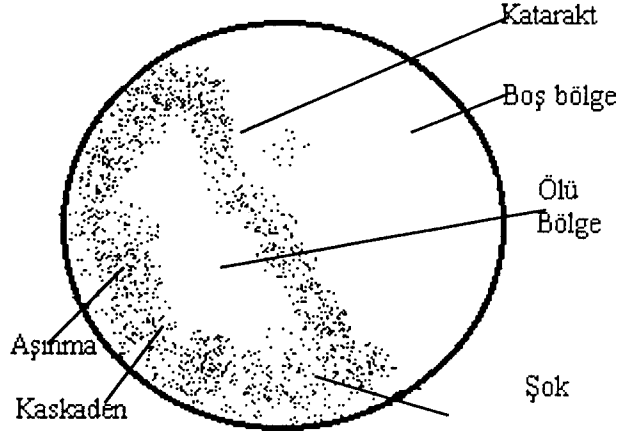
Öğütme, ufalama işleminin en son aşamasıdır. Bu işlemde cevher taneleri, şok ve aşındırma işlemleri sonucu, kuru veya yağ olarak ufalanmaktadır. Öğütme işlemi yatay eksenleri etrafında dönen ve değirmen adı verilen aygıtlarla yürütülür. Aygıt içerisinde öğütme ortamı denilen ve serbest hareket edebilen öğütme elemanları bulunur. Öğütme elemanları çelikten çubuklar, bilyalar, sert kayalar ve bazı durumlarda cevherin kendisidir. Öğütme işleminde, boyutları 5 ile 250 mm. arasında değişen cevher taneleri, boyutları 10 ile 300 mikron arasında değişen tanelere indirgenirler [6,7].



Şekil 4.1. Tane üzerinde oluşan çatlak

Şekil 4.1. de tanecik ve onun üzerinde oluşan çatlak görülmektedir. Değirmenlerin iç yüzeyleri astarla kaplıdır. Astarların iki görevi vardır. Birincisi, değirmen gövdesinin aşınma sonucu zarar görmesini önlemek, ikincisi ise öğütme elemanlarının değirmen içinde belirli yüksekliğe çıkmasını sağlamaktır. Değirmenin dönmesi sırasında öğütme elemanları ile astar arasındaki sürtünmeden dolayı, öğütme elemanları dinamik dengeye ulaşınca kadar yukarı kaldırılırlar. Öğütme elemanlarının bir kısmı, bu hareket sırasında, geriye doğru kayarken, bir kısmı biraz daha yükseldikten sonra düşerler. Düşük dönme hızlarında veya astarların düz olması durumunda, öğütme elemanları yuvarlanarak aşağıya kayarlar. Bu harekete kaskaden denir ve sonucunda aşınma ile öğütme gerçekleşir. Kaskaden hareketi, oldukça ince tane oluşumuna ve değirmen astarlarının daha fazla aşınmasına neden olur. Yüksek hızlarda veya değirmen astarlarının düz olmaması durumunda öğütücü elemanlar, değirmen içinde, daha

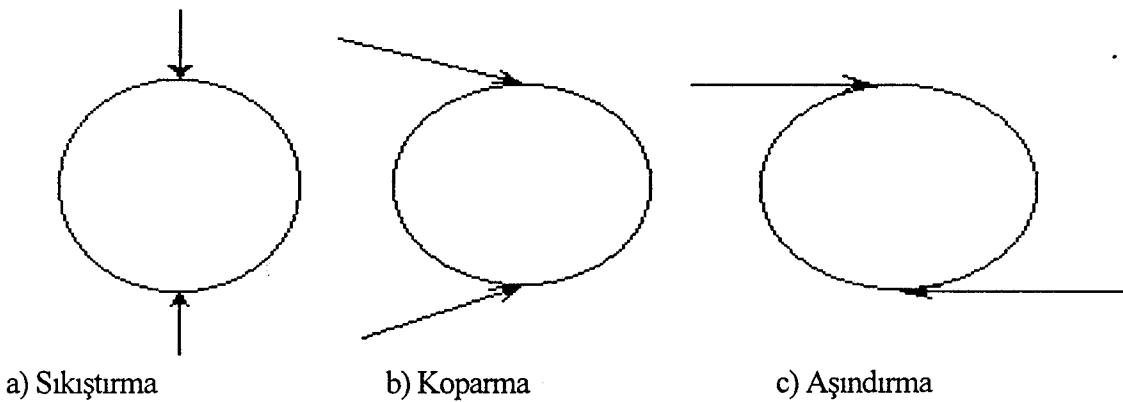
yükseğe çıkarılırlar ve buradan düşerler. Düştikleri yerlerde bulunan cevher parçalarını, şok ve aşındırma yoluyla öğütürler. Bu hareket ise katarakt adını alır ve daha iri ürün sağladığı gibi daha az astar aşınmasına sebep olur (Şekil 4.2.) .



Şekil 4.2. Değirmende kaskaden ve katarakt hareketleri

Bir değirmendeki öğütme; öğütme ortamının miktarına ve tipine, hareket şekline ve öğütücü elemanlar arasındaki boşluklara, öğütme ortamının, değirmenin dönme hızına, beslenen cevherin özelliklerine ve kullanılan devrenin tipine bağlıdır [7]. İyi bir öğütme ile pişme esnasında kimyasal reaksiyonlar daha da hızlı olur [8].

Bir değirmende cevher tanelerinin ufalanması Şekil 4.3. 'de görülen sıkıştırma, koparma ve aşındırmadan oluşan üç mekanizmayla gerçekleşir [6].



Şekil 4.3 Öğütmede etkili olan üç mekanizma

Sıkıştırma, tane yüzeyine uygulanan dik kuvvetler ile; koparma, eğik kuvvetlerden dolayı; aşındırma ise paralel kuvvetlerin etkisiyle oluşur. Kırılma tanelerin elastisitelerine bağlıdır [7].

Çizelge 4.1. de malzemelerin sertliklerinin karşılaştırılması amacıyla Mohs Sertlik sıralaması verilmiştir [9]. Sertlik hammaddenin öğütülmesi ile direk ilgilidir.

Çizelge 4.1. Mohs sertlik sıralaması

Mineral	Mohs sertlik değeri
Talk	1
Jips	2
Kalsit	3
Flüorit	4
Apatit	5
Ortoz	6
Kuvars	7
Topaz	8
Korundum	9
Elmas	10

4.2.2. Değirmen Çeşitleri

Çakıl değirmenler, çubuklu değirmenler, bilyalı değirmenler, otojen değirmenler, titreşimli değirmenler akışkan enerjili öğütücüler, attiratör değirmenler, tröst değirmeni öğütücü olarak kullanılırlar.

4.2.2.1. Çakıl değirmenler

Bu çeşit değirmenlerde, öğütücü eleman olarak, metal bilyalar yerine, çakıllar kullanılmaktadır. Özellikle, cam kumu, seramik hammaddeleri gibi öğütülecek malzemelerde herhangi bir metal kirlenmesi istenmiyorsa, çakıl değirmenlerin kullanılması kaçınılmazdır. Çakıllar, doğal olabildikleri gibi amaca uygun olarak da üretilebilirler. Çakıl değirmenler sileks veya seramik astarlarla kaplanırlar.

Çakıl değirmenler, görünüm olarak, bilyalı değirmenlere benzerler. Çakılların yoğunluğu, metal bilyalara göre daha düşük olduğundan aynı hacim ve doldurma oranına sahip bir çakıl değirmen, bilyalı değirmene göre daha az güçle çalıştırılır. Ancak kapasiteleri daha düşük olacaktır. Bir bilyalı değirmenle, aynı kapasiteye sahip bir çakıl değirmenin boyutları karşılaştırıldığında çakıl değirmenin boyutları çok daha büyük olacaktır [6].

4.2.2.2. Çubuklu değirmenler

Bu tür değirmenler, ince kırma aygıtları olarak ele alınabilecekleri gibi, kaba öğütme araçları olarak da değerlendirilebilirler. Çubuklu değirmenlerin en belirgin özelliği, uzunluklarının çaplarının 1,5 ile 2,5 katı kadar olmasıdır. Uzunluk, çap oranının 2,5 'dan fazla olmaması gerekir. Aksi durumda, değirmen iç çapından 10 ile 15cm daha kısa olan çubukların çok uzun olmaları gerekmektedir. Çok uzun çubuklar, eğilme ve bükülme eğilimindedirler. Bu özellik değirmenin uzunluğunu belirleyen bir unsurdur.

Çubuklu değirmenlere beslenen cevherin tane boyunun, değirmende birikmelerin önlenmesi için, 25mm 'den daha ince olması istenir. Beslenen cevherin nem oranının %0 ya da %50 'den daha yüksek olması ideal bir durumdur. Bununla beraber, çubuklu değirmen öğütmesi, genellikle yaş olarak yapılır. Kuru malzeme, düşük bir akıcılığa sahiptir ve çubukların bükülmesine ve kırılmasına yol açan çubuk şişmesine neden olur. Kuru öğütme, kok kömürünün ve çimento klinkerinin öğütülmesi gibi, özel durumlarda kullanılmaktadır.

Çubukların, eğilip, bükülerek, değirmen içersinde rasgele konum almalarını engellemek için, çubuk uzunluğunun değirmen çapına oranının 1,4 ile 1,6 arasında olması önerilmektedir. Bu oran 1,25 'den az olduğunda çubukların değirmen içersinde gelişigüzel bir konum almaları tehlikesi ortaya çıkar. 3,8m 'den daha büyük değirmen çapları için çubuk kalitesi ve elde edilebilirliği göz önüne alınmalıdır. Çizelge 4.2. çubuk uzunluğu ve değirmen çapı oranını vermektedir. 6,8m, kalitesi yüksek çubuklar için bir sınırdır. Bu uzunluk çubuk kalitesinin ve üretim sınırlamasının bir fonksiyonudur [6].

Çizelge 4.2. Değirmen çapı ve çubuk uzunluğu arası ilişki

Değirmen çapı (Astarlar arası) Metre	Çubuk uzunluğu	
	L = 1,5 D Metre	L = 1,40 D Metre
3,81	4,76	5,33
3,96	4,95	5,54
4,11	5,14	5,75
4,27	5,34	5,98
4,42	5,53	6,19
4,57	5,71	6,40
4,72	5,90	6,61
4,88	6,10	6,83
5,03	6,29	7,04

Çubukların kesitleri, kare, altıgen veya yuvarlak olabilir. Çubuk çapları, beslenen malzeme ve ürün için kritik değildir. 2,5 ve 4cm çaplı çubuklar, aynı boylu besleme cevherinden aynı ürünü verirler. Çubukların yoğunluğu da öğütmede kritik

değildir. Yoğunluğu $2,9 \text{ g/cm}^3$ olan çubuklarla yoğunluğu $7,3 \text{ g/cm}^3$ olan çubuklar aynı sonucu sağlarlar. Çubuk çapları genellikle 25 ile 150 mm arasında değişmektedir. Çubukların kimyasal bileşiminin %0,85-1,03 C, %0,60-0,90 Mn, %0,15-0,30 Si, maksimum % 0,05 S olması önerilmektedir. Çubuklu değirmenlerin en uygun çubuk doldurma oranı değirmen hacminin %35 'idir. Bu oran aşınma sonucu %20-30 'a kadar düşer ve yeni çubukların eklenmesiyle bu değerde tutulur. Bu çubuk oranı boşluklarla birlikte değirmen hacminin yaklaşık %45 'ine karşılık gelmektedir. Aşınan çubuklar 25mm 'den daha düşük çaplara düşünce değiştirilmektedir.

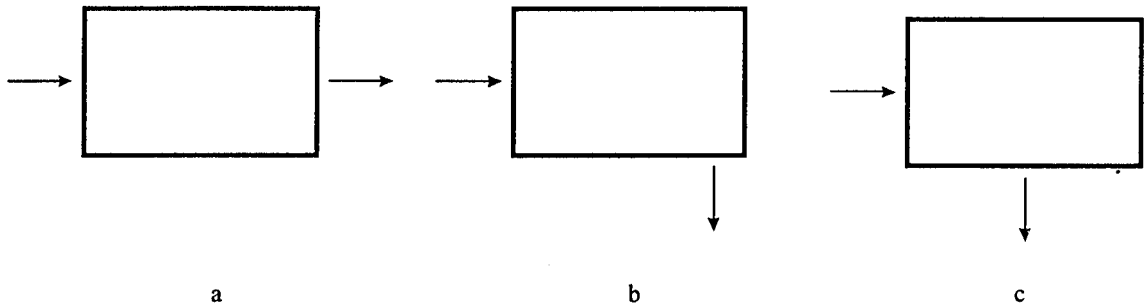
Çubuklu değirmenlerin dönme hızları değirmen çapına göre değişiklik gösterir. Değirmen hızı kritik hızın yüzdesi olarak Çizelge 4.3. 'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çubuklu değirmenlerin hızları

Değirmen çapı (m)	% kritik hız
0,91 - 1,83	76 - 73
1,83 - 2,74	73 - 70
2,74 - 3,66	70 - 67
3,66 - 4,57	67 - 64

Çubuklu değirmenlerin iç yüzeyleri aşınmaya dayanıklı astarlarla kaplanır. Astar malzemesi Ni-Cr-Fe alaşımı, yüksek karbonlu çelik, manganez çeliği, lastik veya seramik olabilir. Çubuklar astarlarla çizgisel temasta bulunacağından astarlara gelen yük düzenli olarak dağılır. Bu nedenle çubuklu değirmenlerdeki astar tasarımının çok sağlam olması gerekmez.

Çubuklu değirmenler, boşaltma sistemleri açısından taşmalı, sondan çevresel ve ortadan çevresel olarak üçe ayrılır (Şekil 4.4.).

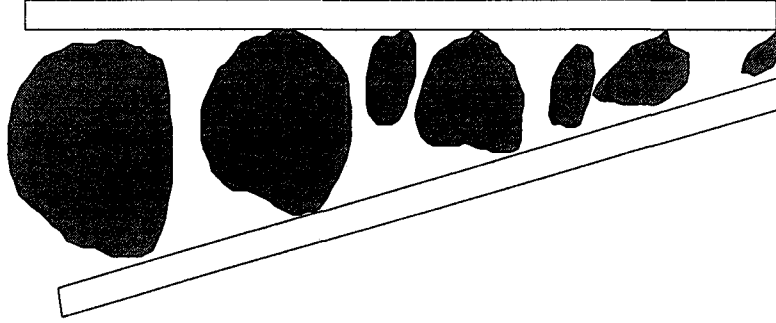


Şekil 4.4. Boşaltma sistemlerine göre çubuklu değirmenler

- a) Taşmalı
- b) Sondan çevresel
- c) Ortadan çevresel

Değirmenin taşmalı olması durumunda akışın kolaylaştırılması için çıkış ağız açıklığı 5-10 cm daha geniş tutulur. Taşmalı değirmenler genellikle yaş öğütmede tercih edilirlerken, çevresel boşaltmalı olanlar kuru öğütme işlemlerinde kullanılırlar.

Çubuklar arasında besleme tarafında bir açığı olduğundan aşırı ince tane üretimi söz konusu değildir (Şekil 4.5.). Cevher taneleri çubuklar arasında iriden inceye doğru bir dizilim gösterirler.



Şekil 4.5. Öğütme sırasında çubukların konumu

Çubuklu değirmenlerin çektiği güç (4-1) bağıntısı ile hesaplanır.

$$KW = 1,752 \cdot (6,3-5,4 \cdot V_p) \cdot FCs \cdot \frac{1}{D^3} \quad (4-1)$$

Burada :

KW : Bir ton çubuk ağırlığı için harcanan güç (kilovat)

D : Değirmen iç çapı (m)

V_p : Değirmen hacminin çubukla yüklü oranı

FCs : Kritik hızın kullanılan oranı

Çizelge 4.4. yaygın olarak kullanılan çubuklu değirmen boyutları için hız, çubuk yükleme oranı ve güç tüketiminin nasıl değiştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Çubuklu değirmenlerin güç gereksinimi

Değirmen		Çubuk boyu (m)	L/D	Değirme hızı		Güç BG	
Çap (m)	Boy (m)			n	%Cs	Yükleme	hacmi
						%35	%45
0,91	1,22	1,07	1,40	36,1	74,5	7	8
1,52	2,44	2,69	1,67	25,7	74,7	57	64
2,44	3,66	3,51	1,53	19,4	69,3	275	310
3,05	4,27	4,11	1,44	16,8	67,0	507	572
3,66	4,88	4,72	1,37	15,1	66,4	906	1023
4,12	5,79	5,64	1,44	14,0	65,6	1385	1562
4,57	6,10	5,94	1,36	13,0	64,3	1853	2091

Çubuklu değirmen öğütmesinde cevher tane boyu, cevherin sertliği ve öğütme işleminin yaş veya kuru olmasına bağlı olarak çubuklardaki aşınma, öğütülen cevherin % 0,01 ile %0,1 'i arasında iken astar aşınması %0,002 ile %0,2 arasında değişmektedir. Aşınma öğütmede tüketilen güce göre de belirlenebilir. Tüketilen kilovat saat başına aşınan metal miktarları, gram cinsinden şöyledir:

		g/kWh
Yaş öğütmede	çubuklar için	75-90
	astar için	15
Kuru öğütmede	çubuklar için	15
	astar için	3

Çubuklu değirmenlerde kapasite, küçültme oranına doğrudan bağlıdır. Aşağıdaki değerler örnek olarak verilebilir.

Küçültme oranı	5,4	17	25,00	33,00	67,00
Kapasite oranı	1,0	0,8	0,37	0,27	0,13

Çubuklu değirmenler diğer öğütme araçlarıyla karşılaştırıldığında aşağıdaki avantajlara sahip oldukları görülür.

- Öğütme şekli ürünün tane boyu aralığını kontrol ettiğinden kapalı devre öğütmeye gerek kalmaz.
- Öğütme ortamı (çubuk) oldukça ucuzdur.
- Çubuklar arası boşluk az olduğundan, öğütme verimi yüksektir.
- Aşınan çubukların değiştirilmesi kolaydır.

4.2.2.3. Bilyalı değirmenler

Bilyalı değirmenler ufalama sürecinin en son aşamasında kullanılan öğütme aygıtlarıdır. Bilya yüklü değirmenler bilyalı ve tüp değirmenler olarak sınıflandırılabilirler. Bilyalı değirmenlerde uzunluk ve çap oranı 1,5 'dan fazla değildir. Tüp değirmenlerde ise bu oran 1,5 'dan oldukça yüksektir. Bilyalı değirmenlerde öğütme işlemi yaş veya kuru olarak yapılabilir. Kuru öğütmede cevherin nem içeriği %1 'den daha az olması istenir. Aksi durumlarda nemli cevher hem bilyalara hem de astarlara sıvanır.

İnce öğütme işlemi için en uygun besleme boyutunun 1 mm olduğu bulunmuştur. Bazen çok daha iri taneli besleme yapılabilir. 3cm çaplı bilyalar içeren bir değirmene beslenen cevher tane boyutu yaklaşık olarak 1mm 'dir. Tüp değirmenler için besleme tane boyutu genellikle 2mm 'den daha iridir. Çizelge 4.5. de uzunluk ve çap oranı, öğütme tipi, besleme tane boyu ve bilya boyu arasındaki ilişkiler verilmiştir.

Çizelge 4.5. Uzunluk - çap oranı, öğütme tipi, besleme tane boyu ve bilya boyu arasındaki ilişki

Öğütme tipi	Besleme boyu (μ) (% 80 'inin geçtiği)	Bilya (mm)	Uzunluk / çap oranı
Yaş	5000 - 10000	60 - 90	1 / 1 - 1,25 / 1
Yaş	900 - 4000	40 - 60	1 / 1,25 - 1,75 / 1
Yaş - kuru	İnce cevher - tekrar öğütme	20 - 30	1,5 / 1 - 2,5 / 1
Yaş - kuru	İnce cevher - açık devre	20 - 50	2 / 1 - 3 / 1
Kuru	5000 - 10000	60 - 90	1,3 / 1 - 2 / 2
Kuru	900 - 4000	40 - 50	1,5 / 1 - 2 / 1

Bilyaların iriden inceye doğru bir dizilim gösterdiği durumu Hardinge değirmenlerinde görmek olasıdır. Hardinge değirmenlerinde konik kısmın açısı 30° 'dir. Değirmenin dönmesiyle oluşan merkezkaç nedeniyle iri bilyalar beslenme kısmında, ince bilyalar ise çıkış kısmına doğru toplanırlar. Böylece değirmen içerisinde kademeli bir öğütme sağlanmış olur.

Bilyalı değirmenlerde, çap ve dönüş hızı arasındaki ilişkiyi Çizelge 4.6. 'dan görmek olasıdır.

Çizelge 4.6. Bilyalı değirmenlerde çap ve hız arasındaki ilişki

Değirmen çapı (m)	kritik hızın yüzdesi
0,91 - 1,83	80 - 78
1,83 - 2,74	78 - 75
2,74 - 3,66	75 - 72
3,66 - 4,57	72 - 69
4,57 - 5,49	69 - 66

Bilyalar dökme çelik, dökme demir veya dövme çelikten ve seramik malzemelerden üretilebilirler. Dövme çelik bilyaların daha kaliteli oldukları kabul edilmektedir. Genel olarak bilyalar küresel şekillidir. Bununla beraber silindirik, konik ve diğer düzensiz şekilli olanlarda kullanılmaktadır. Bilyalardaki aşınmanın düzenli olması tercih edilen bir durumdur. Bilyalar normal olarak değirmen hacminin %40 ile %45 'i kadar bir yer kaplarlar. Bununla beraber %50 ve biraz daha fazla olduğu durumlar da vardır.

Değirmen çapı, uzunluğu ve hızı, bilya çapı ile değirmenin çektiği güç arasındaki ilişki Çizelge 4.7. 'da görülmektedir.

Çizelge 4.7. Bilyalı değirmenlerde çap, uzunluk, hız, güç ve bilya çapı arasındaki ilişki

Değirmen		Bilya	Değirmen			Değirmen gücü (BG)		
Çap (m)	Boy (m)		Çap(mm)	Hız D / D	kritik hız %	Bilya yük	oranı	
					% 35	% 40	% 45	
0,91	0,91	50	38,7	79,9	7	7	7	
1,83	1,83	50	25,5	78,0	80	85	89	
2,89	2,74	50	19,2	75,0	367	390	406	
3,96	3,96	50	15,6	71,7	1063	1130	1177	
4,83	4,88	64	13,5	68,9	2084	2217	2309	
5,49	5,49	75	12,4	67,5	3077	3276	3414	

Çubuklu değirmen astarlarının tersine bilya ile astar arasında noktasal değme söz konusu olduğundan, bilyalı değirmen astarlarının daha sağlam olmaları istenir. Değirmen içine yerleştirilen astar parçalarının her biri genellikle 38cm ile 60cm arasında değişmektedir. Bu genişlikteki astar parçaları 12° ile 20° 'lik bir değirmen iç yayını kaplamaktadır. Astar kalınlığı bir çok etkene bağlıdır. Genellikle 20cm 'den daha kalın astarların yapılması imalat açısından zordur. Ayrıca kalın astarlar öğütme kapasitesini düşürür. [6]

Öğütülecek mal iri ise iri çaplı

Öğütülecek mal ince ise ufak çaplı

Öğütme ürünü iri isteniyorsa iri çaplı

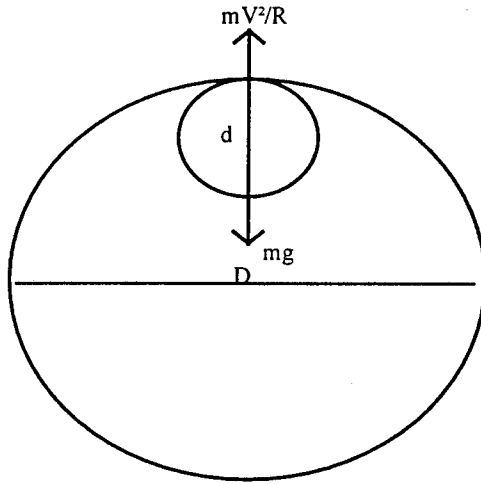
Öğütme ürünü ince isteniyorsa daha ufak çaplı ortam

kullanmak gerekir. Ayrıca sert mal için yumuşağa nazaran daha iri bilya kullanılır [5].

Çeşitli formüllerle cevher boyutu ve bilya boyutu arasındaki ilişki kurulmuştur, fakat bunlar tatmin edici değildir [7]

Dönme hızı çok yüksek olursa, öğütme elemanları düşmeden değirmen astarına yapışık olarak kalırlar. Bu durumda öğütme söz konusu değildir. Öğütme elemanlarının değirmen iç yüzeylerine yapışarak, değirmenle birlikte dönmelerine neden olan değirmen hızı, kritik hız olarak tanımlanır [6].

Çapı D olan bir değirmen içindeki öğütme elemanının çapı d olsun. Değirmenin kritik hıza ulaşması durumunda kütlesi m olan öğütme elemanı değirmen iç yüzeyine yapışarak değirmenle birlikte döner (Şekil 4.6.) [6,7,11].



Şekil 4.6.Değirmen içinde öğütme elemanı

Kritik hızla dönmekte olan bir değirmen için şu eşitlik yazılabilir;

$$\frac{m \cdot V^2}{R} = m \cdot g \quad \text{veya} \quad V^2 = R \cdot g \quad (4-2)$$

Burada :

m: Tanenin kütlesi (g)

V: Tanenin hızı (m/s)

g: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

R: Öğütme elemanının ağırlık merkezinden değirmen merkezine kadar olan uzaklıktır(m).

$$V = \frac{N \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{60} \quad (4-3)$$

Burada:

N: Değirmenin dakikadaki devir sayısı (dev/dak)

Eşitlik (4-3) ' ün sağ tarafı eşitlik (4-2)' de yerine konulduğunda;

$$N_k = \frac{60 \cdot \sqrt{g}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R}} \quad (4-4)$$

Burada :

N_k : kritik hız (dev/dak)

Burada R 'nin yerine $(D/2-d/2)$ yazılabilir. d çok küçük olduğundan iptal edilir. O zaman eşitlik (4-4)

$$N_k = \frac{60 \cdot \sqrt{g}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(D/2)}} \quad (4-5)$$

olur. Buradan

$$N_k = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \quad \text{dev/dak} \quad (4-6)$$

şeklini alır. Eşitlik (4-6) değirmen astarı ile öğütme elemanı arasında kayma olmadığını varsaymaktadır. Değirmenler, uygulamada, kritik hızlarının % 50 - %90 arasındaki hızlarla çalıştırılırlar.

Hız arttığında kapasitede artar [7], fakat bu etki fazla değildir. Değirmenler kritik hızının yaklaşık %40-50 'sinin üzerinde çalışır. Kritik hız oranı iri ve sert malzemelerin kullanımıyla artabilir.

4.2.2.4. Otojen değirmenler

Otojen öğütme, tuvenan veya iri olarak kırılmış cevherin, herhangi bir öğütücü ortam kullanılmaksızın bir değirmende öğütülmesi işlemini ifade eder. Yarı otojen öğütme, tuvenan veya irice kırılmış cevherin bir değirmende metal bilyalarında kullanılmasıyla öğütülmesi demektir. Parça öğütmesi, iri cevher parçalarının aynı cevherin ince tanelerini bir değirmende öğütmesi işlemini belirtmek için kullanılır. Bu işlemin olabilmesi için öğütülecek cevherin ince kırma işleminden geçirilmesi gerekmektedir.

Otojen değirmenlerin en belirgin özelliği çapın uzunluğa oranının çok yüksek olmasıdır. Öyle ki bu oran 5 'e kadar çıkabilir. Otojen öğütme işleminde geleneksel öğütmede olduğu gibi yaş ve kuru olarak yapılabilir. Cevher birincil kırıcıdan çıktığı haliyle değirmene beslenmelidir. Çizelge 4.8. de otojen değirmenin çapa bağlı olarak birim uzunluk için gücü verilmiştir.

Çizelge 4.8. Otojen değirmenin çapa bağlı olarak birim uzunluk için gücü

Değirmen çapı (m)	Astarlar arası çap (m)	Güç (BG) / m
5,50	5,23	36
6,10	5,83	36
7,32	7,05	71
8,54	8,27	102
9,76	9,50	139
10,98	10,70	183
12,20	11,90	233

Avantajları şöyle sıralanabilir

- Sadece bir ufalama aygıtı ile 25cm 'den 0,1mm 'nin altına kadar boyut küçültmesi yapabilmektedir.
- Öğütülen cevherin metal bilya kullanılmadığı için kirlenmesi söz konusu değildir.
- Ufalanma faz boyutlarında olma eğiliminde olduğundan daha sonraki zenginleştirme aşamasının daha başarılı olmasına yardım eder.
- Yatırım maliyetleri diğerlerine göre daha düşüktür.
- Metal öğütücü ortam kullanılmadığından enerji maliyeti daha azdır.
- Astar aşınması daha fazladır, fakat bilya aşınma problemi olmadığından toplam aşınma daha azdır.

Otojen değirmenlerin olumsuz yanı her çeşit cevherin öğütülmesine yanıt verememeleridir [6].

Asbest, talk ve mika kuru yarı otojen öğütme için uygundur [7].

4.2.2.5. Titreşimli değirmenler

İki veya dört odalı olabilirler. Bu odalar yaylar üzerinde oturtulmuşlardır. Titreşim frekansı 1800dev/dak olabilir [6].

Silindirler yaklaşık %60-70 öğütücü ortamla doldurulur. Öğütücü ortam genellikle çapı 10-50mm olan çelik bilyalardır. Yüksek enerjili titreşimli değirmenler yüzey alanını 500m²/g 'a kadar düşürür, oysa bu öğütmeyi geleneksel öğütücüler yapamaz. Besleme 30mm ve ürün 10µm altıdır [7].

Endristrüyel titreşimli değirmenler yatay veya düşey eksen üzerine yerleştirilmiş olabilir. Düşük genlikte kullanılanlar sulu öğütmede kullanılırlar, besleme santim-altı, ürün ise mikron-altıdır, kirlenme ve aşınma olur. Yüksek genlikte çalışanlar ise geniş boyut dağılımı verir, öğütme sulu veya kuru olarak yapılabilir, daha iri beslemeler için kullanılır [5].

4.2.2.6. Akışkan enerjili öğütücüler

Akışkan enerjili öğütme veya jet pulverizasyon, yüksek hızda hareket eden gazlarda (genellikle hava) asılı haldeki katı tanelerin, birbirlerine veya bir yüzeye çarptırmaları sonucu aşınma veya oluşan şok sonucu ufalanmaları şeklindeki öğütme anlamına gelir.

Akışkan enerjili öğütücüler normal olarak tane boyunun genellikle $45\mu\text{m}$ 'dan daha küçük olması istenilen durumlarda kullanılır. Bu aygıtlarla maksimum tane boyu $5\mu\text{m}$ ve oldukça yüksek oranlarda $1\mu\text{m}$ 'dan daha ince taneler içeren ürünler elde etmek olasıdır.

Aygıt alttan çok yüksek bir hızda basınçlı hava verilmektedir. Malzeme taneleri aygıt içinde dolaşım halinde olan yüksek hızdaki hava içinde birbirine çarparlar. Bunun sonucunda şok ve aşındırma ile ufalanırlar.

Aygıtın üst kısmında sınıflandırma işlemi yapan sınıflandırıcı bulunmaktadır. Sınıflandırıcının aralıklarından geçemeyen iri taneler öğütücü içinde dolaşımını sürdürürler [6]. Besleme boyutu 5mm 'nin altındadır [5].

4.2.2.7. Artiratör değirmenler

Sert refrakter oksitlerinde, karbürlerde, nitrürlerde, titanyum ve kaolinde kullanılır [5]. Mikron altı boyutlarda tanecikler içeren aglomerelerin dağıtımında endristrüyel olarak kullanılır. Artiratör değirmenlere 50mm altında şarj yapılır. Dar boyut dağılımı verirler fakat üründe kirlenmeye sebep olur.

4.2.2.8. Tröst değirmeni

Dairesel bir sınıflandırma odası içeren bu aletlerin alt kısmında birbirlerine zıt olarak yerleştirilmiş iki tane yüksek basınç ve hızda havanın girmesine uygun giriş bulunur. Katı taneler, şok odası olarak isimlendirilen bölgede birbirine çarptırılmakta ve böylece oluşan şok ile ufalanmaktadır [6].

4.2.3. Öğütmede Kullanılan Kimyasal İlaveler

Ufalama işlemi yeni bir yüzey oluşturma işlemidir. Eğer yüzey enerjisinin miktarı düşerse yeni bir yüzey oluşturmak için gerekli enerjide düşer. Bu kimyasal ilaveler bazı katıların öğütülmesinde de kullanılır. Bu ilaveler katının mikro çatlaklarına girerler.

Kimyasal ilaveler öğütme süresini %20-30 daha aza düşürürler. İlavelerin bir etkisi de çok ince tanelerin aglomerasyonunu önlemektir, buda kırma işleminin tekrarlanmasını önler. Yeni oluşan yüzeylerin yapışması öğütme ilavesi veya ortam

neminden dolayı yapışma, sürtünmeden dolayı yapışabilecek lokal sıcaklık oluşumu ve tanecikler arası bağın oluşması tekrar aglomerasyona sebep olur.

Metanol, yağ asitleri, aseton, sodyum karbonat, sodyum silikat, amonyum karbonat öğütme için kullanılan ilavelere örnek olarak verilebilir [10].

4.2.4. Yaş ve kuru öğütme

Öğütme işlemi yaş veya kuru olarak yapılabilir. Kuru öğütmede rutubetin %1 in altında olması gerekir.

Yaş öğütmenin avantajları;

- 1- Ürünün ton başına daha düşük güç ihtiyacı sağlar.
- 2- Birim değirmen hacmi başına daha yüksek kapasite gerekir.
- 3- Islak eleme veya sınıflandırmada kullanımı mümkündür.
- 4- Toz problemi ortadan kalkar.
- 5- Değirmenin boşaltılması kolaydır [7].

Yaş öğütmenin dezavantajları;

1- Kuru malzemelerin iç sürtünmeleri yaşa kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple ortam değirmen kenarında daha yükseklere kadar çıkar. Buna bağlı olarak kuru değirmenler yaşa kıyasla daha düşük hızlarda çalışırlar.

2-Yaş öğütmede, değirmen hacminin %40-50 'sine eşit bir ortam miktarı ile çalışma söz konusu iken, kuru öğütmede bu miktar daha az ve hacmin %35-45 'ine denktir [5].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Silis kumu

Kuars olarak silis kumu kullanılmıştır. Çizelge 5.1 de Rant Mad. Turizm San. Tic. Ltd. Sti. 'nden temin edilen ve kullanılan Silis kumunun özellikleri görülmektedir. A.Z. ateşte zayıftır.

Çizelge 5.1. Silis kumunun kimyasal analizi

A.Z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
1,82	92,48	3,40	0,33

5.1.2. Bej kil (Eti-3)

Bej kil silisiye kil grubunda yer alır. İçerisinde bol miktarda serbest silis içerir İri tane boyut dağılımı verir ve içerdiği organik miktarı açısından zayıftır. Bu özelliklerinden dolayı pişme rengi daha açık, suda dağılması kolay ve elektrolitlere karşı hassastır. Çizelge 5.2. 'de Etiler Madencilik 'ten temin edilen bej kilin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Bej kilin özellikleri

Kimyasal özellikleri

A.Z :	%7,50
SiO ₂ :	%58,80
Al ₂ O ₃ :	%27,00
Fe ₂ O ₃ :	%2,00
TiO ₂ :	%0,25
CaO :	%0,30
MgO :	%0,20
Na ₂ O :	%0,41
K ₂ O :	%2,27

Tane İriliği	%
+63 µm:	0
-63 µm	100
-45 µm	99,68
-10 µm	83,32
-5 µm	61,31
-1 µm	14,41

Kuru küçülme : %0,15
 Pişme küçülme : %8,20
 Su emme : %8,50
 Eğilme mukavemeti : >265 kg/cm²

5.1.3. Kahverengi kil (Eti-28)

Plastik kil ihtiyacı için kahverengi kil kullanılmıştır. Kahverengi kil ince boyut dağılıma sahiptir. Oldukça fazla kömür tozu içerir. Eğer kömür tozları iyi elenemeyip de bünyeye karışırsa, pişme sırasında sır yüzeyinde deliklere sebep olur. Çok fazla plastik olduğundan suda çabuk dağılmaz ve elektrolitlere karşı daha duyarsızdır. Çok yüksek oranlarda kullanılırsa kurutma sırasında çatlamalara sebep olduğu gibi kendiliğinden çok çabuk jelleşir. Bunların yanında bünyeye iyi mukavemet verir, hızlı döküm kalınlığı sağlar. Bu zarar ve iyiliklerinin yüzünden kullanılacak miktarın çok iyi hesaplanması gerekmektedir. Çizelge 5.3. 'de Etiler Madencilik 'ten temin edilen Kahverengi kilin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kahverengi kilin özellikleri

Maksimum katı konsantrasyonu: %68
 Optimum elektrolit : 0,97 ml/100g

Rasyonel analiz:

Sodyum Feldispat : %1,35
 Potasyum Feldispat : %16,15
 Kaolenit : %51,81
 Serbest silis : %26,29

Kimyasal özellikler:

A.Z :	%7,8
SiO ₂ :	%61,77
Al ₂ O ₃ :	%23,71
Fe ₂ O ₃ :	%1,87
TiO ₂ :	%1,14
CaO :	%0,05
MgO :	%0,52
Na ₂ O :	%0,16
K ₂ O :	%2,73
SO ₄ :	%0,04
Toplam tuz:	%0,05

Tane iriliği : %

+63 µm :	0,21
-63 µm :	99,76
-40 µm :	98,14
-30 µm :	97,12
-20 µm :	94,04
-10 µm :	86,64
-5 µm :	76,07
-2,75 µm :	61,00

5.1.4. Siyah kil (K-121)

Siyah kilde kahverengi kil gibi plastik bir kildir. Fiziksel olarak kahverengi kilden farkı gözle bakıldığında daha koyu renklidir. Çizelge 5.4. da Matel A.Ş. 'den temin edilen siyah kilin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.4. Siyah kilin özellikleri

Döküm özellikleri:

Kuru küçülme:	%6,96
Kuru mukavemet:	57,52 kg/cm ²
Katı malzeme miktarı:	%62
Optimum elektrolit:	%0,69

Pişme sonrası özellikler:

Pişme sıcaklığı:	1230°C
Pişme rengi :	haki
Pişme küçülme :	%7,46
Toplam küçülme :	%14,42
Su emme :	%0,50

Kimyasal Özellikler : (%)

A.Z. : 8,00-9,00
 SiO₂ : 58-60
 Al₂O₃ : 25-27
 Fe₂O₃ : 1,60-2,00
 TiO₂ : 0,3-0,5
 CaO : 0,5-0,7
 MgO : 0,9
 Na₂O : 0,35
 K₂O : 1,75-2,00

5.1.5. Süzölmüş kil (Mask-1)

Süzölmüş killerde plastik killer grubundadır fakat hiç kömür tozu içermezler. Çizelge 5.5 'de Matel A.Ş. 'den temin edilen Mask-1 kilin özellikleri verilmiştir. Dış görünüşü oldukça temiz ve sarı renklidir. Çok düşük oranlarda metal oksitler, alkaliler ve +2 değerli oksitleri içerir. Kömür tozu açısından oldukça saftır.

Çizelge 5.5. Mask-1 kilin özellikleri

Döküm özellikleri:

Kuru küçölme : %3,67
 Kuru mukavemet : 42,57 kg/cm²
 Katı malzeme miktarı : %66
 Optimum elektrolit miktarı : %0,4

Pişme sonrası özellikler :

Pişme sıcaklığı: 1230°C
 Pişme rengi : krem
 Pişme küçölme : %8,1
 Toplam küçölme : %11,77
 Su emme:%8,73

Kimyasal özellikler: (%)

A.Z. : 12,82
 SiO₂ : 51,55
 Al₂O₃ : 31,91
 Fe₂O₃ : 1,50 (max)
 TiO₂ : 0,34
 CaO : 0,97
 MgO : 0,31
 Na₂O : 0,12
 K₂O : 0,49
 SO₃ : 0,16

5.1.6. Süzölmüş kil (Mask-6)

Bu kilde diğer süzölmüş kil gibi hemen hemen aynı özelliklerdedir. Çizelge 5.6. 'de Matel A.Ş. 'den temin edilen Mask-6 kilin özellikleri verilmiştir. Mask-1 'den farkı ondan daha fazla K_2O ve daha az Fe_2O_3 içermesidir.

Çizelge 5.6. Mask-6 kilin özellikleri

Fiziksel özellikler:

Döküm özellikleri:

Kuru küçölme: %3,17
 Kuru mukavemet: 36,96 kg/cm²
 Katı malzeme miktarı : %61,53
 Optimum elektrolit miktarı : %0,70

Pişme sonrası özellikler:

Pişme sıcaklığı : 1225 °C
 Pişme rengi : krem
 Pişme küçölme : %8,15
 Toplam küçölme : %11,32
 Su emme: %4,88

Kimyasal özellikler : (%)

A.Z. : 11,58
 SiO₂ : 54,20
 Al₂O₃: 30,00
 Fe₂O₃ : 0,80
 TiO₂ : 0,95
 CaO : 0,23
 MgO : 0,41
 Na₂O : 0,11
 K₂O: 1,34

5.1.7. Gri kil (K-102)

Gri kil plastik özelliklere sahiptir. Kömür tozu çok azdır. Düşük nem oranlarında tabakalar halindeki yağlı yüzeylere sahiptir. Çizelge 5.7 'da Matel A.Ş. 'den temin edilen gri kilin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.7. Gri kilin özellikleri

Fiziksel özellikler :

Kuru küçülme: %0,15	
Pişme küçülme (1100 °C) : %7,8	
	(1180 °C) : %10,50
Su emme (1100 °C) : %11,30	
	(1180 °C) : %4,20
Eğilme mukavemeti	(120°C) : 11 kg/cm ²
	(1100°C) : >265 kg/cm ²
	(1180 °C) : >265 kg/cm ²

Kimyasal özellikler : (%)

A.Z. :	7-9
SiO ₂ :	57-60
Al ₂ O ₃ :	25-28
Fe ₂ O ₃ :	1,80-2,20
TiO ₂ :	0,4
CaO :	0,3
MgO :	0,2
Na ₂ O :	0,4
K ₂ O :	2,2

5.1.8. Kaolen (K-1486)

İki tür kaolen kullanılmıştır. K-1486 sert ve iri tanelidir, fakat daha beyaz renkli, daha saf, sıcaklıkla deforme olmaya karşı daha dayanıklıdır. Bunların yanında fiyatı yüksektir. Çizelge 5.8. 'de Matel A.Ş.'den temin edilen K-1486 'nın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.8. K-1486 'nın özellikleri

Döküm özellikleri:

Kuru küçülme :	%2,45
Kuru mukavemet :	3,38 kg/cm ²
Katı malzeme miktarı :	%66
Optimum elektrolit miktarı :	%0,32

Pişme sonrası özellikler :

Pişme sıcaklığı :	1220 °C
Pişme rengi :	beyaz
Pişme küçülme :	%1,80
Toplam küçülme :	%4,30
Su emme:	%28,00

Kimyasal özellikler : (%)

A.Z. : 6,30
 SiO₂ : 75,38
 Al₂O₃ :15-17
 Fe₂O₃ :0,4-0,7
 Ti O₂ : 0,31
 CaO : 0,13
 MgO : 0,06
 Na₂O : 0,07
 K₂O : 0,06
 SO₃ : 0,49

5.1.9. Kaolen (K-730)

Kullanılan ikinci kaolen K-730 'dur. Çizelge 5.9. 'da Matel A.Ş. 'den temin edilen K-730 'un özellikleri verilmiştir. Rengi açık pembe, beyazdır.

Çizelge 5.9. K-730 'un özellikleri

Fiziksel özellikler:

Döküm özellikleri:

Kuru küçülme : %1,98
 Kuru mukavemet : 4,60 kg/cm²
 Katı malzeme miktarı : %66
 Optimum elektrolit miktarı : %0,38

Pişme sonrası özellikler :

Pişme sıcaklığı : 1220 °C
 Pişme rengi : beyaz
 Pişme küçülme : %5,79
 Toplam küçülme : %7,77
 De formasyon : 23 mm.
 Su emme: %21,53

Kimyasal özellikler : (%)

A.Z. : 11-13
 SiO₂ : 59,11
 Al₂O₃ : 24-26
 Fe₂O₃ : 0,80
 TiO₂ : 0,30
 CaO : 0,25
 MgO : 0,10
 Na₂O : 0,35
 K₂O : 0,01
 SO₃ : 0,80-1,00

5.1.10. Albit (Sodyum feldispat EF-301)

Feldispat ihtiyacı albitten sağlanmıştır. Potasyum feldispatı albite göre pişme sırasında deformasyona daha dayanıklıdır fakat daha yüksek sıcaklık istemesi sebebiyle Albit tercih edilmiştir. Çizelge 5.10. 'da Ermad Madencilik 'ten sağlanan Albitin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.10. Albitin özellikleri

Kimyasal özellikleri

SiO ₂ :	%70,18
Al ₂ O ₃ :	%18,63
Fe ₂ O ₃ :	%0,12
TiO ₂ :	%0,28
CaO :	%0,5
MgO :	%0,04
Na ₂ O :	%9,27
K ₂ O :	%0,27
P ₂ O ₅ :	%0,22

5.1.11. Elektrolitler

Çamur üretiminde elektrolit olarak sodyum silikat ve sodyum karbonat kullanılmıştır. Elektrolitin amacı kil yüzeylerini kaplayarak kil tanelerinin birbirleriyle uzaklaştırmak ve bu yolla onların deflakulasyonunu sağlamaktır. Çizelge 5.11. de Tunçtaş Cam San. ve Tic. A.Ş. 'den temin edilen sodyum silikatın özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5.11. Sodyum silikatın özellikleri

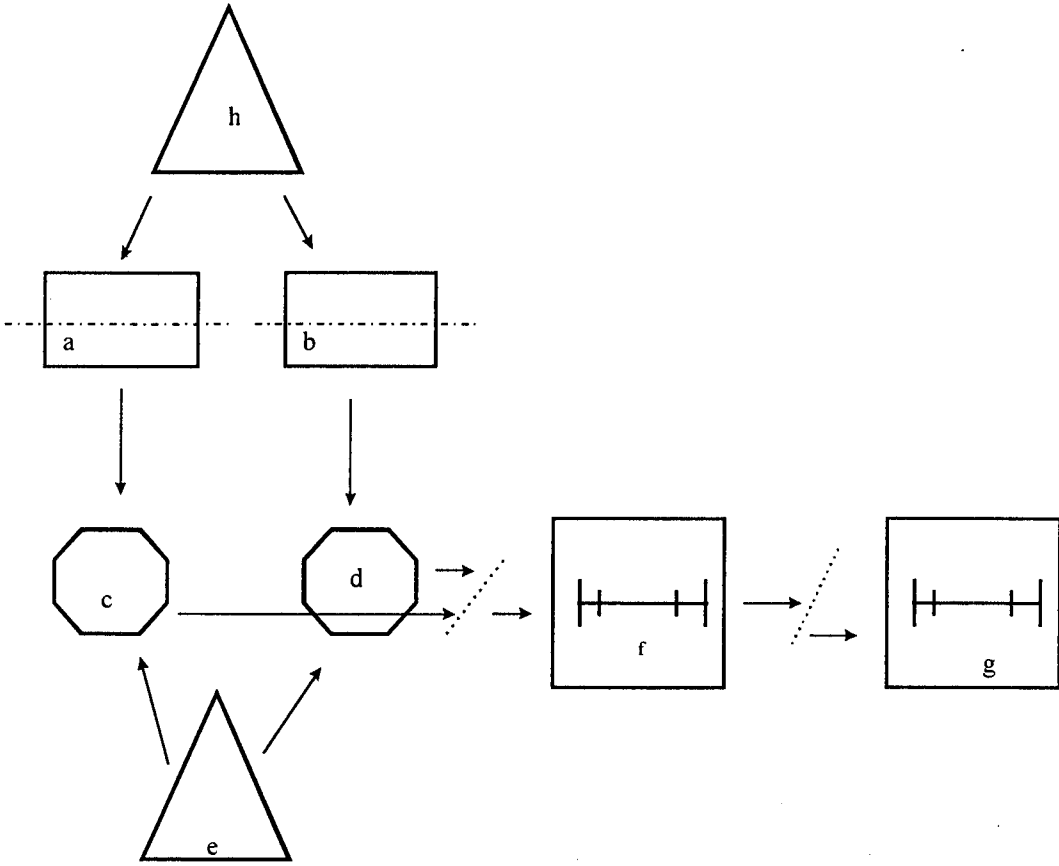
Kuru Madde:	%37,19
Na ₂ O :	%12,20
SiO ₂ :	%24,99
Modül (SiO ₂ /Na ₂ O) :	2,04
Fe ₂ O ₃ :	-

5.2. Kullanılan Cihazlar

5.2.1. Çamur üretiminde kullanılan cihazlar

Çamur hazırlamada kullanılan en önemli makinalar değirmenler ve açıcılardır. Vinç, kantar, pompalar, hortumlar, elekler ise ilave yardımcı parçaları oluşturur. Ayrıca hazırlanan çamurun dinlenmesi için stok ve işletme havuzları kullanılmıştır.

Değirmenler üstten şarjlı çakıllı değirmenlerdir. Çapları 210cm.dir ve her birinin içi 10 ton malzeme (kuru madde + öğütücü ortam) alabilir. Değirmen çamuru değirmenin altından basınçlı hava yardımıyla hortumlarla açıcılara alınır. Açıcılarda değirmen çamuru ve killer birleşerek homojen karışım elde edilir. Hazırlanan ve denemeleri yapılan çamur pompa yardımıyla 180 μ m 'luk eleklerden geçirilerek stok (dinlenme) havuzuna alınır, oradan da işletme havuzuna geçirilir ve döküm için bekletilir. Açıcıların her biri 15 ton dinlenme havuzları ise 45 ton çamur alabilmektedir. Ayrıca işletme havuzunun üzerinde de 180 μ m (80 mesh) 'luk elekler bulunur ve çamur bir kere daha elenir (Şekil 5.1.) .



Şekil 5.1. Çamur üretiminin akış şeması

a : 1. Değirmen

b : 2. Değirmen

c : 1. Açıcı

d : 2. Açıcı

e : Kil stok sahası

f : Stok havuzu

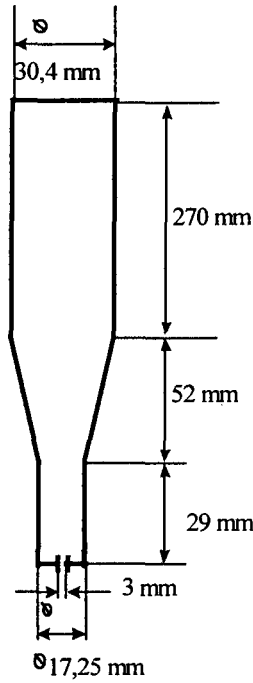
g : İşletme havuzu

h : Değirmen hammaddesi stok sahası

--- : 80 mesh'lik elekler

5.2.2. Viskozimetre

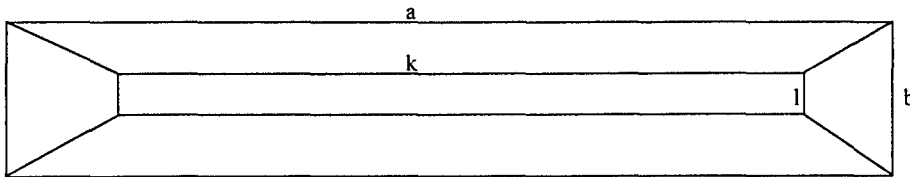
Viskozimetre, çamurun viskozitesine bakmak için kullanılmıştır. Viskozite değeri bulunurken, viskozimetrenin tamamı 180 μ m 'luk eleklerden geçirilen çamur ile doldurulmuş ve boşalma süresine bakılmıştır. Viskozimetre hacmi 220ml 'dir. Şekil 5.2. 'de kullanılan Gallen Cup Viskozimetre 'sinin iç hacmi ölçüleriyle verilmiştir.



Şekil 5.2. Viskozimetre

5.2.3. Deformasyon çubuğu kalıbı

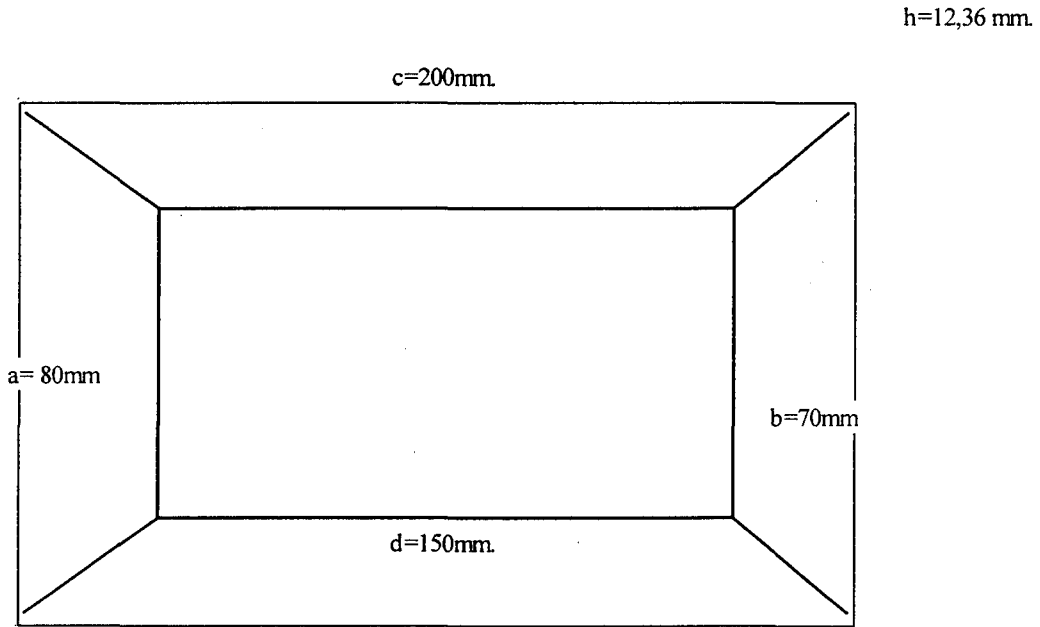
Deformasyon çubukları ise sıcaklık altında deformasyon miktarı, eğme mukavemeti ve kuru küçülme deneyleri için kullanılmıştır. İki parçadan oluşur. Bir parçası taban, diğeri ise iç hacmi Şekil 5.3. 'deki gibi olan üst kısımdır. a: 260,7 mm, b: 40 mm, k: 254 mm, l: 30 mm, h: 13 mm 'dir.



Şekil 5.3. Deformasyon çubuğu kalıbının şematik görünüşü

5.2.4. Su emme plakası kalıbı

Su emme plakalarında, malzemelerin su emmelerine, pişme ve kuru küçülmelerine, gözenekliliğine, yoğunluklarına bakılmıştır. Bu plakalar ise su emme plakaları kalıplarıyla hazırlanmıştır. Şekil 5.4. 'de kalıp iç hacmi ölçüleriyle verilmiştir. Aynı deformasyon çubuğu kalıbı gibi iki parçadan oluşur.



Şekil 5.4. Su emme plakası kalıbının şematik görünüşü

5.2.5. Elekler ve diğerleri

Deneylerde, 3 ayrı elek açıklığı kullanılmıştır. Bütün deneyler yapılmadan önce çamur $180\mu\text{m}$ (80 mesh) luk eleklerden geçirilmiştir. Ayrıca $150\mu\text{m}$ (100 mesh) ve $45\mu\text{m}$ (325 mesh) eleklerle elek bakiyelerine bakılmıştır.

Döküm kalıpları, çamurun bir saatlik dökümden sonra et kalınlığına bakmak için kullanılmıştır.

Kumpas, uzunluk değerlerini bulmak için kullanıldı. $0,001\text{cm}$ hassasiyetli kumpasla ölçüm yapılmıştır.

Elektronik hassas terazi, ağırlık ölçümlerinde kullanılmıştır. Hassasiyeti $0,1\text{g}$, kapasitesi 1200g 'dır.

Etüv 110°C 'de malzemeleri kurutmak için kullanılmıştır.

Malvern marka lazer difraksiyon aleti tane boyut dağılımını bulmak için kullanılmıştır.

5.3. Numune Hazırlama

Değirmende öğütme süresini azaltmak için yapılan deneyler için direk olarak değirmenlerin kendileri kullanılmıştır. Hammadde olarak kullanılan malzemelerden sodyum feldispat (albit), kaolen, silis kumu oranları her zaman sabit kalmıştır. Kullanılan kuru madde, su, elektrolit, öğütücü ortam oranları ve öğütme süreleri değiştirilerek farklı tane boyutlarında değirmen çamurları hazırlanmıştır.

Değirmende öğütülmüş malzeme açıcılara alınmıştır. Açıcıların içine, değirmen çamuruyla beraber killer ilave edilmiştir ve tüm bu malzemeler karıştırılarak çamur hazırlanmıştır. Karışma sırasında çamurun rutubet miktarı orana getirilmiştir. Bu ağırlığa gelen çamura yeterli miktarda elektrolit ilavesi yapılmıştır. Elektrolit ilave yapılırken çamurun viskozitesi ve tiksotropisi göz önüne alınmıştır; zira fazla elektrolit miktarı çamurun çok ince et kalınlığı vermesine sebep olurken, düşük elektrolit miktarı ise çamurun çok çabuk jelleşmesine, kalıp içinde suyunu alçı tarafından çekememesine sebep olmaktadır. Her deneyden önce çamur 80 meshlik eleklerden elenmiştir. Hazır çamur alçı kalıplara dökülmüş ve bir saat süre sonundaki et kalınlıklarına bakılmıştır. Kalıp iç yüzünde oluşan kalınlık et kalınlığıdır.

İşletme için uygunluğu kanıtlanan çamur dinlenme havuzuna alınmıştır. Bir gün dinlenen çamur takip eden deneyler için tekrar test edilmiştir. Bu testler yine viskozite, litre ağırlık ve tiksotropi denemeleridir. Hazırlanan alçı kalıplar içine yapılacak deneyin cinsine göre çamur dökülmüş ve iki saat döküm süresi verilmiştir. Bu sırada alçı kalıplar çamur içindeki suyu çekmektedir, dolayısıyla çamur seviyesi de kalıp içinde düşmektedir. Bu seviyenin sık sık kontrol edilmesi gerekmektedir. Döküm süresini tamamlayan yaş çamur kalıptan alınmış ve bir gün oda sıcaklığında beş saatte etüvde kurutmaya bırakılmıştır. Kuruyan numunelerin içinden pişmiş özelliklerine bakılacak olanlar pişirilmiştir.

5.4. Yapılan Deneyler

5.4.1. Öğütme deneyleri

Tane boyutunu küçültmek için öğütme süresi, öğütücü elemanları ve hammadde miktarı değiştirilerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Hammaddelerin reçetede % değerleri değişmemiştir.

5.4.2. Çamur hazırlama deneyleri

Çamurun viskozitelerine ve bunlara bağlı olarak da tiksotropisi ölçüldü. Bunun için viskozimetre kullanıldı, viskozimetre haznesi tamamen dolduruldu ve boşalma süresine bakıldı. Bu süre ilk viskozitedir, çamur yarım saat viskozimetre de bekletildi ve

tekrar viskozite ölçüldü, bu değer ikinci viskozitedir. Sonra her çamur için bir saatlik et kalınlıkları bulundu. Ayrıca her bir çamur numunesi için +325/-80 veya +100/-80 mesh elek bakiyelerine bakıldı. Elek bakiyelerine bakılırken ASTM (1974) standardı kullanıldı. Bunun için 0.1g hassasiyetli terazide 100g hammadde tartıldı ve 110°C 'de beş saat süreyle kurutuldu.

$$\text{tikotropi} = \frac{(\eta_2 - \eta_1)}{\eta_2} \cdot 100 \quad (5-1)$$

Burada:

η_1 : Çamurun ilk viskozitesi
 η_2 : Çamurun ikinci viskozitesi

$$\% \text{kuru madde (E}_2) = \frac{T_2}{T_1} \cdot 100 \quad (5-2)$$

Burada:

T_1 : Alınan sulu çamur miktarı
 T_2 : T_1 ağırlığındaki çamurun 110°C 'de kurutulduktan sonraki ağırlığı

$$\% 100 \text{ Din elek bakiye} = \frac{E_1}{E_2} \cdot 100 \quad (5-3)$$

Burada :

E_1 : Elek üstünde kalan miktar
 E_2 : Çamurun kuru madde miktarı

5.4.3. Fiziksel deneyler

5.4.3.1. Küçülme deneyleri

Hazırlanan çamur alçıdan imal edilmiş deformasyon çubuğu kalıplarına ve su emme plakalarına döküldü ve 2 saat döküm süresi verildi. Daha sonra kalıptan çıkan ürün üzerinde numune grubuna göre 10 veya 15cm lo uzunlukları verildi. Ürün yirmidört saat laboratuarda kurumaya bırakıldı. Kuruyan numuneler içindeki nemi tamamen atabilmesi için etüvde bir kurutma işlemine daha tutulmuştur. Etüvde kurutma

işlemi her zaman 110°C 'de beş saat süreyle yapılmıştır. İşaretlenen l_0 uzunlukların aldığı boylar tekrar ölçülmüştür (l_1).

Buna göre kuru küçülme miktarı (%KK) hesaplanmıştır:

$$\%KK = \frac{(l_0 - l_1)}{l_0} \cdot 100 \quad (5-4)$$

Kurutulan numuneler fırında pişirilmiştir. Pişmiş numunelerin üzerinde kurutmadan sonra l_1 olan, pişmeden sonra ise l_2 değerini alan uzunlukları ölçülmüştür. Pişme küçülme miktarı (5-5) nolu eşitlik kullanılarak (%PK) hesaplanmıştır.

$$\%PK = \frac{(l_1 - l_2)}{l_1} \cdot 100 \quad (5-5)$$

Numunenin kalıptan çıktığında üzerinden alınan uzunlukla (l_0), o uzunluğun pişmeden sonra aldığı değer (l_2) karşılaştırılmıştır. Toplam küçülme miktarı (5-6) nolu eşitlik kullanılarak (%TK) hesaplanmıştır.

$$\%TK = \frac{(l_0 - l_2)}{l_0} \cdot 100 \quad (5-6)$$

5.4.3.2. Su emme deneyi

Pişmiş numunelerin su emme miktarları % olarak bulunmuştur. Bunun için numuneler su içinde 5 saat kaynatılıp ve su içinde 24 saat bekletilmiştir. Bünye içine emilen su miktarı belirlenmiştir. (5-7) eşitliği su emme (%SE) hesaplanmıştır.

$$\%SE = \frac{(W_3 - W_2)}{W_2} \cdot 100 \quad (5-7)$$

Burada:

W_2 : Numunenin pişmeden sonraki ağırlığı

W_3 : Numunenin su emdirildikten sonraki ağırlığı

5.4.3.3. Yoğunluk deneyleri

Yığınsal yoğunluk malzemenin birim yığınsal hacimdeki (açık ve kapalı gözenekler dahil) miktarının kütesidir. Numunelerin yığınsal yoğunluk miktarları g/cm^3 cinsinden bulunur. Bunun için pişmiş numunenin ağırlığı, su emdirildikten sonraki ağırlığı ve su içindeki ağırlıklarından faydalanılmıştır. Su içindeki ağırlık bulunurken Arşimet Prensibinden yararlanılmıştır. Buna göre yığınsal yoğunluk ile +100/-80 mesh elek bakiye değişimi incelenmiştir. Yığınsal yoğunluk miktarı (B) (5-8) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$B = \frac{W_2}{(W_3 - W_4)} \cdot d_{siv1} \quad (5-8)$$

Burada

W_4 : Numunenin su içindeki ağırlığı
 d_{siv1} : Kullanılan suyun özgül ağırlığı

Görünür yoğunluk malzemenin görünür hacimdeki (açık gözenekler hariç) miktarının kütesidir. Numunelerin görünür yoğunluk miktarları g/cm^3 cinsinden bulunmuştur. Bunun için pişmiş numunenin ağırlığı, ve su içindeki ağırlıkları kullanılmıştır. Görünür yoğunluk ile +100/-80 mesh elek bakiyenin değişimi incelenmiştir. Görünür yoğunluk miktarı (T) (5-9) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T = \frac{W_2}{(W_2 - W_4)} \cdot d_{siv1} \quad (5-9)$$

5.4.3.5. Görünür gözeneklilik deneyi

Numunelerin içerdikleri görünür gözeneklilik değerleri (%P) (5-10) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır .

$$\%P = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_3 - W_4)} \cdot 100 \quad (5-10)$$

5.4.3.6. Numunelerin kapalı gözenekleri içeren katı madde hacimleri deneyi

Numunelerin kapalı gözenekleri içeren katı madde hacimleri (K) bulunmuştur. Bunun için (5-11) eşitliği kullanılmıştır . Eğer bir malzeme içinde yer alan gözenegin dışarıyla her hangi bir bağlantısı yoksa bu gözeneğe kapalı gözenek denir.

$$K = \frac{(W_2 - W_1)}{d_{sivı}} \quad (5-11)$$

5.4.3.7. Numunelerin açık gözeneklerinin hacimleri deneyi

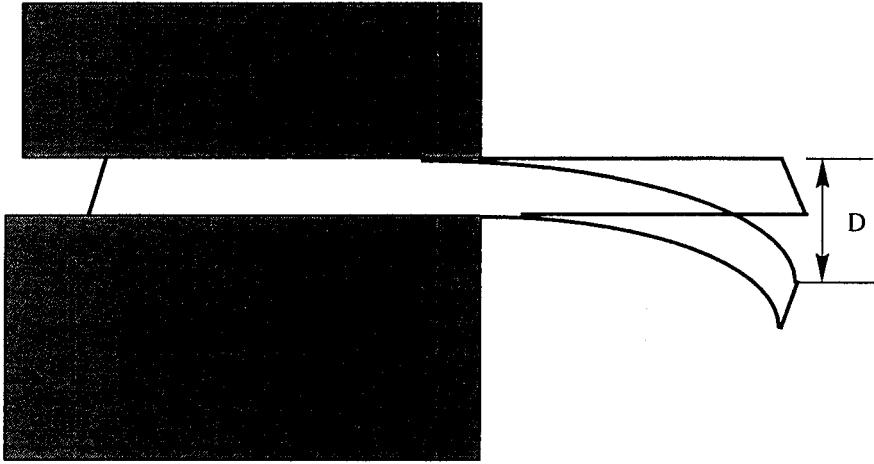
Numunelerin açık gözeneklerinin hacimleri (A) bulunmuştur. Bunun için (5-12) eşitliği kullanılmıştır. Eğer bir malzeme içinde yer alan gözenegin dışarıyla her hangi bir bağlantısı varsa bu gözeneğe açık gözenek denir.

$$A = \frac{(W_3 - W_2)}{d_{sivı}} \quad (5-12)$$

5.4.4. Mekanik deneyler

5.4.4.1. Sıcaklık altında deformasyon deneyi

Deformasyon çubuğu kalıplarına dökülen' çamur kalıplardan alınıp, kurutulmuştur ve Şekil 5.5. 'da görüldüğü şekilde pişirilip deformasyon boyları (D) ölçülmüştür.



Şekil 5.5. Deformasyon çubuğunun fırın içinde aldığı durum

5.4.4.2. Eğilme mukavemeti deneyleri

Kuru ve pişmiş numunelerin eğilme mukavemetleri hesaplanmıştır. Bu deneyler sırasında üç nokta eğilme mukavemetleri bulunmuştur ve +325/-80 mesh elek bakiye değerleriyle karşılaştırıldı.

Üç nokta eğilme mukavemetleri (5-13) eşitliği kullanılarak bulunmuştur.

$$\Gamma_{E\check{C}} = \frac{3 \cdot p \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (5-13)$$

Burada:

- $\Gamma_{E\check{C}}$: Eğilme mukavemeti (kgf/cm²)
- p : Deney cihazında kırma anındaki en büyük yük (kgf)
- l : Yükleme tablası yatakları arasındaki açıklık, serbest açıklık (cm)
- b : Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)
- h : Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)

5.5. Deney Sonuçları

5.5.1. Öğütme deneyleri sonuçları

Çizelge 5.12. 'de tane boyutunu küçültmek için yapılan öğütme işleminin daha kısa sürede yapılması için yapılan deneyler görülmektedir.

Çizelge 5.12. Öğütme süresinin elek bakiyesine etkisi

No	Hammadde (Kg)	Öğütme elemanları (Kg)	Su (lt)	Cam suyu (lt)	Öğütme süresi (saat)	+325/-80 mesh elek bakiye /100g hammadde (%)
1.a	3830	3000	1700	10	14	15,7
2.a	3830	3000	1800	10	14	17,4
3.a	3830	3000	1900	10	14	17,4
4.a	3830	3000	1800	12,5	16	14,1
5.a	3830	3000	1700	7,5	16	12
6.a	3830	3000	1500	12,5	16,5	16,5
7.a	3830	3000	1500	12,5	17	16,9
8.a	3830	3000	1600	12,5	18	10,3
9.a	3830	3000	1600	12,5	18,5	11,6
10.a	3830	3500	1700	7,5	13,5	18,2
11.a	3830	3500	2000	7,5	15,5	12,2
12.a	3830	3500	2000	7,5	17	9,5
13.a	3500	3500	2000	7,5	13,5	8,4
14.a	3500	3500	2000	7,5	14,5	12,5
15.a	3500	3500	2000	7,5	15	11
16.a	3500	3500	2000	7,5	15	10
17.a	3500	3500	2000	7,5	15,5	12,05

Deneyler tamamen değirmen çamuru üzerinde yapılmıştır. Killer bu deneylerde yer almaz. Tüm sonuçlar değirmene besleme ve değirmen ürünlerindedir. Hammadde miktarı değişmiştir fakat reçetedeki oranları değişmemiştir. Öğütme elemanları çakıl taşlarıdır.

5.5.2.Çamur hazırlama deneyleri sonuçları

Bir başka denemede çamur hazırlamada öğütmenin etkisini görmek için yapılmıştır.

Çizelge 5.13. Tane boyutu ile çamurun akış özellikleri ve döküm özellikleri

Öğütme süresi (saat)	15	30
+325/-80 mesh elek bakiye (g)	5,8	3,7
Değirmen çamurunun viskozitesi s/200mlt	31	46
η_1 (s)	60	61
η_2 (s)	80	86
% tiksotropi	25	23,25
Çamurun Litre Ağırlığı (g)	1766	1764
Çamurun Bir Saatlik Et Kalınlığı (mm)	5,5	5,75
Cam suyu (lt)	45	45

Çizelge 5. 14. Çeşitli çamurların özellikleri

Çamur no	η_1 (s)	η_2 (s)	Tiksotropi (%)	T2 (g)	T1 (g)	%ağırlıkça katı (E 2)	EB2 (g)	EK (mm)
1.b	78	113	30,97	68,839	100	68,839	3,5	5,5
2.b	82	120	31,67	69,249	100	69,249	4	6
3.b	76	100	24	69,4	100	69,4	4,2	6
4.b	100	140	28,57	69,249	100	69,249	4,5	5,5
5.b	76	100	24	69	100	69	4,5	5,5
6.b	60	85	29,41	68,633	100	68,633	4,8	5
7.b	90	116	22,41	68,8	100	68,8	4,9	6
8.b	57	75	24	68,891	100	68,891	4,9	6
9.b	78	107	27,10	68,7	100	68,7	5,1	6
10.b	76	100	24	68,53	100	68,53	5,1	5,5
11.b	95	125	24	69,096	100	69,096	5,2	6
12.b	72	101	28,71	68,7	100	68,7	5,5	5,8
13.b	81	110	26,36	68,9	100	68,9	5,7	6
14.b	70	99	29,29	69,5	100	69,5	5,8	5,5

EB2: 100 Dın elek bakiye (+100/-80 mesh) (5-3) nolu eşitlikten

EK : Çamurun bir saatte aldığı et kalınlığı

5.5.3. Fiziksel deneylerin sonuçları

Fiziksel deneylerde kullanılan çamurlar tamamen değirmen ve çamur hazırlamada ki denemelerin dışında çamurlardır. Numuneler işletme havuzundan alınmıştır. İşletme havuzunda birçok çamur karışır.

5.5.3.1. Küçülme deneylerinin sonuçları

Kuru küçülme, pişme küçülme ve toplam küçülme değerleri (5-4), (5-5), (5-6) eşitliklerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 5.15. Küçülmeler ve +100/-80 mesh elek bakiye değerleri

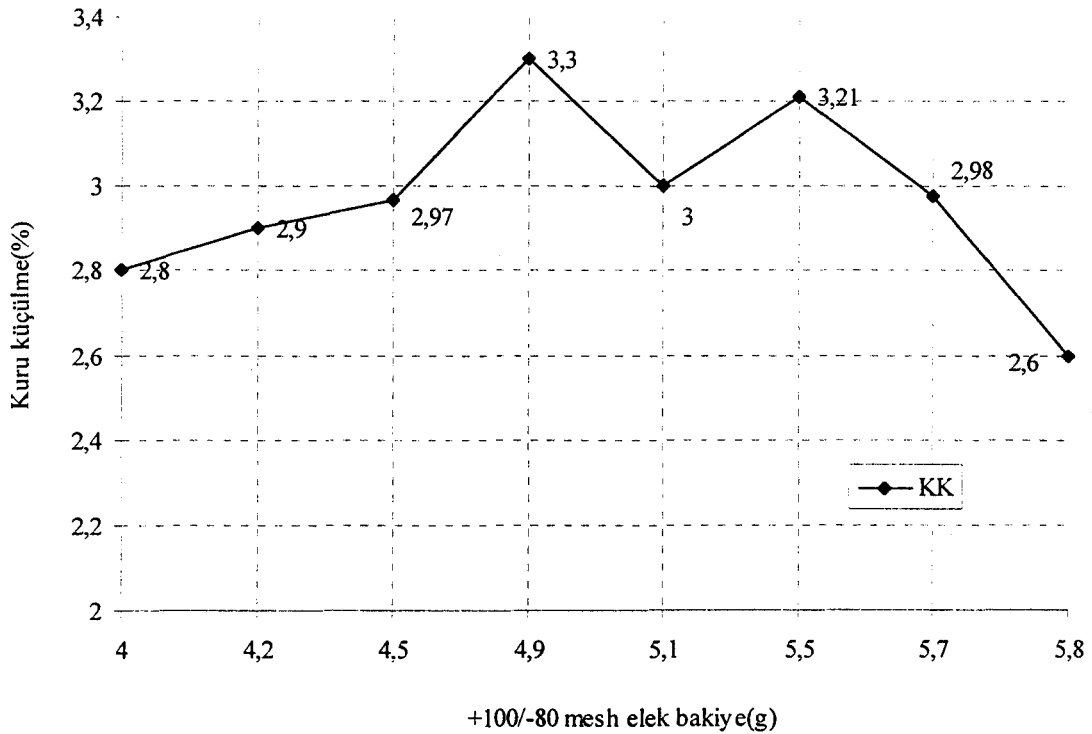
numune no	%EB ₁	l ₀	l ₁	l ₂	%KK	%PK	%TK
1,1	4	10	9,72	8,91	2,8	8,33	10,9
1,2	4,2	10	9,71	8,92	2,9	8,14	10,8
1,3	4,5	10	9,703	8,91	2,97	8,17	10,9
1,4	4,9	10	9,67	8,876	3,3	8,21	11,24
1,5	5,1	10	9,7	8,9	3	8,25	11
1,6	5,5	10	9,679	8,9	3,21	8,05	11
1,7	5,7	10	9,702	8,91	2,98	8,16	10,9
1,8	5,8	10	9,74	8,95	2,6	8,11	105

EB₁ : +100/-80 mesh elek bakiye (g)

l₀ : Malzeme üzerinde kurutmadan önce alınan uzunluk (cm),

l₁ : l₀ uzunluğunun kurutmadan sonraki uzunluğu (cm).

l₂ : l₀ uzunluğunun pişmeden sonraki uzunluğu (cm).



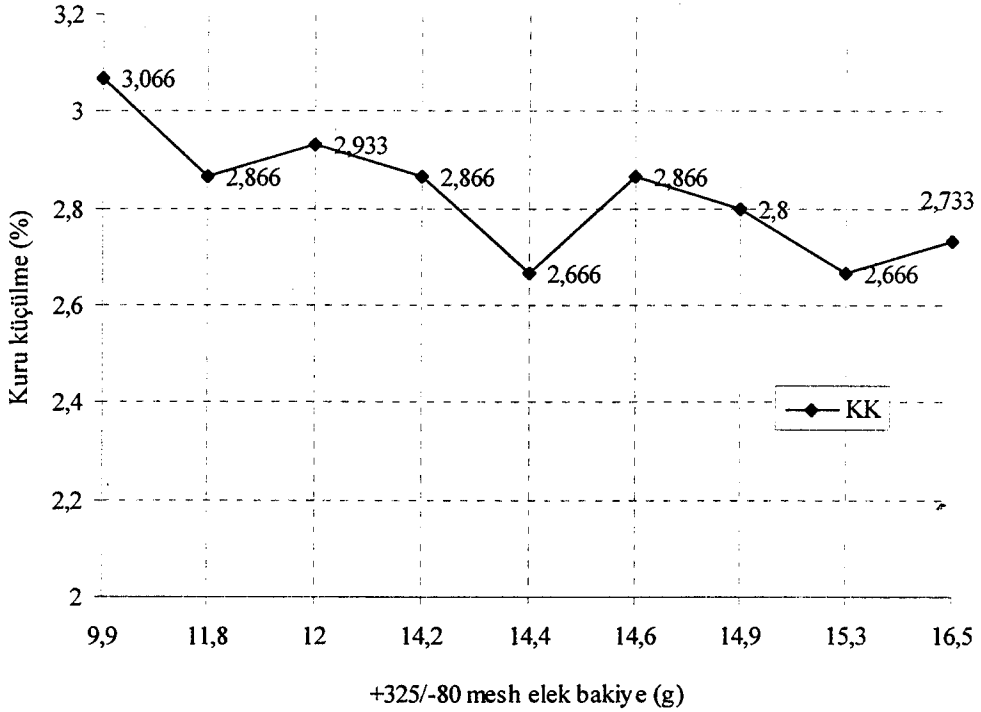
Şekil 5.6. Kuru küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Kuru küçülme elek bakiyenin artmasıyla önce artmış ve sonra azalmıştır.

Çizelge 5.16. I₀, I₁, %KK ve +325/-80 mesh elek bakiye değerleri

Numune no	%EB ₂	I ₀	I ₁	%KK
2,1	9,9	15	14,54	3,066
2,2	11,8	15	14,57	2,866
2,3	12	15	14,56	2,933
2,4	14,2	15	14,57	2,866
2,5	14,4	15	14,6	2,666
2,6	14,6	15	14,57	2,866
2,7	14,9	15	14,58	2,8
2,8	15,3	15	14,6	2,666
2,9	16,5	15	14,59	2,733

Çizelge 5.16 hesaplanırken (5-4) nolu eşitlik kullanılmıştır.



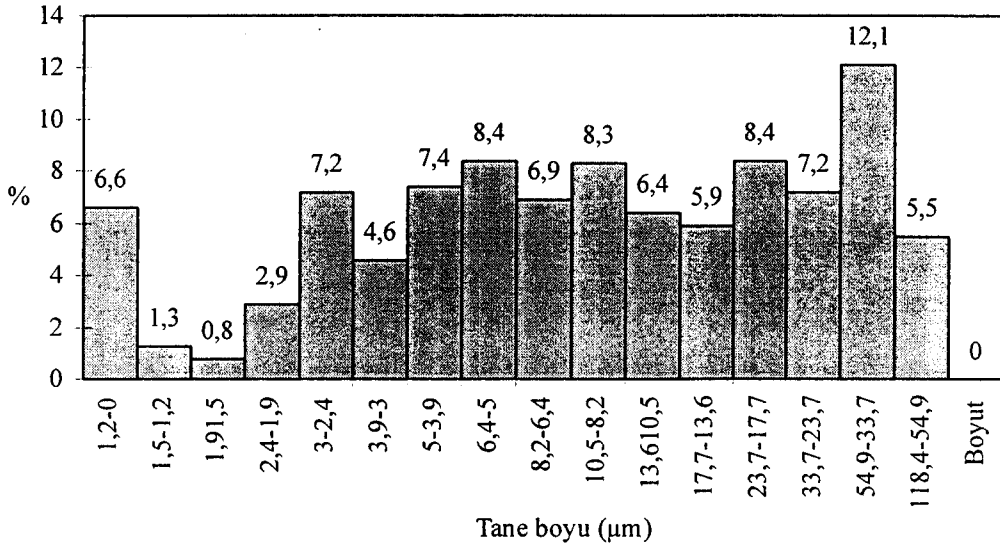
Şekil 5.7. Kuru küçülme (%) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Şekil 5.6. de verilen değerler şekil 5.7. deki çamurlardan farklıdır. Şekil 5.7. 'de kuru küçülme (%) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi araştırılmıştır. Kuru küçülme elek bakiyenin artmasıyla azalmıştır.

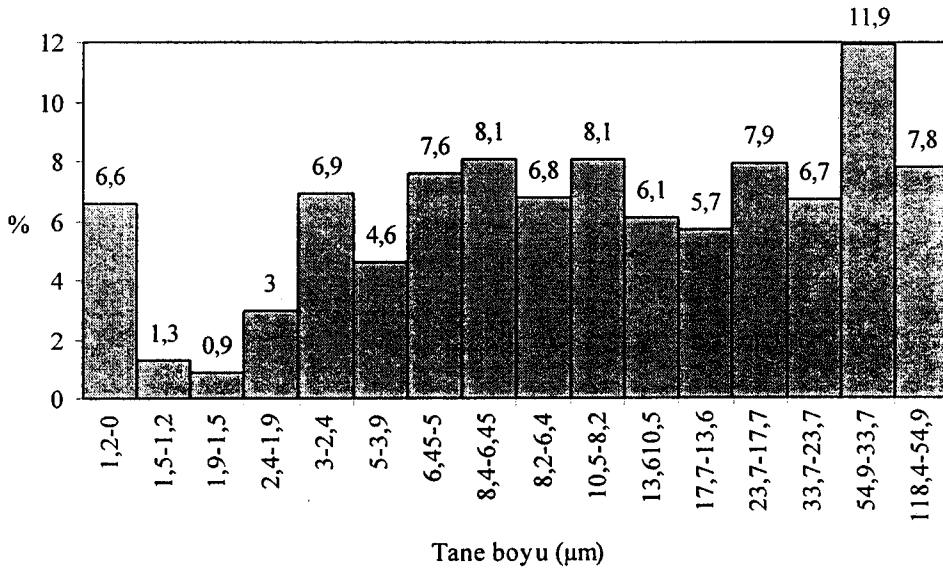
Çizelge 5.17 'de yine farklı çamurlarda yapılan denemeler görülmektedir. Bu çamurlar elek ile bakiyelerine bakılan çamurlardan farklıdır.

Çizelge 5.17 . Kuru küçülme ve malzeme içindeki iri tanelerin ilişkisi

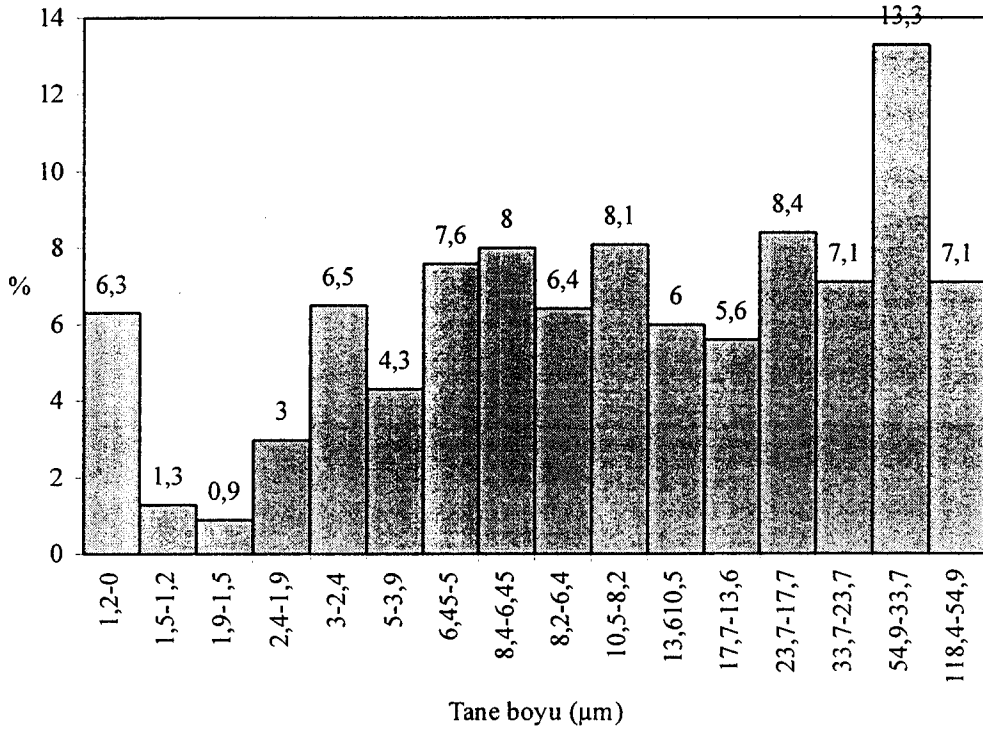
Numune no	% kuru küçülme	118.4 - 54.9 μm	54.9 - 33.7 μm	S.S.A. sq.m./cc
3.1	2,080	7,8	11,9	1,4581
3.2	2,266	7,1	13,3	1,4102
3.3	2,733	5,5	12,1	1,4651



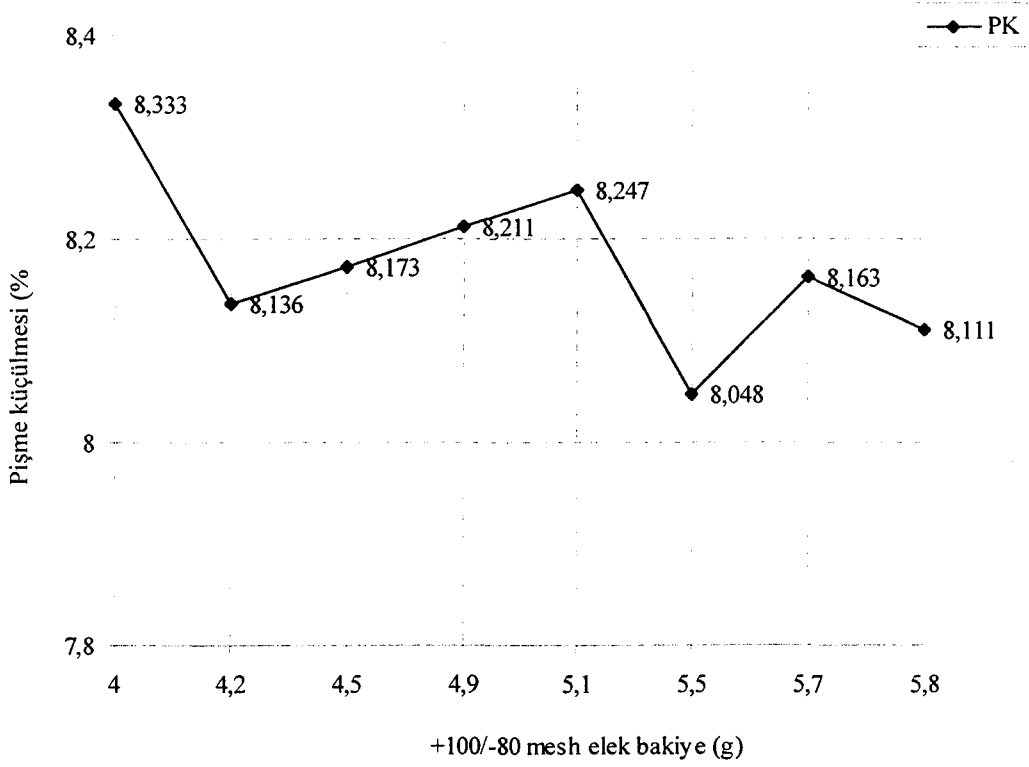
Şekil 5.8 . Numune no 3.1 için tane boyut dağılımı



Şekil 5.9 . Numune no 3.2 için tane boyut dağılımı

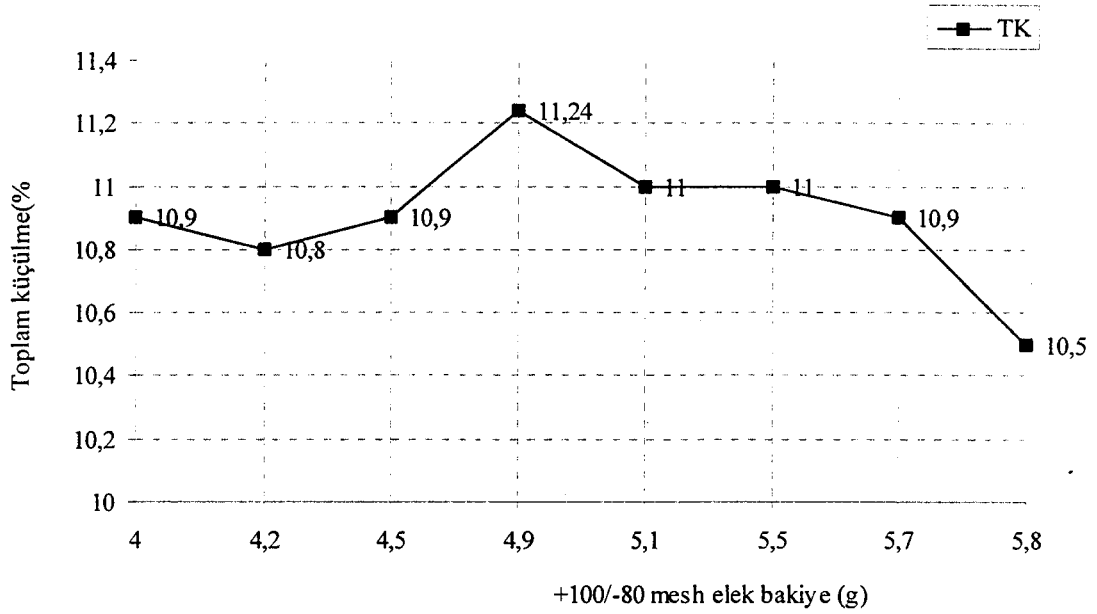


Şekil 5.10. Numune no 3.2 için tane boyut dağılımı



Şekil 5.11. Pişme küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Şekil 5.11. Pişme küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Pişme küçülme elek bakiyenin artmasıyla farklı değerler vermiştir.



Şekil 5.12. Toplam küçülme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

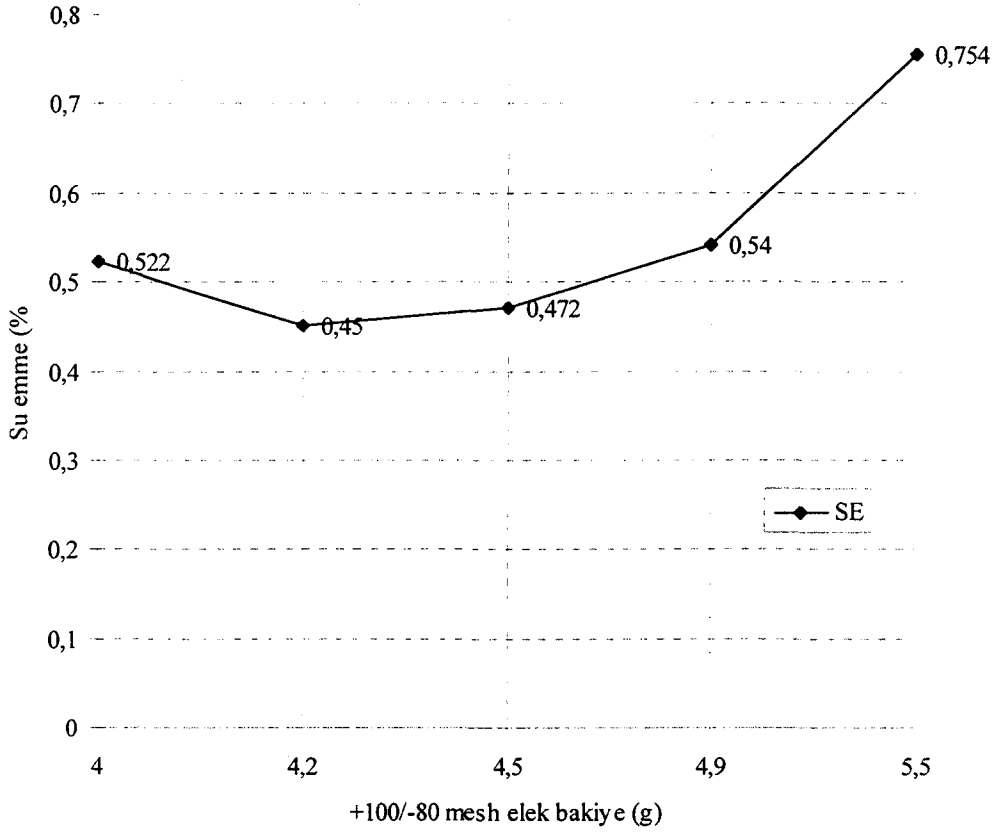
Elek bakiyenin artmasıyla toplam küçülme 4,9 'a kadar artmış ve daha sonra tekrar azalmıştır.

Çizelge 5.18. +100/-80 mesh elek bakiye ve numunelerin çeşitli ağırlık değerleri

No	%EB1	W1	W2	W3	W4	%SE	B	T	%P
1,1	4	183,5	172,3	173,2	98,3	0,522	2,3	2,328	1,202
1,2	4,2	189,1	177,7	178,5	100,6	0,45	2,281	2,305	1,027
1,3	4,5	179,8	169,6	170,4	95,5	0,472	2,264	2,289	1,068
1,4	4,9	176,3	166,7	167,6	94,3	0,54	2,274	2,302	1,228
1,6	5,5	182,2	172,3	173,6	97,1	0,754	2,252	2,291	1,699

Çizelge 5.18. +100/-80 mesh elek bakiye (%EB1) ve numunelerin çeşitli ağırlık değerleri, su emmeleri (%SE), yığınsal yoğunlukları (B), görünür yoğunlukları (T), görünür gözeneklilikleri (P) verilmiştir. Hesaplamalarda (5-7) ile %SE, (5-8) ile B, (5-9) ile T, (5-10) ile %P değerleri bulunmuştur.

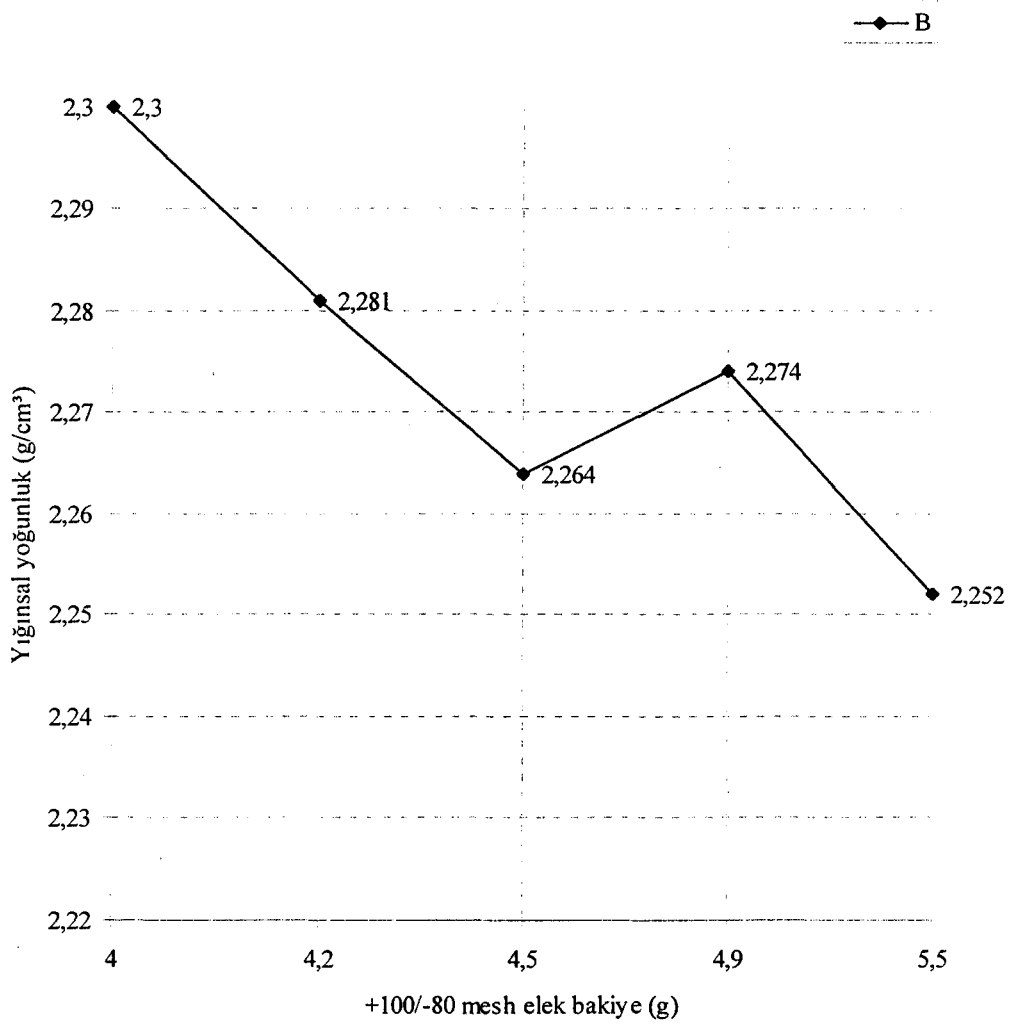
5.5.3.2.. Su emme deneyleri sonuçları



Şekil 5.13. Su emme (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

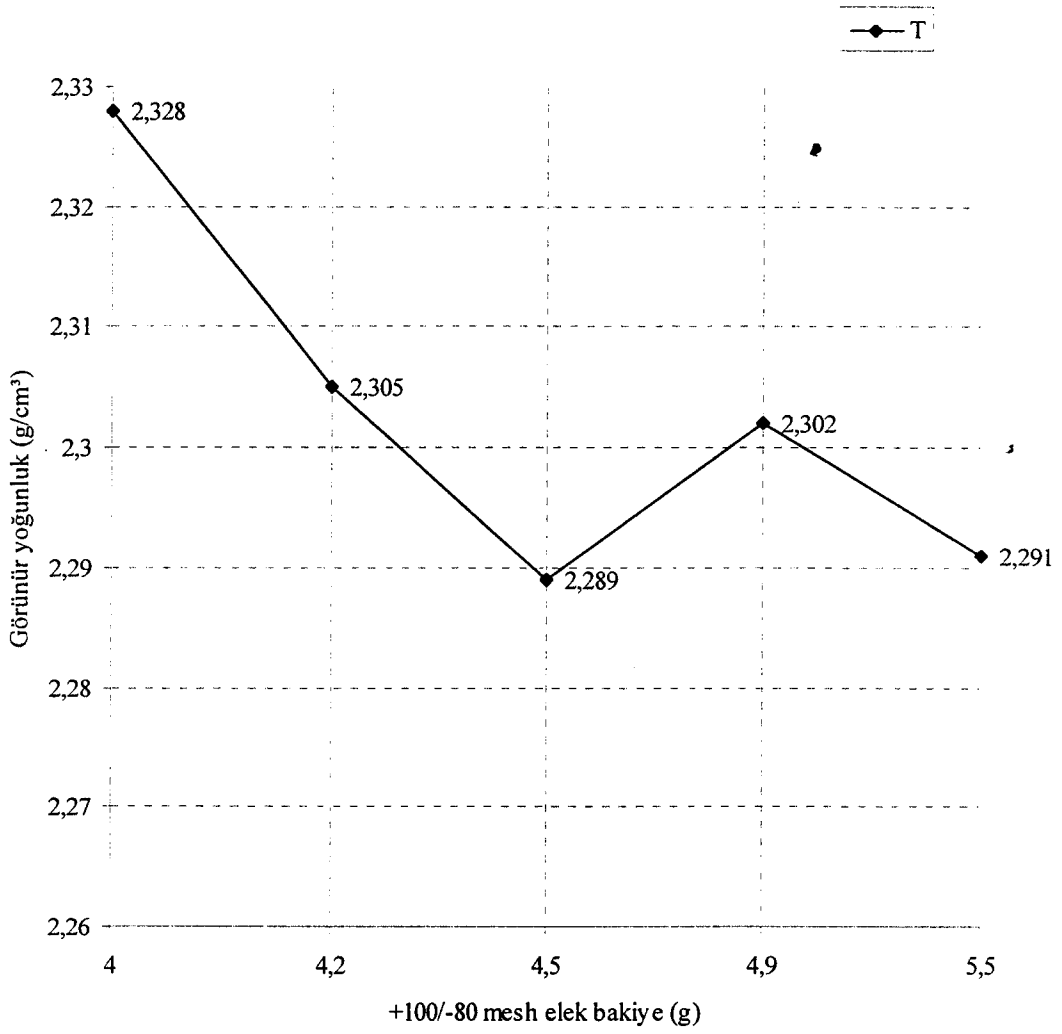
Şekil 5.13. de su emme (%SE) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Elek bakiyenin artmasıyla su emme oranı artmıştır.

5.5.3.3. Yoğunluk deneyleri sonuçları



Şekil 5.14. Yığınsal yoğunluk ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

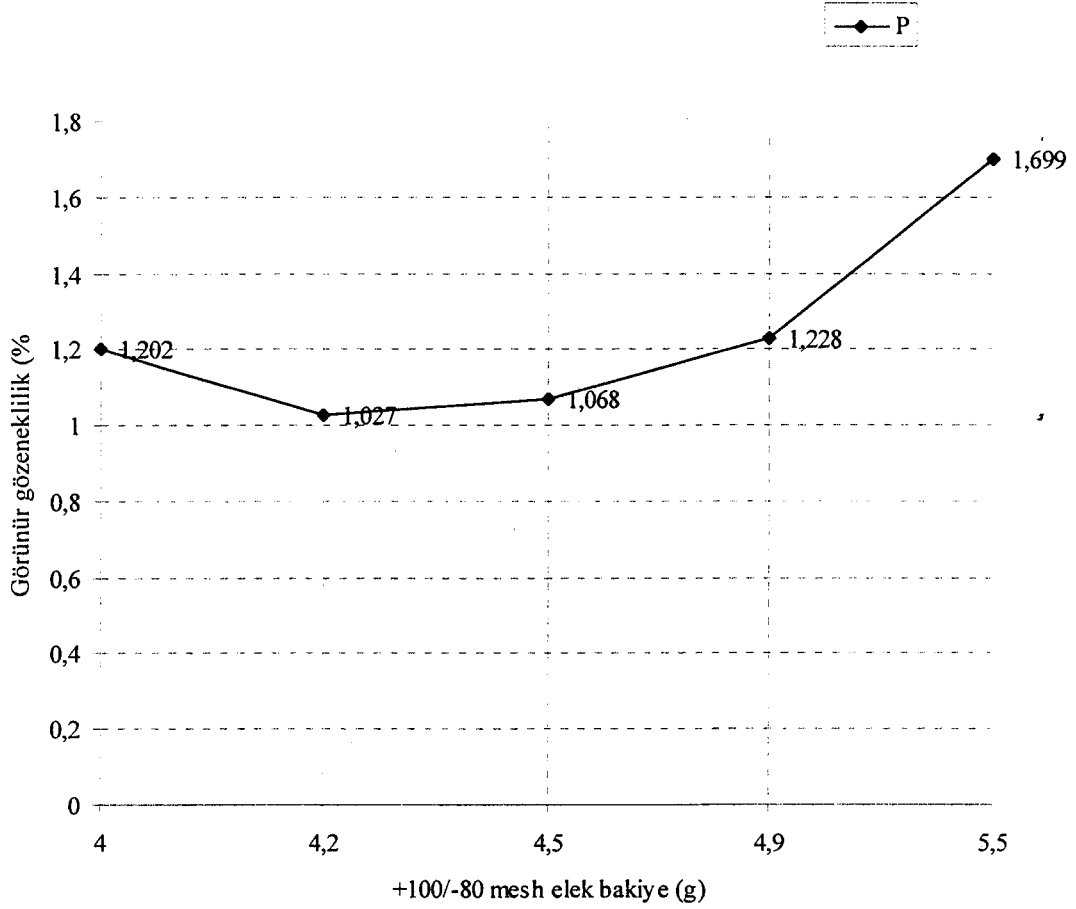
Şekil 5.14. da yığınsal yoğunluk (B) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Elek bakiyenin artmasıyla yığınsal yoğunluk azalmıştır.



Şekil 5.15. Görünür yoğunluk ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Şekil 5.15. de görünür yoğunluk (T) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Elek bakiyenin artmasıyla görünür yoğunluk azalmıştır.

5.5.3.4. Görünür gözeneklilik deneyi sonuçları



Şekil 5.16. Görünür gözeneklilik (%) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Şekil 5.16. da görünür gözeneklilik (%P) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Elek bakiyenin artmasıyla görünür gözeneklilik artmıştır.

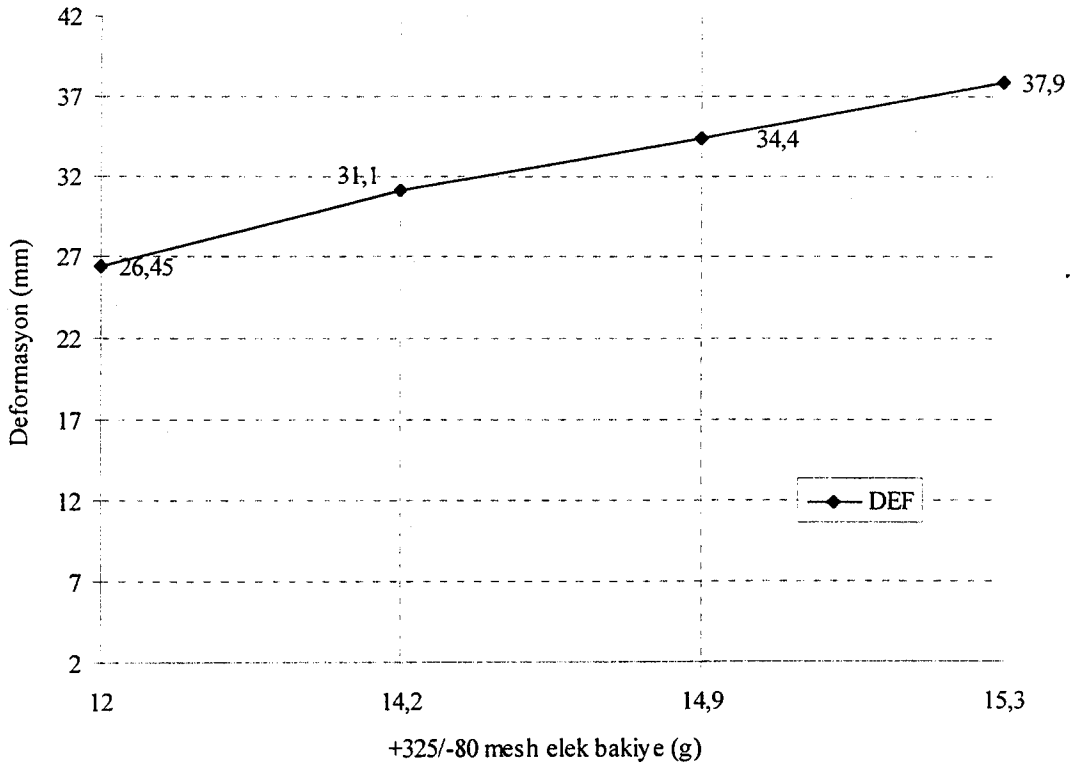
5.5.3.5. Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacmi deneyi sonuçları

Çizelge 5.19. Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacimleri (cm³) ve +100/-80 mesh elek bakiye (g) değerleri

Numune no	+100/-80 mesh elek bakiyesi (g)	Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacmi (cm ³)	Açık gözeneklerin hacmi (cm ³)
1.1	4,0	74,000	0,900
1.2	4,2	77,100	0,800
1.3	4,5	74,100	0,800
1.4	4,9	72,400	0,900
1.6	5,5	75,200	1,300

5.5.4. Mekanik deneylerin sonuçları

5.5.4.1. Sıcaklık altında deformasyon deneylerinin sonuçları



Şekil 5.17. Sıcaklık altında deformasyon (mm) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi

Şekil 5.17 'de Sıcaklık altında deformasyon (mm) ve +325/-80 mesh elek bakiye (g) ilişkisi verilmiştir. Elek bakiye artıkça sıcaklık altında deformasyon artmıştır.

5.5.4.2.Eğme mukavemeti

Çizelge 5.20. +325/-80 mesh elek bakiye ile kuru numunelerin eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

Numune no	EB2 (g)	ΓEÇ (kgf/cm ²)
2.10	11,5	185,185
2.2	11,8	177,677
2.1	9,9	168,219

Çizelge 5.20. de +325/-80 mesh elek bakiye ile kuru numunelerin eğilmede çekme dayanımı ilişkisi verilmiştir.

Çizelge 5.21. +325/-80 mesh elek bakiye ve pişmiş numunelerin eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

Numune no	EB2 (g)	ΓEÇ (kgf/cm ²)
2.11	15,1	440,310
2.6	14,6	404,740
2.8	15,3	393,655

Çizelge 5.21. de +325/-80 mesh elek bakiye ile pişmiş numunelerin eğilmede çekme dayanımı ilişkisi verilmiştir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

En iyi paketleme, en düşük gözeneklilikle olur. İyi bir öğütmeyle daha hızlı jelleşme oranı, daha hızlı döküm oranı, daha yüksek ve daha homojen nem içeriği, fakat daha yüksek kuruma ve pişme küçülmesi sağlanabilir [12].

Das, Mohan et al yaptıkları çalışmada, killeri öğütmeyle plastizite suyu ve öğütme süresi arasındaki ilişkide her hammadde için farklı sonuçlar vermiş ve kesin bir ilişki kuramamışlardır [13].

Çizelge 6.1. Öğütme süresinin, plastizite suyu ile ilişkisi

Özellik	Öğütme süresi (saat)	1.	2.	3.
Plastizite suyu (%)	0	46	30	35
	2	45	35	47
	5	35	34	42
	10	18	36	45

Warrier and Mukundan et al [14] eğilme mukavemeti, su emme, pişme küçülmelerinin kuvarsın tane boyutuyla ilişkisini incelemişler ve Çizelge 6.2. de görülen sonuçları elde etmişlerdir.

Çizelge 6.2. Kuvarsın tane boyutuyla; bağ mukavemeti, su emme, pişme küçülmesi arası ilişkisi

Özellik/Bünye	Pişme Sıcaklığı (°C)				
	1100	1150	1200	1250	1300
Mukavemet (N/mm ²)					
A	28,7	34,8	41,5	52,6	89,3
B	26,3	40,7	42,1	79,9	92,2
C	27,6	41,6	44,3	84,8	94,2
Su Emme (%)					
A	15,27	8,62	4,84	0,69	0,49
B	16,28	9,05	4,30	0	0
C	15,72	9,46	5,50	0	0
Pişme Küçülmesi (%)					
A	8,6	8,8	10,2	11,0	11,2
B	8,7	8,9	10,8	11,3	11,7
C	8,9	9,2	11,6	11,8	12,2

Kullanılan hammaddeler; Çin kili (1,2mm), feldispat (19mm) ve kuvarstır. Kil/ feldispat/ kuvars = 50/ 25/ 25 olup kuvars tane boyutu :

A: 15 μm

B: 12 μm

C: 8 μm dur.

Tomizaki and Sugiyama [15] silikatın farklı tanecik boyutlarında termal genleşmelerinin de farklı olduğunu bulmuştur. Daha büyük silikat taneleriyle numunelerdeki termal genleşmenin daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, cam faz ve kristobalitte çözünmeyen kuvarsın miktarındaki farktır. Bu termal genleşme kuvarsın 573 °C ve 230 °C deki faz dönüşümlerinden ileri gelir. 573 °C de α -kuvars β -kuvarsa dönüşür. 230 °C de ise kristobalitin α - β dönüşümü olur.

Değirmen içinde öğütücü ortam / kuru hammadde oranı arttığında +325/-80 mesh elek bakiye düşmüştür. (Çizelge 5.12.) Değirmen içinde kullanılan su miktarı arttıkça, hammaddeler değirmen içinde yüzer ve öğütme gereğince yapılamaz. Öğütme süresini arttırmak tek başına elek bakiyeyi düşürmek için yeterli değildir. Öğütme sırasında kullanılan elektrolit, su, kuru hammadde, öğütücü ortam miktarları büyük önem taşımaktadır. Malzemelerin içerdikleri rutubet miktarları da öğütme sırasında etkili olmaktadır, bu yüzden onların içerdiği rutubet miktarı da kullanılan suya ilave edilmiştir .

Feldispat öğütmede ilave olarak kil kullanılabilir. Deneme için dört ayrı karışım kullanılmıştır. Bunlar; %100 feldispat, %90 feldispat - %10 kil, %70 feldispat - %30 kil, %50 feldispat - %50 kil dir. Ayrıca üç ayrı öğütme süresi kullanılmıştır. Bunlar; 10, 20 ve 30 dakikadır. Bu işlem için en iyi sonucu %70 feldispat - %30 kil vermiştir. Fakat bu iyileşmenin etkisi öğütme süresinin artmasıyla azalmıştır [8].

Eğer malzemelerin pişme işlemleri aynıysa pişme küçülmesi ve kuru küçülme aynı eğilimdedir. Küçülmenin kontrolü, tane boyu dağılımının kontrolüne, çamurun katı içeriğinin kontrolüne ve kimyasalların ilavelerine bağlıdır. Tane boyutu dağılımı ve katı içeriği süspansiyonların akış davranışlarında önemli rol oynar, fakat tek başlarına akışı kontrol edemezler. Tane boyut dağılımındaki değişimler ham ürünün paketlenme yoğunluğu, gözenekliliği, gözenek boyut dağılımını değiştirir. Aynı zamanda ham yoğunluk ve pişme küçülmesi de değişir. Yüksek oranda katı içeren ve fazla deflokule olmuş bünye çok yoğundur, düşük gözeneklidir ve küçük gözenek boyut dağılımı verir. Fakat aynı boyut dağılımına sahip bir bünye düşük oranda katı içerir ve yüksek oranda flokule olmuşsa yüksek gözenekli ve daha iri gözenek boyut dağılımı verebilir. Yaş (ham) yoğunluk her iki durumda da farklıdır[16]. Başlangıç tane boyutu arttıkça malzemenin içerdiği gözenek miktarı (%) da artar (Şekil 5.16.).

Şekil 5.6. 'dan anlaşıldığı gibi +100/-80 mesh elek bakiyesi arttıkça malzemenin kuru küçülme miktarı önce artmış, sonra tekrar düşmeye başlamıştır. Şekil 5.7. de ise +325/-80 mesh elek bakiye arttıkça kuru küçülme oranı düşmüştür.

Çizelge 5.17. 'de kuru küçülme ile 118.4/-54.9 μm boyut aralığında kalan tanelerin ilişkisi verilmiştir. İri tane miktarının azalmasıyla kuru küçülme artmıştır. Bu kontrol spesifik yüzey alanı (S.S.A.) için yapıldığında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Herhangi bir ilişki 54.9/- 33.7 μm aralığındaki taneler için de bulunamamıştır.

Şekil 5.11. 'de görüldüğü gibi pişme küçülmesi tane irileştikçe azalır.

Frenkel denklemi [17]:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{3 \cdot \Delta L}{L_0} = \frac{9 \cdot \gamma \cdot t}{4 \cdot \eta \cdot r} \quad (6-1)$$

Burada:

- γ : Yüzey gerilimi (j / m^2)
- t : Sinterleme zamanı
- η : Viskozite ($pa \cdot s$)
- r : Başlangıç tane boyutu
- ΔV : Hacimdeki değişim
- V_0 : İlk hacim
- ΔL : Boydaki değişim
- L_0 : İlk boy

Yukarıdaki (6-1) nolu formülden anlaşıldığı gibi başlangıç tane boyutunun değişimiyle boyca küçülme ilişkilidir. R 'nin azalması ile ΔV ve ΔL artar.

Goss [18] ve Okongwu and Paranthaman [19] yaptıkları ayrı çalışmalarda su emme ve başlangıç tane boyutunun ilişkili olduklarını belirtmektedirler. Başlangıç tane boyutu arttıkça su emme miktarı da artmaktadır (Şekil 5.13.). Su emme; banyo, tuvalet veya dış cephe gibi su ile devamlı temas halinde olan yerlerde kullanılan seramiklerde büyük önem taşır. Düşük su emme oranı istenen malzemelerde, tane boyutu dağılımı mutlaka araştırılmalıdır.

Şekil 5.16. 'de başlangıç tane boyutunun ince olmasıyla yığinsal yoğunluğun arttığı gözlenmektedir. Görünür yoğunluk değerleri (Şekil 5.14.) başlangıç tane boyutunun artmasıyla azalmıştır. Görünür yoğunluk ve yığinsal yoğunluğun tane boyutuyla ters ilişkili olması, yoğunlaşmada tane boyutunun etkisini göstermiştir.

$$\frac{d\rho'}{dt} = \frac{3 \cdot \gamma}{2 \cdot r \cdot \eta} \cdot (1 - \rho') \quad (6-2)$$

Burada:

- ρ' : Yoğunluk
- γ : Yüzey gerilimi (j / m^2)
- t : Sinterleme zamanı
- η : Viskozite
- r : Başlangıç tane boyutu

$$t_{sec} = \frac{1,5 \cdot r \cdot \eta}{\gamma} \quad (6-3)$$

Yukarıdaki bağıntılarda (6-2) ve (6-3) başlangıç tane boyutunun artmasıyla, yoğunluğun düştüğü gösterilmiştir. Ayrıca tane boyutu ile yüzey gerilimi doğru orantılıdır. Tane boyunun azalması ile yüzey gerilimi düşer ve bunun sonucu olarak malzemelerin büzülmesi artar. Bu artış beraberinde daha iyi yoğunlaşmayı getirir.

İnce ve çok ince tanelerin ilavesiyle gözeneklilik daha da düşer [20]. Seramiklerde tek bir boyutta tane istenmez, çünkü iri tanelerin arasına ince taneler girerek yoğunlaşmanın daha da iyi olması sağlanır. Şekil 5.16 da +100/-80 mesh elek bakiye miktarının artmasıyla görünür gözenek miktarının attığı görülmektedir.

Eğer toz paketlenmesi maksimumsa sıkışan tozların görünür hacmi minimumdur ve katı oranı maksimumdur [21]. Görünür hacmin en büyük değerinde paketleme minimum ve gözenek en fazladır [22]. Amaç en yüksek yoğunlukta malzeme üretmek olduğuna göre paketlenmenin en iyi olması gerekir, çünkü malzeme yaşken nasıl paketlenirse pişmeden sonrada aynı kalite devam eder. Eğer yaşken paketleme iyi olmazsa pişirme ile bu hata giderilemez.

Fırın içinde sıcaklıkla deformasyonu engellemek için, yüzey gerilmelerinden dolayı olan gerilmeler yer çekiminden dolayı olan gerilmelerden büyük olmalıdır. Bunun için tane boyu dengelenmelidir, viskozite çok düşük olmamalıdır. Deformasyonu engellemenin en iyi yolu homojen dağılıma sahip, ince boyutlu malzemeler kullanmaktır. Potasyum feldispatın sinterleşme internali sodyum feldispatı göre daha geniştir. Yumuşamaya başlangıç ısı 1150 °C erime ısı 1280 °C 'dir. Aradaki 130 °C lik fark nedeni ile potasyum feldispat, porselen gibi deforme olma noktasına kadar pişirilip camlaşan seramik ürünlerinde tercih edilir. Bunların yanında deforme olmaya karşı malzemenin fiziksel yapısı desteklerle sabitleştirilebilir.

Çizelge 5.13. den görüldüğü gibi öğütme süresi iki katı arttığı halde; et kalınlığı, tiksotropi, gerekli cam suyu miktarları değişmemektedir. Fakat başlangıç tane boyutunun azalması değirmen çamurunun akışını yavaşlatmıştır. Değirmen çamurunun tane boyutu dağılımı bu konularda pek etkili olmayabilir fakat killerin tane boyut dağılımı direk olarak etkilidir. Çizelge 5.14. 'de çeşitli çamurların özelliklerinin tane boyutu ile değişimi görülmektedir. +100/-80 mesh elek bakiye değişimi ile net bir sonuç bulunamamıştır.

Lavrence Teorisine göre tanelerin arasındaki suyun viskozitesi çamurun viskozitesine göre fazladır. Bunun sebebi hidrata olmuş suyun iyonik alan potansiyelidir. Taneler arası suyun viskozitesi, ortamın viskozitesine göre fazladır. Aynı zamanda jelleşme oranı ve kayma gerilmesi artma eğilimindedir, bunların yanında plastik özellik düzelir [23]. Tane boyutu arttıkça viskozite azalır [1]. Çizelge 5.13. de başlangıç tane boyutunun değişimiyle değirmen çamurunun viskozitenin nasıl değiştiği görülmüştür. Tane boyutu düştükçe viskozitesi artmıştır. Tane boyutu azalması ile tanelerin spesifik yüzey alanları artar, bunun sonucu olarak da taneler arasında etkileşim olan yüzey miktarı artar. Sürtünme olayı yüzeylerde olduğundan bununla beraber viskozite de artar.

Silikatın tane boyutu azaldıkça renk beyazlaşır. Silikatın çözünmemesi şeffaflığı artırır [15]. Reaksiyonların tamamlanması için tane boyutu çok büyük önem taşır. Kuvarsın çözünmesi ve müllitin oluşması tane boyutuna çok bağlıdır, ayrıca impuritelere miktarı ve ikinci akışkanlaştırıcılarda olayla ilgilidir[1]. Burada bahsedilen ikinci akışkanlaştırıcılar, elektrolitler ve baryum karbonat gibi bünyesinde alkali içeren malzemelerdir.

Oda sıcaklığında eğilme mukavemetinin başlangıç tane boyu ile ilişkisi tane boyutuna bakış noktasına bağlıdır ve tane boyutunun kare kökü 'nün tersiyle eğilme mukavemeti davranışı alakalıdır [24]. Başlangıç tane boyutu ile Van der Waals enerjisi ilişkilidir. [25] Bu ilişkiden dolayı kuru mukavemet ile de tane boyunun ilişkili olması gerekir. Çizelge 5.20. 'de görüldüğü gibi +325/-80 mesh tane boyutu ile kuru numunelerin mukavemetinin değiştiği belirlenmiş fakat gidişatın nasıl olduğu hakkında kesin bir ilişki bulunamamıştır.

Basma mukavemeti başlangıç tane boyutu ile değişir. Aynı zamanda su emme ile başlangıç tane boyutu ilişkilidir. Bunlara bağlı olarak mukavemetin tersiyle başlangıç tane boyutu orantılıdır [19]. Çizelge 5.21. 'de görüldüğü gibi +325/-80 mesh tane boyutu ile pişmiş numunelerin mukavemetin değiştiği belirlenmiş fakat gidişatın nasıl olduğu hakkında kesin bir ilişki bulunamamıştır.

Mukavemet ile tane boyutu arası incelenirken +325/-80 mesh elek bakiye değerlerine bakılmıştır. Bu boyut tane boyut dağılımında orta irilikteki tanelere denk gelmektedir. Oysa ürün özelliklerini belirleyen tane boyutunun iri taneler olduğu belirtilmişti. +100/-80 mesh elek bakiyesinin bulunması daha tatminkar sonuç verecektir. Kesin bir sonuca varmak için tam olarak taneciklerin boyut dağılımı bilinmelidir [26]. Bununla birlik de dağılımın geniş olması, paketlemenin daha iyi veya kötü olacağını göstermez [27].

7. GENEL SONUÇLAR

Tane boyutunu küçültmeyle malzeme özellikleri üzerinde iyileşme sağlanabilir. Tane boyutu dışında kompozisyon, pişme süresi ve sıcaklığı değiştirilerek de ürün özellikleri değişir. Bünyeye killerin ilavesi plastikliği arttırırken küçülme de artar. Feldispat ile daha yoğun malzeme elde edilirken mukavemete ve deformasyona aksi etki yapar. Kuvars yaş ve pişmiş üründe mukavemet verirken plastisite de düşüşe sebep olur.

Seramik endüstrisinde hammadde hazırlamanın ilk aşaması öğütmedir. Döküm, pişirme gibi öğütmeyi takip eden işlemlerin hatasız olabilmesi için bu işlemin dikkatli bir şekilde yapılması gerekir. Kullanılan hammaddelerin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Farklı killerin elektrotlara karşı duyarlılıkları da farklı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. REED, J.S., *Introduction To The Principles Of Ceramic Processing*. John Wiley & Sons Pte. Ltd., 1989.
2. SÜMER, G., *Seramik Sanayii El Kitabı*. Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir, 1988.
3. BOZKURT, R., *Endüstriyel Hammaddeler*, AÜMMF Yayınları, Eskişehir, 1992.
4. GEÇKİNLİ, A.E., *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İTÜ Kütüphanesi, Gümüşsuyu, 1992.
5. TANIŞAN, H.H., ve METE, Z., *Seramik Teknolojisi ve Uygulaması*. Birlik Matbaası, Söğüt, 1988.
6. ÖZDAĞ, H., *Cevher Hazırlama 1*. Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Yayınları, Eskişehir, 1992.
7. WILLS, B.A., *Mineral Processing Technology*. Corborne School of Mines Cornwall, England, 1981.
8. BRESCIANI, A., *Mechanizms Of Wet Grinding*, Sacmi R&D Centre, 1995.
9. UZ, B., *Mineraller*, İTÜ Maden Fakültesi, Kurtiş Matbaası, 1990.
10. LOWRISON, G.C., *Crushing And Grinding*. Butterworths, London, 1974.
11. GÜNER, Y., *Seramik*. Gençlik Kitabevi A.Ş., İstanbul, 1987.
12. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing VI*, Interceram, 43, 5, 350-353, 1994.
13. DAS, K.V., MOHAN, B.V., LALITHAMBIKA, M., and NAIR, C.G.R., *Grinding Studies on Kaolenite*, Interceram, 40, 1, 11-14, 1991.
14. WARRIER, K.G.K., MUKUNDAN, P., PILLAI, P.K., and DAMODARAN, A.D., *Particle Size Of Quartz And The Vitrification Of Porcelain Bodies*, Interceram, 5, 19-21, 1989.
15. TOMIZAKI, M.F., and SUGIYAMA, T., *Study on High-Silica Porcelain Bodies*, Interceram, 44, 4, 223-228, 1995.
16. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Precise Control of Shrinkage For Near-Net-Shape Forming*, Ceram. Eng. Sci. Proc., 14, 1-2, 416-424, 1993.

17. KINGERY, W.D., BOWEN, H.K., and UHLMANN, D.R., *Introduction To Ceramics*. John Wiley & Sons Pte. Ltd., 1976.
18. GOSS, C.E., *Correlation Particle- Size Distribution Of Clay To Water Absorption*, Ceramic Bulletin, 67, 5, 888-889, 1988.
19. OKONGWU, D.A. and PARANTHAMAN, V., *Effect Of Particle Size Of Coal Additive On The Burnt Properties Of Clay Brick*, Ceramic Bulletin, 68, 11, 1963-1966, 1989.
20. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing IV- Computer Modelling Of Particle Packing Phenomena*, Interceram, 42, 3, 150-152, 1993.
21. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing Part I-Fundamentals Of Particle Packing Monodisperse Spheres*, Interceram, 41, 1, 10-14, 1992.
22. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing V- Computational Methods Applied To Experimental Distributions*, Interceram, 43, 2, 87-89, 1994.
23. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Slip Control Using Particle- Size Analysis And Specific Surface Area*, Ceramic Bulletin, 67, 5, 890-894, 1988.
24. RICE, R.W., *Correlation of Machining- Grain- Size Effects Of Tensile Strength With Tensile Strength- Grain- Size Behavior*, J.Am. Ceram. Soc., 76, 4, 1068-1070, 1993.
25. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Flocculation By VDW Energy / Particle Size Distribution*, American Ceramic Society Bulletin, 74, 1, 48-52, 1995.
26. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing III - Discrete Versus Continuous Particle Sizes*, Interceram, 41, 5, 332-334, 1992.
27. FUNK, J.E., and DINGER, D.R., *Particle Packing V- Computational Methods Applied To Experimental Distributions*, Interceram, 43, 3, 150-154, 1994.
28. BROWNELL, W.E., *Structural Clay Products*, Springer-Verlag, New York, 1976.